

BAYBURT İLİNİN BAZI ENDÜSTRİYEL
HAMMADDELERİNİN KARAKTERİZASYONU VE
TUĞLA-KİREMIT ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayşegül İŞLEK

Yüksek Lisans Tezi

Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı

Mart-2010

BAYBURT İLİNİN BAZI ENDÜSTRİYEL HAMMADDELERİNİN
KARAKTERİZASYONU VE TUĞLA-KİREMİT ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Ayşegül İŞLEK

Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman : Prof. Dr. İskender IŞIK

Mart-2010

KABUL ve ONAY SAYFASI

Ayşegül İŞLEK'in YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Bayburt İlinin Bazı Endüstriyel Hammaddelerinin Karakterizasyonu ve Tuğla-Kiremit Üretiminde Kullanılabilirliklerinin Araştırılması" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

.../.../2010

Üye : Prof. Dr. İskender IŞIK (Danışman)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Veli UZ

Üye : Yrd. Doç. Dr. Gürsel YANIK

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... gün ve sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Atalay KÜÇÜKBURSA
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

**BAYBURT İLİNİN BAZI ENDÜSTRİYEL HAMMADDELERİNİN
KARAKTERİZASYONU VE TUĞLA-KİREMİT ÜRETİMİNDE
KULLANILABİLİRLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Ayşegül İŞLEK

Seramik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2010

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İskender IŞIK

ÖZET

Bu çalışmada Bayburt ilinde bulunan Bay-Kes tuğla fabrikası ürünleri ve üretim yöntemleri incelenmiş, müşterilerinin memnuniyetsizliklerine neden olan ürünlerindeki başlıca renk, mukavemet ve deformasyon özelliklerinin iyileştirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla Bayburt ilindeki tuğla fabrikasının üretimde kullandığı hammadde karışımı (ekstrüzyon girişi) göz önünde bulundurularak, fabrikaya yakın çevrelerden alınan 10 adet numunenin bu fabrikada yukarıdaki amaç doğrultusunda kullanılabilirliği ve kullanım oranının ne olabileceği çeşitli deneyler yapılarak araştırılmıştır. Bayburt ilinin farklı yerlerinden temin edilen bu 10 adet hammaddenin karakterizasyonları için tane boyutu, kimyasal, mineralojik, termal, plastiklik, çekme, su emme, donma-çözülme ile mukavemet deneyleri yapılmıştır.

Tane boyutu analizi sonucu 5 adet numunenin (2, 3, 5, 6 ve 8 numaralı) ağırlıkça kil, silt ve kum miktarlarının Bayburt ilindeki tuğla fabrikasının üretiminde kullandığı ekstrüzyon girişindeki numune sonuçlarına uygun sonuçlar vermediği görülmüştür. Yukarıda belirtilen tüm deneylerin sonuçlarına göre 3 adet numunenin de (1, 4 ve 7) ekstrüzyon girişi numunesinin sonuçlarına ve tuğla üretimine uygun olmadıklarına karar verilmiştir. Sonuç olarak 9 ve 10 numaralı örnekler yapılan tüm deneyler sonucunda ekstrüzyon girişi örneği ile tuğla üretimi için uygun bir reçete oluşturabileceği anlaşılmıştır. Böylece ekstrüzyon girişi, 9 ve 10 numaralı numunelerden 3 adet reçete oluşturulmuş ve oluşturulan bu karışımlardan sadece "Reçete 3"ün üretimde yukarıdaki problemleri ortadan kaldırmaya yönelik olarak kullanılabileceği saptanmıştır.

Reçete 3 olarak isimlendirilen bu karışımın pişmiş örneklerinin karakterizasyon sonuçlarına göre numune renginin Bay-Kes fabrikasının ürünlerinden daha kırmızı olduğu, su emme sonuçlarının %12'den %10'a düştüğü ve mukavemet sonuçlarının da 114 kgf'den 123 kgf'a yükseldiği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler : Bayburt, Tuğla-Kiremit.

**CHARACTERIZATION OF SELECTED INDUSTRIAL RAW MATERIALS IN
BAYBURT PROVINCE AND INVESTIGATING THEIR UTILIZATION IN TILE-
BRICK INDUSTRY**

Ayşegül İŞLEK

Ceramic Engineering, M.S.Thesis, 2010

Thesis Supervisor: Prof. İskender IŞIK

SUMMARY

In this study, the products and the production methods of Bay-Kes brick factory in Bayburt Province were searched in order to improve the product's properties such as colour, compressive strength and deformation that cause the customer's dissatisfaction. For that reason, considering the raw clay mixture (recipe of extrusion entrance) used in the brick production the company in Bayburt, ten different raw materials were taken around the factory and investigated by carrying out several experiments, in order to eliminate above stated production problems.

For the characterization studies of 10 raw samples, particle size, chemical, mineralogy, thermal, plasticity, shrinkage, water absorption, freeze-thaw and compressive strength experiments were carried out. On the basis of the particle size analysis, 5 samples (2, 3, 5, 6 and 8) gave improper results to the sample results used in the brick factory production where is placed the entrance of the extrusion. According to the results of the above listed experiments, it was decided that 3 samples (1, 4 and 7) were improper with respect to extrusion entrance results and brick production. As a result of the whole experiments carried out on number 9 and 10 samples, three proper recipes made up for the brick production with the sample of extrusion entrance. Thus, by the extrusion entrance, 3 of receipts were made up from number 9 and 10 samples and it was fixed that through those mixtures, at production, the usability of "Receipt 3" was capable of removing the above stated problems.

According to the characterization results of the recipe called "Receipt 3", it was determined that the fired specimen colour was more red-coloured than that of Bay-Kes factory's bricks, the water absorption of the specimen was decreased 2%, and compressive result of the specimen was increased 9 kgf.

Keywords: Bayburt, Brick-Tile.

TEŞEKKÜR

Yoğun iş temposuna rağmen çalışmalarına vakit ayıran ve ilgisini esirgemeyen tez danışmanım Sayın Prof. Dr. İskender IŞIK'a ve her türlü yardımını esirgemeyen Yard. Doç. Dr. Veli Uz'a, laboratuvar çalışmalarımın sağlıklı bir şekilde gerçekleşmesinde yardımcı olan Araş. Gör. Eda TAŞÇI'ya ve sonuçları yorumlamamda yardımcı olan Araş. Gör. Dr. Rasim CEYLANTEKİN'e, her zaman desteğini gördüğüm Araş. Gör. Hediye AYDIN'a teşekkür ederim.

Bugüne kadar olduğu gibi yüksek lisans tez çalışmalarım esnasında çalışmalarımın her kademesindeki zorlukları benimle paylaşan arkadaşlarım Seramik Yüksek Mühendisi Seçil CERİT ve Seramik Yüksek Mühendisi Ayça DEMİRELER ile maddi manevi desteklerini yanımda hissettiğim aileme çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KİL VE KİL MİNERALİNİN TANIMI	4
2.1. Kil Mineralojisi ve Kimyasal Bileşimi	5
2.2. Kil minerallerinin sınıflandırılması	5
2.2.1. Kaolen grubu kil mineralleri	7
2.2.2. İllit grubu kil mineralleri	8
2.2.3. Montmorillonit grubu kil mineralleri	10
2.2.4. Vermikülit grubu kil mineralleri	11
2.2.5. Klorit grubu kil mineralleri	11
2.3. Killerin içerdiği bazı mineraller ve etkileri.....	12
2.3.1. Kuvars	12
2.3.2. Feldspat	13
2.3.3. Kalsit	13
2.3.4. Dolomit.....	14
2.3.5. Alümina.....	14
2.3.6. Alkali bileşikler	14
2.3.7. Demir bileşikleri.....	15
2.3.8 Organik maddeler	16
3. TUĞLA-KİREMİT ÜRETİMİ.....	17
3.1. Kil Türleri	17
3.2. Hammadde Hazırlanması.....	18
3.3. Şekillendirme	24
3.4. Kurutma	25
3.5. Pişirme	28
3.5.1. Kil minerallerinin ısıtılması sonucu oluşan reaksiyonlar	28
3.5.2. Pişirme prosesi	32
3.6. Ambalajlama ve Sevk	36

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
4. TUĞLA-KİREMİT SANAYİ BİLGİLERİ.....	38
4.1. Sektörün Tanımı ve Sınırlanması	38
4.2. Kullanımlar	39
4.3. Standartlar.....	39
4.3.1. Ürün standartları.....	41
4.3.2. Kuruluş sayısı, mevcut kapasite ve kullanımı	41
4.3.3. Bay-Kes tuğla fabrikası.....	42
4.3.4. Türkiye'nin ayrışma indeksi haritası.....	43
5. MALZEME	45
5.1. Malzeme	45
5.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması	48
6. YÖNTEM.....	49
6.1. Çalışma Yöntemi	49
6.2. Tane Boyu Analizi	49
6.3. Kimyasal Analiz	50
6.4. Mineralojik Analiz.....	50
6.5. Termal Analiz	51
6.6. Pfeffekorn Plastiklik Testi	51
6.7. Kuru Küçülme, Pişme Küçülmesi ve Toplam Küçülme Deneyleri	52
6.8. Su Emme Deneyi	53
6.9. Donma Çözülme Deneyi.....	54
6.10. Mukavemet Testi	54
7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA	55
7.1. Hammaddelere uygulanan testler.....	55
7.1.1. Kimyasal analiz	55
7.1.2. Tane boyu analizi	56
7.1.3. Pfeffekorn plastiklik testi	59
7.1.4. Mineralojik analiz.....	60
7.1.5. Termal analiz.....	66
7.2. Pişmiş Numunelere Uygulanan Testler	70
7.2.1. Toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekme sonuçları	70
7.2.2. Reçeteler.....	71
7.2.1. Reçetelere uygulanan testler.....	72
7.2.1.1. Mineralojik analiz	72
7.2.2.2. Su emme ve doyumluk katsayısı.....	75

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
7.2.2.3. Toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekme sonuçları	77
7.2.2.4. Donma çözülme deneyi.....	78
7.2.2.5. Mukavemet testi.....	79
7.2.2.6. SEM görüntüleri.....	81
8. ÖNERİLER.....	83
KAYNAKLAR DİZİNİ	84
EKLER	
1. Deneylerde kullanılan numunelerin tane boyut analiz sonuçları	
2. 1 Numaralı numunenin kil, silt ve kum fraksiyonlarının hesaplanması	
3. Ekstrüzyon girişinin ve numunelerin Pfefferkorn plastiklik testi sonuçları	
4. 1 numaralı numunenin pfefferkorn plastiklik testi ağırlık sonuçları	
5. 2 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
6. 4 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
7. 5 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
8. 6 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
9. 7 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
10. 8 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
11. 9 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
12. 10 Numaralı numunenin Pfefferkorn plastiklik testi	
13. XRD ile yapılan mineralojik analiz paternleri	
14. Bay-Kes tuğla fabrikasını tanıtan bilgileri	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Babil Kulesi.....	1
2.1. Kil minerallerinin tabakalarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı. .	6
2.2. Birincil alümina silikatların ayrışması ile oluşan kil mineralleri ve oksitler.....	8
2.3. Kil minerallerinin yapısı.	10
3.1. Bay-Kes tuğla fabrikasının mukavemet problemi olan ürünleri.	20
3.2. Bay-Kes tuğla fabrikasının problemli ürünleri.....	20
3.3. Bay-Kes fabrikasındaki valsın görünümü.	22
3.4. Plastiklik ölçen Pfefferkon cihazının resmi.	23
3.5. Bay-Kes fabrikası ekstrüzyonunun görünümü.	25
3.6. Bay-Kes fabrikası suni kurutma alanı.	26
3.7. Bay-Kes fabrikası suni kurutma alanı.	27
3.8. Bay-Kes fabrikası suni kurutma fanı.....	27
3.9. Bay-Kes fabrikası açık saha kurutma alanı.	28
3.10. Bay-Kes fabrikasının renk problemi olan ürünlerinin görüntüsü.....	33
3.11. Bay-Kes fabrikasının kireç problemi olan ürünlerinin görüntüsü.	34
3.12. Bay-Kes fabrikası Hoffman fırınının içi [32].....	35
3.13. Tuğla ve kiremit üretimi akım şeması.....	37
4.1. Türkiye ayrışma indeksi haritası.	44
5.1. Bay-Kes Tuğla Fabrikasının ve numunelerinin alındığı bölgelerin uydu görüntüleri .	47
6.1. Pfefferkorn plastiklik testinin yapıldığı aparatlar.....	52
7.1. Winkler üçgeni.	57
7.2. Tane boyu analizi sonucu elde edilen kil, silt ve kumun üçgen diyagramında gösterilişi. 58	
7.3. 10 adet numune ile ekstrüzyon girişinin Pfefferkorn testi sonuçlarının grafiksel gösterimi.	59
7.4. 1 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	61
7.5. 2 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	61
7.6. 3 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	62
7.7. 4 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	62
7.8. 5 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	63
7.9. 6 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	63
7.10. 7 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	64
7.11. 8 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.12. 9 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	65
7.13. 10 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.....	65
7.14. 63 µm altına indirilen 1 numaralı numunenin DTA eğrisi.....	66
7.15. 63 µm altına indirilen 4 numaralı numunenin DTA eğrisi.....	67
7.16. 63 µm altına indirilen 7 numaralı numunenin DTA eğrisi.....	67
7.17. 63 µm altına indirilen 9 numaralı numunenin DTA eğrisi.....	68
7.18. 63 µm altına indirilen 10 numaralı numunenin DTA eğrisi.....	69
7.19. 63 µm altına indirilen ekstrüzyon girişinin DTA eğrisi.....	69
7.20. Reçetelerin pişmiş numuneleri. (Yukarıdan aşağıya sırasıyla ekstrüzyon girişi, reçete 1, reçete 2 ve reçete 3 verilmiştir).	71
7.21. Ekstrüzyon girişinin X Işınları Difraktogramı.	72
7.22. Ekstrüzyon girişi (pişmiş) X Işınları Difraktogramı.	73
7.23. Reçete 1 X Işınları Difraktogramı.....	73
7.24. Reçete 2 X Işınları Difraktogramı.....	74
7.25. Reçete 3 X Işınları Difraktogramı.....	74
7.26. Reçetelerin su emme testi yapılan numuneleri.....	76
7.27. İklimlendirme cihazı (D.P.Ü. Maden Mühendisliği Laboratuvarı).....	78
7.28. Reçetelerin mukavemet testi tablosu.....	80
7.29. Reçetelerin mukavemet testi yapılan numuneleri.	81
7.30. Reçetelerin SEM görüntüleri.....	82

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sedimentlerdeki demir mineralleri ve oluşturdıkları renkler [28].....	16
3.1. Tuğla-kiremit killlerinin ortalama kimyasal yapısı [14].	21
4.1. Tuğla-kiremit yıllık üretim kapasiteleri ve adet ağırlıkları [40].....	42
5.1. Bayburt ili çevresindeki çeşitli bölgelerden alınan numuneler.	45
7.1. Deneylerde kullanılan örneklerin XRF yöntemi ile yapılan kimyasal analiz sonuçları.	55
7.2. Ekstrüzyon girişinin ve 10 adet numunenin tane boyut analizleri.	56
7.3. 4 numaralı numunenin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	70
7.4. 9 numaralı numunenin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	70
7.5. 10 numaralı numunenin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	70
7.6. Reçetelerin %miktar ve gram cinsinden oranları.	71
7.7. Ekstrüzyon girişinin su emme deneyi sonuçları.	75
7.8. Reçete 1'in su emme deneyi sonuçları.	75
7.9. Reçete 2'nin su emme deneyi sonuçları.	75
7.10. Reçete 3'ün su emme deneyi sonuçları.	76
7.11. Ekstrüzyon girişinin ve Reçetelerin hesaplanan ortalama doygunluk katsayısı değerleri.	76
7.12. Ekstrüzyon girişinin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	77
7.13. Reçete 1'in toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	77
7.14. Reçete 2'nin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	77
7.15. Reçete 3'ün toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.	77
7.16. Donma çözülme deneyi.....	78
7.17. Ekstrüzyon girişinin mukavemet testi.	79
7.18. Reçete 1'in mukavemet testi.	79
7.19. Reçete 2'nin mukavemet testi.	79
7.20. Reçete 3'ün mukavemet testi.	80

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ**Simgeler****Açıklama**

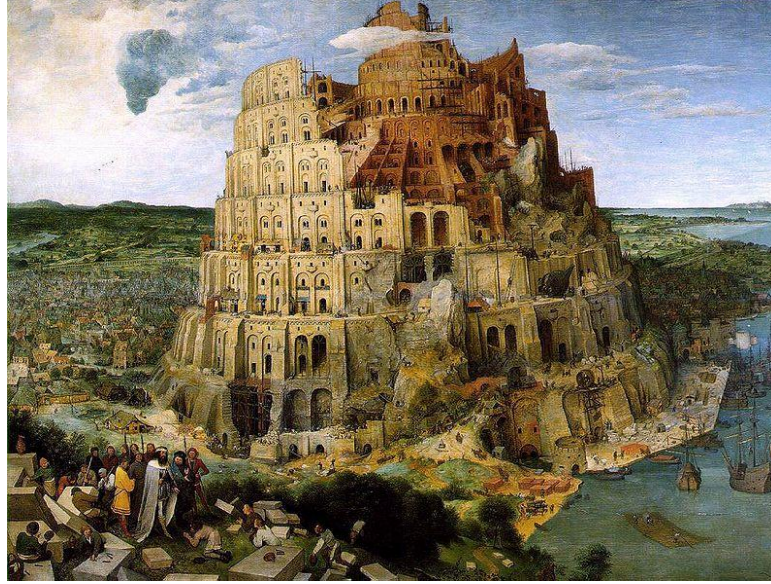
Å	Angstrom
°C	Santigrad derece
mm	Milimetre
µm	Mikrometre

Kısaltmalar**Açıklama**

DPÜ	Dumlupınar Üniversitesi
XRD	X-Işını Difraksiyonu
XRF	X-Işını Floresansı
SEM	Taramalı elektron mikroskobu

1. GİRİŞ

İnsanoğlunun el yapımı ilk yapı malzemesi tuğladır. Tuğlanın kullanım tarihinin 6 bin yıldan öncesine uzandığına inanılır. Binlerce yıl sonra bile bu orijinal yapı elementi öneminden, güncelliğinden ve cazibesinden hiçbir şey kaybetmemiştir. İlk tuğlalar güneşte kurutulmuş olan kerpiçlerdir. İlk kerpiçlerin İ.Ö. 6000 yıllarına kadar Nil nehrinden alınan killer ile yapıp Ortadoğu da yapılarda kullanıldığı tahmin edilmektedir. Güneşte kurutulan kerpiç ancak nemli olmayan, az yağışlı iklimlerde kullanışlıydı ve bu koşullarda bile çözülüp dağılmaması için koruyucu önlemler gerektiriyordu. İ.Ö. 4000 yıllarında ilk pişmiş tuğlanın yapıldığı ve İ.Ö. 3000 dolaylarında da ilk farklı renklerde tuğla üretildiği tahmin edilmektedir. Tuğla yapma kültürünün Mısır'daki Nil Nehri vadisinde ve Dicle ile Fırat'ın Aşağı Mezopotamya bölgesinde geliştiğine inanılmaktadır. Tuğla yapımının Babil (Şekil 1.1) ve öteki Ortadoğu merkezlerinden Akdeniz'e, Hindistan ve Çin'e doğru yayıldığı anlaşılmaktadır. Bu tekniği öğrenen Eski Romalılar tuğla ve harcın dayanıklılığını artırıp beton ile birlikte kemer, tonoz ve kubbe yapımında kullandılar. Romalıların tuğla kullanma teknikleri Bizanslılara, onlardan da Anadolu Selçuklularına ve Osmanlılara geçti [1].



Şekil 1.1 Babil Kulesi [2].

Pişmiş tuğlanın kullanılmaya başlaması ile birlikte çatı malzemesi boşluğu yaşandı. Bu boşluk ise Korintlerin kil esaslı kiremidi İ.Ö. 5. yüzyılda yapmış olmaları ile doldu. Bugünkü yuvarlak kiremitlere benzer olan bu kiremitler, daha kalın ve daha büyük boyutlara sahipti (3 cm kalınlık x 50 cm en x 100 cm). Kiremit daha sonra Yunanlılar tarafından geliştirilmiş,

onlardan da Romalılar devralmıştır. Batı Avrupa’da Romalılar Yunan kiremit formlarını mümkün olduğunca geliştirdiler. Özellikle yuvarlak kiremitte neredeyse bugünkü üretim kalitesine yaklaştıklarına inanılmaktadır. Tuğla ve kiremit genellikle kil esaslı olarak yapılır. Her ikisi de bir blok şeklinde sertleştirilip elde edilen yapı malzemesidir. Bazı tuğla ve kiremitler ise beton esaslı yapılır. İyi tuğla ve kiremitlerin renk ve boyut ölçümlerinde uniformluk ve memnuniyet verici bir görünüme sahip olmaları istenir. Çatlaksız ve belirgin bir düzensizlikte de olmamaları gerekir. İyi yapılmış tuğla ve kiremitlere çekiçe vurulunca metalik bir ses çıkarır. Ayrıca kırılmaya ve kıvrılmaya karşı yeterince dirençli ve az su emme oranına sahip olmalıdır. Yangına ve donmaya karşı da dirençli olmalıdır. İyi tuğla harç ile de yapıda iyi bağlanabilmelidir [1].

Kiremit ve tuğla imalatında ilk standartlar Romalılar tarafından oluşturulmuş ve uygulanmıştır. Böylece daha ince ve sağlam malzemeler üretilmesine geçilmiştir. Ayrıca Romalılar tuğla ve kiremidi başta İspanya, İngiltere, Fransa, Belçika ve Almanya olmak üzere Avrupa’da tanıtmış ve kullanımının yaygınlaşmasını sağlamışlardır. Böylece tuğla ve kiremit Romalılar tarafından bir sanayi dalı haline getirilmiştir. Sanayi devriminin başlaması ile bu endüstri dalı da gelişmeye başlamıştır. Her şeyden önce standardizasyon çalışmaları ve emek yoğun çalışmanın mümkün olduğunca azaltılması her dalda olduğu gibi tuğla ve kiremit endüstrisinde de ön planda tutulmuştur. 19. yüzyıl başında ilk makineler tuğla ve kiremit üretiminde kullanılmaya başladı. Daha sonra bu kalıp ve şekillendirme makineleri Almanya’dan Kuzey Amerika ve Hollanda’ya kadar üretimlerde devreye girdi. Kil çıkarılması ve hazırlanmasındaki yenilikler, vakumlu ekstrüzyonlar ve tünel fırınlardaki teknolojik gelişmeler, bu ağır tonajlı sektördeki evrimsel periyodu gerçekleştirmiştir. En son teknolojik gelişmeler bugün tuğla ve kiremit üretiminde de çok yoğun kullanılmaktadır [1].

Özellikle Doğu Karadeniz Bölgesinde yeterli tuğla fabrikasının olmaması ve mevcut fabrikaların da düşük kapasitesi itibarıyla bölgenin ihtiyacını karşılayamaması dolayısıyla yapı malzemelerinin gelişmesi bölge için kaçınılmaz bir gerçektir. Buradan yola çıkarak; bölgede gerekli çalışmaların yapılarak mevcut kil yataklarının ortaya çıkarılması, buralardan elde edilecek olan hammaddeyi işleyecek yeni tesislerin kurulması ve mevcut bulunan tesislerin kapasitesini artırıp ürünlerini iyileştirmesi için teşvik edilmesi gerekmektedir [3].

Bayburt’ta bulunan Bay-Kes tuğla fabrikası ürünlerinin mukavemetinin düşük olması, renginin istenen kırmızılıkta olmaması, hammaddede bulunan safsızlıklar sebebiyle üründe görünümün iyi olmaması ve deformasyon problemleri nedeni ile bir süreden beri müşteri memnuniyetsizliği problemleri yaşamaktadır. Hammadde, fabrika şartları ve üretim aşamaları

kaynaklı olması beklenen bu problemlerin öncelikle nedenleri araştırılmaya karar verilmiştir. Bu amaçla Bayburt'ta bulunan Bay-Kes tuğla fabrikasının üretim şartları incelenmiş ve kullandığı killerin karakterizasyonu yapılarak üretiminde iyileştirmeler planlanmak istenmiştir. Bu çalışma, öncelikle Bayburt ilinin bilinen tuğla-kiremit hammaddelerinin bu ilde bulunan tuğla fabrikasının yukarıda öncelikle belirtilen problemlerin giderilmesi amacıyla tuğla üretiminde kullanılıp kullanılamayacağını araştırmaktır.

2. KİL VE KİL MİNERALİNİN TANIMI

Işık [4]'da bu tanımlar aşağıdaki gibi bildirilmiştir. Kilin tanımı ilk defa 1546 yılında Agricola tarafından yapılmıştır. Her ne kadar plastiklik, tane boyu ve pişirilince sertleşmeyi içeren esaslar çoğunlukla sabit kalmışsa da, bu tanım o zamandan beri birçok kez değiştirilmiştir. 1963 yılına kadar yapılan tarihsel tanımların geniş şekilleri bazı araştırmacılarca kaleme alınmıştır. Kil tanımı, kil bileşenlerinin önemini vurgulamaktadır. Bazı yazarlar birçok neden arasında, kil minerali kil karakteristiğinde olmayan birçok aksesuar mineral içerebileceğinden dolayı kilde oluşan herhangi bir mineral olarak kil mineralini tanımlamanın uygunsuzluğuna işaret etmiştir [5].

Kil mineralinin önceki tanımları basitçe kil minerallerini tabakalı silikatlarla (phyllosilicate) özdeşleştirmiştir. Böylece geçerli bir neden olmaksızın bu terimin kullanılması kabul ediliyordu. Ancak kil minerali tanımı kil bileşeni anlamında kullanıldığı zaman yararlıdır. Kil mineralleriyle, tabakalı silikatların aynı anlamda kullanılması yaklaşımı, bütün kilin özelliklerinin kilin bileşenlerinin özellikleriyle ilişkilerini göz önünde bulundurulduğunda başarısız olmaktadır [5].

Bazı yazarlar kil bileşenlerinin tane boyutu gerekliliğini mineralojiyle birleştiren kavramsal probleme ek bir karışıklık olarak değinmektedir. 'Mineral' terimi tane boyutunu kapsamayan tam bir tanıma sahip olduğundan dolayı, bundan bir mineral grubunun tanımı tane boyutu esas alınarak yapılamaz sonucu çıkar [5].

Kil; doğal olarak oluşmuş, başlıca ince taneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişmeyle sertleşebilen malzemedir. Her ne kadar kil genellikle tabakalı silikatları kapsarsa da, plastiklik veren kurutulup veya pişirildiği zaman sertleşen diğer malzemeleri de içerebilir. Kildeki ortak fazlar, plastiklik yapmayan materyaller ve organik maddeler içerebilir [5].

Kilin "doğal oluşum" zorunluluğu, sentetik olanları kapsam dışı tutar. Mineralin standart tanımı esas alındığında, killer başlıca inorganik materyaller olup, çok miktarda organik madde içeren turba, bataklık çamuru ve bazı topraklar kapsam dışında tutulur. Organik fazlar gibi ortak fazlar kilde bulunabilir. "Kil minerali" tanımı, tabakalı silikat grubu mineraller ile killere plastiklik veren kuruma veya pişmeyle sertleşen mineraller için kullanılır [5].

2.1 Kil Mineralojisi ve Kimyasal Bileşimi

Silisyum-oksijen tabakasında; silisyum atomları dört oksijen atomu ile koordine olmuştur. Oksijen atomları düzenli tetrahedra yapıda, silisyum atomu merkezde olacak şekilde dört köşeye yerleşmiştir. Tabakada, her tetrahedradaki dört oksijen atomunun üç tanesi diğer üç komşu tetrahedra ile paylaşılır. Silika oksijen tabakası ‘tetrahedral tabaka’ ya da ‘silika tabakası’ olarak adlandırılır.

Al, Mg-O, OH⁻ tabakasında Al veya Mg atomları altı oksijen atomu ile koordine olmuştur veya düzenli oktahedranın altı köşesinde Al veya Mg atomlarının çevresine yerleşmiş OH grupları ile koordine olmuştur. Oksijen atomları ve hidroksil grupları, Al veya Mg atomları arasındaki düzlemlerde, iki paralel düzleme uzanmış durumdadır. Oksijen atomları ve hidroksil grupları hegzagonal sıkı paket formu oluşturmaktadır. Bu tabaka; ‘oktahedral tabaka’ ya da ‘alüminyum, magnezyum tabakası’ olarak adlandırılır [6].

Killer içinde kil mineraline ilaveten kuvars, kalsit, feldspat ve pirit mineraller kil olmayan malzeme olarak bulunurlar. Birçok kil malzemeleri de organik maddeleri ve suda çözülebilen tuzları ihtiva ederler [7].

2.2 Kil minerallerinin sınıflandırılması

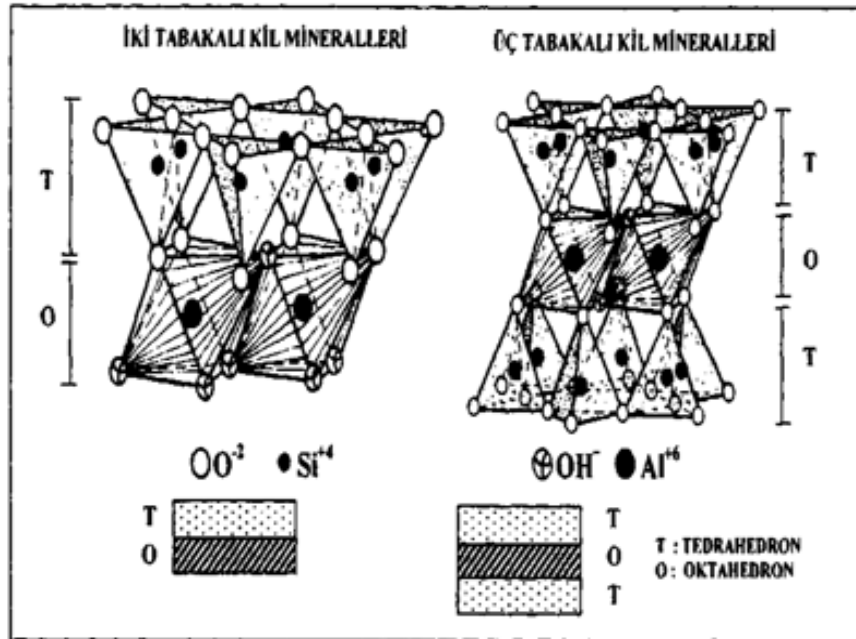
Kil mineralleri bileşim ve sınıflandırma bakımından en karmaşık sanayi mineralleri arasında yer alır. Pek çok çalışmacı tarafından killerin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri esas alınarak sınıflama türleri geliştirilmiştir. Fakat hala kesin bir sınıflama mümkün değildir. Killerin sınıflandırılmasına geçmeden önce bilinmesi gereken bazı önemli özellikler vardır [8]. Bunlar;

a- Temel Yapı Elementleri: Kil mineralleri birkaç istisna dışında, fillosilikatlardan olup mikalar gibi tabaka yapısındadırlar. Killerin iki ayrı tipte tabakanın ardışık olarak tekrarlanmasından meydana gelmiş karakteristik bir yapıları vardır. Bunlar genellikle sürekli tabakalardan oluşan tetrahedral (dört köşeli) ve oktahedral (sekiz köşeli) tabakalı sulu alüminyum silikatlarıdır. Oktahedral yapıdaki tabakalar kenarlarda her biri Al, Mg, Fe⁺³⁺⁷ katyonlarının etrafında yer alan oksijen ve hidroksil iyonlarının kompozisyonlarıdır. Tetrahedral tabakalarda köşelerde olmak üzere etken olarak Si⁺⁴ az miktarda Al⁺ ve nadiren de Fe⁺ katyonları bulunur. Alüminyum katyonları oktahedralin merkezinde ise oktahedral merkezlerin sadece üçte ikisi doludur. Buna dioktahedral denir. Magnezyum katyonları merkezde ise tüm oktahedral merkezleri doludur. Buna da trioktahedral denir [5].

b- Temel Tabaka Tipleri: En basit fillosilikat kil minerali yapısı, tek alüminyum oktahedral tabakası ve 1:1 yapısındaki tek silikat tetrahedral katmanlarının birleşimidir (Şekil 2.1.). 2:1 tabaka ısındaki 2 tetrahedral ve 1 oktahedral tabakaları içeren başka ana tabaka türleri de vardır. Üç tabaka ya dioktahedral ya da trioktahedral olabilir. Bu bireysel katmanlar nötrdür ya da ara tabakalardaki boşluktaki katyonlarca dengelenen negatif yükleri taşırlar. Katyon yükü her iki tabakadaki katyonların bileşimi tarafından kontrol edilir [5].

Kil mineralleri aşağıdaki kriterlere göre sınıflandırılır :

- Tabaka tipleri
- Tabaka yükleri
- Ara malzemelerin türleri
- Oktahedral tabakadaki katyon içerikleri [5].



Şekil 2.1 Kil minerallerinin tabakalarında tetrahedron ve oktahedron tabakalarının sıralanışı [9].

İki tabakalı mineral yapısında yer alan tetrahedronların oksijenleri, tabakanın üst yüzeyinde bir oksijen tabakası oluşturur. Oktahedronların alt yüzeyindeki oksijenler ise açıkta kalan (-) yükler (elektronlar) ile hidrojenle birleşerek OH^- tabakası oluştururlar [9].

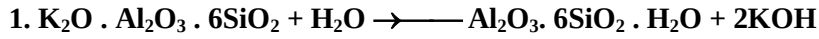
2.2.1 Kaolen grubu kil mineralleri

Kaolinit bir tetrahedral ve oktahedralden oluşan tabaka yapısına sahiptir. Her tabaka çiftinde tetrahedral tabakalar aynı taraftadır. Bundan dolayı üst yüzey ile alt yüzey aynı değildir. Tabakalar içinde elektriksel nötrlük sağlanmış tabakalar arasında ise Van der Vals bağı vardır[10].

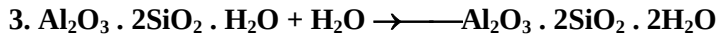
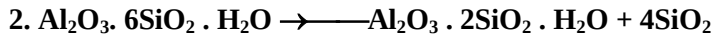
Kaolen grubuna giren kil mineralleri, DTA eğrilerinde büyük ekzotermik ve endotermik eğrileri verirler. Kaolinitin düşük sıcaklıklarda endotermik eğri vermesine karşın, halloysit 150 °C’de, adsorbsiyon suyunun çıkmasını belirleyen bir endotermik reaksiyon gösterir. Yaklaşık 450 °C’de görülen endotermik reaksiyon ise, kristal suyun verilmesi ile bozulan kristal yapının belirtisidir [11 ve 12].

Kaolinin olduğu ana kayaç, kompleks alümina silikatlardan oluşmaktadır. Bu alümina silikatlar aşınma sırasında hidrolize olmaktadır. Hidrolize olayı şöyle gelişmektedir: Alkali ve toprak alkali iyonlar çözünür ve tuzları oluşturarak çözünüp uzaklaşırlar. Geri kalan madde, alüminyum silikat ve değişken bileşik yapıli silisyum dioksittir. Bu kalan artık madde, ana kayaçtan daha refrakterdir. Feldspat, kuvars gibi henüz ayrışmamış olan kayaç artıkları da kaolinin bünyesinde kalır.

Kaolinitin oluşum aşamaları



—— feldspat ——



—— kaolinit ——

Şekil 2.2.’de sıcaklık, zaman ve ergime şartlarına bağıli olarak birincil alümina silikatların kil minerallerine dönüşümü verilmiştir.

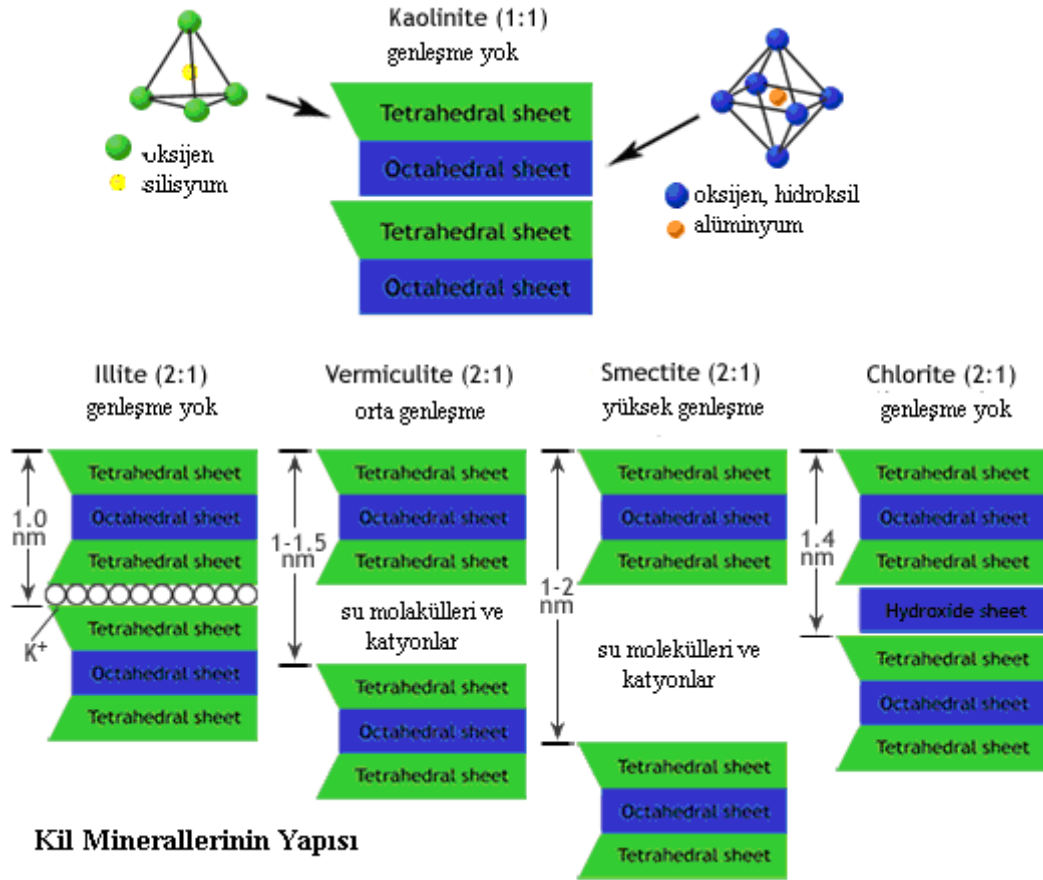
şışmeye başlar. Bu olay potasyumun hidratlanmasıdır. Hidratlanan K^+ katyonu mikanın tabakaları arasından çıkar böylece katmanların arası daha da açılır ve mika, illite dönüşmüş olur. Bu nedenle mika ile illit arasında birçok ara safha bulunur. İllitlerin daha küçük tane çapında oluşları ($0 < 0,002\text{mm}$), çok az kristalleşmiş olmaları, daha az K^+ (%4-6) fakat daha fazla kristal suyu içermeleri ile mikalardan ayrılırlar. Buna karşılık diğer kil minerallerinden daha fazla K^+ içerdikleri ve mikalarla aralarında birçok geçiş safhası bulunduğu için illitler mikamsı kil mineralleri olarak tanınırlar [9]. Şekil 2.2.'de kil minerallerinin yapısı verilmiştir.

Kahraman tarafından, İllit bakımından zengin killerde $950\text{ }^\circ\text{C}$ 'den kil yapısına bağlı demirin serbestleşmesiyle renk tonlarının arttığını ve maksimum renk tonunun $1000\text{ }^\circ\text{C}$ 'de olduğu belirtilmiştir [15]. Ferrari, Gualtieri'e göre İllitik killerde illit miktarı arttıkça cam faz yüzdesi artar ve su emme düşer. Lineer küçülme artar. İllit içerikli killerde illit miktarı artışı mullit, kristobalit ve kuvarsın pişmiş ürünlerdeki oranını azaltır [16].

Aras tarafından Kaolinit ve illitçe zengin killer farklı sıcaklıklarda pişirilip XRD grafikleri çekilerek yapılarındaki değişiklikler incelenmiştir. Bu değişimde kaolinit, illit ve kuvarsın oranlarının etkisi, ısı davranışlarının etkisi, pişen ürünlerde feldspatların etkisi araştırılmıştır. Araştırmada üç farklı kil kullanılmış olup kaolence zengin, illit ve kuvarşça zengin, kaolinit ve illitin doğal karışımı çalışılmıştır. Çalışılan bu killerde sıcaklıkla oluşan kristalin fazların kristobalit, mullit, kuvars ve hematit olduğu belirtilmiştir [18].

Trindade v.d. yaptıkları çalışmada kalsitli ve dolomitli killerin pişirilmesiyle gelişen minerolojik gelişimleri incelenmişler ve yaklaşık $10\text{\AA}$; mika benzeri fazların (illit, muskovit) kendini gösterdiğini bu fazın pik şiddeti $700\text{ }^\circ\text{C}$ 'den $800\text{ }^\circ\text{C}$ 'e doğru artarken azalma gösterdiğini ve $900\text{ }^\circ\text{C}$ 'de kaybolduğunu belirlemişlerdir [13].

Şekil 2.3.'de kil minerallerinin yapısı verilmiştir.



Şekil 2.3 Kil minerallerinin yapısı [19].

2.2.3 Montmorillonit grubu kil mineralleri

- Pyrophyllit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
- Montmorillonit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$)
- Beidellit ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$)
- Nontronit [$(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$]
- Saponit ($2 \text{MgO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + n\text{H}_2\text{O}$)

Kuru haldeki montmorillonit bünyesine su alarak ilk hacminin 16 katına kadar kristal iskeletini genişletebilir. Plastisitesi (özlülüğü) ve absorpsiyon (su emebilme) özelliği kaolinit, pyropillit ve talka oranla çok yüksektir. Yapısındaki Al, Fe ile yer değiştirdiği zaman nontronit, Mg ile yer değiştirdiği zaman da hektorit, saponit ve saukonit adları ile anılır. Montmorillonit 1, nontronit 2,5 Mohs sertliğine sahiptir [14]. Nontronit demirce zengindir ve Fe katyonları oktahedronlara yerleşmiştir rengi ise sarıdan koyu yeşile kadar değişir [9]. Kaolinitin iki tabakalı mineral yapısına karşın, montmorillonit kil minerallerinin özelliği 3 tabakalı mineral

yapısında olmalarıdır. Bentonitik yapılı kil mineralleri çok ince tanelidirler. %40 dolayında <0,06 mikron taneciğe sahiptirler. Bu sayı kaolinlerde %0,5–1,5, killerde %5–20 arasındadır. Elektron mikroskopla yapılabilen gözlemlerde, kaolinitin iyi oluşmuş kristallerine karşın, montmorillonit kristallerinin çok küçük, ince belirsiz şekiller ve zengin yüzeyler şeklinde olduğu izlenir. Montmorillonitlerin sulandırılması güç olup, diğer kil minerallerinin de kolaylıkla sulanmasına engel olurlar. Çok kuvvetli tiksotropi özelliği gösterirler [14].

İki tabakalı bir kil tabakasının diğer bir kil tabakası ile üst üste gelmesi sonucu tetrahedronların oksijen tabakası ile oktahedronların hidroksit tabakası karşı karşıya gelmiş olur. İki tabakanın arasında yer alan H^+ iyonları bir OH-O bağlantısının kurulmasını sağlarlar. Böylece iki tabakalı kil minerallerinin tabakaları arasında elektriksel bir çekim gücü meydana gelir. Bu nedenle iki tabakalı kil minerallerinin tabakalarının arasına su molekülleri giremez ve tabakalar birbirinden pek fazla uzaklaşamaz [9].

2.2.4 Vermikülit grubu kil mineralleri

Vermikülit genellikle mika mineralleri ve kloritin alterasyonu sonucu oluşan 2:1 tabakalı fillosilikat mineralidir. Uzun süre bir çeşit trioktahedral mika minerali olarak bilinen vermikülit, hızlı ısıtma ile tabakalara ayrılır ve küçük kurtçuklara benzeyen bir şekil alır.

Kil tipi vermikülitte çoğunlukla toprak içinde rastlandığından toprak vermikülit de denmektedir. Dioktahedral makroskopik vermikülitlerin aksine, mineralin bu tipi hem dioktahedral hem de trioktahedral olabilir. İlk ve son oluşan kil mineral topluluklarının ara safhasını oluşturan kil vermikülit, asidik ve yükseltgen koşullarda alkali ve kalsiyumca zengin minerallerin (toprak fillosilikatların) tabaka arası K'un kristal yapısından çıkarak yerine Mg ve Ca'un geçmesi, Fe^{2+} 'in Fe^{3+} 'e yükseltgenmesi ile oluşmaktadır. Vermikülitin, çoğunlukla biyotitin bozunması ile oluşumu kristal yapılarının benzerliğine bağlanmaktadır. Her ikisi de tetrahedral tabakada Si yerine fark edilir miktarda geçen Al'ı içeren alümina silikat minerallerdir[20].

2.2.5 Klorit grubu kil mineralleri

Kloritler tabakalı bir mineral grubu olup birçok yönden mikalara benzerler kloritlerin yapısı, Negatif yüklü, 2:1 şeklinde tetrahedral-oktahedral-tetrahedral tabakalarının düzenli aralanmasıyla oluşur [21].

Tetrahedral katlarda silisyumun 4 değerlikli iyonunun yerine başlıca alüminyumun 3 değerlikli iyonu olmak üzere üç valanslı katyonlar geçebilir. Oktahedral katlardaki başlıca iyonlar ise Mg^{+2} , Fe^{+2} , Al^{+3} ve Fe^{+3} tür [22].

2.3 Killerin içerdği bazı mineraller ve etkileri

Kil içinde bulunan diğer bileşimler aşağıda verilmiştir:

- Feldspat
- Silis
- Alümina
- Alkali ve toprak alkali içerikli mineraller
- Demir bileşikleri
- Kalsiyum bileşikleri
- Magnezyum bileşikleri
- Tuz kompleksleri [21].
- Organik maddeler [18].

Kildeki safsızlıkların etkileri aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

- Kullanılan kilin kökenine
- Kil mineralleri ve diğer minerallerin oranına, tane boyuna ve morfolojisine
- Bünyenin oluşum şartlarına
 - a) Maksimum sıcaklık
 - b) Isıtma ve soğutma hızı
 - c) Fırın atmosferi
 - d) Mevcut olan diğer maddelerin etkileri [23].

2.3.1 Kuvars

Kimyasal formülü SiO_2 olup, mol ağırlığı 60, sertlik derecesi Mosh'a göre 7'dir. Camsı ve yağimsı parlaklık gösteren kuvars genellikle renksiz ve beyazdır. Ancak içerdği yabancı maddelere bağlı olarak değişir. Saydam ve yarısaydamdırlar. Saf kuvars %46 Si ve %53,3 O içerir [24].

Kuvars, yapının kuruma küçülmesini azaltır, plastikliğini düzenlemeye yardımcı olur ve pişme sırasında deformasyon olmaksızın gaz çıkışına izin verir [25].

Silis kil içinde iki şekilde bulunabilir;

- 1) Serbest silis: kuvars; amorf, hidrate ve koloidal silis şeklinde
- 2) Diğer elementlerle birlikte
 - a) Alüminyumla kil minerallerini oluşturur.

- b) Alkaliler ve alümina ile feldspat, mika veya alümina-silikatları oluşturur.
- c) Çeşitli bazlarla basit silikatları oluşturur.

Kil içindeki serbest silisin seramik çamuruna ve bünyesine bazı etkileri şöyle sıralanabilir:

- 1) Plastikliği düşürür.
- 2) Kuruma ve pişme küçülmesini azaltır.
- 3) Tane boyutu çok küçük olmadığında çekme ve kırma mukavemeti azalır [21].

2.3.2 Feldspat

Feldspatlar, potasyum, sodyum, kalsiyum ve alüminyum silikattır. Kimyasal yönden katyon türlerine bağlı olarak, K-feldspat-ortoklas ($K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), Na-feldspat-albit ($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$), ve Ca-feldspat-anortit ($CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$) olarak ayrılırlar. Na-feldspat 1120 °C’ de, K-feldspat ise 1170 °C’de tamamen erir. Eridikten sonra bünyelerinde %90 camsı faz, %10 serbest silis içerirler [22, 23]. Mikroklin $KAlSi_3O_8$ bileşimindedir. Birçok hallerde %100-60 ortoklas ve %0-40 albitten oluşur. İkizleri çok karakteristiktir. Kendine özgü kafes yapısı ile iyi tanınır [26].

2.3.3 Kalsit

Kalsiyum karbonat-kalsit mineralinde ve kalker kayaçlarında bulunur ki, bu kayaçlarda aynı zamanda mermer, kireç, tebeşir ve kalker kireci de bulunur. Kalkerli kireçten kalsiyum oksit zengin killere kadar devamlı bir seri mineralde bulunurlar [27].

900 °C dolayında ısıtılırsa $CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$ reaksiyonuna göre CaO (sönmemiş kireç) meydana gelir. CaO su ile karıştırılırsa şişer, ısı verir ve sertleşerek sönmüş kireç meydana gelir [27].

Kalsiyum bileşiklerinin kil üzerindeki temel etkileri şunlardır:

- 1) Kalsiyum oksitin tuğlada 1050 °C’ye kadar ergitici özelliği yoktur. Ancak kil mineralleri ile düşük sıcaklıkta vollastonit veya anortit oluşturur.
- 2) Reaksiyon sıcaklığının altında Ca bileşikleri pişme küçülmesini düşürür.
- 3) Kırmızı rengin oluştuğu sıcaklıkta Ca bileşikleri Fe mineralleri ile birleşerek rengin açılmasına neden olur. Renk daha fazla açılmak istendiğinde Ca mineralleri çok ince taneli olarak yapı içinde dağıtılmalıdır.

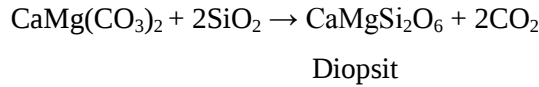
- 4) CaCO_3 yaklaşık 900 °C'de bozunarak kirece dönüşür ve soğutma sırasında bu şekilde kalırsa havanın nemini ve CO_2 'i çekerek hacmini artırır ve bunun sonucunda seramik bünyelerde patlamalara neden olur.
- 5) Yaklaşık 900 °C'de CO_2 çıkışı nedeniyle seramik bünyelerin mukavemetini düşürür ve su emmeyi artırır [21].

2.3.4 Dolomit

Bileşimi $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ 'dir (%56 CaCO_3 ve %44 MgCO_3). Renksiz, beyaz, bej, sarımsı ve kahverengimsi tonlarda oluşabilen dolomitler, bazen içerdikleri safsızlıklar nedeniyle başka renklerde olup, özgül ağırlığı $2,85\text{g/cm}^3$, sertliği Mosh sertlik çizelgesine göre 3,5-4'tür. Ticari saflıktaki dolomitin ergime noktası 1925-2485 °C arasında değişir.

Kil içinde küçük oranlarda bulunur; manyezit, dolomit, klorit, magnezyum-silikatlar ve magnezyum alümina silikatlar şeklinde bulunabilir [21].

Diopsit ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), silisli dolomitlerin ilerleyen metamorfizmasında ilk oluşan mineraldir.



2.3.5 Alümina

Kil minerali haricinde bulunan alüminyum bileşikleri şu etkilere sahiptir:

- 1) Kaolinde kilin plastikliğini azaltır.
- 2) Alüminanın toplam oranı %5'ten daha fazla olduğunda kilin refrakterliği artar [21].

2.3.6 Alkali bileşikler

Kildeki temel alkaliler şu şekilde bulunur:

1) Silikatlar veya alümina silikatlara feldspat mikalar ve sulu-mika örnek gösterilebilir. Buradaki mika ve sulu mineraller gerçekte kil mineralleridir. Alkali içerikli mineraller seramik üretiminde vitrifikasyon sıcaklığını düşürür.

2) Kil minerali kristallerinin yüzeyinde adsorblanan katyonlar: adsorbsiyon derecesi kil minerallerinin doğasına ve yüzey alanı değerine bağlıdır. Montmorillonitler bu şekilde %3'e kadar alkali miktarı içerebilirler ancak kaolinitlerde %3'ü geçtikleri çok nadirdir.

3) Çözülebilir tuzlar: potasyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum klorit ve bunların türevleri.

Kil içindeki alkalilerin en önemli etkisi vitrifikasyon sıcaklığını düşürmesidir. Alümina ve silisle birleşerek düşük sıcaklıkta (700 °C) sıvı faz oluşur ve killerin pişirilmesi ile cam faz kalır.

Çözünür alkali tuzları killerin kolloidal ve plastiklik özellikleri üzerinde büyük etkiye sahiptir. Alkali içerikli minerallerin çoğu plastik olmadıkları için bünyenin kuru mukavemetini düşürür [21].

2.3.7 Demir bileşikleri

Tuğla ve kiremit gibi yapı malzemelerinde renklenmeye neden olan en önemli parametre demirdir. Demir kil içinde çeşitli formlarda yer alabilir.

Killerde oluşumlarına göre çeşitli demir bileşikleri aşağıda verilmiştir:

- a) Hematit (Fe_2O_3)
- b) Ferrous oksit (FeO)
- c) Manyetit (Fe_3O_4)
- d) Demir sülfatlar (FeS ve FeS_2)
- e) Demir karbonatlar (FeCO_3)
- f) Ferrik ve ferrous hidroksitler
- g) Ferro-silikatlar ve ferro-alümina silikatlar
- h) Ferrous alüminat
- i) Çözülebilir demir tuzları (temel olarak ferrous sülfat)
- j) Kloritler

Kildeki demir bileşenleri temel etkileri şunlardır:

- 1) Pişme rengini etkilerler.
- 2) Kilin refrakterliğini azaltırlar.
- 3) Çözülebilir demir bileşenleri ürün üzerinde çiçeklenmeye yol açabilir.
- 4) Pişmiş kil ürünleri üzerinde noktalar halinde demir lekeleri oluşabilir [21].

Çizelge 2.1.'de demir minerallerinin oluşturduğu renkler gösterilmiştir.

Çizelge 2.1 Sedimentlerdeki demir mineralleri ve oluşturdıkları renkler [28].

İSİM	FORMÜL	RENK
Götit	α FeOOH	Sarımsı-kahverengi
Lepidokrasit	β FeOOH	Turuncu
Hematit	α Fe ₂ O ₃	Kan-kırmızı
Manyetit	β Fe ₂ O ₃	Kırmızımsı-kahverengi
Ferrihidrit	5Fe ₂ O ₃ .9H ₂ O	Sarı

Üç tabakalı kil minerallerinde daha fazla demir bulunur ve demir genellikle Al³⁺'nin bulunduğu yerde yer alır [28].

Trindade v.d. yaptıkları çalışmada kalsitli ve dolomitli killerin pişirilmesiyle gelişen mineralojik gelişimleri incelenmiştir. Buna göre ilk geçiş 300 °C'de götitin yok olmasıyla başlar. Götit 230-280 °C arasında duyarsız hale gelir ve hematit formuna dönüşür. $2\text{FeOOH} \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{H}_2\text{O}$ Hematit XRD'e göre 500 °C'de tanımlanır ve 900 °C'den sonra spesifik piklerini vererek kristalleşir [13].

Nodari v.d. yaptıkları çalışmada çömlek ürünlerinde kullanılan karbonatlı kilin pişmesiyle hematit çekirdeklenmesi ve büyümesini incelemiştir. Buna göre demir düşük sıcaklıkta oluşmaktadır. 400 °C'de oksitlenmesi tamamlanır. Hematit 750-850 °C'de başlar 950 °C'nin üzerine çıkıldıkça hematit kristallenmeleri artmaktadır [29].

Müdüroğlu; tuğla topraklarında demir bileşiklerinin renk vermesi yanında sertlik ve su emme yüzdesine etkisini incelemiştir. Demir oksitlerin pişme sonucunda sertliğin daha fazla olmasını sağladığı ve su emmeyi düşürdüğünü belirlemiştir [30].

2.3.8 Organik maddeler

Killerin mavi, gri, yeşil ve siyah renklere bulunması çoğunlukla içlerindeki organik maddelere bağlıdır. Pişme sırasında organik maddeler 400 °C civarında yanarak geriye karbon birikintileri bırakır. Organik malzemenin olabildiğince az bulunması hem tuğlanın görünümü hem de tuğlanın dayanımı yönünden faydalıdır [14].

3. TUĞLA-KİREMİT ÜRETİMİ

Tuğla imalatında hala geçmiş yüzyıllardaki temel adımlar takip edilir. Ancak geçen yıllarda kaydedilen teknolojik gelişmeler, modern tuğla fabrikalarını eski fabrikalardan önemli oranda daha yeterli yapmıştır. Bu aynı zamanda tuğla kalitesini de geliştirmiştir. Tuğla hammaddeleri ve özellikleri üzerine daha tam bir bilgi, daha iyi kontrollü pişirme, gelişmiş fırın dizaynları ve daha ileri mekanizasyon gibi ilerlemelerin hepsi modern endüstriyi sonuçlandırmıştır [31].

3.1 Kil Türleri

Tuğla ve kiremit endüstrisinde kullanılan killer, hepsi aynı kimyasal bileşime fakat farklı fiziksel karakteristiklere sahip olan başlıca üç şekilde oluşur. Bunlar;

a) Yüzey Killeri: Bu killer yaşlı veya çok genç tortul oluşumlar olabilir. İsminin de ima ettiği gibi, bu killer yerin yüzeyine yakın bulunur.

b) Şeyller: Şeyller, sertleşinceye kadar (hemen hemen sleyt gibi) yüksek basınçlara maruz kalmış olan killerdir.

c) Ateş Killeri: Ateş killeri genellikle diğer killerden daha derinlerden çıkarılır ve refrakterlik kalitesine sahiptir. Kural olarak; bu killer, şeyl ve yüzey killlerinden daha az safsızlık içerir. Yine bu killer daha uniform kimyasal ve fiziksel özelliklere sahiptir.

Killer kompleks materyallerdir. Yüzey killeri ve ateş killeri şeyllerden kimyasal bileşimden ziyade fiziksel yapı olarak farklıdır. Kimyasal olarak üç kilde; silis, alümina, değişik miktarlarda metal oksitleri ve diğer safsızlıkların oluşturduğu bileşiklerdir. Her ne kadar teknik olarak metalik oksitler safsızlıklarsa da, bunlar fluks (ergitici) olarak davranıp daha düşük sıcaklıklarda ergimeyi sağlarlar. Metalik oksitleri (bilhassa Fe, Mg ve Ca) pişmiş son ürünün rengini etkiler.

Üretici farklı ocakların ve yörelerin killeri karıştırmakla kimyasal bileşimdeki ve fiziksel özelliklerdeki değişimleri minimize eder. Ancak kil ürünleri nisbeten düşük fiyatla satıldığından, uniform hammaddeler elde etmek (üretmek) için killerin saflaştırılması ekonomik olarak mümkün değildir. Hammaddelerin özelliklerindeki değişiklikler üretim metodunu değiştirmekle telafi edildiğinden dolayı, farklı imalatçıların son ürünlerinin özellikleri birbirlerine göre biraz değişiklikler gösterebilir [31].

3.2 Hammadde Hazırlanması

Tuğla kiremit killeri bünyelerinde illit, az miktarda montmorillonit, kaolinit, kuvars, demir mineralleri, az miktarda organik maddeleri ve suda çözünebilen tuzları bulundurlar [31]. Hammaddeler üretimde kullanılabilmesi için homojen olmalıdır ve içinde kırılmayacak sertlikte ve büyüklükte çakıl bulunmamalıdır. Silis, feldspat ve silt ince tane boyutunda ve %25 civarında bulunmalıdır. 2mm'den iri taneler %1 geçmemelidir. Montmorillonit cinsinden kil çok az olmalıdır. Aksi halde pişince pişme küçülmesi oranı artar ve bünyede çatlama gelişir. Fazla miktarda kaolinit olmamalıdır. Mineralojik içeriği bakımından killerde smektit grubu minerallerin olması istenmez. Killerde smektit grubu minerallerin fazla olması malzemenin plastiklik değerini artırırken kuruma ve pişme sırasında sorun yaratmaktadır. Kaolinitin varlığı pişme sıcaklığını yükselteceğinden pişme maliyetleri yüksek olur. Mika, ışıktan pırıldayan ince levhalar halinde killerde bulunur. Fazla miktarda mika ihtiva eden killlerle pişirilene kiremit ve tuğlaların su geçirime oranları yüksek olur. Bundan dolayı mika da zararlı maddelerden sayılır. Kilin içindeki kömür, pişme esnasında ürünün yer yer çatlamasına ve kabarmasına sebep olur[14].

Killerin tuğla-kiremit hammaddesi olarak kullanılabilmesi için birtakım fiziksel ve teknolojik özelliklere sahip olması gerekmektedir. Tuğlanın bütün özellikleri hammadde bileşimi ve üretim metotlarından etkilenir. Bu nedenden dolayı çoğu tuğla üreticileri son ürünün kalitesini etkileyen bir kil hammaddesindeki safsızlıkların mümkün olabilecek olumsuz etkilerini azaltmak için killeri harmanlar. Benzer şekilde, üretim işlemlerindeki standardizasyon üreticilere proseslerden dolayı kaynaklanan değişiklikleri sınırlamak ve daha üniform (aynı çeşit) tuğla üretimi sağlama fırsatı verir [31].

Tuğla kullananların en çok ilgilendiği özellikler şunlardır. 1) dayanıklılık, 2) renk, 3) boyut değişiklikleri, 4) basınç dayanımı ve 5) su emme.

1. Dayanıklılık: Tuğlanın dayanıklılığı pişirme esnasındaki başlangıç erimesi ve kısmi vitrifikasyondan sonra meydana gelir. Basınç dayanımı ve su emmede pişirme sıcaklıklarıyla ilişkili olduğundan dolayı, doygunluk katsayısı ile birlikte bu özellikler dayanıklılığın göstergesi olarak alınırlar. Ancak hammaddedeki farklılıklardan dolayı, basınç dayanımı veya su emmenin tek değeri pişirme derecesinin güvenilir bir göstergesi olamaz.

2. Renk: Pişmiş kilin rengi; kimyasal bileşimine, pişme sıcaklığına ve pişme kontrol metoduna bağlıdır. Killerde yaygın olarak bulunan oksitler arasında demir muhtemelen renk üzerindeki en büyük etkiye sahiptir. Doğal rengi ne olursa olsun, pratik olarak demir kesen

killer demir oksit içeriklerinden dolayı oksitleyici pişirmeye maruz kaldığı zaman kırmızı rengi alırlar.

İndirgeyici atmosferde pişirildiği zaman aynı kil mor renk alır. Fırında indirgeyici atmosfer oluşturmak flashing olarak bilinir.

Aynı hammaddeler ve üretim metotları için, daha koyu renkler daha yüksek sıcaklıklardaki pişirilmeye ilgilidir. Buda tuğlaları daha düşük su emmeli yapıp basınç dayanımını artırır. Ancak farklı killerden yapılmış ürünlerin basınç dayanımı ve rengi ile su emmesi ve rengi arasında direkt bir ilişki yoktur.

3. Boyut Değişiklikleri: Killer hem kuruma ve hem de pişirme esnasında küçüldüklerinden dolayı, kabul edilen küçülmeler son ürünün istenen boyutuna ulaşabilmek için uzunluk kesiminde ve kalıp boyutunda ayarlanmalıdır. Hem kuru küçülme ve hem de pişme küçülmesi killere göre farklılıklar gösterir. Genellikle bu küçülmeler şu sınırlarda olur:

Kuru küçülme	%2-8
Pişme küçülmesi	%2,5-10

Başlıca küçülme problemi kil ve şeyllerin küçülmesindeki değişiklik gibi toplam küçülme olarak fazla değildir.

Pişme küçülmesi yüksek sıcaklıklarda artar. Bu da daha koyu renk tonlarını ortaya çıkarır. Sonuç olarak geniş bir renk değişikliği istendiği zaman koyu ve açık renkli tuğlaların boyutları arasındaki biraz değişkenlik kaçınılmazdır. Uniform (aynı) boyutta ürünler elde etmek için, üreticiler küçülmeye katkıda bulunan faktörleri kontrol etmeye uğraşırlar. Ancak hammaddedeki değişiklik ve fırın içindeki sıcaklık değişikliğinden dolayı tam aynılık (uniformity) mümkün değildir. Dolayısıyla, tuğla için spesifikasyonlar ekonomik üretime müsaade eden kabul edilir boyut değişikliklerini de kapsar.

3. Basınç Dayanımı ve Su Emme: Hem basınç dayanımı ve hem de absorpsiyon; killerin özellikleri, üretim metodu ve pişirme derecesi tarafından etkilenir. Her ne kadar istisnalar varsa da genellikle katı çamur metodu ile üretilen tuğlalar, yumuşak çamur ve kuru pres işlemi ile üretilenlerden daha yüksek basınç mukavemeti ve daha düşük su emmeye sahiptir.

Bir kil ve üretim metodu için, daha yüksek basınç dayanımları ve daha düşük su emmeler daha yüksek pişme sıcaklıkları ile ilgilidir. Her ne kadar su emme ve basınç dayanımı, üretim ve pişirme metotlarıyla bir dereceye kadar kontrol edilirse de, bu özellikler büyük oranda

hammadde özelliklerine bağlıdır. Sonuç olarak, bu özellikler farklı ürünler için geniş oranda değişir [32]. Şekil 3.1. ve Şekil 3.2.'de Bay-Kes tuğla fabrikasının mukavemet problemi olan ürünleri görülmektedir.



Şekil 3.1 Bay-Kes tuğla fabrikasının mukavemet problemi olan ürünleri [32].



Şekil 3.2 Bay-Kes tuğla fabrikasının problemli ürünleri [32].

Tuğla ve kiremit üretiminde kullanılan killerin ortalama kimyasal bileşikler Çizelge 3.1'de verilmiştir. Killerin kimyasal bileşimi bölgeden bölgeye hatta yatak içersinde bile farklılıklar gösterebilmektedir. Bu da tamamen kilin oluşumu sırasında meydana gelen çevresel etkilerin değişimi ve kilin bu değişikliklere maruz kaldığı süreyle doğrudan ilişkilidir. Killerin içerdikleri oksit oranları kilin oluşum şekline ve zamanına bağlı olarak değişmektedir [14].

Çizelge 3.1 Tuğla-kiremit killерinin ortalama kimyasal yapısı [14].

OKSİT	%MİKTAR
SiO ₂	64-42
Al ₂ O ₃	21-16
Fe ₂ O ₃	7-28
CaO	9,5-0,7
MgO	6,2-0,8
K ₂ O	3,6-1,0
Na ₂ O	0,8-0,1
TiO	1,25-0,35
SO ₃	0,3-0
Kızdırma Kaybı	11-6

Hammaddenin görünüşü, bize içeriği ve üretime elverişli olup olmadığı hakkında birçok bilgi verir. Kırmızı renkli killер fazla demir bileşikleri içerirler. Hammaddelerin üretimde kullanılabilmesi için fazla miktarda Fe₂O₃, alkali ve toprak alkali bulunmamalıdır. Pişirme sıcaklığını düşürür ve eriyik faz oluşturarak ürünlerin birbirine yapışmasına neden olur. Ancak demir bileşiği tuğla, kiremit gibi ürünlere orijinal kiremit rengi verir. Halkımız kullanacağı tuğla ve kiremidin kırmızı renkte olmasını ister, meselâ açık sarı renkteki bir kiremit teknik özellik bakımından çok iyi olsa bile, piyasada tutulmaz. Bundan dolayı, hammadde ararken koyu kırmızı killер tercih edilmelidir. Esasen demir bileşikleri pişme esnasında eritici olarak etki gösterirler ve ürünün basınca dayanıklılığını artırırılar. Seramik yapımında kullanılan hammaddelerin bazıları doğal haliyle kullanılabilirken, bazıları ise istenmeyen safsızlıkların uzaklaştırılması için çeşitli zenginleştirme işlemlerine tabi tutulmaktadır [14].

Hammaddenin işlenebilirlik özelliği kazanabilmesi için önce öğütme işlemi yapılmaktadır. Hammaddenin homojen bir malzeme olması, plastiklik ve kohezyon özelliklerinin gerçekleşebilmesi için iyice ufalanması ve ince partiküller halini alması gerekmektedir. Bu amaçla çeşitli makinelerle içindeki iri taşlar, çöpler ayıklanmakta (Şekil 3.3. Bay-Kes fabrikası vals) ve istenilen tane çapına kadar öğütülmektedir. Öğütmedeki amaç hammadde içindeki kirecin 2 mm'nin altına düşürülmesidir. Kalker ve diğer kalsiyum bileşikleri her türlü zeminde çok bulunan malzemelerdendir. Ayrıca homojen bir kil hamuru elde etmek için, kilin yeterli miktarda su ile birlikte ezilmesi ve karıştırılması gerekmektedir. Kile azar azar su ilave edildiğinde plastikliği bir miktar artmaktadır. Killер orta derecede plâstik olmalıdır. Fazla plâstik (özlü) killер kururken ve pişerken çok küçülürler, çatlar ve deforme olurlar. Az plâstik (özsüz) killерin ise kalıplanması zordur; bunlarla yapılan tuğla ve kiremitlerin basınca dayanıklılığı az olur. Üretimden önce fazla yağlı killерle kumlu toprakların,

orta derecede plâstik bir hammadde elde edilecek şekilde iyice birbirine karıştırılması gerekir. Hammaddenin plastikliğini tespit etmek için, numune az su ile karıştırılıp yoğrulur. Hamur gibi yoğrulabilen, şekillendirilebilen ve bıçakla düzgün bir şekilde kesilebilen killer plastikliği yüksek killerdir. Az plâstik olan killer yoğrulurken parçalanır ve biraz fazla su ilâve edilince yayılır, akıcı hale geçerler [3].



Şekil 3.3 Bay-Kes fabrikasındaki valsın görünümü [32].

Killerin plastiklik ve kaplayıcılık özelliği kristallerinin ince levhacıklar şeklinde olmasından ileri gelir. Kil içerisinde levhacıklar üst üste birikmiş paketler halinde bulunur. Su ile çamur yapıldığında su, levhacıklar arasına girer. Çamur bir taraftan basıldığında levhacıklar birbiri üzerinde kayarak verilen şekli alır. İki cam levha ıslatıldığında nasıl birbiri üzerinde kayarsa killerde öyle kayar. Islak olan iki cam levhayı birbirinden ayırmak nasıl güç ise kil levhaları da aynen böyle olup sağlamlık kazanır [14]. Killerin plastikliği kili işlenebilir bir çamur haline getirmek için verilmesi gereken su miktarı ile tayin edilir. Kil çamur oluncaya kadar ne kadar az su emerse o kadar plastiktir.

Diğer taraftan plastiklik, irili ufaklı taneciklerin yan yana olmasına da bağlıdır. Aşırı öğütülmüş kil plastikliğini kaybeder. Çünkü bütün kristaller küçülmüş ve aynı boyaya gelmiştir[33].

Seramik endüstrisinde kullanılan kilin plastikliğini ölçmek için kullanılan metot Pfefferkorn testidir. Burada silindirik bir plastik kil, belirli bir yükseklikte tutulan düz başlı bir

parça ağırlık ile kilin üzerine bırakılarak deformasyon sağlanır. Bu Pfefferkorn cihazı (Şekil 3.4) Stichting Technisch Woalsteen tarafından geliştirilmiştir [34].



Şekil 3.4 Plastiklik ölçen Pfefferkon cihazının resmi [34].

Genelde tuğla üretimi için en uygun killeri İllit cinsi killerdir. Ferrari ve Gualtieri'e göre illitik yapı plastiklik özelliğini artırır [16]. Halloysit ve montmorillonit cinsinden killeri fazla su alarak aşırı şişme eğilimindedirler. Kurumadaki su kaybı ile hacimsel küçülmelerde çok olacağından uygun görülmezler.

Plastiklik değerlerinin tespitinde Pfefferkorn Plastiklik Testi kullanılmış elde edilen verilerle grafikler oluşturulmuştur. Sonuç olarak, prosesin sürekli kontrol altında tutulmasının ve kilin özelliklerine proses aşamalarının etkisinin bilinmesinin önemli olduğu, işletmelerin laboratuvar imkanına sahip olmaları ile hem ürün zaiyatı, hem de emek ve enerji kaybının önleneyeceği görülmüştür [35].

Plastiklik killerin önemli özelliklerinden biridir. Herhangi bir doğrultuda malzemenin baskı altında bırakılmadan geçirdiği geçici deformasyon miktarı plastiklik olarak tanımlanmıştır. Çok plastik olan killere şişen kil (fat clay-özlü kil) denir. Düşük derecede plastik olan killere ise zayıf kil (lean clay-özsüz kil) denir. Kil minerallerinin tipi parça boyutu, tane şekli, organik madde, çözünür tuzları, iyon adsorbsiyonu, kil dışı minerallerin miktarı ve tipi, killerin kuru (dry-strength) ve ham (gren-strength) dayanımları olarak belirtmiştir. Plastiklik ve ham dayanım birbirlerine yakın kavramlardır. Kuru dayanım mevcut ince tane oranına, tanelerin şekline, kil fraksiyonunun hidrasyon derecesine, ürün üretim metoduna ve kurutma oranına bağlıdır [36]. Öğütülmüş ve kilin bünyesine iyice karışmış kireç (CaO), genellikle çok zararlı

değildir. Ancak fazla miktarlarda olması pişmiş malzemeye sarıya çalan bir renk verir ve pişme sırasında üründe şekil bozuklukları oluşturur.

Mevcut kireç, şayet ince dağılmış halde olmayıp, iri taneler şeklinde bulunuyorsa, pişme esnasında ürünü çatlatır. Kirecin ince taneler halinde bulunup bulunmadığını, hammaddeyi elemek ve takiben elek altı ve üstünü asitle muamele etmek suretiyle tespit etmek mümkündür. Hammaddenin fazla miktarda pirit ihtiva etmesi de istenmez. Piritin bozunması esnasında çıkan kükürtlü gazlar ürünü çatlatabilir veya pişme şartlarına göre, suda çözünen tuzlar olabilir. Suda çözünen tuzların varlığı ürünün yüzeyinde kristallenmesi ile göze çarpar. Çiçeklenen tuğla ve kiremidin basınca ve dona dayanımı azalır. Genellikle kalsiyum sülfat, az miktarda da magnezyum, demir ve alkali sülfatlardan ibaret olan bu tuzlar ya önceden hammaddede mevcut bulunurlar veya yukarıda izah edildiği gibi, hammaddedeki piritin fırında bozunması esnasında ortaya çıkan SO_2 gazının oksitle reaksiyonu sonucunda oluşurlar. SO_2 gazı, yakıt olarak kullanılan kömürdeki kükürttten de oluşabilir [37].

3.3 Şekillendirme

Günümüzde tuğla şekillendirilmesi için başlıca üç metot vardır. Bunlar; katı çamur (stiff-mud) metodu, yumuşak çamur metodu ve kuru presleme (dry-pres) metodudur.

a. Katı Çamur Metodu: Katı çamur metotta, kil plastiklik elde etmek için yeterli miktarda su (genellikle ağırlıkça %12 ile 15 arasında) ile karıştırılır. Karıştırmadan sonra, yoğrulmuş kil 375-725 mm civa vakumlu bölüme gider. Çamurun havasının alınması kilin işlenebilirliğini ve plastikliğini artırır. Bu da çamurun mukavemetini artırır.

Daha sonra, kil iki boyutu belirlenmiş olan son ürünün bir kil kolonu elde etmek için bir kalıba eksrude edilir. Bu kil kolonun tuğla haline dönüşmesi için üçüncü boyutu bir otomatik kesici ile yapılır. Otomatik kesicilerin tel aralıkları ve kalıp boyutları kuruma ve pişme esnasındaki normal küçülmelerin telafisi için dikkatlice hesaplanmalıdır. Kil kolon kalıptan çıkarken, tekstürler veya yüzey kaplamaları uygulanabilir.

b. Yumuşak Çamur Metodu: Bu metot bilhassa katı çamur prosesle ekstruda olabilmeleri aşırı su içeriğinden dolayı mümkün olmayan killer için uygundur. %20-30 su içeren karışımları kalıplarda şekillendirilir. Kili yapışmaktan korumak için, kalıplar ya kum veya su ile yağlanır. Kum kullanıldığı zaman tuğla kum baskılı, fakat su kullanıldığında da tuğla su baskılı tuğla olarak bilinir.

Şekil 3.5 Bay-Kes fabrikası ekstrüzyon görülmektedir. Tuğla bir makine veya elle bu usullerle üretilir.



Şekil 3.5 Bay-Kes fabrikası ekstrüzyonunun görünümü [32].

c. Kuru Presleme Metodu: Bu metot bilhassa çok düşük plastikliğe sahip killere uygundur. Kil minimum su miktarı ile (en fazla %10) karıştırılır. Daha sonra hidrolik veya sıkıştırılmış hava basıncı kullanılarak 3.4-10.3 MPa basınçlar altında çelik kalıplarda şekillendirilir [31].

Hammadde hazırlama aşaması sonunda şekillendirilmeye uygun hale gelen karışım, ekstrüzyondan sonra değişik ağızlıklar kullanılarak tuğla şeklini, çeşitli kalıplar kullanılarak preslenip kiremit şeklini almaktadır ve değişik biçim ve boyutlarda tuğla-kiremit elde edilmektedir.

Kilin plastikliği üretim koşullarına göre değişmektedir. Doğru uygulanan proses aşamalarında plastikliğin artması beklenir, böylece vakumda kilin özelliklerine olumlu yönde etki yapacak ekstrüzyondan geçen numunenin havasının alınması ve daha iyi sıkışma yapıldığı için plastiklik değeri artış gösterecektir [35].

3.4 Kurutma

Islak kil birimler (yaş tuğlalar) kalıplardan veya kesme makinelerinden çıkarıldığı zaman, şekillendirme metotlarına bağlı olarak %7 ile %30 arasında nem içerir. Pişirme işlemine başlamadan önce, bu suyun büyük kısmı 38 ile 204 °C sıcaklık aralığına sahip kurutma odalarında buharlaşır. Kurutma zamanı kil türlerine göre farklılık gösterir. Ancak genellikle 24 ile 48 saat olur. Her ne kadar kurutma odaları için gereken ısı özel olarak üretilirse de

çoğunlukla pişirme fırınlarından atılan ısıda kullanılır. Her türlü halde, sıcaklık ve nem bünyede aşırı çatlamlar oluşturmaması için dikkatlice ayarlanmalıdır [31].

Kurutma, kil içinde mevcut ve şekillendirmeye uygun bir kıvama getirmek için katılan suyun değişik yöntemlerle bünyeden çıkarılma işlemidir. Kurutma işleminde doğal kurutma ve suni kurutma olarak iki yöntem kullanılmaktadır [38].

1. Suni kurutma, ülkemizde çok yoğun olarak kullanılan ve atmosferdeki ısı enerjisinden faydalanma prensibine dayanan bir sistemdir. Ekstrüzyondan yaş olarak çıkan ürünler genellikle kurutma sehpalarna belli bir düzenle dizilmekte, bu sehpa lar geniş kapalı alanlara (saya) ya da açık alanlara konarak kurumaya terk edilmektedirler. Şekil 3.6 ve Şekil 3.7’de Bay-Kes fabrikası suni kurutma alanı görülmektedir. Bu kurutma yöntemi kurutma işleminde ek bir enerji gerektirmediği için ekonomik görünmektedir. Fakat kurutma işlemi için geniş alanlara ihtiyaç duyulması, kurutmanın çok ağır ve uzun sürede yapılabilmesi, kontrolün yeterli olamaması, kurutmanın hava şartlarına (ısı, rutubet, rüzgar vs.) bağlı olması, işçiliğin fazla oluşu sakıncalarını oluşturmaktadır [38].



Şekil 3.6 Bay-Kes fabrikası suni kurutma alanı [32].



Şekil 3.7 Bay-Kes fabrikası suni kurutma alanı [32].

Bay-Kes fabrikası suni kurutma alanı 115 metre, 3 sıra raydan oluşur. Tam dolumda 300 sehpa alabilir. Her sıra 100 adet 80.000 adet tuğla alabilir ama bunun 70-80 metresi verimli kullanılır o yüzden bir ray 75-85 sehpa alır bu da 65.000 adet tuğla yapar. Kurutma sıcak havasını yanlarında bulunan kanallar vasıtasıyla fırınlardan çeker, yer yer baca gazı da verilebilir Şekil 3.8’de Bay-Kes fabrikası suni kurutma fanı görülmektedir. Kurutma sırasında 3 sıra rayın her sırası 2 metre olup 6 metre genişliğindedir. 60-70 °C giriş sıcaklığı olup, çıkış sıcaklığı 20-30 °C’i bulur. Sıcaklık lazerli termometre ile ölçülür. Kurutma, ortalama 18-20 saatte biter. Yaz aylarında bu süre daha düşüktür ve 15-16 saat sürer. Her 15 dakikada 3 adet sehpa, kurutma odasına girer, giriş pistonla yapılır, çıkışı işçi yapar [32].



Şekil 3.8 Bay-Kes fabrikası suni kurutma fanı [32].

2. Kurutmayı doğal koşullara bırakmadan ek bir enerji sağlanarak ısıtın ve hava hareketinin fazlalaştırılmasıyla yapmaktır. Killi maddenin içindeki serbest suyun, önce yüksek buhar basıncı ve az sıcaklık, kurutmanın sonuna doğru alçak buhar basıncı ve yüksek sıcaklık sağlanarak dışarı atılması prensibine dayanır Şekil 3.9’da Bay-Kes fabrikası açık saha kurutma alanı görülmektedir. Bu uygulama kurutma odaları veya tünel kurutma fırınları kullanılarak yapılmaktadır. [38].



Şekil 3.9 Bay-Kes fabrikası açık saha kurutma alanı [32].

3.5 Pişirme

3.5.1 Kil minerallerinin ısıtılması sonucu oluşan reaksiyonlar

Fırınlama prosesinde pişirmedeki amaç; densifikasyon gerçekleştirerek sağlamlığı sağlamaktır. Pişirme sırasında katı hal, buhar fazı, katı-sıvı reaksiyonları, faz dönüşümleri, bazı bileşiklerin parçalanması yeni fazların oluşması, büzülme, porların şekil ve boyut değişimi, tane büyümesi olabilir.

1. Fiziksel su kaybı

a) Serbest su: serbest su miktarı, kullanılan minerallere ve kurutmanın verimliliğine bağlıdır. Uygun kurutma için istenen sıcaklık artırma hızı, pişirme hızına göre çok yavaş kalır ve iç gerilmeler sonucu çatlaklar görülür. Pişmemiş ürün ne kadar az kuru ise pişmenin başlangıcındaki sıcaklığı, yavaş artırma o kadar uzun ve hızlı hava akımı gerektirir [39].

b) Higroskopik su: Higroskopik su kurutmada uzaklaştırılmaz. Gerekli sıcaklık ve ısıtma hızı; bünyenin mineralojik ve fiziksel yapısına bağlıdır. Uygun ısıtma hızı ~ 300 °C'e kadar 20 °C/sa'tir.

Kil mineralleri sahip oldukları kristal yapısı ve tane boyutlarına göre bünyelerinde farklı oranlarda fiziksel su tutabilirler. Dolayısıyla fiziksel suyun miktarı ve uzaklaştırma sıcaklığı, kil minerallerinin yapısı hakkında bilgi verebilir. Genelde fiziksel su 100 °C civarında uzaklaştırılır. Bu aşamada buharlaşan su miktarı temelde kilin tane boyutuna bağlıdır. Daha ince tane boyutuna sahip killeri, bünyelerinde daha fazla fiziksel su tutar.

Her ne kadar absorbe olan su güçlü bir şekilde kil taneleri tarafından tutulmasa da bazı kil minerallerinde (montmorillonit) tabakalar arasında da su absorblanmış için bu suyun uzaklaştırılması daha zordur ve daha yüksek sıcaklıklar gerektirir (~ 150 °C). Ancak bu sıcaklık montmorillonite absorbe olan katyon cinsine bağlıdır. Bir kil mineralinin tuttuğu su miktarı ortam nemi ile orantılıdır.

2. Kimyasal su kaybı

Kil minerallerinin içerdiği kimyasal su (kristal su), sıcaklık yükseldiğinde kristal yapıdan uzaklaşmaya başlar. Bu tip bir reaksiyon genelde hızlı değildir ve sıcaklık artış oranına bağlı olarak belli bir sıcaklık aralığında görülür. Kimyasal su 400 °C'den itibaren bünyeyi terk eder. Birtakım kimyasal bağların kırılmasını gerektirdiğinden bu reaksiyon, ısıtma hızına bağlı olarak, 800 °C'e kadar devam eder. Kimyasal su kaybedilirken kil tabakaları yaklaşır, kil mineralleri küçülür. Bu küçülme α kuvarsın β kuvarsa dönüşümündeki genleşmeyle giderilir.

Kaolinit kristal suyunu ~ 420 °C'de kaybetmeye başlar ancak bu sıcaklıkta tutulduğunda suyun tamamen uzaklaşması uzun zaman alır. 550 °C'de ise yarım saat içinde kristal suyunun çoğu uzaklaştırılır. Uzaklaştırılan kristal suyun miktar, kilin kristal yapısına ve latisteki hidroksil iyonu miktarına bağlıdır.

Kristal suyun bünyeden uzaklaştırılması DTA analizinde büyük bir endotermik pik verir ve bu pik, killerin tanımlanmasında kullanılabilir. Minerallerin bazıları farklı sıcaklık ve miktarlarda kristal sularını kaybetmektedirler dolayısıyla, hammadde içinde tanınmaları sağlanabilir [39] .

Kaolinitik kil; montmorillonit içeriyorsa ~ 680 °C'de endotermik pik görülmesi gerekir. Montmorillonitin kristal suyunun uzaklaştırılması (dehidratasyon) ~ 700 °C'de başlar. Kaolinitik kil; mika içeriyorsa ~ 850 °C'de bir endotermik pik görülmesi gerekir. Meta-kaolin; dekompozisyon sonucu oksit bileşenlerinden oluşan bir karışımdır. Dehidratasyon sırasında

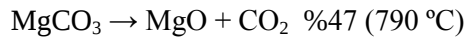
meta-kaolin oluşumu sonucu tabakalar arası kanallar kapanır ve bir miktar OH içerde kalır ve bu durumda OH iyonlarının uzaklaştırılması için daha yüksek sıcaklıklar gerekir. İllit yapısal olarak mikaya benzer ancak daha az potasyum oksit ve daha fazla tabaka suyu içerir. Mika 800 °C’de birleşik suyunu kaybeder ve mika illitik bir yapıda ise ~550 °C’de endotermik bir pik verir. Kaolinit ve mikanın farklı sıcaklıklarda kristal suyunu kaybetmeleri bu iki mineralin bir hammadde içinde varlığını termal analiz yöntemleriyle tespit etmekte kullanılır. Kaolinit ve montmorillonit için de bu durum geçerlidir.

Kil minerallerinde bulunan karbonat, sülfat gibi diğer mineraller de sıcaklık etkisiyle bozunurlar [39].

3. Karbonatlar

Karbonatlar 400-1000 °C arası bozunarak gaz ve oksit ürünlerine dönüşürler. Her bir sıcaklık için gazın denge basıncı vardır ve eğer aşılsa bozunma bitmeden gözenekler tıkanır. Sıcaklıkla birlikte gaz basıncı da artar ve şişen, kabaran gözenekler oluşur

CaCO_3 ; 880 °C’de %44 ağırlık kaybı (saf halde) vererek bozunmaya başlar. MgCO_3 , 790 °C’de bozunur. Dolomit ($\text{Ca,Mg}(\text{CO}_3)$), iki kademede bozunur.



4. Kalsiyum ve magnezyum sülfatlar: Killerde yaygın olarak bulunmazlar. Pişirme sırasında çıkan sülfür gazlarının toprak alkali içeren mineraller ile reaksiyonu sonucu oluşabilirler. CaSO_4 yüksek sıcaklıklarda ayrışır (1100-1300 °C). Bu nedenle düşük sıcaklıklarda sinterleşen killerde kabarcıklanma (bloating) problemine yol açarlar. MgSO_4 , 500 °C’deki ısıtma hızlı ise bozunur, yavaşsa bozunmaz. Fırın gazındaki SO_2 bu sıcaklıklarda yanma yavaş ise çok zararlı, hızlı ise zararsızdır.

5. Pirit (FeS_2): Pirit ısıtılıp yeterli oksijen bulunduğunda bozunarak demir oksit ve kükürt oksit verir. Yavaş ısıtma yapılırsa, fazla ve hızlı O_2 akımı gerçekleşeceğinden 425 °C’de bozunma reaksiyonları görülür. Isıtma hızlı yapılırsa, kükürdün uzaklaşması tamamlanamaz ve farklı reaksiyonlar olur. Ortam oksitleyici olmasa bile 425 °C’de pirit bozunur (pembe nokta, siyah nokta ve yumrulaşma).

Hammaddede karbon ve kükürt varsa pirit önce tutuşur ama karbon önce yanar ve sıcaklık yükseldiği için demir-sülfat oluşma olasılığı artar. Bu nedenle fırın rejimi iyi ayarlanmalıdır. Demir-sülfat siyah nokta oluşturur, yumrulaşma meydana getirir.

6. Demir oksitler: Fe_2O_3 1110 °C'nin üstünde değişik sıcaklıklarda bozunarak O_2 verir. Bünye Fe_2O_3 'in bozunmasından önce sinterleşirse çıkan gaz bünyeyi terk etmeyeceğinden yumrulaşma görülür. Ürün tuğla kırmızısı veya kahverengi isteniyorsa indirgen Fe_2O_3 1300 °C'nin altında oksitlenmelidir [39] .

7. Organik maddeler: C içerikli organik maddeler oksitlenerek gaz halde yapıyı terk ederler. ~400 °C'de bozunarak CO_2 ve H_2O vererek bünyeye serbest karbon bırakırlar. Hangi sıcaklıklarda oksitlenmenin olacağı organik maddenin cinsine bağlıdır. Oksitlenme aralığı 200 °C'den 1000 °C'e kadar değişir. Yanma ve bozunma ürünleri, sinterleşme başlamadan bünyeyi terk etmelidir, aksi halde iç kısımlar siyahlaşır, çıkan gazlar hava kabarcığı ve kraterlere neden olur. Oksitlenme işlemi 950 °C'e kadar tamamlanmalıdır, reaksiyon hızı önemlidir 10 °C'lik artış reaksiyon hızını iki katına çıkarır. Düşük sıcaklıkta yanma işleminin gerçekleşmesiyle bünyede güçlü bir yapı sağlanır.

Yapıda bulunan organikler, pişirmenin erken aşamalarında uzaklaştırılmazsa camsı faz oluşumu porları kapatabilir ve havanın iç kısımlara girmesini engelleyebilir. Bu durumda yapıda bulunan C yanmamış olur (bitüminli ya da antrasitik organiklerin bulunması → black core). Kullanım sırasında ürün çatlayabilir. Bu tür durumlarda sıcaklık özellikle 350-800 °C arasında yavaş yükseltilmeli ve fırın içinde iyi hava sirkülasyonu sağlanmalıdır.

Tuğla üretiminde çok önemli ve özel bir adım olan pişirme için fırın türüne ve diğer değişkenlere bağlı olarak 40 ile 150 saat arası bir zaman gerekir. Birçok fırın türü kullanılmaktadır. Belli başlıları arasında tünel ve periyodik fırınlar söylenebilir. Kullanılan yakıt; doğal gaz, petrol, talaş, kömür veya bu yakıtların karışımı olabilir.

Kurumuş tuğlalar (birimler), sıcak fırın gazlarının serbestçe sirkülasyonuna müsaade edecek şekilde bir model göre periyodik fırınlara yerleştirilir. Periyodik fırın doldurulur, pişirilir, soğutulur ve boşaltılır. Daha sonra aynı proses tekrar edilir. Bir tünel fırında, pişirilecek olan tuğlalar benzer şekilde özel araçlara (vagonlara) yüklenip, bu vagonlarla tünel içindeki değişik sıcaklık zonlarından geçirilir. Her zondaki sıcaklık şartları dikkatlice kontrol edilir ve fırın sürekli çalışır.

Sıcaklık maksimuma ulaştıktan ve belirlenen süre kadar uygulandıktan sonra, soğutma işlemi başlar. Periyodik fırınlarda iyi bir soğutma için 48 ile 72 saat arası bir zaman gerekir. Fakat tünel fırınlardaki soğutma periyodu nadiren 48 saati geçer. Soğutma oranının renk üzerine direkt etkisi olduğundan, aşırı hızlı soğutmanın üründe çatlama ve diğer özlere (kavlama gibi) sebep olacağından, soğutma pişirme işleminde önemli bir safhadır [39].

3.5.2 Pişirme prosesi

Pişirme, tuğla ve kiremit üretimindeki en son aşamadır. Kilin kuruma aşamasında, serbest haldeki suyunu ve sonradan emdiği suyu kaybetmesinden dolayı boyutlarında küçülme (çekme) olur. Pişirme sırasında kil kimyasal reaksiyonlara maruz kalır. 300 °C civarında organik maddeler tamamen yanar, 450-650 °C arasında molekül suyunu kaybeder. 850-950 °C arasında kil hamurunun pişmesiyle oluşan bu yeni malzeme artık sert, şeklini değiştirmeyen, belirli mukavemet ve renge sahip bir üründür. Genel olarak pişme şu aşamalardan oluşur:

1. Doldurma, 2. Isınma, 3. Pişme, 4. Soğuma, 5. Boşaltma [38]

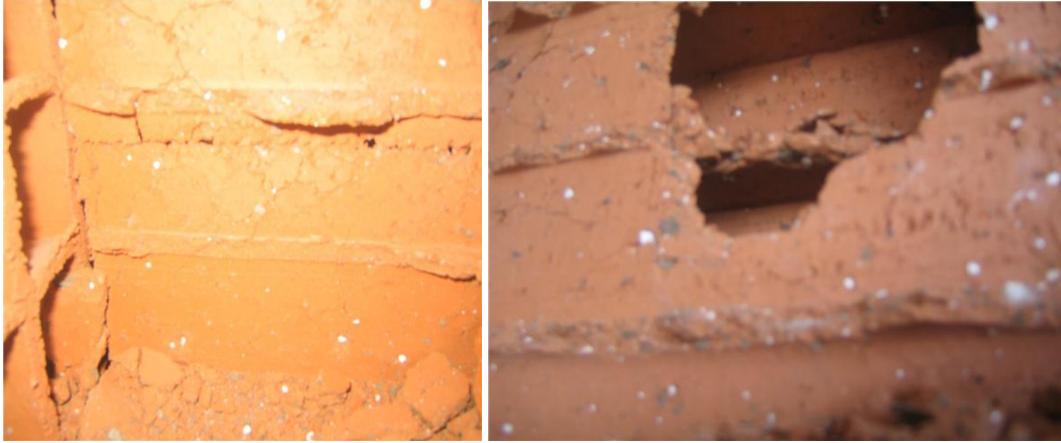
Killere pişme sırasında renk veren maddelerin başında hematit (Fe_2O_3), limonit gibi demir bileşikleridir. Killerde genellikle oksitler yaygın olarak bulunur. Renk üzerine en büyük etkiye sahip olan demir, sülfat parçacıkları şeklinde bulunmakla birlikte çoğunlukla demir oksit ve hidratları şeklinde bulunup kilin kütlesine dağılmışlardır. Demir oksitler tuğla ve kiremitlerde temel renklendirici etmendir. Tuğla ve kiremitte kırmızı veya kahverengi renkler genellikle okside edilmiş yanma koşulları altında demir mineralleri nedeniyle oluşur. Tuğla ve kiremitte kırmızı rengini veren demir sıcaklık karşısında oksitlenerek, oksitlenme derecesine göre çeşitli renk tonları verir. Bu renk 900-1250 °C arasında sarıdan koyu kırmızıya kadar değişebilir [14]

Ürünün kırmızı rengi, pişirme sırasında diğer minerallerin ayrışması sonucu uygun oluşan hematit ile belirgin hale gelir. Hematit fazının ürüne verdiği renk, pişirme sıcaklığına bağlıdır. Düşük sıcaklıklarda hematit bünyeye portakal rengi verir, ancak sıcaklık artışıyla birlikte canlı kırmızı bir renk alır. İndirgeyici fırın atmosferinde siyah renk veren manyetit (Fe_3O_4) ve FeO oluşur. Oksitlenmiş demir oksidin rengi siyahtır ve alümina silikat bünyelerde eritici etki yapar. Oksitlenmiş haliyle Fe_2O_3 'e dönüşür ve ürüne kırmızı rengini verir. Fe_2O_3 silikat ile birleşince pembe çekirdeklenmeye neden olur. Kilde bulunan iki değerli demir bileşikleridir 900-1000 °C'da pişirilince, 3 değerli demir bileşikleridir haline yükseltgenerek kırmızı (kiremidi) bir renk alırlar. Bazen demir bileşikleridir kilde açık sarı ve yeşilimsi renkte kimyasal olarak iki değerlikli halde bulunurlar Şekil 3.10'da Bay-Kes fabrikasının renk problemi olan ürünleri görülmektedir. Kilde bulunan üç değerli demir bileşiği miktarına göre sarı, kırmızı veya koyu kırmızı renk verir. İki değerlikli demir bileşikleridir gri, koyu gri ve siyah renk verir [14].



Şekil 3.10 Bay-Kes fabrikasının renk problemi olan ürünlerinin görüntüsü [32].

Hammaddenin koyu kahverengi olması genellikle manganez bileşiklerinden veya humus maddelerinden ileri gelir. Kilin plastikliğini, işlenme kabiliyetini artıran organik humus asitlerinin tuğla, kiremit hammaddesinde bulunması istenir. Hammaddenin koyu kahverenginin humus maddelerinden ileri gelip gelmediği, numuneyi yaklaşık olarak 400 °C'e kadar kızdırmak suretiyle tespit edilebilir; kızdırılan maddenin rengi kayboluyorsa, renkli organik maddelerin mevcut olduğu anlaşılır. Hammaddenin rengi normalden daha açık olduğu durumda, önce arazinin fazla kireçli olduğu akla gelir. Hammaddelerin üretimde kullanılabilmesi için hammaddede kalsit, dolomit, jips, pirit ve tuz bulunmamalı, bu mineraller fırında pişmeyi güçleştirir. Sinterlemeyi sağlamak için ısı yükseltildiğinde (900 °C üzerinde) üründe aranan renk kaybolur. Ayrıca, piştikten sonra içinde serbest kireç kalması ve ürünü çatlatması tehlikesi ortaya çıkar. Tuğla, kiremit killlerinde demir bileşiklerinin renk yanında sertlik ve su emme yüzdesine etkisi büyüktür. Demir oksitler pişme sonucunda sertliğin daha fazla olmasını sağlarlar, su emmesini düşürürler. Özellikle bileşimde bulunan Fe_2O_3 ve CaO ürünün renk, küçülme, su emme miktarı, yoğunluk ve dona dayanım üzerinde etkili olmaktadır. Şekil 3.11'de Bay-Kes fabrikasının kireç problemi olan ürünleri görülmektedir. Fazla demir, demir sülfat ve karbonlar pişme sırasında çatlama, kopma ve ürün yüzeyinde çiçeklenme (lekeler) yapar [14].



Şekil 3.11 Bay-Kes fabrikasının kireç problemi olan ürünlerinin görüntüsü [32].

Fazla kireçli killere yapılan ürünlerde porozite ve su emme özelliği artar, dona dayanım ise azalır. Tuğla ve kiremit killlerinde pişme sonrası emeceği su ile üründe patlama, çatlama ve dökülme yapacağından, iri taneli kalker ve dolomit bulunmamalıdır. Fazla kalker içeren hammaddenin pişme rengi 900 °C'nin üzerinde sarıya döner. Fazla ve serbest olarak bulunan CaCO_3 700-800 °C'da CaO , nemli ortamda ise Ca(OH)_2 şekline dönüşerek hacmini genişletmekte ve çatlamalara neden olarak 900 °C'un üzerinde kiremidin kırmızı rengini açık kırmızıya çevirmektedir. CaCO_3 renkli pişen toprak ürünler üzerinde yalnız fiziksel özellikler yönünden değil, pişmiş ürünün rengi üzerine de etkilidir [14]. Hammaddenin içerdiği minerallerin pişen ürün üzerindeki tüm bu etkileri pişirme tekniğiyle, dolayısıyla fırın tipleriyle doğrudan ilişkilidir.

Türkiye'de en yoğun kullanılan fırın tipi Hoffman fırınlarıdır. Daha sonraki yoğunluğu tünel fırınlar oluşturmaktadır. 20 civarında da Hoffman-tünel fırın karışımı olan kemer tünel fırın vardır. [38].

1. Hoffman tipi fırın kesiti dairesel tonoz biçimindedir. Ateş hareketli, ürünler sabittir. Bu fırın yakıttan elde edilen ısıyı çok yüksek verimle kullanan ve üretim kapasitesi ve hızı yüksek olan bir fırındır. Yanmanın tam pişme durumundaki malzemenin üzerinde olması, fırın içinde hareket eden havanın bir yandan pişmiş malzeme ile temas ederek ısınması, ısınmış havadan çığ malzemenin ısınması için yararlanılması bu fırının en önemli üstünlükleridir. Fırının üstündeki deliklerden yakıt püskürtülmekte, pişme safhası ilerledikçe püskürtme işlemi delikler boyunca ilerlemektedir. Yakıt olarak genelde kömür vb. katı yakıtlar, nadiren sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Şekil 3.12'de Bay-Kes fabrikası Hoffman fırınının içi görülmektedir.

Hoffman fırınlarında, enerji kullanımı tünel fırınlara göre daha fazladır, emek-yoğun bir yapılanma gerektirdiği için maliyet yüksektir.



Şekil 3.12 Bay-Kes fabrikası Hoffman fırınının içi [32].

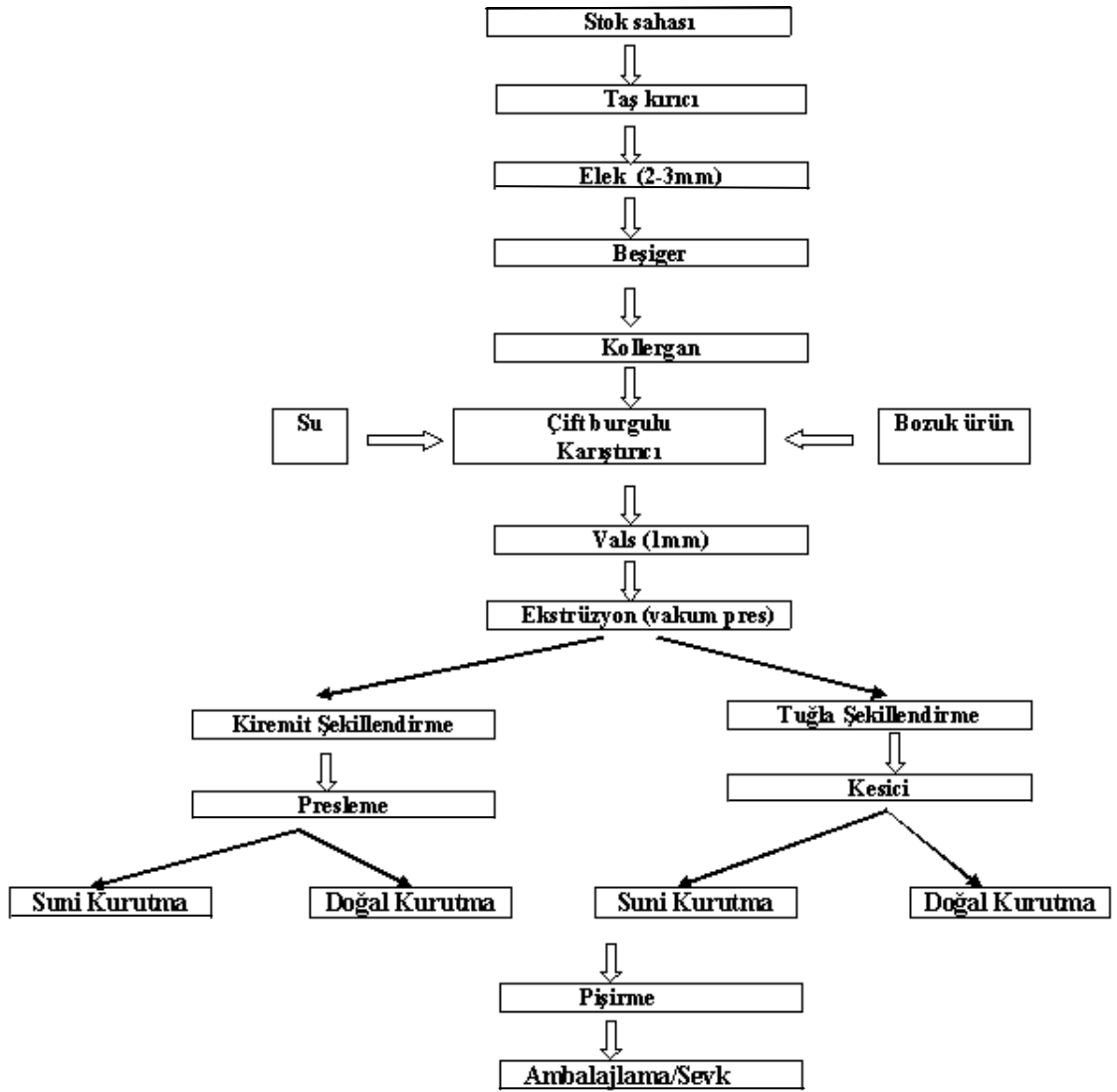
2. Tünel fırında ana prensip olarak ürünler hareketli, ateş sabittir. Uzun bir tünel ve içinde hareketli fırın vagonları vardır. Yarı mamul ürünler fırın vagonlarına fırının dışında istif edilmekte ve birbiri ardına vagonlar belli bir hızda, fırının içinde hareket etmektedir. Fırın içinde hareket eden ürünler ısısı gitgide artan, rutubeti azalan bir hava ortamı ile karşılaşmaktadır. Bu bölge ısınma bölgesidir. Orta bölümde pişme bölgesi (cehennemlik) vardır. Burada pişen ürün ilerlemeye devam ederek daha önce pişmiş olan malzemenin üzerinden geçerek malzemeyi soğutmuş olan ve kendisi ısınan hava ile temas ettikçe giderek soğumaya başlamaktadır. Daha sonra fırın dışına çıkan ürünler fırın vagonları üzerinden alınmaktadır. Pişirme bölgesinde genel olarak sıvı yakıt kullanılmakta, bazen katı yakıtlı sistemlerde yapılabilmektedir. Tünel fırınlar, ürün kalitesi yüksek, yakıt ve emek tasarrufu sağlayan, fabrikasyon süresi kısa sistemlerdir. Ancak, ilk yatırım ve bakım maliyetleri çok yüksektir. Fırın debisi çok sık değiştirilememektedir. [38].

Boşaltma soğutmadan sonra tuğlaların fırından tahliye işlemidir. Bu safhada, tuğlalar ayıklanır, sınıflandırılır, paketlenir, depolanır ve sevkiyat için yüklenir. Bugün tuğlaların çoğu fabrikalarda kolay taşınma, yüklenme ve nakliyat sağlayacak şekilde çelik telle çemberlenmiş küpler halinde paketlenir. Bu paketler forkliftlerle kolayca taşınma sağlanacak halde şekillendirilir.

3.6 Ambalajlama ve Sevk

Piştirme fırınlarından çıkan ürünler soğuma sonrası istenilen yere sevk edilmektedir. Sevk işleminde genel olarak kamyonlar kullanılmakta fırın veya fırın vagonu önüne yanaşan araca ürün direkt olarak yüklenmektedir. Bazı fabrikalarda ürünler palet üstüne ve sonrasında naylon ile ambalaj yapılarak veya mukavva kutulara konularak sevk edilmektedir. Şekil 3.13’de Tuğla ve kiremit üretim akım şeması verilmiştir [38]. Tuğla ve kiremit üretimi hammadde zenginleştirme aşamasında birbiriyle aynı prosesi izlemekle birlikte şekillendirme prosesinde birbirinden ayrılır. Tuğlanın şekillendirmesinde ekstrüzyon ağzına monte edilen değişik kalıplarla şekillendirme sağlanırken, kiremit üretiminde ekstrüzyon sonrası presler kullanılır. Bununla birlikte her fabrikanın tüm üretim basamakları diğerlerine göre çeşitlilik gösterirken bu durum kullanılan hammadde farklılıklarından da kaynaklanmaktadır.

Her ne kadar üretimin temel prensipler hemen hemen aynıysa da, fabrikalar kendi hammaddelerine ve operasyon metotlarına uymak için bu temel prensiplerden sapabilirler. Esas olarak tuğla; öğütülmüş kilin su ile karıştırılıp istenilen şekil verilmesi ve daha sonra da kurutulup pişirilmesiyle üretilir. Eski zamanlarda, bütün şekillendirilmeler elle yapılırdı. Ancak 19. y.y.’ın sonlarında tuğla yapım makineleri icat edildiğinden dolayı bilhassa A.B.D.’deki bütün üretilen tuğlalar makinelerle üretilmeye başlanmıştır [31].



Şekil 3.13 Tuğla ve kiremit üretimi akım şeması.

4. TUĞLA-KİREMİT SANAYİ BİLGİLERİ

Tuğlaların sınıflandırılması uygulandıkları yerlerdeki tuğla kullanımı tarafından saptanmıştır. Yanlış uygulamada kullanılan tuğla başarısızlıklara sebep olur veya hoş olmayan görüntü oluşturur. Standart spesifikasyonlar tuğla için aynı şartnameler ortaya çıkarmak için geliştirilmiştir. Bunlar; basınç dayanımı, dayanıklılık ve estetik alanlarını kapsar.

ASTM tuğla üzerine en yaygın kabul edilen standartları yayınlamıştır. Bu standartlar herkesçe kabul edilmiş standartlardır. Bu standartların hepsi inşaat sektörünün (üreticiler, kullanıcılar ve genel ilgi alanında olanlar) çeşitli bölümleri tarafından bir inceleme sonucu oluşmuştur. Model bina kodlarının çoğu ASTM standartlarına göredir. Tuğla standartlarındaki gerekçelerin çoğu gerçek kullanımda ürünün dayanıklılığını tahmin etmekte yardımcıdır. Bu tahminler ve ASTM standartlarındaki diğer gerekçeler yanılmaz ve sapmaz değildir. Bütün ASTM standartları optimal performans elde etmek için periyodik olarak gözden geçirilir ve günün şartlarına uydurulur [31].

4.1 Sektörün Tanımı ve Sınırlanması

Üretim alanına, çeşitli yapı tuğlaları ve kiremitler girmektedir. Üretimin ana ürünleri aşağıda verilen kalemlerden oluşmaktadır:

- Taşıyıcı döşeme tuğlaları (statik çalışmaya katılan)
- Taşıyıcı döşeme dolgu tuğlaları (statik çalışmaya katılmayan)
- Fabrika tuğlaları-duvarlar için-Klinker tuğla
- Fabrika tuğlaları-duvarlar için-Yatay delikli
- Fabrika tuğlaları-duvarlar için-Düşey delikli hafif
- Fabrika tuğlaları-duvarlar için-Dolu ve düşey delikli
- Çatı kiremitleri-kilden yapılmış sürekli olmayan (bindirmeli)
- Asmolen döşeme giriş tuğlaları
- Baca tuğlaları
- Dekoratif tuğlalar
- Döşeme tuğlaları
- Cephe kaplama tuğlaları [40].

4.2 Kullanımlar

İsimlerin belirttiği gibi tuğla kullanımları onların ASTM’de tahsis edilen isimleriyle aynıdır.

1. Yapı Tuğlası (Yığma Tuğlası): Yapı tuğlası, hem yapısal ve hem de yapısal olmayan görüntü gerekliliğinin olmadığı duvar tuğlaları için kullanılmıştır. Yapı tuğlaları dolgu-destek malzemesi olarak kullanılır.

2. Yüzey Tuğlası (Pres Tuğla): Yüzey tuğlası hem yapısal ve hem de yapısal olmayan görüntü gerekliliği olan duvar tuğlaları için kullanılmıştır.

3. Delikli Tuğla: Delikli tuğla yüzey tuğlası ile aynıdır, fakat daha büyük bir care (boşluk) alanına sahiptir. Çoğu boşluklu tuğlalar yüzey tuğlaları gibi aynı uygulamalarla kullanılır. Çok büyük boşluklu delikli tuğlalar, çelik ve dolgu malzemesinin bu birimlere (tuğlalara) yerleştirilmesini sağlarlar. Yapı tuğlaları yüzey tuğlaları ve bazı delikli tuğlalarda bunu yapmak zordur.

4. Kaldırım tuğlası yaya ve hafif araç trafiğini tahkim eden kaldırımlarda kaldırım malzemesi olarak kullanılır.

5. Seramik Sırlı Tuğla: Seramik sırlı tuğla, bünyeye kaynamış seramik sırlı ve yüzey tuğlası olarak kullanılan birimlerdir. Bünye ya yüzey tuğlası veya diğer katı duvar birimi olabilir.

6. İnce Tuğla: İnce tuğla kaplama birimleri, kalınlıkları azaltılmış normal yüzey boyutlu pişmiş kil birimlerdir. Bu tür birimler yapıştırırmalı yüzey uygulamalarında kullanılır.

7. Lağım ve Kanalizasyon Tuğlaları: Bu tuğlalar, lağım sanayi artıkları, taşkın suları ve benzer yapılardaki tahliye için drenaj yapılarında kullanılır [31].

4.3 Standartlar

Avrupa teknik mevzuatının Türk iç hukukuna uyumlaştırılması çerçevesinde 1 Ocak 2007 tarihinde Yapı Malzemeleri Yönetmeliği’nin uygulamaya geçmesiyle beraber, tuğla ve kiremitler için de ürüne iliştilmesi zorunlu uygunluk işareti CE olmuştur.

Teknik mevzuat uyumlaştırma süreci doğrudan standartların kendisini de etkilemiş, daha önceki standartlar yürürlükten kaldırılarak AB harmonize standartları yürürlüğe konulmuş ve bu standartlar hem CE hem de TSE için ürün belgemesinde esas standartlar haline

gelmiştir. Bu süreçte tuğlalar için daha önceki TS 704, TS 705, TS 4563, TS 4377 standartları iptal edilmiş ve TS EN 771-1 Kagir Birimler Özellikler-Bölüm: 1 Kil Kagir Birimler (Tuğlalar) standardı yürürlüğe girmiştir. Kiremitler içinse yeni standart, TS EN 1304 Çatı Kiremitleri-Kilden Yapılmış-Tarifler ve Özellikler uygulamaya geçmiştir [40].

Her bir standartta sınıflandırma için kullanılan birçok terim vardır. Bunlar tuğlanın ekspozuru (atmosferik etkilere maruz kalma), görünümü, fiziksel özellikleri, çiçeklenmesi, (kusma veya pamuklaşması olarak da bilinir), boyut toleransları, çarpıklığı, çentik oluşturmaları, iç kısmın şekillendirilmesi ve kanallarının oluşturulmasını kapsar. Tuğla çoğu uygulamalarda kullanım kalite ve tür olarak sınıflandırılabilir. Onun için alıcılar bütün tercihleri belirtmelidir. Her ASTM tuğla standardı sınıf ve tür için (bırakılan bir optionun otomatik uygulandığı) şartnamelere sahiptir. İstenen şartnameler belirtilmemişse, yapılan tuğla teslimatı kullanılması düşünülen yere uygun olmayabilir.

Çoğu spesifikasyonlardaki fiziksel özellik şartnameleri; basınç dayanımı, su emme ve doygunluk katsayısıdır. Bu özellikler ASTM C 67 (Standart Methods of Sampling and Testing Brick and Structural Clay Tile) e uygun olarak belirlenmelidir. Minimum basınç dayanımı, maksimum su emme ve maksimum doygunluk katsayısı, kullanılacak olan tuğlanın dayanımını tahmin etmekte birleşik olarak kullanılır. Doymunluk katsayısı (C/B oranı olarak da bilinir), 24 saatlik soğuk su absorpsiyonuna oranıdır.

Alternatifler: Ülkelerdeki hammadde ve üretim metotları değişikliklerinden dolayı, bütün tuğlaları sınıflandırmak için yalnızca bu şartnameleri kullanmak zordur. Bu nedenle her standartta dayanımlı olanları kapsamak için ihmallar (sarfi nazarlar) vardır. Ancak bu tuğlalar fiziksel şartnameler altında sınıflandırılmazlar. Sarfi nazarları kullanmak, kullanıma iyi performans göstereceği bilinen tuğlanın kullanılmasını sağlar. Tuğlanın düşük kaliteli olduğunu göstermez. Sarfi nazarlar aşağıdakileri kapsar: Eğer tuğla ayrışma indeksi 50'den daha az olan yerlerde kullanılacaksa doygunluk katsayısı ve su emme şartnameleri ihmal edilir. Eğer beş tuğlanın soğuk su absorpsiyonu ortalama %8'den azsa (bir tuğla %8'den fazla fakat %10'dan az olabilir) doygunluk katsayısı şartnamesinden vazgeçilir. Eğer örnek tuğla 50 defa donma çözülme şartnamesine uyarsa (bu şartname 50 defa donma çözülme sonunda tuğlalarda çatlama olmamasını ve her tuğlanın-SW sınıfı için- kuru ağırlığında %0.5'den daha fazla bir kayıp olmamasını gerektirir) doygunluk katsayısı ve su emme şartnamelerinden vazgeçilir. Eğer tuğlalar doygunluk katsayısı ve su emme şartnamelerini yerine getirmezse, donma-çözülme şartnamesi uygulanır. Her tür tuğlanın sarfi nazarları (ihmalleri) için, ilgili ASTM spesifikasyonlarına başvurulmalıdır [31].

4.3.1 Ürün standartları

Tuğla ve kiremit gibi pişmiş kilden ürünlerin yer aldığı bu sektörde TSE tarafından hazırlanan aşağıdaki standartlar kullanılmaktadır.

- TS 704 Harman tuğlası (duvarlar için)-TS 705 Fabrika tuğlaları-duvarlar için dolu ve düşey delikli
- TS 1260 Taşıyıcı döşeme tuğlaları (statik çalışmaya katılan)
- TS 1261 Taşıyıcı döşeme tuğlaları (statik çalışmaya katılmayan)
- TS 4562 Fabrika tuğlaları-duvarlar için-klinker tuğla
- TS 4563 Fabrika tuğlaları-duvarlar için-yatay delikli
- TS 4377 Fabrika tuğlaları-duvarlar için-düşey delikli, hafif
- TS 562 Oluklu kiremitler ve mahya kiremitleri-Akdeniz tipi, Marsilya tipi
- TS 3457 Kiremit [40].

4.3.2 Kuruluş sayısı, mevcut kapasite ve kullanımı

Türkiye'deki tuğla ve kiremit fabrikaları Tekirdağ, Turgutlu, Salihli, Burdur, Afyon, Çorum, Boyabat, Erbaa, Yozgat, Osmancık, Avanos gibi il ve ilçelerimizde önemli ana üretimi sağlamaktadır. Bu üretim bölgelerinde başka sanayi dallarının ağırlığı yoksa yan sanayilerin oluşumu, nakliye rejimi, ticari hayat, tuğla ve kiremit dünyasına bağımlı kalmaktadır. Dolayısıyla bu kentlerin gelişimi, tuğla-kiremit sektörüne bağlıdır. 2000 yılında TUKDER tarafından yapılan bir araştırmaya göre, Türkiye'de tuğla ve kiremit ana ürünleri bazında kurulu kapasite 417 adet tuğla ve kiremit tesisi vardır. Bu tesislerden 49 tanesi kiremit (8 tanesi hem tuğla hem kiremit) geri kalan 368 adet tesiste muhtelif standartta tuğla üretilmektedir. Ancak 2000'li yılların hemen başında Türkiye'de yaşanan bir dizi ekonomik kriz ve günümüze kadar süren bazı makro ekonomik gelişmeler nedeniyle tüm Türkiye genelinde ciddi sayıda fabrika üretimini durdurmuştur. Üretimi durdurulan fabrikalardan bazıları inşaat sektöründeki gelişmelere bağlı olarak yeniden üretime başlayabilir. İçinde bulunduğumuz geçiş aşaması sona ermeden çalışan fabrika sayısı ile ilgili bilgi vermek yanıltıcı olabilecektir. Ancak, bölgesel olarak değişmekle beraber, fabrika sayısı toplamında yaklaşık olarak %25-30 azalma meydana gelmiştir. Çizelge 4.1'de tuğla ve kiremit yıllık üretim kapasiteleri ve adet ağırlıkları verilmiştir [40].

Çizelge 4.1 Tuğla-kiremit yıllık üretim kapasiteleri ve adet ağırlıkları [40].

	Adet / Yıl	kg	Kg / Yıl
Tuğla üretim kapasitesi	5.327.000.000		15.981.100.000
Kiremit üretim kapasitesi	609.000.000		1.522.500.000
Tuğla (adet)		3	
Kiremit (adet)		2,5	

4.3.3 Bay-Kes tuğla fabrikası

Bu çalışmada Bayburt ilindeki Bay-Kes tuğla fabrikasının üretiminde kullanılan hammadde incelenmiştir.

Bay-Kes tuğla fabrikasında kullanılan hammadde Bayburt-Erzurum karayolu 35. km. Maden yöresinden getirilmektedir. Ocaktan getirilen hammaddenin ön hazırlama işlemi fabrikada yapılmaktadır. Kil kırıcıdan geçirilen hammadde dişli kırıcıdan da geçtikten sonra çapı 1-2 cm ye inmektedir. Daha sonra açıklığı 6mm olan valsten geçirilip çift milli karıştırıcıda suyla harmanlandıktan sonra bir süre hammadde stok sahasında dinlenmeye bırakılır. Dinlenen malzeme açıklığı 3 mm olan valsten ve daha sonra açıklığı 1mm olan valsten geçirildikten sonra vakum prese yollanır. Vakum pres basıncı 15-17 bar/cm² ve vakumda 700 mbar ve üzeri olur. İstenilen ürüne göre vakuma yerleştirilen kalıpla ve helezon yardımıyla şekillenen ürüne üçüncü boyut kesici yardımıyla verilir. Ürüne çeşitliliğine göre üretim 90.000-110.000 adet tuğla/gün olarak yapılır.

Kesiciden çıkan ürünler sehpalara dizildikten sonra kurutmaya sevk edilir. Yapay ve doğal kurutmadan yararlanılır. Raylı sistemler üzerinde taşınan sehpaların aktarımı rahat kolay sağlanır. Yaz aylarında da olsa yağın yağmurdan vs. korunmak için açık saha kurutma alanının %50 sinin üzeri kapalıdır. Yapay olarak Hoffman fırınının kurutmasından faydalanılır. Hoffman fırını 24 kamaradan oluşur. 115 m. uzunluğunda, ortasında bulunan tünel kurutma sayesinde fabrikanın %70 kurutma yükünü taşır. Fırınlardan çıkan ürünler doğrudan müşteriye veya stoğa verilir.

Fabrika bölgesi karasal bir iklimle sahip olduğu için kış aylarında üretim yapılamaz. Kasım-Mart ayları da dahil olmak üzere üretim tamamen durmaktadır. Bu yüzden üretim kapasitesi sıcak bölgelerdeki tuğla fabrikalarına göre çok düşük kalabilir [32]. Ek.14.'de fabrikaya ait bilgiler verilmiştir.

4.3.4 Türkiye'nin ayrışma indeksi haritası

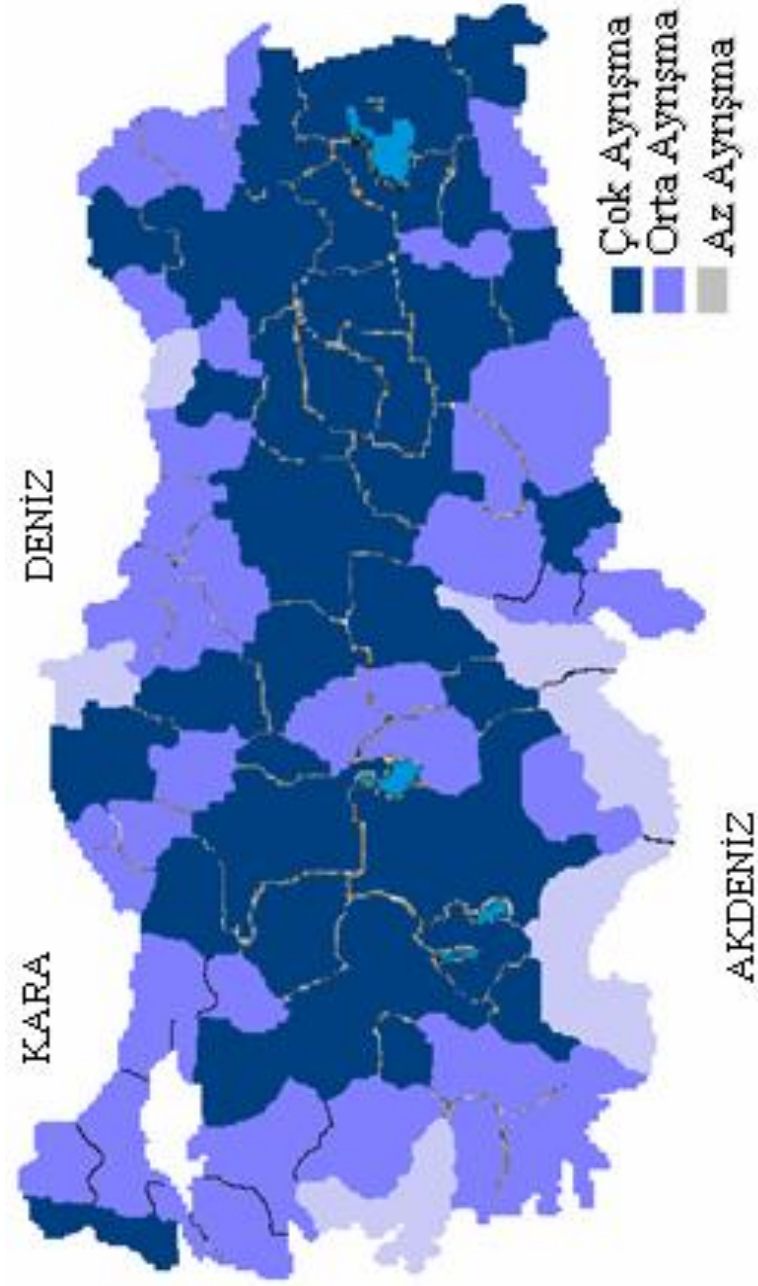
Ülkedeki değişik iklim bölgelerinden ve tuğlanın farklı uygulamalarından dolayı, uygunluğu belirlenen tuğla gerekir. Tuğla, ayrışma indeksi ve tuğlanın atmosfere expoz olması esasına dayandırılan SW, MW ve NW gereklerini yerine getirmelidir. Ayrışma indeksi, yıllık ortalama donlu geçen günlerin ve inç olarak düşen karın ürünüdür. Tuğla sınıflaması tipik olarak tuğlanın fiziksel özelliklerine dayanır [31].

Jeolojik bir terim olan ayrışma, yeryüzünde veya yeryüzüne yakın kayalarda hava, su, sıcaklık değişiklikleri, canlılar ve diğer çevresel faktörler tarafından yapılan parçalanma, ufalanma, ayrılma, çözünme ve çürüme gibi değişikliklerin tümünü kapsayan bir tanıma sahiptir. Ayrışma başlıca; (1) fiziksel (mekanik) ayrışma ve (2) kimyasal ayrışma olarak iki alt türe ayrılır.

Herhangi bir kayaç düşük sıcaklık ve düşük basınçta, su ve atmosferik gazları içeren yeryüzü şartları altında (oluşum şartları dengesi bozulduğu zaman) kimyasal ayrışma meydana gelir. Kimyasal ayrışma hidroliz, çözünme, oksidasyon ve biyokimyasal etki şeklinde olabilir. Kimyasal ayrışmada etkin bir diğer parametre iklim koşullarıdır. Özellikle sıcaklığın yüksek olduğu nemli yerlerde kimyasal ayrışma çok daha çabuk gerçekleşir.

Bu araştırmada 90 istasyona ait iklim verileri kullanılarak Türkiye'de ayrışma indeksi bölgeleri az, orta ve çok şeklinde belirlenmiştir. Sonuçlara göre, İzmir, Mersin, Adana, Sinop, Antalya ve Trabzon illerinde az ayrışma, Zonguldak, Samsun, Ordu, Giresun, Rize, Bayburt, Amasya, Karabük, Tokat, Muğla, Manisa, Aydın, Denizli, Osmaniye, Antakya, Kahramanmaraş, Kilis, Kilis, Kırklareli, Tekirdağ, İstanbul, Kocaeli, Sakarya, Bilecik, Çanakkale, Balıkesir, Yalova, Aksaray, Nevşehir, Kırşehir, Çankırı, Karaman, Adıyaman, Şanlıurfa, Batman, Siirt, Kars, Iğdır, Ardahan ve Şırnak illerinde orta ayrışma bulunmuştur. Artvin, Kastamonu, Çorum, Bartın, Gümüşhane, Kütahya, Uşak, Afyon, Burdur, Isparta, Edirne, Bolu, Bursa, Düzce, Eskişehir, Ankara, Kırıkkale, Yozgat, Sivas, Kayseri, Konya, Niğde, Gaziantep, Van, Mardin, Diyarbakır, Erzurum, Erzincan, Ağrı, Malatya, Elazığ, Bingöl, Muş, Hakkari, Tunceli ve Bitlis illerinde çok ayrışma elde edilmiştir.

Hazırlanan Türkiye'nin Ayrışma İndeksi Haritasının ayrışma indeksi farklılıkları ile kil yatakları oluşumu arasındaki korelasyonun tanımlanmasında, belirleyici olacağı düşünülmektedir [41].



Şekil 4.1 Türkiye ayrışma indeksi haritası [42].

5. MALZEME

5.1 Malzeme

Çalışmada kullanılan numuneler Bayburt ili çevresindeki çeşitli bölgelerden alınmıştır. Bayburt'ta bulunan tuğla fabrikasının üretimde kullandığı karışım (ekstrüzyon girişi karışımı) ve numuneler alınarak laboratuvar şartlarında testlere tabi tutulmuştur. Örneklem yöntemiyle alınan yeter miktardaki temsili numunelerin mineralojik ve kimyasal bileşiminin yanı sıra fiziksel ve teknolojik özellikleri belirlenmiştir. Bayburt ilinden gelen numunelerin, alındıkları bölgelere göre numaralandırılması aşağıda Çizelge 5.1'de verilmiş ve Şekil 5.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Bayburt ili çevresindeki çeşitli bölgelerden alınan numuneler.

Numune numarası	Bulunduğu yer-açıklama
1	Maden yöresi 1. bölge
2	Maden yöresi 2. bölge
3	Maden yöresi 3. bölge
4	Maden yöresi 4. bölge
5	Marn ve Bentonit karışımı örneği
6	Mam Köyü örtü tabakası
7	Mam Köyü yöresi fabrikaya 10km uzaklıkta kuzey batıda bulunmaktadır
8	Trabzon yolu 10.km
9	Mam Köyü, tandır yapımında kullanılan hammadde
10	Mutlu Köyü hammaddesi



a) Bay-Kes Fabrikasının uydu görüntüsü



b) Maden Yöresi



c) Mam Köyü



d) Mutlu Köyü

Şekil 5.1 Bay-Kes Tuğla Fabrikasının ve numunelerinin alındığı bölgelerin uydu görüntüleri

a) Bay-Kes Fabrikasının uydu görüntüsü, b) Maden Yöresi, c) Mam Köyü, d) Mutlu Köyü [32].

5.2 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Pfefferkorn plastiklik testine göre 24mm'ye karşılık gelen su miktarlarında hazırlanan çamurlar 15x50x100mm'lik dikdörtgen prizması şeklindeki alçı kalıpta şekillendirilmiştir. Şekillendirme işlemi çamurun kalıp içerisinde çekiçle dövülmesiyle gerçekleştirilmiştir. Örneklerin yüzeylerine kuru küçülmelerini tespit için 100 mm'lik işaretler konulmuştur. Şekillendirilen örnekler kurutulmak üzere etüve (80 °C) yerleştirilmiş ve 1 gün bekletilmiştir (sabit ağırlığa ulaşması için). Kurutulan numuneler farklı sıcaklıklarda (950 °C ve 1000 °C' de) fiziksel özelliklerindeki değişimi belirlemek için pişirilmiştir. Saatte 250 °C'lik sıcaklık artışı ile pişme sıcaklığına çıkılmış ve 1 saat bekletildikten sonra fırın doğal soğumaya bırakılmıştır. Pişirme işlemi D.P.Ü. Seramik Mühendisliği Bölümü laboratuvarında bulunan Protherm marka fırında yapılmıştır.

6. YÖNTEM

6.1 Çalışma Yöntemi

İnceleme alanından alınan kil örnekleri öncelikle tane boyu dağılımının belirlenmesi amacıyla elek analizine tabi tutulmuştur. Kaba tanelerden ($>3\text{mm}$) ayrılan örneklerin mineralojik içeriği X-ışınları kırınım (XRD) yöntemi ile belirlenmiştir. Killerin kimyasal bileşimi ise XRF yöntemi ile belirlenmiştir. Fiziksel ve teknolojik özelliklerin belirlenmesi için numuneler belirli miktarda su ile yoğrularak $15 \times 50 \times 100 \text{ mm}$ 'lik boyutlarda hazırlanan alçı kalıplara yerleştirilmiştir. Kalıplama işleminden sonra örnekler kurutulmuş ve 1000°C 'de pişirilmiştir. TS 4790'da verilen deney metotlarına uygun olarak yapılan deneyler sonucunda killerin yoğrulma suyu, pişme küçülmesi, kuruma küçülmesi, su emme miktarı belirlenmiştir. Ayrıca pişirilmiş örneklerin kuru ve pişme mukavemetleri, pişme rengi, dona dayanımları, zararlı kireç bulguları TS 4790'a uygun olarak yapılmıştır [39]. Bayburt ilindeki tuğla fabrikasından gelen ekstrüzyon girişi numunesinin test sonuçları baz alınarak üç adet reçete denemesi oluşturulmuş ve bu denemelerin pişmiş numunelerine fiziksel testler uygulanmıştır. Buna göre her üç numunenin de üretimde alternatif olarak kullanılabileceği sonucuna varılmış ancak en iyi sonuç 3 numaralı reçeteden alınmıştır (42).

6.2 Tane Boyu Analizi

1000 ml'lik beher içindeki saf suya 50 g sodyum hegza-meta-fosfat ilavesi yapılarak karıştırılır. Numune ufak parçalara ayrıldıktan sonra öğütülür, konileme-dörtleme yöntemiyle numuneyi temsil edici örnek alınır. Alınan örnek behere konulur ve 110°C 'de bir gün boyunca etüvde bekletilerek bünyesinde bulunan nemini atması sağlanır. Etüvden çıkan numune kalan nemini vermesi için 25-30 dakika desikatörde bekletilir ve tartılır. Kullanacağımız beher de biraz etüvde bekletilerek nemini atmasını sağlanır. Tamamen nemini atan numune üzeri 200 ml. saf suya tamamlanır ve bu karışıma 10 ml hazırlanan çözeltiden ilave edilerek homojen bir dağılım sağlanıncaya kadar karıştırılır ve 1 gün süreyle bekletilir. Bir gün bekleyen karışım $63 \mu\text{m}$ 'lik elekten geçirilir. $63 \mu\text{m}$ üstü kum oranı olacağından elek üstünde kalan malzeme etüvde kurutularak tartılır ve kum miktarı bulunmuş olur. Elek altına geçen kil+silt+su karışımı 1000 ml'lik behere konularak üstü 1000 ml'e tamamlanır ve topaklanmayı önlemek için karışıma 10 ml Hazırlanan çözelti ilave edilerek karıştırılır. Silt boyutunun çökmesini sağlamak için karışım bir süre bekletilir. Bekleyen karışımın üzerinden balonlu pipet yardımı ile 50 ml'lik kil+ su karışımı çekilerek sabit tartımı bilinen behere aktarılır. Bu karışım etüvde kurutulur, beherde kalan kuru malzeme tartılarak kil miktarı bulunmuş olur (42).

6.3 Kimyasal Analiz

Analizi yapılan numunede iç kabuk boşluğunun X-ışınları kullanılarak oluşturulması ve bu boşluğun dış kabuk elektronları tarafından doldurulması sırasında yapılan X-ışınlarının ölçülmesi ilkesine dayanan yöntem X-ışınları floresans spektroskopisi adı verilmektedir. Örneğe gönderilen X-ışınları, numuneden yayılan X-ışınlarından daha büyük enerjiye sahiptir, yani floresans ışımasının dalga boyu örneğe gönderilen ışımanın dalga boyundan daha büyüktür. X-ışınması kaynağı olarak X-ışını tüpü kullanıldığında, hızlandırma gerilimi, analiz elementinin absorpsiyon kenarından daha küçük bir kısa dalga boyu sınırı oluşturacak şekilde seçilmelidir. Ultraviyole ve görünür bölgede olduğu gibi, floresans ışımasının şiddeti, numune tarafından absorplanan ışımanın fonksiyonudur ve örneğin derişimi ile doğru orantılıdır.

X-ışınları floresansının kaydedilmesi ve ölçülmesi için kullanılan alet, X-ışınları absorpsiyonu için kullanılanlarla aynıdır. X-ışınları floresans spektroskopisi metodu ile sıvı ve gaz halindeki numuneler incelenebilir. Katı numuneler toz haline getirildikten sonra bir bağlayıcı madde ile yüksek basınç altında preslenerek tablet haline getirilir. Çözeltiler ise plastik veya hafif elementlerden yapılmış metalik hücreler içinde numune bölmesine yerleştirilirler. Gaz halindeki numunelerin analizi için yüksek basınca dayanıklı kaplar kullanılır.

X-ışınları spektroskopisi yöntemi ile nitel analizlerde, floresans şiddeti veya şiddetin logaritmasına karşın dalga boyu, enerji veya kanal sayısının kaydedildiği spektrumlar, bilinen spektrumlarla karşılaştırılır.

Kimyasal analiz cihazı oksit oranlarını verirken ateş zaiyatını vermemektedir. Bunun için 2-3g numune tartılarak kroze içinde pişirilir (950 °C). Pişen numunenin de tartımı yapılarak %hesabıyla ateş zaiyatı bulunur.

6.4 Mineralojik Analiz

XRD çabuk netice veren hassas bir metot olduğundan mineralojik analiz için en çok başvuru yöntemidir. Bu usulle kil içindeki kil mineralleri ve kuvars, kalsit, pirit, feldspat gibi yabancı maddeler de tespit edilebilir. Kil minerallerinin tanımlanmasında ve özelliklerinin saptanmasında kullanılan en hızlı ve güvenilir yöntem X-Ray veya elektron mikroskobu yöntemidir [6].

Hazırlanan numunelerden 10 gr tartılmış ve porselen havanda öğütülmüştür. Öğütülen malzemenin hepsi 63 µ'luk elekten geçirilmiştir. XRD çekimleri 5°'den 70°'ye kadar 2θ aralığında 5° artacak şekilde yapılmıştır.

6.5 Termal Analiz

Bir madde içinde bulunan termik değişimlerin tespiti esasına dayanır. Kil malzemesi 1000 dereceye kadar düzenli olarak artan bir ısıyla ısıtılır. Isınma esnasında meydana gelen buharlaşma, kristallenme ve modifikasyon değişimi, bozulma ve erime gibi dehidratasyon, oksidasyon reaksiyonları veya şebeke yapısının sebep olduğu termal reaksiyonlar ve malzemede bulunan diğer elemanlara bağlı reaksiyonlar kaydedilir. DTA, kil minerallerinde dehidratasyon, kristal yapıdaki su kayıplarını ve yüksek sıcaklıktaki yeni faz oluşumlarının karakteristik termik reaksiyonlarını gösterir. DTA analiz cihazından alınan sonuçlar kil numunelerinin yapısı hakkında bilgi verir [6].

Hazırlanan numunelerden 10 g tartılmış ve porselen havanda öğütülmüştür. Öğütülen malzemenin hepsi 63 µm'luk elekten geçirilmiştir.

6.6 Pfefferkorn Plastiklik Testi

Kil numunenin plastiklik ölçümünün yapılabilmesi için minimum miktarda su ile yoğrularak silindirik metal kalıpta şekillendirilir. Şekillendirilen örnek pfefferkorn aletinde ezilir. Dikkat edilmesi gereken şey ilk ezilme yüksekliğinin 24 mm'nin altında olmamasıdır. Bu şekilde üçer adet kil silindir oluşturulur. Ezilme yükseklikleri kumpasla ölçülür ve her bir silindirin iç kısımlarından ikişer gram alınarak yaş ağırlıkları tartılır ve etüve konur. Bu işlem 5 kez tekrarlanır, her tekrarda kil numunenin su miktarı artırılır. Numuneler etüvde 1 gün bekletilir. Etüvden alınan numuneler kuru ağırlıkları için tekrar tartılır. Daha sonra bu numunelerin nem miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır [6].

$$\%Nem = [(m_1 - m_2) / m_2] \times 100$$

m_1 : yaş numune ağırlığı (g)

m_2 : kuru numune ağırlığı (g)

Her bir numunenin ortalama yüksekliği ve nem miktarı bulunur. Bu değerler grafiğe aktarılır. Grafiklerde 24 mm'lik yüksekliğe karşılık gelen nem miktarı okunur ve kilin plastikliği için uygun olan su miktarı bu yolla bulunmuş olur. Şekil 6.1'de Pfefferkorn plastiklik testinin yapıldığı aparatlar görülmektedir.



Şekil 6.1 Pfefferkorn plastiklik testinin yapıldığı aparatlar.

a (numunenin şekillendirilmesi için kullanılır), b (şekillenmiş numunenin basınç altında yüksekliğini belirlemek için kullanılır), c (kumpas).

6.7 Kuru Küçülme, Pişme Küçülmesi ve Toplam Küçülme Deneyleri

Seramik ürünlerin kuruma sırasında bünyelerinde meydana gelen küçülme, şekillendirme sularının bünyeyi, kurutma sırasındaki sıcaklıkla terk etmesiyle açıklanabilir. Kuru küçülmenin tespiti için numuneler 0,1mm hassasiyetindeki kumpas ile ölçülür. Buna göre kuru küçülme, pişme küçülmesi ve toplam küçülme hesaplamaları aşağıdaki gibidir (42).

$$\%Sr = [(Li-Lk) / Li] \times 100$$

Sr = %Kuru Küçülme

Li = numunenin kurumadan önceki uzunlukları (mm)

Lk = numunenin kurumadan sonraki uzunlukları (mm)

Kurutulan numuneler pişirilir ve pişirmedeki küçülme de hesaplanarak toplam küçülme olarak tespit edilir. Toplam küçülmenin hesaplanması:

$$\%St = [(Li-L_k) / Li] \times 100$$

St = Toplam Küçülme (%)

Li = numunenin kurumadan önceki uzunlukları (mm)

Lk = numunenin pişmeden sonraki uzunlukları (mm)

Numunelerin pişme küçülmesinin hesaplanması aşağıdaki formülde gösterilmiştir:

$$\%Sp = (St-Sk) / (100-St) \times 100$$

Sp = Pişme Küçülmesi (%)

St = Toplam Küçülme (%)

Sk = Kuruma Küçülmesi (%)

6.8 Su Emme Deneyi

Su emme pişen ürünün açık gözeneklerine alabildiği su miktarı olarak tanımlanır. Su emmeyi etkileyen faktörler, üründeki malzemelerin plastikliği, hammadde karışımındaki plastik olan ve olmayan malzeme miktarı, şekillendirme yöntemi, kurutma sıcaklığı, pişirme sıcaklığı ve pişirme rejimidir. Pişirme sıcaklığı arttıkça ürünün su emme miktarı azalır. Ürünün su emme miktarı söylenirken hangi sıcaklıkta pişirildiği de belirtilmelidir. Bu sıcaklık belirtilmezse tanımlama eksik yapılmış olur. Su emme deneyi uygulamada, 105 °C’de yapı birimleri sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulur. Kurutulan yapı birimleri desikatörde soğutulur ve tartım yapılır. Daha sonra yapı birimleri birbirine değmeyecek şekilde de-iyonize veya damıtık su içine düşey olarak altında ve üstünde 5 cm su bulunacak şekilde yerleştirilir. Su kaynayıncaya kadar ısıtılır ve kaynamaya başladıktan sonra 4 saat daha kaynatmaya devam edilir. Isı kaynağı çekilerek yapı birimleri tamamen suyun içine batırılmış durumda soğumaya bırakılır. Güderi ıslatılır ve elle sıkılır. Sırayla her karonun yüzeyi güderi ile hafifçe kurulanır. Rölyef yüzeyi ise güderi ile tamponlanır. Bu işlemin ardından her bir yapı birimi tartılır ve sonuçlar kaydedilir.

Su emme; pişen ürünün açık gözeneklerine alabildiği su miktarı olarak tanımlanır. Üründeki malzemelerin plastikliği, hammadde karışımındaki plastik olan ve olmayan malzemelerin plastikliği, şekillendirme yöntemi, pişirme sıcaklığı ve rejimi su emmeyi etkileyen faktörlerdir. Pişirme sıcaklığı arttıkça ürünün su emme miktarı da azalır (42).

$$\%Su\ Emme = [(m_2 - m_1) / m_1] \times 100$$

m₁: kuru yapı birimi kütlesi (g)

m₂: su emmiş yapı birimi kütlesi (g)

Doygunluk katsayısı ise 24 saatlik soğuk su absorpsiyonunun 5 saatlik kaynamış su absorpsiyonuna oranıdır [31].

6.9 Donma Çözülme Deneyi

Bu deney için Dumlupınar Üniversitesi Maden Mühendisliği laboratuvarındaki iklimlendirme cihazı kullanılmıştır. Pişmiş numuneler etüvde 100 °C’de, 3-4 saat kurutulduktan sonra 1-2 saniye suda bekletilmiştir ve tartılarak iklimlendirme cihazına yerleştirilmiştir. Cihaz (-16 °C)-(+30 °C) değerlerine ayarlanmıştır ve bu sıcaklık geçişini 24 saatte tamamlaması yönünde programlanmıştır. Bu çevirim 25 gün tekrarlanmıştır, bu süre sonunda cihazdan alınan numuneler tartılmış ve yüzde ağırlık kayıpları hesaplanmıştır (42).

6.10 Mukavemet Testi

Mukavemet testi hem kuru hem de pişmiş numunelere uygulanır. Alçı kalıpta şekillendirilmiş ve kurutulmuş mukavemet çubukları, mesnet çubukları üzerine uygun şekilde yerleştirilir ve mesnetler arası mesafe ayarlanır. Yükleme çubuğu mesnetleri ortalayacak şekilde yerleştirilir. Saniyede $1\pm0,2$ N/mm²’lik bir gerimim artışı sağlayacak şekilde uygulanır. Pişirilen numunelere de bu yöntem uygulanarak tespit edilen veriler aşağıdaki formüle yerleştirir ve pişme mukavemeti bulunur (42).

$$\delta = (3 \times F \times L) / (2 \times b \times h^2)$$

δ = Kırılma Mukavemeti

F = Çubukların kırıldığı anda uygulanan kuvvet (kgf)

L = Mesnetler arası mesafe (mm)

b = Genişlik (mm)

h = Deney numunesinin kırılan kenarı üzerinde ölçülen en küçük kalınlığı (mm)

7. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

7.1 Hammaddelere uygulanan testler

7.1.1 Kimyasal analiz

Üretimde kullanılan dinlenmiş karışımdan oluşan ekstrüzyon girişinden alınan numunenin ve 10 adet numunenin XRF sonuçları Çizelge 7.1’de verilmiştir. Ateş zayıyatı ayrıca hesap edilerek eklenmiştir.

Çizelge 7.1 Deneylerde kullanılan örneklerin XRF yöntemi ile yapılan kimyasal analiz sonuçları.

Numune Adı	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	SO ₃	A.Z.	Toplam
Ekstrüzyon Girişi	49,25	14,48	7,830	7,91	4,98	1,922	0,62	0,99	0,20	11,5	99,8
1	50	12,68	6,63	7,12	3,63	1,75	-	0,78	0,49	16,1	99,3
2	50,10	13,31	7,06	7,31	4,33	1,72	3,79	0,86	1,44	9,7	99,7
3	45,13	13,17	6,55	9,55	3,14	1,456	-	0,87	0,57	19,6	100,1
4	47,99	13,11	7,39	8,16	3,86	1,635	1,44	0,88	0,22	15,1	99,9
5	48,12	14,65	7,71	5,46	4,23	2,13	-	1,00	0,15	16,3	99,8
6	42,45	10,79	5,29	14,09	1,55	1,38	-	0,53	0,11	23,6	99,9
7	43,97	11,35	5,41	14,23	1,50	1,43	-	0,59	0,12	21,2	99,9
8	38,85	8,55	3,56	20,13	0,15	1,30	-	0,26	0,11	26,8	99,8
9	54,75	17,72	7,10	1,72	1,56	1,94	-	0,72	0,08	14,3	99,9
10	47,40	13,70	6,09	10,95	1,66	1,28	0,08	0,72	0,10	17,6	99,7

Ekstrüzyon girişinin ve 10 adet numunenin XRF sonuçlarına göre 6 ve 8 numaralı numunelerin oksit oranlarının, ekstrüzyon girişinin oksit değerlerinden çok farklı olduğu görüldüğü için reçete denemesine ilavesi düşünülmemiştir. 1 numaralı numune (%50), 2 numaralı numune (%50,10), 5 numaralı numune (%48,12), ve 10 numaralı numune (%47,40) SiO₂ oranları ile ekstrüzyon girişinin (%49,25) SiO₂ oranına yaklaştırmışlardır. 2 numaralı numune (%13,31), 3 numaralı numune (%13,17), 4 numaralı numune (%13,11) ve 10 numaralı numune (%13,70) Al₂O₃ oranları ile ekstrüzyon girişinin (%14,48) Al₂O₃ oranına yaklaştırmışlardır. Tuğla-kiremit üretimi için önemli olan Fe₂O₃ oranı ise 2 numaralı numune (%7,06), 4 numaralı numune (%7,39), 5 numaralı numune (%7,71), 9 numaralı numune (%7,10), 10 numaralı numune (%6,09) oranları ile kabul edilebilir ölçülerdedir. Aynı şekilde hammaddede oranının az olması istenen CaO ise 5 (%5,46 oranıyla) ve 9 (%1,72 oranıyla) numaralı numunelerde istenen oranlardadır. Aynı şekilde Çizelge 7.1’deki kimyasal analiz sonuç tablosunda diğer oksitlerin oranları için de yukarıdaki gibi %oksit değerlerine bakılabilir.

7.1.2 Tane boyu analizi

Bayburt bölgesinden gelen 10 adet numunenin tane boyut analizleri aşağıdaki Çizelge 7.2’de gösterilmiştir.

Bayburt ilindeki tuğla fabrikasından gelen üretimde kullanılan ekstrüzyon girişinden alınan numune ile reçete denemesi için kullanılması istenen 10 numaralı numune tane boyu analizleri görülmektedir. Ek 1’de numunelerin tane boyu analizi tablosu ayrıntılı verilmiştir. Ek 2’de 1 Numaralı numunenin kil, silt ve kum fraksiyonlarının hesaplanması verilmiştir.

Çizelge 7.2 Ekstrüzyon girişinin ve 10 adet numunenin tane boyut analizleri.

Numune Adı	Ağırlıkça miktar %		
	Kil	Silt	Kum
1	23,7	20,15	56,15
2	18	33	49
3	7,5	8,1	84,4
4	17	18,35	64,65
5	7,5	23,1	69,4
6	16	36,35	47,65
7	13,5	6,3	80,2
8	19	29,45	51,55
9	23	22,25	54,75
10	22	21,95	56,05
Ekstrüzyon Girişi	23	30,9	46,1

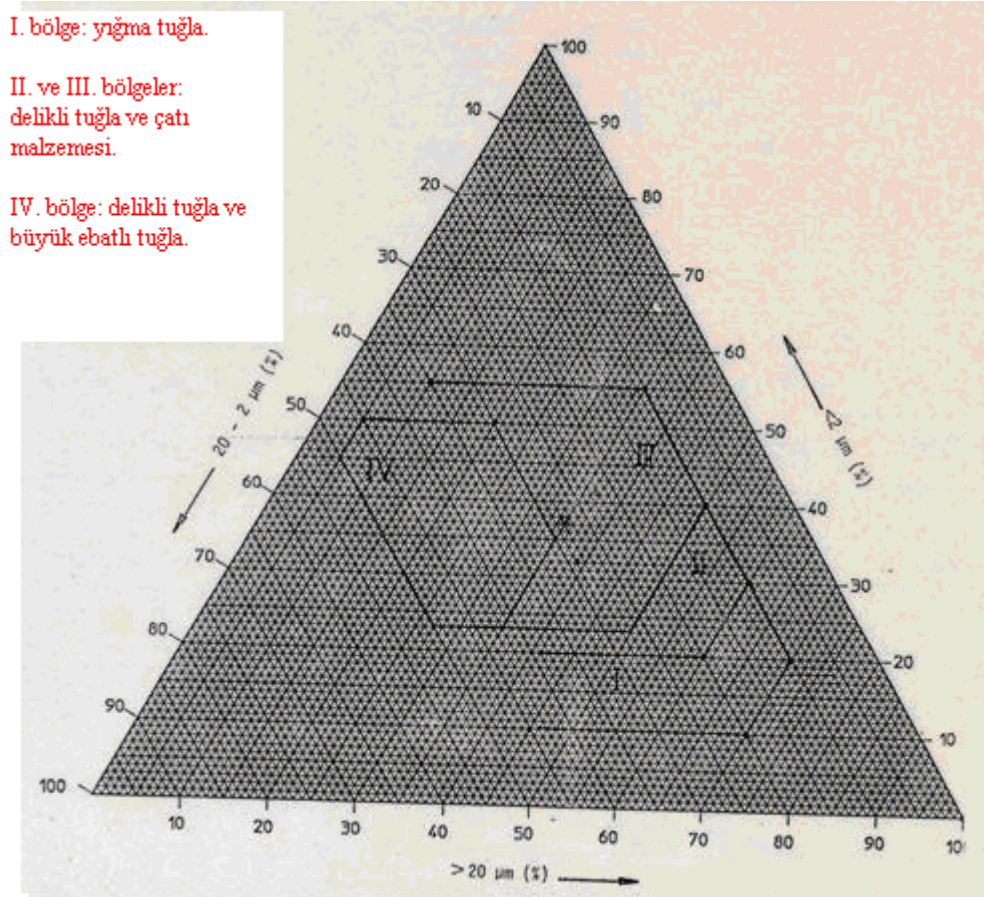
Ekstrüzyon girişinin ve 10 adet numunenin tane boyu analizi sonuçlarına göre ekstrüzyon girişinin ağırlıkça kil miktarı %23’tür. 1 numaralı numune %23,7, 9 numaralı numune %29 ve 10 numaralı numune %22 kil oranlarıyla ekstrüzyon girişinin kil oranına yaklaşımlardır.

Şekil 7.1’de verilen Winkler üçgeni;

I numaralı bölge: yığma tuğla,

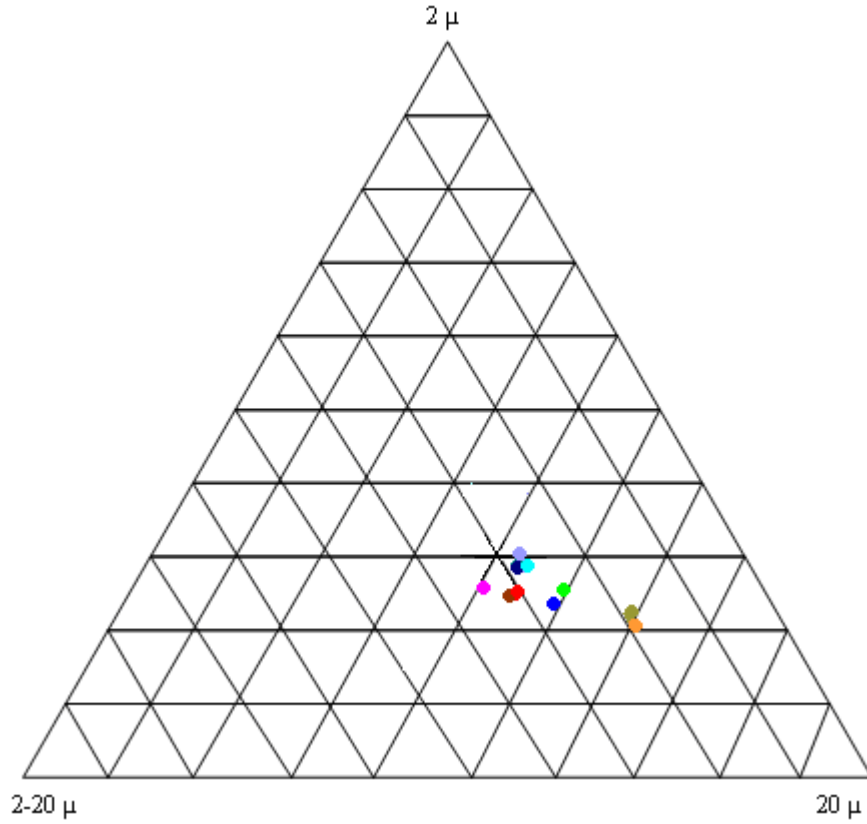
II ve III numaralı bölgeler: delikli tuğla ve çatı malzemesi,

IV numaralı bölge: delikli tuğla ve büyük ebatlı tuğlanın üretiminde kullanılacak malzemelerin uygun tane boyu aralıklarını bölgesel şekilde göstermektedir.



Şekil 7.1 Winkler üçgeni [5].

Şekil 7.2’de Tane boyu analizi sonucu elde edilen kil, silt ve kumun üçgen diyagramında her numune için üç analiz yapılarak ortalama değerler işaretlenmiştir.



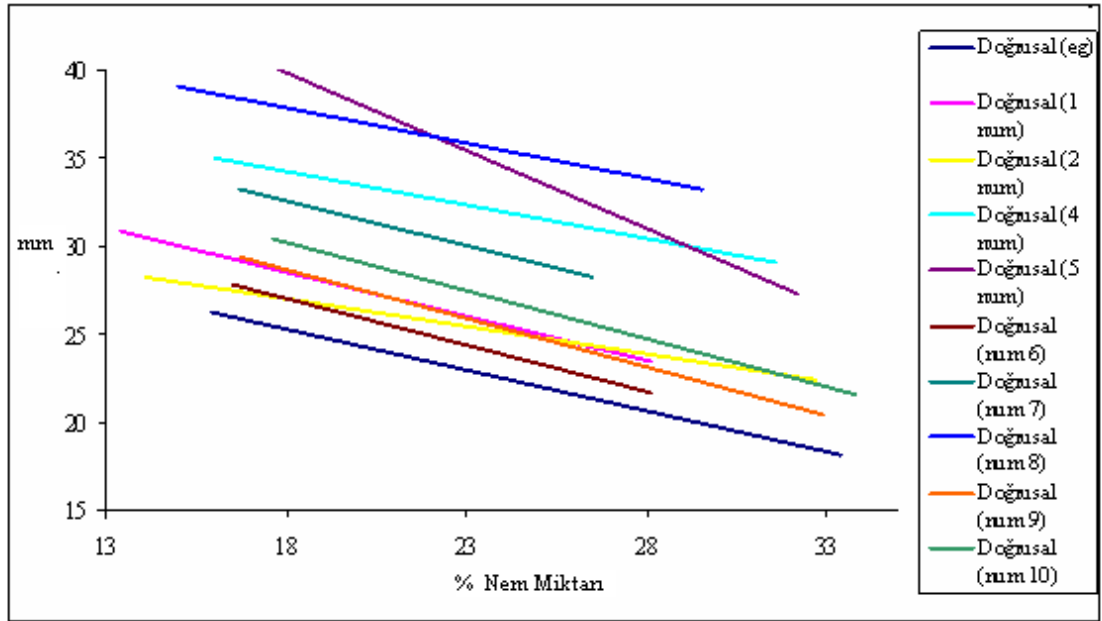
Şekil 7.2 Tane boyu analizi sonucu elde edilen kil, silt ve kumun üçgen diyagramında gösterilişi.

- 1 numaralı numune
- 2 numaralı numune
- 3 numaralı numune
- 4 numaralı numune
- 5 numaralı numune
- 6 numaralı numune
- 7 numaralı numune
- 8 numaralı numune
- 9 numaralı numune
- Extrüzyon girişi
- 10 numaralı numune

Numunelerin hepsi 1 ve 2 numaralı bölgede yoğunlaşmıştır ancak; 1, 3, 7 ve 10 numaralı numuneler 2. bölgede, 4 ve 9 numaralı numuneler 1. ile 2. bölgede yer alırlar. Buna göre, 1, 3, 7 ve 10 numaralı numuneler delikli tuğla ve çatı malzemesi üretimi için kullanılabilir malzemelerken 4 ve 9 numaralı numuneler az boşluklu yoğun tuğla delikli tuğla ve çatı malzemesi üretimi için kullanılabilir malzemelerdir.

7.1.3 Pfefferkorn plastiklik testi

Ekstrüzyon girişinden alınan numuneye ve 10 adet numuneye uygulanan pfefferkorn testinin sonuçları Şekil 7.3’de verilmiştir. (eg: Ekstrüzyon girişi).



Şekil 7.3 10 adet numune ile ekstrüzyon girişinin Pfefferkorn testi sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Ek 3’de Pfefferkorn plastiklik testinin ekstrüzyon girişi için çizilen grafiği verilmiştir. Üretimde kullanılmak üzere hazırlanan ve dinlendirilen karışım toprağın ekstrüzyon girişinde nem oranı %20,6 olarak bulunmuştur.

1 numaralı numunenin Pfefferkorn testi sonucu oluşturulan grafiğinin, ekstrüzyon girişi Pfefferkorn grafiğiyle paralelliği olmadığı görülmektedir. Ek 4’de 1 numaralı numunenin Pfefferkorn testi ağırlık sonuçları ve Pfefferkorn testi ağırlık ortalamaları verilmiştir. Bu numunenin nem oranı %26,8 olarak bulunmuştur.

2 numaralı numunenin Pfefferkorn testi sonucu oluşturulan grafiğinin, ekstrüzyon girişi Pfefferkorn grafiğiyle paralelliği olmadığı görülmektedir.

3 numaralı numunenin su ilave edildiğinde yoğrulma gibi bir durumu olmadığından Pfefferkorn testi yapılamamıştır.

4 numaralı numunenin Pfefferkorn grafik eğrisi ve %nem oranlarına bakılarak üretimde kullanılmak için uygun olmadığı düşünülebilir.

5 numaralı numunenin Pfefferkorn grafik eğrisi ve %nem oranlarına bakılarak üretimde kullanılmak için uygun olmadığı düşünülmüştür.

6 numaralı numunenin Pfefferkorn testi sonucu oluşturulan grafiğinin, ekstrüzyon girişi Pfefferkorn grafiğiyle paralelliği olmadığı görülmektedir.

7 numaralı numunenin Pfefferkorn grafiği, ekstrüzyon girişinin Pfefferkorn grafiğinden oldukça farklıdır, üretim için gerekli nem oranı bu numunede sağlanamamaktadır. Bu nedenle Reçete için karışıma ilavesi uygun görülmemektedir.

8 numaralı numunenin Pfefferkorn testi sonucu oluşturulan grafiğinin, ekstrüzyon girişi Pfefferkorn grafiğiyle paralelliği olmadığı görülmektedir, üretim için gerekli nem oranı bu numunede sağlanamamaktadır.

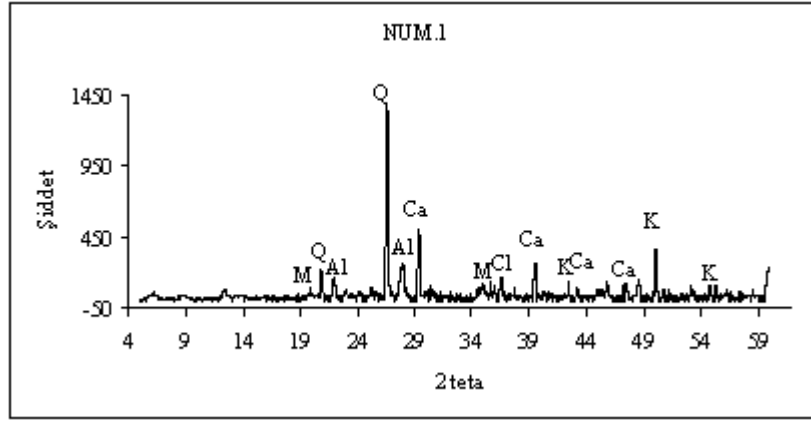
9 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi sonucu oluşturulan grafiği görülmektedir. Bu numunenin nem oranı %26,3 olarak bulunmuştur. Ekstrüzyon girişindeki neme göre oran yüksektir.

10 numaralı numunenin nem oranı %26,9 olarak bulunmuştur. Ekstrüzyon girişindeki neme göre oran yüksektir. Ek.5-12 arasındaki eklerde sırasıyla 2, 4, 5,6,7,8,9 ve 10 numaralı numunelerin Pfefferkorn grafikleri verilmiştir.

7.1.4 Mineralojik analiz

Ekstrüzyon girişinden alınan numuneye ve 10 adet numunenin XRD grafikleri aşağıda verilmiştir. Ek.13'de XRD ile yapılan mineralojik analiz paternleri verilmiştir. Ek.13-a) Ekstrüzyon girişinin XRD paterni ve Ek.13-b)-l) arası sırasıyla 1-10 arası numunelerin XRD paternlerini göstermektedir.

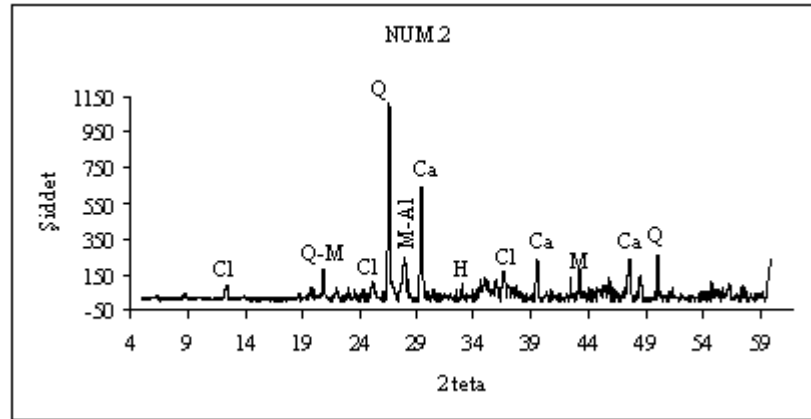
Şekil 7.4’de 1 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit, muskovit, albit, klinoklor, kaolinit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.4 1 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

Q: kuvars (SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), M: muskovit ($(\text{K,Na})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$),
Al: albit $[(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8]$, Cl: klinoklor $[(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$,
K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$.

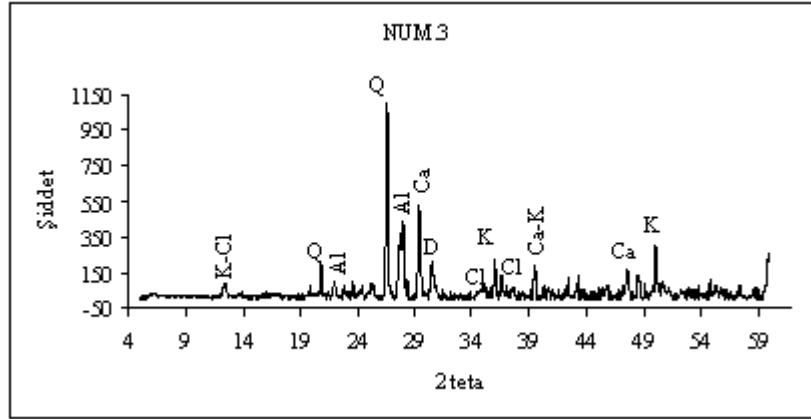
Şekil 7.5’de 2 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit, muskovit, albit, klinoklor, hematit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.5 2 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q:kuvars(SiO_2) , Ca: kalsit(CaCO_3), M: muskovit $[(\text{K,Na})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$,
Al: albit $[(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8]$, Cl: klinoklor $[(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$,
H: hematit Fe_2O_3).

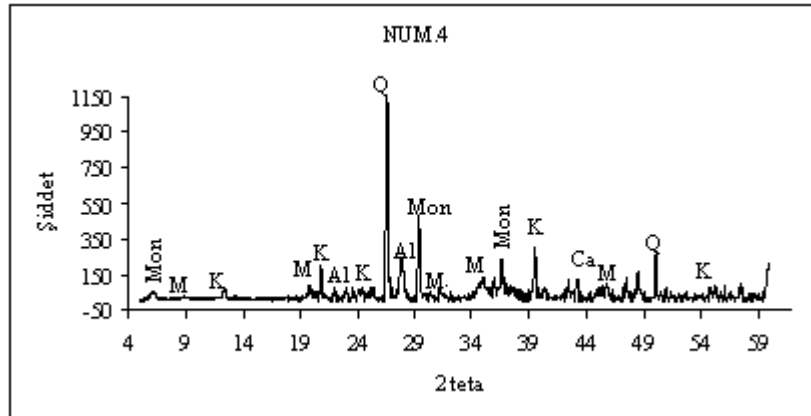
Şekil 7.6'de 3 Numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit, muskovit, albit, klinoklor, dolomit, kaolinit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.6 3 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars (SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, Al: albit $[(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8]$, Cl: klinoklor $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$, D: dolomit $(\text{Ca},\text{Mg})(\text{CO}_3)_2$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$).

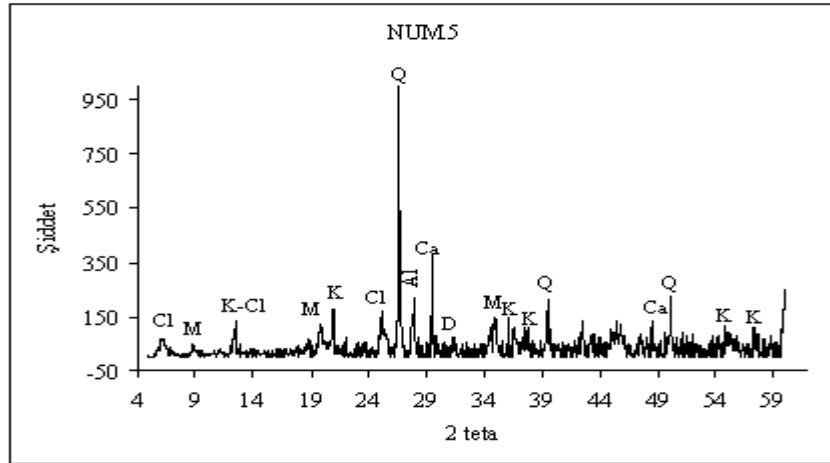
4 numaralı numunenin XRD grafiğinde Şekil 7.7'de kuvars, kalsit, muskovit, albit, klinoklor, montmorillonit, kaolinit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.7 4 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars (SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, Al: albit $[(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8]$, Cl: klinoklor $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$, Mon: montmorillonit $[(\text{CaO}.2(\text{Al},\text{Mg})_2\text{SiO}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4(\text{H}_2\text{O})]$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$).

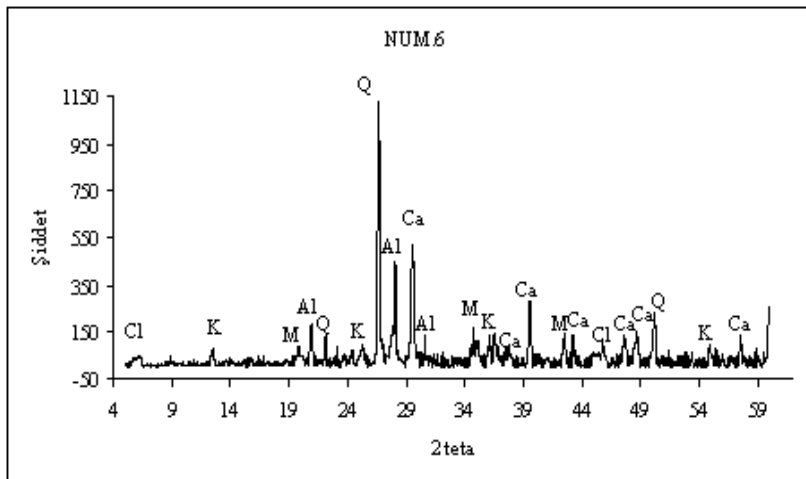
Şekil 7.8’de 5 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit, muskovit, albit, klinoklor, kaolinit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.8 5 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars (SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, Al: albit $[(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8]$, Cl: klinoklor $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$).

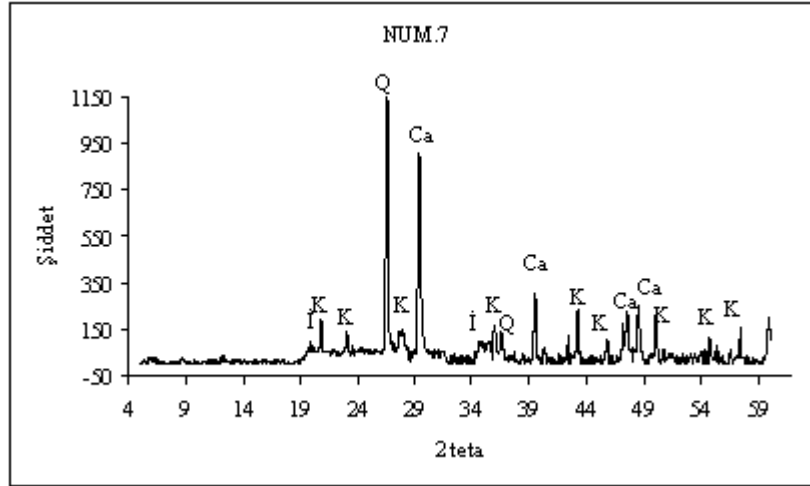
Şekil 7.9’da 6 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit, muskovit, albit, kaolinit, klinoklor pikleri görülmektedir.



Şekil 7.9 6 Numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars (SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, Al: albit $[(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8]$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, Cl: klinoklore $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$).

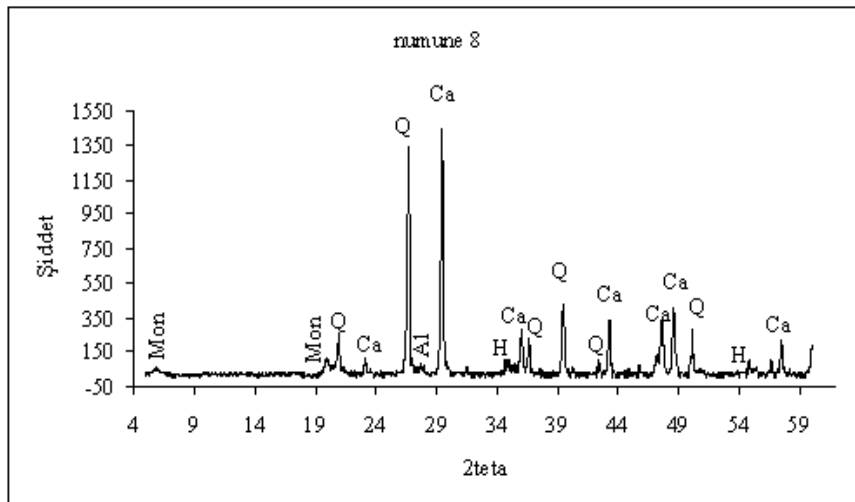
Şekil 7.10'de 7 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit,, kaolinit, illit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.10 7 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), K: kaolinit [$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$],
İ: illit [$\text{KAl}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$]).

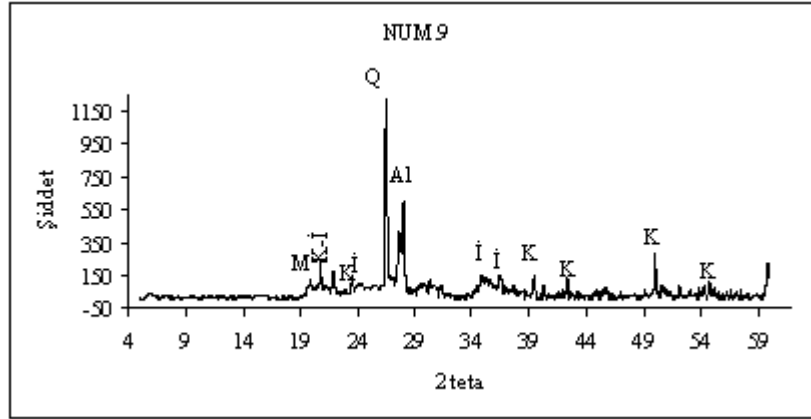
Şekil 7.11'de 8 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, kalsit, albit, montmorillonit ve hematit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.11 8 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars (SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), Al: albit [$(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$],
Mon: montmorillonit [$(\text{CaO}.2(\text{Al,Mg})_2\text{SiO}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2.4(\text{H}_2\text{O}))$],
H: hematit [Fe_2O_3]).

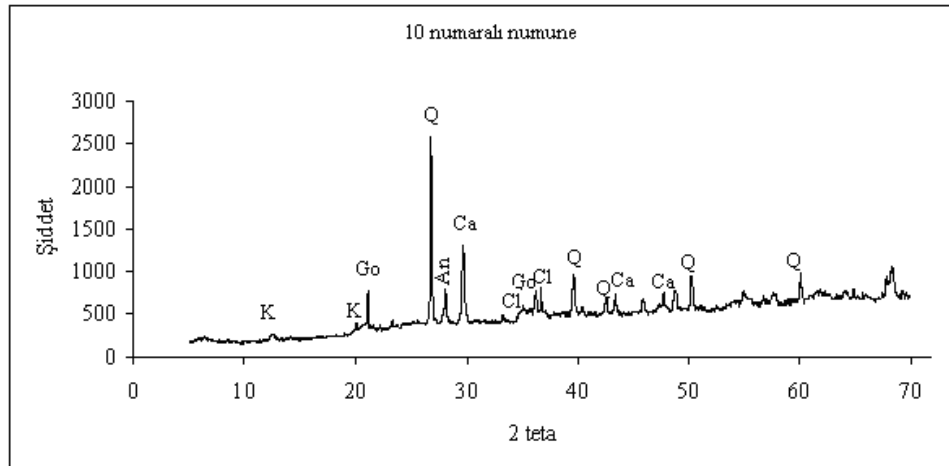
Şekil 7.12’de 9 numaralı numunenin XRD grafiğinde kuvars, albit, illit, kaolinit, muskovit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.12 9 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

Q: kuvars (SiO_2), Al: albit $[(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8]$,
İ: illit $[\text{KAl}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$,
M: muskovit $[(\text{K,Na})\text{Al}_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$.

Şekil 7.13’de 10 numaralı numunenin XRD sonucu görülmektedir. Buna göre mineralde bulunan majör fazlar kuvars, kalsit, götit, anortit, kaolinit ve klinoklor olarak saptanmıştır.



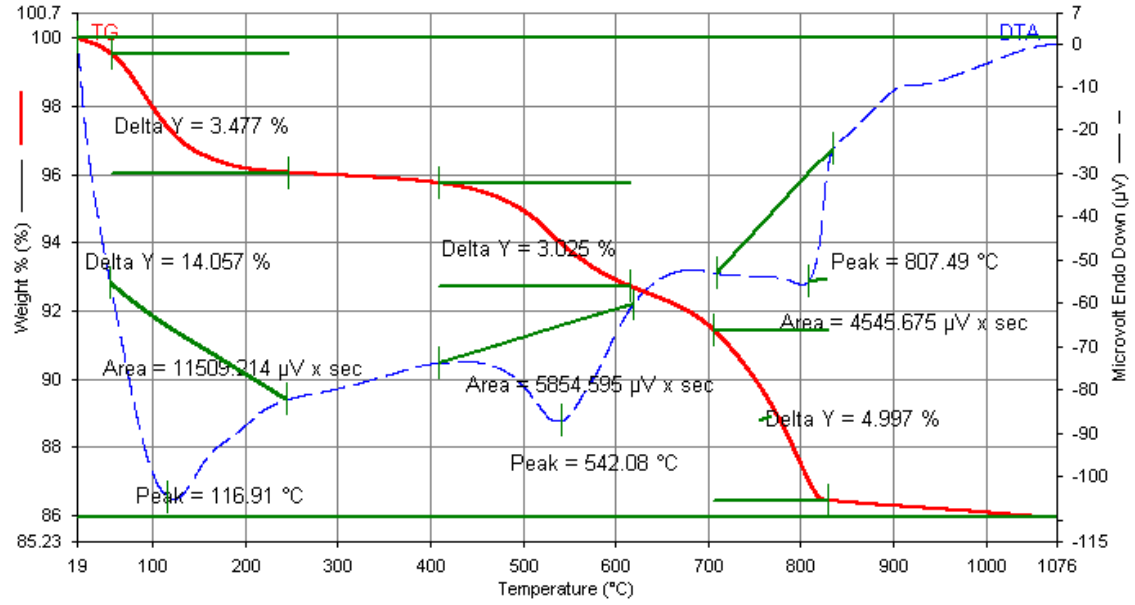
Şekil 7.13 10 numaralı numunenin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), Ca: kalsit (CaCO_3), Go: götit $[\text{Fe}^{+3}\text{O}(\text{OH})]$,
An: anortit $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$,
Cl: klinoklor $[(\text{Mg,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$).

7.1.5 Termal analiz

Numunelerin ve ekstrüzyon girişinin DTA eğrileri aşağıda verilmiştir.

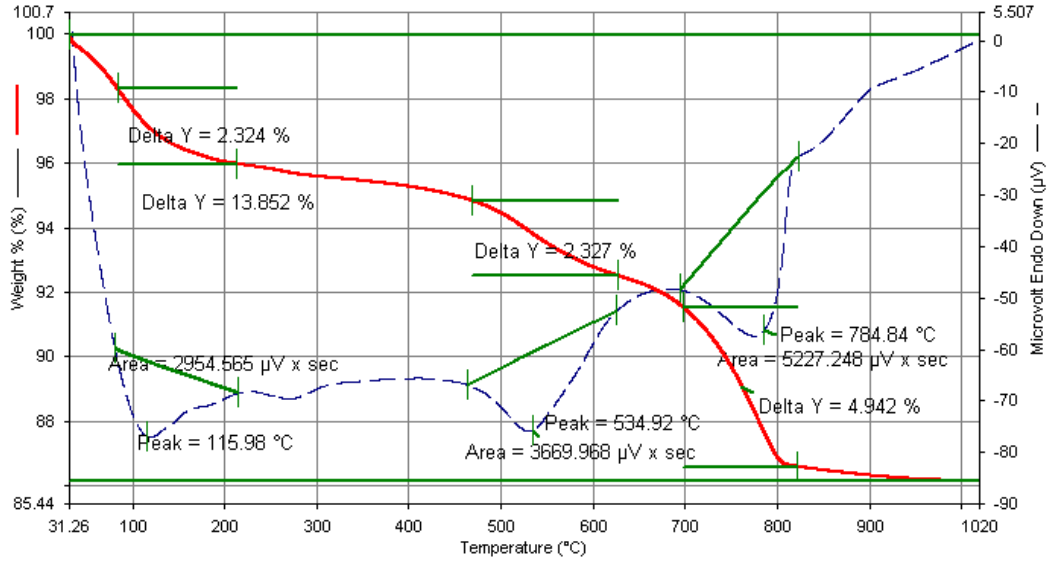
1 Numaralı Numunenin DTA Eğrisi Şekil 7.14’de verilmiştir.



Şekil 7.14 63 µm altına indirilen 1 numaralı numunenin DTA eğrisi.

1 Numaralı numunenin DTA eğrisi görülmektedir, buna göre 100-200 °C’ de kademeli su kaybı 2:1 yapısına sahip kil minerali olduğunu gösterir, XRD’de görülen muskovit pikinin varlığından olabilir. 500-600 °C’de tüm kil mineralleri için kristal su kaybını gösterir, yapıda kaolinit ve muskovit fazlarının bulunması bu reaksiyonu doğrulamaktadır. Her ne kadar kuvars bulunuyorsa da ~500 °C’de kimyasal su kaybı reaksiyonu tarafından örtülmektedir. 800-850 °C’ de meydana gelen endotermik pik ~5’lik ağırlık kaybıyla CaCO₃’ün bozunmasından kaynaklanmaktadır. 800°C’ den önceki girinti dolomitin bozunma reaksiyonudur. 900-950 °C’ de mullit olabilir (Ca-Al Silikat oluşumu görülebilir).

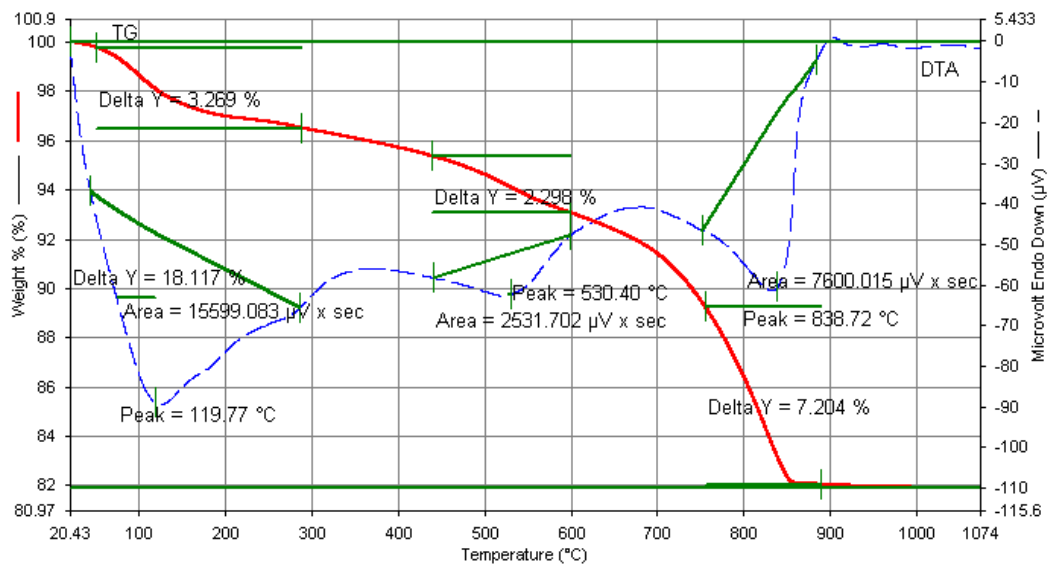
4 Numaralı Numunenin DTA Eğrisi Şekil 7.15’de verilmiştir.



Şekil 7.15 63 µm altına indirilen 4 numaralı numunenin DTA eğrisi.

4 numaralı numunenin DTA eğrisine bakıldığında 1 numaralı numuneyle aynı bölgelerde alınmış olmasına rağmen 100-200 °C arası endotermik pikte iki kademe suyun uzaklaştığı görülmektedir. Buna bağlı olarak 4 numaralı numunede montmorillonitin varlığından bahsedilebilir.

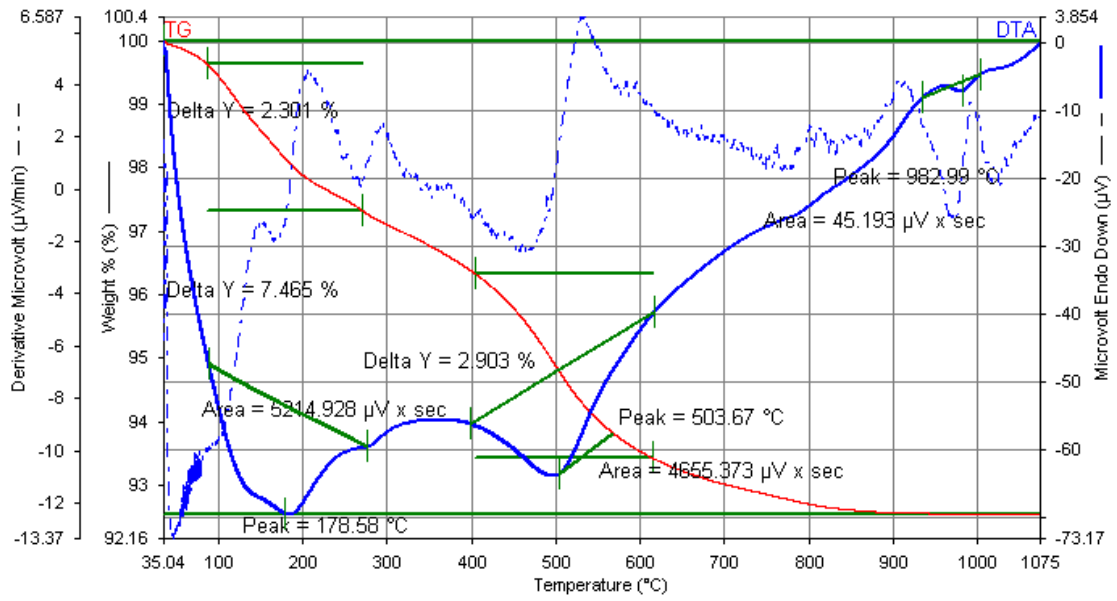
7 Numaralı Numunenin DTA Eğrisi Şekil 7.16’de verilmiştir.



Şekil 7.16 63 µm altına indirilen 7 numaralı numunenin DTA eğrisi.

7 numaralı numunenin DTA eğrisinde 100-200 °C arasındaki pik 4 numaralı numuneye benzemekle birlikte 200 °C'den itibaren kimyasal su kaybının başladığı, 450 °C'ye kadar sürekli ağırlık kaybının olması, 1 ve 4 numaralı numunelere göre daha fazla organik madde içerdiğini gösterir.

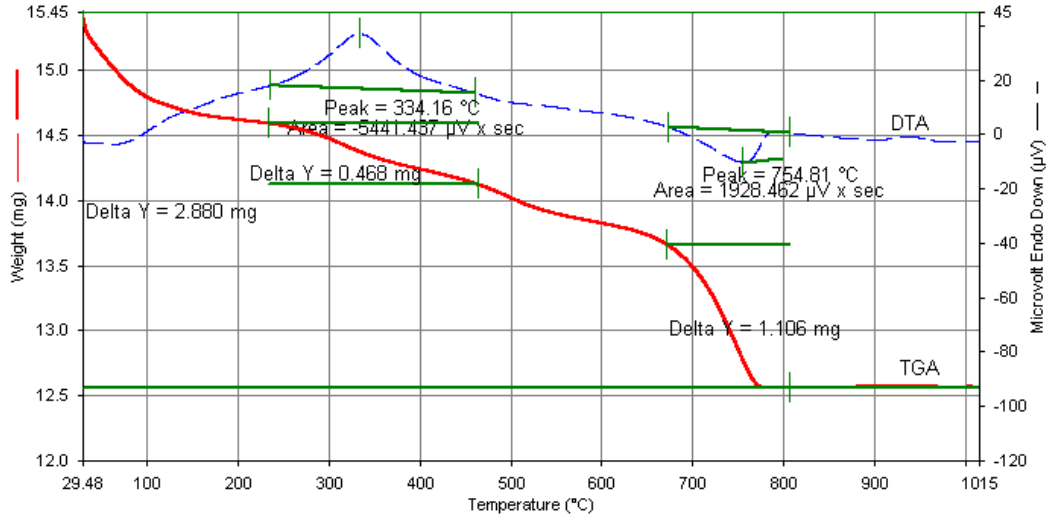
9 Numaralı Numunenin DTA Eğrisi Şekil 7.17'de verilmiştir.



Şekil 7.17 63 µm altına indirilen 9 numaralı numunenin DTA eğrisi.

9 numaralı numunenin DTA eğrisine göre; karakteristik montmorillonit minerali ve organik maddeler içeriğinin yanı sıra ~800 °C'de herhangi bir endotermik pik göstermemesi nedeniyle kalsit içeriğinin minimum olduğu görülmektedir.

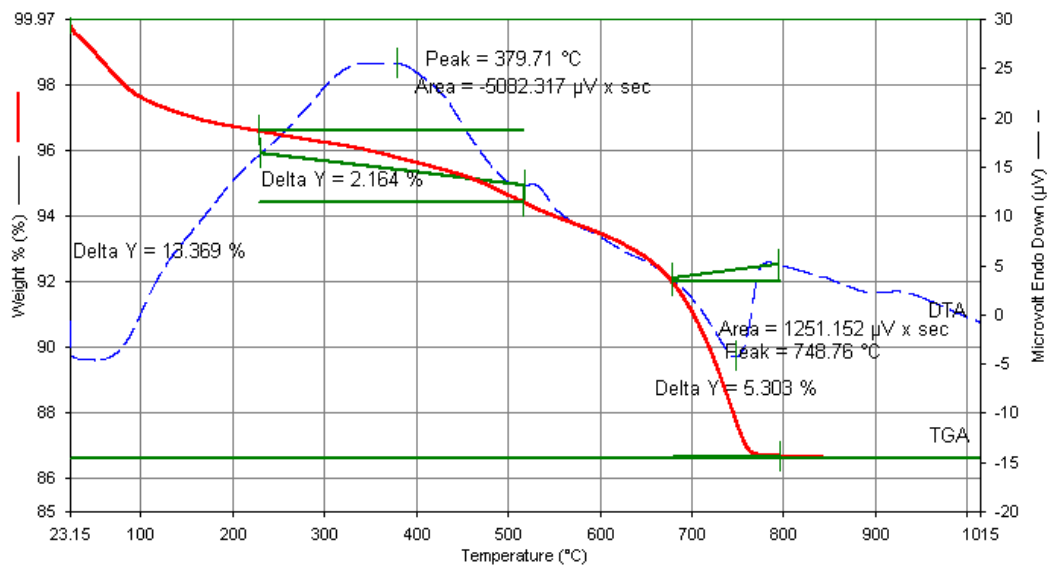
10 Numaralı Numunenin DTA Eğrisi Şekil 7.18’de verilmiştir.



Şekil 7.18 63 µm altına indirilen 10 numaralı numunenin DTA eğrisi.

10 numaralı numunenin DTA eğrisinin, diğer numunelerin DTA eğrileri dışında 100-200 °C ve 500-600 °C arasında endotermik pik göstermemesi nedeniyle kil minerali miktarının minimum seviyede kaldığı belirlenmiştir. 334 °C maksimumdaki ekzotermik pik yüksek miktarda organik madde içerdiğini göstermektedir. 750 °C’de kalsitin bozunma reaksiyonudur.

Ekstrüzyon girişinin DTA eğrisi Şekil 7.19’de verilmiştir.



Şekil 7.19 63 µm altına indirilen ekstrüzyon girişinin DTA eğrisi.

Ekstrüzyon girişinin DTA eğrisinde 100 °C'ye kadar çok küçük endotermik pik vermesine rağmen bu sıcaklıkta meydana gelen ~%2,5'luk ağırlık kaybı kil minerallerinin fiziksel suyunun uzaklaşmasından kaynaklanır. Ekstrüzyon girişinin malzemeleri çok yüksek oranda organik madde içerir. Bu haliyle yüksek orandaki organik içerik, yavaş pişirme yapıldığı takdirde black core oluşumuna neden olabilir. Benzer şekilde kalsit miktarının %5'lik ağırlık kaybıyla üründe kireç patlamasına ve çiçeklenmeye sebep olur. Ayrıca kil mineralleri düşük oranda olmasına rağmen vermikülit ve muskovit mineralleri içermesinden dolayı yeterli plastikliği sağlamaktadır.

7.2 Pişmiş Numunelere Uygulanan Testler

7.2.1 Toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekme sonuçları

Çizelge 7.3, Çizelge 7.4 ve Çizelge 7.5'de 4, 9 ve 7 numaralı numunelerin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekme sonuçları verilmiştir. Buna göre ekstrüzyon girişinin çekme sonuçlarına en yakın değerler 9 numaralı numuneden alınmıştır.

Çizelge 7.3 4 numaralı numunenin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

4 numaralı numune	Çekme Çubukları	
Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
4.1- 2,9	2,1	5
4.2- 3,3	1,4	4,7
4.3- 2,5	2,2	4,8

Çizelge 7.4 9 numaralı numunenin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

9 numaralı numune	Çekme Çubukları	
Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
9.1- 4,7	0,4	5,3
9.2- 5	0,5	5,5
9.3- 4	0,5	4,5

Çizelge 7.5 10 numaralı numunenin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

10 numaralı numune	Çekme Çubukları	
Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
K1- 8,2		8
K2- 8		7,7
K3- 8		7,2

7.2.2 Reçeteler

Ekstrüzyon girişinin çekme sonuçlarına en yakın değerler 9 numaralı numuneden alınmıştır. 10 adet numuneye ve ekstrüzyon girişinin numunesine uygulanan test sonuçlarına göre 9 ve 10 numaralı numunelerin, üretimde kullanılan karışıma belirli oranlarda ilavesiyle 3 adet reçete hazırlanmıştır. Reçeteler hazırlanırken üretim için alternatif olarak kullanılması düşünülen numunelerin oranları ekstrüzyon girişinin oranından daha az tutulmuştur. Ekstrüzyon girişine ilave edilerek hazırlanan reçetelerde üretimde kullanılan karışım baz alınmış ve oranı yüksek tutulmuştur. Çizelge 7.6.'da reçetelerin %miktar ve gram cinsinden oranları verilmiştir

Çizelge 7.6 Reçetelerin %miktar ve gram cinsinden oranları.

Reçete Denemeleri	%miktar	Numune adı	Ağırlığı (g)
Reçete 1	%70	Ekstrüzyon girişi	350
	%20	9 Numaralı numune	100
	%10	10 Numaralı numune	50
Reçete 2	%75	Ekstrüzyon girişi	375
	%20	9 Numaralı numune	100
	%5	10 Numaralı numune	25
Reçete 3	%50	Ekstrüzyon girişi	250
	%30	9 Numaralı numune	150
	%20	10 Numaralı numune	100

Her numune için %20 nem (100g su) kullanılmış, 950°C'de pişirilmiştir. Aşağıdaki Şekil 7.20'de reçetelerin pişmiş numuneleri görülmektedir.

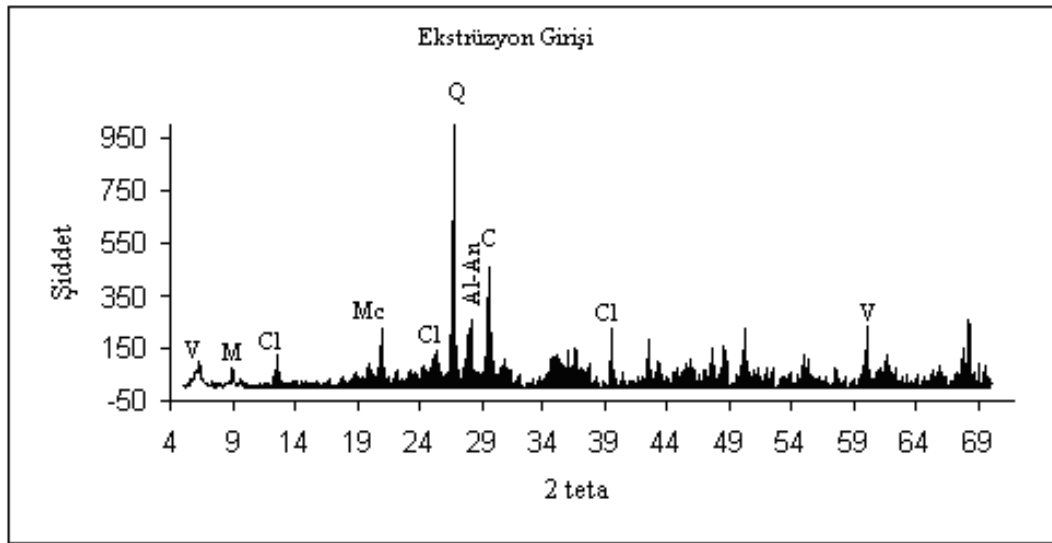


Şekil 7.20 Reçetelerin pişmiş numuneleri. (Yukarıdan aşağıya sırasıyla ekstrüzyon girişi, reçete 1, reçete 2 ve reçete 3 verilmiştir).

7.2.1 Reçetelere uygulanan testler

7.2.1.1 Mineralojik analiz

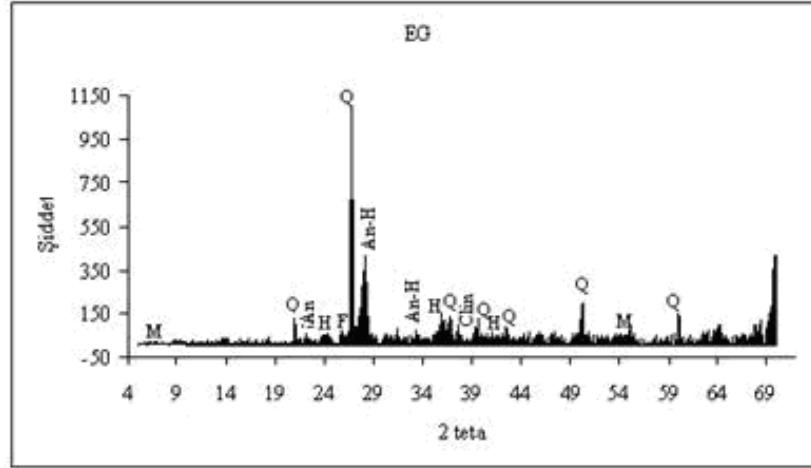
Şekil 7.21.'de ekstrüzyon girişinden alınan numunenin (ham) XRD sonucu görülmektedir. Buna göre; kuvars, muskovit, albit, anortit, clinochlore, kaolinit, vermikulit, microcline pikleri görülmektedir.



Şekil 7.21 Ekstrüzyon girişinin X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$
 Al: albit $[(\text{Na},\text{Ca})\text{Al}(\text{Si},\text{Al})_3\text{O}_8]$, An:anortit $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$,
 Cl: clinochlore $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$,
 V: vermikulit $[(\text{Mg},\text{Fe})_3(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}]$, Mc: microcline $[\text{KAlSi}_3\text{O}_8]$)

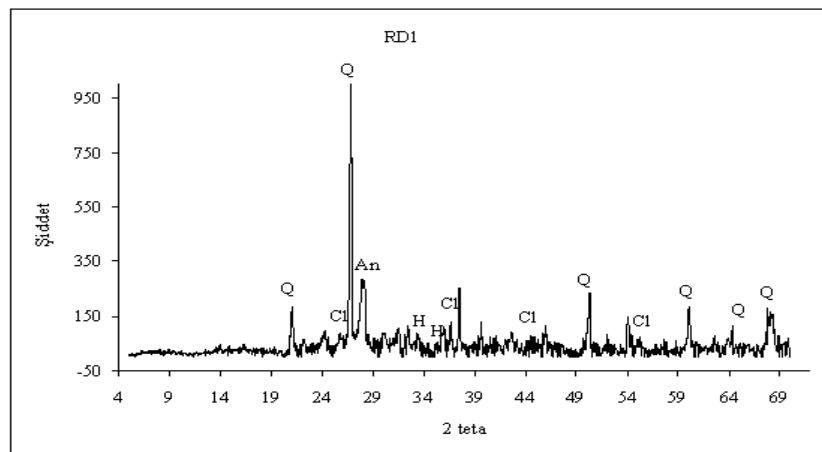
Ekstrüzyon girişinin X Işınları Difraktogramı Şekil 7.22. de verilmiştir. Buna göre, kuvars, anortit, hematit, klinoklor, muskovit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.22 Ekstrüzyon girişi (pişmiş) X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$
 An: anortit $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, H: hematit $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$,
 Cl: clinochlore $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$).

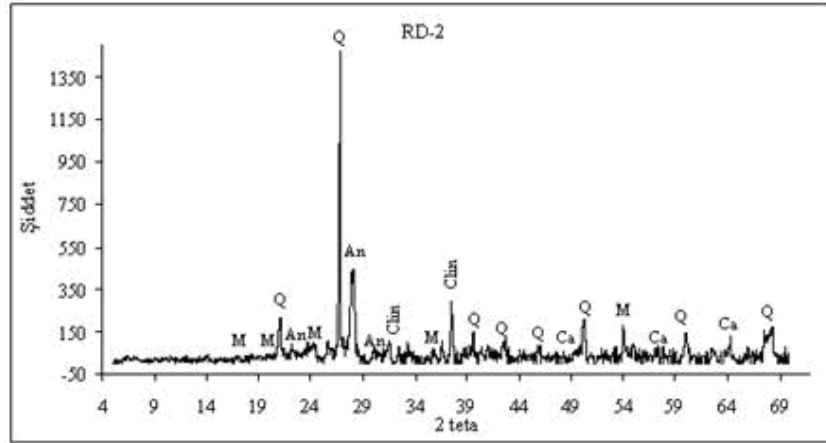
Reçete 1'in X Işınları Difraktogramı Şekil 7.23'de verilmiştir. Buna göre kuvars, hematit, klinoklor ve anortit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.23 Reçete 1 X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), Cl: clinochlore $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$,
 An: anortit $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, H: hematit $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$).

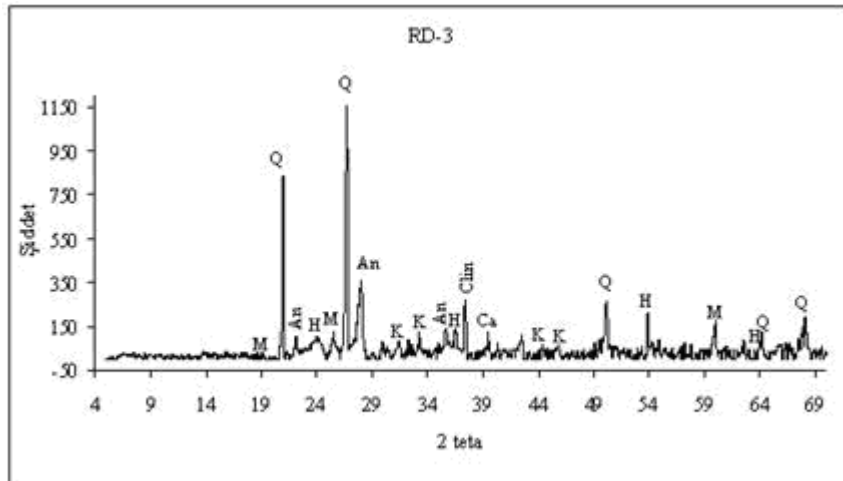
Reçete 2'nin X Işınları Difraktogramı Şekil 7.24'de verilmiştir. Buna göre, kuvars, anortit, klinoklor, muskovit, kalsit pikleri görülmektedir.



Şekil 7.24 Reçete 2 X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, Ca: kalsit (CaCO_3), An: anortit $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, Cl: clinochlore $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$).

Reçete 3'ün X Işınları Difraktogramı Şekil 7.25'de verilmiştir. Buna göre, kuvar, anortit, hematit, muskovit, klinoklor pikleri görülmektedir.



Şekil 7.25 Reçete 3 X Işınları Difraktogramı.

(Q: kuvars(SiO_2), M: muskovit $[(\text{K},\text{Na})\text{Al}_2(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$, An: anortit $[\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, H: hematit $[\text{Fe}_2\text{O}_3]$, Ca: kalsit (CaCO_3), Cl: clinochlore $[(\text{Mg},\text{Fe},\text{Al})_6(\text{Si},\text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$, K: kaolinit $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$).

7.2.2.2 Su emme ve doygunluk katsayısı

Ekstrüzyon girişinin ve reçetelerin su emme değerleri ile doygunluk katsayısı değerleri aşağıda Çizelge 7.7, Çizelge 7.8, Çizelge 7.9 ve Çizelge 7.10’da verilmiştir. Çizelge 7.11’de ise oluşturulan Reçetelerin ve ekstrüzyon girişinin doygunluk katsayıları verilmiştir.

Çizelge 7.7 Ekstrüzyon girişinin su emme deneyi sonuçları.

Ekstrüzyon girişi	
Numune no	%su emme
E-a	11,7
E-b	12,6
E-c	13,2
E-d	13,6
Ort:	12,7

Çizelge 7.8 Reçete 1’in su emme deneyi sonuçları.

Reçete 1	
Numune no	%su emme
R1-a	11,3
R1-b	10,4
R1-c	10,1
R1-d	9,3
R1-e	9,9
Ort:	10,38

Çizelge 7.9 Reçete 2’nin su emme deneyi sonuçları.

Reçete 2	
Numune no	%su emme
R2-a	11
R2-b	11,5
R2-c	9,9
R2-d	9,7
R2-e	10,33
Ort:	10,46

Çizelge 7.10 Reçete 3'ün su emme deneyi sonuçları.

Reçete 3	
Numune no	%su emme
R3-a	10,6
R3-b	11,7
R3-c	10
R3-d	10,4
R3-e	11,8
Ort:	10,9

Ekstrüzyon girişinin su emmesi ortalama %12 iken, reçetelerin su emmeleri ortalama %10'dur.

Çizelge 7.11 Ekstrüzyon girişinin ve Reçetelerin hesaplanan ortalama doygunluk katsayısı değerleri.

Reçete adı	Su emme değeri (kaynayan)	Su emme değeri (bekleyen)	Doygunluk katsayısı
Ekstrüzyon girişi	12,7	1,1	0,08
Reçete 1	10,38	1,8	0,17
Reçete 2	10,66	1,8	0,16
Reçete 3	10,9	1,22	0,11

Ekstrüzyon girişinin doygunluk katsayısı 0,08 iken reçete 1'in 0,17, reçete 2'nin 0,16 ve reçete 3'ün 0,11'dir. Buna göre doygunluk katsayısı en uygun reçete 3. reçete'dir.

Şekil 7.26'da yapılan su emme deneyi sonuçlarının görüntüleri verilmiştir.



1) Reçete 1 su emme

2) Reçete 2 su emme

3) Reçete 3 su emme

Şekil 7.26 Reçetelerin su emme testi yapılan numuneleri.

7.2.2.3 Toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekme sonuçları

Çizelge 7.12, Çizelge 7.13, Çizelge 7.14 ve Çizelge 7.15’de Ekstrüzyon girişinin ve reçetelerin toplam çekme, pişme çekme ve kuru çekme ölçümlerinin sonuçları görülmektedir.

Çizelge 7.12 Ekstrüzyon girişinin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

Ekstrüzyon Girişi	Çekme Çubukları	
Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
E1- 5,7	0,3	6
E2- 6,0	-	6
E3- 6,2	0,2	6,4

Çizelge 7.13 Reçete 1’in toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

Reçete 1			
Numune no	Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
R1-1	6,3	0,6	6,9
R1-2	6,5	0,5	7
R1-3	6	0,4	6,4
R1-4	5,9	0,3	6,2
R1-5	5,9	0,2	6,1
R1-6	5,9	0,2	6,1

Çizelge 7.14 Reçete 2’nin toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

Reçete 2			
Numune no	Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
R2-1	6	0,5	6,5
R2-2	5,6	0,3	5,9
R2-3	5,6	0,4	6
R2-4	5,5	0,2	5,7
R2-5	5,4	0,1	5,5
R2-6	5,6	0,3	5,6

Çizelge 7.15 Reçete 3’ün toplam çekme, pişme çekmesi ve kuru çekmesi.

Reçete 3			
Numune no	Kuru çekme (mm)	Pişme çekmesi (mm)	Toplam çekme (mm)
R3-1	6,6	0,4	7
R3-2	7,1	0,2	7,3
R3-3	6,8	0,2	7
R3-4	6,7	-	6,7
R3-5	6,2	0,6	6,8
R3-6	6,5	0,1	6,6

Ekstrüzyon girişinin çekme sonuçları ile her üç reçetenin çekme çubukları arasında fark çok azdır.

7.2.2.4 Donma çözülme deneyi

Ekstrüzyon girişinin ve reçete denemesi numunelerinin donma çözünme testi sonucu ortaya çıkan ortalama % kütle kayıpları aşağıda Çizelge 7.16'da gösterilmiştir. Deneyin uygulandığı numunelerde kireç patlamaları görülmüştür, renklerinde bir değişiklik olmamıştır. Kütle kayıpları aşağıdaki Çizelge 7.16'da verilmiştir. Şekil 7.27'de donma çözünme testinin yapıldığı iklimlendirme cihazı görülmektedir [42].

Çizelge 7.16 Donma çözülme deneyi.

Numune adı	%kütle kaybı
Ekstrüzyon girişi	%1,12
Reçete 1	%1,25
Reçete 2	%2,17
Reçete 3	%2,37



Şekil 7.27 İklimlendirme cihazı (D.P.Ü. Maden Mühendisliği Laboratuvarı).

Donma çözülme deneyi sonucu %kütle kayıplarına bakılırsa ekstrüzyon girişinin %1,12 iken reçete1'in %1,25'tir. Deneyin uygulandığı numunelerde kireç patlamaları görülmüştür, renklerinde bir değişiklik olmamıştır.

7.2.2.5 Mukavemet testi

Ekstrüzyon girişinin ve reçetelerin mukavemet testi sonucu ortaya çıkan değerler aşağıda Çizelge 7.17, Çizelge 7.18, Çizelge 7.19 ve Çizelge 7.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 7.17 Ekstrüzyon girişinin mukavemet testi.

Ekstrüzyon girişi					
Mukavemet Testi	Kalınlık (cm)	En (cm)	Mesnetler Arası Mesafe (cm)	Kırılma Değeri	Mukavemet (kgf)
1	1,08	2,1	12	15,8	116,1
2	1,08	2,1	12	13,3	97,73
3	1,08	2	12	16,4	126,54
4	1,08	2,1	12	15,7	115,37
5	1,08	2,1	12	16	117,57
6	1,08	2,1	12	15,1	110,96
Ort:					114,045

Çizelge 7.18 Reçete 1’in mukavemet testi.

Reçete 1					
Mukavemet Testi	Kalınlık (cm)	En (cm)	Mesnetler Arası Mesafe (cm)	Kırılma Değeri	Mukavemet (kgf)
1	1,08	2,1	12	16,8	123,45
2	1,08	2,1	12	13,6	99,94
3	1,08	2,1	12	15,2	111,69
4	1,08	2	12	16,5	127,31
5	1,08	2,1	12	14,7	108,02
6	1,08	2	12	15,8	121,91
Ort:					115,38

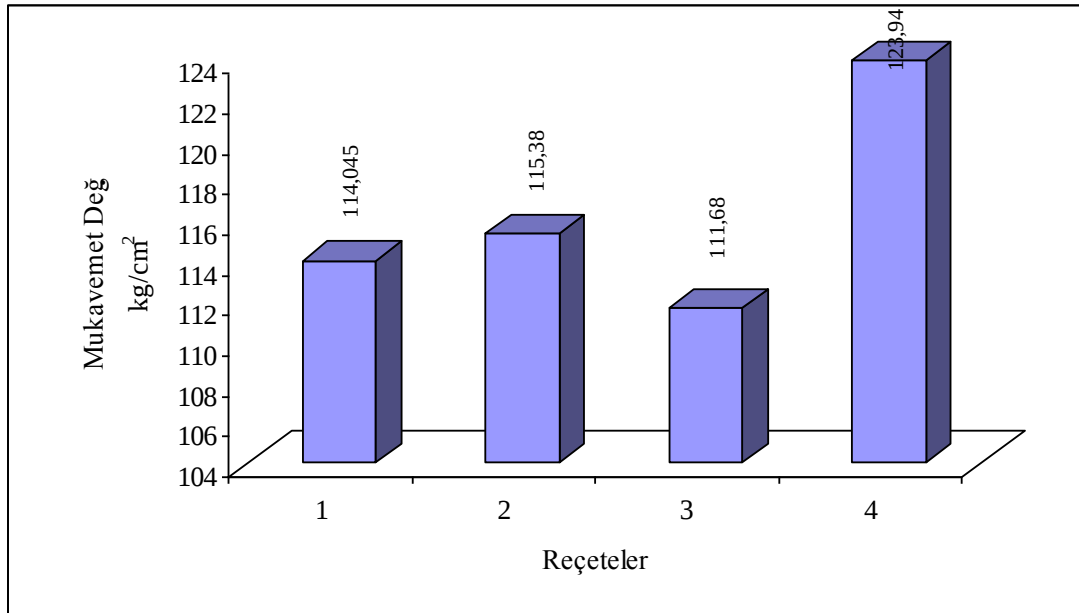
Çizelge 7.19 Reçete 2’nin mukavemet testi.

Reçete 2					
Mukavemet Testi	Kalınlık (cm)	En (cm)	Mesnetler Arası Mesafe (cm)	Kırılma Değeri	Mukavemet (kgf)
1	1,08	2	12	13,8	106,48
2	1,08	2,1	12	13,6	99,94
3	1,08	2,1	12	15	110,22
4	1,08	2,1	12	15	110,22
5	1,08	2,1	12	16,2	119,04
6	1,08	2,1	12	16,9	124,19
Ort:					111,68

Çizelge 7.20 Reçete 3'ün mukavemet testi.

Reçete 3					
Mukavemet Testi	Kalınlık (cm)	En (cm)	Mesnetler Arası Mesafe (cm)	Kırılma Değeri	Mukavemet (kgf)
1	1,08	2,1	12	14,9	109,49
2	1,08	2,1	12	16	117,57
3	1,08	2,1	12	19,6	144,03
4	1,08	2,1	12	16	117,57
5	1,08	2,1	12	17,2	127,13
6	1,08	2,1	12	17,4	127,86
Ort:					123,94

Şekil 7.28'de ekstrüzyon girişinin ve reçetelerin mukavemet testi sonucu elde edilen değerleri görülmektedir. Buna göre reçete 3'ün mukavemet değeri 123,94 kgf iken ekstrüzyon girişinin mukavemet değeri 114 kgf'dir.



Şekil 7.28 Reçetelerin mukavemet testi tablosu.

1: Ekstrüzyon girişi, 2: Reçete 1, 3: Reçete 2, 4: Reçete 3.

Şekil 7.29'da Reçetelerin mukavemet testi yapılan numunelerinin görüntüleri verilmiştir.



a) Ekstrüzyon girişi



b) Reçete 1



c) Reçete 2

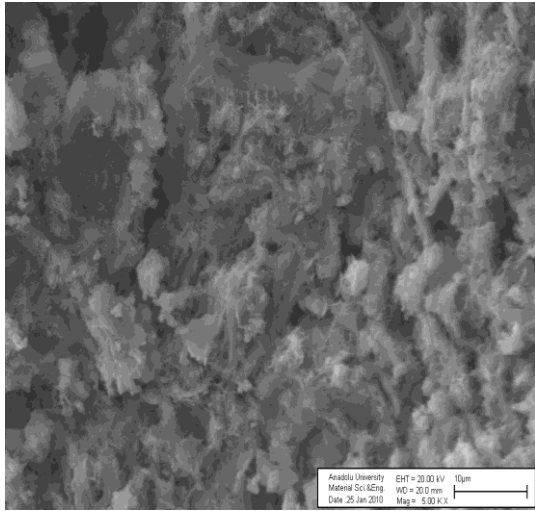


d) Reçete 3

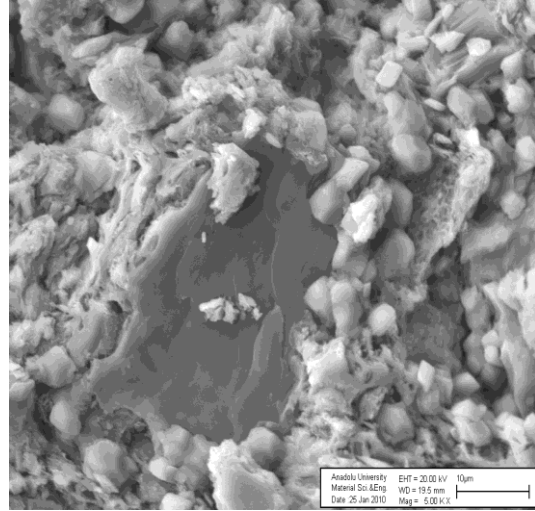
Şekil 7.29 Reçetelerin mukavemet testi yapılan numuneleri.

7.2.2.6 SEM görüntüleri

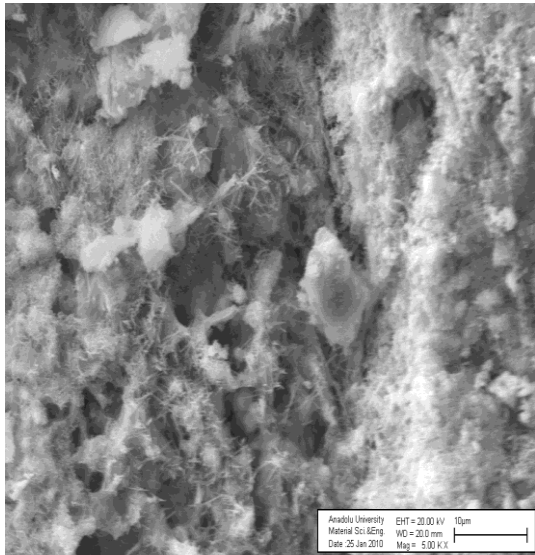
Aşağıdaki Şekil 7.30'de ekstrüzyon girişinin ve reçetelerin elektron mikroskobuyla çekilen görüntüleri verilmiştir.



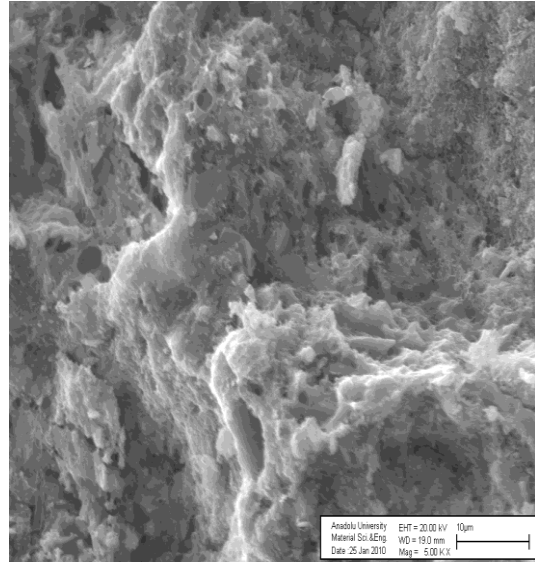
a) Ekstrüzyon girişi



b) Reçete 1



c) Reçete 2



d) Reçete 3

Şekil 7.30 Reçetelerin SEM görüntüleri.

SEM görüntülerinde mikro yapıların benzer olduğu görülmektedir. Yeni faz oluşumu ve kristal faz gözlenmemiştir. Ekstrüzyon girişinin su emmesi (reçetelere göre) yüksek olmasına rağmen mikro yapıda görülmez. Bünyede oluşan camsı faz miktarının fazlalığından kaynaklanabilir.

8. ÖNERİLER

1. Bu çalışmanın sonucunda önerilen reçete 3'ün kullanılmasıyla ürünün renk ve mukavemet gibi özelliklerinin oldukça iyileşeceği ve bu problemlerin minimuma ineceği görülmektedir. Dolayısıyla iyileşen ürün özellikleri maliyeti de düşüreceğinden bu çalışma için bir ekonomik analiz yapılması uygun olacaktır.

2. Yapılan tüm testlerin laboratuvar ortamında gerçekleşmesi dolayısıyla alternatif olarak önerilen reçete 3'ün üretimde kullanılmadan önce bir üretim denemesi yapılması ve alınan sonuçlara göre gerekirse testlerin tekrarlanması Bay-Kes fabrikasının daha fazla verim almasını sağlayacaktır.

3. Bayburt ilinde tuğla fabrikasının kapasitesi itibarıyla bölgenin ihtiyacını karşılayamaması dolayısıyla yapı malzemelerinin gelişmesi bölge için kaçınılmaz bir gerçektir. Buradan yola çıkarak; bölgede gerekli çalışmaların yapılarak mevcut kil yataklarının ortaya çıkarılması, buralardan elde edilecek olan hammaddeyi işleyecek yeni tesislerin kurulması ve mevcut bulunan tesislerin kapasitesini artırması için teşvik edilmesi gerekmektedir.

4. Bu çalışma süresince Bay-Kes fabrikasında çalışan ser. müh. İlker Özen Bey'le sürekli görüşülmüştür. Bu görüşmeler sonucu; fabrikanın fırın kapaklarına yakın ürünlerinin iç kısımdakilere göre daha kötü olduğunun belirtilmesiyle, tek fırın kapaklarının çift yapılması ve hava almamasına dikkat edilecek şekilde harçla örülmesi önerilmiş ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Yine bu duruma bağlı olarak fırın ısısının ve suni kurutmaların belli periyotlarla termokupl kullanılarak ısılarının kontrol altında tutulması önerilmiş ve uygulanmıştır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- [1] Işık, İ., Tuğla ve Kiremit 2003, yayınlanmamış ders notları, 1s.
- [2] http://img2.blogcu.com/images/b/n/b/bnbnrenk/babil_kulesi.jpg.
- [3] Yılmaz A. O., Alp İ., Deveci H., Çavuşoğlu İ., Yalçın F., Araklı (Trabzon) Bölgesi Kil Yataklarının Tuğla ve Kiremit Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü 61080 Trabzon e-posta: icoglu@ktu.edu.tr.
- [4] Işık, İ., 1996, Kil ve Kil Minerali Tanımı: AIPEA ve CMS Terminoloji Komitelerinin Ortak Raporu (Çeviri), Seramik Dünyası Dergisi, Sayı: Temmuz-Agustos 1996, s: 15.
- [5] Işık, İ., 2009, İleri Kil Reolojisi: DPÜ Yüksek Lisans Ders Notları (yayınlanmamış), Kütahya.
- [6] Olphen, H.van., 1963, An Introduction To Clay Colloid Chemistry, Shell Development Company, Houston, Interscience Publishers Texas, p. 301.
- [7] Akıncı, Ö., 1968, Seramik Killeri ve Jeolojisi, Maden Teknik ve Arama Dergisi 71, 63-76 s.
- [8] Işık, İ., 1996, Kil ve Kil Minerali Tanımı, AIPEA ve CMS Terminoloji Komitelerinin Ortak Raporu, Seramik Dünyası Dergisi, Temmuz-Ağustos, 15 s. (Çeviri).
- [9] Kil mineralleri, w3.balikesir.edu.tr/~ozkan/ads/adsorpsiyon13.pps
- [10] Karakaya M., Ç., ve Karakaya N., 2007, Sistematik Mineraloji, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Konya 454 s.
- [11] Worrall, E. E., 1986, Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier, Science Publishing Co., Inc., 52, Vanderbilt Avenue, New York, NY 10017, USA, 172-196 p.
- [12] Arcasoy, A., 1983, Seramik teknolojisi, Marmara Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, İstanbul 277 s.
- [13] Trindade, M.J., Dias, M.L., Corrado, J., Rocha, F., 2008, Mineralogical Transformations of Calcareous Rich Clays With Firing: A Comparative Study Between Calcite and Dolomite Rich Clays from Algarve, Portugal, Applied Clay Science 1-11 p.
- [14] Tuğla ve kiremit üretimi, Yard. Doç. Dr. Taner Kavas, 2008., http://www.aku.edu.tr/~seramik/duyuru/tugla_kiremit.ppt .
- [15] Kahraman, S., (2006), Yapı tuğlalarında renk oluşumu, KSÜ. Fen ve Mühendislik Dergisi, 9(1), 125-128 s.
- [16] Ferrari, S., Gualtieri, A.F., (2006), The use of illitic clays in the production of stoneware tile ceramics, Applied Clay Science, Volume 32, 73-81 p.
- [17] soils.missouri.edu/tutorial/page8.asp
- [18] Aras A., (2004), The change of phase composition in kaolinite-and illite-rich clay-based ceramic bodies, Applied Clay Science, 24, 257-269 p.
- [19] Structure of clays, Created by Josh Lory for www.soilsurvey.org http://soils.missouri.edu/tutorial/images/clay_structure_small.png

- [20] Toksoy F., Mineraloji, Jeolojik Oluşum, Endüstriyel Kullanım ve Türkiye'deki Durumu Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeoloji Müh. Böl, Ankara, 16-17 Ekim 1997, 124 s.
- [21] Grimshaw, R., W., 1971, The Chemistry And Physics Of Clays And Allied Ceramic Materials 1024 p.
- [22] Yenyol, M., 2004, Mineraloji, İstanbul Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, İstanbul 324 s.
- [23] Ceylantekin, R., 2002, Organik ve inorganik gözenek yapıcı madde katkılarının yapı malzemelerine etkisi, D.P.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi (yayınlanmamış), 99 s.
- [24] Aktürk, A., ve Ergül H., 1978, Endüstriyel Hammadde Jeolojisi, Jeoloji Etütleri Dairesi Kitaplığı No: 91, Diyarbakır, 25-50 s.
- [25] Tanısan, H.H., ve Mete, Z., 1988, Seramik Teknolojisi ve Uygulaması, Birlik Matbaası Söğüt, 7-22 s.
- [26] http://www.madenim.com/ta%C5%9F_yapan_mineraller.htm, Aralık 2009.
- [27] Sümer G., 1988, Seramik Sanayi El Kitabı, Anadolu Üniversitesi Yayınları, No 308, Eskişehir, 434 s.
- [28] Fischer, P., 1984, Some comments on the colour of fired clays: Die Ziegelindustrie International, p. 475, September.
- [29] Nodari L., Marcuz, E., Maritan, L., Mazzoli, C., Russo, U., 2007, Hematite Nucleation and Growth in the Firing of Carbonate-Rich Clay for Pottery Production, Journal of the European Ceramic Society 27, 4665-4673 p.
- [30] Müdüroğlu, M., (1999), Tuğla Yapımında Kullanılan Kil Hammaddelerinin Özelliklerinin İncelenmesi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 101 s.
- [31] Işık, İ., Tuğla ve Kiremit ders notları (yayınlanmamış), Kütahya
- [32] Özen İ., Bay-Kes tuğla fabrikası mühendisi, Bayburt.
- [33] Gök, S., 1973, Kil Mineralleri ve Killerin Jeolojisi, M.T.A. Endüstriyel Hammaddeler Daire Başkanlığı, 1-48 s.
- [34] Bekker, Dr. Engr P.C. F., 1981., Simple Clay Testing Methods, Die Ziegelindustrie International, p. 494-509.
- [35] Uz V., Işık İ., Özdağ H., Demirbilek F., Demirbilek M., 2006, Tuğla Kiremit Üretiminde Vakumlu Şekillendirmenin Kilin Plastiklik Ve Kurutma Davranışlarına Etkisinin Ön Araştırması, Fen Bilimleri Enstitüsü 12. Sayı Aralık, D.P.Ü., Kütahya
- [36] Murray, H.H., 1996, Common Clay: Industrial Minerals and Rocks, 8. Edition (Senior editor: D.D., Carr), p:247-248, SMME., USA.
- [37] Orhun O., İnşaat tuğlası ve kiremit üretimine elverişli toprakların tanınması, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, Ankara
- [38] Attribution Non-Commercial, Tuğla hakkında ansiklopedik bilgi
<http://ekutup.dpt.gov.tr/>

- [39] Kütle ve ısı transferi yayınlanmamış ders notları, DP Seramik Mühendisliği Bölümü, 2002.
- [40] Tuğla ve Kiremit sanayi Bilgileri, Tukder, Eylül 2008, 3-8 s.
- [41] http://www.yapi.com.tr/V_Images/arastirma/tukder-2008.pdf
- [42] Uzunoęlu, D. 2004, Dış Cephe Seramik Kaplama Malzemeleri İçin Türkiye’de Ayrışma İndeksi Bölgelerinin Belirlenmesi, Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Seramik Mühendisliği Anabilim Dalı, Kütahya.
- [43] TS EN Yapı Malzemeleri Kapsamındaki Standartlar.

EKLER

Ek 1. Deneylerde kullanılan numunelerin tane boyut analiz sonuçları.

Numune Adı	Elek üstü (g)	Elek altı (g)	Kil miktarı (g)	Silt miktarı (g)	Kum miktarı (g)	Ağırlıkça miktar %miktar		
						Kil	Silt	Kum
1	11,23	0,23	4,74	4,03	11,23	23,7	20,15	56,15
2	9,80	0,18	3,6	6,6	13,4	18	33	49
3	16,88	0,075	1,5	1,62	16,88	7,5	8,1	84,4
4	12,93	0,17	3,4	3,67	12,93	17	18,35	64,65
5	13,88	0,075	1,5	4,62	13,88	7,5	23,1	69,4
6	9,53	0,16	3,2	7,27	9,53	16	36,35	47,65
7	16,04	0,13	2,7	0,26	16,04	13,5	6,3	80,2
8	10,31	0,19	3,8	5,89	10,31	19	29,45	51,55
9	10,95	0,23	4,6	0,45	10,95	23	22,25	54,75
10	11,21	0,22	4,4	4,39	11,21	22	21,95	56,05
Ekstrüzyon Girişi	9,22	0,23	4,6	6,18	9,22	23	30,9	46,1

1 Numaralı numunenin kil, silt ve kum fraksiyonlarının hesaplanması aşağıdaki tabloda verilmiştir. Her numune için aynı hesaplamalar yapılmış ve yukarıdaki tablo oluşturulmuştur. Kullanılan elek 63 µ'dır.

1 Numaralı Numune : Elek üstü : 11,23 g
Elek altı : 4,74 g [(4.74 / 20) = 0,23]

Ek 2. 1 Numaralı numunenin kil, silt ve kum fraksiyonlarının hesaplanması

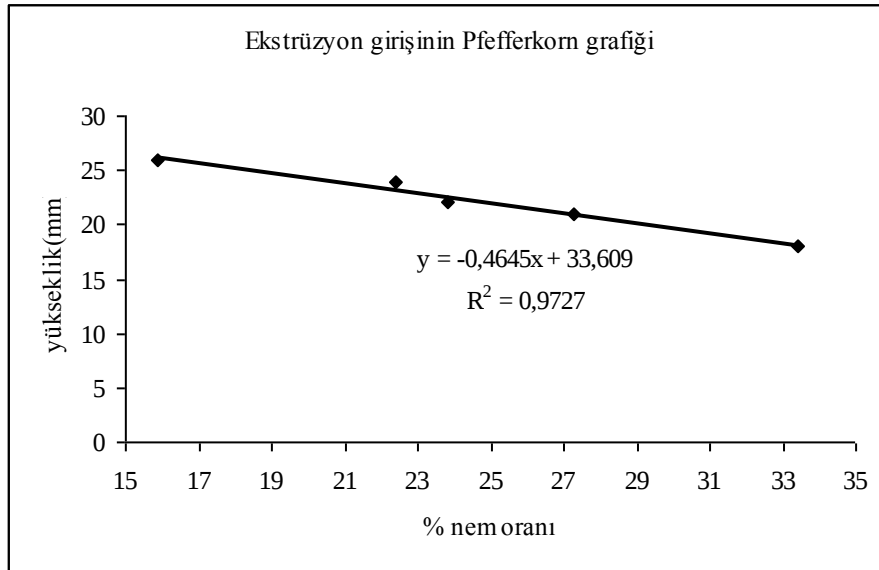
Kum (ve+kum) Fraksiyonu	Gram	Ağırlıkça miktar %
Kuru örnek + beher ağırlığı	55,1615	
Boş kuru beherin ağırlığı	55,1615	
Örneğin ağırlığı	11,23	56,15
Kil Fraksiyonu	Gram	Ağırlıkça miktar %
Kuru örnek + beher ağırlığı	55,1853	
Beherin kuru ağırlığı	54,9552	
Örneğin ağırlığı	0,2301 x 20	23,7
	4,74	
Silt Fraksiyonu	Gram	Ağırlıkça miktar %
Orijinal örneğin kuru ağırlığı	20	
Kum (ve + kum) + kilin ağırlığı	15,97	
Fark (silt fraksiyonu ağırlığı)	4,03	20,15

Ek 3. Ekstrüzyon girişinin ve numunelerin Pfefferkorn plastiklik testi sonuçları

Ekstrüzyon girişi Pfefferkorn testi

Ekstrüzyon girişi		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1-	33,4	2,57	2,17
2-	27,3	2,07	1,70
3-	23,8	2,84	2,31
4-	22,4	2,17	1,75
5-	15,9	2,64	2,09

%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1-	18
2-	21
3-	22
4-	24
5-	26



Ek 4. 1 numaralı numunenin pfefferkorn testi ağırlık sonuçları

1 numaralı numunenin pfefferkorn testinin ilk aşamasında yapılan tartımlar aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Bu tartımların ortalamaları alınarak bir sonraki çizelge oluşturulmuş ve bu ekteki değerler kullanılarak excelde pfefferkorn grafiği çizilmiştir.

Diğer tüm numuneler için aynı hesaplamalar yapılarak sonuçlar elde edilmiştir.

1 numaralı numune Pfefferkon Testi		
Kalınlık (mm) 1.test	num. yaş ağırlık (g)	num. kuru ağırlık (g)
1- 27,4	1,88	1,52
2- 28,2	2,47	2,0
3- 28,8	1,54	1,25
Ort: 28,1	1,96	1,59

Kalınlık (mm) 2.test	num. yaş ağırlık (g)	num. kuru ağırlık (g)
1- 21,3	2,30	1,84
2- 22,0	2,09	1,67
3- 21,9	1,39	1,10
Ort: 21,7	1,92	1,53

Kalınlık (mm) 3.test	num. yaş ağırlık (g)	num. kuru ağırlık (g)
1- 18,7	2,53	1,98
2- 18,6	2,57	2,02
3- 20,3	1,78	1,40
Ort: 19,2	2,29	1,8

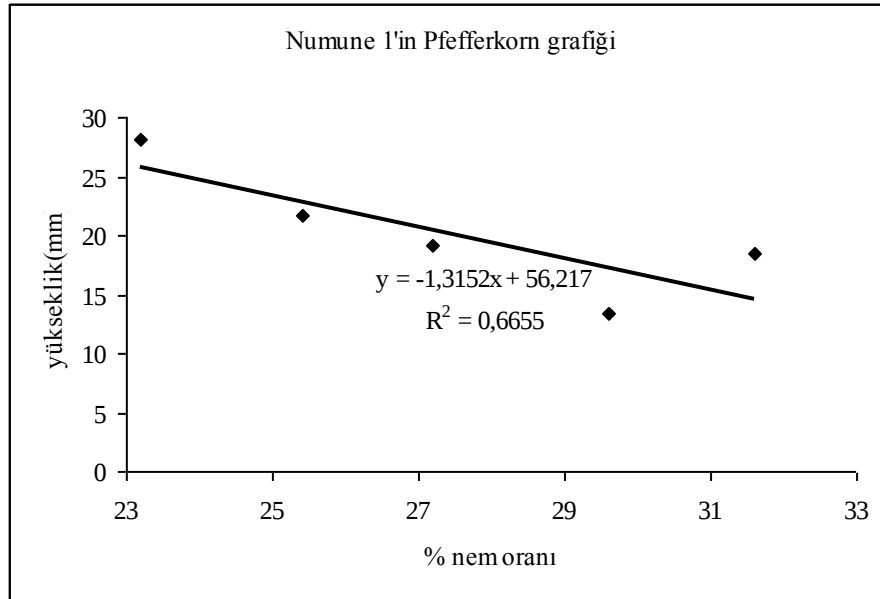
Kalınlık (mm) 4.test	num. yaş ağırlık (g)	num. kuru ağırlık (g)
1- 18,3	2,44	1,91
2- 18,8	2,0	1,40
3- 18,4	1,82	1,43
Ort: 18,5	2,08	1,58

Kalınlık (mm) 5.test	num. yaş ağırlık (g)	num. kuru ağırlık (g)
1- 13,2	1,57	1,21
2- 12,6	1,93	1,48
3- 14,6	2,42	1,88
Ort: 13,4	1,97	1,52

1 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi ağırlık ortalamaları

1 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 28,1		1,96	1,59
2- 21,7		1,92	1,53
3- 19,2		2,29	1,8
4- 18,5		2,08	1,58
5- 13,4		1,97	1,52

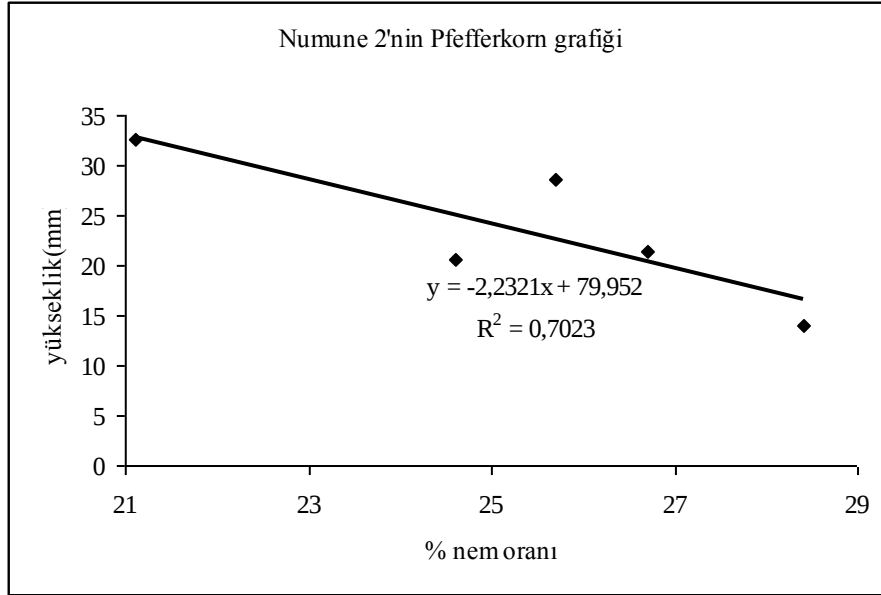
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 23,2	
2- 25,4	
3- 27,2	
4- 31,6	
5- 29,6	



Ek 5. 2 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

2 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 32,7		1,83	1,51
2- 28,6		2,10	1,67
3- 21,4		2,04	1,61
4- 20,6		2,07	1,66
5- 14,1		2,30	1,79

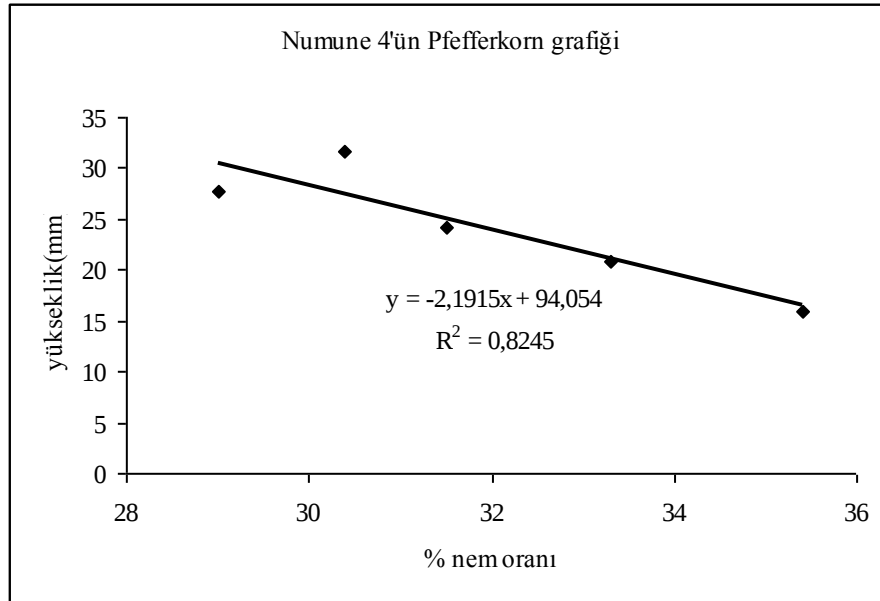
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 21,1	
2- 25,7	
3- 26,7	
4- 24,6	
5- 28,4	



Ek 6. 4 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

4 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 31,6		1,5	1,15
2- 27,8		2,13	1,65
3- 24,2		1,92	1,46
4- 20,9		1,64	1,23
5- 16		1,68	1,24

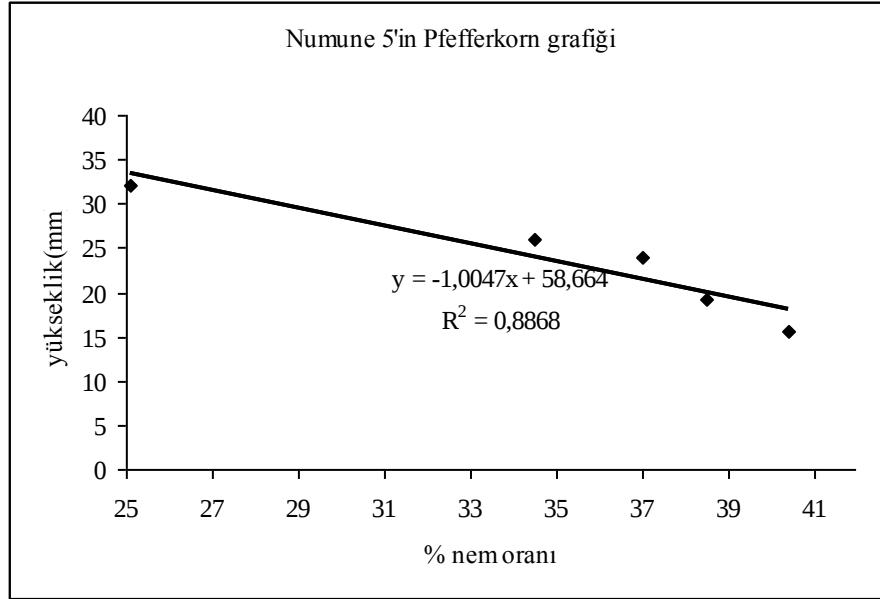
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 30,4	
2- 29	
3- 31,5	
4- 33,3	
5- 35,4	



Ek 7. 5 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

5 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 32,2		1,69	1,35
2- 26,1		2,18	1,62
3- 23,9		1,70	1,24
4- 19,2		1,94	1,40
5- 15,6		1,98	1,41

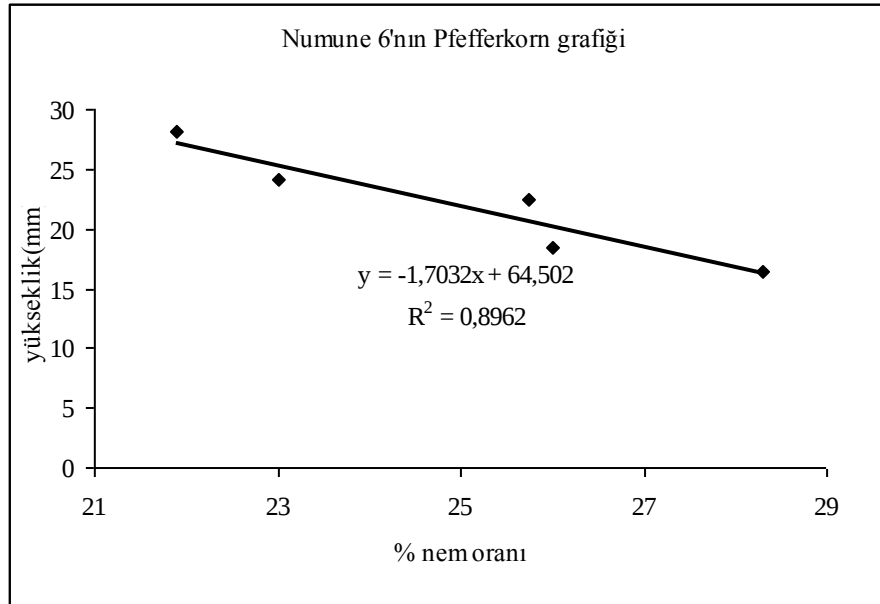
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 25,1	
2- 34,5	
3- 37	
4- 38,5	
5- 40,4	



Ek 8. 6 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

6 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 28,1		1,89	1,55
2- 24,1		2,03	1,65
3- 22,3		2,49	1,98
4- 18,5		2,03	1,61
5- 16,5		1,9	1,48

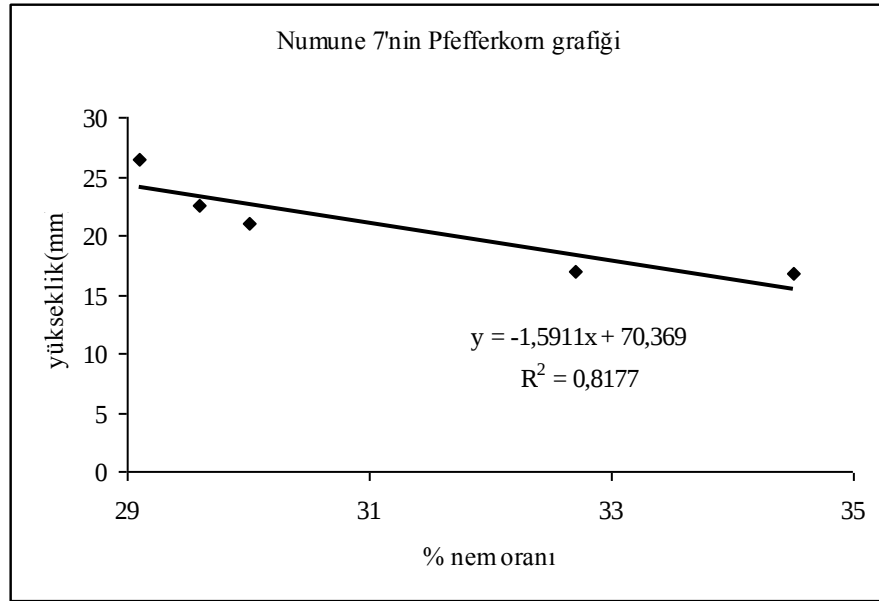
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 21,9	
2- 23	
3- 25,7	
4- 26	
5- 28,3	



Ek 9. 7 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

7 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 26,5		1,86	1,44
2- 22,5		1,75	1,35
3- 21,1		1,86	1,43
4- 17		1,5	1,13
5- 16,7		1,83	1,36

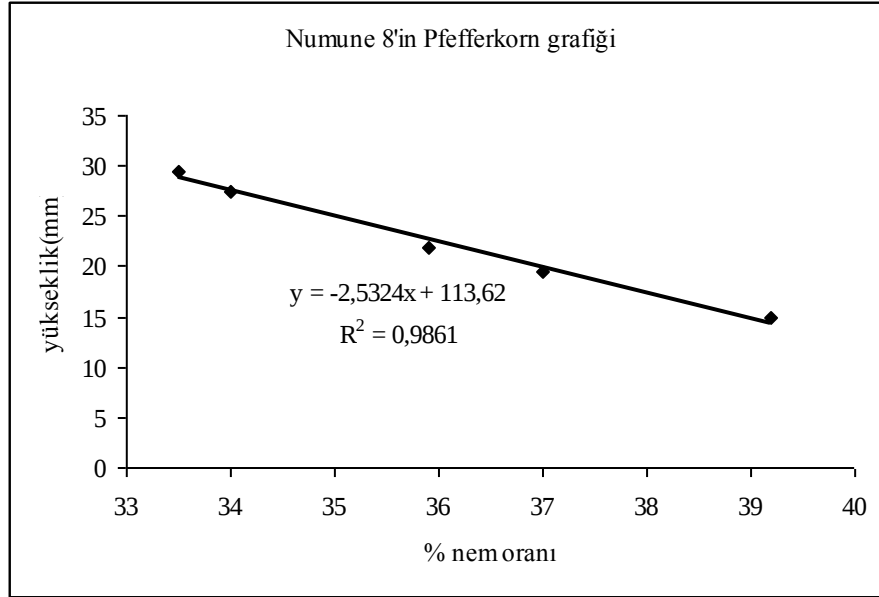
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 29,1	
2- 29,6	
3- 30	
4- 32,7	
5- 34,5	



Ek 10. 8 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

8 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 29,5		1,79	1,34
2- 27,5		2,01	1,50
3- 21,8		1,74	1,28
4- 19,5		1,91	1,39
5- 15		2,20	1,58

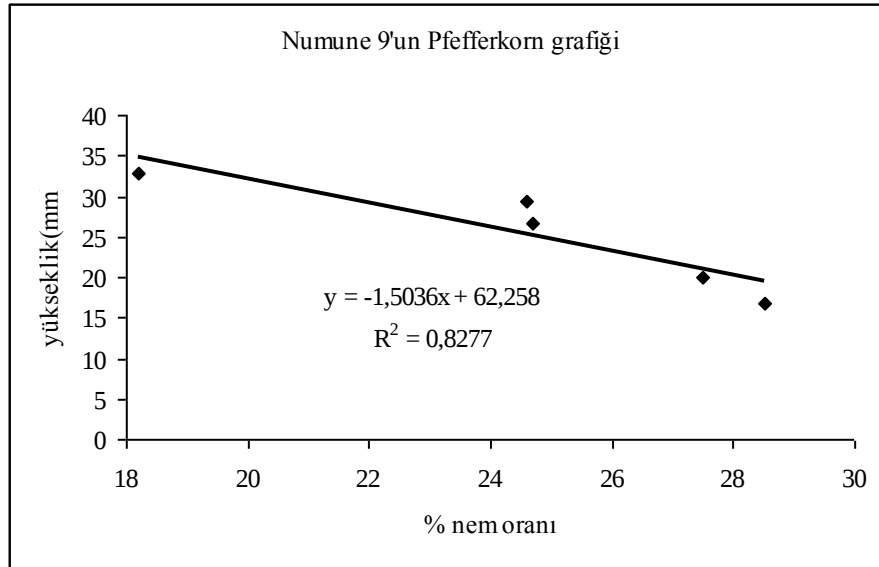
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 33,5	
2- 34	
3- 35,9	
4- 37,4	
5- 39,2	



Ek 11. 9 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

9 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
1- 32,9		1,88	1,59
2- 29,3		1,87	1,50
3- 26,6		2,37	1,90
4- 20,1		2,41	1,89
5- 16,7		2,52	1,96

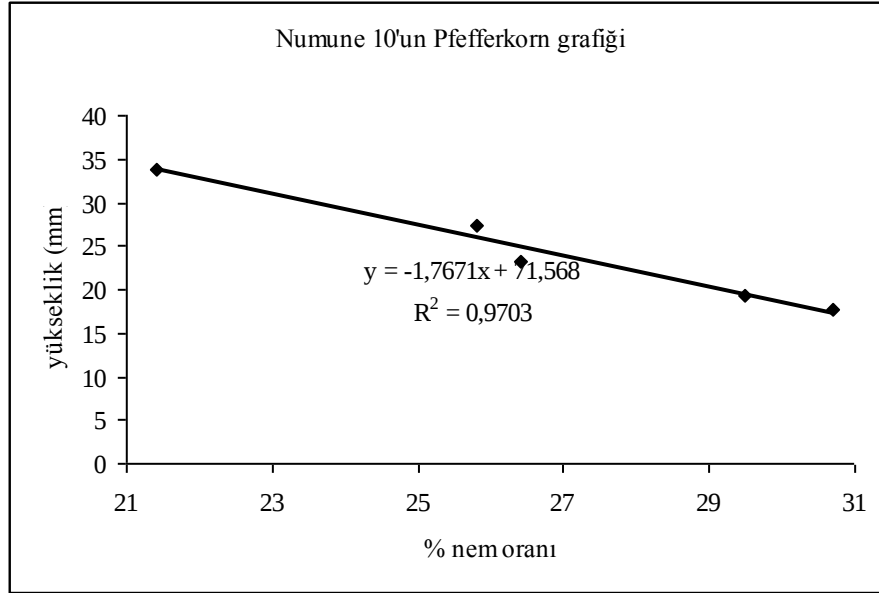
%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
1- 18,2	
2- 24,6	y=24 iken x= 26,3
3- 24,7	
4- 27,5	
5- 28,5	



Ek 12. 10 Numaralı numunenin Pfefferkorn testi

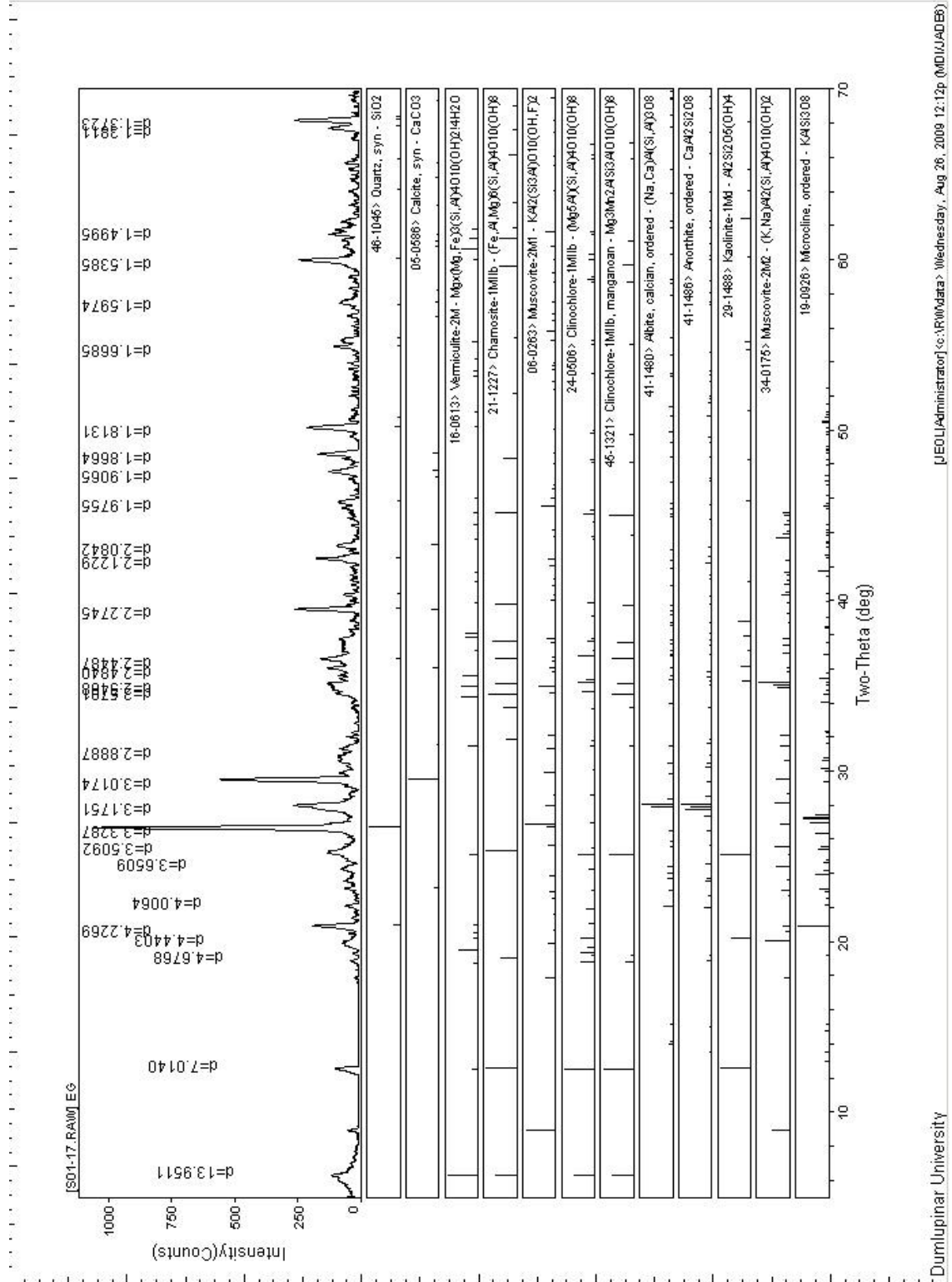
10 numaralı numune		Pfefferkorn testi	
Yükseklik (mm) ort.		Num. Yaş ağırlık (g) ort.	Num. Kuru ağırlık (g) ort.
K.1	33,8	1,87	1,54
K.2	27,4	1,46	1,16
K.3	23,2	1,53	1,21
K.4	19,4	1,49	1,15
K.5	17,6	1,66	1,27

%nem (yaş ort.-kuru ort.) / kuru ort. X 100	
K.1	21,4
K.2	25,8
K.3	26,4
K.4	29,5
K.5	30,7

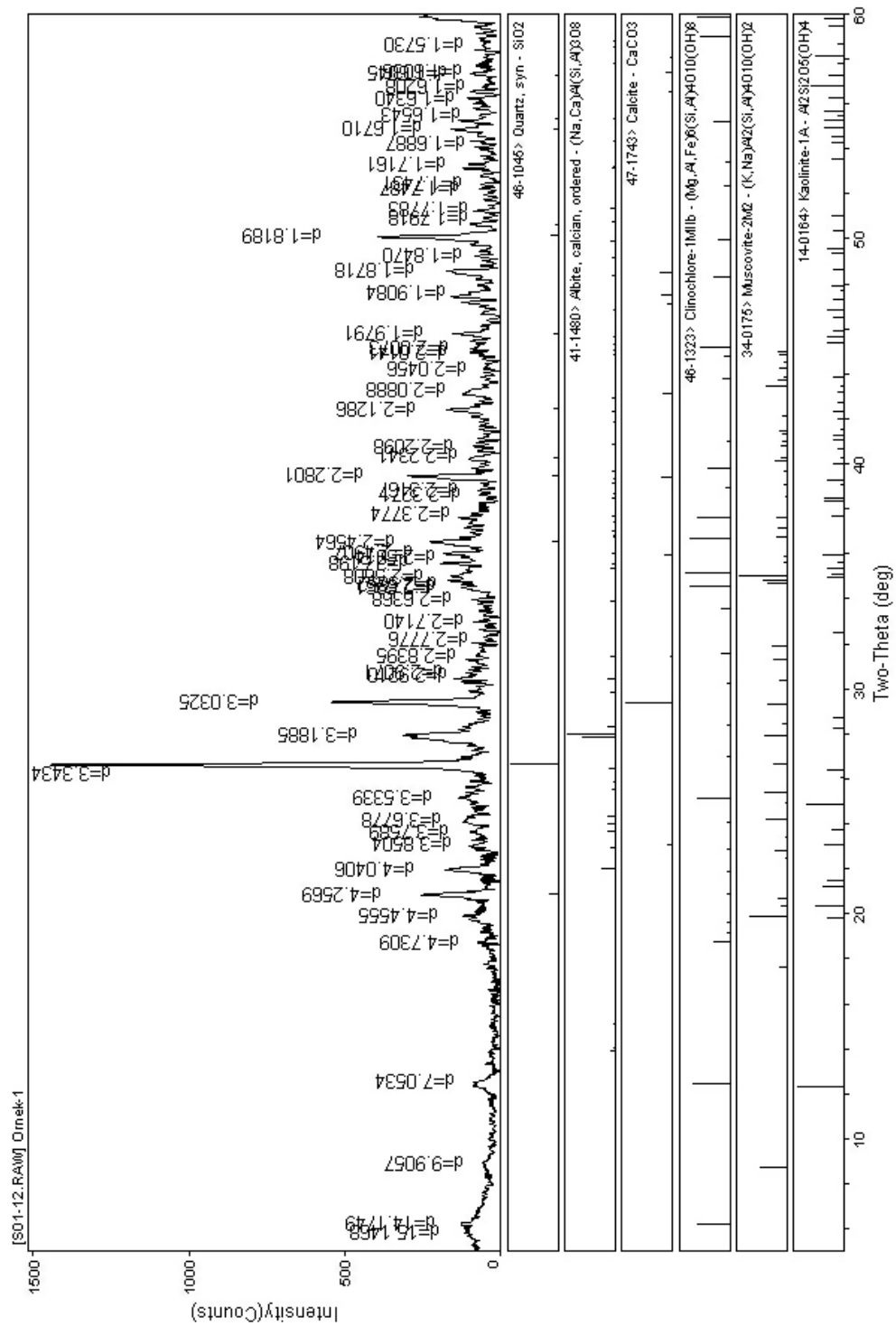


Ek 13. XRD ile yapılan mineralojik analiz paternleri

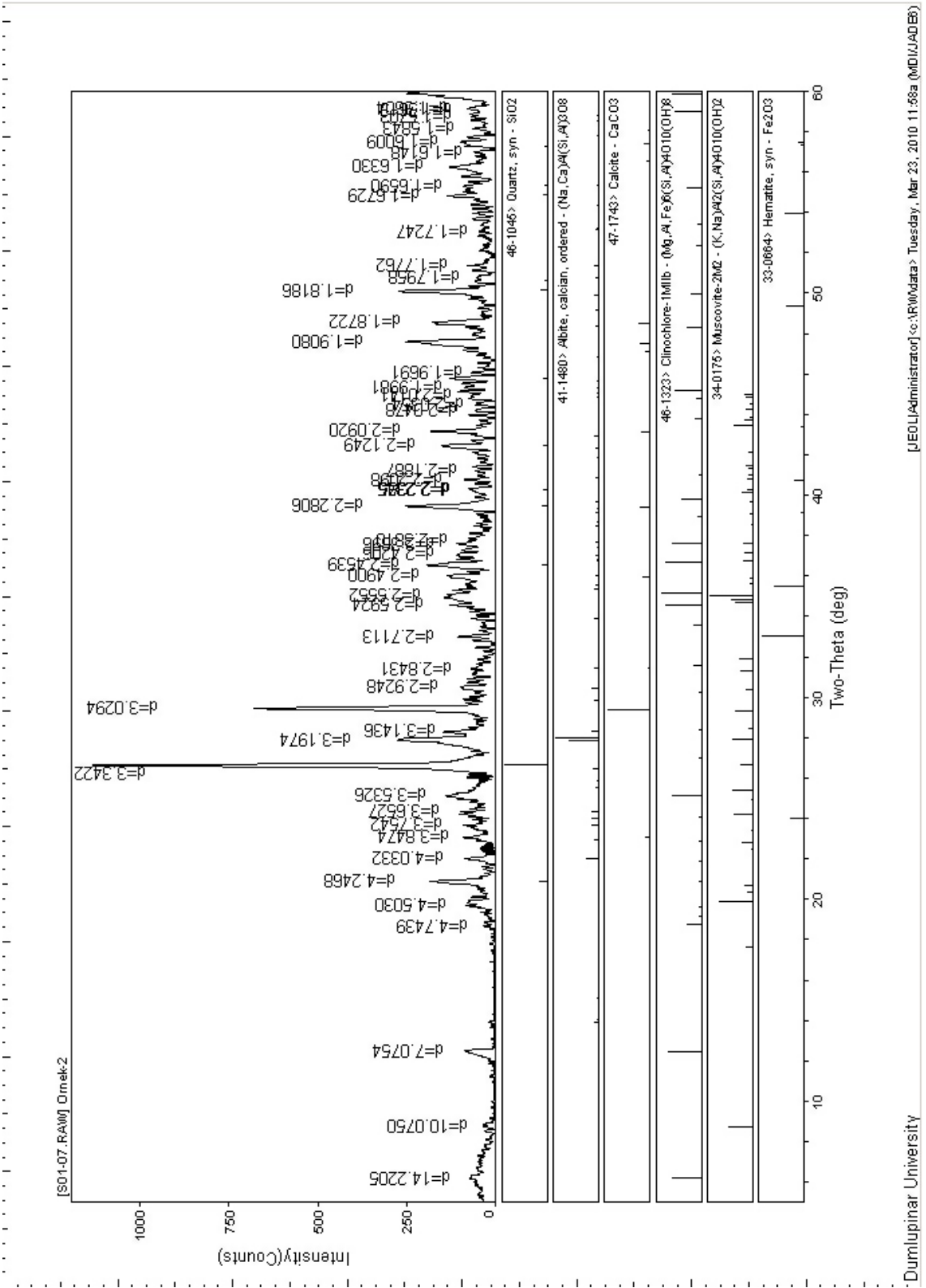
a) Ekstrüzyon girişinin XRD paterni



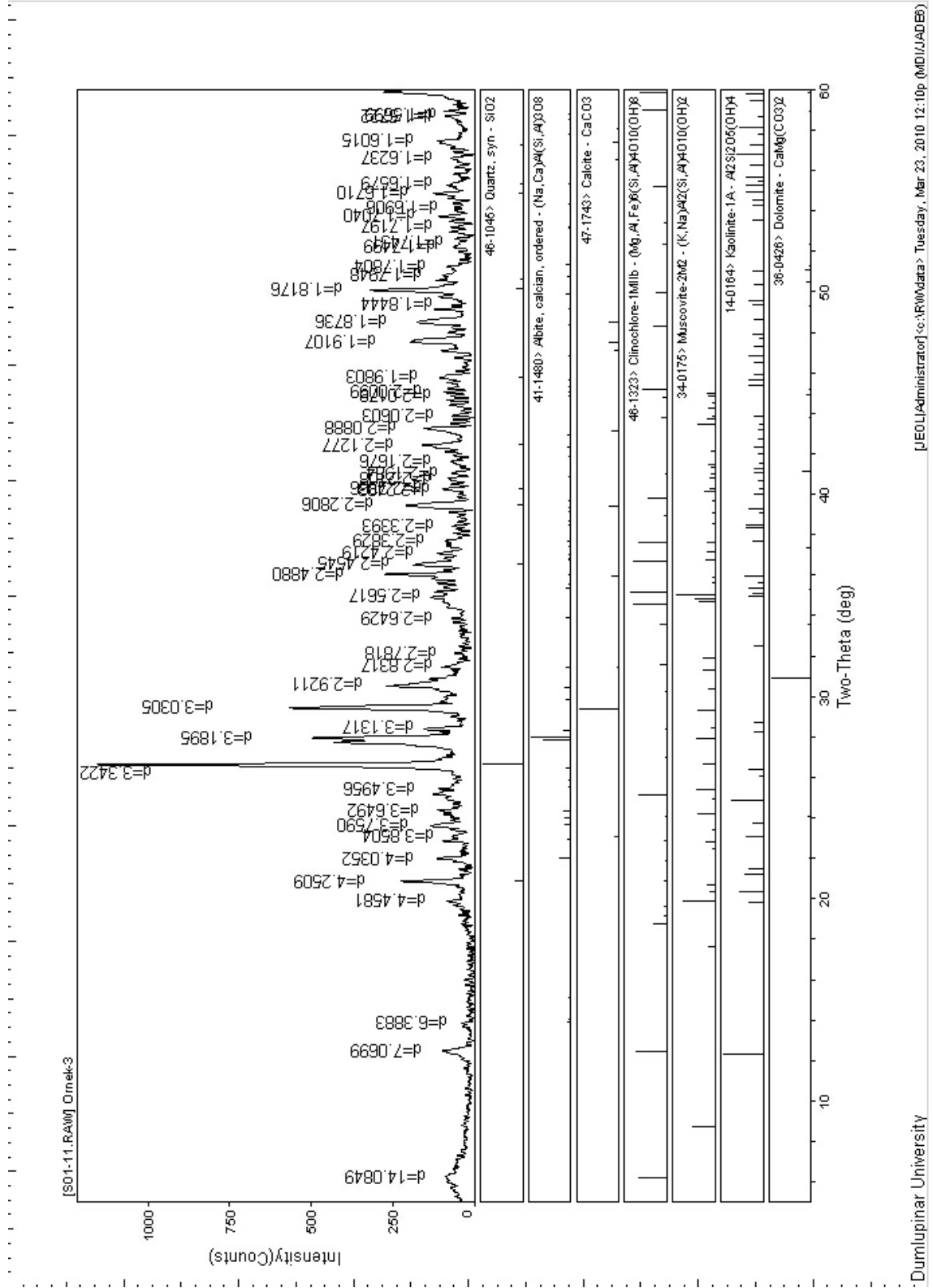
b) 1 numaralı numunenin XRD paterni



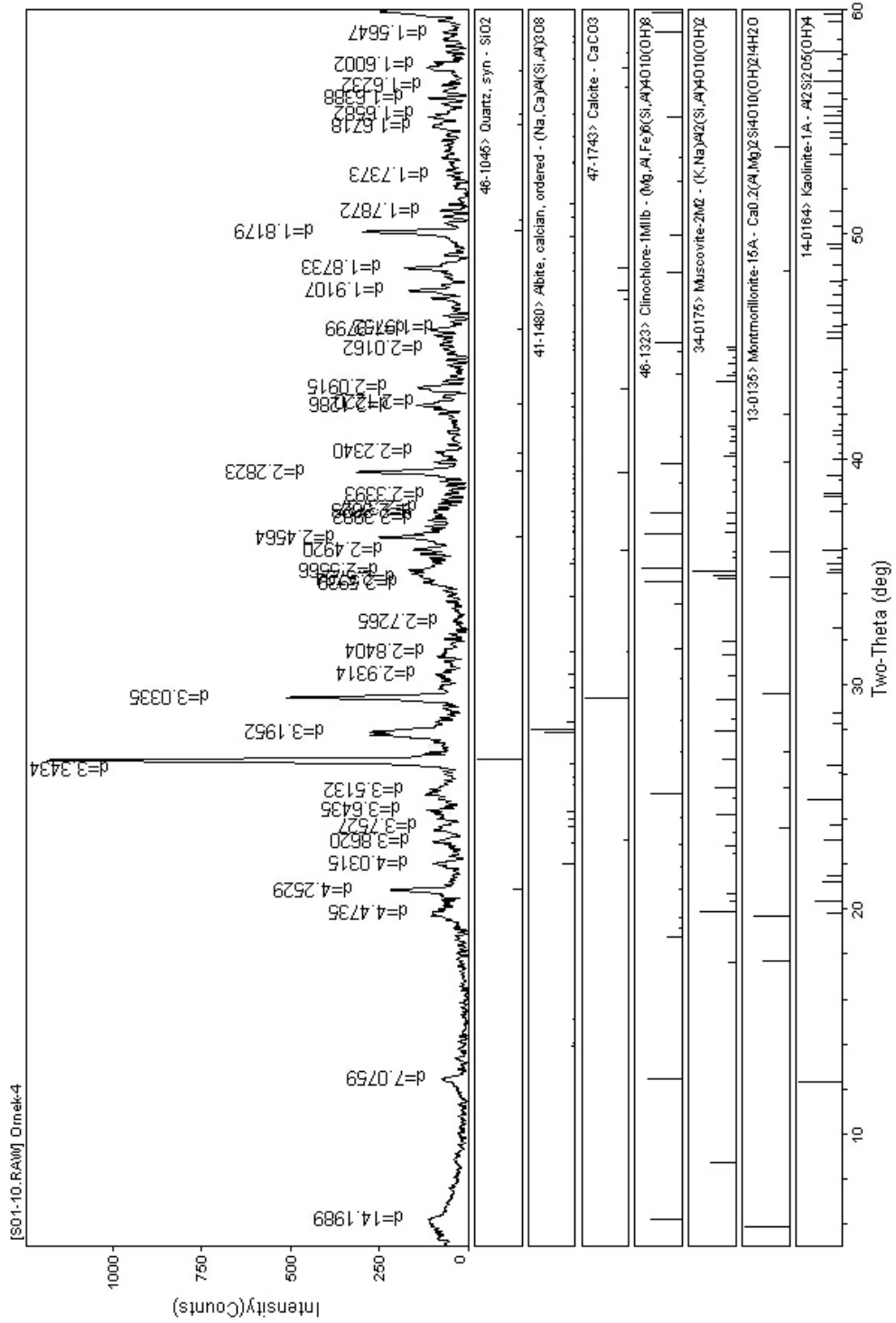
c) 2 numaralı numunenin XRD paterni



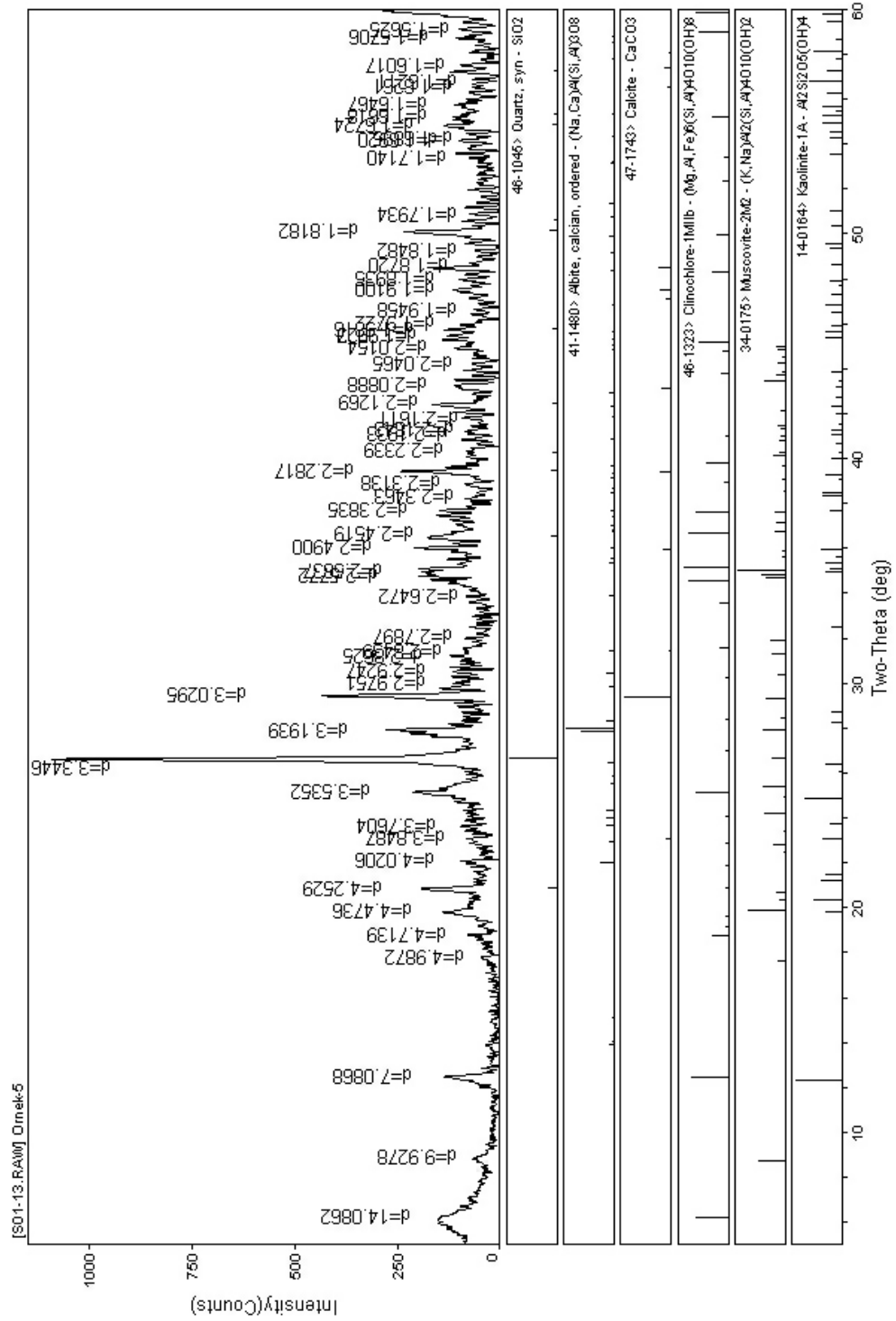
d) 3 numaralı numunenin XRD paterni



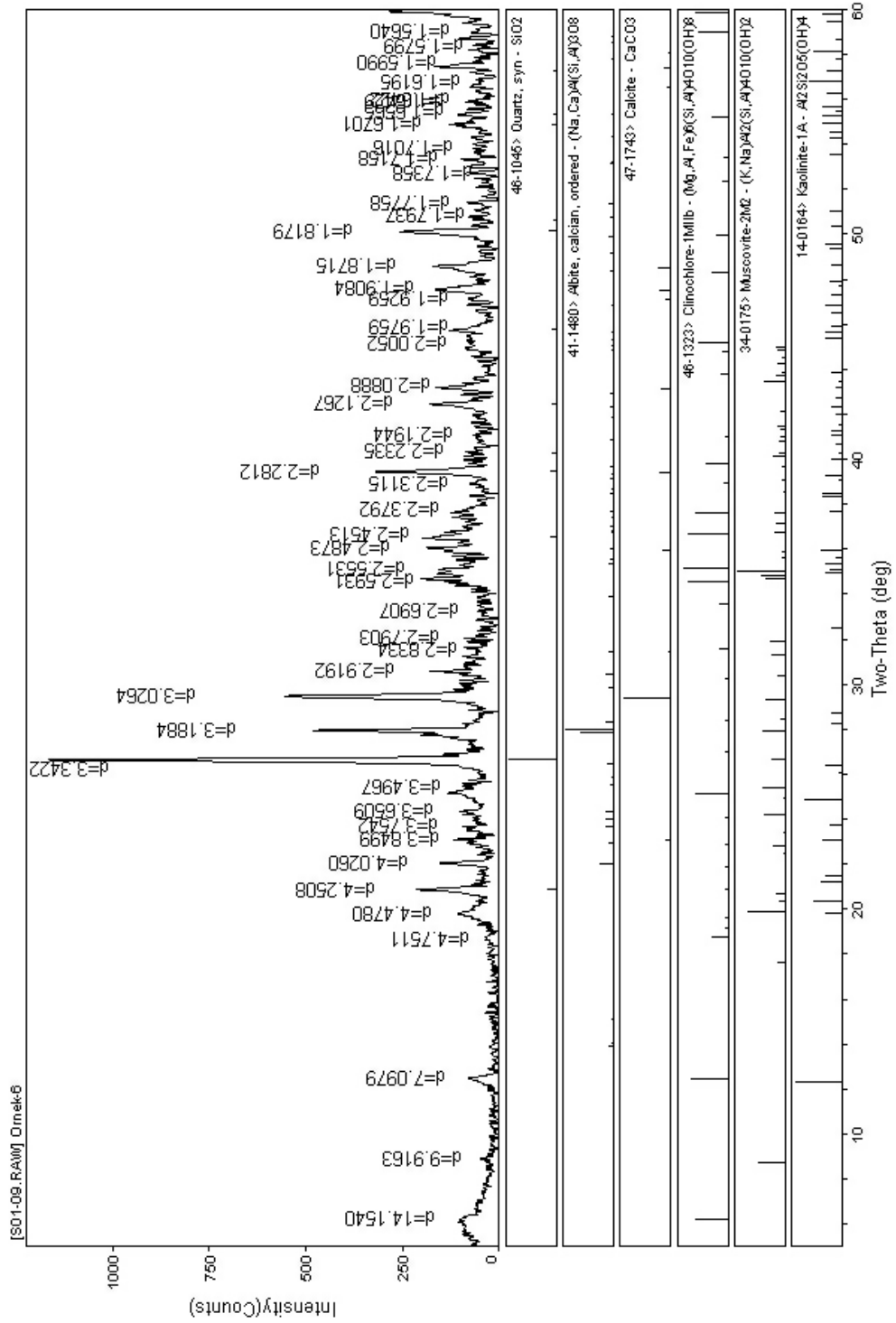
e) 4 numaralı numunenin XRD paterni



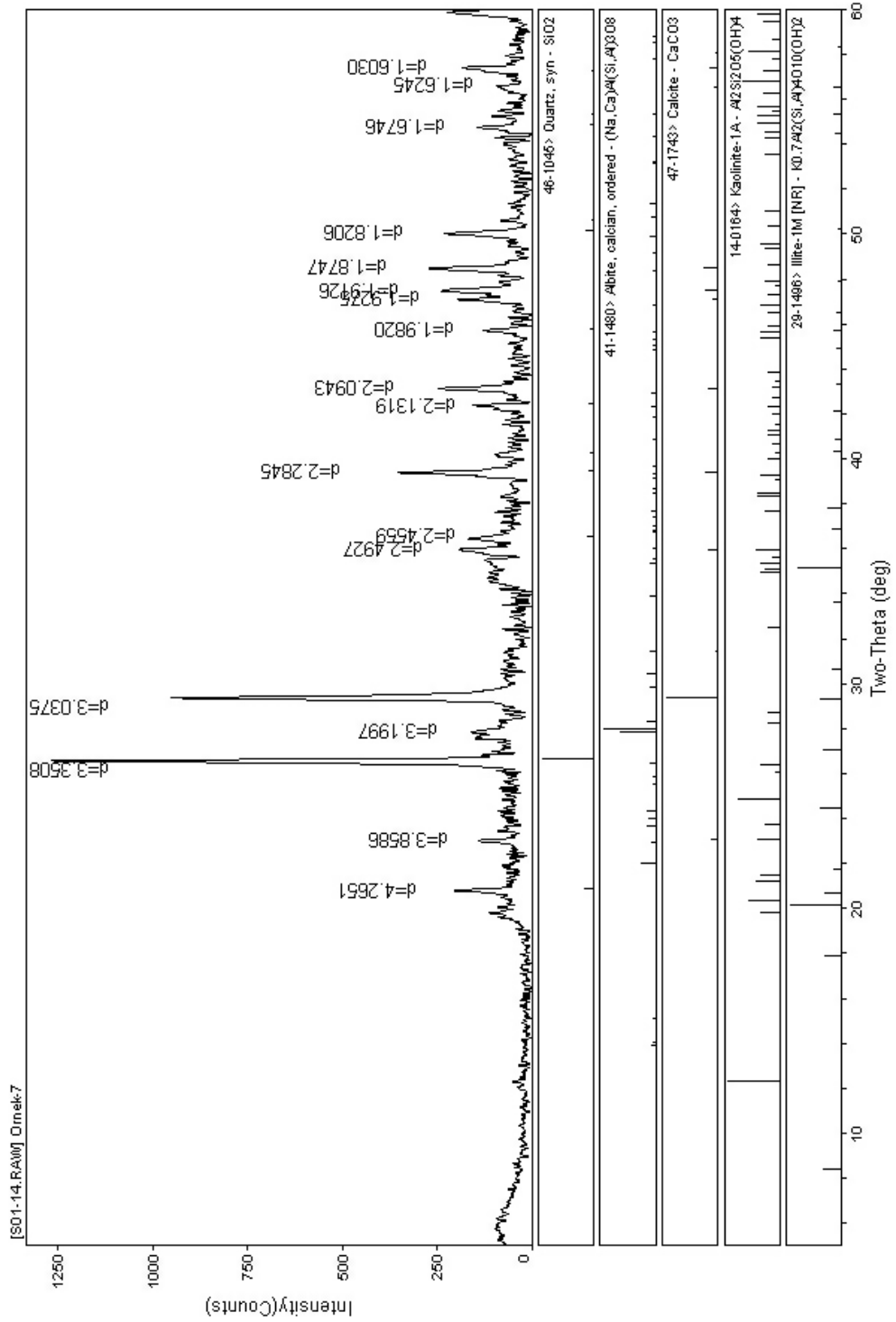
f) 5 numaralı numunenin XRD paterni



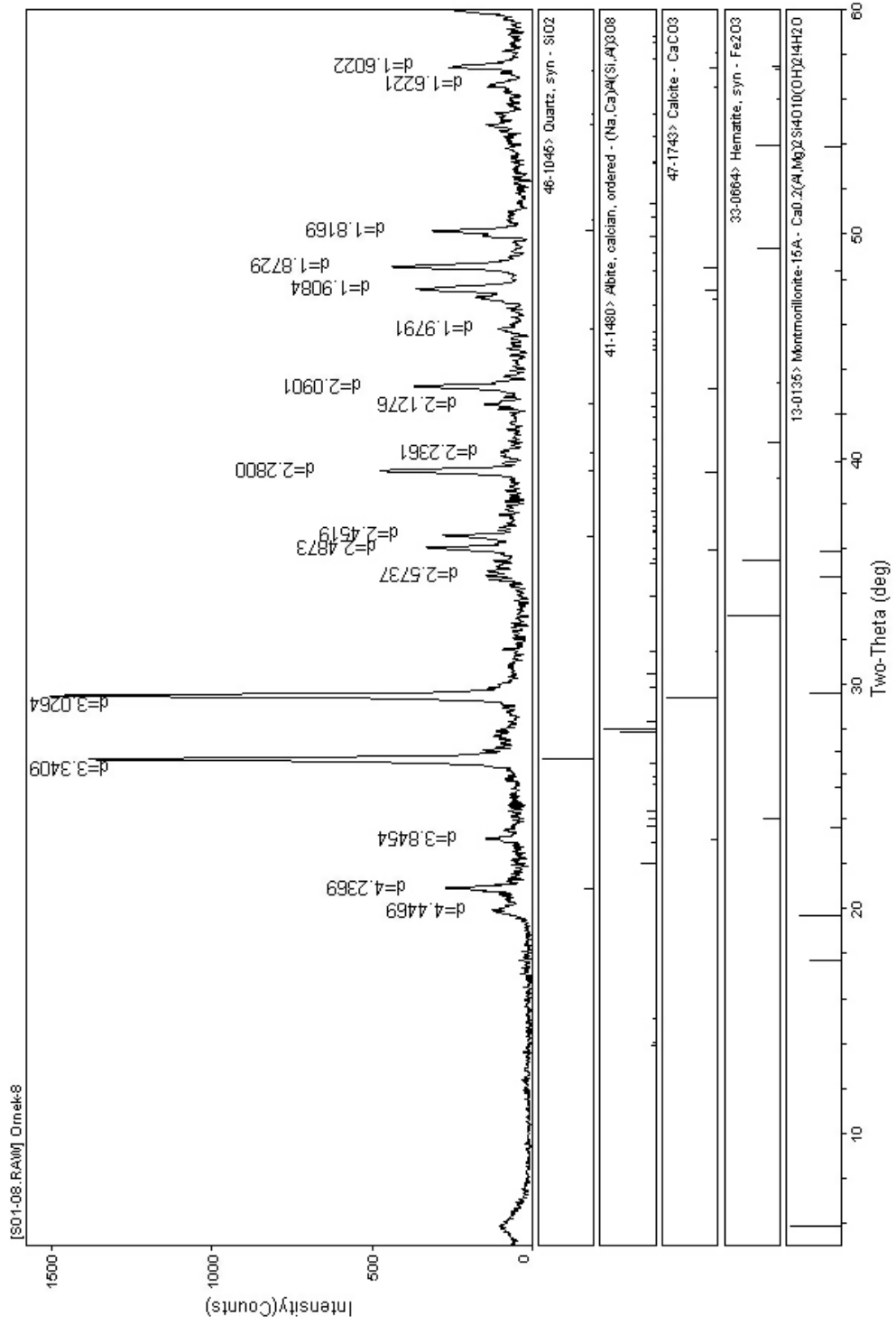
g) 6 numaralı numunenin XRD paterni



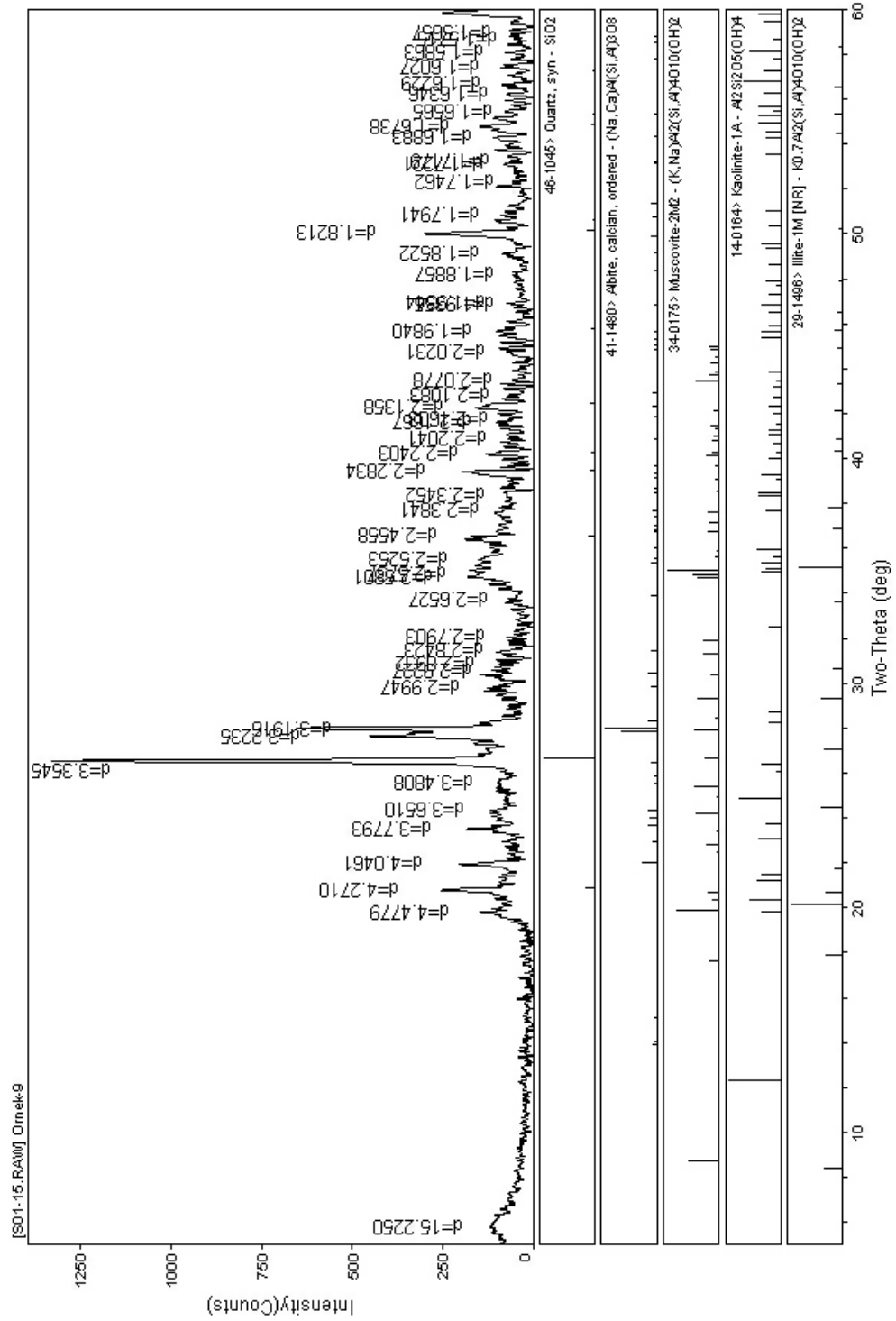
h) 7 numaralı numunenin XRD paterni



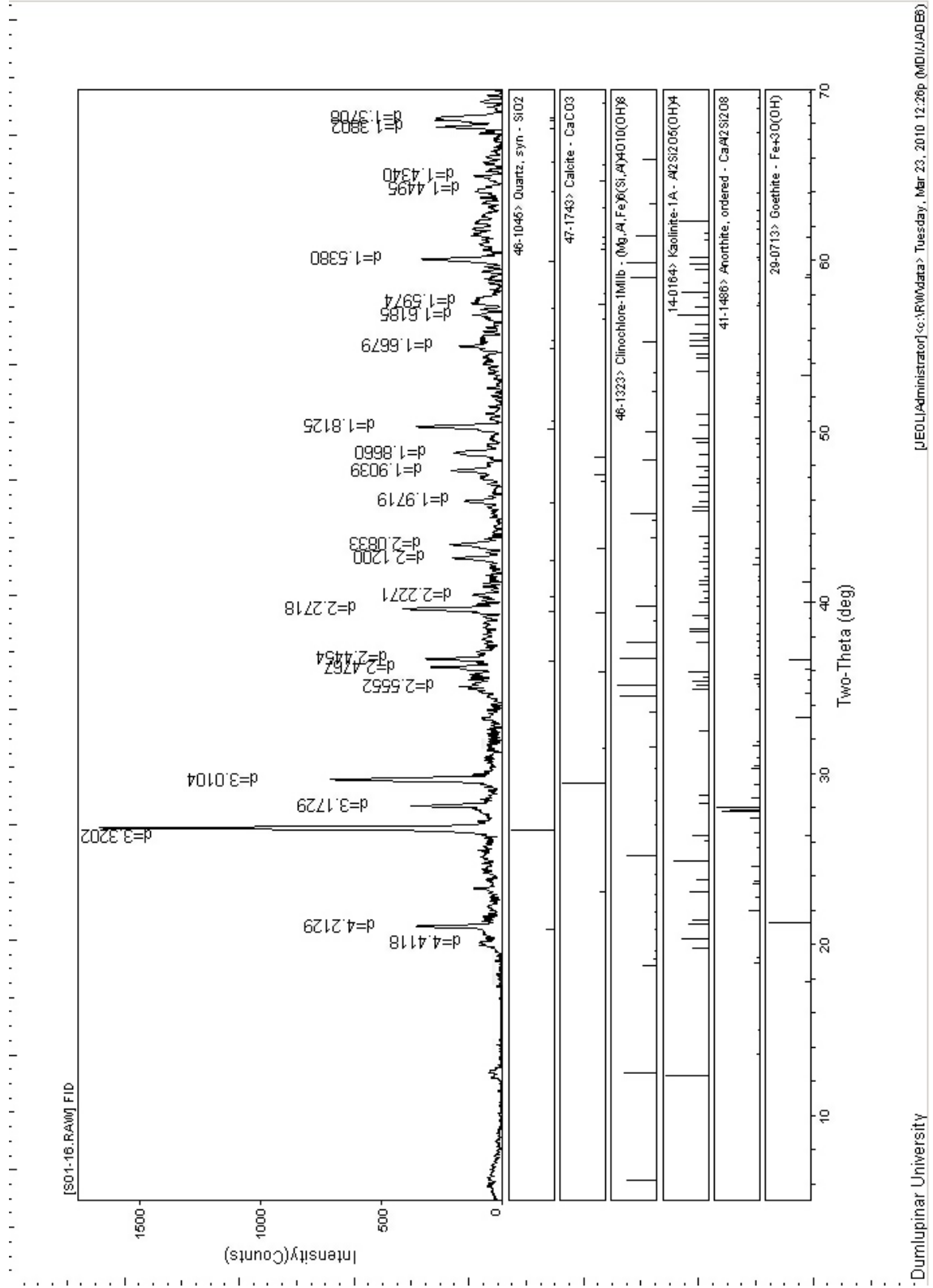
i) 8 numaralı numunenin XRD paterni



k) 9 numaralı numunenin XRD paterni



1) 10 numaralı numunenin XRD paterni



Ek 14. Bay-Kes tuğla fabrikasını tanıtan bilgileri

Kuruluşun Ticari Tam Adı	: BAY-KES İNŞAAT GIDA TEKS. TURZ. HAYV. San. Tic. Ltd. Şti.
Kuruluş Tarihi	: 18/02/1998
Adresi (+tel, fax,e-mail ve web page)	: Trabzon yolu üzeri 4. km BAYBURT 0 458 211 71 56-0458 211 32 54
Ürettiği Ürünler	: 13,5 ve 8,5 delikli baca, asmolen, yığma ve izo
Yan Ürünler	: yok
Teknik Eleman Sayısı	: 4
İşçi Sayısı	: 75
Kullandığı Hammaddeler ve Yıllık Tük.	: Kil, 90.000 TON/YIL
Hammaddelerin Alındığı Yerler	: Bayburt Erzurum karayolu 35. km Maden Örencik Yöresi.
Hammadde Analizi (mineralojik, kimyasal ve fiziko-mekaniksel) Sonuçları	:-
İthal Ettiği Hmaddeler ve Miktarı	:-
Kullandığı Enerji Türleri	: Kömür-elektrik
Kullandığı Teknoloji	: Yarı otomatik (Hoffman)
Atık	: Kül ve tuğla kırığı
Çevre Koruma Tedbirleri	:-
Yıllık Üretimi	:15.000.000 Adet/yıl
Ürün Maliyetlerine Girdi Oranları	: Hammadde %36, Personel %42, Satın alma %15, Bakım %7
Zaiyat Oranı	: %3-5
Yıllık Çalışma Süresi	: 7 ay
Son 10 Yıllık Cirosu	: 11.000.000 adet
Satış Yaptığı Dış Ülkeler	:-
İhracat Oranı	:-
İthalatı	:-
ISO veya TÜV (eğer varsa)	: CE
Yatırım Projeleri	:-