

**ORGANİK VE İNORGANİK GÖZENEK YAPICI MADDE KATKILARININ YAPI
MALZEMELERİNE ETKİSİ**

Rasim CEYLANTEKİN

**Dumlupınar Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
Seramik Mühendisliği Anabilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır.**

Danışman: Doç. Dr. İskender IŞIK

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Temmuz – 2002

121694
121694

KABUL ve ONAY SAYFASI

Rasim Ceylantekin' in YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırladığı “Organik Ve İnorganik Gözenek Yapıcı Madde Katkılarının Yapı Malzemelerine Etkisi ” başlıklı bu çalışma, jürimizce lisans üstü yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

23 / 07 / 2002

Üye : Doç. Dr. İskender IŞIK

Üye : Yrd. Doç. Dr. Remzi GÖREN

Üye : Yrd. Doç. Dr. Alpagut KARA

Fen bilimleri enstitüsü yönetim kurulu' un .25 / ...07... / 2002 gün ve ...12.....
sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. İ. Göktay EDİZ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ORGANİK VE İNORGANİK GÖZENEK YAPICI MADDE KATKILARININ YAPI MALZEMELERİLERİNE ETKİSİ

Rasim CEYLANTEKİN

Seramik Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2002

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İskender IŞIK

ÖZET

Bu çalışmada Essen ve Westerwald (Kuzey Almanya) bölgelerinde yer alan karbonatsız (Kuzey kili) ve Baden-Württemberg (Ehingen/Güney Almanya) bölgesinde bulunan mam olarak da bilinen karbonatlı killerin (Güney kili) karakterizasyonu yapılarak, organik ve inorganik gözenek yapıcı malzeme ilavesinin bu killerin sahip olduğu fiziko-mekaniksel özellikler üzerine etkileri araştırılmıştır. Her iki kile de gözenek yapıcı olarak 70ml kağıt, talaş, polysterol, ağırlıkça %0.6 Syn-por ve %4 perlit ilave edilmiş ve her iki kil için Syn-por, kağıt ve sinterleme elemanı kullanılarak yeni tuğla reçeteleri oluşturulmuştur. Hazırlanan tuğla örnekleri 960°C ve 1000°C’ de pişirilerek termo-fiziksel, termo-mekaniksel ve fiziko-mekaniksel özellikler incelenmiştir.

XRF yöntemi ile yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre kuzey kilinde ağırlıkça % 68.75 SiO₂, %18.11 Al₂O₃, %5.72 Fe₂O₃ ve güney kilinde %53.55 SiO₂, %15.39 Al₂O₃, %14.29 CaO ve %6.60 Fe₂O₃ saptanmıştır. XRD yöntemi ile yapılan mineralojik analiz sonuçlarına göre her iki kil de major olarak kuvars, kaolinit, illit, albit ve mikroklin mineralleri içermektedir. Ayrıca güney kilinde farklı mineral olarak klorit, kalsit ve dolomit mineralleri saptanmıştır. Tane boyu analiz sonuçlarına göre kuzey kilindeki kil boyutlu malzeme miktarı ($\leq 2\mu\text{m}$) %55, güney kilinde ise %31 olarak belirlenmiştir.

Fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre sırasıyla kağıt, talaş ve Syn-por ilavesi 960°C ve 1000°C’deki su emme ve görünür gözeneklilik miktarını artırırken, polysterol fazla değiştirmemiş, perlit ilavesi ise azaltmıştır. Ancak Syn-por haricindeki katkılar hem kuru hem de pişme mukavemetini azaltırken, Syn-por’un nispeten homojen dağılımlı ve küresel gözenek oluşturması nedeni ile hazırlanan reçetenin pişme mukavemeti katkısız kile göre yaklaşık %150 arttırmıştır. Ayrıca termal analiz sonuçlarına göre Syn-por ilavesi karbonat bozunma sıcaklığını düşürerek kalsiyum silikat oluşumunu arttırmış ve kalsitli killerin serbest CaO’ den kaynaklanan olumsuz etkilerini ortadan kaldırmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tuğla, Gözenek, Syn-por, Karbonatlı Kil (Mam).

THE EFFECTS OF ORGANIC AND INORGANIC PORE-FORMING AGENTS ADDITIVES ON THE BUILDING MATERIALS

Rasim CEYLANTEKİN

Ceramics Engineering, Master Thesis, 2002

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. İskender IŞIK

SUMMARY

In this study, after determining the characteristics of calcite-bearing (marl; also known as Southern clay) and clays without calcite (also known as Northern clay) from Baden-Württemberg (South Germany) and Essen and Westerwald (North Germany), the effects of organic and inorganic pore-forming agent on the physical-mechanical properties of these clays were investigated. 70ml paper, saw dust, polysterol, 0.6% (by weight) Syn-por and 4% (by weight) perlite were added to both clays and new recipes were prepared by using Syn-por, paper and sintering agent. Firing the brick samples at 960°C and 1000°C, thermo-physical, thermo-mechanical and physico-mechanical properties were investigated.

According to chemical analysis done by XRF method, north clays consists of SiO₂%68.75, Al₂O₃ %18.11, Fe₂O₃ %5.72 and south clay consists of SiO₂ %53.55, Al₂O₃ %15.39, CaO %14.29 and Fe₂O₃ %6.60 by weight. According to mineralogical analysis done by XRD, quartz, kaolen, illite, albite and microcline are present in both clays. Chlorite, calcite and dolomite were also determined in the south clay. In addition clay sized particles in south and north clays have been determined as 31% and 55% respectively.

According to physico-mechanical tests, while paper, sawdust and Syn-por additives increase water absorption and appearing porosity values for both of the clays after firing 960°C and 1000°C, polysterol effects to a little extent and perlite causes a decrease. But except for Syn-por addition, all the additives causes a decrease both in dried and in fired strength while the recipes increase the fired strength values of the clays by about 150%. That's why Syn-por makes homogeneous dispersed and spherical pore morphology. Furthermore according to the thermal analysis, the addition of Syn-por not only decreases the decomposition temperature of calcite but also increases the silicate formation, and suppresses the negative effects of calcite bearing clays caused by the free CaO.

Key Words: Brick, Calcite Bearing Clay (Marl), Porosity, Syn-por,

TEŞEKKÜR

Bu tez konusunda çalışmama vesile olan ve desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen danışmanlarım Doç. Dr. İskender IŞIK ve Mehmet ADLUNG-BAYKARA' ya, çalışmalarım sırasında hiçbir yardımdan kaçınmayan Institut evo-Silicateforschung Yönetim Kuruluna, Yönetim Kurulu Üyelerinden Karin Lingl'a, ve Enstitü çalışanları Seramik Yük.Müh. Mildred ADLUNG ve Assos. Prof. Bing Huan FENG' e, tezin yazılması sırasında yardımda bulunan Dumlupınar Üniversitesi Seramik Mühendisliği Bölümü Asistanlarına, hammadde temininde ve pişme mukavemetleri testinde yardımcı olan Fa. Georg Rimmele KG. (Germany) Tuğla Fabrikasına teşekkür ederim.

Ayrıca maddi ve manevi hiçbir desteğini esirgemeyen aileme teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	iv
SUMMARY.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KİLLERİN KİMYASAL VE MİNERALOJİK KOMPOZİSYONLARI.....	2
2.1. Silis.....	3
2.2. Alümina.....	3
2.3. Alkali Bileşikleri.....	4
2.4. Demir Bileşikleri.....	4
2.5. Kalsiyum Bileşikleri.....	5
2.6. Magnezyum Bileşikleri.....	6
2.7. Titanyum Bileşikleri.....	6
3. TABAKALI KAFES YAPILARI.....	6
3.1. Tek Tabaka Grubu.....	7
3.1.1. Trivalent katyonlar.....	7
3.1.2. Divalent katyonlar.....	8
3.2. Çift Tabaka Oluşumu.....	9
3.2.1. Montmorillonit mineralleri.....	9
3.2.2. Mika grubu.....	11
3.2.3. Hidrate mika veya illit.....	11
3.2.4. Kloritler.....	11
3.2.5. Vermikulitler.....	12
3.3. Tabakalı Latis Mineral Gruplarının Sentezi.....	12

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
4. YÜKSEK POROZİTELİ TUĞLALARIN ENDÜSTRİYEL ÜRETİMİ.....	13
4.1. Organik Hammadde Katkılarının Termal Kullanım Limitleri.....	14
4.1.1. Katkı malzemelerinin tuğla-kiremit endüstrisinde kullanım talimatı.....	15
4.2. Kağıt.....	15
4.3. Talaş.....	16
4.4. Polysterol.....	17
4.5. İnorganik Katkılarla Gözenek Oluşumu.....	18
4.6. Genleşmiş Cam Granülleri İle Gözenek Oluşturma.....	18
5. KİLLERİN PIŞME RENKLERİ.....	19
5.1. Kil İçindeki Demir Bileşenleri.....	20
5.2. Pişme Sırasında Renk Veren Bileşiklerin Oluşumu.....	20
5.3. Hematit Kırmızısı.....	20
5.4. İndirgen Renkler.....	21
5.5. Demiri Diğer Mineraller İçine Gömerek Hematit Rengini Açmak.....	21
5.6. Tuz Hareketi Ve Çiçeklenme Nedeniyle Rengin Bozulması.....	21
6. KİL BÜNYELERİNDE PIŞİRME SIRASINDA OLUŞAN REAKSİYONLAR.....	21
6.1. Pişirme İle Seramik Bünyede Oluşan Reaksiyonlar.....	24
6.2. Isıtma Aralığı.....	24
6.2.1. Organik maddeler.....	24
6.2.2. Kimyasal bağlı su.....	24
6.2.3. Isıtma sırasında kuvars dönüşümü.....	25
6.2.4. Pirit dekompozisyonu ve sülfat oluşumu.....	25
6.2.5. Kireç dekompozisyonu.....	26
6.3. Pişirme Atmosferi.....	26
6.4. Pişirme Ve Tutma Süresine Bağlı Olarak Yeni Mineral Oluşumları.....	26
6.5. Renk Gelişimleri.....	26
6.6. Soğutma Aralığı.....	27

İÇİNDEKİLER (devamı)

	<u>Sayfa</u>
7. MATERYAL VE METOD.....	28
7.1. Metod.....	29
7.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	30
7.2.1. Şekillendirme.....	30
7.2.2. Kurutma.....	30
7.2.3. Pişirme.....	31
7.3. Hazırlanan Deney Numunelerine Uygulanan Fiziksel Ve Mekaniksel Testler...	31
7.3.1. Kuru küçülme, pişme küçülmesi ve toplam küçülme deneyleri.....	31
7.3.2. Kuru mukavemet testi.....	32
7.3.3. Su emme deneyi.....	33
7.3.4. Gözeneklilik tayini.....	34
8. BULGULAR.....	35
8.1. Mineraloji.....	35
8.2. Kimyasal Analiz.....	35
8.3. Tane Boyu Analizi.....	36
8.4. Kuruma Davranışı.....	36
8.5. Fiziko-Mekaniksel Test Sonuçları.....	38
9. SONUÇLAR.....	45
9.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları.....	45
9.2. Kimyasal Analiz.....	56
9.3. Tane Boyu Analizi.....	56
9.4. Mineralojik Dönüşümlerin İncelenmesi.....	56
10. ÖNERİLER.....	62
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	63

İÇİNDEKİLER (devamı)

EKLER

- 1- Kuzey kiline ait jeolojik harita
- 2-A-1 Katkısız güney kilinin DTA analizi
- 2-A-2 Syn-por katkılı güney kilinin DTA analizi
- 2-A-3 Talaş katkılı güney kilinin DTA analizi
- 2-A-4 Polysterol katkılı güney kilinin DTA analizi
- 2-A-5 Kağıt katkılı güney kilinin DTA analizi
- 2-A-6 Perlit katkılı güney kilinin DTA analizi
- 2-A-7 Güney kili ile hazırlanan reçetenin DTA analizi
- 2-B-1 Katkısız kuzey kilinin DTA analizi
- 2-B-2 Syn-por katkılı kuzey kilinin DTA analizi
- 2-B-3 Talaş katkılı kuzey kilinin DTA analizi
- 2-B-4 Polysterol katkılı kuzey kilinin DTA analizi
- 2-B-5 Kağıt katkılı kuzey kilinin DTA analizi
- 2-B-6 Perlit katkılı kuzey kilinin DTA analizi
- 2-B-7 Kuzey kili ile hazırlanan reçetenin DTA analizi
- 3-A-1 Katkısız güney kilinin Dilatometre analizi
- 3-A-2 Syn-por katkılı güney kilinin Dilatometre analizi
- 3-A-3 Talaş katkılı güney kilinin Dilatometre analizi
- 3-A-4 Polysterol katkılı güney kilinin Dilatometre analizi
- 3-A-5 Kağıt katkılı güney kilinin Dilatometre analizi
- 3-A-6 Perlit katkılı güney kilinin Dilatometre analizi
- 3-A-7 Güney kili ile hazırlanan reçetenin Dilatometre analizi
- 3-B-1 Katkısız kuzey kilinin Dilatometre analizi
- 3-B-2 Syn-por katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi
- 3-B-3 Talaş katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi
- 3-B-4 Polysterol katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi
- 3-B-5 Kağıt katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi
- 3-B-6 Perlit katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi
- 3-B-7 Kuzey kili ile hazırlanan reçetenin Dilatometre analizi
- 4-A Güney kilinin tane boyu analizi
- 4-B Kuzey kilinin tane boyu analizi
- 5-A-1 Ham güney kilinin mineralojik analizi
- 5-A-2 1000°C'de pişirilen güney kilinin mineralojik analizi
- 5-B-1 Ham kuzey kilinin mineralojik analizi
- 5-B-2 1000°C'de pişirilen kuzey kilinin mineralojik analizi
- 6- Winkler Üçgeni

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
8.1. Hazırlanan kil numunelerinin zamana bağlı ağırlık kayıplarının grafiği.....	37
8.2. Hazırlanan kil numunelerinin zamana bağlı kuru küçülmelerinin grafiği.....	37
9.1. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin plastiklik suyu miktarlarını gösteren grafik.....	45
9.2. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin kuru küçülme değerlerini gösteren grafik.....	46
9.3. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 960°C' deki pişme küçülmeleri değerlerini gösteren grafik.....	47
9.4. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 1000°C' deki pişme küçülmelerini gösteren grafik.....	48
9.5. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 960°C' deki toplam çekme değerlerini gösteren grafik.....	49
9.6. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 1000°C' deki topla çekme değerlerini gösteren grafik.....	50
9.7. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 960°C' de su emme oranlarını gösteren grafik.....	51
9.8. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 1000°C' de su emme oranlarını gösteren grafik.....	51
9.9. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 960°C' deki ateş zayıyatı oranlarını gösteren grafik.....	53
9.10. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 1000°C' deki ateş zayıyatı oranlarını gösteren grafik.....	53
9.11. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin kuru mukavemet değerlerini gösteren grafik.....	54
9.12. Katkılı ve katkısız güney ve kuzey killерinin 960°C' deki görünür gözeneklilik değerlerini gösteren grafik.....	55
9.14. Syn-por, talaş ve kağıt katkılı güney kilinden hazırlanan örneklerin pişme mukavemeti değerleri.....	60
9.15. Talaş ve kağıt katkılı güney kilinden hazırlanan örneklerin SEM fotoğrafı. Homojen ve küresel dağılımlı olmayan gözenekli yapıyı gösteriyor	60
9.16. %0.6 Syn-por katkılı güney kilinden hazırlanan örneklerin SEM fotoğrafı. Nispeten homojen ve küresel dağılımlı olan gözenekli yapıyı gösteriyor.....	61

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Pirofillit ve talk yapılarındaki yük dengeleri (Grimshaw, 1971).....	9
3.2. Montmorillonit ile pirofillit'in yük dengesi bakımından karşılaştırılması (Grimshaw, 1971).....	10
5.1. Sedimentlerdeki Demir Mineralleri (Fischer, 1989).....	20
6.1. Avrupa'da bazı Tuğla-kiremit endüstrisinde kullanılan killerin ağırlıkça yüzdelerini gösteren mineralojik içerikleri (Schmidt, 1981).....	23
7.1. Kuzey ve güney kili ile hazırlanan reçeteler.....	29
7.2. Hazırlanan örneklerin reçeteleri.....	29
7.3. Hazırlanan numunelere uygulanan pişirme rejimleri.....	31
8.1. Kuzey ve güney killерinin mineralojik bileşimlerini ağırlıkça % olarak gösteren XRD sonuçları.....	35
8.2. Deneşlerde kullanılan hammadde ve katkıların kimyasal analiz sonuçları.....	36
8.3. Kuzey ve güney kilinin tane boyu analiz sonuçları.....	36
8.4. Kuzey ve Güney killерinin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	38
8.5. %0.6 Syn-Por katkılı Kuzey ve Güney killерinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	39
8.6. 70ml Talaş katkılı Kuzey ve Güney killерinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	40
8.7. 70ml Polysterol katkılı Kuzey ve Güney killерinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	41
8.8. 70ml Kağıt katkılı Kuzey ve Güney killерinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	42
8.9. %4 oranında Perlit ve %1 oranında cam granül katkılı Kuzey ve Güney killерinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	43
8.10. Hazırlanan reçete örneklerinin fiziko-mekaniksel deney sonuçları.....	44
9.1 Kuzey kilinin katkısız ve 1000°C' de pişirilmiş örneklerine ait XRD ile yapılan mineralojik analizinin ağırlıkça % sonuçları.....	56
9.2 Güney kilinin katkısız ve 1000°C' de pişirilmiş örneklerine ait XRD ile yapılan mineralojik analizinin ağırlıkça % sonuçları.....	57
9.3. İzomorfik katyonların kalsiyum-silikat oluşumuna etkileri	59
9.4. Kalsit bozunma sıcaklıkları ve reaksiyon entalpisi.....	61

1. GİRİŞ

İnsan ömrünün ortalama olarak %70-80'lik bölümünün kapalı hacimlerde geçtiği düşünülürse, iç mekan konforunun insanın sağlıklı, mutlu ve üretken bir yaşam sürmesi üzerindeki etkileri hemen anlaşılabilir. Ülkemizdeki enerji tüketiminin yaklaşık %40'ının konutlarda kullanılması ise iç mekan ısı konforu kavramının insan yaşamında ne denli önemli olduğunu vurgulamaktadır (Eltez, 2000). Dünya Sağlık Örgütü'ne (WHO) göre sağlık; yalnız hasta olup olmamakla değil, aynı zamanda kişinin fiziksel, psikolojik ve sosyal rahatlığıyla da tanımlanmaktadır. Kullanılan yapı malzemesinin cinsinden, evlerin mimarisine, binanın hangi sosyal çevrede bulunduğu kadar bir çok etkenin rahatlık üzerinde oynadığı rol farkı mesleki disiplinler tarafından incelenerek, fiziksel, aynı zamanda psikolojik rahatlığı en fazla ev ortamının etkilediği sonucuna varılmıştır. Ancak tükenir enerji kaynaklarının kısıtlı ve pahalı olması, stratejik önemi nedeniyle kolay elde edilemez oluşu, kullanımı sırasında açığa çıkan SO₂/SO₃ ve CO₂ gazlarının ekolojik sistemle birlikte insan sağlığını da olumsuz yönde etkilemesi nedenleriyle kentsel yaşamda konforla birlikte para ve enerji kaynaklarının daha verimli kullanılma zorunluluğu doğmuştur (Adlung Baykara, 2000).

Enerji kullanımında tasarruf yapılması bu amaca yönelik çalışmaların bir boyutunu oluşturur. Ancak proje ve denetimden uzak konutların hızla artması enerji tasarrufunu engellemekte ve hava kirliliğine neden olmaktadır. Aynı iklim koşullarında ve aynı alana sahip Türkiye'deki bir konut Fransa'ya göre %46-53, Almanya'ya göre %25, İngiltere'ye göre %27, İsveç'e göre %230 daha fazla yakıt sarf etmektedir. Ayrıca bu kayıpların %40'ının dış duvarlarda gerçekleşmesi burada kullanılan yapı malzemesinin önemini daha da arttırmaktadır. Dış ortamda oluşan ani sıcaklık yükselmeleri ve düşüşleri insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. İnsanın kendisini iklimsel konforda hissedebilmesi için yaşanan kapalı mekanlarda öyle malzemeler seçilmelidir ki, yapı en sıcak devrede çok az ısı kazanırken, en soğuk zamanlarda ise çok az ısı kaybetmelidir (Eltez, 2000).

Yapı malzemeleri içinde ancak tuğla gibi farklı mineralleri bir arada bulunduran silikat tabanlı, gözenekli malzemeler hem ısı depolama hem de yeterli küçüklükte ısı iletkenlik özelliklerini bir arada taşıyabilir. Böylece insan için rahat bir ortam oluşurken, aynı zamanda da enerji tasarrufu sağlanabilir (Adlung Baykara, 2000).

Bu çalışmanın amacı; yapı malzemelerinde yalıtkanlığı arttırmak için kullanılan kağıt, talaş ve polysterol gibi organik ve perlit gibi inorganik katkıların bünyede oluşturduğu fiziko-mekaniksel özelliklerini yeni bir malzeme olan Syn-Por' un oluşturduğu özellikler ile

karşılaştırmak, yeni reçeteler oluşturarak malzeme özelliklerini geliştirmek ve daha düşük ısı geçirgenliğe sahip yapı malzemelerinin üretilmesi için ön çalışmayı oluşturmaktır.

2. KİLLERİN KİMYASAL VE MİNERALOGİK KOMPOZİSYONLARI

Günümüz seramik üretimi teknolojisinde tüm faktörler göz önüne alınmalıdır. Sadece hammaddeler değil, bunlar içindeki minerallerin fiziksel ve kimyasal etkileri de incelenmelidir.

Seramik malzemeler genellikle saf değildir. Tek bir mineral dominant olabilir ancak safsızlıklar özellikler üzerinde büyük bir etkiye sahiptir.

Grimshaw (1971)'a göre killer genellikle kil minerallerinden oluşur. Ancak önemli miktarda safsızlık da içerebilirler ve bu safsızlıklar malzeme özelliklerini etkiler. Işık (1996)'a göre ise kil; doğal olarak oluşmuş, başlıca ince taneli minerallerden meydana gelen, yeterli miktarda su katılınca genellikle plastikleşen ve kuruma veya pişme sonucu sertleşebilen malzeme için kullanılan terimdir. Her ne kadar kil genellikle tabakalı silikatları kapsarsa da plastiklik veren ve kurutulduğu veya pişirildiği zaman sertleşen diğer malzemeleri de içerebilir. Kil içinde kil mineralleri haricinde plastiklik yapmayan ve organik maddeler de bulunabilir

Kil içindeki safsızlıkların miktarı, kullanım alanına göre değişir. Porselen üretiminde kullanılan kildeki renk verici oksitlerin oranı düşük olmalıdır. Refrakter sanayinde kullanılacak kil ise çok düşük oranda ergitici içermelidir. Kildeki safsızlıklar etkilerini aşağıdaki faktörlere bağlı olarak gösterirler:

1. Kullanılan kilin kökenine
2. Kil mineralleri ve aksesuar minerallerin oranına, tane boyuna ve morfolojisine
3. Seramik bünyenin imalat şartlarına
 - (a) Maksimum sıcaklık
 - (b) Isıtma ve soğutma hızı
 - (c) Fırın atmosferi
 - (d) Mevcut olan diğer maddelerin etkileri

Grimshaw (1971)'a göre kil içindeki kimyasal bileşimler aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir.

1. Silis
2. Alümina
3. Alkali ve toprak alkali içerikli mineraller
4. Demir bileşikleri

5. Kalsiyum bileşikleri
6. Magnezyum bileşikleri
7. Titanyum bileşikleri
8. Tuz kompleksleri

2.1 Silis

Silis kil içinde iki şekilde bulunabilir;

1. Serbest silis : kuvars; amorf, hidrate ve kolloidal silis şeklinde.
2. Diğer elementlerle birlikte
 - a) Alüminyumla kil minerallerini oluşturur.
 - b) Alkaliler ve alümina ile feldspat, mika veya alümina-silikatları oluşturur.
 - c) Çeşitli bazlarla basit silikatları oluşturur. Örneğin vollastonit CaSiO_3 .

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

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

Kuvars halinde bulunmayan silis çok daha fazla reaktiftir. Tridimit ve kristobalit 'e daha çabuk dönüşür ve alkalilerle daha düşük sıcaklıklarda bileşik oluşturur.

2.2 Alümina

Alümina (Al_2O_3) sadece kil mineralleri içinde bulunmaz; feldspat, mika ve andalusit, sillimanit, mullit gibi diğer alümina-silikatların atom yapısında da yer alır. Halloysit, az miktarda jipsit ($\text{Al}(\text{OH})_3$) veya böhmit [$\text{AlO}(\text{OH})$] formunda alümina-hidrat içerebilir. Halloysit ve fireclay içeren killer yüksek ergime sıcaklığı nedeniyle özellikle refrakter malzeme üretiminde kullanılmaktadır.

Kil minerali haricinde bulunan alüminyum bileşikleri şu etkilere sahiptir.

1. Kaolende kilin plastikliğini azaltır.
2. Fireclay de kilin refrakterliğini arttırır.

2.3 Alkali Bileşikleri

Kilde bulunan temel alkali bileşikleri şunlardır:

1. Silikatlar veya alümina-silikatlar: feldspat, mikalar ve sulu-mika örnek olarak gösterilebilir. Buradaki mika ve sulu-mineraller gerçekte kil mineralleridir. Alkali-içerikli mineraller seramik üretiminde vitrifikasyon sıcaklığını düşürür.
2. Kil minerali kristallerinin üzerine adsorplanan katyonlar: Montmorillonitler bu şekilde %3'e kadar alkali miktarı içerebilirler. Ancak kaolinitlerde %0.3'ü geçtikleri çok nadirdir.
3. Çözünür tuzlar: potasyum sülfat, sodyum sülfat ve sodyum klorür ve bunların kompleksleri.

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

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

2.4 Demir Bileşikleri

Killerde bulunan başlıca demir-içerikli mineraller şunlardır:

Manyetit (Fe_3O_4): Ham killerde nadiren bulunur ancak pişirme sırasında ferrik oksidin kısmen indirgenmesi ile oluşabilir.

Hematit (Fe_2O_3): Ayrışmaya maruz kalmış killerde fazla bulunmaz. Çünkü hidrate forma dönüşür (limonit). Pişmiş killerdeki en önemli renklendiricidir. Hematit bazı killerde fazla miktarda bulunur ve bu killerin kırmızı veya salmon-pembe olmasına neden olur.

Limonit ($Fe_2O_3 \cdot xH_2O$): Sarı veya kahverengimsi amorf tanelerden oluşan hidrate-demir oksittir. Limonit genellikle $2Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$ formülüne sahiptir ancak diğer sulu demir-oksitler için de limonit terimi kullanılır. Killer genellikle belirli bir miktar limonit içerir. Ancak ayrışma sonucu oluşmuş killerde daha fazla bulunur ve killere sarı renk verir. Isıtma ile limonit suyunu kaybeder ve ferrik okside dönüşür. Bu nedenle kırmızı rengin elde edilmesi için önemli bir kaynak oluşturur.

Gotit [$FeO(OH)$] veya $Fe_2O_3 \cdot H_2O$: kahve-siyah, sarımsı veya kırmızımsı renklerde oluşan sulu demir oksittir. Killerin çoğunda mevcuttur ve diğer minerallerin çevresinde kolloidal formda bulunur. Killerde limonit denilen minerallerin çoğu ince boyutlu götit 'tir.

Ferrous oksit (FeO): ham killerde genellikle bulunmaz ancak özellikle indirgen atmosferde pişirme sırasında oluşur.

Pirit (FeS₂): sarımtırak demir-sülfür tır. Kübik kristal yapıdadır.

Markasit (FeS₂): pirit ile aynı kimyasal formüle sahiptir. Ancak iğnemsiz şekilde oluşur (ortorombik). Markasit ayrışma ile kolayca ferrous sülfata okside olur ve kurutulmuş kilde beyazlıklar oluşturur. Pirit ise markasitin aksine kolaylıkla ayrışmaz veya okside olmaz.

Siderit (FeCO₃): sarı, kahverengi veya kırmızı renkte oluşan demir karbonattır.

2.5 Kalsiyum Mineralleri

Kil içinde bulunan temel kalsiyum bileşikleri şunlardır:

1. Kalsit (CaCO₃): beyaz veya gri renktedir (Rombohedral).
2. Aragonit (CaCO₃): beyaz, gri veya yeşilimsi renktedir (Ortorombik).
3. Kalsiyum-silikat (CaSiO₃) ve kalsiyum-alümina-silikat (Ca-feldispat).

Grimshaw (1971)' a göre kalsiyum bileşiklerinin kil üzerinde temel etkileri şunlardır:

1. CaO' in tuğlada 1050°C' ye kadar ergitici özelliği yoktur. Ancak kil mineralleri ile düşük sıcaklıkta vollastonit (CaSiO₃) veya anortit (CaAl₂Si₂O₈) oluşturur.
2. Hareketli, yüksek korozif etkiye sahip akışkan sıvı oluşturur. Soğutulduğunda sıkı bağlanmaya ve asitlere dirençli cam oluşturur. Cam düşük sıcaklıklarda yumuşar ve bünyede deformasyona neden olur.
3. Reaksiyon sıcaklığının altında kalsiyum bileşikleri pişme küçülmesini düşürür.
4. Kırmızı rengin olduğu sıcaklıkta kalsiyum bileşikleri demir minerali ile birleşerek rengin açılmasına neden olur. Renk daha fazla açılmak istendiğinde kalsiyum mineralleri çok ince taneli olarak yapı içine iyice dağıtılmalıdır.
5. Kalsiyum karbonat yaklaşık 900°C 'de dekompozisyona uğrayarak kirece dönüşür ve soğutma sırasında bu şekilde kalırsa havanın nemini ve CO₂' ini çekerek hacmini artırır ve nedenle seramik bünyelerde patlamalara neden olur.
6. Yaklaşık 900°C' de CO₂ çıkışı nedeniyle seramik bünyelerin mukavemetini düşürür ve su emmeyi artırır.
7. Kalsiyum sülfat pişirme sırasında kararlıdır ve düşük sıcaklıkta pişirilen tuğlalarda bulunabilir. Yüzey tuğlalarında asıl çiçeklenmenin nedeni MgSO₄' in yanında bu mineraldir. Doğal killerde genellikle bulunmamasına rağmen kalsiyum karbonat ve pirit içeren killerin pişirilmeleri sırasında da oluşabilirler.
8. Bazı tuğla killerinde küçük oranlardaki kalsiyum bileşikleri vitrifikasyon aralığını artırır.

9. Bünye ve surlarda ergitici olarak kullanıldığında kalsiyum bileşikleri genleşmeyi azaltır. Ancak alkalilerin yerine kullanıldığında olgunlaşma sıcaklığını artırır.

2.6 Magnezyum Mineralleri

Kil içinde küçük oranlarda bulunur; manyezit ($MgCO_3$), dolomit ($CaMg(CO_3)_2$), klorit, spinel, magnezyum-silikatlar (enstatit, $MgSiO_3$) veya magnezyum-alümina-silikatlar (korderit $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$) şeklinde bulunabilir.

Magnezyum Sülfat ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$): tuğla killlerinde çok düşük miktarlarda bulunur. Ancak %0.05 'lik miktar dahi çiçeklenmeye neden olur. Kalıplama öncesi çok ince taneli baryum karbonat ilavesi ile bu negatif etki önlenir. Bazen pişirme sırasında magnezyum tuzları ile sülfür gazının birleşmesi sonucu da suda çözünmeyen magnezyum sülfat oluşabilir. Bu durumda baryum ilavesi çiçeklenmeyi engellemez.

2.7 Titanyum Mineralleri

Ayrışmaya karşı dayanıklı olduğu için kil içinde yaygın olarak bulunur. Bulunan ana mineraller; rutil, anataz ve brookite 'tir (tümünün formülü TiO_2). Titanyum miktarı genellikle %3 'ü geçmez. Sedimenter killerde anataz, reziduel killerde ise rutil daha yaygın olarak bulunur.

3. TABAKALI KAFES YAPILARI

Işık (1996)'a göre kil minerali; tabakalı yapıya sahip, sulu alüminyum-silikat grubu minerallere verilen genel bir isimdir. Killerin plastik özellik kazanmasını kuruma veya pişme sonucu sertleşmesini bu mineraller sağlar.

Worrall (1986)' a göre her bir silis dörtyüzlüsünde üç oksijen atomu paylaşıldığında sürekli bir düzlem yapı meydana gelir. Dört oksijenden sadece bir tanesi elektrik nötr değildir ve doygunluk için diğer katyonlara bağlanmalıdır. Düzlem içindeki Si-O bağlanması iki boyutta sonsuz olarak meydana gelebilir; yani bu mineral düzlemsel bir yapıya sahiptir. Silis birimleri bir çok yapıda hegzagonal halkalar oluşturacak şekilde dizilirler. Düzlem; altı benzer halka ile çevrili simetrik halkalardan oluşur.

Diğer silikatların tersine, düzlem yapılar ilave katyonu kullanarak üç boyutlu ağ oluşturmazlar. Birbirinin üstüne sıralanma ile net bir tabaka oluşur ve bu tabakaların birbirine bağlanması zayıftır. Bu tür mineraller diğerlerine göre daha kolay kesme gerilmesi ile birbirinden ayrılabilir ve kristal oluşumu tam olarak düzlemsel şekillidir.

Her bir mineral tabakası bağımsız bir birimdir. Yani, Pauling Kuralı sadece düzlem içinde uygulanabilir. Her bir tabaka elektriksel olarak nötr olmalıdır ve katyonlar boyut oranlarına göre anyonlarla koordinasyon kurmalıdır. Bazı durumlarda tabakalar elektriksel olarak nötr olmayabilir. Bu durumda tabaka yüzeyine başka katyonlar adsorplanarak nötrlük sağlanır.

3.1 Tek-Tabaka Grubu

Grimshaw (1971)'a göre bu grupta yapı; tabakaların sıralanmasıyla oluşur. Silis tetrahedrasındaki valans oksijenleri oktahedra katyonları ile nötrlenir. Altı oksijenle simetrik bir dizilmeye sahip olabilecek katyon sayısı sınırlıdır. En yaygın olanları: Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} ve Fe^{2+} dir.

Altı koordinasyonda dizilmiş olan trivalent katyonlar valanslarının yarısını anyonlarla paylaşır. Divalent katyonlar ise valanslarının üçte birini anyonlarla paylaşır. Buna göre divalent katyonlara sahip minerallerin kafes konfigürasyonu trivalent katyonlu minerallerden farklı olmalıdır. Yani, tek tabakalı mineraller katyon yüklerine göre iki alt gruba ayrılır.

3.1.1 Trivalent katyonlar

Önemli kaolen grubu mineralleri bu gruba dahildir. Silisyum-oksijen düzlemi bir anyonla alüminyum atomuna bağlanır. Alüminyum atomu ise jibsit ($Al(OH)_3$) düzlemi gibi düzenlenmeye sahiptir ve oksijen ve hidroksil birimlerinden oluşan altı anyonla koordine edilir.

Bazı mineraller kaolinit ile aynı kimyasal kompozisyona, ancak farklı yapı ve özelliklere sahiptir (nakrit, dikit, livesite, halloysit, anoksit ve belki allafon). Nakrit ve dikit yaygın olarak bulunmaz ve her ikisi de kaolinit'e göre daha büyük kristallere sahiptir. Sedimenter killere birlikte bulunduğu için en yaygın olan kaolen minerali livesite' tir. Fireclay, bazı bağlama killeri, tuğla-toprağı ve bazı ballclay içinde ince taneli livesite bol miktarda bulunur.

Kaolen minerallerinin tümü ideal $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ bileşiminde oluşur ve sadece tabakaların birbirine göre düzenlenmeleri farklıdır. Temel bir kaolenit tabakası, hegzagonal silis ağının oksijen atomu ile alüminyum atomuna bağlanması sonucu oluşur.

Silisyum atomlarının hegzagonal halkalarının altında iki tane alüminyum atomu bulunur. Aslında her bir silisyum halkasının altında oktahedral katyonlarının yer alabileceği üç tane pozisyon vardır. Ancak bu pozisyonların tümü trivalent katyonlarla doldurulursa elektriksel nötrlük sağlanamaz. Kaolen tabakasında bu üç pozisyondan sadece iki tanesi doldurulur ve buna dioktahedral denir.

Kaolen minerallerinde her bir tabaka farklı yönlerde dizildiği için polimorfizm meydana gelir. Bir tabaka içinde elektrik valans yükleri dengede olmasına rağmen, bazal oksijen atomlarıyla komşu düzlemdeki hidroksil grupları arasında zayıf bir bağlanma oluşur (hidroksil veya O-OH bağı). Bu bağ zayıftır ancak kristalin c-boyutunda oluşması için tabakaların bir arada kalması için yeterince kuvvetlidir. Tabakalar arasında yaklaşık 7.2Å'luk bir boşluk bulunur.

Kaolen minerallerinin kristal boyutu birbirinden farklıdır. Nakrit ve dikit büyük tanelerden oluşur ve normal bir mikroskopla gözlem yapılabilir; kaolinit daha küçüktür ve sadece birkaç mikron boyutundadır; halloysit kristali de küçüktür ve 1 mikronu nadiren geçer; livesite kristalleri ise 35000 defa büyüten elektron mikroskopunda dahi rahatlıkla gözlemlenemez. Bu boyutsal farklar kristal yapısından veya c-boyutundaki değişikliklerden kaynaklanmaktadır.

Kaolen tabakalarının paketlenmesi oyun kartlarına benzetilebilir. Nakrit'te her bir kart alttaki kartın tam üzerinde olduğu için büyük yapılar meydana gelir. Dikit'te ise tek bir yönde küçük bir kayma meydana gelir (6-7°). Kaolinitte de tek bir yönde kayma vardır ancak bu kayma daha fazladır (14-15°). Livesite iki yönde yer değiştirmeye sahiptir. Yer değiştirme bir yönde rasgele, diğer yönde ise düzenlidir.

Kaolen mineralleri, izomorf yer değiştirmenin büyük oranda meydana gelmediği nadir silikatlardır. Bu durum önemlidir çünkü ferrik demir yapıdaki alüminyum atomlarıyla kolaylıkla yer değiştirebilir (Grimshaw, 1971).

3.1.2 Divalent katyonlar

Kaolinit'te alüminyum atomlarının diğer trivalent katyonlarla yer değiştirmesi yaygın değildir. Ancak divalent katyonlarla da benzer yapılar elde edilebilir. Divalent katyonlarla iki tipten bahsedilebilir; a) magnezyum ve b) demir katyonlarının ilave edilmesi. Yapılar birbirine benzerdir.

3.1.2.1 Magnezyumlu mineraller

Trioktahedralinde magnezyum iyonu bulunduran tek tabakalı silikat yapıları seramik çalışmaları için önemlidir. Çünkü bunlar serpentin ve aspes 'lerde yer almaktadır. Temelde iki çeşit mineral tanımlanmıştır: krisotil ve antigorit. Bunlar benzer özelliklere sahiptir ve $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ tabaka formülüne sahiptir.

3.1.2.2 Demirli mineraller

Hidrate demir silikatlar genellikle çift tabakaya sahip klorit olarak sınıflandırılır.

3.2 Çift Tabaka Oluşumu

Jibsit gibi bir hidroksil tabakasının hem altında hem de üstünde heksagonal silis ağa bağlanarak bir sandviç yapısı oluşturur. Yapı iyonik/kovalent bağlanmalarla iki boyutta sonsuz genişleme kapasitesine sahiptir. Alüminyum iyonu bulunduğu zaman oktahedraldaki üç pozisyondan sadece iki tanesi işgal edilir. Bunun sonucunda oktahedral çift-tabaka yapısı oluşur ve bu temel yapıya pirofillit tabakası denir. Bu birimin ideal kimyasal formülü $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ veya yapısal formülü $Al_2(Si_2O_5)_2(OH)_2$ olarak gösterilebilir.

Oktahedral tabakada alüminyum yerine Mg, Fe veya başka bir divalent katyon yer alabilir. Bu tabakaya talk tabakası denir ve $3MgO \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O$ kimyasal veya $Mg_3(Si_2O_5)_2(OH)_2$ yapısal formülüne sahiptir. Hem pirofillit hem de talk tabakaları elektriksel olarak nötrdür (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Pirofillit ve talk yapılarındaki yük dengeleri (Grimshaw, 1971).

	Pirofillit		Talk	
Kasyon	Al_2^{3+}	+6	Mg_3^{2+}	+6
	Si_4^{4+}	+16	Si_4^{4+}	+16
	Toplam	+22	Toplam	+22
Anyon	O_{10}^{2-}	-20	O_{10}^{2-}	-20
	$(OH)_2^-$	-2	$(OH)_2^-$	-2
	Toplam	-22	Toplam	-22

Seramik malzemelerin ham veya pişmiş durumlarında minerallerin çoğu bu temel yapıya dayanmaktadır. Montmorillonit, mika, illit, klorit ve vermikulit bu temel yapıdan sadece küçük sapmalar nedeniyle farklıdır.

3.2.1 Montmorillonit mineralleri

Montmorillonit; Fransa'nın Montmorillon bölgesinde bulunan kil minerallerine verilen isimdir. Temel olarak $Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + x H_2O$ kompozisyonuna sahiptir. Montmorillonit minerali ile benzer özelliklere ancak farklı kimyasal bileşimine sahip birçok mineral bulunmaktadır. Montmorillonit grubu içinde birçok mineral yer alır ancak, Montmorillonit terimi düşük miktarda yer değiştirmeye sahip sulu alümina-silikat minerallerini anlatmaktadır. Montmorillonit grubu minerallerin tümü pirofillit veya talk genel yapısına dayanmaktadır. En önemli fark ise; Montmorillonitlerde birim tabaka elektriksel olarak nötr değildir.

Montmorillonitler katyonları adsorplama ve onları sıkıca tutma özelliğine sahiptir. Katyonlar pozitif yüklü olduğu için bunları tutan tabakanın negatif yüklü olması gerekir. Net negatif yük ise kafes yapısındaki iyonik yer değiştirmeden kaynaklanmaktadır. Yani, oktahedrada Al^{3+} ; Mg^{2+} yer değiştirmesi sonucu bir yük eksikliği oluşur. Montmorillonit mineralinde magnezyum atomu 1'e 6 oranında alüminyum atomu ile yer değiştirebilir. Diğer montmorillonit grubu mineraller de ise Al^{3+} yerine Fe^{3+} ve dörtyüzlüdeki Si^{4+} yerine Al^{3+} iyonu gelebilir. Çizelge 3.2' de montmorillonit ile pirofillit'in sahip olduğu yükler karşılaştırılmıştır.

Çizelge 3.2. Montmorillonit ile pirofillit'in yük dengesi bakımından karşılaştırılması (Grimshaw, 1971).

Montmorillonit	Net Yük	Pirofillit	Net Yük
$3O^{2-}$	-6	$3O^{2-}$	-6
$2Si^{4+}$	+8	$2Si^{4+}$	+8
$2O^{2-} + (OH)^{1-}$	-5	$2O^{2-} + (OH)^{1-}$	-5
$1.67Al^{3+} + 0.33Mg^{2+}$	+5.67	$2Al^{3+}$	+6
$2O^{2-} + (OH)^{1-}$	-5	$2O^{2-} + (OH)^{1-}$	-5
$2Si^{4+}$	+8	$2Si^{4+}$	+8
$3O^{2-}$	-6	$3O^{2-}$	-6
Pozitif yüklerin toplamı	21.67		22
Negatif yüklerin toplamı	22		22
Fark	-0.33		0

Montmorillonit grubu minerallerinde birçok katyon yer alabilir. Ancak en çok bulunan katyonlar; silisyum (Si^{4+}), alüminyum (Al^{3+}), magnezyum (Mg^{2+}), üç değerlikli demir (Fe^{3+}), iki değerlikli demir (Fe^{2+}) ve lityum (Li^{+})'dur.

Teorik olarak gösterilen yapılarda değişebilen katyon olarak her zaman sodyum gösterilir. Ancak doğadaki haliyle Ca^{2+} veya K^{+} gibi diğer katyonlar da absorplanabilir. Bu diğer katyonların yapıya girmesi, mineralin sahip olduğu yapısal formülü çok fazla etkilemez, fakat mineralin sahip olduğu özellikler bu durumdan şüphesiz etkilenmektedir. Montmorillonit tabakaları arasına absorplanan alkali veya toprak alkali katyonların komşu birimlerin birbirine bağlanmasında çok önemli bir rolü vardır. Yapıya giren bu tür iyonlar yapı içinde tutunmamalarına rağmen negatif yüklü birimler arasında bir köprü vazifesi yaparlar.

Montmorillonitler yaklaşık $150^{\circ}C$ 'ye kadar ısıtıldıklarında yaklaşık 10\AA 'luk bir bazal boşluğa sahiptir. Bu boşluk adsorplanan katyonun boyutuna göre değişiklik gösterir. Montmorillonitlere su ilave edildiğinde ise bu boşluk 14\AA 'a kadar çıkar. Yani tabakalar arası

boşluğa su girmektedir. Daha fazla su ilave edildiğinde bu rakam 20\AA 'a kadar çıkar ve montmorillonit süspansiyon içinde tamamen izole düzlemseller olarak davranır.

3.2.2 Mika grubu

Mikalar $[\text{KAl}_2(\text{Al}_1\text{Si}_3)\text{O}_{10}(\text{OH})_2]$ montmorillonitlere benzer ve yapı pirofillit veya talk yapısına dayanmaktadır. Tabakalar elektriksel olarak dengelenmemiştir ve bu nedenle ara tabakada katyonlar bulunur. Ancak fiziksel özelliklerde önemli bir fark bulunmaktadır. Mika tabakalarında yük eksikliği daha fazla olduğu için ara tabaka katyonları çok daha sıkı tutulur ve bu katyonlar iyonik bağlanma ile tabakaları bir arada tutar. Tabakalar montmorillonite göre daha sıkı tutulduğu için mikalar ara tabakada su adsorplamaz ve mineral dekompozisyonu hariç değişebilen katyonlar yer değiştirmezler.

Montmorillonit veya mika mineralleri arasındaki en büyük farklılık; montmorillonitlerde yük eksikliği oktahedral tabakadan, mikalarda ise tetrahedral tabakadan kaynaklanmaktadır. Bu nedenle ara tabaka katyonları yapıya daha sıkı bağlanırlar. Katyonlar tetrahedral tabakaya daha yakındır. Bu nedenle daha kuvvetli bağlanma olur. Montmorillonitlerde net negatif yük 0.33, mikalarda ise yaklaşık 1.00'dir.

Muskovite potasyum katyonları her bir silis hegzagonal halkasının üzerinde simetrik olarak bulunmaktadır. Bu şekilde her bir potasyum atomu hem alttaki hem de üstteki hegzagonal halkanın altışar oksijeni ile toplam 12 bağ yapar. Ara tabaka mesafesi ise yaklaşık 9.8\AA 'dur.

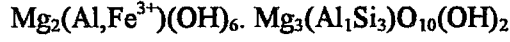
3.2.3 Hidrate mika veya illit

Bu mineral muskovite göre daha az alkali iyonları içerir, tane boyu daha küçüktür, bazal boşluğu yaklaşık 10\AA 'tür ve kafes yapısında hacimsel genişleme göstermez.

3.2.4 Kloritler

Kloritlerin yapısı talk yapısına dayanır, ancak bu talk tabakalarının arasında brisit $[\text{Mg}(\text{OH})_2]$ tabakası bulunmaktadır. Bu tabakalarda izomorfik yer değiştirme vardır; dördüzlüsündeki silisyum atomu alüminyumla, oktahedraldaki alüminyum atomu ise magnezyum veya Fe^{2+} iyonlarıyla yer değiştirebilir. Aynı zamanda Fe^{3+} ve Cr^{3+} iyonları da bulunabilir. Si^{4+} iyonlarının Al^{3+} iyonları ile yer değiştirmesi sonucu talk tabakasında net bir negatif yük oluşur ve yük brisit tabakasındaki pozitif yük ile dengelenir (brisit tabakasında Mg^{2+} , iyonları yerine Al^{3+} iyonlarının gelmesi sonucu bu tabaka net pozitif yük kazanır).

Kimyasal formül şu şekilde gösterilebilir:



Brusit Tabakası

Talk Tabakası

3.2.5 Vermikulitler

Bu mineraller ısıtıldığında hacmi yaklaşık 100 kat artar ve bu malzemeler ısı yalıtkan malzemesi olarak kullanılır. İçinde önemli miktarda alüminyum ve demir bulunmasına rağmen vermikulitler; hidrate-magnezyum-silikat olarak kabul edilir. Vermikulitin moleküler kompozisyonu şu şekildedir:



Vermikulitlerin bazal boşluğu 14.2 Å'tur. Ancak orta-yüksek sıcaklığa ısıtıldığında 9.26 Å'a düşer. Bu olay iki basamakta meydana gelir; 110°C'de 11.8 Å'a düşer ve daha sonra 9.26 Å'a düşer.

3.3 Tabakalı Latis Mineral Gruplarının Sentezi

Farklı sıcaklık ve basınçlarda kil mineralleri arasında geçişler veya kil minerali sentezi elde edilebilir. $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ sisteminde yüksek sıcaklık ve basınçta (400°C ve 300atm) genellikle pirofillit oluşmaktadır (alümina ve alüminyum-hidroksitle birlikte). Farklı Al_2O_3 : SiO_2 oranları için dahi bu sonuç geçerlidir. Daha düşük sıcaklık ve basınçlarda ise genellikle kaolen belki halloysit oluşur.

Reaksiyon sistemine alkali veya toprak alkali ilave edildiğinde şaşırtıcı sonuçlar elde edilir. Yüksek sıcaklık ve basınçta sisteme alkali ilave edilirse genellikle montmorillonit minerali oluşur. Ancak asit ortamda olursa kaolen mineralleri veya pirofillit oluşur. Bununla birlikte, değişik katyon ilavesi şartlarında, farklı alümina : silis oranlarında ve değişik sıcaklık-basınç şartlarında feldispat, talk, mikalar, kloritler ve vermikulitler oluşabilir.

Yüksek sıcaklık ve basınç şartlarının haricinde, normal şartlar altında dahi sentezleme yapılabilir. Ancak bunun için reaktant konsantrasyonu çok yüksek olmalıdır ve denge durumuna çok yavaş gelinir. Bu tür sentezlemede oluşan ürünler karmaşıktır. Ancak genellikle yüksek sıcaklık-basınç şartlarındaki modeli izler; asit veya nötr şartlarda kaolenit veya pirofillit, alkali şartlarda ise montmorillonit oluşur. Ancak zeolit'te oluşabilir (Grimshaw, 1971).

4. YÜKSEK GÖZENEKLİ TUĞLALARIN ENDÜSTRİYEL ÜRETİMİ

Binalarda ısı yalıtımı ekonomik ve ekolojik açıdan her geçen gün daha önemli hale gelmektedir. Bunun en büyük nedenleri: Fosil yakıt tüketiminin ve atmosfere verilen CO₂ gazının azaltılarak ekolojik dengenin korunmasıdır. Fosil yakıtların, kimyasal ürünlerin ve metan, azot-oksitler gibi gazların serbestleşmesi atmosferdeki biosfer tabakasına büyük zarar vermektedir. Bunun sonucunda küresel olarak iklimler dahi değişmeye başlamıştır. Almanya'da üretilen enerjinin %33'ü bina ısıtmasında kullanılmaktadır. Bu noktada bina yalıtımlarının ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmaktadır.

Enerji ve ısı iletimi için atom veya moleküllerin birbirine temas etmeleri gerekmektedir. Bu şekilde enerjinin bir kısmı diğer atom veya moleküllere aktarılır ve ısı iletimi gerçekleşir. Yapı içinde bulunan kafes boşlukları veya yapının sıkı paket olması ısı iletimini etkiler. Temel olarak ısı iletimini engellemek için atom veya moleküllerin teması engellenmelidir (Rimpel ve Schmedders, 1996).

Temel olarak gözenek oluşturmak amacıyla pek çok katkı malzemesi kullanılabilir.

1. Gaz çıkışı ile gözenek oluşturan maddeler
2. Köpük ile gözenek oluşturan maddeler. Bünye içinde küçük köpükler oluşturulur ve içi gaz dolu bu köpükler belirli sıcaklıkta patlayarak geride boşluk bırakır.
3. Düşük yoğunluklu mineral ilavesi.

Ürün içinde homojen bir gözenek mikroyapısı elde edebilmek için bu yöntemlerin kombinasyonu kullanılmalıdır. Ne kadar katkı kullanılacağı ise istenilen gözenek miktarı ile ilgilidir. Burada temel problem her bir tuğlanın yük taşıma kapasitesi azaltılmaksızın ısı iletkenliği 0.3W/mK'e düşürülmesidir. Bünye yoğunluğu 1.2 g/cm³'e kadar indirilebilir. Ancak bu durumda basınç mukavemeti 4 N/mm²'nin altına düşmektedir. Bu problemi ortadan kaldırmanın en pratik çözümü gözenek oluşturu kombinasyonların kullanılmasıdır.

Talaş, köpüklü polysterol gibi yanıcı maddeler büyük gözenekler oluştururken, uçucu kül gibi endüstri atıkları ise küçük gözenekler oluşturur. Küçük gözeneklerin oluşum mekanizması şu şekilde açıklanabilir: a) dolgu maddesi olarak bünyeyi gevşeterek iri-orta-ince taneler arası boşlukların sayısı çoğalır, b) bazı uçucu küllerin içerisinde ergiticilerin bulunmasıyla bölgesel kabarmalar ve hatta patlamalar sonucu kapalı gözenekler meydana gelir.

Hafif tuğla üretiminin bir başka yolu da; genleşebilen malzeme kullanılmasıdır. Genleşen malzeme hazırlanır ve bunlar seramik bağlayıcı ile bağlanır. Perlit ve vermikülit aniden yüksek sıcaklıkta ısıtıldıklarında 15-25 kat genleşebilir. Bu durumda 0.04-0.06W/mK'lik

ısı iletimi sağlar. Ancak bu durumda sadece taşıma için gerekli olan mukavemet aranmalıdır. Başlangıç malzemesi nanometre veya mikrometre boyutunda olursa; ferdi tanelerin bağlanma ve sürtünme kuvvetleri nedeniyle bu taneler gevşek bir mikroyapı oluşturur (%85-90 porozite).

Katkı olarak yanıcı maddelerin kullanıldığı seramik bünye döküm, plastik şekillendirme veya kuru presleme gibi çeşitli yöntemlerle şekillendirilebilir. Dökümle şekillendirme yapıldığında yaklaşık %10-20 küçülme olur ve bu da malzemede çatlaklar oluşturabilir. Yanıcı katkıları kullanıldığında atmosfer; oksijence zengin bir atmosfer olmalıdır. Fırın rejiminin bu bölümde dikkatlice ayarlanması gerekir. Aksi takdirde bünyede siyah lekeler halinde kalıntı karbon kalır. Bu karbon 800- 840°C' ler arası oksidasyona uğrarken sinterleşme hızını yavaşlatır.

Organik bazlı gözenek oluşturucu maddelerin kuru olarak ilave edildiğinde malzemenin küçülmesi karıştırma suyu arttıkça daha az olur. Çünkü suyun bir kısmını gözenek yapıcı maddeler absorplar ve bu maddelerin kuruma küçülmeleri kilin kuruma küçülmesine göre daha az olduğu için malzemenin küçülmesi engellemiş olur. Bu tür uygulamalar endüstriyel boyutta da gerçekleştirilebilir. Ancak gerçek üretim şartları asla göz ardı edilmemelidir (Rimpel ve Schmedders, 1996).

4.1 Organik Hammadde Katkılarının Kullanım Limitleri

Tuğla yapımında temel olarak kil ve su kullanılmaktadır. Bunların dışında kullanılacak malzemeler birçok testten geçirilmeli ve çevreye tamamen zararsız olmalıdır. Bu malzemelerden en yaygın olarak bilineni ağaç atıklarıdır. Lifli yapıları nedeniyle ham tuğlanın daha yoğun olmasını sağlar. Kurutma işlemi sırasında su çıkışı nedeniyle boyutlarda bir küçülme meydana gelir. Su çıkışı yüzeyde daha fazla olduğu için bu bölgeler daha fazla küçülür ve sistemde bir gerilme meydana gelir. İç-dış bölgeler arasındaki gerilmeler nedeniyle bünyede deformasyon veya çatlaklar oluşabilir. Talaş lifli yapıda olduğu için bünyeyi destekler ve küçülme sırasında çatlak oluşumunu engeller. Bu nedenle tuğla daha hızlı kurutulabilir. Yalıtkanlık arandığı durumlarda tuğlada talaş kullanımı daha da önemli olur. Çünkü pişme sırasında organik malzemeler yanar ve nihai üründe büyük boşluklar oluşturur. Bu şekilde tuğlanın yoğunluğu azalır ve yalıtkanlık artar.

Günümüzde kağıt atıkları kullanımı da yaygınlaşmaktadır. Bu malzemeler tuğla yapımı için uygun kaolen ve kireç içermektedir. Ayrıca lifli yapıda oldukları için kurutma sırasında yapıya destek sağlar (Junge, 1999).

4.1.1 Katkı malzemelerinin tuğla-kiremit endüstrisinde kullanım talimatları

Tuğla üreticisi katkıların tüm kimyasal analizini üretimden önce bilmelidir..

1. Kabul edilebilirlik hakkında temel sorular yerine getirmeli: zararlı ve toksik maddeler pişirme sırasında reaksiyona girmedikleri ve sağlığa zarar verdikleri durumda asla kullanılmaz.
2. Kullanılacak katkıların kimyasal analizleri ve kalorifik değerleri göz önünde bulundurulmalıdır: yüksek radyoaktivite içeren katkılar asla kullanılamaz. Şartlar iyi tespit edilerek katkıların hangi toleransa kadar kullanılabileceği tespit edilmelidir.
3. Katkı malzemesinin tuğla ham mukavemeti üzerinde nasıl etkide bulunduğu tespit edilmelidir. Malzemenin depolama ve taşıma sırasında ne kadar zarar göreceği belirlenmelidir.
4. Katkı malzemelerinin farklı konsantrasyonlar için üretim özelliklerini nasıl değiştirdiği laboratuvar şartlarında etüt edilmelidir.
5. Ağır metal veya radyoaktif olan katkılar asla kullanılmamalıdır.

Sonuç olarak diğer endüstrilerin atığı olan katkılar, geleneksel katkılara göre çok daha dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır. Buna göre kullanılacak katkılar düşük enerji içerikli ve yüksek oranda gözenek oluşturan malzemeler olmalıdır (Junge, 1999).

4.2 Kağıt

Kağıt atıkları tuğla yapımı için uygun olan kireç ve kaolen içerir. Ayrıca lifli yapıları nedeniyle kurutma sırasında yapıya destek sağlar. Ancak kağıt atıkları yüksek su absorpsiyonu nedeniyle sınırlı bir kullanıma sahiptir. Kağıt atıkları mineral içeriği nedeniyle bünyede içinde küçük gözenekler oluşmasını sağlar (Junge ve Pauls, 1994).

Junge (1994)'e göre kağıt atıkları farklı tipteki üreticilerden elde edilebilir. Ancak her üretici kendine özgü üretim yaptığı için atıkların özellikleri değişken olabilir. Kağıt atığı; kağıt üretimi sırasında filtrenin üst kısmında kalan atıklardır. Kağıt atıkları ortalama olarak 264 kg/t spesifik ağırlığa, 1080 kJ/kg kalorifik değere ve 95 g/kg CO₂ içeriğine sahiptir ve filtrenin üstünde kalan kısım %50-80 oranında su içerir.

Kağıt atıkları fiber yapısı nedeniyle şekillendirme sırasında sucuğun ekstrüzyondan akışını hızlandırır. Keçe etkisi nedeniyle ham ürünün kararlılığını artırır ve hazırlama prosesinin başında ilave edilebildiği için homojenlik artar. Kağıt atıkları kuruma küçülmesini çok, pişme küçülmesini ise az etkiler.

Kağıt atıkları yüksek su içeriği nedeniyle sınırlı kullanıma sahiptir. Çok küçük gözenekler oluşturur ve mineralojik içeriğine bağlı olarak pişme mukavemetini pozitif etkileyebilir. Eşit miktarda yapılan ilaveler sonucu mukavemetler eşit olmayabilir. Kil bünyesi dikkate alınmalıdır. Ancak gözenek oluşturucular genel olarak pişme mukavemetini ve yoğunluğu önemli ölçüde düşürür.

Organik katkı kullanıldığında, belirli bir mukavemet değeri için, hem düşük hem de yüksek termal iletkenlik elde edilebilir. Burada en önemli faktörlerden biri de kilin kendisinin sahip olduğu tane boyu dağılımı ve mineralojik içeriğidir (Hauck ve Jung, 1999).

4.3 Talaş

Talaş; ağaç veya odun atığıdır. Kirlilik içerenler kullanılmamalıdır. Kullanılan talaşın içerdiği selülozun miktarı kalite için bir kriterdir. Kaynak ağacın sert veya yumuşak yapıya sahip olması ile talaşın kullanılabilirliği arasında bir bağ vardır. Sert talaş karışım ve şekillendirme süreçlerinde yumuşak talaşa göre daha heterojen dağılıma gösterir. Bu heterojenlik kuruma hızının kesit yüzeyde farklı olmasına yol açar.

Talaşın en büyük avantajlarından biri; çözücü, yapıştırıcı gibi yan ürünler içermemesidir. Talaş farklı odunlardan elde edildiği için nem miktarı ve yoğunluğu değişiklik gösterir. Bu nedenle homojen özelliğe sahip değildir. Nemli talaşın spesifik kütlesi: 72 kg/t, kalorifik değeri: 691 kJ/kg, CO₂ içeriği ise 53 g/kg'dır.

Talaşın uzunluğu 1-2,5 cm, genişliği 0,2-0,5 cm olduğundan tuğla massesinde dolgu vazifesi görür ve kuruma büzülme sırasında çatlak oluşumunu engeller. Bu nedenle tuğlanın hızlı kurutulmasında sorun daha az yaşanır. Talaşın dezavantajı ekstruzyon çıkışında tuğla kesit yüzeyinin deformasyona uğrama ihtimalinin atık kağıt kullanımına göre daha yüksek olmasıdır. Talaş organik bir madde olduğu için pişirme sırasında yanar ve nihai üründe büyük boşluklar oluşturur. Bu şekilde tuğlanın yoğunluğu azalır ve yalıtkanlık artar. Ayrıca organik maddelerin yanması ile ısı açığa çıktığından birincil enerjiden tasarruf edilebilir. Kullanılan katkı en fazla 1000 kJ/kg'lık enerji sağlamalıdır. Aksi takdirde fırın sıcaklığı ve sinterleme işlemi kontrol edilemez. Talaş yaklaşık olarak 12000 kJ/kg enerji verdiği için maksimum 1/12 yani %8.3 oranında kullanılmalıdır (Junge, 1994).

Talaş ve genel olarak organik katkılar sistemde büyük ve düzensiz gözenekler oluşturur. Bu nedenle mukavemette büyük düşümlere neden olurlar.

Kullanılacak talaşın tane boyu 1mm'nin altında olmalıdır. Aksi takdirde şekillendirmeyi zorlaştırır. Keçe etkisi nedeniyle ham ürünün kararlılığını artırır. Karışımın homojen olması için hazırlığın ilk safhalarında ilave edilmelidir.

Hauck ve Jung (1998)'a göre yüksek kalsit içerikli, illitik karakteri yüksek ve sarımtırak pişme rengine sahip kile hacimce %8 ilave edildiğinde büzülme %30 oranında azalır. Ancak talaş kullanıldığında %3-5 daha fazla karıştırma suyu kullanılmalıdır. Bu durum karıştırmada kullanılması gerekli olan enerji miktarını artırır.

Yazarlara göre iri talaş kullanıldığında büyük gözenekler oluşacağı için yük uygulandığında çatlak oluşumu ihtimali artar. İyi mukavemet ve düşük termal iletkenlik için gözenekler küçük ve boyut olarak homojen bir dağılıma sahip olmalıdır. Kullanılan katkılar plastik özellik taşımazlar ve açıcı eleman olarak davranırlar. Bu nedenle mikro yapıyı gevşetirler. Bunun sonucunda da makroskobik ölçülerde, istenmeyen yeni gözenekler oluşabilir.

4.4 Polystyrene

Polystyrene iki amaç doğrultusunda üretilmektedir. Bunlar

1. Tuğla yapımında gözenek oluşturucu olarak kullanılmak üzere
2. Paket yapımında kullanılmak üzere

Paket yapımında kullanılan polystyrene atıklarının tuğlada kullanmak daha ekonomiktir.

Köpüklü polystyrene (styropor) önceden köpürtülmüş polystyrene granüllerinden üretilir. Köpürtücü eleman pentan'dır. Buhar ile ısıtarak istenilen boyutlu köpükler elde edilebilir. Ana malzemesi styrene'dir. Benzol ve etilen'den sentezlenir. Polimerize edilerek polystyrene elde edilir. Dönüşüm styropor ise paket atıklarıdır. Tuğla-kiremit endüstrisinde kullanılan styropor'un %20'si geri dönüşümden elde edilmektedir (Junge ve Pauls, 1994).

Styropor spesifik kütlesi: 2.7 kg/t, kalorifik değeri: 113 kJ/kg, CO₂ miktarı ise 9.2 g/kg'dır. Styropor düşük kalorifik değere sahiptir. Bu nedenle bünyeye büyük miktarlarda ilave edilebilir. Bunun sonucunda porozite oranı yüksek malzeme elde edilebilir. Sistemde kalıntı bırakmaz. Elde edilen gözenek dairesel ve üniformdur. Bu nedenle diğer gözenek yapıcılara göre daha yüksek mukavemet değerleri elde edilebilir. Polystyrene boyut küçülmesine neden olduğu için ekstrüzyondan önce ilave edilmelidir. Ancak bu durum homojenliği azaltır. Kurutma sırasında ise önemli ölçüde bir küçülmeye neden olmaz. Ancak %0.5-1.5 oranında daha fazla karıştırma suyu kullanmak gerekir. Tane boyu 2.5 mm'den 1mm'ye düşürüldüğünde talaşla benzer yoğunluk değerleri elde edilir, ancak mukavemet talaşa göre yaklaşık %0.2 daha yüksek olur. Yüksek karbonat içerikli kile polystyrene ilave

edildiğinde düşük mukavemet değerleri elde edilir. Tane boyu önemli değildir. Polystyrene ilavesi hem mukavemeti hem de iletkenliği düşürür. Ancak benzol oluşumu dezavantajdır (Junge, 1994).

4.5 İnorganik Katkılarla Maddelerle Gözenek Oluşumu

Organik malzemeler yandıklarında CO/CO₂ ve SO_x zararlı gazları oluştururlar. Bu nedenle kullanımları mümkün olduğunca sınırlandırılmıştır. Organik maddeler yerine inorganik maddeler de gözenek yapıcı olarak kullanılabilir. İnorganik gözenek yapıcı maddelerin en önemlisi genleştirilmiş perlittir. Perlit felsik kökenli volkanik kayalardan doğal olarak oluşmuştur. Yapısında 7.5-8 mol oranında su molekülleri ihtiva eder ve yüksek sıcaklıkta bu suyunu kaybederek 15-20 katına kadar genişleyebilir. Gözenek oluşturucu olarak kullanılan perlit genişlettikten sonra %94 oranında boşluk içerir. Bu nedenle çok hafiftir.

Ancak perlit gözenek yapıcı olarak kullanılırken çok dikkatli olunmalıdır. Çünkü perlit çok hızlı bir şekilde su absorplar. Bu nedenle kullanılmadan önce ıslatılmalıdır. Aksi takdirde kildeki suyu çeker ve şekillendirmede problemler yaşanmasına neden olur. Bu durumu önlemek için karıştırma suyuna hacimce %10 oranında su ilave edilmelidir. Perlit kullanımının sağladığı avantajlardan biri de, üretim sırasında gaz çıkışı olmadığı için gaz emisyonunda kullanılan ilave ekipmanlara kilin organik içeriğine bağlı olarak gerek kalmamasıdır. Ancak organik içerikli killer için bu durum söz konusu olmayabilir.

Organik gözenek yapıcılarla karşılaştırıldığında perlit ile polystyrol'un benzer yoğunluk değerleri verdiği gözlenir. Ancak perlit katkılı ürünlerin mukavemeti daha yüksektir. Ayrıca perlit ilave edildiğinde pişirme süresi %30 kısaltılabilir. Perlitin talaşa göre avantajı ise; perlitin daha hızlı bir kurumaya sahip olmasıdır. Bu nedenle bünyede daha az su kalır ve pişirmede ilk ısıtma daha hızlı gerçekleşebilir (Niemann, 1991).

4.6 Genleşmiş Cam Granülleri İle Tuğla İçinde Gözenek Oluşturma

Gözenek oluşturmak için kullanılacak olan genleşmiş cam, kap veya düz cam tipindeki eski camlardan üretilebilir. Bu tip bir proses ile kil bünyesine alkali ve kireç (CaCO₃) ilave edilir. Genleşmiş camın kil bünyesine olan etkisi şu şekilde sıralanabilir.

- Genleşmiş cam ilavesi bulk yoğunluğu azaltır ve poroziteyi artırır.
- Artan porozite ile mukavemet ilk önce düşer ancak daha sonra cam ilavesi ile yükselir.
- Genleşmiş cam ile elde edilen porozite numunenin hazırlanması, kurutulması ve pişirilmesi sırasında da korunur.

- Yüksek oranda genişmiş cam içeriklerinde mukavemet artar.

Camın transformasyon noktasına ulaşıldıktan sonra kimyasal yapısına bağlı olarak viskoz veya yarı viskoz kıvamdaki cam, kil bünye içinde sinterleşme için gerekli olan kütle difuzyonunu kolaylaştırır. Cam içeriği arttıkça mukavemet artar. Ancak gözeneklilikte bir azalma meydana gelmez. SEM testlerinde gözenek-kenar aralığında yeni fazlar oluştuğu görülmüştür. X-ray difraktometre diyagramında oluşan yeni pikler bu bulguyu doğrulamaktadır. Bu sonuçlara göre genişmiş cam ilavesi ile mukavemetteki düşüş; yeni gözenek oluşumu ve daha fazla ilave ile mukavemetteki artma; yeni faz oluşumları ile açıklanabilir.

Betzliche vd. (2000)'e göre genişmiş cam granüllerinin bünyeye olan etkileri şöyledir:

- Genleşmiş cam granülleri şekillendirme ve kurutma üzerinde normal açıcı elemanlar ile aynı etkiyi gösterir.
- Pişirme davranışı; gözenek-oluşturucu, açıcı eleman ve kil karışımından oluşan normal tuğla yığını ile benzer şekilde gelişir.
- Yüzey kalitesi ve boyutsal hassasiyet yukarıdakine benzer.

5. KILLERİN PIŞME RENKLERİ

Fischer (1984)'e göre killer pişirildiğinde genellikle kırmızı, kırmızimsı-kahverengi, sarımsı-kahverengi veya gri renk alır. Pişme rengi beyaz olan kil oldukça nadirdir. Pişme rengini etkileyen en önemli faktörlerden biri; mamulün pişirilme sıcaklığıdır. Tuğla ve kiremit gibi yapı malzemelerinde rengi veren esas olarak demir elementidir. Ancak kimyasal reaksiyonlar ve fiziksel faktörler de göz önünde bulundurulmalıdır.

Fischer (1984)'de bildirildiğine göre pişme rengi ile ilgili saptamaları ilk kez Seger yapmıştır. Yazara göre Seger: renk şiddeti sadece demir miktarına değil, aynı zamanda kilin uğradığı oksidasyon evrelerine de bağlı olduğunu belirtmiştir. Yani çok geniş bir aralıkta renk elde edilebilir. Bünyede oluşan gözenek miktarı da rengi etkiler. Demir oksidin bulunuş durumu (pigment veya bileşikte hazır olarak bulunması) rengi etkileyen başka bir parametredir. Sistemde karbonat bulunduğunda renk daha düşük sıcaklıklarda elde edilir. Demir düşük oksijen içerdiğinde FeO'in oranına bağlı yeşil, mor veya siyah renk elde edilir. Ancak bu durum özellikle yapı malzemelerinde istenmeyen bir durumdur. Kil içinde bulunan organik malzemeler yalıklığında lokal olarak oluşan redüktif atmosfer Fe₂O₃'i indirgeyebilir. Bunun neticesinde renk değişir. Ancak oksijenin bol olduğu atmosferde oluşan FeO tekrar Fe₂O₃'e dönüşür. Killerin indirgen atmosferde pişirmelerinden sonra oksitleyici atmosferde tekrar pişirme ile

rengin pembe olmasının nedeni: indirgenme sırasında demir sülfat oluşması ve tekrar oksitlenme ile sistemdeki Fe_2O_3 miktarının artmasıdır.

Karbonatça zengin sarı pişirimli tuğlaların sülfürlü atmosferde pişirildiklerinde kırmızı renk almalarının nedeni ise, sistemde kalsiyumun alüminyum-silikat yerine kalsiyum-sülfat oluşması ve bu şekilde kalsiyumun beyazlatıcı etkisinin ortadan kalkmasıdır.

5.1 Kil İçindeki Demir Bileşenleri

Tuğla ve kiremit gibi yapı malzemelerinde renklenmeye neden olan en önemli parametre demir'dir. Ancak Al_2O_3 , TiO_2 , CaO ve MgO gibi diğer oksitler de rengi etkilemektedir. Demir kil içinde çeşitli formlarda yer alabilir (Çizelge 5.1).

Çizelge 5.1. Sedimentlerdeki Demir Mineralleri (Fischer, 1989).

İSİM	FORMÜL	RENK
Götit	$\alpha FeOOH$	Sarımsı-kahverengi
Lepidokrasit	$\beta FeOOH$	Turuncu
Hematit	αFe_2O_3	Kan-kırmızı
Manyetit	βFe_2O_3	Kırmızımsı-kahverengi
Ferrihidrit	$5Fe_2O_3 \cdot 9H_2O$	Sarı
Pirit, markasit	Fe_2S	
Siderit	$FeCO_3$	

Üç tabakalı kil minerallerinde daha fazla demir bulunur ve demir genellikle Al^{3+} 'nin bulunduğu yerde yer alır.

5.2 Pişme Sırasında Renk Veren Bileşiklerin Oluşumu

Kil içindeki mevcut pigmentin vereceği renk; yüzeyin kaba, gözenekli veya yoğun olmasından etkilenir. Ayrıca pigmentler bünyedeki diğer bileşenlerden etkilenir. Cam faz kendi rengine sahiptir ve pigmentler bu cam faz içine gömülürse renk değişir. Yüzeyde bulunan noktalar ve tabakalar renkte değişmelere neden olur. Pigmentin tane boyu da önemlidir. Tane boyu arttıkça renk spektrumu artar, net bir renk elde edilemez.

5.3 Hematit Kırmızısı

Demir içerikli killerin oksitleyici atmosferde pişirilmesi ile saf demir pigmentleri kırmızı hematit'e dönüşür. Aynı etki demir-içeren killerde de görülür. Vitrifikasyon sıcaklığının biraz altında dominant renk tuğla kırmızısıdır. Daha düşük demir içeriklerinde ise renk pembedir.

5.4 İndirgen Renkler

Sıcaklık arttıkça hematit $FeO + O_2$ olma eğilimindedir. Cam eriyiklerinin bulunduğu durumda bu eğilim daha da kuvvetlidir. Düşük demir-içerikli killer $1000^{\circ}C$ 'nin altında sinterlenme başladığında gri renk alır. Çünkü demir oksit oluşan cam faz içinde indirgenir ve renk grimsi-mavimsi olur. Yüksek demir-içerikli killerde cam faz içinde daha fazla demir indirgenir ve hematit'in sahip olduğu renk absorplanır cam faz yeşil renk alır. Sonuçta renk gölgeli kahverengi olur. $1000^{\circ}C$ 'nin üzerinde manyetit oluşumu nedeniyle renk siyah olur. İndirgen şartlar sonucu karbon çökelirse daha koyu bir siyah renk elde edilir.

5.5 Demiri Diğer Mineraller İçine Gömerek Hematit Rengini Açmak (Bleaching)

Kireç ve demir içeren killer soluk bir renge sahip olurlar. Çünkü vollastonit, gehlenit, anortit, diopsit minerallerinin oluşumu ile demir trivalent iyon olarak bu minerallerin kafeslerinde izomorfik olarak absorplanır. Bunun sonucunda mevcut hematit miktarı azalır ve renk gölgeli sarı olur.

5.6 Tuz Hareketi Ve Çiçeklenme Nedeniyle Rengin Bozulması

Kırmızı renge sahip bünyelerin yüzeyinde genellikle sarı renkler gözlenir. Bunun nedeni genellikle sülfat olan çözünen kalsiyum tuzlarıdır. Çözünen tuzlar yüzeyde birikerek sarı renk oluştururlar. Daha yoğun sinterlenmiş bünyelerde vitrifikasyon nedeniyle bu renklenme artar. Reduction-reoxidation ile bu renklenme etkilenir. %2-3 demir-içeren tuğla bu teknikte kahverengi tuz camı ile kaplanır. Yüzeyde cam tabakası oluştuğunda aynı şekilde demir bu cam içinde indirgenir ve renk bozulur (Fischer, 1989).

6. KİL BÜNYELERİNDE PIŞIRME SIRASINDA OLUŞAN FİZİKSEL VE KİMYASAL REAKSİYONLAR

Kil ürünleri sahip oldukları özelliklerine pişirme işlemi sonucunda ulaşır. Aynı zamanda hammaddenin mineralojik bileşimi ve bünyede bulunan aksesuar mineraller de nihai ürün özelliklerini etkiler.

Pişirme sırasında meydana gelen değişiklikler ve yeni oluşumlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Fiziksel su kaybı
2. Yanıcı bileşenlerin oksidasyonu
3. Kristal suyun uzaklaşması
4. Pirit dekompozisyonu ve sülfat oluşumu

5. α - β reversible kuvars dönüşümü
6. Kireç dekompozisyonu veya bozunması
7. Flor'un uzaklaşması
8. Sinterlenme
9. Yeni mineralojik oluşumlar
10. Cam fazın gelişimi
11. Silikat bağlanması
12. Renk gelişimi
13. Çiçeklenmeye neden olan potansiyel bileşenlerin üretilmesi
14. Soğutma sırasında kuvars dönüşümleri

Bu reaksiyon ve prosesler sonucu oluşan hacim değişimi, ağırlık kaybı, endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar aletsel olarak tespit edilebilir.

Ağır kil hammaddesi tek bir kil mineralinden oluşmaz. Kil içinde dominant olarak kil mineralleri bulunmaktadır. Ancak kil minerallerinin haricinde çeşitli bir çok mineral de kil içinde bulunabilir. Kil yatakları mineralojik kompozisyon açısından birbirinden farklıdır. Ancak, birkaç istisna hariç kil yataklarının mineral içeriği yaklaşık benzerdir.

Çizelge 6.1. Avrupa'da bazı Tuğla-kiremit endüstrisinde kullanılan killerin ağırlıkça yüzdelerini gösteren mineralojik içerikleri (Schmidt, 1981).

	Kaolinit	Kaolinitik re clay	Montmo.	İllit + serizit	Serizit	Klorit	Kuvars	Feldspat	Mika/ Muskovit	Kalsit	Dolomit + ankarit	Hematit + Göüt	Pirit + siderit	Jips	X-ray cam atıkları
Kaolen	80						10	8							2
Fireclay		75		5			20								
Ca-Bentonit	8	8	70	13			8								1
İllit	8			75			8	5							4
Taunus Serizit	8				50		40								2
Septarian Kili	10			15		5	45	4		4			3	3	11
Meald Kili		20	3	15		5	45	5				3	3		1
Oligocene Kili		15	5	15		8	30	8		5	3	3			8
Tertiary Loam		10		10			50	5		5			2		18
Diluvial Loam		20		13			45	8		4	5				5
Diluvial Loam		15	3	12		5	40	5		3					17
Sandy Loam		5	5	13		5	58	8					4		2
Silty Loam		8			20	3	50	8		2			3		6
Marl Kili		10		10			50	15		10	3				2
Marl Kili		10		10		5	38	3		20					14
Keupar Marl	8		4	8			40	13		4	5				18
Lias Kili		35		13			30	4		7					11
Clay Stone		5		40		5	30	3				5			12
Tuğla Kili	20			20			50	3							7
Stoneware Kili	22		18	13			37	5				5			
Stoneware Kili	22		15	10			53								
Shaly Kili	20			15			40	4		5			3		13

Yüzey tuğlası, klinker tuğlası, hafif tuğla, stoneware ürünleri kireç, demir oksit, pirit, montmorillonit içerikleri göz önünde bulundurularak üretilmelidir. Eğer tek bir yataktan elde edilen kil gerekli özelliklerin sağlanmasında yeterli değilse, kil karışımı kullanılır. Killere genellikle şu özelliklerini geliştirmek için harmanlanır.

1. Plastikliği arttırmak
2. Plastikliği düşürmek
3. Kuruma hassaslığını azaltmak
4. Pişirme davranışını geliştirmek

Bu durumda tek bir kil kullanılırsa nihai üründe problemler oluşur. Bazı kil minerallerinin sahip olduğu bileşenler nihai üründe problemler oluşturur. Bu bileşenler:

1. Yanıcı bileşenler
2. Pirit
3. Topaklanmış haldeki kireç

6.1 Pişirme İle Seramik Bünyede Oluşan Değişiklikler

Tuğla bünyeler her ne kadar kurutulurlarsa da belirli bir miktar nem içermektedir. Nem miktarı en fazla % 2 olmalıdır. Fırının ön ısıtma bölgesinde ham tuğlanın bu nemi uzaklaştırılır. Bu durum fazla bir kuruma küçülmesine neden olmaz. Eğer çok fazla nem içeriği varsa hızlı kurutma çatlamalara neden olabilir. Aynı şekilde bünyede montmorillonit bulunuyorsa ön ısıtma çok dikkatli yapılmalıdır. Çünkü montmorillonit çok fazla su ihtiva eder ve eğer ön ısıtma 230°C'ye kadar dikkatli yapılamazsa hatalara neden olur. Uygun olarak kurutulmuş tuğla, bünyesinde denge halinde hala nem içerir (yaklaşık %2-4). Kurutma sonrası kurutma fırını dışındaki atmosfer şartlarının değişken olması durumuna göre tuğla defalarca su absorplayıp sonra bırakabilir. Bu durum iç kısımlarda mikro çatlaklara neden olur ve tuğlanın mukavemeti düşer. Fırının düşük sıcaklık bölgesinde ham tuğla yüzeyinde çeşitli tiplerde su-çıkışı hataları meydana gelebilir.

6.2 Isıtma Aralığı

6.2.1 Organik maddeler

Tuğla-kiremit yapımında kullanılan killerin çoğu önemli miktarda organik madde içerir. Bazen de talaş gibi organik maddeler bu killere ilave edilir. Artan organik madde içeriği hızlı ısıtmada negatif etki oluşturur. Oksijen yetersizliğinden organik maddelerin tümü yanmaz ve siyah noktalar (black core) oluşur. Aynı zamanda ürünlerde şişme de meydana gelebilir. Pişirme hızı arttıkça siyah nokta miktarı artar. Siyah nokta'lar temel olarak tuğlanın donma dayanımını azaltır ve kullanım sırasında çiçeklenmeye neden olur. Siyah nokta oluşumunu engellemek için şu işlemler uygulanabilir:

1. Pişirme hızının düşürülmesi
2. Bünye plastikliğinin azaltılması.

6.2.2 Kimyasal bağlı su

Silikat tabakalarının kafes yapılarında bulunan su 450-650°C arasında uzaklaştırılır. Bu sıcaklıkta kil plastikliğini de kaybeder. Bu sıcaklıkta yeni mineral oluşumu ve ilk pişirme safhası başlar. Ürün boyutsal kararlılık kazanır ve hava direnci artmaya başlar

450-650°C arasında ısıtma çok hızlı yapılırsa ani su çıkışı nedeniyle seramik bünyede çatlamlar meydana gelebilir. Düşey delikli tuğlada çatlaklar genellikle delikler arasında meydana gelir. TG'de gözlenen ağırlık kaybı DTA'da endotermik reaksiyon olarak gözlenir. Çünkü suyun buharlaşması için enerjiye ihtiyaç duyulur.

6.2.3 Isıtma sırasında kuvars dönüşümü

Isıtma sırasında 573°C'de α - β kuvars dönüşümü meydana gelir. Genleşme oranı kuvarsin tane boyu ve miktarına bağlıdır. Kuvars dönüşüm sıcaklığı çok hızlı geçilirse ani genleşme nedeniyle seramik bünyede gerilmeler bunun sonucu üründe çatlamlar meydana gelebilir.

6.2.4 Pirit dekompozisyonu ve sülfat oluşumu

Yanma reaksiyonlarında olduğu gibi pirit dekompozisyonu için de oksijene ihtiyaç duyulur. Pirit dekompozisyonu sonucu açığa çıkan SO_2 ve SO_3 gazları magnezyum ve kalsiyum bileşenleri ile bileşik oluşturma eğilimindedir. Reaksiyon basamakları şu şekilde sıralanabilir:

- 300-600°C : pirit dekompoze olur.
- 300°C : $MgSO_4$ (ve daha sonra) $CaSO_4$ oluşmaya başlar.
- $MgSO_4$ oluşumu 900°C'ye kadar devam eder. 600°C'de maksimum oluşturur.
- Sülfürik bileşiklerin çoğu kalsiyum ile reaksiyona girer. 1000°C'de maksimum oluşturur ($CaSO_4$ miktarı $MgSO_4$ miktarına göre daha fazladır).
- Ancak $CaSO_4$ oluşumu 1300°C'de tamamlanır ve bu sıcaklık tuğla-kiremit pişirim sıcaklığının üstünde olduğu için sistemde $CaSO_4$ kalır ve bu mineral kullanım sırasında çiçeklenmeye neden olur.

Ancak bu veriler teorik verilerdir ve pirit dekompozisyonu aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

1. Tane boyu
2. Bünye mukavemeti
3. Ürün tipi (solid veya delikli)
4. Pişirme atmosferi
5. Yanıcı gazların akma oranına

6.2.5 Kireç bozunması

Ağır kil malzemeleri çeşitli oranlarda, ince dağılımlı veya topaklanmış halde (CaCO_3) içerir. Aynı şekilde MgCO_3 veya dolomit gibi diğer bileşikler de bulunabilir. Pişirme ile bu bileşikler dekompoze olarak CO_2 gaz açığa çıkarırlar. TG ve diğer termal analiz sonuçlarına göre:

- Saf kireçte ilk ağırlık kaybı 700°C 'de başlar.
- Bu proses 1000°C 'ye kadar devam eder (ağırlığın %41'i kaybedilir).
- DTA'da 850°C 'deki endotermik pik kalsiyumlu karbonatlar için karakteristiktir.
- Mg ise CO_2 'ini yaklaşık 400°C 'de kaybetmeye başlar.

6.3 Pişirme Atmosferi

Pişirme atmosferi temel olarak tuğla-kiremitlerin pişme rengini etkilemektedir. İndirgen şartlarda pişirilen tuğlalar hematitin bozunması sonucu kırmızı rengini kaybeder. Ancak indirgen atmosferin sağladığı bir diğer özellik de cam faz miktarının artması ile küçülmesinin daha fazla miktarda meydana gelmesidir.

6.4 Pişirme Sıcaklığı Ve Tutma Süresine Bağlı Olarak Yeni Mineral Oluşumları

Killi bünyelerin pişirilmesi sonucu oluşan küçülme ile, gözenek hacminde ve gözenek boyutunda değişiklikler meydana gelir. Pişirme sonucu sistemde cam faz da oluşur. Cam faz ferdi taneleri birleştirerek ürünün mukavemetini artırır. Küçülme, gözenek boyut ve hacmindeki değişim ve cam faz oluşumunun yanında kil bünyelerin pişirilmesi sırasında yeni mineral oluşumları da başlar CaO 'li killerde anortit, volastonit, gelenit, hematit gibi yeni mineraller oluşur. MgO ve CaO içeren killerde ise diopsid, akermanit meydana gelir. Kimyasal bileşime göre mikroklin ve ortoklasda artış görülür. Reaksiyona girmeyen CaO serbest halde kalabilir.

6.5 Renk Gelişimi

Nihai ürünün rengi satış için önemli bir kriterdir. Pişme rengi; kil bünyesinin bileşimine, pişirme sıcaklığına, tutma süresine ve atmosfer gibi pişirme şartlarına bağlıdır. Kırmızı pişirilmiş ürünlerde sıcaklık arttıkça daha fazla gölgelenme olur. Çünkü; oksitleyici şartlarda Fe_2O_3 hematit olarak bulunur. Ancak 1000°C 'nin üzerinde magnetit (Fe_3O_4) oluşumu başlar ve magnetit siyah renktedir. İndirgen şartlarda bu proses daha düşük sıcaklıklarda başlar; bu durum değişik renklerin elde edilmesinde kullanılır. Yüksek-kireç içerikli killerde ise sarı rengin varyasyonları elde edilir. Bu durum mevcut kalsiyum-demir silikat oluşumuna bağlıdır. Sıcaklık arttıkça koyu sarı renk elde edilir.

Gölgeli çeşitli renkler elde edebilmek için aşağıdaki bileşikler kullanılabilir:

- Kırmızı : Demir oksit
- Sarı : TiO_2 , kireç
- Yeşil : Kobalt oksit
- Kahverengi : Pirolüsit

6.6 Soğutma Aralığı

Soğutma sırasında oluşan reaksiyonlar şu şekilde gösterilebilir:

- 650-400°C ; Kuvars dönüşümü
- 230°C ; Kristabolit etkisi
- 140°C ; Tridimit etkisi

Bu sıcaklıklarda hızlı soğutma ile çatlaklar oluşuyorsa o kile soğutma hassas kil denir. Kil bünyesinde fazla miktarda kuvars bulunuyorsa soğutma dikkatli yapılmalıdır. Kilde kuvars olup olmadığı DTA'da 573°C civarında oluşan pikle anlaşılır. Soğutma sırasında bu noktada high-kuvars low-kuvarsa dönüşür. Kuvars dönüşümünde oluşan hacim değişikliği sadece kil içindeki kuvars miktarına bağlı değildir, tane boyu da önemlidir. Ortalama boyutlu aşırı miktardaki kuvars veya iri taneli kuvars bünyeye yüksek soğuma hassasiyeti verir (Schmidt, 1981).

7. MATERYAL ve METOD

Bu araştırmada kullanılan hammaddeler; tuğla yapımında kullanılan ve Almanya'nın kuzeyinden çıkarılan kireç içermeyen kil (bundan sonra Kuzey kili olarak isimlendirilecektir), Almanya'nın güneyinden çıkarılan kireç ve dolomit içeriği yüksek kil (bundan sonra Güney kili olarak isimlendirilecektir), organik gözenek yapıcı olarak kağıt, talaş, polystyrol, Syn-Por; inorganik gözenek yapıcı olarak perlit, genleşmiş cam ve bazalttır.

Çalışmada güney kili olarak isimlendirilen killi malzeme Ehingen'in (Danube) kuzey batısında yer alan Baden-Württemberg bölgesindeki kil ocaklarından alınmıştır. Wachutka ve Geyer'e göre bu bölgede yapılan sondajların stratigrafik istifi şoyledir: temelde Jura yaşındaki kireçtaşı ve mam'dan oluşan sedimentler yer almaktadır. Bu birim üzerine 21m kalınlığında st seviyelerinde kum ve silten oluşan tuzlu su molası olarak adlandırılan bir birim gelmektedir. En st seviyede ise 30m kalınlığında farklı özellikteki kireç taşlarının ardalanmasından meydana gelen ve karbonatlı malzeme içeren tatlı su molası olarak adlandırılan birim bulunmaktadır.

Çalışmaya esas olan kuzey kili ise Essen ve Westerwald bölgelerinde yer alan kil ocaklarından alınmıştır. Bu bölgenin temeli Palezoyik yaşlı, kumtaşı, grovak, kuvarsit kil taşı ve kireçtaşından meydana gelmektedir. Bu birim bazaltik kuvarsporfir, diyabaz, keratofir ve melafirlerden oluşmaktadır. Temel üzerinde uyumsuz bir şekilde Senozoyik yaşlı Neojen birim gelmektedir. Neojen yaşlı bu birim; kum, çakıl, kuvars, kireçtaşı ve kömürden meydana gelmektedir. Sedimentlerden oluşan bu birim bazalt, trakit pnlit ve lateritik kayalardan meydana gelen volkanik kayalarca kesilmektedir (Ek 1).

Hammaddelerin tümü evo-Silicatiforschung Enstitüsünden temin edilmiş olup, kimyasal analizleri Rnteg marka EDX ve LEO 420 marka SEM ile (Ek 2), termal analizleri Netzsch—STA 409 marka DTA ve TG (Ek 3) ve Netzsch-DIL 402C marka dilatometre (Ek 4) ile; tane boyu analizleri Micromeritics Sedigraph 5100 marka cihazla (Ek 5); mineralojik analizlerise Siemens D505 marka X-ray difraktometre (Ek 6) ile Mart 2001 tarihinde adı geçen enstitüde yapılmıştır. Hazırlanan katkılı ve katkısız hammaddelerin reçeteleri izelge 7.1 ve 7.2.'de verilmiştir.

Çizelge 7.1. Kuzey ve güney kili ile hazırlanan reçeteler.

Örnek No	Kil (ağır.%)	Syn-Por (ağır.%)	Talaş	Kağıt	Polystyrol	Perlit (ağır. %)	Genleşmiş Cam (ağır. %)
K1-G1	100	-	-	-	-	-	-
K2-G2	99.4	%0.6	-	-	-	-	-
K3-G3	100	-	70ml	-	-	-	-
K4-G4	100	-	-	70ml	-	-	-
K5-G5	100	-	-	-	70ml	-	-
K6-G6	95	-	-	-	-	4	1

Çizelge 7.2. Hazırlanan örneklerin reçeteleri

Katkılar (% ağırlıkça)						
Örnek No	Kuzey Kili	Güney Kili	Kağıt	Syn-Por	Sinterleme Elemanı	Bazalt
K7	69.4	15	5	0.6	5	5
G7	-	89.4	5	0.6	5	-

Deneylerde kullanılan Syn-Por; 1-3mm, 0.2-1mm ve <0.2mm olarak üç değişik tane boyutunda (<0.2mm tane sayısı %95) ve 6.0-7.5 pH değerlerine sahip silisyum-karbon bazlı copolimerdir. Bu malzeme Institute evo-Silicate Forschung Müdürü Mehmet Adlung-Baykara tarafından bulunmuştur. Syn-Por su ile temas ettiğinde suyu absorplar. Bitkili ortamda, bitki Syn-Porun suyunun %95'ini çekebilir. Syn-Por ekolojik bir üründür. Yani toksik özelliği göstermeyen su içindeki canlı ve bakteriler için tehlikesiz olan üründür (M. Adlung-Baykara, Institute evo-Silicate Forschung, Kişisel görüşme, Haziran 2002).

7.1. Metod

Almanya'nın kuzey ve güney bölgelerinden çıkarılan killere hem doğrudan hem de organik ve inorganik gözenek yapıcılar ilave edilerek gruplar oluşturulmuştur.

1. Grup: Bu grupta Almanya'nın kuzey ve güney bölgelerinden çıkarılan ve tuğla üretiminde kullanılan, karbonatsız ve karbonatlı olan iki çeşit kil ana hammadde olarak kullanılmıştır.

2. Grup: Bu grupta kuzey ve güney killerine çeşitli organik gözenek yapıcılar ilave edilmiştir (Syn-Por, talaş, kağıt ve polystyrol gibi). Bu gözenek yapıcı katkılardan Syn-Por ağırlıkça %0.6, talaş, kağıt ve polystyrol 70ml ilave edilmiştir.

3. Grup: Bu grupta kuzey ve güney killere inorganik gözenek yapıcı olarak ağırlıkça %4 oranında perlit, ayrıca örneklerin pişme mukavemetini arttırmak için ağırlıkça %1 oranında cam granülleri ilave edilmiştir.

4. Grup: Bu grupta kuzey ve güney killere gözeneklilik pişme ve mukavemetini arttırıcı çalışmalar yapılmıştır. Kuzey kilinin ince tane fraksiyonu yüksek olduğu için (Çizelge 7.5) Winkler üçgeninde (Ek 7) delikli tuğla üretimi için uygun görülen bölgede bulunmamaktadır. Bu kilin uygun bölgede yer alabilmesi ve pişmiş üründe daha fazla kalsiyum-alümina-silikat oluşumunu arttırmak için kuzey kiline ağırlıkça %15 güney kili ve %5 oranında bazalt ilave edilmiştir. Bu grupta gözenek yapıcı olarak ağırlıkça %5 kağıt, %0.6 Syn-Por ve % 5 sinterleşme katkı maddesi ilave edilmiştir. Burada kullanılan bazalt kilin tane boyu dağılımını irileştirerek düzeltici rol oynamaktadır. Güney kilinin tane boyut dağılımı Winkler üçgeninde uygun bölgede yer aldığı için sadece ağırlıkça %5 kağıt, %5 sinterleşme katkı maddesi ve %0.6 Syn-Por ilave edilmiştir.

7.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Deneylerde kullanılan killer etüvde 80°C 'de 4 saat kurutulduktan sonra çeneli kırıcı ile 2mm'nin altına indirilmiştir. Öğütülen killer hem saf olarak hem de uygun miktardaki organik ve inorganik gözenek yapıcı ilavesinden sonra karıştırma ile harmanlanmıştır. Harmanlanan reçetelerden plastikliği sağlamak için yeterli su ilave edilerek çamur hazırlanmıştır. Hazırlanan çamurlar nem homojenliğinin sağlanabilmesi için 24 saat naylon torbalarda bekletilmiştir. Pişirilen numunelere termal ve mineralojik analizler uygulanarak sonuçlar irdelenmiştir.

7.2.1 Şekillendirme

Şekillendirme işlemi çamurun kalıp içine çekiçle dövülmesi ile gerçekleştirilmiştir. Karıştırma suyu tayini için şekillendirilen numunelerin ilk tartımları alınmış ve çekme ölçümleri için standart çubukla numune yüzeyine işaretler konulmuştur.

7.2.2. Kurutma

Şekillendirilen birimler kurutulmak üzere etüve yerleştirilmiş ve etüvde sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmuşlardır. Hazırlanan reçete ile oluşturulan numunelerin periyodik zamanlarda yapılan ölçümleri ile elde edilen kuruma davranışları Şekil 7.1 ve 7.2' de gösterilmiştir.

7.2.3. Pişirme

Kurutulan numunelerin pişirilmesi Naber_Industry Ofen Programme Controller C8 marka laboratuvar tipi fırında yapılmıştır. Hazırlanan numuneler 960°C ve 1000°C pik sıcaklıklarda pişirilmiştir. Numunelerin pişirme rejimleri Çizelge 7.6' de verilmiştir.

Çizelge 7.3. Hazırlanan numunelere uygulanan pişirme rejimleri

PİK SICAKLIK	SICAKLIK BASAMAKLARI	TUTMA SÜRESİ
960°C	T ₁ = 900°C	t ₁ = 480'
	T ₂ = 960°C	t ₂ = 180'
1000°C	T ₁ = 950°C	t ₁ = 500'
	T ₂ = 1000°C	t ₂ = 180'

7.3. Hazırlanan Deney Numunelerine Uygulanan Fiziksel ve Mekaniksel Testler

Bu çalışmada hazırlanan numunelere kuru küçülme, pişme küçülmesi, toplam küçülme, su emme, ateş zayıyatı, ham ve pişmiş yoğunluk, porozite ve ham mukavemet testleri uygulanmıştır.

7.3.1. Kuru küçülme, pişme küçülmesi ve toplam küçülme deneyleri

Küçülmenin bilinmesi, kuruma ve pişme sırasında malzemenin istenen boyutlarda olabilmesi için kalıp boyutlarının bu küçülmelere göre ayarlanmasına imkan sağlar. Seramik mamullerin kurutulduklarında bünyelerinin küçülmesi, şekillendirme suyunun bünyeden uzaklaşması ile açıklanabilir. Hammadde tanecikleri arasındaki su sıcaklık ile bünyeden uzaklaşınca taneler birbirine yaklaşarak küçülme olur. Küçülme genellikle yüzde olarak ifade edilirse de doğrusal, alansal veya hacimsel olarak ayrı ayrı belirlenebilir. Kuru küçülmenin tespiti için plakalar halindeki numuneler 0.1mm hassasiyetindeki kumpas aleti ile her numuneden ölçülen değerlerin aritmetik ortalaması 0.1mm'ye yuvarlatılarak ölçülür. Bir çubukta doğrusal çekme önemli iken, bir karoda alansal çekme daha önemli olmaktadır. Buna göre kuru çekme, pişme çekmesi ve toplam çekme şu şekilde hesaplanmıştır.

$$\%S_q = \frac{L_i - L_k}{L_i} * 100$$

S_q = Kuru küçülme (%)

L_i = Numunenin kurumadan önceki uzunlukları (mm)

L_k = Numunenin kurumadan sonraki uzunlukları (mm)

Kurutulan ürün pişirmeye gider ve pişirmedeki küçülme de hesaplanıp, toplam küçülme olarak tespit edilir. Toplam küçülme de kuru küçülme gibi ölçülerek, ölçüm değerine göre toplam küçülme hesaplanır.

Toplam küçülmenin hesaplanması:

$$\%S_t = \frac{L_i - L_p}{L_i} * 100$$

S_t = Toplam küçülme (%)

L_i = numunenin kurumadan önceki uzunlukları (mm)

L_p = numunenin pişmeden sonraki uzunlukları (mm)

Ürünlerin sadece pişme sonrasında gösterdikleri küçülme miktarı ise pişme küçülmesi olarak tanımlanır ve şu şekilde tespit edilir:

$$\%S_p = \frac{S_t - S_k}{100 - S_t} * 100$$

S_p = Pişme küçülmesi (%)

S_t = toplam küçülme (%)

S_k = kuruma küçülmesi (%)

7.3.2 Kuru mukavemet testi

Alçı kalıp içine dövülerek şekillendirilen mukavemet çubukları içerdikleri suyu atmaları için sabit ağırlığa gelinceye kadar etüvde kurutulur. Kurutulan numuneler mesnet çubukları üzerine uygun yüzeyi yukarı gelecek şekilde yerleştirilir ve mesnetler arası mesafe ayarlanır. Yükleme çubuğu, mesnet çubukları ortalayacak şekilde yerleştirilir. Uygulanan kuvvet saniyede $1 \pm 0.2 \text{ N/mm}^2$ lik bir gerilim artışı sağlayacak şekilde uygulanır. Ortalama değeri hesaplamak için en az beş kabul edilebilir sonuç alınmalıdır. Kırılma mukavemet testi (δ), aşağıdaki formülle N/mm^2 olarak hesaplanır.

$$\delta = \frac{3 * F * L}{2 * b * h^2}$$

F = çubukların kırıldığı anda uygulanan kuvvet (N)

L = mesnetler arası mesafe (mm)

b = çubuk uzunluğu (mm)

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

7.3.3 Su emme deneyi

Yapı birimlerinde su emmenin önemi büyüktür. Su emme donu dayanım bakımından önemlidir. Ayrıca yapı birimlerinin döşenmesi esnasında bağlayıcı malzeme ile yapı birimi alt yüzeyinin iyi bir bağ kurabilmesi için su emme oranının uygun oranda olması gerekmektedir. Eğer su emme standardın çok altında ise o zaman yapı birimi çimentoyu veya diğer bağlayıcılarla suyu bünyesine almayacak ve yapılaşma çok hafif olup, döşendiği yerde ömrü kısa olacaktır. Ayrıca yapı birimlerinde porozite miktarını tahmin ve tespit etmede su emme değerinden yararlanılmaktadır.

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

$$\% \text{ Su Emme} = \frac{m_2 - m_1}{m_1} * 100$$

m_1 = kuru yapı birimi kütlesi (g)

m_2 = su emmiş yapı birimi kütlesi (g)

7.3.4. Gözeneklilik tayini

Porozite deneyinde, porozitesi ölçülecek malzeme etüvde kurutulur. Kuru tartımı alınır ve su içinde kaynatma işlemine tabi tutulur. 4 saat su içinde kaynadıktan sonra numune su içinde soğumaya bırakılır. Soğutma işleminden sonra numune, bir kabın içindeki suya daldırılır ve tamamen suyla örtülmüş olarak tartılır. Numuneler sudan çıkarılır ve beklemeksizin üzerindeki su damlaları bir bezle silinir ve tartılır. Porozite miktarı aşağıdaki formülle hesaplanır:

$$P = \frac{m_3 - m_1}{m_3 - m_2} * 100$$

P = Porozite (%)

m_1 = Yapı biriminin kuru ağırlığı (g)

m_2 = Su emmiş deney yapı biriminin su içindeki ağırlığı (g)

m_3 = Su emmiş yapı biriminin ağırlığı (g).

8. BULGULAR

8.1. Mineraloji

XRD' de yapılan mineralojik analizlerde kuzey ve güney killerde plastikliği azaltıcı bileşen olarak kuvars, albit ve mikroklin; kil minerali olarak ise kaolen ve muskovit saptanmıştır. Ayrıca güney kilinin bu mineraller dışında karbonatlı bileşen olarak kalsit ve dolomit ve kil minerali olarak klorit içerdiği tespit edilmiştir (Çizelge 8.1).

Çizelge 8.1. Kuzey ve güney killerin mineralojik bileşimlerini ağırlıkça % olarak gösteren XRD sonuçları

Kuzey kili mineralojik analizleri ¹		Güney kili mineralojik analizleri ¹	
Mineral	Ağırlıkça %	Mineral	Ağırlıkça %
Kuvars	66.5	Kuvars	35.8
Albit	1.1	Albit	5.2
Mikroklin	4.9	Mikroklin	6.3
Kaolen	8.3	Kalsit	12.8
İllit	19.2	Dolomit	12.3
		Kaolen	2.5
		İllit	17.6
		Klorit	7.5

* Institute evo-Silicatforschung laboratuvarlarında Siemens D5005 marka X-ray difraktometre cihazıyla yapılmıştır.

¹ XRD grafikleri Ek 2A ve Ek 2B' dedir.

8.2. Kimyasal Analiz

LEO 420 taramalı elektron mikroskopuna (SEM) bağlı Röntgen enerji dağılımlı spektrometre (EDX) ile elementel kimyasal analiz sonuçlarına göre kuzey kilinin oksit değerleri % olarak SiO₂: 68.75, Al₂O₃: 18.11, CaO: 1.06, MgO: 1.70, Fe₂O₃: 5.72 olarak tespit edilmiştir. Bu oranlar güney kilinde % olarak SiO₂: 53.55, Al₂O₃: 15.39, CaO: 14.29, MgO: 5.46, Fe₂O₃: 6.60 olarak elde edilmiştir (Çizelge 8.2).

Çizelge 8.2. Deneylerde kullanılan hammadde ve katkıların kimyasal analiz sonuçları

Hammaddeler	Ağırlıkça %							
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂
Kuzey kili*	68.75	18.11	1.06	1.70	5.72	0.54	2.97	0.74
Güney kili*	53.55	15.39	14.29	5.46	6.60	0.63	3.04	1.05
Perlit**	74-78	11-13	1-1.5	0-0.5	1-1.5	3-4	2-4	-
Bazalt*	43.80	22.90	10.20	4.70	11.50	2.60	1.30	-

* Institute evo-Silicate Forschung laboratuvarlarında SEM LEO420 model cihazla EDX metoduyla yapılmıştır.

** Otavı Mimen AG (Almanya) şirketinden temin edilmiştir.

8.3. Tane Boyu Analizi

Yapılan tane boyu analizleri sonucunda elde edilen kuzey ve güney killerin tane boyu dağılımları Çizelge 8.3' de verilmiştir.

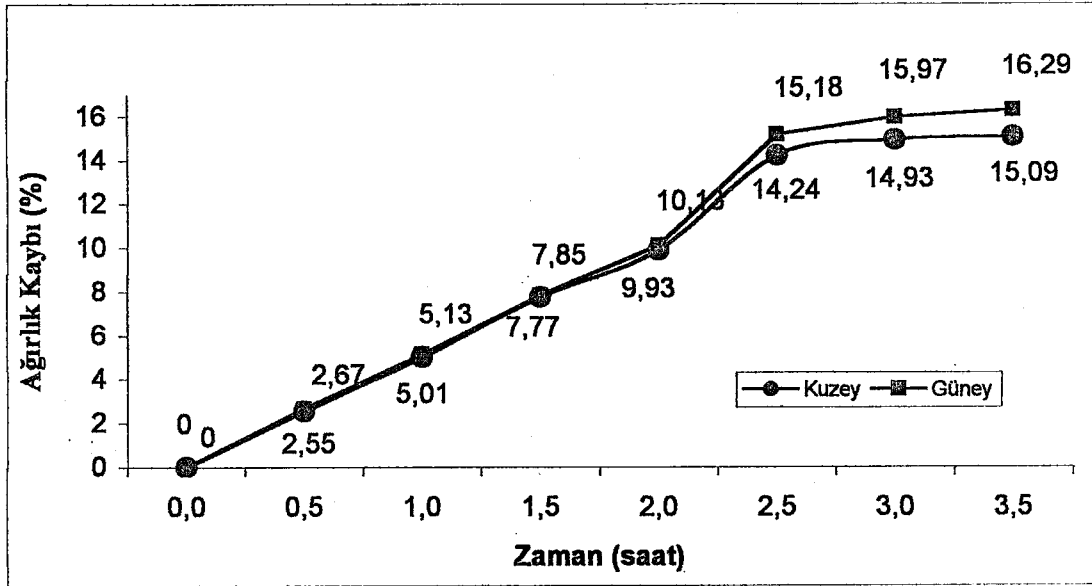
Çizelge 8.3. Kuzey ve güney kilinin tane boyu analiz sonuçları*

Tane Boyu Aralıkları ağırlıkça (%)	ÖRNEK	
	Kuzey Kili	Güney Kili
<2 µm	55	31
2-20µm	28	38
>20µm	17	31
Kil (<4 µm)	64	42
Silt (4-63 µm)	24	41
Kum (>63 µm)	12	17

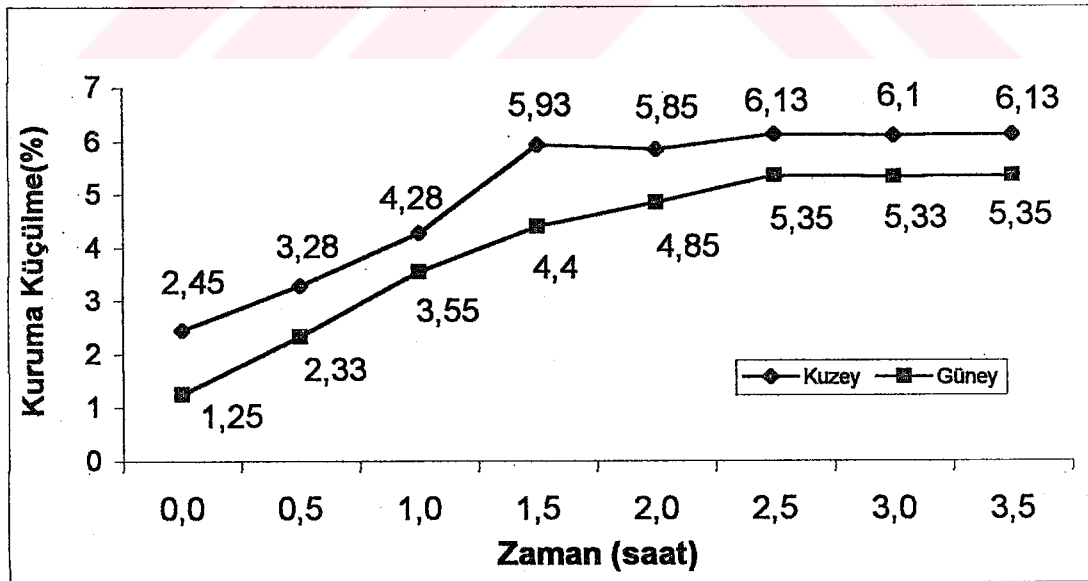
* Institute evo-Silicatforschung laboratuvarlarında Micromeritics Sedigraph 5100 marka cihazla yapılmıştır.

8.4. Kuruma Davranışı

Kuzey ve güney killerine uygulanan kuruma davranışı testi sonucunda bu killerin ağırlık kayıplarının ve kuruma küçülmelerinin zaman ile yaklaşık doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 8.1 ve Şekil 8.2).



Şekil 8.1. Hazırlanan kil numunelerinin zamana bağlı ağırlık kayplarının grafiği. Ağırlık kayplarının zaman ile yaklaşık doğru orantılı olduğu görülmektedir.



Şekil 8.2. Hazırlanan kil numunelerinin zamana bağlı kuru küçülmelerinin grafiği. Kuru küçülmelerin zaman ile yaklaşık doğru orantılı olduğu görülmektedir.

8.5. Fiziko-Mekaniksel Test Sonuçları

Killerin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %21.64 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %17.34 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %13.30 ve 1000°C' de ortalama %11.60 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %18.6 ve 1000°C' de ortalama %18.9 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %22.99 ve %20.60 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %29.93 ve %28.05 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.4).

Çizelge 8.4. Kuzey ve Güney killerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları

DENEY	PIŞİRME SICAKLIĞI	KUZEY KİLİ		GÜNEY KİLİ	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		21.64		17.34	
Kuru küçülme ¹ (%)		7.6	0.30	5.6	0.31
Pişme Küçülmesi ² (%)	960°C	0.7	0.47	0.2	0.16
	1000°C	2.4	0.26	0.1	0.09
Toplam Çekme ² (%)	960°C	8.3	0.25	5.8	0.13
	1000°C	9.8	0.19	5.7	0.17
Su emme ² (%)	960°C	13.30	0.29	18.6	0.70
	1000°C	11.60	0.15	18.9	0.29
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	6.16	1.12	14.97	0.13
	1000°C	6.99	0.09	15.0	0.03
Mukavemet ² (kg/cm ³)		6.64		6.76	
Açık Porozite ² (%)	960°C	22,99		29,93	
	1000°C	20,60		28,05	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

²: 5 örneğe uygulanmıştır.

%0.6 Syn-Por katkılı killerin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %21.67 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %19.08 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %15.3 ve 1000°C' de ortalama %13.8 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %20.8 ve 1000°C' de

ortalama %20.5 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %24.47 ve %22.08 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %31.10 ve %28.29 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.5).

Çizelge 8.5. %0.6 Syn-Por katkılı Kuzey ve Güney killlerinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları

DENEY	PIŞIRME SICAĞI	KUZEY KİLİ		GÜNEY KİLİ	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		21.67		19.08	
Kuru küçülme ¹ (%)		7.2	0.35	6.1	0.40
Pişme Küçülmesi ² (%)	960°C	0.3	0.25	0.1	0.14
	1000°C	1.5	0.17	0.2	0.18
Toplam Çekme ² (%)	960°C	7.6	0.20	6.1	0.13
	1000°C	8.5	0.09	6.2	0.2
Su emme ² (%)	960°C	15.3	0.42	20.8	0.08
	1000°C	13.8	0.46	20.5	0.31
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	7.45	0.20	15.03	0.12
	1000°C	7.43	0.31	15.03	0.05
Mukavemet ² (kg/cm ³)		8.22		9.91	
Açık Porozite ² (%)	960°C	24,47		31,10	
	1000°C	22,08		28,29	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

²: 5 örneğe uygulanmıştır.

70ml talaş katkılı killerin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %20.94 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %17.94 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %13.9 ve 1000°C' de ortalama %11.9 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %22.1 ve 1000°C' de ortalama %21.9 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %23.23 ve %20.36 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %32.84 ve %31.32 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.6).

Çizelge 8.6. 70ml Talaş katkılı Kuzey ve Güney killерinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları

DENEY	PIŞİRME SICAKLIĞI	KUZEY KİLİ		GÜNEY KİLİ	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		20.94		17.94	
Kuru küçülme ¹ (%)		5.7	0.28	5.2	0.32
Pişme Küçülmesi ² (%)	960°C	1.1	0.14	0.2	0.00
	1000°C	2.2	0.00	0.3	0.35
Toplam Çekme ² (%)	960°C	6.7	0.44	5.4	0.7
	1000°C	8.0	0.25	5.4	0.46
Su emme ² (%)	960°C	13.9	0.21	22.1	0.28
	1000°C	11.9	0.28	21.9	0.14
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	7.99	0.09	15.26	0.16
	1000°C	8.01	0.00	15.16	0.15
Mukavemet ² (kg/cm ³)		5.41		4.99	
Açık Porozite ² (%)	960°C	23,23		32,84	
	1000°C	20,36		31,32	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

²: 5 örneğe uygulanmıştır.

70ml polysterol katkılı killерin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %19.49 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %17.56 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %12.0 ve 1000°C' de ortalama %10.3 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %21.0 ve 1000°C' de ortalama %19.9 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %18.91 ve %18.27 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %30.82 ve %28.43 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.7).

Çizelge 8.7. 70ml Polysterol katkılı Kuzey ve Güney killlerinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları

DENEY	PIŞİRME SICAKLIĞI	KUZEY KİLİ		GÜNEY KİLİ	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		19.49		17.56	
Kuru küçülme ¹ (%)		5.6	0.34	5.3	0.29
Pişirme Küçülmesi ² (%)	960°C	1.2	0.21	0.2	0.05
	1000°C	2.2	0.21	0.2	0.07
Toplam Çekme ² (%)	960°C	6.7	0.26	5.4	0.01
	1000°C	7.7	0.30	5.6	0.25
Su emme ² (%)	960°C	12	0.28	21.0	0.03
	1000°C	10.3	1.55	19.9	0.16
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	9.24	0.05	16.08	0.05
	1000°C	9.35	0.00	16.17	0.21
Mukavemet ² (kg/cm ³)		4.86		4.94	
Açık Porozite ² (%)	960°C	18,91		30,82	
	1000°C	18,27		28,43	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

²: 5 örneğe uygulanmıştır.

70ml kağıt katkılı killerin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %21.16 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %19.53 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %14.4 ve 1000°C' de ortalama %12.7 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %23.5 ve 1000°C' de ortalama %22.7 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %24.98 ve %23.15 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %36.68 ve %34.66 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.8).

Çizelge 8.8. 70ml Kağıt katkılı Kuzey ve Güney killlerinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları

DENEY	PIŞIRME SICAKLIĞI	KUZEY KİLİ		GÜNEY KİLİ	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		21.16		19.53	
Kuru küçülme ¹ (%)		6.4	0.34	5.7	0.27
Pişirme Küçülmesi ² (%)	960°C	1.1	0.07	0.3	0.11
	1000°C	2.0	0.07	0.3	0.04
Toplam Çekme ² (%)	960°C	7.5	0.18	6.0	0.27
	1000°C	8.1	0.07	6.2	0.19
Su emme ² (%)	960°C	14.4	0.21	23.5	0.22
	1000°C	12.7	0.00	22.7	0.07
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	7.79	0.15	15.44	0.25
	1000°C	7.94	0.94	15.41	0.04
Mukavemet ² (kg/cm ³)		6.32		5.71	
Açık Porozite ² (%)	960°C	24,98		36,68	
	1000°C	23,15		34,66	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

²: 5 örneğe uygulanmıştır.

%4 oranında perlit ve %1 oranında cam granül içeren killerin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %19.4 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %18.18 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %11.4 ve 1000°C' de ortalama %10.0 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %20.3 ve 1000°C' de ortalama %19.9 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %20.26 ve %17.24 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %32.02 ve %29.55 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.9).

Çizelge 8.9. %4 oranında Perlit ve %1 oranında cam granül katkı Kuzey ve Güney killlerinden hazırlanan örneklerin fiziko-mekaniksel deney sonuçları

DENEY	PIŞIRME SICAĞI	KUZEY KILI		GÜNEY KILI	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		19.4		18.18	
Kuru küçülme ¹ (%)		6.6	0.37	5.6	0.30
Pişme Küçülmesi ² (%)	960°C	1.1	0.25	0.2	0.08
	1000°C	2.4	0.10	0.2	0.06
Toplam Çekme ² (%)	960°C	7.9	0.13	5.7	0.19
	1000°C	8.4	0.14	5.9	0.09
Su emme ² (%)	960°C	11.4	0.06	20.3	0.10
	1000°C	10.0	7.97	19.9	0.35
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	6.35	0.92	14.11	0.08
	1000°C	6.96	0.10	14.06	0.02
Mukavemet ² (kg/cm ³)		2.89		3.93	
Açık Porozite ² (%)	960°C	20,26		32,02	
	1000°C	17,24		29,55	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

²: 5 örneğe uygulanmıştır.

Hazırlanan reçete örneklerinin fiziko-mekaniksel test sonuçlarına göre kuzey kilinin şekillendirilmesi için ortalama %22.0 oranında su kullanılırken, güney kilinin şekillendirilmesi için ortalama %20.2 oranında su kullanılmıştır. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %18.5 ve 1000°C' de ortalama %18.3 olarak tespit edilirken, güney kili ile hazırlanan örneklerin su emme değerleri 960°C' de ortalama %23.4 ve 1000°C' de ortalama %23.7 olarak tespit edilmiştir. Kuzey kili ile hazırlanan örneklerde 960°C ve 1000°C için %30.39 ve %29.10 açık porozite değerleri elde edilirken, bu değerler güney kili ile hazırlanan örneklerde %32.32 ve %30.79 olarak tespit edilmiştir (Çizelge 8.10).

Çizelge 8.10. Hazırlanan reçete örneklerinin fiziko-mekaniksel deney sonuçları*

DENEY	PIŞIRME SICAĞI	KUZEY KILI		GÜNEY KILI	
		Aritmetik Ortalama	Standart Sapma	Aritmetik Ortalama	Standart Sapma
Karıştırma suyu miktarı ¹ (%)		22.0		20.2	
Kuru küçülme ¹ (%)		6.6	0.50	5.8	0.69
Pişirme Küçülmesi ² (%)	960°C	0.2	0.21	0.1	0.06
	1000°C	0.3	0.10	0.2	0.06
Toplam Çekme ² (%)	960°C	6.6	0.14	5.8	0.23
	1000°C	6.9	0.14	6.0	0.21
Su emme ² (%)	960°C	18.5	0.30	23.4	0.63
	1000°C	18.3	0.26	23.7	1.59
Ateş zaiyatı ² (%)	960°C	10.4	2.15	16.02	0.12
	1000°C	10.4	3.66	16.02	0.03
Mukavemet ² (kg/cm ³)		12.57		11.7	
Açık Porozite ² (%)	960°C	30,39		32,32	
	1000°C	29,10		30,79	

¹: 15 örneğe uygulanmıştır.

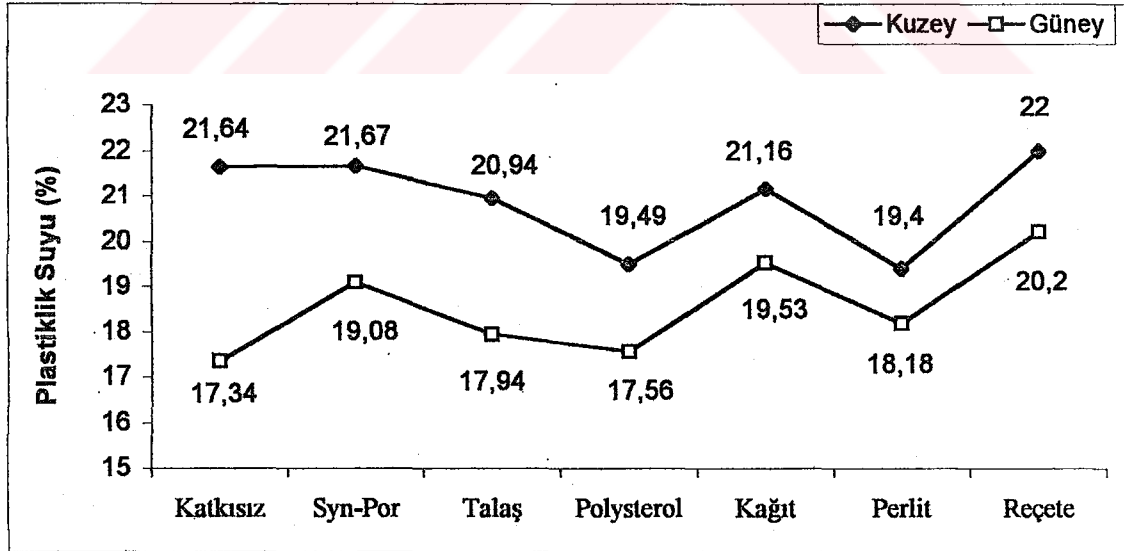
²: 5 örneğe uygulanmıştır.

*: Reçete bileşimleri Çizelge 7.2'dedir.

9. SONUÇLAR

9.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

Şekil 9.1' de katkısız ve katkılı kuzey ve güney killerin plastiklik suyu miktarları verilmiştir. Güney kili ile hazırlanan numunelerin tümünde kuzey kiline göre daha az plastiklik suyu kullanılmıştır. Bunun nedeni güney kilindeki klorit minerali içeriğine ve kuzey kilindeki kil boyutlu malzeme çokluğu olarak açıklanabilir (Çizelge 8.1). Kuzey kilinin plastikleştirilmesinde güney kiline göre katkısız halde %4.3, Syn-Por, talaş, polysterol, kağıt, perlit ilavelerinde ve hazırlanan reçetede ise sırası ile %2.59, %3, %1.93, %1.63, %1.22 ve %1.8 daha fazla plastiklik suyu kullanılmıştır. Şekil 9.1' de görüldüğü gibi kuzey kilinde talaş, polysterol ve perlit katkıları plastiklik suyu miktarını nispeten azaltırken, Syn-Por ve kağıt katkısı ile hazırlanan reçetede plastiklik suyu miktarları artmıştır. Bu kil için en yüksek plastiklik suyu miktarına %22 ile hazırlanan reçete, en düşük plastiklik suyu miktarına ise %19.40 ile perlit sahiptir. Güney kilinde ise katkılı numunelerin tümünün plastiklik suyu miktarı katkısız kile göre daha yüksektir. Katkısız kilin plastiklik suyu miktarı %17.34 iken, oluşturulan reçete için %20.20 su kullanılmıştır. Talaş, polysterol ve perlit ilavelerinde ise artış nispeten yüksek değildir. Ancak Syn-Por, kağıt ve hazırlanan reçete için yaklaşık %3 'lük bir artış meydana gelmiştir.

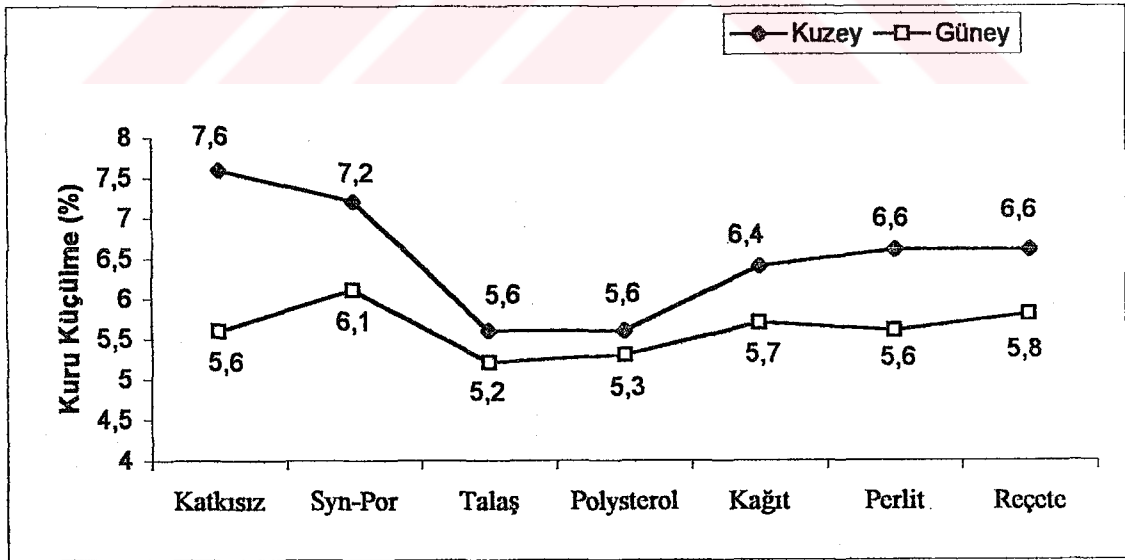


Şekil 9.1. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin plastiklik suyu miktarlarını gösteren grafik.

Şekil 9.2'de katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin kuru küçülme değerleri görülmektedir. Kuzey kilinde ilave edilen katkılarla kuru küçülme değerleri azalırken, kalsit içerikli güney kilinde Syn-Por, kağıt ve hazırlanan reçete de sırasıyla %0.5, %0.1 ve %0.2' lik

artma meydana gelmiştir. Talaş ve polysterol ilavelerinde ise %0.4, %0.3' lik azalma görülmektedir. Kuzey kilinde en yüksek kuru küçülme %7.6' lık değer ile katkısız kilde olurken, en düşük değer ise %5.6 ile talaş ve polysterol katkıları ile gerçekleşmiştir. Her iki kilde de kuruma küçülmesi değerleri plastiklik suyu oranları ile yaklaşık uyum göstermektedir.

Ancak kuzey kili için hazırlanan reçetede katkısız kile göre daha fazla plastiklik suyu kullanılmasına rağmen kuru küçülmesi daha küçük çıkmıştır. Reçete de kullanılan kalsit ve bazalt gibi plastik olmayan bileşen ilavesi bu kilin kuru küçülme değerini azaltmaktadır. Ayrıca iki kil karşılaştırıldığında, plastikliği daha düşük olan güney kili kuru küçülmelerinin kuzey kiline göre daha düşük olduğu görülmektedir. Syn-Por ise plastikliği artırıcı bileşen olarak kil boyutlu malzeme oranı yüksek olan kuzey kilinde plastiklik suyu miktarını ve kuru küçülmeyi fazla etkilememiş, ancak kalsit içerikli güney kilinde daha fazla su tutulmasını sağlayarak hem plastiklik suyu miktarını hem de kuru küçülme oranını arttırmıştır. Organik katkılardan talaş ve kağıdın lifsi yapıları sayesinde kuruma küçülmelerini azaltması beklenmektedir. Ancak kağıt katkılı güney kilinde %2.19 daha fazla plastiklik suyu kullanıldığı için kuruma küçülmesi de katkısız kile göre %0.1 daha yüksek çıkmıştır.

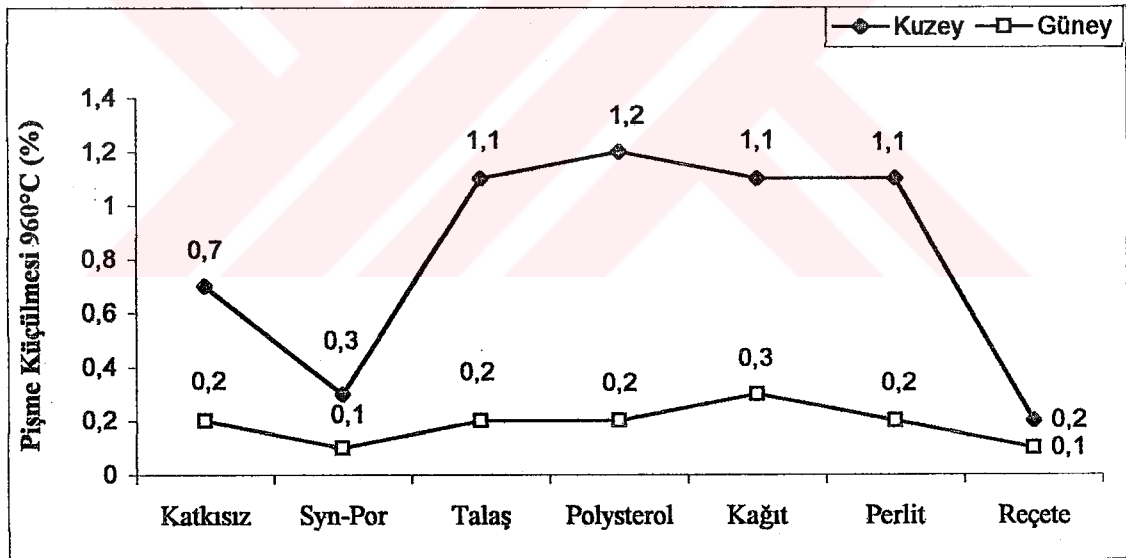


Şekil 9.2. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin kuru küçülme değerlerini gösteren grafik.

Şekil 9.3 'te katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin 960°C ' deki pişme küçülmeleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi kalsit içerikli güney kilinde tüm katkılar

için önemli ölçüde pişme küçülmesi gözlenmemektedir. 900°C 'nin üzerinde CaO' in silika ve alüminayla birleşerek kalsiyum-silikat veya kalsiyum-alümina-silikat oluşturması ve bunun sonucunda da bünyede genişleme oluşması bu durumun nedeni olarak gösterilebilir.

Kuzey kili içinse; katkısız kil %0.7 'lik pişme küçülmesi gösterirken, talaş, polysterol, kağıt ve perlit ilavesi ile yaklaşık %0.4' lük artmayla %1.1' lik değere ulaşmış, Syn-Por içeren numuneler ise pişme küçülmesini %0.3' e indirmiştir. Talaş, polysterol ve kağıt organik malzeme olduğu için ısıtma sırasında oksidasyona uğrayarak geride boşluk bırakmışlar ve ısı ile bu boşluklara madde taşınımı sonucunda pişme küçülmesi değeri artmıştır. Ayrıca organik madde oksidasyonu ekzotermik bir reaksiyon olduğu için numune içinde bölgesel olarak sıcaklık artmış ve buna bağlı olarak da artan sıvı faz miktarı ile pişme küçülmesi artmıştır. Perlit katkılı numunede ise, perlitin genişleme sıcaklığını düşürmek için kullanılan cam granül sıvı faz oluşumuna neden olduğu için pişme küçülmesi değerini artırmıştır.

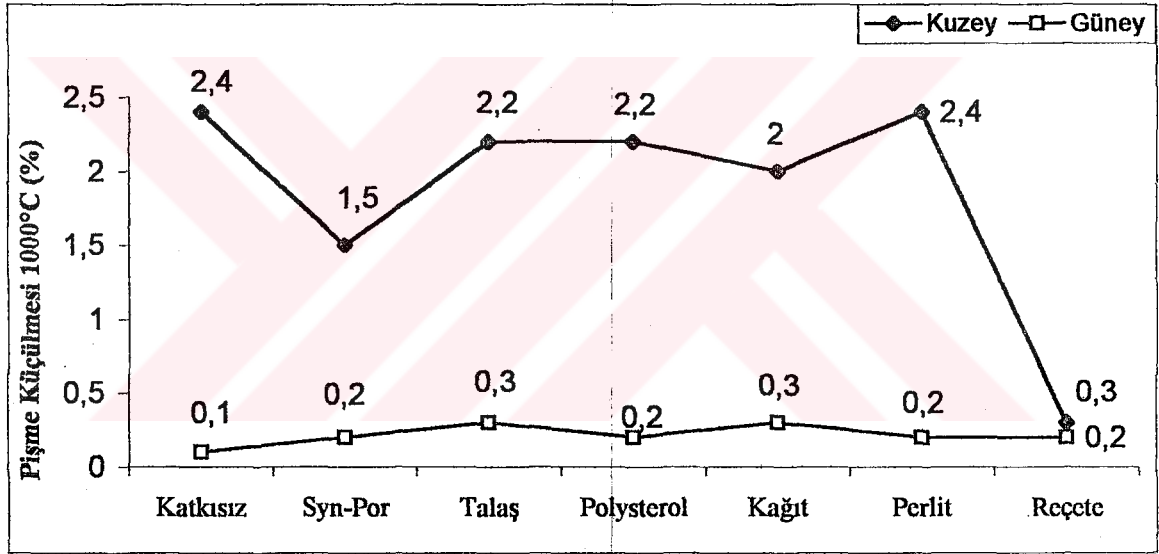


Şekil 9.3. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin 960°C' deki pişme küçülmeleri değerlerini gösteren grafik.

Şekil 9.4' te katkılı ve katkısız kalsit içerikli güney ve kalsit içermeyen kuzey killerin 1000°C' de pişme küçülmeleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi güney kili tüm katkıları için önemli bir pişme küçülmesine sahip değildir. Bu kil için pişme küçülmelerinin tümü %0.2- %0.3 aralığında gerçekleşmiştir. Kuzey kilinde ise, perlit katkılı numune katkısız kil ile aynı pişme küçülmesi değerine sahipken, ilave edilen diğer katkıları 1000°C' deki küçülmeleri azaltmıştır. Talaş, polysterol ve kağıt ilaveli numunelerin pişme küçülmelerini 960°C'nin aksine

katkısız kilden daha düşüktür. 960°C-1000°C aralığında kil içindeki alkaliler sıvı faz oranını arttırmakta buna bağlı olarak da pişme küçülmesi de artmaktadır.

Ayrıca katkısız kilde gözenek miktarının daha az olması ısı iletimini arttırmakta, ve sistemde daha fazla cam faz oluşmaktadır. Perlit katkılı numunede ise perlitin genişmesini kolaylaştırmak için ilave edilen cam granül sıvı faz miktarını artırır. Hazırlanan reçetenin küçülmesi ise %2.4' lük değere sahip katkısız kilden %2.1 daha düşük olup, %0.3' tür. Kuzey kiline kalsit ve bazalt gibi plastik olmayan bileşenler ilave edildiği için ve ayrıca kalsit 900°C' nin üzerinde kalsiyum-silikat veya kalsiyum-alümina-silikat oluştuğu için pişme küçülmesini azaltmaktadır.

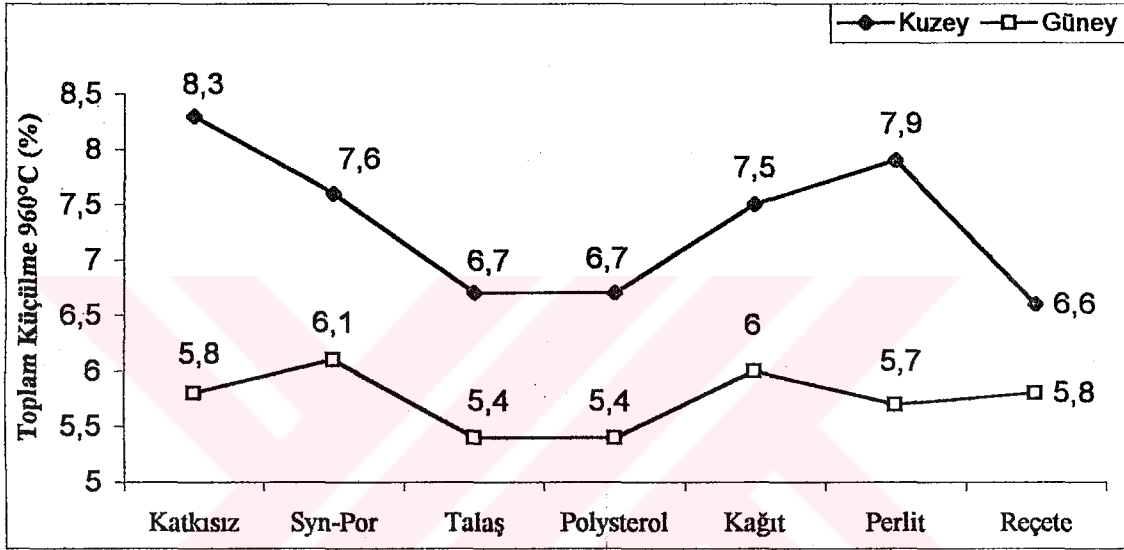


Şekil 9.4. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin 1000°C' deki pişme küçülmelerini gösteren grafik.

Şekil 9.5' te katkılı ve katkısız kalsit içerikli güney ve kalsit içermeyen kuzey killerin 960°C' deki toplam küçülme değerleri verilmiştir. Şekil incelendiğinde, katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin toplam küçülmelerinin kuruma küçülmeleri değerleri ile yaklaşık uyum gösterdiği görülmektedir. Güney kilinin toplam küçülmesi kalsit içeriği nedeniyle kuzey kilinden daha düşüktür. CaO yaklaşık 900°C' nin üzerinde yeni mineraller oluşturur ve sistemde genişleme meydana gelir.

Perlit ilaveli kuzey kilinin toplam küçülmesinin kuruma küçülmesine daha yüksek olmasının nedeni ise bu numuneye ilave edilen cam granül' dür. Bu bileşen nedeniyle sistemde nispeten daha fazla sıvı faz oluşmakta ve eğri kuruma küçülme eğrisine göre biraz yukarıda

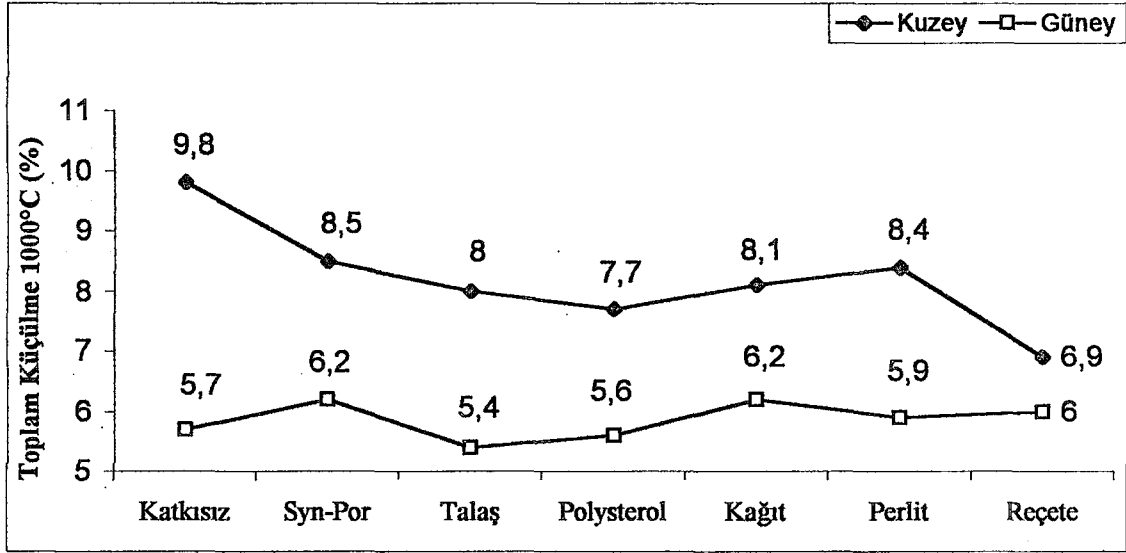
kalmaktadır. Bu kil için hazırlanan reçetede ise; ilave edilen bazalt ve güney kili bileşenleri kuzey kili içindeki kil minerali ve alkali oranını düşürmekte ve ayrıca genleşme ile toplam küçülme değerini azaltmaktadır. Güney kilinin 960°C’ deki toplam çekme değerleri ise %6.1-%5.4 aralığında gerçekleşmiştir. Bu değerlerden en yükseği Syn-Por ilaveli numuneye, en düşüğü ise polysterol ilaveli numuneye aittir.



Şekil 9.5. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin 960°C’ deki toplam çekme değerlerini gösteren grafik.

Şekil 9.6’da katkılı ve katkısız kalsit içerikli güney ve kalsit içermeyen kuzey killerin 1000°C’ deki toplam küçülme değerleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi katkılı ve katkısız her iki kilin de 1000°C’ deki toplam küçülmeleri Şekil 9.2’ deki kuruma küçülmeleri ile yaklaşık uyumluluk göstermektedir. CaO 900°C’ nin üzerinde yeni mineraller oluşturarak sistemde genleşmeye neden olduğu için güney kilinin toplam küçülmesi kuzey kilinin toplam küçülmesinden daha düşüktür.

Kuzey kili için en yüksek toplam çekme değeri %9.8 ile katkısız numunede, en düşük değer ise %6.9 ile hazırlanan reçetede görülmektedir. Hazırlanan reçetede ilave edilen güney kili ve bazalt bileşenleri refrakterliği arttırmakta ve ayrıca güney kilinin kalsit içeriği genleşmeye neden olduğu için toplam küçülmeyi azaltmaktadır. Güney kilinin toplam küçülmeleri ise kalsit içeriği nedeniyle %6.2-%5.4 gibi dar bir aralıkta meydana gelmiştir. Bu değerlerden en yükseği Syn-Por ve kağıt ilaveli numunelere aitken, en düşüğü ise talaş ilaveli numuneye aittir.

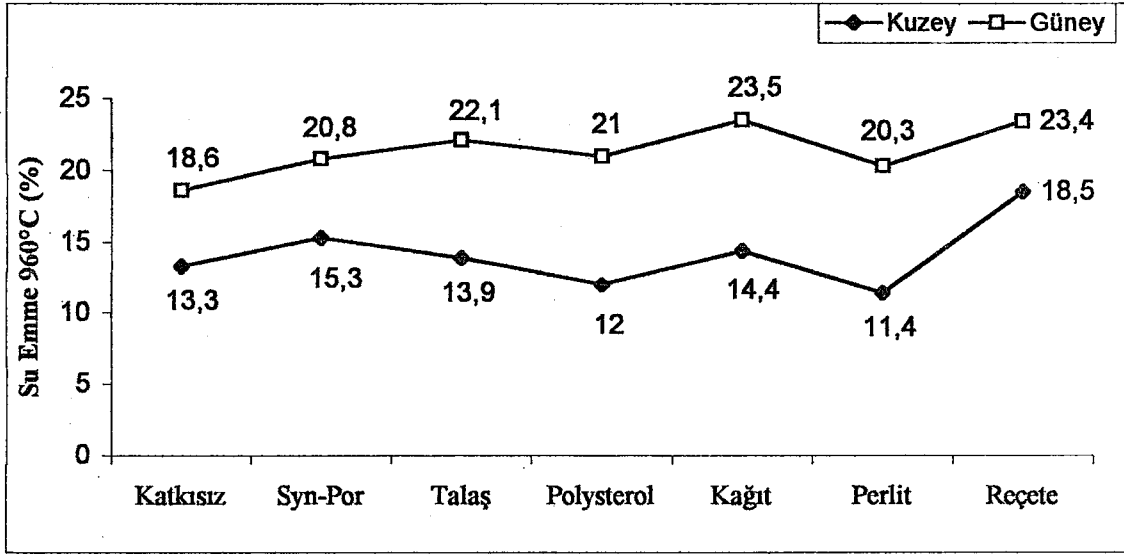


Şekil 9.6. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin 1000°C’ deki topla çekme değerlerini gösteren grafik.

Şekil 9.7’de katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin 960°C’ deki su emme değerleri görülmektedir. Güney kili içindeki kalsit bileşeni yaklaşık 900°C’ de bozunmaya uğradığı için sistemde küçük gözenekler oluşturmakta ve bunun sonucunda da su emme miktarı artmaktadır. Güney kili için en yüksek su emme değeri %23.5 ile kağıt ilaveli numuneye, en düşük değer ise %18.6 ile katkısız numuneye aittir.

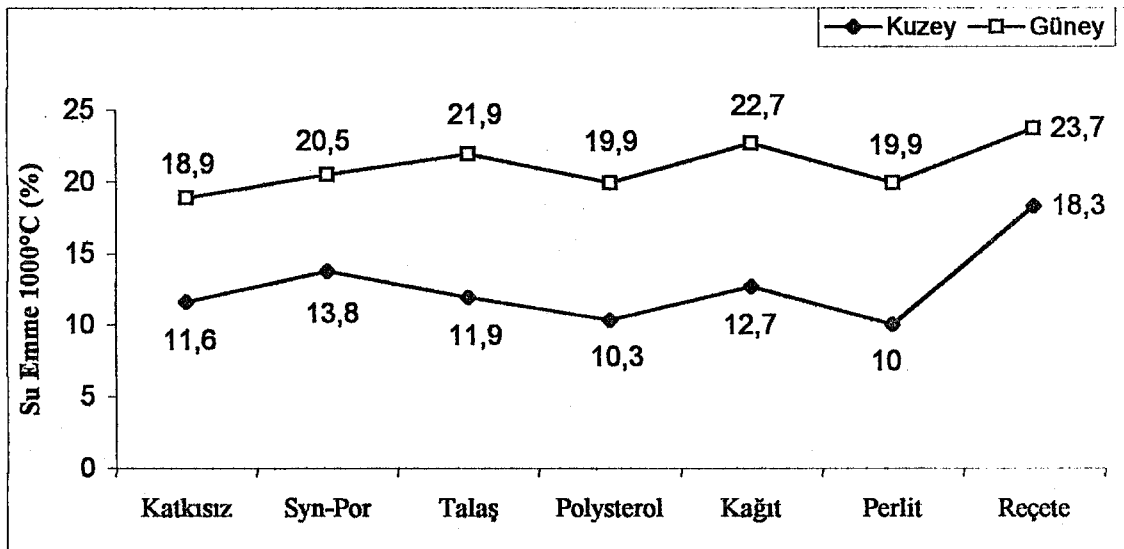
Kağıdın organik bazlı bir malzeme olması ve oksidasyon neticesinde büyük porlar oluşturduğu için nispeten yüksek toplam küçülmeye sahip olan kağıt katkılı güney kilinin su emme miktarı yüksektir.

Kuzey kilinde ise en yüksek su emme değerine sahip olan numune %18.5 ile hazırlanan reçetededir. Hazırlanan reçetenin su emme değeri katkısız kilin su emme değerinden yaklaşık %5 daha yüksektir. Yüksek ince tane boyu fraksiyonuna sahip olan kuzey kiline ilave edilen kalsit içerikli güney kili ve bazalt paketlenmeyi zayıflattığı ve ayrıca kağıt, Syn-Por gibi maddeler de oksidasyon sonucu gözenek oluşturduğu için hazırlanan karışımın su emme değeri oldukça yükselmiştir. Perlit ilaveli kuzey kili ise hem alkali oranının nispeten yüksek olması hem de cam granül kullanılması nedeniyle katkısız kile göre daha düşük su emme değeri göstermiştir.



Şekil 9.7. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 960°C' de su emme oranlarını gösteren grafik.

Şekil 9.8' de katkılı ve katkısız güney ve kuzey killерinin 1000°C' deki su emme değerleri görülmektedir. Numunelerin 1000°C' deki su emme değerlerinin grafiğı 960°C' deki su emme değerlerinin grafiğı ile uyumludur. Ancak sıcaklığın daha yüksek olması nedeniyle daha düşük değerler elde edilmiştir. Sıcaklık artışı ile sistemlerde daha fazla sıvı faz oluştuğı için gözenekler kapanır ve su emme azalır.

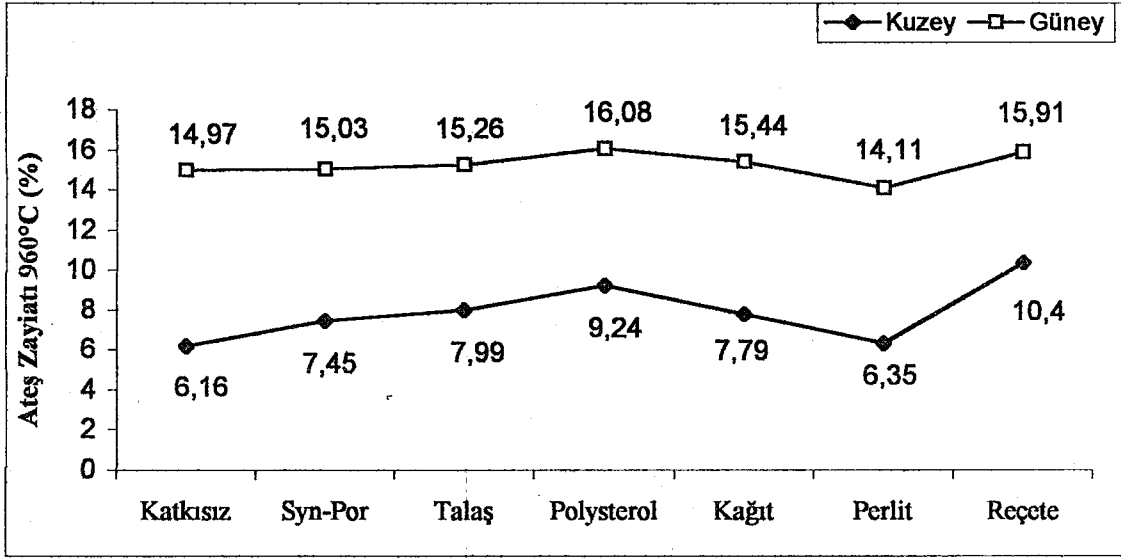


Şekil 9.8. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killерinin 1000°C' de su emme oranlarını gösteren grafik.

Şekil 9.9' da katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin 960°C' deki ateş zayıtı değerleri görölmektedir. İki kil karşılaştırıldığında uçucu bileşen oranı daha yüksek olan kalsit içerikli güney kilinin ateş zayıtı oranının daha yüksek olduğu görölmektedir. Bu nedenle katkı içermeyen iki kil arasında yaklaşık %9' luk bir fark bulunmaktadır. Ayrıca kuzey kili sahip olduğu yüksek ince tane fraksiyonu nedeniyle daha yüksek paketlenmeye sahiptir ve bu nedenle hammaddede bulunan uçucu bileşenlerin sistemden uzaklaşması zorlaşmaktadır.

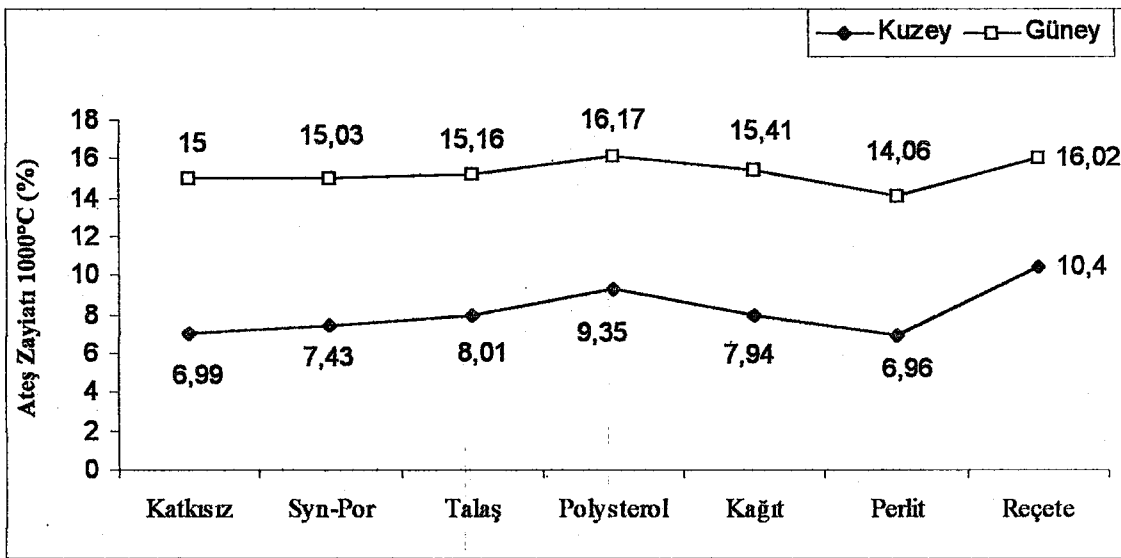
Güney kili için ilave edilen organik katkılardan %0.6 oranında kullanılan Syn-Por ateş zayıtını fazla etkilememiş, talaş, polysterol ve kağıt ise sırasıyla %0.29, %1.11 ve %0.47' lik artmalara neden olmuşlardır. Polysterol' un tamamı pişirme sırasında ani olarak yandığından ateş zayıtı diğer organik katkılara daha yüksek çıkmıştır. İnorganik katkı olan perlit' in kullanıldığı numunede ise uçucu bileşen miktarı azaldığı için ateş zayıtı miktarı da azalmıştır. Güney kili ile hazırlanan reçetenin ateş zayıtı oranı katkısız kile göre %0.94 fazla çıkmış ancak perlit ve inorganik madde içerikli kağıt atığı kullanılması nedeniyle polysterol ilaveli numuneden düşük kalmıştır.

Kuzey kilinin kullanıldığı durumda elde edilen ateş zayıtı oranları güney kili ile yaklaşık uyumluluk göstermektedir. Perlit ilavesi ateş zayıtında azalma yerine bir artışa neden olmuştur. Perlit ilavesinin kuzey kilinin sahip olduğu yüksek paketlenmeyi zayıflattığı ve kullanılan cam granülün sıvı faz oluşturması ile uçucu bileşenlerin sistemden daha rahat uzaklaşması bu sonucun nedeni olarak gösterilebilir. Kuzey kili ile hazırlanan reçetenin ateş zayıtı oranı ise %4.24' lük artışla %10.4 olarak gerçekleşmiştir. Bu değer kuzey kilinin kullanıldığı numuneler içinde en yüksek değer olup, kağıt, Syn-Por ve güney kili ilavelerinden kaynaklanmaktadır.



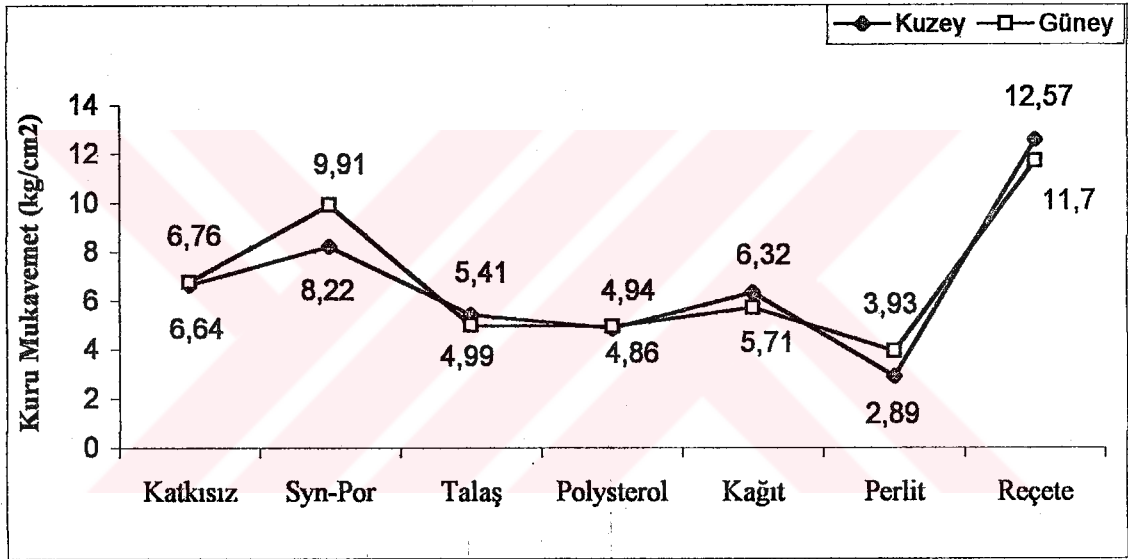
Şekil 9.9. Katkı ve katkısız kuzey ve güney killerin 960°C' deki ateş zayıyatı oranlarını gösteren grafik.

Şekil 9.10' da katkı ve katkısız güney ve kuzey killerin 1000°C' deki ateş zayıyatı değerleri görülmektedir. Şekilde uçucu bileşen oranı daha yüksek olan güney kili ile hazırlanan numunelerin ateş zayıyatı oranlarının kuzey kiline göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Numunelerin 1000°C' deki ateş zayıyatları 960°C' deki ateş zayıyatları ile yaklaşık uyumludur.



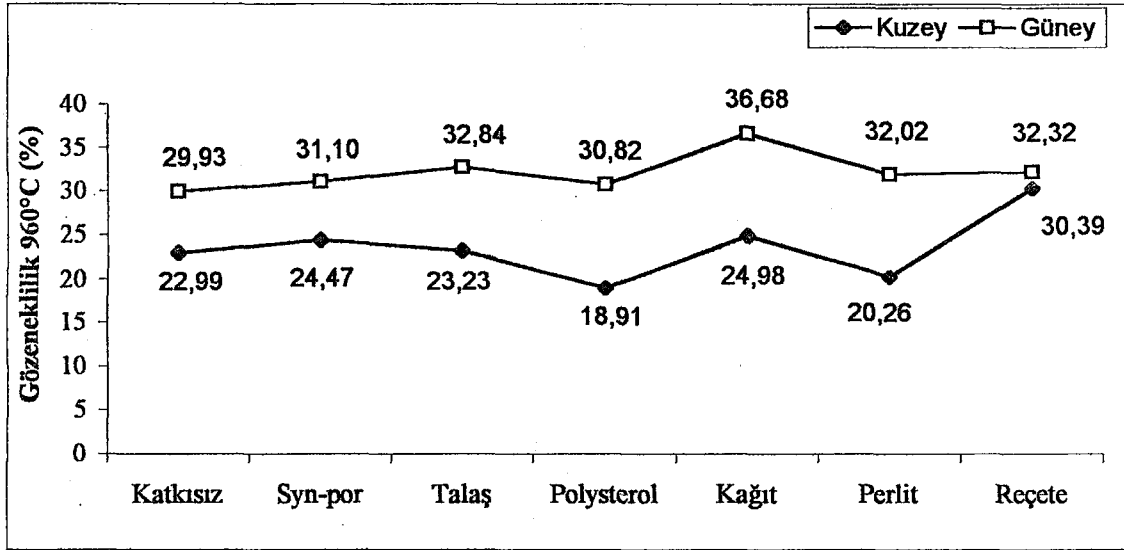
Şekil 9.10. Katkı ve katkısız kuzey ve güney killerin 1000°C' deki ateş zayıyatı oranlarını gösteren grafik.

Şekil 9.11' de katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin kuru mukavemet değerleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi her iki kil ile hazırlanan numunelerin kuru mukavemet değerleri yaklaşık olarak aynıdır. Syn-Por' un kullanılmadığı, talaş, polysterol, kağıt ve perlit ilaveli numuneler kuru mukavemet değerini düşürürken, Syn-Por tek başına kullanıldığında güney kili için %3.15, kuzey kili için %1.58 ve reçete içinde kullanıldığında ise güney kili için %4.94, kuzey kili için %5.93' lük artışa neden olmuştur. Syn-Por' un sahip olduğu yüksek plastiklik ve bağlayıcılık özelliği bu artışın nedeni olarak gösterilebilir. Diğer katkıları ise özsüz maddeler olduğu için plastikliği ve dolayısıyla kuru mukavemet değerlerini düşürmüştür.



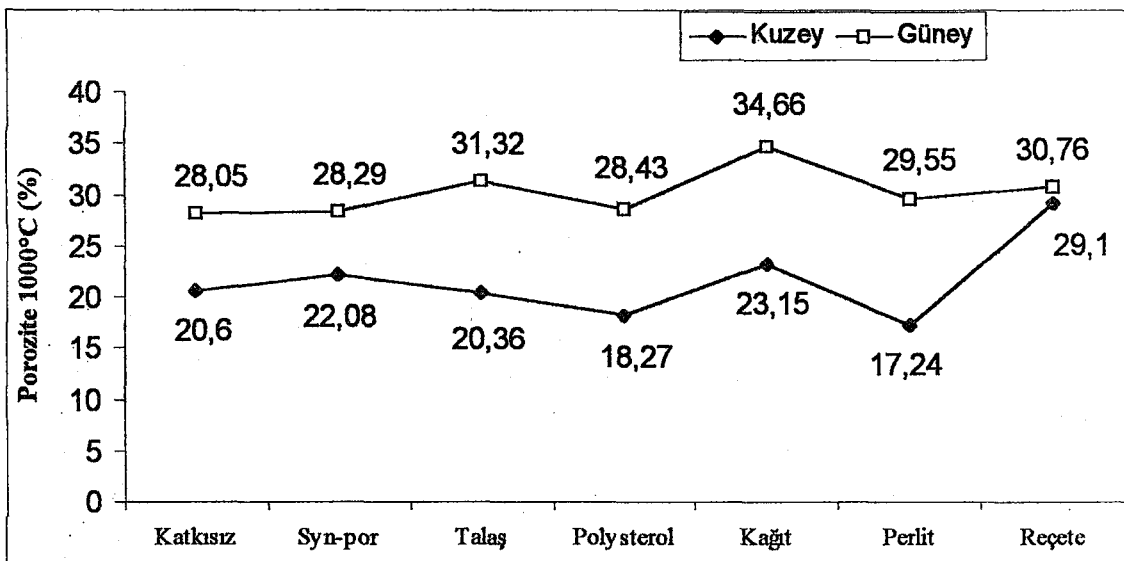
Şekil 9.11. Katkılı ve katkısız kuzey ve güney killerin kuru mukavemet değerlerini gösteren grafik.

Şekil 9.12 de katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin 960°C' deki görünür gözenek değerleri görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi organik katkıları kalsit içerikli güney kilinin görünür porozitesini artırırken, perlit ilavesi ise sinterleme elemanı içeriği nedeniyle düşürmüştür. Organik katkılardan polysterol ani yanma gösterdiği için numune yüzeyini kapatarak diğer organik katkılara göre daha düşük görünür porozite değeri göstermiştir. Kuzey kili ile hazırlanan numunelerin görünür porozite değerleri kalsit içeriği nedeniyle güney kiline göre daha düşüktür. Kuzey kilinde sinterleme işlemi organik katkıların yanmasından çok sonra gerçekleştiği için organik katkılı numunelerin görünür porozite değerleri katkısız kile göre çok yüksek değildir. Polysterol ise ani yanmadan dolayı görünür porozite değerini azaltmıştır. Hazırlanan reçeteler ise kuzey ve güney killeri için görünür poroziteyi sırasıyla %7.4 ve %2.39 artırmıştır.



Şekil 9.12. Katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin 960°C' deki görünür gözeneklilik değerlerini gösteren grafik.

Şekil 9.13'de katkı ve katkısız güney ve kuzey killerin 1000°C' deki görünür porozite değerleri görülmektedir. Numunelerin tümü Şekil 9.12' deki 960°C' de görünür gözeneklilik değerleri ile yaklaşık uyumluluk göstermektedir. Sıcaklığın artmasından dolayı 1000°C' deki görünür gözeneklilik değerleri daha düşüktür.



Şekil 9.13. Katkılı ve katkısız güney ve kuzey killerin 1000°C' deki görünür gözeneklilik değerlerini gösteren grafik.

9.2 Kimyasal Analiz

Yapılan kimyasal analiz sonuçlarına göre kuzey kilinde ağırlıkça % olarak SiO₂: 68.75, Al₂O₃: 18.11, CaO: 1.06, MgO: 1.70, Fe₂O₃: 5.72 ve güney kilinde SiO₂: 53.55, Al₂O₃: 15.39, CaO: 14.29, MgO: 5.46, Fe₂O₃: 6.60 oksit değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 8.2). Güney kilinin sahip olduğu toplam ağırlıkça %19.75'lik CaO ve MgO değeri bu kilin karbonat içeriğinden kaynaklandığı söylenebilir.

9.3 Tane Boyu Analizi

Yapılan tane boyu analizleri sonuçlarına göre kuzey kilinde %55 kil boyutlu, %33 silt boyutlu ve %12 kum boyutlu tane tespit edilirken, güney kilinde %31 kil, %51 silt ve %18 kum boyutlu tane tespit edilmiştir (Çizelge 8.3). Bu sonuçlara göre kuzey kilinin kil boyutlu tane miktarı güney kiline göre %24 daha fazladır. Kuzey kilinde kil boyutu, güney kilinde ise silt boyutu hakim olarak görülmektedir.

9.4. Mineralojik Dönüşümlerin İncelenmesi

Çizelge 9.1' de görüldüğü gibi katkısız ve pişmiş kildeki kuvarsın miktarı %66.5 den % 84.8' e çıkmaktadır. Bunun nedeni sistemde 1000°C de belirli bir miktar amorf faz olacağından ve mineral miktarı ölçüm yapılan minerallerin toplamına göre hesaplandığından amorf faza geçen mineraller toplamı düşürür ve toplam düştüğü için mevcut minerallerin miktarı artmış gibi görünür.

Çizelge 9.1 Kuzey kilinin katkısız ve 1000°C' de pişirilmiş örneklerine ait XRD ile yapılan mineralojik analizinin ağırlıkça % sonuçları*

KATKISIZ	%ağırlıkça	1000°C' de Pişirilmiş	%ağırlıkça
KUVARS	66,5	KUVARS	84,8
ALBİT	1,1	MİKROKLİN	9,0
MİKROKLİN	4,9	HEMATİT	6,2
KAOLEN	8,3		
İLLİT	19,2		

*X ışınları difraktogramları Ek 4A ve Ek 4B' dedir.

Kuvarsa benzer şekilde mikroklin' in de miktarı artmaktadır. Mikroklin oluşumuna neden olabilecek K atomu muskovitten (K₂O.3Al₂O₃.6SiO₂.2H₂O) sağlanabilir. Ancak muskovit için K₂O-Al₂O₃-SiO₂ üçlü sisteminde yapılan faz çalışmaları bu mineralden denge halinde mullitin oluşması gerektiğini göstermektedir. Fakat muskovit oktahedral tabakasındaki Al³⁺ kationlarının bir kısmının Fe³⁺ kationları ile yer değiştirebileceği için K₂O+Al₂O₃+SiO₂ sistemi

mikroklin bölgesine girebilir ve oktahedral tabakada Fe^{3+} katyonlarının bulunması hematit oluşumunu da açıklar. Çünkü hematitin oluşmasına neden olabilecek başka bir demir kaynağı da yoktur.

Çizelge 9.2 Güney kilinin katkısız ve 1000°C' de pişirilmiş örneklerine ait XRD ile yapılan mineralojik analizinin ağırlıkça % sonuçları *

GÜNEY KİLİ MINERALOJİK ANALİZLERİ			
KATKISIZ KİL İÇİN	% ağırlıkça	1000°C İÇİN	% ağırlıkça
KUVARS	35,8	KUVARS	56,8
ALBİT	5,2	MİKROKLİN	13,8
MİKROKLİN	6,3	ANORTİT	10,6
KALSİT	12,8	DIOPSİT	8,4
DOLOMİT	12,3	MELİLİT	5,0
KAOLEN	2,5	Kireç (CaO)	4,2
İLLİT	17,6	HEMATİT	1,2
KLORİT	7,5		

*X ışınları difraktogramları Ek 4A ve Ek 4B' dedir.

Çizelge 9.2' de görüldüğü gibi kuvarsin miktarı artmıştır. Nedeni sistemde 1000°C de belirli bir miktar amorf faz olacağından ve mineral miktarı ölçüm yapılan minerallerin toplamına göre hesaplandığından amorf faza geçen mineraller toplamı düşürür ve toplam düştüğü için mevcut minerallerin miktarı artmış gibi görünür.

Albit: 1000°C de sodyumlu bileşik görülmemektedir. Buna göre sodyumoksit sıvı faz oluşturmuş olmalıdır. Ancak $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2$ faz diyagramları sisteminde albitin ergime sıcaklığı 1100°C olup bu sıcaklık uygulanan 1000°C den yüksektir. Fakat K_2O ' in bir kısmı albitin ergime sıcaklığını düşürmede kullanılmıştır. Albit içindeki Na_2O düşük derecelerde ergimez. Ancak CaO ' li sistemlerde sodyum anorthosit denilen Ca-feldspat şebekesinin içinde gelişir. K_2O ' li sistemlerde ise mikroklin ile kısmen plajiolklas oluşturur. Serbestleşen K^+ ise amorf fazda yerleştiği söylenebilir.

Mikroklin: Miktarı artmıştır. Nedeni; muskovit mikada tabakalar arasında bulunan potasyum, kil yapılarının bozulması ile metakaolen ve spinel ile birleşerek yeni mikroklin minerali oluşturmasıdır.

Kaolenit: Kristal yapısı yaklaşık 400°C de bozulduğu için 1000°C deki pişirilmiş örnekte saptanamamıştır.

Muskovit: Yapısında bulunan potasyum katyonları alümina ve silisle birleşerek mikroklin oluşturur. K_2O , Al_2O_3 , SiO_2 oranları $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ üçlü sisteminde müllit bölgesinde bulunsa da, $1000^\circ C$ ' de hematit varolması kil içinde demir atomlarının bulunduğunu gösterir. Demir ise serbest olarak bulunmadığı için ancak muskovit ve klorit yapılarında oktahedral düzlemde alüminyum atomlarının pozisyonlarında yer alabilir. Buna göre muskovit $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ sisteminde mikroklin bölgesi içinde yer aldığı sanılmaktadır.

Klorit: İdeal formül alümina- silis ve sudan oluşmaktadır. Bir kil minerali olan klorit yaklaşık $500^\circ C$ de yapısını kaybeder. Bu noktadan sonra Al_2O_3 ve SiO_2 diğer katyonlarla birleşerek yeni mineraller oluştururlar. Ayrıca klorit yapısında bulunması beklenen Mg ve Fe katyonlarının yapının bozunmasından sonra magnezyum-alümina-silikat ve hematit minerallerini oluşturması beklenebilir.

Kalsit ve Dolomit: $1000^\circ C$ de SiO_2 ve Al_2O_3 ile birleşerek anortit, diopsit ve melilit minerallerini oluştururlar ve ayrıca kalsit serbest CaO olarak da kahr. Burada gerekli olan SiO_2 ve Al_2O_3 killerden temin edilmiştir. Güney kilinin dilatometre eğrisinde(Ek 2A) $889^\circ C$ deki büzülme dolomitteki $MgCO_3$ ın, $963^\circ C$ deki büzülme ise $CaCO_3$ ın bozunması sonucu oluşur. Bu sıcaklıktan sonra meydana gelen küçük genleşme ise sistemde kalsiyum-silikat veya kalsiyum-alümina-silikat oluştuğunu gösterir. DTA eğrisinde de kalsitin bozunması sonrası bir ekzotermik pik görülmektedir. Ancak bu pik tam olarak görünmemekle birlikte kalsit endotermik pikinin minimumu geçtikten sonra neredeyse 90 derecelik açıyla yükselmesi ve sonrasında çok küçük bir pik oluşturması bunu doğrulamaktadır.

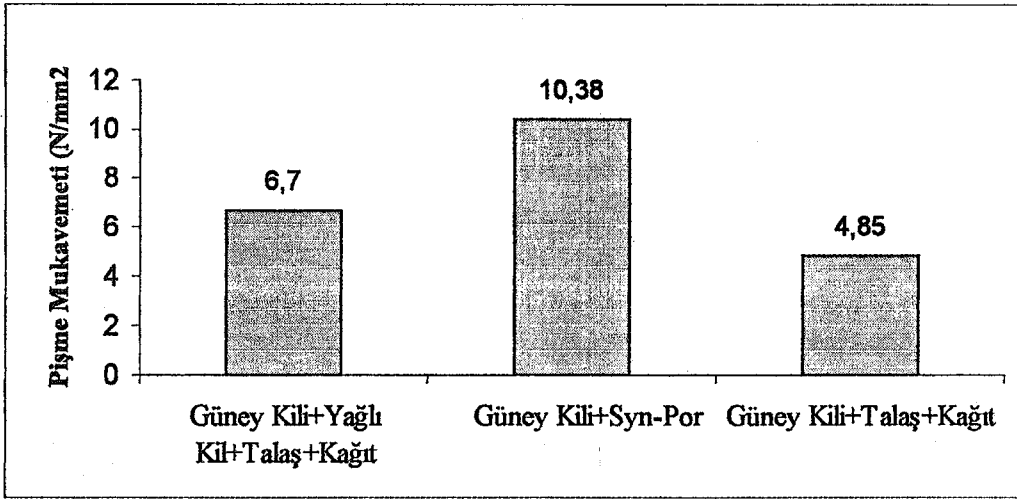
Ancak sistemde serbest CaO kalması üründe şişme, çiçeklenme ve çatlama gibi sorunlar oluşturduğu için bu tür killerin kullanımını sınırlamaktadır. Kalsit içerikli killerin tuğla bünyelerde kullanılabilirliği yönünde yapılan 0.4mm 'nin altına öğütme, pişirme sıcaklığını arttırma, soda gibi yardımcı bileşenler ilave etme (Çizelge 9.3), fırın atmosferini değiştirme gibi işlemlerin amacı; serbestleşen CaO' i silikat yapılara bağlayarak, serbest CaO' in yukarıda belirtilen olumsuz etkilerini ortadan kaldırmaktır.

Adlung-Baykara (1999)' a göre kalsit bozunmasının erken ve kısa sürede gerçekleşmesi CaO' in reaksiyona girme kabiliyetini arttırır. Ancak bu bozunma, yüzey alanı, CO_2 ' in kısmi basıncı, spesifik sıcaklıklarda tutma süresi ve bünyedeki kirliliklerin türü ve miktarıyla (Çizelge 9.3) doğrudan ilişkilidir. Kalsit bozunması için gerekli sıcaklık su buharı oranı ile ters, hava ve CO_2 miktarı ile doğru orantılıdır.

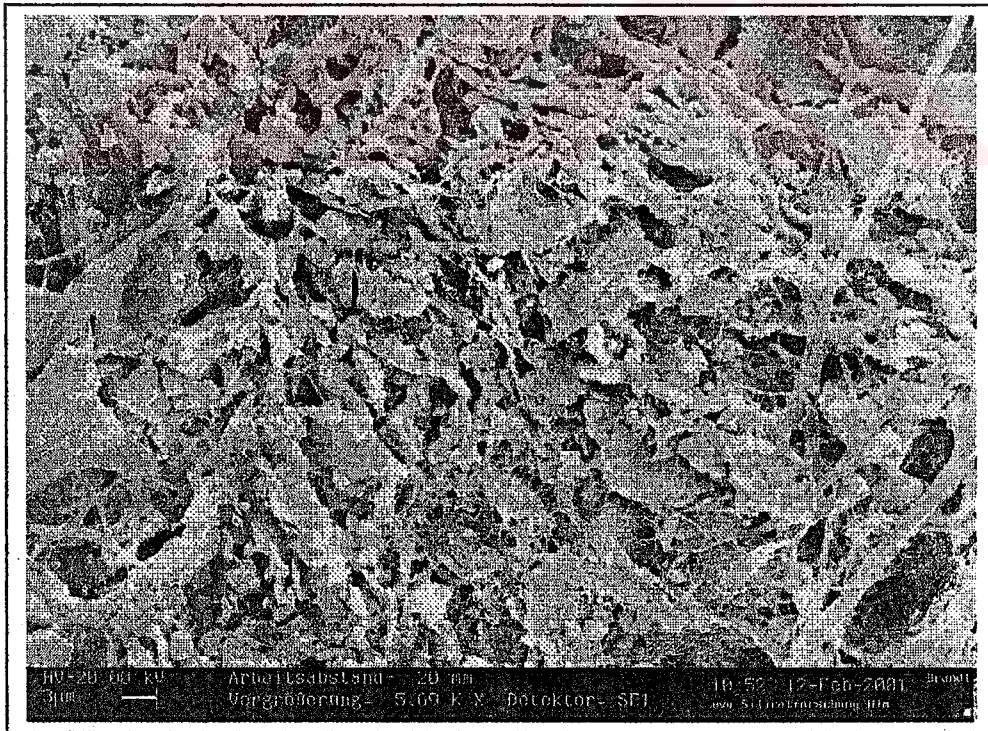
Çizelge 9.3. İzomorfik katyonların kalsiyum-silikat oluşumuna etkileri (Adlung-Baykara, 1999).

Fazlar	MnO ₂			MgO			Na ₂ O			Fe ₂ O ₃		
	900°C	1000°C	1100°C	900°C	1000°C	1100°C	900°C	1000°C	1100°C	900°C	1000°C	1100°C
Kuvars	26,7	22,2	9,8	32,3	27,6	10,2	28,0	19,7	7,5	30,1	29,0	56,4
Volastonit	39,0	52,7	90,2	27,9	35,2	84,3	38,1	68,1	92,5	38,2	63,0	
Larnit	34,3	25,1		39,8	21,5		33,9	12,2		26,3		
Hematit										5,4	8,0	
Enstatit					15,7	5,5						
Akermanit												7,9
Diopsit												8,2
CaO												0,3
Anortit												27,2

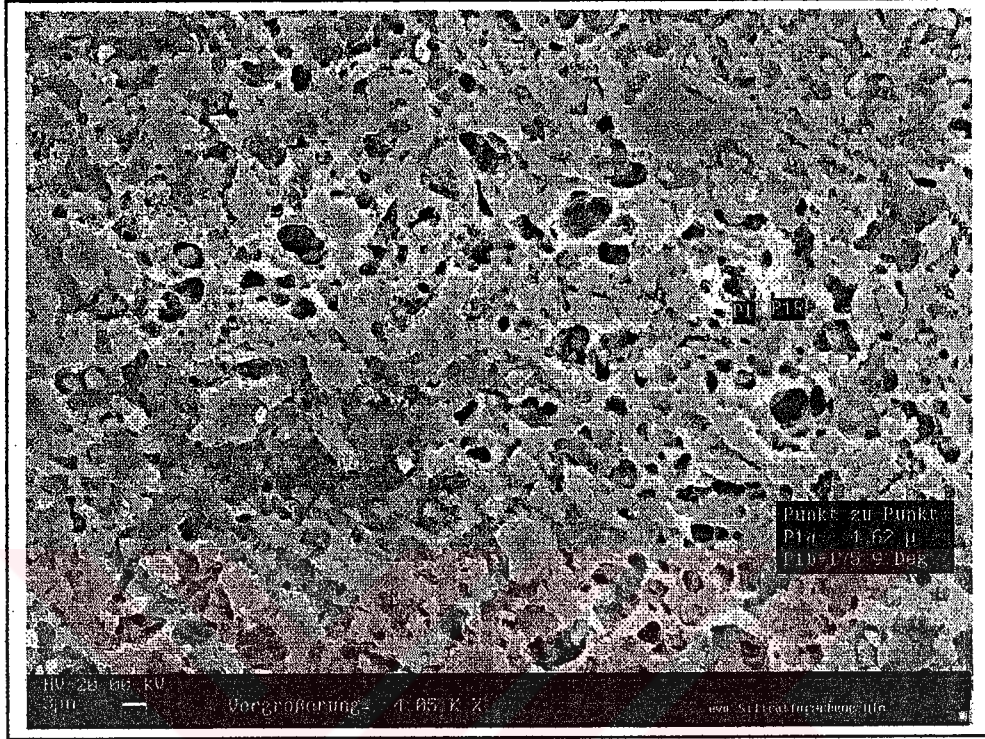
Buna göre 1000°C' deki güney kilinin mineralojik analizinde (Çizelge 9.2) serbest CaO olumsuz bir bileşen olarak görülmektedir. Organik katkılar karşılaştırıldığında kağıt ve talaş ortamına CO₂ gazı verirken, Syn-por ise su buharı vermektedir. Ortamda ki su buharı miktarının artmasıyla CO₂' nin kısmi basıncı azalır ve CaCO₃ daha erken sıcaklıkta dekompozisyona uğrayarak daha fazla miktarda CaO' in silikatlaşmasını sağlar. Kalsiyum silikat veya kalsiyum alümina silikat oluşumunun artması ise hem serbest CaO' in negatif etkilerini ortadan kaldırır hem de Şekil 9.14' te görüldüğü gibi malzemenin mukavemetini artırır. Ayrıca Şekil 9.15 ve Şekil 9.16' daki talaş+kağıt ve Syn-por katkılı güney kili SEM fotoğrafları bu sonucu doğrulamaktadır. Şekillere göre talaş+kağıt ilaveleri heterojen gözenek dağılımı ve geometrisi oluştururken, Syn-por ilavesi yaklaşık küresel ve homojen bir gözenek dağılımı oluşturmaktadır. Gözeneklerin küresel ve homojen dağılımı ise malzemelerin mukavemetini ve ısı-ses yalıtımını arttırmaktadır. Ayrıca tuğla birimlerin mukavemetinin artırılması ile bünyeye daha fazla por yapıcı bileşen ilave edilerek bina duvarlarının iletkenliği daha da azaltılabilir. Güney kili ile hazırlanan numunelerin dilatometre ve DSC verileri Syn-por katkılı numunelerin CaCO₃ bozunma sıcaklığını azalttığı ve bozunma miktarını arttırdığını göstermektedir. Çizelge 9.4'de dilatometre eğrilerine göre kalsit bozunma sıcaklıkları ve DSC analizine göre kalsit endotermik pikinin altında kalan bölgelerin sayısal değerleri verilmiştir.



Şekil 9.14. Syn-por, talaş ve kağıt katkılı güney kilinden hazırlanan örneklerin pişme mukavemeti değerleri. Adlung-Baykara' ya Fa. Rimmel KG. (Almanya) Tuğla Fabrikası temin etmiştir.



Şekil 9.15. Talaş ve kağıt katkılı güney kilinden hazırlanan örneklerin SEM fotoğrafı. Homojen ve küresel dağılımlı olmayan gözenekli yapıyı gösteriyor (Çubuk ölçek:3µm).



Şekil 9.16. %0.6 Syn-por katkılı güney kilinden hazırlanan örneklerin SEM fotoğrafı. Nispeten homojen ve küresel dağılımlı olan gözenekli yapıyı gösteriyor (Çubuk ölçek:3µm).

Çizelge 9.4. Kalsit bozunma sıcaklıkları ve reaksiyon entalpisi

Numune	Bozunma Sıcaklığı	Numune	Reaksiyon Entalpisi
Reçete	889.4 °C	Reçete	255.3 J/g
Polysterol	906.4 °C	Polysterol	253.7 J/g
Syn-por	958.4 °C	Syn-por	244.9 J/g
Katkısız	958.5 °C	Katkısız	243.9 J/g
Talaş	961.5 °C	Talaş	223.8 J/g
Kağıt	964.1 °C	Kağıt	224.6 J/g
Perlit	964.5 °C	Perlit	216.2 J/g

Ayrıca pişirilmemiş halde güney kilinin Fe_2O_3 oranı daha yüksek olmasına rağmen 1000°C deki mineralojik analizinde hematit miktarı kuzey kiline oranla daha azdır. Bunun nedeni güney kilinde oluşan kalsiyum-alümina-silikat sistemlerinde Fe ile Ca atomlarının kısmi katı çözeltiye uğramasıdır. Anortit içinde yer alan demir hematit oluşturamaz. Güney kili ile hazırlanan numune renklerinin sarı olması ve sistemde serbest CaO saptanması bu kabulü doğrulamaktadır.

10. ÖNERİLER

1. Gözeneklilikle birlikte yapı malzemelerinin mukavemet değerlerini de arttırabilmek için bilinen organik (talaş, kağıt, polysterol) ve inorganik (perlit) gözenek yapıcı maddelerle yeni reçeteler oluşturulmalıdır.
2. Syn-por' la yalıtkan malzeme üretiminin ekonomik analizi yapılarak diğer yalıtım sistemleri ile karşılaştırılması yapılmalıdır.
3. Syn-Por' un nispeten pahalı bir malzeme olduğu bildirilmiştir (M. Adlung-Baykara, Institute evo-Silicate Forschung, Kişisel görüşme, Haziran 2002). Dolayısıyla Syn-Por gibi nanometrik ölçütlerde gözenek yapıcı sentetik maddelerin daha ekonomiksel yollarla elde edilmesi üzerinde araştırmalar yapılmalıdır.
4. Genleşme yeteneğine sahip veya gözenekli veya lifsi yapıya sahip diğer minerallerle benzer çalışmalar yapılarak yeni reçeteler hazırlanmalıdır.
5. Gözenek oluşturma işlemi için CO/CO₂ veya SO_x zararlı gazlarını atmosfere bırakarak ekolojik dengeyi bozan katkılar yerine çevreye uyumlu katkıların kullanılması yönünde araştırmalar yapılmalıdır.
6. Ülkemizde bina ve konut ısıtılmasında kullanılan enerjinin ne kadarının ısıtmada kullanıldığı ve ne kadarı boşa gittiği üzerinde detaylı çalışmalar yapılmalıdır. Elde edilecek veriler tuğla üreticilerine, müteahhitlere, Bayındırlık Bakanlığına ve tüm ilgililere anlatılarak ısı yalıtımlı tuğla üretimi ve kullanımı tavsiye teşvik edilmelidir.
7. Mikro ve makro boyuttaki gözenek dağılımı ve morfolojisinin malzemelerin donma direnci ve mukavemetlerine olan etkisi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR DİZİNİ

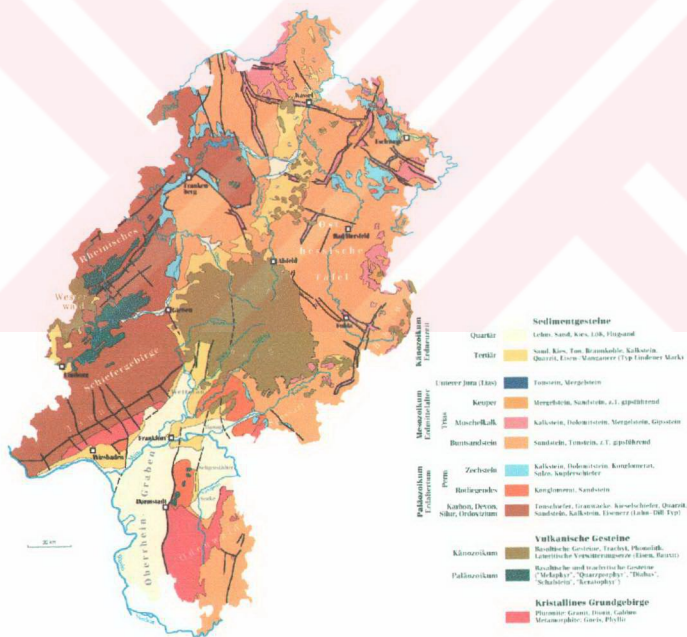
- Adlung Baykara, M., 1997, Article on the study of reaction processes during the fast firing of clay roofing tiles, *Die Ziegelindustrie International*, p. 895, May.
- Adlung Baykara, M., 1999, Reaction processes of calcite-rich brick making bodies under fast-firing conditions, *Die Ziegelindustrie International Annual*, p. 102.
- Adlung Baykara, M., 2000, Seramik yapı malzemelerinde mikro yapının biyolojik boyutu, Tuğla ve kiremit endüstrisi, Tuğla ve kiremit üreticileri derneği yayınları, yıl. 3, sayı.9, s.10.
- Betzliche, H., Schöps, W., and Hohmann, H., 2000, Pore-forming in brick making clay by means of expanded glass granules, *Die Ziegelindustrie International*, p. 43, May.
- Eltz, M., 2000, Isıl Konfor ve Tuğla, Tuğla ve kiremit endüstrisi, Tuğla ve kiremit üreticileri derneği yayınları, yıl. 3, sayı.9, s.32.
- Essen, H.S., 1981, Chemical and physical reactions in heavy clay bodies during firing, *Die Ziegelindustrie International*, p. 387, July.
- Fischer, P., 1984, Some comments on the colour of fired clays, *Die Ziegelindustrie International*, p. 475, September.
- Fischer, P., 1987, Formation of the ceramic body in heavy clay products during firing, *Die Ziegelindustrie International Annual*, p. 96.
- Fisher, P., 1989, The fired color of natural clays, *Die Ziegelindustrie International Annual*, p. 112.
- Grimshaw, R.W., 1971, *The Chemistry And Physics Of Clays*, Tech Books, 4012 Williamsburg Court, India, 1023p.
- Hauck, D. and Jung, E., 1999, Improvement of the coefficient of thermal conductivity of lightweight clay bricks and blocks, *Die Ziegelindustrie International Annual*, p. 108.
- Hauk, D., Ruppik, M., and Hörschemeyer, S., 2000, Increasing the ceramic body strength and reduction of the thermal conductivity by raw material-specific measures, *Die Ziegelindustrie International Annual*, p. 54.
- Hesse, E. and Hauck, D., 1983, Tests on the production of foamed, porous solid bricks, *Die Ziegelindustrie International*, p. 75, February.
- Işık, İ., 1996, Kil Ve Kil Minerali Tanımı: AIPEA ve CMS Terminoloji Komitelerinin Ortak Raporu (Çeviri), *Seramik Dünyası Dergisi*, Temmuz-Ağustos sayısı, s.15.
- Junge, K. and Spitzer M., 1997, Foamed clay bricks as insulating material, *Die Ziegelindustrie International Annual*, p. 96.
- Junge, K., 1994, Porous lightweight clay bricks and blocks – A step towards a better environment, *Die Ziegelindustrie International*, p. 35, January.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devamı)

- Junge, K., 1999, Limits of the thermal utilization of organic raw material additives, Die Ziegelindustrie International Annual, p. 71.
- Junge, K., Pauls, N., 1994, Pore-forming of lightweight, vertical coring bricks and blocks – Ecological evaluation of the production process, Die Ziegelindustrie International Annual, p. 90.
- Jungk E.K. and Krcmar, W., 1996, Reduction of the thermal conductivity of clay masonry units by optimizations of the ceramic body structure, Die Ziegelindustrie International, p. 368, June.
- Kolkmeier, H., 1989, Possible alternatives for obtaining porosity of masonry brick, Die Ziegelindustrie International, p. 192, April.
- Manning, D.A.C., 1995, Introduction to industrial minerals, Chapman and Hall, 2-6 Boundary Row, London SE18HN, p.96-184.
- Niemann, R., 1991, Pore forming with inorganic pore-forming agents, Die Ziegelindustrie International, p. 125, March.
- Rimpel, E. and Schmedders, T., 1996, Industrial production of high-porosity brick material, Die Ziegelindustrie International Annual, p. 174.
- Stegmüller, L., 1988, A knowledge of the geological conditions as a necessary basis for quality and profitability, Die Ziegelindustrie International, p. 426, September.
- Sveda, M., Bagel, L., and Komoro, L., 1996, A new possibility for pore-forming in the clay body, Die Ziegelindustrie International, p. 240, April.
- Worrall, W.E., 1986, Clays and ceramic raw materials, Elsevier science publishing co., In., 52, Vanderbilt Avenue, New York, NY 10017, USA, p.27-47.

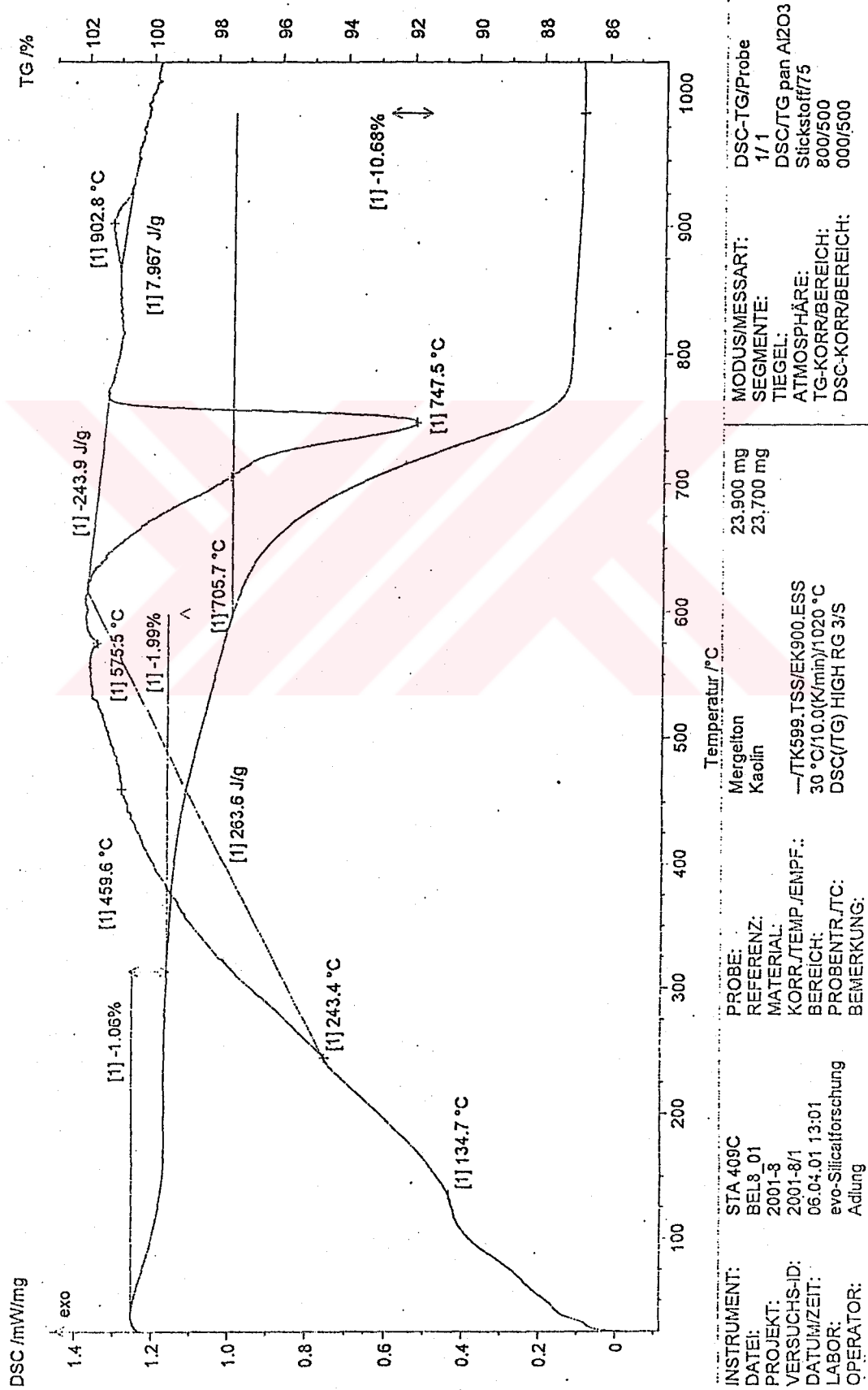
EKLER

Ek 1- Kuzey Kiline Ait Jeoloji Haritasi



Ek 2-A-1 Katkısız güney kilinin DTA analizi

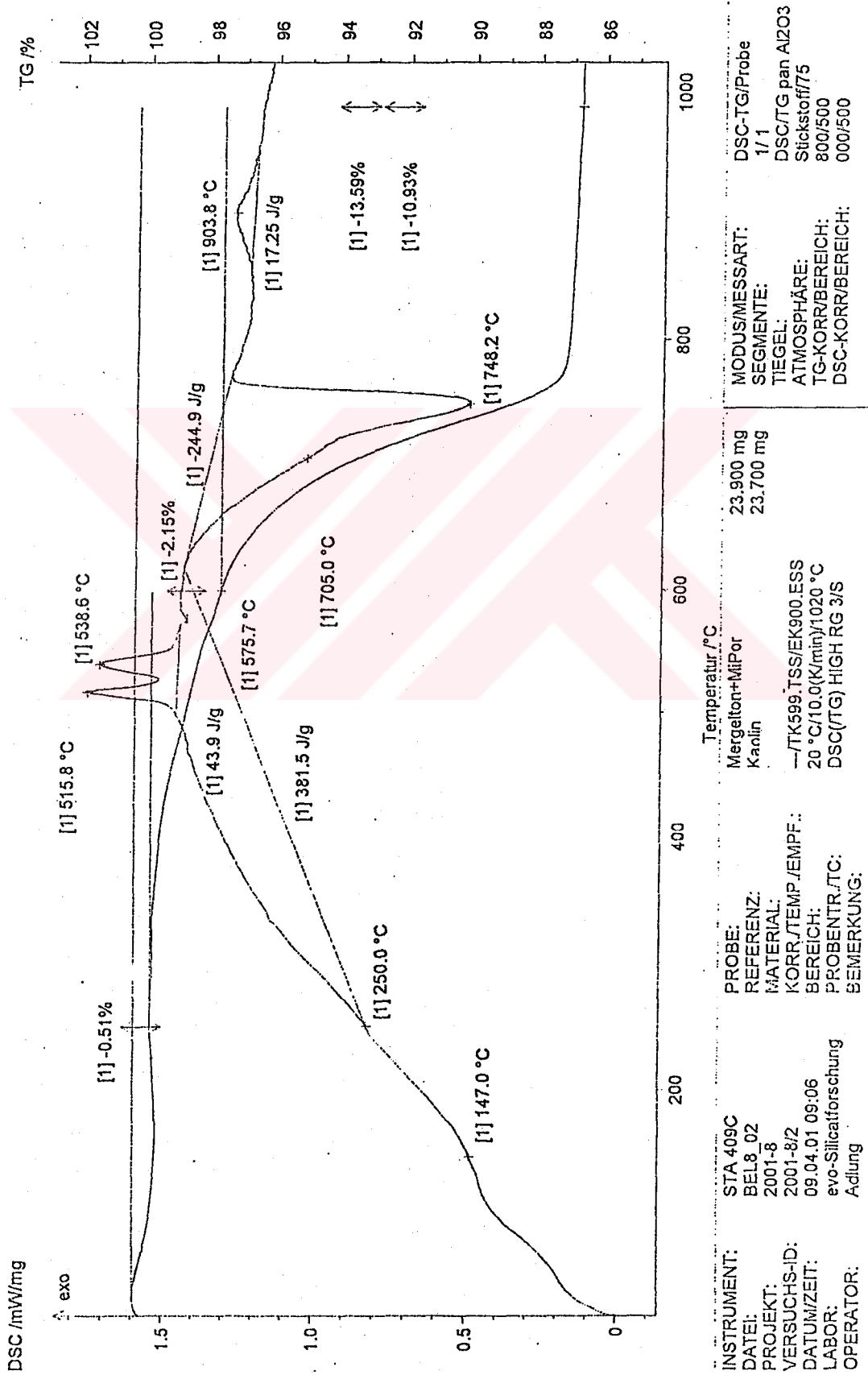
evo-Silicatforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



INSTRUMENT: STA 409C	PROBE: Mergelton	MODUS/MESSART: DSC-TG/Probe
DATEI: BEL3_01	REFERENZ: Kaolin	SEGMENTE: 1/1
PROJEKT: 2001-3	MATERIAL: ---TK599.TSS/EK900.ESS	TIEGEL: DSC/TG pan Al2O3
VERSUCHS-ID: 2001-8/1	KORR./TEMP./EMPF.: 30 °C/10.0(K/min)/1020 °C	ATMOSPHERE: Stickstoff75
DATUM/ZEIT: 06.04.01 13:01	BEREICH: DSC(TG) HIGH RG 3/S	TG-KORR./BEREICH: 800/500
LABOR: evo-Silicatforschung	PROBENTR./TC: BEMERKUNG:	DSC-KORR./BEREICH: 000/500
OPERATOR: Adlung		
	23.900 mg	
	23.700 mg	

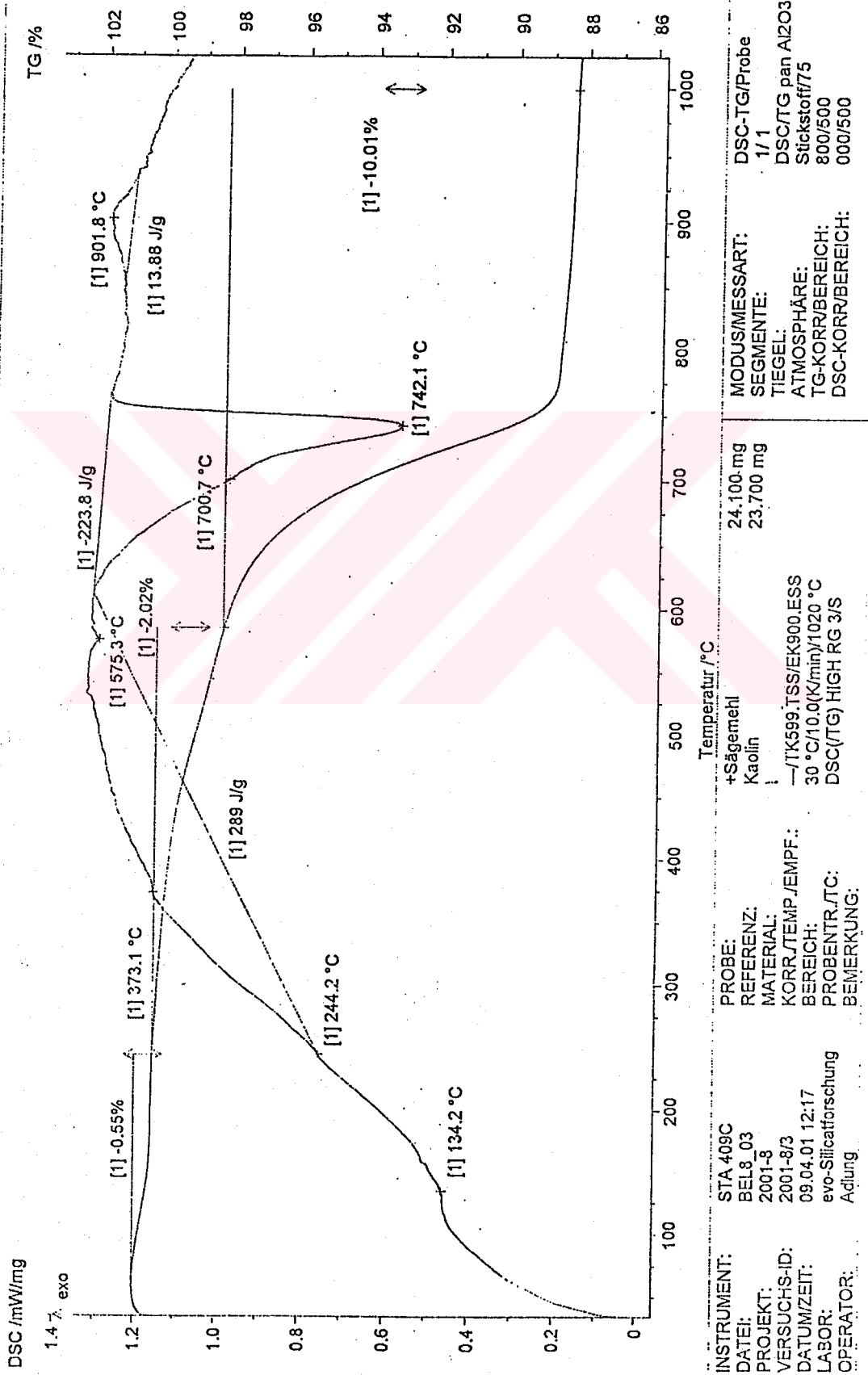
Ek 2-A-2 Syn-por katkılı güney kilinin DTA analizi

evo-Silicatiforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal

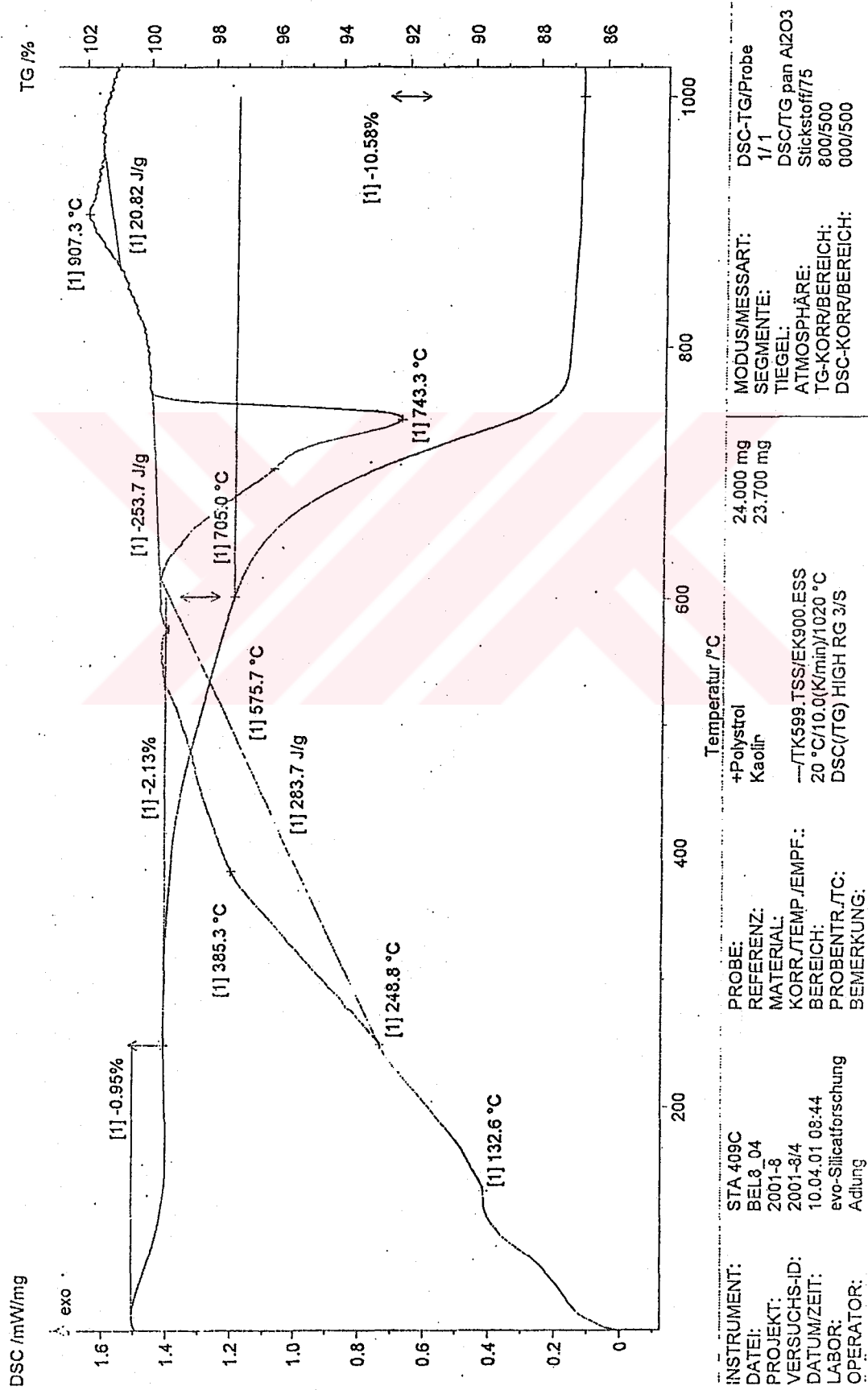


INSTRUMENT: STA 409C	PROBE: Mergelton+MiPor	MODUS/MESSART: DSC-TG/Probe
DATEI: BEL8_02	REFERENZ: Kaolin	SEGMENTE: 1/1
PROJEKT: 2001-8	MATERIAL: --TK599.TSS/EK900.ESS	TIEGEL: DSC/TG pan Al2O3
VERSUCHS-ID: 2001-8/2	KORR./TEMP./EMPF.: 20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	ATMOSPHERE: Stickstoff/75
DATUM/ZEIT: 09.04.01 09:06	BEREICH: DSC(TG) HIGH RG 3/S	TG-KORR/BEREICH: 800/500
LABOR: evo-Silicatiforschung	PROBENTR./TC:	DSC-KORR/BEREICH: 000/500
OPERATOR: Adlung	SEMERKUNG:	

Ek 2-A-3 Talaş katkılı güney kilinin DTA analizi



Ek 2-A-4 Polyester katkılı güney kilinin DTA analizi

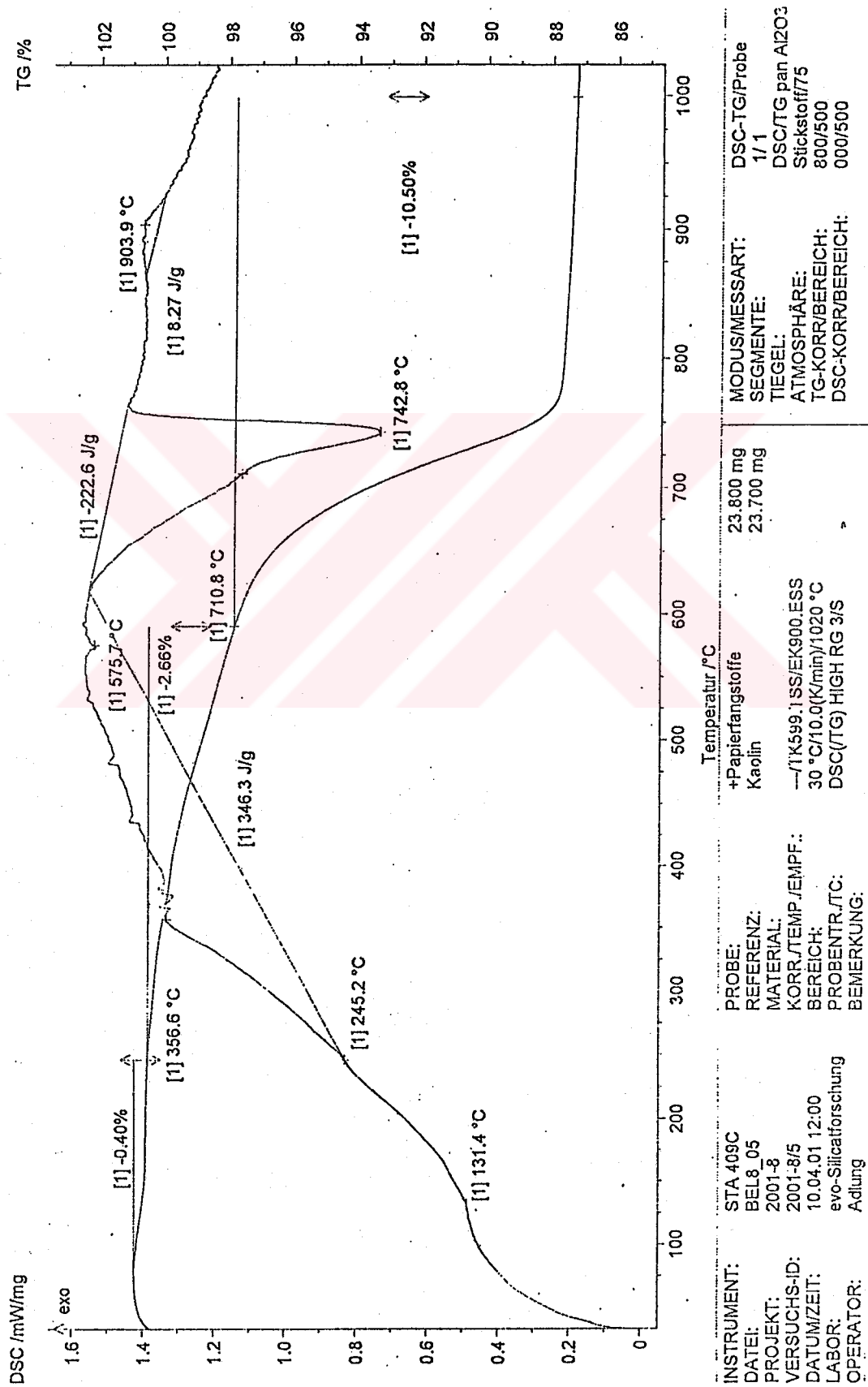


INSTRUMENT:	STA 409C	MODUS/MESSART:	DSC-TG/Probe
DATEI:	BEL8_04	SEGMENTE:	1/1
PROJEKT:	2001-8	TIEGEL:	DSC/TG pan Al2O3
VERSUCHS-ID:	2001-8/4	ATMOSPHÄRE:	Stickstoff/75
DATUM/ZEIT:	10.04.01.08:44	TG-KORR/BEREICH:	800/500
LABOR:	evo-Silicatforschung	DSC-KORR/BEREICH:	000/500
OPERATOR:	Adlung		

PROBE:	+Polyester	24.000 mg
REFERENZ:	Kaolin	23.700 mg
MATERIAL:	—TK599.TSS/EK900.ESS	
KORR./TEMP./EMPF.:	20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	
BEREICH:	DSC(TG) HIGH RG 3/S	
PROBENTR./TC:		
BEMERKUNG:		

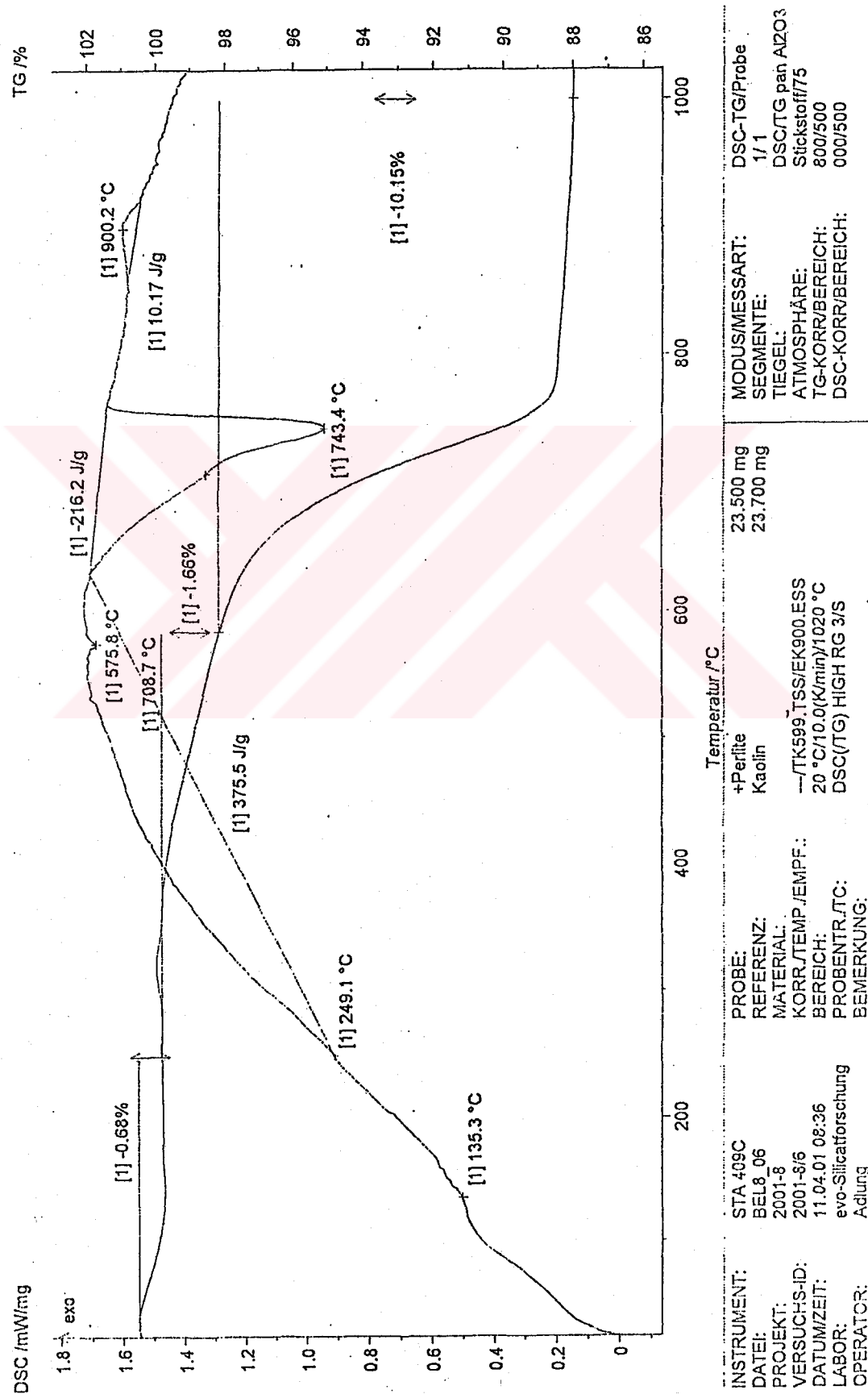
Ek 2-A-5 Kağıt katkı güney kilinin DTA analizi

evo-Silicatsforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



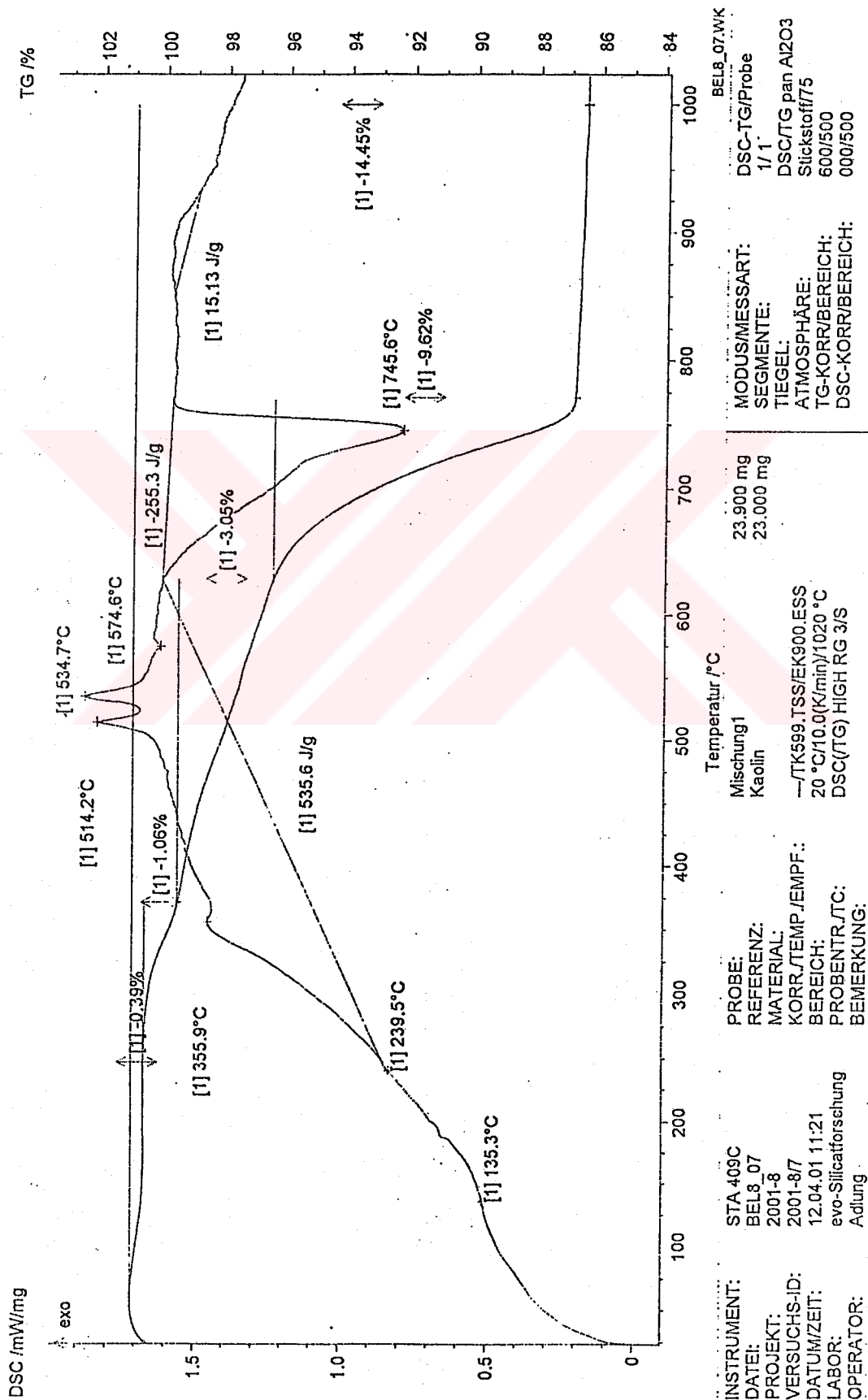
Ek 2-A-6 Perlit katkılı güney kilinin DTA analizi

evo-Silicaforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



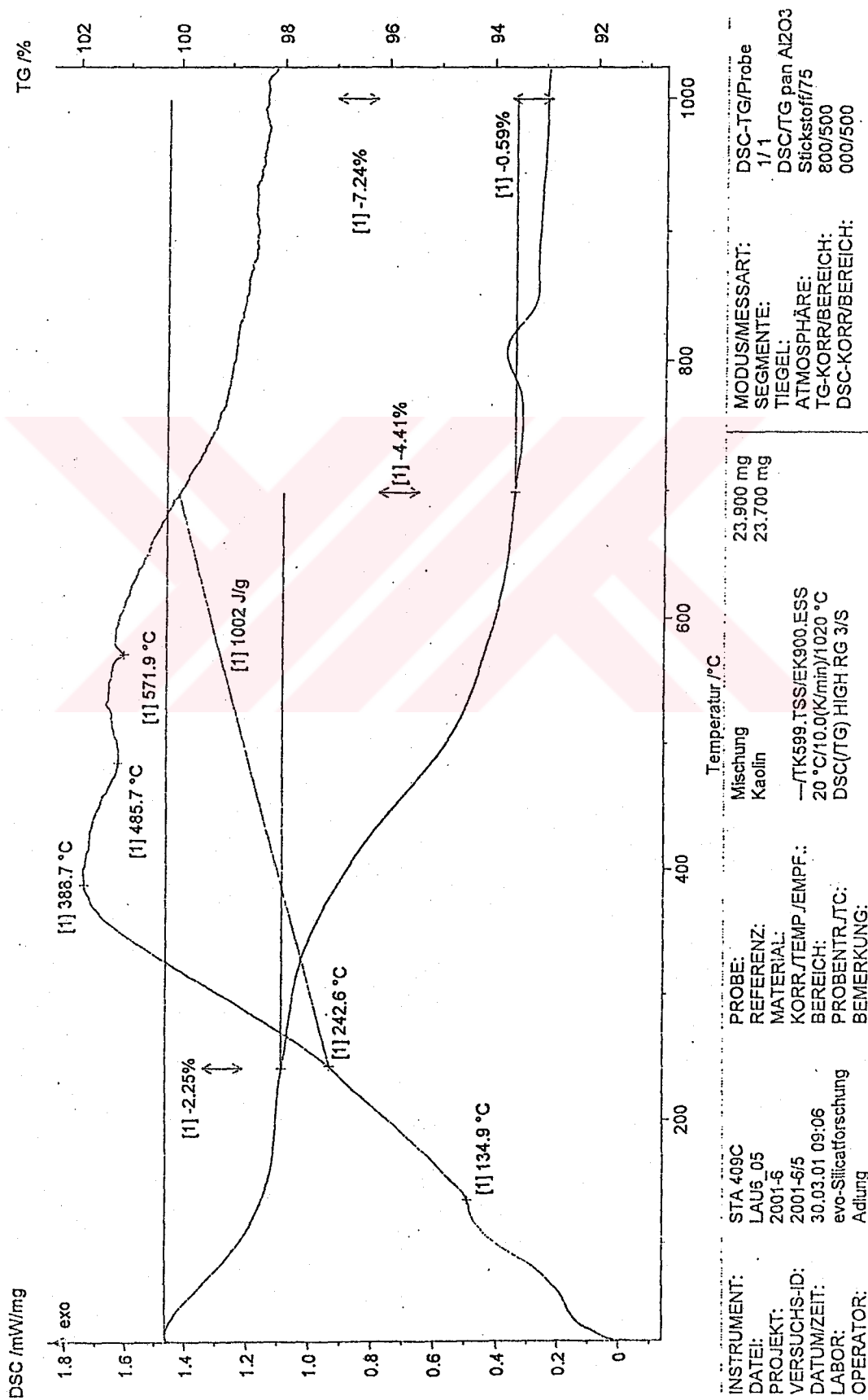
Ek 2-A-7 Güney kili ile hazırlanan reçetenin DTA analizi

evo-Silicaforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



Ek 2-B-1 Katkısız kuzey kilinin DTA analizi

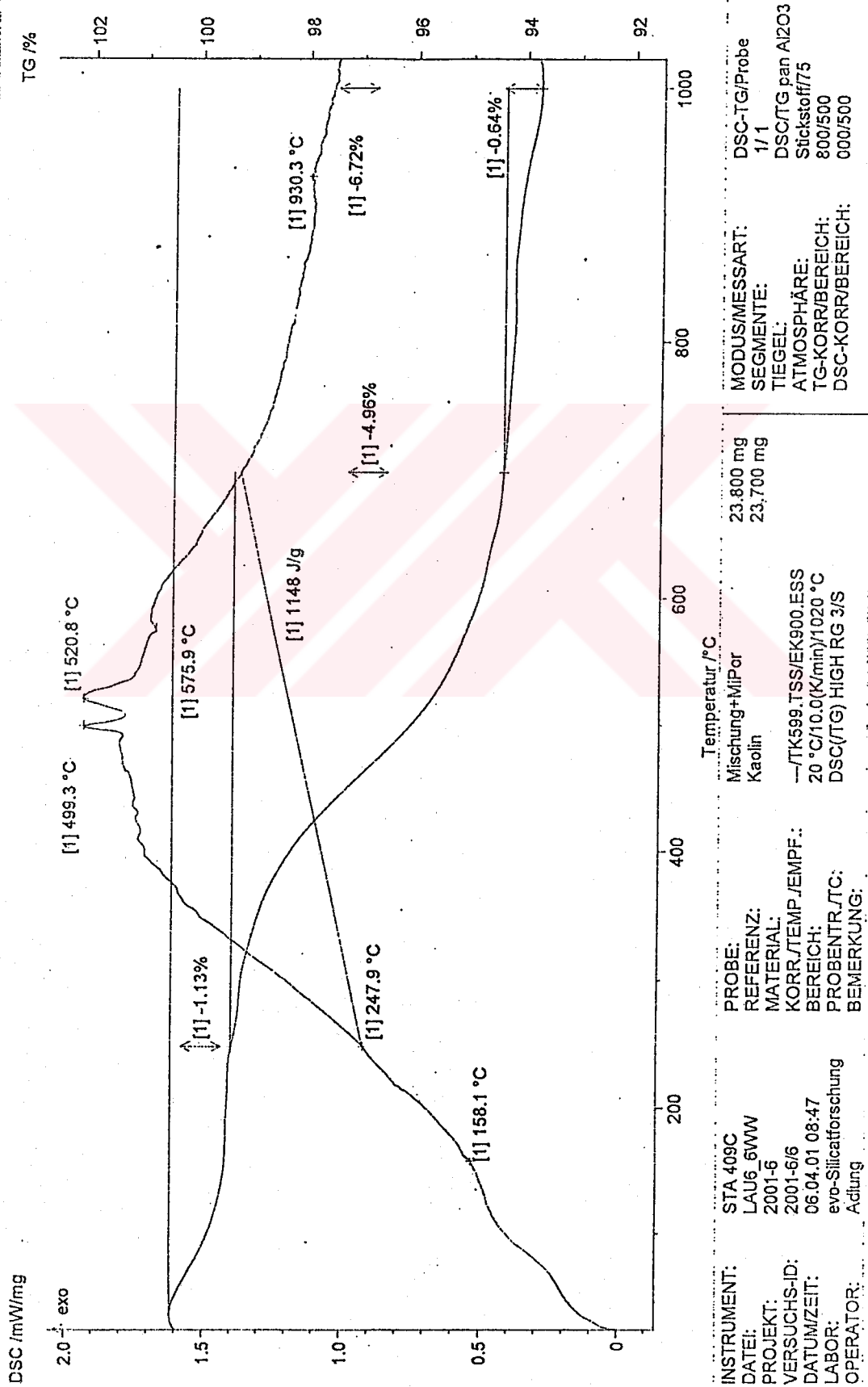
evo-Silicatsforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donaufal



INSTRUMENT:	STA 409C	PROBE:	Mischung	MODUS/MESSART:	DSC-TG/Probe
DATEI:	LAU6_05	REFERENZ:	Kaolin	SEGMENTE:	1/1
PROJEKT:	2001-6	MATERIAL:	—TK599.TSS/EK900.ESS	TIEGEL:	DSC/TG pan Al2O3
VERSUCHS-ID:	2001-6/5	KORR./TEMP./EMPF.:	20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	ATMOSPHÄRE:	Stickstoff/75
DATUMZEIT:	30.03.01 09:06	BEREICH:	DSC(TG) HIGH RG 3/S	TG-KORR/BEREICH:	800/500
LABOR:	evo-Silicatsforschung	PROBENTR./TC:		DSC-KORR/BEREICH:	000/500
OPERATOR:	Adlung	BEMERKUNG:			

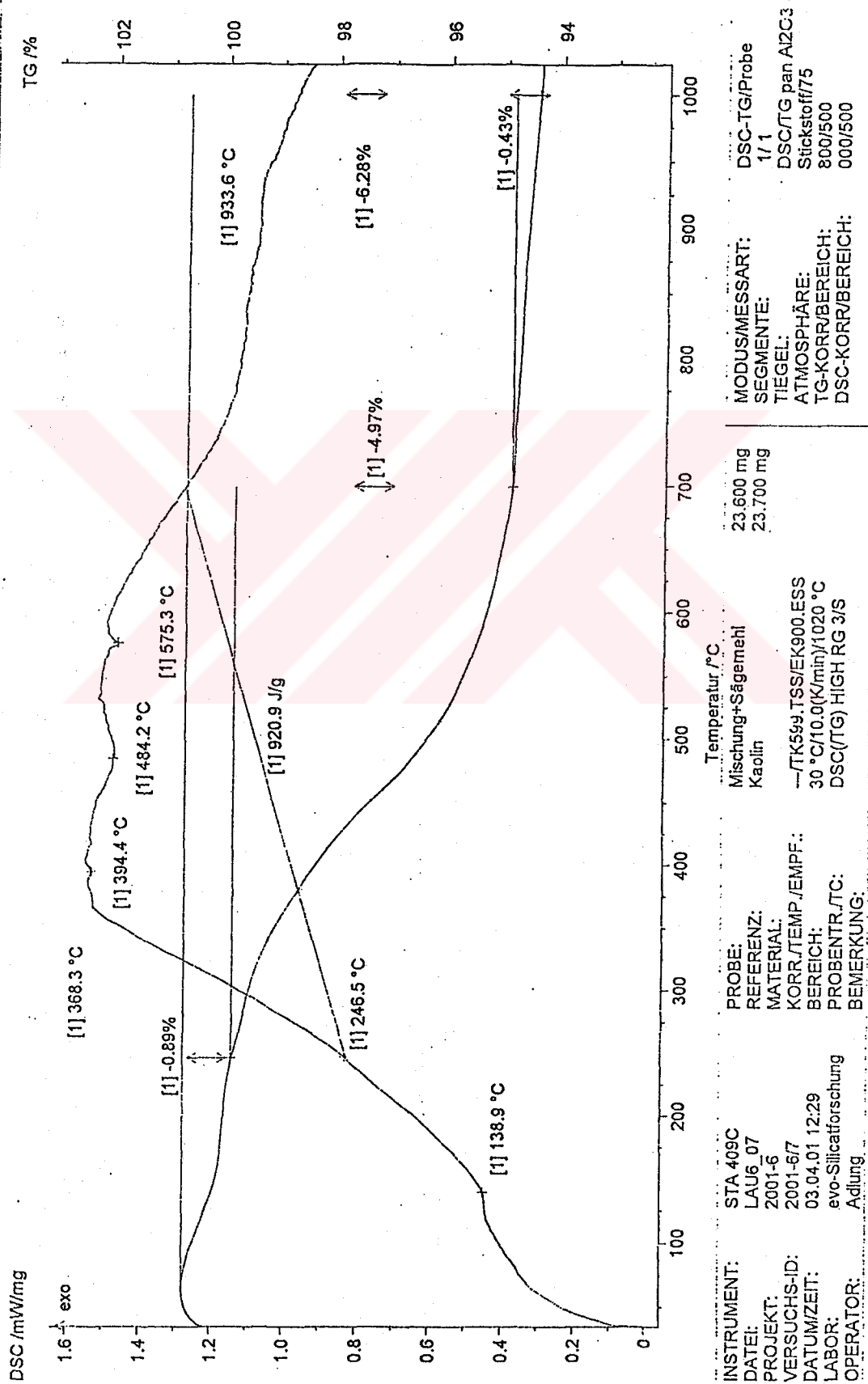
Ek 2-B-2 Syn-por katkılı kuzey kilinin DTA analizi

vo-Silicaforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



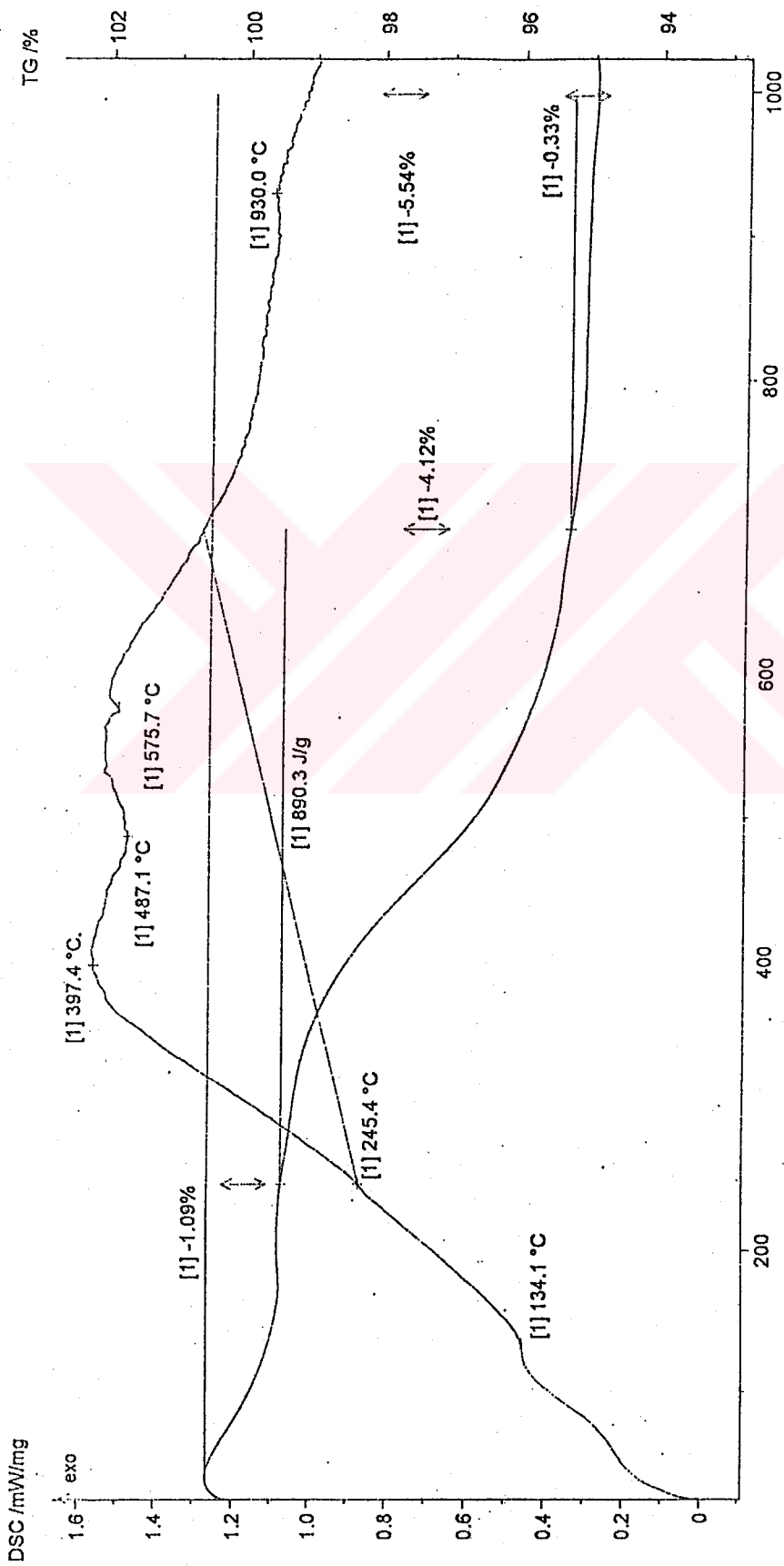
Ek 2-B-3 Talaş katkılı kuzey kilinin DTA analizi

evo-Silicatforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



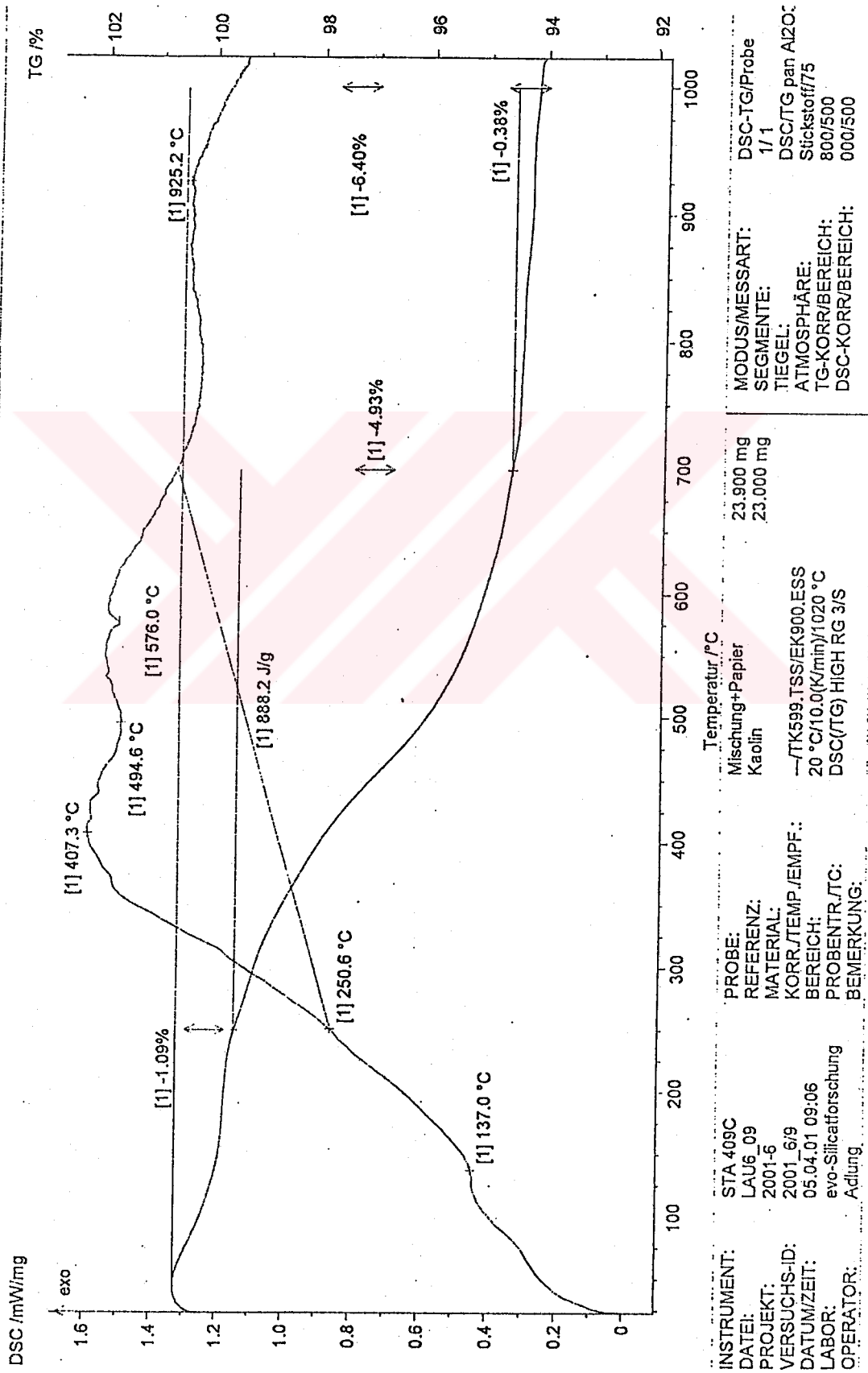
Ek 2-B-4 Polyesterol katkılı kuzey kilinin DTA analizi

evo-Silicatiforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal



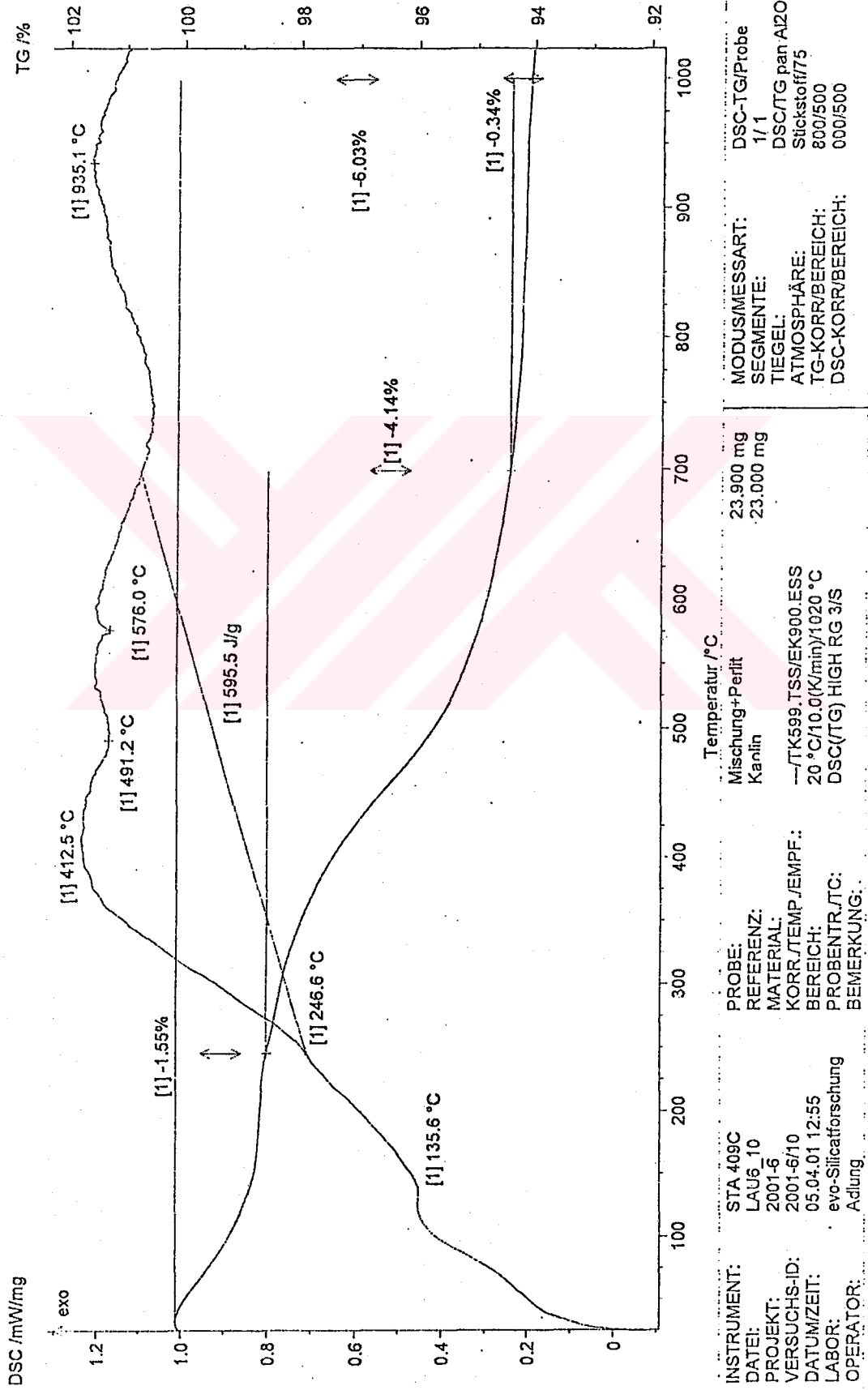
INSTRUMENT:	STA 409C	PROBE:	Mischung+Polystrol	MODUS/MESSART:	DSC-TG/Probe
DATEI:	LAU6_08	REFERENZ:	Kaolin	SEGMENTE:	1/1
PROJEKT:	2001-6	MATERIAL:	—/TK599.TSS/EK900.ESS	TIEGEL:	DSC/TG pan Al2O3
VERSUCHS-ID:	2001-6/8	KORR./TEMP./EMPF.:	20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	ATMOSPHÄRE:	Stickstoff/75
DATUMZEIT:	04.04.01 08:29	BEREICH:	DSC(TG) HIGH RG 3/S	TG-KORR/BEREICH:	800/500
LABOR:	evo-Silicatiforschung	PROBENTR./TC:		DSC-KORR/BEREICH:	000/500
OPERATOR:	Adlung	BEMERKUNG:			

Ek 2-B-5 Kağıt katkılı kuzey kilinin DTA analizi



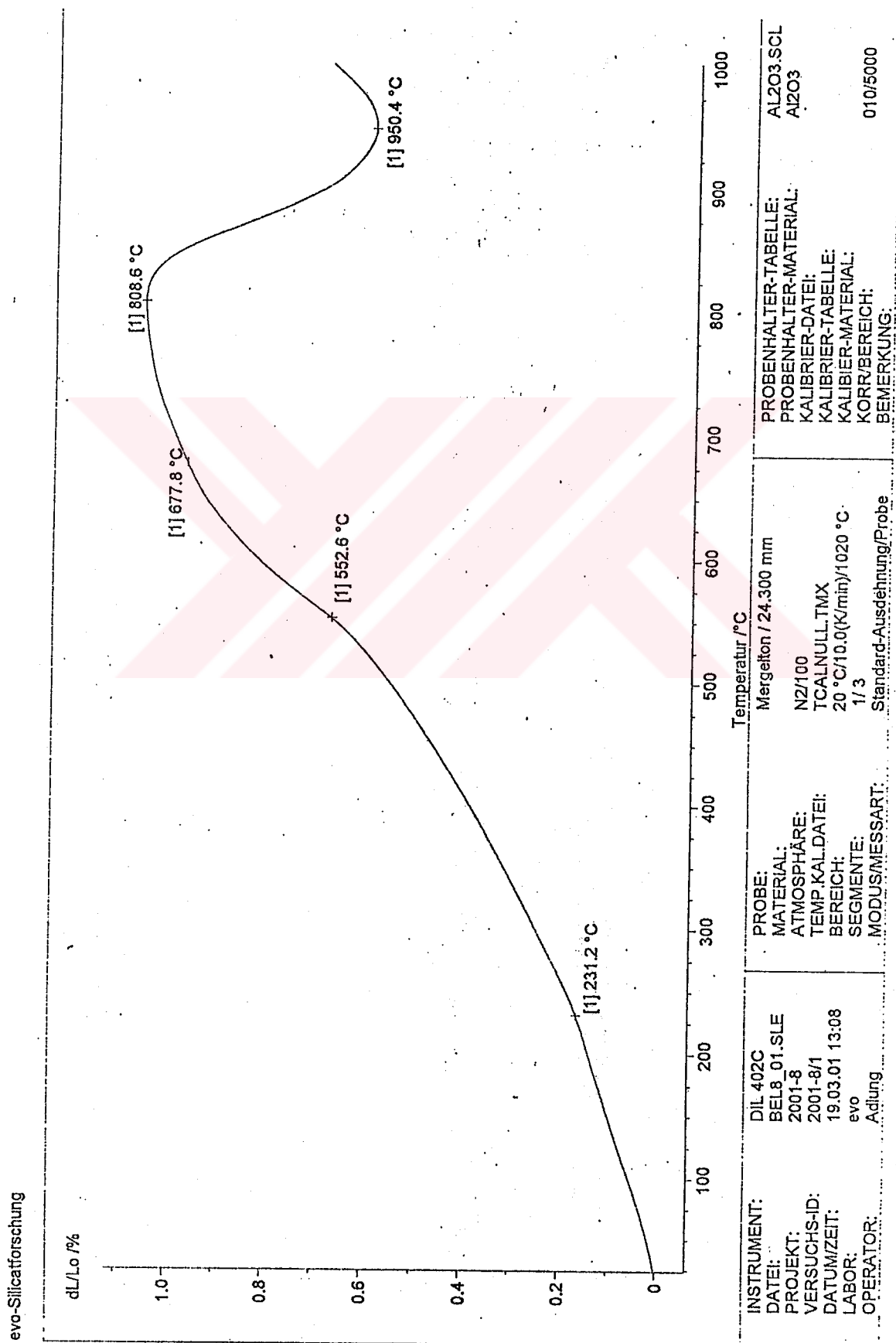
Ek 2-B-6 Perlit katkılı kuzey kilinin DTA analizi

evo-Silicaforschung GmbH, Benzstr. 18, 89079 Ulm/Donautal

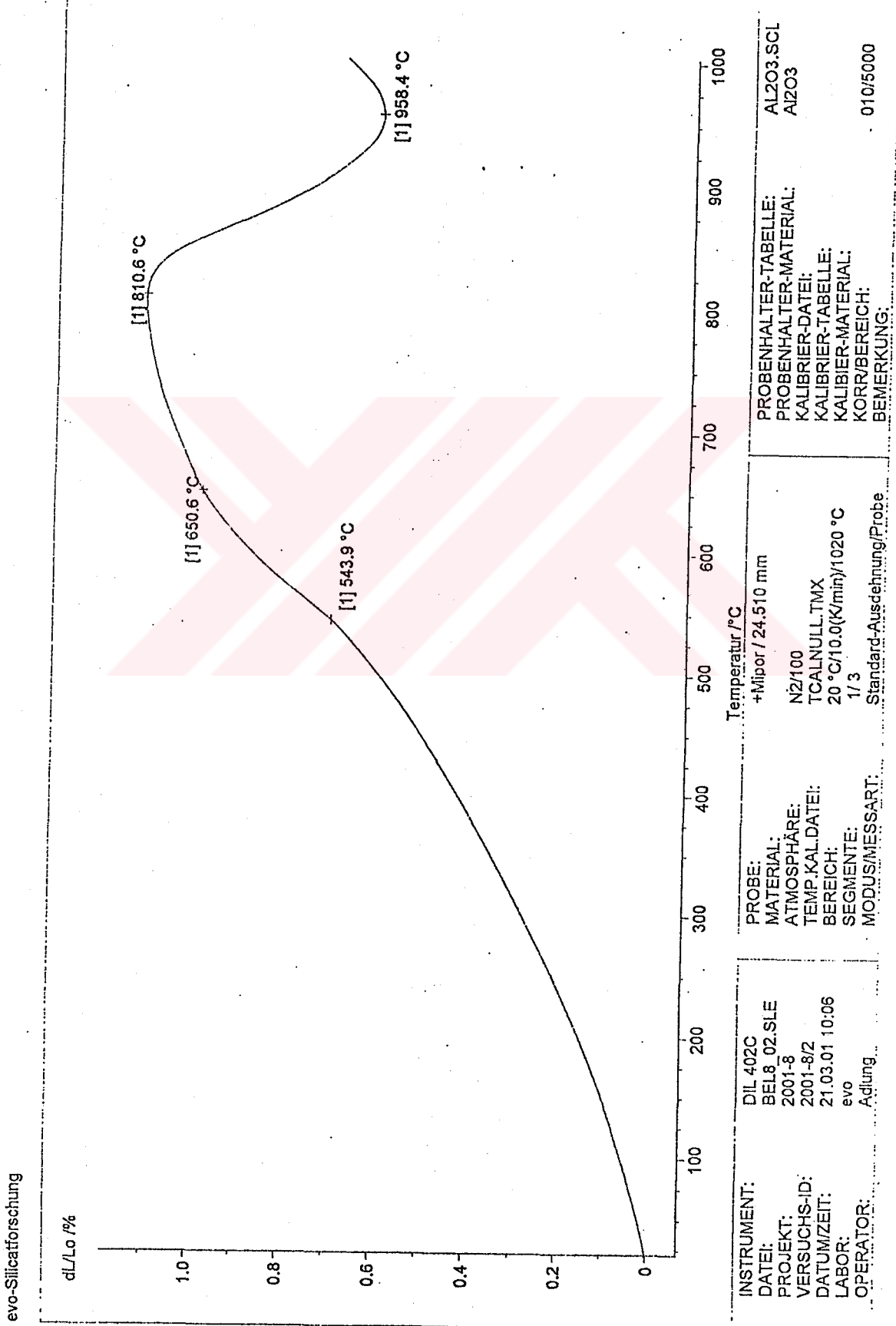


INSTRUMENT: STA 409C	PROBE: Mischung+Perlit	MODUS/MESSART: DSC-TG/Probe
DATEI: LAU6_10	REFERENZ: Kanlin	SEGMENTE: 1/1
PROJEKT: 2001-6	MATERIAL: --TK599.TSS/EK900.ESS	TIEGEL: DSC/ITG pan Al2O3
VERSUCHS-ID: 2001-6/10	KORR./TEMP./EMPF.: 20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	ATMOSPHERE: Stickstoff/75
DATUM/ZEIT: 05.04.01 12:55	BEREICH: DSC(TG) HIGH RG 3/S	TG-KORR/BEREICH: 800/500
LABOR: evo-Silicaforschung	PROBENTR./TC:	DSC-KORR/BEREICH: 000/500
OPERATOR: Adlung	BEMERKUNG:	

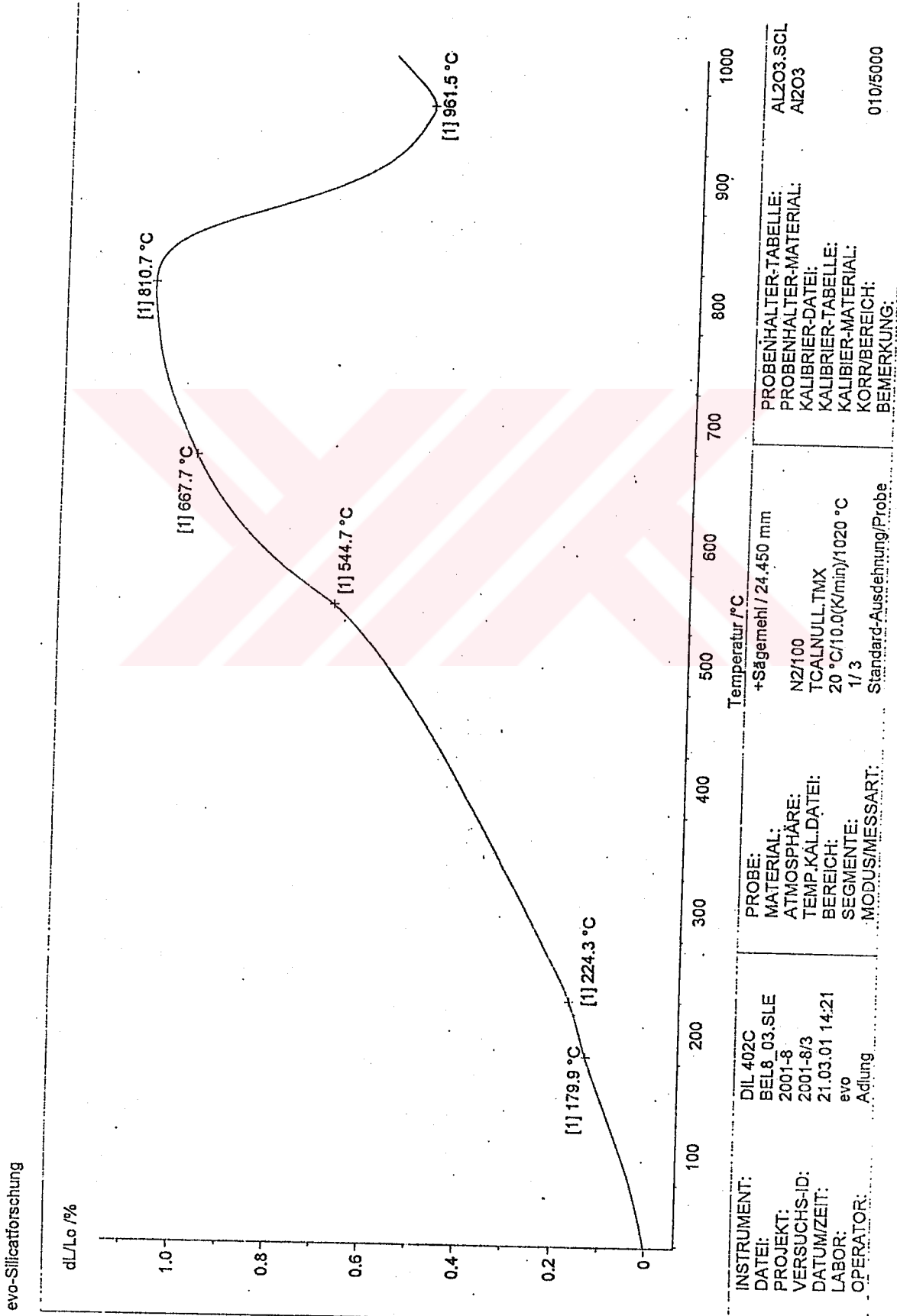
Ek 3-A-1 Katkısız güney kilinin Dilatometre analizi



Ek 3-A-2 Syn-por katkılı güney kilinin Dilatometre analizi

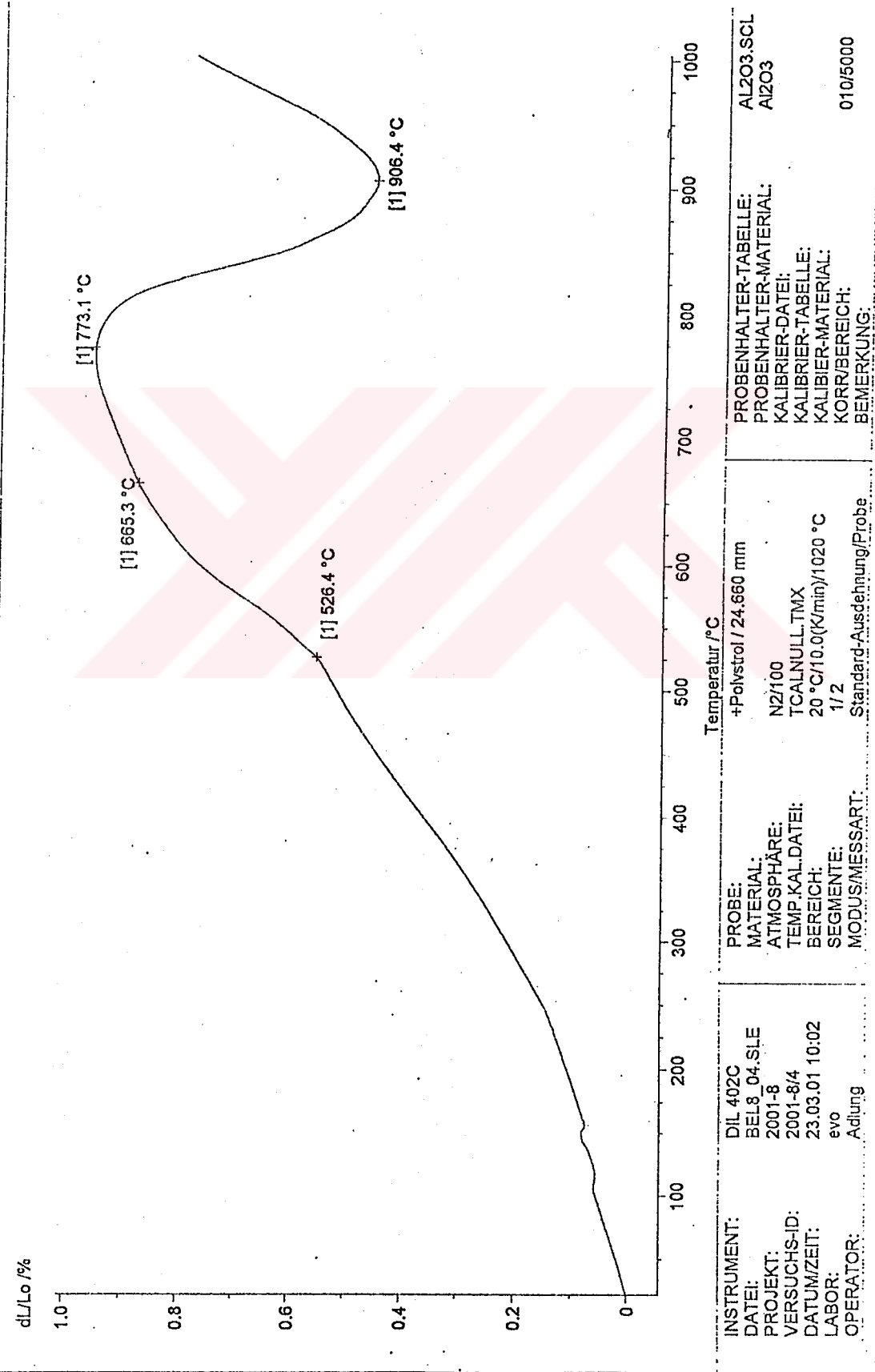


Ek 3-A-3 Talaş katkılı güney kilinin Dilatometre analizi



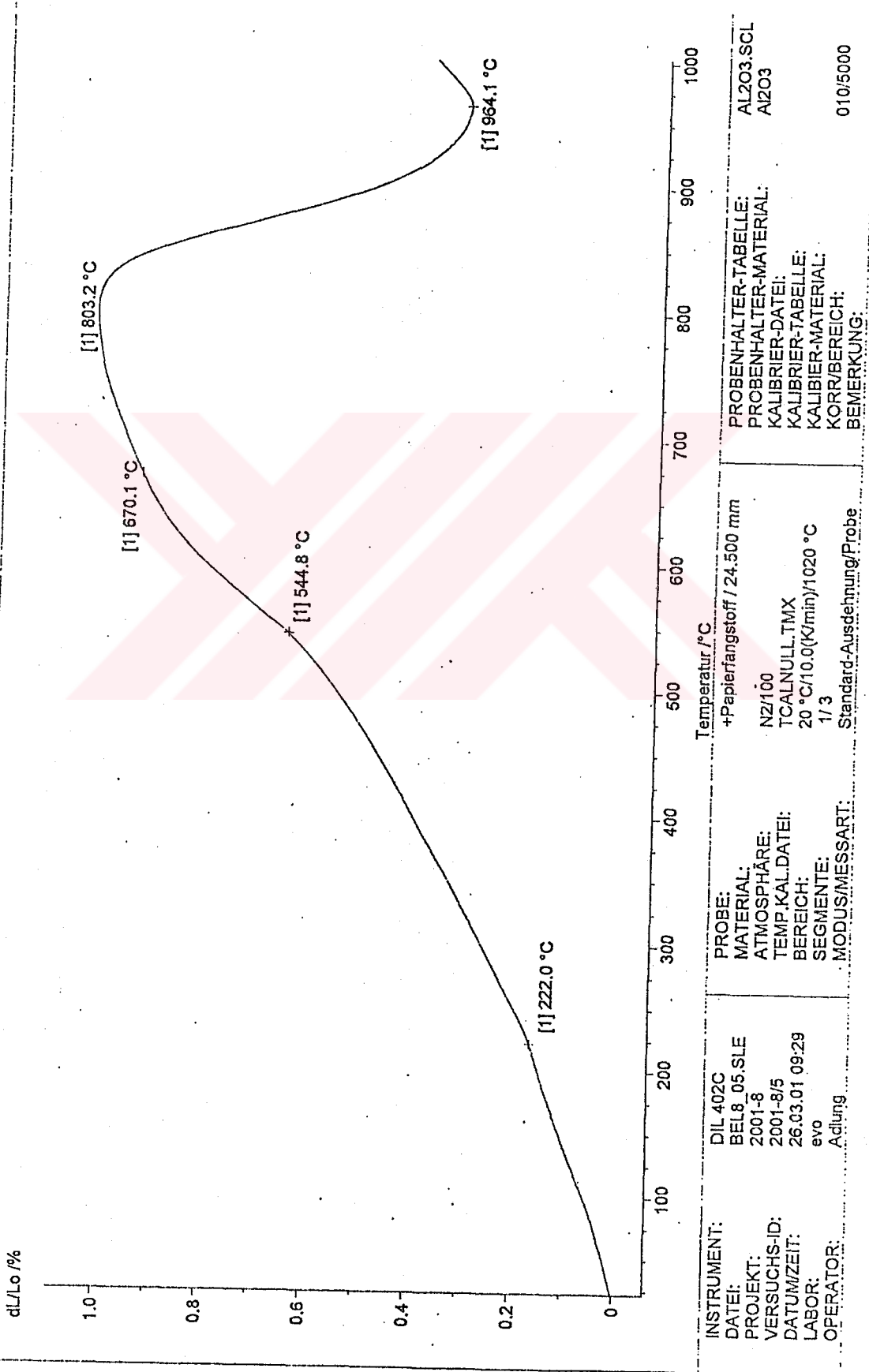
Ek 3-A-4 Polyesterol katkılı güney kilinin Dilatometre analizi

evo-Silicaforschung



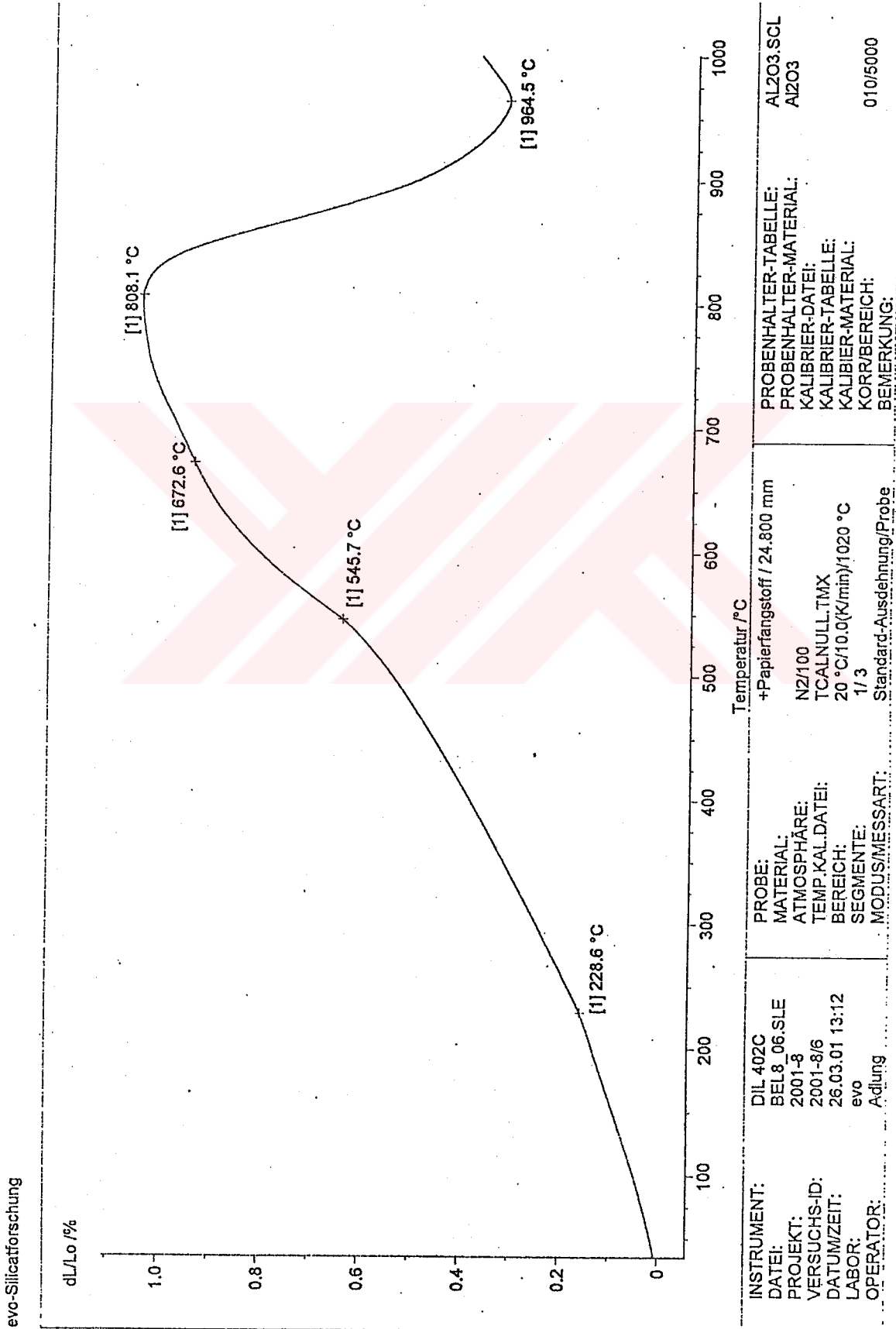
Ek 3-A-5 Kağıt katkılu güney kilinin Dilatometre analizi

evo-Silicaforschung

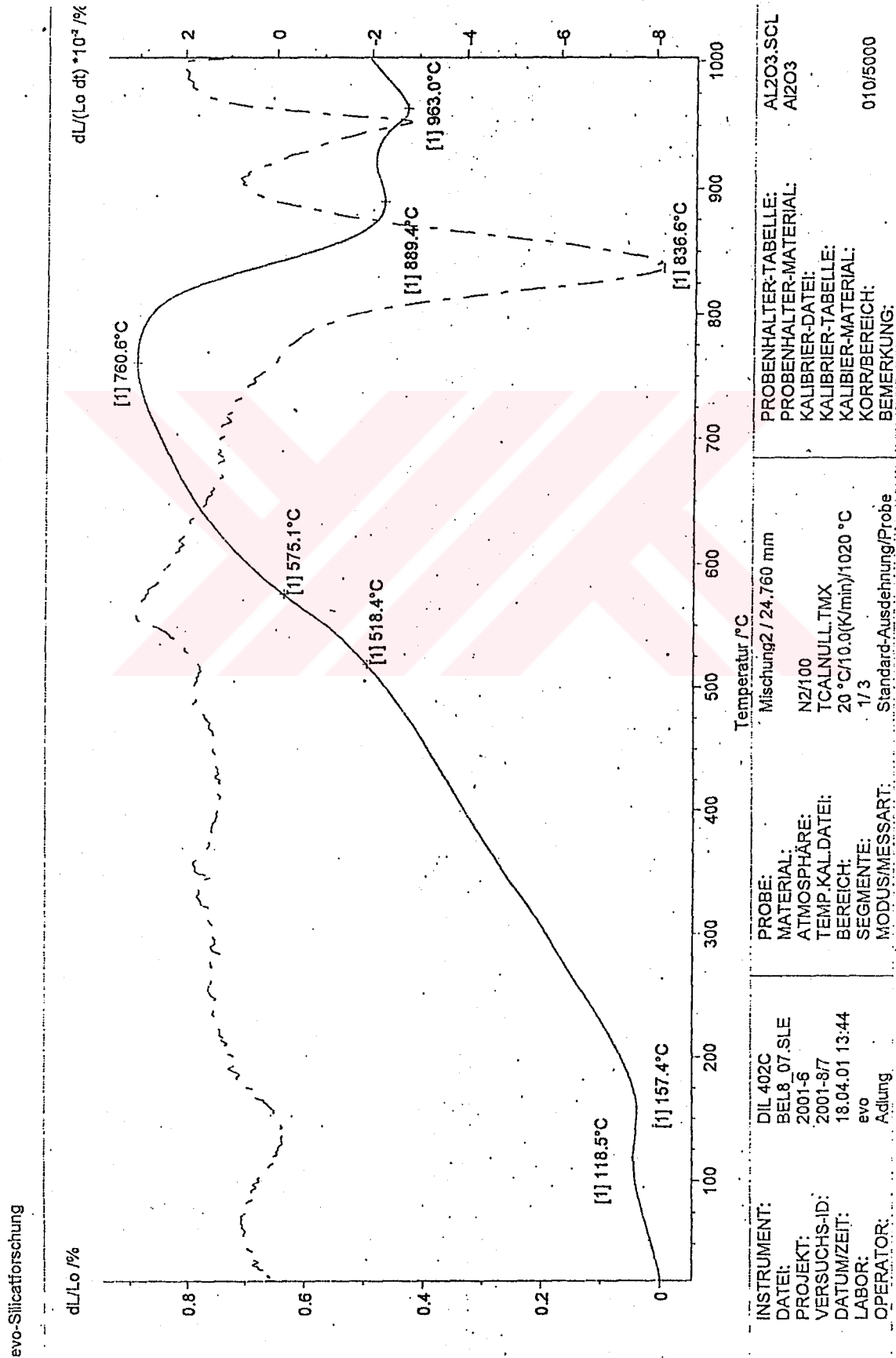


INSTRUMENT: DIL 402C	PROBE: MATERIAL: ATMOSPHERE:	PROBENHALTER-TABELLE: AL2O3.SCL
DATEI: BEL8_05.SLE	MATERIAL: TCALNULL.TMX	PROBENHALTER-MATERIAL: AL2O3
PROJEKT: 2001-8	TEMP.KAL.DATEI: 20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	KALIBRIER-DATEI:
VERSUCHS-ID: 2001-8/5	BEREICH: 1/3	KALIBRIER-MATERIAL:
DATUM/ZEIT: 26.03.01 09:29	MODUS/MESSART: Standard-Ausdehnung/Probe	KORR/BEREICH: 010/5000
LABOR: evo		BEMERKUNG:
OPERATOR: Adilung		

Ek 3-A-6 Perlit katkılı güney kilinin Dilatometre analizi

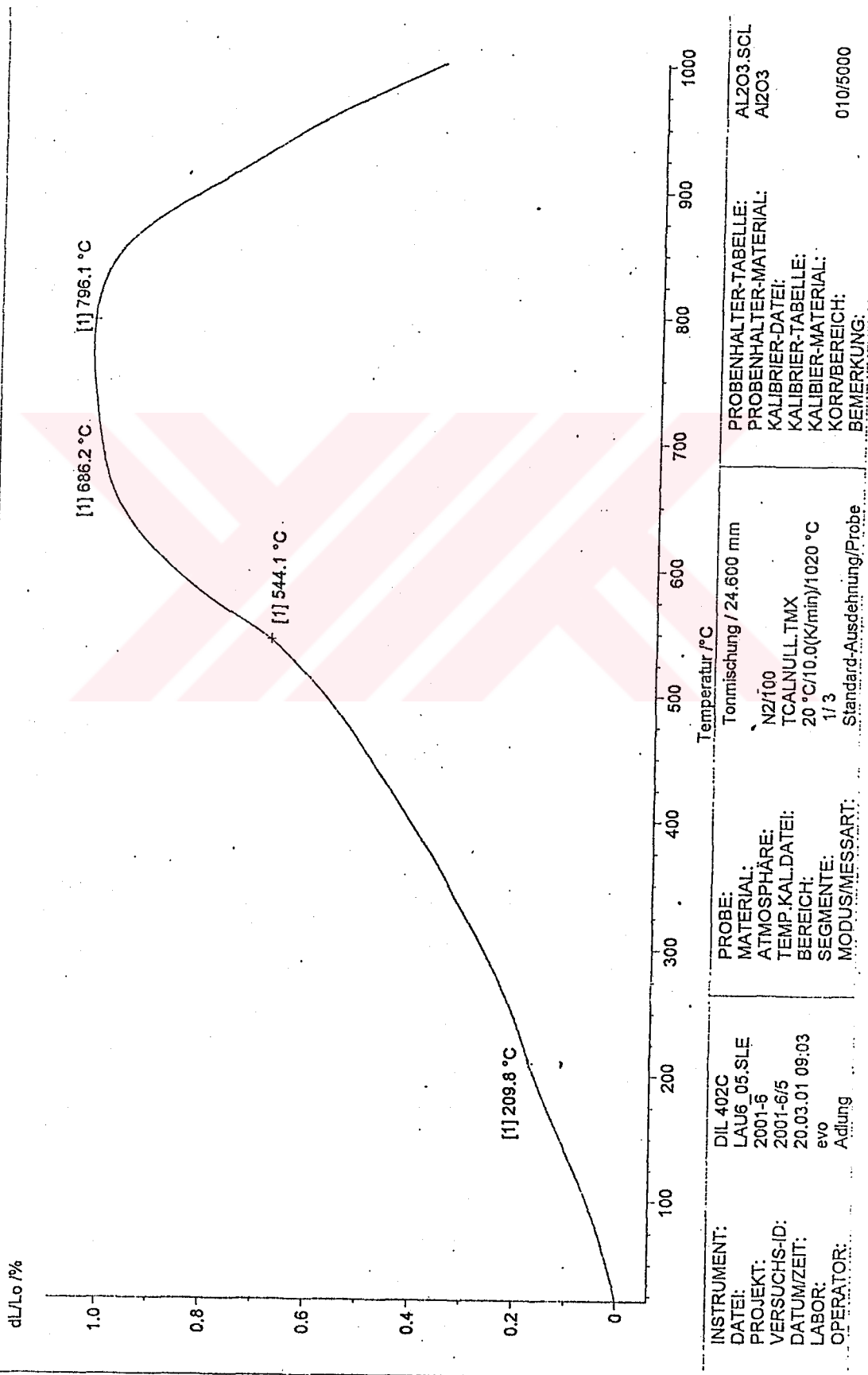


Ek 3-A-7 Güney kili ile hazırlanan reçetenin Dilatometre analizi



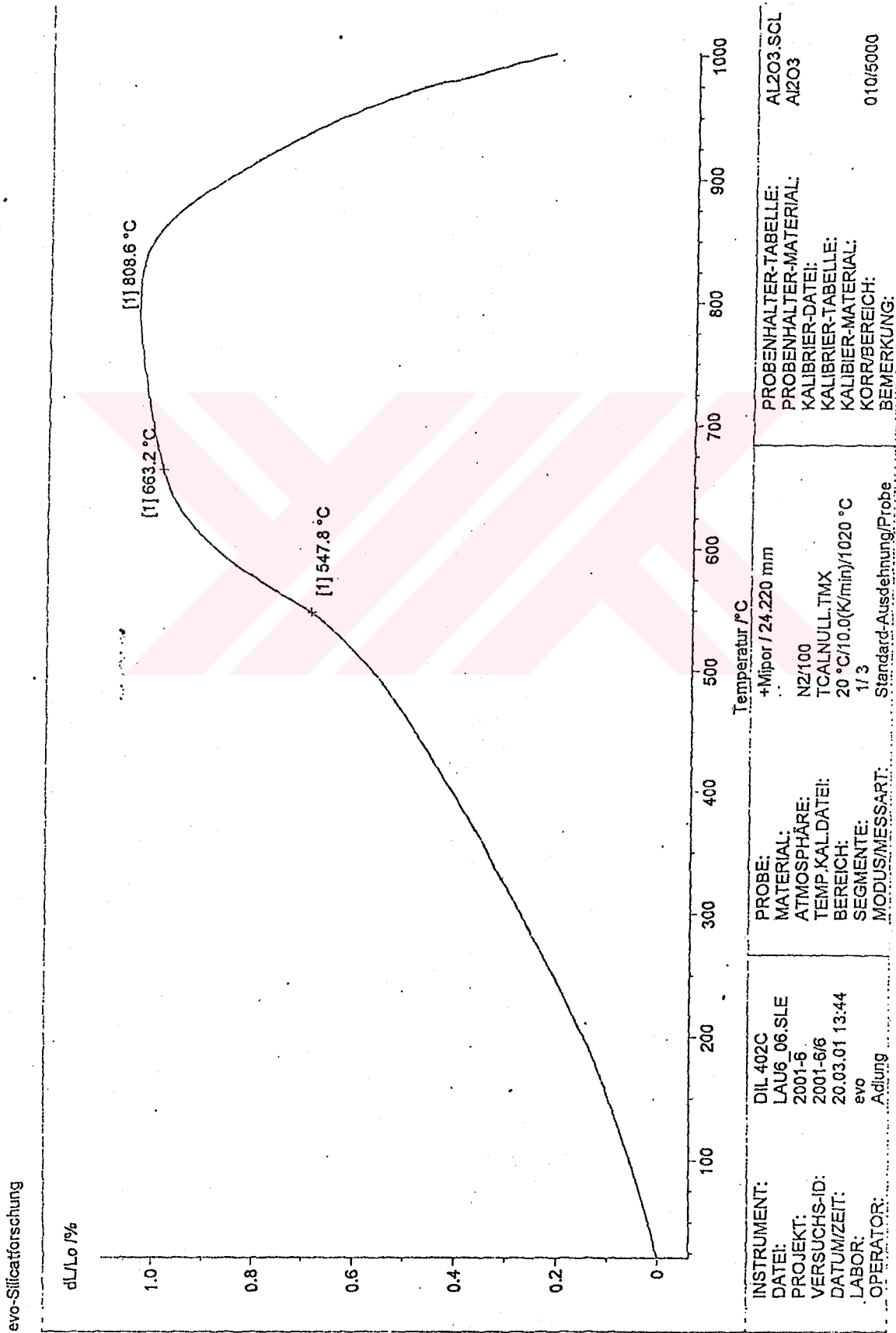
Ek 3-B-1 Katkısız kuzey kilinin Dilatometre analizi

evo-Silicaforschung

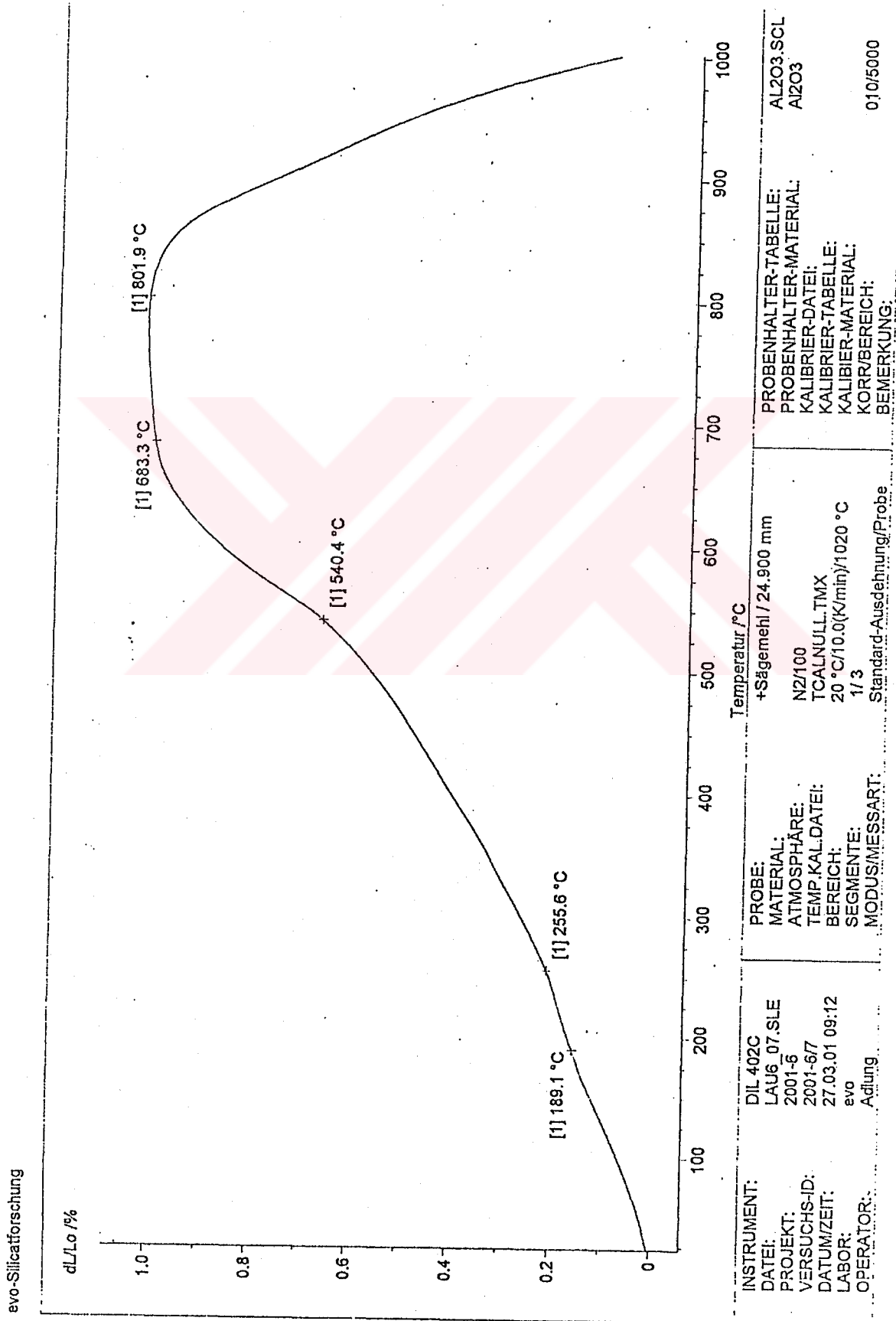


INSTRUMENT: DIL 402C	PROBE: MATERIAL: ATMOSPHERE:	PROBENHALTER-TABELLE: AL2O3.SCL
DATEI: LAU6_05.SLE	TEMP.KAL.DATEI:	PROBENHALTER-MATERIAL: AL2O3
PROJEKT: 2001-6	BEREICH: TCALNULL.TMX	KALIBRIER-DATEI:
VERSUCHS-ID: 2001-6/5	SEGMENTE: 1/3	KALIBRIER-TABELLE:
DATUM/ZEIT: 20.03.01 09:03	MODUS/MESSART: Standard-Ausdehnung/Probe	KALIBRIER-MATERIAL:
LABOR: evo		KORR/BEREICH: 010/5000
OPERATOR: Adlung		BEMERKUNG:

Ek 3-B-2 Syn-por katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi



Ek 3-B-3 Talaş katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi

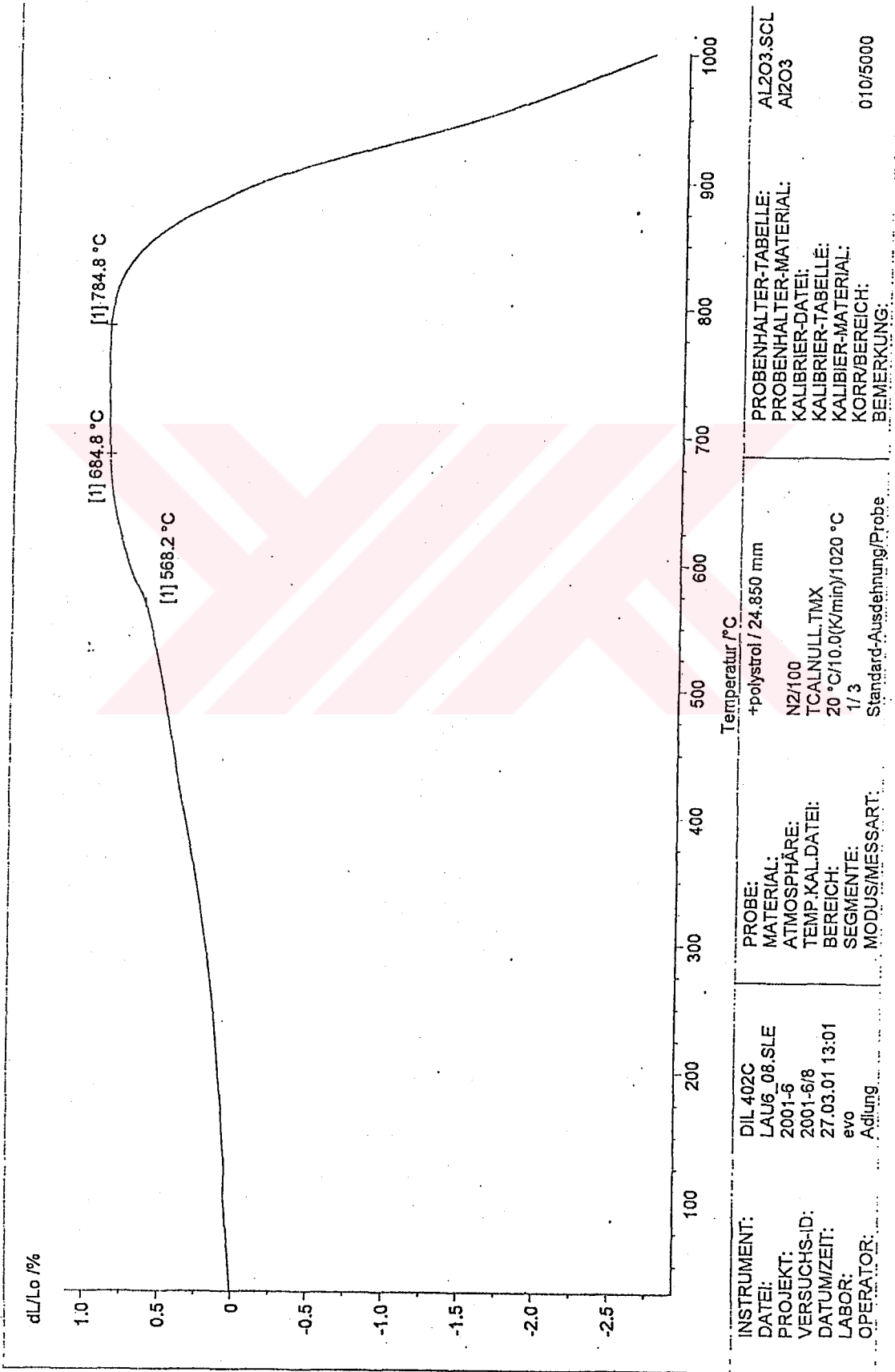


INSTRUMENT: DIL 402C	PROBE: +Sägemehl / 24.900 mm	PROBENHALTER-TABELLE: AL2O3.SCL
DATEI: LAU6_07.SLE	MATERIAL: N2/100	PROBENHALTER-MATERIAL: AL2O3
PROJEKT: 2001-6	ATMOSPHERE: TCALNULL.TMX	KALIBRIER-DATEI: KALIBRIER-TABELLE:
VERSUCHS-ID: 2001-6/7	TEMP.KAL.DATEI: 20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	KALIBRIER-MATERIAL: KORR/BEREICH: 010/5000
DATUM/ZEIT: 27.03.01 09:12	BEREICH: 1/3	BEMERKUNG:
LABOR: evo	MODUS/MESSART: Standard-Ausdehnung/Probe	
OPERATOR: Adlung		

evo-Silicaforschung

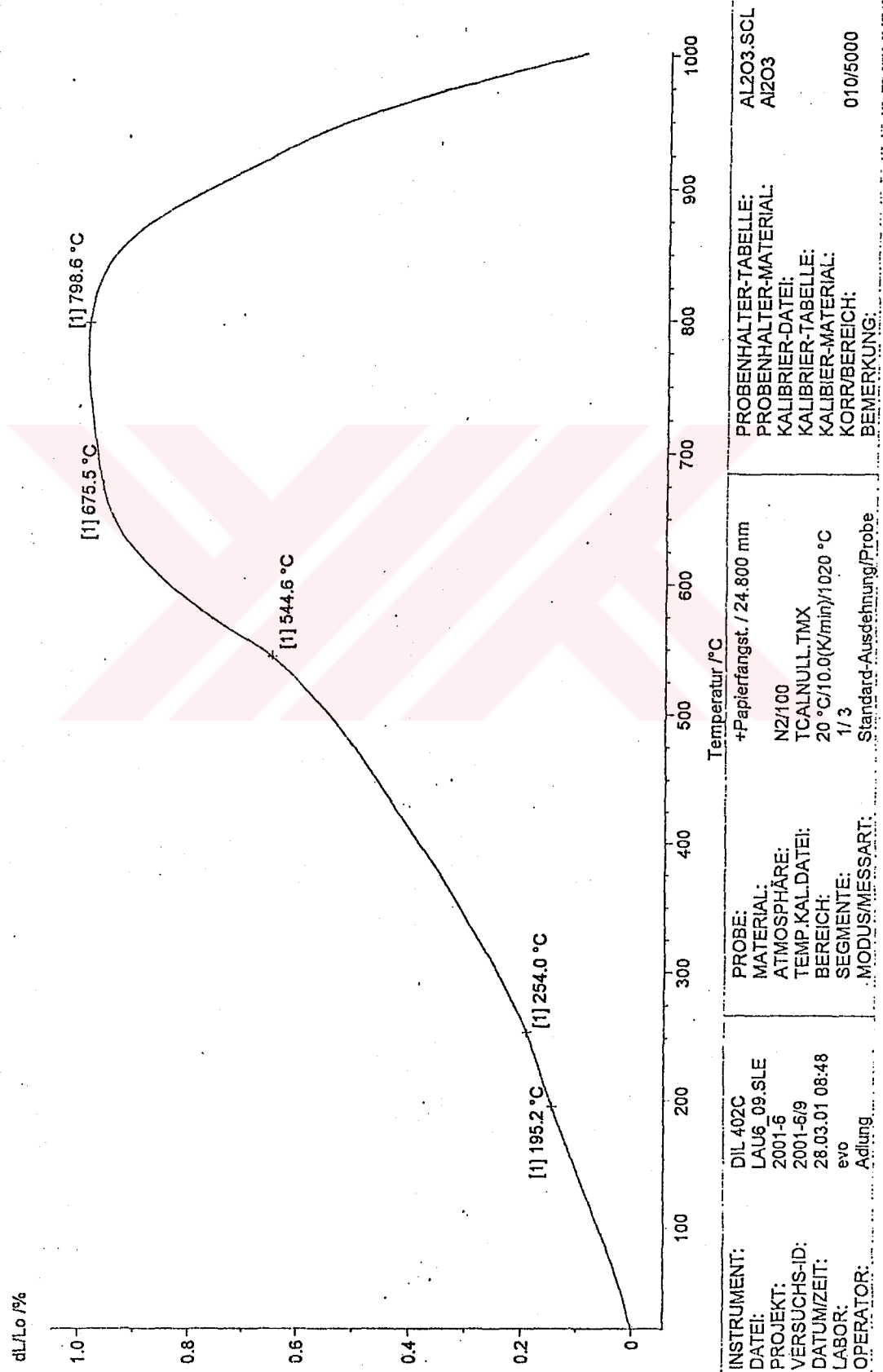
Ek 3-B-4 Polyesterol katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi

evo-Silicaforschung



Ek 3-B-5 Kağıt katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi

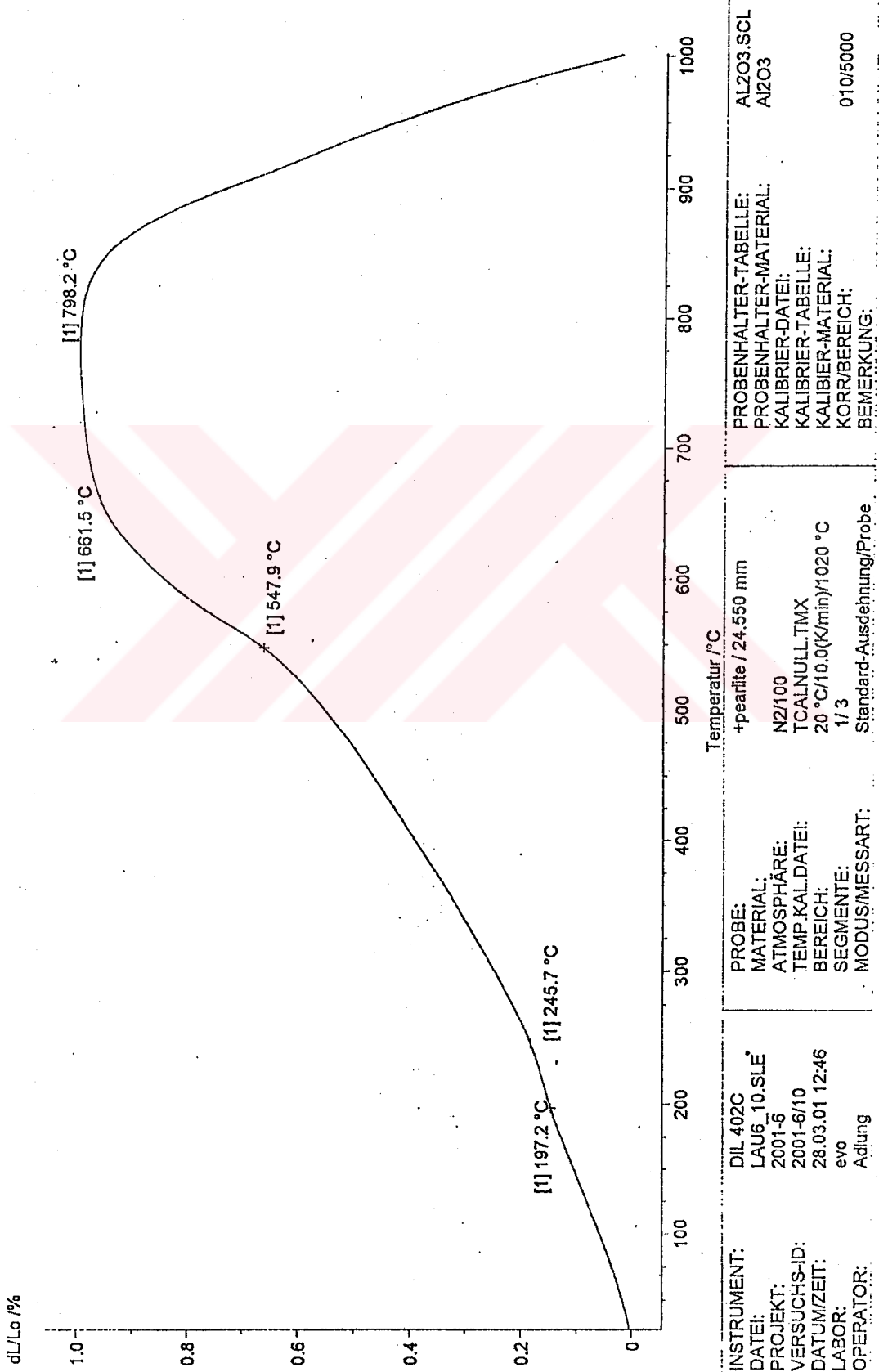
evo-Silicaforschung



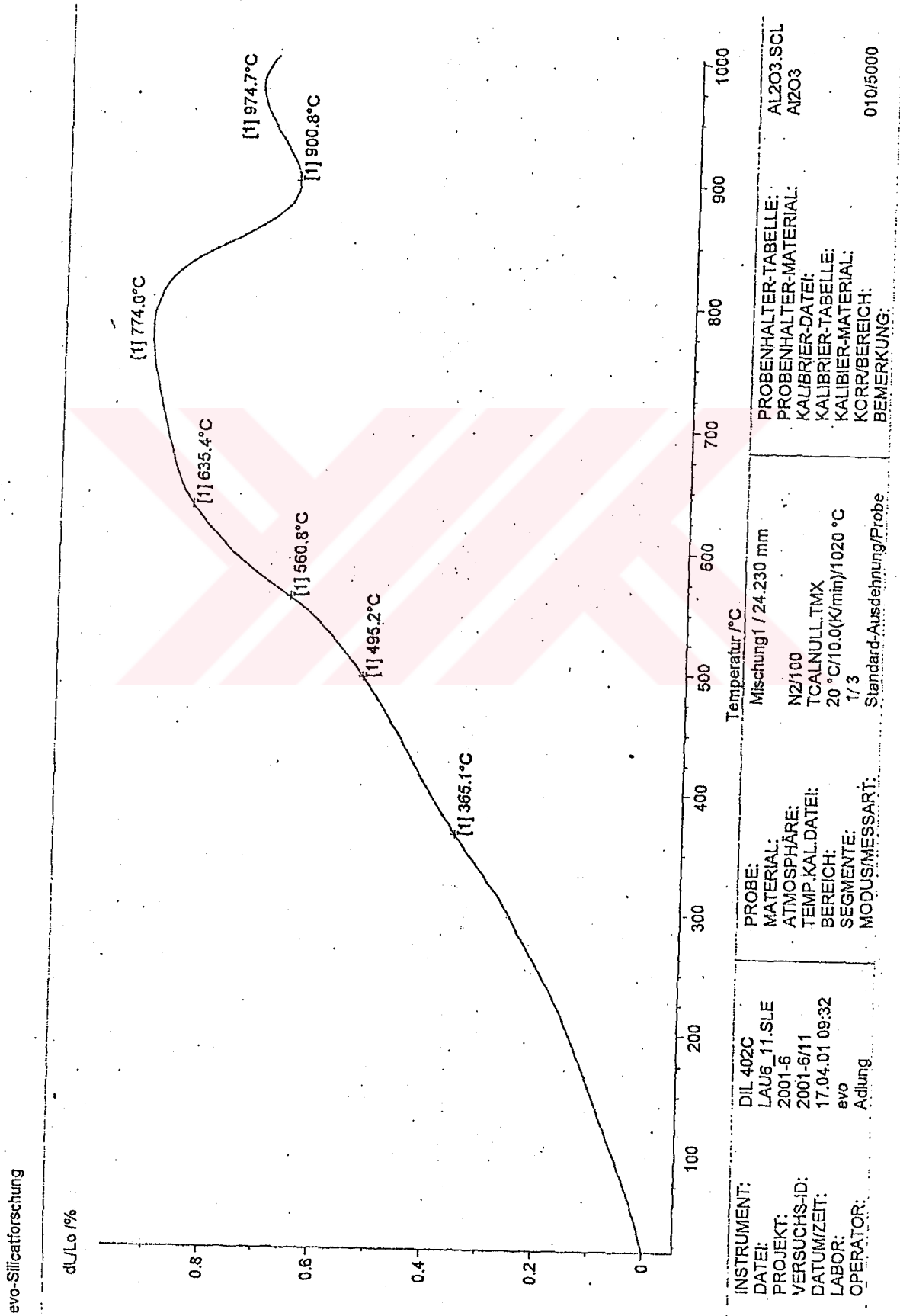
INSTRUMENT: DIL 402C	PROBE: MATERIAL: +Papierfangst. / 24.800 mm	PROBENHALTER-TABELLE: AL2O3.SCL
DATEI: LAU6_09.SLE	ATMOSPHERE: N2/100	PROBENHALTER-MATERIAL: AL2O3
PROJEKT: 2001-5	TEMP.KAL.DATEI: TCALNULL.TMX	KALIBRIER-DATEI:
VERSUCHS-ID: 2001-6/9	BEREICH: 20 °C/10.0(K/min)/1020 °C	KALIBRIER-TABELLE:
DATUMZEIT: 28.03.01 08:48	SEGMENTE: 1/3	KALIBRIER-MATERIAL:
LABOR: evo	MODUS/MESSART: Standard-Ausdehnung/Probe	KORR/BEREICH: 010/5000
OPERATOR: Adlung		BEMERKUNG:

Ek 3-B-6 Perlit katkılı kuzey kilinin Dilatometre analizi

evo-Silicaforschung



Ek 3-B-7 Kuzey kili ile hazırlanan reçetenin Dilatometre analizi



Ek 4-A Güney kilinin tane boyu analizi

Sample: 11-8/1
 Operator: Adlung
 Submitter: Mergelton
 File Name: C:\WIN5100\DATA\000-089.SMP
 Material/Liquid: Garnet/Defaults for Water

Test Number: 1	Analysis Type: Standard
Analyzed: 30.03.01 20:25:57	Run Time: 0:51 hrs:min
Reported: 30.03.01 23:07:04	Sample Density: 3.850 g/cm ³
Liquid Visc: 0.7406 cp	Liquid Density: 0.9945 g/cm ³
Analysis Temp: 33.8 degrees	Mean Base/Full: 137 / 91 KCnts/s
Full Scale Mass: 83.9%	Reynolds Number: 0.70

Report by Size Table

High Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)
70.00	82.4
60.00	82.4
50.00	81.8
40.00	79.2
30.00	76.8
25.00	73.6
20.00	68.9
15.00	61.8
10.00	58.1
8.000	53.1
6.000	50.0
5.000	46.3
4.000	41.5
3.000	35.2
2.000	31.0
1.500	25.5
1.000	22.7
0.800	20.1
0.630	17.7
0.500	15.7
0.400	13.6
0.300	12.0

Ek 4-B Kuzey kilinin tane boyu analizi

Sample: 1 2001-6/5
 Operator: Adlung
 Submitter: Mischung
 File Name: C:\WIN5100\DATA\000-090.SMP
 Material/Liquid: Garnet/Defaults for Water

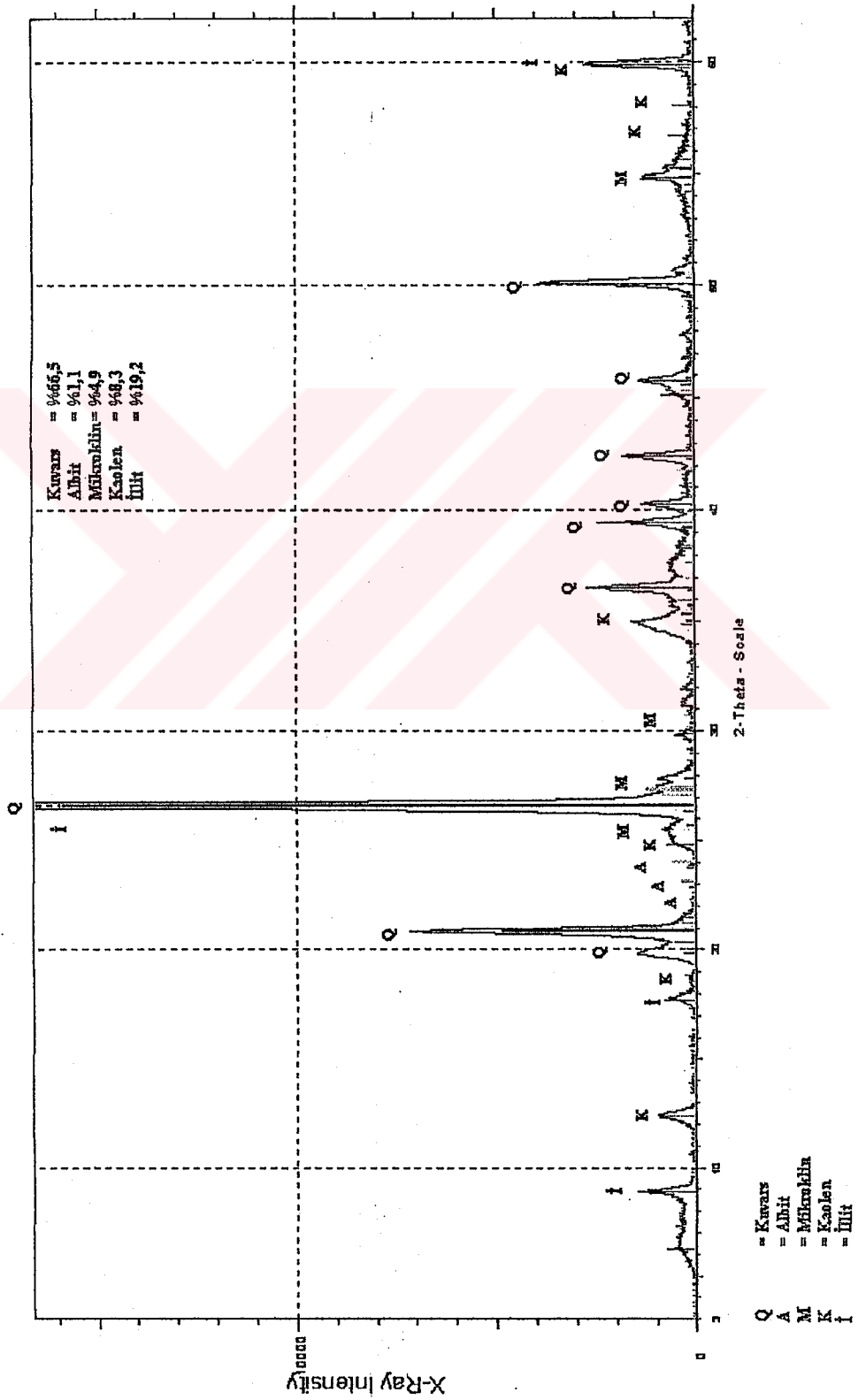
Test Number: 1
 Analyzed: 30.03.01 21:55:43
 Reported: 30.03.01 23:05:22
 Liquid Visc: 0.7405 cp
 Analysis Temp: 33.8 degrees
 Full Scale Mass: 88.5%

Analysis Type: Standard
 Run Time: 0:50 hrs:min
 Sample Density: 3.850 g/cm³
 Liquid Density: 0.9945 g/cm³
 Mean Base/Full: 137 / 94 KCnts/s
 Reynolds Number: 0.71

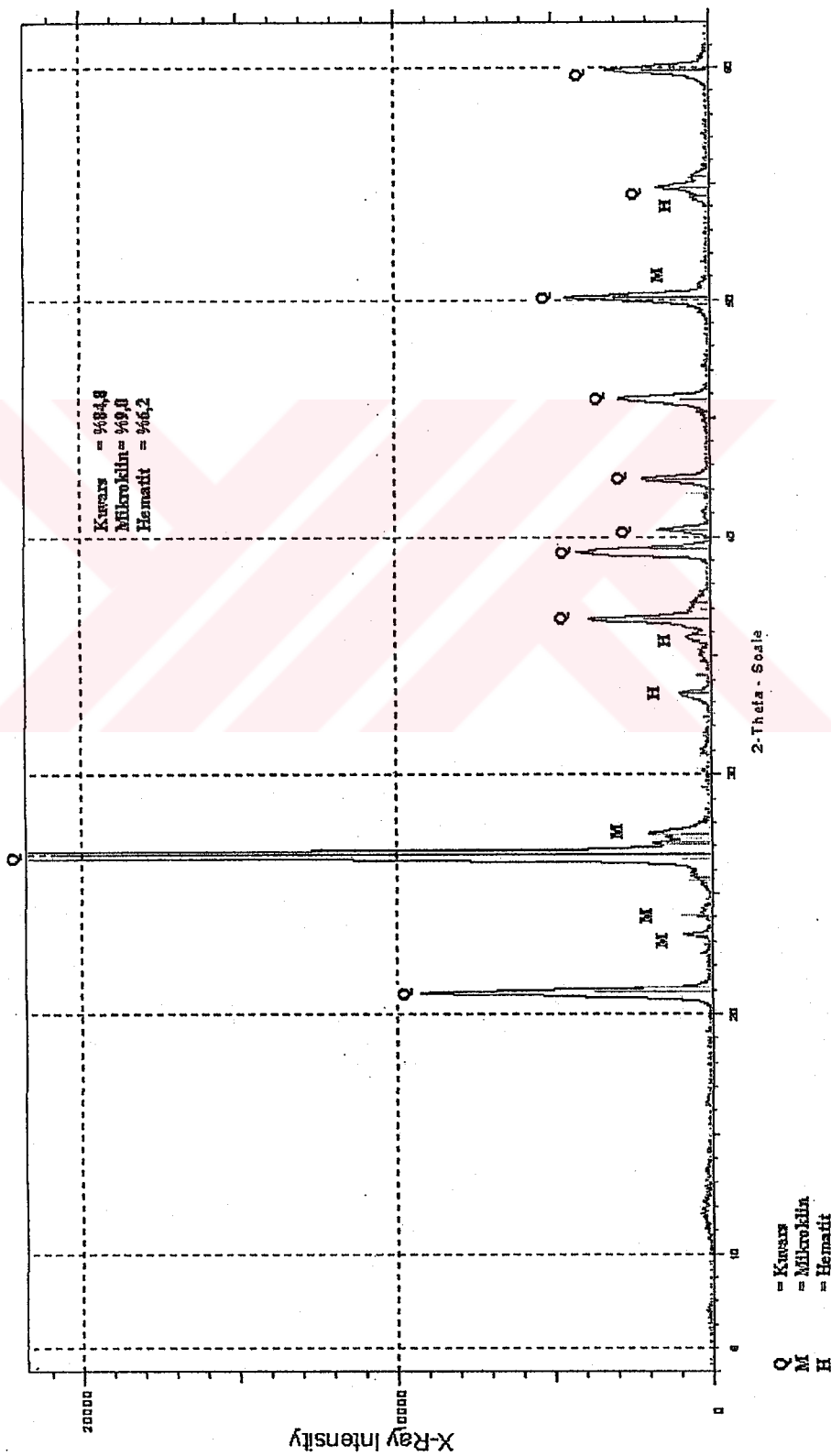
Report by Size Table

High Diameter (µm)	Cumulative Mass Finer (Percent)
70.00	88.3
60.00	88.0
50.00	87.4
40.00	86.6
30.00	86.2
25.00	85.1
20.00	82.6
15.00	78.1
10.00	75.5
8.000	72.2
6.000	70.2
5.000	67.7
4.000	64.1
3.000	58.4
2.000	55.0
1.500	50.6
1.000	48.7
0.800	47.1
0.630	45.9
0.500	44.8
0.400	43.3
0.300	41.9

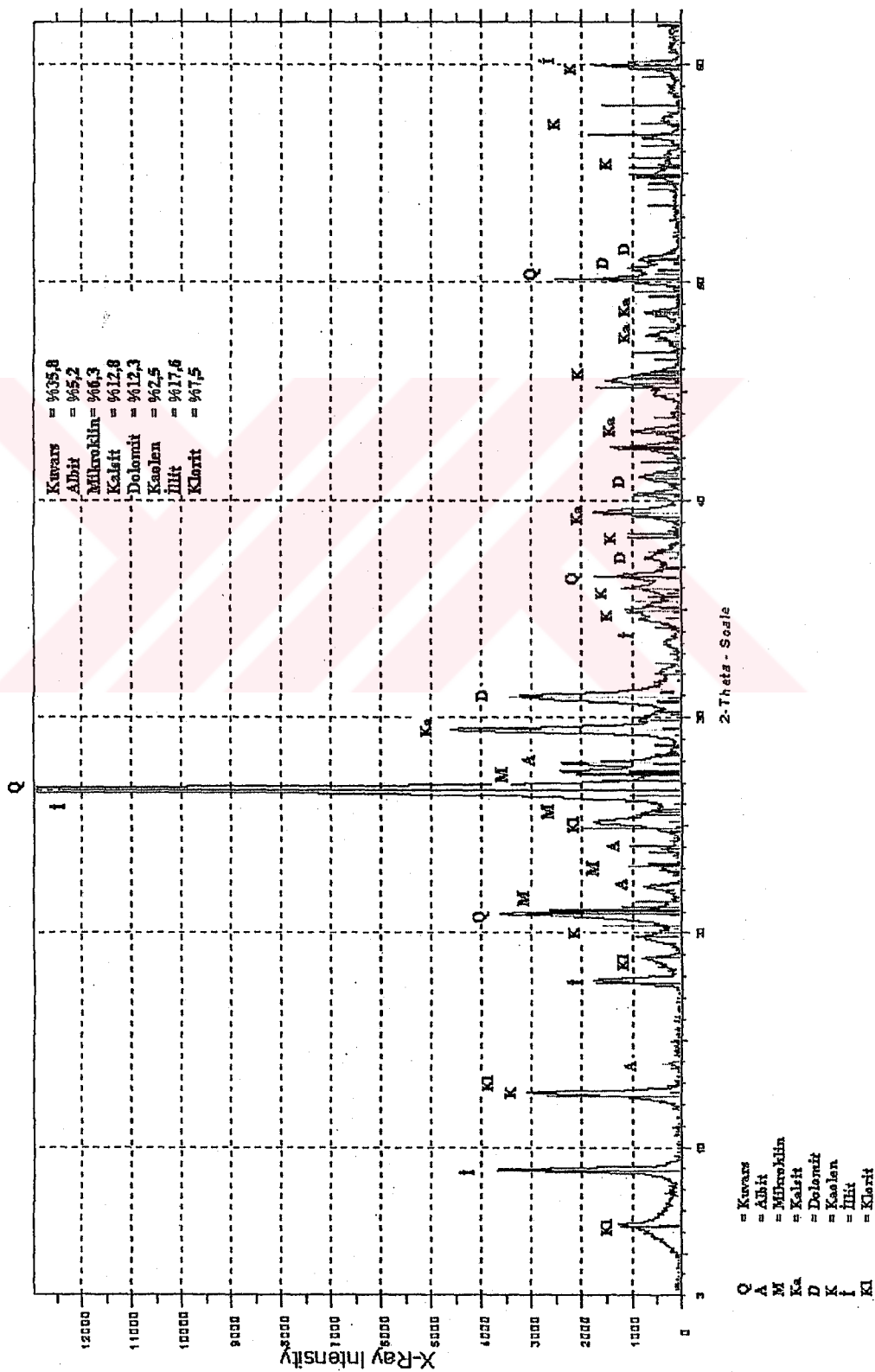
Ek 5-A-1 Ham güney kilinin mineralojik analizi



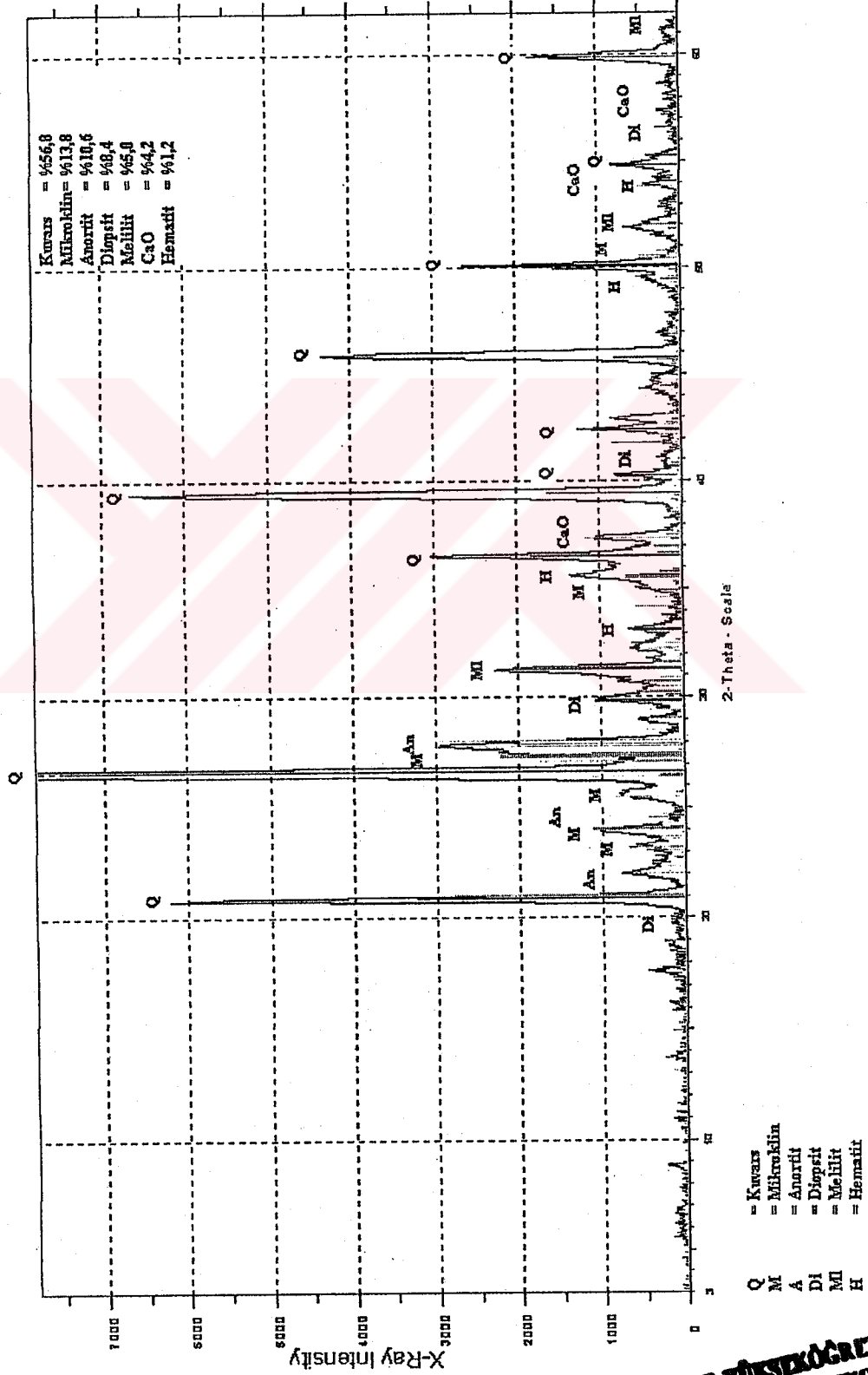
Ek 5-A-2 1000°C'de pişirilen güney kilinin mineralojik analizi



Ek 5-B-1 Ham kuzey kilinin mineralojik analizi



Ek 5-B-2 1000°C'de pişirilen kuzey kilinin mineralojik analizi



Ek 6- Winkler Üçgeni

