

67224

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BOR ATIKLARI, UÇUCU KÜL VE SİLİS
DUMANININ İNŞAAT TUĞLASI ÜRETİMİNDE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Kimya Müh. Özlem KOÇ
F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SPi sy O. Tanay A. Kuyulu

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Sabriye PİŞKİN

İstanbul, 1997

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

SEMBOL LİSTESİ	IV
ŞEKİL LİSTESİ	V
TABLO LİSTESİ	VIII
TEŞEKKÜR	IX
ÖZET	X
SUMMARY	XI
1. GİRİŞ	1
2. BOR MİNERALLERİ VE BİLEŞİKLERİNE GENEL BAKIŞ	2
2.1. Bor Mineralleri ve Bileşikleri	2
3. BOR KİRLİLİĞİ VE ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	4
3.1. Bandırma Körfezi'nde Bor Kirliliği	4
4. BORUN GİDERİLMESİ	6
4.1. Bor Giderme Yöntemleri	6
4.1.1. Beraber Çöktürme ve Adsorpsiyona Dayanan Yöntemler	6
4.1.2. Solvent Ekstraksiyona Dayanan Yöntemler	6
4.1.3. Sentetik İyon Değiştiricilerle Bor Giderme	7
4.1.4. Flotasyonla Giderme	7
4.1.5. Karıştırarak Dağıtma ile Giderme	8
4.1.6. Soda Liçi Yöntemiyle Giderme	8
5. UÇUCU KÜL	9
5.1. Uçucu Külün Tanımı ve Sınıflandırılması	9
5.2. Uçucu Külün Minerolojik ve Kimyasal Yapısı	10
5.3. Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri	11
5.3.1. Görünüşü	11
5.3.2. Tane Boyutu	11
5.3.3. Yoğunluğu	11
5.3.4. Karbon Miktarı	12

5.4. Uçucu Külün Manyetik Özellikleri	12
5.5. Uçucu Külün Puzolanik Özellikleri	12
5.6. Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri	12
5.7. Termik Santrallerde Atık Uçucu Küllerin Toplanması	13
5.8. Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Kullanım Alanları	14
6. SİLİS DUMANI	15
6.1. Silis Dumanının Tanımı	15
6.2. Silis Dumanının Minerolojik ve Kimyasal Yapısı	15
6.3. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri	16
6.3.1. Görünüşü	16
6.3.2. Tane Boyutu	16
6.3.3. Yoğunluğu	16
6.4. Silis Dumanının Puzolanik Özellikleri	17
6.5. Silis Dumanının Kullanım Alanları	17
7. KİLLER	17
7.1. Killerin Oluşumu	17
7.2. Killerin İçerdiği Yabancı Maddeler	20
8. TUĞLA HAMMADDELERİ	22
8.1. Tuğla Hammaddesinin Özellikleri	22
8.2. İnşaat Tuğlası Killeri	23
9. SİNERLEŞME	25
9.1. Katı Hal Sinterleşmesi	26
9.2. Buhar Fazı Sinterleşmesi	27
9.3. Sıvı Faz Sinterleşmesi	27
10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	28
10.1. Deney Programı	28
10.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler	28
10.2.1. İnşaat Tuğlası Kili	28
10.2.2. Boraks Atığı	29
10.2.3. Uçucu Kül	29

10.2.4. Silis Dumanı	30
10.3. Bor Atıklarından Borun Geri Kazanılması Deneyleri	31
10.3.1. Suyula Çözündürme Deneyleri	31
10.3.2. Bandırma Boraks Atıklarının Soda Liçi	32
10.4. Atık Katkılı Tuğlanın Yapılışı ve Özelliklerini Etkileyen Faktörler	34
10.4.1. Hammaddelerin Öğütülmesi	34
10.4.2. Plastiklik	
10.4.3. Harmanlama ve Kalıplama	35
10.4.4. Kurutma ve Pişirme	36
10.5. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri	39
10.5.1. Kuruma, Pişme, Toplam Küçülme ve Kızdırma Kaybı	39
10.5.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluğu	40
10.5.3. Su Emme Testi	41
10.5.4. Basma Mukavemeti Testi	41
11. DENEY SONUÇLARI	42
11.1. Kuruma, Pişme, Toplam Küçülme ve Kızdırma Kaybı	42
11.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluğu	46
11.3. Su Emme	48
11.4. Basma Mukavemeti	49
11.5. Malzemelerin FTIR'da Yapısal İncelenmesi	51
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	78
KAYNAKLAR	79
ÖZGEÇMİŞ	

SEMBOL LİSTESİ

- h_o : Presleme sonrası yükseklik (mm)
 h_k : Kurutma sonrası yükseklik (mm)
 h_p : Pişirme sonrası yükseklik (mm)
 W_k : Kurutma sonrası ağırlık (kg)
 W_p : Pişirme sonrası ağırlık (kg)
 W_b : Su içerisinde tartılan numunenin ağırlığı (kg)
 W_c : Havada tartılan numunenin ağırlığı (kg)
 W_{dk} : 1 saat suda kaynatma sonrası ağırlık (kg)
 G : Gözeneklilik
 d_b : Bulk yoğunluğu (kg/m^3)
 F_b : Basma mukavemeti (N/mm^2)
 P_k : Kırılma anında yük (N)
 A_o : Numunelerin basınç uygulanan yüzeyinin alanı (mm^2)

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 3.1.	Etibank Bandırma Fabrikası boraks üretiminde atıkların oluşum yerleri	5
Şekil 9.1.	Sinterleşme sırasında tanelerin birbirine bağlanması ve gözenek miktarı ile gözeneklerin yapısında meydana gelen değişimler	25
Şekil 9.2.	Katı hal sinterleşmesinde malzemenin taşınımı ile boyun oluşumu ve tanelerin kenetlenmesi	26
Şekil 9.3.	Buhar fazı sinterleşmesinde, sinterleşmenin ilk adımları	27
Şekil 9.4.	Sıvı faz sinterleşmesinin oluşumu	27
Şekil 10.1.	Farklı çözelti oranlarıyla gerçekleştirilen soda liçinde elde edilen verimler	33
Şekil 10.2.	(a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen atık katkısız kil numuneleri	36
Şekil 10.3.	(a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı kil numuneleri	37
Şekil 10.4.	(a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı kil numuneleri	37
Şekil 10.5.	(a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı kil numuneleri	38
Şekil 10.6.	(a) 970°C, (b) 1000 °C ve (c) 1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numuneler	38
Şekil 10.7.	(a) 970°C, (b) 1000 °C ve (c) 1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numuneler	39
Şekil 11.1.	Numunelerin kuruma küçülmeleri	44
Şekil 11.2.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin pişme küçülmesi değişimleri	45

Şekil 11.3.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin toplam küçülme değişimi	45
Şekil 11.4.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin kızdırma kayıpları değişimleri	46
Şekil 11.5.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin gözeneklilik değişimleri	47
Şekil 11.6.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin bulk yoğunluğu değişimleri	48
Şekil 11.7.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin su emme miktarlarındaki değişimleri	49
Şekil 11.8.	Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin basma mukavemetleri değişimleri	51
Şekil 11.9.	Pişmemiş katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu	54
Şekil 11.10.	Pişmemiş % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	55
Şekil 11.11.	Pişmemiş % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	56
Şekil 11.12.	Pişmemiş % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	57
Şekil 11.13.	Pişmemiş % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu	58
Şekil 11.14.	Pişmemiş % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu	59
Şekil 11.15.	970 °C'de pişirilen katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu	60
Şekil 11.16.	1000 °C'de pişirilen katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu	61
Şekil 11.17.	1030 °C'de pişirilen katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu	62

Şekil 11.18.	970 °C’de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	63
Şekil 11.19.	1000 °C’de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	64
Şekil 11.20.	1030 °C’de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	65
Şekil 11.21.	970 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	66
Şekil 11.22.	1000 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	67
Şekil 11.23.	1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	68
Şekil 11.24.	970 °C’de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	69
Şekil 11.25.	1000 °C’de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	70
Şekil 11.26.	1030 °C’de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu	71
Şekil 11.27.	970 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu	72
Şekil 11.28.	1000 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu	73
Şekil 11.29.	1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu	74
Şekil 11.30.	970 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu	75
Şekil 11.31.	1000 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu	76
Şekil 11.32.	1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu	77

TABLO LİSTESİ**Sayfa No**

Tablo 2.1.	Önemli bor mineralleri ve bileşikleri	2
Tablo 2.2.	Sanayide kullanılan önemli bor bileşikleri	3
Tablo 2.3.	Türkiye’deki bor bileşikleri sektöründe kapasite kullanımı	3
Tablo 3.1.	Etibank Bandırma Fabrikası boraks çamuru analiz sonuçları (mg/l)	4
Tablo 5.1.	Türk standartlarına göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri	10
Tablo 6.1.	Ferrosilis Alaşımlarının üretiminden elde edilen silis dumanının SiO ₂ içerikleri	16
Tablo 10.1.	İnşaat tuğlası kili kimyasal analizi	28
Tablo 10.2.	Boraks atığı kimyasal analizi	29
Tablo 10.3.	Uçucu küllerin kimyasal analizi	30
Tablo 10.4.	Silis dumanı kimyasal analizi	30
Tablo 10.5.	Oda sıcaklığındaki ve 98 °C’deki suya numune katılarak yapılan çözeltiye alma deneylerinin sonuçları	31
Tablo 10.6.	Farklı çözelti oranlarıyla gerçekleştirilen soda liçinde elde edilen verimler	32
Tablo 10.7.	% 2.80 B ₂ O ₃ içerikli boraks atığının kimyasal analizi	33
Tablo 11.1.	Kuruma ve pişme küçülmeleri	43
Tablo 11.2.	Toplam küçülme ve kızdırma kayıpları	44
Tablo 11.3.	Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin gözenek miktarları ve bulk yoğunlukları	47
Tablo 11.4.	Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin su emme miktarları	49
Tablo 11.5.	Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin basma mukavemetleri	50

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılmasına olanak sağlayan değerli hocam Sayın Prof. Dr. Sabriye Pişkin'e, çalışmalarım sırasında bana büyük destek veren Sayın Arş.Gör. Kimya Yük. Müh. Yasemin Kalpaklı'ya, son sınıf öğrencilerinden İffet Yakar ve Hacer Yıldırım'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca hammadde ihtiyacını sağladığım Işıklar Holding A.Ş.'ye, deneylerin yapılmasında büyük olanak sağlayan Süper Ateş Tuğla Fabrikası yetkililerine ve özellikle Laboratuvar Şefi Sayın Mustafa Kadioğlu'na ve kalıbımızın temini için emeği geçen Makina Mühendisi Sayın Hüseyin Pişkin'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezimin yazılımında büyük emekler veren Sayın Arş. Gör. Kimya Yük. Müh. İlknur Küçük'e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam süresince gösterdikleri destekten dolayı aileme de en içten teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada atıkların, inşaat tuğlası üretiminde kullanılan killeri belirli oranlarda karıştırılarak tuğla yapımında değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Kullanılan atıklar bor atığı, uçucu kül ve silis dumanıdır. Kimyasal analizleri belli olan bu atıkların yaklaşık aynı bileşenleri içerdiği, fakat yüzde oranlarının farklı olduğu görülmüştür. Ayrıca diğer atıklardan farklı olarak bor atıklarında temel olarak B_2O_3 bulunmaktadır. Bilindiği gibi çok yüksek miktarda B_2O_3 içeriği yapının kırılma dayanımına neden olmaktadır..

Öncelikle yapının kırılma dayanımını azaltmak için borun çamur içerisinde ayrılması gerekmektedir. Böylece hem bor geri kazanılacaktır, hem de atık inşaat tuğlası kiline daha fazla oranda katılarak değerlendirilmiş olacaktır. Bu amaçla, ekonomik olması, yüksek verim elde edilmesi sebebiyle soda liçi yöntemi kullanılmıştır. % 14.01 B_2O_3 içerikli atık çamur % 2.80 B_2O_3 konsantrasyonuna düşürülmüş, kalan % 11.2 B_2O_3 içerikli kısım tesislere geri kazandırılmıştır.

Bundan sonra yapılan ilk denemelerde kile %10, %20, %30 oranlarında bor atığı katılmış, daha sonra kile %20 bor atığı ile birlikte %20 uçucu kül ve yine kile % 20 bor atığı ile %10 silis dumanı atığı katılmıştır. Harmanlama işlemlerinden önce malzemelerimiz laboratuvar tipi öğütme cihazında öğütülerek, -2 mm elekten geçirilmiştir. Sonra plastik şekillendirmeyi sağlamak amacıyla % 18 oranında su katılmıştır. Kalıplama işleminde 23 mm çaplı çelik silindirik kalıp kullanılmış ve numuneler sabit 10 bar basınçta preslenmiştir. Yüzeyde meydana gelebilecek çatlama ve deformasyonun önlenmesi amacıyla numuneler 1 gün süreyle oda sıcaklığında bekletilmiştir. Daha sonra 110 °C'lik etüvde 10 saat süreyle nemini kaybetmesi sağlanmıştır. Sinterleşme sıcaklığının malzeme üzerindeki etkisini gözlemek amacıyla tuğla numuneleri 970 °C, 1000 °C ve 1030 °C'lerde pişirilmiştir. Son olarak numunelere çeşitli testler uygulanarak TSE'ye uygunluğu araştırılmıştır.

SUMMARY

In this study, it has been aimed that different ratios of wastes with clays used in production have been tested for the building brick material. These are the boron wastes, fly ash and silica fume. It has been observed by the chemical analysis that these wastes had almost the same components, but the percentages of the components are different and also just boron wastes contain certain amounts of B_2O_3 . It has been well known that the more B_2O_3 contents, the more brittle the material will be.

First, in order to decrease brittleness in the material, it is necessary to remove boron from boron wastes will be added more to clays. For this aim, soda leaching method has been chosen. By this method, we got higher efficiency than the other methods. For example, boron wastes content was decreased from 14.01 % to 2.80 % of B_2O_3 . The remaining amount which contain 11.2 % of B_2O_3 recycled to the plant.

In the experiments, different percentages of boron wastes and fly ash and silica fume were mixed with clay and behaviour of these mixtures were examined under different conditions. In the beginning of the experiments, 10%, 20%, 30% of boron wastes were used and then 20% of boron waste and 20% of fly ash were mixed together with clay. Then, 20% of boron wastes and 10% of silica fume together were mixed with clay.

In the experiments separately grinded in a mill to -2 mm sizes clay and wastes. During this procedure the wastes and the clay were mixed thoroughly in the presence of 18% water-water ratio is very crucial during plastic forming. A cylindrical mould (23 mm - diameter) was used in the moulding operation. The moulding pressure was 10 bar.

The brick samples, which were not exposed to fire were kept under normal conditions in the laboratory for one day. So that cracking and deformations were prevented, then to get rid of the water contents the samples were heated in a furnace at 110 °C for 10 hours.

To examine the temperature effects on sintering, the brick samples were exposed to different temperatures such as 970 °C, 1000 °C and 1030 °C.

In the end, the brick samples were exposed to different tests. So that appropriateness to TSE was investigated.



1. GİRİŞ

Türkiye bor bileşikleri üretiminde dünyada birinci sırada olmasına rağmen bor atıkları değerlendirilememektedir. Bu atıklar ekonomik kayıplara ve çevre kirliliğine neden olmaktadır. Örneğin, Bandırma'daki Etibank Tesislerinden asit borik ve boraks üretimi sırasında yaklaşık olarak yılda 25.000 ton boraks atık olarak çevreye atılmaktadır. Bunlar katı ve sıvı atık olmak üzere iki şekilde canlı hayata zarar vermektedir. Göl ve nehir bölgelerine karıştığı bölgelerde ise sulama yapılamamaktadır (3 ppm'in üzerindeki değerler zararlıdır).

Uçucu kül, kömürden elektrik enerjisi üreten termik santrallerin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir. Ülkemizde her yıl yaklaşık 11 milyon ton uçucu kül bu şekilde oluşmakta ve çevreye atılmaktadır. Bu çalışmada değerlendirilecek olan uçucu küller Seyitömer Termik Santrali'nden alınmıştır.

Türkiye'de silis dumanı, Etibank'ın Antalya Elektrometalurji Sanayi tesislerinde ferrosilisyum ve silikoferrokrom fırınlarından elde edilmektedir. Yaklaşık % 90 oranında amorf SiO_2 içeren silis dumanının yılda elde edilen toplam miktarı 1000 ton dolaylarındadır.

Bu çalışmada bahsedilen endüstriyel atıkların tuğla üretiminde değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bunun için tuğla hammaddesi kil ile atık oranları arasında optimum değerler saptanmıştır.

2. BOR MİNERALLERİ VE BİLEŞİKLERİNE GENEL BAKIŞ

2.1. Bor Mineralleri ve Bileşikleri

Periyodik sistemin üçüncü grubunun başında bulunan bor elementinin simgesi B, atom numarası 5, atom ağırlığı 10.81, ergime noktası 2190 ± 20 °C'dir. Elmaştan sonra en sert madde olan ametal bor gri-siyah veya yeşilimsi sarı renkli bir yapıdadır. Yer kabuğunda ortalama 10 ppm olan bor konsantrasyonu denizlerde 3-5 ppm arasında değişmektedir. 150'den fazla mineralin bileşiminde yer almasına rağmen doğada serbest olarak bulunmaz. Ekonomik konsantrasyonlarda en fazla bulunan bor mineralleri kalsiyum, sodyum ve magnezyumun hidrate olmuş boratlarıdır. Ticari önem taşıyan bor mineralleri ve bileşikleri Tablo.2.1'de verilmiştir.

Tablo.2.1. Önemli bor mineralleri ve bileşikleri

Mineral	Kimyasal Formülü	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)	Bulunduğu Yerler
Tinkal	Na ₂ B ₄ O ₇ .10H ₂ O	36.5	47.2	Kırka, Eskişehir
Kernit	Na ₂ B ₄ O ₇ .4H ₂ O	51.0	26.4	Kırka, Eskişehir
Kolemanit	Ca ₂ B ₆ O ₁₁ .5H ₂ O	50.8	21.9	Emet, Bigadiç, Kestelek
Üleksit	NaCaB ₅ O ₉ .8H ₂ O	43.0	35.6	Bigadiç, Kırka
Probertit	NaCaB ₅ O ₉ .5H ₂ O	49.6	25.6	Emet
Pandermit	Ca ₄ B ₁₀ O ₁₉ .7H ₂ O	49.8	18.1	Sultançayır

Bor minerallerinin çoğu bazı uygulamalarda direkt olarak kullanılabilmesine rağmen üretilen miktarın çok büyük bir kısmı tesislerde işlenerek daha yüksek katma değerli rafine bor bileşiklerine (türevlerine) dönüştürülür.

Sanayide yaygın olarak kullanılan bor bileşiklerinden başlıcaları Tablo 2.2'de, Türkiye'deki kapasite kullanımı ise Tablo 2.3'de verilmiştir (1).

Tablo 2.2. Sanayide kullanılan önemli bor bileşikleri

Bileşik	Kimyasal Formülü	B ₂ O ₃ (%)	H ₂ O (%)
Boraks dekahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ ·10H ₂ O	36.5	47.2
Boraks pentahidrat	Na ₂ B ₄ O ₇ ·5H ₂ O	47.8	30.9
Susuz boraks	Na ₂ B ₄ O ₇	69.2	0.0
Borik asit	H ₃ ·BO ₃	56.3	43.7
Sodyum perborat tetrahidrat	NaBO ₃ ·4H ₂ O	22.7	46.8
Sodyum perborat monohidrat	NaBO ₃ ·H ₂ O	34.8	18.0
Susuz borik asit		100.0	0.0

Tablo 2.3. Türkiye'deki bor bileşikleri sektöründe kapasite kullanımı
(Etibank Bandırma Boraks İşletmesi Müdürlüğü, 1991)

Tesisler	Ana mal	Kapasite (ton/yıl)	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988
Etibank Bandırma Tesisleri	1.Boraks	55.000	33	67	65	47	51	78	80
	(dekahidrat)	25.000	93	81	90	77	87	90	60
	2.1.Asit borik	75.000	-	-	-	-	-	-	40
	3.II.Asit borik	20.000	43	66	82	87	83	108	100
Etibank Kırka Tesisleri	4.Sodyum perborat								
	1.Boraks pentahidrat	160.000	-	-	-	15	19	32	38
	2.Boraks dekahidrat	17.000	-	-	-	-	-	-	-
	3.Susuz borat	60.000	-	-	-	-	-	-	-

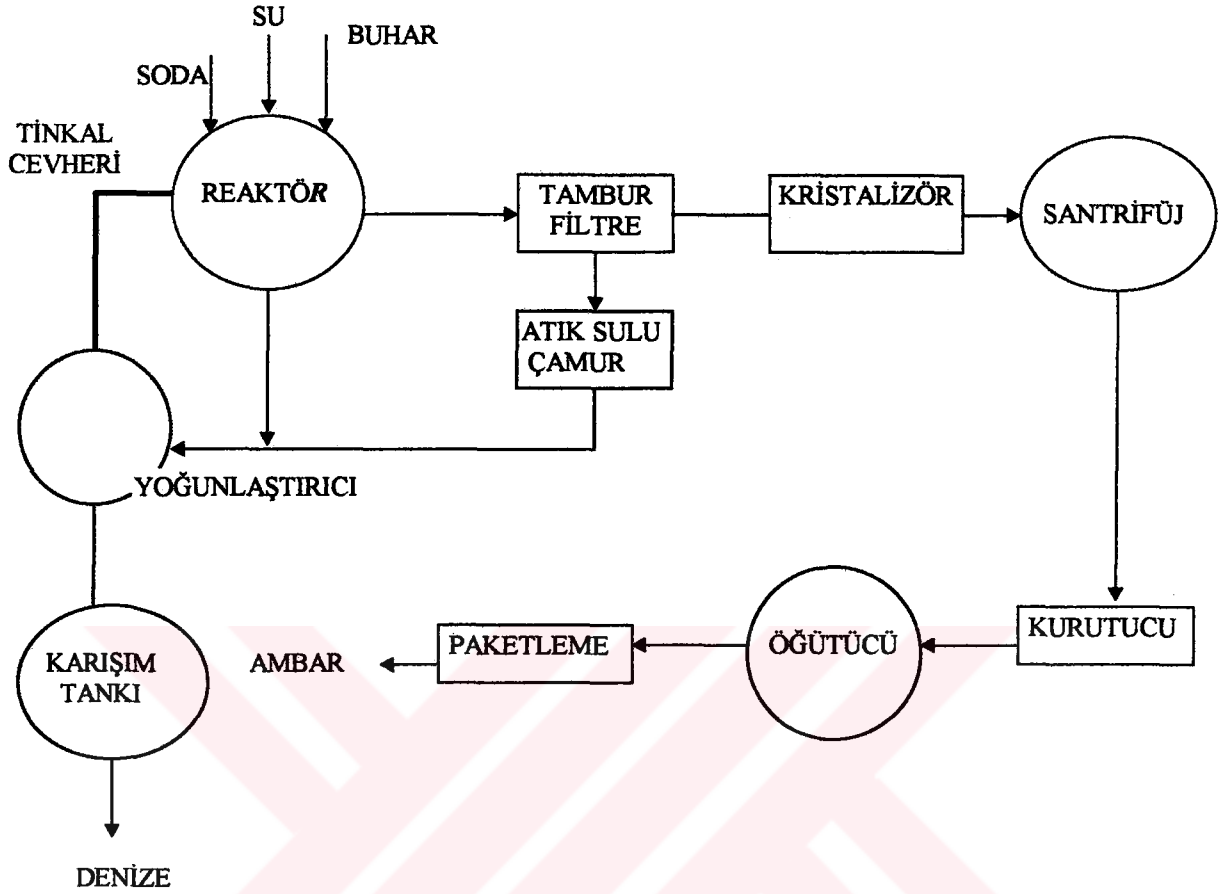
3. BOR KİRLİLİĞİ VE ATIKLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Bandırma Körfezi'nde Bor Kirliliği

Etibank Bandırma Boraks ve Asit Borik Fabrikası 1987 yılında tinkalden boraks ve borik asit üretimine geçmiştir. Etibank Bandırma Fabrikası boraks üretiminde atıkların oluşum yerleri Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Yine bu tesisten alınan çamurun analiz sonuçları Tablo 3.1'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, boraks üretiminde atık çamur tinkal mineralinin sulu çözeltisinin yoğunlaştırıcıdan geçirilmesi esnasında yoğunlaştırıcı atığı olarak elde edilmektedir. Bu atık çamurlar halen sulandırılarak Bandırma Körfezi'nden denize dökülmektedir. Yapılan çalışmalarda atıkların tam denize döküldüğü yerde deniz suyunun 1 litresinde 1200 mg , 50 metre açığında ise 30 mg bor bulunmaktadır. Oysa 1380 sayılı su ürünleri kanununa ait tüzüğün beşinci ekinde ise sulara ve denizlerdeki istihsal yerlerinde dökülmesi yasak olan zararlı maddeler listesinde, endüstriyel tesislere gelecek kullanılmış su içindeki bor konsantrasyonunun 3 mg/l'den az olması gerektiği belirtilmektedir (2).

Tablo 3.1. Etibank Bandırma Fabrikası boraks çamuru analiz sonuçları (mg/l)
(Etibank Bandırma Boraks İşletmesi Müdürlüğü, 1988)

<i>Numune adı</i>	<i>Sıcaklık (°C)</i>	<i>Bor iyonu</i>	<i>Al iyonu</i>	<i>Fe iyonu</i>	<i>Si iyonu</i>	<i>As iyonu</i>	<i>Ca iyonu</i>	<i>Mg iyonu</i>
Boraks çamuru Yoğunlaştırıcı	9.6	5500	0.0	0.0	65	21	36.5	984
Boraks çamuru reaktör çıkışı	9.7	6300	0.0	0.0	69	8.1	37	972



Şekil 3.1. Etibank Bandırma Fabrikası boraks üretiminde atıkların oluşum yerleri
(Etibank Bandırma Boraks İşletmesi Müdürlüğü, 1988)

Boraks fabrikası yetkililerinin atık çamurların yapı malzemesi imalinde kullanılmak suretiyle değerlendirilmesini çevre kirliliği açısından bir çare olarak düşündükleri bilinmektedir, ancak atık çamur içinde bulunan B_2O_3 'ün yapı malzemesinin kırılgenliğini arttırdığı tespit edilmiştir. Bu sebepten atık çamurun yapı malzemesi olarak değerlendirilmesinde B_2O_3 miktarının belirli bir asgari düzeyde tutulması gerekmektedir. Sonuç olarak ;

- 1) Atık çamur kaçaklarındaki B_2O_3 'ü geri kazanmak,
- 2) Çevre kirlenmesini önlemek,
- 3) Atık çamurun yapı malzemesi imalinde kullanılması halinde kırılgenliğini azaltmak için borun çamur içerisinde ayrılması gerekmektedir.

4. BORUN GİDERİLMESİ

Atık sulardan bor giderilmesi çevre kirlenmesi, tarım sulama sularının kullanılabilmesi, kimyasal proseslerde bor varlığının olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla yapılmaktadır. Bu atıktaki kil içinde ve doymuş su içinde önemli miktarlarda boraks kaybedilmektedir. Bu nedenden dolayı, işletme, tasarımında öngörülen kapasite değerlerinin %40'ında çalışmaktadır.

4.1. Bor Giderme Yöntemleri

4.1.1. Beraber Çöktürme ve Adsorpsiyona Dayanan Yöntemler

Yapılan bir çalışmada atık içindeki kristallerin su fazında çözülüp uygun bir çöktürücü madde veya maddeler bileşimi kullanarak atık içindeki killerin çöktürülerek sıvı kısmın kazanılması yoluna gidilmiştir. Sonuç olarak ; Alüminyum sülfat, kalsiyum klorür, Superfloc 214 gibi çöktürmeye yardımcı maddelerden meydana gelen bir karışım ile temiz bir sıvı fazı, hızlı çökme ve iri- dayanıklı kil kümeciklerinin elde edilebileceği kanıtlanmıştır. Bu işlemde atık çamurdaki B_2O_3 'ün %74'ü çöktürülmüştür.

Bu yöntemler ancak yüksek konsantrasyonlu sulara tatbik edilebilmektedir. Giderilen bor miktarı da fazla olmayıp, ekonomik de değildir (3).

4.1.2. Solvent Ekstraksiyona Dayanan Yöntemler

Bu yöntemlerde, polialkoller kullanılarak solvent ekstraksiyonu yöntemiyle B_2O_3 'ün atık çamurdan ayrılabilceği kanıtlanmıştır. Temel prensip; diollerin 1,2 veya 1,3 mevkilerinde bor ile dayanıklı asidik kompleksler yapabilmesidir.

- Borik asit ekstraksiyonları yalnızca 1,3-dioller ile yapılabilir ve sıyırma için kalevi çözeltiler kullanılmalıdır.
- 1,3-diol-bor komplekslerinin sıyırma verimini, NaOH konsantrasyonunu artırarak yükseltmek mümkündür.

- 1,2-diol-bor kompleksleri için asidik sıyırma çok iyi sonuçlar vermektedir. ND(2,3-naftalin diol), İPE [isopropil ETER), KTMF [2-klor(1,1,3,3-tetrametil bütıl)-6-metilol fenol] , PE (petrol eteri) karışımı ile %97'yi aşan sıyırma verimleri elde edilmiştir.
- Boraks çözeltileri hemen hemen yarı yarıya nötrale edilmiş boraks asit çözeltilerine eşdeğer olduklarından bu çözeltilerden yapılan ekstraksiyonlar hem 1,3, hem de 1,2-dioller ile ancak %50 civarında gerçekleştirilebilir.
- Borik asit ve boraks şamları eşit miktarlarda karıştırıldıktan sonra kısa zamanda katı kısım çökmekte ve üstte berrak bir çözelti kalmaktadır. Bu çözelti, pH'ı 9.2'nin üzerinde tutulmak şartıyla 1,2-diol ile devamlı bir ekstraksiyona ve asidik sıyırmaya tabi tutulunca olumlu sonuçlar vermektedir (4).

4.1.3. Sentetik İyon Değişiricilerle Bor Giderme

Bor, en iyi kuvvetli bazik anyon değiştiricilerle tutulmaktadır. İyon değiştirici reçineler, çoğunlukla iyonlaşabilen aktif grupları ihtiva eden ve karşı yük taşıyan hareketli iyonları suda çözünmeyen, dev yapıdaki iyonlardan meydana gelmiş olup, jel şeklinde moleküllu bileşiklerdir. Reçine pozitif yüklü iyonları değiştirebiliyorsa katyon değiştirici, negatif yüklü iyonları değiştirebiliyorsa anyon değiştirici adını alır (5). İyon değiştiricilerle bor giderilmesinde öngörülen kimyasal reaksiyon mekanizması, aynı solvent ekstraksiyonunda olduğu gibi borun polihidroksi bileşiklerle yaptığı komplekslere dayanmaktadır (6).

4.1.4. Flotasyonla Giderme

Saf kolemanit ile yapılan flotasyon deneylerinde, değişik tane iriliklerinde, çeşitli cins ve miktarlardaki reaktiflerle elde edilen flotasyon verimleri tespit edilmiştir. En iyi sonuç, 1750 g/t R 801 ve 1750 g/t R 825 olarak adlandırılan petroleum sülfonat anyonik toplayıcılarının birlikte kullanıldığı flotasyon işleminde alınmıştır, verim % 84,6 olmuştur. Ancak flotasyon yoluyla zenginleştirmenin ekonomik açıdan uygun olduğu söylenemez (7).

4.1.5. Karıştırarak Dağıtma ile Giderme

Bu yöntemde tane boyutu çok önemlidir. Katı oranlarının % 50 , 55, 60, 65, karıştırma sürelerinin 5, 10 , 15, 20 dakika ve tane boyutunun -4, -5, -6, -15 mm olarak değiştirilmesiyle yapılan karıştırarak dağıtma deneyleri sonucunda; %26.34 B₂O₃ içerikli karma cevheri ile optimum koşullarda dağıtma yapıldıktan sonra boyuta göre sınıflandırma ile 0.106 mm altının artık olarak ayrılması sonucunda %98.12 verimle %35.27 içerikli tinkal konsantresinin üretilebileceği anlaşılmaktadır (8).

4.1.6. Soda Liçi Yöntemi ile Giderme

Bu yöntemde, boraks atıklarının soda liçi ile değerlendirilmesinde etken olan parametreler araştırılmıştır. Bu amaçla, atıkların Na₂CO₃ ve NaHCO₃ liçi; değişik sıcaklık, çözücü miktarları, katı/sıvı oranları ve çözeltme sürelerinde denenmiş olup, düşük çözücü oranlarında optimal sıcaklık ve sürede başarılı sonuçlar alınmıştır. Sonuçta, seyreltik soda çözeltisiyle yapılan deneylerde, atıklardaki boraks yüksek verimle çözünmüştür. Ayrıca, soda liçi yönteminde, çözücü olarak tronanın kullanılması ile ülkemizde büyük bir potansiyele sahip olan trona yatakları yeni bir kullanım alanı bulmuş olacaktır (9).

5. UÇUCU KÜL

5.1. Uçucu Külün Tanımı ve Sınıflandırılması

Uçucu kül, kömürden elektrik üreten termik santrallerin bir yan ürünü olarak elde edilmektedir. Termik santrallerde yakıt olarak genellikle, endüstride kullanılmayan düşük kaliteli kömürler kullanılır. Kömürün yakılması sonucu oluşan külün, yaklaşık %20'si yakma sistemindeki ızgaraların altına düşerek su ile sistemden uzaklaştırılan kazan altı külüdür; %80'i ise, baca gazları ile birlikte sistemden sürüklenir. Uçucu kül olarak isimlendirilen bu kül, bacanın üst kısmında bulunan elektrofiltre veya siklonda tutularak, periyodik olarak santral dışına alınır.

Genellikle küresel bir yapıya sahip olan uçucu külün tanecik çapı 1 - 100 μm arasında değişmektedir (10,11).

Uçucu kül, termik santralde yakılan yakıt cinsine göre taşkömürü uçucu külü ve linyit kömürü uçucu külü olarak ikiye ayrılır.

Kimyasal yapılarına bağlı olarak uçucu küller 4 gruba ayrılır.

- Silikat- alümina esaslı uçucu kül: Yapılarının büyük kısmı kuvars (SiO_2) ve bir miktar alüminadan (Al_2O_3) oluşmaktadır. Genellikle taş kömüründen kaynaklanan uçucu kül bu sınıfa girmektedir.
- Silikat-kalsit esaslı uçucu kül: Yapısındaki ana oksitler kuvars (SiO_2) ve kalsit'tir (CaCO_3). Bu küldeki kalsit miktarı oldukça yüksektir.
- Sülfür-kalsit esaslı uçucu kül : Yapılarını büyük bölümü kükürt trioksit (SO_3) ve kalsitten (CaCO_3) meydana gelmiştir. Linyit kömüründen kaynaklanan uçucu kül genellikle bu sınıfa girmektedir.
- Sınıflandırılmayan uçucu kül : Termik santrallerdeki yakma sisteminin homojen olmamasından dolayı belirli bir kimyasal yapıya sahip olmayan küldür. Bu sınıfa giren külün kimyasal yapısı sürekli değişebilmektedir.

5.2. Uçucu Külün Minerolojik ve Kimyasal Yapısı

Uçucu kül, gözenekli veya dolu camsı küresel taneler ile yanmamış mineralleri içeren süngerimsi ve köşeli aglomere tanelerden meydana gelmektedir.

Uçucu külde genellikle, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O , K_2O ve TiO_2 gibi oksitlerin hemen hemen tamamına rastlanmaktadır. Ancak, bunların küldeki yüzdeleri değişmektedir. Örneğin silikat-alümina esaslı bir uçucu külde SiO_2 ve Al_2O_3 , sülfür-kalsit esaslı bir uçucu külde ise SO_3 ve CaCO_3 ana bileşenlerdir. Genelde taşkömüründen kaynaklanan uçucu külün, toprak alkali element içeriği linyit kömüründen kaynaklanan uçucu külünden daha fazladır (12).

Uçucu külde en fazla bulunan oksitler; kuvars (SiO_2), mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), hematit (Fe_2O_3), manyetit (Fe_3O_4) ve kalsit (CaCO_3)'dir (13). Minerolojik analizlerde, genellikle uçucu kül içerisindeki silisyumun bir kısmının kuvars kristalleri halinde, diğer kısmının ise mullit ve camsı yapıda olduğu saptanmıştır. Demirin kısmen manyetit ve hematit bileşiminde, geri kalanının ise camsı fazda olduğu görülmüştür. İdeal şartlarda elde edilen uçucu küllerin %66-88'inin camsı yapıda olduğu, %70-88'inin SiO_2 ve Al_2O_3 , geri kalan kısmının ise demir, kalsiyum, magnezyum, sodyum, potasyum ve titanyum oksitlerinden meydana geldiği saptanmıştır (14,15).

Termik santrallerde kullanılan yakıta ve yakma koşullarına bağlı olarak, oluşan uçucu küllerin kimyasal özellikleri değişiklikler göstermektedir. Türk standartları Enstitüsü'ne göre uçucu küllerin kimyasal özellikleri Tablo 5.1'de verilmiştir (16).

Tablo 5.1. Türk Standartlarına Göre Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Kimyasal Bileşik	% (Ağırlıkça)
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	70 (en az)
MgO	5 (en çok)
SO_3	3 (en çok)
Nem	3 (en çok)
Kızdırma kaybı	10 (en çok)

ASTM'e göre ise uçucu küller, F ve C sınıfı olarak ikiye ayrılmıştır. F sınıfı uçucu küllerde SiO_2 ve Al_2O_3 oranı oldukça yüksektir. C sınıfı uçucu küllerde ise en fazla bulunan oksit SiO_2 olmasına rağmen, bu küller %10'dan fazla miktarda CaO 'de içermektedir (17).

5.3. Uçucu Külün Fiziksel Özellikleri

5.3.1. Görünüşü

Uçucu küllerin renkleri açık ve koyu gri ile siyah arasında değişmektedir. Külün içerdiği karbon, demir ve nem oranı rengini etkilemektedir (14). Mikroskop altında incelenen uçucu küllerin süngerimsi, gözenekli veya gözeneksiz küresel ve aglomere tanelerden meydana geldikleri görülmüştür. Linyit kömürü uçucu külleri, taşkömürü uçucu küllerinden daha koyudur. İyi yanmış uçucu küller, iyi yanmamış küllerden daha açık renktedir. Küllerin sahip olduğu koyu renk, yapılarında mevcut yanmamış karbondan ileri gelmektedir.

5.3.2. Tane Boyutu

Uçucu küllerin tane boyutu, kullanılan kömürün cinsine ve öğütme derecesine bağlı olarak değişmektedir. Taşkömürü uçucu küllerinin tane boyutu, linyit kömürü uçucu küllerinin tane boyutundan daha küçüktür. Tane boyutuna etki eden ikinci faktör ise, filtre ve siklonların tutabildiği tane boyutudur. Elektrofiltreler çok ince uçucu külleri tutabildiği için; burada tutulan küllerin tane boyutu, siklonlarda tutulnlardan daha küçüktür. Genel olarak uçucu küllerin tane boyutlarının 1-100 μm , özgül yüzeylerinin ise 0.1-0.5 m^2/g arasında değiştiği saptanmıştır.

5.3.3. Yoğunluğu

Uçucu küllerin ortalama yoğunluğu 2150 kg/m^3 'dür. Ancak küldeki kuvars, alümina, demir ve karbon miktarları yoğunluğu değiştirmektedir. Örneğin; uçucu küldeki demir miktarı arttıkça yoğunluk da artmaktadır (11).

5.3.4. Karbon Miktarı

Yanma veriminin yüksek olduğu termik santrallerde oluşan uçucu küllerin karbon içeriği çok düşük olmaktadır. Eski tip santrallerde bu oran yaklaşık %10 iken, yenilerde %3'ün altında kalmaktadır (14).

Uçucu küllerdeki karbon, yanıcı olmayan tanelerin yüzeyi üzerinde ince bir tabaka halinde veya ayrı taneler olarak bulunabilmektedir. Karbonlu tanelerin boyutu, genellikle diğer tanelerden daha büyüktür (18).

5.4. Uçucu Külün Manyetik Özellikleri

Uçucu kül içerisine bir mıknatıs sokulduğunda, uçucu külün bir kısmının mıknatısa yapıştığı görülmektedir. Mıknatıs bir hava akımına tabi tutularak manyetik olmadığı halde yapışan taneler uzaklaştırılmış; bu deney bir kaç defa yapıldıktan sonra uçucu külün % 25'inin mıknatısta kaldığı saptanmıştır. Fe_2O_3 içeriği % 7.7 olan bir uçucu külün % 6.8'inin mıknatısa yapıştığı, yapışan kısmın Fe_2O_3 içeriği % 63 iken yapışmayan kısmın Fe_2O_3 içeriğinin ise % 4 olduğu saptanmıştır.

5.5. Uçucu Külün Puzolanik Özellikleri

Uçucu küller, kireç ve su ile karıştırıldığında belirli bir süre sonunda dayanıklılığı artar. Uçucu küllerin puzolanik özelliğinin esası olan bu dayanım kazanma oldukça yavaş olarak ortaya çıkar. Artan süreyle birlikte, uçucu küllerin puzolanik özelliklerinin arttığı; ayrıca, CaO miktarı yüksek uçucu küllerin daha iyi puzolanik özellik gösterdiği saptanmıştır.

5.6. Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri, suda çözünürlük ve asitlerin etkisi olmak üzere iki grupta incelenmektedir.

- a) Suda çözünürlük : Uçucu küller % 2 - 3 oranında suda çözünürler. Oluşan çözelti, kalsiyum sülfat içerdiği için alkali tepkime vermektedir. Külün MgO , Na_2O , K_2O , SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 bileşenlerinin suda çözünürlükleri çok düşüktür ve külün çözünürlüğü sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişmektedir.
- b) Asitlerin etkisi : Uçucu küllere asitlerin etkisi çok azdır. Seyreltik asit içerisinde uçucu küllerin çözünürlüğünün en fazla % 15 olduğu gözlenmiştir. Ancak bu miktar, uçucu küllerin kimyasal ve minerolojik yapısına bağlı olarak daha da düşük olabilmektedir.

5.7. Termik Santrallerde Atık Uçucu Küllerin Toplanması

Termik santraller ile elektrik üretiminde yanma işlemi sonucu oluşan atık küller, kömürün cinsine, kül oranına, kimyasal yapısına, kazanlara yükleme programına ve kül temizleme işlemleri ile kazan tipine bağlı olarak farklı özellikler göstermektedir.

Termik santrallerde, toz ve parça kömürler yakılmaktadır. Toz kömür yakan termik santrallerde 0.09 mm tane boyutuna öğütülmüş kömürler kullanılır. Parça kömürler ızgaralı kazanlarda yakılmakta olup, oluşan küllerin % 1 - 5 'i uçucu küllerdir. Toz kömürlerin kullanılmasında ise bu oran % 80'e ulaşmaktadır.

Uçucu küllerin toplanmasında aşağıdaki yöntemler kullanılır :

- 1) Elektrofiltreler
- 2) Siklonlar
- 3) Nemlendirme
- 4) Filtreler
- 5) Ultrasonik çöktürme
- 6) Kontrol prosesleri

Termik santrallerde en çok kullanılan kül tutma yöntemleri, elektrofiltre ve siklonlardır. Uçucu küllerin tane boyutunun büyük olduğu durumlarda siklon gibi mekanik tutucular, küçük olduğu durumlarda ise elektrofiltreler kullanılır. Uçucu küllerin su ile ıslatılarak çöktürülmesi esasına dayanan nemlendirme yöntemi çok su tüketmekte olup, toplanan küllerin değerlendirilememesi ve yüksek maliyet sebebiyle pek kullanılmamaktadır. Filtreler, ultrasonik çöktürme ve kontrol prosesleri ile 1µm tane

boyutuna kadar uçucu küller yakalanabilmektedir. Bacadan kaçan kül miktarı azaldığı için çevre kirliliğini azaltan bu yöntemlerin yatırım ve işletme maliyetleri çok yüksektir.

5.8. Termik Santral Atık Uçucu Küllerinin Kullanım Alanları

Uçucu küller, tuğla üretiminde, çimento-beton, hafif agrega, gaz beton ve karayolları yapımında kullanılmaktadır. Ayrıca, taşkın önlenmesinde, döküm kumu olarak, duvar harçlarında, metal yüzeylerin püskürtme ile temizlenmesinde, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak, petrol kuyuları sondajlarında ve seramik sanayiinde de kullanılmaktadır (11).



6. SİLİS DUMANI

6.1. Silis Dumanının Tanımı

Silis dumanı, silisyum ve silisyum alaşımlarının elektrikli ark fırınlarında üretimi sırasında oluşan, çimentodan 30-100 kat daha ince toz halinde olan endüstriyel bir atıktır. Bacaya yerleştirilen filtre yardımıyla tutulan silis dumanı, uçucu küle göre çok daha ince taneli olup % 90 civarında amorf SiO_2 içermektedir (19).

Çok aktif bir puzolan olan bu malzeme, özellikle son yıllarda yüksek dayanımlı veya dayanıklı beton yapımında kullanılan bir mineral katkı olarak değer kazanmıştır. Türkiye’de silis dumanı, Etibank’ın Antalya Elektrometalurji sanayi tesislerinde ferrosilisyum ve silikoferrokrom fırınlarından elde edilmektedir. Yılda elde edilen toplam miktar 1000 ton civarındadır (20). Dünyadaki yıllık üretimi ile ilgili veriler tam olarak bilinmemektedir. Silis dumanının bulunabilirliği, çelik endüstrisindeki ferrosilis alaşımlarının kullanımına bağlıdır.

6.2. Silis Dumanının Minerolojik ve Kimyasal Yapısı

Silis dumanı, oldukça ince, gözenekli camsı taneciklerden meydana gelmektedir. Genellikle, % 90’ın üzerinde amorf yapıda SiO_2 içermektedir.

Silis dumanında; SiO_2 dışında Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , SO_3 , MgO , Na_2O ve K_2O gibi oksitlere de rastlanmaktadır. Ancak, bu oksitlerin silis dumanındaki yüzdeleri, üretilen alaşım çeşitlerine veya silis üretimine bağlı olarak değişmektedir. Örneğin; ferrosilis fırınından elde edilen silis dumanı, silisyum üretilen fırından elde edilen silis dumanından daha fazla demir ve magnezyum oksit içermektedir.

Ferrosilis alaşımlarının üretiminden elde edilen silis dumanlarının SiO_2 içerikleri Tablo 6.1’de verilmektedir.

Tablo 6.1. Ferrosilis Alaşımlarının Üretiminden Elde Edilen Silis Dumanının SiO_2 İçerikleri

Ferrosilis Alaşımları *	% SiO_2
% 50 ferrosilis	72 - 77
% 70 ferrosilis	84 - 88
% 98 ferrosilis	93 - 98

* Ferrosilis alaşımları % 50, 75 ve 90 silisyum içerecek şekilde üretilmektedir. Silisyum içeriği %98'e ulaştığında, ürün ferrosilis yerine silisyum metali olarak adlandırılmaktadır. Alaşımdaki silisyum içeriği arttıkça, silis dumanındaki SiO_2 miktarı da artmaktadır.

6.3. Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri

6.3.1. Görünüşü

Silis dumanının rengi açık gri ile koyu gri arasında değişmektedir. Silis dumanı, silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde, elektrikli ark fırınlarında karbon ile yüksek saflıktaki kuvarsın indirgenmesi sonucu oluşan bir atık olması nedeniyle, yapısında bir miktar karbon içermektedir. Karbon miktarı düşük olan silis dumanı daha açık renkte, yüksek olan ise daha koyu renkte olmaktadır (21).

6.3.2. Tane Boyutu

Silis dumanı oldukça ince, camsı taneciklerden meydana gelmektedir. Ortalama tanecik boyutu yaklaşık olarak $0.1 \mu\text{m}$; azot adsorpsiyonu yöntemine göre ölçülen yüzey alanı $20 \text{ m}^2/\text{g}$ 'dir

6.3.3. Yoğunluğu

Genel olarak silis dumanının yoğunluğu $250 - 300 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir.

6.4. Silis Dumanının Puzolanik Özellikleri

Silis dumanı, kireç ve su ile karıştırıldığında belirli bir süre sonunda dayanıklılık kazanır. Silis dumanında, puzolanik özelliğin esası olan bu dayanım kazanma özelliği, uçucu küle göre daha hızlı olarak ortaya çıkar. Bu maddenin silis içeriğinin yüksek olması ve daha ince taneciklerden meydana gelmesi puzolanik aktiviteyi artırmaktadır (22,23).

6.5. Silis Dumanının Kullanım Alanları

Silis dumanı, çimento ve beton yapımında en çok kullanılan maddelerden biridir. Puzolanik özellik gösteren silis dumanının tek başına bağlayıcı özelliği yoktur. Ancak çimento ile birlikte kullanıldığında, çimentonun hidrasyonu sırasında açığa çıkan kalsiyum hidroksit ile kimyasal tepkimeye girerek bağlayıcı özellik kazanmaktadır (24,25).

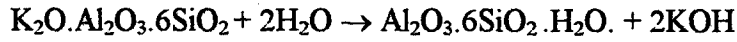
Silis dumanı beton yapımında kullanıldığı zaman, betonun yüzey temizliği ve işlenebilirlik özelliği iyileşmektedir. Aynı zamanda betonun su geçirgenliği ve büzülmesi azalmakta olup, dayanımı artmaktadır (26,27). Ayrıca hafif agrega yapımında da kullanım alanı bulmaktadır (28).

Son yıllarda, baca gazlarından kükürt dioksit'i gidermek amacıyla uygulanan nemlendirmeli alkali enjeksiyon proseslerinde, aktif sorbentlerin hazırlanmasında yaygın olarak kullanılmaktadır.

7. KİLLER

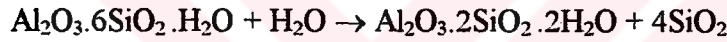
7.1. Killerin Oluşumu

Killer granit, feldispat, pegmatit, bazalt gibi kayaçların su, rüzgar, donma, sıcaklık değişimleri, yeryüzü hareketleri ve bitkiler gibi fiziksel dış etkenler, su, CO₂, hümik asit, kükürtlü ve florürlü gazlar, yüksek sıcaklık gibi etkenlerle değişmesi sonucu oluşmuşlardır. Ortoklazın dönüşümünü örnek alırsak;



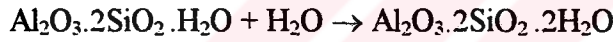
K-feldispat

hidroliz



kaolenit

silis ayrışması



kaolenit

Kaolenit; % 39 Al₂O₃, % 47 2SiO₂, % 14 2H₂O içermektedir. Genellikle bu kimyasal bileşimde kaolenit bulamayız. Çünkü kaolenit yabancı maddeler içermektedir. Ana kayacın içerdiği alkali veya toprak alkali metallerin oksitleri suda çözünmek suretiyle kayacıdan uzaklaşır. Geride büyük yüzdesi alüminosilikat olan bileşikler kalır. Ayrışan silis çok ince tanelidir. Bunlar da silikat (asit esaslı) refrakterlerin esasını oluşturmaktadır. Tuğla hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Oluşum sırasında karışan yabancı maddeler, silis , feldispat, mikalar, CaCO₃ (kalker), MgCO₃ (magnezit), Fe bileşikleri ve organik maddelerdir.

Killer, oluştuğu yerde kalırsa bunlara primer veya kalıntı kil, yatağa da kalıntı kil yatağı denir. Bu tür killerde, değişime uğramamış ana kayaç silika ve diğer değişime uğramış mineral kalıntıları bulunabilir. Primer kaolen yatakları bunlara örnek

gösterilebilir. Bu yataklardaki kil taneleri, taşınanlara göre daha büyüktür. Bunun sonucu olarak plastiklik özellikleri azdır.

Meydana gelen kil mineralleri su, rüzgar gibi dış etkenlerle taşınıp başka yerde birikmiş ise böyle yataklara sekonder veya taşınmış yataklar denir. Taşınmış killer daha ince taneli ve daha plastik olur. Tane inceler, köşeler yuvarlatılmış olur. Taşınma sırasında kilin içine başka yabancı maddeler de karışır.

Tabiatta çok yaygın bulunan kırmızı killerin bileşimi yer kabuğunun ortalama bileşimine çok yakındır. Silika % 58, alümina % 16.5, Fe_2O_3 % 6.8, MgO % 3.3, CaO % 4.5'dir. Tabiatta bulunan ve faydalanılabilen bu tür killere genel killer denir. Ham halde kahverengi, kırmızı, yeşilimsi veya demiroksidin varlığından ötürü gri renkte olabilirler. Pişmiş rengi pembe, kahverengi, kırmızı veya siyah olabilir. Genel killerle inşaat tuğlası, kiremit, çini ve diğer kil ürünleri üretilir. Genel killer oldukça plastiktir. Kum ve taş parçaları plastikliği düşürücü etki yaparlar. Plastikliği çok yüksek olan killere plastik olmayan kütle katarak bu özelliği optimum hale getirilebilir. Bu killer preslenebilir veya ekstrüzyon makinasından geçirilebilir. Çarpılma, çatlama ve aşırı büzülme olmadan pişirilebilir (29).

Tabiatta bulunan killerin kimyasal analizleri geniş bir aralıkta değişir. Fakat inşaat tuğlasının fiziksel özellikleri kimyasal analizden daha önemlidir. Kil kalıpta şekillendirilebilecek kadar plastik olmalıdır. 950 - 1000 °C arasında pişirildiği zaman yeteri kadar vitrifiye olmalı yani mukavemet kazanmalıdır. Bu isteklere mükemmelen cevap veren yataklar sınırlıdır.

Kimyasal analiz minerolojik yapı hakkında önemli bilgiler verir. Bunlar da şekillendirme, kurutma ve pişirme karakteristiklerini belirlemede önemlidir. İngiltere'de kullanılan tuğla killerinden şu sonuçlar çıkarılabilir.

- 1) Plastiklik önemlidir.
- 2) Kil, uygun oranda plastik olmayan ve flaks olmayan kütle içermelidir. Bu sayede kuruma ve pişme küçülmesi kontrol edilebilir. Bu killerde önemli miktarda kuvars bulunur. Kuvars her iki özelliği de olumlu yönde etkiler.
- 3) Sodyum ve potasyum gibi alkali bileşikler yapıda bulunmalıdır. Bunlar düşük sıcaklıkta camlaşmaya neden olur. Magnezyum, kalsiyum ve demir bileşikler daha

yüksek sıcaklıklarda flaks olarak etkilenirler. İnşaat tuğlasında fazla önemli değildir. Adı geçen elementlerin bazıları mika veya feldispatta bağlıdır. Etkili olabilmeleri için küçük taneli olmaları gereklidir. Demir içerenler dahil diğer mineraller, oksitler, hidroksitler, karbonatlar (kireçtaşı ve tebeşir)'dir (30).

7.2. Killerin İçerdiği Yabancı Maddeler

Silika : Kaolenizasyon sırasında açığa çıkan kil minerali dışında serbest haldedir. Serbest silika kuvars kristali veya amorf silika olarak bulunabilir. Oluşum sırasında açığa çıkan ürünlerden olduğu için çoğu killerde vardır. Serbest silika plastikliği, kuruma ve pişme küçülmesini, pişmiş ürünün mukavemetini, refrakterliğini azaltır.

Alümina : Kil mineralinin dışında alümina, feldispat, mika, boksit (gibsit, diyaspor) gibi bileşikler de bulunur. Boksit, gibsit, diyaspor halinde iseler refrakterliği artırıcı etki yaparlar.

Alkaliler : Alkali bileşikleri genellikle alümina ile bağlı olarak bulunur ve özellikleri önemli derecede etkiler. Feldispat, mika alkali taşıyan minerallerdir. Alkaliler kil yüzeyine adsorbe olmuş halde de bulunabilirler. Adsorbe yüzeyde tutulma, absorbe ise sünger gibi içine alma anlamına gelir. Alkali metallerin suda çözünen sülfat ve klorürleri de kil içinde bulunabilir. Alkaliler kuvvetli flaks madde oldukları için vitrifikasyon sıcaklığını ve refrakterliğini düşürücü etki yaparlar. Cam faz oluşumunu arttırdıkları için pişmiş üründe gözeneklilik oranını azaltırlar ve mukavemeti artırırlar. Alkalilerin varlığı, özellikle suda çözünen alkaliler plastikliği olumsuz yönde etkiler.

Demir Bileşikleri : Killerde demirin oksitleri, sülfürleri, karbonatları, hidroksitleri ve silikatları bulunur. Magnetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3), FeS_2 , FeO , $Fe_2O_3 \cdot H_2O$, $FeCO_3$ en önemlileridir.

Killerde demir bileşikleri şu bakımlardan önemlidir : Fe_2O_3 , kilin refrakterliğini önemli ölçüde düşürmez, rengi kırmızıdır. Fe_2O_3 , silika ile $1455\text{ }^{\circ}C$ 'de camsı faz oluşturur veya başlatır. Eğer redükleme söz konusu olursa FeO meydana gelir. FeO yaklaşık $1180\text{ }^{\circ}C$ 'de camsı faz oluşturur. Oluşan fazın rengi siyahtır.

FeS_2 (pirit) içeren killerin pişirilmesi dikkat gerektirir. 400 - 600 °C arasında oksitlenme olur ve Fe_2O_3 açığa çıkar. Bu durumda ürün fazla zarar görmez. Eğer ısıtma hızı yüksekse veya atmosfer oksidan değilse yani redükleyici etki söz konusu ise FeO meydana gelir. Pirit reaksiyonları sona ermeden vitrifikasyon başlayacağı için bünyede şişmenin meydana gelmesine neden olur.

Kalsiyum Bileşikleri : Birçok kilde kalsit ve $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ bulunur. Pişirme sırasında kalsit 850 °C civarında parçalanır. CaO oluşur ki, bu da kuvvetli flaks maddedir. Vitrifikasyon sıcaklığını ve gözenekliliği düşürür, mukavemeti artırır. Pişirme sıcaklığı vitrifikasyonun tamamlanmasına yetmezse CaO serbest kalır. Pişmiş ürün su ile temas ettiğinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşur. Hacimce genleşme pişmiş ürünü parçalayacak kadar büyüktür.

Karbonlu Malzemeler : Bazı killerde kömür, linyit gibi organik esaslı madde bulunur. Bu killeri siyah renklidir ve pişirildikleri zaman renkleri tam beyaz olmaz. Fırın atmosferinde redükleyici şartları meydana getirmeye sebep olur. Bu gibi durumlarda pişirme hem yavaş yapılmalı, hem de kil içerisindeki organik maddeleri yakacak kadar oksijen sağlanmalıdır. Aksi takdirde Fe_2O_3 'ü redükler ve oluşan FeO, daha önce belirtilen sakıncaları doğurur. Oksijenin az olduğu veya bulunmadığı atmosferde, $\text{C} + \text{CO}_2 \rightarrow 2\text{CO}$ redükleyicidir (31).

8. TUĞLA HAMMADDELERİ

8.1. Tuğla Hammaddesinin Özellikleri

Tuğla-kiremit topraklarının teknolojik özellikleri, mamül maddelerde aranılan ve bu konudaki standartlarda tesbit edilebilen özelliklere göre tayin edilir. 900-1050 °C sıcaklıkta pişirildiği zaman pişme rengi kiremit olan, sertliği en az 3 - 5 (Mohs) arasında bulunan, su emme oranı % 10-15'in üzerine çıkmayan ve pişme sırasında çatlamayan tuğla ve kiremitlerin üretimi için hammaddede şu özellikler aranır :

Toprağın Rengi : Sağlamlığı uygun olduğu halde rengi açık olan tuğla veya kiremitlerin ticari değeri de azdır. Topraklar fazla kalker içeriyorsa pişme rengi 900 °C'nin üzerinde sarıya döner. Toprağa kırmızı rengi veren hematit ve limonit gibi demir bileşikleridir. Fakat demirin iki dereceli bileşikler halinde bulunduğu topraklar gri, sarımsı ve yeşilimsi görünüştedir. Oksitleyici bir fırın atmosferinde pişirildiği zaman , mamüllerin pişme rengi yine kiremit rengi olur.

Toprakların sarı, yeşilimsi ve mavi renkleri TiO_2 , BiO_2 , Cr_2O_3 gibi bileşiklerden gelebilir. Kahverengi olması ise Mn bileşiklerine veya toprakta bulunması faydalı olan organik maddelere bağlıdır. Fakat bunlar kömür parçaları halinde olmamalıdır. Toprağın rengi ile pişme rengi arasında her ne kadar kesin bir bağ yok ise de hammaddenin % 5'in üzerinde Fe bileşikleri ihtiva etmesi kiremit rengin elde edilmesi için şarttır.

$CaCO_3$ İçeriği : Toprakta bulunan $CaCO_3$ miktarı % 25-35'den fazla olmamalıdır. Kalkerin iri parçalar halinde bulunması da mahzurludur. Çünkü bunlar fırında yanmış kireç, daha sonra da nemin etkisi ile sönmüş kireç haline gelirler. Bu olay hacim büyümesine sebep olur. 2 mm'ye kadar öğütme yapınca bu mahzur ortadan kalkar. $CaCO_3$ toprağın erime ve sinterleşme derecelerini birbirine yaklaştırdığından bol kireç bulunması fırınlarda pişme tekniğini güçleştirir. Ayrıca sağlamlığı ve sinterleşmeyi arttırmak için pişme ısı arttırıldığında $CaCO_3$ 'ın etkisiyle kiremit rengi kaybolur. Fazla kireçli topraklardan yapılan ürünlerin gözenekliliği ve su emme özelliği artar, donma mukavemeti ise azalır.

Tane Boyutu : Teknolojik etüdlerde 3 mm'den ve 0.2 mm'den iri tanelerin yüzdesi tespit edilir. Bu tespit kabaca arazide de yapılabilir. Eğer, 3 mm'den büyük tanelerin toplamı % 1'den fazla ise pişme sırasında çatlamalar görüleceğinden bunların önceden elenip ayrılması veya öğütülmesi gerekmektedir.

Diğer Safsızlıklar : Killerde, suda eriyen tuzlar, mikalar, kükürt, jips, pirit gibi unsurlar bol miktarda bulunmamalı veya kullanılacak sulardan ve yakacak maddelerinden gelmemelidir. Aksi taktirde mamüller pişerken çatlarlar, çiçeklenirler, dona ve basınca dayanımları azalır, su emme oranları da büyük olur.

Plastisite Özelliği : Tuğla-kiremit imalinde kullanılacak toprakların plastisite suyu %25 - 35 arasında bulunmalıdır. Fazla yağlı killer kururken ve pişerken çatlamalara sebep olurlar, çok kumlu killerin ise kalıplanması zordur. Kumlu ve yağlı killer %25 su ile normal plastik hale gelecek şekilde karıştırılarak iyi bir hammadde elde edilebilir (32).

8.2. İnşaat Tuğlası Killeri

Değerleri, kimyasal kompozisyonlarından çok, fiziksel özelliklerine bağlıdır ve sonuç olarak bir tuğla kilinin uygun kompozisyon oranı çok geniştir. Tuğla yapımı için bir kilde istenen temel özellikler şöyledir :

- Kolay şekle sokmak için yeterince plastik olmalı ve bu şekil hem ıslak, hem de kuru durumlarda kalmalı,
- Aşırı küçülme (çekme) veya deformasyon olmadan sert tuğlalar meydana getirmek için 950 - 1000 °C'deki bir sıcaklıkta yeterince camsılaşmalıdır.

Bu istenen özelliklere mükemmel bir şekilde sahip olan killer en iyi killerdir. Oldukça tatminkar bir şekilde kullanılan birçok kil olmasına rağmen herhangi bir kil tortusunun bina tuğlaları yapımı için kullanılabileceğini kabul etmek yanlıştır.

Tuğla killerinin çıkarıldığı birçok taş ocağı geniş ve derindir. 3 m kalınlıktan daha az olan bir şekli çalışmak için bu taş ocakları nadir olarak ekonomiktir ve birçoğu 9-15 m'lik bölgelerdedir. Demir nodülleri, kabuk bantları, küçük kömür damarları bu çalışma şekline dahil olabilir.

Tuğla killерinin kimyasal bileşimi, herhangi bir tortuda oluşan değişimlerinden ve ayrıca tuğla yağımında kullanımda oldukça geniş bir kompozisyon dizisi olmasından dolayı değersiz olarak açıklanmıştır. Bu tamamıyla doğru bir kritik değildir, çünkü kimyasal analizler, şu andaki mineral doğası üzerine birçok bilgi verebilir ve bir kilin ayrılmış boyut fraksiyonları üzerindeki bir seri analizler tahmin yapmak, kurutmak ve pişirme özellikleri için sıkça kullanılabilir.

- 1) Tuğla killерinde plastiklikliğin tüm gerekenlerini tartışmak için daima kil mineralleri oranı olmalıdır.
- 2) Plastik olmayan ve erimeyen maddenin iyi bir oranı da gereklidir ki kurutma ve pişirmede şekiller aşırı bir biçimde çekmesin. Kuvars genellikle makul bir miktarda bulunur, fakat feldispat, kalsit, granit partikülleri benzer bir görevi görebilir.
- 3) Eriyen bileşikler, genelde alkali elementler, Na, K düşük sıcaklıkta, Mg, Ca ve Fe bileşikleri ise daha yüksek sıcaklıklarda ergime gösterirler.

Bu elementler, mikalar veya feldispatların minerali şeklinde birleşirler fakat minerallerin etkili tanecik boyutu küçük olmalıdır.

Bahsedilen analizler tamamen İngiliz killерdir fakat İngiliz tuğla imalatçıları bir jeolojik görüşe göre diğer birçok ülkeden daha geniş bir kil dizisini kullanır. Yetkililer tarafından analiz edilen Avustralya, Avrupa kıtası ve ABD'den tuğla yapımında kullanılan killерin kimyasal ve minerolojik kompozisyonları İngiliz türleri ile çok benzer özellikler gösterir. Bina tuğlası imalatında sorunlar yaratan bileşikler kireç taşları ve çözünebilir tuzlardır. Kireç taşları nemli havada söndürücü kireç üretir ve tuğlaları kırabilir veya darbe verebilir. Bunlar belki kireç taşlarının ince toz haline öğütülmesi ile sakınılabılır. 0.05 mm'den daha küçük partiküller gibi çatlak içeren tuğlalar miktar %15'e ulaştığında bile görülebilir. Ca bileşikleri iyice öğütüldükleri takdirde bina tuğlası yapımı için bir kilde belli avantajlar gösterirler. Pişirmede açık kahverengi tuğla üretimi için ve kırmızı tuğlanın oluşumunu engellemek için demirdeki bazı zengin kil değerleri ile ölçülürler (17).

9. SİNERLEŞME

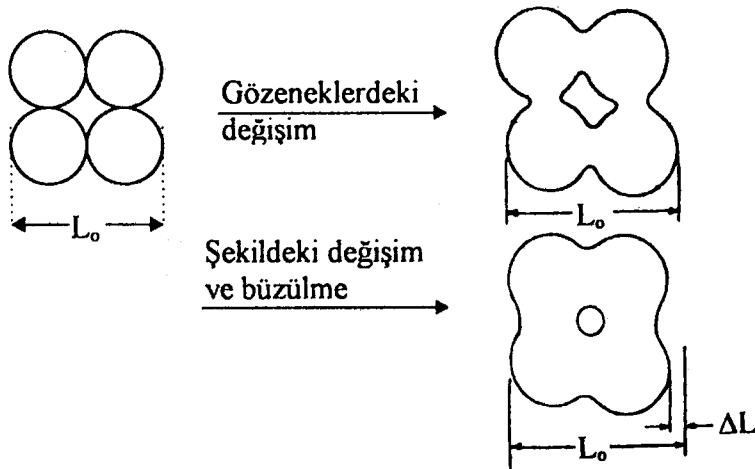
Piştirme işlemi ile gerçekleşen sinterleşme; bir seramik bünyede, birbirleriyle temas halinde bulunan tanelerin, yüksek sıcaklıklarda birbirine bağlanarak yapışması ile, bünyenin boyut ve yoğunluklarında meydana gelen değişimdir.

Seramik tozları, şekillendirme sırasında sıkışarak malzemedeki gözenek miktarı azalmaktadır. Kuruma sonucunda fiziksel suyun uzaklaşması ile, taneler birbiri ile temas eder. Ancak, taneler arasında boşluklar mevcuttur. Mukavemetin ve yoğunlaşmanın artırılması için, yapıdaki mevcut gözeneklerin giderilmesi gerekir. Pişirmede; difüzyon hızlandığından birbiri ile temas halinde olan taneler arasında, özellikle yüzeyde yer alan karşılıklı atom difüzyonu sonucunda taneler arasında boyun oluşarak, kenetlenme gerçekleşir.

Sinterleşme sırasında bünyede oluşan değişimler aşağıda verilmiştir.

1. Bünye pekişir ve mukavemet artar
2. Büzülme meydana gelir (piştirme küçülmesi)
3. Gözeneklerin şekli değişir
4. Ortalama tane boyutu büyür

Şekil 9.1'de, sinterleşme sırasında tanelerin birbirine bağlanması ve gözenek miktarı ile gözeneklerin yapısında meydana gelen değişim görülmektedir.



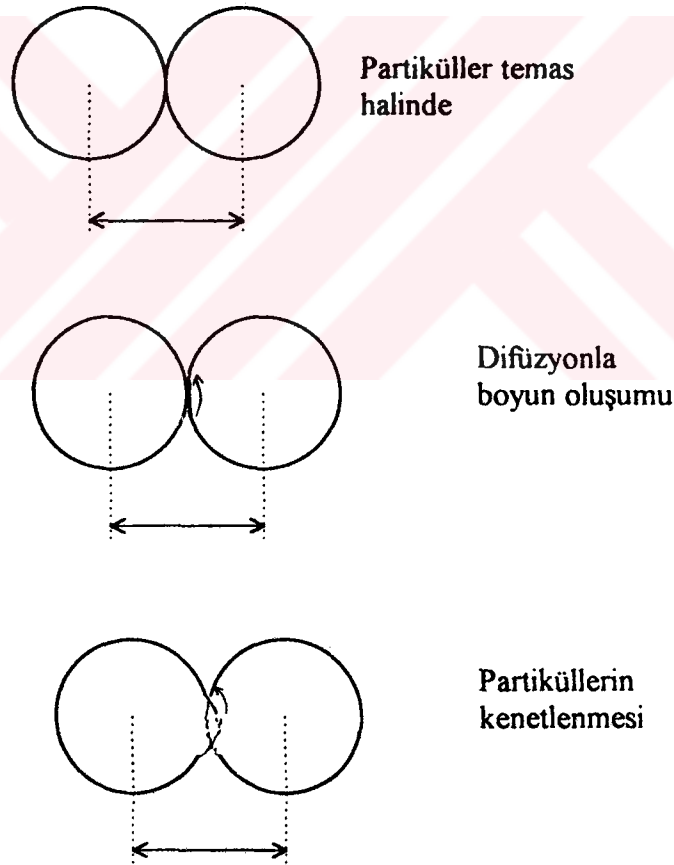
Şekil 9.1. Sinterleşme Sırasında Tanelerin Birbirine Bağlanması ve Gözenek Miktarı ile Gözeneklerin Yapısında Meydana Gelen Değişmeler

Sinterleşme mekanizması, tamamen malzemenin taşınımına dayanır ve atomların difüzyonu (yüzey ve hacimsel) ile viskoz akışı kapsar. Sinterleşme sıcaklığı arttıkça malzemenin taşınımı (difüzyon) artmakta ve yoğunlaşma sağlanmaktadır. Sinterleşmeyi sağlayan itici güç, serbest yüzey enerjisindeki azalmadır.

Sinterleşme mekanizmaları üçe ayrılır.

9.1. Katı Hal Sinterleşmesi

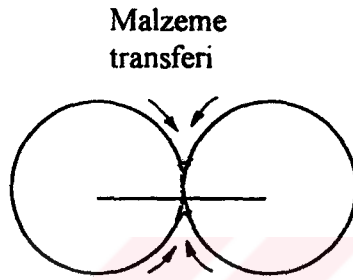
Katı halde sinterleşme, yayınma ile malzemenin taşınımını içerir. Bu proses için gerekli itici güç, boyun bölgesi ile tanenin yüzeyi arasında meydana gelen serbest enerji farkıdır. Şekil 9.2.'de katı hal sinterleşmesinde malzemenin taşınımı şematik olarak görülmektedir.



Şekil 9.2. Katı Hal Sinterleşmesinde Malzemenin Taşınımı ile Boyun Oluşumu ve Tanelerin Kenetlenmesi

9.2. Buhar Fazı Sinterleşmesi

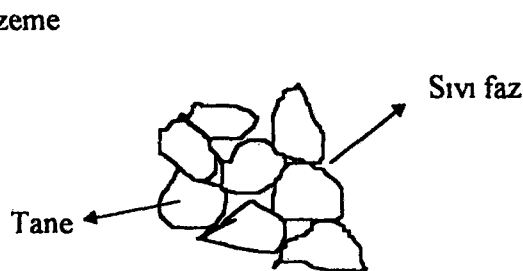
Bu prosesi iten güç, yüzey eğriliği nedeniyle buhar basıncında meydana gelen farktır. Tozların yüzeyi pozitif eğrilik yarıçapına eşit olup, buhar basıncı yüksektir. Diğer taraftan iki tanenin birbirine temas ettiği boyun bölgesinde ise eğrilik çapı negatif olup, buhar basıncı düşüktür. Buhar fazı sinterleşmesinde, sinterleşmenin ilk adımları Şekil 9.3’de verilmiştir.



Şekil 9.3. Buhar fazı sinterleşmesinde, sinterleşmenin ilk adımları

9.3. Sıvı Faz Sinterleşmesi

Bu proseste, sinterleşme sıcaklığında fazlardan biri vizkos haldedir. Bu durum, özellikle ergime noktaları birbirinden çok farklı malzemelerin sinterleşmesinde görülür. Sıvı faz katı haldeki taneleri ıslatır ve taneler arasındaki ince kanallarda yüksek kılcal basınç meydana gelir. Küçük tane boyutlarında; kapiler basınç miktarı daha fazla olup sinterleşme kolaylaşır. Sıvı faz sinterleşmesi, silikat sistemlerinin çoğunda geçerli olan pişirme oluşumudur. Sıvı faz sinterleşmesinde, sinterleşmenin adımları Şekil 9.4’de şematik olarak görülmektedir (34).



Şekil 9.4. Sıvı Faz Sinterleşmesinin Oluşumu

10. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1. Deney Programı

Bandırma Etibank Tesisleri boraks atıklarının, Seyitömer Termik Santrali uçucu küllerinin ve Antalya Elektrometalurji Sanayi silis dumanının yapı malzemesi (tuğla üretiminde) olarak değerlendirilebilmesi imkanlarını araştırmak bu çalışmanın ana amacını oluşturmaktadır.

Deneysel çalışmalar boraks atıklarından borun giderilmesi ve atıkların tuğla üretiminde kullanılması olarak 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Bor atıklarından borun giderilmesi çalışmalarında suyla çözeltme ve soda liçi yöntemi uygulanmıştır. 2. aşamada uçucu kül, içerisindeki bor konsantrasyonu % 80 giderilmiş boraks atığı ve silis dumanı, kil ile değişik oranlarda karıştırılıp, hazırlanmış ve yarı-kuru presleme yöntemi ile silindirik numuneler elde edilmiştir. Daha sonra bu numunelere çeşitli testler uygulanarak özellikleri belirlenmiştir.

10.2. Çalışmada Kullanılan Malzemeler

10.2.1. İnşaat Tuğlası Kili

Çalışmada ana hammadde olarak kullanılan inşaat tuğlası kili Bartın yöresinden olup, Işıklar Holding A.Ş.'den temin edilmiştir. İnşaat tuğlası kili kırıcılardan geçirilerek, istenilen tane boyutuna (-2 mm) getirilmiştir. Kimyasal bileşimi Tablo 10.1'de verilmiştir.

Tablo 10.1. İnşaat Tuğlası Kilinin Kimyasal Analizi

Kimyasal Bileşim	% Ağırlıkça
SiO ₂	60.22
CaO	1.15
MgO	1.04
Fe ₂ O ₃	11.83
Al ₂ O ₃	15.13
Na ₂ O	1.20
Kızdırma Kaybı	9.43

10.2.2. Boraks Atığı

Çalışmada kullanılan boraks atıkları Bandırma Etibank Asit Borik tesislerinden atılmaktadır. Kimyasal analizi Tablo 10.2’de verilmiştir.

Tablo 10.2. Boraks atığı kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim	% Ağırlıkça
B ₂ O ₃	14.01
SO ₄ ²⁻	1.99
CaO	13.53
Na ₂ O	6.87
SiO ₂	13.80
MgO	11.80
SrO	1.15
Al ₂ O ₃	0.94
Fe ₂ O ₃	0.35
As ₂ O ₃	0.0018
Kızdırma kaybı	35.75

10.2.3. Uçucu Kül

Çalışmada kullanılan uçucu kül, Kütahya’nın 30 km kuzeybatısında bulunan Seyitömer Termik Santrali’nden temin edilmiştir. Bu küller tane boyutlarına göre santral tarafından ince ve kalın uçucu kül olarak tanımlanmaktadır. Santral bu silo çıkışlarını birleştirerek uçucu külleri karışım halinde atmaktadır. Araştırmada bu karışım kullanılmıştır. Uçucu küllerin kimyasal analizi Tablo 10.3’de verilmiştir.

Tablo 10.3. Uçucu küllerin kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim	% Ağırlıkça
SiO ₂	46.67
CaO	12.37
MgO	4.79
Fe ₂ O ₃	8.41
Al ₂ O ₃	16.10
Na ₂ O	2.58
K ₂ O	2.22
SO ₂	3.07
Kızdırma kaybı	3.01

10.2.4. Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan diğer bir atık silis dumanıdır. Antalya Elektrometalurji Sanayi tesislerinde ferrosilisyum ve sikloferrokrom fırınlarından elde edilen silis dumanının kimyasal analizi Tablo 10.4’de verilmiştir.

Tablo 10.4. Silis dumanı kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim	% Ağırlıkça
SiO ₂	90.80
CaO	2.55
MgO	0.94
Fe ₂ O ₃	1.93
Al ₂ O ₃	1.02
SO ₄ ²⁻	0.49
Kızdırma kaybı	1.57

10.3. Bor Atıklarından Borun Geri Kazanılması Deneyleri

10.3.1. Suyla Çözündürme Deneyleri

Boraksın suda çözündüğü bilinmektedir. Bandırma Etibank Tesislerinden alınan % 14.01 B_2O_3 içerikli konsantre, çözündürme tanklarına alınarak 98 °C sıcaklıkta ve oda sıcaklığında farklı sürelerde karıştırılıp, bekletildikten sonra B_2O_3 'ın çözeltiye geçmesi sağlanmaktadır.

Deney Şartları :

Numune miktarı	: 5 gram kuru
Tane iriliği	: 0.2 mm
% B_2O_3	: % 14.01
Bulamaç hacmi	: 100 ml
Karıştırma hızı	: 600 devir/dak.

Sıcaklığın ve karıştırma süresinin etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerin sonuçları aşağıda verilmiştir.

Tablo 10.5. Oda sıcaklığındaki ve 98 °C'deki suya numune katılarak yapılan çözeltiye alma deneylerinin sonuçları

Bekletme (saat) (Oda Sıcaklığı)	% Toplam Çözünürlük
1	32.86
2	25.00
3	10.06
Kaynatma (dak)(98 °C)	% Toplam Çözünürlük
10	26.25
20	25.07
30	24.45

10.3.2. Bandırma Boraks Atıklarının Soda Liçi

Bu çalışmada, yaklaşık % 14 konsantrasyonundaki Bandırma boraks atıklarının soda liçi ile değerlendirilmesi araştırılmıştır. Bu amaçla boraks atıklarının Na_2CO_3 ve NaHCO_3 liçi, daha önce yapılan Kırka boraks atıklarının soda liçi ile değerlendirilmesi çalışmasında (9) araştırılan parametrelerden optimum sıcaklık, katı/sıvı oranı ve çözeltme süresi verileri kabul edilip, değişik çözücü oranları denenerek başarılı sonuçlar alınmıştır.

Soda liçi deneylerinde Na_2CO_3 ve NaHCO_3 ayrı ayrı çözücü olarak kullanılmış ve buna bağlı çözeltme verimleri belirlenmiştir. Optimum Na_2CO_3 miktarının belirlenmesi için % 2.5, % 5, % 10'luk sulu çözeltilerde 98 °C'de ve % 20 katı/sıvı oranında ve 40 dakikalık çözeltme süresinde denemeler yapılmıştır. Aynı işlemler optimum NaHCO_3 miktarının belirlenmesi için de yapılmıştır.

Farklı oranlarda hazırlanan çözeltilerle yapılan liçleme sonunda sulu çamur halindeki her bir karışım vakum pompası yardımıyla filtreden geçirilmiştir. Elde edilen filtre keki çok az su ile yıkandıktan sonra etüvde 100 °C'de kurutulmuştur. Kurutulan bor atığı numunesinin B_2O_3 yüzdesini tayin etmek amacıyla potansiyometrik titrasyon yöntemi izlenmiştir. Metodun esaslı asit-baz titrasyonuna dayanmaktadır. Burada titrasyon çözeltisi olarak 0.1 N NaOH kullanılmış ve dönüm noktalarından hesaplamalara gidilmiştir. 1 gram alınan numune HCl'de çözülmüş, mannitol ilavesiyle ;

$$\% \text{B}_2\text{O}_3 = \frac{(56.36) * (\text{Numune titrasyon hacmi})}{(\text{Borik asit titrasyon hacmi})}$$

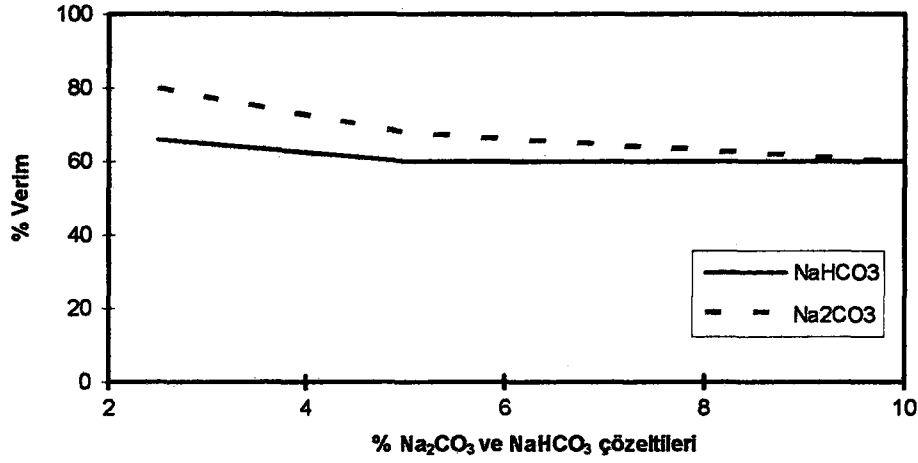
tespit edilmiştir (34).

* Borik asitin B_2O_3 içeriği

Elde edilen B_2O_3 değerleri sonucu atığın çözeltiliye geçme yüzdeleri ve verimleri hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 10.6.'da verilmiş olup Şekli 10.1'dedir.

Tablo 10.6. Farklı çözelti oranlarıyla gerçekleştirilen soda liçinde elde edilen verimler

Çözelti %	NaHCO_3			Na_2CO_3		
	% 2.5	% 5	% 10	% 2.5	% 5	% 10
Verim %	% 66	% 60	% 60	% 80	% 68	% 60



Şekil 10.1. Farklı çözelti oranlarıyla gerçekleştirilen soda liçinde elde edilen verimler

Sonuç olarak, % 2.5'luk Na₂CO₃'ün çözücü olarak kullanılmasıyla % 14.01 B₂O₃ konsantrasyonundaki atıkların %80 verimle çözeltiye geçtiği saptanmıştır.

Dolayısıyla boraksın yaklaşık % 11.20'i çözeltiye geçerek geri kazanılmıştır. Elde edilen içeriği % 2.80 B₂O₃ olan bor atıklarının kimyasal analizi Tablo 10.7'de verilmiştir.

Tablo 10.7. % 2.80 B₂O₃ içerikli bor atığının kimyasal analizi

Kimyasal Bileşim	% Ağırlıkça
B ₂ O ₃	2.80
SO ₄ ²⁻	2.30
CaO	15.71
Na ₂ O	7.96
SiO ₂	16.24
MgO	13.68
SrO	1.33
Al ₂ O ₃	1.09
Fe ₂ O ₃	0.40
As ₂ O ₃	0.0020
Kızdırma kaybı	38.82

Tuğla üretiminde değerlendirilmesi araştırılan atık, elde olunan atığın % 2.80 bor içerikli kısmıdır.

10.4. Atık Katkılı Tuğlaların Yapılışı ve Özelliklerini Etkileyen Faktörler

10.4.1. Hammaddelerin Öğütülmesi

Hammaddeler tabiatta değişik tane iriliğinde bulunurlar. Bu hammaddeler yapılacak imalat türüne göre tane küçültme işlemine tabi tutulur.

Karbonat ihtiva eden parçalar (CaCO_3) iyi öğütülmezse bu parçalar 850 - 900 °C civarında CaO (sönmemiş kireç) haline geçerler. Böyle bir madde içeren ürün havanın rutubeti ve CO_2 ile birleşerek bir hacim büyümesine maruz kalır. Böylece ürünün o noktalarında pul pul dökülmeler olur. Bunu önlemek için karbon içeren parçaları iyice öğütmek ve sıcaklığı arttırarak bu karbonat içeren parçaları oksit değil de silikat oluşturarak tekrar rutubetle şişmeyen hale getirmek gerekir.

Buna karşılık fazla öğütmek de aksine sonuç verir. Hammadde kristalleri küçülerek hepsi aynı boya gelirse plastikliğini kaybeder. Bundan başka yine fazla öğütmeden dolayı reaksiyon fazla olacağından elde edilen üründe deformasyonlar, ateşi çok gören kısımlarda fazla sinterleşmeden dolayı istenmeyen durumlar meydana gelir. Öğütme işlemi, yapılacak ürüne göre ayarlanır. Ürün kaba ise öğütme valslerle yapılır.

Valsler prensip itibari ile ters yönde dönen eşit çaplı iki silindirden meydana gelir. Yüzeyleri düz, dişli veya pürüzlü olabilir. Kil ve kaolen gibi yumuşak maddelerin kırılmasında kullanılırlar. Kırmada kullanılacak silindirlerin çapı, kırılacak malzemenin çapının altı misli büyüklükte olmalıdır. Çevresel hızı m/s olarak silindir çapına yaklaşık eşittir. Toz ve ince tanelerin oluşmaması için silindirlerin aynı hızda dönmesi gerekir.

10.4.2 Plastiklik

Plastiklik talassız şekillendirilebilme kabiliyetidir. Deforme olmaksızın bir şekilden başka bir şekle geçebilme özelliğidir. Kil malzemelerine istenilen şekli verilebilmelidir. Bir kuvvet uyguladığında çatlama ve yırtılma olmaksızın şekli değişebilmelidir. Bazı killerin

plastiklik özelliği çok iyidir. Fakat kurutma sırasında çatlayabilir. Kuruma aşamasında su kolaylıkla çıkamaz parçada şekil bozukluğuna veya çatlamaya neden olur.

İnce taneli killerin plastikliği çok iyidir ve gözenekliliği düşüktür. Kaba taneli killerde ise plastiklik düşük, buna karşılık gözeneklilik yüksektir. Bu iki özellik arasında daima zıtlık vardır.

Su kile azar azar ilave edilir ve kil yoğrulur. Şekillendirme sırasında yırtılma ve çatlamanın meydana gelmediğinin görüldüğü an kullanılan su miktarı kaybedilmiş olur. Su ilavesi süresince karıştırma işlemi uygulanır.

1 cm³ su 1 grama eşittir. 100 gram kile su katıldığı için plastiklik suyu % olarak bulunmuş olur. İnce taneli plastik killerde, plastiklik suyu % 40, kaba taneli killerde % 25 kadardır.

10.4.3. Harmanlama ve Kalıplama

Harmanlama işleminde tane boyutu ve plastik şekillendirmeyi sağlayan su miktarı çok önemlidir. İnşaat tuğlası kili ve atıklar laboratuvar tipi öğütme cihazında öğütülerek, -2 mm. elekten geçirilmiştir. Sonra atık katkısız ve değişik oranlarda atık katkılı karışımlar hazırlanmıştır.

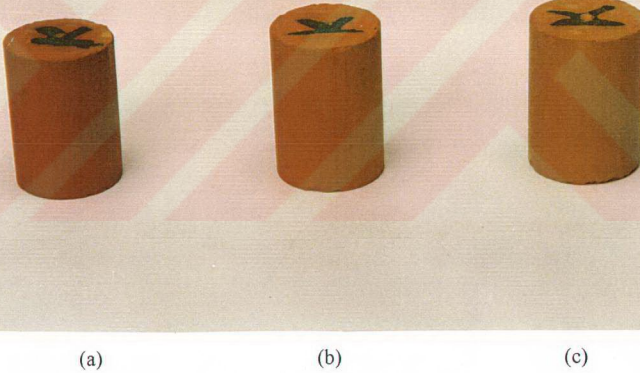
Karıştırma işlemi, tane boyutunu değiştirmeden, porselen bir havanda, spatül yardımıyla yapılmıştır. Homojen bir karışım elde edilmesine dikkat edilmiştir. Hazırlanan karışımlar, %18 (ağırlıkça) oranında su ilavesiyle iyice yoğrulmuştur.

Bu karışımlardan, ST 52 çeliğinden yapılmış silindirik kalıp ile, 10 bar presleme basıncı uygulanarak, ortalama 23 mm çapında ve 30 mm yüksekliğinde numuneler elde edilmiştir. Preslemede 10 tonluk Mohr-Feddehoft çekme-basma makinası kullanılmıştır.

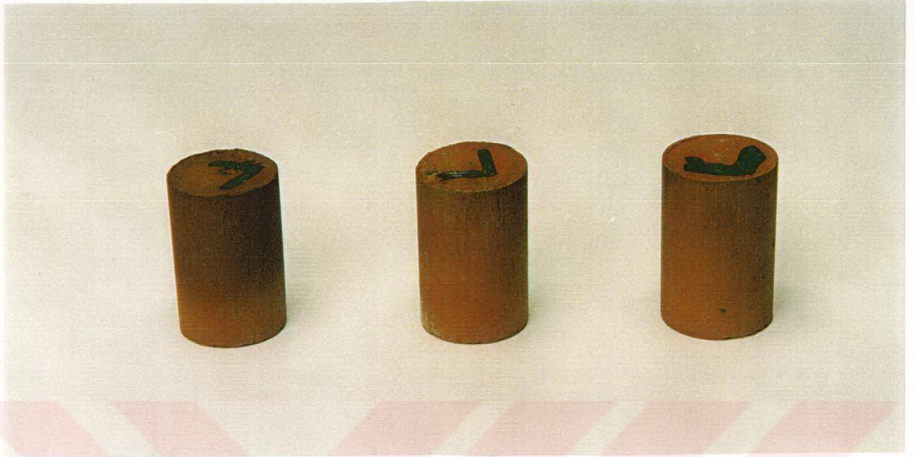
10.4.4. Kurutma ve Pişirme

Her bir karışımdan yarı kuru presleme yöntemi ile 12 adet üretilen deney numuneleri, elektrikli etüvde (MAS Laborteknik) 110 °C'de 10 saat bekletilerek kurutulmuştur. Kurutma işleminden sonra, her bir karışımdan hazırlanan numunelerin 4'ü 970 °C'de, 4'ü 1000 °C'de ve diğer 4'ü ise 1030 °C'de 200 °C/saat ısıtma hızına sahip iki ayrı elektrikli fırında (STUART SCIENTIFIC FURNACE ve NÜVE MF 120) iki saat bekletilerek pişirilmiştir.

Farklı sıcaklıklarda pişirilen numuneler Şekil 10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6 ve 10.7'de görülmektedir.



Şekil 10.2. (a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C'de pişirilen atık katkısız kil numuneleri



(a)

(b)

(c)

Şekil 10.3. (a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı kil numuneleri



(a)

(b)

(c)

Şekil 10.4. (a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı kil numuneleri



(a)

(b)

(c)

Şekil 10.5. (a) 1000 °C, (b) 1030 °C ve (c) 970 °C’de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı kil numuneleri

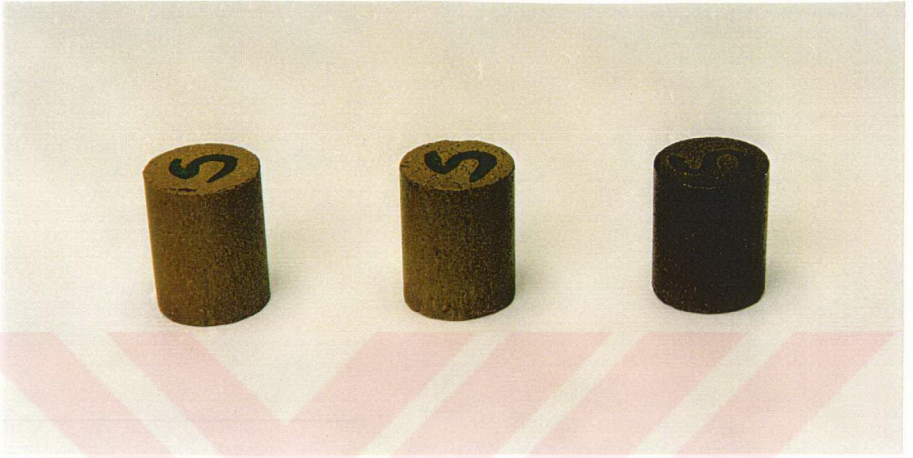


(a)

(b)

(c)

Şekil 10.6. (a) 970°C, (b) 1000 °C ve (c) 1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu katkılı numuneler



(a)

(b)

(c)

Şekil 10.7. (a) 970°C, (b) 1000 °C ve (c) 1030 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numuneler

10.5. Deney Numunelerine Uygulanan Test Yöntemleri

10.5.1. Kuruma, Pişme, Toplam Küçülme ve Kızdırma Kaybı

Silindirik deney numunelerinde meydana gelen kuruma (KK), pişme (PK) ve toplam küçülmeler (TK) aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kuruma Küçülmesi (KK)} = \frac{h_0 - h_k}{h_0} \times 100$$

$$\% \text{ Pişme Küçülmesi (PK)} = \frac{h_k - h_p}{h_k} \times 100$$

$$\% \text{ Toplam Küçülme (TK)} = \frac{h_0 - h_p}{h_0} \times 100$$

h_o = Presleme sonrası yükseklik (mm)

h_k =Kurutma sonrası yükseklik (mm)

h_p = Pişirme sonrası yükseklik (mm)

Numunelerin pişirilmesi sırasında; bünyelerindeki karbonun oksitlenmesi, sülfatların gaz şekline dönüşmesi ve kristal suların uzaklaşması sonucu ağırlıklarında bir azalma görülmüştür. Kızdırma kaybı (KKa) olarak isimlendirilen bu azalma, aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kızdırma Kaybı (KKa)} = \frac{w_k - w_p}{w_k} \times 100$$

w_k : Kurutma sonrası ağırlık (kg)

w_p : Pişirme sonrası ağırlık (kg)

10.5.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluğu

Etüvde 110 °C'de kurutulan numuneler tartılıp (w_k) uygun bir kaba konulduktan sonra, numuneler yarisına kadar suya batırılmış ve 5 dakika beklenmiştir. Kap bir ocak üzerine konarak ısıtılmış ve su kaynama noktasına yaklaşınca, numunelerin tümü su içerisinde kalacak şekilde kaba su ilave edilmiştir. 5 dakika kaynadıktan sonra oda sıcaklığına soğutulup, ince bir iplik bağlanan numuneler, teraziye asılarak su içerisinde tartılmıştır (w_b). Numuneler sudan çıkarılarak yüzeydeki ıslaklık kaba bir kağıt ile alınmış ve havada yeniden tartılmıştır (w_c). Bu tartımlardan aşağıdaki formüllere göre, gözenek yüzdesi (G) ve bulk yoğunluğu (d_b) bulunmuştur.

$$\% \text{ Gözenek (G)} = \frac{w_c - w_k}{w_c - w_b} \times 100$$

$$\text{Bulk Yoğunluğu}(d_b) = \frac{w_k}{w_c - w_b} \times d_s \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

10.5.3. Su Emme Testi

Yukarıdaki testte olduğu gibi 110 °C’de kurutulan numuneler oda sıcaklığına soğutulup tartılmıştır. Etraflarında suyun hareketlerine imkan verecek şekilde ince iki cam çubuk mesnet üzerine oturtulan numunelere, tamamen su içerisinde kalacak şekilde su ilave edilmiştir. Bir saat kaynatma sonucunda numuneler oda sıcaklığına soğutulup, tartılarak doymuş ağırlıkları tespit edilmiştir. Kuru ve doymuş ağırlıklar yardımıyla, aşağıdaki formüle göre su emme miktarı bulunmuştur.

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{w_{dk} - w_k}{w_k} \times 100$$

w_{dk} : 1 saat suda kaynatma sonrası ağırlık (kg)

w_k : 110 °C’de kurutma sonrası ağırlık (kg)

10.5.4. Basma Mukavemeti Testi

Deney numunelerinin basma mukavemetlerinin bulunmasında, kalıplamada kullanılan çekme-basma cihazından (10 tonluk Mohr-Feddehoft) faydalanılmıştır. Kırılıncaya kadar sürekli artan bir yük uygulanan numunelerin basma mukavemetleri, aşağıdaki formül ile hesaplanmıştır.

$$F_b = \frac{P_k}{A_o}$$

F_b : Basma mukavemeti (N/mm²)

P_k : Kırılma anındaki yük (N)

A_o : Numunelerin basınç uygulanan yüzeyinin alanı (mm²)

11. DENEY SONUÇLARI

11.1. Kuruma, Pişme, Toplam Küçülme ve Kızdırma Kaybı

Kalıplama, kurutma ve pişme işlemleri sonrası deney numunelerinin kuruma, pişme ve toplam küçülmeleri ile kızdırma kaybı değerleri Tablo 11.1 ve 11.2’de görülmektedir.

Şekillerde görülen K, kil tuğlasını; L, kile %10 bor atığı katkı; N, kile %20 bor atığı katkı; O, kile %30 bor atığı katkı; P, kile %20 bor atığı ile % 20 uçucu kül katkı; S, kile %20 bor atığı ile % 10 silis dumanı katkı tuğlaları simgelemektedir.

Kuruma küçülmesi (Şekil 11.1) sadece kil ve kile boraks atığı katkı numunelerde birbirine yakın değerlerdir. Fakat kile boraks atığı ile birlikte uçucu kül ve silis dumanı katkı numunelerde ise kuruma küçülmesinde bir düşüş olduğu görülmektedir.

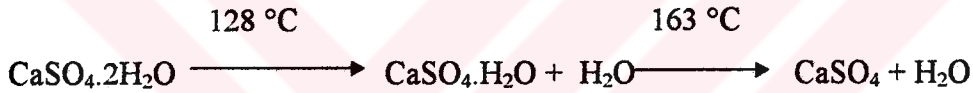
Numunelere şekillendirilmeden önce karışıma ilave edilen su, boraks atığının, uçucu küllerin ve silis dumanının plastiklik özelliği olmadığı için yalnızca kil taneleri tarafından absorbe edilmektedir. Kurutma sırasında numunelerdeki suyun (fiziksel su) buharlaşması sonucu, taneler birbirine yaklaşmakta ve hacimsel bir küçülme olmaktadır.

Pişme küçülmesi (Şekil 11.2), 970 °C’de pişirme sonucu % 0.5 ile 2 arasında değişmektedir. 1000 °C’de pişirmede % 1-2 arasında olup bir artış meydana gelmiştir. Bunun sebebi borun 1000 °C’de silikatlarla birleşip camsı fazdaki borsilikatları oluşturmasıdır. 1030 °C’de pişirmede ise sadece boraks atığı katkı numuneler için % 0.5-1.5 arasında olup, tekrar bir düşüş görülmüştür. Boraks atığı ile birlikte uçucu kül ve silis duman katkı numunelerde ise pişme küçülmesi oranı yükselmiş olup, % 4 civarındadır. Pişme küçülmesini etkileyen faktörlerden birisi uçucu küllerin ve silis dumanının içerdikleri karbonun yüksek sıcaklıklarda CO ve CO₂ olarak uzaklaşmasıdır. Numunelerin pişirilmesi sırasında, erime sıcaklıkları düşük alkali elementlerden oluşan küresel amorf tanelerin ve aglomere tanelerdeki amorf bölgelerin sıvı faz oluşturması ile meydana gelen sıvı faz sinterleşmesi de pişme küçülmesi oluşturmaktadır. Ayrıca uçucu küllerde az miktarda bulunan kristal faz içerisindeki CaSO₄’ün de, 900 - 1200 °C’lerde parçalanması da çok küçük miktarlarda olsa bile küçülmeye yol açmaktadır. Sıcaklık miktarı ile sinterleşme miktarının artması ve CaSO₄’ün daha fazla parçalanması sebebiyle

1030 °C’de pişirilen numuneler pişme küçülmeleri 970 °C ve 1000 °C’de pişirilenlerden daha fazladır.

Kuruma ve pişme küçülmelerinin toplamı olarak ifade edilen toplam küçülme grafiğinde pişme küçülmesine benzer bir şekil görülmektedir (Şekil 11.3).

Atık içermeyen kil numunelerinde kızdırma kaybı (Şekil 11.4) oldukça düşüktür. % 10, % 20 % 30 boraks atığı katkılı kil numunelerinde kızdırma kayıpları da boraks atığı miktarıyla orantılı olarak artmıştır. % 20 Boraks atığı ile birlikte % 20 uçucu kül katkılı kil numunelerinde, uçucu küllerde az miktarda olan kristal fazdaki CaSO_4 harmanlamada plastisiteyi sağlamak için ilave edilen suyla reaksiyona girerek gipsuma dönüşmekte ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)’dir. Daha sonra numunelerin pişirilmesinde, aşağıdaki reaksiyonlara göre gipsumdaki suyun uzaklaşması ile bir ağırlık kaybı meydana gelmekte olup (pişme küçülmesi olmaksızın) tekrar CaSO_4 oluşmaktadır .



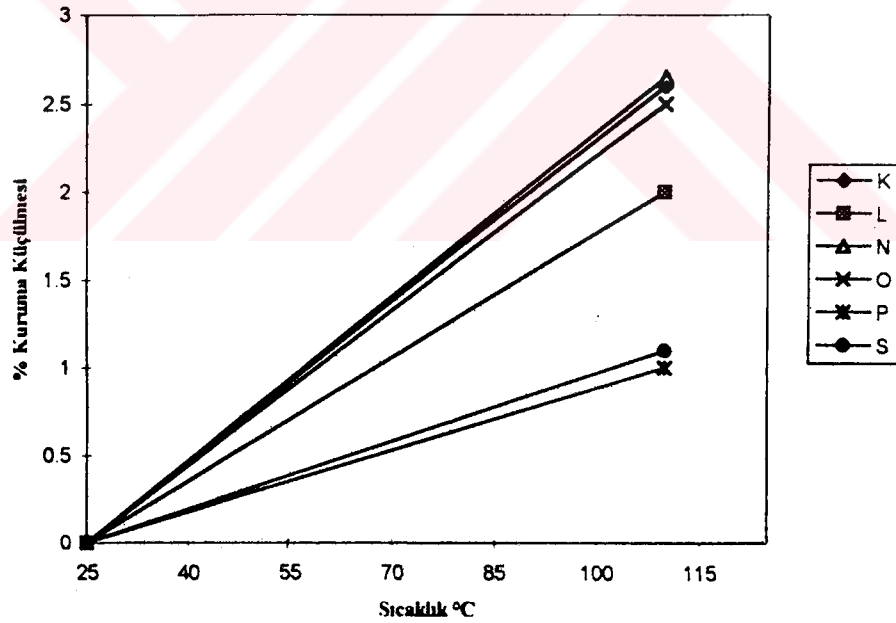
Ayrıca kile değişik oranlarda atık katkılı her bir grubun 970 °C, 1000 °C ve 1030 °C’lerdeki pişirilmeleri sonucunda kızdırma kayıplarında çok fazla bir fark görülmemektedir.

Tablo 11.1. Kuruma ve Pişme Küçülmeleri

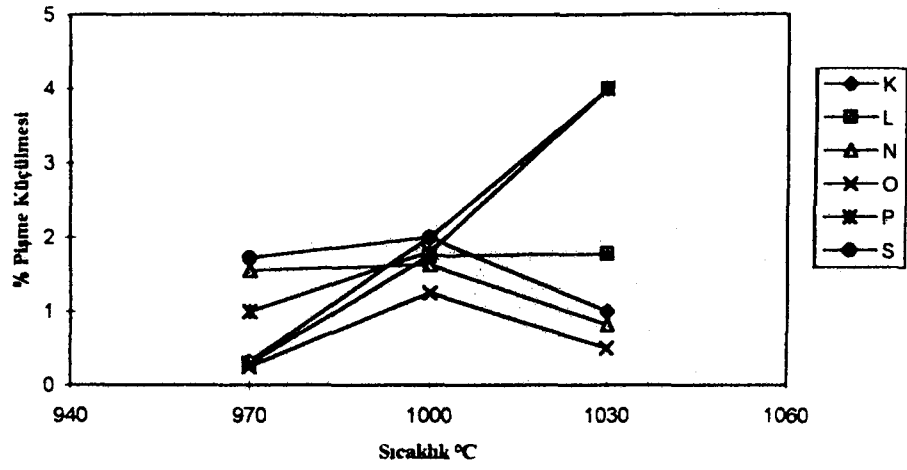
%Karışım	% Kuruma Küçülmesi	% Pişme Küçülmesi		
		$T_p = 970^\circ\text{C}$	$T_p = 1000^\circ\text{C}$	$T_p = 1030^\circ\text{C}$
Kil	2.60	0.32	2.00	1.00
Kil +%10 Boraks Atığı	2.00	0.29	1.75	1.77
Kil +%20 Boraks Atığı	2.65	1.55	1.63	0.82
Kil +%30 Boraks Atığı	2.50	0.25	1.25	0.50
Kil +%20 Boraks Atığı + %20 Uçucu Kül	1.00	1.00	1.80	4.00
Kil +%20 Boraks Atığı + %10 Silis Dumanı	1.10	1.72	2.00	4.00

Tablo 11.2. Toplam Küçülme ve Kızdırma Kayıpları

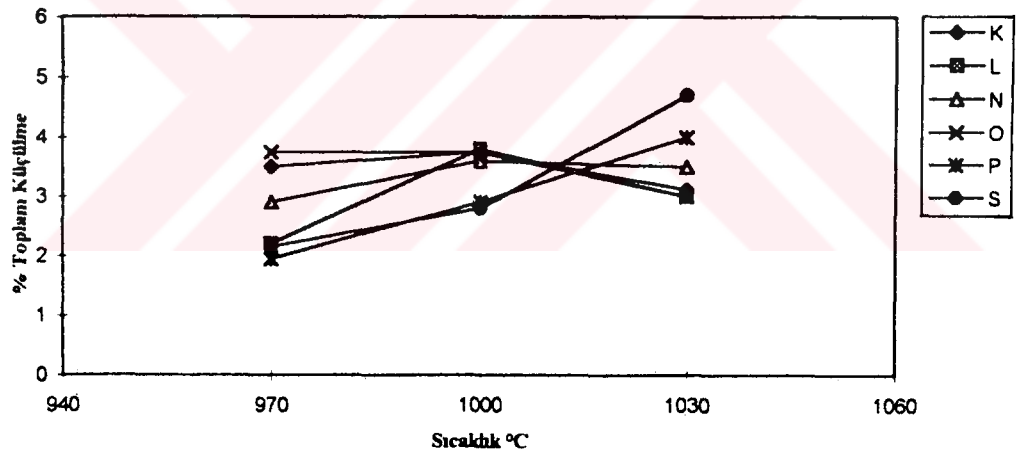
%Karışım	% Toplam Küçülme			% Kızdırma Kaybı		
	$T_p = 970$ °C	$T_p = 1000$ °C	$T_p = 1030$ °C	$T_p = 970$ °C	$T_p = 1000$ °C	$T_p = 1030$ °C
Kil	3.50	3.75	3.12	5.00	5.30	5.20
Kil +%10 Boraks Atığı	2.20	3.80	3.00	6.80	7.15	7.00
Kil +%20 Boraks Atığı	2.90	3.60	3.50	8.65	8.96	8.85
Kil +%30 Boraks Atığı	3.75	3.75	3.00	10.30	10.50	10.35
Kil +%20 Boraks Atığı + +%20 Uçucu Kül	1.95	2.90	4.00	8.80	8.85	9.00
Kil +%20 Boraks Atığı + +%10 Silis Dumanı	2.15	2.80	4.70	9.00	9.00	9.00



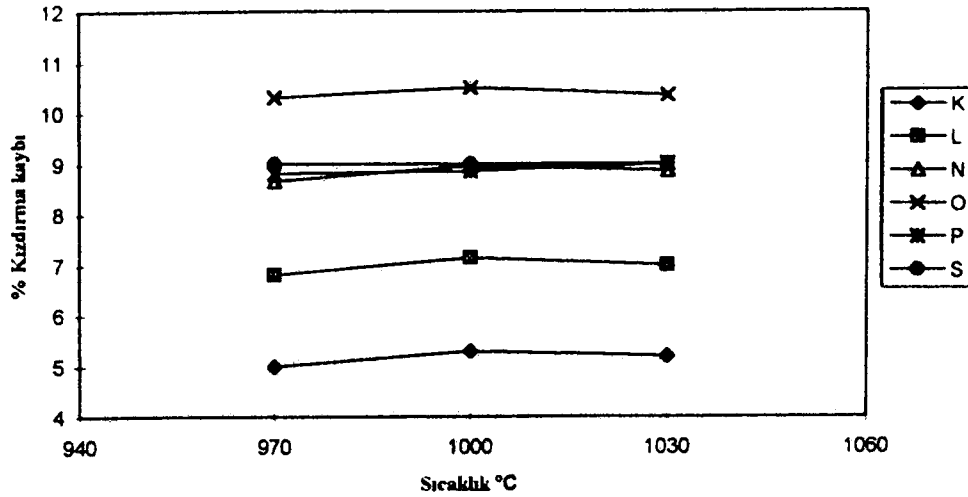
Şekil 11.1. Numunelerin kuruma küçülmesi değişimleri



Şekil 11.2. Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin pişme küçülmesi değişimleri



Şekil 11.3. Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin toplu küçülme değişimleri



Şekil 11.4. Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin kızdırma kayıpları değişimleri

11.2. Gözenek Miktarı ve Bulk Yoğunluğu

Gözenek miktarı ve bulk yoğunluk değerleri Tablo 11.3'te ve bu değerlerin grafikleri de Şekil 11.5 ve 11.6' da verilmiştir.

Gözenek miktarı (Şekil 11.5) sadece kilden oluşmuş numunelerle, kile % 10 ve % 20 boraks atığı katkılı numunelerde birbirine yakın değerler olup, kile % 30 boraks atığı katkılı numunelerde ise biraz daha yüksektir. Fakat bu değerler 970 °C ve 1030 °C'deki pişirmelerde en yüksek olup, 1000 °C'deki pişirme sonrasında ise en düşüktür. Bunun sebebi, sadece bor atığı katkılı numunelerin 970 °C'de pişirilmesi sonucu herhangi bir amorfleşme oluşmaması, 1000 °C'de birden bire meydana gelen amorfleşme ile birlikte sıvı fazın oluşumunu ve gözeneklerin bu sıvı faz ile dolması, 1030 °C'de pişirilme sonucu ise hacimce bir genleşme meydana gelmesidir.

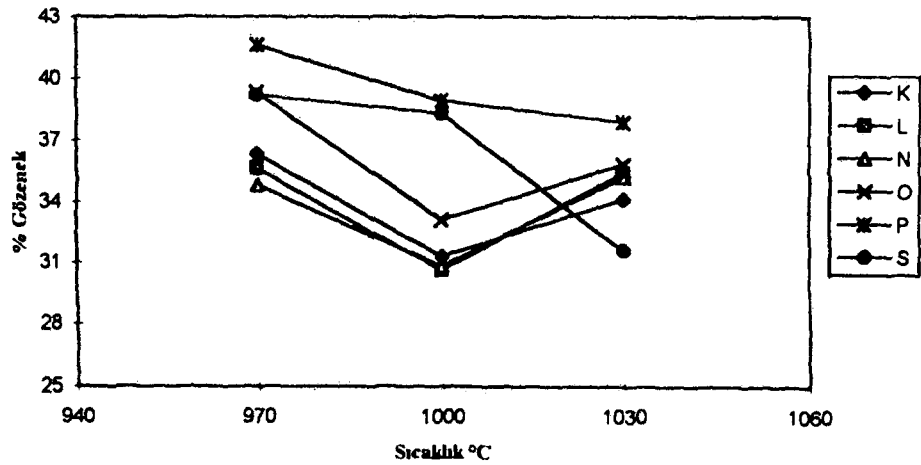
Kile % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı ve % 20 boraks atığı ile % 20 silis dumanı katkılı numunelerdeki gözenek miktarı 970 °C'deki pişirme sonrasında en yüksek, 1000 °C'de pişirme sonrasında biraz daha düşük, 1030 °C'de pişirme sonrasında ise en düşük değerdedir. Kilde ve uçucu küllerde bulunan toprak alkali elementler pişirme sonrasında meydana gelen sinterleşme ile camsı faza dönüşmekte ve sıvı faz sinterleşmesi oluşmaktadır. Numunelerdeki gözeneklerin dolmasına camsı faz sebep olmaktadır. Sinterleşme sıcaklığı arttıkça camsı faz oluşumunda artacağı için, 1030 °C'de pişirilen

numunelerin gözenek miktarı, 1000 °C ve 970 °C'de pişirilen numunelere göre daha azdır.

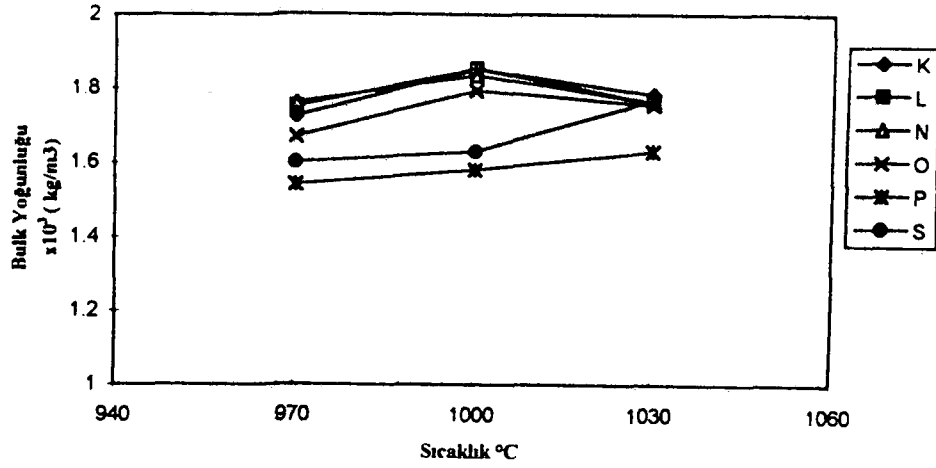
Numunelerin bulk yoğunlukları, gözenek miktarıyla ters orantılı olarak değişmektedir (Şekil 11.6). Sinterleşme sonrası artan sıvı fazla birlikte, yoğunlaşma da artmaktadır.

Tablo 11.3. Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Gözenek Miktarları ve Bulk Yoğunlukları

%Karşım	% Gözeneklilik			Bulk Yoğunluğu (kg/m ³)		
	T _p = 970 °C	T _p = 1000 °C	T _p = 1030 °C	T _p = 970 °C	T _p = 1000 °C	T _p = 1030 °C
Kil	36.3	31.3	34.1	1.725	1.852	1.783
Kil +%10 Boraks Atığı	35.6	30.6	35.4	1.750	1.854	1.761
Kil +%20 Boraks Atığı	34.8	30.8	35.2	1.760	1.834	1.762
Kil +%30 Boraks Atığı	39.3	33.1	35.8	1.670	1.793	1.756
Kil +%20 Boraks Atığı + %20 Uçucu Kül	41.6	38.9	37.9	1.540	1.580	1.630
Kil +%20 Boraks Atığı + %10 Silis Dumanı	39.2	38.3	31.6	1.600	1.630	1.770



Şekil 11.5. Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin gözeneklilik değişimleri



Şekil 11.6. Farklı sıcaklıklarda pişirilen numunelerin bulku yoğunluğu değişimleri

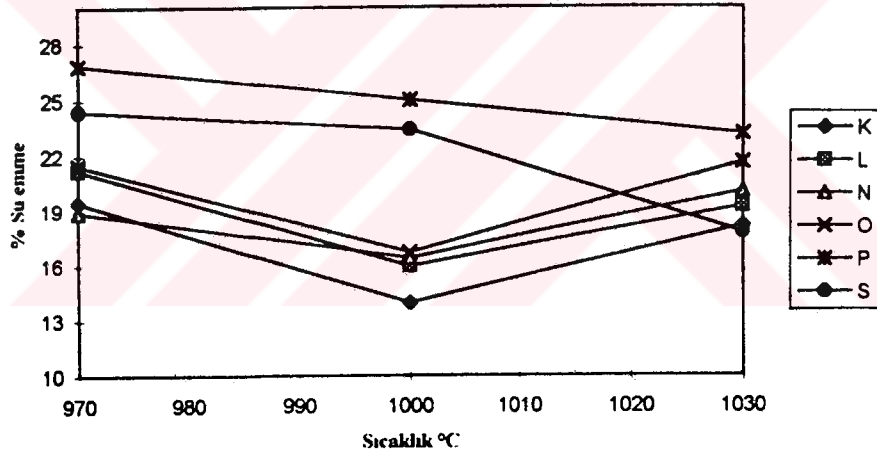
11.3. Su Emme

1 saat suda kaynatma ile belirlenen numunelerin su emme miktarları Tablo 11.4’de ve bu değerlerin grafikleri de Şekil 11.7’de verilmiştir.

Su emme ile gözenek miktarı birbiriyle doğru orantılıdır. Camsı fazın artması sonucu gözenek miktarı ve buna bağlı olarak su emme miktarı azalmaktadır. Kaynatma ile hareket kazanan su, kılcal damarlar ile en küçük gözeneklere de girerek su emme miktarının artmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, pişirme sıcaklığındaki artış ile artan sinterleşme sonucunda, numunelerin gözenek miktarı azalmakta ve dolayısıyla su emme miktarlarında da azalma görülmektedir.

Tablo 11.4. Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Numunelerin Su Emme Miktarları

%Karışım	% Su Emme		
	$T_p = 970\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_p = 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T_p = 1030\text{ }^{\circ}\text{C}$
Kil	19.46	13.95	18.13
Kil +%10 Boraks Atığı	21.19	15.96	19.22
Kil +%20 Boraks Atığı	18.90	16.40	20.04
Kil +%30 Boraks Atığı	21.50	16.73	21.61
Kil +%20 Boraks Atığı + %20 Uçucu Kül	26.85	25	23.16
Kil +%20 Boraks Atığı + %10 Silis Dumanı	24.41	23.42	17.81

**Şekil 11.7.** Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin su emme miktarlarındaki değişimleri

11.4. Basma Mukavemeti

Deney Numunelerinin basma mukavemetleri Tablo 11.5’de ve bu değerlerin grafikleri de Şekil 11.8’de verilmiştir.

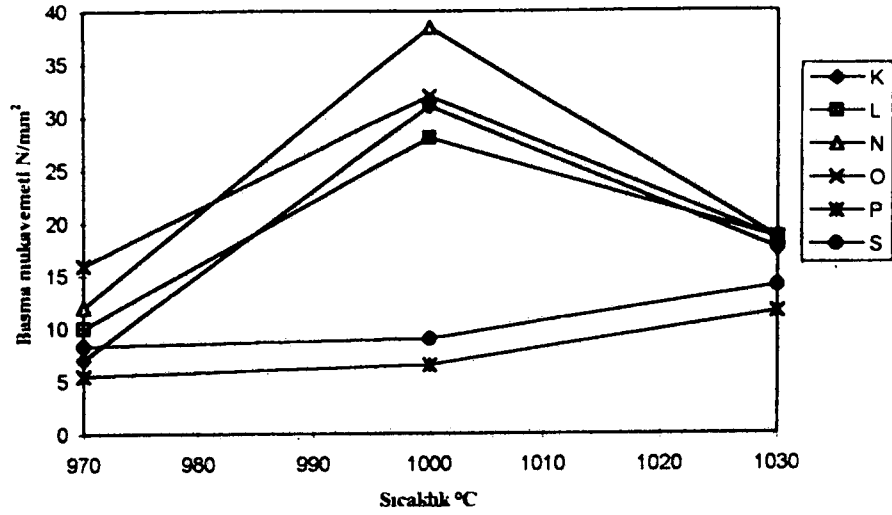
Basma mukavemeti, sadece kilden oluşmuş numunelerle, kile % 10, %20 ve %30 boraks atığı katkılı numunelerde 970 °C’de pişirme sonucunda hemen hemen aynı

değerlerde olup, bu numunelerin 1000 °C'de pişirilmesi ile basma mukavemetlerinde yine fazla bir artış görülmemiştir. Oysaki 1030 °C'de pişirme sonucunda -özellikle pişirme sıcaklıklarının artışı ile- tüm numunelerin basma mukavemetlerinde dikkate değer bir yükselme görülmüştür. Basma mukavemetindeki artış % 20 boraks atığı katkılı numuneler için en fazladır.

Diğer yandan, kile % 20 boraks atığı ile birlikte % 20 uçucu kül katkılı numuneler ve kile % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunelerin 970 °C, 1000 °C ve 1030 °C'de pişirilmeleri sonucu basma mukavemetlerinde çok fazla bir artış görülmemiştir. Bunun sebebi ise, sinterleşme sıcaklığı artışının boraks atığının varlığından dolayı numunelerde camsı fazı arttırdığı ve dolayısıyla gözenek miktarını azaltarak, yoğunlaşmayı arttırdığını ve böylece daha mukavemetli numunelerin elde edildiğini göstermektedir.

Tablo 11.5. Farklı Sıcaklıklarda Pişirilen Numunelerin Basma Mukavemetleri (N/mm²)

%Karışım	Basma Mukavemeti (N/mm ²)		
	T _p = 970 °C	T _p = 1000 °C	T _p = 1030 °C
Kil	7.01	17.5	31.0
Kil +%10 Boraks Atığı	10.0	18.5	28.0
Kil +%20 Boraks Atığı	12.0	18.5	38.5
Kil +%30 Boraks Atığı	16.0	18.4	32.0
Kil +%20 Boraks Atığı + %20 Uçucu Kül	5.5	6.5	11.5
Kil +%20 Boraks Atığı + %10 Silis Dumanı	8.3	9.0	14.0



Şekil 11.8. Farklı sıcaklıklarda pişen numunelerin basma mukavemetleri değişimleri

11.5. Malzemelerin FTIR'da Yapısal İncelenmesi

İnşaat tuğlası kiline farklı oranlarda atıkların aktılmasıyla hazırlanan numunelerin, farklı sıcaklıklarda pişirilmesi öncesinde ve sonrasında FTIR'ları çekilerek meydana gelen yapısal değişimler belirlenmiştir.

Sulu bor minerallerinin yapıları 4 farklı poliedriden oluşur. Bunlar BO_3^{-3} , B(OH)_3 , BO_4^{-5} ve B(OH)_4^{-1} 'dir.

Üç ve dört dönümlü bor içeren sulu boratların kızıl ötesi spektrumlarında absorpsiyon bantlarının bölgeleri şöyledir (34).

- 3600 - 3000 cm^{-1} : $(\text{OH})^{-1}$ uzama ve serbest su bantı
- 2600-2200 cm^{-1} : HCO_3^{-} bantı
- 1660 - 1600 cm^{-1} : Serbest su bantı
- 1500 - 1300 cm^{-1} : Üç dönümlü bor (asimetrik uzama) bantı
- 1450 - 1400 cm^{-1} : B-O uzama bantı
- 1450 - 1410 cm^{-1} : CO_3^{2-} bantı
- 1300 - 1000 cm^{-1} : $(\text{OH})^{-1}$ (düzlem içinde eğilme) bantı

- 1100 - 900 cm^{-1} : Silikatların (bütün çeşitlerinde) belirgin bantı
 1100 - 850 cm^{-1} : Dört dönümlü bor (asimetrik uzama) bantı
 950 - 850 cm^{-1} : Üç dönümlü bor (simetrik uzama) bantı
 850 - 700 cm^{-1} : $(\text{OH})^{-1}$ (düzlem dışı eğilme) bantı ve dört dönümlü bor (simetrik uzama) bantı

Numune toz haline getirildikten sonra içine 1/5 oranında KBr ilave edilmiş ve havanda iyice karıştırılarak homojen bir karışım sağlanmıştır. Daha sonra bu karışım presle sıkıştırılarak tablet haline getirilmiştir. Böylece numuneler IR spektrometresine hazır hale gelmiştir. FTIR'larını çektiğimiz numuneler Şekil 11.9-11.32 arasında görülmektedir.

Yapılan çalışmalarda pişmemiş kil numunesinin FTIR'ı çekildiğinde 1085 cm^{-1} 'de tüm silikatların belirgin özelliği olan uzun ve geniş pik göze çarpmaktadır. 3624-3420 cm^{-1} 'de kristal içinde bağlı olan OH grubu, 1656 cm^{-1} 'de serbest su bantı, 2400-2600 cm^{-1} 'de ise HCO_3^- bantı mevcuttur.

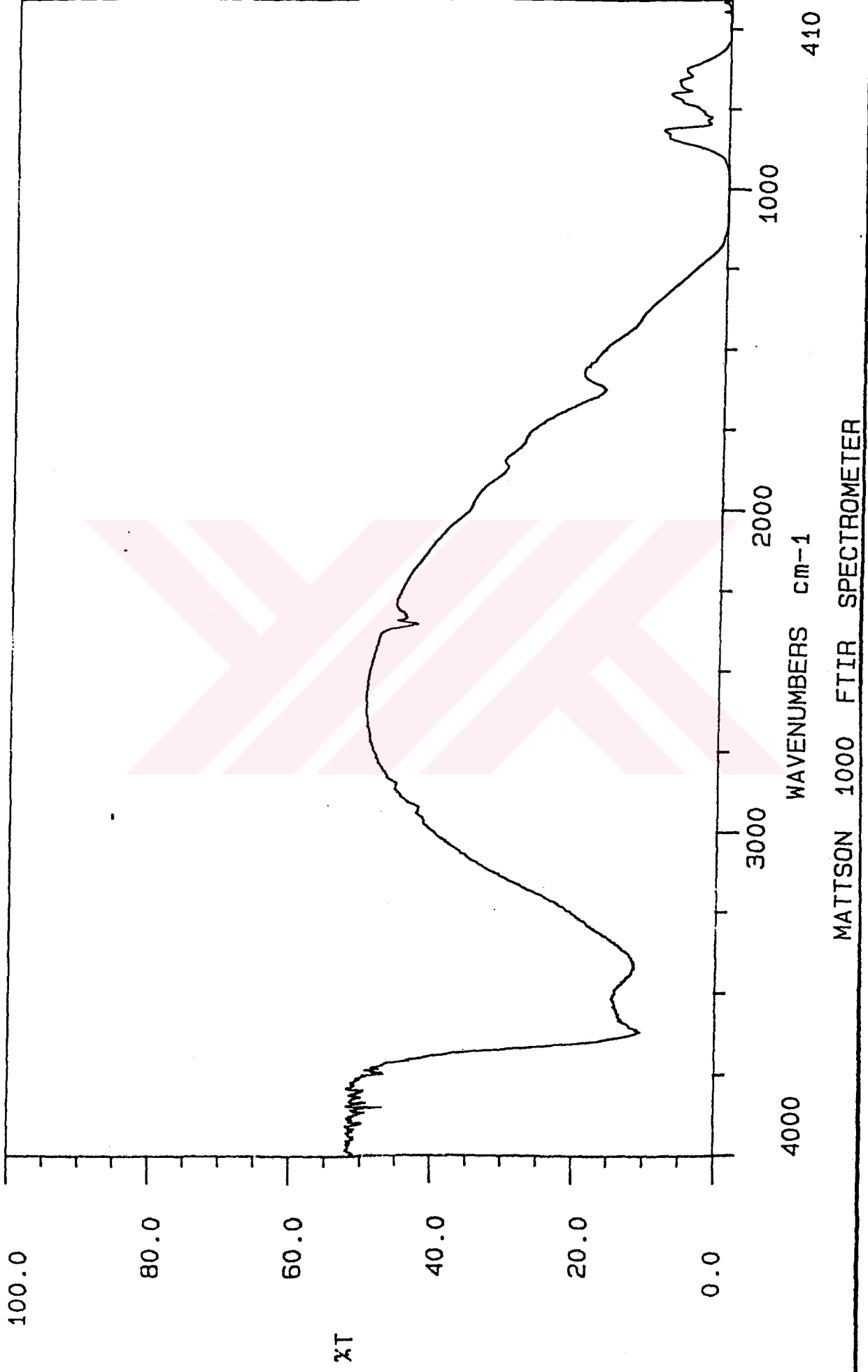
Boraks atığının FTIR'ında 3400 cm^{-1} 'de OH⁻¹ uzama ve serbest su bantı (1420 cm^{-1} 'de üç dönümlü bor (simetrik) uzama bantı), 950 cm^{-1} 'de dört dönümlü bor (simetrik) uzama bantı, 830 cm^{-1} 'de OH⁻¹ grubu (düzlem dışı eğilme) bantları mevcuttur.

Numuneler 970 °C, 1000 °C ve 1030 °C'de pişirildikten sonra çekilen FTIR'larda genel olarak 970 °C'de kristal içinde bulunan OH grupları kaybolmakta, onun yerine daha dar bir bant meydana gelmektedir. Fakat SiO₂ bantının (1100 cm^{-1}) hala bulunduğu, diğer piklerde ise küçülmelerin olduğu, görülmektedir. Bunun anlamı kristal yapıda deformasyonların oluşmasıdır. 1000 °C'de amorflaşmaya doğru bir eğilim görülmektedir. Su bantının daha da küçülüp, genişlediği fakat SiO₂ bantının hala belirgin halde olduğu gözlenmektedir. 1030 °C'de ise tamamen bir amorflaşma olduğunu görüyoruz. Yalnızca silikatların karakteristik bantı 1085 cm^{-1} 'den 1060 ve 1070 cm^{-1} 'lere doğru kaydığı ve halen mevcut olduğu özellikle uçucu kül ve silis dumanı katkılı numuneler görülmektedir. Pişirilmiş numunelerin FTIR'larında az da olsa görülen 3500 cm^{-1} dolaylarındaki OH grubu uzama ve su bantlarının küçülmüş pikleri analizlerde kullanılan KBr'den ileri gelmektedir.

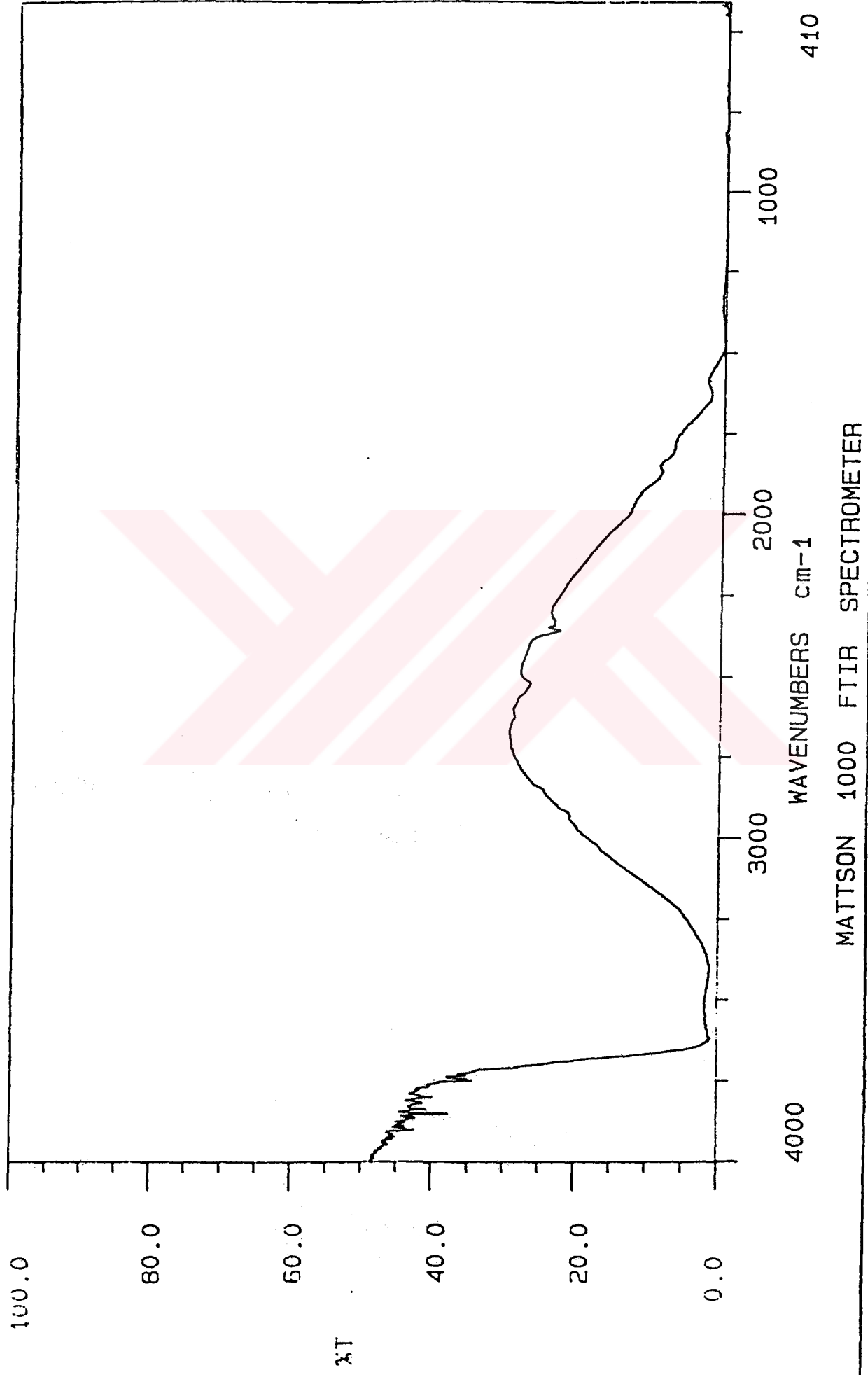
Mineraller arasında boratlar ; bor üçgenlerinin ve tetraederlerinin çeşitli kombinezonları ile bireyler, zincirler, tabaka ve çerçeve yapısı oluştururlar bu bakımdan silikatlara benzer bir yapı gösterirler.

İncelemekte olduğumuz numunelerin kızılötesi spektrumları Mattson 1000 FTIR spectrometer cihazında çekilmiş ve $4000-650\text{ cm}^{-1}$ bölgesinde frekansları alınmıştır.

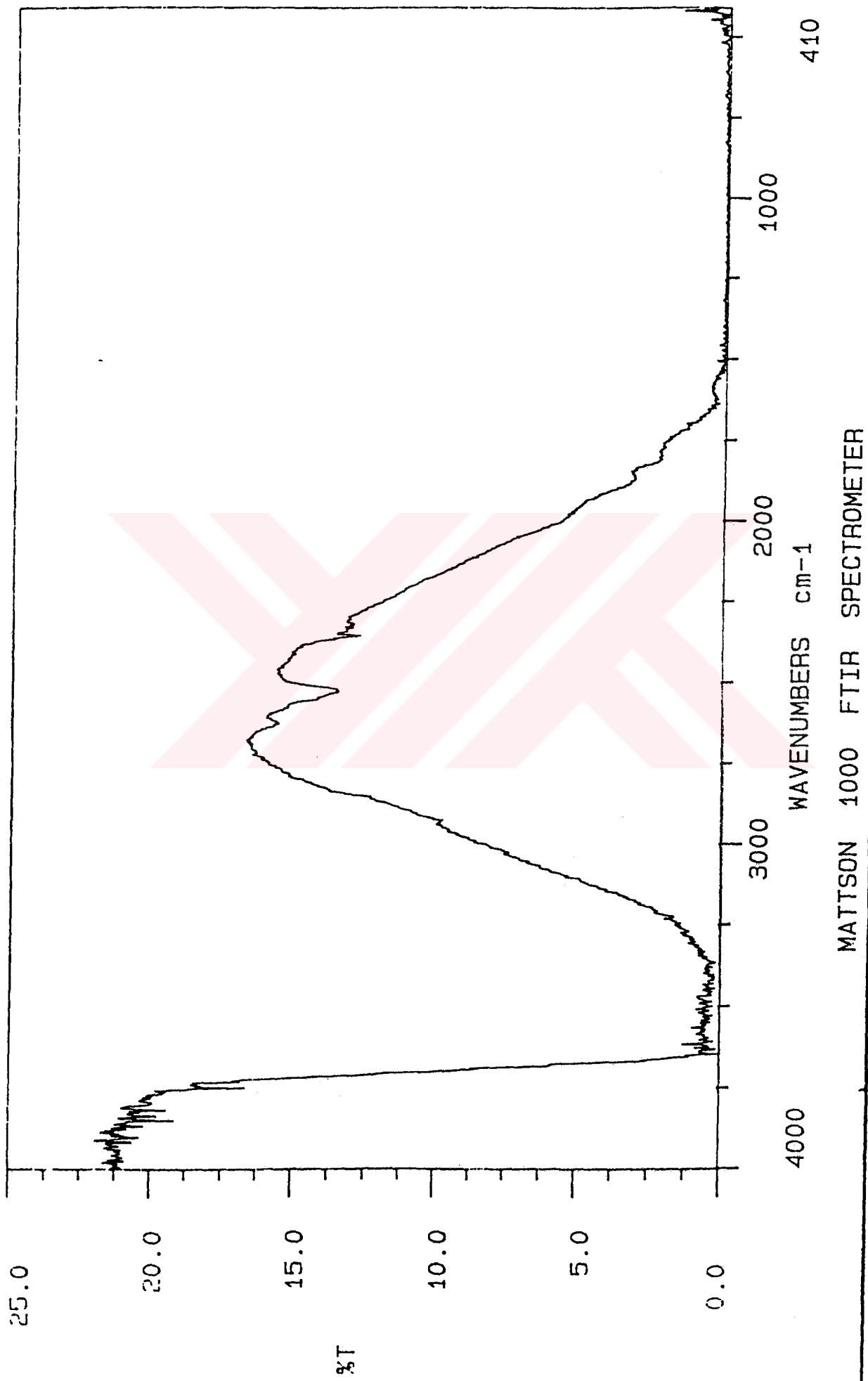




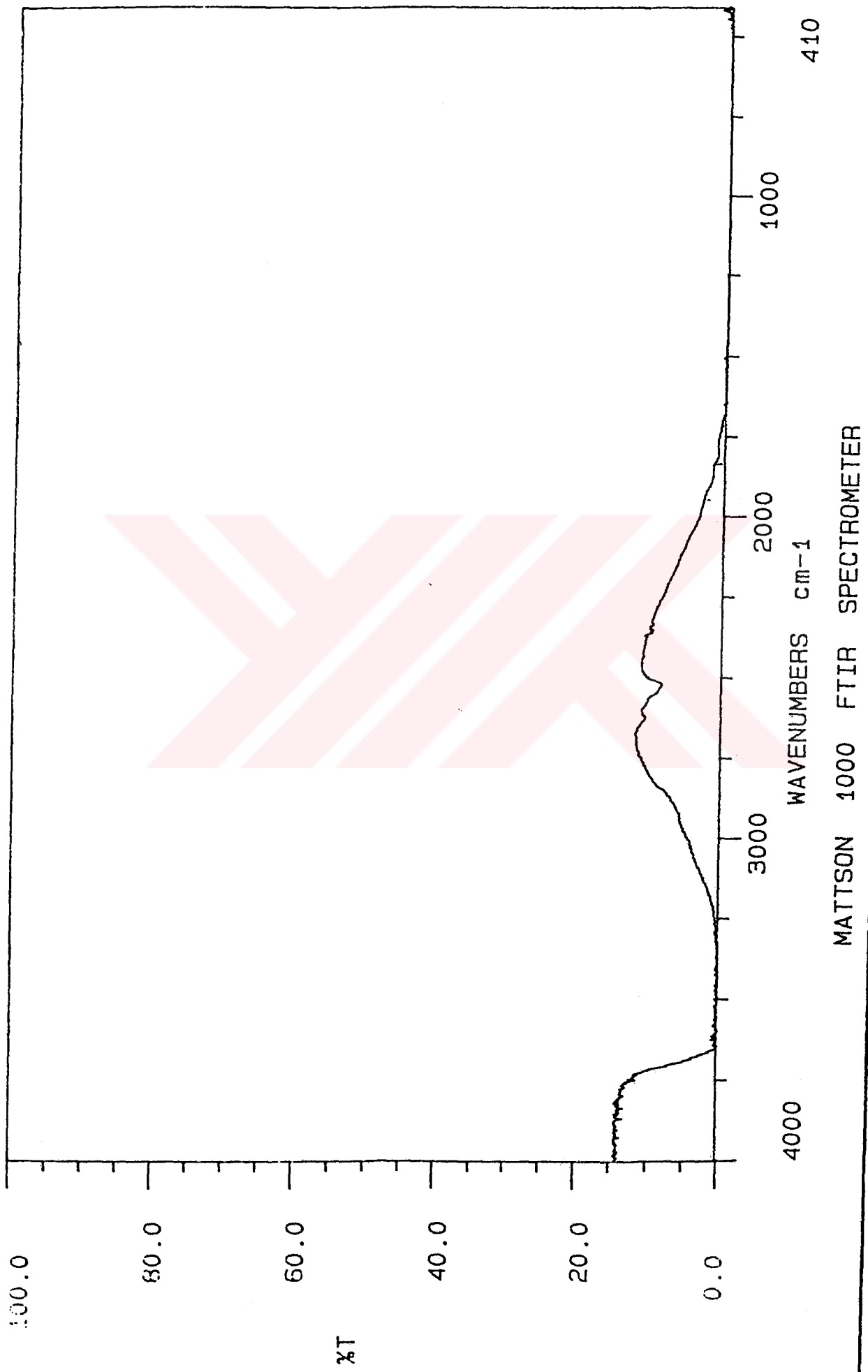
Şekil 11.9. Pişmemiş katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu



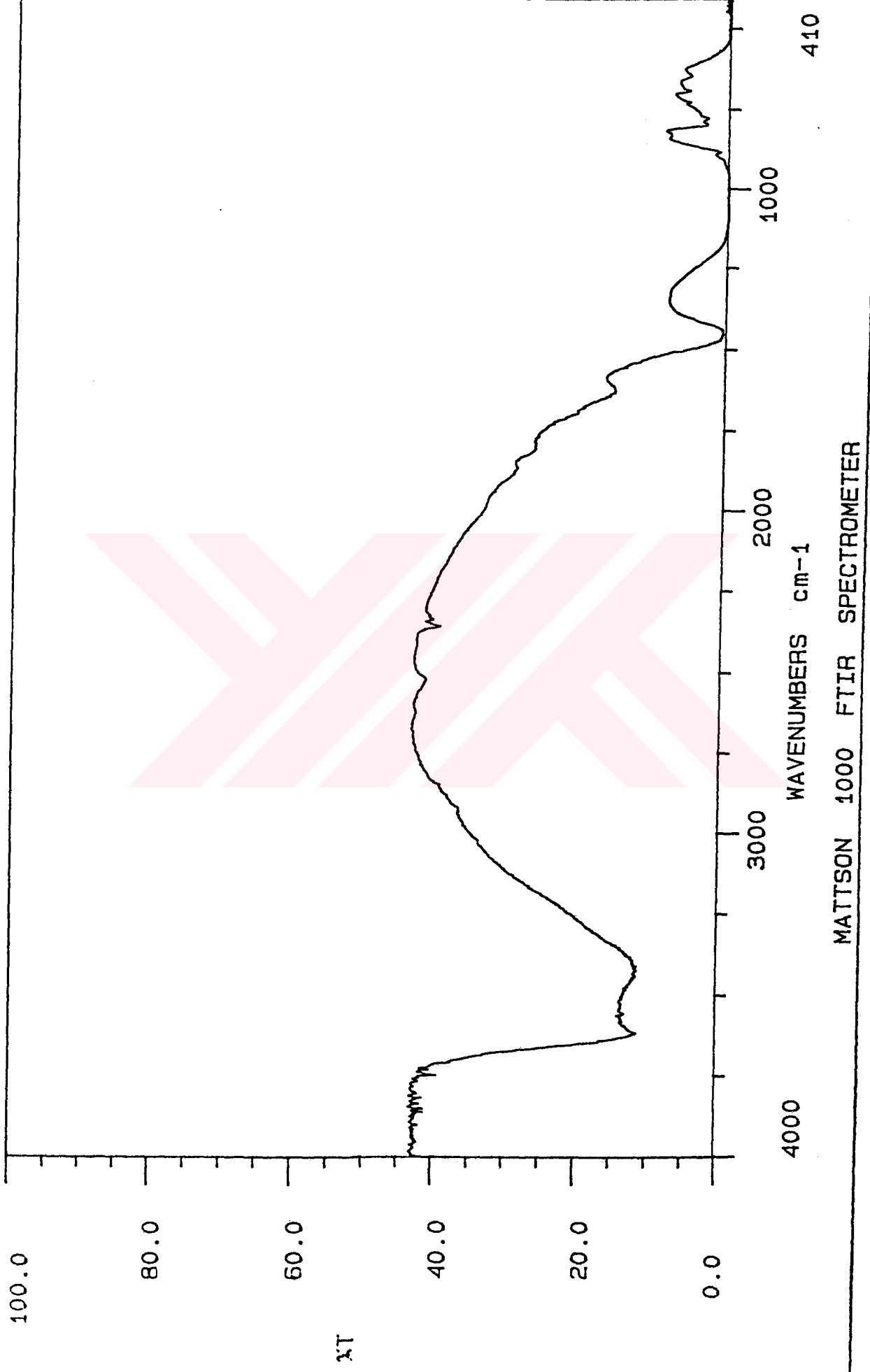
Şekil 11.10. Pişmemiş % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



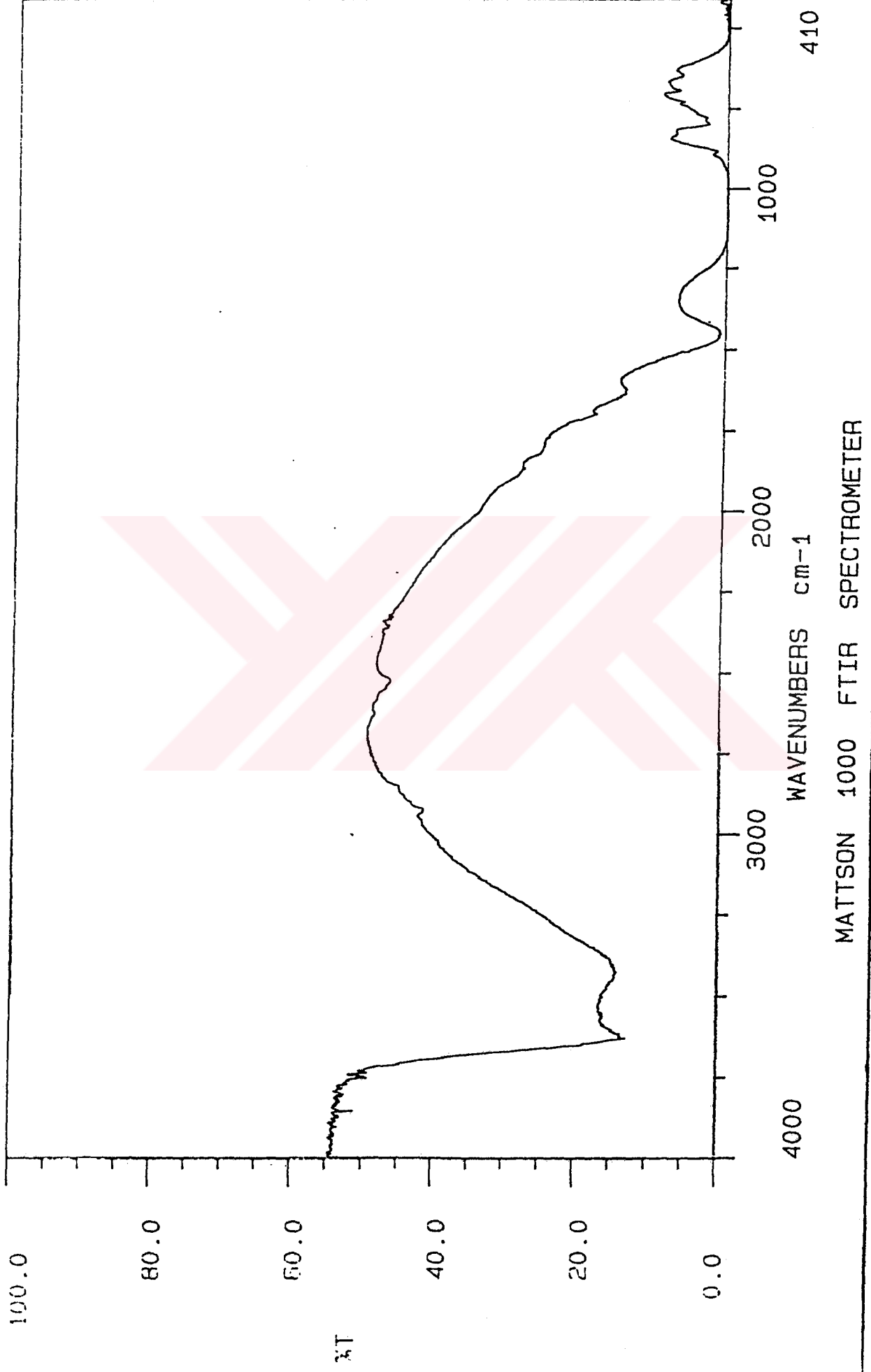
Şekil 11.11. Pişmemiş % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



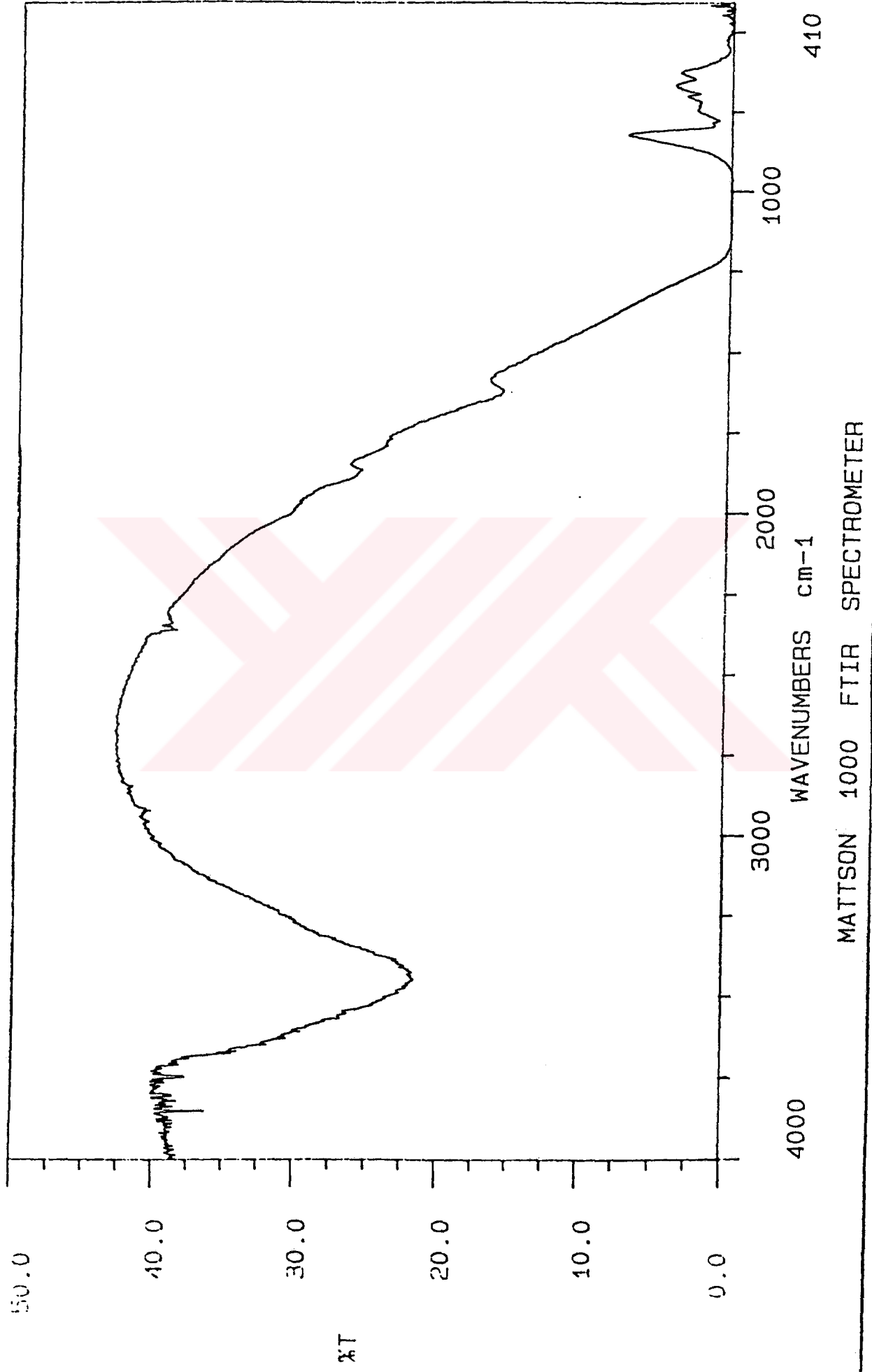
Şekil 11.12. Pişmemiş % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



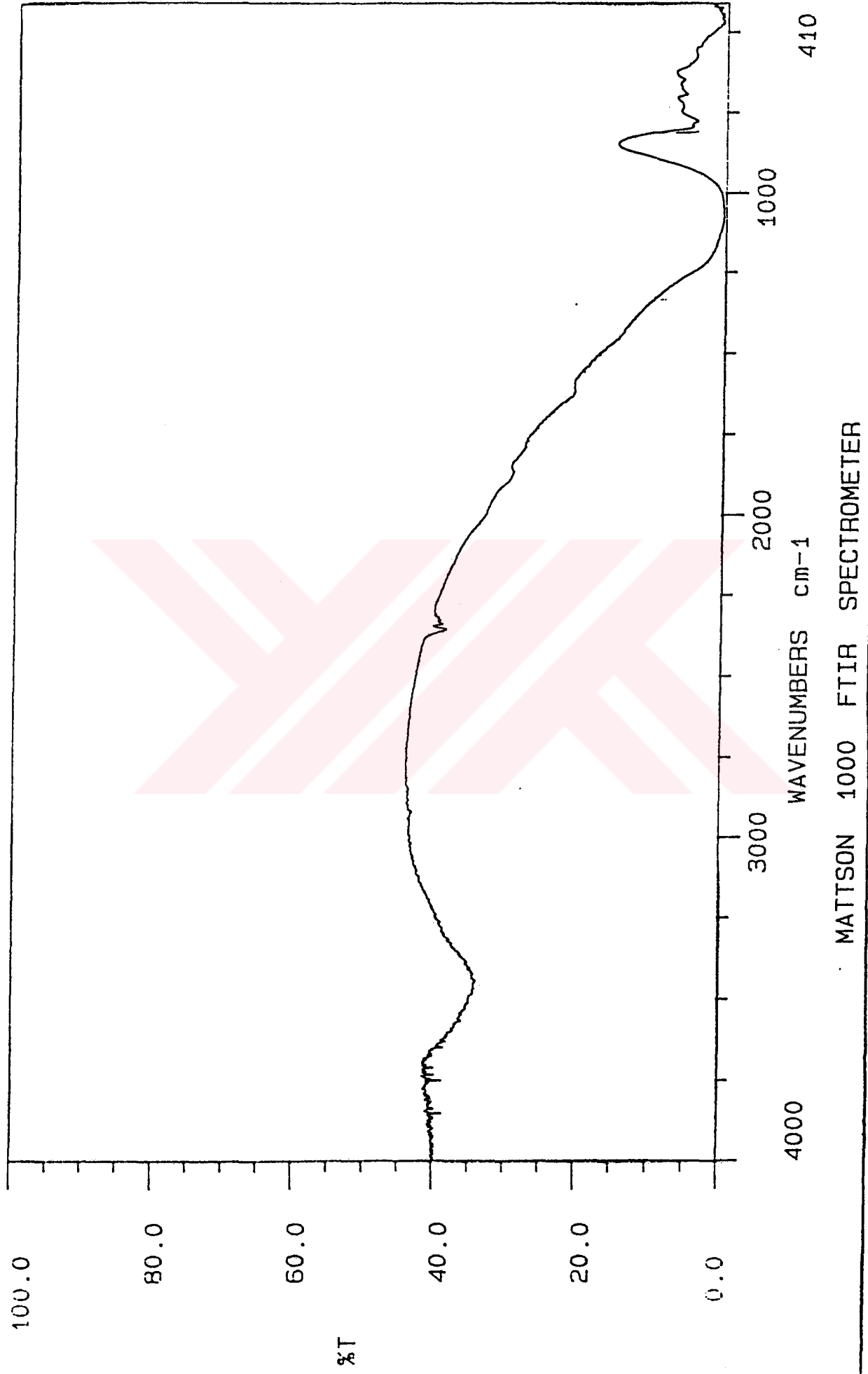
Şekil 11.13. Pişmemiş % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu



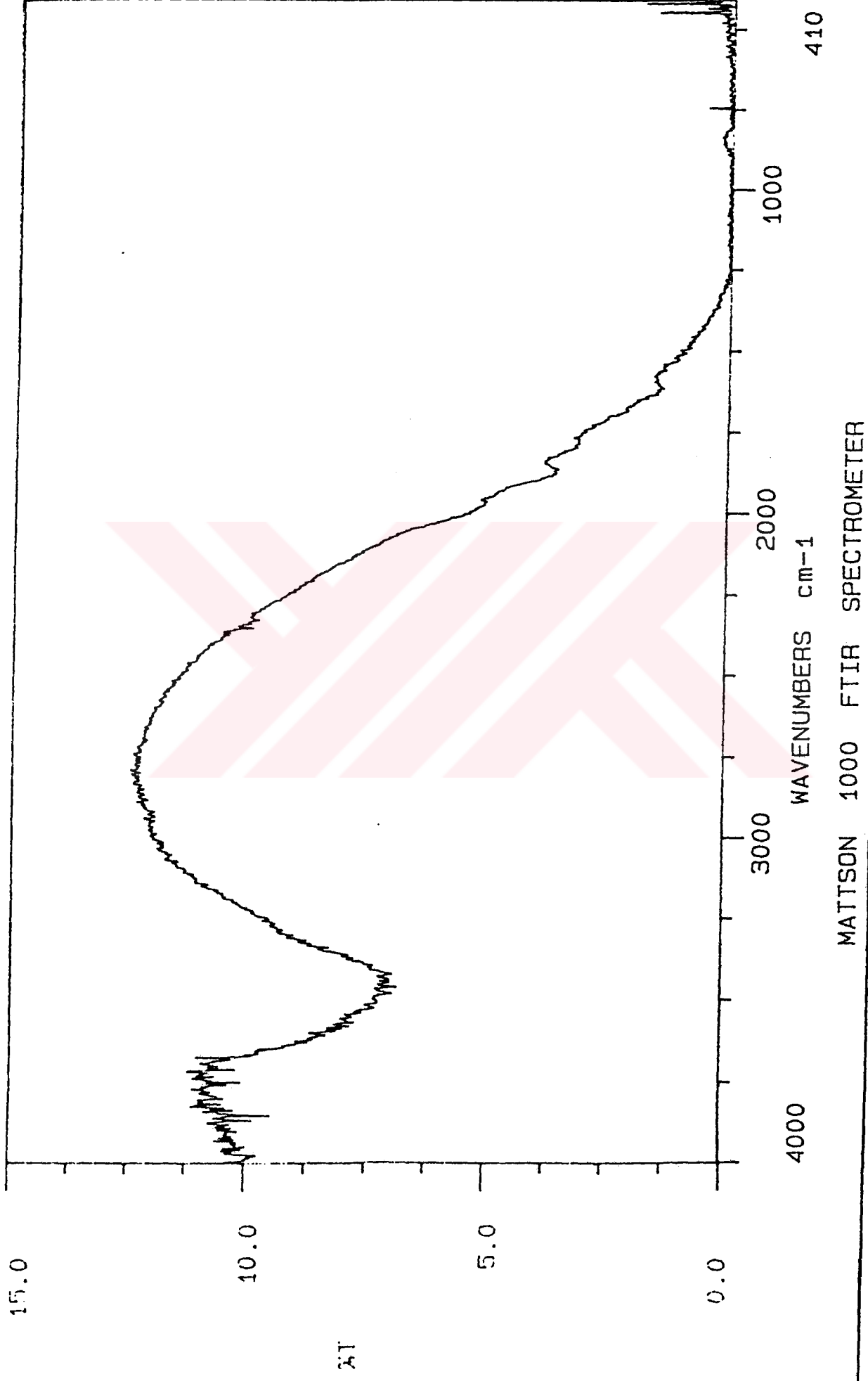
Şekil 11.14. Pişmemiş % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu



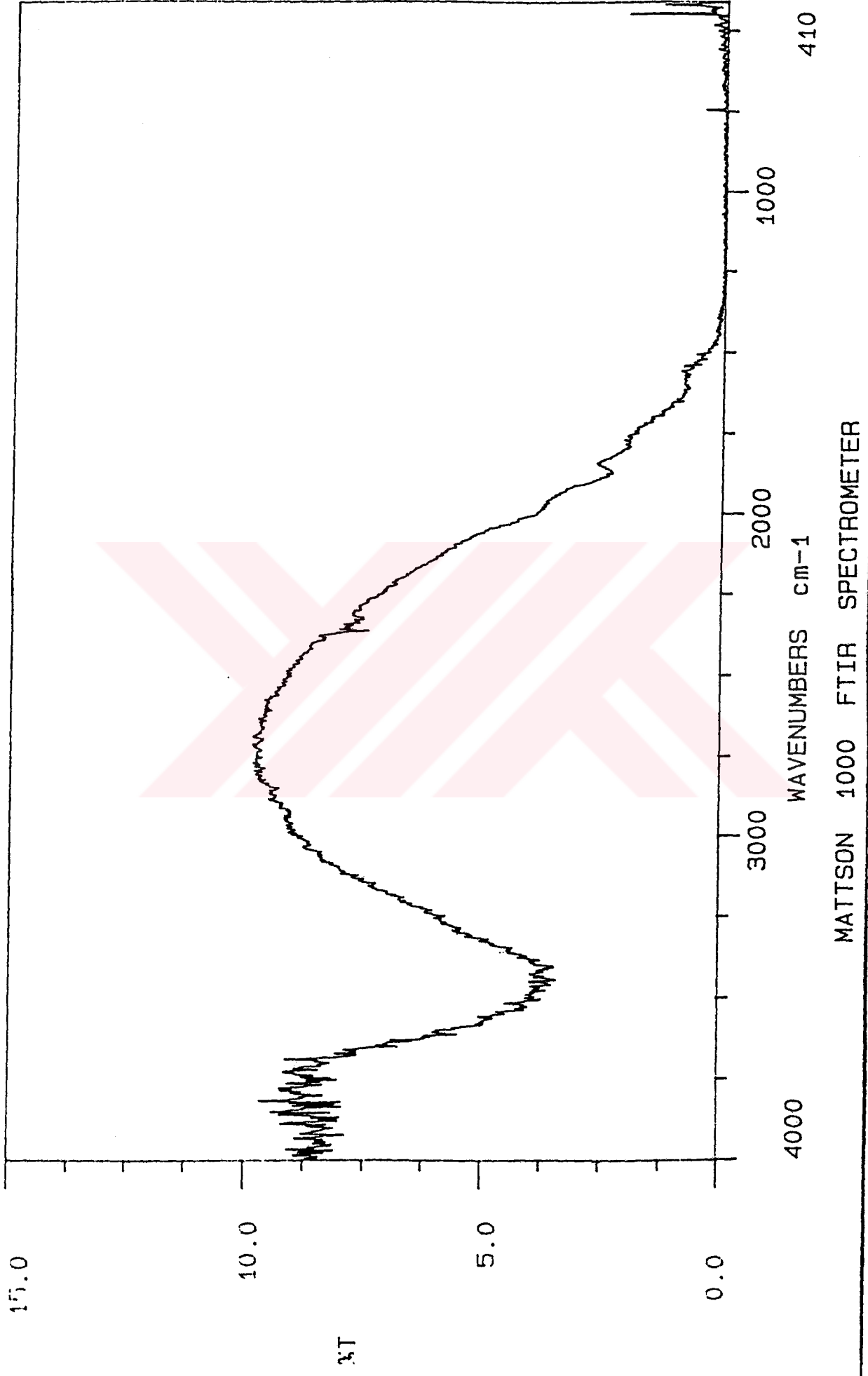
Şekil 11.15. 970 °C’de pişirilen katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu



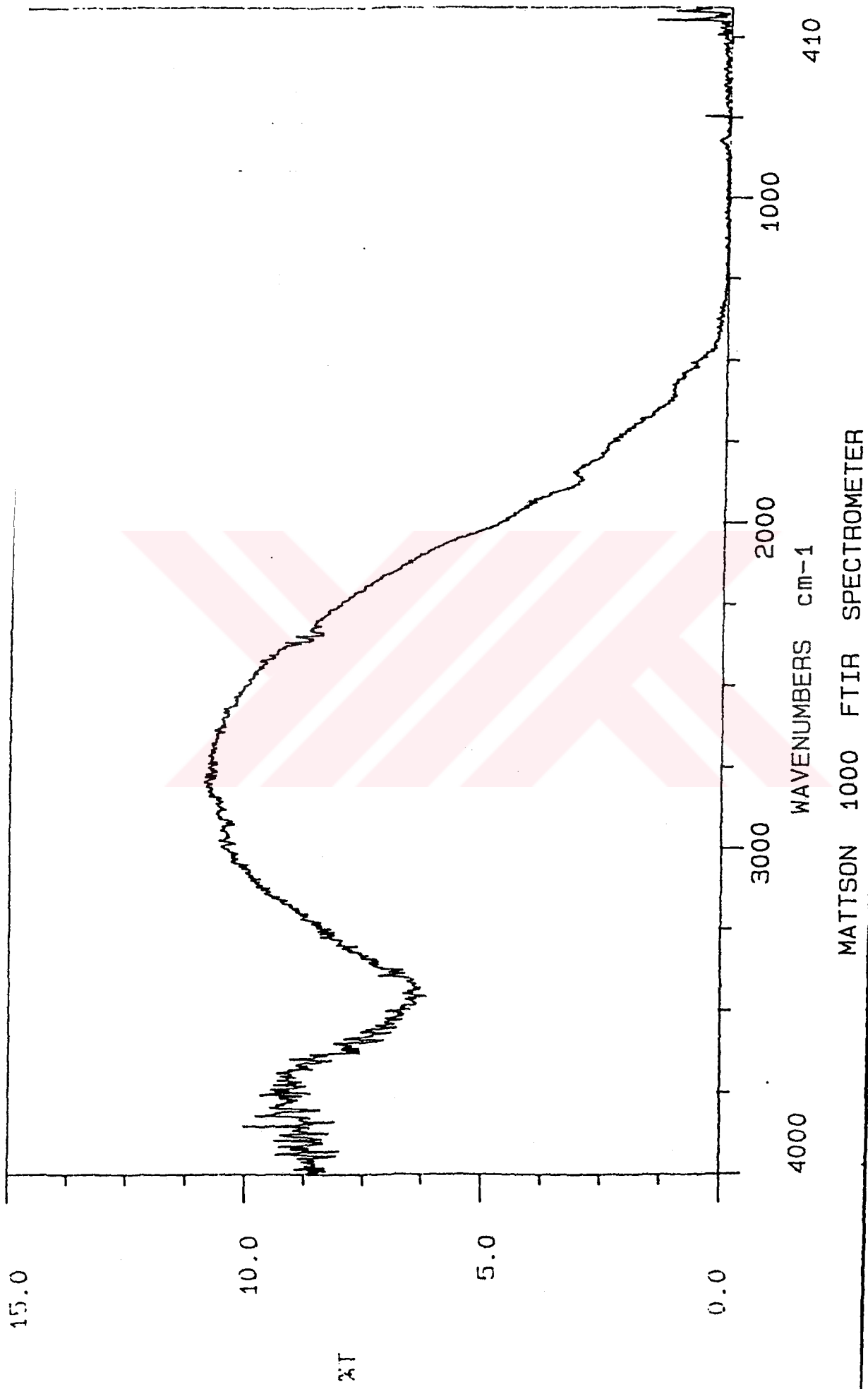
Şekil 11.16. 1000 °C'de pişirilen katkısız kil numunesinin FTIR spektrumu



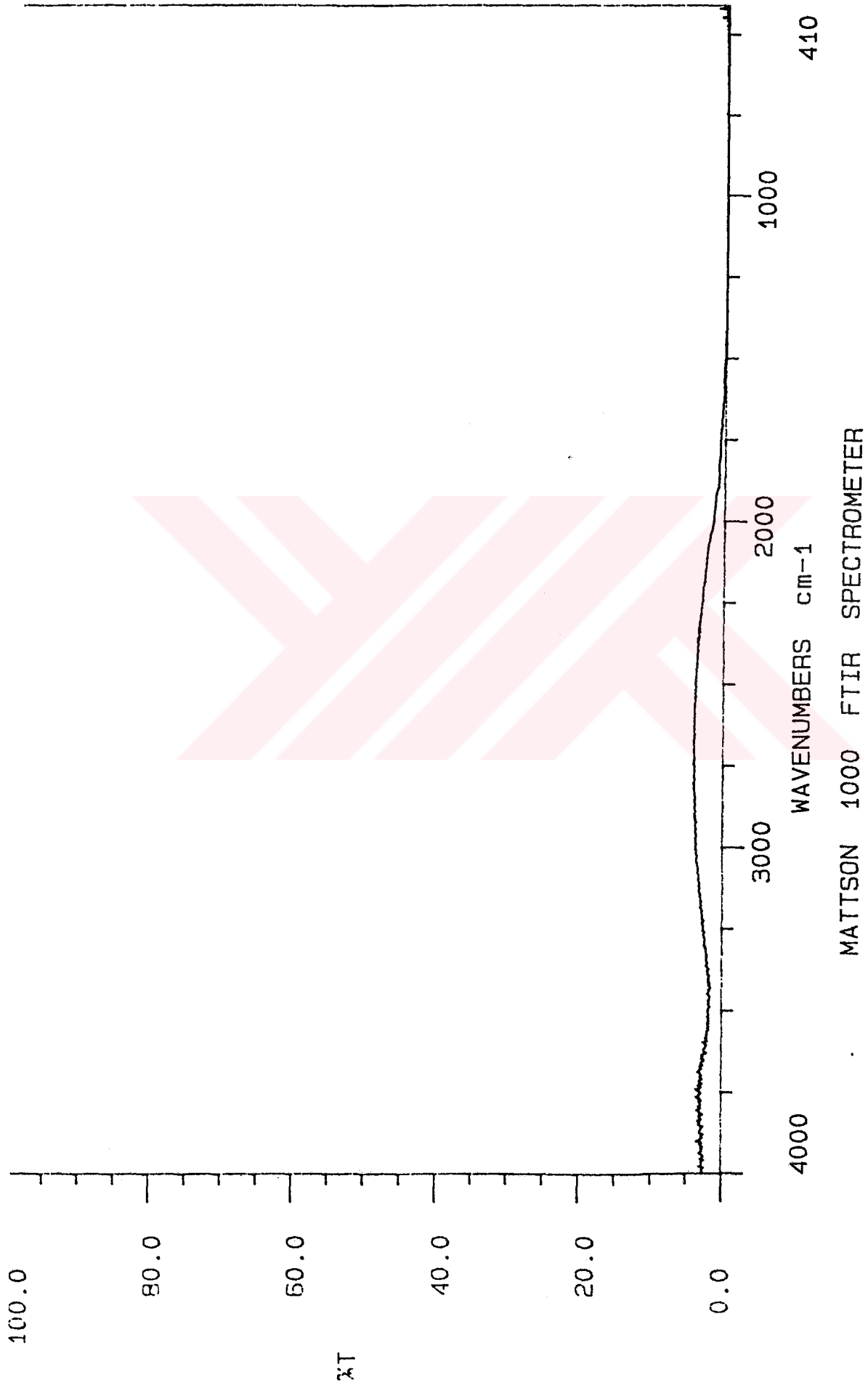
Şekil 11.17. 1030 °C'de pişirilen katkısız kıl numunesinin FTIR spektrumu



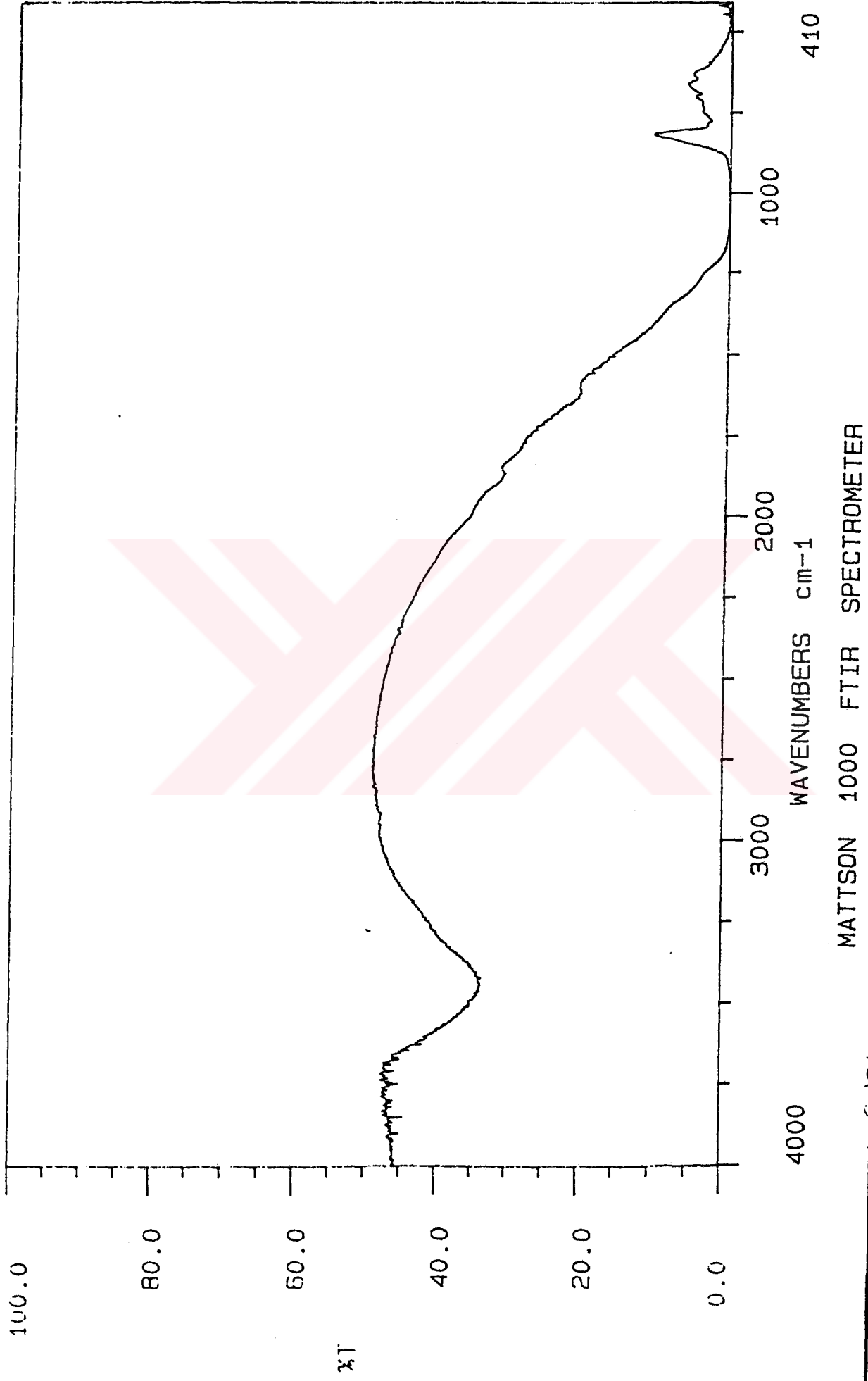
Şekil 11.18. 970 °C'de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



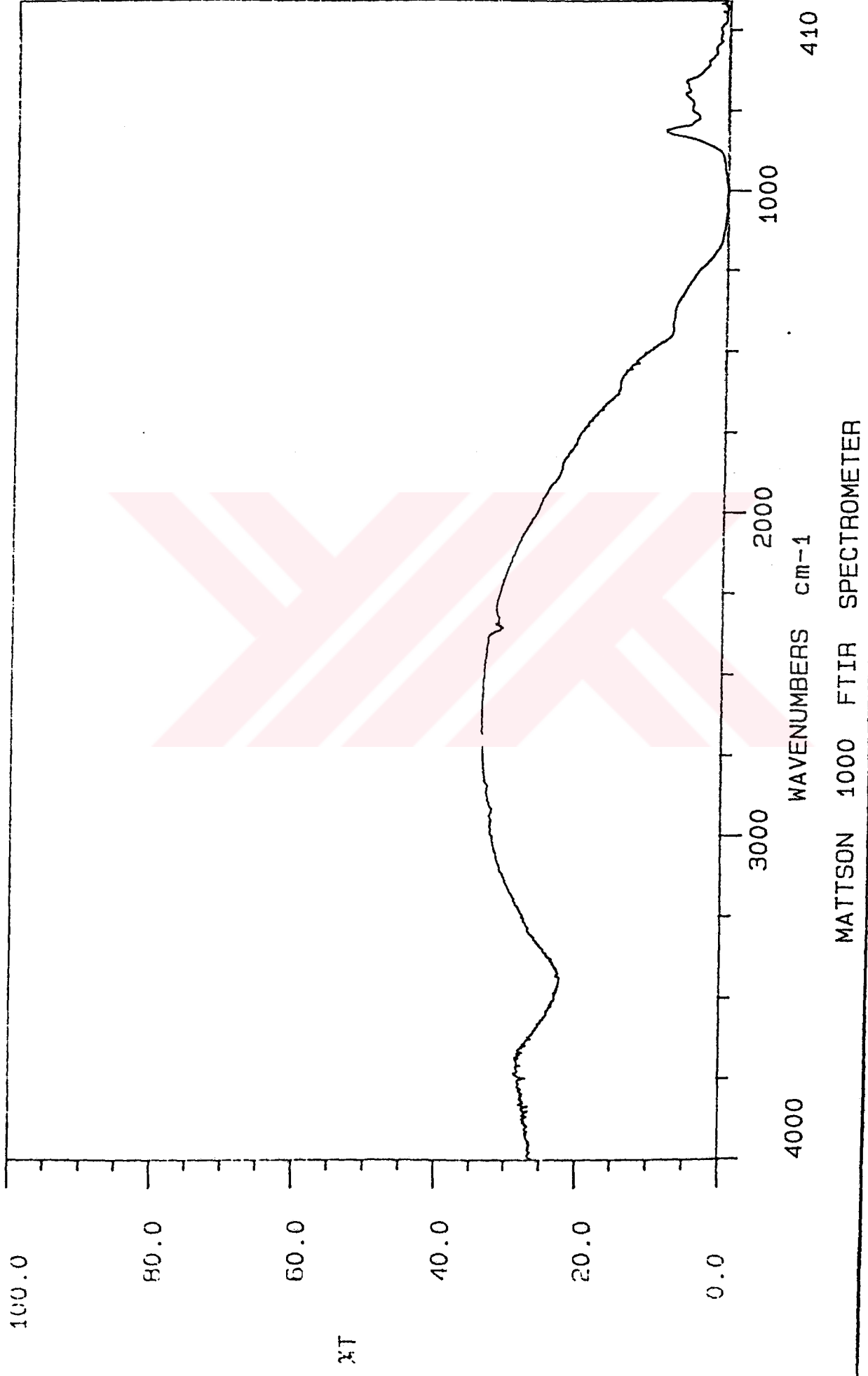
Şekil 11.19. 1000 °C'de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



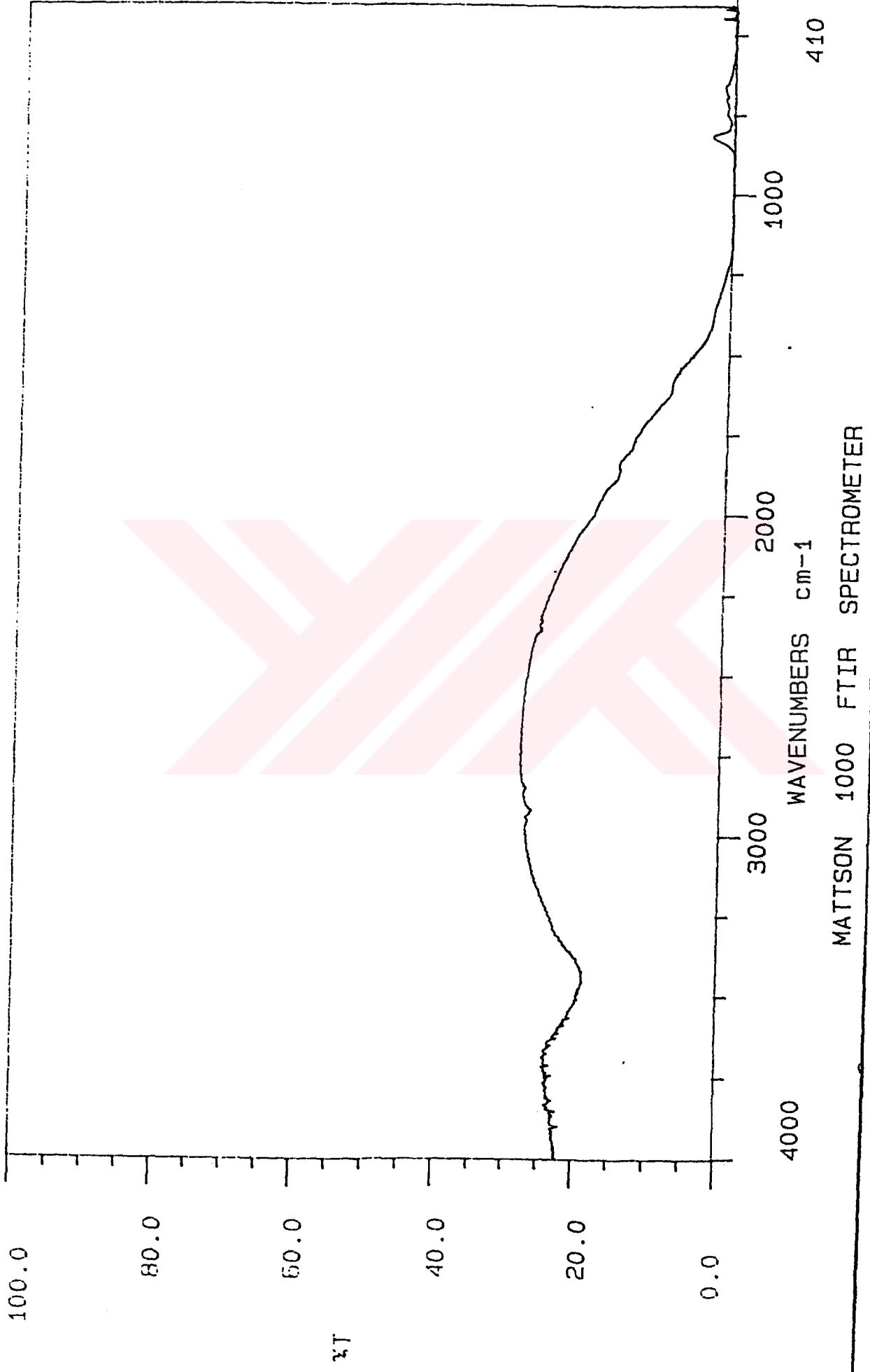
Şekil 11.20. 1030 °C'de pişirilen % 10 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



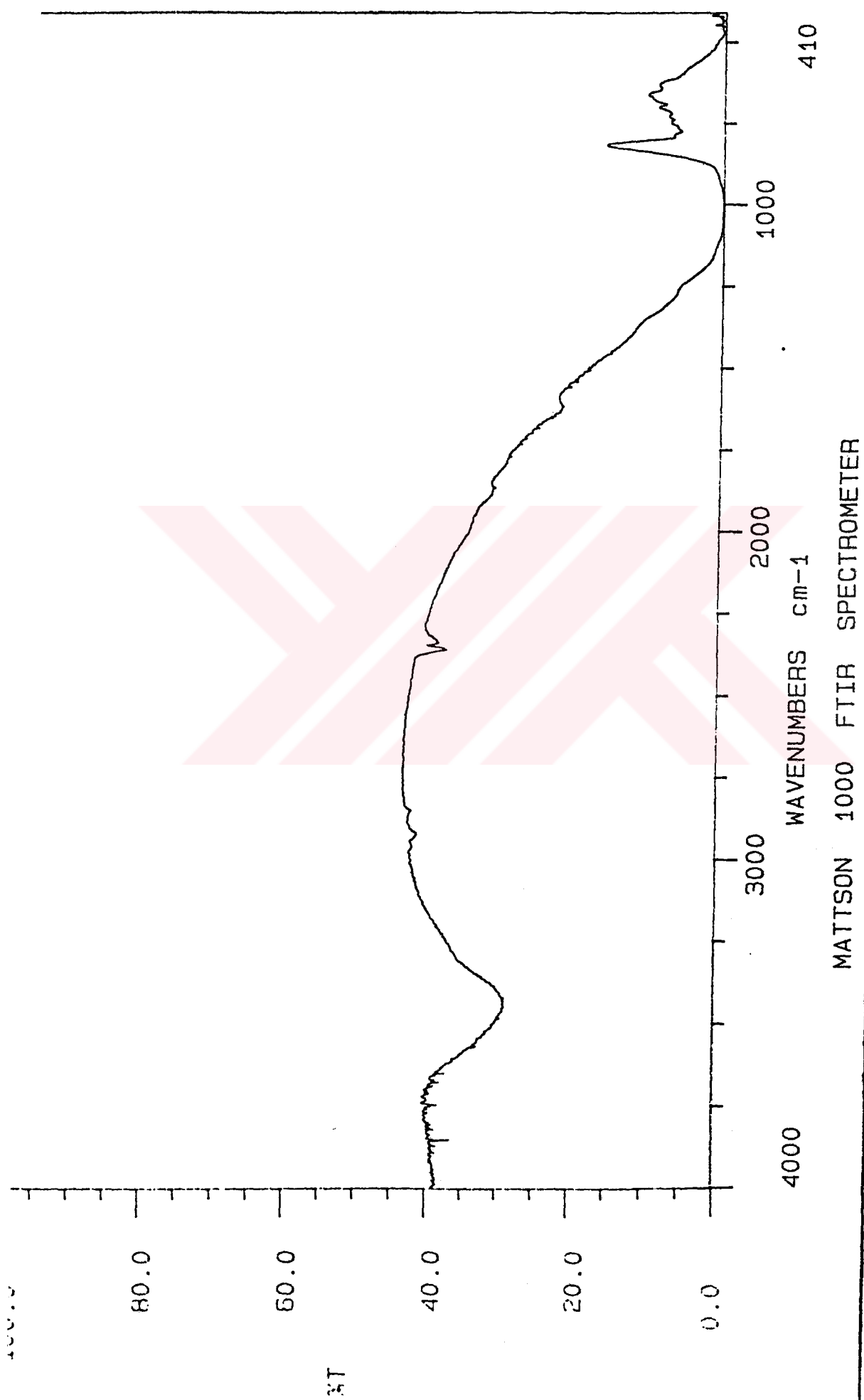
Şekil 11.21. 970 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



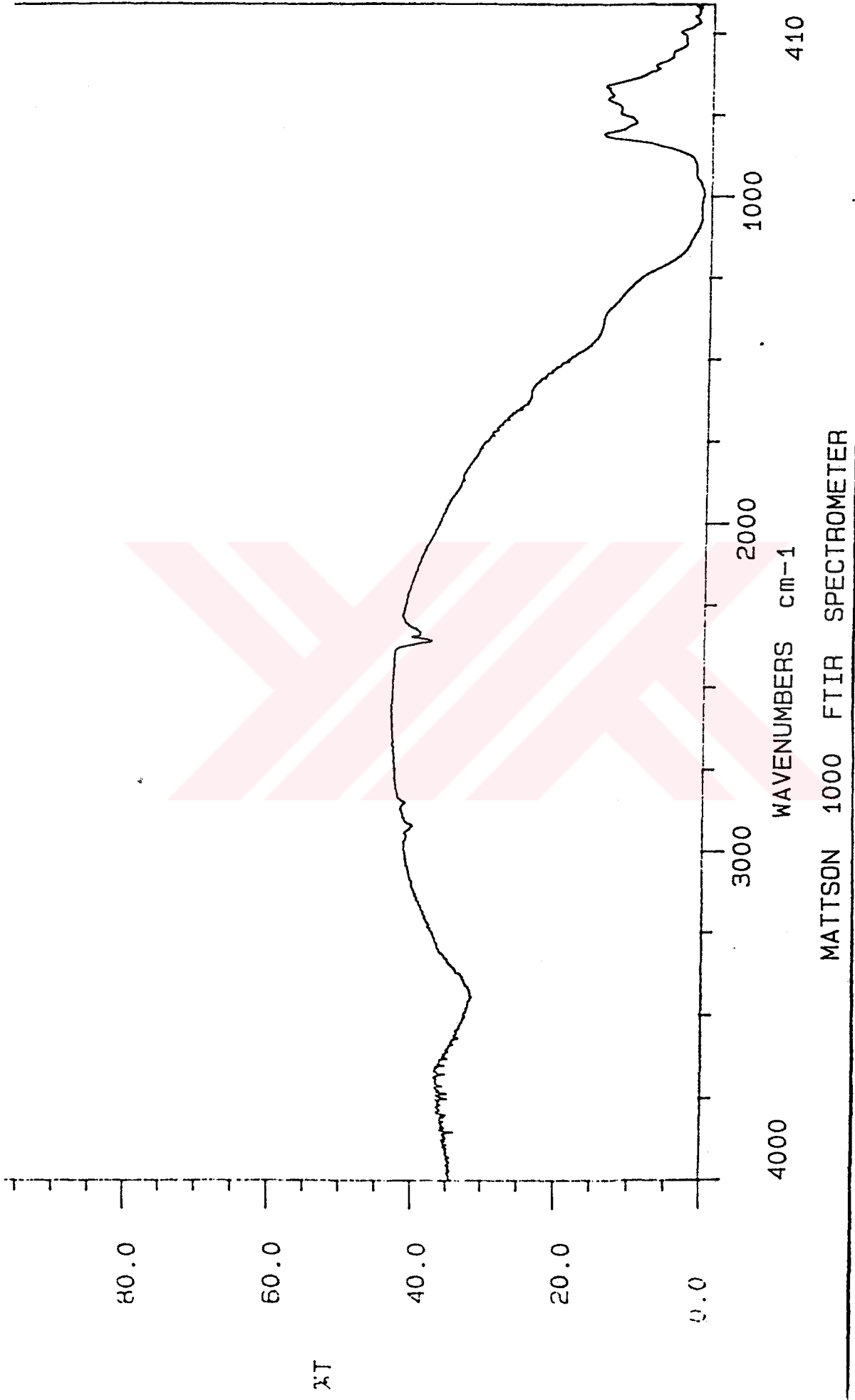
Şekil 11.22. 1000 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



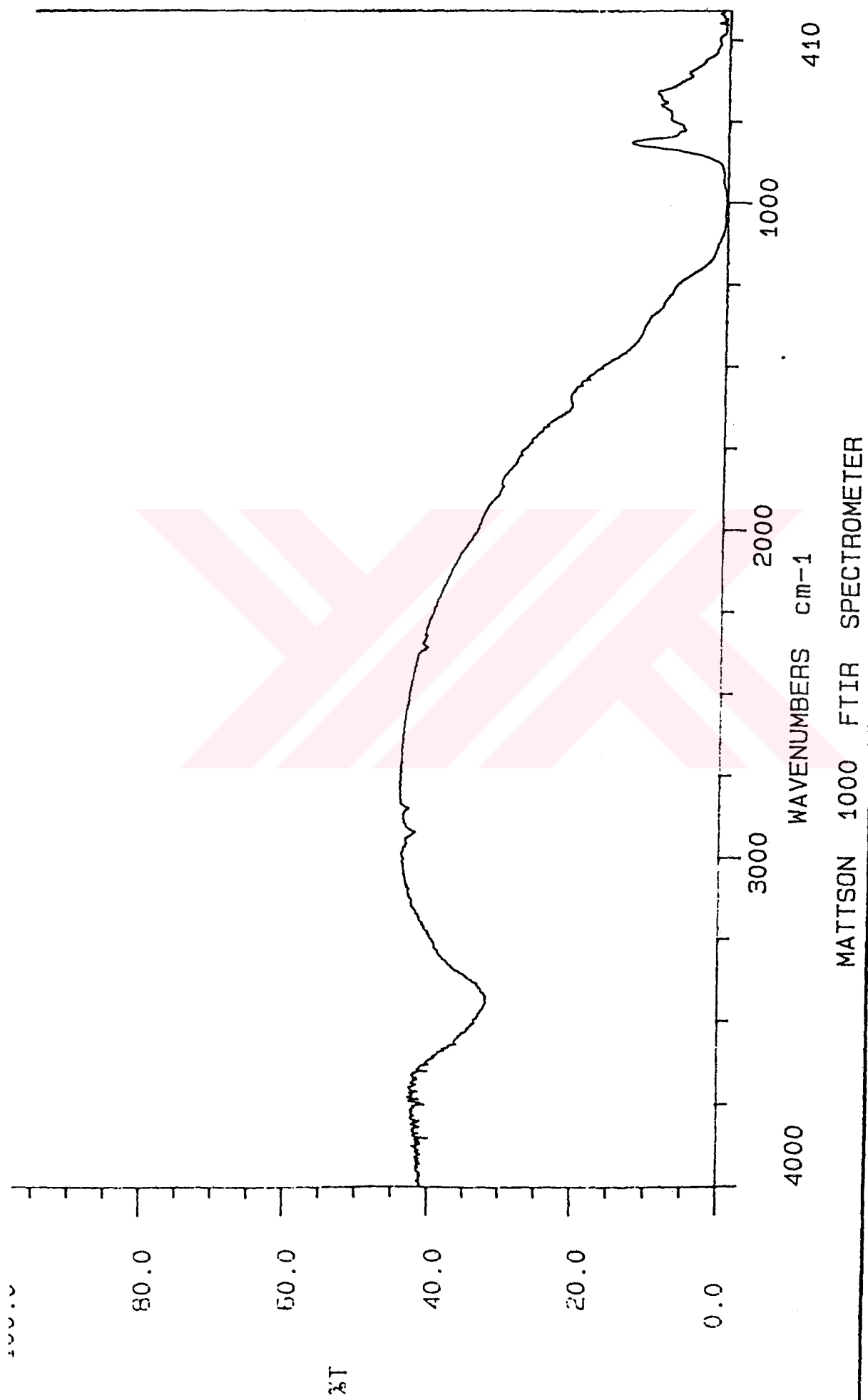
Şekil 11.23. 1030 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



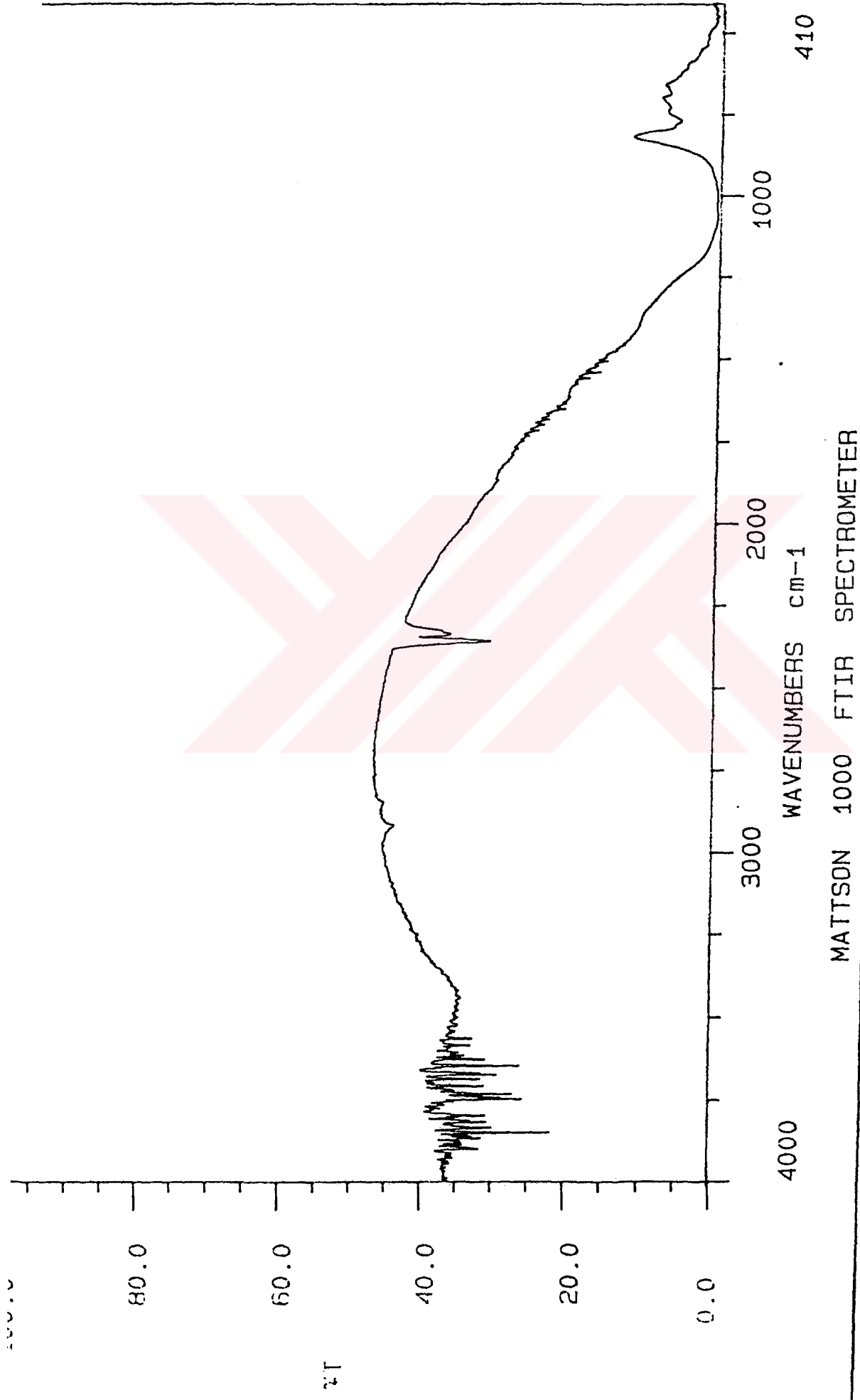
Şekil 11.24. 970 °C'de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



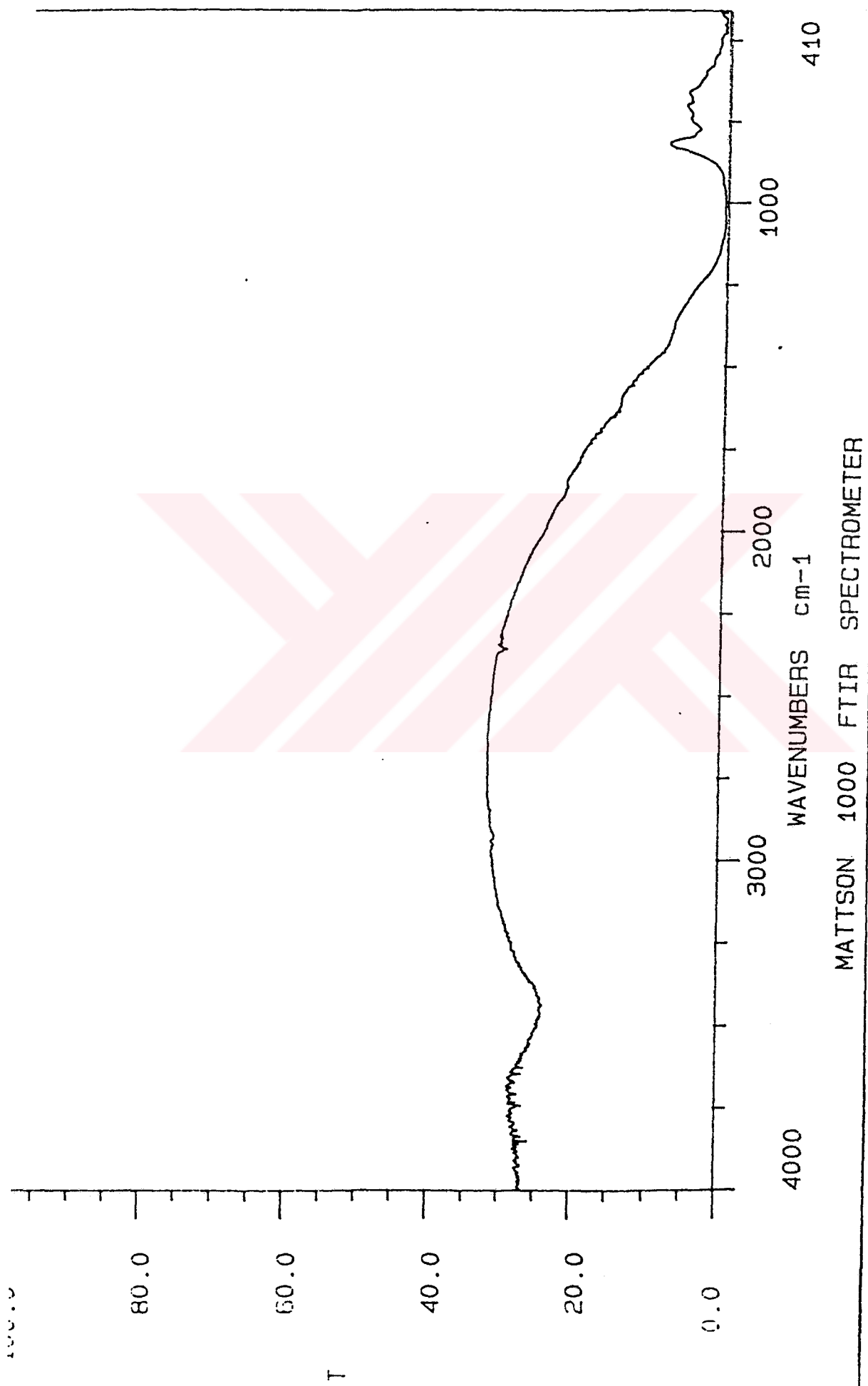
Şekil 11.25. 1000 °C'de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



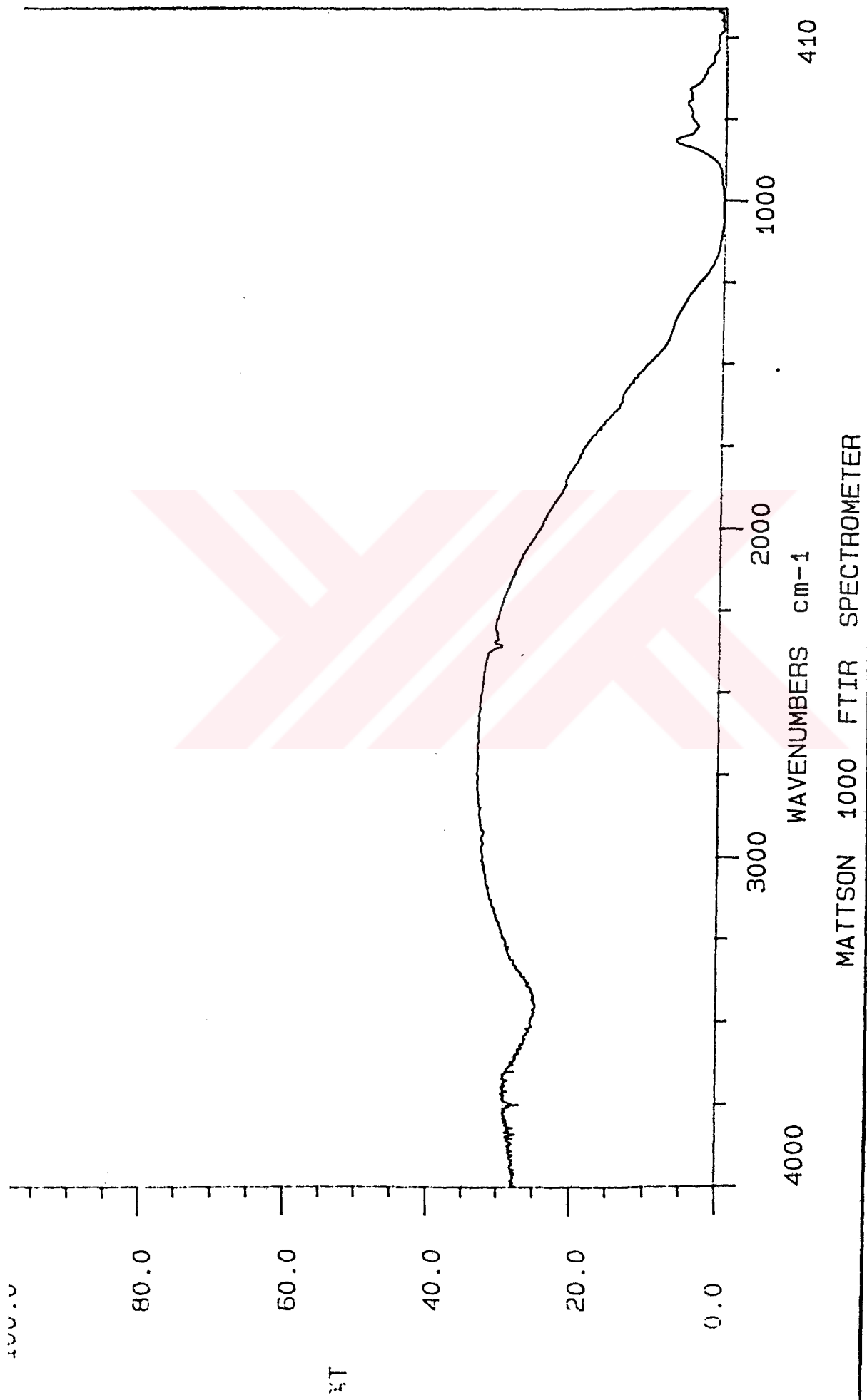
Şekil 11.26. 1030 °C'de pişirilen % 30 boraks atığı katkılı numunenin FTIR spektrumu



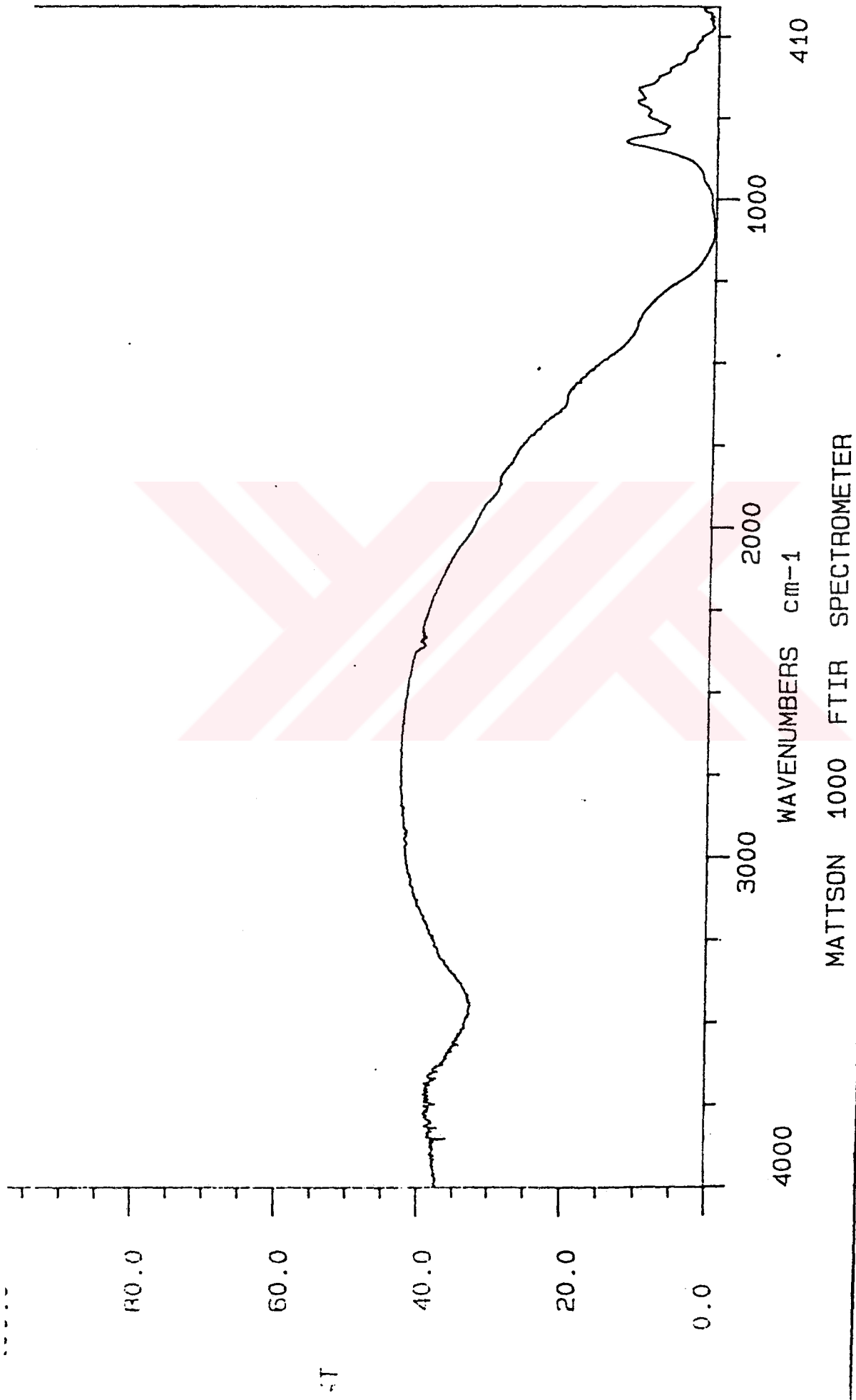
Şekil 11.27. 970 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu



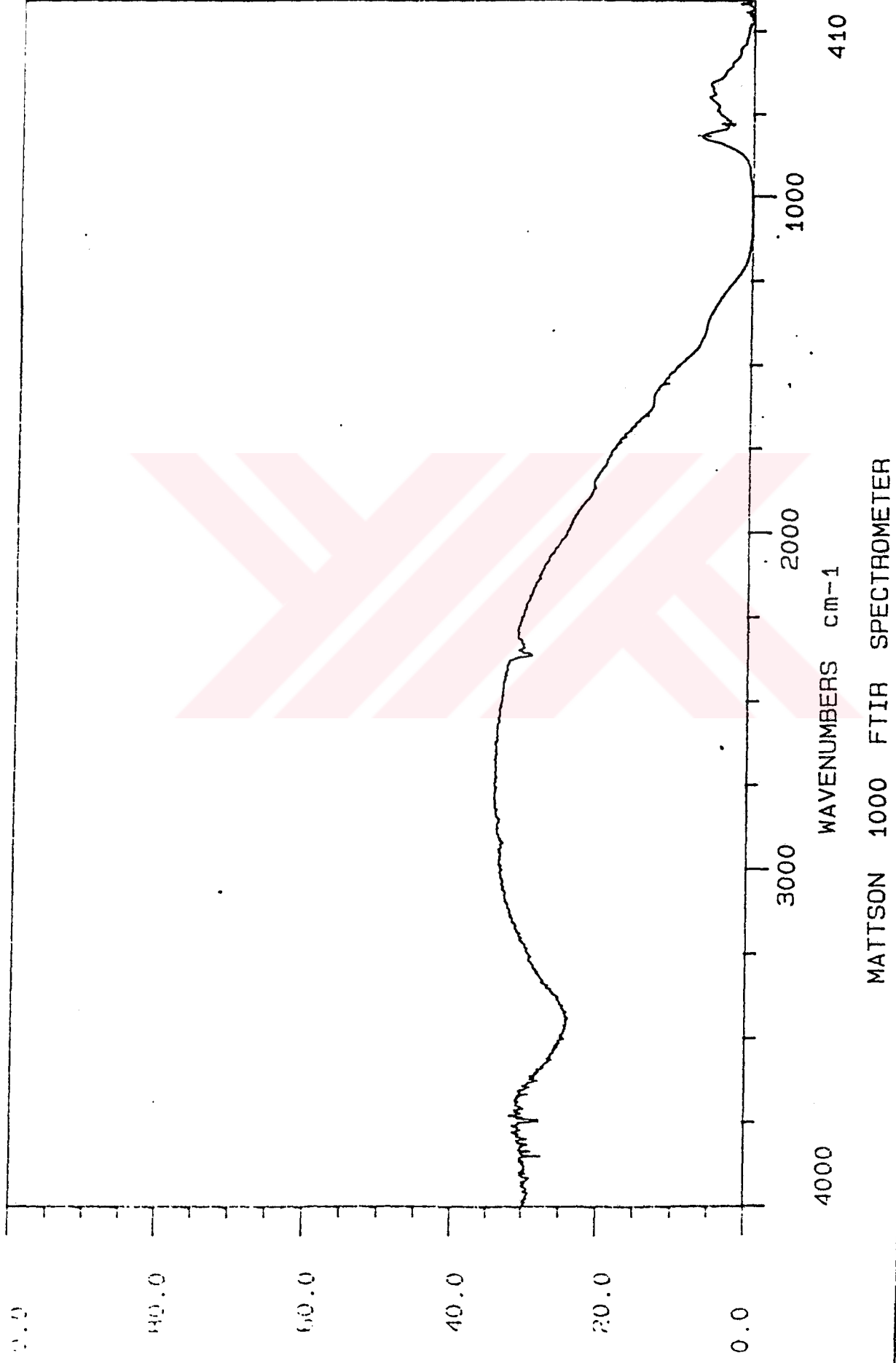
Şekil 11.28. 1000 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu



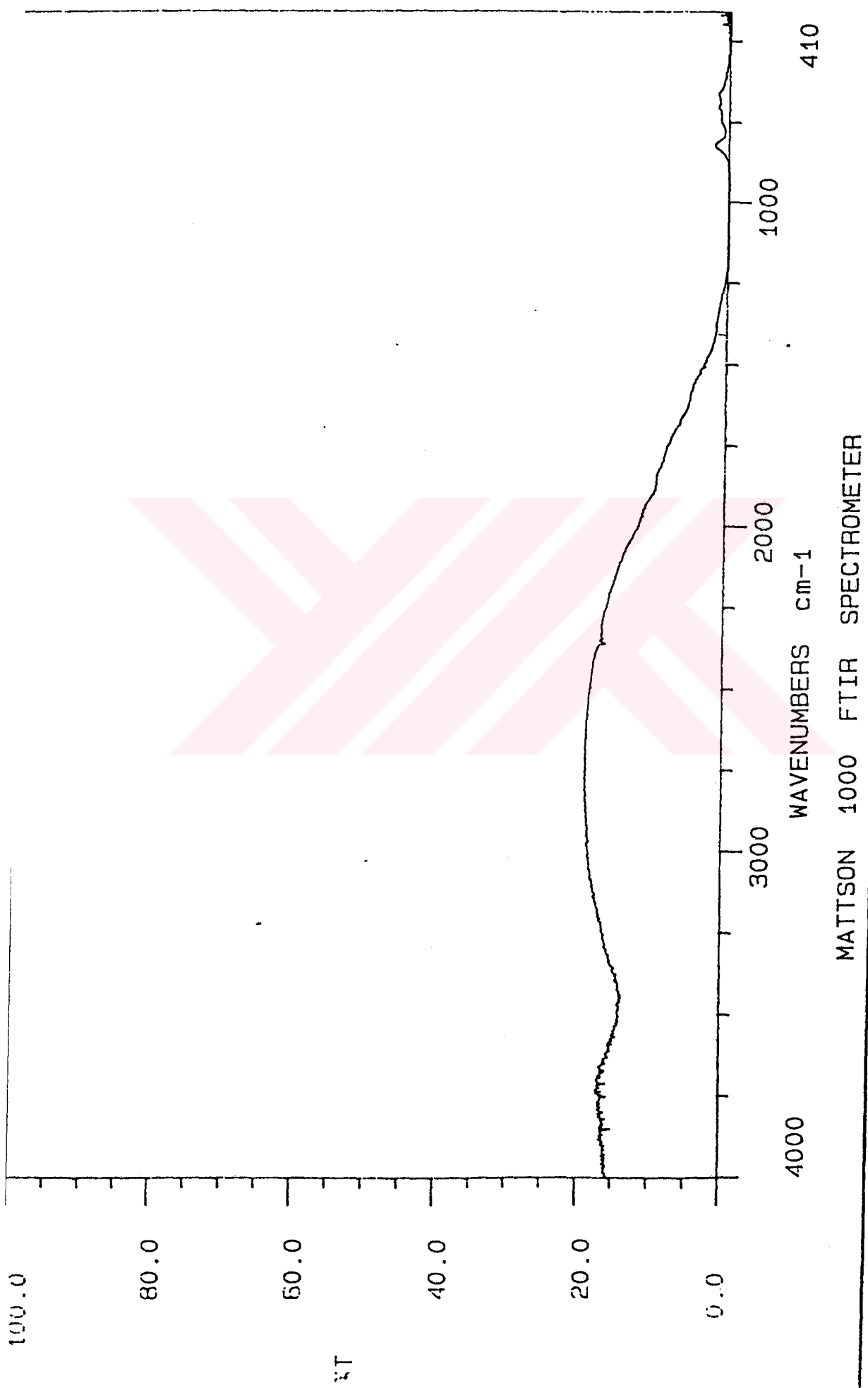
Şekil 11.29. 1030 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 20 uçucu kül katkılı numunenin FTIR spektrumu



Şekil 11.30. 970 °C’de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu



Şekil 11.31. 1000 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu



Şekil 11.32.1030 °C'de pişirilen % 20 boraks atığı ile % 10 silis dumanı katkılı numunenin FTIR spektrumu

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bor atıklarının, uçucu küllerin ve silis dumanının tuğla üretiminde değerlendirilerek imha edilmesi ve ekonomik kayıpların minimuma indirilmesi gibi iki önemli sorun çözülmektedir. Kimyasal bileşenlerin uyumlu olması nedeniyle bu atıklar inşaat tuğlası kiline katılabilirler.

Bor atıklarından bor, soda liçi yöntemi kullanılarak % 80 verimle ayrılarak çözeltiye geçirilmiştir. Tuğla kiline boraks yüzdesi % 2.80 olan atık katılmıştır.

Yapılan denemelerde, pişme küçülmesi 970 °C’de pişen % 30 bor atığı katkılı numuneler için en düşüktür. 1000 °C’ de pişen % 20 bor atığı katkılı numunelerin basma mukavemeti en yüksek, su emme ve gözeneklilik miktarları ise en düşüktür. Bulk yoğunluğu ise yine aynı numune için en yüksek değerdedir. Hacim ağırlıkları için tüm numunelerde farklı pişme sıcaklıklarında çok önemli bir değişimin olmadığı görülmüştür.

Türk Standartlar Enstitüsü (TSE) fabrika tuğlaları standartında (TS 705) dolu duvar tuğlalarının basma mukavemetleri en az 7.8 N/mm², en çok 23.5 N/mm² olarak verilmiştir. Bu çalışmada üretilen % 20 bor atığı katkılı numuneler için pişme sıcaklıklarına göre 12, 18.5 ve 38.5 N/mm², % 30 bor atığı katkılı numuneler için 16, 18.4 ve 32 N/mm² ve % 20 bor atığı ile birlikte % 10 silis dumanı katkılı numuneler için 8.3 , 9 ve 14 N/mm² olarak saptanmıştır. Görüldüğü gibi her üç grubun basma dayanımlarının TSE’ye uygun olduğu, hatta pişirilme sıcaklığının artışıyla daha da yükseldiği saptanmıştır. Daha fazla miktarda atığın değerlendirilmesi açısından önerilen numune ise % 30 boraks atığı katkılı numunedir.

Su emme miktarları TS 705’e göre % 7 - % 9 arasındadır. Bu çalışmada üretilen numunelerin su emme oranları ise % 20 ve % 30 bor atığı katkılı numuneler için 1000 °C’de yaklaşık % 16 olarak saptanmıştır.

Bundan sonraki çalışmalarda su emme oranlarının daha uygun olmasını sağlamak amacıyla, istenen oranlarda hazırlanan karışımların mümkünse vakumlu preste basılması önerilir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan atık miktarları değiştirilerek farklı veriler elde edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Poslu, K., 1994. "Bor Mineralleri ve Bileşiklerine Genel Bakış", Bor Mineralleri Zenginleştirme Bildirileri, İzmir. pp . 5-7.
2. Kor, N., 1975. "Etibank Bandırma Tesislerinden Çıkan Atıkların Denizi Kirlenmesinin Önlenmesi", TÜBİTAK V. Bilim Kongresi, Kimya Sektörü Tebliği Özetleri.
3. Çelik, T.A., 1977. "Kırka Tinkal Konsantratörü Atık Çamurundaki Boraksın Kurtarılması", TÜBİTAK VI. Bilim Kongresi, Kimya Sektörü Tebliği Özetleri.
4. Başol, S., 1980. "Boraks ve Borik Asit Şamlarındaki Bor Trioksidin Polialkollerle Ekstraksiyonu", TÜBİTAK Proje No. MAG-351.
5. Şahin, S., 1982. "Bor Atıklarının İyon Değişirme Metodu ile Tasfiyesi Üzerine Bir Araştırma", Doktora Tezi, İTÜ İnşaat Fakültesi, pp. 18-19.
6. Kovaleva, M.P., Moshchevitina, A.A., 1983. "Extraction of Boron from Solutions", Chem. Abs. Vol.99, USSR.
7. Tolun, R., Ayok, T., 1975. "Kolemanit Flotasyonu ve Poliollerin Etkisi", V. Bilim Kongresi Raporu, TÜBİTAK, 189.
8. Sönmez, E., 1994. "Kırka Tinkal Cevherinin Zenginleştirme Olanaklarının Araştırılması", Bor Mineralleri Zenginleştirme Semineri Bildirileri, İzmir, pp. 17-35.
9. Yanık, A., Tosun, Y.İ., Güneş, N. ve Topal, E., 1995. "Kırka Boraks Atıklarının Soda Liçi", Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir.
10. Anderson, M., Jackson, G., 1983. "The Benefication of Power Station Coal and its Use in Heavy Clay Ceramics", Trans. J., Brit. Ceram. Soc., Vol. 82, No. 2, pp 50-55.
11. E.İ.E. Genel Direktörlüğü, 1983. "Türkiye Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları", Yayın No. 81-45.
12. Tokyay, M., Çetin, B., 1991. "Preslenmiş Buhar Kürü Uygulanmış Uçucu Kül-Kireç Tuğlaların Dayanım ve Su Emme Özellikleri", Teknik Dergi, TMMOB İnş. Müh. Odası Yayını, Cilt 2, pp. 385-394.
13. White, S.C., Case, E.D., 1990. "Characterization of Fly Ash from Coal-Fired Power Plants", J. Mater. Sci., Vol.25, No.12, pp. 5215-5219.

14. PFA Data Book, 1974. "Sintered PFA as a Lightweight Aggregate", Cent. Elec. Gen. Board, England.
15. PFA Data Book, 1967. "Bricks and other Structural Ceramics", Cent. Elec. Gen. Board, England.
16. "Uçucu Küller Standartı", 1975. TS 639.
17. "Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete", 1980. ASTM C 618-80, Annual Book of ASTM Standards, Vol.14, pp. 381-384.
18. Anderson, M., 1984. "Processed High Carbon PFA as a Fuel Additive in Brickmaking" Inter. Con. on Ash Tech., 16-22 Sept., London-England, pp. 563-568.
19. Aköz, F., Yüzer, N., Koral, S., 1995. "Silis Dumanı Katkılı ve Katkısız Harç İçindeki Çeliğe Farklı Konsantrasyonlardaki Sodyum Klorürün Etkisi", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, TMMOB İnşaat Müh. Odası Ankara Şubesi, 29-30 Kasım, Ankara, pp. 185-199.
20. Temiz, H., Yeğinobaı, A., 1995. Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Hamur ve Hamur Harçlarının Bazı Özellikleri", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, TMMOB İnşaat Müh. Odası Ankara Şubesi, 29-30 Kasım, Ankara, pp. 213-225.
21. "Silica Fume", 1987. ACI Materials Journal, March-April, pp. 159-166.
22. Cheng-Yi, H., Feldman, R.F., 1985. Hydrotion Reactions in Portland-Cement-Silica Fume Blends", Cement and Concrete Research, Vol. 15, No.4, pp. 582-592.
23. Asgeirsson, H., Gudmundsson, G., 1979. "Pozzolan Activity of Silica Dust", Cement and Concrete, Vol. 9, No.2, pp. 249-252.
24. Scheetz, B.E., Grutzeck, M., Strickler, D.W., 1981. "Effect of Composition of Additives upon Microstructures of Hydrated Portland Cement Composites", 3. Int. Conf. on Cement Microscopy, Houston, pp. 307-318.
25. Buck, A., Burkers, J.P., 1981. "Characterization and Reactivity of Silica Fume", 3. Int. Conf. on Cement Microscopy, Houston, pp. 379-285.

26. Mehta, P.K., Gjorv, O.E., 1982. "Properties of Portland Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica-Fume", Cement and Concrete Research, Vol. 12, No. 5, pp. 587-595.
27. Wolseifer, J., 1984. " Ultra High-Strength Field Placeable Concrete with Silica Fume Admixture", Concrete International : Design&Construction, vol. 6, No. 4, pp. 25-31.
28. Traetteberg, A., 1977. " Waste Materials in the Construction Industry", Cement and Concrete Research Institute, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, p.13.
29. Rhades, D., 1957. "Clay and Glazes for the Potter", Isaac Pitman and Sons Ltd., London.
30. Grimshaw., 1971. "The Chemistry and Physics of Clays and Allied Ceramic Materials", Wiley-Interscience, New York.
31. Yaman, C., 1996. "Ders Notları", YTÜ, Kimya-Metalurji Fakültesi.
32. Yaman, C., 1995. İnşaat Tuğlasında Pişme Aralığını Belirleme Kriterleri ve Eski Tuğlaların Pişme Aralığının Belirlenmesi", VII. Ulusal Kil Sempozyumu, Ankara.
33. Holdridge, D. A., 1959. " Effect of Finess of Send on Clays", London.
34. Yılmaz, Ş., 1992. " Seyitömer Termik Santrali Atık Uçucu Küllerinin Yapı Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Kimya Metalurji fakültesi.
35. Pişkin, S., 1983. "Hidrate Bor Minerallerinin Termik Özellikleri", Doktora Tezi, İTÜ Maden Fakültesi, pp. 9-10.
36. " Fabrika -Duvar Tuğlaları Standartı", 1985. TS 705.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Özlem KOÇ
Doğum Tarihi : 1 Mart 1973
Doğum Yeri : İstanbul
Eğitim : 1979-1984 50.Yıl Ahmet Merter İlkokulu (İstanbul)
1984-1987 50.Yıl Ahmet Merter Ortaokulu (İstanbul)
1987-1990 Özel Şişli Terakki Lisesi (İstanbul)
1990-1994 Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalurji
Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü (İstanbul)
1994-1995 Yıldız Teknik Üniversitesi Yüksek Lisans
İngilizce Hazırlık Programı (İstanbul)