

39169

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

PONZA KATKILI TUĞLA ÜRETİMİ VE BU TUĞLALARIN MEKANİK VE

BOŞLUK ÖZELİKLERİNİN İNCELENMESİ

39169

DOKTORA TEZİ

Y.Mimar Ayşe Gül GÜZEL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Eylül 1993

Tezin Savunulduğu Tarih : 13 Aralık 1993

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Erol GÜRDAL

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr.Nihat TOYDEMİR

: Prof.Dr. Murat ERİÇ

ARALIK 1993

ÖNSÖZ

Tezime yön vererek çalışmalarımda değerli fikirleriyle beni destekleyen danışmanım Prof.Dr.Erol GÜRDAL'a, çalışmalarım sırasında yakın ilgilerinden dolayı Prof.Dr. Nihat TOYDEMİR'e, teşvik ve yardımlarını esirgemeyen Doç.Dr.Mustafa KARAGÜLER ve Dr. Nihal ARIÖĞLU'na, laboratuvar çalışmalarının her safhasında sabırla beni destekleyen, yardım ve emeğini esirgemeyen değerli teknisyenimiz Sn. İbrahim ÖZTÜRK'e, çalışmanın değişik aşamalarındaki katkılarından dolayı Y.Mim. Mahmut KÖSE'ye, Dr.Yegan KAHYA'ya ve Y.Mimar Bahar SAYIL'a, İ.T.Ü. Kimya, Metalurji Fakültesi elektron mikroskobunda çalışma olanağı sağlayan Prof.Dr.E.TULGAR ve Prof.Dr. A.TEKİN'e, bu çalışmam sırasında yardımlarından dolayı tüm Malzeme Laboratuvarı elemanlarına, üretilen tuğlaların petrografik analizlerini yapan Prof.Dr. Bektaş UZ'a, çalışmalarımın birçok safhasında yardımını gördüğüm Doç.Dr.Mustafa ERDOĞAN'a, X-Işınları Analizlerini yorumlayan Y.Doç.Dr. F.ESENLİ'ye, kimyasal analizleri yapan Dr. F.MAZLUM'a, ısı iletkenlik deneylerini yapma olanağı sağlayan Prof.Dr. A.ARISOY'a, bu deneyler sırasında beni destekleyen tüm Isı Tekniği Birimi araştırma görevlilerine,dilatometri cihazının onarılmasındaki yardımlarından dolayı Y.Doç.Dr. S.İKİZOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim. Tez çalışmam sırasında en büyük manevi desteği ve her türlü yardımı sağlayan Prof.Dr. Mustafa KÖSEOĞLU'na ayrıca teşekkür ederim. Tez yazım işlemlerini titizlikle ve fedakarlıkla gerçekleştiren G. KUTLU'ya, tüm çalışmam boyunca her türlü yardımı esirgemeyen arkadaşım Y.Mim.Serap TANTEKİN'e, maddi ve manevi destekleriyle yanımda olan Doç.Dr.Bülent DURMUŞOĞLU ve Y.Doç.Dr.Semra DURMUŞOĞLU'na, Feyza ATALAY'a ve bu çalışmada ellerinden gelen her türlü fedakarlığa katlanan Dildar ve Dr.Ethem DURMUŞOĞLU'na, eşim Dr. Adnan GÜZEL'e ve tez çalışmalarım sırasında anne özlemine katlanarak en büyük fedakarlığı gösteren oğlum Kerem GÜZEL'e ayrıca sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayşe Gül GÜZEL

Eylül 1993

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	vii
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
SUMMARY	xx
 BÖLÜM 1 GİRİŞ	 1
 BÖLÜM 2 SERAMİKLER VE HAFİFLETİLMİŞ TUĞLALAR	 4
2.1. Seramiklerin Genel Özellikleri ve Sınıflan- dırılması	4
2.2. Cam Bağlı Seramikler (Kristalleri Camsı Bir Matriksle Bağlanmış Seramikler-Pişmiş Toprak Mamulleri)	7
2.2.1. Pişmiş Toprak Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanılan Kil Grubu Minarelleri	7
2.2.1.1. Kilin Pişmesi	8
2.2.1.2. Killerin Sınıflandırılması	9
2.2.1.3. Kil Özellikleri	11
2.3. Kil ve Kil Ürünlerinin Özellikleri Üzerindeki Etkilerine Göre Kile Katılan Malzemelerin Sınıflandırılması	15
2.4. Bir Pişmiş Kil Ürünü Olarak Hafifletilmiş Tuğlaların Yararları ve Hafifletme Yöntemleri	20
2.5. Hafifletici Katkıların Sınıflandırılması ve Özellikleri	22
2.5.1. Organik ve İnorganik Hafifletici Katkılar Arasındaki Farklılıklar	28
2.5.2. Ülkemizin Hafif Tuğla Üretiminde Kullanılabilecek Malzemeler Yönünden Durumu ve Ponza Taşı Hafif Agregası	30
2.6. Hafif Tuğla Üretiminde Kullanılan Diğer Yöntemler	31
 BÖLÜM 3 KİLE KATILAN KATKILARIN KİL VE KİL ÜRÜNLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR	 34
 BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMALAR	 46
4.1 Araştırmanın Amacı ve Kapsamı	46

4.2 Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması	48
4.2.1 Kullanılan Kilin Özellikleri	48
4.2.1.1. Kilin Granülometrik Yapısı	48
4.2.1.2. Kilin Özgül Ağırlığı	49
4.2.1.3. Kilin Kıvam Limitleri	50
4.2.1.4. Kilin Kimyasal Özellikleri	50
4.2.1.5. X-Işınları Difraksiyonu İle Analiz	51
4.2.1.6. Diferansiyel Termal Analiz ve Termogravimetrik Analizle İnceleme.	52
4.2.1.7. Dilatometrik Analiz	56
4.2.2. Ponza Taşı Özellikleri	59
4.2.2.1. Özgül Ağırlık	60
4.2.2.2. Birim Hacim Ağırlık	60
4.2.2.3. Su Emme	60
4.2.2.4. Basınç Dayanımı	61
4.2.2.5. Ponza Taşının Kimyasal Özellikleri	61
4.2.2.6. Ponza Taşının Petrografik Analizi	62
4.2.2.7. Ponza Taşının X-Işınları İle Analizi	62
4.2.2.8. Ponza Taşı Lineer Genleşme Katsayısı.	64
4.3. Kil-Ponza Karışımları	64
4.3.1. Kabul edilen İlkeler ve Karışım Hesapları	64
4.3.2. Tuğla Üretimi, Karıştırma, Kurutma ve Pişirme Koşulları	70
4.3.2.1. Hammadde Hazırlama	70
4.3.2.2. Numune Hazırlama	72
4.3.2.3. Kurutma ve Pişirme	76
4.3.3. Numune Boyutları ve Sayıları	76
4.4. Deney Programı	77
4.5. Hazırlanan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları	78
4.5.1. Kuru Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları	78
4.5.2. Pişmiş Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları	79

BÖLÜM 5 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ	.88
5.1 Kuru Numune Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	.88
5.1.1 Deflokulan ve Ponza Katkısının Kuruma Rötresine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	88
5.1.2 Deflokulan Katkısı ve Ponza Hacim Oranı Etkilerinin Dilatometrik Analizle İncelenmesi ve Değerlendirilmesi	89
5.2 Pişmiş Numune Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	.95
5.2.1 Pişme Sıcaklığının Deflokulan ve Ponza Katkısının, Makro Düzeyde Yapılan Gözlemlerle Değerlendirilmesi	95
5.2.2 Fiziksel ve Mikroyapı Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	.98
5.2.2.1 Pişme Sıcaklığının, Deflokulan ve Ponza Katkısının Pişme Rötresine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	98
5.2.2.2 Pişme Sıcaklığının, Deflokulan ve Ponza Katkısının Birim Hacim Ağırlığa Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	100
5.2.2.3 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Ağırlıkça Su, Emme Değerlerine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	106
5.2.2.4 Pişme Sıcaklığının, Deflokulan ve Ponza Katkısının Boşluk Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi ve İrdelenmesi	.118
5.2.2.5 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Ultrases Hızına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	.156
5.2.2.6 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Isı İletkenlik Katsayısına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi	.162

5.2.2.7	Deflokulan ve Ponza Katkısının Lineer Genleşme Katsayısına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.	167
5.2.2.8	Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Mikroyapıya Etkilerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.	170
5.2.2.9	Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Petrografik Yapıya Etkilerinin Polarize Mikroskopla İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.	188
5.2.2.10	Pişme Sıcaklığı ve Ponza Katkısının Mineorolojik Yapıya Etkilerinin X-Işınları Difraksiyon Analizleri ile İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.	197
5.2.3	Mekanik Özelliklerin Değerlen- dirilmesi ve İrdelenmesi.	200
5.2.3.1.	Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Eğilme Dayanımına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.	200
5.2.3.2.	Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Basınç Dayanımına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.	207
5.2.3.3	Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının, Dinamik Elastisite Modülüne Etkisinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi.	217
BÖLÜM 6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.	225
KAYNAKLAR		232
EK A. TABLOLAR		240
EK B. MIP GRAFİKLERİ		261
EK C. EDAX ANALİZLERİ		268
EK. D. X IŞINLARI DİYAGRAMLARI		277
ÖZGEÇMİŞ		281

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1.Şematik Gösterim (a) Tek Silikat Tetrahedra ve (b) Silikat Levha Yapısı.....	5
Şekil 4.1. Kilin Granülometrik Eğrisi	49
Şekil 4.2. Kilin X-Işınları Difraktometre Diyagramı Q=Kuars Ka= Kaolen	52
Şekil 4.3. Çalışmada Kullanılan Killerin DTA ve TG Kayıtları	55
Şekil 4.4. Kaolenin Gelişme-Rötre Eğrileri 1) Alüminyumlu kaolen (ticari Arvor kaoleni) 2) Silisyumlu kaolen (Barbieres kaoleni) 3) Silisli kaolenitik kil (Provins kili)...	57
Şekil 4.5. Kullanılan Orjinal ve Katkılı Kilin Genleşme Büzülme Eğrileri (a) Isıtmadaki Eğrileri (b) Soğutmadaki Eğrileri	59
Şekil 4.6. Ponza Taşı İnce Kesiti a) Biyotit ve hornblend oluşumları b) Boşluk ve akma yapısı belirgin c) Boşluk yapısı belirgin ve mineraller mevcut	63
Şekil 4.7. Ponza Taşının X-ışınları Difraksiyon Diyagramı, Ka= Kaolen, Q= Kuvars, F= Feldspat, O= Opal (A-CT)	64
Şekil 4.8. Toplam % 3.08 P205 ve NaOH Katkısı ile Hazırlanmış ve 1000 °C de Pişirilmiş Numune (Kırık yüzeyden görünüş)	71
Şekil 4.9. Ekstrüzyon Cihazı	74
Şekil 4.10. Ponza, Kil Karışımı, Hazırlama Süreci....	74
Şekil 4.11. Ponza, kil Karışımı, Hazırlama Süreci....	75
Şekil 4.12. Ekstrüzyon Cihazı ile Şekillendirme.....	75
Şekil 4.13. Linseis DL76 Tipi Standart Dilatometre (Fırın, Rekorder, Amplifikatör ve Fırın Kumandası	78

Şekil 4.14. Üniversal Pres	86
Şekil 4.15. Boyuna Şekil değiştirme Ölçme Düzeni.....	86
Şekil 5.1. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Hazırlanan Katkısız Karışımların Genleşme-Büzölme Eğrileri (a) Isıtmadaki Eğriler (b) Soğutmadaki Eğriler	90
Şekil 5.2. Fuller parabolüne Uygun Ponzalarla Hazırlanan Deflokulan Katkıllı Karışımların Genleşme-Büzölme Eğrileri (a) Isıtmadaki Eğriler (b) Soğutmadaki Eğriler.....	91
Şekil 5.3. % 50 Hacim Oranında 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Hazırlanan Katkısız ve 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Hazırlanan Katkıllı Karışımların Genleşme-Büzölme Eğrileri (a) Isıtmadaki Eğriler (b) Soğutmadaki Eğriler	94
Şekil 5.4. Deflokulan Katkıllı Ponzasız Tuğlalar.....	96
Şekil 5.5. Fuller Parabolüne Göre % 90 Hacim Oranında Üretilen Katkıllı Tuğlalar	96
Şekil 5.6. Ponza ve Deflokulan Katkıllı Tuğlalar a) 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalardan % 53 Ponza Hacim Oranında Üretilen Katkıllı Tuğlalar b) 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalardan % 70 Ponza Hacim Oranında Üretilen Katkıllı Tuğlalar	96
Şekil 5.7. Deflokulan Katkısız ve Ponzasız Tuğlalar..	97
Şekil 5.8. Fuller Parabolüne Göre % 90 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlalar	97
Şekil 5.9. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalardan Üretilen Deflokulan Katkısız Tuğlalar a) % 53 Ponza Hacim Oranı b) % 70 Ponza Hacim Oranı	97
Şekil 5.10. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Birim Hacim Ağırlılığa Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı.....	101

Şekil 5.11.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Birim Hacim Ağırlığına Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkılı	101
Şekil 5.12.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalardan Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Birim Hacim Ağırlığına Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkılı.....	102
Şekil 5.13.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Birim Hacim Ağırlığına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı.....	102
Şekil 5.14.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkılı	108
Şekil 5.15.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı.....	108
Şekil 5.16.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkılı	109
Şekil 5.17.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	109
Şekil 5.18.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	110
Şekil 5.19.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	110
Şekil 5.20.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	111

Şekil 5.21.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı	111
Şekil 5.22.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı.....	121
Şekil 5.23.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı	121
Şekil 5.24.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi, (a) Katkısız (b) Katkıllı	122
Şekil 5.25.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı	122
Şekil 5.26.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı	123
Şekil 5.27.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkıllı	123
Şekil 5.28.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkıllı	124
Şekil 5.29.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız, (b) Katkıllı	124
Şekil 5.30	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkıllı	125
Şekil 5.31.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkıllı	125

Şekil 5.32.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	126
Şekil 5.33.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	126
Şekil 5.34.	Katkısız ve Ponzasız Referans Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı.....	129
Şekil 5.35.	Katkılı ve Ponzasız Referans Tuğlalarda Kılcal Su Emme- Zaman Diyagramı	129
Şekil 5.36	Ponzasız ve Katkısız Referans Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi İle Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi.....	133
Şekil 5.37.	Ponzasız Katkılı Referans Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi İle Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi	134
Şekil 5.38.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı..	140
Şekil 5.39.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla % 70 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı.....	141
Şekil 5.40.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı	142
Şekil 5.41.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Hacim Oranının Kapilarite Katsayısına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	146
Şekil 5.42.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı.....	148
Şekil 5.43.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 70 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı.....	149

Şekil 5.44. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı.....	150
Şekil 5.45. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 90 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı.....	151
Şekil 5.46. Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi ile Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi.....	152
Şekil 5.47. Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi ile Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi	154
Şekil 5.48. Boşluk Boyut Dağılımı Eğrileri (1) 850 °C de Pişen Referans Katkısız Tuğla (2) 850 °C de Pişen Fuller'e Göre % 80 Hacim Oranlı Katkısız Tuğla	155
Şekil 5.49. Boşluk Boyut Dağılımı Eğrileri (1) 950 °C de Pişen Referans Katkılı Tuğla (2) 1000 °C de Pişen Fuller'e Göre % 80 Hacim Oranlı Katkısız Tuğla	155
Şekil 5.50. 1/2 mm Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı.....	158
Şekil 5.51. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	158
Şekil 5.52. 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	159
Şekil 5.53. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	159

Şekil 5.54. Fuller Parabolüne Göre Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Hacim Oranının Isı İletkenliğe Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı.....	163
Şekil 5.55. 850 °C de Pişen Ponzasız Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı (a) (b) Akma Yapısı, ekstrüzyon yönlenmesi (c) % 99 SiO ₂ içeren bölge	171
Şekil 5.56. 950 °C de Pişen Ponzasız Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı (a) Yönlenmiş boşluklar (b) Yarıklar şeklinde gelişmiş boşluklar (c) Boşlukların yakından görünüşü.....	173
Şekil 5.57. 850 °C de Pişen Ponzasız Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı (a), (b) Boşlukluluk yok-extrüzyon yönlenmesi belirgin (b) Al ₂ O ₃ yoğunluklu lifsel bölge.....	175
Şekil 5.58. 950 °C de Pişen Ponzasız Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı (a) Genel yapı (b) Al ₂ O ₃ yoğunluklu kristalize bölge (c) Boşluk yapısı	177
Şekil 5.59. 850 °C de Pişen, Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı (a) Genel Yapı (b) BEI görüntüsü	179
Şekil 5.60. 950 °C de Pişen, Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı (a) Ponzasız bölge (b) Ponzanın boşluklarını dolduran pişmiş kil (c), (d), (e) Ponza matriks-pişmiş kil birleşimi	181 182
Şekil 5.61. 850 °C de Pişen, Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı (a) (b) Ponza-Pişmiş Kil Birleşimi (c) Ponzasız bölge	184
Şekil 5.62. 950 °C de Pişen, Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı	186

Şekil 5.63.	2/2.36 mm Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen ve 950 °C de Pişen Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı (a) Ponza taneleri birleşimi (b) Ponzanın boşluklarına dolan pişmiş kil ..	186
Şekil 5.64.	2/2.36 mm Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen ve 950 °C de Pişen Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı	187
Şekil 5.65.	Ponzasız Katkısız Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü (a) 850 °C (b) 950 °C	191
Şekil 5.66.	Ponzasız Katkılı Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü (a) 850 °C (b) 950 °C	191
Şekil 5.67.	Fuller Parabolüne Göre Hacimce % 80 Ponza İle Üretilen Katkısız Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü (a) 850 °C-paralel nikol (b) 950°C -paralel nikol	194
Şekil 5.68.	Fuller Parabolüne Göre Hacimce % 80 Ponza ile Üretilen Katkılı Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü (a) 850 °C -paralel nikol (b) 950 °C -bazaltik kayaç-paralel nikol	194
Şekil 5.69.	950 °C de Pişirilen Fuller Parabolüne Göre Hacimce % 80 Ponza İle Üretilen Katkılı Tuğlanın Polarize Mikroskop Altında Görünüşü (a) Paralel nikol, (b) çapraz nikol	195
Şekil 5.70.	950 °C de Pişirilen, 2/2.36 mm Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü (a) Katkısız - paralel nikol (b) Katkılı - paralel nikol	195
Şekil 5.71.	Ponzasız Katkısız Tuğlanın X-Işınları Difraktometre Diyagramı (a) 850 °C (b) 950 °C Q= Kuvars, C= Kil minerali,	198
Şekil 5.72.	Fuller parabolüne Göre % 80 Hacim Oranındaki Ponzalarla Üretilen Katkısız Tuğlanın X-Işınları Difraktometre Diyagramı (a) 850 °C (b) 950 °C Q= Kuvars, C= Kil minerali, F= Feldspat ...	199

Şekil 5.73.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda, Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	201
Şekil 5.74.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda, Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	201
Şekil 5.75.	2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda, Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	202
Şekil 5.76.	Fuller Parabolüne Uygun ponzalarla Üretilen Tuğlalarda, Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	202
Şekil 5.77.	1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	210
Şekil 5.78.	2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	210
Şekil 5.79.	2.236/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	211
Şekil 5.80.	Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	211
Şekil 5.81.	Katkısız Referans Tuğlaların Gerilme- Şekil Değiştirme Eğrileri	222
Şekil 5.82.	% 90 Hacim Oranında Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Katkısız Tuğlaların Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri	222
Şekil 5.83.	% 90 Hacim Oranında Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Katkılı Tuğlaların Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri	223

Şekil 5.84. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla % 50 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlaların Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrileri	223
Şekil 5.85. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda, Ponza Hacim Oranı ve Pişme Sıcaklığı E_d Modülüne Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı	224



TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1. Kilin Pişme Aşamaları ve Oluşan Değişimler	8
Tablo 2.2. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları	10
Tablo 4.1. Ponzataşı Hafif Agregası Su Emme Değerleri..	61
Tablo 4.2. Ponza Taşının Granülometri Değerleri	66
Tablo 4.3. Üretilen Tuğlaların Kristal Suyu Yüzde- leri ve Birim Hacim Ağırlıkları	68
Tablo 5.1. MIP Uygulanan Numunelerin Boşluk Çapı Dağılımları.....	132
Tablo A.1. Doğrusal Kuruma Küçülmesi	241
Tablo A.2. Toplam Doğrusal Küçülme	242
Tablo A.3. Kapilarite Katsayısı	243
Tablo A.4. Toplam Boşluğa Oranla Kılcal Boşluk Yüzdesi	244
Tablo A.5. Atmosfer Basıncında Ağırlıkça Su Emme	245
Tablo A.6. Atmosfer Basıncında Hacimce Su Emme (Görünür Porozite)	246
Tablo A.7. Birim Hacim Ağırlık	247
Tablo A.8. 2 Saat Kaynatarak Ağırlıkça Su Emme	248
Tablo A.9. 2 Saat Kaynatarak Hacimce Su Emme	249
Tablo A.10. Ağırlıkça Doyma Katsayısı	250
Tablo A.11. Hacimce Doyma Katsayısı	251
Tablo A.12. Özgül Ağırlık	252
Tablo A.13. Gerçek Porozite	253
Tablo A.14. Isı İletkenlik Katsayısı	254

Tablo A.15. 800 °C de Pişirilen Tuğlaların Belli Sıcaklık Aralıkları İçerisindeki Genleşme Katsayıları	254
Tablo A.16. Rezonans Frekansları ile Bulunan Elas- tisite Modülü	255
Tablo A.17. Ultrases Hızı	256
Tablo A.18. Ultrases Hızı İle Bulunan Elastisite Modülleri	257
Tablo A.19. Eğilme Dayanımı	258
Tablo A.20. Basınç Dayanımı	259
Tablo A.21. Elastisite Modülü (Basınç Deneyi İle Bulunan)	260

ÖZET

Bu çalışmada hafif doğal bir taş olan ponza katkısı ile hafifletilmiş tuğla üretim koşullarının araştırılması ve elde edilen ürünlerin fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etken olan boşlukluluk ve mikroyapı özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

Tez altı bölümden oluşmaktadır. İlk bölüm giriş bölümü olup konunun kısa bir tanıtımı yapılmakta üretimde kullanılan malzemelerin seçiminde etken olan faktörlere değinilmektedir.

İkinci bölümde seramikler, pişmiş toprak malzemelerin ana maddesi olan kil mineralleri ve gerek hafifletme gerekse de başka amaçlarla kile katılan katkıları ve hafifletme yöntemleri hakkında genel bilgiler verilmektedir.

Üçüncü bölümde öncelikle hafifletici katkıları olmak üzere çeşitli katkıların tuğla kiline ilavesi ile ilgili çalışmalar hakkında yayın taraması yapılmıştır.

Üretimde kullanılan malzemelerin özelliklerinin tanımlanması, ponza katkılı tuğla üretimi ve üretilen numuneler üzerinde yapılan deneyler dördüncü bölümde açıklanmıştır. Beşinci bölümde ise, üretilen pişmiş toprak malzemenin, fiziksel, mekanik, mineorolojik petrografik ve mikroyapı özellikleri, deflokulan ve ponza katkısı, pişme sıcaklığı ve ponza hacim oranı gibi parametrelerin etkisi açısından incelenmekte ve elde edilen sonuçlar irdelenmektedir.

Genel sonuçları içeren altıncı bölümde ponza katkılı tuğlaların saptanan özellikleri ve bu özellikler arasındaki ilişkiler toplu olarak değerlendirilmiştir.

Ponza katkısı ile gelen düşük basınç dayanımı değerlerinin, deflokulan ve özellikle 0.5 mm den küçük dane çaplı ponzalarında kullanılması ile arttırılabileceği ve böylelikle basınç dayanımları da kontrol altına alınmış hafif ve termal yalıtım özellikleri geliştirilmiş tuğla üretiminin ponza katkısı ile de mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

SUMMARY

THE PRODUCTION OF BRICKS WITH PUMICE ADDITIVE AND THE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND PORE PROPERTIES OF THESE BRICKS

Especially in recent years the development of modern construction systems and prefabrication, rapid urbanization and the construction of higher buildings necessitated to save weight particularly on the external walls and inner partitions of the building. Therefore this makes it necessary either to give up or modify the traditional heavy construction materials such as clay brick. The bricks which were made lighter by the perforations are partially adequate for this necessity. But it is a well-known fact however that a decrease in the brick density by increasing the perforation volume generally do not improve the thermal insulating properties which are the basic cause for the need of lightweight bricks. Thus, it seems more plausible and worth examining to reduce the brick's bulk density by pore-forming of the ceramic body.

In foreign countries, the production of light weight bricks by adding organic materials particularly like polystyrene, sawdust, and paper making sludge is quite widespread. But the use of these organic and combustible materials bring about some disadvantages. The incomplete combustion of these materials can stimulate organic material emissions in the pre-heating zone of the tunnel kiln. These especially comprise organically bonded pollutant carbon compounds, benzol, phenol and formaldehyde and diffuse into the atmosphere via the exhaust gases.

In Turkey the production of light weight brick through this way is only substantiated with polystyrene and under the commercial title of İzotuğla. In addition, even in foreign countries, the use of inorganic materials as pore-forming and lightening additives is a new application. These natural inorganic materials are rather artificial aggregates that are produced with added energy from natural materials such as perlite and vermiculite.

Whereas in Turkey pumice which is a natural lightweight aggregate is abundantly available. When we handle the subject from a different point of view, that is, from the view of the effective use of existing sources, it seems possible that admixture of this light weight aggregate to brick clay, makes it possible to use this aggregate economically and to produce lightweight bricks with improved thermal insulation properties. And with this application, energy and housing deficit

problems of Turkey under existing socio-economic circumstances can be solved partially. Because one of the most important advantages that is brought about with the use of lightweight bricks is the energy conservation through thermal insulation properties.

In the light of the above identified reasons, the investigation of the production conditions of the bricks with pumice additive as an alternative for the other pore-forming materials and lightweight bricks is the main goal of this study. Beside this, with porous materials like brick and concrete, the importance of the pore system developed in the materials body and the microstructures type that affects the other properties of the material is known. For this reason, in this investigation too, the experiments and the investigations about the bricks with pumice additive handles the porosity, pore size distribution and micro-structure beside the utility of these bricks.

The study is presented in six chapters. The first chapter is the introduction part in which a short explanation of the subject matter is made and the factors that affect the selection of the materials used in the production are mentioned. In the second chapter the general knowledges about the ceramics, clay minerals which are the raw material of the fired clay materials and their characteristics are given. The most important clay properties are listed as plasticity, cohesion, thixotrophy, shrinkage and colour. Also in this section in addition to the essential clay minerals the accessory minerals they contain that influence the behaviour and utility of a clay, are dealt with. It is stated that, the most common minerals among these are quartz, feldspars and minerals containing iron, lime, alkali and soluble salts. Again in this chapter, the materials that are added to clay with different purposes are classified generally. Among those the materials that lighten the brick and develop the thermal properties of it are emphasized and the pore-forming methods are stated since they are related to the subject matter of the study.

These methods are :

- 1) The addition of inorganic materials which themselves are also porous and lightweight or organic materials that leave behind pores in the ceramic body by carbonizing during firing.

- 2) Pore-forming by chemical and mechanical foaming methods and techniques.

In the third chapter there is an overview of the relevant literature. The studies dealt with in this chapter are classified in three categories. These studies are about the adding of the below materials to brick clay:

- . Pore-forming additives,
- . Opening additives,
- . Industrial wastes with no pore-forming effect.

The properties of the materials used in the production, the production of the bricks with pumice additive and the experiments on the produced specimens are explained in the fourth chapter.

In the analysis done for the determination of the properties of the clay used, it is found that the 57 % of clay consists of particles smaller than 2μ , its true density is 2.70 gr/cm, the plastic limit is 23 % and the liquid limit is 54 %. As a result of X-Ray analysis it is found that, it is a clay mineral of the kaolinite group and beside this, it contains a great proportion of quartz mineral. In the experiments on the pumice lightweight aggregate extracted in the vicinities of Nevşehir region, the true density of this aggregate is determined as 2.41 gr/cm, the bulk density of pumices of the 2/4 mm particle group is determined as 0.93 gr/cm in dry state and the compressive strength of them is 8.3 N/mm².

In this study the effects of pumice additive on the mechanical and physical properties of the brick are examined in two different aspects;

1) The effect of pumice particle size;

a) From the pumices with different particle sizes fitting the existing sieve set is obtained three groups of 1.2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm. It is accepted that smaller than 1 mm. particle size has no effect on the bulk density and accordingly it is not used,

b) Since it is thought that by using each of the particle groups one by one it would be quite difficult to make production in natural conditions, to mix all the particle sizes with the biggest aggregate size as being 4 mm. is planned. With this purpose, the aggregate granulometre suitable the Fuller parabola which is taken as the reference curve in the concrete mix design is accepted as the basis; and with the idea that the aggregate smaller than 1 mm particle size would increase the strength by getting into the pores between the particles, adding powdered pumices with small particle sizes to this mixture seemed suitable

2) The effect of pumice volume;

All of the below as being in fired state;

. 50 %	pumice,	50 %	fired clay	by volume
. 53 %	"	, 47 %	"	" " "
. 60 %	"	, 40 %	"	" " "
. 70 %	"	, 30 %	"	" " "

fractions and in the 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm particle groups are produced. In these groups it was not possible to produce more than 70 % by volume fraction of pumice with the extrusion method. In the mixtures made according to Fuller parabola, since there is aggregate with finer sizes it is thought that the volume fraction smaller than 60 % would not provide enough reduction in the bulk density; accordingly, the mixtures were first begun with 60 % pumice volume fraction and then by increasing 10 by 10 there obtained four different mixtures up to 90 % pumice volume fraction.

The clay-pumice mixtures, prepared with above listed ratios and particle sizes are shaped by extrusion method and it is formed prismatic samples with the dimensions of 4x4x16 cm. To research the effects of firing temperature on the properties they are fired at temperatures of 800°C, 850°C, 900 C, 950 C and 1000 °C.

In the preparation of clay, a second method is tested; the clays are dispersed in the water by using deflocculants. Deflocculant proportions are 0,867 gr phosphor pentoxide (P_2O_5) against 1.29 gr sodium hydroxide (NaOH) and they are added to clay so as to make the total additive proportion 2.12 %. For examining the effects of deflocculant additive on the physical and mechanical properties of the bricks, P_2O_5 and NaOH added clay is produced with the above mentioned pumice mixture fractions and firing temperatures.

The linear drying shrinkages of all the prepared specimens are calculated and the dilatometric analysis is applied only on the specimens produced according to Fuller parabola. The physical tests that performed on the fired specimens are shrinkage, capillary absorption, absorption in atmospheric pressure, absorption by boiling 2 hours and true density. After these tests the bulk density, capillary pore percents, apparent and true porosities and saturation coefficient of the specimens are also calculated.

Thermal conductivity experiment is performed on only the non-pumice added bricks fired at 850 °C and 950 °C and bricks produced according to the Fuller parabola.

The cylindrical specimens of 8x50 mm dimensions with the same mix design but fired at 800 °C are again dilatometrically analyzed and linear expansion coefficients are calculated. Related to the micro-structure on some of the selected specimens Mercury Intrusion Porosimetry (MIP), Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive Spectrometer (EDAX) tests are made; and for the determination of the petrographic and mineralogical structure a number of researchs are performed with polarised microscope and X-Ray Diffractometer.

Firstly the longitudinal resanance frequency and then the ultrasound velocity of all the prismatic specimens are measured with ultrasonic instrument. From these measurements two different elasticity moduli, E_u and E_r are calculated.

The mechanical tests applied are simple beam flexure and compressive strength tests. On the two of the each three compressive strength test applied specimens, modulus of elasticities are recalculated through the readings of compactions in length by means of a comparator. In calcuting the elasticity moduli the following method is followed : By disregarding some first points in the stress-strain curves, linear regression according to least squares method is performed up to the point they show linear behaviour and the slope of the regression line is specified as elasticity moduli.

In the fifth chapter, the physical, mechanical, mineralogical, petrographic and microstructural properties of the bricks are examined from the view of the four parameters which are the deflocculant and pumice additive, firing temperature and pumice volume fraction and the obtained results are evaluated and discussed through graphics.

In the sixth chapter covering the general results, the properties of the bricks with pumice additive and the relations between these properties are evaluated substantially and the important results are grouped as follows :

- 1) The results related to physical, mechanical and micro-structural properties :

. The physical properties of all the produced pumice added and without pumice brick series react against the change of firing temperature in the same way. As the firing temperature increases, shrinkage, bulk density and ultrasound velocity increase, normal and boiling absorption capacities and porosity decrease. The

capillarity and sorptivity increase as the firing temperature increases in most of the specimens. However, as seen in the deflocculant added reference bricks and bricks produced with pumices granulometrically suitable Fuller

parabola with a 90 % volume fractions, when the firing temperature increases, vitrification and as a consequence of this, with the closing of capillary shaped pores, the capillarity decreases. Sometimes by incomplete fusion the pores existing in the material's structure becomes finer instead of closing and capillarity increases. As a result is found that capillarity and capillary absorption is not only affected from the firing temperature and porosity but also the geometrical shape and size of pore structure.

. In the researchs done with the scanning electron microscopy it is seen that with pumice additive, the pores in the brick's body are generally formed between pumice and matrix and many times they appear as circular or continious capillary pores which are developed as a result of the shrinkage of the clay getting into the pores of pumice. From the results of the measurements done with mercury intrusion porosimetre, it is found that firing temperature and pumice additive factors, affects and modifies the sizes and distrubutions of the pores: By pumice additive and by increasing firing temperature, the maximum of penetration shifts in the direction of larger pores.

. Because of the interior fissures caused by the production defects, in the bricks produced with the pumices that have diameters of 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm, firing temperature has no effect on the mechanical strength : Whereas including the reference bricks and with a few exceptions in the bricks produced with pumices granulometrically suitable Fuller parabola, compressive strength increases as the firing temperature increases.

. The effects of deflocculant and pumice additive on the properties of the bricks without additive are totally different from each other: Deflocculant additive makes the clay body fuse and vitrify and then the bulk density, ultrasound velocity and compressive strength of the fired product increases while the porosity decreases. Whereas with pumice additive the apparent pores, pore sizes, porosity and termal insulating capacity of the with and without deflocculant bricks increase while the bulk density and mechanical strength decrease.

. With the bricks produced with pumices granulometrically suitable Fuller parabola, as the volume fraction of pumice increases, as an effect of less than

0,5 mm particle sized pumices, bulk density, ultrasound velocity and mechanical strength increase while porosity and absorption decrease. This effect is much more clear on the bricks without deflocculant additives. In the bricks with deflocculant, with an increase in the volume fraction of pumice additive, there is a substantial increase in compressive strength, while the physical properties and flexural strength is not changed.

2) General Results :

. While the bricks without deflocculant produced in the 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm particle sizes are much more effective in reducing the bricks bulk density in comparison to the other types, many of them couldn't provide limiting compressive strength values of a masonry brick should possess. Therefore these bricks can only be produced with deflocculant additive. In the same production conditions, since the mechanical strengths of the deflocculant added bricks usually decrease at high firing temperatures for these also the optimum firing temperature is determined as 850 °C.

.Beside all these, the use of the bricks produced with pumice 60 % and 70 % volume fractions and granulometrically suitable Fuller parabola should be preferred since their compressive strength limits are more dependable and they give nearly the same bulk density and thermal conductivity values with the bricks produced with single type particle size pumices.

. With the bricks prepared with pumices of 80 % and 90 % volume proportion granulometrically suitable Fuller parabola and with firing at high temperatures like 950 °C and 1000 °C, there is a little decrease in the bulk density; while it is possible to produce bricks with low porosity and water absorption even lower than bricks without pumice additive. With the suitable chosen places the use of the bricks of this quality would be very beneficial in making use of small particle size pumices which are quite widespread in Turkey.

. The low strengths as a results of pumice additive, can be increased with deflocculant additive and with the use of different sized and particularly smaller than 0,5 mm. particle size pumices.

Consequently it is concluded that, through the use of deflocculant and the change of the size distribution of pumice added to clay, it is possible to produce light weight bricks with improved insulating properties and sufficient compressive strength.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

Pişmiş toprak ürünlerin sunduğu avantajların tümünü üzerinde toplayan tuğlanın, geleneksel yapı sistemlerinde , oldukça önemli bir yeri vardır. Bu sistemlerde tuğla yapının, gerek yapı fiziği açısından, gerekse taşıyıcılık açısından, birçok gereksinimini karşılayabilecek niteliktedir.

Pişmiş toprak malzemenin, birçok malzemedan üstün olduğunu gösteren en büyük avantajı ise dayanıklılığıdır. Gerçekten 10000 yıllık geçmişleriyle en eski teknolojilerden biri olan çömlekçiliğin uzun yıllar boyunca ayakta kalması bunun kanıtıdır [1,s.1].

Çağdaş yapı sistemlerinin ve prefabrikasyonun gelişimi, özellikle son yıllarda hızlı şehirleşme nedeni ile yüksek binaların yapılması, yapının taşıyıcılığına katkısı olmayan bölme ve dış duvar elemanlarının hafifletilmesi gerekliliğini ortaya koymuştur. Bu da tuğla gibi ağır geleneksel yapı malzemelerinin ya terk edilmeleri ya da modifiye edilmeleri zorunluluğunu getirmektedir.

Düşey veya yatay deliklerle üretilerek ağırlığı azaltılan tuğlalar bu gereksinimi nispeten karşılamış durumdadırlar. Ancak hafif tuğlalara duyulan gereksinimin en temel nedeni olan termal yalıtım özeliğinde bir gelişme sağlamadıkları da bilinen bir durumdur. Bunun için tuğlanın birim yoğunluğunun azaltılması yolu ile hafifletilmesi daha mantıklı ve araştırılmaya değer olarak görülmüştür [2].

Dış ülkelerde özellikle pişme esnasında yanarak geride boşluk bırakan, polistren köpüğü, talaştözü, kömür tozu vs. gibi organik malzemelerin ilavesi ile hafif tuğla üretimi oldukça yaygındır. Ancak, daha ileriki bölümlerde daha detaylı olarak değinileceği gibi bu organik yanıcı maddelerin kullanımı bazı dezavantajları da birlikte getirmektedir.

Yurdumuzda bu anlamda hafif tuğla üretimi ise sadece polistren köpüğü tanelerinin ilavesi ile ve izotuğlatıcı adı altında yapılmaktadır. Bunun yanında inorganik malzemelerin boşluk oluştürücü ve hafifletici katkılar olarak denenmeye başlamasının dış ülkelerde bile çok fazla bir geçmişı yoktur. Bu doğal inorganik katkı maddeleri ise daha çok, ilave bir enerji ile doğal malzemelerden üretilen perlit ve vermikulit gibi yapay agregalardır.

Yurdumuzda ise hafif agregaların içerisinde en bol bulunan doğal hafif bir agrega olan ponzataşıdır.

Konuya, bir başka açıdan, mevcut kaynakların verimli kullanılması açısından baktığımız zaman ise bu hafif agreganın tuğla kiline katılması ile hem ekonomik yönden değeriendirilmesi ve hem de yapı fiziğı özellikleri geliştirilmiş hafif tuğla üretiminin mümkün olacağı görölmektedir. Ayrıca ülkemizin içinde bulunduğı sosyo-ekonomik koşullar altında enerji ve konut açıklarının yarattığı sorunlara da bir ölçüde katkıda bulunulabilecektir. Çünkü, hafif tuğlaların kullanımı ile gelen en önemli faydalardan biri de yüksek termal yalıtım özelliklerinin sağladığı enerji tasarrufudur.

Yukarıda belirlenen gerekçelerden hareket edilerek diğer hafifletici katkılara ve hafif tuğlalara bir alternatif malzeme olarak ponza katkılı tuğla üretim koşullarının araştırılması bu çalışmada esas amaç olmuştur. Ancak malzemelerin özellikleri birbirleriyle ilişkili olduğundan ve ısı yalıtkanlık ve hafiflik gibi karakteristik bir avantajın, karakteristik bir dezavantajı birlikte getirdiği de bir gerçektir. Bu dezavantaj ise birçok literatürde belirtildiği gibi hafif katkı maddelerinin tuğla kiline ilavesi ile mekanik dayanımlardaki azalmadır.

Ponza katkısı ile tuğlanın mekanik dayanımlarının azalacağı noktasından hareket ederek, ponzanın yanında mukavemet arttırıcı ve aynı zamanda kilin hazırlanması sürecinde kolaylık sağlayan ve deflokulan maddeleri olarak anılan P_2O_5 , NaOH ve teknik amonyaktan oluşan bazı kimyasalların belli oranlarda tuğla kiline katılması öngörülmüş ve bu araştırmanın deneysel bölümünü oluşturan kil ponza karışımlarının yanısıra bir seri deflokulan ve ponza katkılı tuğlalar da üretilmiştir. Ponzalar ise, belli dane gruplarına ayrılarak ve özellikle daha ileriki çalışmalarla kompozit teorilerine oturtulabilmeleri açısından, pişmiş duruma göre belli hacim oranlarında kile katılmışlardır.

Tuğla ve beton gibi taş yapılı malzemelerde, mikroyapının tipinin ve özellikle malzeme bünyesinde gelişen boşluk sisteminin, malzemenin diğer özellikleri üzerindeki etkisinin önemli olduğu bilinmektedir. Bu nedenle bu çalışmada da, üretilen ponza katkılı tuğlalar üzerinde yapılan deneyler ve incelemeler, bu tuğlaların kullanılabilirliklerinin yanısıra, boşlukluluk, boşluk boyut dağılımı ve mikroyapı üzerinde yoğunlaştırılmıştır.

BÖLÜM 2 SERAMİKLER VE HAFİFLETİLMİŞ TUĞLALAR

Bu bölümde, tuğlaların seramik malzeme grubuna girmesi nedeni ile önce genel özellikleri açısından seramikler, daha sonra, pişmiş toprak ürünlerin ana maddesi olan kil minarelleri üzerinde durulmuş ve son olarak da tuğlayı hafifletme yöntemleri anlatılmıştır.

2.1. Seramiklerin Genel Özellikleri ve Sınıflandırılması

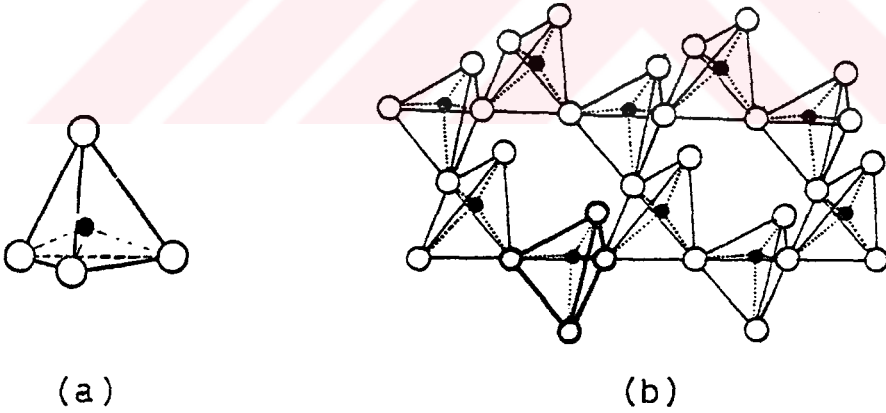
Seramikler genel anlamda metal ve metal olmayan elemanlardan oluşan inorganik bileşiklerdir. Bu durum sadece çanak, çömlek, porselen, refrakterler, strüktürel kil ürünleri, aşındırıcılar, emaye, çimentolar ve camlar gibi malzemeleri değil, aynı zamanda metalik olmayan magnetik malzemeler, ferroelektrikler, tek kristaller ve mevcudiyeti yakın zamana kadar bilinmeyen birçok ürünü de kapsar [3, s.3].

Seramiklerin bileşiminde çoğunlukla değişik türde silikatlar, alüminatlar ve bunların yanında bir miktar metal oksitleri bulunur. Bu bileşikler genellikle iyonsal bağa, bazıları iyonsal bağla kovalan bağın karışımına sahiptirler [4, s.280]. İyon bağları seramik malzemeye oldukça yüksek stabilite verirler [5, s.22].

Seramiklerde serbest elektron bulunmaması nedeni ile bu malzemelerin ısı ve elektrik geçirgenliğine karşı dirençleri fazladır. Yüksek sıcaklıklarda, iyonlar arasındaki uzaklığın artması ile iyonik bağların zayıflaması sonucunda bir kısım seramikler elektrik iletkenliği kazanırlar. Ayrıca atomlar arasındaki bağların kuvvetli olması nedeni ile kimyasal etkenlere karşı da büyük dayanıklılık gösterirler [6, s.24].

Seramikler genellikle çok sert ve gevreklerdir. Basınç mukavemetleri çok yüksek olmakla beraber çekme mukavemetleri çok düşüktür. Gevrek olduklarından iç yapı kusurları, çentikler, çizikler ve mikro çatlaklar gerilme yığılmasına neden olur, dolayısıyla çekme etkisinde kolay kırılırlar [4, s.287].

Beton, tuğla, kiremit, cam ve porselen gibi birçok seramik yapı malzemesinin temel bileşenleri silikatlardır. Silikat yapılarının esası, düzgün dörtyüzlüden oluşan SiO_4 elemanıdır. "Si" dörtyüzlünün merkezinde "O"lar ise tepesinde bulunur (Şekil 2.1.a). Ancak muhtelif oksijen atomları üzerinde bu dörtyüzlülerin (tetrahedra) birleşmesi ile çok farklı yapıda yeni silikatlar teşekkül eder [7, s.111]. Bunların başlıcaları çift tetrahedral yapısı, zincir yapısı, levha yapısı ve kafes yapısıdır.



O: Oksijen

●: Silisyum

Şekil 2.1. Şematik Gösterim (a) Tek silikat tetrahedra [8, s.44] ve (b) Silikat levha yapısı [6, s.27].

Bu silikat tetrahedral birimlerinin bir düzlem boyunca birbirlerine eklenmesi ile oluşan levha yapı, mika, talk ve pişmiş toprak seramiklerin ana maddesi olan kil mineralini oluşturur [5, s.233] (Şekil 2.1.b). Bu değişik minerallerde tabakalar, değişik ikincil kuvvetler tarafından birarada tutulur, fakat tabakalar arası bağ, tabakalar içi bağdan daha zayıftır. Mikanın dilinimi, talkın yağlama özeliği, kilin plastikliği, hep bu, ikincil, tabakalar arası, zayıf kuvvetlerden dolayıdır [9, s.214].

Seramik malzemeler, genellikle fonksiyonlarına göre bir sınıflandırmaya tâbi tutulurlar. Bunları şöyle sıralayabiliriz. Saf oksit seramikler, pişmiş kil mamüller, refrakterler, inorganik camlar, devitrifiye (kristalleşmiş) camlar, aşındırıcılar, çimentolar, kayalar, mineraller gibi.

Farklı bir sınıflandırma şekli ise yapısal bir sınıflandırma olarak önerilmiştir: [7, s.110].

- . Kristal seramikler- tek fazlı (örneğin MgO) veya çok fazlı (örneğin $MgO - Al_2O_3$) seramikler,
- . Amorf seramikler (doğal veya yapay inorganik camlar),
- . Cam Bağlı Seramikler (kristalleri camsı bir matriksle bağlanmış seramikler- pişmiş toprak mamüller),
- . Çimentolar (Kristal veya amorf kısımlardan oluşabilen bağlayıcı maddeler)

Pişmiş toprak mamülleri de kapsadıkları için burada sadece cam bağlı seramikler üzerinde durulacak, diğerlerinin detayına girilmeyecektir.

2.2. Cam Bağlı Seramikler (Kristalleri camsı bir matriksle bağlanmış seramikler - pişmiş toprak mamüller)

Cam bağlı seramiklerde seramik kristalleri camlaşmış bir seramik matriksi içinde bulunurlar. Bu bakımdan mikrostrüktürleri oldukça karmaşıktır, ancak özellikler üzerinde camlaşmış yapıdaki matriksin etkisi büyüktür. Pişmiş killeri, tuğla, kiremit, porselen malzemeler ve refrakterler bu gruba girerler [7, s.115].

Cam bağlı seramiklerin ve dolayısıyla tuğla ve kiremit gibi pişmiş toprak yapı malzemelerinin üretiminde kullanılan ana maddeler kil grubu mineralleridir.

2.2.1. Pişmiş Toprak Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanılan Kil Grubu Mineralleri

Kil mineralleri, su ile karıştırıldıklarında plastiklik kazanan, ince dane boyutlu, hidrate alüminosilikatlardır. Kimyasal, mineralojik ve fiziksel özellikler açısından oldukça fazla değişiklikler gösterirler. Genel karakteristikleri tabakalı yapılarıdır. Killerin tümü, birbirleri üzerinden kayabilen elektrik yükü nötr olan alüminosilikat levhalardan oluşurlar. Bütün kil mineralleri ikincil jeolojik orijinlidir, bir başka deyişle su bulunan bir ortamda alüminosilikat kayaları değişim ürünleri olarak ortaya çıkarlar. Birçok kil minerali, hava etkilerinin ve sedimantasyonun ürünleridir, fakat aynı zamanda hidrotermal aktivite ile de oluşabilirler. Kil oluşumuna neden olan proses halen tam olarak anlaşılamamıştır [3, s.18].

Killer, seramik kütleleri üzerinde iki önemli fonksiyonu yerine getirirler. Bunların birincisi, kullanılan birçok üretim prosesinde temel teşkil eden

"plastiklik" başka bir deyişle kil-su kompozisyonlarının oluşum kabiliyeti ve şekil ve mukavemetlerini kuruma ve pişme esnasında koruyabilmeleridir. İkinci olarak, killer kompozisyonlarına bağlı olarak, şekillerini kaybetmeden yoğunlaşarak ve mukavemet kazanarak, bir sıcaklık aralığı içerisinde erirler ve camlaşırlar. Çok saf killer refrakterdirler, saf olmayan killer ise daha düşük sıcaklıklarda erirler [3, s.18-19].

2.2.1.1. Kilin Pişmesi

Kil esaslı seramiklerin üretiminde şu aşamalardan geçilir: Hammaddenin çıkarılması, bekletilerek olgunlaştırılması (çürütme), karıştırılması, şekillendirilmesi, kurutulması ve pişirilmesi.

Pişirmede oluşan aşamaları bir tabloda (Tablo 2.1) toplayabiliriz [7, s.118-119].

Tablo 2.1. Kilin Pişme Aşamaları ve Oluşan Değişimler

Aşama	Sıcaklık Sınırları	Cisimde oluşan değişimler
1. Kuruma	100°C ye kadar	Plastisite suyunun kaybı. Kil rijitleşir, ancak kırılmandır.
2. Dezidratasyon	100°C - 700°C	Kristalizasyon suyunun kaybı, Kaolinit için bu kayıp 450°C ile 510°C arasında meydana gelir.
3. Oksitlenme	550°C - 900°C	Demirli gayrisafliklar Fe_2O_3 'e dönüşür, karbonlu bileşenler ise yanarak kaybolur. (800°C) Kil meta-kaolen'e dönüşür $2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$, Sinterleşme yani (yoğunlaşarak porozite kaybı) başlar, eğer arada alkalin ergiticiler varsa kilin Al_2O_3 fazı, likit faz içinde erimeye başlar.
4. Camlaşma (vitrifikasyon)	950°C den yukarı	Müllit ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ veya $Al_6Si_2O_{13}$) kristalizasyonu başlar, sıcaklık arttıkça müllit kristalleri büyür, camsı faz büzülür ve rötreye neden olur. Tuğlalarda ateşe dayanıklılığı sağlayan bu müllit kristalleridir

2.2.1.2. Killerin Sınıflandırılması

En belirgin kil mineralleri yapıları açısından kaolinit, montmorillonit ve illit grupları altında toplanabilir. Bunlardan başka klorit grubu da birçok kil sedimentlerinin önemli bir bileşeni olarak kil grupları arasında yerini almıştır [3, s.19].

Aşağıdaki tabloda (Tablo 2.2) görülen sınıflandırma killerin kristallografik strüktürüne bağlı olarak belirlenmiştir. [10, s.33]

Bir kilin yapısı esas olarak, ana taşın kimyasal kompozisyonu ve değişimin meydana geldiği bölgedeki fiziksel ve kimyasal ortamla ilişkili olarak belirlenir.

Alkali feldspat, kaolinite dönüşmeye çalışır. Ferromagnezian mineralleri, kalsiyumlu feldspat ve volkanik kül genellikle montmorillonite dönüşür. Kaolinit strüktüründe silisyum ve alüminyumdan başka hiçbir element yoktur, halbuki montmorillonit, illit ve klorit, özellikle magnezyum ve demir olmak üzere, her zaman başka elementleri de içerir.

Ortamin pH'ı, özellikle kil minerallerinin meydana gelmesinde önemlidir. Bundan dolayı, kaolinit, organik asitlerle veya sülfat minerallerinin oksidasyonu ile meydana gelmesi gibi, karakteristik olarak bir asit ortamında oluşur. Özellikle potasyum ve magnezyumun yüksek konsantrasyonlarda bulunduğu yerlerde, hemen her

Tablo 2.2. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması ve Uygulama Alanları

Strüktür tipi	Mineral	Tipik Formül	Uygulama Alanı
2- tabakalı	Kaolinit Nakrit Dikrit Halosit	$Al_2Si_2O_5(OH)_4$ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$	Pişmiş tuğla, çin porseleni, kiremitler ve porselenin ana bileşeni
3- tabakalı genleşmez	İlit (Mika) Klorit	$KAl_2(Si_3Al)O_{10}(OH)_2$ $(MgFeAl)_6(Si,Al)_4O_{10}(OH)_8$	Kalıp kumları; ev tuğlası, kanal boruları Kullanılacak kadar bol değil
3-tabakalı genleşir	Montmo- rillonit Vermikulit	$(Ca,Na)_{0.35-0.7}(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot nH_2O$ $(Mg,Fe,Al)_3(SiAlO_5)_2$	Süspansiyon elemanı, filtreler, dolgu malzemesi Termal yalıtım, paketleme malzemesi
Lifli	Sepiolitik Atapulgit	$Mg_9(Si_2O_5)_6(OH)_6 \cdot 10H_2O$ $Mg_5(Si_2O_5)_4(OH)_2 \cdot 8H_2O$	Süsleme malzemesi olarak oyulur Çamur hamurları için süspansiyon elemanı

ortamda montmorillonit, strüktürel olarak illit ve klorite bağlıdır ve bu minerallere dönüşmeye hazırdır [8, s.19-20].

Genelde, tortulaşma sürecinden itibaren, kil sedimanlarında meydana gelen değişimler, illit ve kloritlerin nihai oluşumu ve kaolinit ve montmorillonitin kaybolması ile sonuçlanır. Bu da, kil ve killi şist kütlelerinin büyük bir bölümünün illit ve klorit mineralleri içermeleri nedeni ile ispatlanmıştır. [3, s.20].

2.2.1.3. Kil Özellikleri:

Değişik kil mineralleri arasındaki benzerlikler ve farklılıklar, bunların kristal yapılarındaki değişikliklerin belirginleşmesi ile anlaşılabilir. Bununla birlikte kristal strüktüre ilaveten, herbir kil danesinin boyut ve şeklinin de seramik özellikleri üzerinde önemli etkileri vardır. Dane boyutu oldukça küçüktür, genellikle 0.005 mm den azdır ve kolloidal boyutlara kadar dağılım aralıkları gösterirler [3, s.20].

Killerin su ile karıştırıldıkları zaman kazandıkları plastiklik özeliği, kilin düzeninin yapısına, kimyasal bileşimine ve kolloidal danelerin baz değiştirme yeteneğine bağlıdır. Bütün bu özellikler kil danelerinin etrafını saran su tabakasının kalınlığından doğar. Kolloidliğin plastiklik üzerindeki etkisi çok fazladır. Nitekim, hidrate demir, alümin ve silisyum oksitlerle birlikte çökelen tortul killer, kaolenlerden daha fazla plastiklik gösterirler. Kilin plastikliği danelerin inceliği oranında artar. Kaolinitlerde partikül boyutları 0.6µm den ve montmorillonitlerde 0.2 µm den küçük olduğu oranda plastiklik fazladır. Plastikliğin artmasını etkileyen diğer önemli özellik de killerin iyondeğiştirme

yeteneğine sahip olmasıdır [6, s.11].

Killerin, seramik malzeme üretimi açısından plastiklik özeliğinden başka diğer özellikleri, kohezyon, renk, rötire ve tiksotropidir.

Kohezyon özeliği, kil kuruduğu zaman, kile, kendisine verilen şekli muhafaza etme niteliği verir. Bu özellik aynı zamanda, kilin pudra haline gelmesini engeller ve kile işlenebilme niteliği kazandırır.

Killer, metal oksitler ve organik maddelerle doğal olarak renklendirilmiş olarak bulunurlar. Kil, saf olduğu zaman (kaolinit) rengi beyazdır. Kilin renginden içerdiği maddeler hakkında kabaca fikir edinmek olanağı vardır. Ancak, bu renkler, killerin piştikten sonra alacağı renk hakkında genellikle bir fikir vermez. Bununla beraber, kilin piştikten sonra alacağı renk, pişme sıcaklığı ile içerdiği demir ve manganez oksit miktarlarına bağlıdır. 900-1250°C arasında, bu renk sarıdan koyu kırmızıya kadar değişebilir [6, s.12].

Kilin yapısındaki daneler arasında bulunan suyun sıcaklık etkisi ile çıkması sonucunda daneler birbirlerine yaklaşırlar ve hatta birbirlerine değeri. Böylece kilin hacmi küçülür. Kilin kurummasından oluşan rötire, kilin plastiklik özeliğine sıkı sıkıya bağlıdır. Kil kuruması ile meydana gelen rötire, kilin yeniden ıslatılmasıyla tersinir bir nitelik gösterir ve kil şişer. Bunu sağlamak için, kilin belirli bir sıcaklık derecesinden yukarı bir sıcaklıkta kurutulmaması gerekir. Kilin rötiresinin ağırlık kaybının fonksiyonu olarak belirtilmesi ile elde edilen Bigot eğrisine göre, kurutulan kil hamurunun önce ağırlığı azalır ve boyutları küçülür. Eğrinin lineer olan bu kısmında kil hamuru, orantılı bir şekilde boyutlarını küçültmekte ve ağırlık

kaybetmektedir. Kurumanın bu ilk fazına "kolloidal kuruma" denir. Bu fazda kaybedilen su "kolloidal su" dur. Daha sonra, eğri bir dönüşüm yaparak düşey bir durum alır. Dönüşüm noktasından itibaren, kil, kolloidal suyunu kaybetmiş hale gelir. Kurumadaki rötre de sona erer. Bundan sonraki ağırlık kaybı, kil daneleri tarafından adsorblanmış suyun buharlaşmasından ileri gelir. Artık, kil hamurunun boyutlarında değişme görülmez. Buna karşın, kil hamuru porozite kazanmaya başlar. Başka bir değişle, kil daneleri arasında bulunan su kil danelerinin hareketine olanak vermeyecek derecede azalmıştır [6, s.12-14].

Killerin önemli bir özeliği de tiksotropidir. Bu özellik, kilin süspansiyon haline getirilmesi ile görülür. Tiksotropi olayı, danelerin yönlenmesi ile açıklanmaktadır. Süspansiyonlarda karıştırma sırasında parçacıkların yönlenip sıvılığın artması ve fakat hareket durduktan sonra bir jel gibi katılaşma olmasına tiksotropi özeliği denilir [6, s.14].

Kil özellikleri, sadece mineral grupları arasında değişmez, fakat aynı zamanda özel tortulaşma durumlarına da dayanır. Kaolenler genellikle tortul veya sedimantar (taşınmış) olarak sınıflandırılırlar. Bir başka deyişle; önce oluşurlar daha sonra rüzgar veya su etkisiyle taşınırlar ve orijin noktalarından daha uzaklarda yığılırlar.

Kaolinit normalde iyi kristallenmiştir ve hegzagonal lamellerden oluşmaktadır, montmorillonit, illit ve kloritlerin yapısı mukayese edildiğinde iyi tanımlanmamış niteliktedir [3, s.20].

Ana kil minerallerine ilaveten, killer aynı zamanda değişen miktarlarda, kilin davranışını ve kullanılabilirliğini etkileyen yabancı mineraller de

içerirler. Bunlar,

. Serbest SiO_2 , genellikle kuvars halinde, pişmiş kilde bağlayıcı özeliği düşürür, poroziteyi arttırır ve mekanik dayanımı azaltır.

. Kuvars ve feldspat minerallerinin yüksek konsantrasyonlardaki mevcudiyeti, çiçeklenme tuzlarının oluşumuna olan eğilimi arttırır [11].

. Demir bileşikleri, ateşe dayanıklılığı düşüren öğelerdir.

. CaCO_3 , ateşe dayanıklılığı düşürür, rötreye yol açar, dona dayanıklılık ve mekanik dayanım azalır, pişme sıcaklığı düşer, boşluklu bir yapıya neden olur [7, s.116].

Bunun yanında hammaddenin mineorolojik kompozisyonunun da kuruma ve pişme davranışı gibi özellikler üzerinde etkisi vardır. Genleşme eğilimi olan uç tabakalı silikatlar, kuruma hassasiyetini yönlendirirler, bu içerik arttıkça, kuruma hassasiyeti de artar [12, 13]. Feldspatik killerde ise kuruma hassasiyeti azalır. Bir başka deyişle, kildeki feldspat oranı arttıkça rötreye ve plastik limit azalır [13].

Pişmiş kil malzemelerin üretimleri esnasında, belli oranlarda plastik olmayan bazı değişik malzemeler de kile katılır. Bunlar özel amaçlara yönelik üretimlerdir ve pişmiş kil ürünlerinin özellikleri üzerinde değişik etkileri vardır.

2.3. Kil ve Kil Ürünlerinin Özellikleri Üzerindeki Etkilerine Göre Kile Katılan Malzemelerin Sınıflandırılması

Teknik gelişimdeki artışlara paralel olarak, pişmiş toprak yapı malzemesi üretiminde, gerek bu ürünün kalitesini yükseltmek, gerekse bazı atık malzemelerin değerlendirilmesi amacıyla yönelik olarak, çeşitli malzemeler kile katılmış, bunların pişmiş ürünlerin fiziksel, mekanik ve diğer özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Bu araştırmada esas olarak tuğlayı hafifletici ve termik özelliklerini geliştirici katkılar ele alınacaktır. Bununla birlikte diğer katkılarının da kil ve kil ürünleri üzerinde önemli etkileri vardır:

Yağ alıcı plastik olmayan maddeler kil içine katıldığı zaman kilin plastisitesini azaltırlar. Bu tür maddelerin kile veya kaolene katılması, kilin sadece plastisitesini azaltmaz, fakat, aynı zamanda kilin rötresini de azaltır. Ayrıca, genel olarak, kurumuş kil hamurunun porozitesini de yükseltir. Diğer taraftan, bu tür maddelerin bir kısmının sadece yağ alıcı özeliği olmakla birlikte, diğer bir kısmının ise, bu özeliğin yanı sıra, hamurun pişmesi sırasında meydana gelen olaylarla ilgili olarak hamurun az veya çok camlaşması üzerinde de etkileri vardır. Bu sonuncu maddelere bu özelliklerinden dolayı eriticiler adı verilir. Yağ alıcı maddeler arasında en çok bilineni ve en ucuz olanı kumdur. En çok kullanılan diğer bir yağ alıcı madde şamottur. Pişirilmiş kilin diğer bir adı da şamottur. İnce bir şekilde öğütüldükten sonra seramik hamuruna katılan feldspatlar ise hamurun pişme derecesi yeteri kadar yüksek olduğu takdirde hamurun erime kabiliyetini artırırırlar.

Bunlardan başka, suların sürüklenmesiyle cilalanmış ve yuvarlaklaşmış yassı çakıldaşları öğütülmeden önce iyi bir şekilde pişirilerek yağ alıcı madde olarak kil hamuruna daha çok fayans bileşimlerinde, öğütülmüş seramik malzeme kırıkları ise gene aynı fonksiyonla ateşe dayanıklı seramik malzeme bileşimlerinde kullanılır. Diğer eritici maddeler ise öğütülmüş kumla birlikte kullanılan pegmatit ve özellikle Uzak Doğu porselenlerinde kullanılan mikadır. Mikalar çoğu kere kum veya saf olmayan kaolenle karışmış olarak lamel veya parlak pulcuklar halinde bulunurlar. Öğütülmeleri çok güç olmakla beraber öğütüldükten sonra bir miktar plastisite kazanabilirler. Kil hamuruna ayrıca camlaşmayı yada kohezyonu sağlamak için ince öğütülmüş cam da katılır [14, s.13-16].

Bu ilkel plastik olmayan maddelerin yanısıra, birçok araştırmacı çeşitli endüstriyel, zirai ve ev atıklarının da tuğla ve kiremit endüstrisinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır.

Kömür ve maden hazırlama , üretme fabrikalarında, metalurji ve kimya endüstrilerinde kullanılamayan çokça yan ürün yığılması vardır. Bu endüstriyel atıklar, genellikle büyük hacimlerde bulunmaktadır. Bunların giderilmesi ve boşaltılması, gittikçe artan bir problem teşkil etmekte ve genellikle çevresel kirliliğe yol açmaktadırlar. Birçok endüstriyel atık, aynı zamanda artık karbon ihtiva eder ve ikincil enerji vasıtası olarak ve boşluk yapıcı katkı olarak kullanılabilir. Bu tür atıkların kullanılması, teknolojik proseslere ters bir etki yapmadan, enerji ve hammaddelerde bir hayli ekonomiklik sağlar [15].

S. Stefanov, [15], tuğla ve kiremit endüstrisinde uygulama alanı bulan birçok endüstriyel atık malzemenin, orijinlerinde ve kompozisyonlarında ve özelliklerinde değiştiklerini belirtmekte ve bunları kil ve kil ürünlerinin kalitesi üzerindeki etkilerine göre üç ayrı gruba ayırmaktadır:

- 1) Plastikleştirici katkılar
- 2) Yağ-alıcı katkılar
- 3) Renklendirici katkılar

1) Plastikleştirici Katkılar

Çok ince dağılılı formda bulunan pekçok atık malzeme, killerin plastisitesini oldukça yükseltirler, şekillendirme özelliklerini geliştirirler, kurutulmuş ve pişirilmiş tuğlaların mekanik mukavemetlerini arttıırırlar. Ağır kil endüstrisinde plastikleştirici katkı olarak kullanılabilen endüstriyel atık ürünler şöyle sıralanabilir [15].

(a) Elektrik jeneratörlerinden uçucu kül: Termik santrallerden elde edilen uçucu külün dağılılı tabiatı, öğütme maliyetini azaltır, fakat seramik kütlesinin kuruma hassasiyetini arttırır. Bundan dolayı, kil ile uçucu külün iyi bir şekilde homojenize edilmeleri ve dozajın tam olarak ayarlanması zorunludur.

(b) Boksit çamurları: Bunlar alüminyum üretimi esnasında oluşan, kalsiyum silikatları, sodyum ve potasyum ferritleri ve aynı zamanda demir hidroksitleri içeren kırmızı çamurlardır. Çok ince tane boyutlarından dolayı, boksit çamurlarının kil üzerinde oldukça fazla plastikleştirici etkileri vardır. Kilin plastisitesine bağlı olarak, % 5-50 oranlarında boksit çamuru kile ilave edilebilir.

(c) Anilin ve diğer kimyasal ürünlerin üretiminden elde edilen atık malzemeler: Bunlar çok ince tane fraksiyonlarında bulunurlar ve kil kütlelerinin plastisitesini artırırlar.

(d) Yağ rafinerisi çamurları: Yağ rafinerilerinin atık suları ve yağ çamurları, aynı zamanda çeşitli mineral yağ tortuları da içerirler, bunlar yüksek su içeriklerinden dolayı direkt olarak pişirilemezler, önceden arıtma veya santrifuj işlemleri ile suyun ayrılması gereklidir. Bunlar kilin plastisitesini ve aynı zamanda pişmiş ürünün mekanik mukavemetini arttıırırlar [15].

Bu plastikleştirici katkıları içerisinde uçucu kül sunduğu avantajlardan, özellikle kil kütlesinin porozitesini arttırdığından ve yoğunluğu düşürdüğünden dolayı tuğla ve kiremit üretiminde birçok ülkede yaygın pratik uygulamalar bulmuştur.

2) Yağ Alıcı Katkıları

Kristalin veya camsı strüktürlü birçok endüstriyel atık malzeme de bölüm başında belirtilen diğer plastik olmayan maddeler gibi yağ alıcı davranışlar gösterirler ve kilin kuruma rötresini azaltırırlar. Çok ince öğütülmüş durumda kullanıldıklarında bu katkılardan bazılarının plastikleştirici etkileri de vardır.

Bunlar, kuruma rötresindeki azalma ile birlikte, nem iletkenliğini de arttıırırlar ve kil ürününün kuruma özelliklerini geliştirirler [15]. Bu ikincil hammaddelerin bazılarında ise hem yağ alıcı bileşenler ve hem de kalsiyum sülfat , demir sülfat gibi tansiyoaktif bileşenler bir arada bulunurlar ki bu tansiyoaktif bileşenli maddelerin ilavesi kilin kuruma hassaslığını

düzeltilmenin ikinci bir yolu olarak önerilmiştir [16].

Endüstriyel atıklar bir yağ alıcı katkı olarak kum ile karşılaştırıldığında, seramik kütlesinde istenmeyen gerilmeler meydana getirmedikleri için daha avantajlıdırlar, çünkü bunlar modifikasyona veya hacimce bir değişikliğe maruz değildirler. Yağ alıcı katkılar su emmezler, bu da şekillendirme sırasında karışım suyunun azalmasına imkan verir.

S. Stefanov'un [15] yağ alıcı katkılar olarak belirttiği endüstriyel atıkların en önemlileri ise, maden kömürü ocağı atıkları, ahşap atıklar, cam kırıkları ve kalsiyum karbonat ihtiva eden atık malzemelerdir. Diğerlerini ise,

- . Kömür tortuları,
- . Kömür çamurları,
- . Endüstriyel boyler fabrikalarının külü,
- . Elektrik fırını filtre tozu,
- . Cam ve mineral yünlerden atık malzemeler,
- . Beyaz eşya (çanak, çömlek, porselen) ve sırların atık malzemeleri,
- . Metalurjik cüruflar,
- . Metal hidroksit çamurları,

olarak ele almıştır.

Bunlardan kömür tozlarının, talaş tozlarının ve kalsiyum karbonat içeren malzemelerin kil ürünleri üzerinde ayrıca boşluk yapıcı ve dolayısıyla hafifletici etkileri olmasından dolayı, ileriki bölümlerde daha detaylı olarak ele alınacaklardır.

3) Renklendirici Katkılar

Endüstriyel atıklar çoğu kez, demir oksitler, manganez oksit, krom oksit v.s. gibi çeşitli renklendirici oksitler içerirler. Bu katkıları pişmiş tuğlaların veya kiremitlerin renklerini değiştirirler. Birçok durumda kilin saf metal oksitlerle direkt olarak renklendirilmesi çok pahalı olabilir. Bundan dolayı atık ürünlerin bu amaca yönelik olarak kullanılmaları ekonomi sağlar. Bunlar maden cevheri atık ürünleri, yüksek fırın cürufları, pirit yanma ürünleri, kupol fırın cürufları, renkli cam ürünleri atıkları olarak sıralanabilir [15].

2.4. Bir Pişmiş Kil Ürünü Olarak Hafifletilmiş Tuğlaların Yararları ve Hafifletme Yöntemleri

Bütün pişmiş tuğlalar, değişik derecelerde boşlukludur. Porozite nemli hammaddenin kuruma ve pişme sürecinde, nemin, arkasında boşluk bırakarak çıkması ile meydana gelir. Hammaddeye katkıları uygulandığında, boşluk hacmi kontrollü bir şekilde arttırılabilir. Boşluk hacmi artınca tuğla ağırlığı azalır. Bu kontrol imkanları hafif tuğla üretiminde uzunca bir zamandır kullanılmaktadır. Bu tür hafif tuğlalar, duvarın ağırlığında bir tasarruf yapılması gerektiğinde gündeme gelmişlerdir. Teknik gelişimdeki artış, hızlı şehirleşme ile yüksek binaların yapılması, özellikle son yıllarda ağırlık tasarrufunu gerekli kılmıştır. Hafif tuğlaların bir diğer avantajı ise taşıma ağırlığındaki azalma ile nakliye maliyetinde azalma sağlanmasıdır [17].

Hafif tuğlalara duyulan gereksinimin en temel nedeni ise düşük ısı iletkenlik ve yüksek termal izolasyon özelliklerine sahip duvarlarla elde edilen enerji tasarrufu ve iklimik konfordur.

Ayrıca tuğlalara yanıcı katkıların ilavesi ile pişme esnasında gerekli olan toplam enerjinin büyük bir bölümü temin edilmiş olur. Bunun yanısıra bölüm 2.3'de bahsedilen, hazırlama aşamasında ana kile katılabilen ve sinterleme esnasında kısmen veya tamamen yanabilen, yanıcı kompozisyonlar ihtiva eden endüstriyel atıklar kullanarak da hem enerji tasarrufu ve hem de seramik kütlesinde boşluk oluşumu temin edilmiş olur. Ayrıca linyit briketler ve linyit briket tozu gibi pahalı pişirme yakıtlarından da tasarruf sağlanmış olur [18].

Bununla birlikte organik yanıcı katkıların, tamamlanmamış yanıcılığı tünel fırının ön ısıtma bölgesinde organik çevre kirletici malzeme emisyonlarına yol açabilir.

Dış duvarlarda kullanılan tuğlalarda ağırlık azaltımına gidilmesinin bir başka nedeni de, tuğlaların duvarcı ustası tarafından el ile örülmesinden dolayı bunların kaldırmaya ve tutmaya elverişli bir ağırlıkta ve formda olmaları gereğidir. Normal tuğla boyutları bu isteklere cevap verebilmek üzere geliştirilmişlerdir. Eğer daha büyük tuğlalar gerekiyor ise tuğlanın tüm ağırlığı "kaldırılabilme" özelliğini korumak üzere azaltılmalıdır [17].

Tuğlaların birim ağırlığının azaltılması ise genel olarak,

1) Pişme esnasında yanarak geride boşluk bırakan yanıcı organik malzemelerin veya kendileri de boşluklu ve hafif olan inorganik malzemelerin ilavesi ile,

2) Mekanik veya kimyasal yolla köpürterek boşluk oluşturulması yolu ile yapılır [2,19].

2.5. Hafifletici Katkıların Sınıflandırılması ve Özellikleri

Hafif tuğla üretiminde başvurulmuş ve yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biri olan boşluk oluşturucu ve hafifletici katkıların ilavesinde; bu katkıların genel bir sınıflandırması aşağıdaki şekilde yapılmıştır:

1) Organik katkı malzemeleri:

Hızır talaşı, talaş tozu ve ahşap yongası gibi ağaç kökenli, polistren gibi polimer kökenli, kömür tozu, uçucu kül ve kağıt çamuru gibi bir üretim sonucu yan ürünler olarak elde edilen yanıcı maddeler.

2) İnorganik katkı malzemeleri:

Genleştirilmiş kil, perlit ve vermikulit gibi doğal malzemelerden üretilen yapay agregalar ile ponza taşı, volkanik cüruf ve diatomit gibi doğal hafif agregalar.

Yakın zamana kadar en yaygın olarak kullanılan boşluk yapıcı yöntem, yanıcı katkıların ilavesi idi. Sıkça uygulanan boşluk yapıcı katkıları ise talaş tozu, polistren, kömür tozu ve kağıt hamurudur. Diğer bilinen prosesler ise genleştirilmiş kil, cüruf ve kireç ile ve aynı zamanda perlit ve vermikulit gibi inorganik katkılarıyla boşluk oluşturulmasıdır [2].

İnorganik malzemelerin boşluk yapıcı elemanlar olarak önerilmesi çok yakın zamanlara dayanır. Teoride bu tür katkıları özellikle organik bileşenler içermedikleri ve organik çevre kirleticiler üretmedikleri için uygun gözükmektedirler. Özellikle vermikulit ve perlit umut

vericidir (20).

Perlit, volkanik aktiviteler sonucu çıkan erimiş lavın, simultane yüksek basınç altında uygun su veya buharla temas ederek sağuması ile oluşmuş doğal bir cam olarak tarif edilebilir [2]. Perlit ısıtılırsa içinde hapsolmuş olan su buharlaşır ve ham perlitin hacminin 15-20 misli şişirir. Genleşmiş perlitin hacim yoğunluğu 30kg/m^3 ve 150kg/m^3 arasında değişir [20].

İnorganik perlitle boşluk yapımı esas olarak iki ayrı yöntemle göre gerçekleştirilir:

(i) Suyu doymuş perlitle: Bu yöntem özellikle duvar tuğlalarının üretiminde perlitin özel özeliği olan hızlı ve büyük miktarlarda sıvıyı emebilme kabiliyetinden yararlanır. Kile katmadan önce, perlite boşlukları doldurması için yeterli miktarlarda su ilave edilir. Bu proses kil kütlesinde boşluk oluşumunu sağlar. Su dolmuş perlit, kil kütlesi ile birleştiği zaman daha fazla sıkıştırılamaz hale gelmiştir. Su ilavesi aynı zamanda perlitin kilin suyunu emmekten korur. Aksi takdirde kilden suyun çekilmesi çok hızlı olur ve kil kütlesi çok kuru ve sert bir hale gelir ve şekillendirme cihazında çok yüksek bir basınca ihtiyaç gösterir.

(ii) Sırlanmış perlit grenleri prosesi ile: Dış yüzeyine genleşme prosesi esnasında metal oksitler ilave edilerek perlit grenleri sırlanır. Sonuçta teorik olarak yalıtılmış bir dış yüzey elde edilir. Bu sırlama prosesinin sonucu çok yüksek gren mukavemetine sahip, su-itici özeliği olan fakat çok yüksek hacim yoğunluklu perlit greni elde edilir. Birçok denemeden sonra bu proses tuğlalarda veya bloklarda boşluk yapımında daha fazla kullanılmamıştır [2].

Pişmiş seramik ürünlerde boşluk yapıcı ortam yaratarak, hafifletmek amacı ile kil kütlesine inorganik perlit ilavesi konusunda özellikle Almanya'da ve komşu ülkelerde, ön laboratuvar deneylerine dayanarak, endüstriyel çapta birçok testler yürütülmektedir. Hatta Dasing-Laimering Bavaria'da 1988'den itibaren çalışmalarını sürdüren bir pilot fabrika da mevcuttur [2, 20].

Üretilen tuğlaların basınç mukavemeti, su emme özellikleri, çiçeklenme tuzlarına eğilim, kuruma ve pişme davranışları gibi özellikleri bazı tuğlalar üzerinde test edilmiştir. Termal izolasyon özelliklerini belirlemek için elde edilen ısı iletkenlik değerlerinin ise diğer boşluk yapıcı katkılarla üretilen tuğlalara göre biraz daha tercih edilebilir olduğu bulunmuştur. Talaştozu katkılı tuğlaların ısı iletkenlikleri 0.26 W/mK civarında iken, bu değer perlitli tuğlada 0.24 W/mK 'e düşmüştür. Basınç mukavemetleri ise 9 N/mm^2 ile 16 N/mm^2 arasında değişmektedir.

R. Niemann [2] bu testlerden elde edilen verilere göre, inorganik perlit katkısı ile tuğlalarda boşluk yapımının sadece diğer boşluk yapıcı katkılara bir alternatif değil, aynı zamanda bazı durumlarda hafif tuğlaların veya blokların özelliklerinde bir gelişme temin ettiği ve birçok halde üretimin daha düzgün ve daha az problemlili bir şekilde yürütüldüğü sonucuna varmıştır. Belirlenen ana özelliklerin, hem teoride ve hem de pratikte, daha ileri laboratuvar ve endüstriyel testlerle desteklenmesi gerektiğini de vurgulamıştır.

Perlitin yanı sıra, önerilen diğer bir inorganik katkı olan vermikulit, su molekülleri katmanları tarafından ayrılmış, trioktahedral mika veya talk levhalarından meydana gelmiş doğal bir malzemedir. Bu su

molekülleri, belirli bir mesafe kaplarlar ($4.98 \text{ \AA}$), bu da iki su molekülü kalınlığıdır. Bundan dolayı, doğal halde bu mineral, mika ve çift su katmanlarının alternatiflerinden meydana gelir [8, s.72-73]. Kimyasal açıdan, vermikulit bir magnezyum-alüminyum-demir silikattır. Isıtılırsa, hacminin 20 katına kadar, kafes katmanlarının dikine bir şekilde genişler [20].

H. Kolkmeier [20] vermikulitin hafif kil tuğlaları ve bloklarının üretimi için alternatif boşluk yapıcı ortam olarak oldukça uygun olduğunun yürütülen laboratuvar ve endüstriyel çaptaki testlerle kanıtlandığını belirtmektedir. Hatta boşluk-yapıcı katkı olarak polistrene bir alternatif olarak vermikulitin kullanılıp kullanılamıyacağının belirlenmesi amacı ile bir laboratuvar araştırma projesi ölçeğinde, değişik miktarlardaki vermikulit katkıları için, hacim yoğunluk, su emme, eğilmede çekme dayanımı ve toplam rötire testleri yapılmıştır. Sonuçta mineral bileşenlerin kullanımının, pişmiş tuğlada gelişmiş seramik özelliklere, örneğin düşük su emme ve dolayısı ile yüksek mukavemete yol açtığı kanaatine varılmıştır.

Bu inorganik katkıların yanısıra, organik talaştozu katkılarının kullanımı pişirilmeleri esnasında kirletici emisyonlar yaymaları gibi bazı dezavantajlarının yanısıra diğer üstün özelliklerinden dolayı oldukça yaygındır ve uzun süreden beri bilinmektedir. Amerika'da ise 1885 yılından beri kullanılmaktadır. Bu yanıcı katkı, kille birlikte büzülmez ve rötire yapmaz, bundan dolayı yağ alıcı bir malzeme olarak da tanımlanmaktadır. Talaştozu esas olarak ahşap endüstrisinin bir yan ürünüdür. Ortalama hacim ağırlığı 320 kg/m^3 'tür, nem muhtevası ise % 6'dan % 60'a kadar değişir. Tuğlaya talaş tozu ilavesi, ısı tüketimini azaltır, 7-9 MJ/kg lık bir ısıtma değerine sahiptir ve tuğlanın termal yalıtım özelliklerini

geliştirir [15,21].

Açık hava maden ocağı işletmelerinden elde edilen ham linyitten, linyit briketleri ve linyit kokunun belli fraksiyonlarda öğütülerek direkt olarak tuğla kiline katılması [22] veya daha ucuz ve gene sinterleme esnasında kısmen veya tamamen yanabilen yanıcı kompozisyonlar ihtiva eden maden kömürü ocağı atıklarının tuğla yapımında bir katkı veya boşluk yapıcı ortam olarak kullanılması, pratikte uzunca bir zamandır uygulanmaktadır [15, 18].

Linyit briketlerinin ve linyit kokunun bir yanıcı katkı olarak kullanılması ile gerekli olan toplam enerjinin % 20-30 kadarı temin edilmiş olur. Pişmemiş kil kütlesine linyit kokunun ilavesi, aynı zamanda, tünel fırının ön pişirme bölgesinde sıcaklığın yükselmesine ve daha homojen dağılmasına olanak verir. Linyit koku siyah redüksiyon çekirdeklerinin oluşumunu engellemek için öğütülür. Yüksek reaksiyona girme kabiliyeti ve yaklaşık 500°C'deki yüksek ateş alma sıcaklığından dolayı, ön ısıtma ve pişirme bölgeleri arasındaki ısının tam olarak kullanılması mümkündür [22].

Kömür ocağı atıkları, (kömür tozu, briketleme prosesinde kopan parçalar, v.s.) ise normal olarak düşük kalorifik değere sahiptirler, fakat pişme için gerekli olan ısının bir miktarını sağlarlar. Kil kütlelerinde katı yakıtların kullanımı, ağır yakıt yağı, hafif yakıt yağı veya gaz gibi daha pahalı ana yakıtlara göre ekonomi sağlar. Yanıcı katkıların kullanımı poroziteyi yükseltir ve seramik kütlesinin mekanik mukavemetini arttırır. Birçok durumda bu katkılar, şekillendirme esnasındaki laminasyonların giderilmesine katkıda bulunurlar. Kil ürünlerine karbon atıklarının ilavesi termal izolasyon özelliklerini de geliştirir [15, 23].

Bir endüstriyel üretim sonucu yan ürün olarak elde edilen uçucu küllerin elde edildikleri üretim koşuluna göre değişik kompozisyonları vardır.

Termik santrallerden elde edilen uçucu kül; ki killeri için plastikleştirici bir atık malzeme olarak da tanımlanmaktadır, cam fazları, amorf kil maddesi, kristalin fazları ve ince taneli yakıt atıklarından meydana gelir. Genellikle uçucu külün tane boyutu 0.05 mm den azdır. Uçucu külün inceliğine ve kilin plastikliğine bağlı olarak, % 5-60 oranındaki katkılar tuğlaya dahil edilebilir. Özel içeriklere sahip olanlar dışında, tuğlalarda uçucu külün kullanımının mekanik mukavemet üzerinde bir etkisi yoktur, fakat kil kütlesinin porozitesini arttırmırlar, yoğunluğunu ve karışım suyunu azaltırlar. Uçucu kül 400 ve 800 k.cal/kg arasında bir kalorifik değere sahiptir, bundan dolayı kullanımı, pişme esnasındaki ısı tüketimini azaltır [15].

Linyit ürünlerinin yanması sonucu ortaya çıkan uçucu kül veya toz haline gelmiş yakıt külleri ise her zaman yanmamış yanıcı malzemeler içerirler ve ilave öğütme gerektiren kaba durumda bulunurlar. Öğütülmüş küllerin kuma göre yağ alıcı etkileri daha iyidir. Şekillendirmedeki laminasyonları engellerler, ve kil ürünlerinin mekanik mukavemetini geliştirirler [15]. Kullanılan kömüre bağlı olarak uçucu külün kimyasal kompozisyonunda değişiklikler meydana gelebilir. Siyah kömürden çıkanlar genellikle puzolaniktirler. Kuvvetli puzolanik uçucu küller pişmiş ürünlerin mukavemetini artırırlar. Buna karşılık kahverengi kömürün yanmasından elde edilen uçucu kül yüksek oranda (% 10-25) çözünür tuzlar (Kalsiyum sülfatlar ve sodyum) içerirler [24].

2.5.1. Organik ve İnorganik Hafifletici Katkılar Arasındaki Farklılıklar

Organik boşluk yapıcı malzemeler, fırında pişerken karbonlaşırlar ve arkalarında birçok halde tuğlaların ve blokların dış yüzeylerinde gözle görülebilen, değişik yapıda ve boyutlarda boşluklar bırakırlar. Düşük sıcaklık karbonizasyon fazında kirletici emisyonlar, benzol, fenol, formaldehit, asetaldehit ve aynı zamanda organik olarak bağlanmış karbon bileşenleri v.s. şeklinde ortaya çıkarlar [20, 25, 26, 27].

Bu karbonizasyon gazlarının azaltılması ve giderilmesi konusunda özellikle Almanya'da birçok araştırmalar yapılmaktadır. Hatta, organik malzemelerle üretim yapan fabrikaların gaz emisyonlarının çeşitli limit değerlerini tayin eden Temiz Hava Rehberleri (İng: Clean Air Guide) düzenlenmiştir.

Organik malzemeleri duman gazında azaltmanın mümkün yolu, bu bileşenlerin tekrar yakılmaları şeklinde belirtilmiştir [20]. Bu yöntem bazı fabrikalarda duman gazının tünel fırına tekrar dönüşü şeklinde denenmiş, [26, 27], köpürtülmüş polistren, talaştozu ve kağıt çamuru ile yapılan üretimler üzerinde ölçümler yapılmıştır [10]. Deneme laboratuvar testlerinde ise pahalı olmayan bir baca gazı temizleme sisteminin geliştirilmesi üzerinde çalışılmaktadır [20].

Duvar tuğlalarında boşluk yapımı ve organik kirleticilerin azaltımına alternatif bir imkan, hammaddeye kireç katılması veya inorganik malzemelerin boşluk oluşturunu katkı olarak kullanılmasıdır. Kireç açısından zengin bir hammadde ile florin gazı emisyonunun daha düşük seviyelerde kalacağı genel bir bilgidir. Bu, pişirme esnasında, kilden çıkan hidrojen floridin, tuğla

kilinin kireci ile, fırının ön ısıtma bölgesinde reaksiyona girerek, pişmiş tuğla kütlesi üzerinde kalsiyum florid oluşturmaya ile bağlantılıdır. Kalsiyum florid, florin bileşiklerine göre yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Bundan dolayı tuğla içerisinde daha uzun bir zaman kalır.

Hammaddeye kireç ilavesi, hafif kil tuğlaları ve blokları üretimi için özel ilgi alanıdır, kireç sadece florin emisyonunu azaltmaya yardım etmez, aynı zamanda pişirme esnasında CO_2 'nin ayrılması ile bir hafifletici katkı olarak da rol oynar [20].

Yanıcı olmayan inorganik hafifletici malzemeler ise seramik kütlesinde bütünü ile kalırlar ve doğal olarak kirletici emisyonlara neden olmazlar. Bunlar, ekstrüzyon, kuruma ve pişme esnasında strüktürlerini değıştirmezler ve tane olarak kalırlar gözle görünen açık boşluklar oluşturmazlar [2].

Organik ve inorganik katkılar arasındaki farklılığın bir başka yönü ise ekonomik koşullardır. Bu zamana kadar elde edilen bilgilere göre, inorganik mineral hafifletici katkılar için gerekli harcama bazı durumlarda organik katkılardan daha yüksektir. Bununla birlikte inorganik ve organik hafifletici katkılar arasında ekonomik açıdan bir karşılaştırma yapmak için çok sayıda faktör gözönüne alınmalıdır. Bunların başında, organik malzemelerle üretim yapan bir fabrikanın, organik gaz emisyonlarını önlemesi için oldukça pahalı baca gazı dönüştürme sistemini yerleştirmeye zorunlu olması gelir ki, bu da inorganik hafifletici katkılarının kullanımı ile, incelenmesi gerekmeyen bir konudur. Bunun yanında, örneğin, talaştözünün kullanımı ile, perlit kullanımında elde edilemeyen oldukça fazla birincil enerji tasarrufu yapıldığı da belirtilmesi gereken bir durumdur [20].

2.5.2. Ülkemizin Hafif Tuğla Üretiminde Kullanılabilecek Malzemeler Yönünden Durumu ve Ponzataşı Hafif Agregası

Bölüm 2.5'de genel sınıflandırması yapılmış olan hafifletici malzemelerin ülkemizdeki üretim miktarları ve genel tüketim düzeyleri ile ilgili sağlıklı rakamlar elde mevcut değildir. Özellikle genleştirilmiş kil gibi dayanımı doğal hafif agregalardan daha yüksek yapay hafif agregaların üretimi henüz yapılmamaktadır. Ülkemizde Batı, Orta ve Doğu Anadolu'da bol miktarda perlit yatakları vardır. Bu agregaların dışında diğer sanayi yan ürünlerinin değerinin yeterince anlaşılıp tüketilmesi ileri bir aşamada değildir (Yüksek fırın cürufu, kömür cürufu) [28, s.9].

Diyatome denen mikroskobik su bitkilerinin silisli kabuklarından meydana gelen, kolay ufalanır bir tortul kaya olan diyatomit ve diyatomit toprak yurdumuzun çeşitli yörelerinde mevcuttur. Önemli diyatomit yatakları, Kayseri, Çankırı, Afyon, Aydın, Ankara, Denizli, Balıkesir, Kütahya, Uşak ve Çanakkale'de toplanmıştır. Hafifletilmiş yapı malzemesi üretimi dışında, daha yaygın kullanım alanları vardır [29, s.15, 18, 23].

Doğal hafif agregaların yurdumuzda en yaygın olanları ponza taşı (bims), volkanik tüf ve volkanik cüruftur. Bunların içerisinde en yaygın olarak rezervi bulunan özellikle hafif beton üretiminde kullanılan ponza taşıdır.

Ponza taşı tarihte kullanımı bilinen hafif agregalardan birisidir ve Romalılar zamanından beri kullanıldığı bilinmektedir. Erimiş lavın soğuması sırasında oluşan gazların hapsolmesi ile ponza taşı

oluşur. Bu boşluklu yapıdan dolayı agrega boşluklu ve dolayısı ile hafif olur. Boşluklar yassı ve birbirine paraleldir, bazen de birbirleri ile bağıntılıdır. Ponza taşı agregası % 75 boşluk içermektedir. Ponza taşı amorf bir yapıya sahiptir.

Ponza taşının yurdumuzda yaygın özel kullanımı daha çok beton duvar blokları ve asmolen blok şeklindedir. Bu beton ile üretilen yapı elemanlarının ısı ve ses yalıtımı, yangın dayanımı gibi fiziksel nitelikleri de geliştirilebilmektedir [28, s.10].

Dolayısı ile ponza agregasından üretilen farklı nitelikteki yapı elemanları ile yapının yapı fiziği sorunlarını çözmek de mümkün olmaktadır. Ayrıca ponza taşı hafif agregasının elde edilebilmesi için perlit ve vermikulitte olduğu gibi, ilave bir enerji tüketimi de gerekmemektedir.

Bu araştırmada da hafif beton üretiminde yaygın olarak kullanılan ponza agregasının tuğla kiline katılması ile, tuğlanın, özellikle termik özelliklerinin geliştirilerek, yapı fiziği kalitesi iyileştirilmiş, hafif bölme ve dış duvar malzemesi üretim olanaklarının araştırılması amaçlanmıştır.

2.6. Hafif Tuğla Üretiminde Kullanılan Diğer Yöntemler

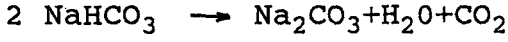
Hafif tuğla üretiminde, fiziksel veya kimyasal yollarla köpürtülerek boşluk oluşturma yönteminin gerek organik ve gerekse inorganik katkılarla boşluk oluşturma yöntemleri ile karşılaştırıldığında, çok daha az uygulama alanı bulmuş olduğu görülür.

Kimyasal maddeler ekleyerek ve daha sonra bunların tuğladan buharlaşarak çıkmasına izin veren yöntemler, özellikle naftalin ilavesi artık kullanılmamaktadır. Hammaddeye % 30-35 oranlarında katılan naftalinin, sonuçta iyi kalitede ürünler vermesine karşılık buharlaşma esnasında hava ile birlikte patlayıcı bir karışım meydana getirmesi tehlikesi bu maddenin kullanımını engellemektedir [30].

Diğer bir boşluklu malzeme üretim metodu, gaz içeren kimyasalları ekleyerek, ince boşluklar yaratmaktır [30].

Mekanik köpürtmede, sabun gibi tansiyoaktif bir madde içeren bir süspansiyonun şiddetli karıştırılması ile köpükler üretilir. Selüloz ve albümin gibi stabilizatörlerin kil süspansiyonuna ilavesi köpük ömrünü uzatır, köpük strüktürünün döküm maddesi içerisinde kalmasını sağlar [19]. Z. Engelthaler'in [30] yaptığı araştırmalar sonucunda ise reçine sabunları köpüğü ve albümin ile köpürtme tekniğinin 0.4 gr/cm^3 den az yoğunluklar verdiği ve özellikle yüksek sıcaklığa dayanıklı refrakter tuğla üretiminde kullanılabileceği belirtilmiştir.

J. Karsten [31] ise ince boşluklu yüksek kaliteli hafif tuğla konusundaki bir yayınında Alman Tuğla ve Kiremit Araştırma Enstitüsü tarafından yürütülen ve fakat teknik olarak tamamlanmamış, sadece, birkaç teste dayanarak başarı belirtileri sunan kavramsal bir model olarak nitelendirdiği kimyasal "kabartma" veya "havalandırma" (İng: aerating) katkılarının özelliklerinden yararlanarak geliştirilen üretim prosesinin ana kriterlerini şu şekilde açıklamaktadır: Sodyum bikarbonat 50°C 'nin üstünde, sodyum karbonat'a ayrışır ve bunu takiben su buharı ve karbon dioksit açığa çıkar.



Karbon dioksit boşluk meydana getirirken su buharının tamamen yoğunlaştığı varsayılır. Tuğla yapımında kullanılan kile 1 kg sodyum bikorbonat ilavesinin yukarıdaki denkleme dayanarak 0.132 standart metreküp hacminde bir boşluk yaratması beklenir. Diğer bir deyişle 1 ton kile, 7,5 kg sodyum bikorbonat ilavesi, 0.67 kg/dm³'lük bir hacim yoğunluk verecektir.

Mevcut ön deneylerin sonuçlarına göre bu kimyasalın bir "havalandırma" veya "kabartma" unsuru olarak tuğla killlerinde uygulanması hafif tuğla üretiminde tahminen çözülmemiş herhangi bir problem arzetmemelidir. Bununla birlikte, hazırlama ve şekillendirme proseslerinde değişiklikler yapmak gereklidir [31].

BÖLÜM 3 KİLE KATILAN KATKILARIN KİL VE KİL ÜRÜNLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ KONUSUNDA YAPILAN ÇALIŞMALAR

Tuğla kiline katılan katkıların pişmiş ürünün nitelikleri üzerindeki etkileri pekçok araştırmacının ilgisini çekmiş ve çeşitli malzemeler, özellikle organik boşluk yapıcı katkıları ve bazı endüstriyel atıklar denenmiştir. Bu bölümde öncelikle hafifletici katkıları olarak sınıflandırılan malzemelerle ilgili çalışmalar ele alınacak, daha sonra yağ alıcı, eritici ve renklendirici olarak sınıflandırılanlar incelenecektir:

Büyük hafif seramikler üretmek ve plastik olmayan bazı atık malzemelerin de bu üretimde değerlendirilebilmesi amacı ile, Tauber, Peplinkhouse ve Crook [19], hacim yoğunluğu 26.2 kg/m^3 olarak tayin edilmiş genleştirilmiş polistren küreciklerle kil karışımları hazırlamışlardır. Polistren taneciklerinin, katı malzeme ağırlığına oranları % 2 ve % 3 olarak belirlenmiş, karışımlar alçı kalıplara dökülmek suretiyle değişik boyutlarda döküm şekilleri elde edilmiştir.

Kullanılan atık malzemeler ise, bazalt tozu, silis tozu, parçalanmış cam, öğütülmüş ilmenit ve nefelin siyenit olarak belirlenmiştir. Kalıplardan alınan numuneler 1.5 saatlik bekleme süresi ile sırasıyla 1050 ve 1100°C'lerde pişirilmiştir.

Pişmiş ürünler üzerinde yapılan fiziksel deneylerin sonuçlarına göre bunlar oldukça boşluklu, yüksek mukavemetli ve düşük ısı iletkenlik değerine sahiptirler.

Bu fiziksel deneylerin ortalama değerleri ise:

- . Zahirî porozite, % 65
- . Basınç mukavemeti, min. 4.91 MPa, max. 13.5 MPa
- . Hacim yoğunluk min. 0.82, maks. 1.18 gr/cm³
- . Isı iletkenlik, 1.80 Btu.in/ft².h°F
(0.22 kcal/mh°C)

olarak belirlenmiş, aynı zamanda kuruma ve pişme rötresinin düşük olduğu ve ürünlerin yüzeyinde çatlaklar oluşmadığı belirtilmiştir. Çünkü polistren tanelerinin elastikliği, rötreyi uygun hale getirmektedir ve kuruma esnasındaki çatlakları minimize etmektedir. Bu teknik aynı zamanda cam, bazalt tozu ve düşük dereceli ilmenitler gibi atık malzemelerin kullanılmasına da olanak sağlamıştır [19].

C.T. Isenhour [21], ise kendi adını taşıyan tuğla ve kiremit fabrikasında, hacimce %5 %10 ve %15 oranlarında talaştzu katarak denemeler yapmıştır. Bu araştırmaların sonucunda talaştzu ilavesi ile fabrika üretimi esnasında karşılaştığı problemleri:

- . Çatlakların artması
- . % 20 daha düşük kuru ve pişmiş mukavemet

olarak belirlemiş. Talaştzu kullanımının avantajlarını ise:

- . Tuğla ağırlığında azalma (hacimce % 12-14 katkı ile % 23 azalma)
- . Hammadde tüketiminde azalma
- . Kuruma hızında artış (% 25 civarında)
- . Azaltılmış yakıt tüketimi
- . Tuğlanın yalıtım değerlerinde gelişme
- . Nakliye maliyetlerinde azalma
- . Daha öncekilerle aynı ağırlıkta,fakat , daha geniş tuğla blokları yapma imkanı

- . Dona dayanıklılıkta artış
- . Düşük doyma katsayısı

olarak belirlemiştir.

Tuğla kilinin pişmiş özellikleri üzerinde talaştözünün ve bunun yanı sıra otomotiv sanayi atık yağının etkilerini inceleyen bir diğer araştırmacı ise D.A. Okongwu'dur [32]. Ancak Okongwu bu çalışmasında daha çok katkıların mekanik mukavemetler üzerindeki etkilerini bu ürünün kullanılabilirliğinin saptanmasında seçici kriterler olarak belirlemiş, bu amaçla oranları ağırlıkça % 1'den % 8'e kadar değişen talaştözü+kil, talaştözü+yağ+kil, yağ+kil olmak üzere üzere üç seri karışım hazırlamıştır.

Ürünler üzerinde yapılan gözlemlere göre, talaştözü katkılı tuğlaların piştikten sonra yüzey boşlukları ihtiva ettikleri, diğer taraftan düşük kuruma hızına rağmen yüksek yağ oranı ihtiva eden tuğlaların, yüzey çatlaklarının, yağ muhtevasının artımı ile birlikte arttığı görülmüştür.

Basınç mukavemeti, su emme ve yoğunluk ölçümlerine göre, talaştözünden küçük oranlardaki karışımlar (ağırlıkça < % 2) gelişmiş özelliklere yol açmıştır. Bu limitin üzerindeki talaştözü katkıları yararsızdır, bunlar mukavemette sürekli bir azalmaya ve tuğlanın su emme kapasitesinde ise artışa neden olmuşlardır. En yüksek basınç mukavemeti değeri 31 MN/m^2 'lik bir değer ile ağırlıkça % 1'lik talaştözü katkısına, en düşük değer ise 5 MN/m^2 ile % 8 talaştözlu tuğlaya karşılık gelmektedir. Su emme değerleri ise gene % 2 talaştözü katkısına karşılık gelen değere kadar azalmış, bu noktadan sonra sürekli artmıştır. Hacim yoğunluk ölçümlerinde de aynı etki gözlenmiş, % 1 katkılı tuğlada

2.0 gr/cm³'lük değer ile bir maksimuma ulaşmış ve daha sonra sürekli azalmıştır.

Diğer taraftan yağ katkısının, tuğlanın karakteristikleri üzerinde herhangi bir faydalı etkisi görülmemiş ve hatta talaştozu varlığında dahi mukavemette ve yoğunlukta sürekli azalmalar, su emmede artışlar ortaya çıkmıştır. Okongwa'ya göre yoğunluğun azalması büyük bir ihtimalle yağ mevcudiyeti durumunda talaştozunun daha mükemmel yanmasından dolayıdır.

Sonuç olarak belli bir limite kadar olan talaştozu konsantrasyonlarının, pişmiş kil tuğlasının basınç mukavemeti ve su emme karakteristiklerini geliştirdikleri, optimum talaştozu muhtevasının tuğlanın boyutunun, pişme derecesinin ve pişme süresinin bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir [6].

Bir diğer araştırmacı, Andreas Köhler [18] ise çeşitli endüstriyel yan ürünlerin tuğla ve kiremit endüstrisinde kullanılabilirliklerinin tayininde çiçeklenmeye olan eğilimlerini, kirletici gaz emisyonlarını ve katkının enerji içeriğini de seçici kriterler olarak belirlemiştir. Bu amaçla, döküm ocağı fırın cürufu, uçucu kül, talaştozu ve yonga levhası rendesi, linyit fabrikası cüruf yığınları tozu gibi çeşitli atık malzemeler katarak elde ettiği tuğlalar üzerinde laboratuvar ve endüstriyel düzeyde testler yapmıştır. Testlerden elde ettiği verilere göre, VEB Erfurter mobilya imalathanesinin atığı olan talaştozu ve yonga levhası rendelerini diğer atıklarla mukayese ettiğinde bunların, kil tuğlaları için uygun olmadıkları sonucuna varmıştır.

Köhler'in laboratuvar test sonuçlarına göre yonga levha talaşları, kütle yoğunluğunu azaltmakta oldukça uygundurlar. Bununla birlikte diğer katkılardan farklı olarak seramik kütlelerinin su emme değerinde yüksek artışlara yol açmışlardır. Suda çözünür tuzların birikimine olan eğilimleri de fazladır ve kütlece % 3 katkı ile müsaade edilebilir sınırları zaten aşmışlardır. Yonga levha talaştozu ve rendelerinin katkı olarak kullanımının bir büyük dezavantajı da gene yanma esnasında kirletici gazların oluşumudur.

Köhler aynı zamanda bölge ısıtma istasyonundan elde ettiği uçucu külü de tuğla kiline katarak elde ettiği pişmiş ürünler üzerinde bazı laboratuvar deneyleri yapmıştır. Özellikle çiçeklenmeye eğilim derecesinin % 3 katkılılarda artmaması ve % 5 katkılılarda ise kabul edilebilir limitlerde kalmasının bu katkının tuğla endüstrisinde kullanılabilirliği açısından umut verici olduğunu belirtmiştir.

Bir linyit fabrikasının kömür cürufu atıkları ile yaptığı çalışmada basınç mukavemeti, su emme çiçeklenme tuzları ve hacim yoğunluk gibi deneyler hem laboratuvar ve hem de endüstriyel düzeyde gerçekleştirmiş ve ağırlıkça % 3 oranındaki kömür atıklarının standart tipte düşey delikli tuğlaların üretiminde katkı olarak kullanılmalarının uygun olduğu sonucuna varmıştır [18].

D.A. Okongwu ve V. Paranthaman [33], birlikte yaptıkları bir laboratuvar araştırmasında ise, bir hidrokarbon katkısı olarak kömürün dane boyutunun tuğla kilinin pişmiş özellikleri üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamışlardır. Bu doğrultuda, 33000 k J/kg'lık kalorifik değere sahip kömürü 2.36 mm ile 75 µm arasında değişik dane boyutlarına eleyerek oluşturulan grupların herbirinden ağırlıkça % 0.1'den

başlayarak % 8'e kadar olan konsantrasyonlarda karışımlar hazırlamışlardır.

Piştirilmiş numuneler üzerinde makro düzeyde yapılan incelemelerde, her bir tuğlanın, kırmızı bir dış yüzeyle kaplı daha siyah bir iç çekirdeğe sahip olduğu gözlenmiş, kömür dane boyutu veya kömür konsantrasyonu arttıkça, koyu iç çekirdek gittikçe daha geniş ve koyu bir hal almıştır.

Pişmiş ürünler üzerinde basınç mukavemeti ve su emme deneyleri yapılmış ve şu sonuçlar elde edilmiştir:

Orta büyüklükte dane boyutuna sahip olan kömür karışımlarının (> 100 mm ve < 1.1 mm), ağırlıkça % 3'ün altındaki konsantrasyonları tuğlanın mukavemetini belirgin bir şekilde arttırmıştır. Çok ince (< 100 mm) veya çok kaba (> 1.10 mm) kömür tozu katkısının ise tuğla özellikleri üzerinde belirgin bir etkisi yoktur.

G. Z., Niederaula [34] ise, hacim yoğunluğu azaltılarak, ısı yalıtım özellikleri geliştirilmiş tuğlalar elde etmek üzere, kile, hacimce, ayrı ayrı, % 20 oranında kömür, talaştozu ve stropor katarak $64 \times 32 \times 25$ mm'lik numuneler elde etmiştir. Niederaula, birçok boşluk oluşturan malzemenin, taşıyıcı matriks kesitini azalttığından, kuruma sırasında büzülme oluşumlarına uymadığından ve mikroçatlaklar oluşturduğundan dolayı, hacim yoğunluğu azaltırken, aynı zamanda basınç mukavemetini de düşürdüklerini öne sürmektedir. Bu nedenle, yaptığı çalışmada, elde ettiği değişik katkılı ürünlerin direkt basınç mukavemetlerine ve hacim yoğunluklarına göre değil, bunların rölatif değerlerine göre bir değerlendirmeye gitmiştir. Hatta, her ürün için, boşluk oranındaki % 1 artışa karşılık, basınç mukavemetindeki azalmayı ifade eden bir katsayı elde

etmiş, bu katsayıyı, kömür için 3.2, talaştözü için 6.2, stropör için ise 6.7 olarak belirlemiştir. Bu üç ürün içerisinde, tuğlanın hacim yoğunluğunu azaltırken, basınç mukavemetini en az azaltan, aynı zamanda en yüksek enerjiye sahip olan kömürün, boşluklu ve hafif tuğla üretimi için en uygun malzeme olduğu sonucuna varmıştır.

H.Mörtel ve P.Distler, [35, 36] birbirinin devamı şeklinde olan iki ayrı çalışmanın, ilkinde uçucu kül katkısı ile tuğla üretimini gerçekleştirmişlerdir. % 10 talaştözü, % 10 uçucu küllü ve % 20 uçucu küllü olmak üzere üç ayrı karışım hazırlamışlardır. Buradaki esas amaçlarının ise uçucu külün ne dereceye kadar, talaştözüne alternatif bir boşluk oluşturunca katkı olarak tuğlaların karakteristik değerleri üzerinde etken olabileceğinin belirlenmesi olarak belirtmişlerdir. İkinci araştırmada, 920 °C de pişirilen numuneler üzerinde rötre, eğilmede-çekme, basınç mukavemeti, su emme, porozite ve birim yoğunluk deneylerinden elde edilen verileri değerlendirmişlerdir. Sonuçta uçucu külün duvar tuğlalarında katkı olarak başarı ile kullanabileceğini, aynı zamanda bunların kirletici emisyonlar yaymadıklarını, fakat doğal olarak çiçeklenme tuzlarının oluşumuna eğilimlerinin fazla olduğunu belirtmişlerdir. % 20 uçucu kül katkısı ile üretilen tuğlaların en yüksek basınç mukavemeti değerlerini vermelerinden dolayı, bu oranın optimum katkı oranı olduğunu vurgulamışlardır.

Tuğla kiline yanıcı bileşenler olarak giren endüstriyel yan ürünlerin yanısıra bazı araştırmalar da zirai atıkların kil tuğlaları üzerindeki etkileri ile ilgilenmişlerdir.

Bu amaçla Avustralyalı bir grup araştırmacı öğütölmemiş pirinç kabuğu katkısı ile denemeler yapmışlardır. Araştırmaya başlamadan önce ise şu ana kriterleri kabul etmişlerdir [37].

(i) Öğütülmemiş pirinç kabuğu katkılı tuğlaların basınç mukavemetleri, öğütülerek yapılanlarınkinden daha düşük olacaktır.

(ii) Ancak bunların öğütülmesi çok zahmetli bir işlemdir ve ekstra maliyet demektir.

(iii) Özellikle gelişmekte olan ülkeler için öğütülmemiş pirinç kabuğu katkısının da kabul edilebilir limitlerde özellikleri olmalıdır.

Bu kriterlerden yola çıkarak araştırmacılar öğütülmemiş pirinç kabuğu katkısı ile kuru kile göre hacimce % 10 ile % 70 arasındaki oranlarda ürettikleri tuğlaların kullanılabilirliğini hacim yoğunluk, basınç mukavemeti, kopma modülü, 24 saat su emme, 5 saat kaynatarak su emme, özgül su emme gibi deneylerle saptamaya çalışmışlardır.

Deney verilerine göre artan pirinç kabuğu ilavesi ile hacim yoğunlukları ve dolayısı ile basınç mukavemetleri düşmüş, su emmeler ise artmıştır. Bununla birlikte hacimce % 50'ye kadar olan karışımlar taşıyıcı olmayan bölme elemanlar için kabul edilen 5 MPa'lık basınç mukavemeti değerinin üzerinde kalmışlardır. Bu da belli konsantrasyonlardaki öğütülmemiş pirinç kabuğunun tuğlalarda başarı ile kullanılabileceğini göstermiştir [37].

Pirinç kabuğunun tuğla özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği bir diğer araştırma ise, Saudi Arabistanlı M.A. Rahman [38] tarafından yapılmıştır. Önceki araştırmadan farklı olarak pirinç kabuğu toz halinde (<0.074 mm) katılmış, ayrıca lateritik bir toprak da kile karıştırılmıştır. Bu araştırmada aynı zamanda üretilecek tuğlaların taşıyıcı nitelikte olmaları da

amaçlanmıştır. Böylelikle ağırlıkça % 5 ile % 20 arasındaki pirinç kabuğu tozları ile karışımlar hazırlanmış, pişirilmiş numuneler üzerinde yapılan deney verilerine göre bütün numunelerin İngiliz Standartlarında belirtilen değerle mukayese edildiğinde taşıyıcı duvar olarak kullanılabilecekleri belirtilmiştir. Ayrıca % 20 pirinç kabuğu ve laterik toprak - kil karışımlarının tuğlanın birim ağırlığını oldukça azaltmış olmalarından dolayı bu orandaki karışımların hafif tuğlaların üretiminde de kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Tuğlaların hafifletilmesi ve termal özelliklerinin geliştirilmesi amacı ile kile doğal hafif bir agrega olan diatomit toprağı katılarak da, 1983 yılında İ.T.Ü. laboratuvarlarında bir tez çalışması yapılmıştır [29]. Çeşitli fiziksel ve mekanik özellikler pişmiş ürünler üzerinde incelenmiş, hacimce % 70 oranındaki katkıların hacim ağırlıklarının oldukça düşük olmasına rağmen (ort. 1.17 gr/cm^3), kil ile yeterli bağlayıcılık özeliğı göstermediklerinden ve mukavemetlerinin düşük olmasından dolayı bu ve daha büyük oranlardaki diatomit katkısının yararsız olduğu belirtilmiştir. Daha düşük konsantrasyonlardaki karışımlar ise uygun bulunmuş, daha ileri düzeydeki araştırmalar vasıtası ile üretimlerinin mümkün olabileceğı ve yapılarda hafif bileşenler olarak kullanılabilecekleri sonucuna varılmıştır.

Ponza katkısı ile tuğla üretimi konusunda yapılan tek çalışma ise H.Schmidt'e [39] aittir. Schmidt özellikle organik ve mineral katkıların, seramik kütlelerin porozite ve boşluk dağılımı üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamıştır. Bu doğrultuda 6 değişik kile önce belli oranlarda stropor ve talaştozu ilave etmiştir. Mineral katkılar olarak da ponza, kireç + kırmızı toprak, feldspat, ateş tuğlası, illit, kum ve seriziti seçmiştir. Elde ettiğı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

. Kile katılan ateştoprağı ve illit daha küçük boşluk yarıçaplarına yol açarken, % 10 kum, % 10 ponza ve % 10 feldspat katkısı gözeneklerin büyümesine hemen hemen aynı şekilde yol açmaktadır.

. Görünür porozite, illit, ateş toprağı, montmorillonit, kum ve serizit katkısıyla azalmakta, feldspat katkısının etkisi değişmekte, buna karşılık ponza ve kireç görünür poroziteyi arttırmaktadır.

. Numunelerin birim yoğunluğu ponza, kireç, feldpat ile azalırken, illit, ateş toprağı ve montmorillonit ile artmaktadır.

Hafifletici niteliği olmayan, fakat pişmiş ürünlerin diğer özellikleri üzerinde etken olan katkı maddeleri ile yapılan çalışmalar:

N. Toydemir, [6], geniş kapsamlı bir çalışmada "kile katılan kum oranının, pişme sıcaklığı ve pişme süresinin" pişmiş toprak malzemenin mekanik ve fiziksel niteliklerini ne yönde ve hangi düzeyde etkilediğinin araştırılmasını amaçlamış, ve sonuçta bu üç etkenin mekanik ve fiziksel özellikler üzerindeki etkinliklerinin değişimine dayalı olarak, belirli performansta pişmiş toprak yapı malzemesi üretimine değişik seçenek olanakları sağlayan rasyonel bir üretim yöntemi önermiştir.

Kil-kum tuğlaları üzerinde yapılan bir diğer çalışmada [40] ise kum tane boyutunun pişmiş ürünler üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ağırlıkça % 70 kil, % 30 kum ile hazırlanan karışımda, orta tane boyutlu (1.00 mm 0.5 mm arası) kum kullanıldığı zaman optimum mekanik ve fiziksel özelliklere sahip tuğlalar üretilebileceği sonucuna varılmıştır.

Kile hacimce % 20, % 25 ve % 38 olmak üzere üç ayrı oranda kum katarak çalışmalar yapan Younes, Galal ve El-Didamony [41], daha çok bu katkının ve pişme sıcaklığının, tuğlanın ısı iletkenlik ve basınç mukavemeti özellikleri üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Bütün sıcaklıklarda kil oranı arttıkça zahiri porozite azalmış, ısı iletkenlik ise artmıştır. Sıcaklık artışı ise 950°C'ye kadar ısı iletkenlikte, porozite azaldığı halde bir düşüşe yol açmıştır. % 75 kil, % 25 kum karışımı, bütün pişme sıcaklıklarında olumlu basınç mukavemeti değerleri verdiğiinden, bu karışımın optimum karışım oranı olduğu sonucuna varılmıştır.

Hafifletici niteliği olmayan, endüstriyel atıklarla yapılan çalışmalar:

Endüstriyel atıkların, çevre kirliliğine yol açacak düzeydeki yığılmalarını önlemek endişesi ile hareket ederek, galvanizleme, asit ile temizleme ve emayeleme işlemlerinin atık ürünü olan metal hidroksit çamurlarını opalin kiline karıştırarak geniş kapsamlı çalışmalar yapan N. Manns, H. Scheider ve W. Erchler [42] aynı zamanda bir yapı malzemesi olarak tuğla için gerekli olan niteliklerin bu çamurların katılması ile ne dereceye kadar etkilendiğini de saptamayı amaçlamışlardır. Ağırlıkça % 1'den başlayarak, % 20'ye kadar oranlarda metal hidroksit çamuru ilavesi ile elde edilen numuneler üzerinde, rötire, eğilme dayanımı, hacim ağırlık, su emme gibi fiziksel deneylerin, dilatometrik analiz, çiçeklenme tuzlarının oluşumu ve mikro düzeyde elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerin değerlendirilmesi ile bu ürünlerden ağırlıkça % 5'den % 10'a kadar olan metal hidroksit katkısının, tuğla kilinin özellikleri üzerinde hiçbir ters etkisi olmadığı ve bunların duvar tuğlalarında kullanılmalarının uygun olduğu sonucuna

varılmıştır. Ancak, bu sonucun bütün tuğla killeri ve bütün metal hidroksit çamurları için geçerli olmadığı, bundan dolayı metal hidroksit çamurlarının herbir bileşeninin duvar tuğlalarının teknolojik ve kimyasal ve mineorolojik özellikleri üzerindeki etkilerinin daha detaylı analizlerle incelenmesi önerilmiştir.

G. Ortelli ve P. Vincenzini [43], de, seramik döşeme ve duvar karosu üreten fabrikaların sırlama atığı olan seramik çamurlarının, ağırlıkça % 1'den % 7'ye kadar oranlarda kalkerli bir tuğla kiline karıştırılması ile, çiçeklenme tuzlarının oldukça azaldığını ve hatta yok olduğunu gözlemlemişlerdir.

E. Tauber ve M.J. Murray [44], kil, cam kırığı atıkları karışımına küçük miktarlarda metal oksitler ve pigmentler ilave ederek değişik renklerde kiremitler elde etmişler, Beretha ve Brown [45] ise renkli tuğlaların üretiminde kullanılan endüstriyel manganeze alternatif olarak, manganez çamuru ve çelik fabrikası cürufu gibi endüstriyel atıkların kullanımını önermişlerdir.

BÖLÜM 4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1. Araştırmanın Amacı ve Kapsamı

Bu araştırmada, hafif tuğla üretiminde daha önce denenmemiş hafif bir doğal taş olan ponzanın, tuğla kiline katılıp pişirildiği zaman, pişmiş ürünün niteliklerini ne yönde etkilediğinin, özellikle, tuğlayı hafifletme çabalarına ne derece katkıda bulunabileceğinin araştırılması amaçlanmıştır.

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi herbir hafifletici katkının tuğla özellikleri üzerinde, hammadde özelliklerine de dayalı olarak değişik etkileri vardır. Organik yanıcı katkıların, tuğlayı hafifletmedeki başarıları oldukça fazladır. Buna karşın, bu yanıcı katkıların, pişme esnasında yaydıkları zehirli gazlar bunlar için bir dezavantaj oluşturmaktadır. İnorganik katkıların ilavesi ise daha çok, ilave bir enerji ile doğal malzemelerden üretilen perlit ve vermikülit gibi yapay agregalarla denenmiştir.

Ponza taşı ise, yurdumuzda en bol bulunan hafif agregalardandır ve özellikle hafif beton üretiminde kullanılmasının çeşitli yararları olduğu yapılan araştırmalarla ispatlanmıştır [28, s.27].

Bu yaklaşımlardan hareket ederek, diğer hafifletici katkılara bir alternatif malzeme olarak ponzataşı hafif agregası ile hafif tuğla üretiminin de araştırılmasının yararlı olacağı sonucuna varılmıştır.

Ancak diğer hafifletici katkılarla mukayese edildiğinde ponzataşı hafif agregasının bazı dezavantajları olduğu da kabul edilmiştir:

. Ponzataşının birim hacim ağırlığı ancak çok iri dane çapına sahip ponzalarda diğerlerinin değerine yaklaşabilmektedir.

. 4 mm'den büyük çaplı danelerin kullanılması ise ekstrüzyon yöntemi ile gerçekleştirilemez.

. Bundan dolayı, pişmiş ürünlerin birim hacim ağırlıkları ve dolayısı ile ısı iletkenlikleri diğer hafifletilmiş tuğlalara göre daha yüksek değerlerde kalabilir.

Bununla birlikte, tuğla üretiminde vazgeçilmez bir aşama ve pişme prosesi için gerekli, fakat maliyeti yükselten bir unsur olan enerji sarfının yanısıra hafifletmek için mümkün olduğu kadar daha az ek maliyet getiren yöntemlerin seçilmesinde de, ponzataşının artı bir avantajı olduğu da bir gerçektir.

Bu araştırmada, açıklanan gerekçelere dayanarak ponzataşı katkısının sadece hafifletici etkilerini ve termal özelliklerini incelemek değil, aynı zamanda elde edilen ürünlerin özelliklerinin, daha ileriki çalışmalarla daha da iyileştirilebilmesi amacı ile, pişmiş ürünler üzerinde geniş kapsamlı incelemeler yapılması da amaçlanmıştır. Birim hacim ağırlık, ısı iletkenlik, eğilme ve basınç dayanımlarının yanısıra, bu özellikler üzerinde etken olan boşluk yapıları, boşluk çapı dağılımları, cam fazı oluşumları da olanaklar elverdiğince elektron mikroskobu (İng: SEM-Scanning Electron Microscopy), civalı porozimetre (İng:MIP-Mercury Intrusion porosimetry) gibi cihazlarla araştırılmaya çalışılmıştır. Araştırmanın ayrıntılı açıklaması,

sonuçlar ve tartışması aşağıdaki bölümlerde sunulmaktadır.

4.2. Deneylerde Kullanılan Malzemelerin Tanımlanması

4.2.1. Kullanılan Kilin Özellikleri

Tüm deneyler için üretilen örneklerde, Beykoz ilçesi Göksu deresi, çömlekçi kili kullanılmıştır.

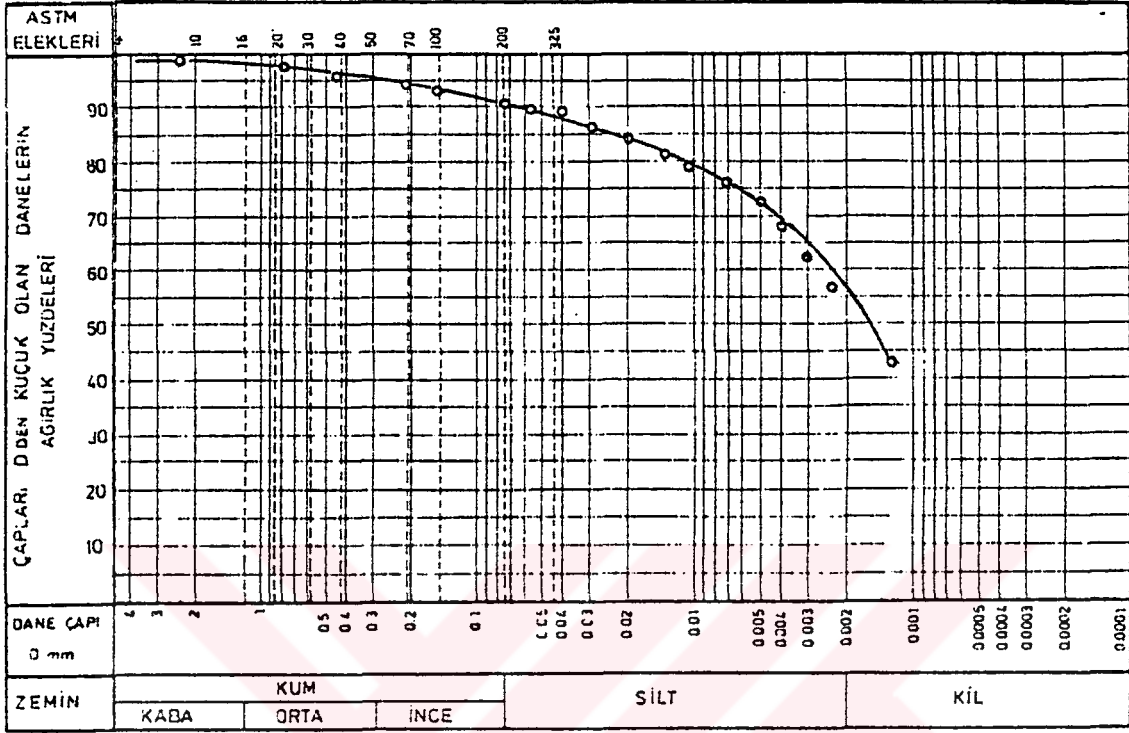
Söz konusu bu kilin özelliklerini saptamak amacı ile aşağıda belirtilen analiz ve çalışmalar yapılmıştır:

- . Granülometrik analiz
- . Kilin özgül ağırlığı
- . Kıvam limitleri
- . Kimyasal analiz
- . X-Işınları analizi
- . Diferansiyel termal analiz (İng : DTA-Differential Thermal Analyses)
- . Termagravimetrik analiz (İng : TG-Thermogravimetric Analyses)
- . Dilatometrik analiz

Kilin granülometrik yapısı ve kıvam limitleri değerleri aynı kil üzerindeki daha önceki bir çalışmadan [29, s.13, 14] alınmıştır.

4.2.1.1. Kilin Granülometrik Yapısı

Kullanılan bu kile ait granülometrik eğri şekil 4.1.'de görülmektedir. Bu sonuçlara göre kildeki hakim dane boyutu 2 μ dan küçük olan, kil büyüklüğüne karşılık gelmektedir. Başka bir deyişle, numune kilin dane yapısında % 57 oranında kil, % 34 oranında silt ve % 9 oranında kum büyüklüğünde daneler bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Kilin Granülometrik Eğrisi

4.2.1.2. Kilin Özgöl Ağırlığı

105°C de 24 saat etüvde tutularak kurutulan yaş kil numunesi, daha sonra elektrikli havanda öğütölüp toz haline getirilerek 211 µ'luk elekten elenmiş ve tekrar 105°C'de değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Bir piknometre vasıtası ile yapılan iki ölçümün sonucu olarak özgül ağırlık 2.700 gr/cm³ olarak bulunmuştur.

4.2.1.3. Kilin Kıvam Limitleri

. Plastik limit: 3 mm çapında makarna biçimindeki kil örneklerinin kopmadan yuvarlanabildiği su içeriği olarak tanımlanır [6, s.11]. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılan deneyler sonucu su içeriği % 23 olarak bulunmuştur. (İki numune ortalaması).

. Likit limit: Kilin kendi ağırlığı ile viskoz bir çamur gibi aktığı su içeriği olarak tarif edilir [14, s.27]. Gene aynı laboratuvarında yapılan deneylerle likit limite karşılık gelen su içeriği % 54 olarak saptanmıştır.

. Plastiklik indeksi: Kilin plastik durumda bulunacağı su içeriğinin alt ve üst limitini gösterir. Bu değer kilin su içeriğindeki değişimlere olan hassaslığının ölçülmesinde bir kriterdir [42]. Likit limitten plastik limit çıkarılarak bulunan plastiklik indeksi % 31 olarak saptanmıştır.

. Rötire limiti: Kilin artık rötire yapamayacak derecede su içermesi hali rötire limiti olarak tarif edilir [14,s.27]. Bu kil örneği için rötire limiti % 14 olarak tespit edilmiştir.

4.2.1.4. Kilin Kimyasal Özellikleri

Kullanılan kilin kimyasal özellikleri soda eritiş yöntemi ile saptanmıştır.

SiO ₂	:	% 63.92
Al ₂ O ₃	:	% 20.30
Fe ₂ O ₃	:	% 5.30

CaO	:	%	0.88
MgO	:	%	0.25
SO ₃	:	%	0.35
Kızdırma Kaybı	:	%	7.45
Tayin Edilemeyen	:	%	1.55
CaCO ₃	:		eser
Toplam	:	%	100

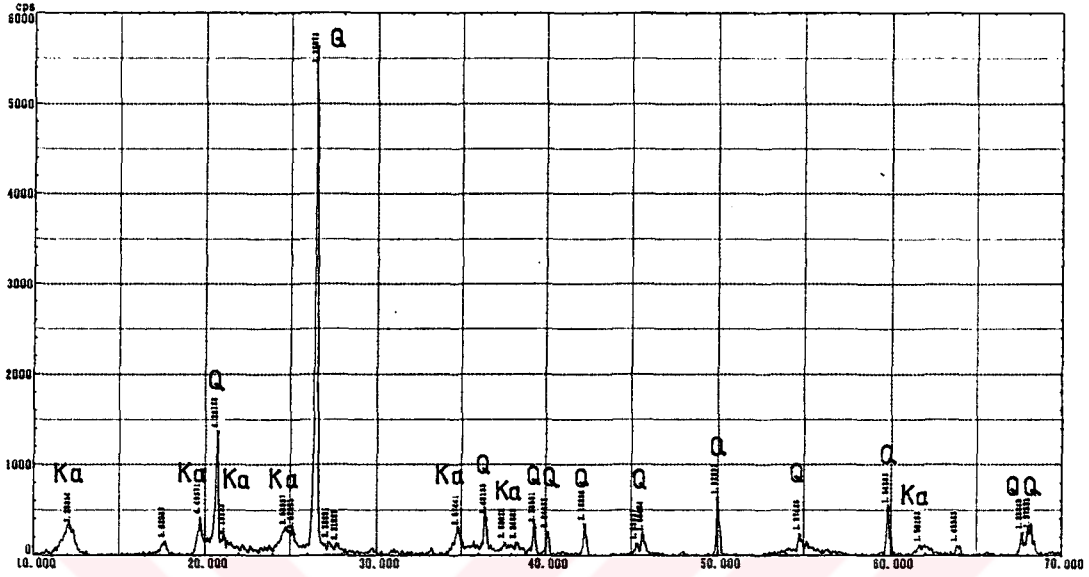
4.2.1.5. X- Işınları Difraksiyonu ile Analiz

Etüvde 105°C'de kurutulan ve daha sonra elektrikli agat havanda öğütölüp ince toz haline getirilen kil numunesi üzerinde Dmax-1000 marka X-Işınları Difraktometresi ile İ.T.Ü. Kimya-Metalurji Fakültesinde X-Işınları analizi yapılmıştır.

X-Işınları Difraksiyonu Metodu "X-Işınlarının, kristalin bir maddeye yöneltildiğinde, kristal içindeki atom veya iyon düzlemleri tarafından yansıtılması ve her maddenin kristal yapısının değişik yansımalar vermesi" esasına dayanır [5, s.77].

İyice homojenize edilen ince toz halindeki örnekler difraktometrenin özel numune kabına düzgün bir şekilde yerleştirildikten sonra CuK α radyasyonu numunenin üzerine gönderilir. Işın demetlerinin maddenin üç boyutlu kristal kafeslerinde difraksiyona uğraması sonucu, difraksiyon şiddeti ile orantılı olan saniyedeki darbe sayısını, 2 θ difraksiyon açısının fonksiyonu olarak veren difraktogramlar elde edilir [46, s.191].

İncelenen kil numunesinin X-Işınları difraktometre diyagramı şekil 4.2.'de görülmektedir. Bu diyagramın incelenmesi ile kil örneğinin kaolinit grubu bir kil minerali olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.2 Kilin X-Işınları Difraktometre Diyagramı
Q= Kuvars, Ka= Kaolen

Ana kil minerallerinin yanında, killerin değişen miktarlarda, kilin kullanılabilirliğini ve davranışını etkileyen plastik olmayan yabancı mineraller, başka bir deyişle gayri saflıklar içerdikleri bilinmektedir. X-Işınları difraktogramında da görüldüğü gibi kaolinitin yanısıra önemli miktarda kuvars minerali de bulunmaktadır.

4.2.1.6. Diferansiyel Termal Analiz ve Termogravimetrik Analizle İnceleme

Termal analiz, diferansiyel olsun veya olmasın, bir madde fiziksel veya kimyasal değişimlere uğradığı zaman, bu madde tarafından verilen veya alınan ısıнын incelenmesi esasına dayanır [6, s.17].

Bu amaçla kullanılan cihaz, bir fırın, bu fırında ısınan örnek ile (ısı karşısında duyarsız) bir inert madde , genellikle kalsine alüminyum oksid ($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$) ve termokupllardan oluşur. Bu şekilde ısıtılan deney numunesinin referans inert maddeye göre termal davranış farkları belirlenerek bu maddenin özellikleri saptanır [6, s.18].

Kil mineralleri durumunda ise, diferansiyel termal analizler, dehidratasyon ve kristal strüktürünün kaybolmasından dolayı karakteristik endotermik reaksiyonu ve artan sıcaklıklarda yeni fazların oluşmasından dolayı da egzotermik reaksiyonlar gösterirler [8, s.195].

Bu çalışmada numunelerin DTA ve aynı zamanda TG analizleri TUBİTAK Marmara Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumunun Malzeme Laboratuvarındaki cihaz ile yapılmıştır. Elde edilen grafik Şekil 4.3'de görülmektedir.

Genel olarak, kaolinit grubu killerin dehidratasyon eğrisi, az bir su kaybına karşılık gelerek, hemen hemen yaklaşık 100°C 'ye kadar düz gider. Bazı zayıf kristalize kaolinitler, 100°C , 200°C civarında küçük bir endotermik pik gösterirler, bu da kaolinit birimlerinde düzensizlik olduğu zaman, tabakalar arasında küçük miktarlarda su olabileceğini işaret eder.

Diyagramın incelenmesinde 180°C 'ye kadar olan endotermik pik (A noktasına kadar) tabakalar arasındaki 3 mg'lık (toplam suyun % 33'ü) higrotermik suyun kaybolmasına karşılık gelir. Buradan sonra numune 450°C 'ye kadar çok az bir su kaybederek, hemen hemen düz gitmiştir.

B noktasından itibaren numune, bünyesinde kalan kristal suyun tamamına yakını kaybetmiş, C noktasında 560°C'de çok dik olmayan endotermik pik oluşturmuştur. Bu endotermik reaksiyon D noktasında 620°C civarında tamamlanmış, bundan sonra bünyesinde kalan çok az bir miktar su da yavaş yavaş 750°C'ye kadar kaybedilerek, dehidratasyon tamamlanmıştır.

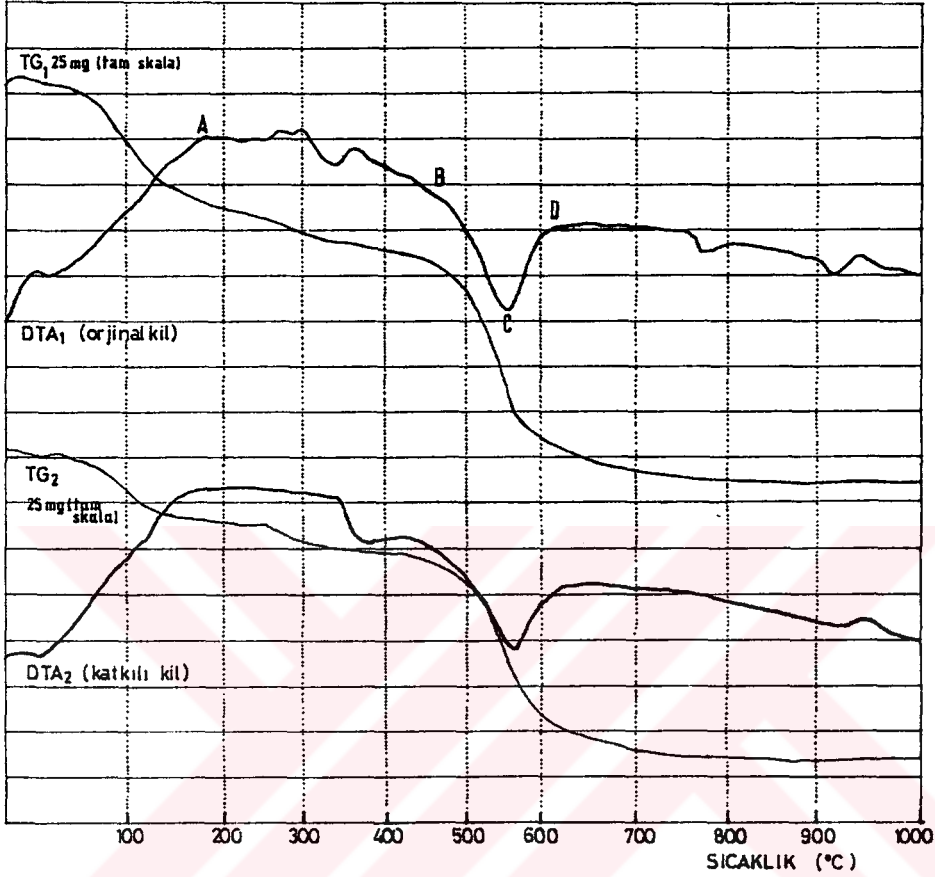
İyi kristalize kaolinitin diferansiyel termal eğrilerindeki, suyun kaybolmasına karşılık gelen endotermik pikler yoğun ve diktir. Reaksiyonun yoğunluğu (şiddeti) ve dolayısı ile pikin boyutu, aynı zamanda pik sıcaklığı, dane boyutu incelendiğinde ve kristalinite azaldığında hafifçe azalır. İyi kristalize kaolinitte bu pik 600°C civarındadır. Zayıf kristalize kaolinitte pik sıcaklığı, iyi kristallenmişse göre 20 ile 30°C kadar daha düşüktür [8, s.213].

900-1000°C'lerde oluşan egzotermik reaksiyon, zayıf kristalinize kaolinitte, iyi kristallenmişse göre daha az şiddettedir ve hafifçe daha geniş bir sıcaklık aralığında oluşur. Bazı araştırmacılar ise, yaklaşık 950°C'deki bu egzotermik reaksiyonun şiddetinin bazı gayrisaflikların miktarlarındaki değişimlere bağlı olarak, değişimler gösterdiğini ispatlamışlardır [8, s.214, 215].

Sonuç olarak, bu çalışmada kullanılan kilin, X-Işınları Difraksiyonu ve DT Analizlerinin incelenmesi ile kaolinit grubu bir kil olduğu, fakat çok iyi bir şekilde kristallenmediği ve aynı zamanda bünyesinde kuvars gibi değişen miktarlarda gayri safliklar içerdiği saptanmıştır.

Diğer taraftan, detayları 4.3.2. no.lu bölümde belirtildiği şekilde kuru kile oranla % 1.27 NaOH+%0.85 P₂O₅ katkısı ile hazırlanan ve burada ikinci bir hammadde gibi ele alınacak olan kil (buradan itibaren "katkılı

kil" olarak anılacaktır) ile de numuneler üretilmiştir. Bu kile ait DTA grafiği Şekil 4.3.'de görülmektedir



Şekil 4.3. Çalışmada Kullanılan Killerin DTA ve TG Kayıtları

Bu kil ile elde edilen grafik, orijinal kilinki ile karşılaştırıldığında çok az farklar görülmektedir. 560°C'deki endotermik pikin şiddeti çok az bir miktar azalmıştır. Ancak higrotermik suyun kaybolmasına karşılık gelen endotermik pik daha düşük bir sıcaklıkta (160°C) ve daha az bir su kaybı ile (toplam su kaybına oranla % 22.7) tamamlanmaktadır. Egzotermik pikin şiddeti ise bir miktar azalmıştır.

4.2.1.7. Dilatometrik Analiz

Kil numuneleri üzerinde genleşme analizi Linseis firmasının DL76 tipi standart dilatometresi kullanılarak yapılmıştır. Cihaz, pişirme hızı ayarlanabilen bir fırın ile, bu fırında pişen numunenin boy uzama veya kısalmalarını algılayıp, rekorder'a ileten özel bir cam piston ve fırın içersindeki sıcaklık artışını kaydeden nikel-krom nikel termokupllardan oluşur.

Bazı araştırmacıların, çeşitli kil minerallerinin genleşme büzülme eğrileri üzerinde yaptıkları incelemelere göre, kaolene ait eğri tipleri (Şekil 4.4) aşağıda sıralanan aşamaları içerir:

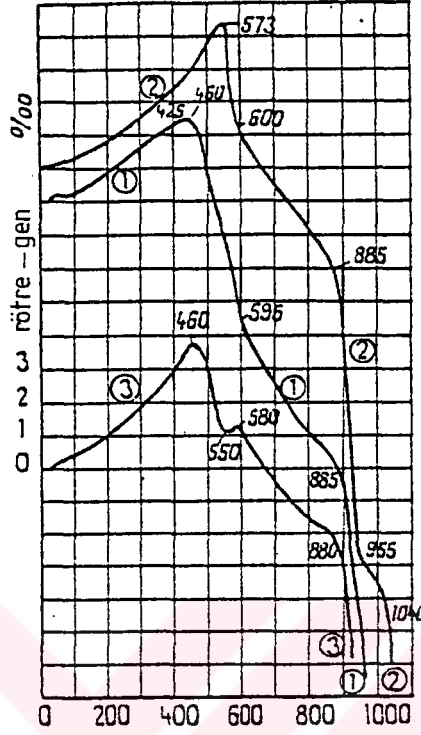
(i) Tipik kaolen eğrisi, 490-510°C'ye kadar gelişen yavaş bir genleşme.

(ii) 490-510°C ve 870-890°C arasında, yapısal suyun ayrılmasına bağlı olarak gelişen karakteristik endotermik reaksiyonu ifade eden birinci büyük rötire ,

(iii) İkinci büyük rötire 870-890°C ile 940-970°C arasında görülür. Bu da egzotermik etkinin başlangıcını belirten bir sonuçtur, [47, s.269] ve γ -Al₂O₃ veya müllitin oluşumuna atfedilir [8, s.216].

(iv) 940-970°C ile 1020-1070°C arasında zayıf genlikli üçüncü rötire oluşur.

(v) 1020-1070°C arasında ise eğimi fazla olan dördüncü büyük rötire gelişir [47, s.269].



Şekil 4.4 Kaolenin Genleşme-Rötire Eğrileri,
 (1) Alüminyumlu kaolen (ticari Arvor kaoleni),
 (2) Silisyumlu kaolen (Barbières kaoleni) ve
 (3) Silisli kaolenitik kil (Provins kili)

Saflığı bozucu maddelerin varlığı saf kilin genleşme-büzülme eğrisindeki değişimleri oluştururlar. Kaolenitik killerde kuvarsın varlığı ilk büyük rötrenin genliğini azaltır. İllitin varlığı ise, 500°C'ye doğru kaolenitin karakteristik rötresini gölgeler [47, s.275].

Şekil 4.4 deki eğrilerin incelenmesi ise şu sonuçları ortaya çıkartmaktadır.

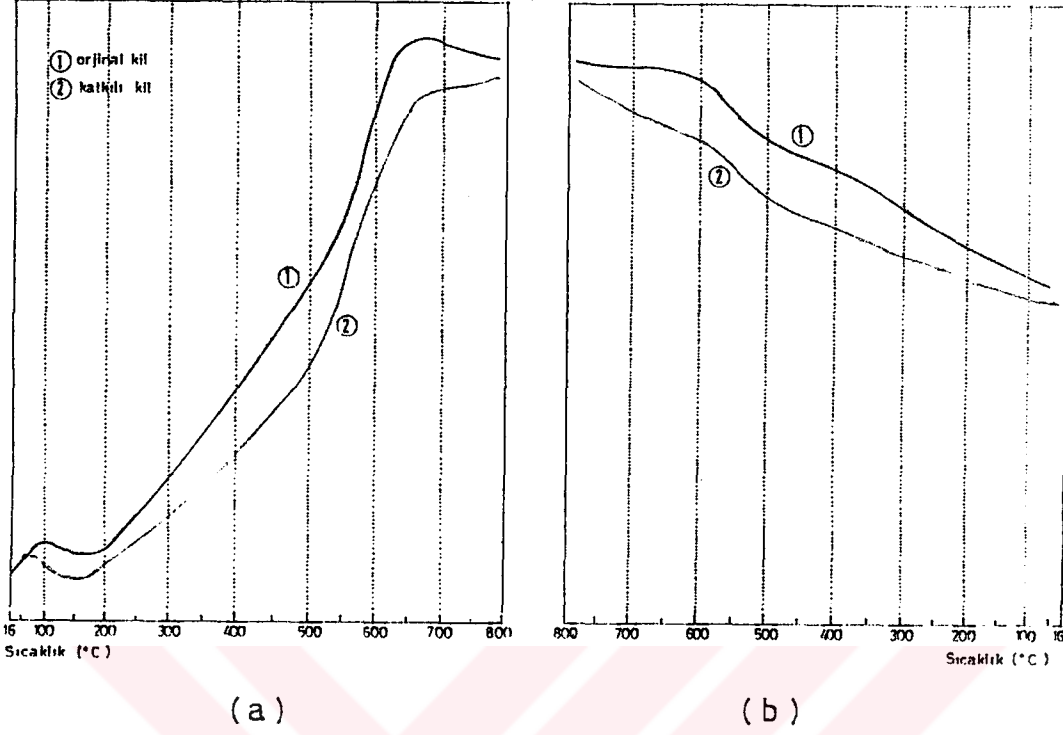
Silisli kaolenin (Barbières kaoleni) içerdiği serbest kuvars, başlangıçta, bu kaolene 573°C'ye doğru

kuvvetli dilatometrik bir itme verir ve ilk büyük rötrenin genliğini azaltır. Buna karşılık ikinci büyük rötreye daha hızlıdır. Silisli kaolenitik kil (Provins kili) için ise, ilk büyük rötreye, 550°C'de başlayan ve 580°C de doruk noktasına ulaşan kuvars etkisi ile engellenir. [47, s.275]

Bu çalışmada ise orijinal ve katkılı kilin dilatometrik analizi dakikada 5°C'lik ısıtma hızı ile yapılmıştır. Şekil 4.5 a ve b de orijinal (1 eğrisi) ve katkılı (2 eğrisi) kilin genleşme-büzülme eğrileri görülmektedir. Buna göre, her iki kil de önce 100-150°C arasında higroskopik bağlı sularını kaybetmelerine karşılık gelen hafif bir büzülme göstermişlerdir. Daha sonraki genleşme eğrisinin incelenmesinde ise, iki ayrı faz dönüşümü noktası gözlenmektedir. Bunlardan birincisi muhtemelen SiO_2 ve Al_2O_3 'ün ayrışmasına karşılık gelen ve orijinal kilde 550°C'de, katkılı kilde ise 500°C'de, ikincisi ise her iki kilde de 650°C'de gelişen noktalar. Bunu takiben orijinal kil, deney sonu olan 800°C'ye kadar hafif bir büzülme göstermiş, katkılı kil ise eğimi az olan bir eğri ile genleşmeye devam etmiştir.

Tipik kaolen eğrisinde 490-510°C'lerden sonra gelişen birinci büyük rötreye ise, muhtemelen bu araştırmada kullanılan kildeki kuvars gibi gayrisaflikların veya kaolenitik kildeki illitin varlığı ile gölgelenmiş olabilir.

800°C'den itibaren soğumaya bırakılan katkılı kil ise, bu noktadan itibaren büzülmeye başlamış, orijinal kil ise 650°C'de başlayan büzülmesine devam etmiştir (Şekil 4.5b). Bu büzülme eğrilerinde ise birincisi 600°C'de, ikincisi 500-550°C'de olmak üzere iki ayrı dönüşüm noktası gözlenmiştir.



Şekil 4.5 Kullanılan orijinal ve katkılı kilin genleşme büzülme eğrileri (a) ısıtmadaki eğriler (b) soğutmadaki eğriler

4.2.2. Ponza Taşı Özellikleri

Bütün deneylerde, daha önceki bir çalışmada [28] Nevşehir yöresinden temin edilen ponza taşları kullanılmıştır. Ponza taşlarının yanında ağırlıkça % 10 civarında andezit kökenli lav parçacıkları da bulunmaktadır. Lav parçalarının ayrılması yoluna gidilmemiş, bütün karışımlarda birlikte kullanılmışlardır.

Ponza taşı özelliklerinden, özgül ağırlık, birim hacim ağırlık, su emme, basınç dayanımı, kimyasal özellikler petrografik analiz ve lineer genleşme katsayısı

yukarıda sözü geçen çalışmadan alınmıştır.

4.2.2.1. Özgül Ağırlık

Ponza taşı hafif agregasının özgül ağırlığı 2410 kg/m³ olarak bulunmuştur. Özgül ağırlığın bulunmasında izlenen yol şudur:

Ponza taşı öğütölüp toz haline getirilerek 90µ'luk elekten elenmiş ve 105°C'de değişmez ağırlığa kadar kurutulmuştur. Sıvısı benzin olan piknometre ile yapılan üç ölçümün ortalaması alınmıştır.

4.2.2.2. Birim Hacim Ağırlık

2/4 mm'lik dane grubuna ayrılan ponza taşlarının fırın kurusu durumuna göre birim hacim ağırlığı* 930 kg/m³ olarak bulunmuştur. Deney DIN 4226'ya uygun olarak yapılmış, boşluk içeriği ise % 61 olarak hesaplanmıştır.

4.2.2.3. Su Emme

Ponza taşı hafif agregalarının çeşitli sürelerdeki su emme yüzdeleri kuru ağırlıklarına göre hesaplanarak Tablo 4.1'de verilmiştir.

* Buradaki birim hacim ağırlığı: $\delta = P/v$

P= ağırlık

V= dane içindeki boşluklar dahil olmak üzere danelerin hacmidir.

Tablo 4.1 Ponza Taşı Hafif Agregası Su Emme Değerleri

Dane Grubu (mm)	Su emme %		
	30 (dak.)	24 (saat)	72 (saat)
2/4	17	30	32

4.2.2.4. Basınç Dayanımı

Ponza taşının basınç dayanımı 8.3 N/mm^2 olarak bulunmuştur. Deney $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ boyutlarındaki kübik numuneler üzerinde yapılmış ve beş numunenin ortalaması alınmıştır.

4.2.2.5. Ponza Taşının Kimyasal Özellikleri

SiO_2 (Toplam)	: 89.60
SiO_2 (Çözünmeyen)	: 81.36
SiO_2 (Çözünen)	: 8.24
Fe_2O_3	: 1.60
Al_2O_3	: 1.70
CaO	: 2.42
MgO	: 0.37
SO_3	: Yok
Kızdırma Kaybı	: 4.40
Tayin Edilemeyen	: -
Toplam	: 100.09

4.2.2.6. Ponza Taşının Petrografik Analizi

Ponza taşından alınan ince kesitler üzerinde yapılan incelemeye göre :

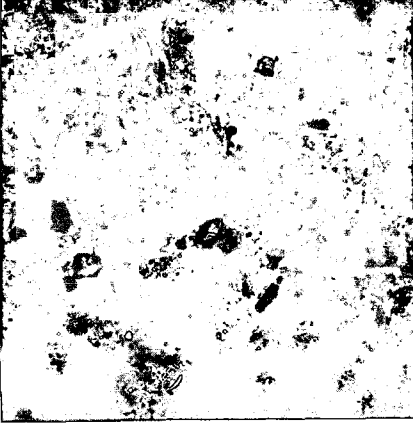
Örnek esas olarak camsı ve gözenekli bir dokuya sahiptir. Hızlı ve ani soğumanın sonucu olarak meydana gelmiş, kısmen devifrikiye (yeniden kristallenmiş) olup, genellikle uçları yuvarlanmış ya da kütleşmiş çok çeşitli şekillerdeki cam kristalitleri belirli bir doğrultuda sıralanmış durumdadır.

Camsı hamur içerisinde tektük (% 5'in altında) biyotit ve plajiolklas kristalleri ile tali mineral olarak zirkon izlenmiştir.

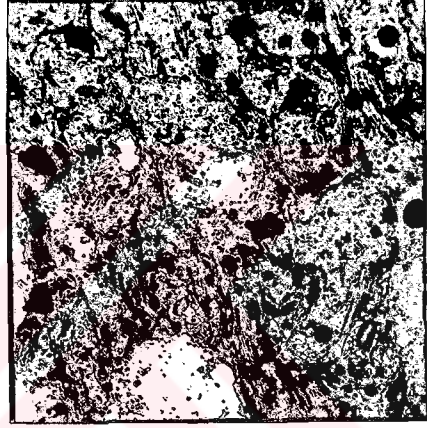
Gözenekler kayacın ortalama % 30-40'ını oluşturmaktadır, şekilleri de çok düzensizdir (Şekil 4.6).

4.2.2.7. Ponzataşının X-Işınları İle Analizi

X-Işınları analizi için, agat havanda öğütülerek toz haline getirilen ponza taşındaki lav parçacıkları ayıklanmamış, birlikte öğütülmüştür. Öğütülen numune üzerinde, İ.T.Ü. Kimya- Metalurji Fakültesinde Dmax-1000 marka X-Işınları Difraktometresi ile kalitatif bir analiz yapılmıştır. Elde edilen diyagram Şekil 4.7'de verilmiştir. Bu diyagramın incelenmesinde, taşın, amorf malzemeye özgün ve $2\theta=20^\circ$ ve 30° 'ler arasında görülen bir şişmanlıktan dolayı başlıca volkanik camdan oluştuğu anlaşılmaktadır. Bunun yanı sıra kuvars , A (amorf) ve CT (kristobalit-tridimit) opal, feldspat ve bir miktar kaolen bulunmaktadır.



(a)



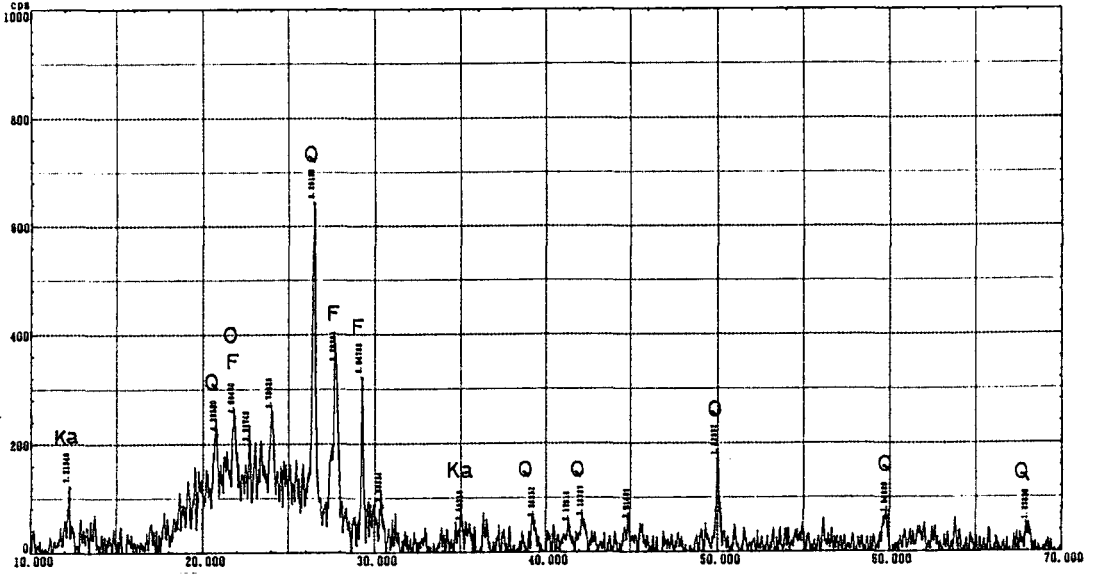
(b)



(c)

Şekil 4.6. Ponza Taşı İnce Kesiti

- a) Biyotit ve hornblend oluşumları
- b) Boşluk ve akma yapısı belirgin
- c) Boşluk yapısı belirgin ve mineraller mevcut



Şekil 4.7. Ponza Taşının X-Işınları Difraksiyon Diyagramı
Ka= Kaolen, Q= Kuvars, F= Feldspat,
O= Opal (A-CT)

4.2.2.8. Ponza Taşı Lineer Genleşme Katsayısı

Ponza taşının lineer genleşme katsayısı $\beta=5.09 \times 10^{-6}$ olarak hesaplanmıştır. Deneyler Linseis DL 76 tipi standart dilatometresi kullanılarak, dakikada 1°C 'lık ısıtma hızı ile ve 20°C ile 120°C arasında yapılmıştır.

4.3. Kil-Ponza Karışımları

4.3.1. Kabul Edilen İlkeler ve Karışım Hesapları

Bu çalışmada, ponza katkısının, tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkileri iki ayrı açıdan incelenmek üzere program yapılmıştır:

1) Ponza dane boyutunun etkisi:

a) Değişik dane boyutlarına elenen ponzalardan, mevcut elek takımına göre, 3.35/2.36, 2.36/2, 2/1' mm olmak üzere üç ayrı grup elde edilmiştir. 1 mm'nin altının tuğlanın birim yoğunluğu üzerinde etkisi olmadığı kabul edilerek kullanılmamıştır.

b) Ancak bu dane gruplarından herbirinden ayrı ayrı üretim yapmanın, doğal koşullarda zor ve zahmetli olacağı düşüncesi ile, en büyük agregaya boyutu 4 mm olacak şekilde bütün dane boyutlarını içeren bir karışım yapılması da planlanmıştır. Bu amaçla, beton karışım hesaplarında, bir referans eğri olarak kabul edilen Fuller parabolüne uygun agregaya granülometrisi esas alınmış, ayrıca 1 mm'den daha küçük dane boyutlarındaki agreganın da daneler arasındaki boşluklara yerleşerek mukavemeti arttıracacağı düşüncesi ile bu karışıma küçük dane boyutlu toz halindeki ponzaların ilavesi de uygun görülmüştür.

Bir agregaya yığnında, danelerin birbirine değme şekillerine göre boşluklar meydana gelecektir. Minimum boşluk oranı, en küçük ve en büyük agregaya arasındaki maksimum boyut değişimi ile elde edilebilir. Bu ilişki Fuller'e göre,

$p = 100 (d/D)^{1/2}$ formülü ile ifade edilmiştir [9, s.247, 248].

Burada

p = d açıklıklı elekten geçen malzeme ağırlık yüzdesi

D = agregadaki maksimum dane boyutu

d = incelenen elek çapıdır.

Fuller parabolü ve mevcut elek takımına göre hesaplanan elekten geçen malzeme yüzdesi Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2. Ponza Taşının Granülometri Değerleri

Elek Çapı (mm)	4.00	3.35	2.36	2.00	1.00	0.211	0.104
Elekten geçen %(ağırlık) ponza	100.00	91.50	76.80	70.70	50.00	35.35	16.12

Örnek alma sistemi ile elde edilen ponza grupları üzerinde, aynı elek takımı ile, granülometri eğrileri elde edilmiş, fakat hiçbirisi Fuller parabolüne uygunluk göstermemiştir. Bu nedenle ponzalar her bir dane grubundan ayrı ayrı tartılmak suretiyle uygun granülometri sağlanmıştır.

2) Ponza hacim oranının etkisi

Agrega danelerinin, idealleştirilmiş küre konumuna göre ve kübik sistemde birbirlerine değmeleri halinde boşluk yüzdesinin % 47.64 olacağı varsayımı ile hareket edilerek, pişmiş duruma göre, hacimce % 47 tuğla- % 53 ponza olacak şekilde bir karışım, buradan itibaren de, % 40 tuğla- % 60 ponza, % 30 tuğla- % 70 ponza, % 20 tuğla- % 80 ponza, % 10 tuğla % 90 ponza ve yarı yarıya olması durumundan dolayı da % 50 tuğla- % 50 ponza olacak şekilde karışımlar planlanmıştır.

Ancak tek tip dane çaplı karışım grupları ile % 80 ve % 90 ponza oranlarına çıkılması üretim koşulları açısından mümkün olmamıştır. Fuller parabolüne göre yapılacak karışımlarda ise, ince boyutlu agreganın da bulunması nedeni ile % 50 ve % 53 oranlarındaki ponza ilavesinin, birim ağırlıkta yeterince azaltım sağlamayacağı düşünüülerek, karışımlar % 60 ponza, % 40 tuğla oranlarından başlatılmıştır.

Böylelikle ponza dane boyutu ve hacim oranlarına göre 16 ayrı karışım elde edilmiştir. Bunlar:

- 1) % 50, % 53, % 60, ve % 70 olmak üzere dört ayrı ponza hacim oranından 3.35/2.36 mm, 236/2 mm, 2/1 mm olmak üzere üç ayrı dane boyutunda 12 ayrı karışım,
- 2) Fuller parabolüne göre granülometrisi ayarlanan ponzalardan % 60, % 70, % 80, % 90 hacim oranlarında 4 ayrı karışım olarak belirlenmiştir.

Ayrıca pişme sıcaklığının ponza+kil karışımlarından hazırlanan tuğlalar üzerindeki etkilerini araştırmak ve ponza katkılı tuğlalar için optimum bir pişme sıcaklığı belirleyebilmek amacı ile 800, 850, 900, 950, ve 1000°C'lerde olmak üzere beş ayrı sıcaklıkta pişirilmeleri tasarlanmıştır.

Pişmiş duruma göre hacimsel oranların bulunabilmesi ve ağırlık birimlerine çevrilebilmesi için, ponzasız tuğlaların üretilmesi ve bazı ön deneylerin yapılması gerekmektedir. Bölüm 4.3.2'de belirtildiği şekilde hazırlanan kurutulan ve pişirilen numunelerin,

- i) Plastiklik suyu yüzdeleri, kuru ağırlığın yüzdesi olarak TS 4790'a [48] uygun olarak hesaplanmış ve 15 numunenin ortalaması alınarak % 39.1 olarak bulunmuştur.

ii) Kristal suyu yüzdeleri, pişmiş ağırlığın yüzdesi olarak;

% K.S.=[(W_y-W_p)/W_f] $\times$ 100 formülü ile hesaplanmıştır.

Burada:

% K.S.= Kristal suyu yüzdesi

W_y = Numunenin yaş ağırlığı (gr)

W_p = Numunenin pişmiş ağırlığı (gr)

dır.

iii) Birim hacim ağırlıkları her bir pişme sıcaklığı için, suya doymun duruma göre, TS 699'a [49] uygun olarak hesaplanmıştır.

800, 850, 900, 950 ve 1000°C'de 2 saat bekleme süresi ile her bir pişme sıcaklığı için 3 adet olmak üzere, beş ayrı pişme sıcaklığında pişirilen 15 adet numunenin kristal suyu yüzdeleri ve birim hacim ağırlıkları ortalaması Tablo: 4.3'de verilmiştir.

Tablo 4.3. Üretilen Tuğlaların Kristal Suyu Yüzdeleri ve Birim Hacim Ağırlıkları

Pişme Sıcaklığı °C	Kristal Suyu % ort.	Birim Hacim Ağırlık Δ = gr/cm ³ ort.
800	46.00	1.74
850	47.78	1.71
900	48.77	1.74
950	48.32	1.82
1000	48.24	1.92

Herbir pişmiş hacim oranına karşılık gelecek, yaş kil ve ponza ağırlıkları ise bu verilere dayanarak aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

i) Her bir hacim oranına karşılık gelen 1 m³ karışıma girecek tuğla ve ponza ağırlıkları, tuğla ve ponzanın birim hacim ağırlıklarından hesaplanmış,

ii) Pişmiş tuğla ağırlığı, yaş ağırlığa

$W_{TY} = W_T \times (K.S. + 1)$ (4.6) formülü ile çevrilmiştir.

Burada:

W_{TY} = Yaş tuğla (kil) ağırlığı

K.S. = Tuğlanın kristal suyu gr/gr

W_T = 1 m³ karışım elde edebilmek için gerekli tuğla ağırlığı

iii) ii No'lu basamakta elde edilen yaş ağırlık " W_{TY} " plastiklik suyu yüzdesi % PS= 39.1 olan tuğlaların yaş ağırlığıdır. Halbuki ponza+tuğla üretimlerinde kullanılacak kilin nemi, kili koruma tedbirlerine rağmen değişebilmektedir. Bunun için her üretim başlangıcında mevcut kilin plastiklik suyu yüzdesinin (PS) bulunması gereklidir.

Buradan, 1 m³ karışıma girecek tuğlanın, düzeltilmiş yaş ağırlığı hesaplanır:

$$W'_{TY} = (W_{TY}/PS+1) (PS'+1)$$

W'_{TY} = Düzeltilmiş kil ağırlığı (plastiklik suyu PS' olan)

PS = Referans tuğlanın, plastiklik suyu, ki buradaki tuğla serisi için 0.391 olarak hesaplanmıştır.

PS' = Üretimde kullanılacak kilin, plastiklik suyu

1 m³ karışımda pişmiş son duruma göre belli bir hacim oranını sağlayacak kil ve ponza ağırlıklarının bulunması ile bu malzemeler tartılarak karışımlar hazırlanmıştır.

4.3.2. Tuğla Üretimi, Karıştırma, Kurutma ve Pişirme Koşulları

4.3.2.1. Hammadde Hazırlama

Göksu Deresinden elde edilen kil kütleleri önce su içinde 10 gün süre ile bekletilip, yumuşamaları sağlanmış, daha sonra bir el matkabının ucuna takılan pervane vasıtası ile karıştırılmış ve dağıtılmışlardır. Elekten geçirilerek, iri taneler ve yabancı maddeler ayıklanmış, uygun ekstrüzyon kıvamına gelene kadar bekletilmiş ve dinlendirilmişlerdir.

Kilin hazırlanmasında bir ikinci yol daha denenmiş, killeri deflokulan (dağıtıcı) kullanarak su içerisinde dağıtılmışlardır. Deflokulan oranları Tauber, Pepplinkhouse ve Crook'un [19] verdikleri reçeteye göre 0.867 P₂O₅: 1 Na₂O olacak şekilde, 0.867 gr. fosfor pentoksit'e (P₂O₅) karşılık, 1.29 gr sodyum hidroksit (NaOH) olarak belirlenmiştir. Bir miktar da teknik amonyak katılmıştır. Bu şekilde hazırlanan killerin, diğerlerine göre daha az su ile karıştırılabildikleri, kil hamurunun ise dispersiyon haline gelip su içinde çökelmediği ve sulu halde iken jelimsi bir yapı gösterdikleri gözlenmiştir. Ayrıca kilin hazırlanması süresi de kısaltılmış, suda bekletilmeden, el mikseri ile parçalanabilmişlerdir.

Deflokulan katkısının pişmiş tuğlaların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerindeki etkilerinin incelenmesi amacı ile, P_2O_5 ve NaOH katkısı ile hazırlanan kilden de bölüm 4.3.1'de belirlenen 16 ayrı karışımın üretilmesine karar verilmiştir.

İlk önce, NaOH ve P_2O_5 katkısının kuru kile oranı ağırlıkça toplam % 3.08 olarak belirlenmiş, fakat bu şekilde üretilip pişirilen numunelerde, hem yüzeyde sırlanma ve hem de çekirdek kısmında siyahlanma görüldüğünden (Şekil 4.8), toplam katkı oranı % 2.12'ye indirilmiştir (% 0.85 P_2O_5 , % 1.27 NaOH).

Kil esaslı seramik malzemelerin iç kısımlarında görülen bu siyah bölgenin oluşum nedenleri birçok araştırmacıya konu teşkil etmiştir. Siyah çekirdek oluşumunun nedeni, uzun zamanlar boyunca, karbonlu malzemenin tam olarak yanmamasından dolayı burada oluşan tortulaşmaya yorumlanmıştır [50]. Brownell ise [51], demir-bileşenli killerin iç bölgesinde yaptığı çalışmalarda, bu siyah bölgenin, karbon tortularından çok, redüksiyona uğramış demir cinslerinden dolayı olduğunu öne sürmüştür. Siyah bölge, oksidasyon gazının numuneye nüfuz etmesinin engellendiği durumlarda, örneğin boşluk strüktürünü kapatan cam oluşumu ile, daha yaygındır [50].



Şekil 4.8. Toplam % 3.08 P_2O_5 ve NaOH Katkısı ile Hazırlanmış ve 1000 °C de Pişirilmiş Numune (Kırık yüzeyden görünüş)

Kil mineralinin termal çözülmesi ile ortaya çıkan su buharının varlığının ise, karbon ile reaksiyona girerek onu CO ve H₂ olarak ayırması yolu ile, siyah bölge oluşumunu önlediği de belirtilmiştir [52].

Mac Kenzie ve Cardile [50] ise, siyah çekirdekli, demir-içerikli numuneler üzerinde yaptıkları detaylı çalışmalarda, koyu rengin, yüksek sıcaklık seramik reaksiyonları sonucu oluşan demirli minerallerin, kimyasal kompozisyona ve reaksiyon durumlarına bağlı olarak, ferro piroksenler, olivinler veya feldspatların koyu renginden dolayı geliştiğini öne sürmüşlerdir.

Buradaki çalışmada ise, sadece katkılı numunelerde görüldüğünden ve bunlarda gelişen sırlanma oluşumlarından dolayı, siyahlanmanın daha çok oksidasyon gazının çekirdek bölgesine nüfuz etmesinin engellenmesi ile oluştuğu sonucuna varılmıştır. Aynı zamanda bu numunelerde, daha sonraki çalışmalarda görüldüğü gibi, camlaşmanın daha fazla olduğu da gözlenmiştir.

4.3.2.2. Numune Hazırlama

Killer, bir önceki bölümde anlatıldığı şekilde hazırlandıktan sonra şekillendirmeye geçmeden önce, ekstrüzyonla üretilen kütlelerde, plastik olmayan malzemenin ilavesi, ekstrüzyon kıvamı ve kil içerisindeki suyun homojen olmayan bir şekilde dağılması gibi faktörlerin laminasyonlara neden olması sebebi ile [53,54], ürün hatalarını minimize etmek üzere aşağıdaki üretim işlemleri uygulanmıştır:

. Su ile karıştırılan kil hamuru bir süre dinlendirilmiş, şekillendirmeye geçilmeden önce suyun homojen dağılmasını sağlamak amacı ile ekstrüzyon cihazından tekrar geçirilmiştir.

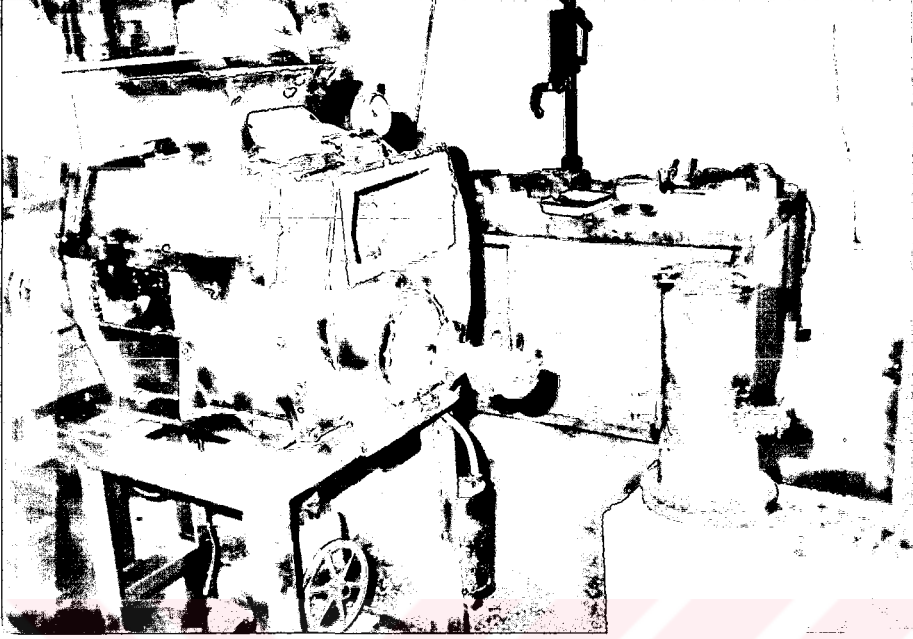
. Ponzasız killerde, kilin yoğurma suyu ve buna bağlı olarak plastikliği ve kıvamı, yüzey laminasyonları olmayacak şekilde ayarlanmış, ekstrüzyona uygun nem içeriği katkısız kilde, kuru kile oranla % 39, katkılı kilde ise % 34 civarında tespit edilmiştir.

. Kilin nemini almamaları için, karışıma girecek olan ponzalar bir gün önceden su ile ıslatılmışlardır.

. Ponza, kil karışımlarının homojenliğini sağlamak için, bunlar ekstruderin döner paletleri arasında karıştırılmışlar (Şekil 4.9 Şekil 4.10 ve Şekil 4.11) ve 1 gün süre ile dinlendirildikten sonra şekillendirme işlemine geçilmiştir (Şekil 4.12).

Ancak, ponzalı karışımlarda artan ponza miktarıyla birlikte, yukarıdaki önlemlere rağmen, "dragon dişi" [42] şeklindeki laminasyonların artımı engellenememiştir. Literatürde bu tür ürün hatalarının ekstrüzyon hızı ve filiyer eğim hatalarından ortaya çıkabileceği, artan ekstrüzyon hızının ve artan filiyer eğiminin plastiklik indeksini azalttığı ve tuğla yüzeylerinde "köpek-kulağı" veya "dragon dişi" şeklindeki laminasyonları arttırdığı belirtilmektedir [55].

Buradaki çalışmada kullanılan ekstruderde ise vakum odası işlemez durumdadır, basınç ve sonsuz vida hızı ise ayarlanamamaktadır. Bu nedenle, bu şekildeki laminasyonlar bir spatul vasıtası ile düzeltilmeye çalışılmıştır.



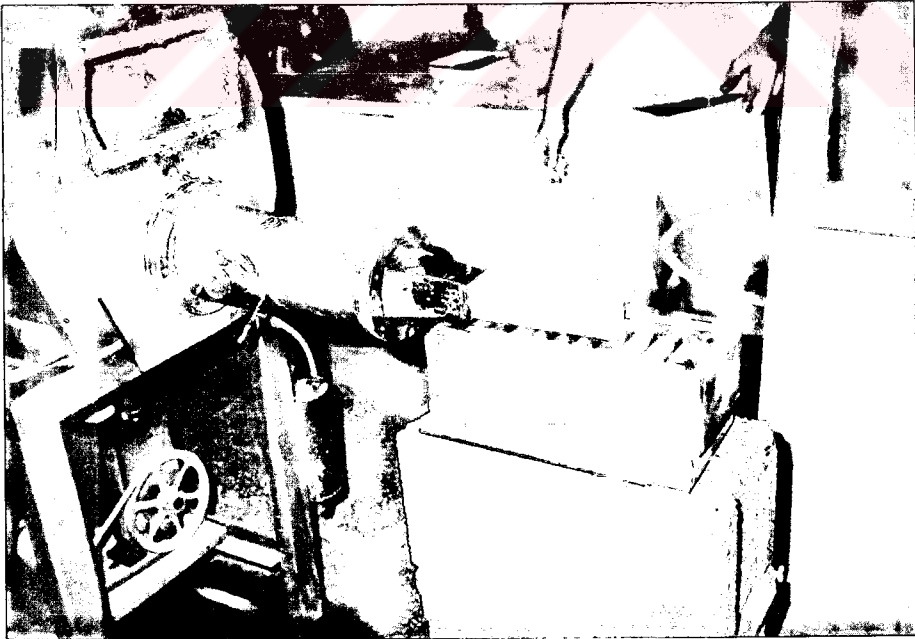
Şekil 4.9. Ekstrüzyon Cihazı



Şekil 4.10. Ponza Kil Karışımı, Hazırlama Süreci



Şekil 4.11. Ponza Kil Karışımı, Hazırlama Süreci



Şekil 4.12. Ekstrüzyon Cihazı İle Şekillendirme

4.3.2.3. Kurutma ve Pişirme

43x40 mm kesitindeki filiyerden çıkan numuneler 160 mm boyunda kesildikten sonra, ahşap ızgaralar üzerine dizilerek, önce hava kurusu (hava sıcaklığına bağlı olarak 7 ile 15 gün arası; Fuller parabolüne göre karışımları hazırlanan numunelerin daha çabuk kurduğu da gözlenmiştir), daha sonra 12 saat 55°C'de, ve 24 saat 105°C'de olmak üzere etüv kurusu duruma getirilmişlerdir.

Etüvden alınan numuneler desikatörde bekletilerek soğutulduktan sonra pişirme işlemine geçilmiştir. Pişme için, maksimum 1150°C'lik, pişirme hızı, pişirme sıcaklığı ayarlanabilen ve sabit tutulabilen elektrikli bir fırın kullanılmıştır. Daha önceki deneyimlerden [6, s.42] elde edilen verilere dayanarak tuğlaların bozulmadan pişirilmelerini sağlamak amacı ile, fırın sıcaklık artış hızı 300°C'ye kadar % 30, 300°C'den sonra % 45, 450°C'de ise % 60 ve 580°C'den sonra da % 100 olarak uygulanmıştır.

4.3.3. Numune Boyutları ve Sayıları

Daha önce paragraf 4.3.1'de belirtildiği şekilde katkılı ve ponzalı numunelerden 16 ayrı karışım, katkısız ve ponzalı numunelerden de 16 ayrı karışım, ve birer de referans ponzasız numuneler olmak üzere toplam 34 ayrı grup elde edilmiştir. 5 ayrı pişme sıcaklığı saptandığından, özellikleri ayrı 170 farklı durum ortaya çıkmaktadır. Deney sonuçlarının en az üç deneyin ortalaması olarak bulunabilmesi için her bir pişme sıcaklığına karşılık 3 adet olmak üzere, her bir grup için 15 adet numune üretilmiştir. Böylelikle $170 \times 3 = 510$ adet prizmatik numune elde edilmiştir. Isı iletkenlik ve dilatometrik analiz hariç, diğer bütün deneyler bu prizmatik numuneler üzerinde yapılmıştır. Isı iletkenlik

deneyi için pişmiş duruma göre yüzey alanı 100 cm^2 ve kalınlığı 1 cm olacak şekilde diskler elle kalıplanarak hazırlanmıştır.

Dilatometrik analiz için ise çapı 8 mm'yi, uzunluğu 50 mm'yi geçmeyecek şekilde silindirik numuneler üretilmiştir.

4.4. Deney Programı

Bütün prizmatik numuneler üzerinde önce tahribatsız deneyler yapılmıştır. Bunlar sırası ile;

- . Rötire deneyleri (Doğrusal kuruma küçülmesi ve pişmeden sonraki toplam doğrusal küçülme),
- . Atmosfer basıncı altında su emme,
- . Kaynatarak su emdirmeye,
- . Rezonans frekansları ve ultrases hızı deneyleridir.

Kılcal su emme deneyi ise herbir pişme sıcaklığından 1 adet olmak üzere herbir gruptan sadece 5 adedi üzerinde yapılmış ve bu numuneler daha sonra atmosfer basıncında su emme deneyine ve sırası ile diğer deneylere tabii tutulmuşlardır.

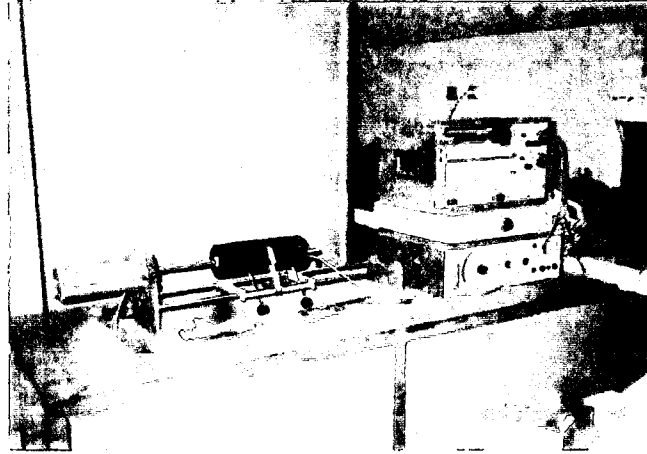
Rezonans frekansları ve ultrases hızının ölçümünün ardından bütün numunelere eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyinde ikiye bölünen parçalardan birine basınç deneyi uygulanmış, diğer parça ise özgül ağırlık, elektron mikroskobu, ince kesit, X-Işınları ve civalı porozimetre ölçümleri için ayrılmıştır.

4.5. Hazırlanan Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

4.5.1. Kuru Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

Etüv kurusu numuneler üzerinde, rötire deneyi ve dilatometrik analiz yapılmıştır. Üretilen prizmatik numunelerin hepsinin, yaş halde iken, hava kurusu ve etüv kurusu durumlarına göre, en, boy ve yükseklikleri 0.01 mm duyarlılıktaki verniyeli kumpasla ölçülerek saptanmıştır. Bu ölçülere dayanarak; doğrusal kuruma küçülmesi, yaş uzunluğa oranla hesaplanarak EK.A'da, Tablo A.1'de verilmiştir.

Dilatometrik analiz sadece Fuller parabolüne göre üretilen numuneler üzerinde ve orijinal ve katkılı kilde olduğu gibi 5°C'lik ısıtma hızı ile 800°C'ye kadar yapılmıştır. Elde edilen genleşme büzülme eğrileri Şekil 5.1 ve 5.2'de, kullanılan cihaz ise Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 Linseis DL76 tipi Standart Dilatometre (Fırın, Rekorder, Amplifikatör ve Fırın Kumandası)

4.5.2. Pişmiş Numuneler Üzerinde Yapılan Deneyler ve Sonuçları

Pişmiş prizmatik numunelerin boyları ölçülerek daha önce ölçülen yaş uzunluğa oranla, toplam doğrusal küçülme (toplam rötire) değerleri belirlenmiş ve Tablo A.2'de verilmiştir.

Rötire deneyinden sonra kılcallık deneyine tabii tutulacak numunelerde ise şu prosedür uygulanmıştır:

. Numunelerin yan yüzlerinin yaklaşık 1 cm'lik kısmı sadece alt yüzeylerinden birim alandan su emmelerini sağlamak amacı ile parafinle izole edilmiştir.

. Deney numunesinin alt yüzü suyla temas ettirilerek emilen su miktarı, deney başlangıcından itibaren 5'er dakika ara ile tartılarak saptanmıştır.

. Herbir tartı esnasında numune deney kabından dışarı alınmış, ıslak yüzü hafifçe kurulandıktan sonra tartılmış ve tekrar deney kabına konmuştur.

. Tartımlar 0.1 gr duyarlıklı terazi ile yapılmış, deneye ağırlık artışı sabit olana kadar devam edilmiştir.

. Ayrıca kılcal boşluk yüzdesinin tayini için, deney başlangıcından itibaren 24 saat süre ile su içindeki ızgaralar üzerinde bırakılan numune, 24 saat sonra tekrar tartılarak, emdiği su miktarı saptanmıştır.

Kılcal su emme-zaman bağıntısı grafik olarak, yatay ekseninde zamanın karakökü, düşey ekseninde ise birim alandan emilen su miktarı ($e=\text{cm}^3/\text{cm}^2=\text{cm}$) olmak üzere çizilmiş, ve en küçük kareler metoduna göre lineer regresyon yapılarak, çıkan doğrunun eğimi kapilarite katsayısı

($N=cm/\sqrt{dak}$) olarak hesaplanmıştır.

Toplam boşluğa göre kılcal boşluk yüzdesi ise şu şekilde hesaplanmıştır: [56, s.66]

$$\text{Kılcal boşluk yüzdesi} = \frac{W_k - W_o}{W_d - W_o} \quad (\%)$$

Burada;

$W_k - W_o$ = numunenin 24 saat sonunda kılcal olarak emdiği su miktarı,

$W_d - W_o$ = numunenin atmosfer basıncında suyu doymun duruma gelinceye kadar normal su emme deneyi ile emdiği su miktarıdır.

Numunelerin kapilarite katsayıları ve kılcal boşluk yüzdeleri sırası ile Tablo A.3 ve A.4 de gösterilmiştir.

Kılcallık deneyine tabii tutulan numuneler üzerinde deney bittikten ve 105 °C'deki etüvde kurutulduktan, diğerleri üzerinde ise rötire deneyinden sonra, TS 699'a [49] uygun olarak atmosfer basıncında su emme deneyi yapılmış, suya doymun duruma gelen numuneler, sudan çıkarılarak havadaki ve su içindeki ağırlıklarının saptanması ile ağırlıkça ve hacimce su emme yetenekleri ve birim hacim ağırlıkları hesaplanmıştır. Prizmatik numunelerin ağırlıkça ve hacimce su emme (görünür porozite) yetenekleri ve birim hacim ağırlıkları sırası ile Tablo A.5, A.6 ve A.7'de verilmiştir.

Atmosfer basıncı altında su emme deneyine tabii tutulan numunelere, daha sonra 2 saat kaynatarak su emme deneyi uygulanmıştır. 2 saat kaynatılıp, soğutulan numunelerin havadaki ve su içindeki ağırlıkları saptanarak, kaynar suda ağırlıkça (Tablo A.8) ve hacimce su emme yetenekleri (Tablo A.9) hesaplanmıştır.

Atmosfer basıncı altında su emme yeteneğinin, kaynatarak su emme yeteneğine bölünmesi ile elde edilen ağırlıkça ve hacimce doyma katsayıları da Tablo A.10 ve A.11'de gösterilmiştir.

Eğilme deneyinde ortadan ikiye bölünen parçalardan, basınç deneyi yapılmayan diğer parça öğütülerek, özgül ağırlık deneyi yapılmış ve numunelerin gerçek poroziteleri bulunmuştur. Özgül ağırlık değerleri, iki ölçümün ortalaması olarak Tablo A.12 de, buradan hesaplanan gerçek porozite değerleri de Tablo A.13 de verilmiştir.

Numunelerin boşluk çap büyüklüklerinin analizi için yaklaşık 2 gr. ağırlığında bir parça üzerinde TUBİTAK Marmara Bilimsel ve Teknik Araştırma Merkezinde Autopore II 9220 marka civalı porozimetre ile ölçümler yapılmıştır. Bu çalışmada civa ile malzeme arasındaki kontakt açısı $0,130^{\circ}\text{C}$ ye ayarlanmıştır. θ değerlerinin tayininde kullanılan yöntem [57] no'lu referansta belirtilmiştir. Bu deney sadece 11 değişik numune üzerinde yapılabilmektedir:

. Belli faz dönüşümlerini temsil etmeleri açısından sadece 850 ve 950°C 'lerde pişirilen katkılı ve katkısız numunelerden birer tanesi,

. Ponza etkisini temsilen, % 80 ponza hacim oranlı ve Fuller parabolüne göre ve gene 850 ve 950°C 'lerde üretilen katkısız numunelerden birer tanesi,

. Sıcaklık etkisini incelemek üzere de 5 ayrı sıcaklıkta pişirilen ve Fuller parabolüne göre üretilen % 80 ponza hacim oranlı tuğlalardan da birer tanesi.

Civalı porozimetre ölçüm değerleri, birim ağırlık başına numune içerisine giren kümülatif civa hacminin (ml/gr) boşluk çapına (mikron) karşılık grafikleri ve ilgili dataları şekil B 1 den B 4 'e kadar Ek B'de, buradan hesaplanan toplam boşluk hacmine oranla, belli boyutlardaki boşluk yüzdesi de Şekil 5.36, 5.37, 5.46 ve 5.47 de ve özet olarak da Tablo 5.1 de verilmiştir.

Isı iletkenlik deneyleri için, rötire oranlarına bağlı olarak, pişme sonunda çapları 11.28 cm olacak şekilde, diskler üretilmiştir. Alt ve üst yüzeylerinin birbirine tamamen paralel olması için, bunlar bir mermer torna tezgahında zımparalanmışlardır. Bu amaçla hazırlanan örneklerin ısı iletkenlik katsayılarını ölçmek için İ.T.Ü. Makina Fakültesi, Isı Tekniği Laboratuvarında bulunan cihazdan yararlanılmıştır. Cihazın çalışma prensibi ise şöyledir:

Hazırlanan 100 cm² kesit alanlı ve daire kesitli örnek, ısı iletkenlik katsayısı ve kalınlığı belli özel bir cam ile ısıtıcı bakır levhalar bir sandviç tertibi oluşturur. Sandviğin alt ve üst kısımlarını sabit sıcaklıkta tutmak için bu kısımlarda su bulunmaktadır ve borularla termostatlı su depolarına bağlanmışlardır. Bu deneyde sıcak taraf 36 °C ye, soğuk taraf ise 10 °C ye ayarlanmıştır. Altta ve üstteki ısıtıcılarla, aradaki bakır levhalar, birer bakır konstantan termokupl ile bağlantılıdır. Termokuplların diğer uçları, buzlu su dolu bir termos ile milivolt cinsinden sıcaklık okumaları yapan bir multimetreye bağlanmıştır. Sistem rejim haline gelince her bağlantı için multimetredeki okumalarda değişiklik olmamaktadır. Bu durumda her bir levhadan geçen ısı enerjisi birbirine denk olmaktadır [58, s.94]:

$$Q_{cam} = Q_{num}$$

$$q_{cam} = \lambda_{cam} (\theta_3 - \theta_4) / \Delta x_{cam} \quad q_{num} = \lambda_{num} (\theta_2 - \theta_3) / \Delta x_{num}$$

buradan numunenin ısı iletkenlik katsayısı (λ_n)

$\lambda_n = \lambda_{cam} \cdot (\Delta x_n / \Delta x_c) \cdot (\theta_3 - \theta_4 / \theta_2 - \theta_3)$ bağıntısı ile bulunmuştur.

Burada:

λ_c = Camın ısı iletkenlik katsayısı

Δx_c = Camın kalınlığı

Δx_n = Numunenin kalınlığı

λ_n = Deney numunesinin ısı iletkenlik katsayısı

θ_2 = Sıcak taraftaki bakır levha sıcaklığı

θ_3 = Numune ile referans cam arasındaki bakır levha sıcaklığı

θ_4 = Soğuk taraftaki bakır levha sıcaklığı

Isı iletkenlik deneyi sadece 850 ve 950°C'lerdeki ponzasız tuğlalar ile Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda ve en az birim hacim ağırlığa sahip olan % 70 hacim oranlı ve 2.36/3.35 dane boyutlu ponzalarla üretilen tuğlalar üzerinde yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo A.14'de verilmiştir.

Numunelerin lineer genleşme katsayılarını bulabilmek için, daha önce paragraf 4.5.1'de etüv kurusu durumdan 800 °C'ye kadar pişirilen numuneler, tekrar genleşme deneyine tabii tutulmuşlardır. 800 °C'ye kadar olan genleşme katsayıları, faz değişimleri gözönüne alınarak, her bir numune için, belli sıcaklık aralıkları içerisinde ayrı ayrı hesaplanmıştır. Fuller parabolüne göre üretilen ponzalı numuneler ve referans ponzasız numunelerin lineer genleşme katsayıları Tablo A.15'de verilmiştir.

Bütün prizmatik numuneler üzerinde eğilme ve basınç deneylerinden önce, WTW firmasının üretimi olan DİĞİ-EG c2 tipi ultrasonik cihazla sırası ile önce boyuna rezonans frekansları ölçülmüş, daha sonra numunelerin alın kısımlarına alçıdan başlıklar yapılarak bu kısımlar düzeltilmiş ve ultrasesin geçiş süresi okunmuştur. Buradan hesaplanan ses hızları ve elastisite modülleri, sırası ile Tablo A.16, A.17, ve A.18'da verilmiştir.

Eğilme-çekme deneyleri MFL marka 100 kN kapasiteli Üniversal pres yardımıyla yapılmıştır. Prizmatik deney numuneleri için mesnet açıklığı 10 cm olarak ayarlanmıştır.

Prizmatik numunelerin eğilmeden sonra elde edilen iki parçasından biri üzerinde (ince kesit ve elektron mikroskobuna ayrılmayan numunelerde iki parçaya birden) genişliği 4 cm olan çelik plakalar yerleştirilerek basınç deneyi uygulanmıştır. Bu amaçla eğilme deneyinde kullanılan aynı cihazdan yararlanılmıştır.

Basınç deneyi uygulanan her üç numuneden ikisinde 0.01 mm duyarlıklı bir komparatör vasıtası ile, boy kısaltmaları okunarak, (Şekil 4.14 ve 4.15) elastisite modülleri hesaplanmıştır. Elastisite modülünün hesaplanmasında şu yol izlenmiştir:

Numunelerin, gerilme-şekil değiştirme eğrilerinde, ilk birkaç nokta gözönüne alınmayarak, lineer davranış gösterdikleri kısma kadar lineer regresyon yapılmış, bulunan doğrunun eğimi elastisite modülü olarak saptanmıştır.

Numunelerin eğilme ve basınç mukavemeti değerleri ve basınç deneyi ile bulunan elastisite modülleri ise sırası ile Tablo A.19, A.20 ve A.21 de verilmiştir.

Pişmiş numunelerin mineralojik yapılarındaki değişiklikleri incelemek amacı ile agat havanda öğütülerek toz haline getirilen 10 ayrı numune üzerinde İTÜ Kimya Metalurji Fakültesinde Dmax 1000 marka X-Işınları Difraktometresi ile X-Işınları Analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Bölüm 5 de ayrı olarak tartışılacaktır.

Gene 10 ayrı pişmiş numunenin petrografik yapılarının incelenmesi için eğilme deneyinde ikiye bölünüp, basınç deneyi uygulanmayan sağlam parçadan İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Bölümü Laboratuvarında ince kesitler alınmıştır. Bunların polarize mikroskopla incelenmesi ile elde edilen bulgular sonuçların değerlendirildiği 5.bölümde ayrıca ele alınacaktır.

X-Işınları analizi yapılan ve ince kesit alınan 10 ayrı numune ise :

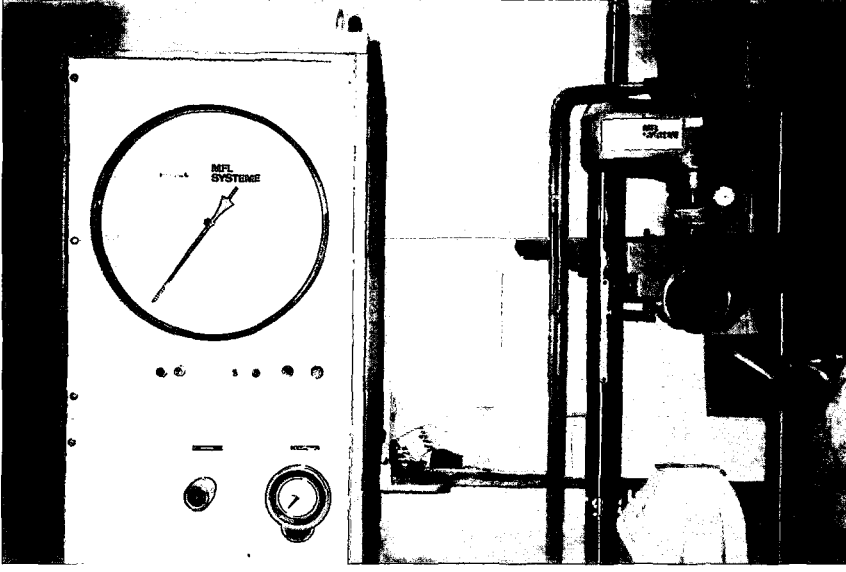
- . Orjinal kilden 850 ve 950°C de pişirilerek elde edilen tuğlalar,

- . Katkılı kilden 850 ve 950 °C de pişirilerek elde edilen iki ayrı tuğla,

- . Orjinal ve katkılı kile % 80 hacim oranında, Fuller parabolüne göre ponza katılan ve 850 ve 950°C lerde pişirilen dört ayrı tuğla,

- . Orjinal ve katkılı kile % 60 hacim oranında ve 2/2.36 mm dane çapında ponza katılarak 950 C de pişirilen iki ayrı tuğla,

olarak belirlenmiştir.



Şekil 4.14. Universal Pres



Şekil 4.15 Boyuna Şekil Değişirme Ölçme Düzeni

Gene bu 10 ayrı tuğla üzerinde İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Metalurji Bölümü Malzeme Laboratuvarında JSM-T330 marka taramalı elektron mikroskobu ile mikrostrüktüre yönelik incelemeler yapılmıştır. Bu inceleme için gerekli olan numune hazırlama işlemleri ise:

İnce kesit alındıktan sonra kalan parçaların yüzeylerinin İTÜ Maden Fakültesi Jeoloji Bölümü Laboratuvarında cilalanması, pürüzsüz ve parlak bir hale getirilmesi,

. Daha sonra bu numunelerin yüzeylerinin gene İTÜ Kimya-Metalurji Fakültesi Malzeme Laboratuvarındaki Jeol JEE-4X marka Vacum Evaporator ile karbonla kaplanması, olarak sıralanmıştır.

Taramalı elektron mikroskobu ile inceleme yaparken aynı anda TN-5500 EDS marka Energy Dispersive Spektrometre (EDAX) ile numunelerin değişik noktalarında bulunan bileşenlerin miktarları da bazı bölgeler için saptanmıştır.

SEM ile elde edilen sonuçlar, inceleme esnasında çekilen fotoğraflar ve EDAX analiz verileri Bölüm 5 de tartışılacak ve değerlendirilecektir. EDAX analiz diyagramları ise Ek C de sunulmuştur.

BÖLÜM 5 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ

Bu bölümde üretilme aşaması Bölüm 4 de anlatılmış olan pişmiş toprak yapı malzemesinin fiziksel, mekanik, mineorolojik, petrografik ve mikroyapı özellikleri, deflokulan ve ponza katkısı, pişme sıcaklığı, ponza hacim oranı, ponza dane çapı etkileri açısından değerlendirilecek ve irdelenecektir.

5.1. Kuru Numune Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

5.1.1. Deflokulan ve Ponza Katkısının Kuruma Rötresine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tablo A.1'in incelenmesi ile görülebileceği gibi bütün karışımlarda deflokulan katkısı kuruma rötresini azaltmıştır. Bu oran ponzasız tuğlada % 27 civarında diğerlerinde ise % 10 ile % 2 arasında değişmektedir.

Kil mineraline küçük oranlardaki fosforik asit ilavesinin, plastikliği az olan killerde, işlenebilme ve ekstrüde edilebilme özelliklerini geliştirdiği, pişmiş ürünlerde ise kuruma rötresini azalttığı ve boyutsal stabilite sağladığı Hajela, Crook ve Tauber'in [59] değişik kil minerallerine % 3.16 dan % 18.96 ya kadar olan miktarlardaki ortofosforik asit (H_3PO_4) katarak yaptıkları çalışmada da belirtilmiştir.

Fosforik asit ilavesi bu çalışmada çok düşük oranlarda kalmasına rağmen NaOH etkisi ile de birleşerek kuruma rötresini oldukça azaltmıştır.

Kuruma hassasiyetini, rötreyi ve buna bağlı olarak çatlak oluşumuna olan eğilimi azaltmak için yağ alıcı katkıların, özellikle kumun ve tansiyoaktif malzemelerin kullanıldığı daha önce paragraf 2.3 de belirtilmişti. Burada da, özellikle küçük çaplardaki toz halindeki ponza taşının bir yağ alıcı madde gibi etkiyerek kuruma rötresini azalttığı Tablo A.1'den görülmektedir.

Bütün ponzalı karışımların kuruma rötre değerleri referans tuğlalara göre azalmış, bu azalma ise katkılı ve katkısız % 90'lık ponza hacim oranlı tuğlada maksimum bir değere ulaşmıştır. Bu karışımlarda ponza ilavesi rötreyi % 70 azaltmıştır.

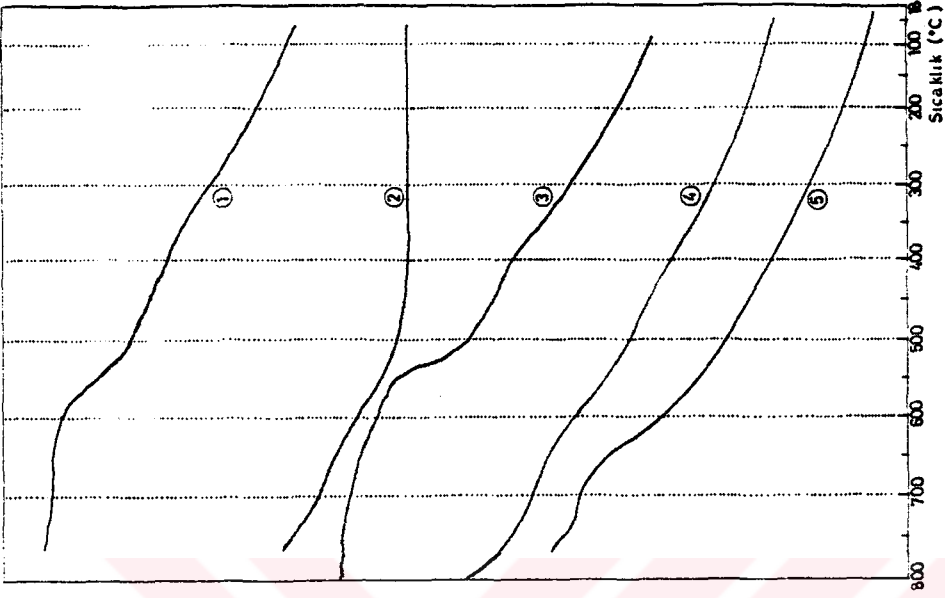
5.1.2. Deflokulan Katkısı ve Ponza Hacim Oranı

Etkilerinin Dilatometrik Analizle İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

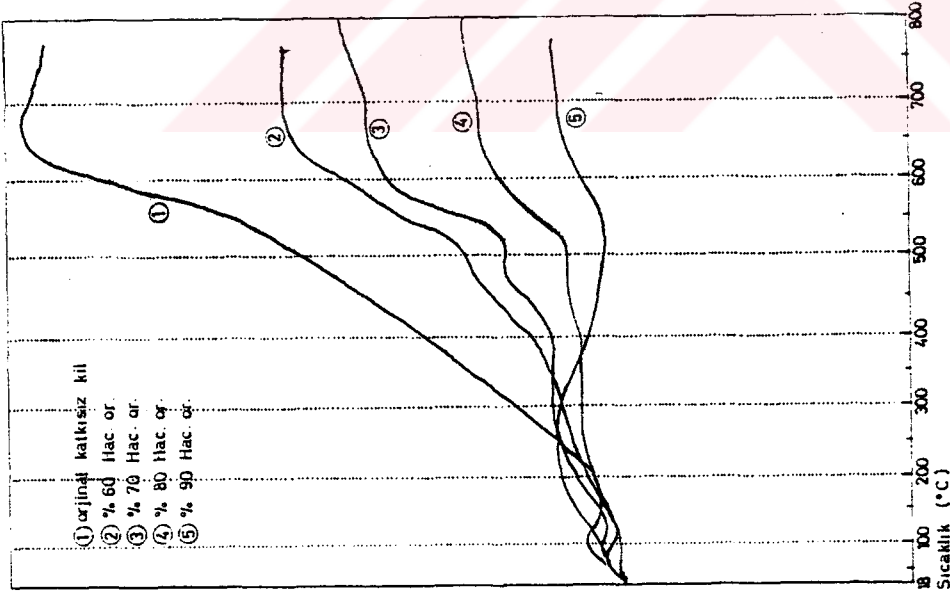
Etüv kurusu numunelerin 800 °C'ye kadar pişirilerek ve daha sonra ortam sıcaklığına kadar soğutulularak elde edilen genleşme büzülme eğrileri Şekil 5.1 de katkısız kilden hazırlanan karışımlar, Şekil 5.2 de de katkılı kilden hazırlanan karışımlar için gösterilmiştir. Bu şekillere göre Fuller'le hazırlanan karışımlarda ponza hacim oranının değişmesi ile genleşme büzülme eğrilerinin ısıtma ve soğutma bölgeleri içerisindeki değişimleri ve deflokulan katkısının etkisi aşağıda belirtilmiştir.

i) Ponza hacim oranının ısıtma bölgesi içerisindeki etkisi

Şekil 5.1a ve 5.2a da görülebileceği gibi gerek katkılı ve gerekse katkısız kil serilerinde ponzasız numunelerden başlayarak % 90 ponza hacim oranlı numuneye doğru ve bu numunede en az olmak üzere, deney bitim noktası olan 800 °C itibari ile genleşme eğrisinin pik

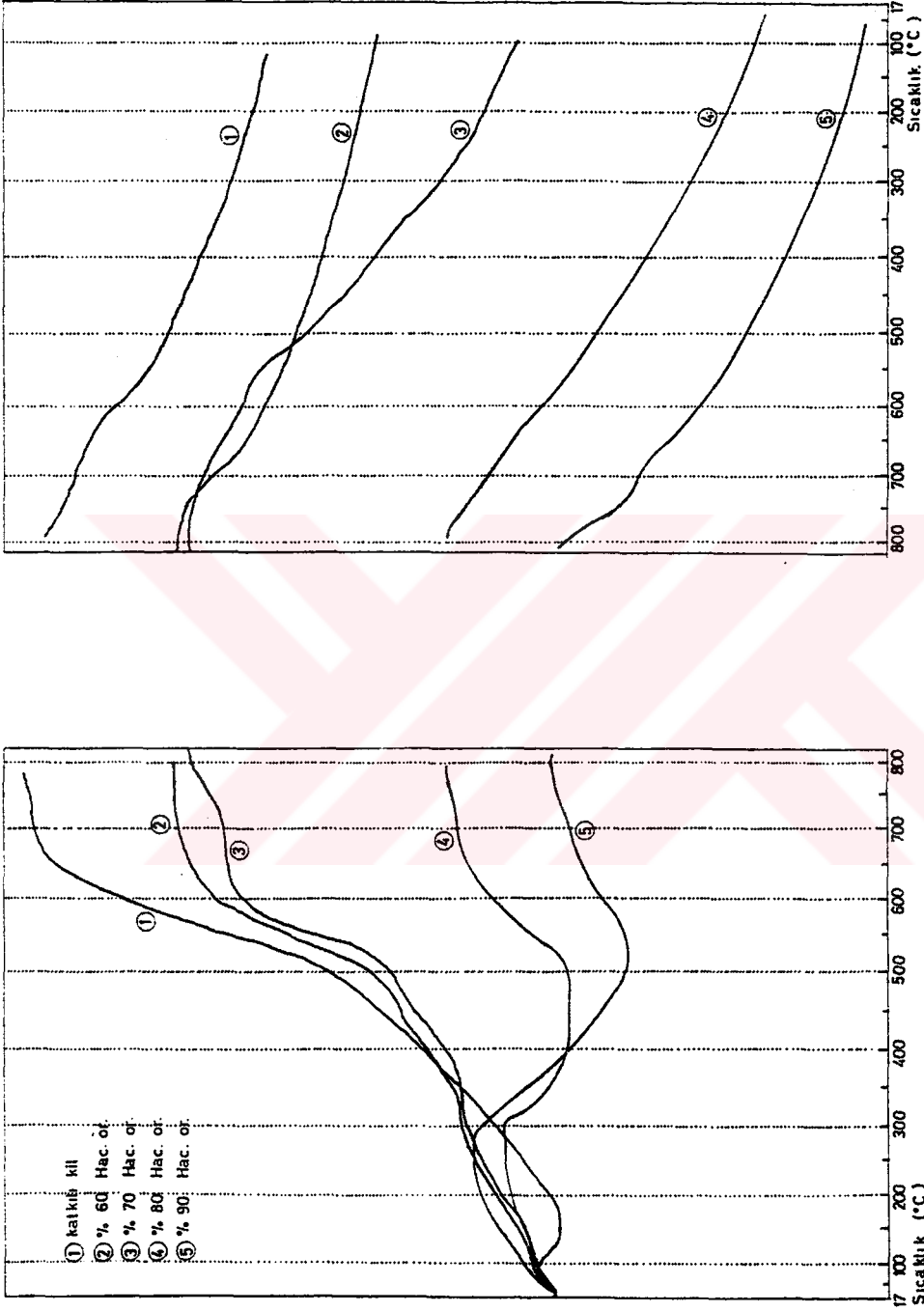


(b)



(a)

Şekil 5.1. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Hazırlanan Katkısız Karışımların Genleşme-Büzülme Eğrileri (a) Isıtmadaki Eğriler (b) Soğutmadaki Eğriler



(a)

(b)

Şekil 5.2. Fuller parabolüne Uygun Ponzalarla Hazırlanan Deflokulan Katkılı Karışımların Genleşme-Büzülme Eğrileri (a) Isıtmadaki (b) Soğutmadaki

noktası giderek azalmıştır. Hatta % 90 hacim oranlı katkılı numune ilk boyu ile aynı noktaya gelmiştir. Bir başka deyişle, numune, önce 300 °C ye kadar eğimi az bir genleşme göstermiş, bu noktadan sonra keskin bir dönüşle 500 °C ye kadar büzülmüş ve tekrar genleşmeye başlayarak ki bu genleşmenin eğimi 300 °C ye kadar olan genleşmeden daha azdır, başlangıç noktasına ulaşmıştır.

Benzer etki % 80 hacim oranlı katkılı kilde ve % 90 hacim oranlı katkısız kilde de gözlenmektedir. % 90 hacim oranlı katkısız kilde ilk faz dönüşümü noktası 250 °C civarında, % 80 hacim oranlı katkılı kilde ise gene 300 °C civarında gözlenmiştir. 250-300 °C de başlayan rötrenin eğimi ise % 90 ponza hacim oranlı katkısız kilde, katkılı killere göre daha azdır.

Bu ilk dönüşüm noktası ponza hacim oranı azaldıkça, genleşmeden büzülmeye dönüşüm noktası değil, eğimi az olan bir genleşmeden eğimi giderek artan bir genleşmeye dönüşüm noktası şeklinde değişmekte, ponzasız numunelerde ise tamamen ortadan kalkmaktadır.

500 °C civarında gelişen ve muhtemelen SiO_2 ve Al_2O_3 ün ayrışmasına karşılık gelen 2. faz dönüşümü noktası ise % 80 ve % 90 hacim oranlı katkılı ve % 90 hacim oranlı katkısız kilde rötreden genleşmeye, diğerlerinde ise eğimi az olan bir genleşmeden, eğimi daha fazla olan bir genleşmeye dönüşüm şeklinde ortaya çıkmaktadır. Bu etki, değişen ponza miktarları ile bu karışımların kuvars içeriğinin değişmesi şeklinde yorumlanabilir; ki ince kesitler üzerinde polarize mikroskopla yapılan incelemede, kuvars oranının % 80 ve % 60 hacim oranlı numunelerde saf numunelere göre azaldığı gözlenmiştir.

Ponzasız numunelerde 600-650 °C deki 2. faz dönüşümü noktası, ponzalılarda 3. faz dönüşümü noktasına karşılık gelmekte ve bu sıcaklıktan sonra genleşme deney sonu olan 800 °C ye kadar hafif bir şekilde devam etmektedir. Sadece % 90 lık numunelerde bu üçüncü nokta ortadan kalkmakta, zaten eğimi az olan genleşme eğrisi aynı genlikte devam etmektedir.

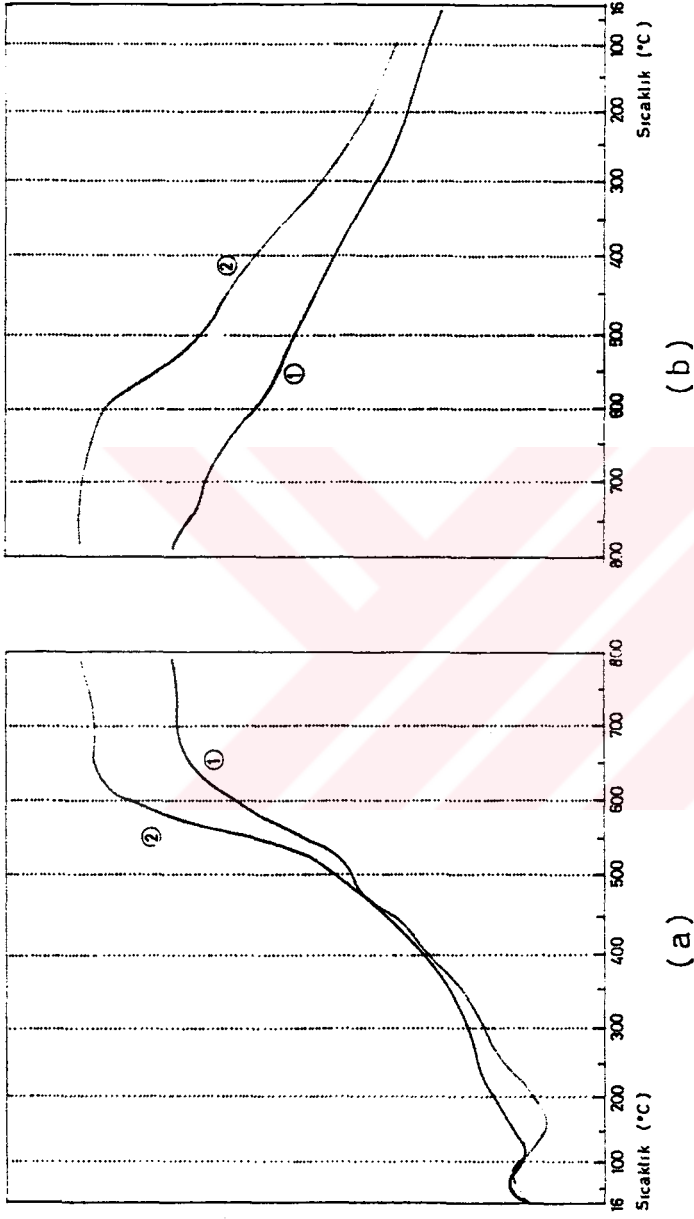
ii) Ponza hacim oranının soğutma süreci içerisindeki etkisi

800 °C den itibaren ısıtma hızı ile aynı hızda soğumaya bırakılan numuneler bu noktadan itibaren büzülmeğe başlamışlardır. Şekil 5.1.b ve 5.2.b. Isıtma sürecinde gözlenen, ponza miktarı ile genleşme ve büzülmenin değişimi bu süreç içinde fazla etken olmamış, hemen hemen bütün rötire eğimleri aynı kalmıştır.

iii) Deflokulan katkısının etkisi

Tek tek herbir hacim oranına karşılık gelen katkılı ve katkısız numunelerin genleşme büzülme eğrileri birbirleri ile karşılaştırıldığında, bu katkının belirgin ve düzenli bir etkisi olmadığı, % 90 lıklar hariç diğerlerinde aynı hızdaki eğimler ve aynı faz dönüşümlerine karşılık gelen birbirine paralel eğriler şeklinde ortaya çıktıkları görülmektedir. % 90 ponza hacim oranlı tuğlalarda ise 250-300 °C de başlayan rötire eğiminin katkılı tuğlada daha fazla olduğu gözlenmiştir.

Sadece belli bir aralıkta ponza dane çapına sahip karışımlardan hazırlanan iki numunenin ise özellikle % 60 ponza hacim oranlı ve fuller parabolüne göre üretilen numunelerle benzer davranışlar gösterdiği Şekil 5.3 a ve b de görülmektedir.



Şekil 5.3. % 50 Hacim Oranında 2/2.36 Dane Çaplı①
 Ponzalarla Hazırlanan Katkısız ve 1/2 Dane
 Çaplı Ponzalarla Hazırlanan Katkılı②
 Karışımların Genleşme-Büzülme Eğrileri
 (a) Isıtmadaki Eğriler (b) Soğutmadaki
 Eğriler

5.2. Pişmiş Numune Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

5.2.1. Pişme Sıcaklığının Deflokulan ve Ponza Katkısının, Makro Düzeyde Yapılan Gözlemlerle Değerlendirilmesi

Kırık yüzeyler üzerinde makro düzeyde yapılan incelemelere göre :

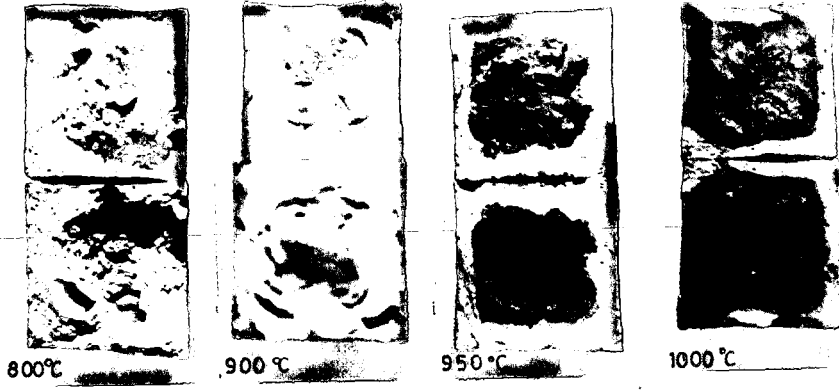
Deflokulan katkı oranı % 3.08 den, % 2.12 ye indirildiği halde ponzasız numunelerde gene siyah redüksiyon bölgeleri mevcuttu. Ancak bunlarponza katkısı ile yok olmuştur.

. Şekil 5.4. de katkılı ve ponzasız numuneler, Şekil 5.5. ve 5.6 da ise katkılı ve ponzalı numunelerden bazıları görülmektedir. Bu numunelerde pişme sıcaklığı arttıkça renklerinin giderek koyulaştığı da açıkça görülmektedir.

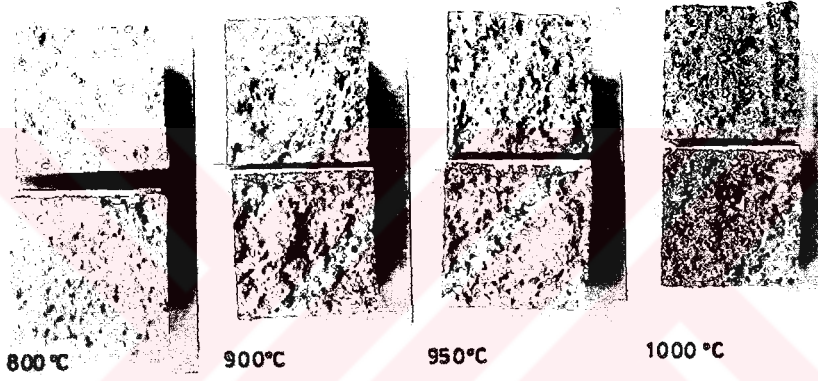
. Siyahlanmanın giderilmesi ise, ponza katkısı ile dışa açık boşlukların artması ve oksidasyon gazının numuneye rahatlıkla nüfuz etmesi şeklinde açıklanabilir.

. Gene katkısız ve ponzasız numunelerde (Şekil 5.7) görülen ve ekstrüzyon prosesinden doğan dönme hareketlerinin de ponza katkısı ile yok olduğu Şekil 5.8 ve 5.9 dan görülmektedir.

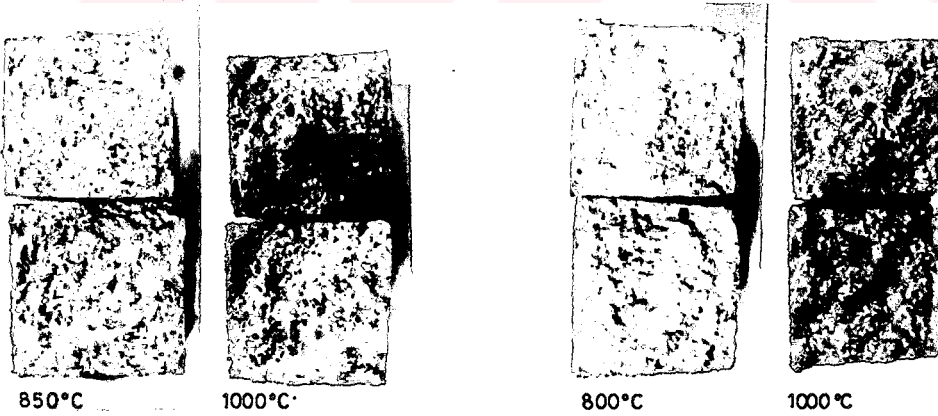
. Katkılı ve katkısız numuneler üzerinde gözlenen bir diğer durum ise katkılı numunelerin renklerinin, katkısızlara göre daha kızılımsı olduğudur.



Şekil 5.4. Deflokulan Katkılı Ponzasız Tuğlalar



Şekil 5.5. Fuller Parabolüne Göre % 90 Hacim Oranında Üretilen katlılı Tuğlalar



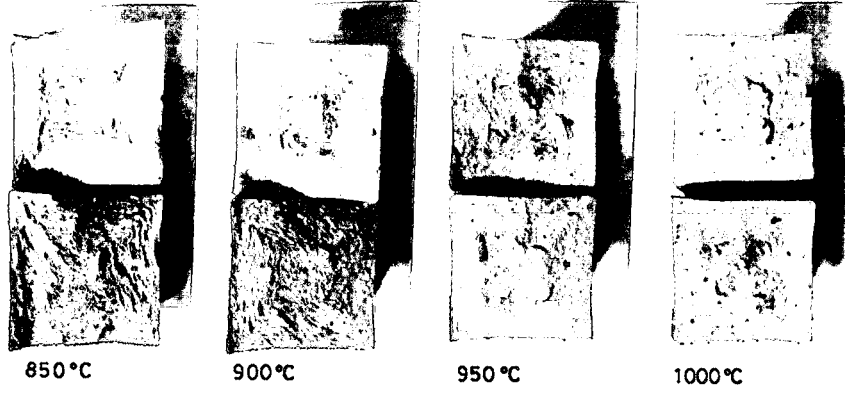
(a)

(b)

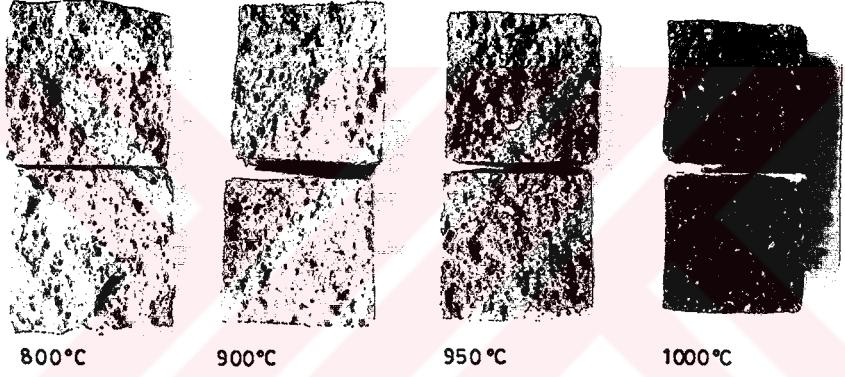
Şekil 5.6. Ponza ve Deflokulan Katkılı Tuğlalar

(a) 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalardan % 53 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlalar

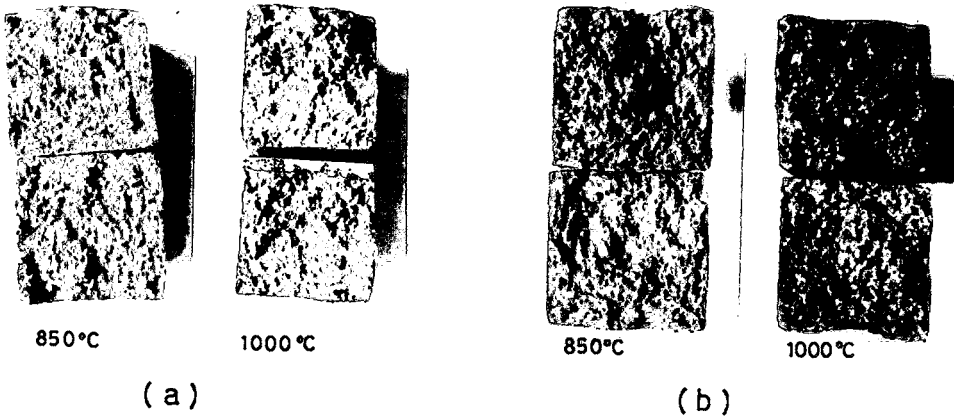
(b) 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalardan % 70 Ponza Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlalar



Şekil 5.7. Deflokulan Katkısız ve Ponzasız Tuğlalar



Şekil 5.8. Fuller Parabolüne Göre % 90 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlalar



Şekil 5.9. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalardan Üretilen Deflokulan Katkısız Tuğlalar
 (a) % 53 Ponza Hacim Oranı
 (b) % 70 Ponza Hacim Oranı

5.2.2. Fiziksel ve Mikroyapı Özelliklerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Bu bölümde önce, rötire, birim hacim ağırlık, ağırlıkça su emme gibi fiziksel özellikler ele alınmıştır. Daha sonra porozite, kılcallık, kılcal boşluk yüzdesi ve MIP deneyi sonuçları mikroyapının fiziksel özelliklerle çok yakından ilişkili olmasından dolayı birlikte ele alınarak değerlendirilmiştir.

Elde edilen boşlukluluk özelliklerinin etken olduğu ultrases hızı ve ısı iletkenlik gibi fiziksel ve termik özelliklerin belirlenmesinden sonra da SEM, polarize mikroskop ve X-Işınları incelemeleri olmak üzere diğer mikroyapı özellikleri değerlendirilmiştir.

5.2.2.1. Pişme Sıcaklığının, Deflokulan ve Ponza Katkısının Pişme Rötresine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tablo A.2 den görüldüğü gibi ;

. Bütün ponzalı ve ponzasız numunelerde pişirme sıcaklığı arttıkça pişme rötresi de artmıştır. Bu da, kil bünyesinde bulunan suyun önce kuruma safhasında bir miktarını, yani plastiklik suyunu ve daha sonra da kristal suyunu kaybetmesi ve porozite kazanması ile beklenen bir sonuçtur.

. Deflokulan ve ponza ilavesi ile de, pişme rötresinde görülen değişimler, kuruma rötresinde görülenlerle benzerdir. Bütün karışımlarda ve pişme sıcaklıklarında, deflokulan ve ponza katkısı toplam rötreyi azaltmıştır.

. Deflokulan katkısı ile r tredaki azalma oranı, genellikle ponza katkısız tuğlalarda, ponzalılara oranla daha fazla olmuştur. Sıcaklık artışı ile de bütün karışımlarda deflokulan katkısının pişme rötresini azaltmadaki etkisi giderek azalmıştır. Örneğın, ponza katkısız tuğlalarda, 800  C de % 27.5 oranında bir azalma görülürken, bu azalma oranı 850  C de % 26.4 e, 900  C de % 13.3 e, 1000  C de ise % 3.7 e düşmüştür.

. Ponza katkısı ile en küçük pişme rötresi değerleri % 90 hacim oranında ve Fuller parabolüne uygun gran lometrideki ponzalarla üretilen katkılı tuğlalarda elde edilmiştir. Bunlarda ponza katkısı 800  C de % 57 oranında, 1000  C de ise % 39 oranında bir azaltım sağlamıştır. Katkısızlarda ise 800  C de en küçük değerler % 90 hacim oranında Fuller'e göre üretilenlerde elde edilmiştir. Burada referans ponzasız numuneye göre r tredaki azalma % 65 civarındadır. Diğer sıcaklıklarda ise 2/2.36 dane çaplı ponzalarla % 60 hacim oranında üretilen tuğlalarda daha küçük değerler elde edilmiştir. Zaten katkılı tuğlalarda Fuller'e göre üretilenler pişme rötresini azaltmada daha etken olurken, katkısız tuğlalarda bu özelik kaybolmuş ve Fuller'le üretilenlerin rötre değerleri genellikle, 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm dane çaplı ponzalarla üretilenlerden daha b   k olmuştur.

. Ponza hacim oranının tek tip dane (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm)  aplı ponzalardan üretilen serilerde belirgin bir etkisi görülmemektedir. Fuller'le üretilen deflokulan katkılı numunelerde ise ponza hacim oranı arttıkça pişme rötresinde belirgin bir azalma olmaktadır. Gene aynı grupta katkısız tuğlalarda, ponza hacim oranı artışı ile muntazam bir azalma görülmemekle birlikte, 900  C ye kadar en küçük rötre değerleri % 90 hacim oranında elde edilmiştir. 950  C ve 1000  C lerde ise bu numunelerde, tam tersi olarak, ponza hacim oranının

artışı ile birlikte rötre y zdelesinde artma eğilimi gözlenmektedir.

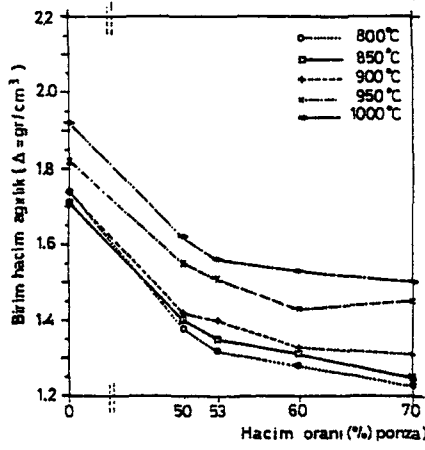
5.2.2.2. Pişme Sıcaklığının, Deflokulan ve Ponza Katkısının Birim Hacim Ağırlığına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Değişik ponza dane çaplarında üretilen numunelerin değişen pişme sıcaklıkları ve ponza hacim oranlarına karşılık, referans tuğlaya göre birim hacim ağırlıklarındaki değişimler, sırasıyla 1/2 mm dane çaplı karışım için Şekil 5.10 2/2.36 mm dane çaplı karışım için Şekil 5.11, 2.36/3.35 mm dane çaplı karışım için Şekil 5.12, Fuller parabolüne göre üretilen karışım için ise Şekil 5.13 de gösterilmiştir.

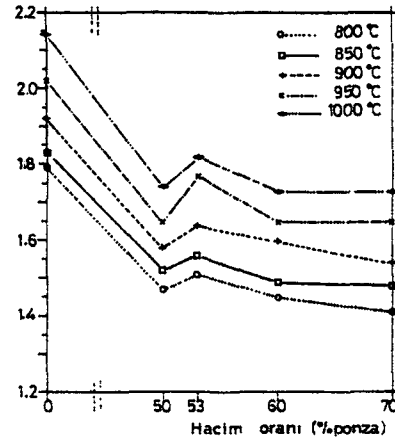
Bu şekillerin ve Tablo A.7'nin incelenmesi ile görülebileceği gibi;

. Bütün karışımelerde pişirme sıcaklığı arttıkça birim hacim ağırlık istisnasız artmıştır. Bu da sıcaklık artışıyla birlikte camlaşmanın artması ile gelen doğal bir sonuçtur. Tek bir istisna saf tuğlada 800  C de görülmektedir. Saf tuğlanın birim ağırlığı, 800  C den 850 C ye geçerken d ş m ş, 850  C den itibaren ise 1000  C ye kadar muntazaman artmıştır. Bunun nedeni 800  C de pişirilen tuğlanın plastiklik suyu yüzdesinin, diğerleriyle farklı bir zamanda üretildiğinden % 36.5 civarında kalmasıdır. Diğer sıcaklıklarda pişirilecek numunelerin plastiklik suyu ise % 39.1 civarındaydı.

. Bütün karışımelerin birim hacim ağırlıkları, aynı sıcaklıkta pişirilen referans tuğlalara göre azalmıştır. Bu azalma,tektip dane çaplı ponzalardan üretilen tuğlalarda, Fuller parabolüne göre üretilenlerden daha fazladır. Bu da, Fuller parabol ndeki ince dane boyutlu ponzaların, hem

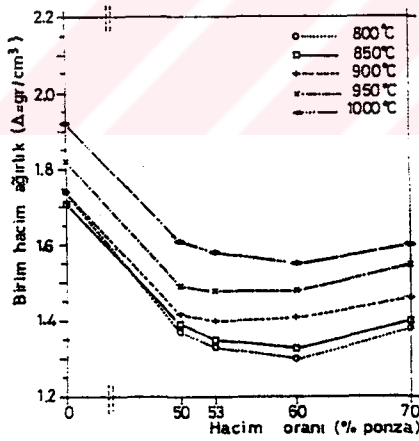


(a)

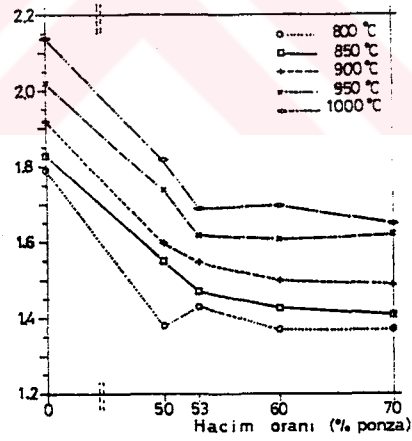


(b)

Şekil 5.10. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Birim Hacim Ağırlığa Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

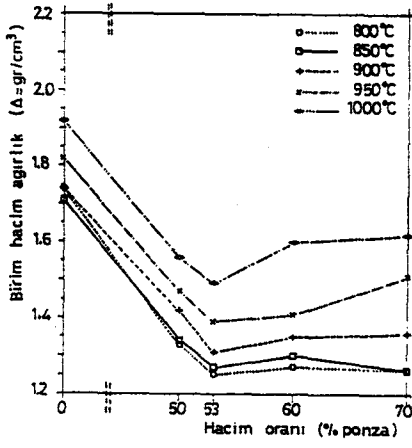


(a)

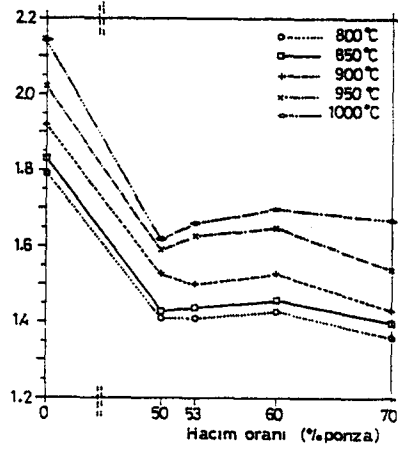


(b)

Şekil 5.11. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Birim Hacim Ağırlığa Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

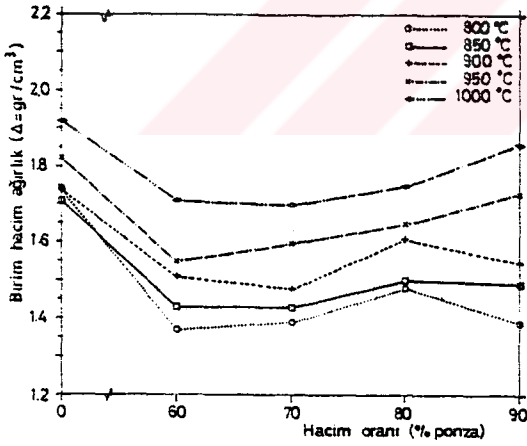


(a)

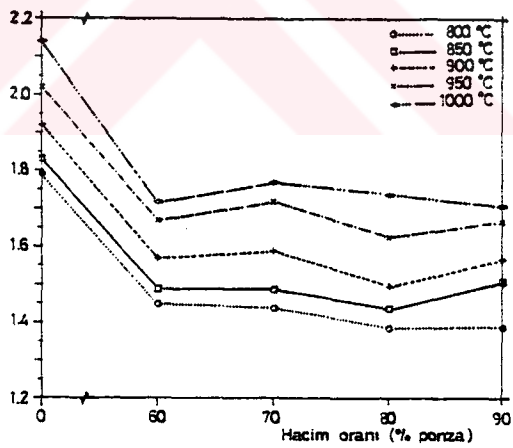


(b)

Şekil 5.12. 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponz Hacı Oranının Birim Hacim Ağırlığa Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı



(a)



(b)

Şekil 5.13. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponz Hacı Oranının Birim Hacim Ağırlığa Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

kendilerinin birim hacim ağırlıklarının büyük olmasından ve hem de bunların, iri danelerin aralarındaki boşlukları doldurmalarından dolayı beklenen bir sonuçtur. Ancak katkılı kilden Fuller parabolüne göre üretilen numuneler özellikle % 80 hacim oranına karşılık gelen her pişme sıcaklığında, aynı dane çaplı ponzalardan üretilen numunelerin ortalama birim hacim ağırlık değerlerine yaklaşmışlardır.

. Fuller parabolüne göre hacimce % 80 ve % 90 ponzadan üretilen tuğlaların büyük bir çoğunluğu hariç, diğer bütün katkısız kilden üretilen karışımların birim hacim ağırlık değerleri, katkılı kilden hazırlanan karışımların değerlerinden düşüktür. Bu da fosforik asit + sodyum hidroksit katkısının kil kütlesinde yeterli bir camlaşma ve bağlayıcılık sağlaması ve sonuçta hacim yoğunluğu arttırması, poroziteyi azaltması şeklinde açıklanabilir. Ancak Fuller parabolüne göre % 80 ponza hacim oranlı katkılı tuğlaların tamamının % 90 ponza hacim oranlı katkılı tuğlaların ise 950 ve 1000 C lerde pirişilenlerinin, birim ağırlıkları, aynı hacim oranlı ve aynı pişme sıcaklığına sahip Fuller'le üretilen, katkısız tuğlalardan daha azdır. Şekil 5.13 a'dan da görülebileceği gibi, Fuller'le üretilen katkısız tuğlaların % 80 hacim oranında her pişme derecesinde birim hacim ağırlık değerlerinin en yüksek değeri, katkılılarda ise en düşük değeri (Şekil 5.13 b) vermesi nedeni ile bu durumun ortaya çıkması normal bir sonuç olmaktadır.

. 1/2, 2/2.36 ve 2.36/3.35 mm dane çaplı ponzalardan üretilen numunelerin, birim ağırlıkları her bir sıcaklık için karşılaştırıldığında, bunların fazla değişmediği çoğunlukla birbiri içine girdiği görülebilir (Şekil 5.10, 5.11 ve 5.12). Bununla birlikte, katkılı ve katkısız kilden üretilen numunelerde 2.36/3.35 arasındakilerin

genelde $1/2$ ve $2/2.36$ 'ya göre, daha küçük değerler verdiği de görülmektedir.

Değişik ponza dane çaplı her grubun, değişen hacim oranlarına göre, birim ağırlıklarının değişimi ise aşağıda belirtilmiştir;

i) $1/2$ ponza dane çaplı grup

Katkısız tuğlalarda, (Şekil 5.10 a), 800, 850 ve 900 °C lerde birim hacim ağırlık, artan ponza hacim oranı ile giderek azalmıştır. 950°C de pişen numunede ise % 60 hacim oranından sonra bir artış gözlenmiştir. Bu istisna dışında en küçük değerler % 70 hacim oranında elde edilmiştir. Referans tuğlaya göre % 70 hacim oranında, 800 °C de % 29.3, 850 °C de % 26.9, 900 °C de % 24.7, 1000 °C de % 21.9 oranında, bir azaltım sağlanmıştır.

Katkılı tuğlalarda ise (Şekil 5.10 b) % 53 hacim oranına karşılık gelen her pişme derecesinde bir pik noktası oluşmuştur. Bir başka deyişle, bütün sıcaklıklarda % 53 ponza hacim oranlı ve tuğlalar en yüksek birim hacim ağırlık değerlerini vermişlerdir. Bu grupta, genel olarak % 60 hacim oranı ağırlık azaltımında yeterli olmuş, % 70 hacim oranının 800 ve 900 °C dışında fazla bir etkisi olmamıştır. Referans tuğlaya göre, birim hacim ağırlıktaki en fazla azaltım % 21.2 ile 800 °C de % 70 hacim oranında pişirilen tuğla ile elde edilmiştir.

Katkısız serisinin % 29.3 değeri ile karşılaştırılırsa, katkılılarda daha önce de belirtildiği gibi birim ağırlıktaki azalma daha az olmaktadır.

ii) 2/2.36 ponza dane çaplı grup

Bu ponza çaplı grupta, katkısız tuğlalarda ise % 70 hacim oranının her pişme sıcaklığında ters etkisi olmuş ve birim hacim ağırlık artmıştır. Bu grupta da % 53 ve % 60 hacim oranının gerekli azaltımı sağlamada yeterli olduğu söylenebilir (Şekil 5.11 a).

Katkılı kilden üretilen grupta ise gene % 60 hacim oranı, 850 ve 1000 °C hariç en fazla azaltımı sağlamıştır. 850 °C deki % 60 hacim oranından % 70 hacim oranına geçişteki düşüş ise oldukça azdır (Şekil 5.11 b).

iii) 2.36/3.35 ponza dane çaplı grup

Burada ise, katkısız kilden üretilen bütün numenelerde % 53 hacim oranına karşılık gelen noktada en az birim hacim ağırlığa karşılık gelen bir pik noktası oluşmuştur. Bu noktaya kadar birim ağırlıkları azalan numunelerin, bu noktadan itibaren birim hacim ağırlıklarında 850 °C hariç % 70 hacim oranına kadar sürekli bir artış olmuştur. 850 °C de de % 53 den 60'a geçerken gene artış olmuş, fakat % 60'dan % 70'e geçerken tekrar bir azalma olmuştur (Şekil 5.12 a).

Katkılı tuğlalarda (Şekil 5.12 b) 1000 °C hariç en küçük birim hacim ağırlıklar % 70 ponza hacim oranı ile elde edilmiştir. 1000 °C de ise % 50 hacim oranı en düşük değeri vermiştir. Burada dikkat çeken bir başka nokta ise % 60 hacim oranının bütün sıcaklıklarda en büyük değerleri vermesidir.

iv) Fuller parabolüne göre üretilen grup

Katkısız tuğlalarda (Şekil 5.13 a) % 60 ve % 70 hacim oranları, % 80 ve % 90'a göre birim hacim ağırlığı

azaltmada daha etken olmuşlardır. Özellikle 950 ve 1000 °C lerde hacim oranının artması ile birlikte birim ağırlık da artmıştır.

Aslında teorik olarak karışıma giren ponza miktarının artması ile birlikte birim ağırlığın azalması beklenmektedir. Burada ise 950 ve 1000 °C lerde tersi bir durum söz konusudur. Büyük bir ihtimalle bu karışımlarda ince ponza daneleri aralardaki boşlukları doldurarak ve özellikle sıcaklık artışı ile birlikte kil kütlesi ile iyi bir şekilde kaynaşarak, daha yoğun ve iç yapı kusurları ve çatlakları az olan bir yapı meydana getirmişlerdir. Bu durum, porozite değerleri ile de doğrulanmaktadır. (Tablo A.6, A.9, A.13 ve Şekil 5.29a, 5.31a, 5.33 a). Fuller parabolüne göre % 90 hacim oranında üretilen katkısız numuneler, referans tuğlaya göre birim ağırlıkta 950 °C de % 5, 1000 °C de % 3 olmak üzere az bir azaltım sağlarken, aynı zamanda porozite değerlerinde büyük bir azalmaya neden olmuşlardır. (Referans tuğlaya göre, zahiri porozitede 950 °C de % 31.8 , 1000 °C de % 51.9).

Katkılı tuğlalarda % 60 dan % 70 e geçişte, artan sıcaklıkla birlikte, birim ağırlıklar giderek artmış, % 80'likte ise daha önce de değinildiği gibi 1000 °C hariç en düşük değerleri veren bir optimum elde edilmiştir.

5.2.2.3 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Ağırlıkça Su Emme Değerlerine Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tuğla gibi taş yapıllı malzemelerde, mikroyapının tipi, özellikle matriks ve tuğla yüzeyi içerisinde gelişen boşluk sistemi, tuğlanın su emmesini fazlaca etkiler. Büyük miktarlardaki çatlaklar ve boşluklar nemin ve suyun tuğla matriksi tarafından emilmesine izin

verirler [60, 61]. Su emme ve dolayısı ile boşlukluluk mukavemeti etkilediğinden, bu iki büyüklüğün bilinmesi gerekir.

Bu nedenle bu bölümde, önce su emme deneyleri ile ağırlıkça su emme değerleri ele alınacak, ileriki bölümlerde ise hacimce su emme değerleri, bir başka deyişle boşlukluluk değişimleri, ele alınacaktır.

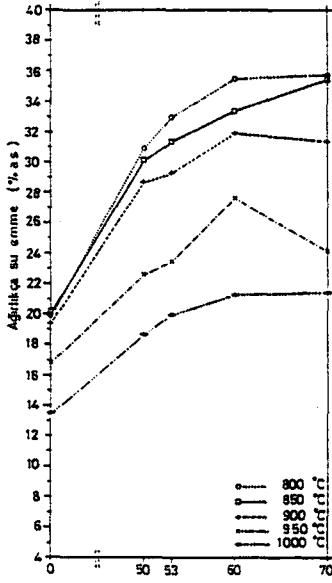
Değişik büyüklüklerde ve dağılımlardaki ponzalardan üretilen tuğlaların suya doygun duruma göre atmosfer basıncında ve daha sonra 2 saat kaynatarak elde edilen ağırlıkça su emme değerleri sırası ile 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 ve Fuller parabolüne göre üretilen karışımlar için Şekil 5.14 den 5.21 e kadar gösterilmiştir. Bu şekillerin ve Tablo A.5 ve A.8 incelenmesi ile pişme sıcaklığı, ponza ve deflokulan katkısı, ponza dane çapı etkileri altında elde edilen genel sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1) Pişme Sıcaklığı Etkisi

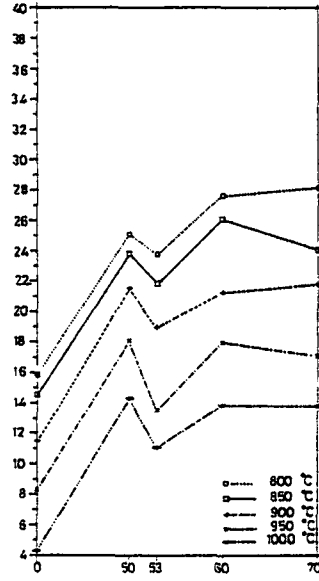
Bütün karışımlarda, pişme sıcaklığı arttıkça seramik kütlesinin yoğunlaşması ile, daha düşük su emme değerleri elde edilmiştir. Bu da seramik killeri için normal bir davranıştır. Sadece, daha önce birim hacim ağırlıkta da anlatıldığı gibi, 800 ve 850 °C lerde pirişilen saf tuğlalarda, değişik hazırlama koşullarından dolayı, pişme sıcaklığı ile bunların değerleri değişmemiştir.

2) Ponza Katkısının Etkisi

Bütün karışımların ağırlıkça soğuk sudaki su emme değerleri, 900 °C de % 60 hacim oranlı, 950 °C de % 90 hacim oranlı, 1000 °C de ise % 80 ve % 90 hacim oranlı Fuller'e göre üretilen katkısız tuğlalar, kaynatarak

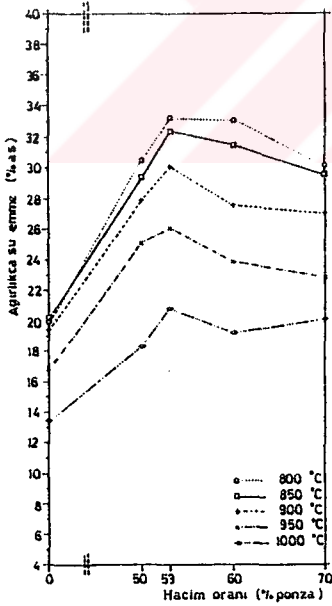


(a)

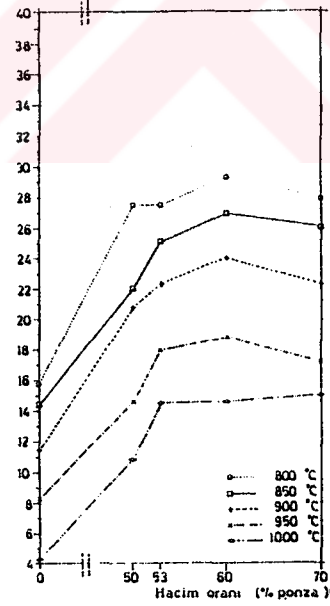


(b)

Şekil 5.14. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

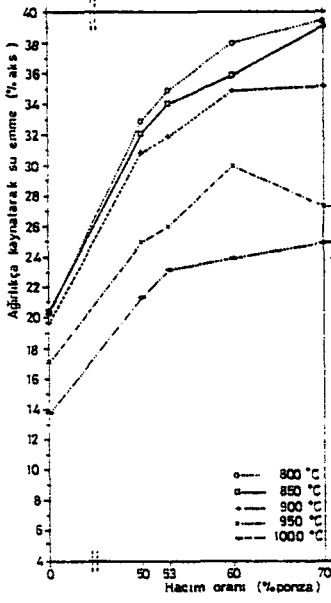


(a)

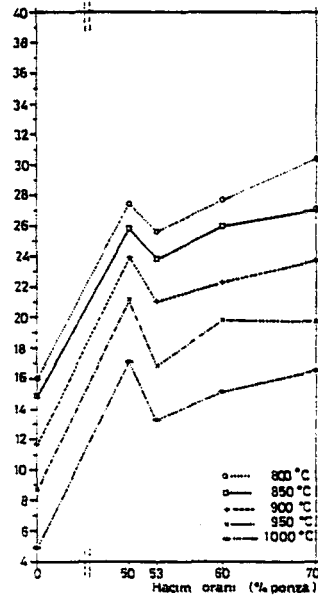


(b)

Şekil 5.15. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

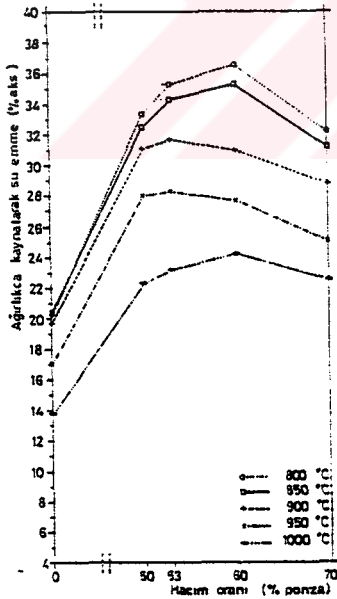


(a)

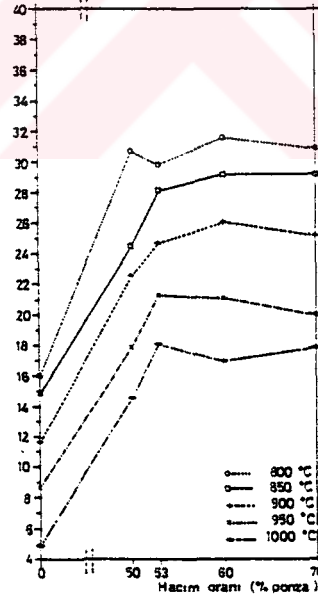


(b)

Şekil 5.16. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

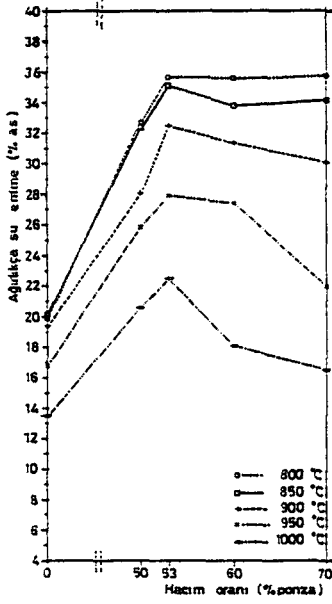


(a)

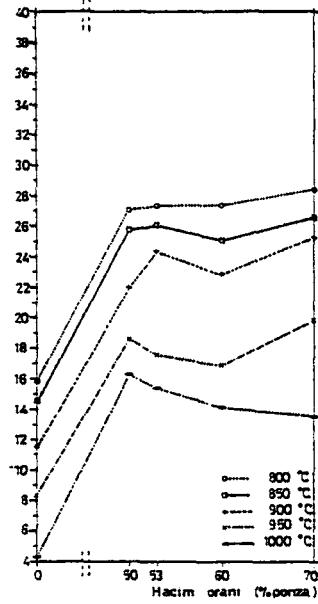


(b)

Şekil 5.17. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

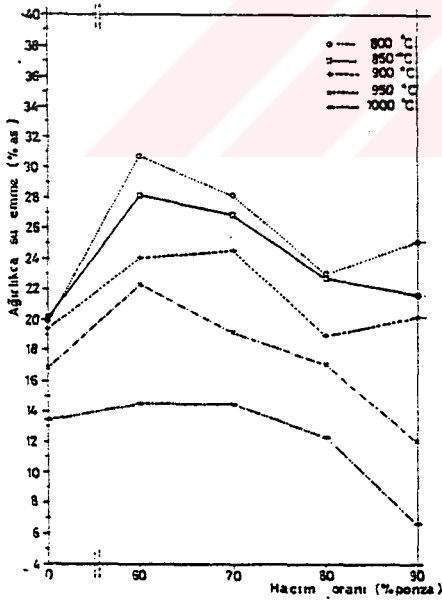


(a)

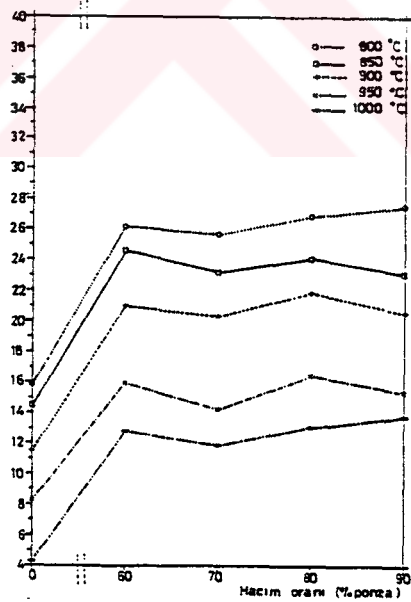


(b)

Tablo 5.18. 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

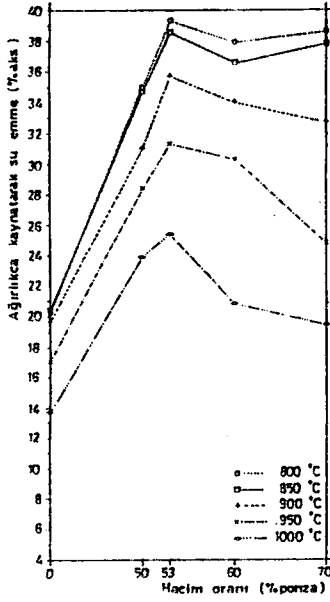


(a)

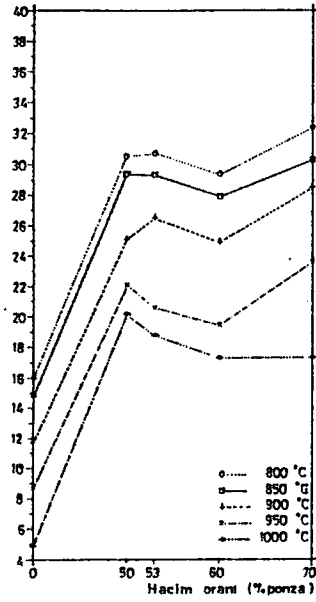


(b)

Şekil 5.19. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % as'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

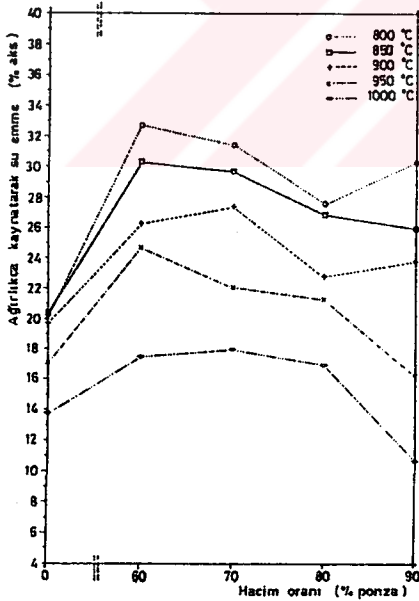


(a)

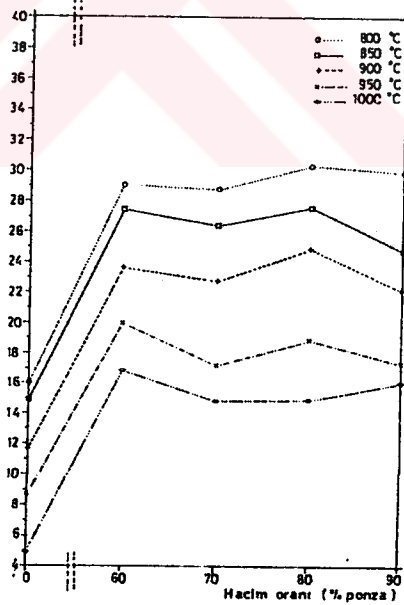


(b)

Şekil 5.20 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı



(a)



(b)

Şekil 5.21. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % aks'ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

ağırlıkça su emme değerleri ise, 950 ve 1000 °C lerde % 90 hacim oranlı katkısız tuğlalar hariç, referans değerlere göre artmıştır. % 90 ve % 80 hacim oranlı katkısız tuğlalarda gözlenen birim hacim ağırlıkta az bir düşüşe rağmen, su emmedeki bir hayli azalış, bu tuğlaların kullanılabilirliği ve özelliklerinin daha da geliştirilebilmeleri açısından umut vericidir. Hatta bu karışımlarda, ponzasız referans tuğlalarda bile elde edilemeyen, 0.80 in altında bir doyma katsayısı elde edilmiştir (Tablo A10, A11).

3) Deflokulan Katkısının Etkisi

Fuller parabolüne göre 950 °C deki % 80 hacim oranlı hariç % 80 ve % 90 hacim oranlarında üretilen katkısız tuğlaların tamamının, soğuk suda ağırlıkça su emme değerleri, aynı hacim oranında ve aynı sıcaklıkta pişirilen katkılı tuğlalara göre daha düşüktür. (Şekil 5.19). Deflokulan katkısı, birim hacim ağırlıkta olduğu gibi, burada da ters bir etki ile yoğunluğu azaltarak, su emmeyi arttırmıştır. Aslında bu durumun deflokulan katkısının yoğunluğu azaltmasına değil, % 80 ve % 90 hacim oranlı katkısız tuğlalarda gelişen özel duruma bağlamak daha doğru olacaktır. Çünkü bunlarda yüksek sıcaklıklarda artan ponza miktarı ile birlikte su emme beklenilenin tersine azalmıştır.

Diğer bütün karışımlarda katkısızların normal su emme değerleri, katkılılardan daha yüksektir.

Kaynatarak ağırlıkça su emme değerlerinde ise, gene Fuller parabolüne göre 800, 850 ve 900 °C lerdeki % 80 hacim oranlı ve 950 ve 1000 °C lerdeki % 90 hacim oranlı katkısız tuğlalarda, aynı şartlardaki katkılı karışımlara göre azalma olmaktadır. (Şekil 5.21). Diğer bütün karışımlarda, katkısızların değerleri, katkılılardan daha

yüksektir. Ancak katkısız tuğlaların referans tuğlalara göre bütün su emme değerlerindeki artış hızı katkılı tuğlaların artış hızına göre daha az olmaktadır. Bu da fosforpentoksit ve sodyum hidroksit katkısının, ponza ilavesi ile birlikte etkinliğinin giderek azalması şeklinde açıklanabilir.

4) Ponza dane çapı etkisi

Fuller parabolüne göre üretilenlerin, ince daneli ponzalar nedeni ile daha düşük su emme değerlerine, dolayısı ile yüksek birim yoğunluklara sahip oldukları açıkça görülmektedir. 1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm boyutlu ponzalardan elde edilen grupların her bir sıcaklık ve hacim oranı için su emme değerleri ise, büyük bir ihtimalle elek düzeninin standartlara uygun olmamasından dolayı belirgin bir sıralama göstermemekte, bununla birlikte genel olarak, dane çapının büyümesi ile boşlukluluk ve su emme artmaktadır.

Su emmedeki değişimler daha çok herbir dane grubu içerisindeki, hacim oranlarının değişimine göre değişen değerler ve pik noktaları oluşturmaktadırlar. Bu hacim oranlarına göre değişimlere ise büyük bir ihtimalle uygun ekstrüzyon nemine ulaşabilmek için ilave edilen farklı miktarlardaki karma suyu yüzdeleri neden olmaktadır. Normal ve kaynatarak ağırlıkça su emme değerlerinin hacim oranlarına ve pişme sıcaklığına bağlı olarak değişimi ise, dört ayrı ponza dane grubu altında ele alındığında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

i) 1/2 mm ponza dane çaplı grup

Katkısız tuğlalarda; 2 Saat kaynatma ile, normal su emmeye göre en fazla artış, doyma katsayısından da anlaşılabacağı gibi (Tablo A.10) % 53 ve % 70 hacim

oranlarında ve 1000 °C de elde edilmiştir. Gene de burada elde edilen doyma katsayısı değerleri 0.80'in altına düşmemiş, ancak ponzasız referans tuğlalara göre azalmıştır.

Normal su emmede, referans tuğlaya göre en az artış % 26 ile 950 °C de % 50 hacim oranında, en fazla artış, % 44 ile 800 °C de % 70 hacim oranında görülmektedir. (Tablo A.5 ve Şekil 5.14 a).

950 °C de % 60 hacim oranındaki ani artış ve tekrar % 70 hacim oranındaki ani düşüş hariç, genel eğilim, ponza hacim oranı arttıkça, kaynatarak ve normal su emme değerlerinin de artışı şeklindedir.

Kaynatarak su emmede, referans tuğlaya göre en az artış, % 32 ile gene 950 °C de % 50 hacim oranında, en fazla artış ise % 49 ile gene 800 °C de ve % 70 hacim oranında görülmektedir. (Tablo A.8 ve Şekil 5.16 a).

Katkılı tuğlalarda; katkısızlarda olduğu gibi, gerek soğuk suda, gerekse kaynatarak su emmede, hacim oranı artışı ile birlikte ağırlıkça su emme değerlerinde düzenli bir artış gözlenememekte, hatta, kaynatarak ve soğuk suda su emme eğrilerinin % 50 hacim oranına karşılık gelen pik noktasından sonraki gidişleri de değişmekte ve en fazla ve en az artışı veren karışımlar yer değiştirmektedir.

Referans tuğlalara göre en az artış, atmosfer basıncında su emmede % 34 ile 800 ve 850 °C'lerde % 53 hacim oranına, kaynatarak su emmede ise % 38 ile gene 800 ve 850 °C lerde % 53 hacim oranına karşılık gelmektedir. Ancak, en fazla artış, atmosfer basıncında su emmede % 76 ile 1000 °C'de % 60 hacim oranına karşılık gelirken, kaynatarak su emmede % 72 ile gene 1000 °C'de fakat, % 50

hacim oranına karşılık gelmektedir (Şekil 5.14 b ve 5.16 b).

Bu grupta, % 60 hacim oranlı tuğlalar hariç, diğer oranlarda referans tuğlaya göre, ağırlıkça doyma katsayısında bir miktar düşüş gözlenmektedir. En küçük değerler ise, gene 0.80'e eşit veya az bir miktar yüksek olmakla birlikte, 950 °C de % 53 hacim oranında ve 1000 °C de % 53 ve % 70 hacim oranlarında elde edilmiştir.

Doyma katsayılarının dona dayanıklılık için ASTM C 62 08'e göre 0.78 den az olması gerekmektedir [62]. Ancak bu araştırmada elde edilen soğuk sudaki su emme değerleri, 24 saatlik su emme değerleri değil, suya doymun duruma göre elde edilen değerlerdir ve büyük bir çoğunluğu bir ay gibi uzun bir sürede suya doymun duruma gelmişlerdir ve kaynatmada gene ASTM C 67'ye göre [61] 5 saat değil, 2 saat süre ile yapılmıştır. Bu değişikliklerle soğuk suda su emme yüzdesinin, kaynatarak su emme yüzdesine oranı olan doyma katsayısının daha yüksek çıkması normal gözükmektedir. Bütün bunların yanında, dona dayanıklılığın özel çalışmalarla ayrıca incelenmesi ve doyma katsayısından başka birçok kriterin göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Bu konuda çalışmalar yapan G.Robinson [63], tuğlanın % 8.2 den fazla su emmeye ve 0.74 den büyük doyma katsayısına sahip olabileceğini, fakat bu durumda özgül su emme* değerinin 22 gr/dak. dan az olması gerektiğini belirtmektedir.

* Özgül Su Emme : 1 dakikada 1 dm² alandan kapiler yolla emilen gr cinsinden su miktarıdır [7,s.118].

Tuğla durabilitesini etkileyen majör faktörleri de S. Marusin [62] şöyle özetlemiştir :

- . Su Emme
- . Doyma katsayısı
- . Boşluk boyutu, şekli ve dağılımı.

Bütün bu faktörlerin hepsinin birarada kullanılmak durumunda olduğunu ve hiçbirinin elimine edilemeyeceğini, doyma katsayısı değerinin ve özellikle 5 saat kaynatma ve 24 saat su emme değerleri arasındaki farkın % 1 den büyük olup olmamasının da; ki % 1 den büyükleri dayanıklı olarak tanımlamıştır, önemli kriterler olarak gözüktüğünü belirtmiştir.

Bu tezin kapsamında ise esas amaç tuğlayı hafifletmek, ısı iletkenliğini azaltmak olarak belirlenmiştir, fakat bunun yanında durabilitenin özellikle yüzey tuğlalarında önemli bir yeri olduğu bilinmektedir.

ii) 2/2.36 mm ponza dane çaplı grup :

Katkısız tuğlalarda; kaynatarak su emme değerleri, tamamen birim hacim ağırlık değerlerinin, hacim oranlarına göre değişimi ile aynı özellikleri göstermişlerdir (Şekil 5.15a ve 5.17a). Bir başka deyişle, kaynatarak su emme değerleri 800, 850 ve 1000 °C'lerde % 60 hacim oranına kadar, 900 ve 950 °C'lerde % 53 hacim oranına kadar, birim hacim ağırlıktaki azalma ile muntazaman artmıştır, bu noktalardan itibaren ise, birim ağırlıktaki artışla birlikte, % 70 hacim oranına doğru tekrar en küçük değerleri almışlardır. Atmosfer basıncında su emmede ise, benzer özellikler görülmekte, fakat su emme değerlerindeki azalma bütün sıcaklıklarda % 53 hacim

oranından itibaren başlamaktadır. Böylelikle hemen hemen bütün sıcaklıklarda en küçük birim hacim ağırlık değerlerini veren % 60 hacim oranı, diğerleri içerisinde en düşük doyma katsayılarını da vermektedir.

Katkılı tuğlalarda (Şekil 5.15.b ve 5.17.b) , normal su emme ve kaynatarak su emme değerleri ile elde edilen eğriler, bir üst noktaya ötelenmiş paralel eğriler oluşturmaktadırlar. Bu nedenle doyma katsayıları hacim oranları ile birlikte fazla değişmemekte, ancak sıcaklık artışı ile bütün grup içerisinde azalmaktadır. Özellikle 1000 °C'de % 50 hacim oranı ile elde edilen 0.75 değeri, Fuller parabolüne göre üretilenler dışında diğer bütün değerler içerisinde 0.80'den az olan tek doyma katsayısı değeri olmasından dolayı dikkat çekicidir.

iii) 2.36/3.35 mm ponza dane çaplı grup

Katkısız tuğlalar; birim hacim ağırlıkta bütün sıcaklıklarda en düşük değerleri veren % 53 hacim oranı, burada da hem atmosfer basıncında ve hem de kaynatarak su emmede doğal olarak en yüksek değerleri vermiştir (Şekil 5.18a ve 5.20a).

Katkılı tuğlalarda; hem soğuk suda ve hem de kaynatarak elde edilen değerler, birim hacim ağırlıkta elde edilen değerlerle uygunluk içerisinde (Şekil 5.18b ve 5.20b). Gene doyma katsayısı bütün hacim oranlarında pişme sıcaklığının artması ile birlikte azalmaktadır (Tablo A.10). Bu da pişme sıcaklığının artması ile tuğla kütlesinin yoğunlaşması ve dışa açık boşluk oranının azalması şeklinde açıklanabilir. Ancak 950 ve 1000 °C'lerde pişen tek tip ponza dane çaplı karışımların kapilarite katsayıları (Tablo A.3) daha düşük sıcaklıklarda pişirilenlerden daha yüksek çıkmakta, porozite değerleri ise daha küçük değerler almaktadır.

Bu da bu karışımların dışa açık boşluk oranlarının az olmakla birlikte bu boşlukların hacimleri büyük, sürekli kılcal boşluklar olduğunu göstermektedir.

iv) Fuller parabolüne göre üretilen grup

Katkısız tuğlalarda en dikkat çekici nokta, daha önce değinildiği gibi 950 ve 1000 °C'lerdeki % 80 ve % 90 hacim oranlarına karşılık gelen karışımların su emme değerlerinin referans tuğlalara göre daha düşük değerler almasıdır (Şekil 5.19.a, 5.21.a). Ancak bunların birim ağırlıklarındaki az bir düşüş tuğlayı ponza ilavesi ile hafifletme çabasında bir dezavantaj olmaktadır.

Katkılı tuğlalar; birim hacim ağırlıkta bütün sıcaklıklarda en düşük değeri veren % 80 hacim oranı, burada normal su emmede % 60 hacim oranı ile hemen hemen aynı değerleri vermiş, kaynatarak su emmede ise özellikle 950 ve 1000 °C'lerde, % 60 hacim oranından bir hayli düşük değerler vermiştir (Şekil 5.19.b, 5.21). Bu durum aslında % 60 hacim oranının 950 ve 1000 °C lerde kaynatarak su emme değerinin artış hızının fazla olmasından dolayıdır ve bu sıcaklıklarda % 60 hacim oranı, 0.76 gibi bir değerle en düşük doyuma katsayısını vermiştir (Tablo A.10).

5.2.2.4. Pişme Sıcaklığının, Deflokulan ve Ponza Katkısının Boşluk Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi ve İrdelenmesi

Bilindiği gibi yapı malzemelerinin ve buna bağlı olarak yapı elemanlarının ana fonksiyonu yapılarda istenen bazı konfor ve emniyet şartlarını optimum düzeyde sağlamaktır. Bu da bazı fiziksel özelliklerin gerçekleştirilmesi ile mümkündür. Örneğin düşük

kapilarite ve su emme, yüksek donan dayanıklılık, yüksek mukavemet ve bu araştırmada aranan düşük birim ağırlık ve ısı iletkenlik gibi.

Boşluklu malzemelerin bünyesindeki boşlukların boyutları, büyüklükleri ve geometrileri ise, bu özelliklerin ve malzemenin pratik uygulamalara uygunluklarının tayininde birincil önemdedirler. Bundan dolayı, boşluk özelliklerinin tayini, malzemelerin değerlendirilmesinde ve mamul ürünlerin kalite kontrolünde genellikle önemli bir adımdır ve hem bilimsel ve hem de ekonomik önemi vardır. Boşluklu malzemelerin diğer birçok karakteristiklerinin, dayandığı üç esas özellik; porozite, boşluk boyut dağılımı ve özgül yüzeydir. Ve bunlar esas olarak geometrik karakterdedirler. Dördüncü bir geometrik özellik ise boşluk şeklidir ve diğer üçünden daha az ölçülebilir olmasına rağmen birincil önemdedir [64,65].

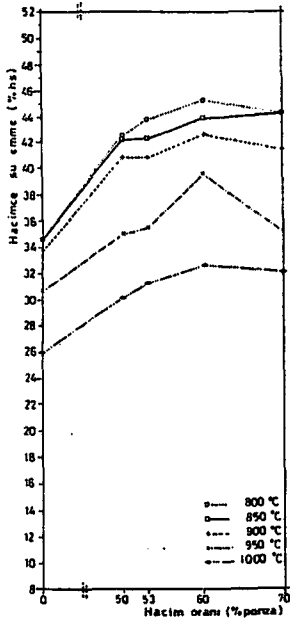
Bütün bu nedenle bu bölümde, özellikle kendisi de poröz bir malzeme olan ponzanın, tuğla kiline ilavesi ile normal tuğlada gelişen boşluk yapılarındaki ve miktarlarındaki değişimler, çeşitli deneylerden elde edilen sonuçlarla değerlendirilmeye çalışılacaktır.

Atmosfer basıncında su emme deneyi ile hacimler oranı olarak bulunan görünür porozite veya hacimce su emme ile dışa açık boşlukların ancak bir kısmının ölçülebildiği, daha sonraki kaynatma ile dışa açılan boşlukların hacmi hakkında daha gerçeğe yakın sonuçlar elde edilebileceği düşünülmüştür. Özgül ağırlıkların bulunması ile kapalı boşluklar da dahil edilerek numunelerin tüm boşluklarını belirten hakiki porozite değerleri bulunmuş ve bunlar sırası ile 1/2 dane çaplı grup için Şekil 5.22, 5.24 ve 5.26 da, 2/2.36 dane çaplı grup için Şekil 5.23, 5.25 ve 5.27 de 2.36/3.35 dane

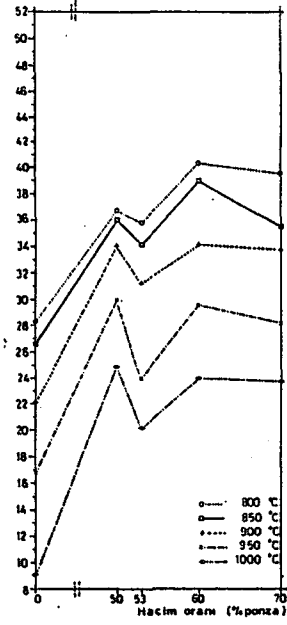
çaplı grup için Şekil 5.28, 5.30 ve 5.32 de, Fuller parabolüne göre üretilen grup için ise Şekil 5.29, 5.31 ve 5.33 de gösterilmiştir.

Herbir dane grubuna ait görünür porozite ve kaynatarak hacimce su emme eğrilerinin, hacim oranlarına ve pişme sıcaklıklarına göre değişimi ağırlıklar oranı olarak bir önceki bölümde verilen grafiklerle benzerlik içerisindedir. Bu nedenle bu bölümde daha çok gerçek porozite değerleri ve özellikle Fuller parabolüne göre üretilen numunelerde kılcallık deneylerinden elde edilen kılcallık katsayısı, kılcal boşluk yüzdesi ve MIP deneylerinden elde edilen toplam görünür boşluğa oranla, boşluk çaplarının yüzdesi üzerinde durulacaktır.

Literatürde porozite-kılcal su emme ve hacim yoğunluk ilişkisi üzerinde birçok çalışmaya rastlanmaktadır. D. Hoffman ve diğerleri [66] 200 ayrı tuğla üzerinde yaptıkları çalışmada hacim yoğunlukla kapilarite arasında eksponansiyel bir fonksiyon geliştirerek, emme dinamiğinin malzeme yoğunluğu ile ters orantılı olduğunu ancak bunun benzer boşluk mesafelerine sahip tuğlalarda geçerli olduğunu belirtmişler, C. Hall, W. D. Hoff ve W. Prout [67] ise gene hacim yoğunluk ve emme katsayısı arasında, benzer bir ampirik formül geliştirmişlerdir. 63 adet tuğla üzerinde yaptıkları deneylerin sonucunda ise hacim yoğunlukla porozite arasında ters bir korelasyon, emme ve porozite arasında ise doğru bir korelasyon olduğunu ve bunun bir üstel kuvvet fonksiyonu ile ifade edilebileceğini, bununla birlikte emmenin kompleks bir değer olduğunu ve sadece poroziteye değil, boşluk yapısının geometrik şekline de bağlı olduğunu belirtmişlerdir.

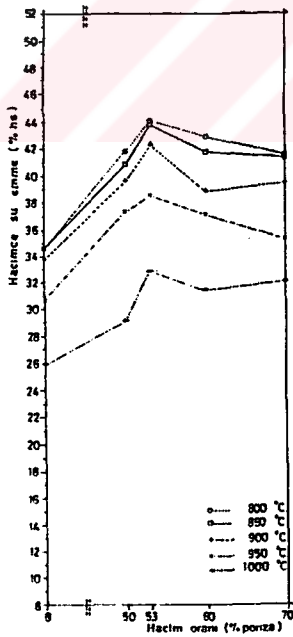


(a)

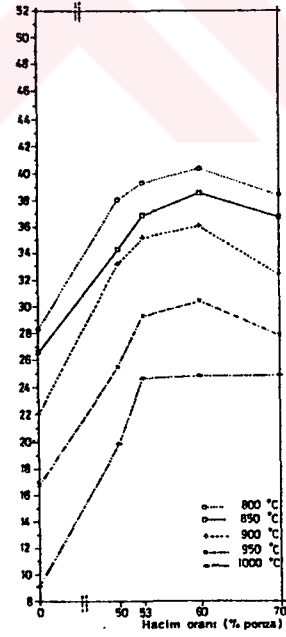


(b)

Şekil 5.22. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

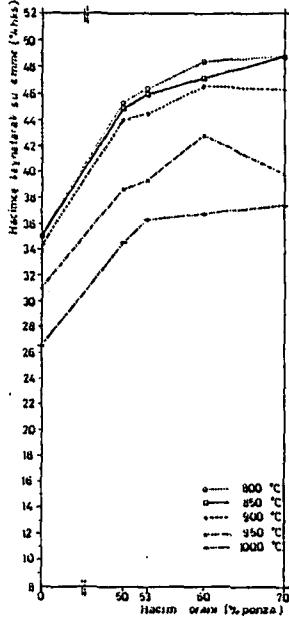


(a)

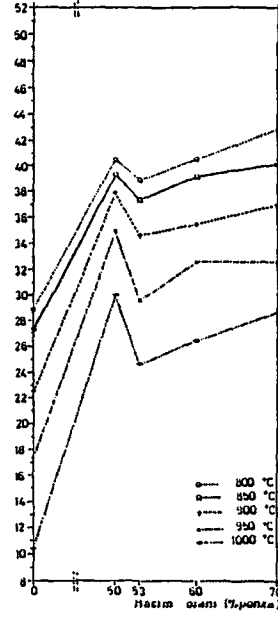


(b)

Şekil 5.23. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

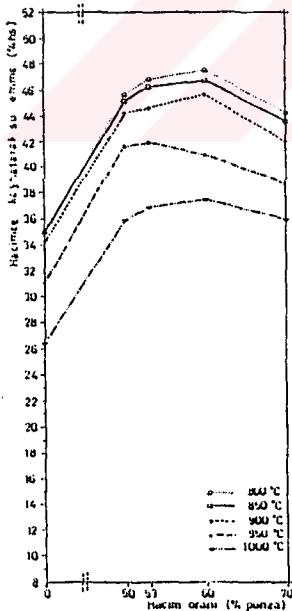


(a)

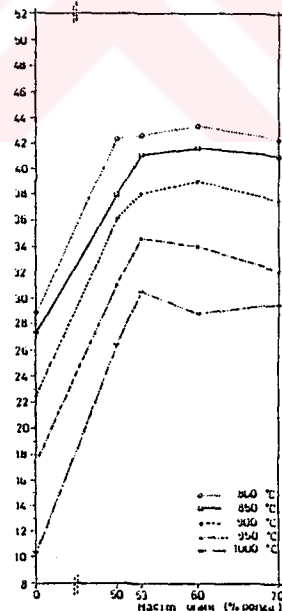


(b)

Şekil 5.24. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

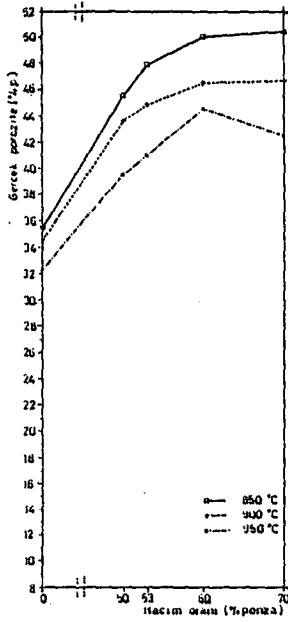


(a)

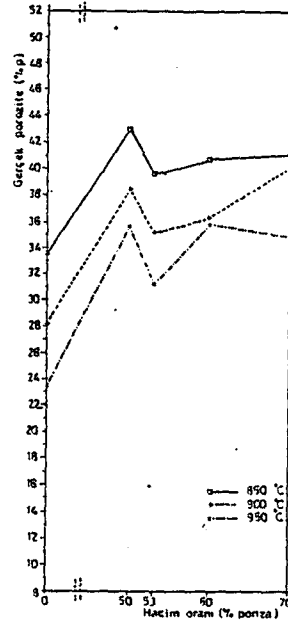


(b)

Şekil 5.25. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

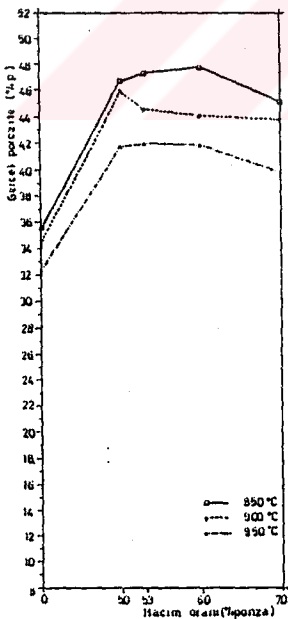


(a)

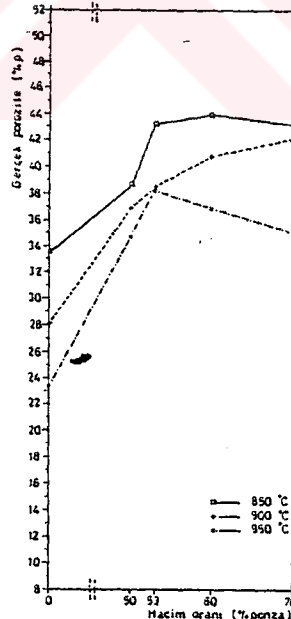


(b)

Şekil 5.26. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

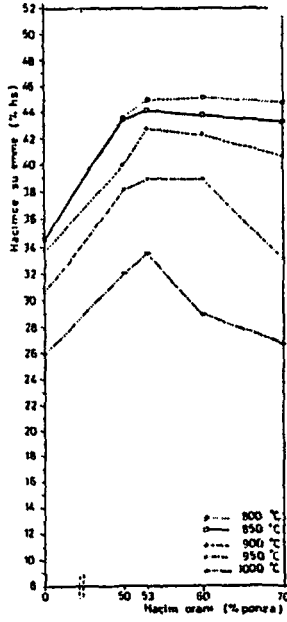


(a)

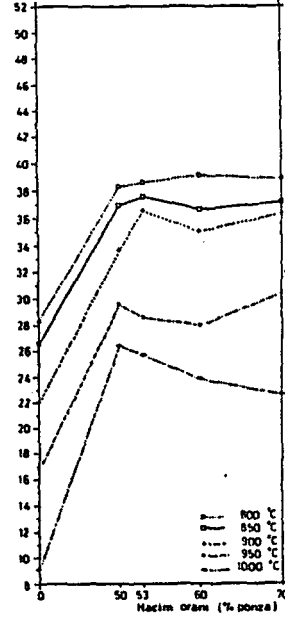


(b)

Şekil 5.27. 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Gerçek poroziteye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

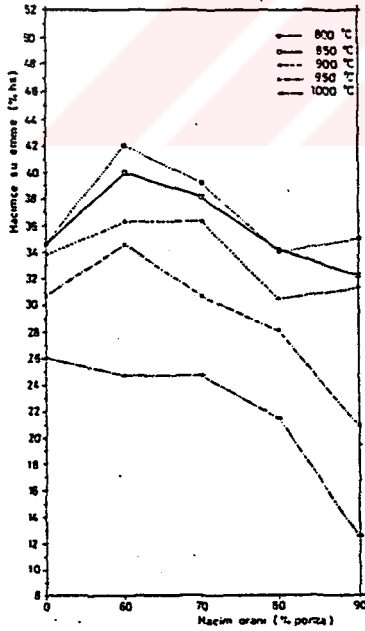


(a)

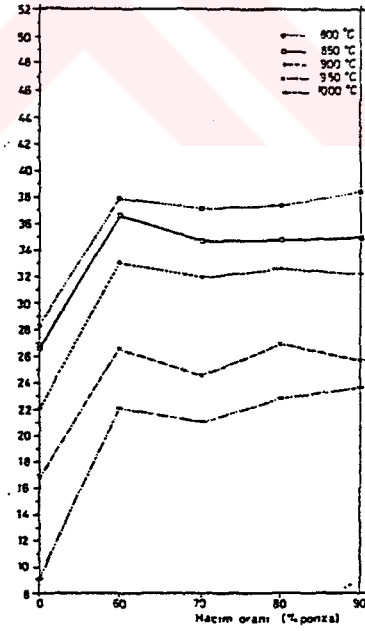


(b)

Şekil 5.28. 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

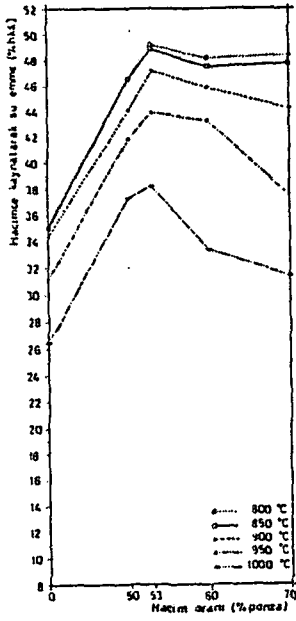


(a)

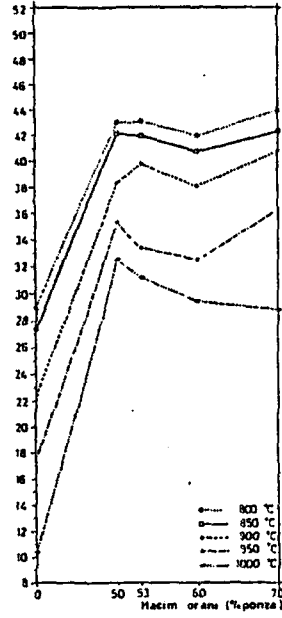


(b)

Şekil 5.29. Fuller Parabolüne Göre Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hs ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

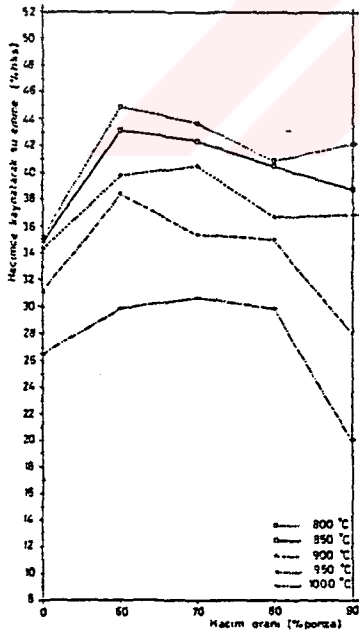


(a)

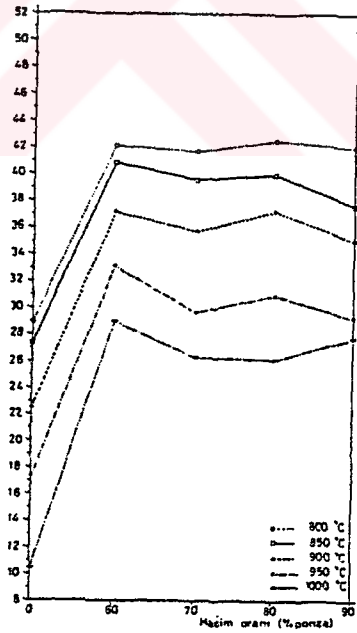


(b)

Şekil 5.30. 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

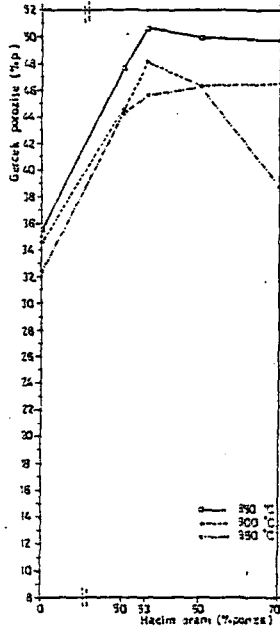


(a)

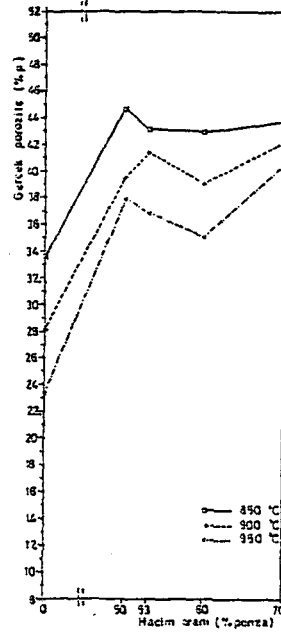


(b)

Şekil 5.31 Fuller parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının % hks ye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

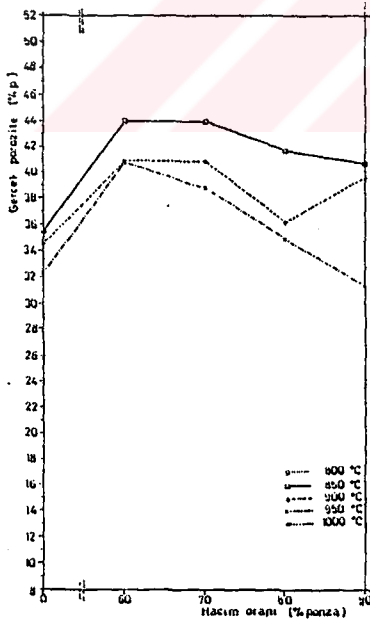


(a)

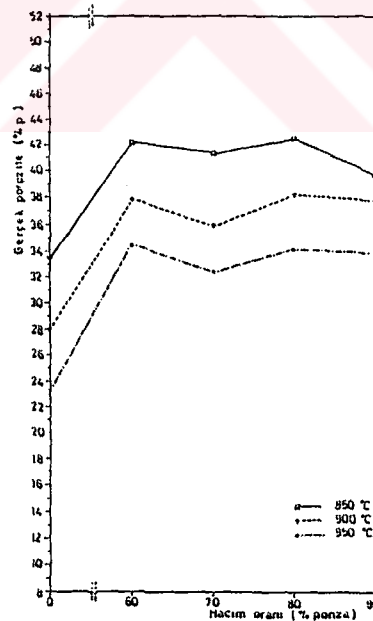


(b)

Şekil 5.32. 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı



(a)



(b)

Şekil 5.33 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Gerçek Poroziteye Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

Bu araştırmada da, porozite, kılcallık ve boşluk dağılımları ile ilgili yapılan deneylerden elde edilen veriler birlikte değerlendirilmeye çalışılmış ve sonuçlar ponzasız tuğlalar bir grup, tek tip dane aplılar (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35) ve Fuller'ler de iki ayrı grup olmak üzere 3 ayrı grup altında aşağıda sırası ile özetlenmiştir.

i) Ponzasız katkılı ve katkısız tuğlalarda porozite özelliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi:

Katkısız referans tuğlaların görünür porozite (% hs), kaynatarak elde edilen hacimce su emme (% hks) ve gerçek porozite (p) olmak üzere üç ayrı porozite değeri de katkılı referans tuğlalardan daha büyüktür. Bu da P_2O_5 ve NaOH etkisi ile daha yoğun ve daha az boşluklu bir yapı oluşturulduğunu göstermektedir.

P_2O_5 ve NaOH katkısının katkısız tuğlaların porozite değerlerini azaltma oranları sıcaklık derecelerine göre aşağıda belirtilmiştir: Ancak 800 ve 1000 °C'lerde özgül ağırlık deneyi yapılmadığı için bu sıcaklıklardaki gerçek porozite değerleri verilememektedir.

800 °C de;

% hs de, % 18.2 oranında,
% hks de, % 17.9 oranında azaltım,

850 °C de;

% hs de, % 23.2 oranında,
% hks de, % 21.7 oranında,
% p de, % 5.3 oranında azaltım

900 °C de;

% hs de, % 34.6 oranında

% hks de, % 34.4 oranında

% p de, % 18.8 oranında azaltım,

950 °C de,

% hs de, % 45.3 oranında,

% hks de, % 44.2 oranında,

% p de, % 28.0 oranında azaltım,

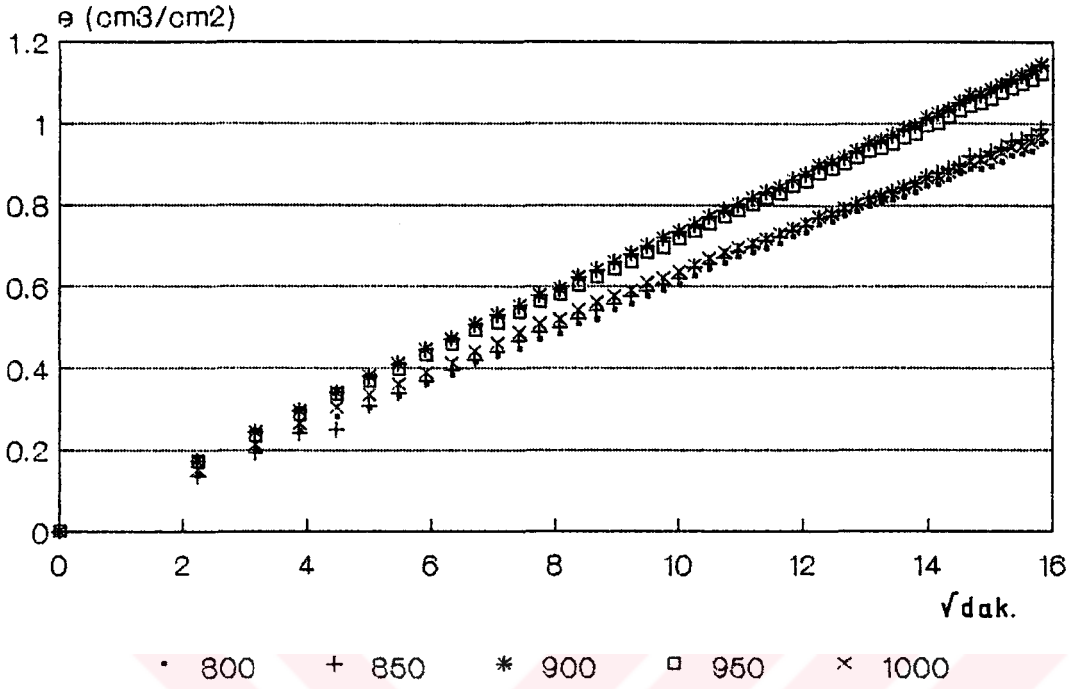
1000 °C de,

% hs de, % 64.8 oranında,

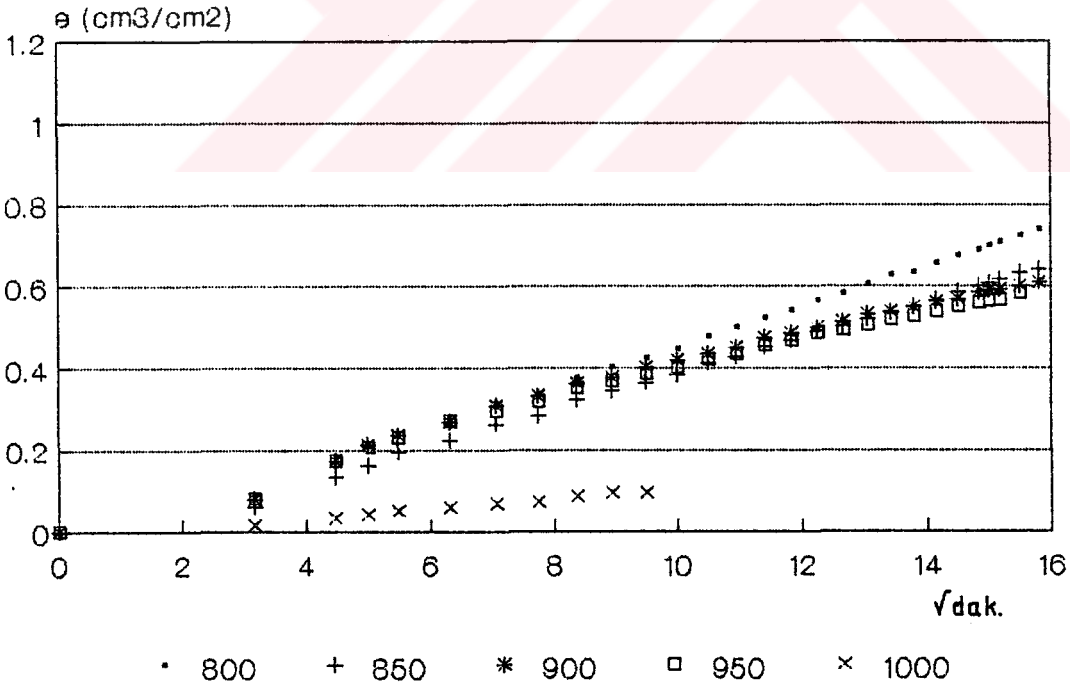
% hks de, % 60.7 oranında azaltım.

Görüldüğü gibi pişme sıcaklığı arttıkça P_2O_5 ve NaOH etkisi daha belirgin hale gelmekte ve boşlukluluk giderek azalmaktadır.

Kapilarite deneyi ile elde edilen kapilarite katsayıları Tablo A.3'de, zamanın karaköküne karşılık birim alandan emilen su miktarının grafik gösterimi ise katkısızlar için Şekil 5.34'de, katkılılar için Şekil 5.35'de gösterilmiştir. Bu şekillerin ve tablonun incelenmesi ile kapilarite katsayılarının katkısızlarda 900°C'ye kadar arttığı daha sonra ise azalmaya başladığı, katkılılarda ise her sıcaklıkta daima katkısızlardan daha küçük değerler alarak, pişme sıcaklığı ile birlikte azaldığı görülmektedir. P_2O_5 , NaOH katkısının kapilarite katsayısını azaltma oranı 800 °C'de %17.6'dan başlamak üzere 1000 °C'ye doğru giderek artarak 1000 °C'de % 79'luk bir orana varmıştır.



Şekil 5.34 Katkısız ve Ponzasız Referans Tuğlalarla Kılcal Su Emme - Zaman Diyagramı



Şekil 5.35 Katkılı Ponzasız Referans Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı

Yapılarda, özellikle dış cephelerde açık hava etkisine maruz yapı malzemelerinin kılcal su emme özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Çünkü, porozite aynı kalmak şartıyla, malzemenin kılcal su emmesi artabilir. Kapilarite bina cephesinden yağmur sularının emilmesi ve uzun süre duvarların nemli kalmasında da etken olur. Genellikle kapilarite katsayısı, görünür porozite ile ters orantılıdır [68, s.19-20].

Burada ise, katkılı tuğlalarda sıcaklıkla birlikte porozite azalırken, kapilarite katsayısı da azalmış, katkısız tuğlalarda ise önce 900°C'ye kadar azalan poroziteye karşılık kapilarite katsayısı artmış, daha sonra ise porozite azalmaya devam ederken, kapilarite katsayısı da azalmaya başlamıştır. Daha önce bölüm 4.5.2'de yaklaşık da olsa belirlenen kılcal boşluk yüzdelere (Tablo A.4) baktığımız zaman ise bu değerlerin katkısız tuğlalarda sıcaklık artışı ile birlikte arttığı, katkılı tuğlalarda ise azaldığı görülmektedir. Özetle, katkılı tuğlalarda, pişme sıcaklığı artışı ile porozite, kapilarite katsayısı ve kılcal boşluk yüzdesi azalmaktadır ki bu da sıcaklık artışı ve erime ile birlikte küçük kılcal boşlukların bir kısmının dolması, onların yerine miktarları az da olsa büyük kapalı boşlukların oluşması şeklinde açıklanabilir. Katkısız tuğlalarda gözlenen durum ise, pişme sıcaklığı artışı ile porozite azalırken, kılcal boşluk yüzdesinin sürekli olarak, kapilarite katsayısının ise 900 °C'ye kadar artması, daha sonra ise azalmaya başlaması şeklinde özetlenebilir.

Porozite azalırken, kapilarite katsayısı ve kılcal boşluk yüzdesinin artması, sıcaklık artışı ile toplam miktarları azalan fakat herbirinin kendi içerisindeki hacmi artan kılcal boşlukların gelişmesi şeklinde açıklanabilir. Buradan sonra ise, sıcaklığın daha da

artması ile kılcal boşluk yüzdesi gene artmış, fakat kapilarite katsayısı düşmüştür. Benzer ve çelişkili olarak nitelendirilen bir durumu M. Uyan [56, s.128-129] betonda şu şekilde açıklamaktadır: "Kılcal boşlukların hacmi azalırken, aynı zamanda boşlukların çapları da küçülmektedir. Çapların küçülmesi ise betonun kılcal su emme kuvvetini büyütmede ve kılcallığı artırmaktadır".

Sonuç olarak ise, kılcal boşluk miktarının artmasının betonun kılcallığını artırdığını, fakat kılcal boşluk miktarında çok büyük farklılık olmamak şartıyla, bu boşlukların boyutlarının kılcallığın belirlenmesinde daha etken olduğunu belirtmektedir.

Burada da 900 °C'den sonra gelişen olayı, sıcaklık artışının devamı ile birlikte, bu kılcal boşlukların bir kısmının dolarak yerlerini hacimleri daha fazla fakat daha küresel boşluklara bırakmaları ve kılcallığın azalması şeklinde açıklayabiliriz.

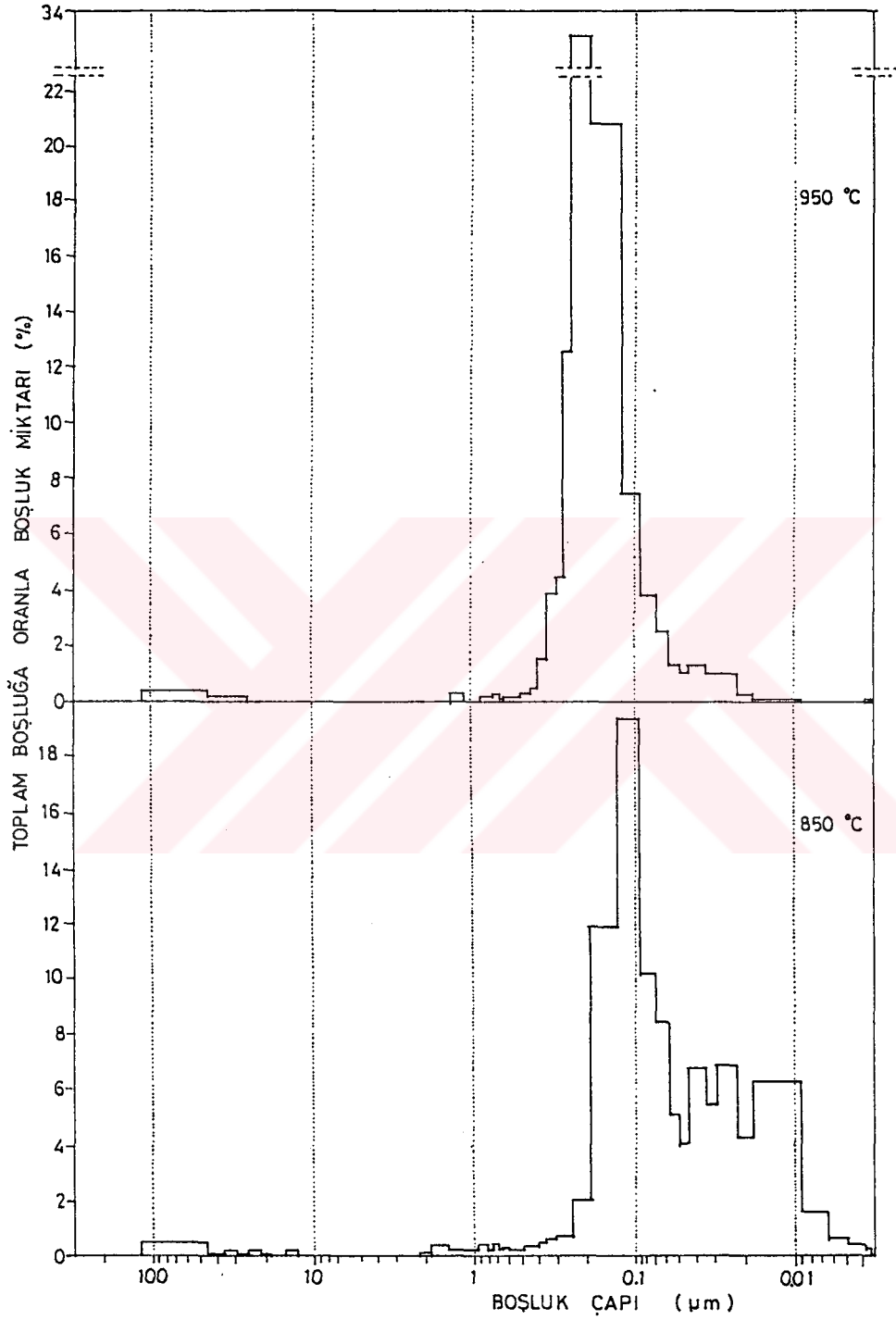
Bununla birlikte bütün bu durumları açıklayabilmek için M. Uyan'ın [56, s.129] da belirttiği gibi bu boşlukların boyutlarının ve şekillerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu amaçla bazı numuneler üzerinde civalı porozimetre ile çalışmalar yapılmış ve deney sonuçları özet olarak Tablo 5.1'de verilmiştir (Tamamı EK-B'de gösterilmiştir). Ancak civalı porozimetre ile de boşlukların şekilleri hakkında birşey söylemek mümkün değildir, sadece dışa açık boşluk çaplarının büyüklüğü, daha doğrusu hacmi belirlenebilir.

Tablo 5.1 de özet olarak 10 μ dan büyük, 10-1 μ arası, 1-0.1 μ arası ve 0.1 μ dan küçük boşlukların toplam boşluğa oranla yüzdeleri verilen numunelerin, bu oranları grafik olarak ponzasız ve katkısız numuneler için Şekil 5.36 da, ponzasız ve katkılı numuneler için

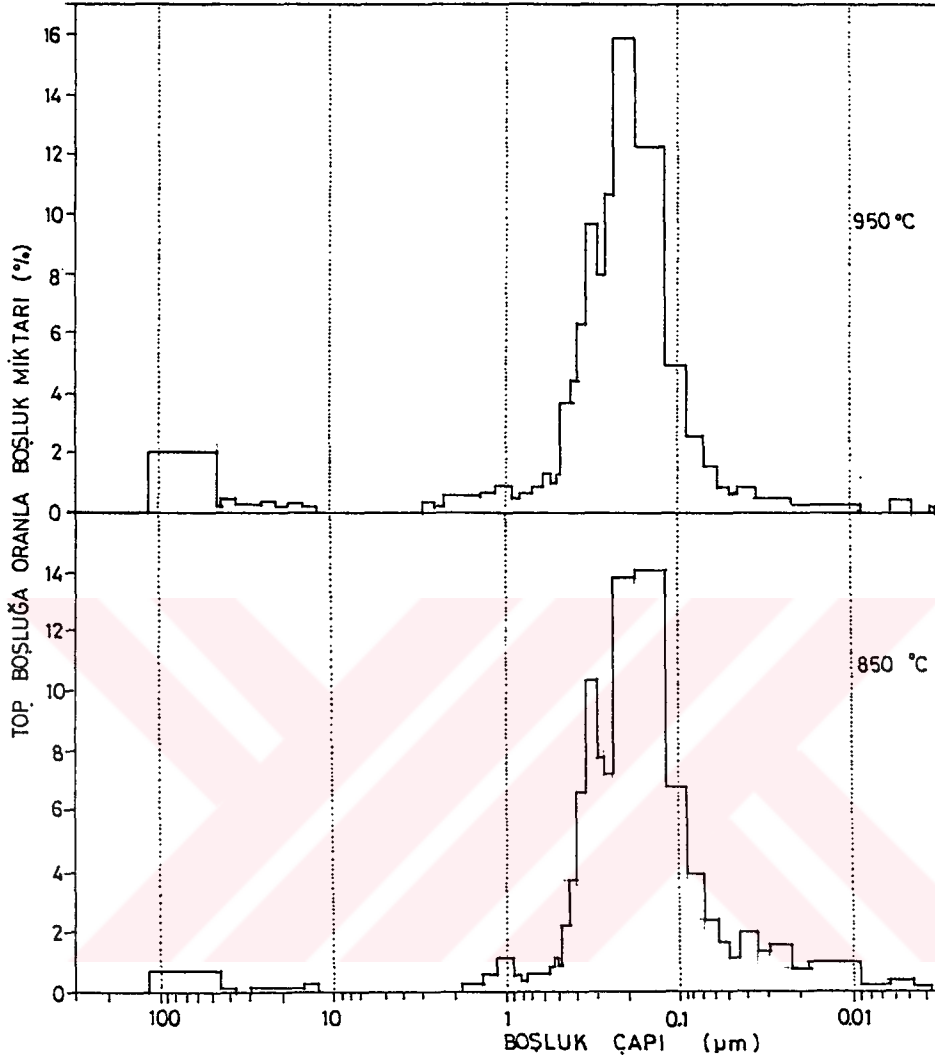
ise Şekil 5.37 de gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesi ile 850 °C de pişen ponzasız ve katkısız tuğlaların toplam açık boşluklarının % 79 unu 0.1 μ dan küçük boşlukların oluşturduğu, sıcaklık artışı ile bu boşlukların azalarak 1 μ la 0.1 μ arasındaki orta büyüklükteki boşluklara doğru kaydığı görülmektedir. Belli bir sayının üzerinde deney yapılamadığı için bütün sıcaklık aralığı boyunca boşluk dağılımı incelenememiştir. Ancak 850 ve 950 °C lerde elde edilen bu veriler, bu tuğla için, kılcallık, ve kılcal boşluk yüzdesi arasında kurulmaya çalışılan ilişkiyi, boşluk şekli açısından olmasa bile, boşluk büyüklüğü ve çapı açısından doğrulamaktadır. Yani 900 °C ye kadar boşlukların çapları küçülmüş ve toplam porozitedeki yüzdeleri artmış, 950 °C de ise boşluk çapları büyümüş-tür.

Tablo 5.1. MIP Uygulanan Numunelerin Boşluk Çapı Dağılımları

Tuğla Tipi	Pişme Sıcaklığı (°C)	Boşluk Çapı Yüzdesi (b %)			
		b>10 μ %	10 μ >b>1 μ %	1 μ >b>0.1 μ %	b<0.1 μ %
Ponzasız, Katkısız	850	1.2	0.6	19.1	79.0
	950	0.7	0.3	79.0	20.1
Ponzasız, Katkılı	850	1.6	0.9	73.9	23.6
	950	4.2	2.5	79.9	13.4
Fuller, %80 Katkısız	850	6.6	46.8	38.4	8.1
	950	51.2	29.2	17.5	2.1
Fuller, %80 Katkılı	800	15.8	31.0	39.7	13.5
	850	20.7	40.1	30.3	8.9
	900	21.7	39.5	29.5	9.3
	950	41.6	36.2	14.1	8.1
	1000	58.1	20.7	13.3	7.9



Şekil 5.36 Ponzasız ve katkısız Referans Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi İle Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi



Şekil 5.37. Ponzasız Katkılı Referans Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi İle Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi

Katkılı ve ponzasız tuğlada ise 850 °C den 950 °C ye geçerken fazla bir değişiklik olmamakla birlikte, büyük boşlukların yüzdesi bir miktar artmış ,küçük boşluklar ise gene bir miktar azalmıştır.

MIP ile tuğlalar ve pişmiş seramikler üzerinde, özellikle dona dayanıklılıkları açısından birçok araştırmalar yapılmış ve teoriler geliştirilmeye çalışılmıştır. M. Mureşan [69] fiziksel ve mekanik karakterler, imalat teknolojisi faktörleri ve boşluk dağılımı arasında ilişki kurulması, bu ilişkiler tabanında, değişik imalat teknolojileri ile üretilen her malzemenin optimal karakteristiklerine karşılık gelen optimal boşluk dağılımı elde etmenin MIP çalışmaları ile mümkün olabileceğini belirtmiştir. Bu amaçla, ekstrüzyon ve presleme ile üretilen kiremitler üzerinde yaptığı çalışmalarda, bunların boşluk dağılımları arasında farklılıklar olduğunu, preslemenin 1 μm den büyük boşlukların oluşumunu kolaylaştırdığını, aynı pişirme derecesinde preslemeyle şekillendirilen kiremitlerin 1 μm den büyük boşluklarının yüzdesinin, ekstrüzyonla şekillendirilenlerden daha fazla olduğunu, fakat bu boşlukların dağılımlarının pişirme sıcaklıklarına göre değişiminin benzer olduğunu bulmuştur. Buna göre 1 μm nin üzerindeki boşluklar, pişirme sıcaklığı arttıkça artar ki bunlar dona ve erimeye karşı dayanıklıdırlar. 1 μm ve 0.1 μm arasındaki, dona dayanıklılık açısından tehlikeli boşluklar pişirme sıcaklığı arttıkça azalır. 0.1 μm den küçükler ki bunların donma ve erimeye karşı hiçbir sensitivitesi yoktur, bunlar pişirme sıcaklığı arttıkça azalır. Bu sonuçlara göre dona dayanıklılık açısından preslenmiş kiremitler için 900 °C nin, ekstrüzyonla üretilenler için ise 1000 °C nin optimum pişirme sıcaklığı olduğunu vurgulamıştır.

M. Maage [70] ise dona dayanıklılıkla çapı 3 μm den büyük boşlukların yüzdesi arasında lineer bir ilişki kurmuş, sonuçta yüksek poroziteli tuğlaların, eğer 3 μ dan büyük boşluk çaplarının yüzdeleri yeterince yüksekse, bunların dona dayanıklı olabileceklerini, eğer, 3 μ dan büyük çaplı boşluklar yoksa, tuğlayı dona dayanıklı hale

getirebilmek için porozitenin çok düşük olması gerektiğini belirtmiştir. D. Winslow ve diğerleri [71] ise, M. Maage'nin geliştirdiği hipotezin doğruluğunu birçok yöreden alınan tuğlaların incelenmesi suretiyle ispatlamışlardır.

G.Robinson [72] ise, durabilitesi zayıf tuğlaların $1 \mu\text{m}$ den küçük boşluklara, yüksek durabiliteli tuğlaların ise $2 \mu\text{m}$ den büyük boşluklara sahip olduğunu ileri sürmüştür.

W.Hansen ve J.H.Kung [73] pişmiş tuğla killерinin boşluk yapısı, kapiler yolla emilen suya doygunluk ve doyma katsayısı arasında ilişkiler kurmuşlardır. MIP den elde edilen boşluk boyut dağılımı eğrisinin eğim değişimi noktasındaki eşik çapı D_{th} ın bulunabileceğini ve bunun da sürekli boşlukların maksimum çapı olduğunu, dolayısı ile MIP ile sürekli ve süreksiz boşluk sistemini ayırdetmenin mümkün olabileceğini, eşik çapına karşılık gelen eşik porozitesinin, toplam poroziteye oranının ise dona dayanıklılık için bir doyma katsayısı indeksi olarak kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Bu araştırmada ise, dona dayanıklılık esas amaç olmamış, MIP çalışmaları, sadece sıcaklık etkisinin ve ponza katkısının üretilen tuğlaların boşluk boyut dağılımlarına etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

Örneğin, Maage'nin [70] geliştirdiği formüle göre, üretilen tuğlaların dona dayanıklı olup olmadığını kontrol etmek istersek ;

$FC = 3.2/PV + 2.4 \times P3$ formülüne göre,

FC = rölatif dona dayanıklılık sayısı

PV = civa ile dolan boşluk hacmi, cm^3 / gr ,

P3 = çapları 3 den büyük boşluklar (PV'nin % si olarak),

ponzasız tuğlaların hepsi dona dayanıksız çıkmakta, ponzalı numuneler ise hacimce doyma katsayıları (Tablo A.11) 0.80 nin üstünde olduğu halde, dona dayanıklı çıkmaktadırlar. Ancak, burada kesin bir yargıya varmak, bu konuda detaylı çalışmalar yapılmadığı ve Maage'nin incelemelerinin ise özellikleri burada kullanılandan daha farklı olan killerden üretilen tuğlalar üzerinde yapıldığı düşünülürse, yanlış olacaktır.

- ii) Tek tip dane çaplı ponzalarla (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35 mm) üretilen katkılı ve katkısız tuğlalarda boşluk özelliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi

. Ponza katkısı ile, bütün gruplarda, görünür porozite, kaynatarak elde edilen hacimce su emme değerleri ve gerçek porozite değerleri artmış, 850, 900 ve 950 °C lerde katkısızlarda % 40 ile % 50 arasında, katkılılarda ise % 35 ile % 45 arasında değişen bir boşlukluluk elde edilmiştir (Tablo A.6, A.9, A.13, şekil 5.22 den 5.28 e ve 5.30 ve 5.32).

. Herbir dane grubunun kendi içerisindeki sıcaklık artışlarına göre bütün porozite değerleri muntazam olarak azalmıştır. Bu da daha önceki özelliklerde olduğu gibi düşük sıcaklıklarda pişen tuğlaların, daha yüksek sıcaklıklarda pişenlere göre normal olarak daha yüksek poroziteye ve daha ince boşluklara sahip olduğunun bir göstergesidir [70].

. Ponza katkısının referans tuğlalara göre porozite değerlerine etkisi, hacim oranlarına göre çok fazla değişiklikler olmamasından dolayı sadece % 50 hacim oranına göre ve 850 ve 950 °C lerde şöyledir.

850 °C de, 1/2 dane çapında,

% hs de, katkısızlarda	% 22.1,	katkılılarda	% 26.4
% hks de,	"	% 22.0,	" % 20.4
% p de,	"	% 22.1,	" % 20.8
oranında artış,			

850 °C de, 2/2.36 dane çapında,

% hs de, katkısızlarda	% 15.4,	katkılılarda	% 22.6
% hks de,	"	, % 22.6	" % 27.8
% p de,	"	, % 23.9	" % 12.8
oranında artış,			

850 °C de 2.36/3.35 dane çapında,

% hs de, katkısızlarda	% 20.5,	katkılılarda	% 28.1
% hks de,	"	% 24.9,	" % 34.9
% p de,	"	% 25.5,	" % 24.7
oranında artış,			

950 °C de 1/2 dane çapında,

% hs de, katkısızlarda	% 12.4,	katkılılarda	% 44.0
% hks de,	"	% 19.3,	" % 50,3
% p de,	"	% 18.1,	" % 34.6
oranında artış,			

950 °C de 2/2.36 dane çapında,

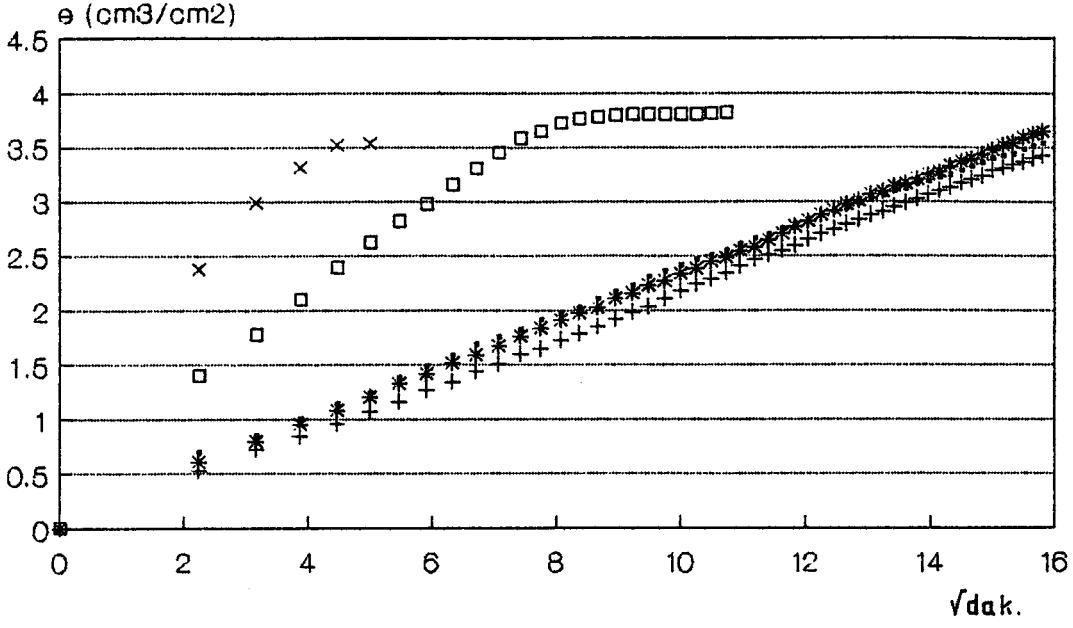
% hs de, katkısızlarda	% 18.0,	katkılılarda	% 34.4
% hks de,	"	% 25.2,	" % 44.0
% p de,	"	% 22.3,	" % 32.8
oranında artış,			

950 °C de 2.36/3.35 dane çapında,

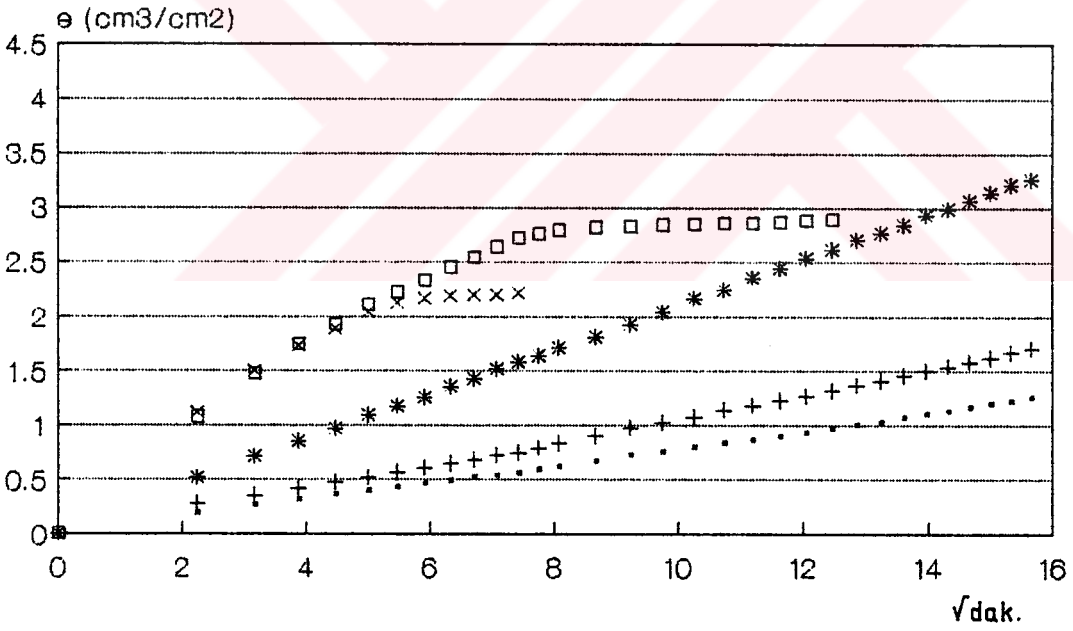
% hs de, katkısızlarda	% 19.6,	katkılılarda	% 43.2
% hks de,	"	% 25.5,	" % 50.7
% p de,	"	% 16.6,	" % 42.4
oranında artış.			

Görüldüğü gibi, katkılı tuğlalardaki artış, katkısızlara göre daha fazla olmakta ve sıcaklık artışından katkılılar daha çok etkilenmektedirler. Bu da deflokulan katkısının ponza ilavesi ile birlikte etkinliğinin azaldığını göstermektedir. Bununla birlikte, gene de her bir pişme sıcaklığında, katkısız numunelerin üç porozite değeri de katkılı numunelerden daha fazladır. Tek bir istisna 2.36/3.35 ponza dane boyutlu grupta, % 70 hacim oranında ve 950 °C de gerçek porozitede görülmektedir. Bu durum, deney hatasına bağlanabilir.

. Kapilarite deneyi ile elde edilen kapilarite katsayıları Tablo A.3 de, bu oranların pişme sıcaklığına bağlı olarak değişimi ise, 1/2 dane grubu ve % 60 hacim oranı için, Şekil 5.38, 2/2.36 dane grubu ve % 70 hacim oranı için Şekil. 5.39 , 2.36/3.35 dane grubu ve % 60 hacim oranı için Şekil 5.40 da gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesi ile, hem katkılı, hem de katkısız tuğlalarda pişme sıcaklığı artışı ile birlikte, kılcallığın bir iki istisna hariç arttığı söylenebilir. Ponzasız ve katkılı referans tuğlalarda gözlenen, sıcaklık artışı ile kılcallığın kapanan kılcal boşluklar nedeni ile azalması durumu, burada ponzalı numunelerde bu boşlukların tamamen kapanmayıp çaplarının incelenmesi ile sonuçlanmıştır. Kılcal boşluk yüzdelere baktığımız zaman (Tablo A.4) ise pişme sıcaklığına bağlı olarak belirgin bir artış veya azalma görülmemekte, gelişigüzel bir dağılım gözlenmektedir. Bu gruba MIP deneyi de yapılmadığı için pişme sıcaklığı, kılcallık ve kılcal boşluk yüzdesi arasında bir ilişki kurulamamıştır. Bununla birlikte bütün dane gruplarında ve pişme sıcaklıklarında katkısızların kılcal boşluk oranı % 80 civarında kalmış ve her zaman ortalama olarak % 70 lerde seyreden katkılılardan daha fazla olmuştur. Burada dikkat çeken bir nokta 2/2.36 dane çaplı grupta ve % 70 hacim oranında gözlenen durumdur. Bu grupta 900 °C hariç, bütün

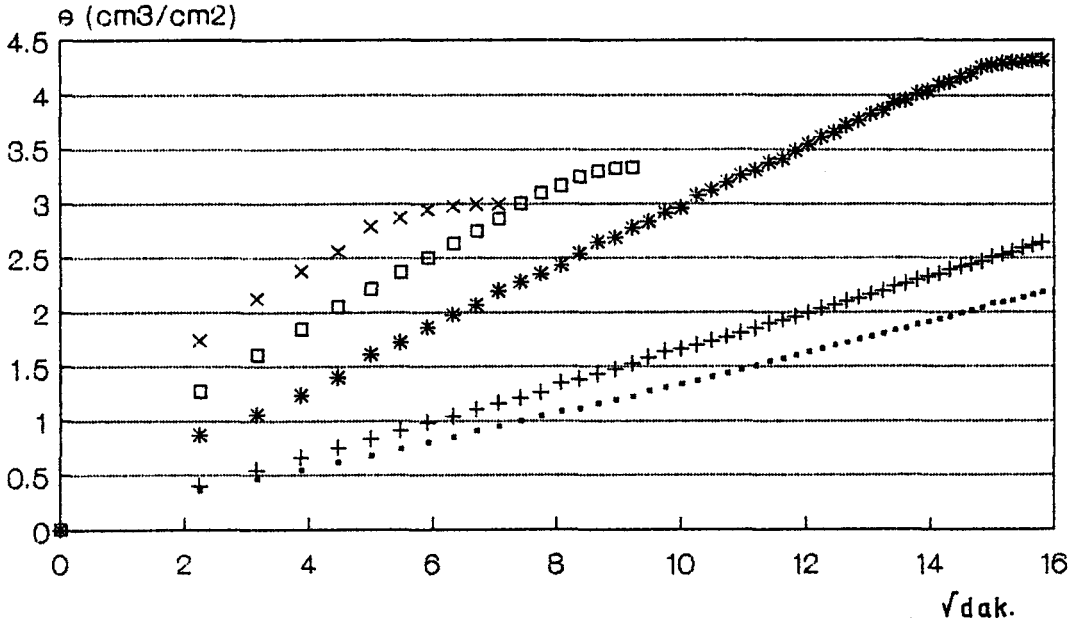


(a)

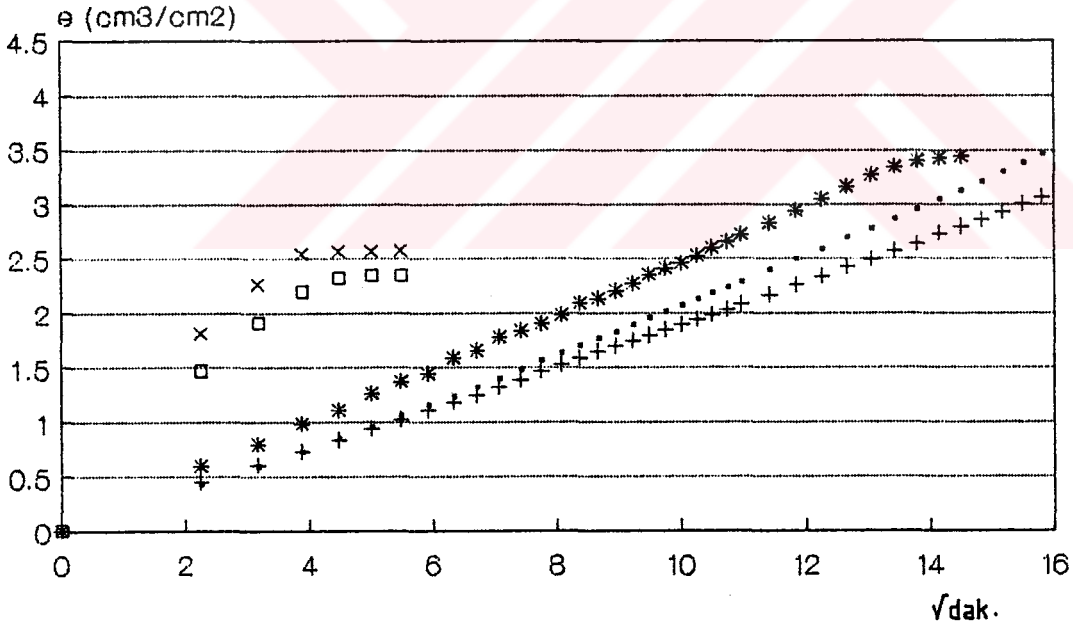


(b)

Şekil 5.38 1/2 Dane Çap lı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı

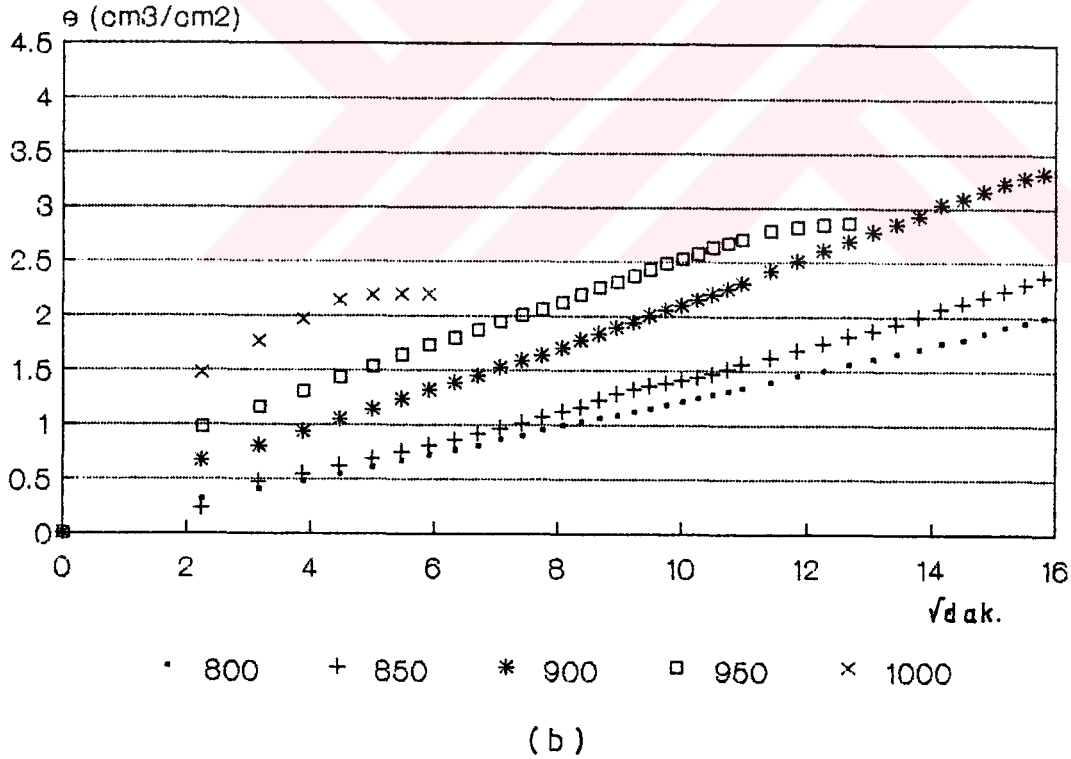
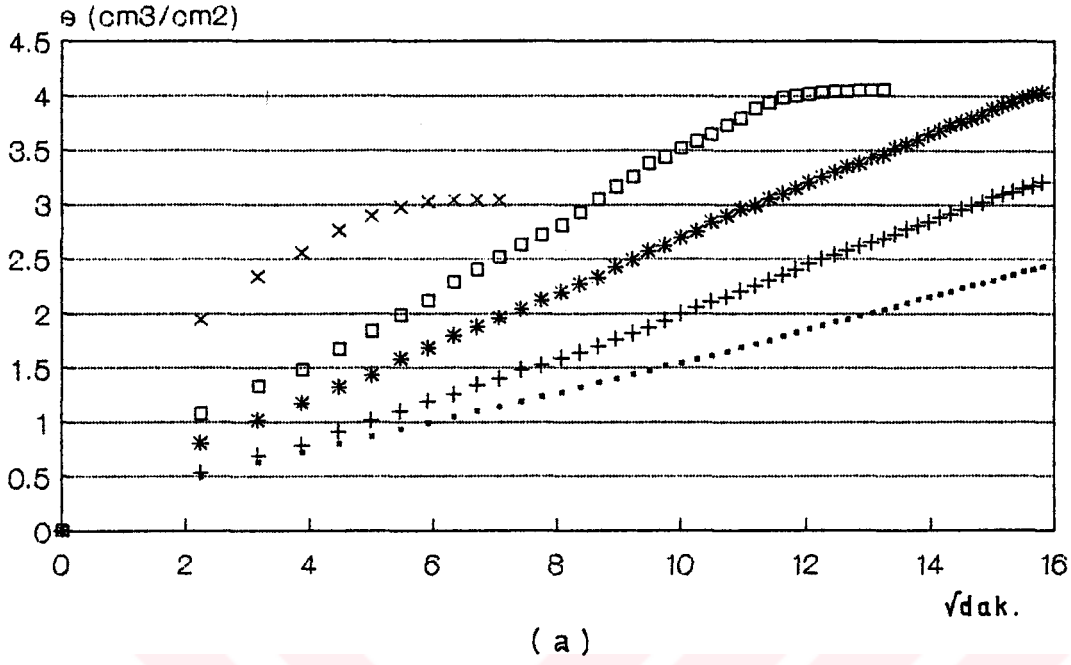


(a)



(b)

Şekil 5.39 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla % 70 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız, (b) Katkılı



Şekil 5.40 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı

pişme sıcaklıklarında katkılıların kılcal boşluk yüzdelерinin katkısızlardan yaklaşık % 20 oranında daha az olmasına karşılık, kapilarite katsayılarının daha yüksek olmasıdır. Bir başka deyişle, P_2O_5 NaOH katkısı ile kılcal boşluk yüzdesi azalmış, fakat kılcallık artmıştır. Burada deflokulan katkısının düşük sıcaklıklarda bile bir miktar erimeye yol açtığı, fakat bu erimenin ince boşlukların tamamen kapanmasına yetmediği, ve bu boşlukların daha da incelererek kılcallığın artmasına neden olduğu söylenebilir.

. Ponza katkısının, kılcallık ve kılcal boşluk yüzdesine etkisi ise, normal olarak bu değerlerin artışı ile sonuçlanmıştır. Katkısızlarda referans tuğlaya göre kılcallık 800 °C de ortalama % 66, 850 de % 67, 900 °C de % 71, 950 °C de % 81, 1000 °C de % 85, katkılılarda 800 °C de ortalama % 68, 850 °C de % 72, 900 °C de % 83, 950 °C de % 89, 1000 °C de % 96 oranında artmıştır.

. Bu grupta en düşük kılcallık katsayısı değerleri, 2/2.36 dane çaplı grupta ve % 50 hacim oranında, katkılarda elde edilmiştir (Tablo A.3) Hatta bu değerler bütün ponza katkılı tuğlalar içersinde de elde edilen en küçük değerlerdir. Diğer özellikleri ile de ayrıca uyum içersinde oldukları söylenebilir. Çünkü bu hacim oranındaki birim hacim ağırlıklarında oldukça yüksek, porozite değerlerinin de özellikle 1000 °C de bütün gruplar içinde en küçük değerleri verdiği de görülmektedir. Hatta daha ileriki bölümlerde anlatılacağı üzere, bu 2/2.36 dane çaplı ponzalardan ve % 50 hacim oranında üretilen katkılı tuğlaların basınç dayanımı değerleri de diğerlerine göre oldukça yüksek çıkmaktadır. Basınç dayanımları ile kılcallık arasında ve dolayısı ile boşluluk ve boşluk şekli arasında belli ilişkiler olduğu, beton ve harçlar üzerinde yaptığı çalışmalarla M. Uyan [51, s.129] tarafından da belirtilmiştir.

- iii) Granülometrisi Fuller parabolüne uygun ponzalarla üretilen katkılı ve katkısız tuğlalarda boşluk özelliklerinin incelenmesi ve değerlendirilmesi

. Fuller parabolüne göre üretilen katkılı numunelerin bütün porozite değerleri, ponzasız numunelere göre artmış, 850, 900, 950°C'lerde % 33 ile % 43 arasında değişen gerçek porozite değerleri elde edilmiştir. (Tablo A.6, A.9 ve A.13, Şekil 5.29 b, 5.31 b ve 5.33 b).

. Katkısız numunelerde ise, ağırlıkça su emme değerlerinde olduğu gibi, % 60 ve % 70 hacim oranlarının porozite değerleri referans tuğlalara göre artmış, ancak % 80 ve % 90 hacim oranlarında Şekil 5.29 a, 5.31 a ve 5.33 a dan da görülebileceği gibi azalmalar olmuştur. Hatta 1000 °C de pişen bütün hacim oranlarının görünür porozite değerleri, referans tuğlalardan daha düşüktür. 850, 900 ve 950 °C lerdeki gerçek porozite değerleri ise bu grupta, % 32 ile % 44 arasında değişmektedir.

. % 80 ve % 90 hacim oranlarında aynı zamanda, katkısızların porozite değerlerinin bazıları katkılılardan daha düşük olmuştur.

. % 60 ve % 70 hacim oranlarında ise bütün katkılı numunelerin poroziteleri, katkısızlardan daha düşüktür.

. Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalardan üretilen katkılı numunelerin porozite değerleri, tek tip dane çaplı ponzalardan üretilen katkılı numunelerle hemen hemen aynı değerleri vermişlerdir. Bunun yanında katkısız ve Fuller'le üretilenlerin değerleri ise tek tip dane çaplı gruptakilerden daha düşük olmuştur.

. Gerek katkılı, gerekse katkısız tuğlalarda, herbir hacim oranının porozite değerleri pişme sıcaklığı arttıkça azalmıştır.

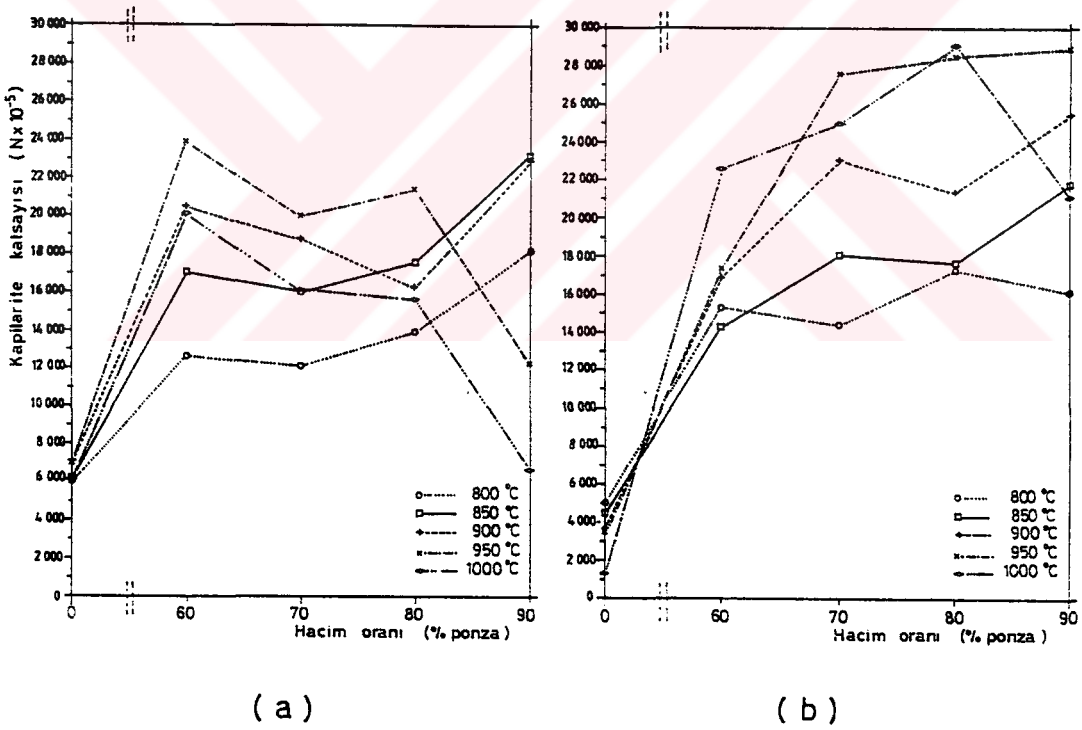
. Kılcal boşluk yüzdeleri ise gene, katkısızlarda % 80, katkılılarda ise % 70 civarında olmakla birlikte, 900 °C den itibaren katkılılarda % 62 ye kadar düşmüştür. Fakat gene de pişme sıcaklığı ile birlikte gerek katkılılarda, gerekse katkısızlarda kılcal boşluk yüzdelerinde muntazam bir artış veya azalma muhtemelen deney hatalarından dolayı gözlenememektedir.

. Kapilarite katsayısının hacim oranlarına ve pişme sıcaklığına göre değişimi Şekil 5.41 de gösterilmiştir. Buna göre katkısız tuğlalarda, 800 ve 850 °C lerde kapilarite katsayısı, % 60 hacim oranından başlayarak, % 70 hacim oranında hafif bir düşüşten sonra, % 90 hacim oranına kadar muntazam olarak artmıştır. 900 °C de ise % 60 hacim oranından % 80 e kadar bir azalma, % 90 hacim oranında gene bir artış gözlenmiştir. 950 ve 1000 °C lerde ise % 60 hacim oranındaki artıştan itibaren, % 80 e kadar hafif bir düşüş, daha sonra % 90 hacim oranında ani bir azalma gözlenmiştir. % 90 hacim oranında ve 950 ve 1000 °C de gözlenen bu durum, bu numunenin pişme sıcaklığı karşısındaki davranışını da açıklamaktadır. İnce ponza danelerinin bu hacim oranında aradaki boşlukları iyice doldurması ile porozite, kılcal boşlukların erime ile birlikte yerlerini daha büyük çaplı kapalı boşluklara bırakması ile de kılcallık azalmıştır.

. Katkılı tuğlalarda ise (Şekil 5.41 b) hacim oranları ile kapilarite katsayısı arasında belirgin bir ilişki gözlenememektedir. Bununla birlikte, en yüksek kılcallık % 80 hacim oranında ve 1000 °C de elde edilmiştir. Zaten, hemen hemen bütün pişme sıcaklıklarında ve hacim oranlarında Fullerle üretilen

numunelerde kılcallık katsayısı kılcal boşluk yüzdelерinin daha düşük olmasına rağmen katkısızlardan daha yüksek olmaktadır. % 70 hacim oranında ve 2/2.36 dane çaplı grupta da gözlenmiş olan bu durum benzer şekilde açıklanabilir.

. Görüldüğü gibi, bütün dane gruplarında artan sıcaklıkla birlikte porozite azalmakta, fakat kılcallıkla pişme sıcaklığı ve porozite arasında boşluk yapılarının gelişimine bağlı olarak her zaman aynı bağıntılar kurulamamaktadır.

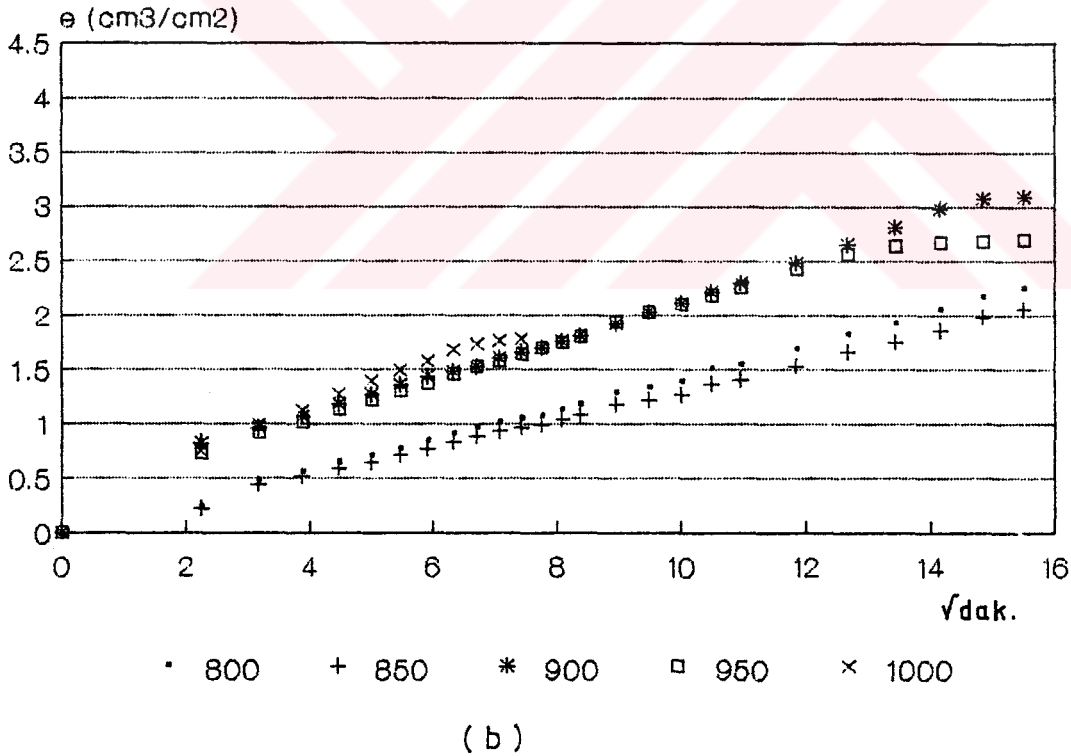
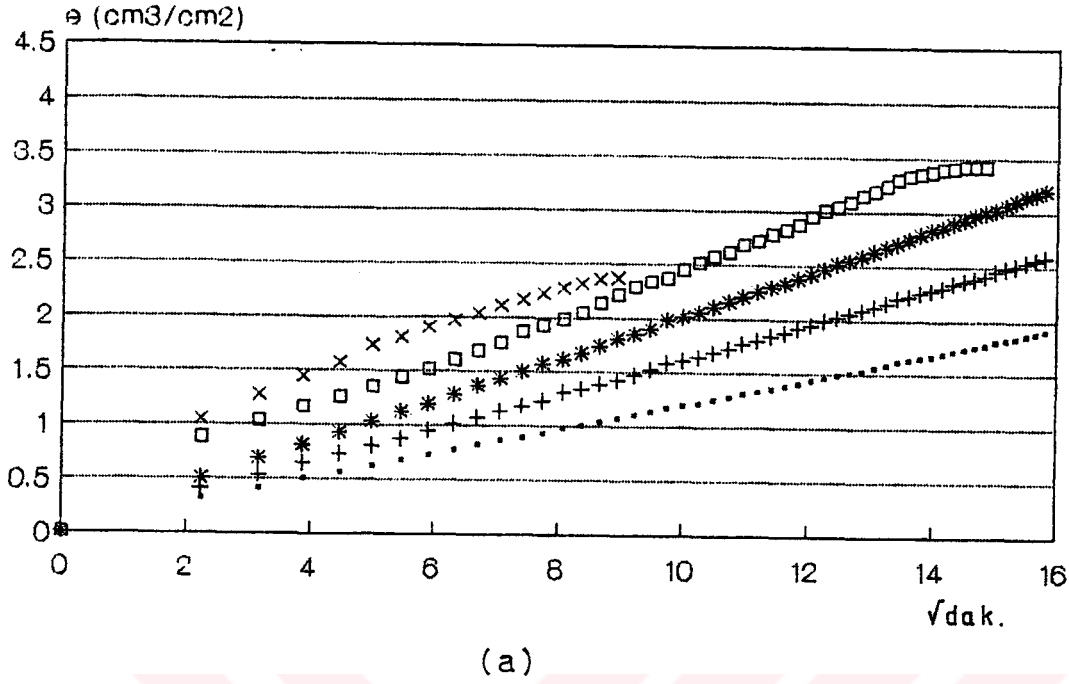


Şekil 5.41 Fuller parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Hacim Oranının Kapilarite Katsayısına Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

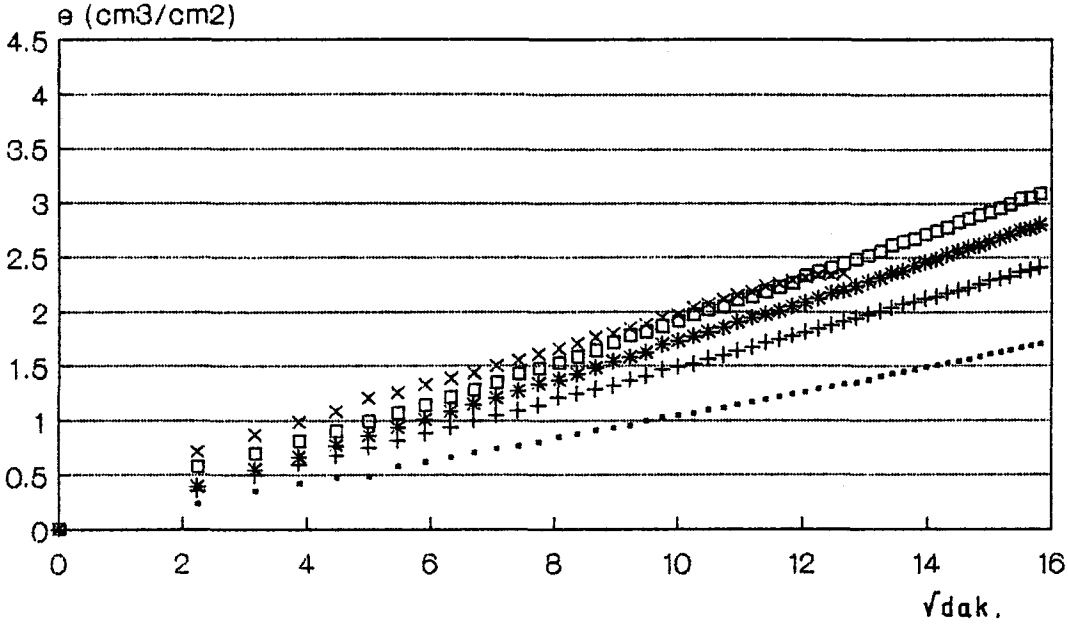
. Fuller parabolüne göre üretilen tuğlaların kılcallığının, pişme sıcaklığı karşısındaki değişimi ise Şekil 5.42 de % 60, 5.43 de % 70, 5.44 de % 80, 5.45 de ise % 90 hacim oranları için gösterilmiştir. Bu şekillere göre ;

Katkısızlarda % 60 ve % 70 hacim oranlarında, 950 °C ye kadar artan sıcaklıkla birlikte azalan poroziteye karşılık, kılcallık artmış, 1000 °C de ise porozite azalmaya devam ederken kılcallık da azalmıştır. % 90 hacim oranında ise kılcallıktaki artış 850 °C ye kadar sürmüş, daha sonra ise azalmaya başlamıştır. Artan pişme sıcaklığı ile porozitenin azalması fakat kılcallığın artması boşluk çaplarının küçülerek sürekli kılcal boşlukların miktarının artmasına, kılcallığın azalması ise bu kılcal boşlukların yerlerini büyük boşluklara bırakması şeklinde açıklanmıştır.

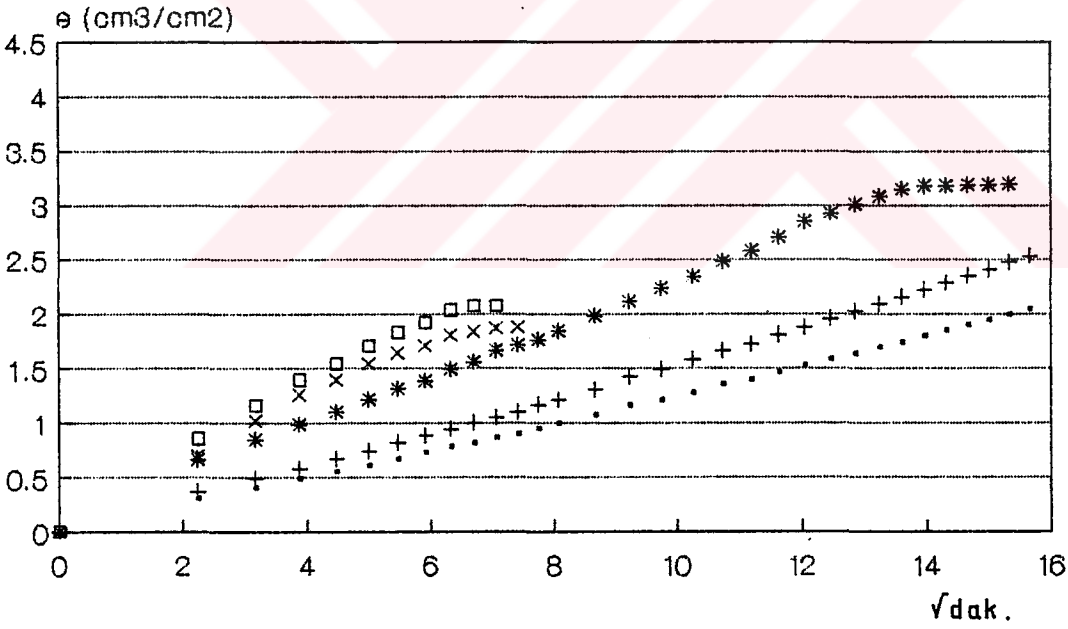
. Bu grupta MIP ile incelenen % 80 hacim oranlı katkısız tuğlanın 850 ve 950 °C lerdeki boşluk çapı dağılımındaki değişimler Şekil 5.46 ve Tablo 5.1 ve Ek B de gösterilmiştir. Buna göre, % 80 hacim oranındaki tuğlada 850 °C den 950 °C ye geçişte azalan porozite ile kılcallığın arttığı (Şekil 5.44 a) ve artan kılcallıkla birlikte sürekli kılcal boşlukların hacminin de arttığı sonucuna varılmıştır. Burada büyük boşluklar sürekli kılcal boşlukların hacmi olarak düşünülmüştür ki, MIP de de boşlukların şeklinin Washburn teorisine göre dairesel olduğu kabul edilmiştir. Aslında bunun doğru olmadığı bölüm 5.2.2.8. deki elektron mikroskobu fotoğrafları ile görülmektedir. Bununla birlikte gerçek aksenel kesitlere daha iyi uyan başka hiçbir basit kesitin olmadığı literatürde belirtilmiştir [70].



Şekil 5.42 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı



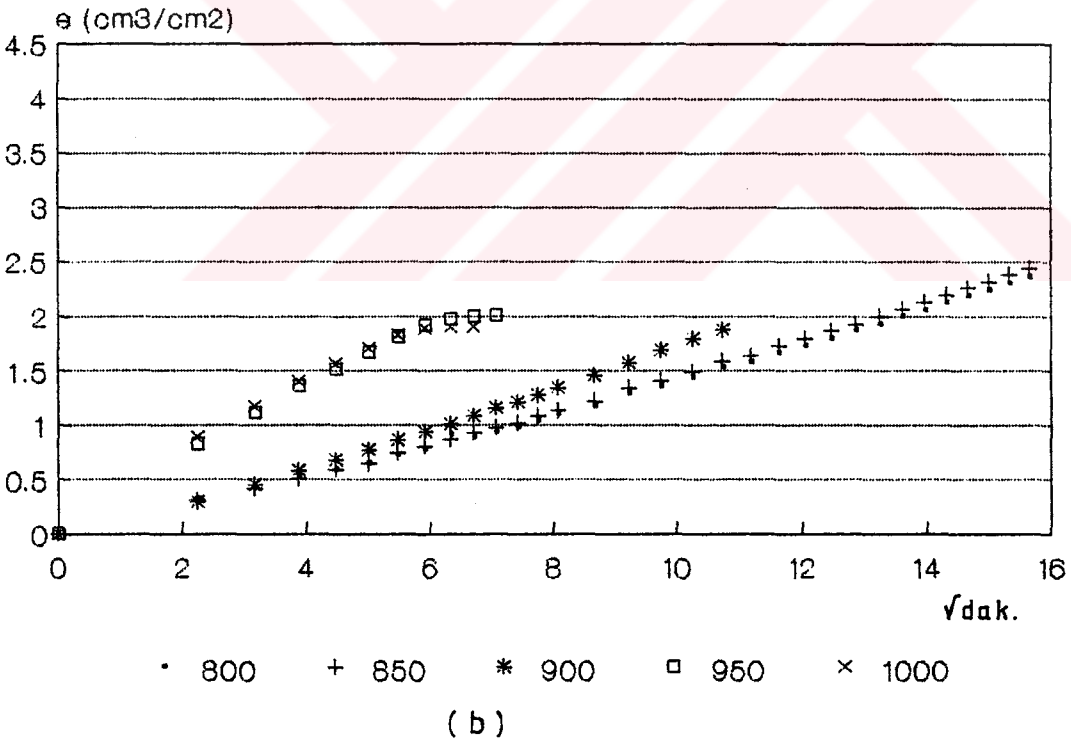
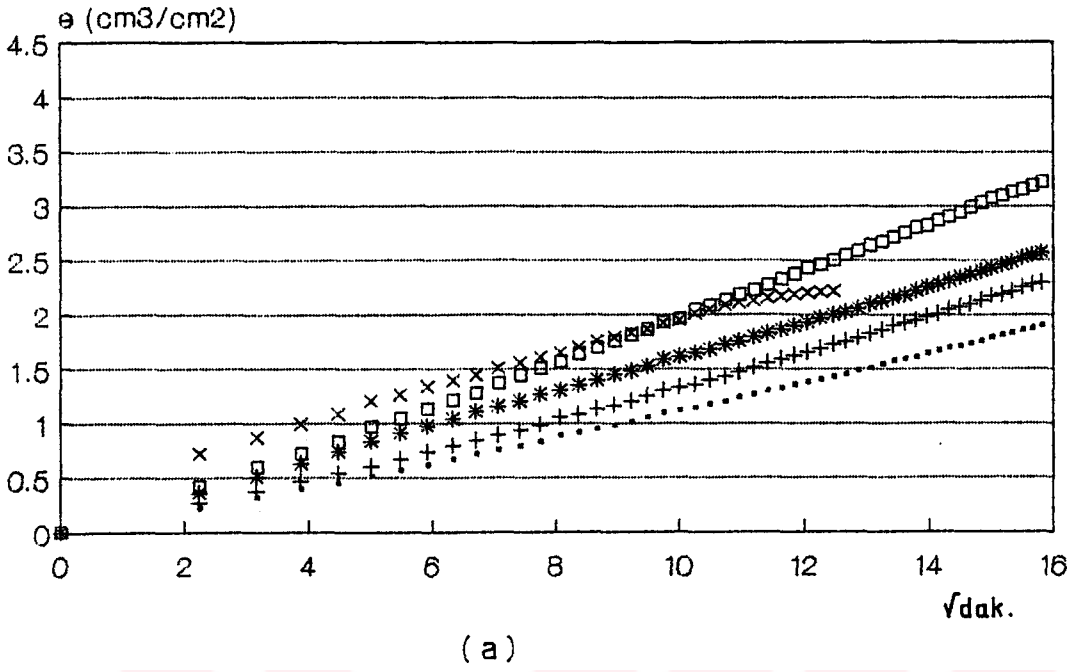
(a)



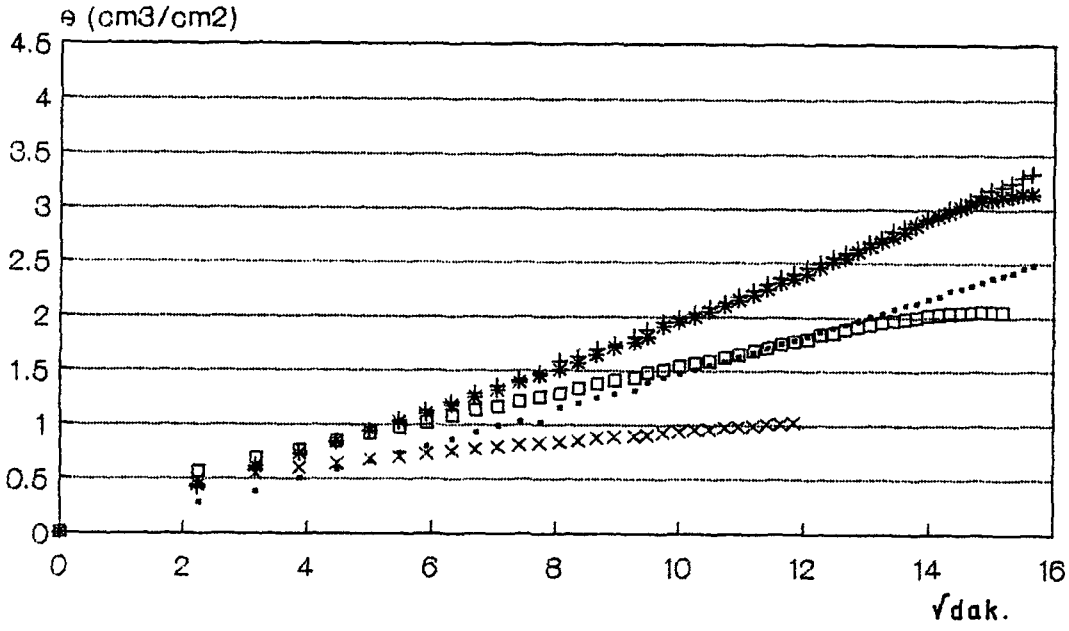
• 800 + 850 * 900 □ 950 × 1000

(b)

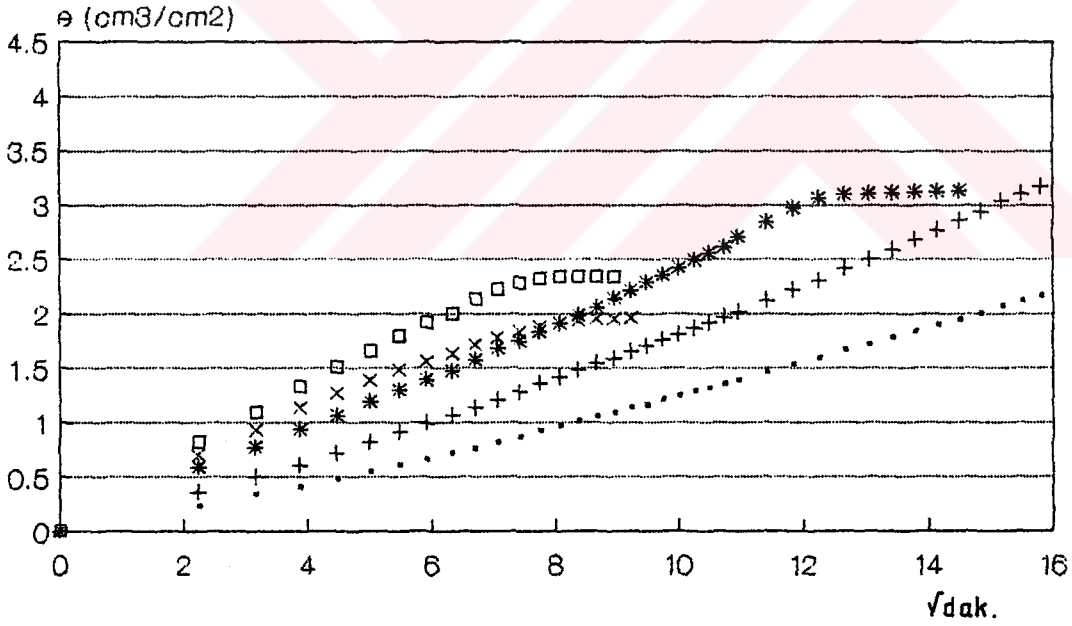
Şekil 5.43 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 70 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı



Şekil 5.44 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı



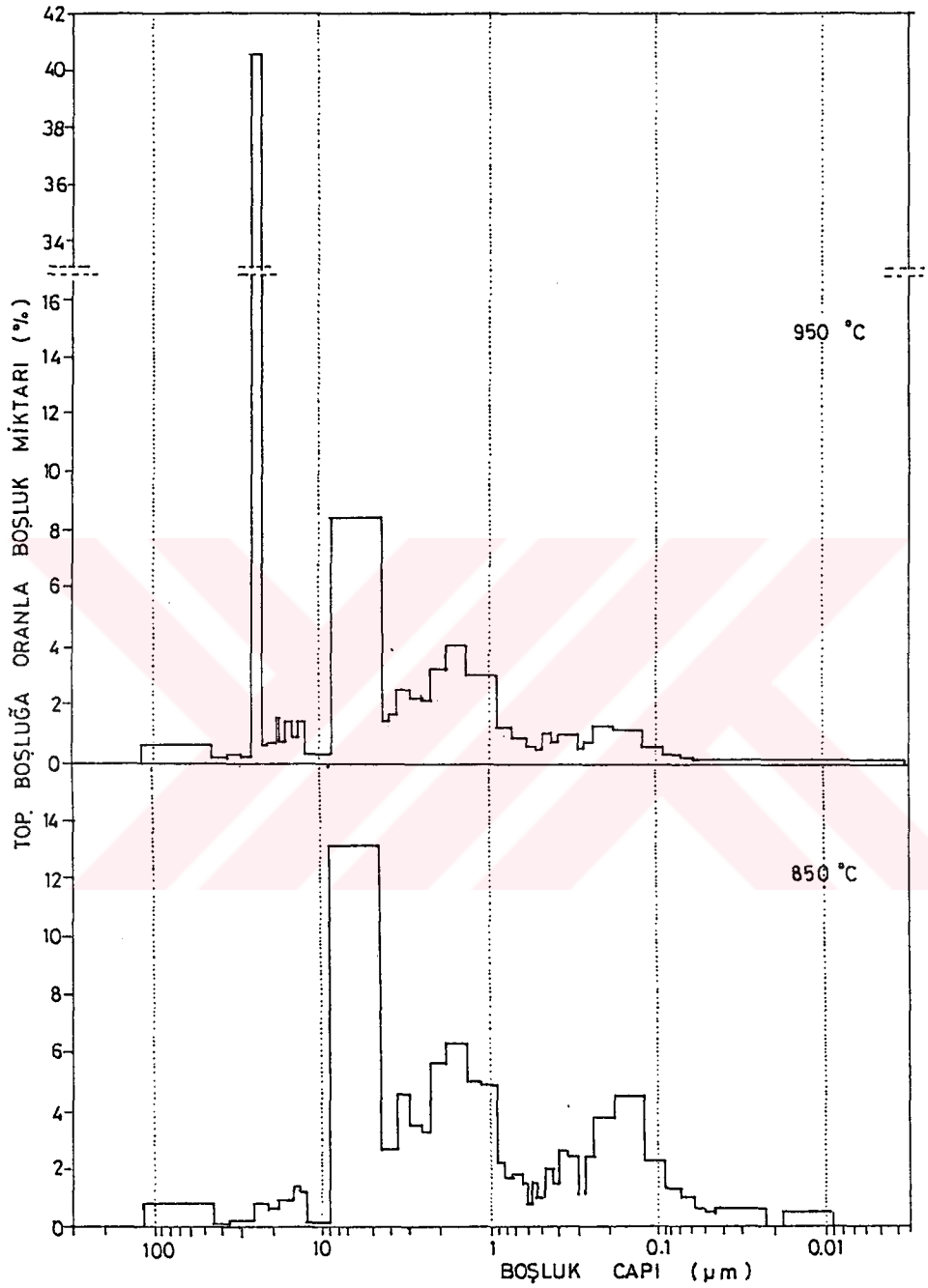
(a)



• 800 + 850 * 900 □ 950 × 1000

(b)

Şekil 5.45. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 90 Hacim Oranında Üretilen Tuğlalarda Kılcal Su Emme-Zaman Diyagramı (a) Katkısız (b) Katkılı



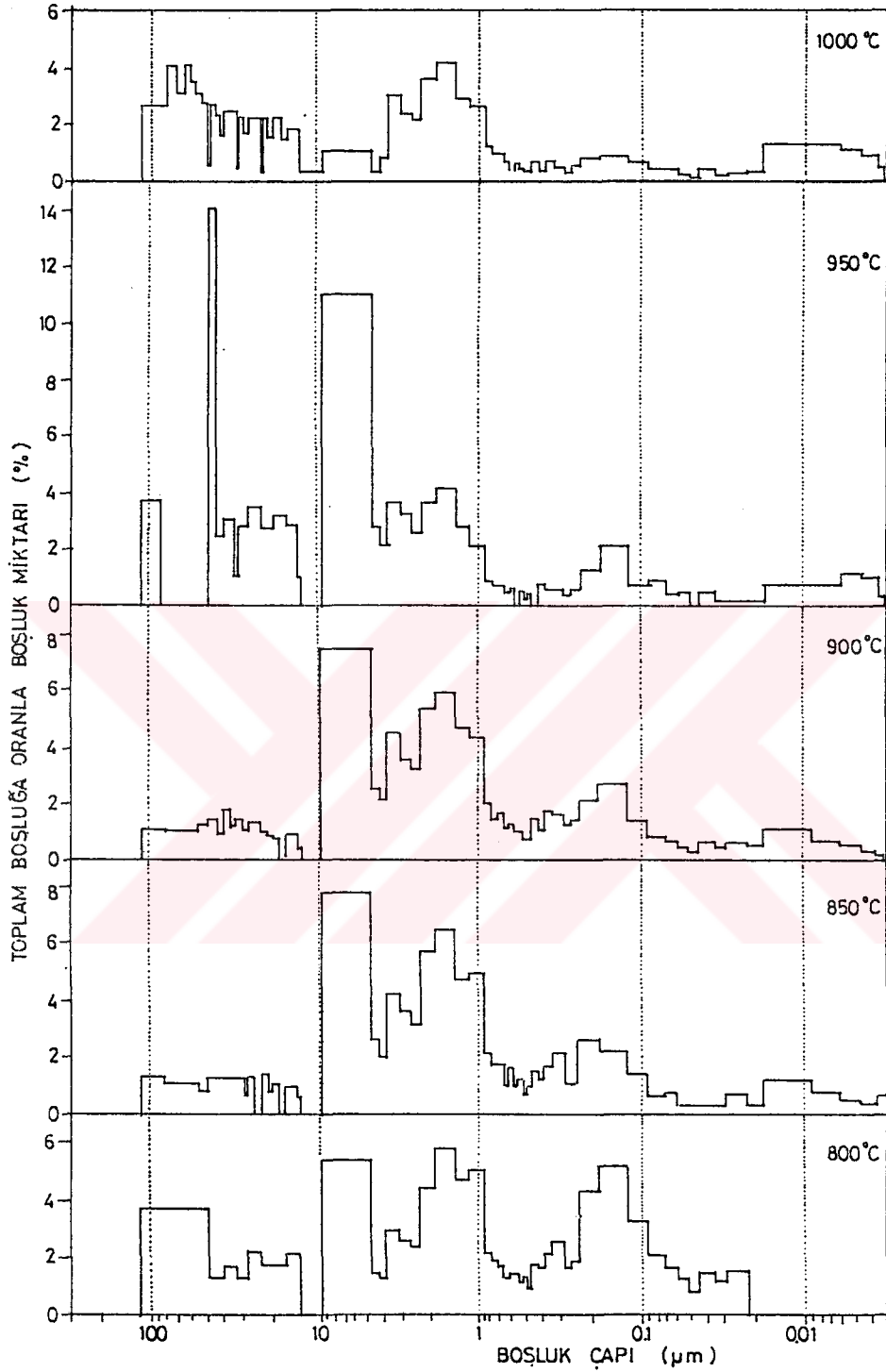
Şekil 5.46. Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi ile Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi

. Katkılılarda kılcallık katsayısı % 70 ve % 90 hacim oranlarında 950 C ye kadar artmış, 1000 °C de ise tekrar azalmaya başlamıştır. (Şekil 5.43b , 5.45 b) % 60 hacim oranında ise önce 800 °C den 850 °C ye geçişte düşmüş daha sonra sürekli olarak artmıştır. (Şekil 5.42 b) 850 °C deki bu durum deney hatasından çok bu iki pişme sıcaklığının çoğunlukla bütün malzeme özelliklerinde birbirine yakın değerler vermesine bağlanabilir.

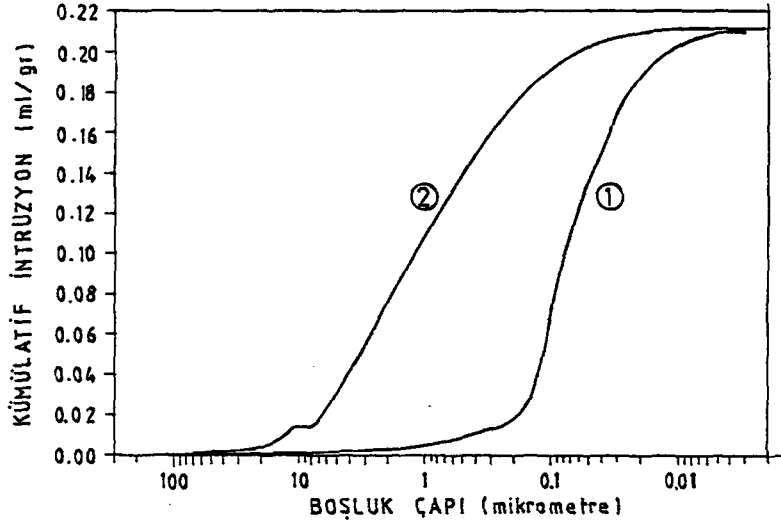
. % 80 hacim oranında katkılı kilden üretilen numunede ise Şekil 5.44 den de görüldüğü gibi artan sıcaklıkla birlikte kılcallıkta muntazam olarak bir artış gözlenmektedir. Şekil 5.47 de bu tuğlanın bütün sıcaklık dağılımı boyunca boşluk çapı yüzdelerinin değişimi görülebilmektedir. Buna göre bütün pişme sıcaklıklarında 1 μ m den büyük boşluklar numunenin % 50 ve daha fazlasını oluşturmaktadır. 10 μ m ve dolayısı ile 1 μ m den büyük boşluklar M. Mureşan'ın [69] da belirttiği gibi, pişme sıcaklığı arttıkça artmış, 1 μ m ve 0.1 μ m arasındaki boşluklar ve 0.1 μ m den küçükler ise pişme sıcaklığı arttıkça azalmışlardır.

Pişme sıcaklığının artmasıyla, boşluk büyüklük dağılımının büyük boşluk çaplarına doğru bir değişim göstermesi ise, sinterleşmenin artması ve erime ile boşlukların bir bölümünün kapanması, diğer bölümünün diğer boşluklarla birleşerek daha büyük boşluklar meydana getirmesi şeklinde açıklanmıştır.

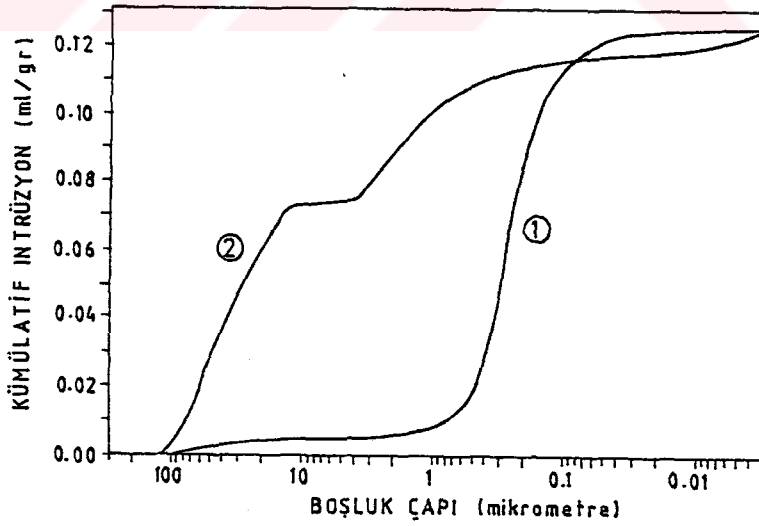
Ponza katkısının boşluk boyutuna ve dağılımına etkisi ise pişme sıcaklığı etkisi ile benzerdir. Kısıtlı sayıdaki numunelerle yapılan incelemelere bir örnek Şekil 5.48 ve Şekil 5.49 da gösterilmiştir. Bu şekillerin incelenmesi ile de görülebileceği gibi, ponza katkısı hem



Şekil 5.47 Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Değişimi İle Boşluk Boyut Dağılımının Değişimi



Şekil 5.48 Boşluk Boyut Dağılımı Eğrileri
 (1) 850 °C de Pişen Referans Katkısız Tuğla
 (2) 850 °C de Pişen Fuller'e Göre % 80 Hacim Oranlı Katkısız Tuğla



Şekil 5.49 Boşluk Boyut Dağılımı Eğrileri
 (1) 950 °C de Pişen Referans Katkılı Tuğla
 (2) 1000 °C de Pişen Fuller'e Göre % 80 Hacim Oranlı Katkılı Tuğla

katkılı tuğlalarda ve hem de katkısız tuğlalarda boşluk boyut dağılımının büyük boşluklara doğru kaymasını sağlamıştır.

5.2.2.5 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Ultrases Hızına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Özellikle beton ve doğal taş gibi boşluklu malzemede, ses geçiş süresi ve dolayısı ile ses hızının değerinin, bu cins malzemelerin boşluk miktarları hakkında fikir verdiği bilinmektedir. Ultrases hızı malzemenin cinsine ve bünyesine bağlı olarak değişmekte, özellikle ses dalgalarının yolu üzerinde bir boşluğun bulunması halinde, bu boşluğu geçemeyerek etrafından dolaşmaktadır ve bu durum malzeme içindeki ses hızının düşmesine neden olmaktadır [74, s.223].

Seramik ürünlerin kalitesini belirlemede de birçok yıldır, ultrasonik ölçümlerin güvenilir bir değerlendirme metodu olduğu, ve bir tuğla kütlesinde verici ve alıcı test problemleri arasında tespit edilen ultrasesin geçiş süresinin porozitenin ve çatlak oluşumlarının bir ölçümü olduğu belirtilmiştir. Ayrıca ölçümlerin, ekstrüzyon yönünde yapılması önerilmiş, sinyalin geçiş süresinden ayrı olarak, ultrasonik geçişin amplitudunun da malzemenin durumu ile ilgili değişiklikleri işaret ettiği, amplitüt seviyesindeki belirgin değişikliklerin, geçiş süresi veya açıklanamayan değerlerin, test örneğinde çatlak hasarına dair yorumlar yapılabilmesini sağladığı da belirtilmiştir [75],[76].

Pişme sıcaklığına ve ponza hacim oranına bağlı olarak, üretilen tuğlaların ses hızlarındaki değişimler Şekil 5.50' den 5.53'e kadar gösterilmiştir. Bu şekillerin ve Tablo A.17'nin incelenmesi ile pişme

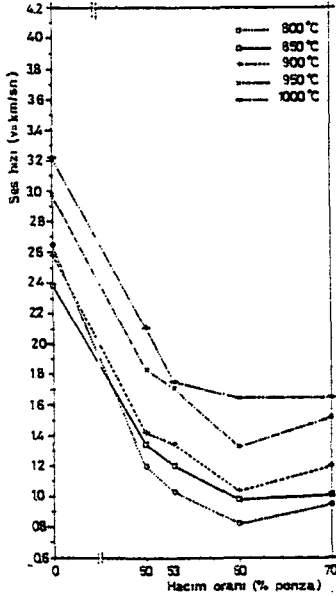
sıcaklığı, ponza ve deflokulan katkısı, ponza hacim oranı etkileri altında elde edilen sonuçlar dört madde altında toplanarak aşağıda sıralanmıştır.

1) Pişme Sıcaklığı Etkisi

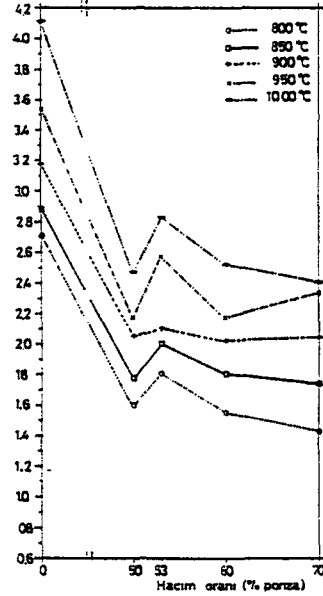
Bütün karışımlarda pişme sıcaklığı arttıkça, ultrases hızı da artmıştır. Sadece ponzasız ve katkısız numunede 800 °C' de elde edilen değer, 850 ve 950 °C' lerde elde edilen değerden daha yüksektir. Bu da 800 °C de pişirilen numunenin üretim koşullarının ve plastiklik suyu içeriğinin farklılığından kaynaklanmakta ve daha önceki bölümlerde, birim hacim ağırlıkta ve porozitede elde edilen verilerle uygunluk içerisinde olduğunu göstermektedir.

2) Ponza Katkısının ve Ponza Dane Çapının Etkisi

Ponza ilavesi ile birlikte, porozitedeki artışa paralel olarak, ses hızları bütün sıcaklıklardaki referans katkılı ve katkısız tuğlalara oranla azalmıştır. Bu azalma tek tip dane çaplı ponzalardan (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35) üretilen tuğlalarda ve özellikle katkısızlarda, Fuller parabolüne göre üretilenlerden daha fazladır. Katkılı tuğlalarda ise tek tip dane çaplılarla, Fullerler arasında birbirine daha yakın değerler elde edilmiş, hatta bazılarında, birim hacim ağırlıkta olduğu gibi daha yüksek değerler kaydedilmiştir. Zaten ses hızındaki değişimlerin birim hacim ağırlık değerleri ile doğru orantılı, porozite değerleri ile de ters orantılı olduğu görülmektedir. Ancak bu ilişki birebir bir ilişkiyi göstermemekte, en düşük birim hacim ağırlığa veya en yüksek poroziteye sahip tuğlalar, her zaman en düşük ses hızı değerini vermemektedirler.



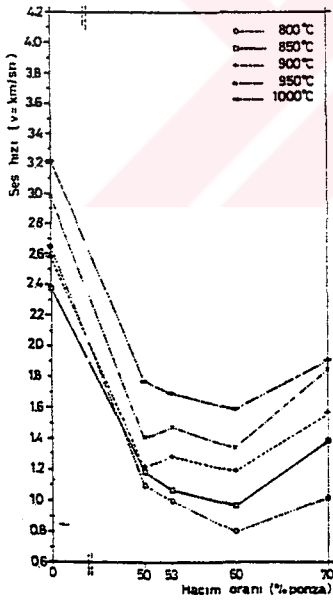
(a)



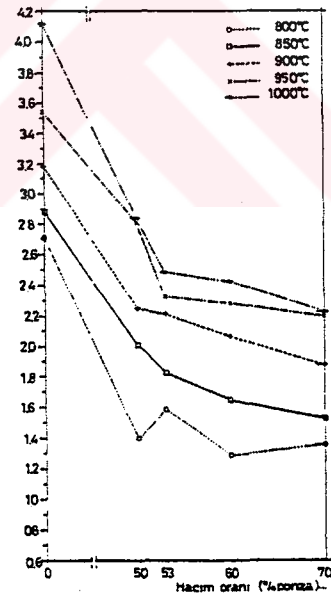
(b)

Şekil 5.50 1/2 mm Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının Ultrases Hızına Etkisi

(a) Katkısız (b) Katkılı



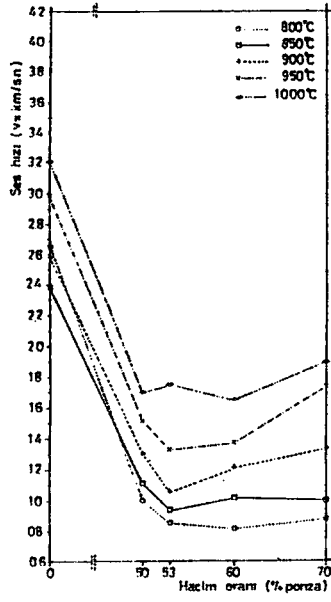
(a)



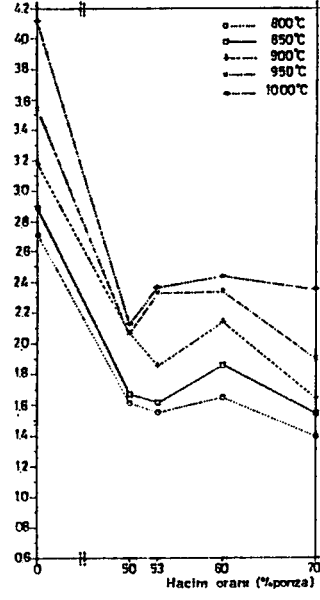
(b)

Şekil 5.51. 2/2.36 mm Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi

(a) Katkısız (b) Katkılı

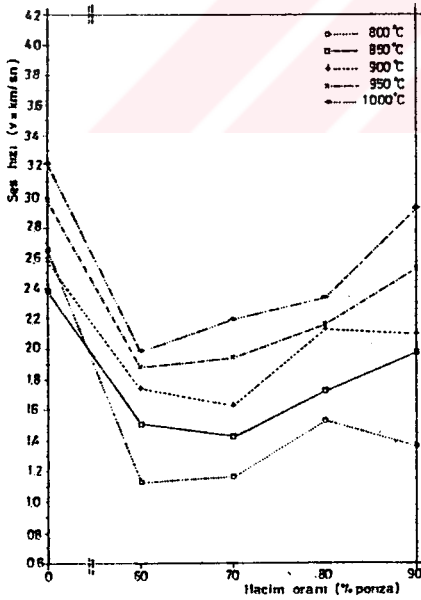


(a)

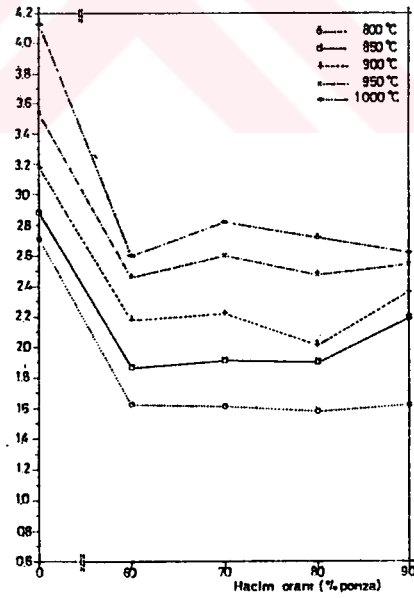


(b)

Şekil 5.52 2.36/3.35 mm Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı



(a)



(b)

Şekil 5.53 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Ultrases Hızına Etkisi
(a) Katkısız (b) Katkılı

1/2, 2/2.36 ve 2.36/3.35 mm dane ϕ aplı ponzalardan $\ddot{u}$ retilen numunelerin ses hızları birbirleri ile karşılaştırıldığında ise, bunların fazla değişmediği, bununla birlikte, 2.36/3.35 mm ponza dane ϕ aplı tuğlaların genelde daha düşük değerler verdiği de görülmektedir.

3) Ponza Hacim Oranının Etkisi

1/2 dane ϕ aplı grupta, katkısızlarda, (Şekil 5.50 a) % 60 hacim oranına kadar ses hızında kısmen muntazam bir azalma görülmüş ve en küçük değerler elde edilmiştir. % 70 hacim oranında ise bu değerler ya çok az artmış ya da sabit kalmışlardır. Bu grupta, katkılılarda ise (Şekil 5.50 b) % 53 hacim oranında en yüksek değerleri veren ve birim hacim ağırlıkta ve porozitede gözlenmiş olan bir pik noktası görülmektedir. Bu noktadan itibaren 950  C hariç % 70 hacim oranına kadar ses hızında muntazam bir azalma kaydedilmiştir.

2/2.36 dane ϕ aplı grupta, katkısızlarda (Şekil 5.51 a) 1/2 dane ϕ aplı grupta olduğu gibi bir iki istisna hariç, % 60 hacim oranına kadar ses hızında bir azalma, % 60 dan % 70 e geçişte ise bir artma görülmüştür. Dolayısı ile grupta, bütün pişme sıcaklıklarında % 60 hacim oranı ile en küçük ses hızı değerleri elde edilmiştir. Gene aynı grupta, katkılılarda ise (Şekil 5.51 b) 800  C hariç, % 70 hacim oranına kadar muntazam bir azalma görülmektedir. Burada da en düşük değerler % 70 hacim oranı ile elde edilmiştir.

2.36/3.35 mm boyutundaki ponzalarla hazırlanan tuğlalarda katkısızlarda, 800  C'de % 60'a 850, 900 ve 950  C'de ise % 53 e kadar bir azalma daha sonra ise artan hacim oranları ile birlikte artışlar görülmektedir. (Şekil 5.52a) 1000  C'de ise diğer sıcaklıklarla ve aynı

sıcaklıktaki birim hacim ağırlık eğrisi ile benzeşmeyen bir eğri elde edilmiştir. Bu istisnai durum, % 50 hacim oranından % 53 e geçerken, porozitedeki artma ve birim yoğunluktaki azalmaya paralel olmayan bir şekilde, ses hızının artışı ile ortaya çıkmıştır. Bu duruma, büyük bir ihtimalle, bu numunede, boşluk yapısının homojen olmayan dağılımının neden olduğu düşünülebilir.

2.236/3.35 mm çaplı ponzalardan üretilen, katkılı tuğlalarda ise 800 , 850 ve 900 °C'ler benzer artış ve azalmalar, 950 ve 1000 °C'ler ise gene bir birleri içinde benzer, fakat diğer pişme sıcaklıkları ile farklı eğilimler göstermişlerdir. Bununla birlikte, bütün pişme sıcaklıklarında % 60 hacim oranından % 70 hacim oranına geçişte azalmalar kaydedilmiş ve 1000 C hariç % 70 hacim oranında en küçük ses hızı değerleri elde edilmiştir. (Şekil 5.52 b)

Fuller parabolüne göre üretilen grupta katkısızlarda en küçük ses hızı değerleri 850 ve 900 Clerde % 70 hacim oranında, 800, 950 ve 1000 °C'lerde ise % 60 hacim oranında elde edilmiş, bu noktalardan itibaren, % 80 ve % 90 hacim oranlarına doğru artışlar gözlenmiştir. (Şekil 5.53 a) Fuller parabolü ile üretilen bu tuğlaların, artan hacim oranları ile birlikte genelde, porozitelerinin azaldığı ve daha yoğun ve kompakt yapılar elde edildiği düşünülrse, ses hızının artışı da beklenen bir sonuç olmaktadır.

Katkılılarda ise gene (Şekil 5.53 b) ponza hacim oranının, ses hızına özellikle 800 °C'de belirgin bir etkisi olmamakla birlikte, genelde % 80 hacim oranı en düşük değerleri vermiştir.

4) Deflokulan Katkısının Etkisi

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, hemen hemen bütün özelliklerde ve burada ses hızında da Fuller parabolüne uygun, % 80 ve % 90 hacim oranlı tuğlaların birkaçı hariç, bütün ponzalı ve ponzasız katkılı tuğlaların ses hızları, aynı üretim koşulundaki katkısız tuğlalardan daha yüksek olmuştur.

5.2.2.6 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Isı İletkenlik Katsayısına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

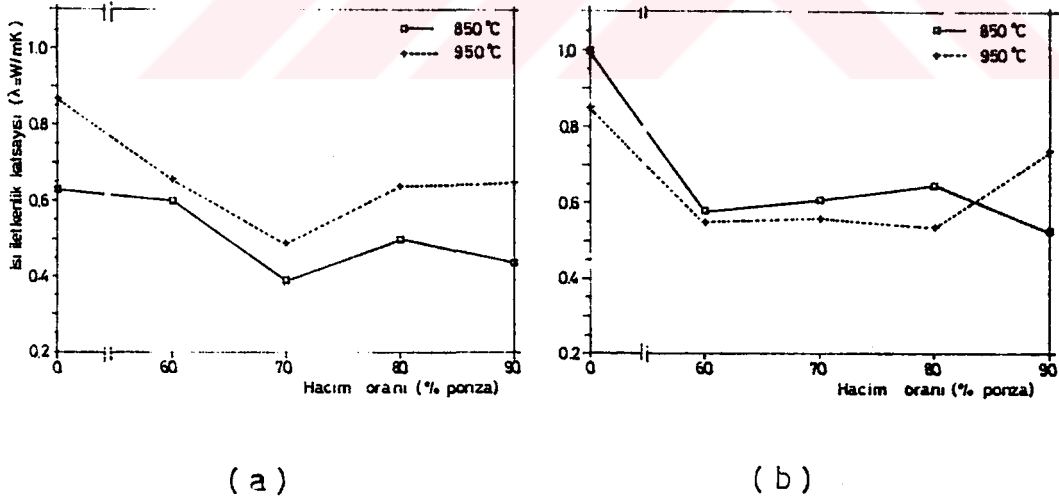
Ponzataşı hafif agregasının belli hacim oranlarında tuğla kiline katılması ile önceki bölümlerde anlatıldığı gibi, boşlukluluk artmış ve dolayısı ile birim hacim ağırlık azalmıştır. Boşlukların şeklinin ve büyüklüklerinin dayanım ve diğer fiziksel ve mekanik özellikleri etkilediği bilinmektedir. Isı iletkenlik ise doğrudan iklimatik konfor ve enerji tasarrufu kriterlerini etkilemekte ve porozite ve birim yoğunluğa bağlı olduğu kadar, boşluk büyüklüğüne ve hatta üretildiği kil mineralinin mineralojik kompozisyonuna ve orjinine de bağlı olmaktadır [13]. Örneğin, H. Anton, [77] değişik orjinli ve özellikli üç ayrı tuğla kiline aynı oranlardaki talaştozu ilavesinin, değişik ısı iletkenlikler ile sonuçlandığını, bu killerden kireççe zengin olanının ise en yüksek ısı iletkenlik değerlerini verdiğini belirtmiştir.

En iyi ısı yalıtkanların ise çok sayıda küçük boşluklar içerdiği, gözenekler içindeki hareketsiz havanın iletkenliğinin çok düşük olduğu ve gözenek çapları büyüdüğünde ise, içinde doğacak hava akımının etkili hale gelerek iletkenliği biraz arttırdığı da belirtilmiştir [4, s.125].

Boşluklu mineral elyaflı ısı yalıtkan malzemelerde ise ısı iletkenliğinin boşluk çapının büyümesi ile belli bir boyuta kadar (1.0 mm) hızla azaldığı, buradan sonra ise yavaş yavaş arttığı belirtilmiştir [78, s.84].

Bu araştırmada ise belli sayıdaki numuneler üzerinde ısı iletkenlik ve boşluk çapı dağılımı deneyleri yapılabildiği için kesin bağıntılar kurulamamıştır. Sadece referans ve Fuller parabolüne göre üretilen katkılı ve katkısız tuğlalar üzerinde yapılan bu deneyde hacim oranı ve 850 °C' den 950 °C' ye geçişteki değişimlerin ısı iletkenlik katsayısına etkileri incelenmiş ve bunlar Şekil 5.54 de gösterilmiştir.

Bu şeklin ve Tablo A.14'ün incelenmesi ile elde edilen sonuçlar 3 madde altında toplanarak aşağıda sıralanmıştır.



Şekil 5.54 Fuller Parabolüne Göre Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Hacim Oranının Isı İletkenliğe Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

1) Pişme Sıcaklığı Etkisi

Katkısız tuğlalarda, pişme sıcaklığının 850 °C' den 950 °C' ye çıkması ile bütün hacim oranlarında ve referans tuğlada ısı iletkenlik katsayısı da artmıştır. 950 °C' de pişen bütün tuğlaların 850 °C' de pişenlere göre daha yoğun ve daha az boşluklu oldukları düşünülürse bu normal bir sonuçtur.

Katkılı tuğlalarda ise % 90 hacim oranı hariç ters bir durum ortaya çıkmıştır. Burada, hem referans tuğlada ve hem de % 60, % 70, ve % 80 ponza hacim oranında üretilen tuğlalarda, 850 °C'den 950 °C' ye geçişte boşlukluluk azaldığı ve birim yoğunluk arttığı halde ısı iletkenlik azalmıştır. Bu durum % 80 hacim oranlı tuğlanın MIP değerleri ile de çelişmektedir. Çünkü bu tuğlada 850 °C den 950 °C ye geçişte büyük boşlukların oranı artmıştır. Ponzasız numunelerde ise büyük boşlukların yüzdesi çok düşük olduğundan ısı iletkenliğini etkileyecek bir nitelikte değildir.

Ancak 950 °C deki % 80 hacim oranlı katkılı tuğlanın büyük boşluklarının yüzdesi, aynı özellikteki katkısız tuğladan daha azdır. Bu durumda 950 °C' deki katkılı tuğlanın ısı iletkenlik değerinin katkısız tuğladan daha düşük olması normal gözükmemekte, fakat 850 °C' de ısı iletkenliğinin artışını açıklamaya yetmemektedir. Ayrıca Fuller parabolüne göre özellikle % 80 ve % 90 hacim oranlarında üretilen katkılı tuğlaların porozite değerleri katkısızlardan her zaman daha düşük olmamaktadır.

Bu sonucun 850 °C' deki numunelerin nem oranının 950 °C' dekilere göre daha yüksek olabilme ihtimalinden kaynaklanabileceği düşünülebilir, ancak literatürde % 70 bağıl neme kadar nemli tuğlaların ısı iletkenliklerinin

kuru tuğlalara göre çok az bir oranda arttığı, belirgin artışın ise çok yüksek nem içerikli tuğlalarda ortaya çıktığı da belirtilmiştir [79],[80]. Aynı zamanda hem ponzasız ve hem de üç ayrı hacim oranlı ponzalı tuğlaların da aynı özeliği göstermeleri, bu durumun bu tuğlalarda pişme sırasında gelişen özel bir duruma veya üretim hatasına veya değişimine (kalıplama) bağlanması daha doğru olacaktır.

2) Ponza Katkısının ve Ponza Hacim Oranının Etkisi

Bütün ponzalı numunelerin ısı iletkenlikleri referans ponzasız tuğlalara göre azalmıştır. Katkısız tuğlalarda % 70 hacim oranında hem 850 ve hem de 950 °C' de en düşük değerler elde edilmiştir. Bu hacim oranındaki ısı iletkenlikteki azalma, 850 °C de % 38, 950 °C de ise % 44 civarındadır. Bununla birlikte bu değerler genelde hafif tuğlalarda aranan ısı iletkenlik değerlerinden daha yüksek oranlarda kalmaktadır. Ancak ısı iletkenlik deneyi için numunelerin kalıplama ile üretildiği ve yapılan bir denemede ise kalıplama ile elde edilen % 90 hacim oranlı katkılı tuğlanın, ekstrüzyonla elde edilenden, her sıcaklıkta daha yüksek birim ağırlığa ve daha düşük poroziteye sahip olduğu da görülmüştür. Bu tuğlada örneğin 850 °C' de ekstrüzyonla 1.51 gr/cm³'lük bir birim hacim ağırlık ve 34.96 civarında bir görünür porozite elde edilirken, presleme ile 1.58 gr/cm³ lük birim ağırlık ve % 28.87 görünür porozite elde edilmiştir. Katkısız ponzalı tuğlalarda en yüksek ısı iletkenlik değerleri ise % 60 hacim oranında elde edilmiştir.

Katkısız ponzalı tuğlalarda % 60 hacim oranından % 70 e kadar bir azalma,bu noktadan itibaren ise bir artma görülmektedir.Katkısızlarda % 70 hacim oranında görülen bu pik noktası,ki bu numune bütün denenen

tuğlalar içersinde hatta 2.36/3.35 dane boyutlu tuğladan dahi daha düşük değerleri vermiştir, bu da , bu hacim oranının amaçlanan termal konfor açısından en olumlu sonuçları verdiğini göstermektedir.

Katkılı tuğlalarda ise her iki sıcaklıkta da % 90 hacim oranı hariç, diğer özelliklerde olduğu gibi hacim oranının, ısı iletkenliğe fazla bir etkisi olmamıştır. % 90 hacim oranında ise 850 °C'de en düşük değer, 950 °C'de de ise en yüksek değer elde edilmiştir. Ancak burada da gene ponza katkısı ile referans tuğlalara oranla ısı iletkenlikteki azalma oranı, katkısızlara göre % 70 hacim oranı hariç daha fazla olmuştur.

3) Deflokulan Katkısının Etkisi

950 °C'de pişen tuğlalarda, ponzasız numuneler dahil, % 60 ve % 80 hacim oranlarında, 850 °C de pişen numunelerde ise sadece % 60 hacim oranında katkılılarda daha düşük değerler elde edilmiştir. Diğer numunelerde NaOH ve P_2O_5 katkısı etken olarak ısı iletkenlik katsayısını artırmıştır.

Bununla birlikte, diğer özelliklerde deflokulan katkısının sadece % 80 ve % 90 hacim oranlarında etkinliğini kaybettiği düşünülürse, burada ısı iletkenlik ve porozite ve birim ağırlık arasındaki ilişkilerin doğrulanması için denenen tuğla miktarının ve çeşidinin arttırılması ve bu konuda daha detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

5.2.2.7 Deflokulan ve Ponza Katkısının Lineer Genleşme Katsayısına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Yapı malzemelerinde ve yapı elemanlarında sıcaklık değişimiyle ortaya çıkan boy uzaması ya da kısalması şeklindeki deformasyonlar, binalarda parazit gerilmelerin doğmasına sebep olur. Eğer yapı elemanı serbestçe genleşemiyorsa iç zorlamalar meydana gelir. Farklı genleşme katsayılarına sahip malzemelerden oluşturulmuş bileşik malzemelerde bu gerilmeler çatlamalara, kabarmalara sebep olur.

Bu nedenle, birbirine yapıştırılmış olan malzemelerin ortak yüzeylerinde, örneğin duvar tuğlası ile harcın, sırlanmış seramik malzemelerde ise sır ile seramik kütlelerinin şekil değiştirmelerinin aynı olması, yani bu malzemelerin genleşme katsayılarının birbirine eşit veya yakın olması gerekir [68,s.24, 14, s.79-80].

Ayrıca, kimyasal ve mineorolojik bileşimin, matriks özelliklerinin, gözeneklilik ve su içeriğinin de taşların ve taş yapıllı malzemelerin genleşme oranlarını etkilediği de belirtilmektedir [81, s.44].

Burada, daha önce paragraf 5.1.2. de değerlendirilmesi yapılan ve etüv kurusu durumdan 800 °C'ye kadar pişirilen numuneler üzerinde hem normal atmosfer koşullarında oluşabilecek genleşmeleri ve hem de yüksek sıcaklığın genleşme üzerindeki etkisini araştırmak amacı ile, tekrar 800 °C'ye kadar ısıtma ile genleşme eğrileri elde edilmiştir. İki referans katkılı ve katkısız tuğla olmak üzere incelenen 12 ayrı karışımın genleşme eğrilerinde, sıcaklık aralıkları kısmen değişmekle birlikte, 16 °C - 400 °C, 400 °C - 600 °C, 600 °C- 800 °C arası olmak üzere, üç ayrı genleşme katsayısı değeri

veren ve dolayısı ile farklı eğimlere sahip üç ayrı bölge tespit edilmiştir. Bu değerler Tablo A.15 de gösterilmiş ve bu tablonun incelenmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir :

800 °C'ye kadar olan ısıtma ile genleşme katsayılarının değişimi incelenen 12 ayrı numunede de 400 ve 600 °C'ler arasındaki 2. bölgede en yüksek genleşme katsayıları elde edilmiştir. 16 ile 400 °C arasındaki 1. bölgede 2.5×10^{-6} ile 5.0×10^{-6} arasında değişen genleşme katsayısına sahip olan tuğlaların bu değerleri 2. bölgede yaklaşık üç, dört misli artarak $\beta = 7.0 \times 10^{-6}$ ile $\beta = 11.0 \times 10^{-6}$ arasında değişen değerler vermişlerdir. Bu eğimi fazla olan bölgeden yani 600 °C'den sonra ise eğimi az olan ve en düşük genleşme katsayılarını veren 3. bölgeye geçilmiştir. Bu bölgedeki değerler ise 2.0×10^{-6} ile 4.0×10^{-6} arasında değişmektedir.

. Üç ayrı sıcaklık aralığında da deflokulan katkısının belirgin bir etkinliği gözlenememektedir. Bununla birlikte 16 ile 400 °C arasında, ki normal olarak kış-yaz ve gece gündüz farklarının etken olduğu sıcaklık aralığını bu bölge kapsamaktadır, ponzasız referans tuğlalarda deflokulan katkısı, genleşme katsayısında % 24'lük bir azaltım sağlamıştır. Gene bu aralıkta, ponzalı tuğlalarda ise sadece % 70 ve % 80 hacim oranlarında azalmaya, diğerlerinde ise artışa neden olmuştur.

. İkinci bölgede deflokulan katkısının ponzasız numunede dahil olmak üzere hiçbir etkinliği kalmamış ve sadece % 90 hacim oranında katkılı tuğlada daha düşük bir genleşme katsayısı elde edilmiştir.

. Üçüncü bölgede deflokulan katkısı artan ponza hacim oranları ile etken hale gelerek % 70 hacim oranından itibaren genleşme katsayısında azalmalara neden olmuştur.

. 16 °C ile 400 °C arasında hem katkılılarda ve hem de katkısızlarda, ponza ilavesi ile birlikte referans ponzasız tuğlaların genleşme katsayıları istisnasız artmış, bu artış oranı katkısızlarda % 68'e, katkılılarda ise % 100'e kadar çıkmıştır. Ayrıca ponza hacim oranının artışı ile birlikte ponzasız tuğladan başlamak üzere % 90 hacim oranına kadar muntazam bir artış gözlenmiştir. Bir başka deyişle, tuğla kilindeki ponza miktarının artışı, tuğlaların normal atmosfer koşullarındaki sıcaklık farklılıklarına duyarlılıklarını ve bu koşullar altındaki boy uzamalarını artırmıştır. Bu araştırmada kullanılan ponzanın 20 °C ile 120 °C arasındaki $\beta = 5.09 \times 10^{-6}$ lık değeri ile de saf tuğlanın $\beta = 3.0 \times 10^{-6}$ lık değeri karşılaştırıldığında da bu artış normal olmaktadır.

. 400 °C ile 600 °C arasında ilk sıcaklık aralığına oranla ponzasız tuğlaların genleşme katsayılarında aşırı artışlar olmasına karşılık, ponzalı numunelerdeki artış daha düşük oranlarda kalmış ve dolayısı ile ponzalı tuğlaların yüksek sıcaklıklardaki genleşme katsayıları daha küçük değerler almışlardır. Hatta katkılı ve ponzalı numunelerde ponza miktarı arttıkça genleşme katsayısı da muntazam olarak azalmış, tuğlanın yüksek sıcaklıklara dayanımı nispeten artmıştır. Bununla birlikte 600 °C'den daha yüksek sıcaklıklarda (3.bölge) ponza katkısı gene etken olarak hem katkılılarda ve hem de katkısızlarda genleşme katsayısının artışına neden olmuştur. Ancak, burada araştırılan tuğlalarda büyük deformasyonların ve değişimlerin 400 °C civarında başlayıp 600 °C civarında tamamlandığı düşünülürse, bu üçüncü bölgede, elde edilen

düşük değerlerin fazla bir önemi olmadığı sonucuna varılabilir.

5.2.2.8 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Mikroyapıya Etkilerinin Taramalı Elektron Mikroskobu ile İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

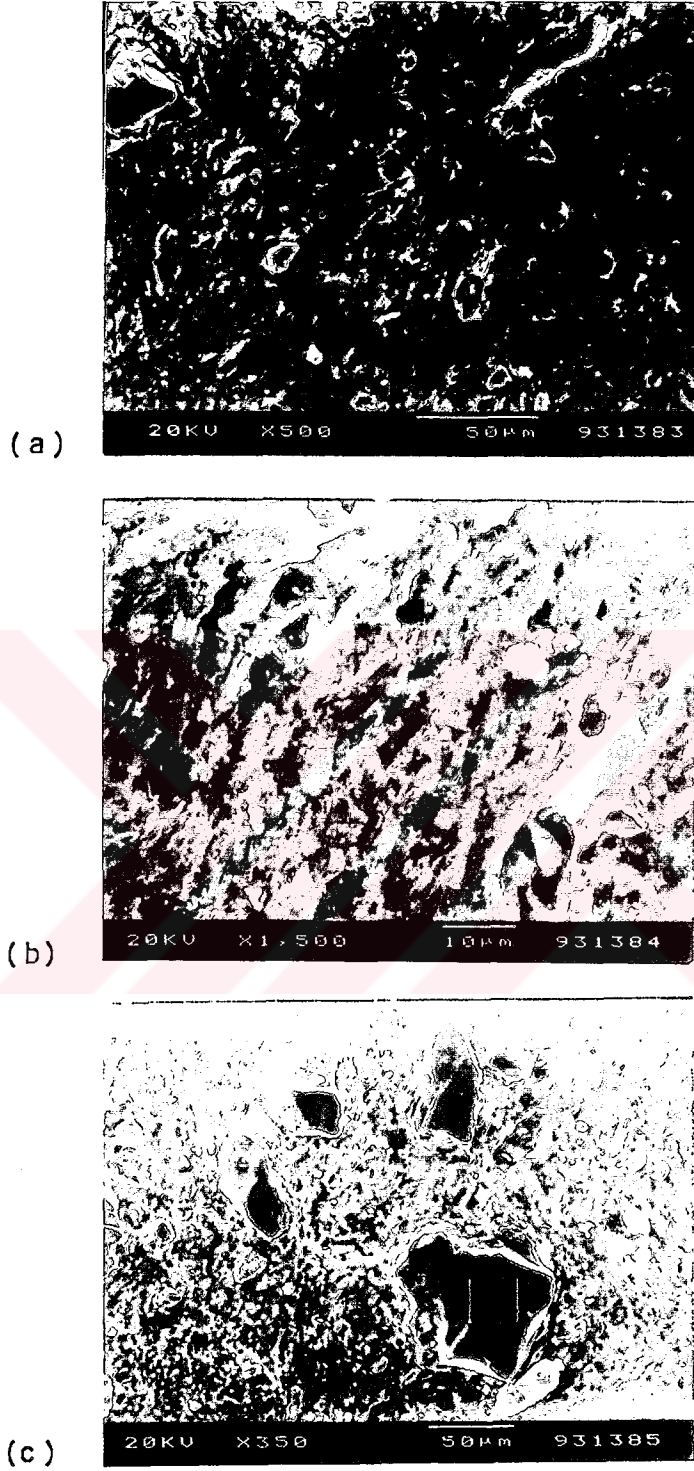
Bu bölümde, daha önce 4.5.2. no.lu bölümde açıklanan 10 adet değişik tuğla üzerinde SEM ve EDAX ile ponza ve deflokulan ilavesinin, strüktürel kompozisyon, porozite, boşluk yapı ve şekli ve cam fazı üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ancak bu testler, limitli sayıda ve sahada yapılabildiğinden araştırma testleri olarak değerlendirilmesi daha doğru olacaktır.

Elde edilen sonuçlar ise aşağıda herbir değişik tuğla için özetlenmiş ve EDAX analiz sonuçlarının bir kısmı EK C'de verilmiştir.

i) 850 °C de pişen ponzasız ve katkısız tuğla

Şekil 5.55 a da bu tuğlanın kenar bölgesinden alınan bir fotoğraf ve 5.55 b de ise bu fotoğrafın belli bir bölgesinin daha yakından görünüşü görülmektedir. Bu tuğla oldukça az miktarda kılcal boşluk yapısı göstermekte, daha çok hafif ovalimsi, bazısı kapalı, bazısı ise birbirleri ile bağlantılı boşluklar içermektedir. Şekil 5.55 a ve 5.55 b den de görüldüğü gibi akma yapısı (ekstrüzyon yönlenmesi) kenar bölgesinde açıkça görülmekte, bu yönlenme orta bölgeden alınan fotoğrafta (Şekil 5.55 c) ise dönme hareketi olarak belirginleşmektedir.

EDAX analizlerine göre de % 50 civarında SiO_2 ve % 25 civarında Al_2O_3 den oluşan genel bir kompozisyon izlenmektedir. Ancak, bu numune üzerinde yapılan bütün



Şekil 5.55 850 °C de Pişen Ponzasız Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı

(a), (b) Akma yapısı, ekstrüzyon yönlenmesi

(c) % 99 SiO₂ içeren bölge-siyah kısımlar

tarama boyunca Şekil 5.55 c den de bariz olarak görülebileceği gibi sırf SiO_2 içeren siyah bölgelere sıkça rastlanmıştır. EDAX analizleri ile bu siyah bölgenin SiO_2 yüzdesi % 99 olarak tespit edilmiştir.

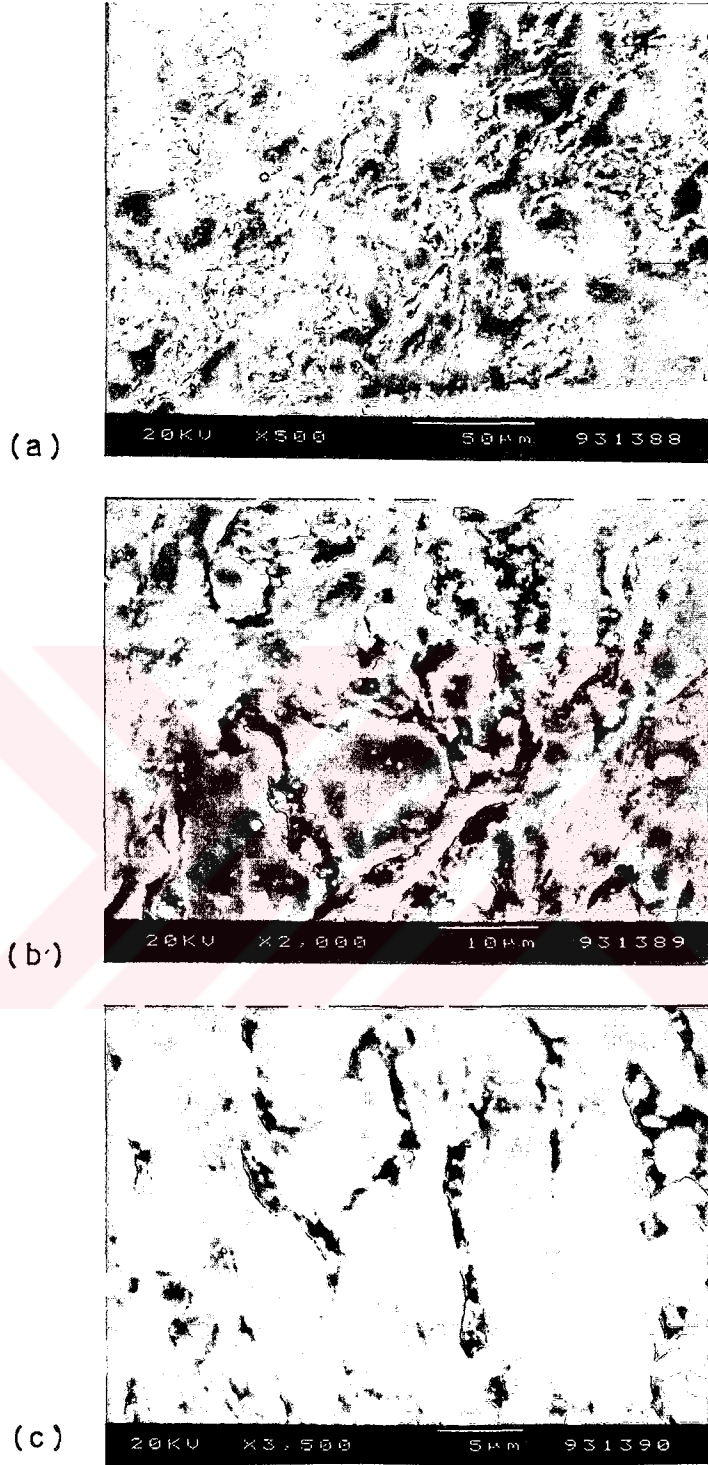
ii) 950 °C de pişen ponzasız ve katkısız tuğla

Aynı tuğlada sıcaklık 850 °C den 950 °C ye çıktığında, boşlukların biraz dahaz ince uzun ve daha sürekli sayılabilecek nitelikte oldukları Şekil. 5.56 a, ve 5.56 c den, 5.56 a'nın büyütülmüşü olan 5.56 b de ise bu boşlukların daha çok yarıklar ve çatlaklar şeklinde geliştiği görülmektedir. Ayrıca 850 °C de az da olsa gözlenen hafif ovalimsi ve iyi gelişmiş sayılabilecek tek boşluklara 950 °C de rastlanmamıştır. 850 °C de pişen katkısız ve ponzasız tuğlanın kılcal boşluk yüzdesinin ve kılcallık katsayısının 950 °C de pişenden daha az olduğu da göz önüne alınırsa, buradaki boşlukların, biraz daha sürekli olarak nitelendirilmesi doğru olacaktır.

850 °C de gözlenen ve sıkça rastlanan SiO_2 li bölgeler ise burada biraz daha azalmıştır. Bununla birlikte gene de tarama boyunca yer yer bu siyah bölgelere rastlanmıştır.

Burada da gene ekstrüzyondan dolayı yönlenmiş bir boşluk yapısı hemen hemen her bölgede görülmektedir.

EDAX analizlerine göre de genel olarak SiO_2 oranı % 60, Al_2O_3 oranının ise gene % 25 civarında olduğu belirlenmiştir.



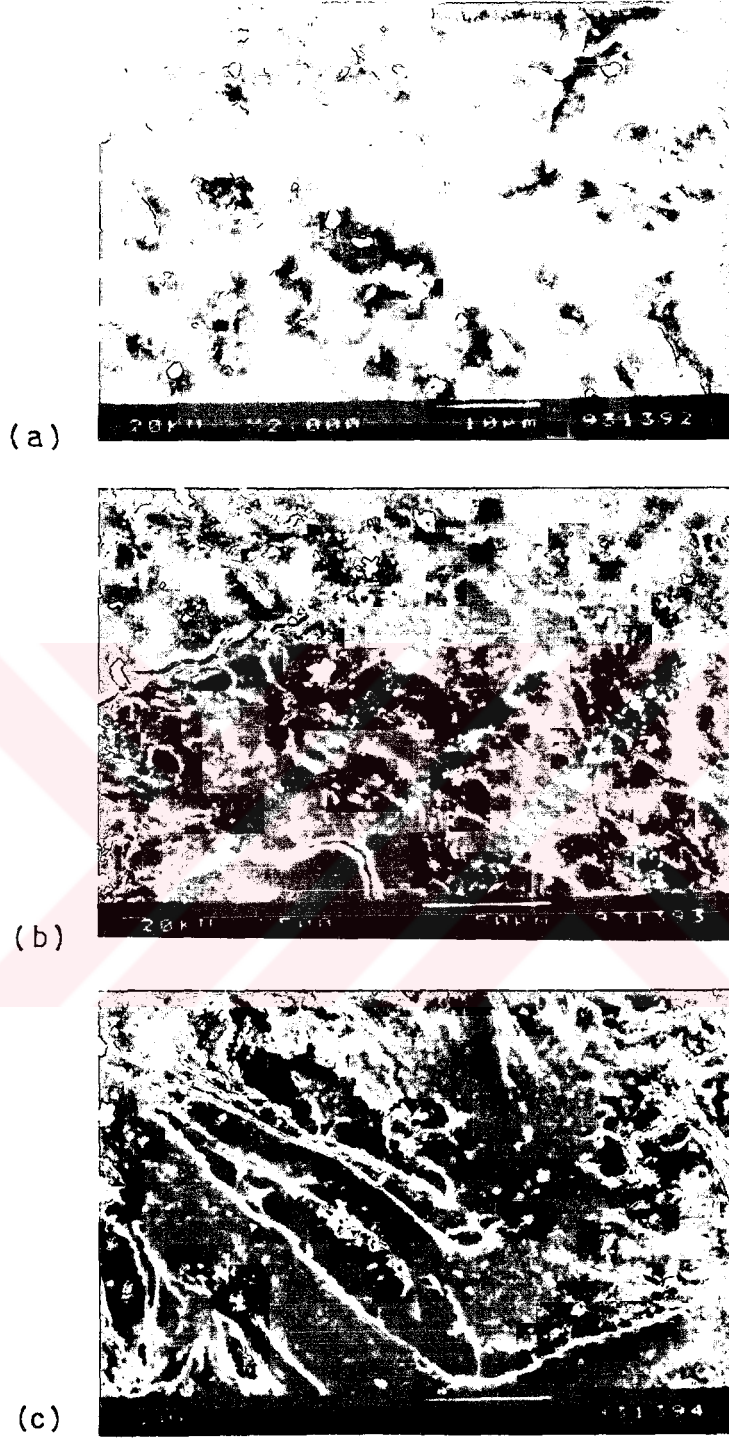
Şekil 5.56 950 °C de Pişen Ponzasız Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı

- (a) Yönlenmiş boşluklar
- (b) Yarıklar şeklinde gelişmiş boşluklar
- (c) Boşlukların yakından görünüşü

iii) 850 °C de pişen ponzasız, katkılı tuğla

Bu numune üzerinde yapılan genel incelemelere göre belirgin bir boşlukluluk gözlenememiştir. (Şekil 5.57 a ve 5.57 b). Ancak bunun yanında şekil 5.57 b ve 5.57 c de görüldüğü gibi ince çatlaklar ve yarıklar göze çarpmaktadır. Özellikle Şekil. 5.57 c deki yaklaşık 0.02 mm genişliğinde ve 0.2 mm uzunluğundaki çatlak dikkat çekicidir. Ekstrüzyon yönlenme izleri ise gene belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu tuğlada diğer katkısız tuğlalarda rastlanmayan bir durum olarak yüzey üzerinde yer yer lekeler halinde görünen çubuğumsu ve lifsel bölgelerin varlığıdır. Sıkça rastlanan bu bölgelerin Al_2O_3 yüzdeleri, EDAX analizlerine göre SiO_2 e oranla oldukça fazla çıkmaktadır. Örneğin Şekil 5.57 c'de görüntülenen bu çubuğumsu lifsel bölgedeki Al_2O_3 oranı % 67.61, SiO_2 oranı ise % 4.23 dür. Büyük bir ihtimalle alüminyumun bu şekilde erimesine NaOH ve P_2O_5 katkısı neden olmuş ve bunlar böylelikle çubuklar halinde belli noktalarda toplanmışlardır. S.Marusin [60] ise tuğlalar üzerinde mikrostrüktüre yönelik yaptığı çalışmalarda, iyi gelişmiş kristallerin dominant olarak Al içerdiklerini belirtmiştir. Ayrıca bu bölgede uzun taramalardan sonra % 0.22 oranında P_2O_5 e de rastlanmıştır. Diğer bütün katkılı tuğlalar üzerinde yapılan incelemelerde P_2O_5 e rastlanmamıştır, ancak toplam katkı oranının % 2.1, bu oranın içersindeki P_2O_5 oranının ise % 0.85 olduğu düşünülürse yaklaşık 3x3 cm boyutundaki yüzey üzerinde 500 misli bir büyütme ile P_2O_5 'e rastlanmaması normal gözükmetedir.

Alüminyumun belli bölgelerde toplanmasından dolayı, bu tuğlada Al_2O_3 ün SiO_2 'ye oranı sürekli olarak değişmektedir. Örneğin Şekil 5.57 a da SiO_2 % 57.36, Al_2O_3 % 23.54, Şekil 5.57 b de ise SiO_2 % 42.84, Al_2O_3 ise % 34.6 olarak belirlenmiştir.



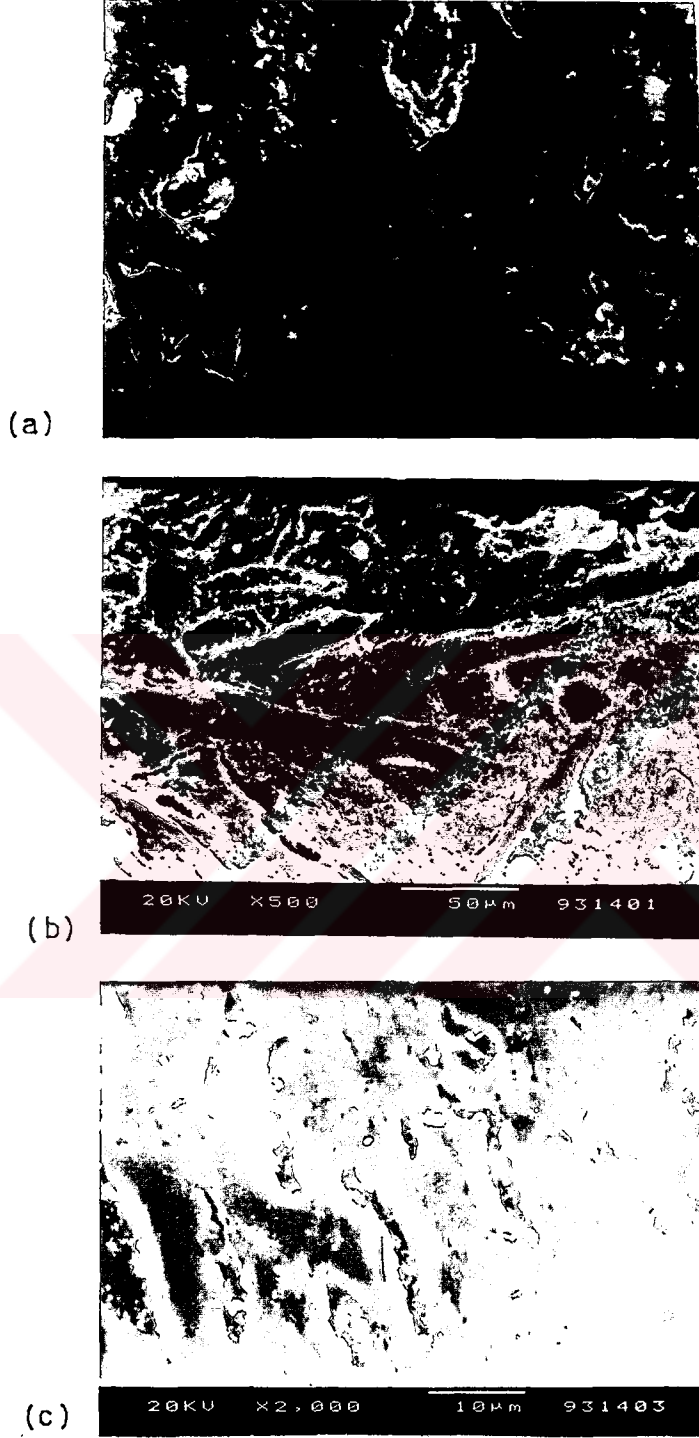
Şekil 5.57 850 °C de Pişen Ponzasız, Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı
(a), (b) Boşlukluluk yok-ekstrüzyon yönlenmesi belirgin
(c) Al_2O_3 yoğunluklu lifsel bölge

iv) 950 °C de pişen ponzasız katkılı tuğla :

850 °C ile benzer görüntüler elde edilen 950 °C de pişmiş bu tuğlada gözlenen belirgin farklılıklar yüksek konsantrasyonlarda Al_2O_3 içeren bölgelerin artması ve Şekil 5.58 c de de görüldüğü gibi kılcal, bükülmüş fakat nispeten kapalı sayılabilecek boşlukların artması olarak sıralanabilir. 850 °C den 950 °C ye geçişte alüminyum yoğunluklu bölgelerin artması, gelişen kristal yapı ve camlaşmaya yorulabilir.

Şekil 5.58.b'de görüntülenen bu Al_2O_3 oranı yüksek bölgenin yapılan analizlere göre Al_2O_3 oranı % 63.35, SiO_2 oranı ise % 10.22 olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.58 a'da ekstrüzyonun neden olduğu yönlenme izleri ve 850 °C'ye göre artan boşlukluluk görülmektedir. 850 °C den 950 °C ye geçişte, kılcal boşlukların artması, daha önceki bölümde bu tuğla için artan sıcaklıkla birlikte porozite, kılcallık ve kılcal boşluk yüzdesi arasında kurulmaya çalışılan ilişkiye ters düşmektedir. Ancak Şekil 5.58 c de daha belirgin olarak görülen bu kılcal boşluklara, numune içerisinde çok sık rastlanmamaktadır. Genel izlenim olarak ise, gerek 850 °C'de ve gerekse 950 °C'de pişen katkılı tuğlalar katkısızlara göre daha kompakt ve yoğun bir yapı göstermektedirler. Hem katkılılarda ve hem de katkısızlarda miktarları az olmakla birlikte boşluklar daha çok ince uzun şekilli olarak gelişmişlerdir. İyi gelişmiş olarak nitelendirilen dairesel veya ovalimsi boşluklara ise hemen hemen hiç rastlanmamıştır.



Şekil 5.58 950 °C'de Pişen Ponzasız Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı

(a) Genel yapı

(b) Al_2O_3 yoğunluklu kristalize bölge

(c) Boşluk yapısı

v) Fuller porobolüne göre % 80 ponza hacim oranında üretilen ve 850 °C de pişirilen katkısız tuğla

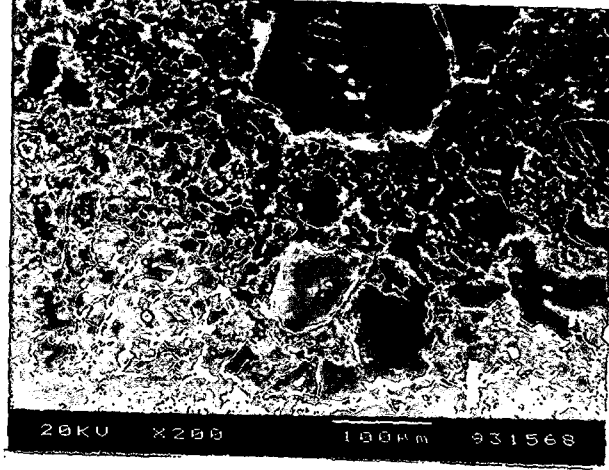
Ponza ilavesi ile birlikte değişik bir yapı sergileyen bu tuğlada genel olarak, kil ve ponzanın birbirleri içine girerek ve özellikle kilin ponzanın boşlukları içerisine yerleşerek bir bütün oluşturdıkları izlenmiştir.

Bu tuğlanın Şekil 5.59 a'da SEM, 5.59 b'de de ise gene SEM'le aynı bölgenin backscotter electron image (BEI)* ile elde edilen fotoğrafları görülmektedir.

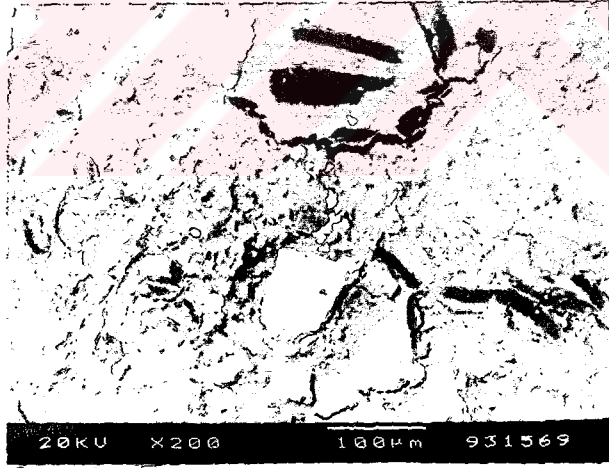
Ponzalı tuğlaların hemen hemen hepsinde görülen değişik bir durum ise bütün numunelerde, sadece bir bölgede değil, tüm yüzey üzerinde dağılmış ve genel yapıya yerleşmiş vaziyette bulunan ve nedeni için yorum yapılamayan kalay ve kurşun gibi elementlerin varlığıdır. Bu elementlerin tespiti için Şekil. 5.59 a'da normal görüntüsü verilen tuğlanın, Şekil 5.59 b'de BEI görüntüsü verilmiştir. Bu şekle göre büyük beyazlık demir-titan, küçük beyazlıklar kurşun, siyah bölgeler kükürt, koyu gri bölgeler ise Al_2O_3 ve SiO_2 oranları 1:1 olan ponza ve tuğla karışımı matriksi belirlemektedir.

Bu numuneye ait matriks bölgesinin özelliklerinin 950 °C ile benzerlik içerisinde olmasından dolayı bu bölgenin burada daha büyütülmüş fotoğrafları alınmamıştır.

* BEI, atom numarası yüksek olan elementleri parlak ve açık renkli, düşük atom numaralı elementleri ise diğerlerine göre daha koyu renkli gösteren bir sistem.



(a)



(b)

Şekil 5.59 850 °C'de Pişen Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı
(a) Genel yapı
(b) BEI görüntüsü

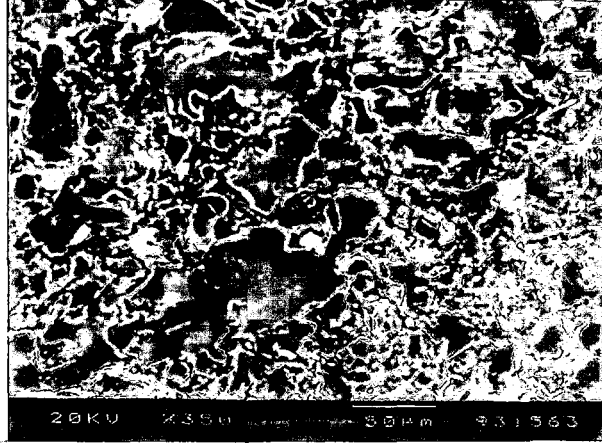
vi) Fuller parabolüne göre % 80 ponza hacim oranında üretilen ve 950 °C de pişirilen katkısız tuğla.

Bu numunenin, SEM ile elde edilen fotoğrafları ise 5.60 a' dan 5.60 e'ye kadar verilmiştir. Şekil 5.60 a da fotoğrafı verilen ponzasız bölgelere biraz daha sıkça rastlanmakta, diğer fotoğraflarda görülen tek ponza yapısı içerisindeki oluşumlara ise biraz daha az rastlanmaktadır.

Burada 850 °C ile arada pek bir farklılık görülmemekte, küçük çaplardaki yüksek ponza oranından dolayı ponza ve tuğla arasındaki kesin sınırlar belli olmamaktadır. Hatta Fuller'le üretilen tuğlalarda dane çapı 4 mm olan ponzaların da olduğu düşünülürse, şekillerdeki yüzeylerin tamamı bile bir ponza danesi büyüklüğünde bile değildir. Ancak Şekil 5.60 b, 5.60 c, 5.60 d ve 5.60 e'de gözlenen durum, matriks olarak ponza, ve bu ponzanın kanallı dandritik boşlukları içerisine yerleşen kristallenmiş, Al_2O_3 oranı yüksek (% 68.38 Al_2O_3 % 2.72 SiO_2) ve dağılılı bir faz gibi görünen pişmiş kilden ibarettir.

Pişme sırasında ponzanın kanallı boşluklarını dolduran kilin yaptığı büzülmelerle bu taneli yapı etrafında gelişen yarıklar ve çatlaklar şeklindeki sürekli boşluklar tüm yapıya hakim olmuş durumdadırlar. Sonuçta ponza katkısı ile yüksek su emme ve yüksek kılcallığa neden olan kanallı ve sürekli kılcal boşluklar elde edilmiş olmaktadır.

950 °C de pişen bu numunede de gene 850 °C 'deki tuğlada olduğu gibi ponza ve tuğla içerisine yerleşmiş kalay ve kurşun bölgeleri çıkmaktadır. Şekil 5.60 e'de pişmiş kil danesi içine yerleşmiş % 71.41 oranındaki PbO bileşimi görülmektedir.

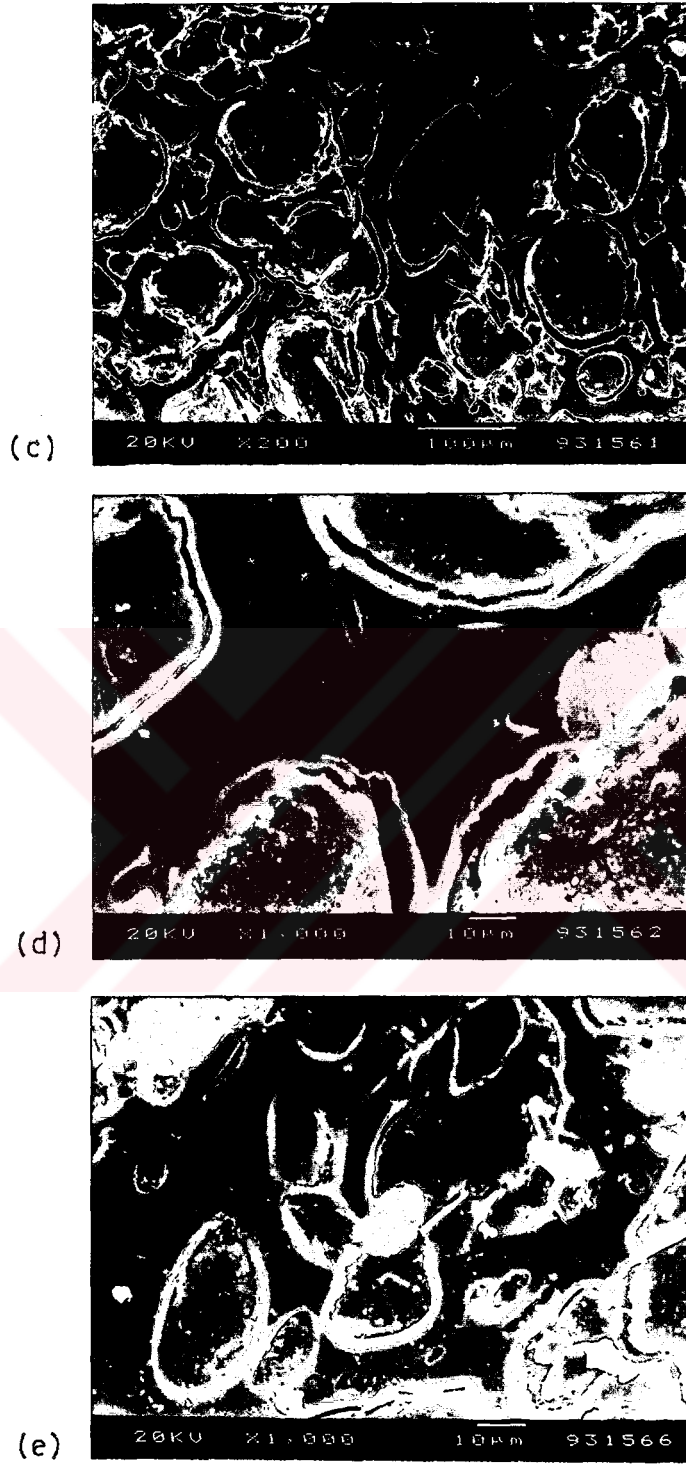


(a)



(b)

Şekil 5.60 950 °C'de Pişen, Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı
(a) Ponzasız bölge
(b) Ponzanın boşluklarını dolduran pişmiş kil



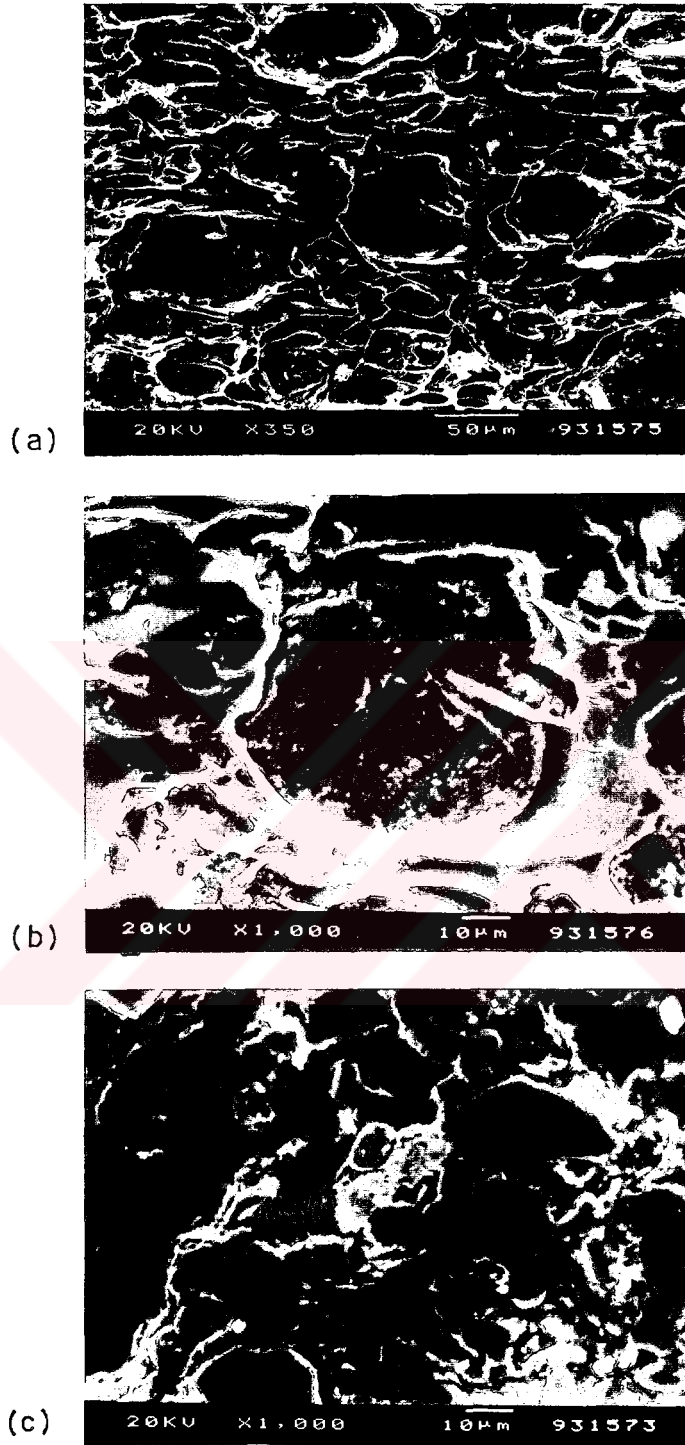
Şekil 5.60 (c) (d) (e)
Ponza Matriks-Pişmiş Kil Birleşimi

- vii) Fuller parabolüne göre % 80 ponza hacim oranında üretilen, 850 °C ve 950 °C de pişirilen katkılı tuğlalar

Fiziksel özelliklerinde farklılıklar göstermelerine rağmen, bu ölçekte SEM ile, ponzalı numunelerde pişme sıcaklığı farklılıkları kesin hatlarla ayırlamamış, numunelerde benzer yapılar gözlenmiştir. Şekil 5.61 a'dan 5.61 c'ye kadar 850 °C'de pişirilen, Şekil 5.62 'de ise 950 °C'de pişirilen ponzalı katkılı tuğlalar görülmektedir. Gene katkısızlarda olduğu gibi, büyük bir ihtimalle, ponzanın kanallı boşluklarını dolduran kilin, büzölmelerinden ortaya çıkan, ponza, tuğla birleşim yerlerindeki yarıklar şeklindeki çatlakların varlığı Şekil 5.61 a'da ve yakın plandan 5.61 b'de belirginleşmektedir. Büyük bir ponza danesine ait olan ve bu ponzanın boşluklarına dolan pişmiş kilden oluşan yapının genel analizine göre bu kompozit bölge % 47.2 SiO₂, % 29.7 Al₂O₃ içermektedir. Boşlukları dolduran pişmiş kil bölgeleri ise yüksek oranlarda alüminat içermektedirler. Şekil 5.61 b'de bu alüminatlı bölge ve bu bölgeyi saran ponzanın silikatlı yapısı ve aradaki rötire çatlakları görülmektedir.

850 °C'de pişen numunenin ponzasız bir bölgesinden alınan fotoğraf ise Şekil 5.61 c'de verilmiştir.

Benzer yapı gösterdiği belirtilen 950 °C' de pişirilen numunenin, Şekil 5.62 deki fotoğrafında ise koyu matriks bölgelerin bileşimi EDAX ile % 12.53 Al₂O₃, % 75.42 SiO₂, açık gri renkli tane şeklindeki pişmiş killi bölgenin bileşimi ise % 61.03 Al₂O₃, % 1.45 SiO₂ olarak belirlenmiştir. Tane etrafını saran ve düşük aderansa neden olan bu çatlakların yanısıra dağılı faz içerisindeki (tane içi) uzun mikro çatlak da dikkat çekmektedir.



Şekil 5.61 850 °C'de Pişen Fuller'e Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı

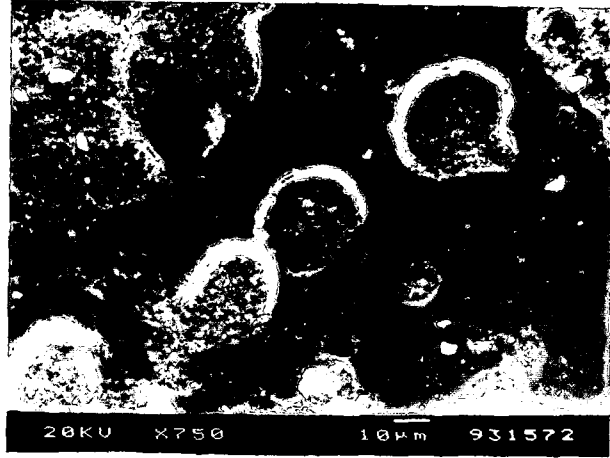
- (a) (b) Ponza-Pişmiş Kil Bileşimi
(c) Ponzasız Bölge

- viii) 2/23.6 mm dane ϕ ındaki ponzalardan % 60 hacim oranında $\ddot{u}$ retilen ve 950°C' de pişirilen katkısız tuğla

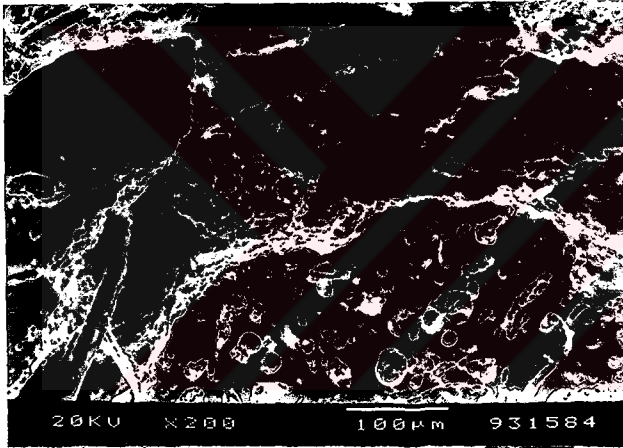
Sadece belli bir aralıkta dane ϕ apına sahip ponzalardan $\ddot{u}$ retilen numunede, k $\ddot{u}$ çük $\ddot{o}$ l $\ddot{c}$ ekte, birkaç ponza danesi tarafından sarılmış, b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k bir $\mathcal{C}$ atlak ve bu $\mathcal{C}$ atlağı kısmen doldurmuş lifli ve al $\ddot{u}$ minatlı yapı Şekil 5.63 a'da g $\ddot{o}$ r $\ddot{u}$ lmektedir.

Bu fotoğrafin alt tarafındaki, b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k ponza danesi olduğı d $\ddot{u}$ ş $\ddot{u}$ n $\ddot{u}$ len b $\ddot{o}$ lgenin bileşimi % 13.41 Al $_2$ O $_3$, % 61.99 SiO $_2$ olarak tespit edilmiştir. Gene bu b $\ddot{o}$ lgedeki b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k ponza danesinin boşluklarını dolduran pişmiş kil daneleri ponzada yok denecek kadar az miktarda olan al $\ddot{u}$ minat y $\ddot{u}$ zdesinin artmasına neden olmuşlardır. Şekil 5.63 a'daki ponza daneleri arasındaki sınır b $\ddot{o}$ lgesi ise, % 18.82 Al $_2$ O $_3$, % 62.66 SiO $_2$ oranındaki bileşimlerden meydana gelmektedir. Şekil 5.63 b'de ise gene iki ponza danesi arasında veya tek bir ponzanın kendi i $\mathcal{C}$ erisinde gelişmiş b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k ve derin $\mathcal{C}$ atlak g $\ddot{o}$ r $\ddot{u}$ lmektedir. Bu b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k $\ddot{u}$ lkteki $\mathcal{C}$ atlaklara, b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k bir ihtimalle ince ponza danelerinden dolayı, Fuller parabol $\ddot{u}$ ne g $\ddot{o}$ re $\ddot{u}$ retilen numunelerde rastlanmamıştır.

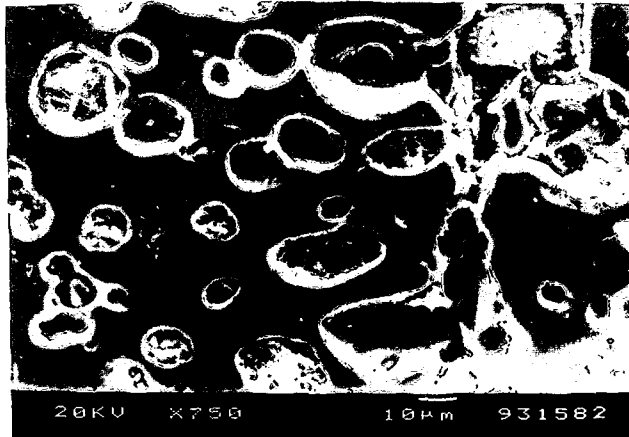
İleriki b $\ddot{o}$ l $\ddot{u}$ melerde g $\ddot{o}$ r $\ddot{u}$ leceğı $\ddot{u}$ zere, tektip dane $\mathcal{C}$ aplı ponzalardan $\ddot{u}$ retilen tuğlaların b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k bir $\mathcal{C}$ oğunluğı Şekil 5.63 b'deki gibi, iri danelerin değıme noktalarındaki b $\ddot{u}$ y $\ddot{u}$ k $\mathcal{C}$ atlaklar nedeni ile Fuller parabol $\ddot{u}$ ne g $\ddot{o}$ re $\ddot{u}$ retilenlerden $\mathcal{C}$ oğunlukla daha d $\ddot{u}$ ş $\ddot{u}$ k mekanik mukavemetlere sahip olmuşlardır.



Şekil 5.62 950 °C'de Pişen Fuller'e Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlanın SEM Mikrografı



(a)



(b)

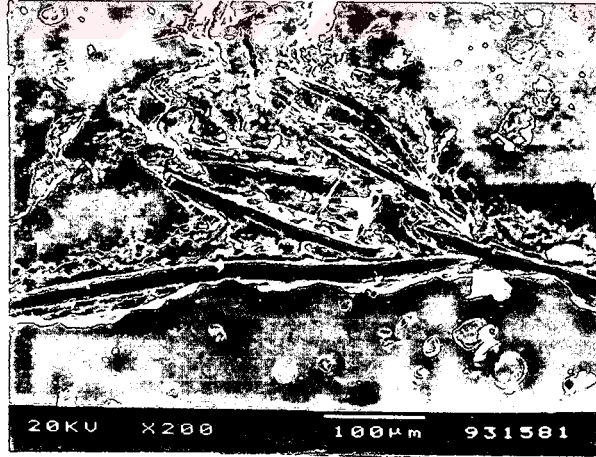
Şekil 5.63 2/2.36 mm Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen ve 950 °C'de Pişen katkısız Tuğlanın SEM Mikrografı

(a) Ponza Taneleri Birleşimi

(b) Ponzanın boşluklarına dolan pişmiş kil

ix) 2/2.36 mm dane çapındaki ponzalardan % 60 hacim oranında üretilen ve 950  C'de pişirilen katkılı tuğla

 iri ponza danesi arasında alüminyum oranı yüksek çokca çubuksu yapılardan oluşmuş kristalllenmiş tuğla fazının tipik bir fotoğrafı şekil 5.64 'de görülmektedir. Katkısızla mukayese edildiğinde bu arakesitteki oluşumun, bir önceki paragrafta anlatılan şekil 5.63 a'daki gibi büyük ve derin bir çatlak yerine, bileşimi başlıca % 35.22 Al_2O_3 , % 22.37 SiO_2 den meydana gelen kendi içerisinde ince küçük çatlaklar gösteren pişmiş kil yapısı olduğu anlaşılmaktadır. Bu fotoğrafın alt bölgesindeki silikat yapıllı ponzanın bileşimi ise EDAX analizleri ile % 12.62 Al_2O_3 , %74.20 SiO_2 olarak belirlenmiştir.



şekil 5.64 2/2.36 Dane aplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında üretilen ve 950  C de Pişen Katkıllı Tuğlanın SEM Mikrografı

5.2.2.9 Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Petrografik Yapıya Etkilerinin Polorize Mikroskopla İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

Bu bölümde, taramalı elektron mikroskop ile mikroyapı incelemesi yapılan aynı tuğlalar üzerinde, numunelerden alınan ince kesitler vasıtası ile polorize mikroskopla incelemeler yapılmış, her bir değişik tuğla için saptanan özellikler aşağıda verilmiştir :

i) 850 °C de pişen ponzasız katkısız tuğla

Örnek, esas olarak, kahverengi bir kil matriksi ile bağlanmış, oranları % 25 ile % 30 arasında değişen irili ufaklı mineral ve kayaç parçalarından meydana gelmektedir. Yer yer içinde boyutları 100 μ m den 0.4 mm'ye kadar değişen, küçük nodüller veya merclekler şeklinde demirli hematitli kısımlar bulunmaktadır. Çok ince taneli ve mikron boyutundaki bu minerallerin kendi içerisindeki dağılımları ise, yaklaşık, % 60 kuvars, % 20 alkali feldspat, % 10 albit (plejioklas), % 10 demir olarak tespit edilmiştir.

Şekil 5.65 a da demirli kil matriksi içerisindeki irili ufaklı kuvars mineralleri ve tali oranlardaki diğer mineraller görülmektedir.

ii) 950 °C de pişen orjinal katkısız tuğla

Bu numunede de bir önceki ile fazla değişmemekle birlikte, matriks içerisindeki oval veya küresel yapılı, yarı köşeli, boyutları birkaç mikronla 0.6, 0.7 mm arasında değişen, hematit limonit türü, demirli kısımlar biraz daha yoğunlaşmış ve % 15 e kadar yükselmiştir.

Genel olarak bu kahverengi matriks içerisindeki hematitlerin dışında, mikrokristalli, birkaç mikron boyutunda yüksek oranlardaki kuvars minerali ve tali oranlarda ise plejioklas ve diğer minerallerden oluşan bir doku izlenmektedir (Şekil 5.65 b)

iii) 850 °C de pişirilen katkılı ponzasız tuğla

Bu örnekte, katkısızlardan farklı olarak genel yapısına kesikli veya devamlı, mercek ve kanallar şeklindeki cam yapılarının hakim olduğu görülmektedir.

Gene kahverengi bol demirli bir matriks içerisinde bulunan opsiyeni diyebileceğimiz bu kanallı cam yapılarının boyutları ve şekilleri değişebilmektedir.

Mineral olarak, parçalanmış, çok çatlaklı, oval ve küresel yapılarda yüksek oranda kuvars, tali olarak da albit ve plejioklas görülmektedir. Bu numunenin katkısızlardan bir diğer farkı ise matriks içerisindeki opak demir nodüllerinin oranındaki azalmadır. Bu oran bu numunede % 5 olarak tespit edilmiştir. İnce kristalli minerallerin boyutları ise 0.25 mm ile 0.06 mm arasında değişmektedir.

Şekil 5.66 a da verilen fotoğrafta bu örneğe ait pişmiş kil matriksi içerisindeki değişen boyutlardaki mineraller görülmektedir.

iv) 950 °C'de pişirilen katkılı ponzasız tuğla

Bu örneğin en belirgin özeliği 850 °C ile benzer şekilde kanallar ve mercek yapıları altında camsal oluşumlarla birlikte yönelme ve akma izleri veren bir yapı göstermesidir. Akma yönlerini ise bu camsal yapılar vermektedir. Bu cam yapıların matriks içerisinde küçük

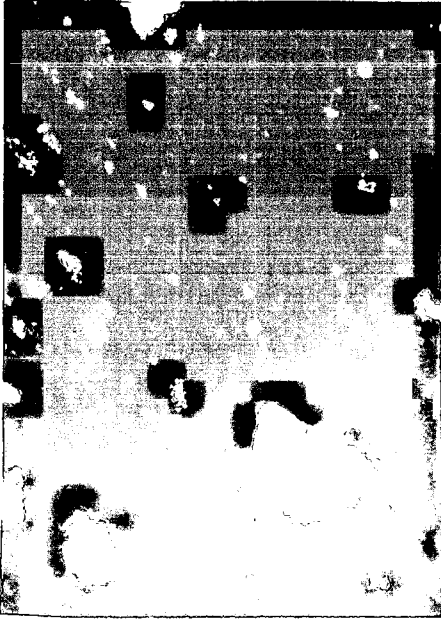
boyutlu olanlarına da rastlanmakta, aynı zamanda matriksin de yeşil renkli olduğu görülmektedir. (siyah çekirdeklenme)

Mevcut mineraller ise gene değişik boyutlarda köşeli, yarı köşeli ve ağırlıklı olarak kuvars, daha az oranlarda ise feldspatlardır. Hematit şeklindeki ufak parçaların oranı ise burada biraz daha azalmış ve % 3 civarına düşmüştür.

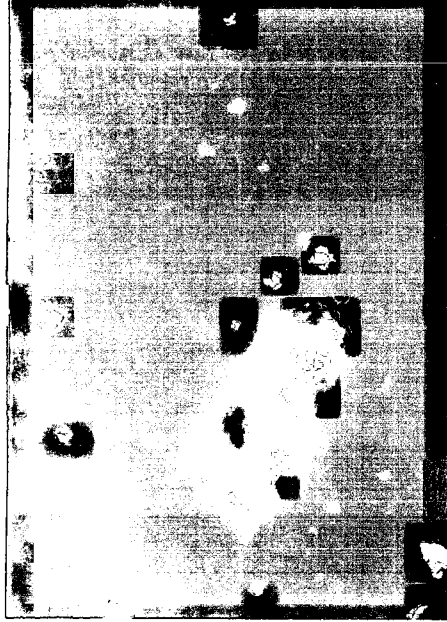
Yönlenmiş camsal yapıların fotoğrafları çekilememiştir. Ancak burada Şekil 5.66 b' de irili ufaklı, kırıklı, köşeli yapıları ile matriks içerisindeki mineraller görülmektedir.

v) 850 °C'de pişirilen ve Fuller parabolüne göre hacimce % 80 ponza ile üretilen katkısız tuğla

Örnek, esas olarak aynı özellikteki, fakat burada biraz daha koyu kahve ve kırmızı renkteki matriks ve bunun içerisindeki camsı dokulu oval küresel yapıları volkanik parçalardan oluşmaktadır. Bunun yanı sıra köşeli, yarı köşeli ve değişik boyutlardaki mineraller, özellikle ideomorf ve düzgün kristaller halinde boyutları 0.40-0.50 mm arasında değişen plejioklaslar bulunmaktadır. Kuvars oranının az, daha çok plejioklasların yapıya egemen olduğu da dikkat çekmektedir. Plejioklaslarla birlikte dilinimleri belirgin ve birbirine dik, düzgün ve ideomorf kristalli piroksenler de bulunmaktadır. Ayrıca ponzadan gelen biyotit veya siyah mika ve kil matriksi içerisinde opak demir oksit mineralleri de gözlenmektedir.



(a)



(b)

Şekil 5.65 Ponzasız katkısız Tuğlaların polarize Mikroskop Altında Görünüşü

(a) 850 °C (b) 950 °C



(a)



(b)

Şekil 5.66 Ponzasız Katkılı Tuğlaların polarize Mikroskop Altında Görünüşü

(a) 850 °C (b) 950 °C

Şekil 5.67 a da bu numunenin paralel nikol altında çekilmiş bir fotoğrafı bulunmaktadır. Burada sönük beyazlı siyahlı oval yapılar ponzaı, renkli parlaklar çeşitli mineralleri, hakim siyah doku ise pişmiş kil matriksi göstermektedir.

vi) 950 °C de pişirilen ve Fuller parabolüne göre hacimce % 80 ponza ile üretilen katkısız tuğla

Gene burada da demirli kahverengi matriks içersinde dandritik boşluklu, kanallı ve çeşitli mineral ve kayaç parçaları ve önemli miktarda camsı volkanik dokuları bulunduran bir yapı izlenmektedir. (Şekil 5.67 b).

Ayrıca kilin pişmesi sırasında ortaya çıkan boşluklar da bulunmaktadır.

0.6, 0.7 mm boyutuna kadar yükselen iri kristaller halindeki plejioklaslar bol miktarda bulunmaktadır. Çubuk şeklinde cam kristaller halindeki ponza ile birlikte bulunan ve oldukça yoğun miktarlardaki biyotitler de göze çarpmaktadır. Tali mineral olarak az kuvars, birkaç tane de piroksene rastlanmıştır.

Genel özeliği, boşluklu olması ve bol miktarda plejioklas ve ponza içermesidir

- vii) 850 °C'de pişirilen ve Fuller parabolüne göre hacimce % 80 oranında ponza ile üretilen katkılı tuğla

Katkısızlarla benzer yapı gösteren bu örnekte, esas olarak boşluklu, kanallı ve volkanik cam (ponza) içeren kahverengi demirli bir matriks içerisinde kırıklı kristalli az orandaki kuvars ve gene bol miktarlardaki plejioklas mineralleri gözlenmektedir. (Şekil 5.68 a)

- viii) 950 °C'de pişirilen ve Fuller parabolüne göre hacimce % 80 oranında ponza ile üretilen katkılı tuğla

Burada da gene, bol oranda kanal şeklinde dandritik boşluklu bir yapı ve doğal olarak ponza ve diğer mineral tanelerini birleştiren kahverengi kırmızı renkli opakça zengin bir matriks görülmektedir.

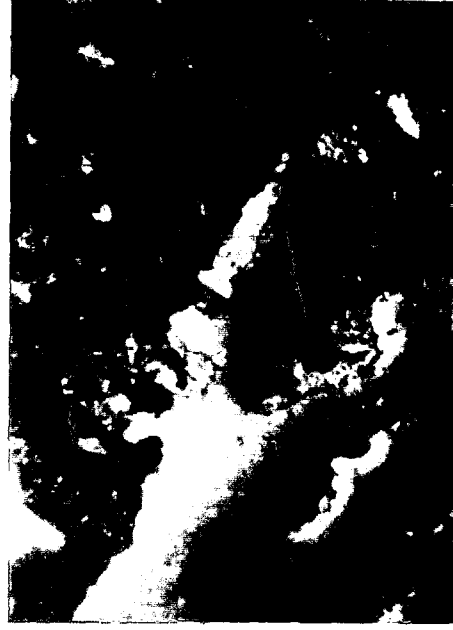
Şekil 5.68 b'de görülen, oldukça büyük volkanik bazaltik bir kayaç parçasına da rastlanmıştır. Bunun dışında özellikle çok ince taneli plejioklas ve tali oranlarda piroksenden ve kuvarsdan oluşan bir yapı sergilenmektedir. Şekil 5.69 c' de bu yapının paralel nikolle 5.69 d' de ise çapraz nikolle alınan fotoğrafları görülmektedir.

- ix) 950 °C de pişirilen, 2/2.36 mm dane çapındaki ponzalardan hacimce % 60 oranında hazırlanan katkısız ve katkılı tuğla

Deflokulan katkısının etkisi SEM de olduğu gibi, burada da ponzasız referans numuneler dışında belli olmadığı ve benzer özellikler gösterdikleri için iki numune birlikte ele alınmıştır. (Şekil 5.70 a ve 5.70 b)



(a)



(b)

Şekil 5.67 Fuller'e Göre % 80 Ponza İle Üretilen Katkısız Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü

(a) 850 °C - Paralel nikol

(b) 950 °C - Paralel nikol



(a)



(b)

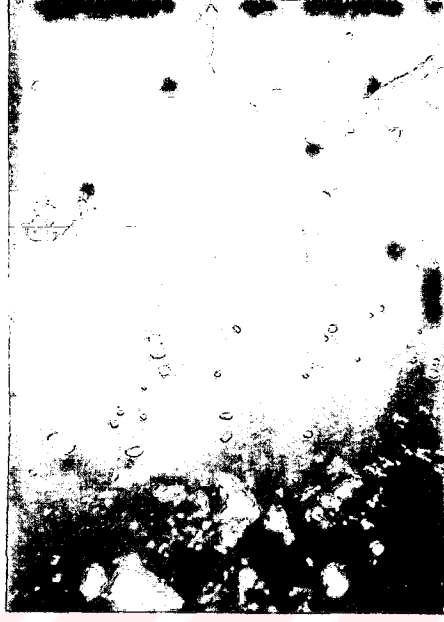
Şekil 5.68 Fuller'e Göre % 80 Ponza İle Üretilen Katkılı Tuğlaların Polarize Mikroskop Altında Görünüşü

(a) 850 °C - Paralel nikol

(b) 950 °C - Paralel nikol



(a)



(b)

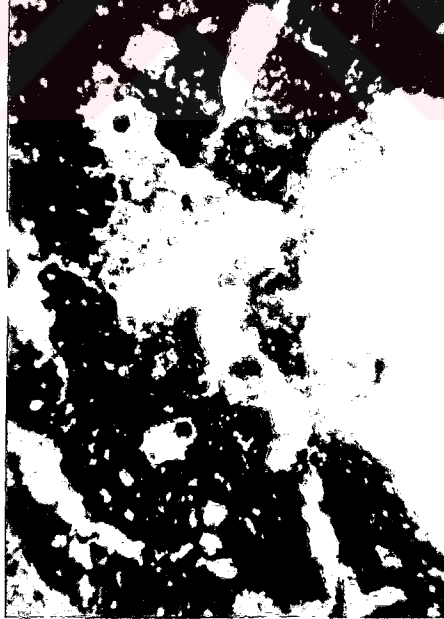
Şekil 5.69 950 °C de Pişirilen Fuller'e Göre Hacimce % 80 Ponza ile Üretilen Katkılı Tuğlanın Polorize Mikroskop Altında Görünüşü

(a) Paralel nikol

(b) Çapraz nikol



(a)



(b)

Şekil 5.70 950 °C de Pişirilen 2/2.36 mm Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen Tuğlanın Polorize Mikroskop Altında Görünüşü

(a) Katkısız-Paralel nikol

(b) Katkılı-Paralel nikol

Bütün ponzalı numunelerde olduğu gibi bunlarda da gene boşluk ve kanallar ve bunların içersinde doğal olarak Fullerle üretilenlere göre daha az oranlarda yer alan oval ve yarı köşeli ponzalar ve tali minerallerden meydana gelen kahverengi kırmızı renkli hamur matriks genel yapıyı oluşturmaktadırlar. Bu tali mineraller feldspat, kuvars ve piroksen olarak sıralanabilir.

Polorize mikroskopla petrografik yapının incelenmesinden çıkarılan sonuçlar ise aşağıda sıralanmıştır.

. Bütün numunelerde bu ölçekte yapılan çalışmalarda 850 ve 950 °C'ler arasında büyük farklar görülmemekle birlikte, katkısız referans tuğlalarda sıcaklık artışı ile hematitli demirli kısımlar biraz artmış, katkılı referans tuğlalarda ise biraz azalmıştır. Bunun yanında katkılı ponzasız numunelerde camlaşmanın artmasıyla birlikte, bu camlaşmanın oluşturduğu yönlenme ve akma izleri de belirginleşmiştir.

. Deflokulan katkısının etkisi ise sadece ponzasız referans tuğlalarda 850 °C' de dahi görülen camlaşma ile ayırdedilmektedir. Ponza ilavesi ile bu katkı etkinliğini kaybetmiştir.

. Ponza katkısı ile pişmiş kil matriksi içerisinde yüksek oranlarda bulunan kuvars minerali azalmış, bunun yerine plejioklasların oranı artmıştır.

5.2.2.10 Pişme Sıcaklığı ve Ponza Katkısının Mineralojik Yapıya Etkilerinin X-Işınları Difraksiyon Analizleri İle İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

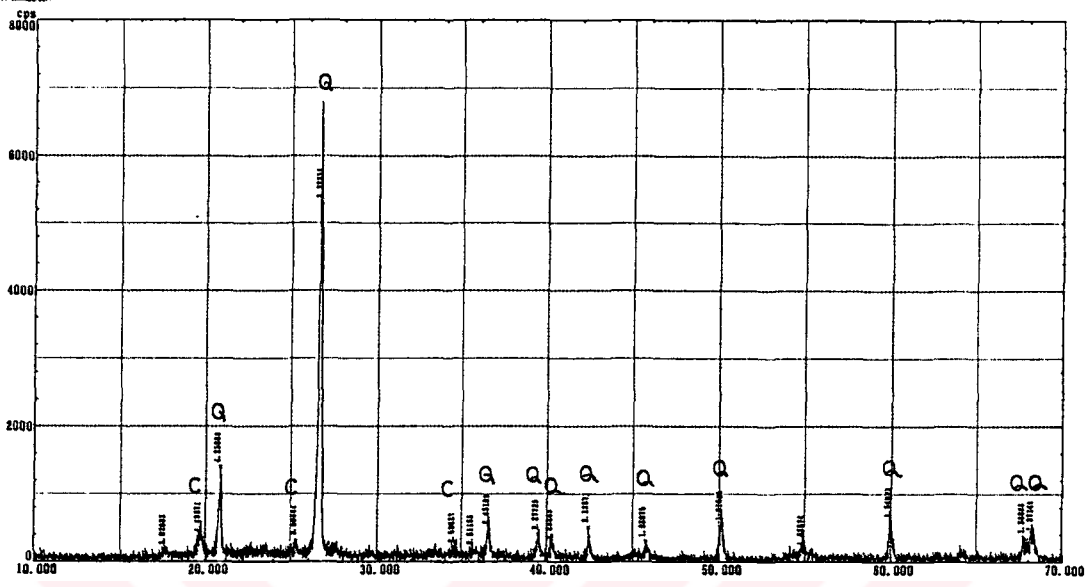
Elektron mikroskobu ve polarize mikroskopla incelenen aynı numuneler üzerinde mineralojik yapıdaki değişimleri incelemek üzere X-Işınları difraksiyonu analizleri yapılmıştır.

Bu analizlere göre, hem ponzasız ve hem de ponzalı numunelerde, deflokulan katkısının bir etkisi görülmemiş, aynı sıcaklıkta pişen katkılı ve katkısız numunelerde hemen hemen aynı pikleri veren diyagramlar elde edilmiştir. (Bkz. Ek.D). Bu nedenle, burada, elde edilen sonuçlar, katkılı ve katkısız ayırımı yapmadan ele alınacaktır. Bu sonuçlar aşağıda sıralanmıştır :

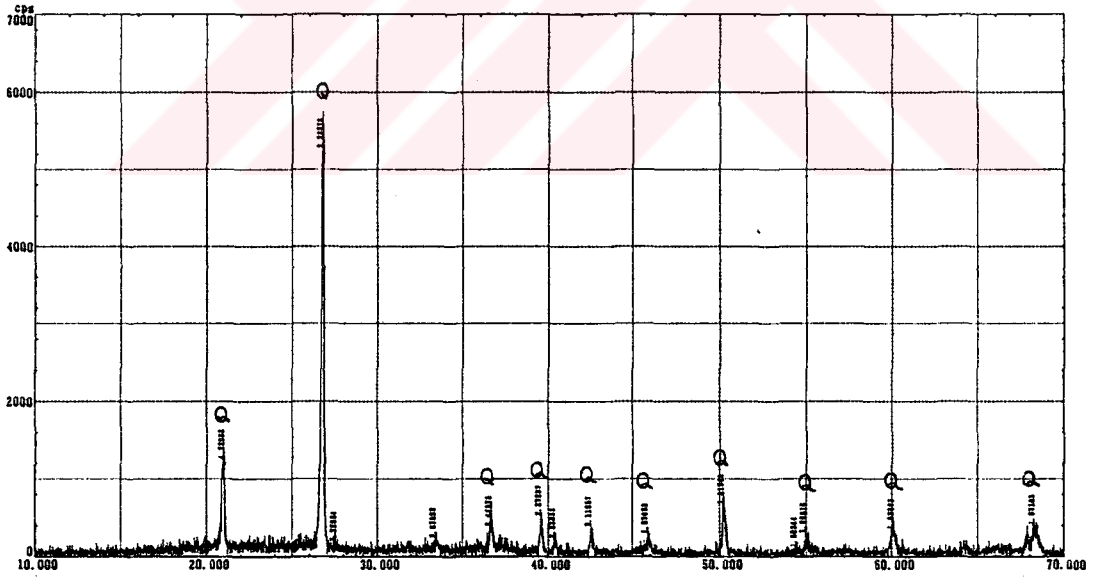
1) 850 °C' de pişirilen ponzasız tuğlalarda başlıca kuvars ve az miktarda kil minerali bulunmaktadır. İnce kesitler üzerindeki incelemelerde bu numunelerde görülen feldspat, oranlarının az olmasından dolayı burada tespit edilememiştir.

2) Ponzalı ve ponzasız bütün numunelerde 850 °C' de bulunan az miktardaki kil minerali, 950 °C'ye geçişte tamamen kaybolmuştur. Bu da 800 ve 850 °C'deki pişmenin tam olarak bütün dönüşümler için yeterli olmadığını, bunun yanında 900 ve 950 °C' de daha iyi bir pişme sağlandığını göstermektedir. Şekil 5.71 de 850 ve 950 °C lerde pişen katkısız ve ponzasız numunelerde bulunan mineraller görülmektedir.

3) Şekil 5.72'de de görüldüğü gibi (850 ve 950 °C lerde pişirilen ve Fuller parabolüne göre % 80 ponza hacim oranında üretilen katkısız tuğla) ponza katkısı ile birlikte, saf tuğlalarda tespit edilemeyen, feldspat

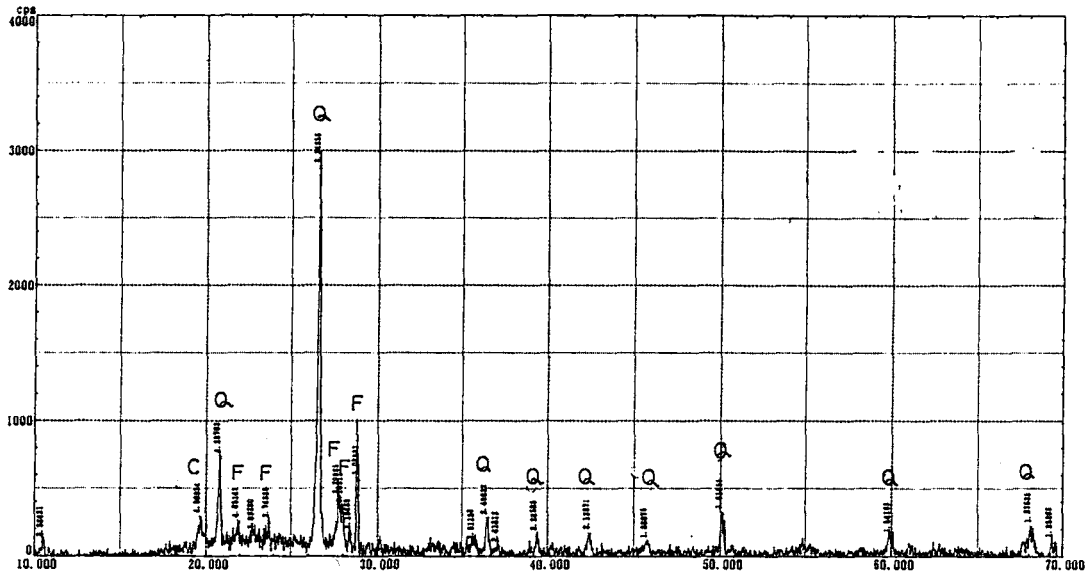


(a)

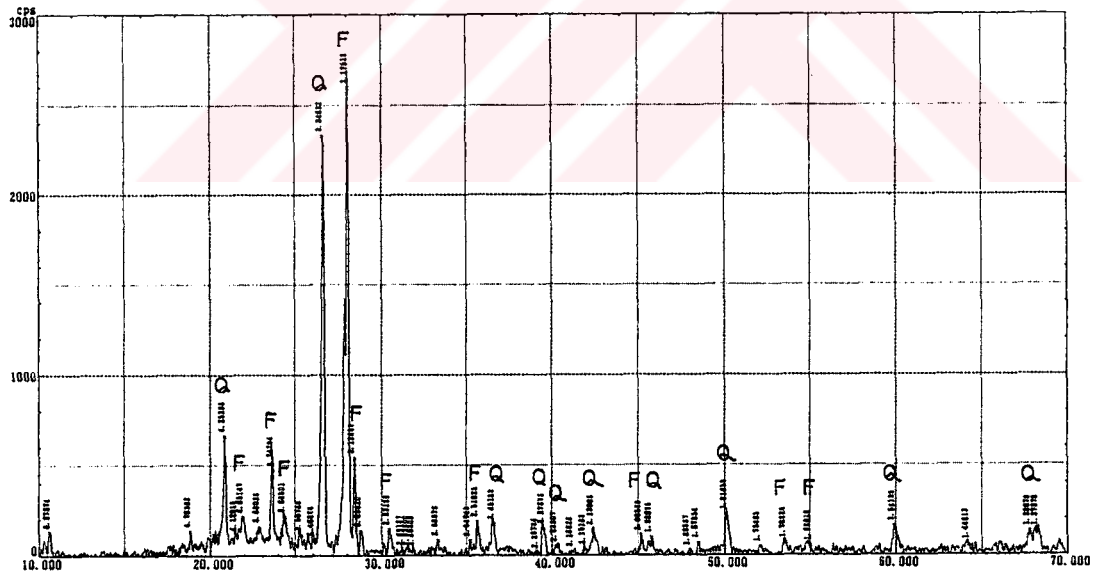


(b)

Şekil 5.71 Ponzasız Katkısız Tuğlanın X-Işınları
Difraktometre Diyagramı (a) 850 °C (b) 950 °C
Q= Kuvars, C= Kil Minerali



(a)



(b)

Şekil 5.72 Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranındaki Ponzalarla Üretilen Tuğlanın X-Işınları Difraktometre Diyagramı (a) 850 °C (b) 950 °C
Q= Kuvars, C= Kil Minerali, F= Feldspat

minerali de ortaya çıkmıştır. Gene burada, ponzanın varlığını gösteren, amorf malzemeye özgün şişmanlık, 20° ve 30 °ler arasındaki 20 değerlerinde hissedilmektedir. Burada tespit edilen diğer mineral ise kuvarsdır.

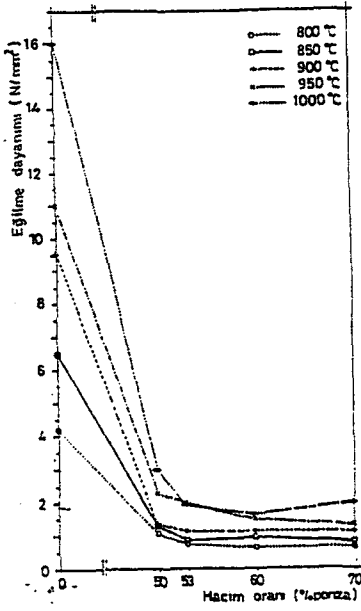
5.2.3. Mekanik Özelliklerin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Seramik malzemelerin büyük çoğunluğu ve dolayısı ile bu araştırmaya konu olan ponza katkılı tuğlalar, bünye yapısı yönünden daima boşluklar içerdiklerinden, kırılğan karakterde malzemelerdir. Genellikle de, böyle kırılğan karakterdeki malzemelerin basınç dayanımları, çekme dayanımlarından çok yüksektir. Seramik yapı malzemelerinin mekanik özellikleri ise kullanma yerine bağlı olarak belirlenir. Örneğin; taşıyıcı nitelikteki duvar tuğlaları için basınç dayanımı, kiremitler ve kaplama malzemelerinde eğilme dayanımı önem kazanır. [14, s.85]. Bunun yanısıra büyük boyutlu pişmiş toprak yapı elemanlarının üretimi durumunda da kullanım ve nakliye esnasında doğabilecek zorlamalardan da zarar görmemeleri istenir.

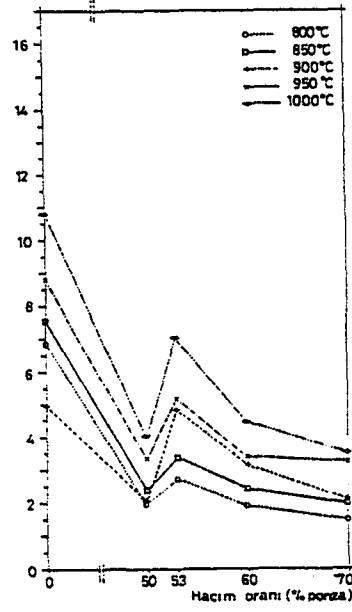
Bu nedenler doğrultusunda, bu bölümde de, daha önce fiziksel ve mikro yapı özellikleri belirlenen tuğlaların, mekanik özellikleri, sırası ile eğilme ve basınç dayanımları ve daha sonra da elastisite modülleri incelenecektir.

5.2.3.1. Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Eğilme Dayanımına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Değişik büyüklüklerde ve dağılımlardaki ponzalardan üretilen tuğlaların, değişen pişme sıcaklıkları ve ponza hacim oranlarına karşılık, eğilme dayanımlarındaki değişimler Şekil 5.73'den 5.76'ya kadar verilmiştir.

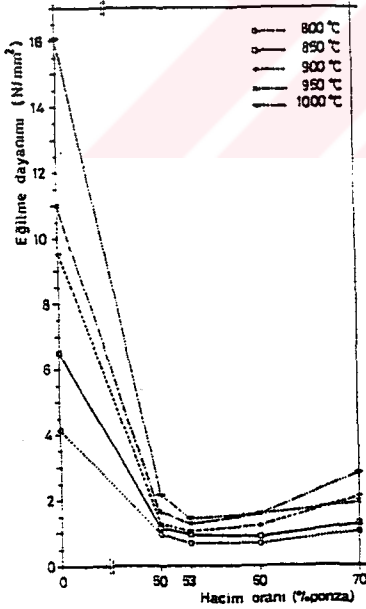


(a)

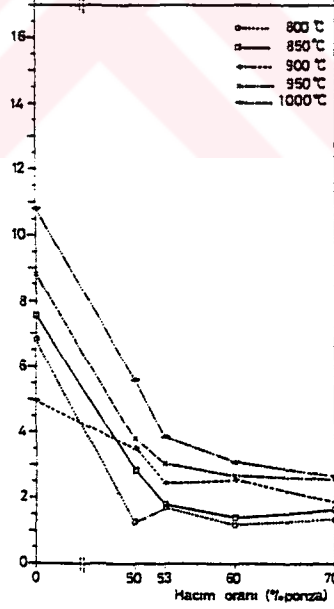


(b)

Şekil 5.73 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız
(b) Katkılı

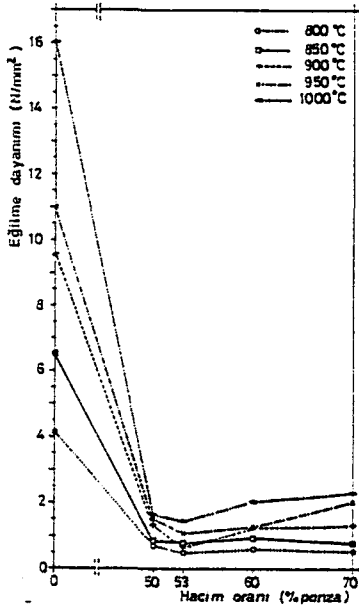


(a)

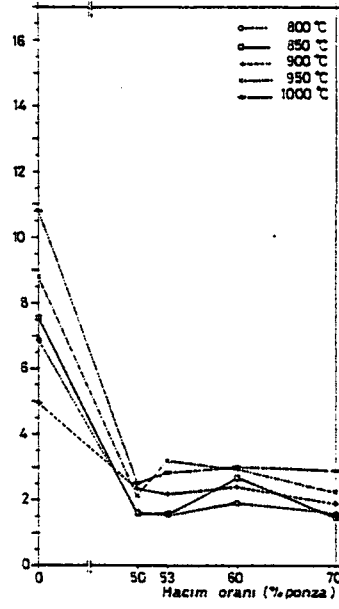


(b)

Şekil 5.74 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız
(b) Katkılı

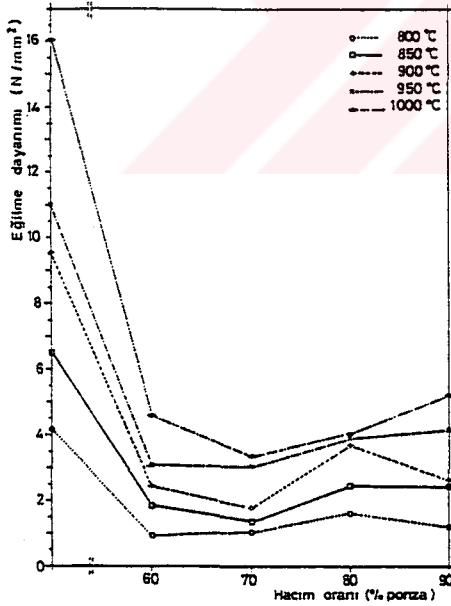


(a)

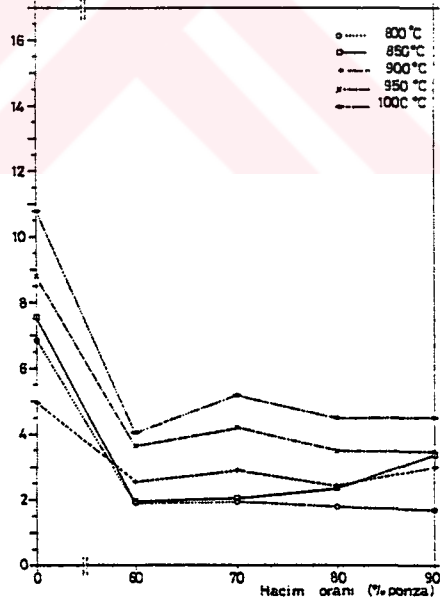


(b)

Şekil 5.75 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı



(a)



(b)

Şekil 5.76 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığının ve Ponza Hacim Oranının Eğilme Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

Bu şekillerin ve Tablo A.19 un incelenmesi ile pişme sıcaklığı ponza ve deflokulan katkısı, ponza hacim oranı etkileri altında elde edilen sonuçlar dört madde altında toplanarak aşağıda sıralanmıştır.

1) Pişme Sıcaklığı Etkisi

Bütün fiziksel özelliklerde muntazam artış veya azalmalara neden olan pişme sıcaklığının eğilme dayanımında bazı tuğlalarda kısmen etkisinin azaldığı görülmektedir. Bir başka deyişle, artan birim yoğunluğa paralel olarak, bütün dane çaplarında ve hacim oranlarında eğilme dayanımında da 800 °C'den 1000 °C'ye doğru muntazam bir artış elde edilmesi beklenirken, bu sıralama, bazı karışımlarda bozulmuştur. Bunun nedeni ise, iç yapı kusurlarının, fiziksel özelliklerde değişikliğe sebebiyet vermemesine karşılık mekanik dayanımları etkilemesidir. Hatta, bir sonraki bölümde anlatılacağı üzere, eğilme dayanımlarında çok belirgin olmamakla birlikte, basınç dayanımlarında bazı karışımlarda sıcaklık etkisinin tamamen ortadan kalktığı da görülmüştür.

Bununla birlikte, iki istisna hariç katkısızlarda 1/2 dane çaplı grupta ve % 53 hacim oranında, katkılılarda ise 2.36/3.35 dane çaplı grupta ve gene % 53 hacim oranında bütün karışımlarda en yüksek eğilme dayanımı değerleri 1000 °C de elde edilmiştir.

2) Ponza Katkısının Etkisi

Ponza ilavesi ile birlikte, bütün tuğlalarda, eğilme dayanımı değerleri referans katkılı ve katkısız tuğlalara oranla azalmıştır. Şekil 5.73, 5.74, 5.75, ve 5.76'dan da görüldüğü gibi, bu azalma katkısızlarda, katkılılara oranla daha fazladır. Halbuki diğer birçok fiziksel

özelikte, bu azalma veya artmalar katkılılarda daha fazla olmakta idi. Burada ise katkısız referans tuğlaların 900 °C'den itibaren katkılı referans tuğlalara oranla daha yüksek değerler alması nedeni ile, bu durum değişmiştir.

Ponza katkısı ile, referans katkılı ve katkısız tuğlalara göre en az azalma genelde en düşük porozite ve en yüksek birim yoğunluk değerlerine sahip Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda elde edilmiştir. Bununla birlikte 1/2 dane boyutlu grupta, hemen hemen bütün özelliklerde ve bütün pişme sıcaklıklarında belirgin bir pik noktası veren % 53 hacim oranında katkılı kilden üretilen tuğlaların Fuller'e göre üretilenler dahil olmak üzere en yüksek eğilme dayanımı değerleri verdikleri de dikkat çekmektedir.

3) Deflokulan Katkısının Etkisi

Daha önce de belirtildiği gibi referans tuğlalarda 900 °C den itibaren P_2O_5 ve NaOH katkısı etkinliğini kaybederek katkılı tuğlaların eğilme dayanımlarının, katkısız referans tuğlalardan daha küçük değerler almasına neden olmuştur. P_2O_5 , NaOH katkısının referans katkısız tuğla üzerindeki etkisinin pişme sıcaklığı derecelerine göre dağılımı ise şöyledir : 800 °C'de % 64, 850 °C'de % 17 oranında artış, 900 °C'de % 48, 950 °C'de % 20, 1000 °C'de % 32 oranında azalma.

Aynı zamanda 2/2.36 dane çaplı grupta ve % 70 hacim oranında da 900 ve 1000 °C'lerde de katkılı tuğlaların eğilme dayanımı değerleri katkısız tuğlalara göre daha az olmuştur. Bu istisnalar dışında deflokulan katkısının eğilme dayanımına etkisi diğer fiziksel özelliklerle uygunluk içerisindedir. Keza Fuller parabolüne göre özellikle % 80 ve % 90, ponza hacim oranlarında

hazırlanan numunelerin birkismında da katkılı tuğlaların değerleri, katkısızlardan daha düşük olmuştur.

4) Ponza Hacim Oranının Etkisi

1/2 dane çaplı grupta, katkısız tuğlalarda, bütün pişme sıcaklıklarında en yüksek değerler % 50 hacim oranı ile elde edilmiş olmakla birlikte, şekil 5.73 a dan da görüldüğü gibi, gene de referans ponzasız tuğlaya göre eğilme dayanımında büyük azalmalar olmuştur. Bu hacim oranında 800 °C'deki azalma % 75, 850 ve 1000 °C'lerde % 80, 900 °C'de % 86 ve 950 °C'de ise % 79 civarındadır. Diğer hacim oranları arasında ise eğilme dayanımında belirgin farklılıklar olmamıştır.

1/2 dane çaplı grupta, katkılılarda, % 50 hacim oranındaki düşüşten sonra % 53 hacim oranında en yüksek değerleri veren bir pik noktası elde edilmiş, bu noktadan itibaren ise en düşük değerlerin elde edildiği % 70 hacim oranına kadar muntazam bir azalma gözlenmiştir (Şekil 5.73 b). 900 °C hariç ponzasız tuğlalara oranla % 53 hacim oranındaki azalma oranı ise 800 °C'de % 60 civarında başlayıp, pişme sıcaklığı artışı ile azalarak 1000 C de % 35 e kadar inmiştir.

2/2.36 dane çaplı grupta ve katkısızlarda % 53 hacim oranına kadar muntazam bir azalma, buradan sonra ise % 70 hacim oranına doğru hafif bir artış görülmekte ve çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte Şekil 5.74 a ve Tablo A.19 dan da anlaşılacağı gibi en yüksek değerler bu hacim oranında elde edilmektedir. Bu grupta da gene ponzasız tuğlalara göre % 80 lere varan azalmalar, bunların kullanılmalarının, eğilme dayanımı açısından pek de uygun olmadığını göstermektedir.

Şekil 5.74 b de hacim oranlarına karşılık eğilme dayanımlarındaki değişimlerin görüldüğü 2/2.36 dane çaplı ve katkılı tuğlalarda, 900, 950 ve 1000 °C'lerde % 70 hacim oranına kadar bir azalma, 800 ve 850 °C'lerde ise % 60 hacim oranından % 70 hacim oranına geçişte hafif bir artış olmuştur. Bu grupta, 800 °C hariç en yüksek değerler % 50 hacim oranında elde edilmiştir. 800 °C'de % 50 hacim oranında ise, birim hacim ağırlıkta ve porozitede olduğu gibi, eğrilerin genel seyrine uymayan bir pik noktası oluşmuştur. Bu istisna nedeniyle 800 °C'de en yüksek değer % 53 hacim oranında elde edilmiştir.

2.36/3.35 dane boyutlu grupta ve katkısızlarda, 850 °C'de hemen hemen bütün hacim oranlarında aynı değerler elde edilmiştir. 800 °C'de de fazla bir değişim olmamış, sadece % 50 hacim oranından % 53'e geçerken hafif bir düşüş olmuş, daha sonraki hacim oranları ise % 53'le hemen hemen aynı değerleri vermişlerdir. 950 ve 1000 C lerde % 70 hacim oranında 900 C de ise % 50 hacim oranında en yüksek eğilme dayanımı değerleri elde edilmiştir. Aslında bu grupta, beş ayrı sıcaklık eğrisinin, hacim oranlarına göre genel olarak benzer yapıda değişimler göstermedikleri Şekil 5.75 a dan da görülmektedir.

Aynı grupta, katkılılarda da gene özellikle pişme sıcaklığının eğilme dayanımı üzerindeki etkisinin kalkmasından dolayı, Şekil 5.75b'de de açıkça görüldüğü gibi hacim oranlarına karşılık elde edilen eğrilerde ortak bir azalma veya artma eğilimi gözlenememektedir. Bununla birlikte en yüksek eğilme dayanımı değerleri 950 °C hariç, % 60 hacim oranında elde edilmiştir.

Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda ise gerek katkılılarda, gerekse katkısızlarda genelde diğer gruplara göre daha yüksek ve daha makul değerler elde edilmiştir. Ayrıca Şekil 5.76 da, her bir pişme sıcaklığında artan hacim oranlarına karşılık elde edilen eğriler, aynı grubun birim hacim ağırlık ve porozite eğrileri ile de uygunluk içerisindedirler.

Bu grupta katkısızlarda, 850, 950 ve 1000 °C'lerde % 70 hacim oranına kadar bir azalma, buradan sonra % 90 hacim oranına kadar da muntazam bir artış görülmekte ve bu hacim oranında en yüksek değerler elde edilmektedir. 900 °C'de ise % 80 hacim oranına karşılık gelen ve bu sıcaklıktaki en yüksek eğilme dayanımını veren bir pik noktası gözlenmekte, 800 °C'de ise hacim oranları arasında pek büyük farklılıklar olmamakla birlikte gene % 80 hacim oranında en yüksek değerler elde edilmektedir.

Fullerle üretilen katkılı tuğlalarda ise sadece 850 °C'de % 90 hacim oranına kadar muntazam bir artış görülmektedir. Diğer pişme sıcaklıklarının hemen hemen hepsinde ise % 70 hacim oranı en yüksek değerleri vermiştir.

5.2.3.2. Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının Basınç Dayanımına Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Seramikler gibi boşluklu malzemelerde, basınç dayanımı, kırılma mekanizması ve mikroyapı ve kompozisyonu içeren kesin veriler ve bağıntılar olmamakla birlikte, mukavemetler üzerindeki ana etkenin porozite olduğu belirtilmektedir. Bu da boşlukların, yükün uygulandığı alanın kesitini azaltmaları ile ilgilidir. Hatta porozite ve basınç dayanımı arasında bazı ampirik formüller de geliştirilmiş ve bunların içerisinde

boşluklu seramiklerin mukavemeti ile porozite arasında eksponansiyel bir ilişki belirten Ryskewitch'in önerisinin birçok veriye başarı ile uygulandığı belirtilmiştir. Buna göre, örneğin porozitesi % 10 olan bir malzemede, mukavemet, boşluksuz malzemeye oranla yarı yarıya düşmektedir. Zaten, sadece izole edilmiş kapalı boşlukların gerilmeyi arttırdıkları da bilinmektedir [3, s.621].

G.Z.Niederaula [34] ise, talaştözü, stropor gibi boşluk oluşturun malzemelerle hafifletilmiş tuğlalarda, basınç dayanımının azalmamasının çok zor ya da imkansız olduğunu belirtmiştir. Dayanıklılıkta çok az azalma elde edebilmek için bile boşluk oluşturun maddenin uyması gereken şartlar olduğunu da ifade etmiş ve bunları şu şekilde sıralamıştır :

. Oluşan boşluk mümkün olduğunca küçük olmalıdır. Yönlendirilmiş uzun ve yuvarlak boşluklar olmalıdır.

. Boşluk oluşturun madde, o kadar esnek olmalıdır ki, kuruma sırasında ortaya çıkan uzama ve büzülme etkilerine uyabilmeli ve mikroçatlakları önleyebilmelidir.

. Boşluklar homojen olarak dağılmış olmalıdırlar.

Burada da, ponza ilavesi ile, tuğla kütlesinin basınç dayanımında meydana gelen değişiklikler, ayrıca pişme sıcaklığı ve deflokulan katkısının etkisi, değişik çaplardaki ponzalarla değişen hacim oranlarında hazırlanan numuneler üzerinde incelenecek ve değerlendirilecektir.

Yukarıda sıralanan etkenlerin üretilen tuğlaların basınç dayanımlarında meydana getirdiği değişimler dört ana başlık altında toplanarak, aşağıda özetlenmiştir :

1) Pişme Sıcaklığı Etkisi

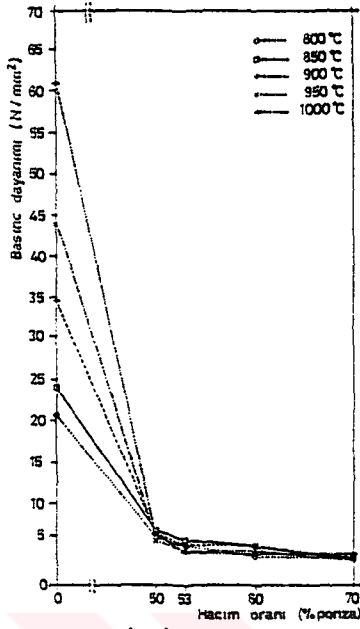
Artan pişme sıcaklığı ve azalan porozite ile, teorik olarak artması gereken basınç dayanımı değerleri burada, Tablo A.20 ve Şekil 5.77 den 5.80 e kadar da görüldüğü gibi, sadece ponzasız tuğlalarda ve 32 ayrı ponzalı karışımdan birkaç tanesinde gerçekleşmiştir.

Özellikle aynı dane çaplı gruplarda (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35) en yüksek basınç dayanımı değerleri genellikle 850 °C'de elde edilmiştir. Bu sıcaklıktan sonra muntazam olmamakla birlikte basınç dayanımı değerleri azalmıştır. 1000 °C'de ise sadece katkısızlarda 1/2 ve 2.36/3.35 dane çaplı grupta % 70 hacim oranında, katkılılarda ise 1/2 dane çaplı grupta % 50 ve % 53 hacim oranlarında, 2/2.36 dane çaplı grupta ise gene % 50 hacim oranında diğer sıcaklıklara oranla daha yüksek değerler elde edilmiştir.

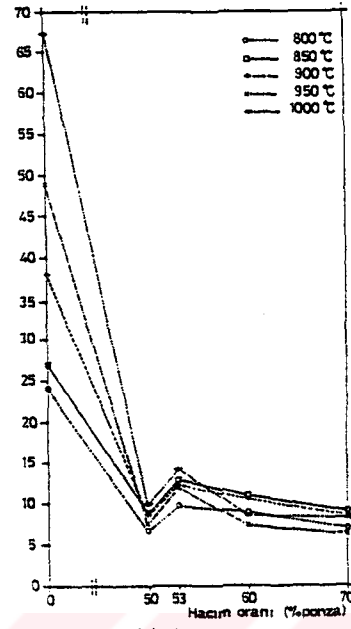
Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalardan üretilen gruplarda ise, 800 °C'den itibaren muntazam bir artış olmamakla birlikte, en yüksek basınç dayanımı değerleri, hem katkılılarda, hem de katkısızlarda, 1000 °C'de elde edilmiştir.

2) Deflokulan Katkısının Etkisi

Bütün ponzasız tuğlalarda, P_2O_5 ve NaOH etkisi ile basınç dayanımı değerleri artmıştır. Bu artış, 800 °C'de % 15, 850 °C'de % 12, 900 °C'de % 9, 950 °C'de % 11, 1000 °C de ise % 10 civarındadır. Görüldüğü gibi bu artış oranı porozite değerlerindeki azalma oranından daha

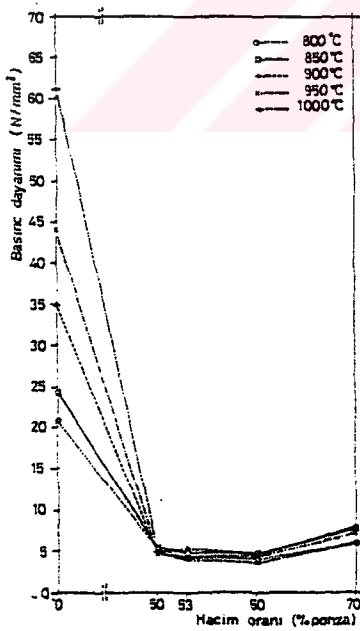


(a)

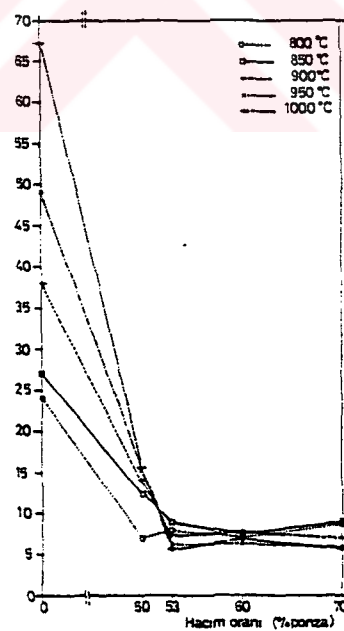


(b)

Şekil 5.77 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

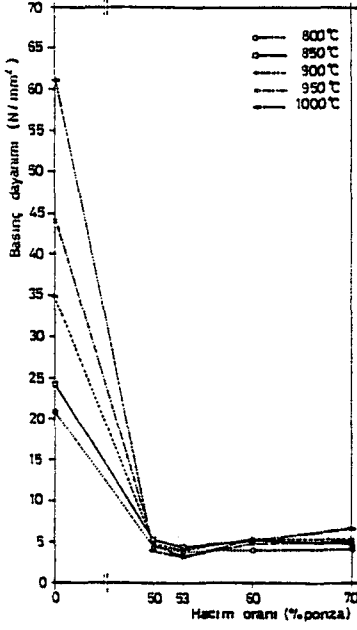


(a)

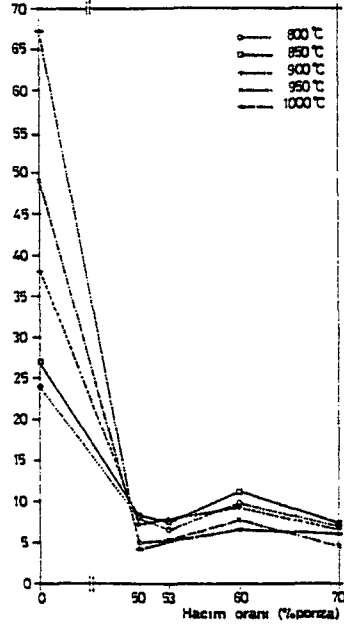


(b)

Şekil 5.78 2/2.36 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

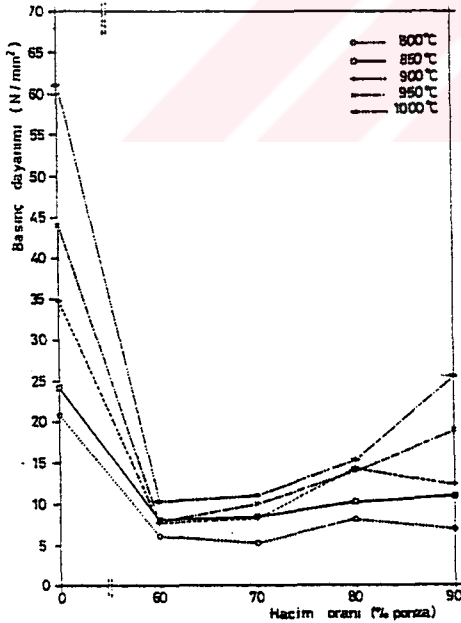


(a)

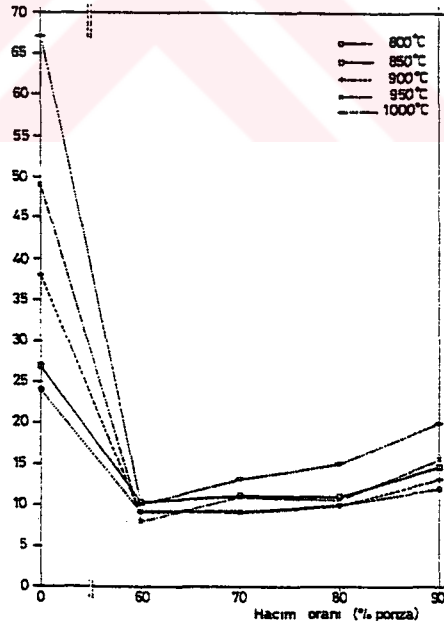


(b)

Şekil 5.79 2.36/3.35 Dane Çaplı Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı



(a)



(b)

Şekil 5.80 Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda Pişme Sıcaklığı ve Ponza Hacim Oranının Basınç Dayanımına Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

azdır, (bkz. bölüm 5.2.2.4.) ve pişme sıcaklığı artışından da fazla etkilenmemektedir.

Ponzalı tuğlalarda ise, özellikle Fuller'le üretilenlerde ve % 70, % 80 ve % 90 hacim oranlarında katkısız tuğlalar katkılılara göre daha yüksek değerler almışlardır. Diğer sıcaklıklarda genellikle katkılıların değerleri daha büyüktür. Bu sonuçlar ise, bu grubun diğer fiziksel deney verileri ile ve özellikle porozite değerleri ile uygunluk içerisindedir.

Tek tip dane çaplı ponzalardan (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35) üretilen tuğlalarda ise birkaç istisna hariç genelde katkılı tuğlaların basınç dayanımı değerleri katkısızlardan daha yüksektir.

3) Ponza Katkısının Etkisi

Ponza ilavesi ile birlikte oldukça yüksek mukavemete sahip olan ponzasız referans tuğlaların, bu değerlerinde özellikle tek tip dane çaplı ponzalardan (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35) üretilen tuğlalarda % 95 lere varan azalmalar olmuştur. Hatta bazılarında, 8.3 N/mm^2 olarak tesbit edilen, ponzanın tek başına sahip olduğu basınç dayanımı değerinden de daha düşük değerler aldığı görülmektedir (Tablo A.20). Bunun nedeni ise, kullanılan ponzanın çok köşeli olması ve Niederaula'nın [34] da belirttiği gibi, hafifletici maddenin, kuruma ve pişme sırasında kil matriksinin boy uzama ve kısaltmalarına uymaması ve böylelikle ponza ve matriks içerisindeki boşluklara ilaveten, rötire çatlaklarının da ortaya çıkarak bünyeyi zayıflatmasıdır.

Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda ise, ponza ilavesi ile basınç dayanımındaki azalma oranları daha az olmuş, gerek katkılılarda, gerekse katkısızlarda

en fazla azalma oranı % 83'lerde kalmıştır. Bu da, ince dane çaplı ponzaların kullanımıyla gerek rötire çatlaklarının ve gerekse iç yapı kusurlarının nispeten azaldığını göstermektedir.

Hatta bu grupta katkılı tuğlaların 850 °C den itibaren tamamının, katkısızların ise özellikle % 80 ve % 90 hacim oranlarında üretilenlerinin tamamının, basınç dayanımı değerleri, TS 705 [82]'de belirtilen benzer birim ağırlıktaki seyrek delikli tuğlaların hatta daha yüksek birim ağırlıklı dolu tuğlaların minimum değerlerinden, daha yüksek olmuştur.

4) Ponza Hacim Oranının Etkisi

Bütün gruplarda, pişme sıcaklığı ile basınç dayanımı arasında kurulamayan bire bir ilişkinin, burada hacim oranlarına göre değişimlerde Fuller parabolüne göre üretilen ve 1000 °C'de pişirilen katkılı numuneler hariç, birim yoğunluk ve porozite gibi diğer fiziksel özelliklerle benzer artış ve azalmalar gösteren bir eğriler bütünü oluşturdukları görülmektedir (Şekil. 5.77 — 5.80).

Bu açıdan bakıldığında, buradaki numunelerde de, iç yapı kusurlarının sıcaklık etkisini gidermesine karşılık, gene de porozite ve mukavemetler arasında muntazam ilişkiler olduğu kanıtlanmaktadır. Örneğin, bir hacim oranından diğer bir hacim oranına geçişte porozitesi artan bir numunenin, basınç dayanımı, oranları aynı olmasa bile azalmaktadır.

Aynı zamanda, literatürde de belirtildiği gibi, burada da, sadece porozitede değil, ultrases hızı ile basınç mukavemetleri arasında da, belli ilişkiler olduğu, [28, s.81] basınç mukavemetinin hacim oranlarına göre

değişimlerinin, ultrases hızının hacim oranlarına göre değişimleri ile benzer olduğu görülmektedir. Sadece daha öncede belirtildiği gibi Fuller parabolüne göre üretilen ve 1000 °C'de pişirilen numunelerde, % 60 hacim oranından % 70 hacim oranına geçişte porozitenin azalmasına paralel olarak ultrases hızı ve basınç dayanımı da artmış, fakat bu hacim oranından % 90 hacim oranına kadar artan porozite ve azalan ultrases hızına karşılık basınç dayanımı gene artmıştır. Diğer bütün karışımların hacim oranlarına göre ultrases, porozite ve basınç dayanımı değişimleri uygunluk içerisinde.

Bu grupların herbirinin değişen hacim oranlarına göre basınç dayanımlarının değişimi ise aşağıda özetlenmiştir :

1/2 dane çaplı grupta, katkısız tuğlalarda, saf tuğlalardan % 50 hacim oranına geçişteki ani azalmayı takip ederek, % 70 hacim oranına kadar oranları az da olsa, düzgün olarak basınç dayanımları azalmıştır. Bir başka deyişle, bu grupta Şekil 5.77 a da da görüldüğü gibi artan ponza miktarı ile basınç dayanımları azalmış ve dolayısı ile en yüksek değerler % 50 hacim oranında elde edilmiştir. Ancak gene de bu grupta ve diğerlerinin birçoğunda elde edilen basınç dayanımı değerleri TS 705 de [82] öngörülen değerlerin altında kalmaktadır.

Aynı gruptaki katkılılarda ise (Şekil 5.77 b) % 53 hacim oranında gene en yüksek değerleri veren bir pik noktası elde edilmiştir. Bu hacim oranındaki değerlerde, eğilme dayanımında olduğu gibi, fakat sadece % 80 ve % 90 hacim oranlarında Fullere göre üretilen katkılı ve katkısız tuğlalar ve 2/2.36, dane çaplı grupta % 50 hacim oranındaki katkılılar hariç, bütün sıcaklık derecelerinde diğer tuğlaların tamamından daha yüksek değerler vermişlerdir. Ayrıca bu hacim oranında TS 705 de [82]

belirtilen minimum basınç dayanımı değerleri de sağlanmıştır.

2/2.36 dane çaplı grupta katkısızlarda, % 50 hacim oranından % 60 hacim oranına kadar hafif bir azalma % 60 hacim oranından % 70'e geçişte ise bütün pişme sıcaklıklarında artış olmuş ve 1/2 dane çaplı gruptakilerin tersine en yüksek değerler % 70 hacim oranında elde edilmiştir (Şekil 5.78 a).

Bu gruptaki katkılılarda, Şekil 5.78 b den de görüldüğü gibi, değişen hacim oranlarına karşılık herbir pişme sıcaklığı ayrı bir davranış sergilemiştir. Bununla birlikte en yüksek basınç dayanımı değerleri 800 °C'de pişenler hariç % 50 hacim oranında elde edilmiştir ki bu değerler 1/2, 2/2.36, ve 2.36/3.35 olmak üzere tek tip dane çaplı ponzalarla üretilen tuğlalar içersinde de en yüksek basınç dayanımı değerleridir. Bu tuğlalarda da TS 705 de belirtilen benzer birim ağırlıktaki, hatta daha yüksek birim ağırlıklı dolu tuğlaların minimum değerlerinden daha yüksek değerler elde edilmiştir. Ancak bunların birim ağırlığı azaltma oranları ve daha önce belirtildiği gibi kılcallık katsayıları da diğerlerine göre daha azdır.

2.36/3.35 dane çaplı grupta katkısızlarda, % 53 hacim oranına kadar azalmalar olmuş, % 60 hacim oranında bu değerler artmış bu noktadan itibaren ise % 70'e geçişte basınç dayanımlarında pek bir değişiklik olmamıştır (Şekil 5.79 a). En yüksek değerler ise % 60 ve % 70 hacim oranında elde edilmiştir. Ancak bunlar gene de duvar tuğlalarında aranan en düşük basınç dayanımı değerlerini sağlayamamışlardır.

2.36/3.35 dane çaplı ponzalardan üretilen katkılı tuğlalarda ise, bütün pişme sıcaklıklarında şekil 5.79 a dan da anlaşılabacağı gibi en yüksek basınç dayanımı değerleri % 60 hacim oranında elde edilmiştir. Herbir pişme sıcaklığı eğrisinin artan hacim oranlarına karşılık değişiminin bir diğerinden çoğunlukla farklı olduğu da görülmektedir.

Fuller parabolüne uygun dağılımda ponzalardan üretilen katkısız tuğlalarda, 950 ve 1000 °C lerde artan ponza miktarı ile, basınç dayanımlarında belirgin artışlar olmuştur. 1000 °C de ve % 90 hacim oranındaki 25.7 N/mm² lik basınç dayanımı değeri ise tüm ponza katkılı numuneler içersinde elde edilen en yüksek değerdir. Ancak bu numunenin birim hacim ağırlığı da oldukça yüksektir (1.86 gr/cm³) ve referans tuğlaya göre sadece % 3 oranında bir azaltım sağlanmıştır. Bununla birlikte TS 705'e göre, birim ağırlığı 200 kg/m³ olan dolu tuğlaların sağlaması gereken basınç dayanımı değerinden bile daha yüksek değerler elde edilmiştir.

Bu grupta, Şekil 5.80 a dan da izlendiği gibi diğer sıcaklıklarda, 850 °C'de % 50 den %70 hacim oranına doğru hafif bir artış, 800 ve 900 °C'lerde ise % 60'dan % 70'e geçişte azalan, % 70'den % 80'e geçişte artan ve % 90'da tekrar azalan, hacim oranına karşılık doğrusal bir ilişkisi olmayan eğriler elde edilmiştir. Bu gruptaki bütün değerler % 60 ve % 70 hacim oranlarının düşük sıcaklıklardaki dayanımları hariç, duvar tuğlalarından beklenen değerleri sağlamışlardır.

Fuller parabolüne göre üretilen katkılı tuğlalarda da (Şekil 5.80 b) gene en yüksek değerler % 90 hacim oranında elde edilmiştir. Burada dikkat çeken bir nokta % 80 ve % 90 hacim oranlarında, 800 ve 850 °C'lerde katkısızlardan daha yüksek basınç dayanımına sahip

tuğlaların gene katkısızlara oranla birim hacim ağırlığı azaltmada daha etken oluşlarıdır. Bu tuğlaların basınç dayanımlarının kullanılabilmeleri açısından yeterli olmasının yanı sıra, birim hacim ağırlıklarındaki düşük değerler amaçlanan ponza katkılı hafif tuğla üretimi açısından umut vericidir. Şekil 5.80 b'nin incelenmesi ile de bu grupta bazı hacim oranlarındaki istisnalar hariç, genel eğilimin ponza hacim oranı arttıkça, basınç dayanımının da artması şeklinde ortaya çıktığı görülmektedir.

Bütün bu değişik ponza dane çaplı grupların incelenmesi ile sonuçta, birim hacme giren ponza miktarının değişimine karşılık, basınç dayanımındaki değişimlerde, sadece Fuller parabolüne göre üretilenlerde düzgün bir dağılım olduğu, ince daneli ponzaların varlığı ile bunların basınç dayanımlarının artan ponza miktarları ile arttığı görülmüştür. Diğer gruplarda ise hacim oranı ve basınç dayanımının değişimi arasında bir paralellik olmadığı, sadece birim yoğunluk, porozite, ultrases hızı gibi özelliklerdeki ilişkilerin korunduğu görülmektedir. Aslında teorik olarak artan ponza hacim oranı ile basınç dayanımında bir azalma beklenmektedir. Ancak bu bağıntı diğer özelliklerde de kurulamamış, üretim aşamasında kontrol edilemeyen değişimler bu numunelerin değişen ponza hacim oranları karşısındaki özelliklerinin değişimi üzerinde etken olmuşlardır.

5.2.3.3. Pişme Sıcaklığı, Deflokulan ve Ponza Katkısının, Dinamik Elastisite Modülüne Etkilerinin Değerlendirilmesi ve İrdelenmesi

Tablo A.18 den de görülebileceği gibi, ses hızının ölçülmesi ile hesaplanan Elastisite Modülleri, birim hacim ağırlığın ve ses hızının fonksiyonu olmalarından dolayı, gerek deflokulan ve ponza katkısı ve gerekse

pişme sıcaklığı etkisi altında ses hızı ile tamamen aynı değişimleri göstermişlerdir. Ayrıca bu araştırmada, basınç deneyi vasıtası ile hesaplanan elastisite modülleri (Ed) (Tablo A.21) ile ultrases hızı (Eu) ve rezonans frekanslarının bulunması ile elde edilen E modülleri (Er) arasında çok büyük farklılıklar tespit edilmiştir. Özellikle betonlar üzerinde yapılan muhtelif araştırmalarda aynı betonun Eu değerlerinin Ed den ve Er den daima daha büyük değerler aldığı belirtilmiştir [74, s.227]. Ancak burada, üç ayrı metodla elde edilen E Modüllerinin (Tablo A.16, A.18, A.21) mukayesesinde Eu ve Er'nin arasında çok büyük farklılıklar olmamakla birlikte Ed ile Eu ve Er arasında ponzasız numuneler dahil olmak üzere ve her zaman Ed daha küçük olarak, % 100'e varan değişimler elde edilmiştir.

Tuğlalar üzerinde yürütülen bazı testlerde rezonans frekanslarının ölçümü metodunun dinamik elastiklik modülünün tayininde başarı ile kullanıldığı belirtilmektedir. Bununla birlikte, bu sonucun, oldukça homojen malzemeler, örneğin preslenmiş tuğlalar veya kiremitler için pozitif olduğu, ayrıca, genellikle, basınç mukavemetlerinde geniş istatistiksel değişimler olan ürünlerde, basınç mukavemetlerinde az değişimler olan ürünlere göre daha başarılı olduğu da vurgulanmaktadır [76]. İçinde önemli boşluğu bulunan beton, taş ve benzeri cisimlerin E modüllerinin birbirinden farkettiği, ve bu tahribatsız metodların boşluksuz veya çok az boşluklu tuğlalara uygun olduğu da literatürde belirtilmektedir [74, s.228], [75].

Bu araştırmada üretilen ponzalı numunelerin de çok boşluklu ve çatlaklı oldukları göz önüne alındığında değişik metodlarla elde edilen elastiklik modülleri arasında farklılıklar olması normal gözükmemektedir. Bu nedenle burada, gerek ultrases hızı ve gerekse rezonans

frekansları ile elde edilen E_u ve E_r değerleri üzerinde durulmayacak, sadece E_d 'nin ponza , deflokulan ve sıcaklık etkisi ile değişimleri incelenecektir.

Basınç deneyi ile bulunan E_d değerlerinin Tablo A.21 vasıtası ile incelenmesi ile elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

. Bu yöntemle bulunan elastisite modülleri, ponza katkısızlar dahil olmak üzere, genellikle çok küçük değerler vermektedirler.

. Bunun yanısıra, duvar tuğlaları için böyle tahribatlı bir deneyle tesbit edilen elastisite modülleri hakkında, literatürde gerek referans olabilecek, gerekse de sınırlayıcı değerler bulunamamıştır. Sadece standartların $E = 1000 \cdot \sigma_b$ bağıntısını önerdikleri belirtilmektedir [7, s.118]. Bu değere de, bu çalışmada üretilen tuğlalarla, ultrases hızı ve rezonans frekansları yöntemiyle elde edilen E modülü değerleriyle bile ulaşılamamıştır.

. Pişme sıcaklığının artışı ile Fuller parabolüne göre üretilen tuğlaların E modüllerinde düzgün bir artış görülmemektedir. Bunun yanında tek tip dane çaplı ponzalarla üretilen tuğlalarda (1/2, 2/2.36, 2.36/3.35) çoğunlukla pişme sıcaklığı arttıkça, elastisite modülü değerleri de artmıştır. Bu nedenle, üretilen tuğlalarda, pişme sıcaklığının elastisite modülünü etkileme biçimi ile basınç dayanımını etkileme biçiminin birbirine benzediği söylenemez.

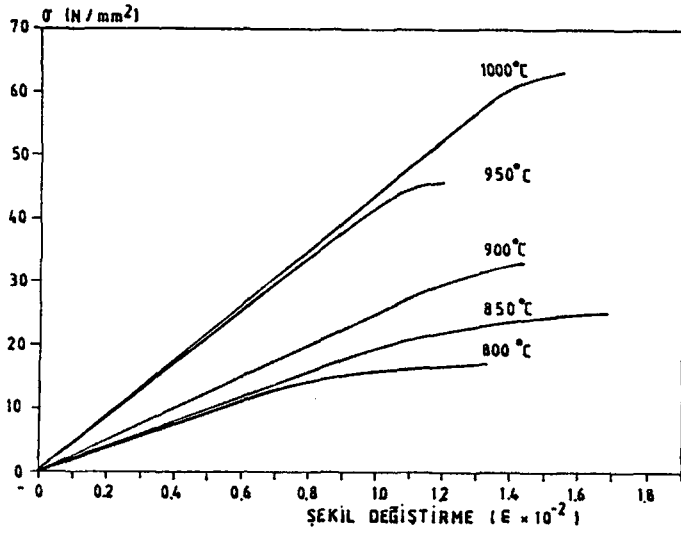
. Gerek katkılı, gerekse katkısız bütün ponzalı tuğlaların E modülleri, referans ponzasız tuğlalara göre azalmıştır. Ancak bu azalma oranının, basınç dayanımındaki azalma oranından çok daha az olduğu da

görülmektedir. Hatta 950 °C de katkılı numunelerde, hem Fuller parabolüne göre ve hem de tek tip ponzalarla üretilenlerle, referans tuğlaya yakın değerler elde edilmiştir. 2/2.36 dane çaplı grupta % 50 hacim oranında elde edilen değer de bu sıcaklıkta elde edilen değerlerin içerisinde en yükseğidir. Zaten bu numunenin basınç dayanımı değerlerinin de oldukça yüksek olduğu daha önceki bölümlerde görülmüştü. Ancak bu sıcaklıktaki referans tuğlanın E_d modülünün, diğer sıcaklıklarda elde edilenlerden daha düşük olduğunu da göz önünde bulundurmak gerekir. Çünkü katkısız referans tuğlalarda sıcaklık artışı ile E_d 'de muntazam bir artış görülürken, katkılılarda, 900 °C'ye kadar artan E_d modülü, 950 °C de azalmış, 1000 °C'de tekrar artmıştır.

. Bütün ponzasız numunelerde, hem katkılılarda, hem de katkısızlarda, özellikle 950 ve 1000 °C lerde ani ve gevrek kırılma meydana gelmiştir. Şekil 5.81'de katkısız referans tuğlanın gerilme-şekil değiştirme diyagramından da görüldüğü gibi, artan sıcaklıklarla doğrunun eğimi gittikçe artmakta ve plastik şekil değiştirme olmaksızın kırılma meydana gelmektedir.

. Deflokulan katkısının etkisi, burada da gözlenmiş, bazı istisnalar hariç katkılı numunelerin değerleri, katkısızlardan daha yüksek olmuştur. Ancak 950 °C de ponzasız referans tuğlalarda, katkısızlarda, katkılılara oranla oldukça daha yüksek değerler elde edilmiştir.

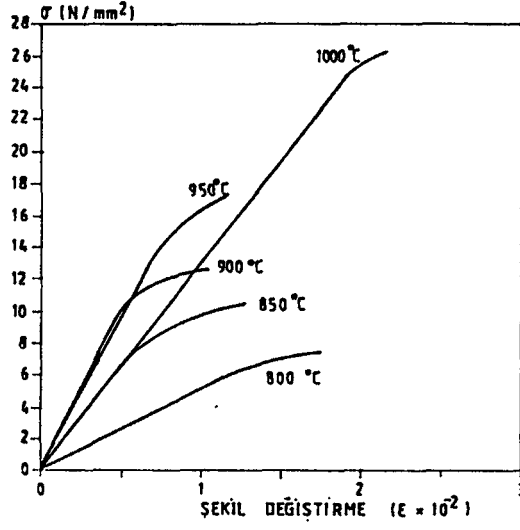
. Fuller parabolüne göre üretilen numunelerde ise, özellikle % 90 hacim oranında, gerek birim ağırlıkta ve gerekse basınç dayanımlarında daha yüksek değerler veren ve porozitesi diğerlerine göre oldukça düşük olan numunenin, E modülü değerleri aynı hacim oranındaki katkılılardan daha düşük çıkmıştır. Bu da gevreklik ve tokluk değerlerinin de incelenmesi ve değerlendirilmesi



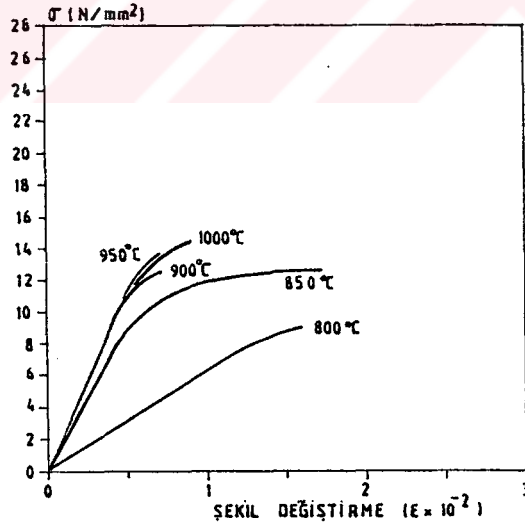
Şekil 5.81. Katkısız Referans Tuğlaların Gerilme-Şekil Değişirme Eğrileri

gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şekil 5.82'de bu numunenin gerilme-şekil değişirme diyagramı görülmektedir. Bu diyagramdan da görüldüğü gibi pişme sıcaklığı artışına paralel olarak E modülü 900 °C ye kadar artmış, bu noktadan itibaren de azalmaya başlamıştır. Halbuki aynı numunenin basınç dayanımı değerleri pişme sıcaklığı arttıkça artmış ve 1000 °C de ponza katkılı numuneler içersinde en yüksek değer olan 25.71 N/mm² elde edilmiştir. Bu da 950 ve 1000 °C lerde pişirilen numunenin yüksek basınç mukavemetine karşılık, şekil değiştirmelerinin de arttığını göstermekte ve yukarıda belirtilen fakat bu tezin kapsamına alınmayan diğer unsurların ve malzeme sabitlerinin de incelenmesi gerektiğini yinelemektedir.

. Şekil 5.83 'de % 90 hacim oranlı katkılı tuğlaların gerilme-şekil değişirme diyagramları görülmektedir. Bu grupta 900 °C hariç artan pişme



Şekil 5.82 % 90 Hacim Oranında Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen katkısız Tuğlaların Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramı

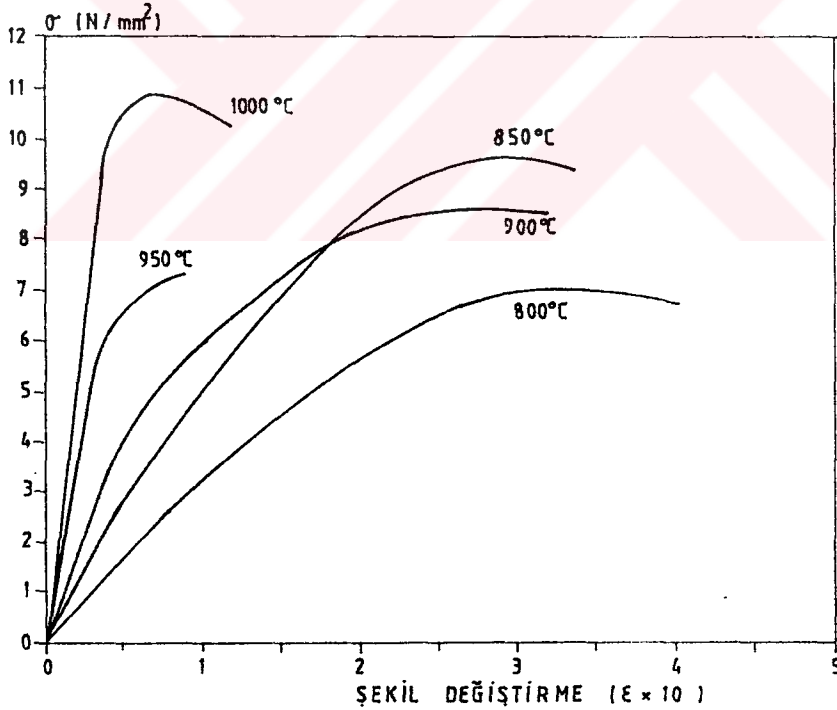


Şekil 5.83 % 90 Hacim Oranında Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Katkılı Tuğlaların Gerilme-Şekil Değişirme Diyagramı

sıcaklığıyla basınç dayanımları ve E modülleri artmıştır.

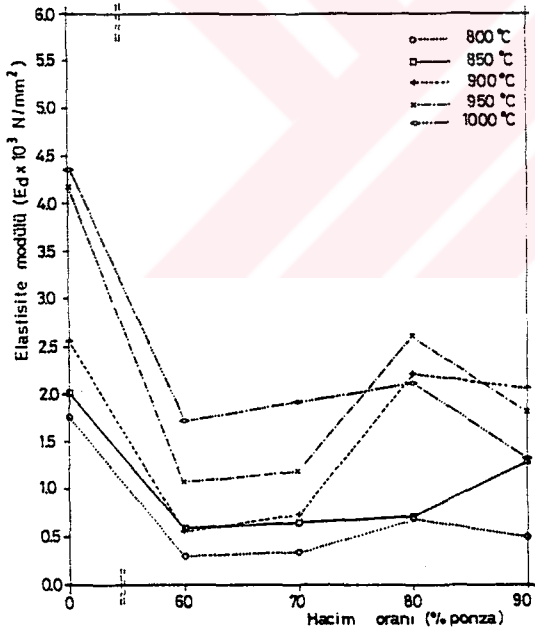
. Tek tip dane çaplı ponzalarla ve Fuller parabolüne göre % 60 ve % 70 hacim oranlarında üretilen tuğlalarda, % 80 ve % 90 hacim oranlarına ve ponzasız tuğlalara göre plastik şekil değiştirmenin arttığı görülmektedir (Şekil 5.84).

. Ponza hacim oranındaki değişimlere göre, tek tip dane çaplı ponzalardan üretilen tuğlalarda gene belirgin bir artış ve azalma olmamaktadır. Ancak gene de basınç dayanımı en yüksek olan numunede elastisite modülünün de en yüksek değeri verdiği görülmektedir (Tablo A.20, A.21).

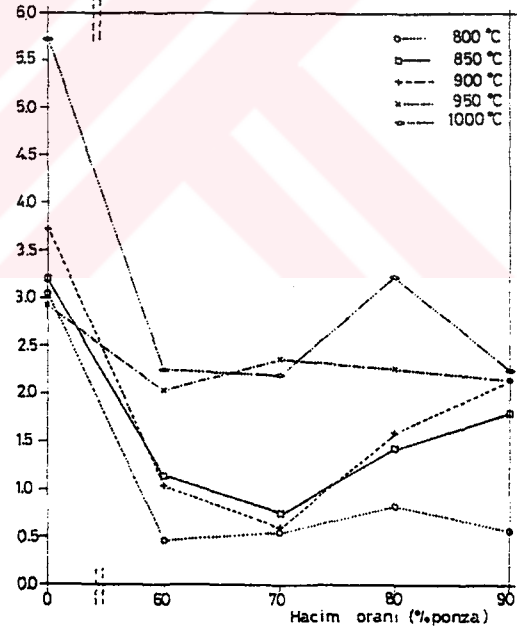


Şekil 5.84. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla % 50 Hacim Oranında Üretilen Katkılı Tuğlaların Gerilme-Şekil Değiştirme Diyagramı

. Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda artan hacim oranlarına karşılık basınç dayanımlarının genel eğiliminin artma şeklinde olduğu belirtilmişti. Elastisite modüllerinde ise bu özellik katkısızlarda Şekil 5.85 a dan da görüldüğü gibi 950 ve 1000 °C lerde ortadan kalkmış durumdadır. 800 850 ve 900 °C nin eğrileri ise, artış oranları aynı olmamakla birlikte basınç dayanımının ponza hacim oranlarına göre değişimi ile aynı özellikleri göstermektedir. Bu gruptaki katkılarda ise, sadece 900 °C de hacim oranlarına karşılık basınç değerlerinin değişimi ile benzer değişimler izlenmektedir (Şekil 5.85 b).



(a)



(b)

Şekil 5.85. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalarda, Ponza Hacim Oranı ve Pişme Sıcaklığının E_d Modülüne Etkisi (a) Katkısız (b) Katkılı

BÖLÜM 6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada ponzataşı hafif agregasının tuğla kiline ilavesi ile, tuğlanın özellikle termik özelliklerinin geliştirilerek yapı fiziği kalitesi iyileştirilmiş hafif, bölme ve dış duvar malzemesi üretim olanaklarının araştırılması amaçlanmış ve bu doğrultuda elde edilen ürünler üzerinde bazı fiziksel mekanik ve mikroyapıya yönelik incelemeler yapılmıştır. Ponza katkısı ile hafif tuğla üretimi yurdumuzda daha önce hiç denenmemiş olduğundan üretim aşamasında da kil ve ponzanın birlikteliğın doğacak dezavantajları ortadan kaldıracılamak için bunların herbirinin tek tek özelliklerine dayanarak bazı kabuller yapılmıştır. Ürünler üzerinde yapılan deneylerde de bu ürünün niteliklerinin daha da iyileştirilebilmesi ve ileriki çalışmalara ışık tutabilmemesi açısından özellikle boşluk yapıları ve diğer fiziksel ve mekanik özellikleri arasında ilişkiler kurulmaya çalışılmıştır.

Gerek üretim aşamasında ve gerekse ponza katkılı ürünler üzerinde yapılan deneylerden elde edilen başlıca sonuçlar ve yapılan öneriler aşağıdaki gibi gruplanarak özetlenmiştir :

- 1) Üretim aşamasından elde edilen sonuçlar ve uyulmasında yarar görülen hususlar

. Gerek orjinal ponzasız tuğlanın ve gerekse de ponza katkılı tuğlaların birim yoğunluğunu bir miktar artırmalarına karşılık, diğer özelliklerdeki olumlu sonuçlarından ve kilin hazırlanma sürecini kısaltarak hem kolaylık hem de hız kazandırdıklarından dolayı üretim aşamasında deflokulan kullanmanın yararı vardır. Ancak

ponzasız numunelerde siyah redüksiyon bölgeleri oluşturdukları için sadece dışa açık boşluk oluşturacak katkılarla yapılan üretimlerde veya buradaki gibi ponza katkılı tuğla üretiminde kullanılacak kile katılmaları daha uygundur.

. Kilin suyunu emmemesi için ponzaya önceden yeterli miktarlarda su ilave edilmesi gereklidir. Aksi takdirde kilin suyu hızla çekilir ve kil kütlesi çok kuru ve sert bir hale gelir.

. Şekillendirme aşamasında ortaya çıkan laminasyonların minimize edilmesi ve bunların pişmiş ürünlerin özellikleri ve kalitesi üzerindeki olumsuz etkilerinin giderilmesi için, ekstrüzyon hızının, basıncının ve filyer eğiminin kontrol edilebilir nitelikte olması gereklidir.

2) Fiziksel, Mekanik ve Mikro Yapı Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

. Üretilen bütün ponza katkılı ve ponzasız tuğla serilerinin, fiziksel özelliklerinin pişme sıcaklığının değişmesi karşısındaki davranışları benzerdir. Pişme sıcaklığı arttıkça, rötire, birim hacim ağırlık ve ultrases hızı artmakta, normal ve kaynatarak su emme değerleri ve porozite azalmaktadır. Kılcallık ve kılcal su emme ise tek tip dane çaplı ponzalarla üretilenlerin tamamında ve Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalarla üretilen tuğlaların birçoğunda, pişme sıcaklığı artışı ile birlikte artmaktadır. Bununla birlikte katkılı ponzasız tuğlalarda ve % 90 hacim oranında Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda da görüldüğü gibi, pişme sıcaklığı artışı ile, camlaşma ve bunun sonucunda kılcal boşlukların büyük bir kısmının kapanması ile kılcallık azalabilmektedir. Bazen de malzeme bünyesinde bulunan

boşluklar erime ile tamamen kapanmayarak incelmekte ve kılcallık artmaktadır. Sonuçta kılcallık ve kılcal su emmenin sadece pişme sıcaklığına ve buna bağlı olarak poroziteye değil, boşluk yapısının geometrik şekline ve büyüklüğüne de sıkı sıkıya bağlı olduğu MIP ve SEM incelemeleri ile de anlaşılmıştır.

. Elektron mikroskobu ile yapılan incelemelerde, ponza katkısı ile tuğla bünyesinde oluşan boşlukların daha çok ponza ve matriks arasında ve ponzanın boşluklarına giren kilin pişme sırasında büzülmesi nedeniyle ortaya çıkan dairesel, çoğu zaman sürekli ince ve kılcal boşluklar şeklinde geliştiği görülmektedir.

. Civalı porozimetre ölçümlerinde ise, pişme sıcaklığının ve ponza katkısının boşlukların büyüklüğünde ve bunların toplam görünür boşluğu oranla boşluk çapı dağılımında etken olduğu belirlenmiştir: Ponza katkısı ile ve pişme sıcaklığının artmasıyla, boşluk büyüklük dağılımı, büyük boşluk çaplarına doğru değişim göstermektedir.

. Üretim hatalarından doğan iç yapı kusurları nedeni ile 1/2, 2/2, 36, 2.36/3.35 mm çaplı ponzalardan üretilen tuğlalarda pişme sıcaklığının mekanik dayanımları üzerinde etkisi kalmamıştır. Bununla birlikte gene de basınç dayanımları ile birim yoğunluk ve ultrases hızı arasında doğru bir orantı, porozite ile de ters bir orantı olduğu doğrulanmıştır. Ponza katkısız ve birkaç istisna dışında Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalarla üretilen tuğlalarda ise basınç dayanımı, pişme sıcaklığının artışına paralel olarak artmıştır.

. Deflokulan ve ponza katkısının katkısız tuğlaların özellikleri üzerindeki etkileri ise birbirlerinden tamamen farklıdır. Deflokulan katkısı kil

kütlesinin pişme sırasında erimesine ve camlaşmasına neden olmakta, böylelikle pişmiş ürünün birim hacim ağırlığı, ultrases hızı ve basınç dayanımları artmakta, porozite azalmaktadır. Ponza katkısı ile ise, deflokulan katkılı ve katkısız tuğlanın dışa açık boşlukları, boşluk büyüklükleri, porozitesi ve ısı yalıtkanlığı artmakta, birim yoğunluğu ve mekanik dayanımları azalmaktadır ki bu da beklenen ve çalışmanın başında da avantaj ve dezavantajları kabul edilen bir gelişimdir.

. Isı iletkenlik katsayılarında ise, denenen numune sayısının yeterli düzeyde olmamasından ve üretim değişikliğinden dolayı, diğer fiziksel özelliklerle ilişkiler kurulamamış, ancak ponza katkısız tuğlalara oranla, amaçlanan iklimatik konfor ve termal yalıtım özelliklerinde yeterli bir gelişme sağlanmıştır.

Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalarla üretilen tuğlalarda 104 μ m den küçükler de dahil olmak üzere ince dane çaplı ponzaların etkisi ile ponza hacim oranı arttıkça birim yoğunluk, ultrases hızı ve mekanik dayanımlar artmakta, porozite ve su emmeler azalmaktadır. Bu etki katkısız tuğlalarda daha belirgindir. Katkılı tuğlalarda ise hacim oranının artışı ile birlikte fiziksel özellikler ve eğilme dayanımı fazla değişmemekle birlikte, basınç dayanımında belirgin artışlar olmaktadır.

3) Genel sonuçlar

Bu çalışmadan elde edilen ve ponza ve deflokulan katkılı tuğlaların uygulanabilirlikleri açısından geçerli olabilecek genel sonuçlar şunlardır ;

. Tek tip dane çaplı ponzalarla (1/2, 2/2,36, 2,36/3.35) üretilen deflokulan katkısız tuğlaların, tuğlayı hafifletmede diğerlerine göre daha başarılı olmalarına karşılık, bunların birçoğu, bir duvar tuğlasının sahip olması gereken basınç dayanımı değerlerini sağlayamamıştır. Bu nedenle bu tuğlaların kullanımı ancak deflokulan katkısı ile mümkün olabilmektedir. Aynı üretim koşulunda, deflokulan katkılı tuğlalarda ise yüksek pişme sıcaklıklarında basınç dayanımlarının genellikle düşmesi nedeni ile optimum pişme sıcaklığı 850 °C olarak saptanmıştır.

. Bütün bunların yanısıra, birim ağırlık ve ısı iletkenliği azaltmada tek tip dane çaplı ponzalarla üretilen tuğlalara yakın değerler veren, Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalarla % 60 ve % 70 hacim oranında üretilen tuğlaların kullanılması basınç dayanımlarının da daha güvenilir limitlerde olması açısından tercih edilmelidir. Zaten bütün grupta istenen iklimatik konforu ve hafifliği sağlayabilecek birim yoğunluk ve ısı iletkenlik değerleri ancak 900 °C ve daha düşük sıcaklıklarda elde edilebilmiştir. Bu açıdan da Fuller parabolüne göre üretilen tuğlalarda gerek katkılarda ve gerekse katkısızlarda bütün hacim oranlarında 850 °C hafiflik, ısı iletkenlik ve basınç dayanımları arasında denge konumunu oluşturmaktadır.

. % 80 ve % 90 hacim oranında Fuller parabolüne uygun dağılımdaki ponzalardan hazırlanan tuğlalarla ve 950 ve 1000 °C gibi yüksek sıcaklıklarda pişirme ile birim hacim ağırlıkta az bir azalmaya karşılık, yüksek dayanımlı, ponza katkısız tuğlalardan dahi daha düşük poroziteye ve su emmeye sahip tuğla üretimi mümkün olmaktadır. Bu özellikteki tuğlaların kullanımı, kullanım yerinin de doğru olarak seçimi ile, yurdumuzda bol

miktarda bulunan ponza taşının ve özellikle ince daneli ponzaların değerlendirilmesi açısından, yararlı olacaktır.

. Sonuçta görülmektedir ki, ponza katkısı ile gelen düşük dayanımlar , deflokulan katkısı ve değişik boyutlardaki ve özellikle 0.5 mm den küçük dane çaplı ponzaların da kullanılması ile arttırılabilmektedir. Böylelikle kile katılan ponza boyut dağılımını değiştirmek ve deflokulan kullanmak suretiyle, basınç dayanımları da kontrol altına alınmış, hafif ve termal yalıtım özellikleri geliştirilmiş tuğla üretimi mümkün olmaktadır. Kullanma yerinin gerektirdiği mekanik ve fiziksel niteliklerde, değişik seçenek olanakları da ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçları gözönüne alarak ileride aşağıdaki araştırmaların yapılması uygun olacaktır.

. Fuller parabolüne uygun ponzalarla üretilen tuğlalarda birim hacim ağırlıkta genel eğilimin ponza hacim oranı arttıkça artması şeklinde geliştiği için % 60 dan daha az ponza hacim oranları da denenmelidir.

. Tek tip dane çaplı ponzalarla üretimde, dane çapı etkisinin daha belirgin olarak ortaya konabilmesi için standartlara uygun bir elek düzeni ile üretimler denenmelidir.

. Gerçek ısı iletkenlikleri belirleyebilmek için ekstrüzyonla şekillendirilmiş numuneler üzerinde daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

. Dinamik elastisite modülünün tayininde ise, rezonans frekansları ve ultrases hızı yönteminin boşluklu pişmiş kil ürünlerine uygun olmadığı görülmüştür. Pişmiş toprak malzemenin taşıyıcı döşeme elemanı olarak kullanıldığı durumlarda ise deprem karşısındaki davranışlarının daha iyi belirlenmesi için gevrekliğin ve elastisite modüllerinin yanısıra poisson oranı gibi diğer sabitlerin de belirlenmesi önem kazanmaktadır. Bu nedenlerle bu konunun, daha detaylı çalışmalarla araştırılması gerekmektedir.

. Kompozitler hakkındaki çalışmaların çoğu beton gibi pişme işlemine tabii tutulmayan malzemelere uygundur. Katkılı, kompozit pişmiş kil ürünlerinin de benzer teorilere oturtulması imkanlarının daha ileriki çalışmalarla araştırılması önerilebilir.

KAYNAKLAR

- [1] BUDWORTH, D.W. An Introduction to Ceramic Science, Pergamon Press, Oxford, 1970.
- [2] NIEMANN, R., Pollution-Free Core-Forming of Bricks and Bloks with Perlite, ZI, Ziegelind. Int., Vol.43, No.4, pp.222-232, 1990.
- [3] KINGERY, W.D., Introduction to Ceramics, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1963.
- [4] ONARAN, K., Malzeme Bilimi, Çağlayan Basımevi, Istanbul, 1985.
- [5] VAN VLACK, L.H., Malzeme Bilimine Giriş, Çeviren: SAFOĞLU, R.A., Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Istanbul, 1972.
- [6] TOYDEMİR, N., Pişmiş Toprak Yapı Malzemesinin Rasyonel Üretim Olanaklarının Araştırılması, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Doçentlik Tezi, İ.T.Ü. Matbaası, Istanbul, 1978.
- [7] AKMAN, S., Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, Istanbul, 1990.
- [8] GRİM, R.E., Clay Mineralogy, Mc Graw-Hill, New York, 1953.
- [9] NICHOLLS, R., Composite Construction Materials Handbook, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1976.
- [10] MCCOLM, I.J., Ceramic Science for Materials Technologists, Leonard Hill, New York, 1983.
- [11] RATZENBERGER, H., The Influence of the Mineralogical Composition of Structural Ceramics and Heavy Clay materials on Kiln Scumming and Efflorescence, ZI, Ziegelind, Int., Vol.41, No.2-3, pp. 99-105, 1988.
- [12] RATZENBERGER, H., Causes and Methods of Determining the Drying Sensitivity of Raw Materials for Structural Ceramics and Heavy Clay Products, ZI, Ziegelind. Int., Vol.39, No.10, pp.535-540, 1986.

- [13] GALAL, A.F., ABDEL-Wahed M.G., EL-DIDAMONY H.,
Effect of the Mineralogical Composition of
Shale/Clay on the Physical Properties of
Building Bricks, Sprechsaal, Vol.118, No.7,
pp.621-624, 1985.
- [14] TOYDEMİR, N., Seramik Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü.
Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul,
1991.
- [15] STEFANOV, S., The Use of Industrial Wastes in the
Brick and Tile Industry, ZI, Ziegelind.Int.,
Vol.39, No.3, pp.137-141, 1986.
- [16] RATZENBERGER, H., Possibilities for Reducing the
Drying Sensitivity of Ceramic Raw Materials,
ZI, Ziegelind. Int., Vol.39, No.11, pp.594-599,
1986.
- [17] GÖBEL, K., Building Material with Tradition-
Lightweight, Vertical Coring Clay Bricks Based
on Over 100 Years' Experiences, ZI, Ziegelind,
Int., Vol.40, No.11, pp.544-547, 1987.
- [18] KÖHLER, A., Use of Industrial Wastes with
Combustible Components in the Brick and Tile
Industry, ZI, Ziegelind. Int., Vol.41, No.9,
pp.441-445, 1988.
- [19] TAUBER, E., Pepplinkhouse H.J. and Crook, D.N.,
Lightweight Ceramics, Australian Ceramic
Society, Vol.10, No.1, pp.12-15, 1974.
- [20] KOLKMEIER, H., Possible Alternatives for Obtaining
Porosity of Masonry Brick, ZI, Ziegelind. Int.,
Vol.42, No.4, pp.192-197, 1989.
- [21] ISENHOUR, C.T., Sawdust Addition to a Shale Body,
American Ceram. Soc. Bull., Vol.58, No.12,
pp.1197-1198, 1979.
- [22] HEUTER, J., Treutlein, G., Potential Applications of
Lignite Products in the Brick and Tile
Industry, ZI, Ziegelind. Int., Vol.39,
No.3, pp. 115-122, 1986.
- [23] MÜLLER, K., BETTZIECHE, H., und WEIMAR, S.H.,
Einpressen Fester Brennstoffe in
Grobkeramische Massen zur Substitution
Hochwertiger Brennstoffe und Verbesserung
der Erzeugniseigenschaften, Sprechsaal,
Vol.117, No.1, pp. 25-29, 1984.

- [24] BERETKA, J., The Utilization of Industrial Wastes and By-Products in the Ceramic Industry, Journal of the Australian Ceram. Soc., Vol.11, No.2, pp. 25-29, 1975.
- [25] PAULS, N., Composition and Reduction of Low-Temperature Carbonization Gases in the Production of Lightweight Bricks, Zi, Jahrbuch/Zi-Annual, 1987-88 (annual), pp.19-28, 1987.
- [26] JUNGE, K., A New Concept for the Reduction of Low-Temperature Carbonization Gases in Brick Firing ZI, Ziegelind. Int., Vol.39, No.4, 187-194, 1986.
- [27] JUNGE, K., The Solution to the Low-Temperature Carbonization Gas Problem in Lightweight Brick Production, Zi-Jahrbuch/Zi-Annual, 1987-88 (annual), pp.29-35, 1987.
- [28] KARAGÜLER, M., Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, Temmuz, 1988.
- [29] KARADAĞ, N., Diatomit Katkısı ile Tuğla Eldesi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Haziran 1989.
- [30] EENGELTHALER, Z., and ENGELTHALER, K., Principles of the Production of Refractory Light-Weight Bricks by the Foaming Method, Interceram. Vol.16, No.1, pp. 57-68, 60, 1967.
- [31] JUNGE, K., Production of a High-Grade, Fine-Porous Brick Material, ZI, Ziegelind. Int., Vol.39, No.3, pp. 152-153, 1986.
- [32] OKONGWU, D.A., Effects of Additives on the Burnt Properties of Clay Brick, Am. Ceram. Soc.Bull, Vol.67, No.8, pp. 1409-1411, 1988.
- [33] OKONGWU, D.A. and PARANTHAMAN, V., Effect of Particle Size of Coal Additive on the Burnt Properties of Clay Brick, Am. Ceram. Soc.Bull., Vol.68, No.11, pp. 1963-1966, 1989.
- [34] NIEDERAULA, G.Z., Die Auswirkung Verschiedener Porosierungsmittel auf die Druckfestigkeit von Mauerziegeln, Sprechsall, Vol.117, No.4, pp. 310-313, 1984.

- [35] MÖRTEL, H., DISTLER, P., Use of Fly Ash in the Production and Process Optimization of Backing Bricks, Part 1, ZI, Ziegelind. Int., Vol.44, No.8, pp. 424-428, 1991.
- [36] MÖRTL, H., DISTLER, P., Use of Fly Ash in the Production and Process Optimization of Backing Bricks, Part 2, ZI, Ziegelind. Int., Vol.44, No.9, pp. 464-470, 1991.
- [37] CARTER, G.W., CONNOR, M.A., MANSELL, D.S., Properties of Bricks Incorporating Unground Rice Husks, Building and Environment, Vol.17, No.4, pp. 285-291, 1982.
- [38] RAHMAN, M.A., Effect of Rice Husk Ash on the Properties of Bricks Made from Fired Lateritic Soil-Clay Mix, Materials and Structures, Vol.21, No.123, pp. 222-227, 1988.
- [39] SCHMIDT, H., Mineralische Zuschlagstoffe, Sprechsaal, Vol.110, No.9, pp. 536-542, 544, 1977.
- [40] SABRAH, B.A. and EBIED, E.A.M., Effect of Fineness of Sand on the Ceramic Properties of Clay- Sand Brick, Am. Ceram Soc.Bull., Vol.65, No.5, pp. 759-762, 1986.
- [41] YOUNES, A.E., GALAL, A.F. and EL-DIDAMONY, H., Thermal Properties of Shale Clay Bricks, Sprechsaal, Vol.117, No.4, pp. 306-309, 1984.
- [42] MANNS, W., SCHNEIDER, H. and EICHLER, W., Potentialities for the Utilization of Metal hydroxide Slurry for Masonry Brick Production, ZI, Ziegelind. Int., Vol.29, No.3, pp.110-126, 1977.
- [43] ORTELLI, G. and VINCENZINI, P., Reduction of Efflorescence in Brick Through Addition of Ceramic Sludges, Am. Cer. Soc. Bull., Vol.63, No.8, pp.1025-1029, 1984.
- [44] TAUBER, E. and MURRAY, M.J., Glass-Clay Mosaics and Tiles, Journal of the Aust. Ceram, Soc., Vol.7, No.2, pp.47-51, 1971.
- [45] BERETKA, J. and BROWN, T., The Utilization of Manganiferous Industrial Wastes and By-Products in the Manufacture of Coloured Bricks, Journal of the Aust. Ceram. Soc., Vol.10, No.1, pp. 4-7, 1974.

- [46] CULLITY, B.D., X-Işınlarının Difraksiyonu, Çeviren:SÜMER, A., Teknik Üniversitesi Matbaası, İstanbul, 1966.
- [47] JOUENNE, C.A., Traite de Ceramiques et Materiaux Mineraux, Paris, 1975.
- [48] ANONİM, Türk Standardı, TS 4790, Tuğla ve Kiremit Topraklarının Deney Metodu, UDK 666. 3/7 : 620.1, Ankara, Nisan 1986.
- [49] ANONİM, Türk Standardı, TS 699, Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metodları, UDK 691.2, Ankara, Mart 1978.
- [50] MACKENZIE, K.J.D., CARDILE, C.M., A Fe^{57} Mössbauer Study of Black Coring Phenomena in Clay-Based Ceramic Materials, Journal of Materials Science, Vol.25, No.6, pp.2937-2942, 1990.
- [51] BROWNELL, W.E., Black Coring in Structural Clay Products, Journal of the Am. Ceram. Soc., Vol.40, No.6, 1957.
- [52] HOUSEMAN, J.E., PERKINS, R.A. and KOENIG, C.J., Combating Black Coring In Ceramic Bodies With Chemically Combined Water, Am. Ceram. Soc. Bull, Vol.47, No.12, pp. 1138-1145, 1968.
- [53] FISCHER, P., EPSTEIN, B., PROFF, R., Directional Effects in Extruded Clay Ceramics, ZI, Ziegelind. Int., Vol.39, No.9, pp. 488-495, 1986.
- [54] EMMEL, R., Procedure for Obtaining Uniformity of Moisture and Rate of Extrusion, ZI, Ziegelind. Int. Vol. 41, No.5, 220-225, 1988.
- [55] ISENHOUR, C.T., Influence of Die Design on the Quality of Extrudate, Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.58, No.8, pp. 766-767, 785, 1979.
- [56] UYAN, M., Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul 1975.
- [57] WINSLOW, N.M. and SHAPIRO, J.J., An Instrument for the Measurement of Pore-Size Distribution by Mercury Penetration, ASTM Bulletin, No.236, pp. 39-44, 1959.

- [58] GÜRDAL, E., Kuzey ve Orta Anadolu Alçıları Üzerine Bir Araştırma, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul, 1976.
- [59] HAJELA, R.B., CROOK, D.N., TAUBER, E., A Study of Phosphate-Bonded Clay Bodies, Journal of the Australian Ceram. Soc., Vol.9, No.2, pp. 40-47, 1973.
- [60] MARUSIN, S.L., Interior Fissures and Microstructure of Shale Brick, Am.Ceram. Soc. Bull., Vol.62, No.11, pp.1264-1268, 1983.
- [61] MARUSIN, S.L., Water Absorption, Interior Fissures, and Microstructure of Shale Brick, Am.Ceram.Soc. Bull., Vol.64, No.5, pp.674-678, 1985.
- [62] MARUSIN, S.L., Failure of Brick With High Compressive Strength, Low Water Absorption, and saturation Coefficient Higher than 0.80 under Severe Weather Conditions, Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.69, No.8, pp. 1332-1337, 1990.
- [63] ROBINSON, G.C. and HOLMAN, J.R., Relation Between Physical Properties and Durability of Commercially Marketed Brick, Am.Ceram.Soc.Bull., Vol. 56, No.12, pp. 1071-1075,1079, 1977.
- [64] HAYNES, J.M., Determination of Pore Properties of Constructuonal and Other Materials, Materiaux et Constructions, Vol.6, No.33, pp.169-174, 1973.
- [65] HAYNES, J.M., Stereological Analysis of Pore Structure, Materiaux et Constructions, Vol.6, No.33, pp. 176-179, 1973.
- [66] HOFFMANN, D., NIESEL, K. and WAGNER, A., Capillary Rise and the Subsequent Evaporation Process Measured on Columns of Porous Material, Am. Ceram. Soc. Bull., Vol.69, No.3, pp. 392-396, 1990.
- [67] HALL, C., HOFF, W.D. and PROUT, W., Sorptivity-Porosity Relations in Clay Brick Ceramic, Am.Ceram. Soc.Bull., Vol.71, No.7, pp. 1112-1116, 1992.
- [68] AKMAN, S., Yapı Malzemesi Bilimi-Malzeme Özelliklerine Toplu Bakış, Ders Notları.

- [69] MUREŞAN, M., Applications of Pressure Porosimetry to Ceramic Products, *Materiaux et Constructions*, Vol.6, No.33, pp. 203-208, 1973.
- [70] MAAGE, M., Frost Resistance and Pore Size Distribution in Bricks, *Materiaux et Constructions*, Vol.17.No.101, pp. 345-350, 1984.
- [71] WINSLOW, D.N., KILGOUR, C.L., and CROOKS, R.W., Predicting the Durability of Bricks, *Testing Evaluation (ASTM)* Vol.16, No.6, pp. 527-531, 1988.
- [72] ROBINSON, G.C., The Relation Between Pore Structure and Durability of Brick, *Am. Ceram. Soc. Bull.*, Vol.63, No.2, pp. 295-300, 1984.
- [73] HANSEN, W., KUNG., J.H., Pore Structure and Frost Durability of Clay Bricks, *Materials and Structures*, Vol.21, No.126, pp.443-447, 1988.
- [74] POSTACIOĞLU, B., Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, Cilt 1, Teknik Üniversite Matbaası, İstanbul 1981.
- [75] ANONYM, Code of Prctice, Subtitude Methods for Testing the Compressive Strength of Masonry Bricks, October 1987 Edition, ZI, Ziegelind. Int., Vol.41, No.6, pp.277-82, 1988.
- [76] SCHELLBACH, G., STERN, H., The Quality Control of Masonry Bricks in the In-House Control at the Brickworks by Means of Indirect Testing Methods, Part 1, ZI, Ziegelind Int., Vol.41, No.5, pp. 204 - 216 , 1988.
- [77] ANTON, H., Thermal Conductivity of Brickwork ZI, Ziegelind, Int., Vol.42, No.3, pp. 162-166, 1989.
- [78] GASQUET, R., *Isolation Thermique Industrielle*, Dunod, Paris, 1966.
- [79] ELSNER, M., Heat and moisture Transport in Vertical Coring Lightweight Bricks, ZI, Ziegelind. Int., Vol.41, No.6, pp.266-273, 1988.No.5, pp.204-216, 1988.
- [80] KUENZEL, H., Does the Moisture Content Taken on the Volume or on the Mass Determine the Thermal Conductivity of Building Material?, ZI,Ziegelind. Int., Vol.39, No.11, pp.608-609, 1986.

- [81] ERDOĞAN, M., Nevşehir-Ürgüp Yöresi Tüflerinin Malzeme Jeolojisi Açısından Araştırılması, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 1986.
- [82] ANONİM, Türk Standardı, TS 705, Fabrika Tuğlaları-Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli, VDK 691-421, Ankara, 1985,

EK A. TABLOLAR



Tablo A.1 Doğrusal Kuruma Küçülmesi (Sd)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Porizite	% Sd katkısız	% Sd Katkılı
0	00	9.89	7.19
1/2	50 53 60 70	6.46 6.14 4.73 4.08	4.26 3.58 4.64 3.47
2/2.36	50 53 60 70	5.06 5.48 3.95 5.26	3.56 4.59 3.05 3.61
2.36/3.35	50 53 60 70	6.19 4.75 4.94 4.50	4.13 4.54 3.77 3.53
Fuller	60 70 80 90	4.90 3.84 4.55 2.97	4.36 3.81 2.97 2.02

Tablo: A.2 Toplam Doğrusal Küçülme (%st)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800°C st(%)		850°C st(%)		900°C st(%)		950°C st(%)		1000°C st(%)		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	10.00	7.25	10.01	7.37	10.60	9.19	11.33	10.67	12.61	12.14		
1/2	50	6.72	4.27	6.76	4.73	7.05	5.89	9.60	7.07	10.41	8.42		
	53	6.17	3.59	6.40	3.78	7.40	4.65	9.42	6.66	10.39	7.58		
	60	4.78	4.70	5.24	5.15	5.30	5.25	7.68	7.12	9.73	9.38		
	70	4.11	3.51	4.92	4.15	5.91	5.66	7.68	6.95	8.66	8.47		
2/2.36	50	5.27	3.57	5.96	4.60	6.26	5.67	7.54	7.52	9.54	9.09		
	53	5.53	5.01	6.10	5.55	6.51	6.94	7.70	7.68	9.40	8.70		
	60	3.97	3.06	4.27	3.65	5.65	4.78	7.43	8.12	8.64	9.07		
	70	6.30	3.88	5.92	3.74	6.66	5.41	7.98	7.03	8.85	7.98		
2.36/3.35	50	6.20	4.68	6.29	5.36	7.73	5.46	8.73	7.05	10.34	7.76		
	53	4.88	4.59	4.98	4.94	5.91	5.42	8.30	8.25	9.36	8.53		
	60	4.95	3.78	5.39	4.45	6.79	5.46	7.73	7.38	10.22	8.39		
	70	5.23	3.57	4.82	4.12	6.02	5.54	8.49	6.68	10.04	9.63		
Fuller	60	4.76	4.37	6.04	5.47	6.89	6.49	7.56	7.49	9.16	9.01		
	70	4.06	3.98	5.41	4.96	5.60	5.57	7.54	7.45	9.16	9.11		
	80	4.92	3.43	5.37	4.64	7.57	5.21	7.70	7.34	9.21	9.07		
	90	3.53	3.13	5.14	3.84	5.99	4.94	8.11	6.52	9.36	7.30		

Tablo A.3 Kapilarite Katsayısı (N)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PİŞME SICAKLIĞI											
		800 °C $N \times 10^{-3} (cm^3/dak)$		850 °C $N \times 10^{-3} (cm^3/dak)$		900 °C $N \times 10^{-3} (cm^3/dak)$		950 °C $N \times 10^{-3} (cm^3/dak)$		1000 °C $N \times 10^{-3} (cm^3/dak)$			
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	6038	4976	6229	4471	7083	3690	6972	3484	6114	1277		
1/2	50	17362	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	17145		
	53	-----	-----	-----	-----	-----	12154	-----	13398	-----	14980		
	60	19963	8869	21108	12114	22186	20499	42263	31937	50811	30939		
	70	20996	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
2/2.36	50	-----	-----	-----	-----	-----	7859	-----	6864	-----	9613		
	53	19277	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
	60	21561	-----	16830	-----	24860	-----	37736	-----	42510	-----		
	70	14776	23543	17301	20200	27498	24649	32680	44373	37007	44823		
2.36/3.35	50	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
	53	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
	60	15098	13736	20165	15975	24365	19937	32264	19801	36468	29576		
	70	-----	-----	17593	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----		
Fuller	60	12563	15265	17041	14267	20547	16933	23881	17369	20119	22600		
	70	12122	14452	15996	18079	18762	23101	20014	27560	16254	25051		
	80	13868	17324	17639	17656	16303	21407	21382	28521	15668	29083		
	90	18209	16123	23161	21787	22930	25452	12534	28915	6753	21153		

Tablo A.4 Toplam Boşluğa Oranla Kılcal Boşluk Yüzdesi

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C %		850 °C %		900 °C %		950 °C %		1000 °C %		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	45.56	44.86	49.33	41.30	57.45	40.72	62.54	40.70	62.92	19.54		
1/2	50	83.80	79.84	81.82	75.15	81.72	75.03	76.62	72.13	75.22	73.13		
	53	75.60	72.29	85.00	-----	82.47	78.18	75.55	-----	81.17	73.58		
	60	81.56	-----	81.95	-----	79.96	77.64	74.21	73.87	82.32	68.76		
	70	78.62	71.98	76.82	71.74	81.62	72.45	76.98	71.49	79.63	69.94		
2/2.36	50	75.84	69.33	83.99	73.53	81.28	76.78	77.59	75.39	80.08	69.41		
	53	80.92	69.23	81.77	70.24	80.31	62.28	84.40	68.62	79.83	66.95		
	60	81.13	67.78	81.81	69.79	80.04	70.51	81.79	66.72	79.00	61.61		
	70	84.03	68.54	83.06	68.82	85.06	66.79	83.58	59.89	79.71	61.17		
2.36/3.35	50	73.42	68.84	81.78	68.38	81.97	70.18	77.65	69.99	77.39	62.50		
	53	71.60	68.29	79.63	69.26	78.88	72.86	70.41	67.84	71.52	64.98		
	60	77.82	70.35	80.60	68.16	78.21	63.81	87.28	86.68	77.36	67.66		
	70	77.32	67.04	82.01	67.84	76.73	67.44	78.99	67.56	79.14	65.57		
Fuller	60	80.49	69.43	83.26	70.79	84.98	71.84	83.36	68.63	83.10	63.23		
	70	79.44	-----	83.34	74.25	84.58	70.36	82.15	63.65	82.47	61.39		
	80	86.45	71.00	86.12	71.57	84.88	69.52	84.72	63.83	77.61	62.99		
	90	84.76	73.26	84.82	71.31	77.97	68.92	83.40	64.96	75.06	66.78		

Tablo A.5 Atmosfer Basıncında Su Emme (ağırlıkça)

Dane Boyutu (mm)	İlacım Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C as(%)		850 °C as(%)		900 °C as(%)		950 °C as(%)		1000 °C as(%)		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	19.92	15.78	20.17	14.52	19.40	11.51	16.85	8.33	13.54	4.27		
1/2	50	30.88	25.07	30.23	23.79	28.67	21.06	22.64	18.11	18.68	14.33		
	53	32.99	23.83	31.41	21.94	29.30	19.04	23.51	13.59	20.04	11.08		
	60	35.53	27.74	33.42	26.13	31.91	21.34	27.71	18.00	21.27	13.87		
	70	35.83	28.16	35.51	24.07	31.36	21.81	24.15	17.09	21.44	13.81		
2/2.36	50	30.54	27.51	29.37	22.14	27.90	20.76	25.08	14.70	18.13	10.95		
	53	33.20	27.46	32.42	25.12	30.06	22.44	26.09	18.00	20.84	14.60		
	60	33.07	29.43	31.50	27.00	27.61	24.08	23.86	18.86	19.28	14.73		
	70	30.17	27.99	29.54	26.04	27.05	22.37	22.87	17.30	20.09	15.09		
2.36/3.35	50	32.73	27.14	32.36	25.77	28.11	22.01	25.95	18.61	20.64	16.34		
	53	35.69	27.38	35.10	26.15	32.52	24.43	27.97	17.59	22.48	15.45		
	60	35.56	27.39	33.78	25.14	31.40	22.88	27.53	16.88	18.12	14.06		
	70	35.77	28.65	34.23	26.60	30.12	25.35	22.01	19.79	16.54	13.54		
Fuller	60	30.37	26.16	28.08	24.63	24.05	21.05	22.32	16.03	14.47	12.82		
	70	28.15	25.73	26.76	23.24	24.54	20.34	19.24	14.32	14.51	11.95		
	80	23.02	26.90	22.70	24.08	18.99	21.87	17.12	16.54	12.28	13.14		
	90	25.16	27.55	21.63	23.14	20.18	20.58	12.11	15.38	6.72	13.84		

Tablo A.6 Atmosfer basıncında hacimce su emme (Görünür porozite)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		100 °C		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	34.61	28.30	34.58	26.57	33.79	22.08	30.67	16.78	26.02	9.15		
1/2	50	42.47	36.80	42.22	36.12	40.83	34.06	35.00	29.96	30.21	24.95		
	53	43.83	35.95	42.33	34.25	40.81	31.32	35.50	24.04	31.32	20.23		
	60	45.33	40.28	43.86	38.96	42.58	34.23	39.60	29.65	32.56	24.05		
	70	44.33	39.61	44.30	35.59	41.25	33.80	35.18	28.20	32.14	23.80		
2/2.36	50	41.79	37.99	40.86	34.34	39.75	33.20	37.41	25.59	29.18	19.91		
	53	44.12	39.35	43.76	36.90	42.33	35.18	38.63	29.30	32.91	24.66		
	60	42.94	40.36	41.78	38.62	38.90	36.08	35.19	30.43	31.50	24.93		
	70	41.61	38.45	41.40	36.69	39.49	33.37	35.35	27.93	32.09	24.92		
2.36/3.35	50	43.61	38.35	43.52	36.96	39.97	33.66	38.16	29.56	32.08	26.39		
	53	45.01	38.59	44.21	37.60	42.77	36.63	38.96	28.63	33.57	25.68		
	60	45.23	39.14	43.85	36.71	42.31	35.08	38.91	27.99	28.91	23.89		
	70	44.82	38.90	43.34	37.19	40.73	36.37	33.17	30.45	26.70	22.64		
Fuller	60	42.01	37.87	40.05	36.60	36.34	33.07	34.61	26.61	24.68	22.08		
	70	39.18	37.12	38.20	34.73	36.30	31.99	30.75	24.57	24.68	21.12		
	80	34.03	37.42	34.11	34.77	30.47	32.71	28.08	26.99	21.47	22.93		
	90	35.04	38.51	32.19	34.96	31.26	32.34	20.92	25.76	12.52	23.67		

Tablo A.7 Birim Hacim Ağırlık

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C Δ(gr/cm³)		850 °C Δ(gr/cm³)		900 °C Δ(gr/cm³)		950 °C Δ(gr/cm³)		1000 °C Δ(gr/cm³)			
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	1.74	1.79	1.71	1.83	1.74	1.92	1.82	2.02	1.92	2.14		
1/2	50	1.38	1.47	1.40	1.52	1.42	1.58	1.55	1.65	1.62	1.74		
	53	1.33	1.51	1.35	1.56	1.40	1.64	1.51	1.77	1.56	1.82		
	60	1.28	1.45	1.31	1.49	1.33	1.60	1.43	1.65	1.53	1.73		
	70	1.23	1.41	1.25	1.48	1.31	1.54	1.45	1.65	1.50	1.73		
2/2.36	50	1.37	1.38	1.39	1.55	1.42	1.60	1.49	1.74	1.61	1.82		
	53	1.33	1.43	1.35	1.47	1.40	1.55	1.48	1.62	1.58	1.69		
	60	1.30	1.37	1.33	1.43	1.41	1.50	1.48	1.61	1.55	1.70		
	70	1.38	1.37	1.40	1.41	1.46	1.49	1.55	1.62	1.60	1.65		
2.36/3.35	50	1.33	1.41	1.34	1.43	1.42	1.53	1.47	1.59	1.56	1.62		
	53	1.25	1.41	1.27	1.44	1.31	1.50	1.39	1.63	1.49	1.66		
	60	1.27	1.43	1.30	1.46	1.35	1.53	1.41	1.65	1.60	1.70		
	70	1.26	1.36	1.26	1.40	1.36	1.43	1.51	1.54	1.62	1.67		
Fuller	60	1.37	1.45	1.43	1.49	1.51	1.57	1.55	1.67	1.71	1.72		
	70	1.39	1.44	1.43	1.49	1.48	1.59	1.60	1.72	1.70	1.77		
	80	1.48	1.39	1.50	1.44	1.61	1.50	1.65	1.63	1.75	1.74		
	90	1.39	1.39	1.49	1.51	1.55	1.57	1.73	1.67	1.86	1.71		

Tablo A.8 2 Saat Kaynatarak Ağırlıkça Su Emme

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI									
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C	
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı
0	00	20.29	16.04	20.43	14.91	19.73	11.68	17.14	8.67	13.80	4.88
1/2	50	32.93	27.54	32.16	25.86	30.89	24.01	24.99	21.20	21.39	17.16
	53	34.93	25.74	34.12	23.92	31.88	21.14	26.00	16.93	23.19	13.42
	60	38.01	27.76	35.91	26.09	34.95	22.39	29.88	19.88	23.95	15.21
	70	39.49	30.49	39.11	27.18	35.22	23.78	27.27	19.78	24.91	16.64
2/2.36	50	33.37	30.71	32.54	24.53	31.06	22.58	27.96	17.86	22.32	14.58
	53	35.29	29.80	34.30	28.10	31.68	24.74	28.34	21.34	23.24	18.13
	60	36.64	31.65	35.30	29.17	30.98	26.10	27.74	21.14	24.24	17.04
	70	32.17	30.89	31.22	29.20	28.84	25.17	25.00	19.97	22.46	17.91
2.36/3.35	50	34.99	30.48	34.66	29.40	31.04	25.07	28.36	22.13	23.86	20.22
	53	39.32	30.74	38.54	29.26	35.69	26.54	31.32	20.58	25.37	18.79
	60	37.94	29.37	36.57	27.95	34.00	24.86	30.33	19.72	20.83	17.35
	70	38.63	32.42	37.81	30.35	32.69	28.51	24.82	23.65	19.37	17.29
Fuller	60	32.75	29.07	30.30	27.46	26.31	23.67	24.74	19.98	17.48	16.88
	70	31.43	28.95	29.67	26.54	27.40	22.80	22.11	17.35	18.00	14.90
	80	27.64	30.43	26.94	27.71	22.88	24.99	21.32	19.00	17.07	15.03
	90	30.28	29.99	26.04	24.92	23.93	22.33	16.28	17.46	10.74	16.24

Tablo A.9 2 Saat Kaynatarak Hacimce Su Emme

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	35.23	28.91	35.01	27.41	34.37	22.53	31.19	17.41	26.49	10.42		
1/2	50	45.34	40.46	44.90	39.27	43.99	37.87	38.65	35.05	34.65	30.07		
	53	46.42	38.92	45.99	37.36	44.47	34.66	39.35	29.74	36.33	24.69		
	60	48.45	40.56	47.18	39.19	46.63	35.64	42.80	32.75	36.76	26.50		
	70	48.82	42.90	48.78	40.17	46.28	37.00	39.85	32.58	37.39	28.68		
2/2.36	50	45.67	42.45	45.25	37.96	44.28	36.21	41.73	31.07	36.00	26.49		
	53	46.92	42.66	46.33	41.20	44.67	38.09	41.97	34.67	36.88	30.59		
	60	47.57	43.44	46.79	41.72	43.74	39.11	41.00	34.12	37.54	28.92		
	70	44.39	42.43	43.74	41.15	42.10	37.64	38.68	32.16	36.00	29.60		
2.36/3.35	50	46.62	42.98	46.64	42.09	44.14	38.31	41.87	35.31	37.34	32.54		
	53	49.20	43.14	48.87	42.04	47.22	39.83	43.95	33.58	38.25	31.23		
	60	48.22	41.96	47.53	40.80	45.87	38.07	43.31	32.53	33.36	29.51		
	70	48.39	44.04	47.85	42.38	44.32	40.89	37.50	36.34	31.40	28.90		
Fuller	60	44.88	42.09	43.19	40.77	39.77	37.20	38.37	33.11	29.95	29.02		
	70	43.67	41.74	42.38	39.61	40.53	35.84	35.39	29.71	30.69	26.33		
	80	40.87	42.50	40.46	40.00	36.72	37.30	35.00	31.04	29.90	26.24		
	90	42.17	41.96	38.76	37.69	36.90	35.10	28.13	29.29	20.03	27.83		

Tablo A.10 Ağırılıkça Doyma Katsayısı

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PİŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	0.98	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99	0.98	0.96	0.98	0.88		
1/2	50	0.94	0.91	0.94	0.92	0.93	0.90	0.91	0.85	0.87	0.84		
	53	0.94	0.93	0.92	0.92	0.92	0.90	0.90	0.80	0.86	0.83		
	60	0.93	1.00	0.93	1.00	0.91	0.95	0.93	0.91	0.89	0.91		
	70	0.91	0.92	0.91	0.89	0.89	0.92	0.89	0.86	0.86	0.83		
2/2.36	50	0.92	0.90	0.90	0.90	0.90	0.92	0.90	0.82	0.81	0.75		
	53	0.94	0.92	0.95	0.89	0.95	0.91	0.92	0.84	0.90	0.81		
	60	0.90	0.93	0.89	0.93	0.89	0.92	0.86	0.89	0.80	0.86		
	70	0.94	0.91	0.95	0.89	0.94	0.89	0.91	0.87	0.89	0.84		
2.36/3.35	50	0.94	0.89	0.93	0.88	0.91	0.88	0.92	0.84	0.87	0.81		
	53	0.91	0.89	0.91	0.89	0.91	0.92	0.89	0.85	0.89	0.82		
	60	0.94	0.93	0.92	0.90	0.92	0.92	0.91	0.86	0.87	0.81		
	70	0.93	0.88	0.90	0.88	0.92	0.89	0.89	0.84	0.85	0.78		
Fuller	60	0.94	0.90	0.93	0.90	0.91	0.89	0.90	0.80	0.83	0.76		
	70	0.90	0.89	0.90	0.88	0.90	0.89	0.87	0.83	0.81	0.80		
	80	0.83	0.88	0.84	0.87	0.83	0.88	0.80	0.87	0.72	0.87		
	90	0.83	0.92	0.83	0.93	0.84	0.92	0.74	0.88	0.63	0.85		

Tablo A.11 Hacimce Doyma Katsayısı

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C Sh		850 °C Sh		900 °C Sh		950 °C Sh		1000 °C Sh		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	0.98	0.98	0.99	0.97	0.98	0.98	0.98	0.96	0.98	0.96	0.98	0.88
1/2	50	0.94	0.91	0.94	0.92	0.93	0.90	0.91	0.85	0.87	0.83	0.87	0.83
	53	0.94	0.92	0.92	0.92	0.92	0.90	0.90	0.81	0.86	0.82	0.86	0.82
	60	0.94	0.99	0.93	0.99	0.91	0.96	0.93	0.91	0.89	0.91	0.89	0.91
	70	0.91	0.92	0.91	0.89	0.89	0.91	0.88	0.87	0.86	0.83	0.86	0.83
2/2.36	50	0.92	0.89	0.90	0.90	0.90	0.92	0.90	0.82	0.81	0.75	0.81	0.75
	53	0.94	0.92	0.94	0.90	0.95	0.92	0.92	0.85	0.89	0.81	0.89	0.81
	60	0.90	0.93	0.89	0.93	0.89	0.92	0.86	0.89	0.84	0.86	0.84	0.86
	70	0.94	0.91	0.94	0.89	0.94	0.89	0.91	0.87	0.89	0.84	0.89	0.84
2.36/3.35	50	0.94	0.89	0.93	0.87	0.91	0.88	0.91	0.84	0.86	0.81	0.86	0.81
	53	0.91	0.89	0.90	0.89	0.91	0.92	0.89	0.85	0.88	0.82	0.88	0.82
	60	0.94	0.93	0.92	0.90	0.92	0.92	0.90	0.86	0.87	0.81	0.87	0.81
	70	0.93	0.88	0.91	0.88	0.92	0.89	0.88	0.83	0.85	0.78	0.85	0.78
Fuller	60	0.93	0.90	0.93	0.90	0.91	0.89	0.90	0.80	0.82	0.76	0.82	0.76
	70	0.90	0.89	0.90	0.88	0.90	0.89	0.87	0.83	0.80	0.80	0.80	0.80
	80	0.83	0.88	0.84	0.86	0.83	0.88	0.80	0.87	0.72	0.87	0.72	0.87
	90	0.83	0.92	0.83	0.93	0.85	0.92	0.74	0.88	0.63	0.85	0.63	0.85

Tablo A.12 Özgöl Ağırlık

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI									
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C	
		δ (gr/cm ³)	Katkısız Katkılı	δ (gr/cm ³)	Katkısız Katkılı	δ (gr/cm ³)	Katkısız Katkılı	δ (gr/cm ³)	Katkısız Katkılı	δ (gr/cm ³)	Katkısız Katkılı
0	00	-----	-----	2.653	2.758	2.662	2.671	2.694	2.636	-----	-----
1/2	50	-----	-----	2.576	2.667	2.524	2.568	2.566	2.568	-----	-----
	53	-----	-----	2.591	2.589	2.540	2.532	2.563	2.576	-----	-----
	60	-----	-----	2.627	2.516	2.484	2.516	2.580	2.576	-----	-----
	70	-----	-----	2.524	2.516	2.457	2.581	2.528	2.540	-----	-----
2/2.36	50	-----	-----	2.608	2.524	2.632	2.536	2.559	2.667	-----	-----
	53	-----	-----	2.564	2.593	2.528	2.520	2.552	2.630	-----	-----
	60	-----	-----	2.548	2.555	2.524	2.532	2.548	2.552	-----	-----
	70	-----	-----	2.552	2.483	2.597	2.572	2.576	2.497	-----	-----
2.36/3.35	50	-----	-----	2.561	2.585	2.560	2.528	2.640	2.560	-----	-----
	53	-----	-----	2.576	2.536	2.532	2.560	2.563	2.580	-----	-----
	60	-----	-----	2.548	2.560	2.516	2.512	2.627	2.544	-----	-----
	70	-----	-----	2.512	2.492	2.548	2.476	2.471	2.593	-----	-----
Fuller	60	-----	-----	2.556	2.580	2.556	2.528	2.620	2.552	-----	-----
	70	-----	-----	2.552	2.544	2.504	2.484	2.614	2.550	-----	-----
	80	-----	-----	2.572	2.511	2.528	2.431	2.540	2.482	-----	-----
	90	-----	-----	2.512	2.510	2.572	2.528	2.524	2.532	-----	-----

Tablo A.13 Gerçek Porozite

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI									
		800°C p(%)		850°C p(%)		900°C p(%)		950°C p(%)		1000°C p(%)	
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı
0	00	-----	-----	35.54	33.65	34.64	28.12	32.44	23.37	-----	-----
1/2	50	-----	-----	45.65	43.01	43.74	38.47	39.59	35.75	-----	-----
	53	-----	-----	47.90	39.74	44.88	35.23	41.08	31.29	-----	-----
	60	-----	-----	50.13	40.78	46.46	36.41	44.57	35.95	-----	-----
	70	-----	-----	50.47	41.18	46.68	40.33	42.64	35.04	-----	-----
2/2.36	50	-----	-----	46.70	38.59	46.05	36.91	41.77	34.76	-----	-----
	53	-----	-----	47.35	43.31	44.62	38.49	42.01	38.40	-----	-----
	60	-----	-----	47.80	44.03	44.14	40.76	41.91	36.91	-----	-----
	70	-----	-----	45.14	43.21	43.78	42.07	39.83	35.12	-----	-----
2.36/3.35	50	-----	-----	47.68	44.68	44.53	39.48	44.32	37.89	-----	-----
	53	-----	-----	50.70	43.22	48.26	41.41	45.77	36.82	-----	-----
	60	-----	-----	48.98	42.97	46.34	39.09	46.33	35.14	-----	-----
	70	-----	-----	49.84	43.82	46.62	42.24	38.89	40.61	-----	-----
Fuller	60	-----	-----	44.05	42.25	40.92	37.90	40.84	34.56	-----	-----
	70	-----	-----	43.96	41.43	40.89	35.99	38.79	32.55	-----	-----
	80	-----	-----	41.68	42.65	36.31	38.30	35.04	34.33	-----	-----
	90	-----	-----	40.68	39.84	39.74	37.90	31.46	34.04	-----	-----

Tablo A.14 Isı İletkenlik Katsayısı (λ)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI			
		850 °C λ (W/mK)		950 °C λ (W/mK)	
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı
0	00	0.63	1.00	0.87	0.85
2.36/3.35	70	0.41	0.42	---	---
Fuller	60	0.60	0.58	0.66	0.55
	70	0.39	0.61	0.49	0.56
	80	0.50	0.65	0.64	0.54
	90	0.44	0.53	0.65	0.74

Tablo A.15 800 °C de pişirilen tuğlaların belli sıcaklık aralıkları içerisindeki genleşme katsayıları (β)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	16 °C - 400 °C $\beta \times 10^{-6} (1/°C)$		400 °C - 600 °C $\beta \times 10^{-6} (1/°C)$		600 °C - 800 °C $\beta \times 10^{-6} (1/°C)$	
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı
		0		2.27		2.27	
0	00	3.06	2.32	9.24	10.88	1.92	2.27
2/2.36	50	3.34	3.49	8.78	9.71	2.83	3.57
Fuller	60	3.49	3.69	7.73	9.99	2.46	3.58
	70	4.18	4.16	7.87	8.82	2.66	2.34
	80	4.79	4.61	8.43	7.99	4.16	3.63
	90	4.97	5.25	7.70	7.32	3.71	3.03

Tablo A.16 Rezonans Frekansları ile Bulunan Elastisite Modülleri (E_r)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Poröz	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C		Katkısız	Katkılı
		$E_r \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkılı	$E_r \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkılı	$E_r \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkılı	$E_r \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkılı	$E_r \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkılı		
0	00	10.03	12.91	10.02	15.82	10.06	20.03	16.95	25.32	21.83	37.11		
1/2	50	3.02	3.62	3.84	3.85	3.83	5.40	5.14	7.27	5.18	9.96		
	53	2.01	4.98	2.50	6.47	2.95	9.10	4.78	11.20	5.45	12.24		
	60	3.41	3.90	4.00	5.09	3.55	8.04	4.22	10.30	5.18	10.97		
	70	2.15	3.43	2.98	5.87	4.11	7.64	4.09	9.63	5.32	10.75		
2/2.36	50	1.98	2.92	3.07	6.99	4.05	7.10	3.86	10.00	4.25	13.23		
	53	2.85	2.99	3.10	5.96	4.85	7.01	4.77	9.72	5.12	9.81		
	60	2.97	3.44	2.98	3.45	3.98	6.85	5.40	8.81	6.50	9.42		
	70	3.03	4.35	3.10	6.02	4.59	6.58	4.78	9.51	5.45	7.67		
2.36/3.35	50	1.96	3.12	2.97	5.10	3.80	6.90	4.12	6.98	5.12	7.00		
	53	1.52	2.90	2.10	4.98	4.11	8.01	4.10	7.83	3.98	7.83		
	60	1.00	3.10	1.18	5.13	5.02	6.09	4.80	8.25	5.50	8.50		
	70	2.10	2.25	3.01	6.08	4.20	7.72	5.40	6.09	5.24	7.77		
Fuller	60	3.80	4.53	5.28	5.30	5.56	6.90	5.74	10.68	9.54	15.97		
	70	3.52	3.70	4.03	5.18	6.24	7.72	7.41	9.70	8.79	14.11		
	80	4.11	4.41	4.12	6.55	6.97	6.41	8.02	9.42	10.36	13.32		
	90	3.96	4.13	5.27	7.55	6.24	9.17	9.66	10.65	17.28	11.08		

Tablo A.17 Ultrases Hızı

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PİŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C		Katkısız	Katkılı
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	2.65	2.71	2.38	2.88	2.58	3.18	2.98	3.54	3.22	4.12		
1/2	50	1.20	1.60	1.34	1.78	1.42	2.06	1.83	2.18	2.11	2.48		
	53	1.03	1.81	1.20	2.01	1.35	2.31	1.71	2.58	1.76	2.84		
	60	0.82	1.56	0.98	1.81	1.04	2.03	1.33	2.18	1.65	2.53		
	70	0.95	1.43	1.01	1.74	1.20	2.05	1.52	2.34	1.65	2.41		
2/2.36	50	1.10	1.40	1.19	2.01	1.22	2.25	1.41	2.81	1.77	2.84		
	53	1.00	1.59	1.07	1.83	1.29	2.22	1.48	2.33	1.70	2.49		
	60	0.80	1.29	0.97	1.65	1.20	2.07	1.35	2.29	1.60	2.43		
	70	1.20	1.36	1.39	1.53	1.58	1.88	1.86	2.20	1.92	2.23		
2.36/3.35	50	1.00	1.61	1.11	1.67	1.31	2.07	1.52	2.07	1.70	2.13		
	53	0.85	1.55	0.94	1.62	1.06	1.86	1.33	2.33	1.75	2.37		
	60	0.82	1.65	1.02	1.86	1.22	2.14	1.38	2.34	1.65	2.44		
	70	0.88	1.39	1.00	1.54	1.34	1.65	1.74	1.90	1.90	2.35		
Fuller	60	1.13	1.62	1.51	1.87	1.74	2.18	1.88	2.46	1.99	2.60		
	70	1.17	1.61	1.43	1.91	1.63	2.22	1.95	2.60	2.20	2.82		
	80	1.53	1.58	1.73	1.90	2.13	2.01	2.17	2.47	2.34	2.72		
	90	1.37	1.62	1.98	2.19	2.10	2.36	2.53	2.54	2.93	2.62		

Tablo A.18 Ultrases Hızı ile Bulunan Elastisite Modülleri (E_u)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C $E_u \times 10^3 (N/mm^2)$		850 °C $E_u \times 10^3 (N/mm^2)$		900 °C $E_u \times 10^3 (N/mm^2)$		950 °C $E_u \times 10^3 (N/mm^2)$		1000 °C $E_u \times 10^3 (N/mm^2)$			
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	12.18	13.15	9.70	15.16	11.60	19.48	16.18	25.28	20.03	36.32		
1/2	50	1.99	3.77	2.51	4.82	2.85	6.68	5.25	7.88	7.26	10.69		
	53	1.41	4.94	1.80	6.34	2.62	8.79	4.48	11.80	4.82	14.72		
	60	0.86	3.54	1.27	4.88	1.43	6.63	2.55	7.88	4.21	11.16		
	70	1.13	2.98	1.29	4.50	1.89	6.57	3.38	9.08	4.09	10.08		
2/2.36	50	1.64	2.70	1.97	6.29	2.12	8.09	2.99	13.79	5.06	14.69		
	53	1.32	3.63	1.56	4.97	2.33	7.82	3.24	8.83	4.54	10.52		
	60	0.82	2.24	1.25	3.90	2.07	4.48	2.68	8.45	4.03	10.10		
	70	2.00	2.56	2.70	3.34	3.65	5.33	5.40	7.88	5.91	8.23		
2.36/3.35	50	1.33	3.68	1.64	4.02	2.46	6.66	3.46	6.82	4.48	7.34		
	53	0.90	3.39	1.14	3.78	1.48	5.20	2.47	8.92	4.78	9.41		
	60	0.87	3.89	1.36	5.04	2.04	7.05	2.72	9.09	4.34	10.09		
	70	0.98	2.63	1.26	3.35	2.49	3.90	4.60	5.54	5.90	9.28		
Fuller	60	1.76	3.82	3.26	5.24	4.28	7.42	5.52	10.09	9.28	11.65		
	70	1.91	3.75	2.94	5.47	3.91	8.03	6.18	11.65	8.28	14.17		
	80	3.47	3.49	4.50	5.22	7.33	6.11	7.79	10.09	9.59	12.94		
	90	2.61	3.67	5.86	7.25	6.89	8.76	11.12	10.80	15.99	11.79		

Tablo A.19 Eğilme Dayanımı (σ_e)

Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C σ_c (N/mm ²)		850 °C σ_c (N/mm ²)		900 °C σ_c (N/mm ²)		950 °C σ_c (N/mm ²)		1000 °C σ_c (N/mm ²)			
		Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı	Katkısız	Katkılı		
0	00	4.17	6.84	6.48	7.56	9.54	4.95	10.99	8.78	16.05	10.82		
1/2	50	1.03	2.01	1.28	2.39	1.34	2.10	2.31	3.38	2.98	4.05		
	53	0.76	2.76	0.86	3.38	1.15	4.89	2.02	5.23	1.97	7.07		
	60	0.65	1.95	0.93	2.44	1.17	3.19	1.52	3.45	1.63	4.48		
	70	0.65	1.49	0.82	2.00	1.12	2.17	1.36	3.30	2.00	3.56		
2/2.36	50	0.94	1.25	1.17	2.85	1.32	3.49	1.65	3.82	2.16	5.62		
	53	0.69	1.69	0.97	1.78	1.09	2.44	1.31	3.05	1.47	3.86		
	60	0.70	1.22	0.91	1.39	1.23	2.57	1.58	2.72	1.62	3.08		
	70	1.06	1.36	1.31	1.64	2.14	1.88	1.96	2.62	2.87	2.67		
2.36/3.35	50	0.70	1.63	0.83	1.59	1.35	2.34	1.52	2.13	1.65	2.52		
	53	0.50	1.57	0.78	1.59	0.64	2.19	1.09	3.18	1.43	2.86		
	60	0.59	1.91	0.96	2.72	1.25	2.39	1.27	2.96	2.06	3.01		
	70	0.54	1.57	0.79	1.45	1.34	1.87	2.03	2.23	2.32	2.92		
Fuller	60	0.93	1.89	1.86	1.92	2.45	2.55	3.10	3.63	4.59	4.06		
	70	1.06	1.94	1.37	2.05	1.77	2.90	3.05	4.22	3.36	5.17		
	80	1.64	1.78	2.47	2.35	3.68	2.38	3.93	3.47	4.07	4.52		
	90	1.23	1.70	2.47	3.35	2.63	2.95	4.22	3.38	5.26	4.48		

Tablo A.20 Basınç Dayanımı (σ_b)

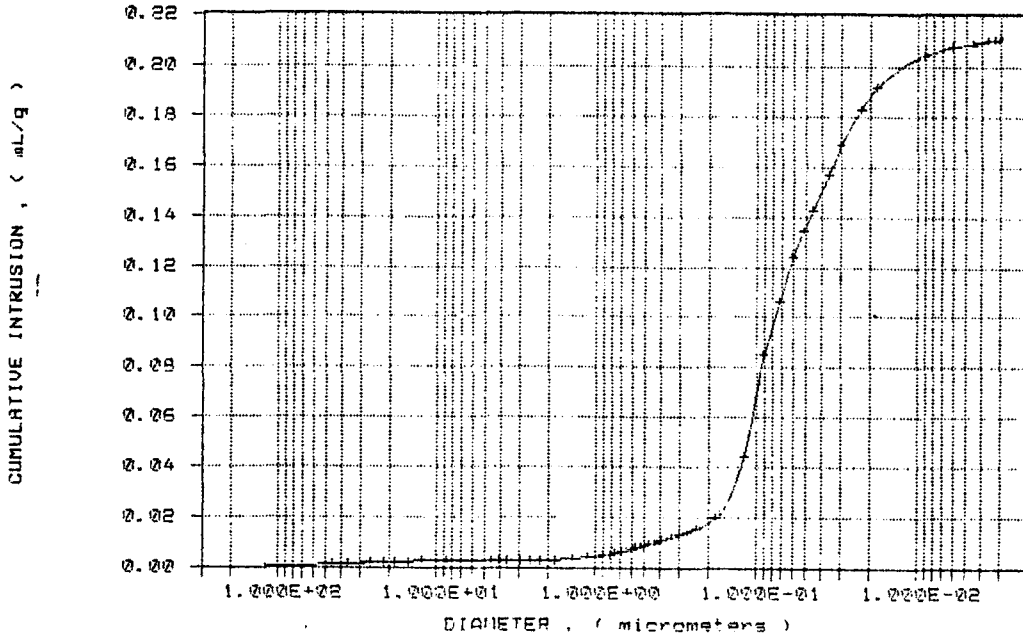
Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C		Katkısız	Katkılı
		σ_b (N/mm ²)	Katkılı	σ_b (N/mm ²)	Katkılı	σ_b (N/mm ²)	Katkılı	σ_b (N/mm ²)	Katkılı	σ_b (N/mm ²)	Katkılı		
0	00	20.83	24.03	24.27	27.09	34.86	37.95	44.05	49.04	61.18	67.28		
1/2	50	5.81	6.78	6.64	9.54	6.52	8.73	5.66	7.73	6.18	9.91		
	53	4.82	9.83	5.50	12.99	4.98	12.53	4.17	12.33	4.14	14.34		
	60	3.66	9.03	4.93	11.23	4.85	9.65	4.33	7.45	3.78	8.67		
	70	3.44	7.52	3.64	9.33	3.60	8.59	3.23	6.30	3.75	8.29		
2/2.36	50	5.23	7.02	5.38	12.42	4.84	14.06	4.67	15.15	4.89	15.47		
	53	4.12	8.01	4.88	9.10	5.23	7.38	4.40	6.30	3.95	5.68		
	60	4.07	7.19	4.89	7.63	4.55	7.76	4.32	6.36	3.69	7.13		
	70	6.01	8.80	7.74	9.19	8.01	7.07	7.21	6.02	6.15	5.89		
2.36/3.35	50	4.48	7.95	5.21	8.23	4.84	7.12	4.53	4.93	3.94	4.14		
	53	3.83	6.64	4.42	7.65	3.90	7.84	3.35	5.48	3.18	5.17		
	60	3.94	9.79	5.22	11.20	5.30	9.44	4.73	7.75	5.20	6.52		
	70	4.29	6.94	4.76	7.70	5.22	6.71	4.96	4.64	6.53	6.28		
Futler	60	6.00	9.19	8.03	10.16	7.63	9.26	7.83	8.10	10.17	10.23		
	70	5.26	9.15	8.47	11.22	8.18	9.19	9.98	11.03	11.14	13.17		
	80	8.28	10.14	10.36	11.13	14.39	10.08	13.10	10.67	15.43	14.88		
	90	7.03	12.00	11.14	14.63	12.41	13.11	19.08	15.64	25.71	20.00		

Tablo A.21 Elastisite Modülü (Basınç deneyi ile bulunan) E_d

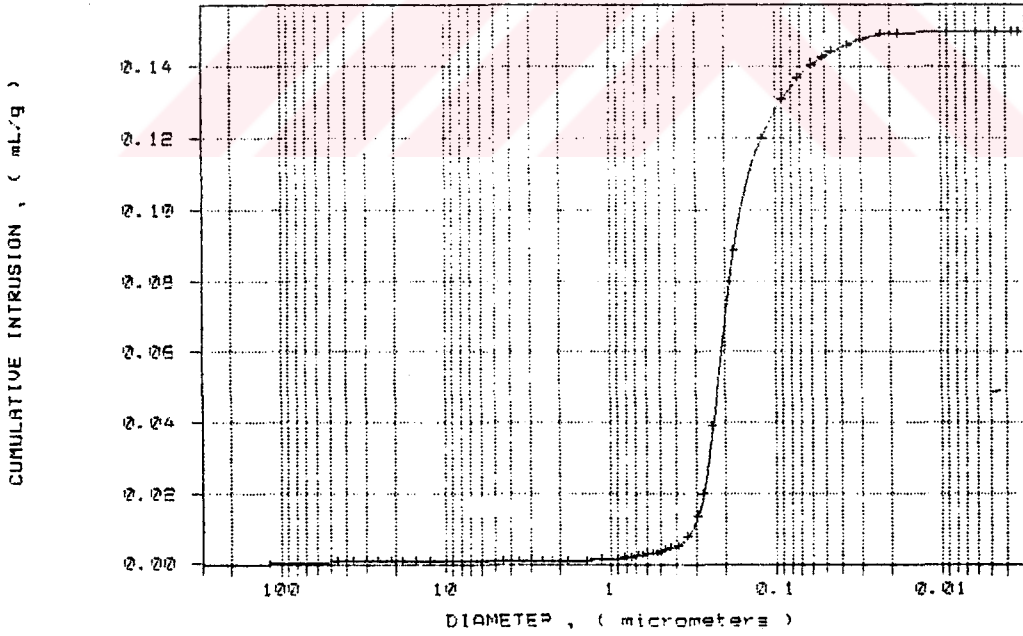
Dane Boyutu (mm)	Hacim Oranı % Ponza	PIŞME SICAKLIĞI											
		800 °C		850 °C		900 °C		950 °C		1000 °C			
		$E_d \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkısız	Katkılı	$E_d \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkısız	Katkılı	$E_d \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkısız	Katkılı	$E_d \times 10^3 (N/mm^2)$	Katkısız	Katkılı
0	00	1.76	3.05	2.02	3.21	2.56	3.73	4.19	2.92	4.37	5.72		
1/2	50	0.19	0.37	0.30	0.58	0.33	0.90	0.87	1.59	1.09	2.63		
	53	0.11	0.73	0.23	1.09	0.16	1.31	0.59	2.49	0.14	3.58		
	60	0.09	0.70	0.26	1.03	0.27	1.09	0.58	0.32	0.86	0.25		
	70	0.13	0.29	0.37	0.67	0.36	1.20	0.87	1.20	0.89	1.37		
2/2.36	50	0.24	0.20	0.28	1.10	0.40	1.16	0.31	2.54	0.45	2.54		
	53	0.18	0.35	0.21	0.53	0.39	0.86	0.45	1.05	0.56	1.44		
	60	0.15	0.18	0.22	0.37	0.15	0.61	0.15	0.84	0.30	1.32		
	70	0.39	0.19	0.50	0.31	0.46	0.56	0.55	0.75	1.05	1.12		
2.36/3.35	50	0.14	0.23	0.18	0.28	0.56	0.42	0.20	0.63	0.16	0.86		
	53	0.08	0.22	0.12	0.35	0.14	0.39	0.24	0.96	0.16	0.94		
	60	0.13	0.43	0.13	0.47	0.21	0.42	0.26	2.10	0.17	1.01		
	70	0.26	0.26	0.24	0.38	0.45	0.40	0.73	0.89	1.31	1.67		
Fuller	60	0.29	0.46	0.61	1.14	0.56	1.04	1.09	2.05	1.72	2.26		
	70	0.34	0.54	0.66	0.75	0.74	0.60	1.21	2.36	1.92	2.20		
	80	0.70	0.83	0.72	1.43	2.23	1.59	2.62	2.26	2.13	3.23		
	90	0.51	0.55	1.31	1.79	2.06	2.14	1.83	2.15	1.33	2.24		

EK B. MIP GRAFİKLERİ



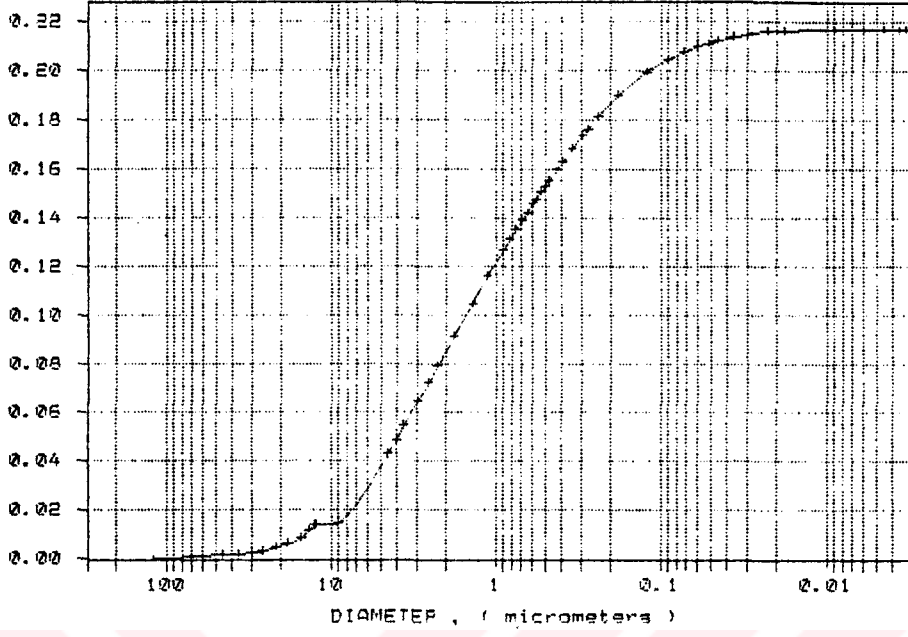


(a)

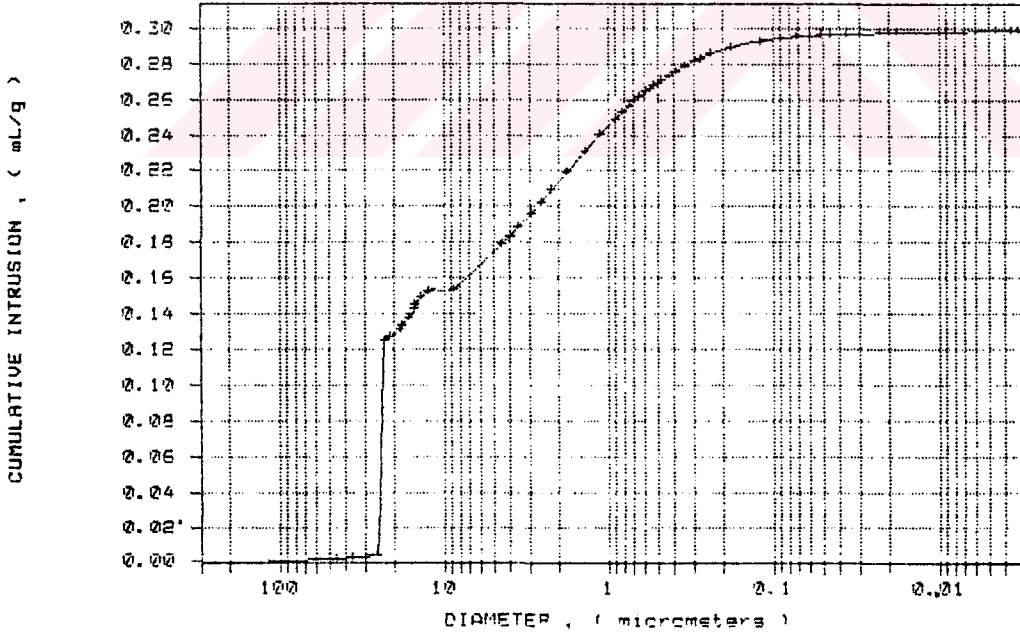


(b)

Şekil B.1. Ponzasız Katkısız Tuğlanın MIP Grafiği
(a) 850 °C (b) 950 °C

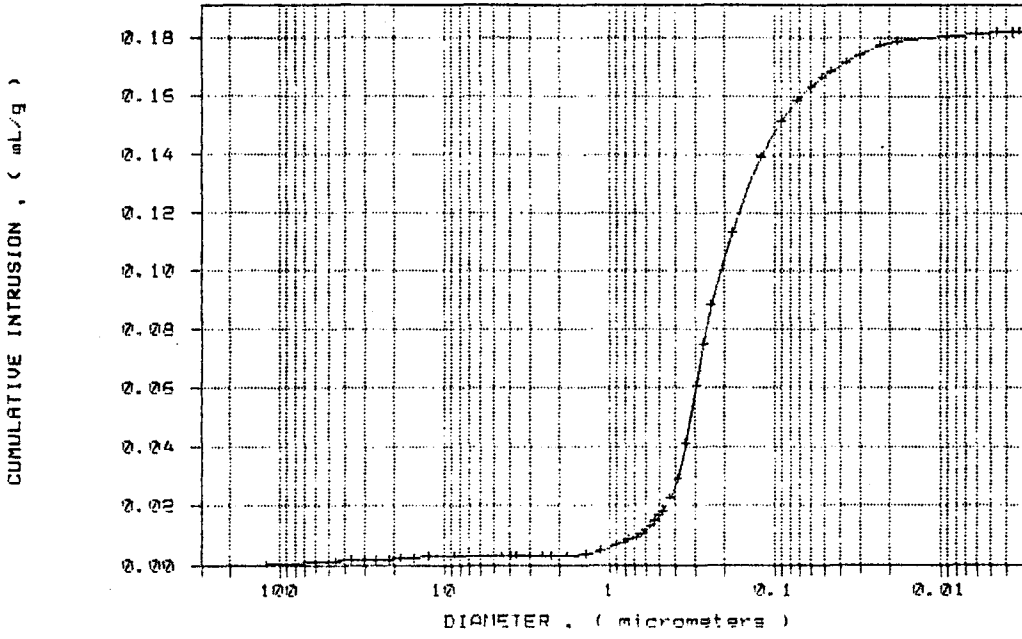


(a)

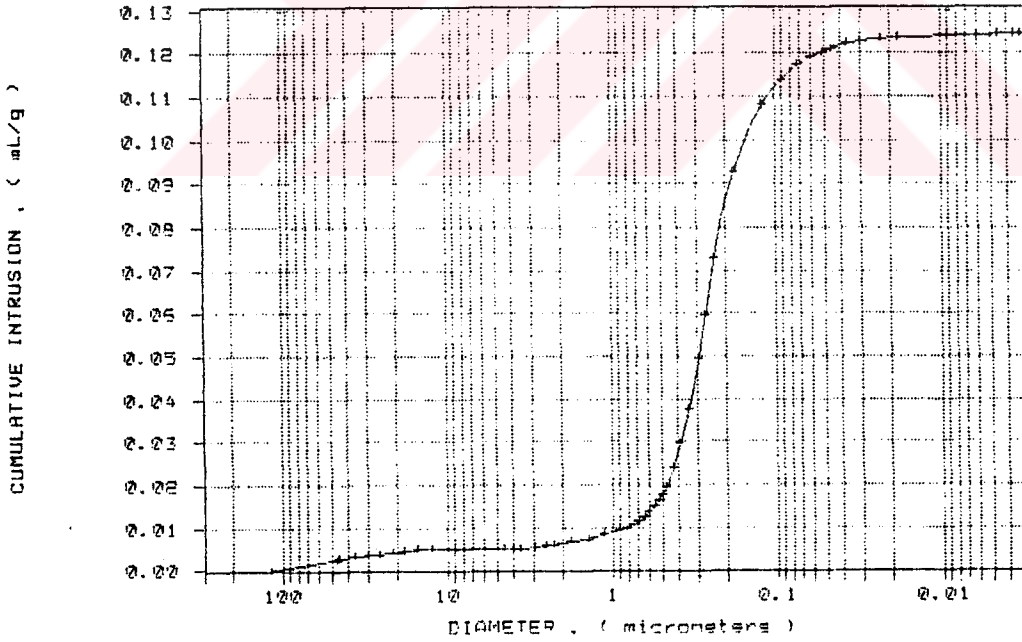


(b)

Şekil B.2. Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında
Üretilen Katkısız Tuğlanın MIP Grafiği
(a) 850 °C (b) 950 °C

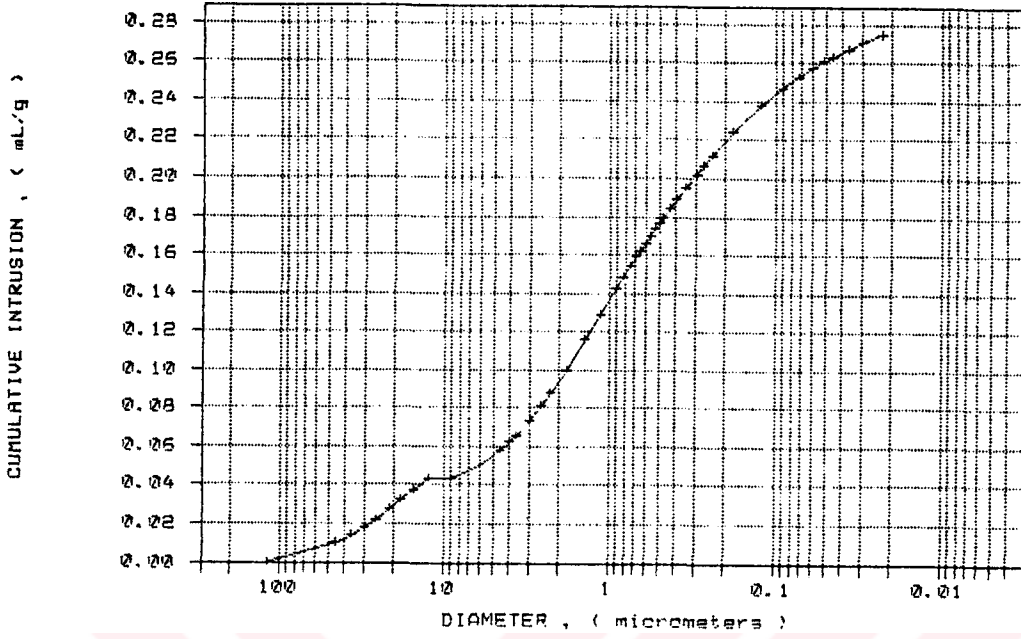


(a)

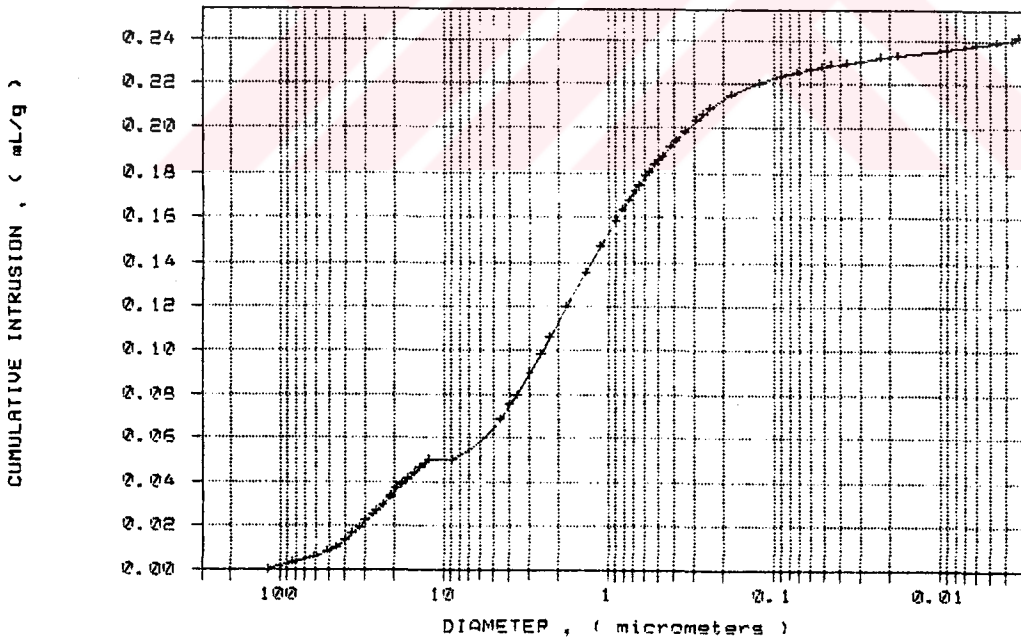


(b)

Şekil B.3. Ponzasız Katkılı Tuğlanın MIP Grafiği
(a) 850 °C (b) 950 °C



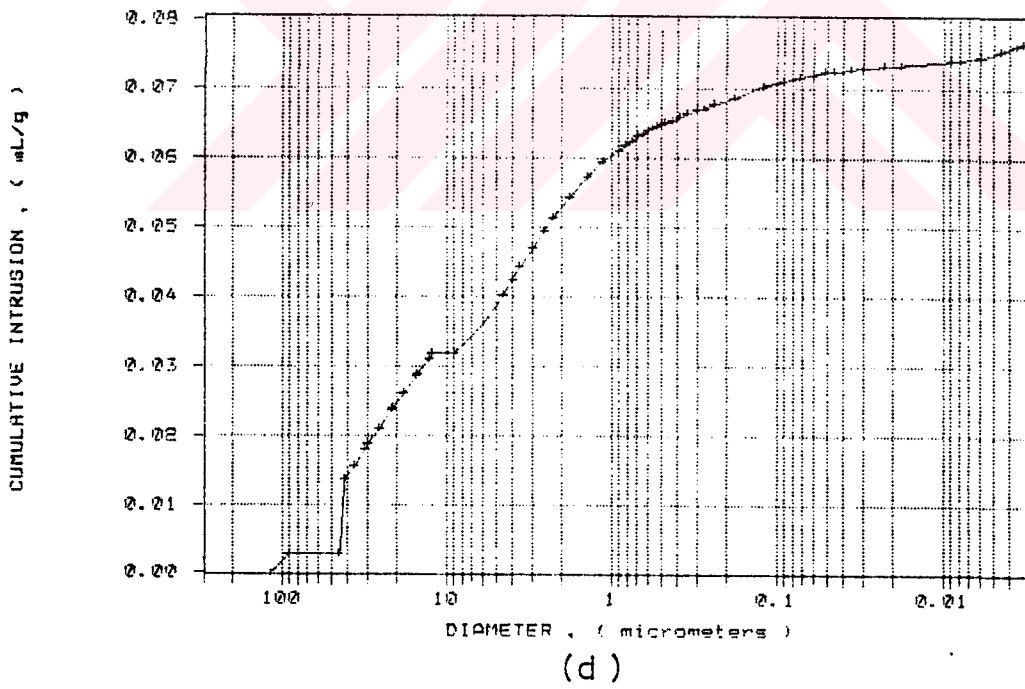
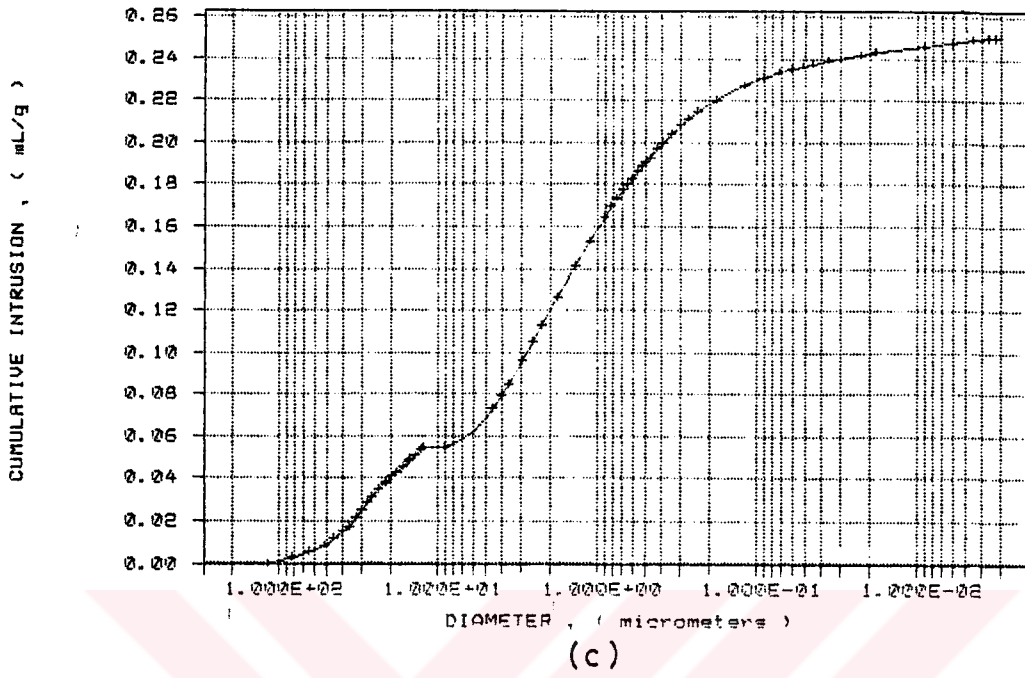
(a)



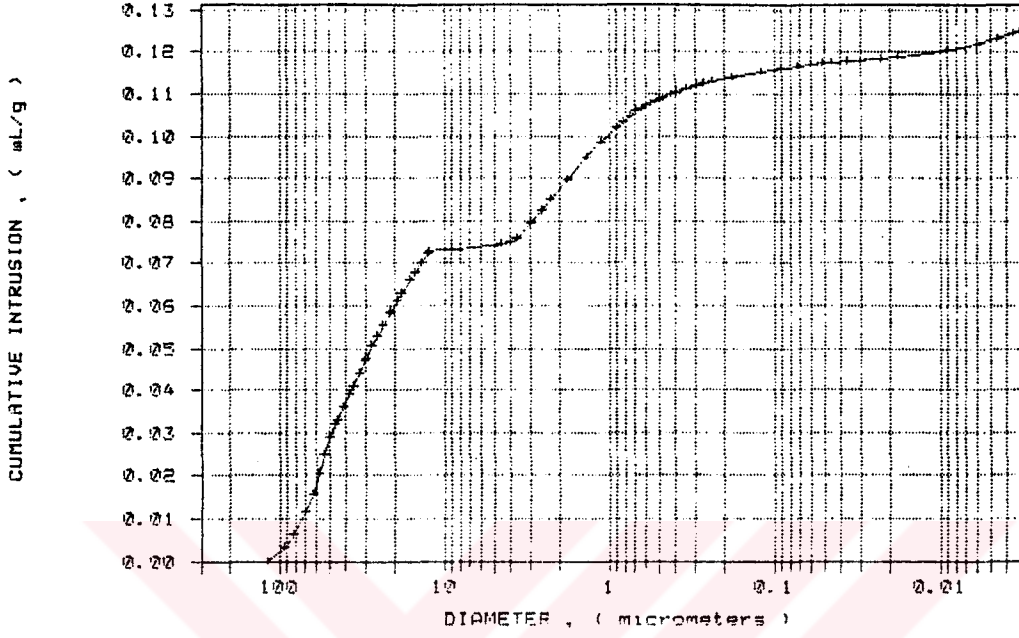
(b)

Şekil B.4. Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Tuğlanın MIP Grafiği

(a) 800 °C (b) 850 °C (c) 900 °C
(d) 950 °C (e) 1000 °C



Şekil B.4. Devam



(e)

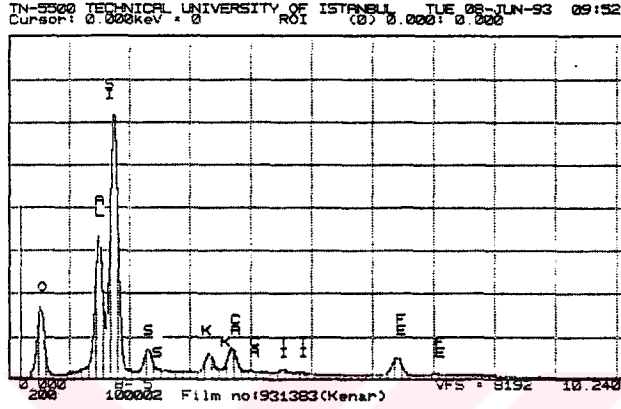
Şekil B.4. Devam

EK C. EDAX ANALİZLERİ



ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 3

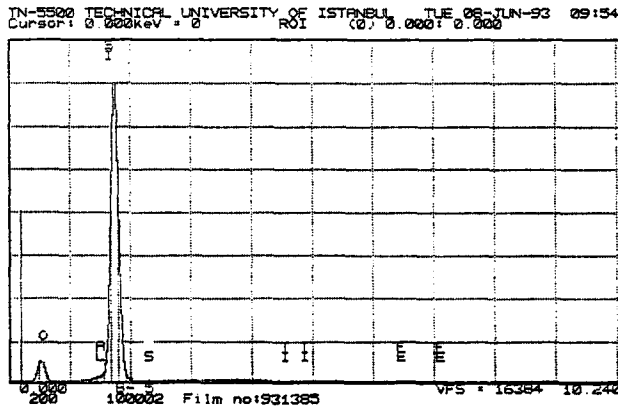
Element	K-ratio	Z	A	F	AtomZ	WtZ	Formula	CompoundZ
Al-K	0.083	1.040	1.465	0.991	9.95	12.51	Al ₂ O ₃	23.63
Si-K	0.162	1.011	1.461	0.998	18.29	23.94	SiO ₂	51.21
S-K	0.023	1.019	1.401	0.998	2.19	3.28	S O ₃	8.19
K-K	0.020	1.059	1.131	0.993	1.29	2.34	K ₂ O	2.82
Ca-K	0.031	1.035	1.097	0.996	1.85	3.46	CaO	4.85
Ti-K	0.007	1.133	1.057	0.993	0.39	0.88	TiO ₂	1.46
Fe-K	0.053	1.138	1.008	1.000	2.34	6.09	FeO	7.84
O-K	0.155	0.967	3.160	1.000	63.70	47.50 S	---	---
					Total=	100.00%	Total=	100.00%



(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 3

Element	K-ratio	Z	A	F	AtomZ	WtZ	Formula	CompoundZ
Al-K	0.001	1.054	1.364	0.978	0.09	0.12	Al ₂ O ₃	0.22
Si-K	0.378	1.024	1.195	1.000	33.06	46.31	SiO ₂	99.08
S-K	0.001	1.033	1.496	1.000	0.10	0.17	S O ₃	0.41
K-K	0.000	1.074	1.151	1.000	0.00	0.00	K ₂ O	0.00
Ca-K	0.000	1.050	1.099	1.000	0.00	0.00	CaO	0.00
Ti-K	0.001	1.151	1.045	1.000	0.03	0.07	TiO ₂	0.12
Fe-K	0.001	1.157	1.002	1.000	0.05	0.13	FeO	0.17
O-K	0.206	0.981	2.632	1.000	66.67	53.20 S	---	---
					Total=	100.00%	Total=	100.00%



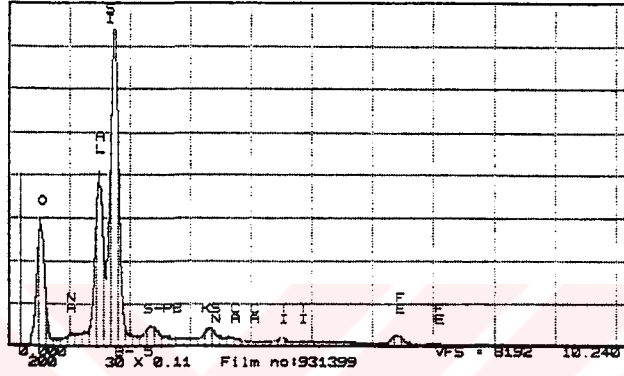
(b)

Şekil C.1. 850 °C de Pişen Ponzasız Katkısız Tuğla
(a) 5.55a no'lu foto'ya ait
(b) 5.55c no'lu fotodaki işaretli bölgeye

IAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 2

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Al-K	0.097	1.036	1.440	0.990	11.45	14.36	Al ₂ O ₃	27.13
Si-K	0.184	1.006	1.479	0.999	20.97	27.38	SiO ₂	58.57
S-K	0.003	1.014	1.448	0.999	0.28	0.42	S O ₃	1.05
K-K	0.013	1.054	1.165	0.998	0.90	1.63	K ₂ O	1.97
Ca-K	0.003	1.031	1.120	0.998	0.16	0.30	CaO	0.41
Ti-K	0.006	1.128	1.061	0.996	0.33	0.75	TiO ₂	1.24
Fe-K	0.025	1.133	1.010	0.998	1.11	2.88	FeO	3.70
Na-K	0.005	1.031	2.319	0.996	1.03	1.11	Na ₂ O	1.49
Sn-L	0.001	1.275	1.022	0.998	0.03	0.19	SnO ₂	0.24
Pb-M	0.026	1.391	1.094	0.999	0.40	3.89	PbO	4.19
P-K	0.000	1.041	1.687	0.998	0.00	0.00	P ₂ O ₅	0.00
O-K	0.172	0.965	2.836	1.000	53.33	47.10		
					Total =	100.00%	Total =	100.00%

TN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL TUE 08-JUN-93 10:24
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000 0.000

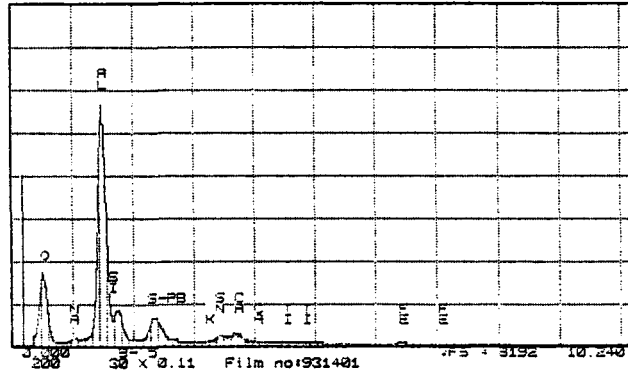


(a)

IAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 2

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Al-K	0.233	1.018	1.461	0.997	28.94	34.39	Al ₂ O ₃	55.35
Si-K	0.026	0.990	1.840	0.998	3.84	4.78	SiO ₂	10.22
S-K	0.020	0.998	1.398	0.999	1.93	2.74	S O ₃	5.84
K-K	0.003	1.035	1.186	0.998	0.18	0.32	K ₂ O	0.38
Ca-K	0.013	1.012	1.132	0.999	0.33	1.47	CaO	2.05
Ti-K	0.002	1.107	1.087	0.999	0.11	0.22	TiO ₂	0.37
Fe-K	0.009	1.110	1.019	0.996	0.39	0.97	FeO	1.25
Na-K	0.006	1.013	2.308	0.995	1.41	1.43	Na ₂ O	1.73
Sn-L	0.022	1.255	1.039	0.999	0.57	2.97	SnO ₂	3.75
Pb-M	0.050	1.358	1.057	0.999	0.79	7.27	PbO	7.84
P-K	0.000	1.022	1.608	0.996	0.00	0.00	P ₂ O ₅	0.00
O-K	0.152	0.948	3.002	1.000	51.32	43.24		
					Total =	100.00%	Total =	100.00%

TN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL TUE 08-JUN-93 10:27
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000 0.000



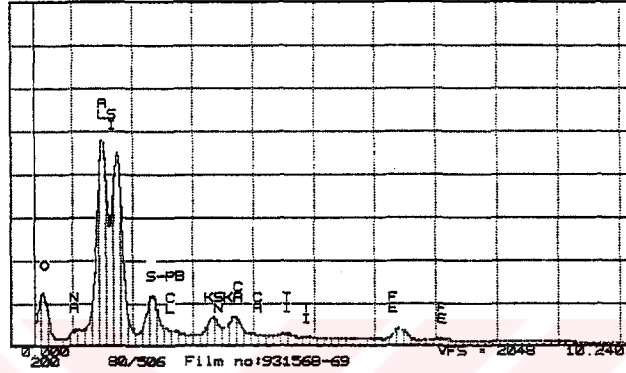
(b)

Şekil C.2. 950 °C de Pişen Ponzasız Katkılı Tuğla
(a) 5.58 a no'lu fotoya ait
(b) 5.58 b no'lu fotoya ait

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 3

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.005	1.025	2.424	0.996	1.13	1.17	Na2O	1.58
Al-K	0.114	1.029	1.484	0.993	14.31	17.34	Al2O3	32.77
Si-K	0.106	1.000	1.558	0.997	13.00	16.40	SiO2	35.09
S-K	0.033	1.008	1.377	0.997	3.14	4.52	S O3	11.28
Cl-K	0.007	1.053	1.339	0.997	0.65	1.04	Cl	1.04
K-K	0.018	1.048	1.166	0.996	1.24	2.17	K2O	2.61
Ca-K	0.020	1.024	1.125	0.997	1.27	2.28	CaO	3.19
Fe-K	0.034	1.124	1.015	0.998	1.56	3.93	FeO	5.05
Mg-K	0.000	0.999	1.815	0.992	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.008	1.121	1.075	0.996	0.46	0.99	TiO2	1.66
Pb-L	0.029	1.382	1.042	0.998	0.45	4.18	PbO	4.50
Sn-L	0.007	1.267	1.023	0.998	0.18	0.97	SnO2	1.23
O-K	0.143	0.959	3.248	1.000	62.61	45.01	S	—
					Total =	100.00%	Total =	100.00%

TN-3300 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 12:38
Cursor: 0.358keV = 131 ROI (0) 0.000: 0.000

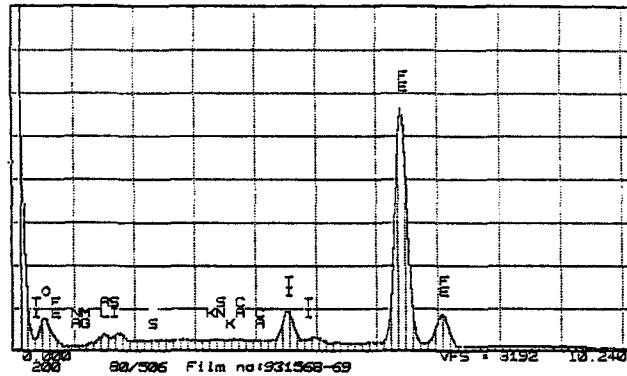


(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 4

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.002	0.972	4.658	1.000	1.30	0.90	Na2O	1.21
Al-K	0.006	0.976	2.323	0.999	1.61	1.31	Al2O3	2.47
Si-K	0.005	0.947	1.842	0.999	1.00	0.84	SiO2	1.30
S-K	0.000	0.993	1.350	0.996	0.04	0.04	S O3	0.10
Cl-K	0.000	0.996	1.232	0.992	0.00	0.00	Cl	0.00
K-K	0.001	0.989	1.096	0.976	0.09	0.10	K2O	0.13
Ca-K	0.002	0.966	1.059	0.960	0.18	0.21	CaO	0.30
Fe-K	0.624	1.056	1.003	1.000	39.33	65.95	FeO	34.85
Mg-K	0.002	0.948	3.137	0.999	0.95	0.69	MgO	1.15
Ti-K	0.046	1.055	1.025	0.916	3.21	4.61	TiO2	7.59
Pb-L	0.000	1.307	1.022	0.995	0.00	0.00	PbO	0.00
Sn-L	0.002	1.195	0.968	0.970	0.07	0.24	SnO2	0.31
O-K	0.125	0.911	2.216	0.998	52.23	25.10	S	—
					Total =	100.00%	Total =	100.00%

TN-3300 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 12:11
Cursor: 0.140keV = 7706 ROI (0) 0.000: 0.000

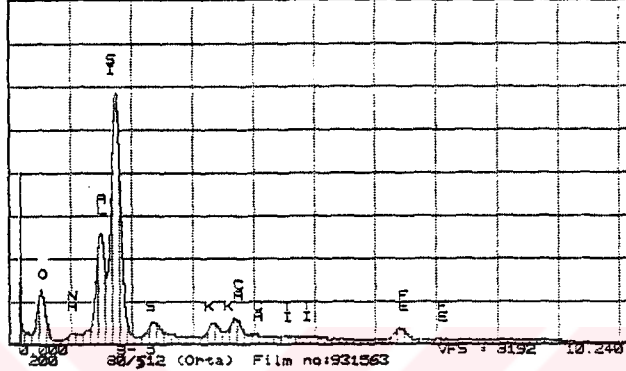


(b)

Şekil C.3. 850 °C de Pişen, Fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğla
(a) Matriks-Gri Bölgeler
(b) Büyük beyaz bölge-FeO

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.006	1.036	2.396	0.996	1.28	1.39	Na2O	1.88
Al-K	0.074	1.042	1.459	0.990	8.77	11.17	Al2O3	21.11
Si-K	0.185	1.012	1.435	0.999	20.22	26.80	SiO2	57.33
S-K	0.016	1.020	1.414	0.998	1.34	2.34	S O3	5.83
Cl-K	0.000	1.066	1.298	0.996	0.00	0.00	Cl	0.00
K-K	0.018	1.061	1.132	0.994	1.13	2.09	K 2O	2.52
Ca-K	0.025	1.037	1.097	0.997	1.32	2.88	CaO	4.04
Fe-K	0.041	1.141	1.007	1.000	1.77	4.86	FeO	5.99
Mg-K	0.000	1.010	1.816	0.992	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.007	1.136	1.053	0.994	0.34	0.78	TiO2	1.30
O-K	0.161	0.969	3.074	1.000	63.41	47.89		
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

IN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 10:54
Cursor: 0.000KeV = 0

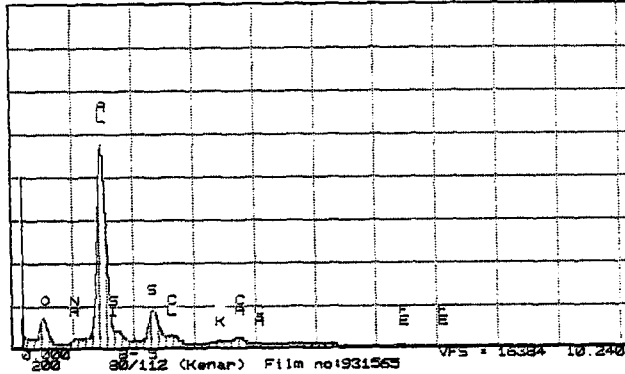


(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 23

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.012	1.033	2.117	0.994	2.53	2.84	Na2O	3.83
Al-K	0.252	1.038	1.384	0.998	27.66	36.19	Al2O3	68.38
Si-K	0.007	1.009	1.830	0.998	0.93	1.27	SiO2	2.72
S-K	0.041	1.017	1.352	0.999	5.38	8.36	S O3	20.88
Cl-K	0.010	1.043	1.308	0.999	0.79	1.36	Cl	1.36
K-K	0.002	1.058	1.143	0.998	0.16	0.30	K 2O	0.36
Ca-K	0.011	1.035	1.094	1.000	0.63	1.22	CaO	1.70
Fe-K	0.005	1.139	1.003	1.000	0.22	0.61	FeO	0.78
Mg-K	0.000	1.008	1.680	0.989	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.000	1.133	1.046	0.999	0.00	0.00	TiO2	0.00
O-K	0.186	0.967	2.661	0.999	61.69	47.86		
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

IN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 11:03
Cursor: 0.000KeV = 0



(b)

Şekil C.4. 950 °C de Pişen, fuller Parabolüne Göre % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkısız Tuğla

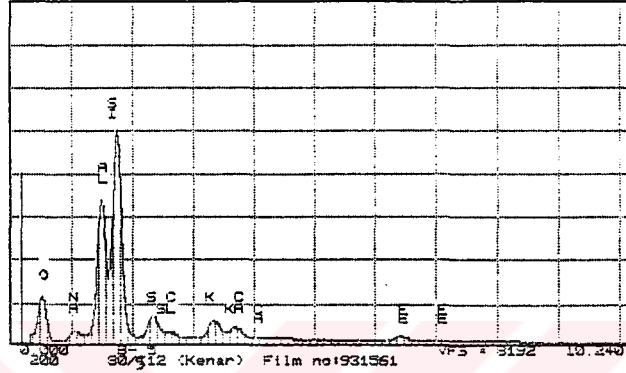
(a) 5.60 a no'lu fotoya ait

(b) 5.60 b no'lu fotograftaki işaretli bölgeye ait

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 5

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.010	1.038	2.249	0.996	2.13	2.36	Na2O	3.18
Al-K	0.106	1.044	1.421	0.991	12.00	15.58	Al2O3	29.44
Si-K	0.157	1.014	1.484	0.998	17.43	23.37	SiO2	50.43
S-K	0.025	1.022	1.410	0.998	2.34	3.62	S O3	9.03
Cl-K	0.001	1.068	1.309	0.997	0.10	0.17	Cl	0.17
K-K	0.023	1.063	1.137	0.998	1.44	2.72	K 2O	3.27
Ca-K	0.011	1.039	1.104	0.999	0.68	1.31	CaO	1.83
Fe-K	0.018	1.144	1.005	1.000	0.77	2.06	FeO	2.65
O-K	0.171	0.971	2.935	1.000	63.11	48.62	S	---
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

TN-5520 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 10:30
Cursor: 0.000keV = 0

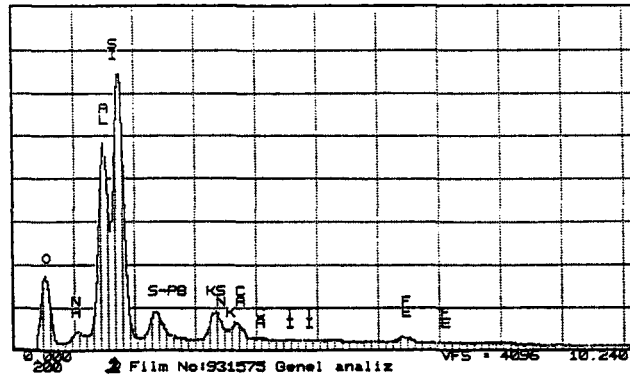


(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 5

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.011	1.026	2.342	0.996	2.42	2.54	Na2O	3.43
Al-K	0.104	1.031	1.475	0.992	12.75	15.71	Al2O3	29.67
Si-K	0.145	1.002	1.526	0.998	17.20	22.06	SiO2	47.16
S-K	0.015	1.009	1.415	0.998	1.47	2.15	S O3	5.37
K-K	0.019	1.049	1.164	0.998	1.32	2.36	K 2O	2.84
Ca-K	0.011	1.025	1.125	0.999	0.68	1.24	CaO	1.73
Fe-K	0.014	1.126	1.016	0.998	0.62	1.57	FeO	2.02
Mg-K	0.000	1.000	1.813	0.992	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.001	1.127	1.081	0.998	0.06	0.14	TiO2	0.24
Pb-M	0.027	1.385	1.072	0.998	0.43	4.04	PbO	4.35
Sn-L	0.019	1.268	1.022	0.999	0.46	2.49	SnO2	3.16
O-K	0.150	0.960	3.167	1.000	62.59	45.71	S	---
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

TN-5520 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 14:53
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000: 0.000



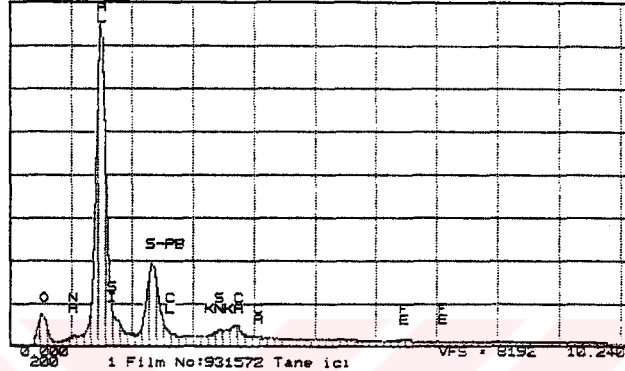
(b)

Şekil C.5. % 80 Hacim Oranında Fuller Parabolüne Göre Uygun Ponzalarla Üretilen Tuğlalar
(a) Katkısız-950 °C -5.60 c no'lu fotoya ait
(b) Katkılı-850 °C-5.61 a no'lu fotoya ait

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 7

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.003	1.008	2.372	0.995	0.72	0.70	Na2O	0.95
Al-K	0.216	1.011	1.484	0.997	28.09	32.30	Al2O3	61.03
Si-K	0.004	0.983	1.822	0.996	0.56	0.68	SiO2	1.45
S-K	0.051	0.991	1.352	0.999	4.99	6.82	S O3	17.03
Cl-K	0.005	1.036	1.404	0.998	0.44	0.66	Cl	0.66
K-K	0.002	1.030	1.209	0.998	0.12	0.19	K 2O	0.23
Ca-K	0.011	1.005	1.157	0.999	0.76	1.30	CaO	1.82
Fe-K	0.007	1.103	1.023	0.996	0.31	0.74	FeO	0.95
Mg-K	0.000	0.984	1.792	0.990	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.000	1.101	1.098	0.999	0.00	0.00	TiO2	0.00
Pb-M	0.081	1.358	1.023	0.999	1.28	11.29	PbO	12.17
Sn-L	0.022	1.244	1.065	1.000	0.58	2.93	SnO2	3.71
O-K	0.142	0.944	3.156	1.000	62.16	42.39	S	---
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

IN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 14:22
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000 0.000

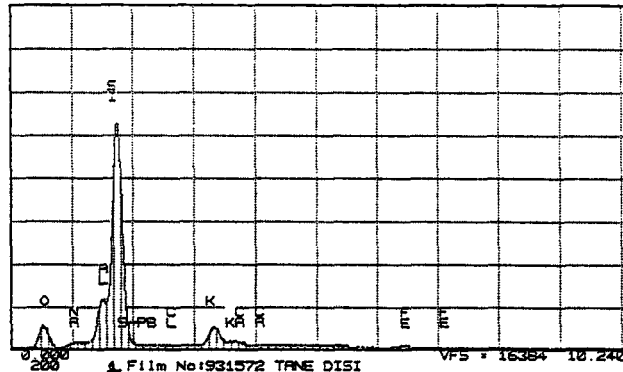


(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 12

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.008	1.039	2.243	0.996	1.76	1.94	Na2O	2.62
Al-K	0.045	1.045	1.416	0.986	5.13	6.63	Al2O3	12.53
Si-K	0.261	1.015	1.332	0.999	26.19	35.26	SiO2	75.42
S-K	0.001	1.023	1.448	0.998	0.13	0.19	S O3	0.49
Cl-K	0.003	1.069	1.314	0.997	0.21	0.35	Cl	0.35
K-K	0.036	1.064	1.143	0.999	2.33	4.37	K 2O	5.27
Ca-K	0.004	1.040	1.119	0.999	0.27	0.51	CaO	0.71
Fe-K	0.010	1.144	1.008	0.999	0.44	1.19	FeO	1.33
Mg-K	0.000	1.015	1.715	0.991	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.001	1.140	1.059	0.998	0.05	0.12	TiO2	0.20
Pb-M	0.005	1.403	1.094	0.998	0.08	0.81	PbO	0.87
Sn-L	0.000	1.288	1.005	0.999	0.00	0.00	SnO2	0.00
O-K	0.165	0.973	3.033	1.000	63.40	48.62	S	---
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

IN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 14:33
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000 0.000



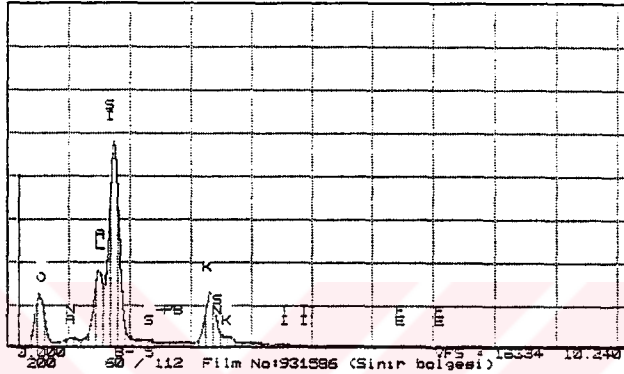
(b)

Şekil C.6. Fuller Parabolüne Uygun Ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen ve 950 °C de Pişirilen Katkılı Tuğla 5.62 no'lu fotoya ait
(a) Tane İçi-Açık gri bölge
(b) Tane Dışı-Koyu bölge

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 3

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.007	1.036	2.251	0.996	1.56	1.68	Na2O	2.26
Al-K	0.068	1.041	1.415	0.988	7.90	9.96	Al2O3	18.82
Si-K	0.209	1.011	1.386	0.998	22.32	29.29	SiO2	62.66
S-K	0.002	1.019	1.418	0.995	0.23	0.34	S O3	0.84
K-K	0.092	1.060	1.124	1.000	5.99	10.95	K2O	13.19
Ca-K	0.000	1.036	1.138	1.000	0.00	0.00	CaO	0.00
Mg-K	0.001	1.139	1.014	1.000	0.03	0.07	FeO	0.09
Ti-K	0.000	1.010	1.727	0.991	0.00	0.00	MgO	0.00
Pb-K	0.001	1.135	1.075	1.000	0.07	0.16	TiO2	0.27
Sn-L	0.000	1.398	1.072	0.996	0.00	0.00	PbO	0.00
Sn-L	0.012	1.282	0.990	1.000	0.27	1.47	SnO2	1.87
Total	0.136	0.969	3.496	1.000	51.64	46.08		
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

TN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 17:10
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000: 0.000

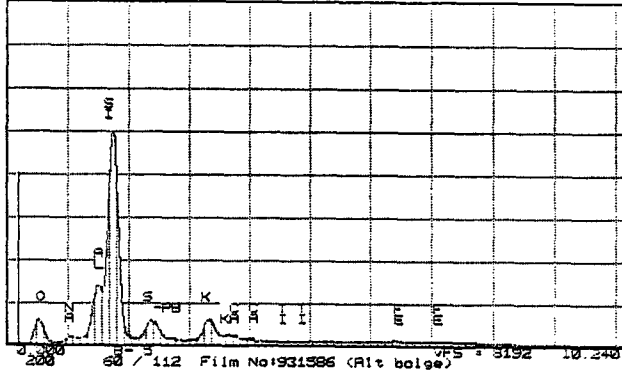


(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 4

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.008	1.027	2.338	0.996	1.81	1.89	Na2O	2.54
Al-K	0.047	1.032	1.467	0.988	5.82	7.10	Al2O3	13.41
Si-K	0.210	1.003	1.379	0.997	22.81	28.98	SiO2	61.99
S-K	0.019	1.011	1.415	0.998	1.83	2.65	S O3	6.61
K-K	0.036	1.050	1.187	0.999	2.51	4.43	K2O	5.34
Ca-K	0.005	1.027	1.154	0.999	0.35	0.63	CaO	0.88
Mg-K	0.011	1.127	1.017	0.996	0.48	1.23	FeO	1.58
Ti-K	0.000	1.002	1.796	0.992	0.00	0.00	MgO	0.00
Pb-K	0.001	1.124	1.083	0.998	0.03	0.06	TiO2	0.11
Sn-L	0.047	1.386	1.070	0.999	0.75	7.00	PbO	7.54
Sn-L	0.000	1.270	1.041	0.999	0.00	0.00	SnO2	0.00
Total	0.149	0.962	3.218	1.000	63.62	46.04		
					Total=	100.00%	Total=	100.00%

TN-5500 TECHNICAL UNIVERSITY OF ISTANBUL MON 17-MAY-93 17:17
Cursor: 0.000keV = 0 ROI (0) 0.000: 0.000



(b)

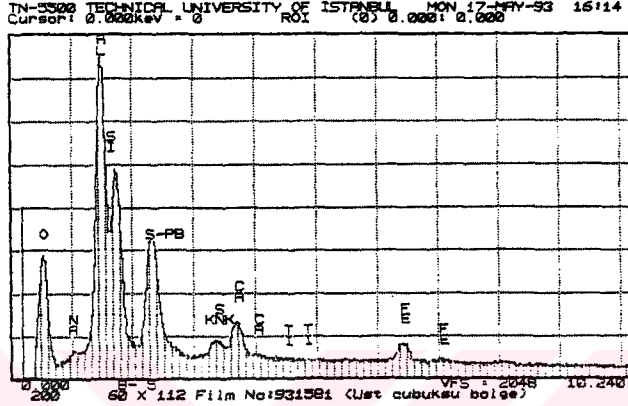
Şekil C.7. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen ve 950 °C de Pişirilen Katkısız Tuğla 5.63 no'lu fotoya ait.

(a) Sınır Bölgesi-pişmiş kil

(b) Alt Bölge-ponza

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 3

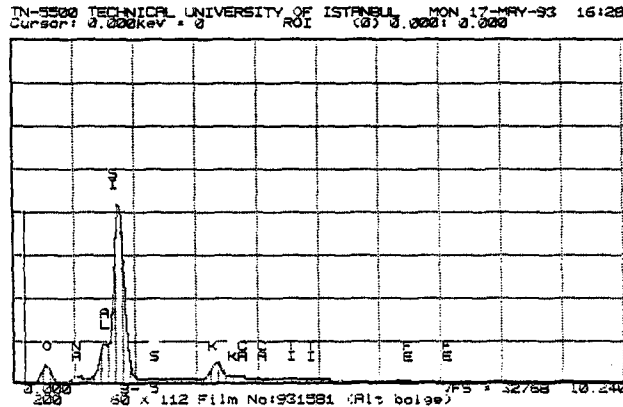
Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.003	1.019	2.498	0.996	0.86	0.87	Na2O	1.17
Al-K	0.121	1.024	1.515	0.994	15.75	18.64	Al2O3	35.22
Si-K	0.066	0.994	1.603	0.996	8.48	10.46	SiO2	22.37
S-K	0.062	1.002	1.341	0.998	5.87	8.26	S O3	20.63
K-K	0.008	1.040	1.191	0.995	0.56	0.97	K 2O	1.17
Ca-K	0.028	1.018	1.135	0.998	1.81	3.18	CaO	4.45
Fe-K	0.032	1.114	1.021	0.997	1.49	3.66	FeO	4.71
Mg-K	0.000	0.992	1.881	0.993	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.002	1.112	1.093	0.996	0.09	0.19	TiO2	0.32
Pb-L	0.049	1.374	1.016	0.998	0.75	6.86	PbO	7.39
Sn-L	0.016	1.257	1.044	0.999	0.39	2.03	SnO2	2.38
O-K	0.141	0.953	3.333	1.000	63.93	44.88	S	—
					Total=	100.00%	Total=	100.00%



(a)

ZAF Correction 20.00 kV 40.98 deg
No. of Iterations = 14

Element	K-ratio	Z	A	F	Atom%	Wt%	Formula	Compound%
Na-K	0.011	1.043	2.223	0.996	2.35	2.61	Na2O	3.52
Al-K	0.045	1.046	1.423	0.987	5.14	6.68	Al2O3	12.62
Si-K	0.256	1.017	1.336	0.999	25.62	34.68	SiO2	74.20
S-K	0.003	1.027	1.457	0.998	0.31	0.48	S O3	1.19
K-K	0.041	1.068	1.138	0.999	2.62	4.94	K 2O	5.96
Ca-K	0.005	1.043	1.112	0.999	0.30	0.59	CaO	0.82
Fe-K	0.011	1.148	1.006	1.000	0.45	1.22	FeO	1.57
Mg-K	0.000	1.016	1.727	0.991	0.00	0.00	MgO	0.00
Ti-K	0.001	1.143	1.054	0.999	0.03	0.07	TiO2	0.12
Pb-L	0.000	1.407	1.098	0.998	0.00	0.00	PbO	0.00
Sn-L	0.000	1.290	1.000	1.000	0.00	0.00	SnO2	0.00
O-K	0.171	0.975	2.928	1.000	53.17	48.72	S	—
					Total=	100.00%	Total=	100.00%



(b)

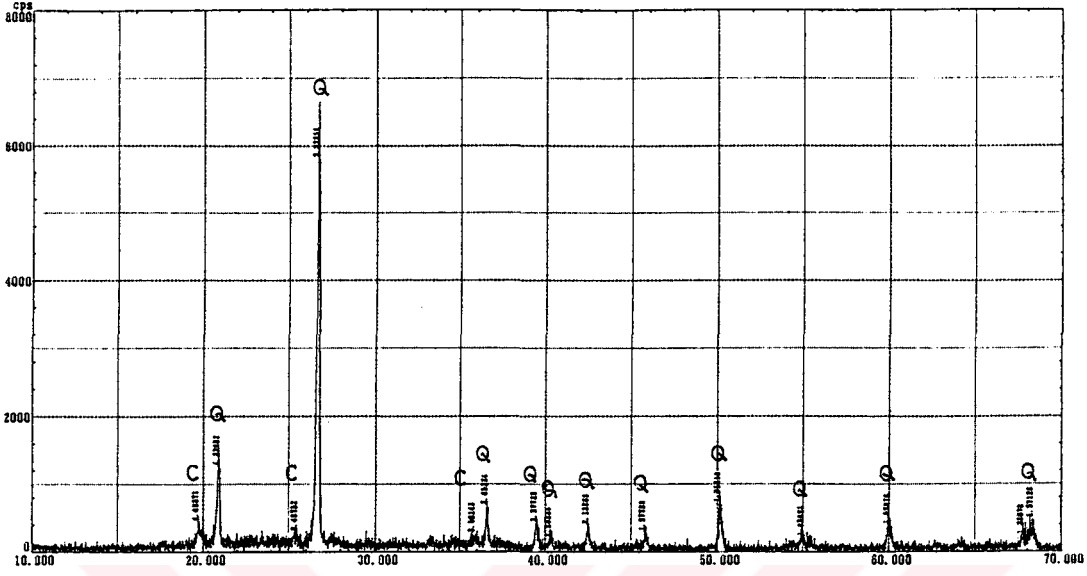
Şekil C.8. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında Üretilen ve 950 °C de Pişirilen Katkılı Tuğla 5.64 no'lu fotoya ait.

(a) Çubuksu Bölge-pişmiş kil

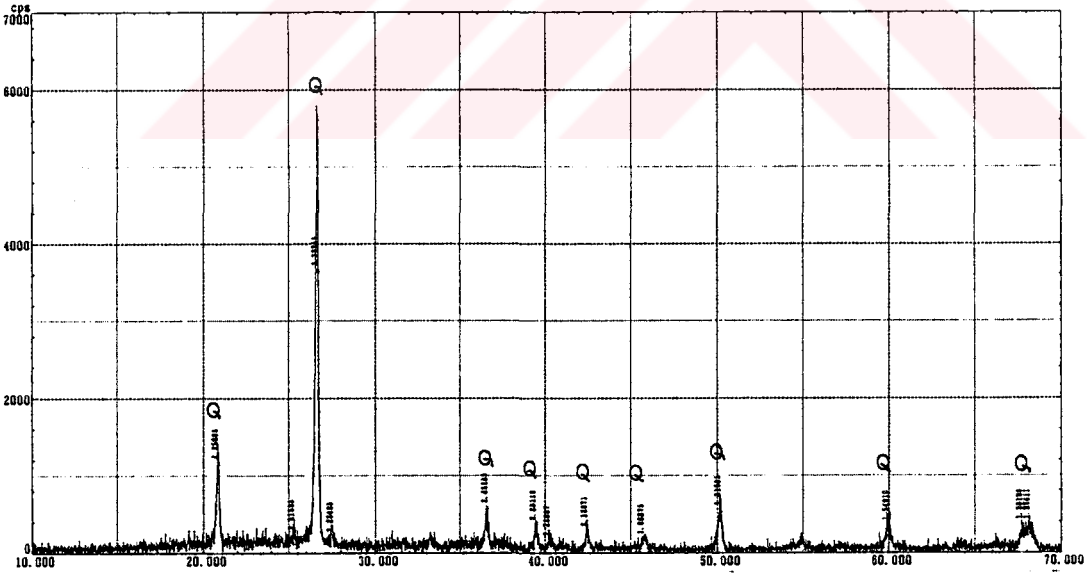
(b) Alt Bölge-ponza

EK D. X-IŞINLARI DİFRAKTOMETRE DİYAGRAMLARI





(a)

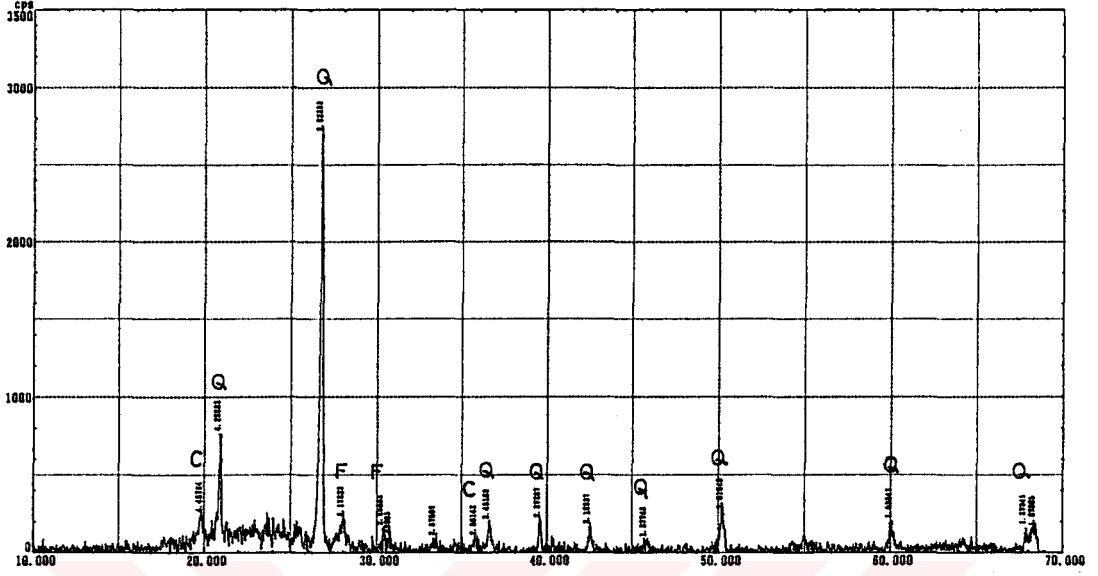


(b)

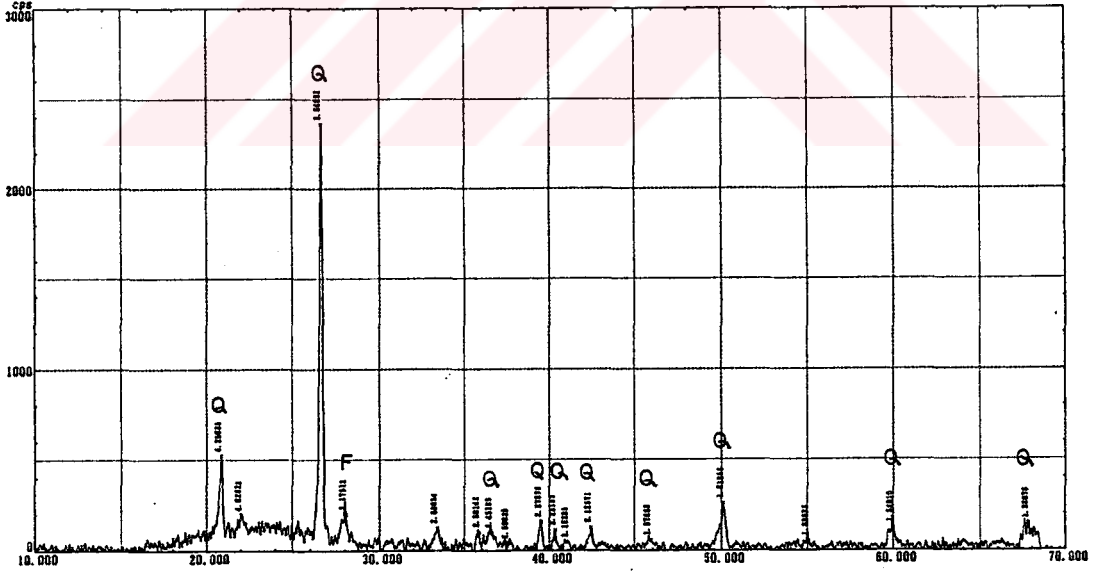
Şekil D.1. Ponzasız Katkılı Tuğlalar

(a) 850 °C (b) 950 °C

Q= Kuvars, C= Kil Minerali, F= Feldestpat



(a)

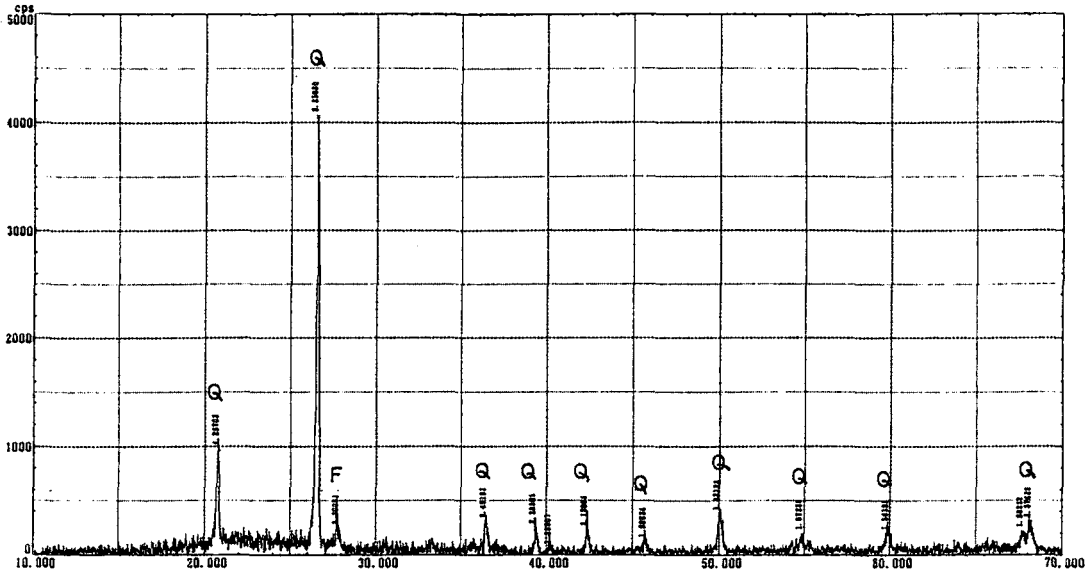


(b)

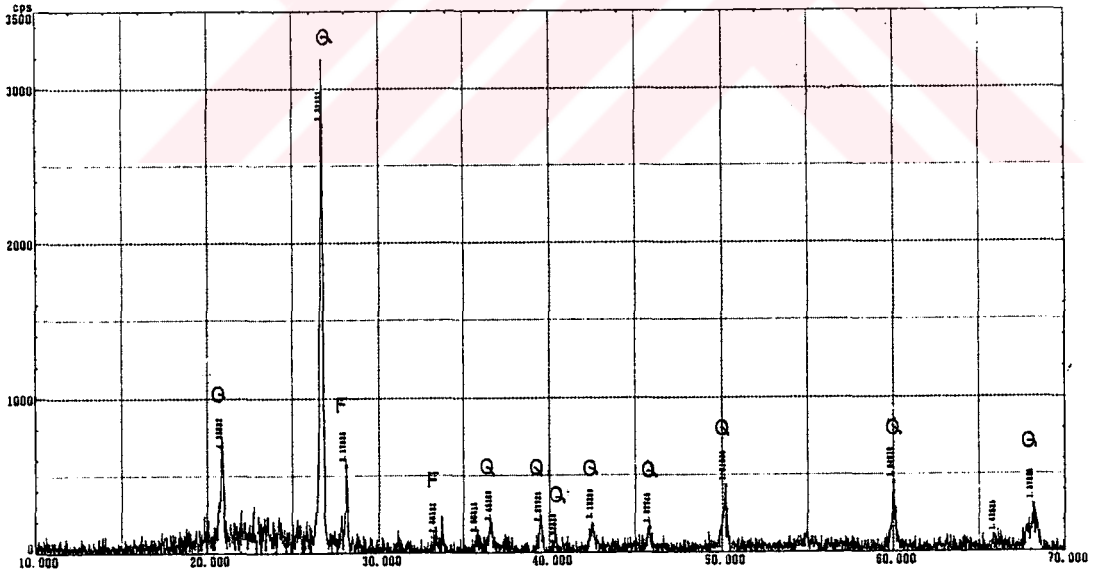
Şekil D.2. Fuller Parabolüne Uygun ponzalarla % 80 Hacim Oranında Üretilen Katkılı tuğlalar

(a) 850 °C (b) 950 °C

Q=Kuvars, C= Kil Minerali, F= Feldspat



(a)



(b)

Şekil D.3. 1/2 Dane Çaplı Ponzalarla % 60 Hacim Oranında
Üretilen ve 950 °C de Pişirilen Tuğlalar
(a) Katkısız (b) Katkılı
Q= Kuvars, C= Kil Minerali, F= Feldspat

ÖZGEÇMİŞ

1959 İstanbul doğumludur. 1976-77 öğretim yılında Kadıköy Anadolu Lisesi'nden mezun olmuştur. İTÜ Mimarlık Fakültesi'nde 1977-82 yılları arasında lisans, Sosyal Bilimler Enstitüsü Mimarlık dalında 1982-84'de yüksek lisans öğrenimi yapmıştır. 1985'te aynı üniversitenin Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Yapı Bilgisi Programında doktora çalışmalarına başlamış olup halen bu çalışmalarını sürdürmektedir.

Ayşe Gül Güzel, 1985-88 yılları arasında İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda araştırma görevlisi olarak çalışmıştır. Halen serbest mimar olarak çalışmakta olup İngilizce bilmektedir. Evli ve bir çocuk annesidir.

