

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DIŞ CEPHE TUĞLALARININ BİLEŞİMİNDEKİ
SUDA ÇÖZÜNEBİLEN TUZLARIN
ZARARLARININ ÖNLENMESİ**

Kimya Müh. Akın SUNAY

**F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında
hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Selahattin GÖKMEN

İSTANBUL, 1997

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

Şekil Listesi	VII
Tablo Listesi	IX
Teşekkür	X
Özet	XI
Summary	XII
1. GİRİŞ	1
2. HAMMADDE TEKNOLOJİSİ	3
2.1 Kil	4
2.1.1 Kil minerallerinin doğadaki oluşumu	4
2.1.2 Le Chatelier ve Lapparent'in killeri sınıflandırması	8
2.1.3 Kil minerallerinin modern sınıflandırılması	9
2.1.4 Killerin kimyasal bileşimleri	10
2.1.5 Killerin mineralojik bileşimleri	14
2.1.6 Kil minerallerinin kristal yapısı	14
2.1.7 Kaolinit grubu killerin yapısı	15
2.1.8 Montmorillonit grubu killerin yapısı	17
2.1.9 Killerin baz değiştirme	21
2.1.10 Killerin iyon değiştirme reaksiyonları	22
2.1.11 Killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri	23
2.1.11.1 Plastiklik	24
2.1.11.2 Kohezyon	25
2.1.11.3 Renk	25
2.1.11.4 Rötire	26
2.1.12. Killerin pişme ve sinterleşme özelliği	28
2.1.13. Killerin kolloidal karakteri	30
2.1.14 Killerin imalat özellikleri	30

3. SERAMİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ	33
3.1. Seramik Malzemelerin Sınıflandırılması	34
3.1.1. Kimyasal bileşime göre sınıflandırma	34
3.2. Seramik Malzeme Oluşumu	35
3.2.1. Kristal değişime bağlı katılaşma ile seramik malzeme oluşumu	36
3.2.2. Yer değiştirme reaksiyonlarından doğan katılaşma ile seramik malzeme oluşumu	37
3.2.3. Camsıl faz oluşumundan meydana gelen katılaşma ile seramik malzeme oluşumu	37
3.3. Pişme Sırasında Kilin Bünyesinde Oluşan Değişiklikler	38
3.3.1 Kuruma	39
3.3.1.1 Mekanik bağlı su	39
3.3.1.2 Higroskopik su	39
3.3.1.3 Kimyasal olarak bağlı su	39
3.3.2 Ayrışma	40
3.3.3 Oksitlenme	40
3.3.4 Camlaşma	41
4. TUĞLA ÜRETİMİ	42
4.1. Tuğla Türleri	42
4.1.1 Fabrika tuğlaları	42
4.1.2 Harman tuğlaları	45
4.2. Tuğla İmalatı	46
4.2.1 Tuğla imalatında kullanılan hammaddeler	46
4.2.2 Şekillendirmede plastiklik	47
4.2.3 Kurutma	49
4.2.4 Pişirme	51
5. YAPILARIN DIŞ CEPHESİNE ETKİ EDEN FİZİKSEL VE KİMYASAL OLAYLAR VE MEYDANA GETİRDİKLERİ SONUÇLAR	53
5.1. Yağmur Suyunun Neden Olduğu Kimyasal ve Fiziksel Değişiklikler	53
5.1.1 Kimyasal değişiklikler	53

5.1.2 Fiziksel değişiklikler	53
5.1.3 Yapıların dış cephesinde görülen değişiklikler	54
5.2. Sıvılara Ait Moleküler Kuvvetler	54
5.2.1 Buharlaşıma	54
5.2.2 Kohezyon	55
5.2.3 Adezyon	55
5.2.4 Kılcallık	55
5.2.5 Porosite (Gözeneklilik)	56
5.3. Suyun Yapıya Geliş Yolları	57
5.4. Yağmur Sularının Dış Cephe Malzemeleri Üzerindeki Etkileri	57
5.4.1 Yağmur sularının dış cephe malzemeleri üzerindeki fiziksel etkileri	58
5.4.1.1 Don etkisi	58
5.4.1.2 Yoğuşma	58
5.4.2 Yağmur sularının dış cephe malzemeleri üzerindeki kimyasal etkileri	59
5.4.2.1 Çiçeklenme	59
5.4.2.1.1 Çiçeklenmeye neden olan çözünebilir tuzların yapısı	60
5.4.2.1.2 Çiçeklenmeye neden olan çözünebilir tuz kaynakları	61
5.4.2.1.2.1 Katkıları	62
5.4.2.1.2.2 Kalsiyum klorür	63
5.4.2.1.2.3 Yeraltı suları	63
5.4.2.1.2.4 Atmosfer	64
5.4.2.1.3 Çiçeklenmenin oluşumuna etki eden diğer unsurlar	64
5.4.2.1.3.1 Tuğla	64
5.4.2.1.3.2 Destekleyiciler	64
5.4.2.1.3.3 Süsleme malzemeleri	65
5.4.2.1.3.4 Harç	66
5.4.2.1.3.5 Çimento	66
5.4.2.1.3.6 Kireç	67
5.4.2.1.3.7 Kum	68

5.4.2.1.4 Dış cephe üzerinde görülebilen diğer lekeler	68
5.4.2.1.4.1 Karbonat kalıntıları (Kireç fazlası)	69
5.4.2.1.4.2 Silikat kalıntıları (Köpüklenme)	69
5.4.2.1.4.3 Vanadyum (Yeşil ve Sarı Lekeler)	72
5.4.2.1.4.4 Mangan (Kahverengi Leke)	74
5.4.2.1.5 Çiçeklenmenin önlenmesi ve uzaklaştırılması	76
5.4.2.2 Geçikmiş hidrasyon etkisi	78
5.4.2.3 Asit etkisi	79
5.4.2.4 Alkali etkisi	79
5.4.2.5 Sülfat etkisi	80
5.4.2.6 Korozyon	81
5.5. Kaplamalar	82
5.5.1 Silikon muamelesi	83
5.5.2 Silikon reçineleri	84
6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	85
6.1. Denemelerin Amacı	85
6.2. Killerin Kimyasal Analizi	85
6.3. Killerden Laboratuvarda Tuğla Numunelerinin Hazırlanması	87
6.3.1 Tuğla hamurunun hazırlanması	87
6.3.2 Kurutma	89
6.3.3 Pişme	89
6.4. Deney Sonuçları	90
6.4.1 Kuruma çekmesi	90
6.4.2 Kuru yoğunluk	91
6.4.3 Pişme çekmesi	91
6.4.4 Toplam çekme	91
6.4.5 Pişme yoğunluğu	92
6.4.6 Ateş zayıyatı (Kızdırma kaybı)	92
6.4.7 Su emme	92

7. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	97
KAYNAKLAR	99
EKLER	102
ÖZGEÇMİŞ	



ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
	No
Şekil 2.1 CaO ve Aşırı Silika Reaksiyonları Arasındaki Fazların Meydana Gelişi	12
Şekil 2.2 Değişik Sıcaklıklarda CaSO ₄ -Kristobalit ve CaSO ₄ -Müllit Reaksiyonları	14
Şekil 2.3 Kaolinit Kil Minerallerinin Şematik Gösterilişi	16
Şekil 2.4 Montmorillonit Kil Minerallerinin Kristal ve İdeailize Yapısı	18
Şekil 2.5 Edelman ve Fovejee'ye Göre Bentonitik Kil Minerallerinin Yapısı	20
Şekil 2.6 Kil Bünyesine Ait Kuruma Süreci	27
Şekil 2.7 Seramik Bir Bünyede Kuruma Hızı ve Kuruma Rötresi	28
Şekil 3.1 Silikat Yapılarının İki Boyutlu Şematik Gösterimi	38
Şekil 4.1 Dolu Tuğla	42
Şekil 4.2 Düşey Delikli Tuğla	44
Şekil 4.3 Tuğla Yüzlerinin Adları	45
Şekil 4.4 Yumuşak Çamur Tuğla Makinesi	48
Şekil 4.5 Tipik Bir Yumuşak Çamur Tuğlası	49
Şekil 4.6 Yapısal Kil Ürünleri İçin Tipik Fırınlama Programı	52
Şekil 5.1 Yapı Malzemelerindeki Gözeneklerin Şematik Gösterilişi	56
Şekil 5.2 Çözünebilir Tuzların Destek Bölgesinden Tuğla Yüzeyine Hareketi	65
Şekil 5.3 Harçtan Kaynaklanan Çiçeklenme	81
Şekil 5.4 Silikon Uygulaması Yapılmış Duvar	83
Şekil 6.1 Sorunlu Tuğla Örneği (Katkısız)	95
Şekil 6.2 Sorunsuz Tuğla Örneği (Katkısız)	95
Şekil 6.3 Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (Sorunlu Örnekteki Kadar TiO ₂ Katkılı)	95
Şekil 6.4 Sorunlu Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (%1 Daha TiO ₂ Katkılı)	95
Şekil 6.5 Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (%1 Fe ₂ O ₃ + Sorunlu Örnekteki Kadar TiO ₂ Katkılı)	95

Şekil 6.6	Sorunlu Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (Sorunlu Örnekteki Kadar V_2O_5 Katkılı)	95
Şekil 6.7	Sorunlu Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (%1 Daha V_2O_5 Katkılı)	96
Şekil 6.8	Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (%1 Fe_2O_3 + Sorunlu Örnekteki Kadar V_2O_5 Katkılı)	96
Şekil 6.9	% 50 Sorunlu Kil + % 50 Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği (Katkısız)	96
Şekil E.1	Standart PO_4 Eğrisi	115
Şekil E.2	Na^+ İyonlarının Standart Eğrisi	118
Şekil E.3	K^+ İyonlarının Standart Eğrisi	118



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1	Kil Mineralleri Terminolojisi	6
Tablo 2.2	Kil Minerallerinin Sınıflandırılması	10
Tablo 2.3	Bazı Killerin Kimyasal Bileşimleri	11
Tablo 2.4	Çeşitli Alanlarda Kullanılan Kil Çeşitleri	32
Tablo 4.1	Fabrika Tuğlalarının Hacim Ağırlığı ve Basınç Dayanımı Değerleri	43
Tablo 5.1	Çiçeklenmenin Genel Kaynakları	62
Tablo 6.1	Killerin Kimyasal Analizi	86
Tablo 6.2	Denemelerde Kullanılan Katkısız ve Katkılı Kil Örnekleri	88
Tablo 6.3	1000 °C Sıcaklıkta Pişirilmiş Tuğla Numunelerinin Bazı Özellikleri ile İlgili Deney Sonuçları	94

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım esnasında bilgi ve deneyimleri ile beni yönlendiren ve her türlü yardım ve ilgiyi gösteren tez yöneticim Sayın Prof. Dr. Selahattin GÖKMEN'e, Bölüm Başkanımız Sayın Prof.Dr. Salih DİNÇER'e ve bana her zaman yardımcı olan Sayın Doç. Dr. Sema BAYKARA'ya teşekkür ederim.

Yine çok değerli yardımlarını gördüğüm başta Dr.Mühendis Jale GÜLEN, Kimya Yük. Mühendisi İbrahim DOYMAZ, Kimya Yük. Mühendisi İlknur KÜÇÜK ve Kimya Mühendisi Özlem DOĞAN olmak üzere bütün araştırma görevlilerine teşekkür ederim.

Çalışmalarımın bir bölümünde kendilerinden yardım gördüğüm Işıklar Holding A.Ş. Ar-Ge Laboratuvar Şefi Kimya Yük. Mühendisi Banu EROL'a, YTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümünden Uzman Menekşe AKIN'a, İTÜ Mimarlık Fakültesi Bölümünden Dr. Mimar Leyla TANAÇAN'a, İTÜ Kimya Bölümü Araştırma Görevlisi Kimya Yük. Mühendisi Mine YENER'e, Altınyıldız Mensucat A.Ş. Boya Laboratuvarı Şefi arkadaşım Zeynep ÜZÜM ve Araştırma Lab. Şefi Tuncay AKTEPE'ye teşekkür ederim.

Ayrıca benim bugünkü seviyeye gelmemde benden maddi manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen başta anneannem Binnaz ÖĞRETEN, annem Aysel ÖĞRETEN, teyzem Gülser ÖĞRETEN olmak üzere tüm ÖĞRETEN ve İMRAK ailesine teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZET

Bu çalışmada, dış cephe tuğlaları üzerinde çeşitli nedenlerle oluşan çiçeklenmeler incelenmiş olup özellikle beyaz tuğlalarda görülen sarı renkli lekelerin nedeni araştırılarak bu lekelerin giderilmesine çalışılmıştır.

Dış cephe tuğlalarındaki üretim sonrası görülen lekelenmelerin kalite üzerindeki etkisi önemlidir. Bu lekeler çoğunlukla tuğla hammaddesi olan kilden kaynaklanmaktadır. Bununla beraber sudan, kullanılan yakıttan, harçtan ya da dış etkilere meydana gelen çiçeklenmelere de pek çok yerde rastlanmaktadır.

Denemelerde dış cephe tuğlaları üzerinde oluşan ve sorun teşkil eden sarımsak lekeler ele alınarak incelenmiştir. Bu sarı lekelerin hammaddede % 0,1079 oranında bulunan V_2O_5 'den ileri geldiği ve bunun yanında ortamdaki fazla miktarda bulunan TiO_2 'nin de belli bir yüzdenin üzerinde V_2O_5 'in yaptığı renklenmeyi etkilediği görülmüştür. V_2O_5 sorunsuz numunelerde % 0,0599 civarında olup TiO_2 ise %1,248 bulunmuştur. Sorunlu örneklerde V_2O_5 oranı arttırıldığında sarı lekelerin arttığı ve tuğlalarda çatlamların oluştuğu görülmüştür.

Dış cephe tuğlalarında görülen sarı lekelenmelerin V_2O_5 'den kaynaklandığı ve ortamdaki TiO_2 'nin de bu lekeler üzerinde etkili olduğu anlaşılmıştır.

SUMMARY

In this study, efflorescence effect on the masonry bricks was examined and the reason especially for the yellow stains, of occurring on white bricks was investigated analytically and removal of these stains was studied.

The stains seen on the surface of masonry bricks, after production are important from the quality point of view. Usually, these stains come from clay, the raw material of bricks. However, water, fuel, mortar itself and some external effects, may well be the reasons for efflorescence widely occurring.

In the experiments, yellowish stains seen on the masonry bricks and considered as problem, were analysed. There was observed that, these yellow stains resulted from V_2O_5 content being 0,1079 % in raw material; in addition, if TiO_2 is over a certain percent in the medium, the extra TiO_2 can effect the V_2O_5 colouring.

In the proper samples, V_2O_5 and TiO_2 content was found to be 0,0599 % and 1,248 % respectively. At the improper samples, when the content of V_2O_5 was increased, more yellow stains and brick cracking were observed.

It can be concluded that, the stains seen on the masonry bricks are the results of increased V_2O_5 content, and that the TiO_2 in the medium has a considerable effect on the appearance of these stains.

1. GİRİŞ

Tuğla-kiremit imali tarihin çok eski devirlerinden beri bütün ülkelerde bu alanda, yaygın bir sanayi dalının kurulmasına ve gelişmesine sebep olmuştur. Eldeki bilgiler Mısırlıların eskiden tuğla imal ettiklerini göstermektedir. Tarihin çok eski çağlarında Çinlilerin, Hintlilerin, İranlıların, Mezopotamya Türklerinin ve Romalıların tuğla imal ettikleri bilinmektedir. Orta ve Kuzey Avrupa'da tuğla imali ancak XII. asırda başlamıştır. İlk çağlardan XIX. asra kadar tuğla imali :

1) Tahta kalıplarda şekillendirme, 2) Güneşte kurutma, 3) İlkel fırnlarda yakma şeklinde basit bir tekniğe sahiptir. Bugün de yurdumuzda "harman tuğlası" adı altında bu teknik oldukça yaygındır. XIX. asır başlarından itibaren tuğla-kiremit imali bir el sanatı olmaktan çıkarak bir endüstri kolu haline gelmiş, bunun neticesi tuğla ve kiremit topraklarında aranan şartlar da değişmiştir. Makinelerde kalıplandırma, preslerde şekillendirme, modern fırnlarda kurutma ve pişirme tekniği üstün kaliteli tuğla-kiremit imalini mümkün kılmış, tuğla-kiremit topraklarının jeolojik ve teknolojik etüdlerini de gerekli hale getirmiştir. Hammaddeyi doğrudan doğruya kullanmaya imkan kalmadığından, muhtelif cevher hazırlama metotlarının uygulanması gerekmekte, aynı hammaddeden hem çeşitli cins kiremit, hem de çeşitli tuğla imal edilmesi mümkün olamamaktadır (1).

Tuğla hammaddesinin temelini oluşturan ve kimya literatüründe alüminosilikatlar ailesinden olan killer, çok eski çağlardan beri gerek temizleme işlerinde, gerek seramik sanayiinde ve inşaat malzemelerinde kullanıldıkları halde yapıları ancak yakın zamanlarda aydınlatılmış son derece kompleks maddelerdir. Killer, seramik sanayiinin ve tuğla - kiremit gibi gündelik inşaat malzemesinin hammaddelerini teşkil ettikleri, pratikte çeşitli alanlarda kullanıldıkları, hatta toprakların tarım bakımından kalitelerine de tesir ettikleri halde, bu maddelerin bileşimleri ile bilimsel olarak ancak XIX. yüzyılın başlarında ilgilenilmeye başlanmıştır. Bu konuda ilk çalışmalar kimya analizlerine dayanmış ve killerin saf cisimler olmadığı, birçok yabancı maddeler içerdiği sonucuna varılmıştır (3).

Belirli bir üretim sürecini geçirdikten sonra, kil sert ve deforme olmayan, bazı özel etkenler dışında hiçbir dış etkiden kolayca etkilenmeyen bir malzeme haline gelir. Bu niteliği kazanabilmesi için kilin pişirilmesi gerekir. Diğer bir deyişle, pişmemiş bir kile

seramik denilemeyeceği gibi, yeterince pişmemiş kile de seramik denilmesi uygun değildir. Gerektiğinde basit üretim yöntemleri ile olanakları sınırlı olan seramik malzemeler elde edilebildiği gibi, modern teknolojik olanaklardan yararlanmak suretiyle de çok geniş kullanma ve uygulama alanı olan seramik malzemeler elde edilebilmektedir.

Seramik ya da dış cephelerde kullanılan yapı malzemeleri bazı belirgin kimyasal olaylar ve diğer etkenlerden etkilenirler. Bunların sonucunda dış cephe malzemeleri üzerinde bazı olumsuz etkiler görülmektedir (2).

Dış cephe tuğlaları üzerinde görülen çiçeklenme(lekelenme), tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin veya örümde kullanılan harçların kompozisyonundaki çözünebilir tuzlardan ileri gelebilir. Hammadde içindeki çözünebilir tuzlar bazı önlemlerle, üretim sırasında kontrol altına alınabildiğinden, çiçeklenmenin asıl nedenleri daha ziyade tuğlalarla doğrudan ilişkili bulunan malzemeler ve etkilerinden kaynaklanmaktadır.

Tuğlaya dayanak görevi yapan kısımlar ve özellikle bağlayıcı olarak kullanılan harçtaki çimento, kireç, kum ve sudan gelen alkaliler, çözünen sülfat tuzları duvar örüldükten sonra, zamanla su ile yüzeye taşınarak, suyun buharlaşması sonucunda tuğlanın görünen yüzeyinde daha çok beyaz lekeler halinde, görünüşü olumsuz etkileyen çiçeklenmeler(diğer çeşit çiçeklenmelere göre daha yaygın) meydana getirir ki, bunların ortaya koyduğu sorunlar önemli olup bunların nedenleri araştırılarak çözümlenmesi gereklidir.

Bu çalışma için Eskişehir, Söğüt yöresindeki üç ayrı ocaktan kil numuneleri alınmıştır . Bu kil numunelerinin bazılarında yapılan beyaz renkli tuğlaların yüzeyinde istenmeyen sarı lekeler oluşmaktadır. Kilden kaynaklanan bu sorunun nereden ileri geldiği araştırılarak çözümlenmesine çalışılmıştır.

2. HAMMADDE TEKNOLOJİSİ

950-1050 °C' lerde pişirildiğinde pişme rengi kiremit renginde olan, su emmesi %10-15'in üstüne çıkmayan ve pişme sırasında çatlamayan tuğla ve kiremitlerin imali için hammadde olan kilin, rengi, CaCO₃ içeriği, tane inceliği ve safsızlıkları önemlidir.

Rengi açık olan kiremitlerin ticari değeri azdır. Topraklar fazla kalker içeriyorlarsa pişme rengi 900 °C' nin üzerinde sarıya döner. Toprağa kırmızı rengini veren hematit ve limonit gibi Fe bileşikleridir. Fakat demirin iki değerli bileşiklerinin bulunduğu topraklar gri, sarı, ve yeşilimsi görünüştedirler. Oksitleyici bir fırın atmosferinde yakıldıklarında, mamüllerin pişme rengi tekrar kiremit renginde olur. Toprakların sarı, yeşilimsi ve mavi renkleri TiO₂, Bi₂O₃, Cr₂O₃ gibi bileşiklerden gelebilir. Kahverengi olması ise Mn bileşiklerine veya toprakta bulunması gerekli olan organik maddelere bağlıdır. Toprağın rengi ile pişme rengi arasında her ne kadar kesin bir ilişki, yok ise de, hammaddenin % 5' in üzerinde Fe bileşikleri içermesi kiremit rengin elde edilmesi için şarttır.

Azami CaCO₃ miktarı % 25-35' ten fazla olmamalıdır. Kalkerin iri taneli parçalar halinde bulunması da sakıncalıdır. Çünkü fırında yanmış olan kireç, daha sonra rutubetin etkisi ile de sönmüş kireç haline gelir, bu da hacim büyümesine neden olur . CaCO₃, toprağın erime ve sinterleşme derecelerini birbirlerine yaklaştırır. Bol kireç bulunması da fırınlarda pişme tekniğini güçleştirir. Ayrıca sağlamlığı ve sinterleşmeyi arttırmak için pişme ısı arttırıldığında CaCO₃' ün etkisiyle kiremit rengi kaybolur. Fazla kireçli topraklardan yapılan mamullerin porozitesi ve su emme özelliği artar, donma mukavemetleri ise azalır.

Teknolojik etüdlerde 3 mm'den büyük tanelerin toplamı %1' den fazla ise pişme sırasında çatlamalar görüleceğinden bunların daha evvel çeşitli yollarla kilden ayrılması gereklidir.

Killerde, suda çözünebilen tuzlar, mikalar, kükürt, jips, pirit gibi unsurlar bol miktarda bulunmamalı veya kullanılan sulardan ve yakacak maddelerinden kile bu maddeler fazla miktarda karışmamalıdır. Aksi halde mamuller pişerken çatlar ve çiçeklenirler. Ayrıca bunların don ve basınca karşı mukavemetleri azalır, su geçirme oranları da büyük olur (1).

2.1. Kil

Tabiattan elde edilen minerallerden olan killer, kuartz , feldspat, mika v.b. maddelerin su, hava, karbonik asit, bor, kükürt, sıcak fluor bileşikleri gibi değişik kimyasal ve jeolojik etkenlerle ve zamanla ayrışmasından meydana gelmiş bir mineral grubudur (2).

İlk defa 1887' de Le Chatelier killerin çok küçük mineral partiküllerinden oluştuğu fikrini ortaya atmış ve bu fikre dayanarak bir kil tasnifi teklif etmiştir. Son zamanlarda X ışınları ve elektron mikroskopları ile yapılan araştırmalar da gerçekten kil taneciklerinin mineral partiküllerinden meydana geldiğini ortaya çıkarmış ve Le Chatelier ile onun gibi düşünenlerin tekliflerinin ne kadar isabetli olduğunu göstermiştir (3).

Kimyasal bileşim yönünden $mAl_2O_3.nSiO_2.pH_2O$ genel formülü ile gösterilen kil, çok saf olduğu zaman "Hidrate Alümin Silikat" (kaolinit) adını alır ve yukarıdaki maddelerin ayrışması sonunda meydana gelişine "Kaolinizasyon" denir (2).

Killer küçük parçacıklar halinde bulunurlar. Parçacık boyutları 10-2000 mikron arasında değişir. Bu boyutlar kolloidal limitlere yakındır (4).

Killer tabaka yapıları esas alınarak sınıflandırılır. İki ve üç tabakalı kil minerallerini içeren grup en önemli grubu oluşturur (5). Plastik özellik yönünden en iyi kil cinsi açık kurşuni, mavimtrak olanlardır. Saf kil ise beyazdır. Bu renk kilin ana maddesi olan SiO_2 ve Al_2O_3 ' den meydana gelir. Bunun yanında demiroksitler de bulunur ki kilin kırmızı rengini bu demir oksitler verir. Kaliteli killer piştikleri zaman renklerini kaybetmezler ve ateşe dayanıklıdırlar (6).

2.1.1. Kil minerallerinin doğadaki oluşumu

Killer, doğada kaya ve mineral parçacıkları ile bir arada bulunan hidratize alüminyum, demir, magnezyum silikatlarıdır. İçinde özellikle feldspat ($Al_2O_3.K_2O.6SiO_2$) bulunan volkanik kayaların, hava etkisi ile değişmesi sonucunda oluşmuşlardır (4).

Killer, jeolojik oluşumları bakımından primer (kalıntı) ve sekonder (sedimenter) killer olmak üzere iki grupta toplanmaktadır (7).

- Primer (kalıntı) killerin oluşumu : Volkanik kayaların yapı taşı olan primer minerallerden kuartz, feldspat ve mika bu kayaların parçalanması ile oluşur. Bu esnada değişime uğramış ürünler taşınmamakta, ancak ana kayanın yanında çökerek zamanla kil yataklarını oluşturmaktadır. Primer killer, sekonder killere nazaran daha saftırlar. Önemli miktarlarda mika, silis ve ayrışmamış feldspat içermekte olup daha iri tanecik boyutunda ve az plastik özelliktedirler.

-Sekonder (sedimenter) killerin oluşumu: CO₂, rüzgar, buzullar gibi yer kabuğunda meydana gelen etkiler, volkanik kayaları yavaş yavaş ayrıştırarak, küçük parçalara ayırmakta ve nehir ağızlarına, göl ve deniz yataklarına taşımaktadır. Burada biriken çökeçtiler daha sonra sedimenter kayaları oluşturmaktadır. Sedimenter killer nadiren saf halde bulunurlar, bunların taşınma sırasında birçok safsızlıkları uzaklaşabilmektedir. Genelde daha küçük tanecik boyutuna sahiptirler, daha plastiktirler ve daha az iri tanecikli mineral safsızlıklar içerirler. Fakat önemli miktarda organik maddeyi bünyelerinde bulundururlar (8).

Kilin yapısını çoğunlukla ana kayanın kimyasal bileşimi, fiziksel-kimyasal çevre ve yapısal geçmiş belirlemektedir (9). Kil minerallerinin oluşumuna etki eden faktörler şöyle sıralanabilir :

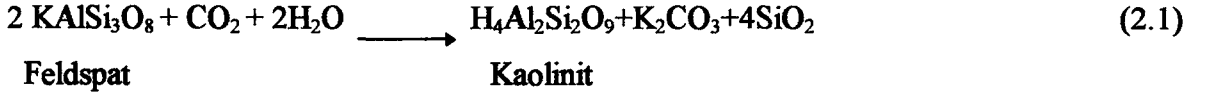
- Toprağın yer kabuğundaki yeri,
- Hammaddelere ilişkin etkenler,
- İklimsel değişiklikler,
- Topografik durum,
- Ortamın pH derecesi,
- Bitki örtüsü,
- Zaman (10,11).

Toprak ve kilin oluşmasını sağlayan kimyasal ayrışma şu yollarla gerçekleşmektedir :

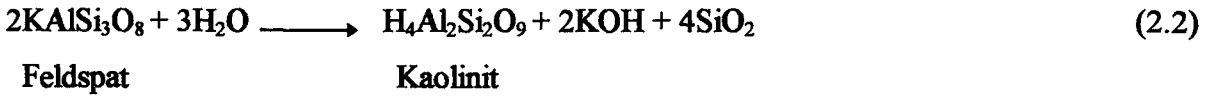
- Solüsyon,
- Oksidasyon,
- Karbonasyon,
- Hidrasyon,

- Hidroliz (12).

Kilin hammaddesini oluşturan ve bilinen en saf kil minerali olan kaolinit, feldspatın karbonasyon ve hidroliz yolları ile ayrışmasından oluşmaktadır. Karbonasyon ile kaolinit oluşması aşağıdaki kimyasal süreç ile gerçekleşir (13) :



Kaolinitin hidroliz yoluyla oluşması şöyledir (13);

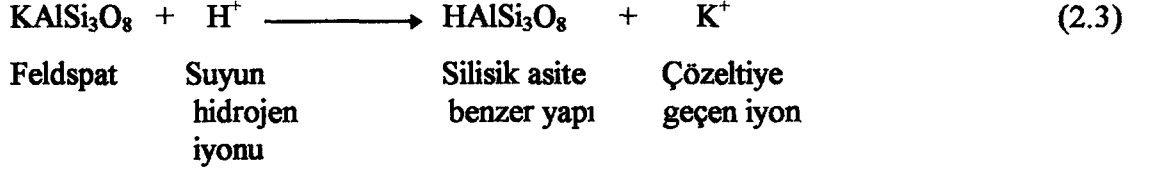


Bu olayda su içinde 10^{-7} oranında bulunan H^+ ve OH^- iyonlarından H^+ iyonları K, Mg, Ca, Na gibi katyonların yerine geçmektedir. Kaolinitin oluşması için ortamın pH değeri 4-5, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ oranı ise 1/2 olmalıdır(11). Tablo 2.1. de önemli kil mineralleri terminolojisi verilmektedir(14).

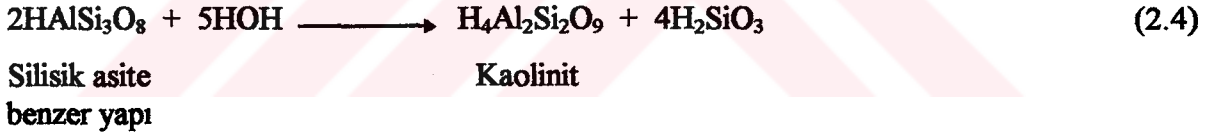
Tablo 2.1. Kil Mineralleri Terminolojisi

Mineral	Formül	$\text{Al}_2\text{O}_3 : \text{SiO}_2$
Allofan	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1 : 1
Kaolinit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1 : 2
Dikit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1 : 2
Nakrit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \text{Aq}$	1 : 2
Holloisit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1 : 2
Newtonit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1 : 2
Anoksit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1 : 3
Bedellit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	1 : 3
Montmorillonit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 1\text{H}_2\text{O} + \text{Aq}$	1 : 4
Pirofilit	$1\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 1\text{H}_2\text{O}$	1 : 4
Simolit	$2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 9\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	2 : 9

Kil minerallerinin oluşumu, genelde suyun bulunduğu koşullarda gerçekleşir. Çünkü suyun dissosiyasyonu ile ortaya çıkan H^+ iyonu, minerallerin kolaylıkla hidrolize olmalarını sağlar ve sonuçta kafes yapısının bozulmasına neden olur. Feldspat'ın hidrolize olması buna tipik bir örnek olup, kimyasal süreç aşağıdaki gibidir.

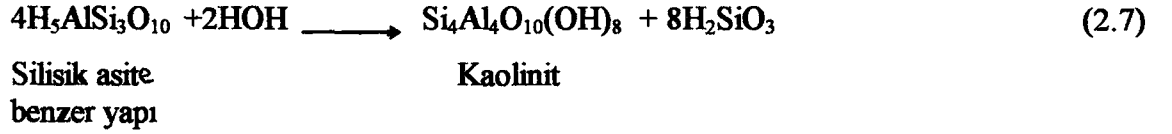
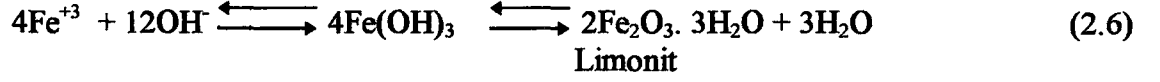
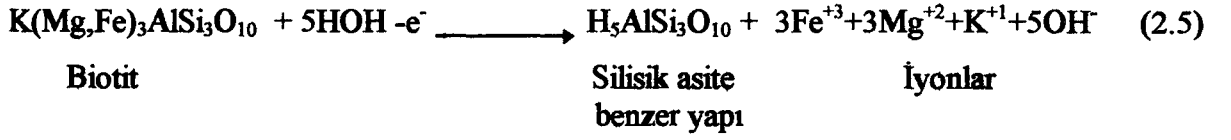


Mineraller tarafından adsorbe edilen suyun yüzey filmindeki H^+ iyonu, küçük çapları sebebiyle kristal içine doğru açık tünellerden hareket eder ve kuvvetli bir elektriksel alan oluşturur. H^+ iyonu mineral yapının bileşimindeki, örneğin potasyum elementi ile yer değiştirerek silisik asit benzeri yapı oluşturur. Ancak silisik asit benzeri yapı ayrışma ve değişimin ara ürünleri olarak ortaya çıkar. Durağan olmayan bu ara ürünler OH^- iyonları içeriğinde tabakalı kil minerallerine doğru yönelirken, mineral yapıya OH^- iyonu girer ve mineral yapıdaki H^+ iyonu da yerinden uzaklaştırılır.



Aynı şekilde feldspatların içeriğindeki Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+1} , Na^{+1} gibi pozitif iyonlar ve diğer katyonlar, mineralin kristal yüzeylerinde, kırılmış yüzeylerde ve duvar çatlaklarında ortaya çıkarlar. Çünkü böyle koşullarda anyonlar tarafından çevrili değildirler ve sonuçta bu katyonlar elektriksel yönden dengesizdirler.

Biotit mineralindeki demir elementinin oksitlenmesi, silikat yapının hidrolizi boyunca oluşurken, bazı elementler mineral yapıdan uzaklaşır ve sonuçta silisik asit tipi yapının yeniden düzenlenmesiyle kil mineralleri oluşur.



Schroeder, mika minerallerinin kil minerallerine olan dönüşüm basamaklarını aşağıdaki gibi tanımlarken, dönüşümün son süreci olan montmorillonit'e doğru olan geçişte, mineral su içeriğinin ve değişim kapasitesinin arttığını, buna karşın potasyum içeriğinin düştüğünü belirtmiştir.



2.1.2. Le Chatelier ve Lapparent'in killeri sınıflandırması

Bu iki araştırmacı killeri üzerine yaptıkları araştırmalarda, killeri içerdikleri minerallerin cinsine göre şu beş gruba ayırmışlardır:

1-Halloisit tipi killeri: Bunlar $\text{H}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9 + \text{Aq}$ formülü ile gösterilir. İstildiklarında önce 250°C'de içerdikleri suyun bir kısmı kaybolur; kalan su da 400°C'de uçar. 1000°C'de ise bir değişikliğe uğramazlar ve asitlerde etkilenmezler.

2-Allofan tipi killeri: Bunların formülleri $\text{SiAl}_2\text{O}_5 + \text{Aq}$ şeklindedir. Bunlarda su 150°C ile 400°C arasında uçar. 1000°C'de değişikliğe uğramazlar.

3-Kaolin tipi killer : Bunların bileşim suyu ancak 770°C'de uçar, 1000°C'de ise değişikliğe uğramazlar.

4-Pirofilit tipi killer:Bu tip killer bileşim sularını 700°C-850°C arasında kaybederler, 1000°C'de değişikliğe uğramazlar.

5-Montmorillonit lekeci killeri:Belirli olmayan ve temeli şüpheli görülen killer bu grupta toplanmıştır(3).

2.1.3.Kil minerallerinin modern sınıflandırılması

Killer jeolojik, mineralojik bileşim ve kullanımları göz önüne alınarak sınıflandırılmıştır. Fakat bu sınıflandırmaların her biri farklı sonuçlar doğurmuştur. Örneğin Ries jeolojik açıdan, Norton özellik ve kullanım yerleri bakımından, Brindley kil minerali partiküllerinin şekil ve boyutları bakımından, Grim ise yapıları ve bileşimlerini esas alarak bir sınıflandırma yapmıştır(5,14).

Sınıflandırma konusundaki ilerlemeler, kil minerallerinin yapılarının açıklanmasından sonra mümkün olmuştur. Özellikle A.B.D.'de jeoloji laboratuvarlarında X ışınları elektron mikroskobu ve analiz metodları ile kesinleşen bileşimleriyle kullanılması sayesinde killer için halen kabul edilen bir sınıflandırma mümkün olmuştur(3). Gruner tarafından önerilen ve halen geçerli olan kuramsal sınıflandırmaya göre kil mineralleri yapısal olarak Tablo 2.2.'deki gibi sınıflandırılmıştır(15).

Bu sınıflandırma sayesinde killer hakkındaki birçok yanlış görüşler düzeltilmiş ve her kilde kaolinit 'in bulunduğu gibi doğru olmayan fikirler de zihinlerden silinmiştir(3).

Tablo 2.2.'de görüldüğü gibi killer önce yaprak yapısında ve iplik yapısında olmak üzere iki gruba ayrılmakta ve yaprak yapısında olanlar da iki tabakalı ve üç tabakalı olmak üzere tekrar iki gruba ayrılmaktadır. Killere ait minerallerin sayısı oldukça kabarıktır. Bunlardan en önemli iki tanesi kaolinit ile montmorillonittir. Bu tercihin sebebi, bu iki cins kilin tabiatta çok yaygın olarak bulunmasıdır (3).

Tablo 2.2. Kil Minerallerinin Sınıflandırılması

Sınıf ve Yapı	Tabaka	Grup	Çeşit	Kaba Formül	
Yaprak Yapısındaki Killer	2 Tabakalı	Kaolinik	Kaolinit Dikit Nakrit	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	
			Refrakter killer	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$	
			Anoksit Allofan	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 2H_2O$ $xAl_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O \quad x > 1$	
		3 Tabakalı	Halloisitik	Halloisit Metahalloisit	$Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O + 2H_2O$ $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$
				Montmorillonit (Bentonit)	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + z H_2O$ (MgO)
			Montmorillonitik	Nontronit	$Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot H_2O + z H_2O$ (FeO)
	Bedellit	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O + z H_2O$ (MgO)			
	İllitik	İllit	İllit	$Al_2O_3 \cdot 3SiO_2 \cdot H_2O + z H_2O$ (Fe, Mg, Ca, K, Na)	
			İplik Yapısındaki Killer	Lifli	Sepiolitik
	Poligorskitik	Poligorskit			$(MgAl_{3/2})_9 \cdot (Si_4O_{11})_3 \cdot 3H_2O + 2H_2O$

2.1.4. Killerin kimyasal bileşimleri

Kimyasal analizlerde killerin genellikle Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2 , CaO , MgO , K_2O ve Na_2O yüzdeleri tespit edilir. Al_2O_3 değeri %20-40 arasında değişir. Bu tenör ince seramik killerinde düşük, refrakter killerde yüksektir. %20'den daha düşük değerler fazla kumlu killerde, %40'tan daha yüksek değerler ise boksitleşmeye başlayan kil ve kaolinlerde görülür. Fe_2O_3 oranı ince seramik killerinde %1'in diğer killerde ise %3'ün altında olmalıdır, aksi halde killerin pişme rengi ve ateşe dayanıklılığı bundan zarar görebilir. Fe_2O_3 tenörü son derece düşük olan beyaz kaolinitik killer, içlerine dağılmış olan az miktarda pirit kristalleri yüzünden kullanılmaz hale gelebilirler. SiO_2 tenörünün çok yüksek olması, kilde serbest kuvars olduğunu gösterir. Bu taktirde kuvarsin ince veya iri taneli olması önemlidir. SiO_2 tenörü refrakter killerde ve boksitleşme gösteren kaolin ve kaolinitik killerde çok düşüktür.

Toprak alkali oksitlerin oranı %1'in altında olmalıdır. Fazlası kalker, dolomit, anortit ve montmorillonit grubu kil minerali bulunduğuna işaret eder. Alkali oksitlerin oranı da %1'in altında olmalıdır. Fazlası killerde mika, feldspat, alkali tuz bulunduğunu gösterir. Bu da ateşe dayanıklılığı azaltır ve killerin filtre preslerde süzme işlemini güçleştirebilir. Fakat kildeki mikaların plastikliği arttırmak gibi faydalı tarafları da vardır(1).

Tablo 2.2.'de verilen yaprak yapısındaki killerin bazılarına ait kimyasal analizler Engelhardt tarafından özetlenmiş olup Tablo 2.3.'de görülmektedir (3,14).

Tablo 2.3. Bazı Killerin Kimyasal Bileşimleri

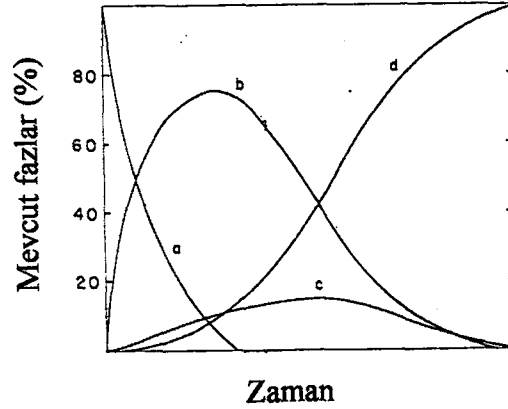
	KAOLINIT		HALLOISIT		MONTMORILLONIT	
SiO ₂	43.6	54.7	40.0	45.8	47.9	51.1
Al ₂ O ₃	30.0	40.2	33.8	39.2	20.0	27.1
Fe ₂ O ₃	0.3	2.0	0	0.4	0.2	1.4
MgO	0	1.0	0.3	—	2.1	6.6
CaO	0.03	1.5	0.1	0.8	1.0	3.7
K ₂ O	0	1.5	0.3	—	0.2	0.6
Na ₂ O	0	1.2	0.1	0.2	0.3	0.8
TiO ₂	0	1.4	—	—	—	—
H ₂ O	11.0	14.3	13.4	23.7	17.1	23.7
	BEDELLIT		NONTRONIT		ILLIT	
SiO ₂	45.3	47.3	31.1	47.6	50.1	51.7
Al ₂ O ₃	12.2	27.8	0.4	22.7	21.7	32.8
Fe ₂ O ₃	0.8	18.5	15.2	40.8	0	6.2
MgO	0.2	3.0	0.1	4.0	2.0	4.5
CaO	0.5	2.8	0.6	4.5	0	0.6
K ₂ O	0.1	—	0.1	0.4	6.1	6.9
Na ₂ O	0.1	1.0	0	0.2	0.1	0.5
TiO ₂	0.8	—	0	0.1	0.5	—
H ₂ O	17.3	22.6	5.1	13.0	6.4	7.0

Yapısal kil ürünlerinde aşırı derecede silis bulunduğu zaman kalsiyum karbonat silis ile birbiri ardına seri bir şekilde reaksiyona girer. Reaksiyon başlar başlamaz karbonat bozunur ve eğer reaktanların partikül büyüklüğü küçükse 1000°C(1832°F)'de reaksiyon tamamlanır.



(2.8) denkleminde, CaO ile silisin reaksiyonu hızlıdır ancak silis ile Ca_2SiO_4 'ün reaksiyonu yavaştır. Üçüncü adımda (2.10) denkleminde gösterildiği gibi, hızlı bir reaksiyondur; bu yüzden $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ 'nin miktarı az olduğundan bunun kil numunesindeki konsantrasyonu daima ihmal edilir.

Sabit sıcaklıkta değişik madde miktarlarına bağlı olarak zamana göre bu olayın yürüyüşü Şekil 2.1.'de verilmiştir. Ca_2SiO_4 (b) ana fazda oluşurken, kalsiyum oksit (a) bir reaktan gibi süratle ortadan kaybolur. Reaksiyon $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ (c) şekline doğru yavaştır ve onu izleyen reaksiyonda Silis'in metasilikata dönüşümü hızlıdır, geçici faz meydana getiren kalsiyum piroasilikattır. Son faz, CaSiO_3 (d) olup, zamanla ortosilikat gözden kaybolmaya başladıkça konsantrasyon hızla artar.



Şekil 2.1 CaO ve Aşırı Silika Reaksiyonları Arasındaki Fazların Meydana Gelişi :

(a) CaO, (b) Ca_2SiO_4 , (c) $\text{Ca}_3\text{Si}_2\text{O}_7$ ve (d) CaSiO_3

Büyük miktarda kireç ve magnezya içeren fırınlanmış ürünlerin rengi kahverengimsi sarıdır. CaO, MgO veya bunların silikatları hematitin kırmızı rengini değiştirecek güçte değildir.

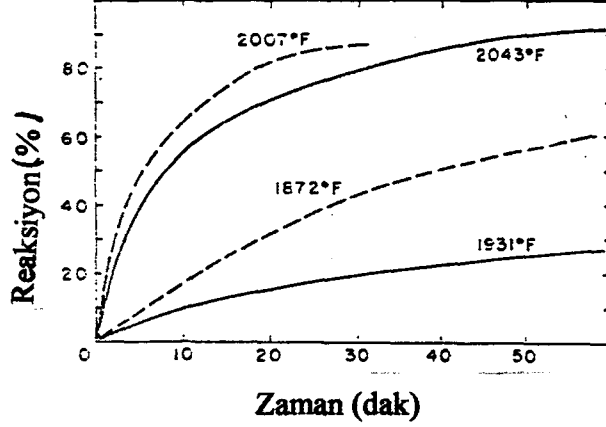
Kalsiyum sülfat ve kuvarşlı kil karışımı arasındaki reaksiyon yapısal kil ürünleri endüstrisi ile ilgilidir. Kalıntı meydana getiren kalsiyum sülfat kurutma işlemi sırasında meydana gelebilir. Magnezyum sülfat 1780°F(971°C) gibi düşük bir sıcaklıkta bir saatte tamamen bozunduğu için probleme pek fazla neden olmaz.

Kalsiyum sülfat, silis ve alüminosilikatlar ile reaksiyona girer ve basit ayrışma için gerekli sıcaklıklardan oldukça daha düşük sıcaklıklarda kükürtlü gazlar açığa çıkar. Bu tip reaksiyona ait bir örnek aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir:



Kalsiyum sülfat, silis ve alüminosilikat arasındaki bazı özel reaksiyonlar Şekil 2.2.'de gösterilmiştir. Kesintisiz çizgiler kalsiyum sülfat ve kristobalit arasındaki ilgili sıcaklıklarda gerçekleşen reaksiyonu gösterir. Reaksiyon 1931°F (1055°C)'de çok yavaştır fakat 2043 °F (1117°C) 'de bir saatte tamamlanır. CaSO₄-Müllit karışımı 1872°F (1022 °C)'de reaksiyona girer ve 2007°F (1097°C)'de 30 dakikada reaksiyon tamamlanır. Yüzey teması ile partiküllerin tepkimeye girme olasılığı artacağından, kristobalit ve Müllit'in ince taneli olmayan tuzlarının çok büyük miktarı ile bu reaksiyonlar gerçekleştirilir.

Şekil 2.2. Kalsiyum sülfatın 1850°F (1010°C)'den 1950°F (1066°C)'ye kadar maksimum fırınlama sıcaklıklarında bazı kil ürünlerinde reaksiyona girmeden olduğu gibi kaldığını göstermiştir. Bunlara daha çok illitik killeri örnek verebiliriz. Sülfat eser miktarda kalsa bile, bu tuz nem 'e maruz kalarak üründe çiçeklenmeye neden olur(16).



Şekil 2.2. Değişik Sıcaklıklardaki CaSO₄-Kristobalit ve CaSO₄-Müllit Reaksiyonları:
Kesiksiz çizgiler :Kristobalit reaksiyonları
Kesikli çizgiler :Müllit reaksiyonları içindir.

2.1.5. Killerin mineralojik bileşimleri

Killer plastik ve plastik olmayan unsurlar içerirler. Plastik olanlar kaolinit ve montmorillonit grubu kil mineralleri, plastik olmayanlar ise kalsit, kuvars, mika ve feldspat gibi muhtelif minerallerdir. Birinci gruba girenler ateşe dayanıklı, ikinci gruba girenler ise eritici özellik gösterirler. Seramik hamurlarında bileşim sorununu çözmek için killerin mineralojik bileşim yüzdesini bilmek yararlıdır. Bazı durumlarda plastik olan ve plastik olmayan unsurların özel metodlarla birbirlerinden ayrılmaları gerekebilir(1).

2.1.6. Kil minerallerinin kristal yapısı

Kil minerallerinin kristal yapıda olduklarını ilk kez Hendricks, S.B. ve Fry, W.H. 1930'da Kelley Walter P., Brown, S.M., Dore, W.H. 1931'de bulmuşlardır. Bu buluşlara kadar killerin amorf yapıda oldukları kabul ediliyordu.

Kil minerallerinin çoğunda ortak olan iki temel kristal yapı ünitesi vardır: Si-O(silika) tetrahedral dizilişi ve Al-O-OH(gipsit) oktahedral dizilişi. Kil minerallerinin çoğu bu temel ünitelerin değişik şekilde üst üste gelmesi ile oluşmuşlardır.

Si-O tetrahedral yaprağında oksijen atomları aralarında bir Si atomu bulunan düzgün dört yüzünün dört köşesine yerleşmişlerdir. Her tetrahedral dizilişte dört oksijen atomundan üçü komşu tetrahedral tarafından paylaşılır. Dördüncü oksijen atomu aşağı veya yukarı yönelmiştir. Bir yapraktaki tetrahedrallerin tabanları aynı yöne yönelmiştir, üstten bakıldığında hegzagonal bir ağ görünümündedir. O-O atomları arası mesafe 2,52 Å, Si iyonları için uygun boşluk 0.55 Å, bir yaprağın kalınlığı 4.63 Å 'dür.

Al-O-OH (gibsit) oktahedral yapraklarında Al merkezde olmak üzere düzgün bir sekizyüzlünün köşelerinde oksijen atomları veya OH grupları vardır. O-O atom mesafesi 2.60 Å, OH-OH mesafesi ise, 2.94 Å ve yaprak kalınlığı 5.05 Å 'dür(17).

2.1.7 Kaolinit grubu killerin yapısı

Kil, çok saf olduğu zaman Hidrate Alümin Silikat (Kaolinit) adını alır(2). Kil mineralleri içinde en basit kimyasal yapıya sahip olan kaolinit grubu minerallerin yapısal formülü Gruner tarafından $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ olarak verilmiştir(15). Bu formülde Al_2O_3 miktarı ağırlık olarak %40, SiO_2 miktarı ağırlık olarak %46, H_2O miktarı ağırlık olarak %14'tür. Kaolinit, 2 molekül sudan başka %3-9 arasında değişen "Higrometrik su" ihtiva eder.

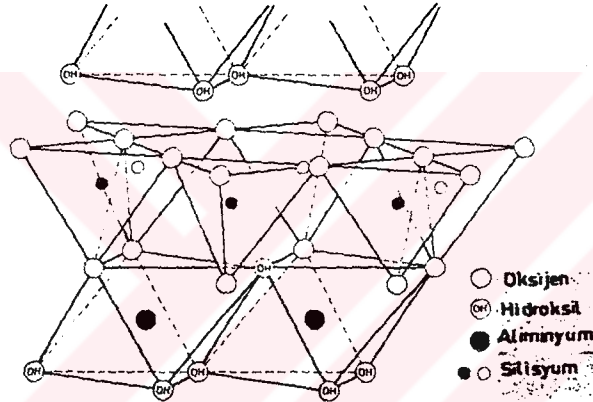
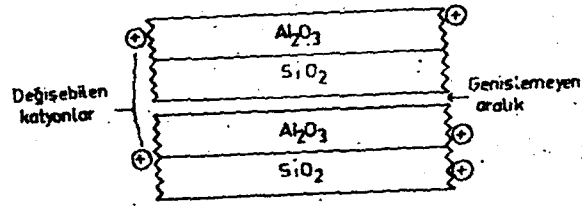
Kaolinit kristalleri, monoklinal sistemde olmakla beraber, Hegzagonal şeklindedir. Kaolinit içinde az miktarda demir oksit, alkali bazları, toprak alkalileri bulunur. Meydana gelen madde tamamen beyaz olduğu taktirde "Kaolen" adını alır. Seramikçilerin saf kil dedikleri kaolinittir.

Sularla sürüklenen killere "Mil" adı verilir. Sularla sürüklenmeleri sırasında killer çökerler. Bu olaya "Tortullaşma (Sedimentasyon)" denir. Kil ise, Tortul Kil (sedimanter kil) adını alır(2).

Levha yapılı silikatlar grubuna giren kaolinit mineralinde iki kat vardır. Kimyasal formülü $(Si_2O_5)^{2-}$ olarak gösterilebilen ametal anyonu bir kat silikat tetrahedral tabakası ile

yine kimyasal formülü $[Al_2(OH)_4]^{+2}$ şeklinde gösterilebilen metal katyonu bir kat oktahedral tabakası bir levha yapısı oluşturacak şekilde üst üste oturtulmuştur (Şekil 2.3.) (15,18).

Şekil 2.3.'de iki tabakalı kaolinit mineralinin kristal yapısı ve bu yapının idealize edilmiş şekli gösterilmiştir (5,17,19).



Şekil 2.3. Kaolinit Kil Mineralinin Şematik Gösterilişi

Her bir levha beş atomsal düzlemde oluşmuştur ve her bir düzlemdaki atom veya iyonların düzeni hegzagonal olup birbirine göre farklı boyutlardadır.

Bir birim kaolinit mineralinin kalınlığı iki levha arasındaki boşlukla beraber 7.18 Å iki birimin kalınlığı ise 14.5 Å dur. Mineraller triklinik sistemdedir ve $\alpha=91.8^\circ$, $\beta=104.5^\circ$, $\gamma=90^\circ$ lik açılara sahiptir. Yoğunluğu 2.2 ile 2.6 gr/cm^3 arasındadır. 800°C'de sertleşir.

Sülfürik asitte tamamen çözünür. K ve Na tuzlarının çözeltisinde çözünür. 1850 °C'de erir. Kırılma indisi 1.57, sertliği 1.5-2 Mohs'dır(15).

2.1.8. Montmorillonit grubu killerin yapısı

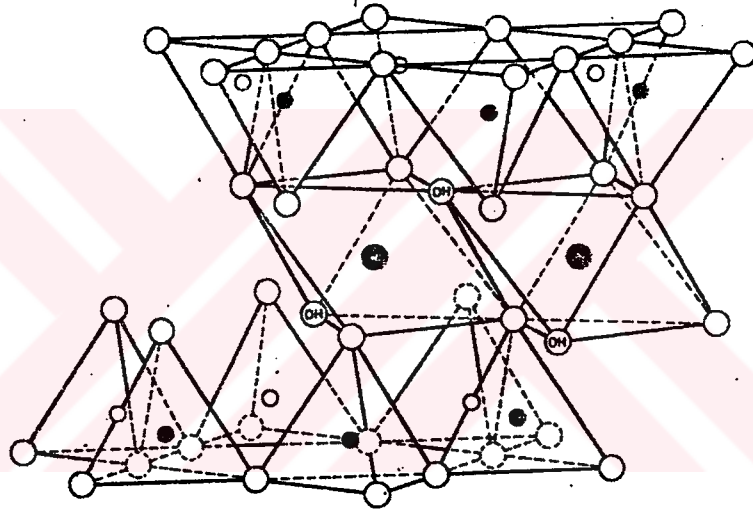
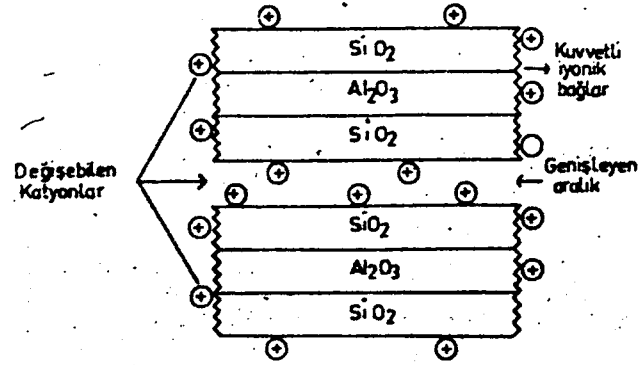
Üç tabakalı yapıyı temsil eder(5). Kaolinit ile montmorillonit yapılarının arasındaki fark, kaolinitte alternatif olarak silisyum-oksijen ve alüminyum-oksijen tabakaları bulunduğu halde, montmorillonitte alüminyum tabakasının her iki yanında birer silis tabakasının dizilmiş bulunmasıdır. Kaolinitte hidroksil grupları komşu silisyum-oksijen tabakasını hidrojen bağları teşkil edecek şekilde kuşatmaktadır, bu da kristal yapısını büyük ölçüde kuvvetlendirir. Montmorillonitte ise oksijen atomları yine oksijen atomlarını çevirdiğinden molekül yapısını ancak çok zayıf olan Van der Waals kuvvetleri bir arada tutabilmektedir.

X ışınları sayesinde montmorillonit'in silisyum tabakasındaki Si atomlarının küçük bir kısmının yerine tabakanın iç düzeninde bir değişiklik olmadan, Al atomlarının geçebileceği görülmüştür. Bununla beraber dört değerli silisyumun yerine üç değerli alüminyumun geçmesiyle yapıdaki elektrik bakımından nötrlük bozulmakta ve bunu korumak için de yapıya bir değerli pozitif iyonların ilavesi gerekmektedir, ki bu da tabakalar arasındaki mesafede sodyum, potasyum veya başka katyonların bulunmasının sebebinin ve böylece kimyasal analizini belirttiği elementler muhtelif kristal durumlarına göre neden çeşitli oranlarda dağıldığını açıklar(3).

Şekil 2.4.'de üç tabakalı montmorillonitin kristal yapısı ve bu yapının idealize edilmiş şekli gösterilmiştir (5,17).

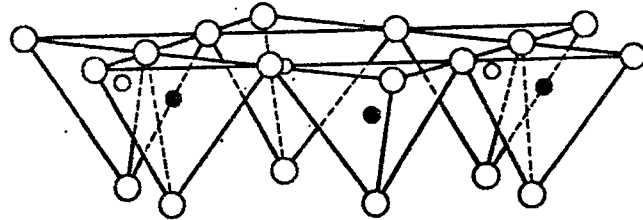
Her birim katmanında belli bir birim yapı kendini yatay doğrultuda yeniler. Bu birim yapıya birim hücre denir. Montmorillonit kristal sistemi ortorombik sistemdir ($a \neq b \neq c$ ve $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$). Ancak birim hücrelerin bütün eksenler boyunca dizilişi periyodik değildir.

Birim hücre parametreleri ise $a=5.15 \text{ \AA}$, $b=8.9 \text{ \AA}$ 'dur. Birim hücre yüzeyi ise $5.15 \times 8.9 \text{ \AA}^2$ dir. Bir gramın toplam yüzeyi yaklaşık 750 m^2 dir. Hücre ağırlığı 720 gramdır(17).



Değiştirilebilen kationlar

$n \text{ H}_2\text{O}$



Şekil 2.4. Montmorillonit Kil Minerallerinin Kristal ve İdealize Yapısı

Şekil 2.4.de gösterilen yapı Hoffmann, Endel, Wilm ve Hendricks tarafından önerilen sematik yapıdır. Bu yapıya göre montmorillonit grubundaki killerin teorik kimyasal formülü şu şekilde verilir:

$[Al_4Si_8O_{20}(OH)_4].nH_2O$,formülündeki nH_2O birim tabakalar arasındaki suyu göstermektedir. Formüle göre tabaka içi katyon dikkate alınmaksızın teorik bileşim %66.7 SiO_2 , %28.3 Al_2O_3 ve %5 H_2O 'dan oluşmuştur. Buradaki %5 H_2O kristal yapıdaki $(OH)^-$ gruplarının su olarak ifadesidir.

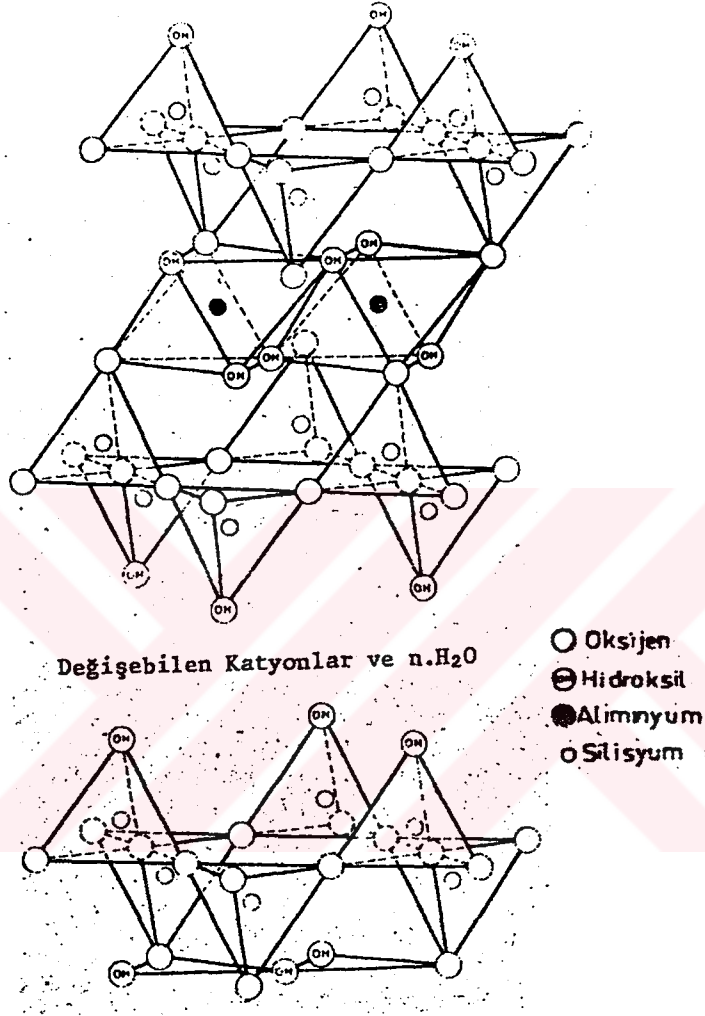
Birim tabakadaki teorik yük dağılımı; yukardaki formül ve Şekil 2.4.'deki yapı temel alınarak şu şekilde gösterilmektedir:

Tetrahedral Tabaka	6	O^{2-}	12^-	
	4	Si^{+4}	16^+	
Oktahedral Tabaka	4	$O^{2-} 2(OH)^-$	10^- (ortak tabaka)	
	4	Al^{+3}	12^+	
	4	$O^{2-} 2(OH)^-$	10^- (ortak tabaka)	
Tetrahedral Tabaka	4	Si^{+4}	16^+	
	6	O^{2-}	12^-	(4,17)

Ancak montmorillonit grubundaki killer yukardaki teorik yapıdan farklılıklar gösterir. Jeolojik zaman içinde yapıdaki Si ve Al iyonları diğer iyonlar ile yer değiştirmiştir. Örneğin tetrahedral yapıdaki Si yerine Al ve oktahedral yapıdaki Al yerine Mg, Fe, Zn veya Li iyonları yer almış olabilir.

Bu iyon değişimleri yapının elektriksel dengesinin bozulmasına ve pozitif yük eksikliğine neden olur. Bu pozitif yük noksanlığı birim tabakalar arasına alkali veya toprak alkali iyonlarının girmesi ile giderilir.

Bir çok araştırmacı killerin iyon değiştirme özelliklerinin yukarda anlatılan yapı modeli ile tam olarak açıklanamayacağını göstermiştir. Bu nedenle Edelman ve Fovejee, Şekil 2.5.'de gösterilen kristal yapı modelini önermişlerdir (17).



Şekil 2.5. Edelman ve Fovejee'ye Göre Bentonitik Kil Minerallerinin Yapısı.

Bu yapıya göre silika tabakalarındaki tetrahedrallerin yarısı önceki yapıya tersine yerleştirilmiştir. Bu tetrahedrallerin ucundaki oksijen atomunun yerini (OH)⁻ grubu almıştır. Ayrıca silika tabakasındaki Si atomları aynı düzlemde bulunmazlar.

Bu yapının teorik formülü ve birim tabakalarındaki yük dağılımı şöyledir:



2 (OH) ⁻	2 ⁻
2 Si ⁺⁺	8 ⁺
6 O ⁻²	12 ⁻
2 Si ⁺⁴	8 ⁺
2O ⁻² 4 (OH) ⁻	8 ⁻
4 Al ⁺³	12 ⁺
2O ⁻² 4 (OH) ⁻	8 ⁻
2 Si ⁺⁺	8 ⁺
6 O ⁻²	12 ⁻
2 Si ⁺⁴	8 ⁺
2 (OH) ⁻	2 ⁻

Bu modele göre katyon değişimleri, yapıdaki iyon değişimleri yerine tetrahedral uçta olan (OH) grubundaki H atomunun değişmesi ile açıklanmıştır(17).

2.1.9. Killerin baz değiştirmesi

Killerin yapıları ile ilgili en önemli karakterlerden biri de, uygun bir tuz solüsyonuna daldırıldıkları zaman içerdikleri sodyum, potasyum ve kalsiyum gibi iyonları, solüsyonda bulunan başka katyonlarla değiştirebilmeleridir. Bu özelliğe, "Katyon değişimi (Baz

değişimi)" adı verilir. Montmorillonitin baz değişim kabiliyeti yüksek, kaolinitin ki ise düşüktür. Nitekim montmorillonitin baz değiştirme yeteneği ile tabakalar arasındaki kationların sayısı arasında kantitatif bir bağıntı da bulunmuştur. Yapıdaki tabakalar su tarafından birbirlerinden ayrılarak iyonlara geçit vermekte ve montmorillonit şişmektedir. Kaolinitte ise suya daldırılınca böyle bir şişme görülmez. İleri derecede baz değiştirme kabiliyetinde olan zeolit gibi diğer bazı mineraller de suların yumuşatılması ve tasfiyesinde geniş ölçüde kullanılmaktadır(5).

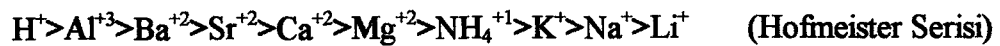
2.1.10. Killerin iyon değiştirme reaksiyonları

Eğer kil, elektrolit içeren bir çözelti içinde yer alırsa, kil iyonları ile elektrolitin iyonları arasında yer değiştirme olur.

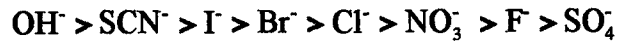


Bu reaksiyon, bir denge reaksiyonudur ve soldan sağa doğru ilerler, X^+ ve Y^+ iyonlarının tabiatına ve onların bağıl konsantrasyonlarına bağlıdır.

Eşit konsantrasyonlar halinde, bazı kationlar diğerlerinden daha kolay adsorplanırlar. Aşağıda kationlar değiştirilme kabiliyetlerine göre şu şekilde sıralanmıştır :



Benzer seri anyonlar içinde yazılabilir, fakat bu pozitif kolloidler için geçerlidir.



Bazı organik bileşikler de sulu ortamda iyonize olur, kil yüzeyinde diğer iyonlarla yer değiştirir ve genel olarak kuvvetle adsorplanırlar. Aminler, örneğin Mg kili ile reaksiyona girerler.



Bu reaksiyon sonucu, kilin organik aminlerle tamamen kaplanması mümkündür. Bu takdirde kilin fiziksel özelliklerinde göze çarpan değişiklikler görülür. Pozitif yüklü $-NH_3^+$ kil yüzeyine bağlıdır, molekülün organik parçası dışı doğrudur ve bu kile hidrofobik özellik sağlayarak kolloidin kararlılığını azaltır(4).

2.1.11.Killerin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kil minerallerini oluşturan hidrate alüminyum silikatlar, killere sahip oldukları temel özellikleri vermektedirler. Ancak bu arada kil olmayan diğer mineraller ya da diğer bazı çözünebilir tuzlar gibi faktörler bünyede fazla miktarda bulunuyorsa bu özellikleri etkileyebilmektedir. Kil minerallerinin sahip olduğu en belirgin özellikler :

- Belirli miktarda su ile karıştırılınca plastiklik kazanmaları,
- Partiküllerin oldukça küçük kolloidal boyutlarda olması,
- Kristal yapılı minerallerinin oldukça küçük levha yapılı partiküllerden oluşması,
- Nötr elektrik yüklü alümina-silikat tabakalarından oluşmuş yapısı nedeniyle yumuşaklık, sabunsu kayganlık, gibi fiziksel özelliklere sahip olmasıdır(15).

Renkleri beyaz, gri, sarı, kahverengi, koyu pembe, sarımsak yeşil gibi çok değişiktir. Bu değişikliğe neden olarak montmorillonitin içerdiği Fe iyonunun iki veya üç değerli olması gösterilmektedir(5). Üç değerli demir içeren bentonitler sarı veya kahverengi olabilmektedirler. İki değerli demir (pirit) mavi renge neden olur. İki ve üç değerli demirin bulunduğu bentonitler daha değişik tonlar gösterirler. Yataktaki organik maddeler ve nemlilik derecesi de rengi etkiler. Örneğin nem rengi koyulaştırır(17).

Seramik malzeme üretimi açısından Plastiklik, Kohezyon, Renk ve Rötne killerin önde gelen özelliklerindedir.

Bu özelliklerin her birisinin, kilin şekillendirilmesinden pişmesine kadar geçen seramik malzeme imalatının bütün safhalarında önemli rolleri bulunmaktadır. Bu özelliklerden herhangi birisini bilmeden seramik malzeme üretimi yapmak mümkün değildir(2,15).

2.1.11.1. Plastiklik

Plastiklik özelliği, ezilmiş kile uygun miktarda su karıştırıldığı zaman işlenebilme ve şekillendirme özelliği verir. Böylece kil kolayca şekil alır. Kilin plastiklik özelliği kazanabilmesi için muhakkak surette su ile karıştırılması gereklidir. Su dışında hiçbir madde kile plastiklik özelliği kazandırmaz(2).

Bilinen binlerce mineral içinde talk gibi bir iki istisna dışında, kil minerallerinden başka plastiklik özelliği gösteren hiç bir mineral yoktur. Bu özellikleri sayesinde kiler sanayi de büyük ölçüde kullanılırlar. Üzerine bastırıldığında ele yapışmayan ve parmak izini açıkça gösteren kil normal plastik hale gelmiş demektir(1).

Plastiklik özelliği, şu faktörlerden etkilenmektedir :

- Kilin kimyasal ve mineralojik bileşimi,
- Partikül boyutu ve şekli,
- Kasyon değiştirme kapasitesi,
- Suyun yüzey gerilimi,
- pH

Bu özelliklerin hepsi kil partiküllerinin etrafını çeviren su tabakasının kalınlığından meydana gelmektedir (7,14,20).

Kaolinitik kiler ve ince seramik kileri genellikle az plastik, bağlayıcı kiler ise çok plastiktir. Refrakter kilerde plastiklik ihtiyaca göre suni yolla azaltılabilir ya da çoğaltılabilir. Kilerin plastiklik suyu genellikle %15'ten az ve %40'tan fazla olmamalıdır(1).

Bir kilin partiküllerinin boyutları ne kadar küçük olursa kil, o kadar plastik olur. Kaolinit sınıfında partiküller 0.6 μ 'dan, montmorillonitte ise tanecikler 0.2 μ 'dan ne kadar küçük olursa plastiklik de o kadar artar(3).

Kilin plastiklik kazanmasında, kuvvetlice emilmiş bir su filmi gereklidir. Kilin plastikliğine etki eden en önemli etken kilin su içeriğidir(7).

2.1.11.2. Kohezyon

Atomları minimum bağ enerjisi konumundan çıkarıp ayrılmalarına neden olan zorlanmaya kohezyon mukavemeti denilmektedir(21).

Bu özellik kil hamuruna kuruduğu zaman kendisine verilmiş olan şekli muhafaza etme kabiliyeti sağlar. Örneğin kum bu özelliğe sahip olmadığı için su ile ıslatıldıktan sonra kurumaya terkedildiği zaman küçük bir darbe ile kendi kendine dağılır. Kilin koheziona sahip olabilmesi için mutlaka su ile yoğurulması gereklidir. Su dışında kalan diğer sıvılarla kile kohezyon özelliği kazandırılmaz(2).

2.1.11.3. Renk

Killer, metal oksitlerle ve organik maddelerle doğal olarak renklendirilmiş olarak bulunurlar(20).

Kilin saf olması halinde rengi beyaz olur ve kaolen adını alır. Bunun ötesinde killerin renkleri sarı, pembe, kırmızımsı, mavimsi gri, yeşil ve siyahımsı olabilir.

Kilin renginden, içinde bulunan maddeler hakkında bir fikir edinmek mümkündür.

Örneğin kilde bulunan;

Limonit; esmer,

Demir III oksit; kırmızı,

Manganez bioksit veya lignit; siyah,

Pirit veya stronsiyum tuzları : açık yeşil,

Organik maddeler; menekş renkli renklenmelere neden olmaktadır.

Bununla beraber, kilin pişmeden evvelki rengi piştikten sonra da aynı renkte kalacağını göstermez. Zira, birçok oksitlerin yüksek ısı derecelerinde renkleri değişir. Adi killer için kilin piştikten sonra alacağı renk, öncelikle pişme derecesine, sonra da kil içinde bulunan demir oksit ve manganez oksit miktarlarına bağlıdır. Normal pişme derecelerinde(900-1250°C) bu renk, sarıdan kirli kırmızıya doğru bir değişiklik gösterir(2).

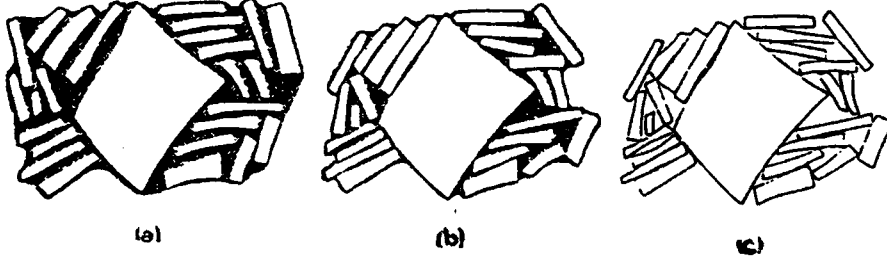
Pişmeden sonraki renk, kilin bileşimi, sıcaklık, fırın atmosferi gibi şartlara bağlı olarak değişebilmektedir(15). Hammaddede bulunabilen, temel bir renk verici oksit olan titanyum dioksit ise renksiz olmasına rağmen demirin renklendirici etkisini arttırmakta olup, normal pişme sıcaklığında sarıdan kırmızıya, açık griye koyu gri veya siyaha kadar değişen renkler elde edilebilmektedir(15,22).

İnce seramik mamüllerinde pişme rengi çok önemli olduğundan pişme rengine en fazla etki eden unsurlardan killerin içindeki Fe, Mn ve Ti oksitlerine ve ve karbonatlarına dikkat edilmelidir(1).

2.1.11.4. Rötire

Kil su ile yoğurulup şekillendirildikten sonra kurumaya terk edilirse şekillendirme sırasında verilmiş olan ölçüleri küçülür. Diğer bir deyişle kil hamurunun kuruma sırasında hacmi küçülür. Bu olaya "kilin rötire yapması" denir. Rötire, kilin kuruması sırasında olduğu gibi pişmesi sırasında da devam eder. Kilin kurumasından meydana gelen rötire, kilin plastiklik özelliğine sıkı bir şekilde bağlıdır(2). Eğer kuruma çok hızlı ve düzenli değilse, oluşan rötire, çatlaklara neden olmaktadır. Plastik bir kildeki kuruma Bourry'ye göre Şekil 2.6'da görülmekte olup, şu etaplardan oluşmaktadır :

- a) Yaş bünye
- b) Kritik nokta
- c) Kuru bünye (23).



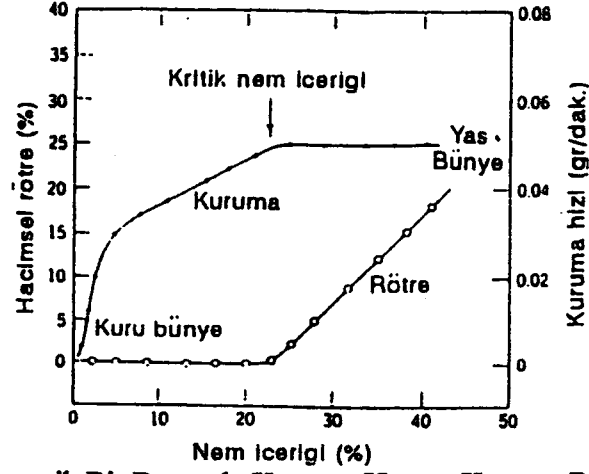
Şekil 2.6. Kil Bünyesine Ait Kuruma Süreci

a fazında, buharlaşan su ile orantılı olarak boy ve ağırlık küçülmektedir. Kurumanın bu ilk fazına koloidal kuruma, bu fazda kaybedilen suya koloidal su denir. Bu faz, önemli sorunlar yaratmayan bir rötre fazıdır(15).

b fazında, kil partikülleri birbirleriyle temas ederler. Yani partiküller arasında yer alan su, partiküllerin hareketine olanak vermeyecek şekilde azaltılmıştır. Rötre, bir önceki faza göre çok daha düşüktür. Çünkü partiküller arasında boşluklar oluşmaya başlamıştır. Bu aşamada kilin bünyesindeki su içeriğine "kritik nem içeriği" denir. Bu faz, gerilme ve çatlakların oluşabildiği bir fazdır(23).

c fazı, kurumanın son fazıdır ve bu fazda hacim küçülmesi sona erer. Birbirleri ile temas halinde olan kil partikülleri tarafından emilen su, kilin boşluklarından kapilarite ile yüzeye doğru çekilmektedir(7). Sonuçta boşluklardaki suyun, yerini havanın alması ile kuru, gözenekli bir bünye elde edilir. Bu son faz rötre ve herhangi bir sorunun olmadığı bir fazdır.

Yukarıda anlatılan aşamalara göre, rötre, kuruma hızı ve nem içeriği ilişkisini gösteren grafik Şekil 2.7.'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Seramik Bir Bünyede Kuruma Hızı ve Kuruma Rötresi

"Sabit hız periyodu" denen kurumanın ilk aşamasında su miktarındaki azalma kil hacmi ile lineer olarak azalmaktadır. Kuruma ile oluşan, rötrenin büyük kısmı bu aşamada tamamlanmaktadır. Kuruma hızı, yüzey genişliğine, sıcaklığa, çevrenin nemine ve yüzeydeki havanın hareketine bağlı olarak değişmektedir. İçten dışa doğru olan rutubet akımının hızı, kil yüzeyinde buharlaşan su miktarına eşit olmalıdır. Böylece homojen bir kuruma sağlanarak hamurda çatlama ve yarıkların önüne geçilmiş olunur. Kuru hava ve yüksek sıcaklık kuruma hızını artırmaktadır(15).

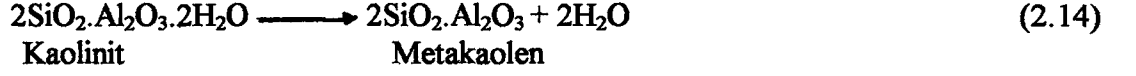
"Düşen hız periyodu" denen kurumanın son aşamasında kuruma hızını, kilin gözeneklerinden yüzeye akan suyun difüzyon hızı belirlemektedir(8). Kilin bünyesinde hasar oluşmadan nemin bünyeden uzaklaşabilmesi için bünyenin gözeneklerinin açık olması gerekmektedir. Bu nedenle kile belirli oranlarda kuvars gibi dokuyu açan kil olmayan maddeler katılabilmektedir. Bu durumda kuvars ile de kilin plastikiği azalmaktadır. Şekillendirme sırasında kile katılan su miktarı arttıkça rötreye miktarı artmaktadır. Bu sebeple katılan su miktarı ve partikül boyutu kontrol edilmelidir(14).

2.1.12. Killerin pişme ve sinterleşme özelliği

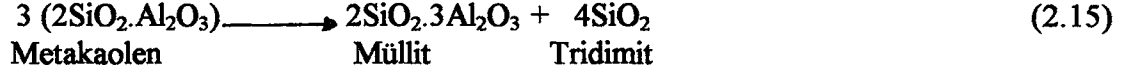
Kil, düşük sıcaklık derecesindeki bir etüve konursa sertleşir, önce serbest haldeki suyunu, daha sonra da emdiği suyun önemli bir kısmını kaybederek gittikçe artan bir rötreye yapmaya başlar. Etüvün sıcaklığı 200°C'yi geçmezse bu olay geriye dönüşebilir. Bu taktirde

kil soğuduğu zaman öğütülüp pudra haline getirilirse su ile yoğurulması halinde plastiklik gösterebilir.

200°C'den itibaren ve sıcaklık derecesinin yükselmesine paralel olarak özellikle 450-650°C arasında kil, molekül suyunu kaybeder.



Eğer sıcaklık 600 °C'yi geçmezse, kil sadece molekül suyunu kaybeder ve $2\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ elde edilir. 850-950 °C'ye doğru aşağıdaki ikinci reaksiyon meydana gelir.



Bu reaksiyon sonunda Müllit ve Tridimit meydana gelir. 800°C'de pişmiş kil pudra haline getirilirse bir puzolan elde edilir. 200-800° arasındaki rötreye çok fazla değildir. Sıcaklık 800 °C'dan 1000 °C'ye kadar yükseldiği zaman önemli ölçüde rötreye meydana gelir. 1200-1500°C'ler arasında, kilin pişmesinden meydana gelen maddeler yapışkan bir kıvamda erimeye başlarlar ve camlaşırlar(2).

Killerin pişmesi sırasında kendi bünyelerinde meydana gelen endotermik ve ekzotermik reaksiyonlar diferansiyel termik analizlerle tespit edilir.

Kuvars, feldspat, demir oksit, kalker ve kolloid unsurlar bakımından zengin olan bazı killer 900 °C civarında sinterleşirler.

Bazı killer ise 1000 °C 'ye kadar normal oldukları halde , 1050-1100 °C arasında feldspatların erimeye başlaması ile büyük değişikliklere uğrarlar. İnce seramiğin bazı dallarında 1300-1400 °C 'ye kadar erime olmamalıdır. Killerde erime derecesi ile sinterleşme derecesi arasında belli bir mesafe olmalı, bu mesafeyi daraltan karbonat gibi unsurlar bulunmamalıdır (1).

Kil içerisinde, özellikle tuğla-kiremit topraklarında bol miktarda bulunan kalker 900 °C' de reaksiyona girer ve 1100 °C' de anortit'e dönüşür. Killerin içinde bulunan çeşitli

unsurların hangi oranda buldukları zaman sinterleşmeyi engelledikleri bilinmeli ve arazi etüdlerinde bu hususa dikkat edilmelidir .

Kil içerisinde kuvarsm ince taneli ve homojen dağılmış olması sinterleşmeyi kolaylaştırır, çabuklaştırır. Eğer kil, illit ve montmorillonit grubu mineraller içeriyorsa, pişme sırasında erken sinterleşme ve erken deformasyon görülür.

Pişme küçülmesi molekül kafesinin parçalanması ve porozitenin azalmasının bir sonucudur. Porozite bir minimum değere ulaştığında sinterleşme tamamlanmış sayılır (1).

2.1.13 Killerin kolloidal karakterleri

Kil tanecikleri su içinde kuvvetli kolloidal özellik gösterirler. Killerin kolloidal karakterlerini etkileyen başlıca faktörler, kil partiküllerinin boyutları, elektrik yükü ve partikülleri kuşatan su zarfının kalınlığıdır (3,17).

Killer su ile karıştırılmca, partikülleri negatif yük taşıyan süspansiyonlar oluştururlar.

Bu yük



denklemine göre kil partiküllerinin yüzeylerine OH⁻ iyonlarının adsorplamasıyla oluşur. Bu kil süspansiyonları hidrofob kolloidlere ait özellikler gösterirler. Asidik ortamlarda, pozitif yüklü hidrojen iyonları ile veya ortamdaki başka katyonların etkisi ile çökerler. Alkali ilavesi ile de ortamın pH derecesi arttırılmca süspansiyonların stabiliteyi artmış olur, fakat pH' ın 12 'yi geçmemesi gerekir. Daha büyük pH' larda çökme yine hızlanır. Yapıları çok küçük kristallerden oluşmasına rağmen killerdeki bu kolloidal nitelikler, taneciklerin geniş adsorbsiyon yüzeylerinden ileri gelir ve killerin plastiklik özelliğinde etkili bir rol oynar (3).

2.1.14 Killerin imalat özellikleri

Killerin depolarda çabuk kuruması, kolay kırılıp parçalanması, az bir emekle süspansiyon haline getirilmesi, filtre preslerde çabuk süzülmesi, normal plastiklik verilen çamurun basınç altında çok fazla yumuşamaması, preslenme sırasında kil miktarlarının

tabakalar halinde dizilmemesi, kilin işlenmesinin kolay olması ve döküm kabiliyetinin bulunması, kuru mukavemetin fazla ve sinterleşmenin istenilen derecelerde olması gibi hususlar fabrikasyon sırasında killerde aranılan özelliklerdir.

Killerde aranan teknolojik özellikler, kullanım sahalarına göre değişmektedir. Hangi sanayi dallarında hangi özelliklerin aranacağı, jeolojik etüdlere göz önünde bulundurulması için aşağıda genel olarak belirtilmiştir .

Kaba Seramik Killeri : Bu killerin Fe_2O_3 tenörü %1 civarında, kuruma küçülmesi $110\text{ }^{\circ}C$ de % 6, pişme küçülmesi de $1350\text{ }^{\circ}C$ de %5-6 oranında, plastiklik 30-40 arasında bulunmalı, en az $1250\text{ }^{\circ}C$ ye kadar deformasyon görülmemelidir. Kuvars çok ince taneli olmalıdır. Al_2O_3 tenörü genellikle %25-35 arasındadır. Ateş zayıyatı % 10-13 olmalıdır.

İnce Seramik Killeri : Fe_2O_3 tenörü %0.5, kuruma küçülmesi $110\text{ }^{\circ}C$ de %5-6, pişme küçülmesi %3-4, pişme rengi beyaz, plastiklik 20-30, Al_2O_3 tenörü %20-30 olmalı, en az $1500\text{ }^{\circ}C$ ye kadar ateşe dayanıklı olmalıdır. Ateş zayıyatı % 10 civarında olmalıdır.

Refrakter Killer : Ateşe dayanıklılık $1580\text{ }^{\circ}C$ den fazla, Fe_2O_3 tenörü % 3' den az, Al_2O_3 tenörü % 35' den fazla, kuruma ve pişme küçülmesi ise % 12' nin altında olmalıdır. Bu tip killerde plastiklik suyu genellikle % 35-40 arasındadır. Ateş zayıyatı %15' i geçmemelidir.

Bağlayıcı Killer : Bu killerin Al_2O_3 tenörü genellikle % 32-35 arasındadır. Fe_2O_3 tenörü % 1-2 arasındadır. En az $1500\text{ }^{\circ}C$ ye kadar ateşe dayanıklılık aranır. Plastiklik suyu %35-45 arasında değişir.

Tuğla-Kiremit Killeri : Kuvars, alkali, kalker, demir bileşikleri montmorillonit, mika, feldspat gibi eriticileri bol olan $950-1050\text{ }^{\circ}C$ arasında sinterleşen, pişme rengi kırmızı olan ateş zayıyatı genellikle % 20 nin üzerinde bulunan killerdir.

Çimento Killeri : Bunlarda yukarıda anlatılan plastiklik, pişme ve kuruma küçülmesi, pişme rengi ve kuru bağlama mukavemeti gibi özellikler aranmaz.

Killerin kullanıldıkları yerlere ve teknolojik özelliklere göre sınıflanması konusunda yerleşmiş normlar yoktur. Dış ülkelerdeki normlar daha ziyade mineralojik bileşimi esas almaktadır. Aşağıdaki tabloda çeşitli alanlarda en fazla kullanılan isimler, bir fikir vermek için liste halinde gösterilmiştir (1).

Tablo 2.4. Çeşitli Alanlarda Kullanılan Kil Çeşitleri

Jeolojik ve Minerolojik Adlandırma	Teknolojik Adlandırma	Ticari Adlandırma
Çok kumlu kil	Beyaz yanışlı kil	İnce seramik kili-porselen kili
Kumlu kil	Bağlayıcı killer	Kaba seramik kili
Yağsız-az kumlu kil		
Yağlı-az kumlu kil	Refrakter killer	Şamot kili-ateş kili
Plastik kil	A-kili	Tuğla kiremit kili
Çok plastik yağlı kil		
Lekeli kil	AIII- Şamot kili	
Boksitli kil	AII-Şamot kili	Kağıt, tekstil, kimya sanayii
Şiferton		kil ve kaolinler
Kaolinitik kil	AI-Şamot kili	
Betonitik kil		

3. SERAMİKLERİN GENEL ÖZELLİKLERİ

Seramik kelimesi topraktan yapılmış ve pişirilerek sertleştirilmiş malzeme anlamına gelmektedir. "Seramik" sözcüğü yunanca boynuz anlamına gelen ve sert topraktan yapılan bir çeşit vazo için kullanılan "keramos" sözcüğünden türemiştir (16). Günümüzdeki anlamı ise molekül yapıları toprağa benzeyen metal oksitleri, tabii taşları, cam, tuğla, beton, porselen, emaye, metalik olmayan manyetik malzemeleri, refrakter tuğlaları ve pek çok maddeleri içermektedir (25).

Bu malzemelerin ortak özelliği, kimyasal yapılarının bir veya birkaç metal ile başta oksijen olmak üzere bir ametalin birleşmesinden oluşmasıdır. Büyük moleküllerin içindeki atomların birbirlerine iyonik veya kovalent bağlarla bağlanmaları seramiklerin temel özelliğidir. Bu bağlar, seramiklerin kararlılığını yaratarak, erime sıcaklıklarının yüksek olmasını sağlarlar. Bunların genişmeleri önlenmediği takdirde, ısıtılıp soğutulduklarında, ısı gerilmeleri sebebiyle kırılmalar meydana gelmektedir (15).

Seramik malzemelerin bazı özellikleri şöyle sıralanabilir:

- Seramiklerin yapısında serbest elektron bulunmamasından dolayı bunları ısıya ve elektriğe karşı yalıtandırılar.
- Seramik malzemeler fazla deformasyon yapamamasından dolayı kırılma malzeme sınıfına girerler.
- Seramik maddelerin sertliği fazla olmakla beraber, bir çok türleri aşınmaya karşı büyük bir dayanıklılığa sahiptir.
- Seramik malzemenin özellikle basınç mukavemeti büyük olmakta, çekme mukavemeti ise maddenin içinde boşluk ve çatlaklar olması nedeniyle belli bir sınırı aşmamaktadır.
- Seramik maddeler suda çözünmedikleri gibi, yüksek sıcaklıklarda bir çok çözeltinin kimyasal etkilerine karşı gayet dayanıklıdır. HF ve H₃PO₄'in bulunduğu bazı çözeltilerden seramik maddeler sıcakta etkilenmektedir (25).

3.1. Seramik Malzemelerin Sınıflandırılması

Seramiklerin sınıflandırılmasında pek çok yaklaşım mümkündür. Örneğin, kimyasal bileşim , mineral içeriği, üretim yöntemleri, özellikleri veya kullanım alanlarına göre gruplandırılabilirler (15).

3.1.1.Kimyasal bileşime göre sınıflandırma

Seramik malzemenin sınıflandırılmasında en yaygın ve en geçerli sınıflandırma şekli, seramik bünyesinin yapısını esas alan sınıflandırmadır.

Bu sınıflandırmaya göre seramik malzemeler başlıca üç ana gruba ayrılır :

I- Boşluklu Seramik Malzemeler

A) Kaba Seramikler

1) Pişmiş toprak malzeme

- Tuğla
- Kiremit
- Taşıyıcı döşeme malzemesi
- Değişik kaplama malzemesi
- Dekoratif malzeme
- Diğer pişmiş toprak malzeme

2) Ateşe dayanıklı malzemeler (Refrakter malzemeler)

B) İnce Seramikler

1) Fayanslar

- Adi fayanslar
- Karo fayanslar
- Sıhhi tesisat fayansları
- Kalaylı fayanslar
- Mozaik fayanslar
- Plaket fayanslar

- Biskivü fayanslar

II- Yarı Boşluklu Seramik Malzemeler

- Kaplama malzemesi
- Sıhhi tesisat malzemesi

III- Boşluksuz Seramik Malzemeler

A) Greler

- Karo greler
- Mozaik greler
- Sıhhi tesisat greleri
- Kimya endüstrisi greleri

B) Porselenler

- Sıhhi tesisat malzemesi
- Alçak ve yüksek gerilim izolatörleri
- Mutfak eşyası
- Mozaik porselenler
- Özel porselenler
- Bisküvi porselenler

(2).

3.2 Seramik Malzeme Oluşumu

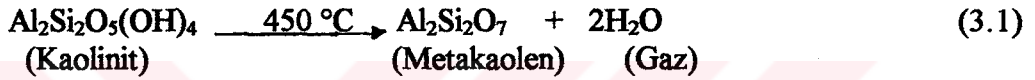
Seramik malzemelerin geleneksel olarak üretiminde kristal ve kristal olmayan tozlar bir bütün haline gelmekte, daha sonra yeterli bir sıcaklığa kadar pişirilerek istenen ürün elde edilmektedir. Pişirme sırasında ilk değişimler, ayrışma ve mevcut fazlardaki faz dönüşümlerinden kaynaklanmaktadır. Pişmeye devam edildiğinde üç büyük değişim söz konusudur : Bunlar tanecik boyutunda büyüme, gözenek şeklinde ve boyutunda küçülme ; katı hal reaksiyonları; kristalli bileşiklerde yeni faz veya gazlar oluşturacak ayrışmalardır. Yani her bir özel durum için önem taşıyan sayısız değişimler söz konusudur (8). Reaksiyonlar killerin tanecik dağılımı, mineralojik ve kimyasal bileşimleri ile bağlantılı olup her kil türü için değişmektedir (14).

Seramik malzeme oluşumunda üç temel unsur söz konusudur (20). Bunlar :

- a) Kristal değişime bağlı katılaşma ile seramik malzeme oluşumu,
- b) Yer değiştirme reaksiyonlarından doğan katılaşma ile seramik malzeme oluşumu,
- c) Camsı faz oluşumundan doğan katılaşma ile seramik malzeme oluşumu (15).

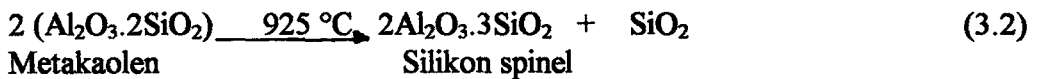
3.2.1. Kristal değişime bağlı katılaşma ile seramik malzeme oluşumu

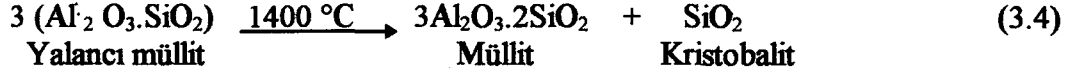
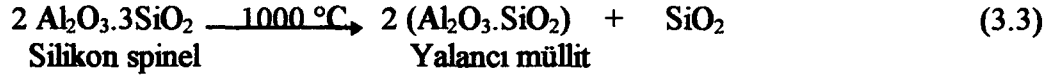
Çok bileşenli bir sistem olan seramik çamuru, bileşimi oluşturan minerallerin türüne, konsantrasyonuna ve bunlara etki eden sıcaklığa göre farklı kristal değişimlerine uğrar. Örneğin seramiğin temel minerali olan kaolinit 100°C'nin hemen üzerinde fiziksel suyunu kaybeder. 450-700°C'ler arasında ise kimyasal bağlı su ve hidroksil gruplarını tamamıyla kaybederek ayrışmakta ve metakaoleni oluşturmaktadır. Yapısal olarak metakaolen Si-O hegzagonal tabakalarından oluşan bir üründür (7,26).



Sıcaklık yükseldikçe metakaolen, serbest silis (kristobalit) ve müllit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) oluşturmak üzere reaksiyonlarını sürdürür. Yani alüminyumca zengin bileşen ve serbest silis arasında bir ayrılma olduğu açıktır.

DTA analizleri standart bir pişme hızı altında 600°C'de endotermik bir pik oluştuğunu göstermektedir. 1000°C'de ise ekzotermik bir reaksiyonun varlığını gösterir. X ışınları ile yapılan çalışmalarda bu pikin nedeni, bu sıcaklıkta spinel tipi bir bileşen olan $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ 'ün kristalleşmesine bağlanmıştır(14). Daha sonra yapılan son hassas ölçümler bu bileşenin $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$ değil formülü $2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$ olan silisyum alüminyum spinel olduğu saptanmıştır. Bu bileşik daha sonra kafesten Si iyonlarının uzaklaşması ile yalancı müllit'e ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$) dönüşmekte ve silisin daha da uzaklaşması ile de gerçek müllit'e ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) dönüşmektedir. Serbest silis, kristobalit'i oluşturmakta ancak bu dönüşüm 1350°C'den düşük bir sıcaklıkta oluşmamaktadır. Brindley tarafından tavsiye edilen ve halen geçerli olan bu süreç aşağıdaki kimyasal reaksiyon ile açıklanmıştır (27).





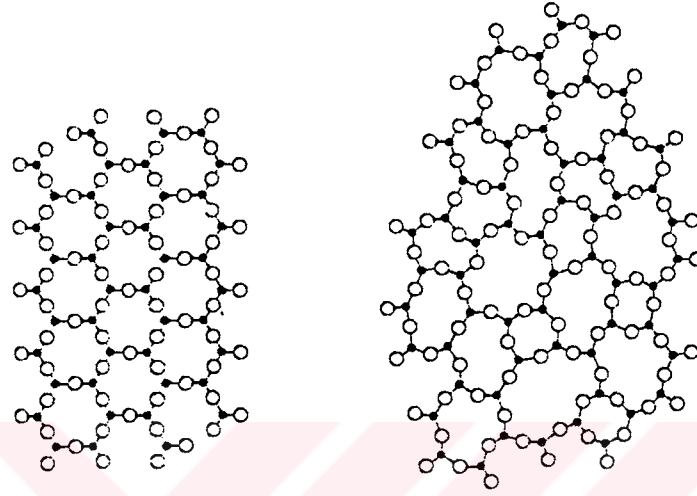
3.2.2. Yer Değiştirme reaksiyonlarından doğan katılaşma ile seramik malzeme oluşumu

Bu tür bir katılaşma tek bileşenli bünyelerde görülür(28). Seramik hamurundaki minerallerin bir kısmı doğal kökenleri ve hazırlanmaları sırasında katılan bazı maddelerin etkisiyle anyon ve katyonlar yönünden bir düzensizlik gösterirler. Bu durumda düzenli kristal ağı bozularak, bazı valans değerleri doymamış durumda kalır(20). Pişme sırasında bozulan bu yapılar tekrar oluşur ve maddenin katı parçacıkları daha az boşluklu, daha katı, daha küçük ürün verecek şekilde reaksiyona girer. Sinterleşme ya da "yer değiştirme reaksiyonu" denebilen ve erime noktası sıcaklığı altında meydana gelen böyle bir katılaşma ile seramik malzeme oluşumunda ana neden, kristallerin temel yapısında yatmaktadır. Bu koşullar çok iyi düzenlenmiş bir kristalin içinde gerçekleşir. Ancak yüzeyde atomların çevresi düzenli durumda değildir ve bu da kristali doymamış ve reaktif tutmaktadır. Sonuç olarak sinterleşmeyi sağlayan itici güç serbest yüzey alanındaki ve enerjideki azalmadır. Bu da daha kararlı bir durum demektir. Pratikte sinterleme, malzemenin saflığı, tanecik boyutu, şekli, ve ısı geçişinden etkilenmektedir. Sinterleme mekanizması tamamıyla malzemenin taşınımına dayanır. Böyle bir katılaşma çoğunlukla hiç bir eritici bileşik içermeyen saf refrakter oksitlerden üretilen seramiklerin üretilmesinde önem taşır (14). Bu tür seramiklerin üretiminde çok ince ve homojen tozlara ihtiyaç vardır. Pişme esnasında difüzyon hızlandığından birbirleri ile temas halinde olan tozlar karşılıklı atom difüzyonu sonucu kenetlenir (29).

3.2.3 Camı faz oluşumundan meydana gelen katılaşma ile seramik malzeme oluşumu

Erime noktalarının üstündeki sıcaklıklarda ergimiş silikatlar oldukça viskoz olurlar. Eriyikteki SiO₄ tetrahedral birimleri birbirlerine dağınık şekilde bağlanmış olup,

bağlar bozulmakta ve diğer bir SiO_4 birimi ile yeniden bağ kurmaktadır. Bu eriyik erime noktasının altında soğutulduğunda, düzenli bir kristal yapı oluşturamadan katılaşmakta ve Şekil 3.1’de görüldüğü gibi amorf yapıda "Cam" fazı oluşmaktadır(15).



(a)

(b)

a) Kristal yapı silikat

b) Camsı yapı silika

Şekil 3.1 Silikat Yapılarının İki Boyutlu Şematik Gösterimi

3.3. Pişme Sırasında Kilin Bünyesinde Oluşan Değişiklikler

Pişme Esnasında ürünü oluşturan hammaddeler fiziksel ve kimyasal olarak değişime uğramaktadır. Hammaddelerin mineral bileşimi, pişme sırasında oluşan fazların türünü, miktarını ve hızını belirlemektedir. Bu nedenle, pişme oldukça karmaşık bir olaydır. Normal bir pişme süreci dört aşamadan oluşmaktadır :

- Kuruma,
- Ayrışma,
- Oksitlenme,
- Camlaşma (vitrifikasyon) (30,31).

850 °C’ de pişen ürünlerde ayrışma ve oksitlenme reaksiyonları ile birlikte sinterleşme ve yoğunlaşarak porozite kaybı başlamaktadır. Eğer arada alkalın eriticileri

varsa kilin Al_2O_3 fazı likit faz içinde ergimeye başlamakta ve kil metakaolene dönüşmektedir ($2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2$) (30).

3.3.1 Kuruma

Kilden mevcut suyun atılması pişmenin ilk safhasında olur ve genellikle üç bölümde incelenir.

- Mekanik bağlı su
- Higroskopik su,
- Kimyasal olarak bağlı su (kristal suyu)

3.3.1.1 Mekanik bağlı su

Mekanik bağlı suyun uzaklaşması minerallere ve uygulanan kurutma metoduna bağlıdır. Bu su, yaklaşık $120\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta tamamen dışarıya atılmalıdır. Aksi takdirde malzemede çatlama ve büzülme meydana gelebilir. Ayrıca, daha sıcak kısımlardaki su daha soğuk yüzeylerde yoğunlaşarak neme neden olur. Bu da, malzemede, genleşme gibi etkiler doğurur.

3.3.1.2 Higroskopik su

Higroskopik su, kil mineralleri tarafından tutulan su olup, ilk kurutma aşamasında genellikle atılamamaktadır. Bu suyun atılması için gerekli olan sıcaklık ve ısıtma hızı bünyenin minerolojik ve mekanik oluşumu ile firma bağlıdır. Bu su $149\text{ }^\circ\text{C}$ dolayında atılmaktadır. Bu suyun uzaklaşması ile geride oldukça boşluklu bir bünye kalır (14).

3.3.1.3 Kimyasal olarak bağlı su

Kimyasal olarak bağlı su (kristal su) kil maddesi ayrışana kadar bünyeden uzaklaşmaz. Kil mineralleri dışarı su buharı vererek ayrışır. Bu aşamada malzeme tam olarak kuru değilse kesin olarak çatlama riski oluşur (14).

3.3.2 Ayrışma

Seramik bünyelerindeki diğer maddelerin çoğu sülfat, karbonat ve hidrate bileşikler şeklindedir. Bunlar pişme esnasında oksitlenip gazlı ürün şeklinde ayrılmaktadır. Ayrışma sıcaklığı ortamdaki bileşenlere göre değişmektedir. Her sıcaklık için mevcut olan denge basıncı çok fazla ise, gözenekler tıkanmakta, ilerideki ayrışma reaksiyonları güçleşmektedir. Sıcaklıkla orantılı olan ayrışma basıncı, sıcaklığın artmasıyla da artacağından daha fazla şişmeler oluşmaktadır. Bu tür sorunlar çok yüksek pişme hızı uygulandığında ortaya çıkmaktadır. Böylece ürünün iç ve dış yüzeyi arasında sıcaklık farkı oluşmakta ve yüzey camlaşıp iç kısmı tıkanmaktadır. Pişme hızını sıcaklık farkı, katkı maddesi ve safsızlıkların oksidasyon zamanı sınırlamaktadır.

Hidratlar, 100 °C-1000 °C, karbonatlar 400 °C-1000 °C, sülfatlar 1200 °C-1300 °C sıcaklık aralığında ayrılmaktadır. Özellikle CaSO_4 gibi bileşikler suda az çözüldüğünden tuğlada çiçeklenmeye neden olmaktadır (32).

3.3.3. Oksitlenme

Çoğu kil, pişme esnasında oksitlenen bir çok organik madde içermektedir. Oksitlenme oluşmadığı takdirde istenmeyen birçok olaylar ortaya çıkmaktadır. Organik maddeler normal koşullarda 150 °C nin üstünde kömür haline gelerek 300 °C - 400 °C arasında CO_2 , H_2O vererek yanarlar. Düşük sıcaklıklarda pişirilen ürünlerde pişme rejimi çok yavaş gerçekleşmektedir. Karbonlu maddelerin oksidasyonu tamamlanmadan camlaşma olursa ürünün yüzeyi tıkanıp siyah çekirdeklenmeye neden olmaktadır. 650 °C-980 °C sıcaklık aralığında bünye gözenekli iken karbonun ortamdan uzaklaşması gerekmektedir.

Seramiklerde demir sülfürler de camlaşmanın başlaması ile problemlere neden olabilmektedir. 500 °C'nin üzerinde FeSO_4 silis ile birleşerek siyah çekirdeklenmeye neden olmakta, pişmenin devam etmesi ile de şekil bozuklukları oluşabilmektedir (8).

3.3.4 Camlaşma

Geleneksel bir seramik bünyesinde düzenli bir pişme sırasında, ilk eriyen bileşenler sıvı hale geçerek refrakter parçacıkların etrafına doğru yayılmaktadır. Bu esnada bu parçacıklar kısmen erirken, kısmen de kapiler ve yüzey gerilim kuvvetleri ile bir arada tutulmaktadır. Bu olaya "camlaşma (vitrifikasyon)" denir. Sıcaklığın yükselmesiyle eriyen kısmın miktarı artar, camlaşma derecesi yükselir ve tüm kütle sıvı hale geçerek tam camlaşma olur (33). Ergimiş kitlenin bir kısmı iyonların yetersiz hareketi nedeniyle kristalleşmeden bir cam haline gelmekte ve bir katı bağ oluşturmakta, bir kısmı da refrakter parçacıklarla kenetlenen kristaller vermektedir (14,28). Bu sırada eritkenlerin çalışması önemlidir. Kili oluşturan minerallerde bulunan Na, Ca, K, Mg gibi eritici iyonlar varsa, sistemin ergime sıcaklığını düşürmekte ve özellikle 1000 °C gibi düşük sıcaklıkta silis ile viskoz bir sıvı oluşturmak üzere reaksiyona girmektedirler. Bu iyonlar, soğuma esnasında camın Si-O ağındaki boşluklarına yerleşmektedir (7). Bu nedenle oluşan cam miktarı o sıcaklıkta bünyede bulunan bileşenlerin ateşe dayanıklılığına bağlı olarak değişmektedir (14). Kildeki iri kuvars, önceden keskin köşeli iken, sonraları yuvarlaklaşır, ince kuvars taneleri ise eriyerek camlaşma oranını arttırmaktadır (20). 950-1000 °C'lerde iğne biçimli müllit kristalleri, sıcaklık artışı ile prizmatik hale gelerek bir miktar müllit eriyebilmektedir. Müllitin oluşum hızı ve kuvarsin erimesi, malzemenin parçacık boyutuna, safsızlıklara, eriticilerin tipi ve konsantrasyonuna bağlıdır (26). Sonuç olarak denilebilir ki, pişmiş kilin belli başlı ürünleri camsı faz, kristoballit kristalleri ve muhtemelen iri kuvarstr. Bu ürün 1770 °C'de erir (15).

4. TUĞLA ÜRETİMİ

4.1 Tuğla Türleri

Tuğlalar fabrika tuğlaları ve harman tuğlaları olmak üzere iki ana gruba ayrılırlar(34).

4.1.1 Fabrika tuğlaları

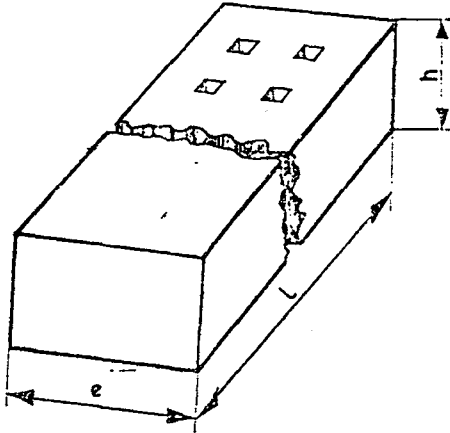
Fabrika tuğlası, kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya karışım halinde harman edilip, gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu, kül ve benzerleri karıştırılarak makinalarla şekillendirildikten ve kurutulduktan sonra fırınlarda pişirilmesi ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir (35).

Fabrika tuğlaları boyutlarına göre üç sınıfa ayrılır. Bunlar :

- Normal Tuğla (NT) : Normal tuğla, boyutları 190mmx90mmx50 mm olan tuğladır.
- Modüler Tuğla (MT) : Modüler tuğla, boyutları 190mmx90mmx85 mm olan tuğladır.
- Blok Tuğla (BT) :Blok tuğla, boyutları modüler tuğladan daha büyük olan tuğladır.

Fabrika tuğlaları delik oranlarına göre üç sınıfa ayrılır. Bunlar ;

- Dolu tuğla (DOT) : Dolu tuğla, deliksiz olan veya toplamı üst yüzey alanının % 15' ini geçmeyecek kadar delikleri bulunan tuğladır (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Dolu Tuğla

b) Seyrek Delikli Tuğla(SDT): Seyrek delikli tuğla, üst yüzey alanının %15-25 arasında delikleri bulunan tuğladır.

c) Az Delikli Tuğla(ADT):Üst yüzey alanının en çok %35 oranında delikleri bulunan tuğladır.

Birim hacminin ağırlığına göre tuğlalar :

a) Dolu Tuğlalar

-2000 kg/m³ (2.0)

-1800 kg/m³ (1.8)

olmak üzere iki tiptir,

b) Seyrek delikli tuğla

-1600 kg/m³ (1.6)

-1400 kg/m³ (1.4)

olmak üzere iki tiptir.

c) Az delikli tuğla

-1200 kg/m³ (1.2)

olmak üzere tek tiptir.

Buna göre Tablo 4.1.'de Fabrika tuğlalarının birim hacim ağırlığı ve basınç dayanımı değerleri verilmektedir.

Tablo 4.1. Fabrika Tuğlalarının Hacim Ağırlığı ve Basınç Dayanımı Değerleri

Tuğla Sınıfı	Tipi	Tuğla Sembolleri	Basınç Dayanımı		Hacim Ağırlığı kg/m ³		Delik Oranı %
			Aritmetik Ortalama kgf/cm ² (N/mm ²)	En Küçük Değer kgf/cm ² (N/mm ²)	Max	Min	
Dolu Tuğla	2000 kg/m ³	2,0/240	240(23,5)	190(18,6)	2000	1801	15
		2,0/180	180(17,6)	145(14,2)			
		2,0/120	120(11,8)	95(9,3)			
	1800 kg/m ³	1,8/220	220(21,6)	175(17,2)	1800	1601	
		1,8/150	150(14,7)	120(11,8)			
		1,8/100	100(9,8)	80(7,8)			
Seyrek Delikli Tuğla	1600 kg/m ³	1,6/220	220(21,6)	175(17,2)	1600	1401	20
		1,6/150	150(14,7)	120(11,8)			
		1,6/100	100(9,8)	80(7,8)			
	1400 kg/m ³	1,4/200	200(19,6)	160(15,7)	1400	1201	25
		1,4/120	120(11,8)	95(9,3)			
		1,4/80	80(7,8)	65(6,4)			
Az Delikli Tuğla	1200 kg/m ³	1,1/150	150(14,7)	120(11,8)	1200	1001	35
		1,2/100	100(9,8)	80(7,8)			
		1,2/60	60(5,9)	45(4,4)			

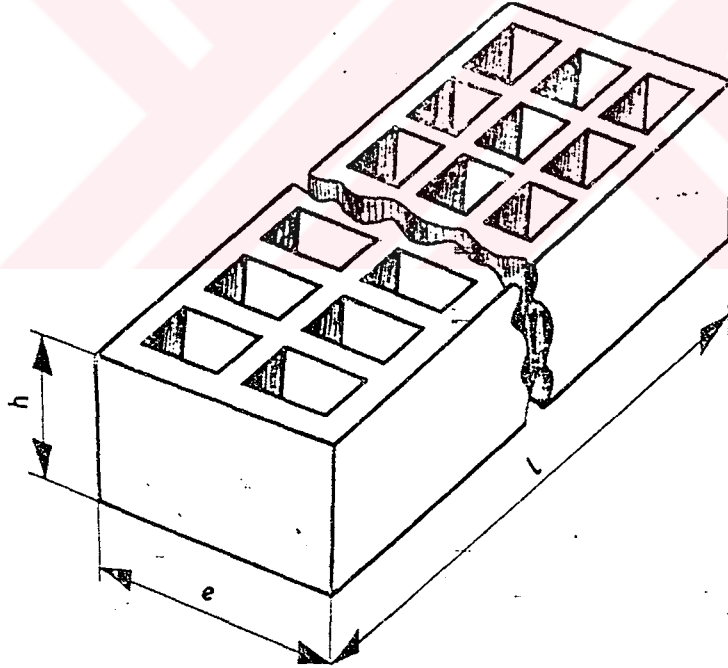
Fabrika tuğlaları dona dayanıklılıklarına göre iki sınıfa ayrılır. Bunlar :

- a) Dona dayanıklı tuğlalar
- b) Dona dayanıksız tuğlalar

Fabrika tuğlaları yapım yöntemlerine göre iki sınıfa ayrılırlar. Bunlar :

a) **Sinterleşmemiş Tuğlalar** : Dolu Tuğlalar (Deliksiz veya toplam delik alanı üst yüz alanının % 15'ini geçmeyecek kadar delikleri bulunan düşey delikli tuğladır). Düşey delikli tuğlalar (delikleri alt ve üst yüzlerine dik bulunan tuğladır) (Şekil 4.2.) ve Yatay Delikli Tuğlalar (delikleri alın yüzüne dik olan tuğlalar) olmak üzere üçe ayrılırlar (35).

Düşey Delikli Tuğlalar; kesit delik alanlarının üst yüz alanına göre Seyrek Delikli Tuğlalar (SDT), Az Delikli Tuğlalar (ADT) ve Çok Delikli Tuğlalar (ÇDT) olarak üçe ayrılırlar.



Şekil 4.2. Düşey Delikli Tuğla

(delik şekil ve sayıları misal olarak verilmiştir).

b) Klinker Tuğlaları : Fabrika tuğlalarından olan klinker tuğlası, sinterleşmeye kadar pişirilmiş, birim ağırlığı ve basınç dayanımı yüksek ve dona dayanıklı bir fabrika tuğlasıdır. Sinterleşme, şekillendirilip kurutulmuş tuğla hammaddesinin erimeye yakın duruma kadar pişirilmiş halidir.

Klinker Tuğlaları, Dolu Klinker Tuğlaları(DOK) ve Delikli Klinker Tuğlaları (DEK) olarak iki tipe ayrılırlar.

a) Dolu Klinker Tuğlası : Hiç deliği olmayan veya üst yüz alanının en çok % 15'i oranında delikleri bulunan klinker tuğlasıdır.

b) Delikli Klinker Tuğlası : Üst yüz alanının % 15'inden daha fazla delikleri bulunan klinker tuğlasıdır. Klinker tuğlalarının biçim ve görünüş özellikleri, su emme oranı, hacim ağırlığı, basınç dayanımı, dona dayanıklılık v.b. özellikleri ile numune alma ve muayene deneyleri TS 4562' de açıklanmıştır(36).

Ayrıca fabrika tuğlaları, dikdörtgenler prizması şeklinde ve yüzleri düzgün olmalıdır(Şekil 4.3.). Fabrika tuğlalarının hacim ağırlığı, basınç dayanımı, dona dayanıklılık özellikleri ile numune alma deneyleri ve muayene işlemleri TS 705'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Tuğla Yüzlerinin Adları

4.1.2. Harman tuğlaları

Harman tuğlası; kil, killi toprak ve balçığın ayrı ayrı veya birlikte yoğrulup gerektiğinde su, kum, öğütülmüş tuğla ve kiremit tozu ve benzerleri ile karıştırılıp şekillendirildikten sonra kurutulup, genellikle harman yerindeki ocaklarda pişirilmesi yolu ile elde edilen ve duvar yapımında kullanılan bir malzemedir.

Harman tuğlaları, basınç dayanımlarına göre orta dayanımlı harman tuğlası ve az dayanımlı harman tuğlası olmak üzere iki sınıfa ayrılır.

Harman tuğlaları, biçimlerine göre de Dolu Harman Tuğlası(DOHT)) ve Delikli Harman Tuğlası(DEHT) olmak üzere ikiye ayrılır.

Dolu Harman Tuğlası(DOHT):Dolu harman tuğlası deliksiz olan harman tuğlasıdır.

Delikli Harman Tuğlası(DEHT):Delikli harman tuğlası, alt ve üst yüzlerine dik doğrultuda delikleri bulunan harman tuğlasıdır.

Harman tuğlalarının basınç dayanımı, dona dayanıklılık v.b. özellikleri ile numune alma ve muayene deneyleri TS 704'de açıklanmıştır(37).

Halen ülkemizdeki yapıların büyük bir bölümünün inşasında kullanılan harman tuğlası, üretimi ilkel yöntemlere dayalı bir tuğla olması nedeniyle mekanik nitelikleri düşük bir tuğladır. Daha çok nehir ve dere yataklarında biriken tortul killerden yararlanılarak üretildiklerinden üretim yeri olarak hammaddeye bağlılık gösterirler. Harman tuğlası hemen her yerde pek az bir yatırımla üretilebilir bir yapı malzemesi oluşu nedeniyle, şehirleşmenin hızla arttığı ülkemizde daha uzun bir süre geniş kullanma alanı bulacaktır(2).

4.2.Tuğla İmalatı

4.2.1.Tuğla imalatında kullanılan hammaddeler

Tuğlalar killi toprağın pişirilmesi ile elde edilirler. Kil ocaktan çıkarıldıktan sonra çürütme havuzunda dinlendirilir, parçalanır, ezilir, inceltir ve nemlendirilir. Şekillendirilip kurutulduktan sonra pişirilir. Bu işlemler sonunda kil sert, deforme olmayan ve belirli özelliklere sahip olan bir malzeme haline gelir(34).

Tuğla imalatı, günümüzde daha çok sekonder killerden yapılmaktadır. Tuğla imalatında önemli bir faktör tane büyüklüğü ile bu tanelerin hammadde içindeki dağılımlarıdır. Çok ince öğütülmüş killer su emme kapasitelerinin yükselmesini sağlar. Yani plastiklikleri yükselir.

Killer kururken bünyelerindeki suyu dışarı atarak kururlar ve bu esnada hacim küçülmesine maruz kalırlar. Bu hacim küçülmesine, kuru küçülme denir(38).

Karbonat(CaCO_3) içeren parçalar iyi öğütülmezse bu parçalar 900°C 'de sönmemiş kirece(CaO) dönüşür, daha sonra havanın içindeki nemi bünye absorbe ederek sönmüş kirece dönüşür.



Bu reaksiyonda bir hacim büyümesi olur ve yüzeye yakın bir noktada bu reaksiyon oluşursa mamülde bir takım kireç patlamaları olur. Son yıllarda Avrupa'da fırınlardan çıkan tuğlaların üzerinde bir takım astarlar sürülerek yüzeydeki mikroskobik gözeneklerin kapatılması yolu uygulanmaktadır. Böylece havanın neminin bünyeye girmesi önlenmiş olur(38).

Öğütme işlemi, yapılacak mamüle göre ayarlanır. Mamül, kaba bir mamül ise öğütme valslerle yapılır. Valsler prensip itibariyle aksi yönde dönen eşit çaplı iki silindirden meydana gelir. Yüzeyleri düz, dişli veya pürüzlü olabilir. Kil ve kaolen gibi yumuşak maddelerin kırılmasında kullanılırlar. Kırmada kullanılacak silindirlerin çapı kırılacak malzemenin altı misli büyüklükte olmalıdır. Toz ve ince tanelerin oluşmaması için silindirlerin aynı hızda dönmesi gerekir.

4.2.2. Şekillendirmede plastiklik

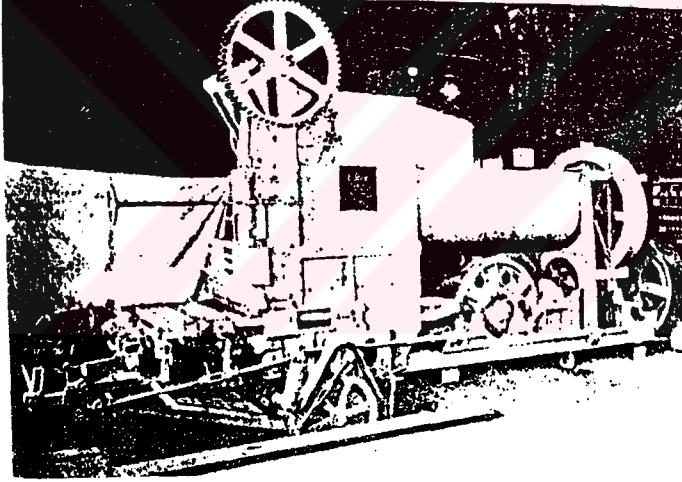
Plastiklik, deforme olmaksızın bir şekilden başka bir şekle geçebilme özelliğidir. Bazı killerin plastiklik özelliği çok iyidir. Kuruma aşamasında su kolaylıkla çıkamaz. Mamülde şekil bozukluğuna veya çatlamaya neden olur.

Su azar azar kile ilave edilir ve kil yoğrulur. Su ilave edildikçe karıştırma işlemi uygulanır. 1 cm^3 su 1 gr'a eşit alınır. 100 gr kile katılan su plastiklik suyu % 15'i olarak bulunmuş olur. İnce taneli plastik killerde, plastiklik suyu % 40, kaba taneli killerde % 25 kadardır(39).

Plastik şekillendirme metodlarından en çok kullanılanı yumuşak çamur prosesidir.

Yumuşak çamur prosesi ; Yumuşak çamur-tuğla üretim prosesinde plastiklik, işlenebilirlik ve kıvamlılığın bir belirtisi değildir. Yumuşak çamur prosesinde tuğlalar ıslak durumda yığılmaz.

Yumuşak çamur prosesi, eskiden elle kalıp haline getirilen tuğlaların bugünkü otomatikleşmiş halidir. Bu tip bir otomatik tuğla makinası Şekil 4.4.'de görülmektedir. Karıştırma ve kıvamlama teknesi veya tuğla balçığını yoğurma değirmeni ana sürücü mekanizmasının hemen ilersindedir. Kil, makinanın üstünden makinaya verilir. Silindirle tabla arasında kalan kil bir miktar su ilavesiyle iyice ezilir. Merkezden uzaktaki silindirle tabla arasında ezilen kil diğer silindirin tekrar ezmesiyle alttaki delikli tabladan aşağı dökülür. Taşıyıcı bantlarla buradan alınan kil, ezici ve inceltici silindirlerden de geçilerek şekillendirme makinalarına verilir.

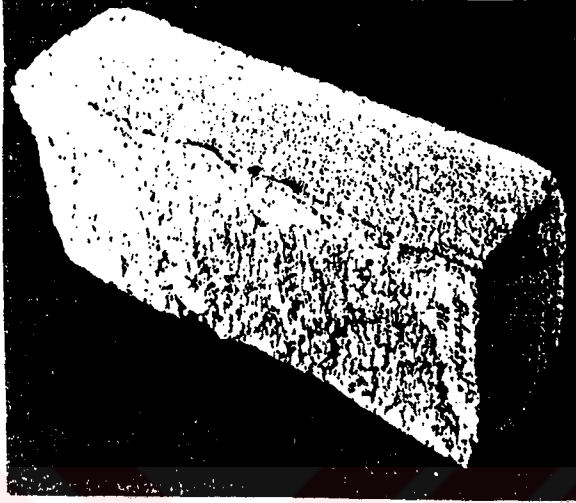


Şekil 4.4. Yumuşak-Çamur Tuğla Makinesi

Yumuşak çamur tuğla tesisi, killerin kurutulduğu, elendiği ve tuğla yapım makinasına vermek için hazırlanıp karışıldığı bir kil hazırlama bölümüdür.

Yumuşak çamur tuğlaları ayırt edici bir görünüme sahiptir. Bu tuğlaların beş kenarı da kumla kaplanır ve altıncı kenar, kilin parçalandığı yeri gösterir. Bu parçalanma hareketi Şekil 4.5.'de görüldüğü gibidir. Burada köşelerin ve kenarların düzgün olmadığı

görülebilmektedir; dip kenarlar, kilin kalıp boşluğunu tamamen doldurmadığı yerlerde genellikle yuvarlıktır.



Şekil 4.5. Tipik Bir Yumuşak-Çamur Tuğlası

Tuğlaların kalıplardan dışarı boşaltımında, kumlanmış kenar aşağıdadır ve bu hareket bazen yumuşak kil parçasının yavaşça çökmesine neden olur(16).

4.2.3. Kurutma

Kurutma, tuğla sanayiinde çok önemli bir yer teşkil eder. Tuğlalar pişirilmeden önce kurutulurlar. Aksi takdirde pişme sırasında bünyedeki nem, tuğla ürününün çatlamasına neden olur.

Maddenin şekillendirilmesine yardımcı olmak için tuğla bünyelerine genellikle su ilave edilir. Kullanılan maddenin cinsine, şekillendirme şekline bağlı olarak kuru preslemede % 5, dökümde % 30 ve üzerinde su ilave edilir. Bu ilave edilen su serbest su olarak adlandırılır ve ürün pişirilmeden önce tamamıyla çıkmış olmalıdır. Genellikle kurutma işlemi 3 şekilde yapılabilir:

- 1)Maddeyi soğuk veya sıcak hava etkisine bırakma ,
- 2)Maddeyi ısıtma,

3)Madde çevresine sülfürik asit gibi kurutucu bir madde koyarak maddeyi çevreleyen atmosferdeki nemi alma(39).

Kurutma yöntemleri doğal kurutma ve yapay kurutma olmak üzere iki grupta toplanabilir.

Doğal kurutma yöntemi, tuğla ve kiremit üreten bir çok fabrikada eskiden beri kullanılan bir kurutma yöntemidir. Üzeri kapalı kurutma sundurmalarında, aralarından hava akımının geçebileceği şekilde aralıklı olarak dizilen şekillendirilmiş kil hamuru atmosferdeki ısı enerjisi ile kurumaya terkedilir. Genellikle, dolu tuğlalar ortalama bir ayda, kiremitler de 15 günde kururlar.

Yapay kurutma yöntemi, doğal kurutmanın sakıncalarını gidermek amacı ile ortaya çıkarılmıştır. Bu sayede kurutma süresi 48 saate inmiş ve doğal kurutmanın atmosfer şartlarına bağlı oluşu ortadan kaldırılmıştır. Bu tür kurutma yönteminde iki çeşit kurutma şekli uygulanır.

-Tünel kurutma fırını ile kurutma

-Kurutma odaları ile kurutma

Tünel kurutma fırını, tünel şeklindedir. Kurutulacak şekillenmiş kil hamuru tünel ağzından içeri sokulur. Tünel içinde belirli bir hızla ilerleyen şekillenmiş malzeme, kendi ilerleme yönüne ters yönde hareket eden hava akımı ile karşılaşır. Hava, tünelin diğer ağzından içeri girdiği veya bu ağza verildiğinde sıcaklığı yüksektir. Fakat tünelin içersinde şekillenmiş kille temas ettikçe sıcaklığı düşer. Böylece, başlangıçta sıcak ve kuru olan kurutucu havanın tünele girdiği zaman sıcaklığı düşer. Bu şekilde kurutulacak kilin ani sıcaklık ve rutubet değişikliklerine uğraması önlenmiş olduğundan kurutmada homojenlik ve rasyonellik sağlanmış olur.

Kurutma odaları 1.36 m genişlikte ve 33.0 m boyunda bir odadır. Odanın ön ve arka yüzlerinde gerektiğinde açılıp kapatılabilecek kapaklar vardır. Yanyana bulunan odaların sayısı fabrikaların üretim kapasitesine göre değişir. Bazı kurutma odalarında, kurutucu hava, ızgara şeklinde olan odanın döşemesinden verildiği halde, bazı tesislerde kurutma odasının arka yüzünden verilir. Kurutma işlemi iki safhada uygulanır.

Terletme:Bu safhada, kurutulacak kil üzerine rutubetli sıcak hava verilir. Bu safha 24 saat sürer.

Kurutma:Bu safhada ise, kurutulacak kil üzerine sıcak hava soğuk hava ile karıştırılarak ve rutubeti azaltılarak verilir. Bu safhanın süreside yine 24 saattir.

Bu işlemlerin sonunda, kurutma odalarının kapıları açılarak kurutma odasının raflarında bulunan kurumuş malzeme, dışarı çıkartılır. Daha sonra da pişirilmek üzere fırına sevk edilir(2).

4.2.4. Pişirme

Kurumuş tuğla veya kiremitler fırın arabalarına yüklendikten sonra fırına verilir(38). Pişirme işlemi için sürekli fırınlar kullanılır. Pişirme sıcaklığı 950-1100°C arasındadır. Yakıt olarak linyit ve fuel-oil kullanılmaktadır.

Tuğla üretiminde belli başlı üç pişirme sistemi vardır;

- 1) Kamara odalar sistemi,
- 2) Hoffmann sistemi,
- 3) Tünel fırın sistemi

Hoffmann tipi üretim sistemi, kamara odalar sistemine göre daha geliştirilmiş bir sistemdir. Birinci sistemde tuğlalar kamara şeklinde odacıklarda pişirilmektedir. Kamaralar doldurulup ateşlenmektedir. Pişme ve soğuma uzun sürmektedir. Bu sistemle çalışan tesislerin kapasiteleri düşüktür ve yapay kurutma üniteleri yoktur(39).

Hoffmann sistemi de kamara odalar sistemine benzemekle beraber, bu fırın, yakıttan elde edilen ısıyı çok yüksek bir verimle kullanan ve üretim hızı ile kapasitesi yüksek olan bir fırındır.

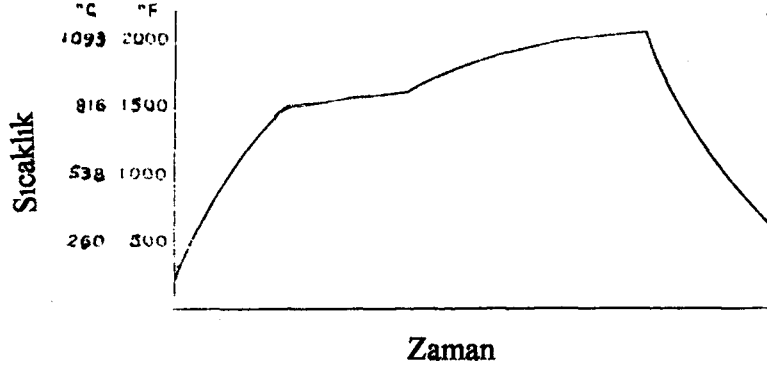
Yanmanın tam pişme durumundaki malzeme üstünde olması fırın içinde hareket eden havanın bir yandan pişmiş malzeme ile temas ederek ısınması, bir yandan da ısınmış havadan çiğ malzemeyi ısıtarak yararlanılması bu fırının önemli üstünlükleridir(2). Yaklaşık 1000°C düzeyine çıkarılan pişme sıcaklığı boşaltma işlemini gerçekleştirmek için insanların odacıklara girebileceği düzeye düşürülmektedir. Görüldüğü gibi hem bu sistemde hem de kamara odalar sisteminde önemli ölçüde bir ısı kaybı meydana gelmektedir.

Modern nitelikli tesisler, tuğla üretiminde en gelişmiş teknolojiyi oluşturan tünel fırın sistemiyle çalışmaktadırlar. Tünel fırın sisteminde kanal şeklindeki fırın iki bölümden oluşmaktadır. Birinci bölüm pişirme, ikinci bölüm soğuma kısmıdır. Pişme ve soğuma işlemleri aynı yerde ve sürekli bir prosesle tamamlandığı için ısı kaybı olmamaktadır.

Şu anda inşaat tuğlasının maksimum pişirme sıcaklığını tayin etmek için hiçbir tatminkar yöntem yoktur. Eğer olsaydı, doğru sıcaklıkta pişirme yapılırdı. Bu da ikinci kalite tuğla sorununu ortadan kaldırırdı. Şimdilik bir tuğla fırınında sıcaklık dağılımını hassas olarak tayin etmek zordur. Müsaade edilen pişme aralığı da dardır. Örneğin optimum pişme sıcaklığı 1030°C olan tuğla, 1010°C'da pişirilirse düşük sıcaklıkta pişmiş olur. 1050°C'de pişirilirse, aşırı pişirilmiştir olur, deforme olabilir(39).

Yapısal kil ürünleri için tipik bir pişirme eğrisi Şekil 4.6.'da gösterilmektedir. Değişik hız periyodları zaman veya fırın uzunluğuna göre çizilmiştir. Periyodlardaki

gerçek zamanlar bir maddeden diğerine değişecektir. 1550°F(843°C) civarındaki oksidasyon aşağı yukarı 6 saat olmalıdır, bazı durumlarda 12-24 saat gerekebilir. Başlangıçta, sıcaklık 100°C'e yükseltilir. Oksidasyon tamamlandıktan sonra sıcaklık mümkün olduğu kadar hızlı yükseltilmelidir. Soğuma, çatlaklara neden olmaksızın mümkün olduğunca hızlı yapılabilir(16).



Şekil 4.6. Yapısal Kil Ürünleri İçin Tipik Fırınlama Programı

Pişmeyi etkileyen faktörlerin başında fırın atmosferi gelmektedir. Fırın atmosferindeki gazlar O₂, N₂, CO, CO₂, SO₂, SO₃, su buharıdır. Bu gazların miktarı ve oranı dikkate alınmalıdır. N₂ ve O₂ hava ile girer. Su buharı ve CO₂ hidrokarbonların(yakıt) yanmasından oluşur. Yeterli O₂ varsa CO₂, yoksa CO oluşur. S bileşikleri yakıttan gelir.

Fırın atmosferinde CO varsa kırmızı demiroksit kısmen redüklenerek siyah demirokside dönüşür.



1100°C'in altındaki sıcaklıklarda demir oksitleri silikalı malzemelerle birleşerek cam oluşturur. Bu camlar genellikle çok akıcıdır. Renkleri yeşilden siyaha değişir. Siyah çekirdeklenme ve şişme olaylarından da sorumludur.

Pişmede renk kontrolü yapılır. Fırın atmosferi hassas olarak kontrol edilmelidir. Renk de vericiler Cu, Ni, Fe, V ve Cr'dur. Bunlar silikat sıvılarının rengini değiştirir. Değerlik değişirse renk de değişir. Cu⁺¹ kırmızı, Cu⁺² yeşil renklidir. Su buharı oluşan cam fazın akıcılığını artırır(39).

5. YAPILARIN DIŞ CEPHESİNE ETKİ EDEN FİZİKSEL VE KİMYASAL OLAYLAR VE MEYDANA GETİRDİKLERİ SONUÇLAR

5.1. Yağmur Suyunun Neden Olduğu Kimyasal ve Fiziksel Değişiklikler

Su, kimyasal ve fiziksel değişimlerde çok büyük rol oynar. Jeolojide "Weathering" atmosferik etkilerin meydana getirdiği değişiklik demektir. Yapılarda ise bu terim hava yağmur, kar ve güneş gibi hava hareketlerine bağlı olarak görünüşlerinde meydana gelen değişiklikleri belirtir. Bu terim yalnızca yüzeysel değişimleri değil, dışarda kullanılan malzemelerin etkilenmelerini de içerir.

5.1.1. Kimyasal değişiklik

Kimyasal değişim suyun bulunduğu bölgelerde olur. Kurak bölgelerde bu durum söz konusu değildir. Su yüzeyde ne kadar fazla kalırsa ayrışmanın etkileri de o kadar fazla olur. Bu durum yapılar için söz konusudur. Doğal koroziif faktörlerden olan CO₂ ve O₂ suyun koroziifliğini artırır. Örneğin feldspat, yağmur suyu ile ayrışarak kile dönüşür. Hidroliz olarak bilinen bu kimyasal reaksiyon karmaşıktır. Kireçtaşı suda, kolayca etkilenir, suyun çözücülüğu koroziif etki yapan CO₂ ve humik asit ile artar. Bu olaya karbonasyon adı verilir.

5.1.2. Fiziksel değişiklik

Fiziksel etkilerin en çok görülen örneği donmadır. Sıcaklık değişimleri genleşme ve büzölmelere neden olarak çatlakları artırır. Su fiziksel olarak aşındırdığı gibi, rüzgar da aşındırıcı maddeleri taşır ve fiziksel değişime neden olur. Yağmur suyu ise donma ve erozyon gibi fiziksel değişimlerin oluşumuna yardımcı olur.

5.1.3. Yapıların dış cephesinde görülen değişiklikler

Yağmur suyuna maruz kalan binanın dış cephe yüzeyleri bir miktar değişime uğrar. Lekelenme olarak bilinen oluşum görünüşü önemli bir şekilde değiştirir. Bu lekeler yağmur suyunun etkisiyle yüzeyin belli kısımlarında tortu bırakırlar. Bazen lekelenme görülmeyebilir. Yağmur suyunun düzensiz akışı görünüşü büyük miktarda bozabilir.

Yapıların dış cephesinde görülen değişiklikler şöyle sıralanabilir :

- Çiçeklenme (lekelenme),
- Asit etkisi, alkali etkisi, sülfat etkisi v.b.
- Korozyon,
- Donma,
- Kondensasyon

5.2. Sıvılara Ait Moleküler Kuvvetler

Sıvılara ait moleküler kuvvetler; buharlaşma, kohezyon, adezyon, kılcallık gibi özelliklerdir. Bunlardan kohezyon, adezyon ve kılcallık yağış sularının dış cephelerdeki hareketlerini belirleyen özelliklerdir(40).

5.2.1. Buharlaşma

Sıvı halden gaz haline geçiş buharlaşma olarak bilinir. Yüzey alanının büyümesi buharlaşma oranını artırır(41). Gözenekli malzemelerin kurumması buharlaşma yoluyla olur. Ayrıca sıcaklığın artışı ile buharlaşma da artar. Yeni bir binada nem yüzdesi fazlaysa, hızlı kuruma binada çatlama olasılığını artırır.

3.2.2. Kohezyon

Cisimlerin moleküllerini kendi aralarında bağlayan kuvvete "kohezyon" denir. Kohezyon gücü, bir maddenin iç kuvvetler etkisiyle kararlılığını koruma özelliğidir. Su filmi kaydırıcı olarak etki edebilmekte ve partiküller birbirleri üzerinden kayabilmektedir. Ancak bu arada kohezyon mukavemeti Van der Waals kuvvetleri, yüzey gerilimi ile sağlanmaktadır. Islak malzemelere biraz su ilavesi ile kohezyon kuvvetleri azaltılabilir.

5.2.3. Adezyon

İki ayrı maddenin yüzey molekülleri arasındaki çekim kuvvetinden meydana gelen ve birbirine değmekte olan iki cismi ayırmaya karşı gelen kuvvete "adezyon" denir. Örneğin kir partiküllerini çıkarmak için kuvvet gerekir, yapı malzemelerindeki değişik maddelerin bozulmadan kalmasını sağlayan kuvvet adezyondur. Adezyon için katı bir madde ve sıvı halde madde gereklidir. Örneğin sıva, birincisi kuruduktan sonra ikincisi uygulanması koşuluyla iki kat yapılır.

Adezyon geleneksel yapım tekniklerinde önemli rol oynar. Adezyon aynı zamanda yeni bina teknolojisinin getirdiği problemlere çözüm bulmada önemli rol oynar. Adezyon da sıvı haldeki malzeme katı malzemenin üzerine uygulanır ve uygulamadan sonra genellikle katı hale gelir.

Spesifik adezyon ise, yüzey alanının kabarmasına neden olur. Adezyon kuvveti sıvının kohezyonundan fazla ise, sıvı katı yüzeye yayılıp emilir. Katı bir yüzeye bir sıvı geldiğinde, sıvının kohezyon kuvveti, katı ile arasındaki adezyon kuvvetinden fazla ise, sıvı yüzeyde kalmaz.

5.2.4. Kılcallık

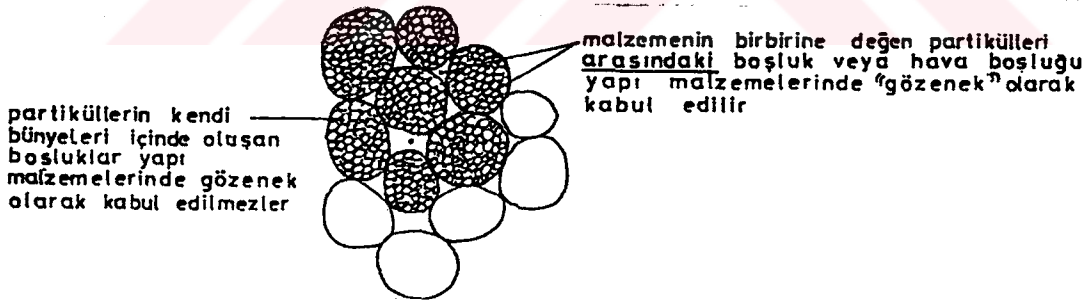
Yapının yüzeyinden duvarın bünyesine su geçişini sağlayan noktalardan bir tanesi de kılcal çatlaklardır. Malzeme yüzeyi suyla temas edince, suyun yüzey gerilimi sebebiyle, malzemenin boşluklarına ve kılcal kanallarına girer ve rüzgarın da etkisiyle duvar bünyesine

yayılır. Emilen su miktarı, geçiş süresine, malzemenin kılcallık katsayısına bağlı olarak değişir. 0.5 mm'den daha büyük açıklıklarda kılcallığın bir önemi olmaz. Gözenekli malzemelerdeki kılcal borular suyun absorpsiyonuna ve dışarı atılmasına etki eder. Bina yapımında kılcallık en çok derzlerde sorun yaratır. Yağmur suyu özellikle kılcal çatlaklardan nüfuz eder. Nemli malzeme şişer, cidarlar birbirlerine basınç yaparak toz haline gelirler. Bir defa kuruyunca bu çatlaklar daha da büyür sonraki şişmede serbest duran partiküller, çatlağın kenarlarını ezerek daha çok büyümesine neden olurlar. Bu çatlaklar hidrofob malzeme ile kaplanınca artık büyümezler.

5.2.5. Porosite (Gözeneklilik)

Malzeme bileşiminde, malzemenin partikülleri arasında oluşan boşluklara "gözenek" denir. Gözenekli malzemeler bünyelerinde pek çok hava boşluğu taşıyan malzemelerdir.

Gözenekli malzemeler, bazı istisnalar dışında suyu absorbe ederek suyun penetrasyonuna izin verirler. Gözeneksiz malzemeler ise suya karşı geçirimsizdirler. Şekil 5.1.'de yapı malzemelerindeki gözenekler belirtilmektedir.



Şekil 5.1. Yapı Malzemelerindeki Gözeneklerin Şematik Gösterilişi

5.3. Suyun Yapıya Geliş Yolları

Yapıyı yıpratıcı faktörlerden en önemlisi olan su, dış cephede kullanılan malzemeler üzerinde çeşitli etkilere sebep olur.

Bir yapıya etki eden su kaynakları şöyle sıralanabilir:

- a) Yağmur suyu,
- b) Zemin içi veya zemin üstü suları,
- c) Yapı elemanlarının yapımı esnasında kullanılan su,
- d) Hasarlardan meydana gelen su,
- e) Bakım ve yapı içindeki insanların kullandığı sular,
- f) İç hacimlerde oluşan su buharı.

Suyun bir alt bileşeni olan yağmur suyu dış cephe yüzeyine doğrudan gelen su kaynaklarından en önemlisidir. Fakat iç kısımlarda kullanılan suların bazen yoğunlaşması sonucu oluşan su buharı duvar yüzeyinde görülen kirlilik gibi problemlere neden olur. Yağmur suyuna direkt temas eden yerler binaların dış duvarları ve çatılarıdır. Bu nedenle bunları yağmur penetrasyonundan korumak gerekir.

5.4. Yağmur Sularının Dış Cephe Malzemeleri Üzerindeki Etkileri

Yağmur suyu yaklaşık arı su durumunda bulunduğu için çözünürlüğü ve hidroliz özelliği daha fazladır. Gerçekte yağmur suyunun fiziksel ve kimyasal etkileri çoğunlukla birbirini tamamladığı için bu etkileri birbirinden ayırmak güçtür. Fakat fiziksel ve kimyasal etkileri iki ayrı bölüm halinde incelemek daha uygundur.

5.4.1. Yağmur sularının dış cephe malzemeleri üzerindeki fiziksel etkileri

Gözenekli malzemelerden oluşmuş bir duvar bünyesine suyun nüfuz etmesi önemli bir fiziksel etki olan don etkisine zemin hazırlar. Çünkü malzeme içinde gözenekler sayesinde biriken su don oluşumunun önemli etkenlerinden biridir.

5.4.1.1. Don etkisi

Malzemelerin gözeneklerindeki suyun donması neticesinde bir basınç oluşur, bu da duvara zarar verir. Örneğin duvar malzemelerinin gerilme dirençleri ile donma oranı arasında sıkı bir ilişki vardır. Gözeneklerin yapısı donmaya maruz kalan malzemenin direncini saptamada önemli rol oynar.

Donmanın çok sert koşulları altında malzemenin tamamı veya bir kısmı parçalanır. Donmanın meydana geliş derecesi iklimsel faktörlere bağlıdır. Çünkü yağmurdan hemen sonra sıcaklığın düşüp donma olayının oluşması mümkündür. Donmaya karşı şu tür önlemler alınabilir;

- Tecrübelerle dayanan dikkatli malzeme seçimi,
- Derzlerde kuvvetli harç kullanmak v.s.

5.4.1.2. Yoğuşma

İç kısımlardan gelen su buharının dış cephe duvarı kesitindeki difüzyonu kesitteki malzeme nitelik ve niceliklerine, iç ve dış termik şartlara bağlı olarak değişir. Kesite su buharı olarak girip çıktığı gibi kesit içinde de kalabilir ve zamanla buharlaşarak ortamı terk edebilir veya bünyede kalabilir. Yoğuşma neticesinde ortamda biriken nem malzemeleri çürütmeye ortam hazırlar.

5.4.2. Yağmur sularının dış cephe malzemeleri üzerindeki kimyasal etkileri

Gözenekli malzemelerde olay, malzeme yüzeyinde başlar ama malzemenin nüfuz edilebilirliğine bağlı olarak malzeme bünyesine de geçer. Kimyasal olaylardan en çok etkilenen gözenekli malzemeler tuğlalar, taşlar, çimento esaslı malzemeler (beton, harçlar, sıvalar, çimento v.s.), ve boyalardır. Kimyasal etkilerin türleri birbiriyle tamamen ilgili değildir.

Kimyasal etkilerin çeşitli türlerini şu başlıklar altında inceleyebiliriz:

- Çiçeklenme,
- Gecikmiş hidratasyon etkisi,
- Asit etkisi,
- Alkali etkisi,
- Sülfat etkisi,
- Korozyon (40).

5.4.2.1. Çiçeklenme

Çiçeklenme dış cephe tuğlaları üzerinde görülen suda çözünebilir tuzların gözenekler vasıtasıyla yüzeye çıkarak, burada suyun buharlaşması sonucu kristalize kalıntı (daha çok beyaz lekeler halinde) bırakması olayıdır. Çiçeklenme olayının tabiatını ve mekanizmasını anlamak, korunma için esastır. Her ne kadar çiçeklenme yok edilmesi zor bir görünüş bozukluğudur ise de genellikle dış cephe tuğlalarına görünüşteki bozukluktan öte zararlı değildir.

Çiçeklenme genellikle beyaz renklidir. Bununla birlikte dış cephe tuğlalarındaki beyaz lekelerin hepsi çiçeklenme değildir. Bazı vanadyum ve molibden bileşikleri bazı seramik ünitelerinde kendilerini “yeşil leke” şeklinde göstermektedir. Bazen de mangan bileşiklerinin tuğla yüzeyinde kalıntı olarak meydana gelmesi sonucu “kahverengi leke” oluşmaktadır.

Çiçeklenmenin oluşabilmesi için bazı koşulların gerçekleşmesi gereklidir. Çözünabilir tuzlar kiremitlerin çatılardaki durumunu ve tuğlanın binalardaki görünüşünü ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkileyebilir. Çözünabilir tuzlar dış cephe malzemesinin içinde veya temas yüzeyinde bulunur. Çözünabilir tuzların kaynakları ürünün kendisi, çimento harçları, yapı destekleme malzemeleri, atmosferdeki kükürt gazları, veya deniz suyu ve sistir . Bunların yanında tuzlarla temas halinde olan su kaynağı ve çözünmeyi sağlayacak yeterli zaman olmalıdır. Dış cephenin içindeki tuz çözeltilerinin yüzeye veya diğer bölgelere geçmesi, bir buharlaşmaya sebep olacak çevre koşullarına bağlıdır.

Yukardaki ifadelerden de anlaşılacağı gibi, eğer duvar malzemesi veya tuğlası hiç suda çözünebilir tuz içermezse ya da özellikle harç gibi diğer malzemelerden gelebilecek çözünebilir tuzları taşıyacak suyun geçişine izin verilmezse çiçeklenme olayı meydana gelmeyecektir. Çiçeklenmenin yok edilmesindeki pratik yaklaşım, tüm kayda değer faktörlerin minimuma indirilmesidir(42).

5.4.2.1.1 Çiçeklenmeye neden olan çözünebilir tuzların yapısı

Çözünabilir tuzların bileşimleri ve kaynakları sayısızdır. Bu tuzlar daha çok derz ve yüzey malzemeleriyle birleşirler ve konstrüksiyonu oluştururlar. Çiçeklenme yapan tuzların kimyasal bileşimi her ne kadar klorürler ise de genellikle alkali ve toprak alkali sülfatları ve karbonatlarıdır. En yaygın çiçeklenme yapan tuzların başında sodyum, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve alüminyum sülfat ve karbonat tuzları gelir (42). Genelde sülfatlar birçok malzemede bulunan belli başlı tuzları teşkil ederler. Kalsiyum sülfat haricinde hepsi suda iyi çözünebilirler, kalsiyum sülfatın çözünürlüğü sınırlıdır.

Çiçeklenmeye neden olan klorür tuzları da genellikle harca hızlandırıcı olarak katılan CaCl_2 , deniz kumu veya temizleme işlemlerinde kullanılan hidroklorik asidin uygun bir şekilde kullanılmamasından kaynaklanmaktadır.

Çiçeklenmenin oluşumunda belirtilen bu tuzlarla birlikte rutubet ve bazı durumlarda leke oluşturan maddeler (Vanadyum, mangan ve demir bileşikleri) de önem taşımaktadır (40,42).

5.4.2.1.2. Çiçeklenmeye neden olan çözünebilir tuz kaynakları

- Malzemenin kendisinde var olan tuzlar: Tuğlalar, doğal taşlar, agregalar, çimento bileşenleri
- Bir malzemenin yapıda kullanımından sonra atmosfere maruz kalarak etkileşimden oluşan tuzlar: Örneğin atmosferdeki CO_2 ve SO_2 'in kalkerli sediment taşlardaki Ca ve Mg karbonata etkileri sonucu tuzlar oluşur. CO_2 atmosferin normal bir bileşeni olduğu halde yakıtların yanması sonucu kirlenen atmosferde normal oranını aşar. Kalsiyum karbonat saf suda az çözüldüğü halde karbondioksit ihtiva eden suda kolayca çözünür. Bu reaksiyonun sonucunda sürekli olmayan kalsiyum bikarbonat oluşur. Çözeltinin buharlaşması sonucu kalsiyum karbonat tekrar çöker. Kalsiyum karbonat ise malzemenin başka bir tarafına taşınır veya malzemedeki suda buharlaşmasıyla tekrar çöker.
- Dış kaynaklardan gelen tuzlar: Derz malzemeleri, taşıyıcı sistem malzemeleri, ayrılmış malzemeler, kullanıcı gereksinimleri v.s. (40).

Başlıca çiçeklenme yapan tuzlar ve bu tuzların muhtemel kaynakları Tablo 5.1.'de verilmiştir.

Tablo 5.1. Çiçeklenmenin Genel Kaynakları

Başlıca Çiçeklenme Yapan Tuzlar		En Muhtemel Kaynaklar
Kalsiyum sülfat	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Tuğla
Sodyum sülfat	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Çimento-tuğla reaksiyonları
Potasyum sülfat	K_2SO_4	Çimento-tuğla reaksiyonları
Kalsiyum karbonat	CaCO_3	Harç veya beton
Sodyum karbonat	Na_2CO_3	Harç
Potasyum karbonat	K_2CO_3	Harç
Potasyum klorür	KCl	Asit ile temizleme
Sodyum klorür	NaCl	Deniz suyu
Vanadil sülfat	VOSO_4	Tuğla
Vanadil klorür	VOCl_2	Asit ile temizleme
Mangan oksit	Mn_3O_4	Tuğla
Demir oksit	Fe_2O_3 veya $\text{Fe}(\text{OH})_3$	Temas halinde demir veya siyah özlü tuğla
Kalsiyum hidroksit	$\text{Ca}(\text{OH})_2$	Çimento

Çiçeklenme mevcut çözünebilir tuz kaynaklarının çok olması açısından anlaşılması oldukça güçtür(43). Dış cephelerde bulunan harç ve diğer ünitelere ilave olarak, bir takım dış kaynaklı çözünebilir tuzların da çiçeklenmeye etkisi olabilir. Bunlardan bazıları aşağıda açıklanmıştır.

5.4.2.1.2.1. Katkılar

Tuğla endüstrisinde, dış cephe harcı için çok çeşitli katkıları mevcuttur. Genel olarak bunlar, öğütme yardımcıları, hava girişini sağlayıcı yardımcıları, su uzaklaştırıcıları, nemlendiriciler olarak sınıflandırılır.

Harçtaki akışın sınırlandırılması, su tutma kabiliyeti ve mukavemeti için bazı katkı maddeleri ilave edilir. Bunların harç ve tuğla arasında veya harç ve takviye ediciler arasındaki bağ etkileri üzerine yeterli bilgiler mevcut değildir. Bazı ilavelerle harç ve tuğla arasındaki bağın zayıflatılması dış cephe duvarlarını suya karşı daha zayıf hale sokar. Bu nedenlerden dolayı, laboratuvar testleri yapılmayan ve bir takım denemelerden geçirilmeyen ilaveler harca katılmamalıdır.

5.4.2.1.2.2. Kalsiyum klorür

ASTM C 270(Birim Tuğla Cepheleri İçin Harçların Özelliği) lisansına göre kalsiyum klorür harca bazen bir hızlandırıcı olarak ilave edilir. Kalsiyum klorür ve kalsiyum klorür ihtiva eden bileşikler, harç içindeki metal malzemeyi korozyona uğratması sebebiyle klorür demir malzemelerin bulunduğu dış cephelerde kullanılması uygun olmaz.

Eğer kalsiyum klorür kullanılmışsa, harç içeriği Portland çimentosunun ağırlıkça % 2 veya tuğla çimentosunun % 1 sınır değerini aşmamalıdır. Böylece, bu kalsiyum klorür miktarı çiçeklenmeye etki etmeyecektir.

5.4.2.1.2.3. Yeraltı Suları

Topraktaki çözünabilir tuzlar yeraltı sularına geçerler. Sonuç olarak, çoğu yeraltı suyu yüksek konsantrasyonda bulunan bu tuzları içerir. Toprak dış cephe ile temas ettiğinde, yeraltı suyu dış cephe tarafından absorblanabilir ve kapiler olayı vasıtasıyla yerin birkaç metre üstüne yükselir. Böyle olunca dış cephelerde tuzların birikmesi mümkün olabilir.

5.4.2.1.2.4. Atmosfer

Bazı araştırmacılar, atmosferdeki sülfür gazlarının tuğlayı kirletebildiğini ifade etmişlerdir. Bu durum belli bir zaman periyodunda yüzeylerdeki harç bileşiminin dağılmasına neden olur. Bu sülfür gazları tuğlanın kendisindeki bileşenlere dahi etki edebilir. Bu tür örneklere çoğunlukla endüstriyel alanlar ve kıyı bölgelerinde rastlanır.

5.4.2.1.3.Çiçeklenmenin oluşumuna etki eden diğer unsurlar

Çeşitli fizikselve kimyasal olayların yanısıra dış cephe elemanları dediğimiz duvarın birçok üniteleri de çiçeklenmeye neden olabilirler.

5.4.2.1.3.1. Tuğla

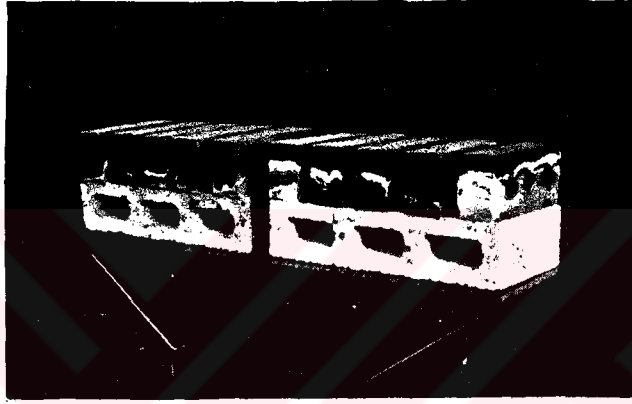
Tuğla imalinde kullanılan hammaddelerin bileşiminden ve prosesin yüksek sıcaklıklarda oluşmasından dolayı, çözünebilir tuzların pişmiş tuğla içinde oluşması mümkündür. Eğer su böyle ürünler tarafından absorblanırsa, çözünebilir tuzlar bir çözelti oluşturup buharlaşma etkisiyle yüzeye taşınır ve çiçeklenme olayı kendini tuğla yüzeyinde gösterebilir. Ancak pişirme öncesi hammadde karışımına çiçeklenmeyi önleyici maddeler katılarak, bu problemin önüne geçilebilir.

5.4.2.1.3.2. Destekleyiciler

Destekleyici olarak kullanılan dış cephe materyelleri veya dış cephe duvarlarının iç yüzeyi büyük miktarlarda çözünebilir tuz içerebilir. Bu üniteler, eğer su alırsa çözünebilir tuzlar çözelti oluşturarak duvarın yüzeyinde çiçeklenme meydana getirebilir.

Beton dış cephe ünitelerinin çeşitli türleri için kil yapısıyla birlikte bir karşılaştırma Young tarafından yapılmıştır. Young çözünebilir tuzların içeriğini ve değişik her bir ünitenin çiçeklenme eğilimlerini deneylerinde ölçmüştür.

Şekil 5.2.'de çözünebilir tuzların destekleme ünitelerinden tuğla yüzeyine transferini gösterir. Bu sonuç şekilde gösterildiği gibi su tepsisi içindeki destekleyici blok üzerine yerleştirilen beş tuğla bloğu tarafından elde edilmiştir. Tuğla daha önce çiçeklenme testine tabi tutulmuş ve çiçeklenme görülmemiştir. Destekleme ünitelerindeki çiçeklenme potansiyeli dış cephe tuğlaları için kullanılmış aynı çiçeklenme testi yöntemi kullanılarak tesbit edilebilir.



Şekil 5.2. Çözünebilir Tuzların Destek Bölgesinden Tuğla Yüzeyine Hareketi

5.4.2.1.3.3. Süsleme Malzemeleri

Bina süsleme malzemeleri, mesela pencere eşikleri, kapı eşikleri, kirişler v.s. ler pişmiş kil ürünlerinden başka diğer materyellerdir. Bu maddeler çözünebilir tuz içeren hazır beton v.b. olabilir. Bu tür materyeller bitişik tuğla yüzeylerinde önemli ölçüde çiçeklenme meydana getirebilir(42).

5.4.2.1.3.4. Harç

Harç, çiçeklenme olayında önemli ölçüde rol oynayabilmektedir. Brownell kanunlarına göre:"Serbest tuğlanın ilk ve en çok görülen kirlenme kaynağı duvar yapımında kullanılan harçtır. Harç, tuğlanın en az dört ve bazen beş tarafı ile yakın temas içindedir. Bu tuğlaya bir ıslaklık kazandırarak tuğlaya harçtan çözünebilir tuzların transferi için bol nem sağlanmış olur. Eğer harç içinde kayda değer çözünebilir madde varsa, bunlar tuğla içine nemle beraber transfer olacaktır.

Çözünebilir tuzların temiz tuğlayı çiçeklenme yaparak kirlenmesi 'serbest alkali' çözeltilerinin harçtan tuğlaya hareket etmesinin bir sonucudur. Bu durum en basit mekanizma olmakla beraber en yaygın olanıdır. Ticari anlamda bu 'yeni bina çiçeklenmesi' olarak bilinir.

5.4.2.1.3.5. Çimento

Harçlarda yaygın olarak bulunan suda çözünebilir alkaliler sodyum ve potasyum bileşikleridir. Portland çimentosunda alkaliler değişik kaynaklara göre aşağı yukarı çimentonun ağırlıkça % 0.02'sinden % 0.90'nına kadar bulunabilmektedir. Dış cephe çimentolarında ise alkali sıralaması çimentonun ağırlıkça % 0.03'den % 0.27'ne kadar değişmektedir.

Portland çimentolarının toplam alkali içeriği, ingiliz çimentoları için % 0.1 –0.5 Na₂O, ve %0.2-1 K₂O olarak değişir, genelde Na₂O yüksek olduğu zaman K₂O düşük tutulur. Diğer ülkelerin çimento içerikleri de benzer sınırlar arasındadır.

Çimentonun sülfat içeriği, alkaliler kadar çiçeklenmeye önemli bir katkıda bulunmazlar. Tuğlacılıkta veya duvarcılıkta çiçeklenme alkali veya kalsiyum tuzlarından oluşur, çimento harcı da çözünebilir alkali içeriğinin bir kısmını oluşturur.

Ayrıca çimento ürünlerinin atmosferik karbonatlanması ile dayanıklılık büyük oranda artmaktadır. Bu olay oluşan kalsiyum karbonatın mükemmel çimentolaşma özelliğinden kaynaklanmaktadır(44).

5.4.2.1.3.6. Kireç

Bir çok araştırmacı kireç'in çiçeklenmeye olan etkisi üzerinde görüş birliği sağlayamamıştır. Harç karışımındaki kirecin, kil veya kum ilavesiyle genellikle çiçeklenme oluşturmadığı açıklanmıştır. Aslında, bu karışımlar yüksek alkali içeren çimentonun zararlı etkilerini azaltma eğilimindedir. Bununla birlikte, tuğla ünitelerinde iyi bağ oluşturması ve tuğla'nın suya karşı direncini arttırması sebebiyle harçtaki kireç çok önemlidir(42).

Kireç taşı kahverengimsi sarı veya sarımsı lekeler oluşturarak dış cepheyi çirkinleştirir. Bu leke kirli atmosfer koşulları nedeniyle siyah is kalıntısına döner. Bu lekelenme harçta bulunan alkali bileşiklerin hareketine de dayanır. Kireç taşları çoğunlukla alkali hidroksit, karbonat ve diğer alkali tuzlarını da içerebilir. Bir çimento harcındaki alkali bileşikler, suyla alkali hidroksitler haline dönüşür ve organik madde orada çözünür ve yüzeye taşınarak buharlaşma sırasında da çökerek, renk bozulmasına neden olur. Alkali içermeyen yüksek oranda hidrate olmuş kalsiyum kireçleri lekelenmeye neden olmaz.

Çiçeklenmenin oluşumunu ve kireç taşlarındaki lekelenme gücünü belirlemek için çimentolar basit bir şekilde denemeye tabi tutulmuştur. 1:5 çimento-adi kum harcı 2 Inch'lik küp haline getirilmiş ve 24 saat bekletilerek kurutulmuştur. Elde edilen geçirgen harç, suya yerleştirilmiş ve üst kısmına nemli filtre kağıdı ile küp şeklinde kireçtaşı konularak aralarında kapiler temas sağlanmıştır. Su küp şeklindeki harçtan geçmiş ve çözünebilir tuzları harçtan kireç taşına taşımıştır. Kireç taşının kenarlarında oluşan buharlaşma bir lekeye neden olmuş ve bir çiçeklenme meydana gelmiştir. Eğer küp şeklinde kırmızı tuğla kullanılırsa çiçeklenme daha kolay görülür.

Dolomitik hidrate kireç harcın yoğrulabilmesi, suyun alıkonması, kumun taşıma kapasitesi, bağlanma ve esneklik yeteneği üzerinde olumlu etkiler yapar. Bu da çiçeklenmenin önlenmesine yardımcı olur ve çatlakları otomatik olarak onarır.

Daha iyi uygulanabilme, daha iyi bağlanma ve daha az suyun nüfuz etmesini sağlamasından dolayı kireçli çimento harcı kullanılır (45).

5.4.2.1.3.7. Kum

Yağ alıcı maddeler arasında en çok bilineni ve en ucuz olanı kumdur. Kum, kil içine katıldığı zaman kilin plastikliğini azalttığı için yağ alıcı madde olarak adlandırılır.

Kumun, kilin pişmesi sırasında meydana gelen şekil değiştirme olaylarını kontrol altına alma bakımından önemli bir rolü vardır. Eğer kum, kil hamuru ile çok iyi bir şekilde karıştırılmışsa, meydana gelecek hacim küçülmelerini, kil hamuruna zarar vermeden önlemek mümkün olur(2).

Harç içinde kullanılan kumların esası silikadır ve bunlar suda çözünmezler. Kumlar yine de çiçeklenme yapabilecek madde ile kirlenebilirler. Bu kirlenmelere deniz suyu, toprak kirliliği, bitki atıkları ve bozulmuş organik bileşikler neden olabilir ve bunlardan herhangi bir tanesi çiçeklenmeye neden olabilir(42).

5.4.2.1.4. Dış cephe üzerinde görülebilen diğer lekeler

Dış cephe yüzeylerinde, ara sıra beyaz çiçeklenmeden farklı olarak bir takım lekeler meydana gelir. Bunlar karbonat kalıntıları(kireç fazlası), silikat kalıntıları(beyaz köpük), yeşil lekeler ve kahverengi lekeler'dir.

5.4.2.1.4.1. Karbonat kalıntıları (Kireç fazlası)

Karbonat kalıntıları genellikle gri-beyaz, dikey kabuklu bir leke şeklinde duvar yüzeyinde görünür. Bu kalıntılar bazen "kireç fazlası" olarak adlandırılır. Kireç fazlası harçtaki kirecin doğrudan doğruya bir sonucu değildir. Karbonat kalıntıları aşağı yukarı her zaman dış cephenin yüzeyinde bir küçük delik veya açıklık meydana getirir.

Bu tip bir lekenin mekanizmaları açık bir şekilde anlaşılmış değildir, fakat sık sık kireç taşı mağaralarındaki sarkıtların oluşumuna benzetilmişlerdir. Leke yapan bu kalıntının uzun bir zaman periyodunda oluşabilmesi için bir hayli suya ihtiyaç vardır. Su çözelti içindeki çeşitli kalsiyum bileşiklerinin bir kaçını alarak, delikler vasıtasıyla onları dış cephenin yüzeyine taşır. Kalsiyum bileşiklerinin kaynağı süsleme malzemeleri, harç, destekleyiciler, v.s. olabilir. Yüzeydeki çözelti havadaki karbon dioksit ile reaksiyona girerek kabuklu kalıntıyı meydana getirir. Bu karbonat lekeleri hidroklorik asid'in bir zayıf çözeltisi kullanılarak doğrudan doğruya kalıntıya uygulamak suretiyle uzaklaştırılabilir. Duvar temizlendikten sonra uygun bir şekilde ıslatılıp durulanmalıdır. Açık renkli tuğladan karbonat kalıntılarını uzaklaştırmak için bu işlem kullanılır. Kalıntı, su kaynağı durdurulmadığı sürece muhtemelen yeniden ortaya çıkar.

5.4.2.1.4.2. Silikat kalıntıları (Köpüklenme)

Silikat kalıntıları, bazen "köpüklenme" olarak adlandırılır ve dış cephe tuğlalarının yüzeyinde genel olarak beyaz veya gri renkli lekeler şeklinde görülür. Renk bozulması dış cephe yüzeyinin tüm kısımlarında ya da bazen kısmi olarak düzensiz bir şekilde meydana gelebilir. Silikat kalıntıları hazır beton ve cam kenarlarının bitişiğinde olabilmektedir.

Dış cephe tuğlalarındaki bu silikat kalıntıları imalat işlemi sırasında bazen tuğlada meydana gelen "köpüklenme" ile karıştırılmamalıdır. Bu "köpük" daha tuğla ünitelerinin depolanması sırasında kendini belli eder.

Silikat kalıntılarının dış cephe tuğlalarından uzaklaştırılması çok zordur, bazen temizlenmesi mümkün değildir. Bunlar birçok asitle çözünmezler. Bir silikat kalıntısı ile başa çıkmanın tek pratik yöntemi onları uzun süre hava temasından uzak tutmaktır(42).

Yapısal kil ürünlerindeki köpük, ocaktan çıktığı haliyle ürünlerin yüzeylerinde kalan çözünmeyen beyaz kısımdır. Kurutma safhasında genellikle görünmez, fakat köpük oluşumuna yardımcı maddelerle sonradan oluşabilir.

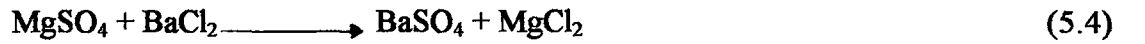
Köpük, kurutma işlemi sırasında seramik eşyanın açık yüzeylerinde magnezyum ve kalsiyum sülfatlar ve baryum klorür kristallerinin oluşmasına neden olur. Köpük yapıcı tuzlar genelde iki fiziksel özellik ve bir kimyasal özelliğe sahiptir. Bunlar yüksek erime noktasına sahip olmaları, suda çözünebilmeleri ve çözünmeyen silikatlar ve alüminosilikatların beyaz killerle reaksiyona girebilmeleridir. Kalsiyum köpüğü pişmiş üründe görülen anortit($\text{CaAlSi}_3\text{O}_8$), magnezyum köpüğü forsterit(Mg_2SiO_4) veya enstatit(MgSiO_3), ve baryum köpüğü baryum ortosilikat(Ba_2SiO_4)'dır. Sodyum sülfat, köpük oluşturamaz, çünkü düşük sıcaklıkta erir, kuvars ve silikatlar ile reaksiyona girdiği yerde gözenekli gövdeden içeriye girerler.

Kalsiyum ve magnezyum sülfatların en genel kaynağı ham kildir. Bunlardan magnezyum sülfatın daha fazla çözünme kabiliyetine sahip olmasından dolayı daha ciddi köpük yapıcıdır. Küçük miktarlarda bulunduğu zaman kile ilave edilen kimyasallar yüzünden bozulabilirler. Baryum karbonat bu tuzların neden olduğu köpüklenmeyi kontrol altına almak amacıyla kullanılan bir katkıdır. Çünkü aşağıdaki kimyasal denklemlere göre köpüklenme olmayan ürünler oluşturacak şekilde reaksiyona girer.



Bu reaksiyon ürünlerinin hepsi kildeki serbest su ile yüzeye taşınma sırasında çözünmez; Bu yüzden tuğla çamurunu yoğurma suyundaki sülfatların hemen çözünerek çökmesi sonucu köpüklenme eğilimi durur. Gerekli katkı maddesi miktarının belirlenmesi için; kullanılan hammaddeler üzerinde bir kimyasal kalite kontrol testi yapılmalıdır. Baryum karbonat suda önemsenmeyecek kadar az çözünür, kil kütlesinin her tarafına kimyasal dağılımın tam olması için kuramsal olarak gerekli miktarın en az iki misli ilave edilir.

Baryum klorür bir köpük yapıcı tuz olarak ifade edilebilir, ama hammaddelerde bir safsızlık olarak bulunmaz. Özellikle, nispeten büyük miktarlarda bulunduğu zaman kalsiyum ve magnezyum sülfatları çöktürmede kullanılabilir. $BaCl_2$, $BaCO_3$ 'den çok daha fazla çözünür; bu suretle daha çabuk tepkimeye girebilen bir katkı maddesidir. Pratikte sülfatlar baryum klorürün bir çözeltisi ile teorik miktarın aşağı yukarı üçte ikisinin ilave edilmesi sonucu çökerler, ondan sonra toplam düzeltmeyi yapmak için baryum karbonat kullanılır. Bu dikkat gerektiren bir işlemdir. Çünkü aşırı $BaCl_2$ 'in en az derecedeki miktarı ciddi köpüklenmeye neden olur. Bununla beraber klorür tuzu masraflı olmakla beraber katkı maddelerinin bir arada kullanımı baryum karbonatın tek başına kullanımından daha ekonomiktir, çünkü baryum'un toplam miktarı kimyasallar ilave edilerek daha çok azaltılır. Toprak alkali sülfatlar ile baryum klorürün reaksiyonuna ait denklemler şöyledir :



Bu reaksiyonların klorür ürünleri köpüklenme yapmaz, çünkü bunlar ürünlerin son pişirme sıcaklığının altında erime noktalarına sahiptirler. Bu tuzlar eridiği zaman sıvı, kil tarafından absorblanır ve seramik eşyanın yüzeyinin altında silikatları oluşturur. $BaCl_2$, erime noktası çok yüksek olduğu için köpüklenmeye neden olur; bundan dolayı yüzeyde reaksiyon oluşur.

Köpük oluşumunun diğer bir mekanizması tamamen özeldir fakat oldukça genel durumlar altında olur. Eğer hammadde kalsit, magnefit veya dolomit gibi kalsiyum ve magnezyum karbonatları içeriyorsa, bunlar kurutma atmosferindeki kükürt oksit gazlarının etkisi ile kurutucuda sülfatlara dönüşürler. Ayrıca köpük oluşumuna neden olan toprak alkali karbonatların bulunması ve kurutma atmosferinin kükürt gazları ile pislenmesi sırasında kil de serbest su da bulunur. Lineer kurutma periyodunda suyun yüzeye doğru taşınması, seramik eşyanın yüzeyinde yeniden sülfatların oluşumu sonucunu doğurur. Bu nedenle kurutucuda köpük oluşabilmesi için üç koşul vardır : 1)Hammaddelerde kalsiyum ve magnezyum karbonatların bulunması, 2)Kurutucu atmosferde kükürt oksitlerin bulunması, 3)Oluşan parçalarda serbest su bulunması

Bu proses için seramik eşyada sülfat oluşturuvcu katkı maddelerine gerek yoktur. Seramik eşya ya temiz havada kurutulmalı ya da kükürtlü gazlar kurutucu ortamdan tamamen uzaklaştırılmalıdır. Problemi çözmeye ikinci yol daha iyidir, çünkü kükürtlü gazlar kurutucuda başka problemlere de neden olabilir.

Atmosferdeki kükürtlü gazların reaksiyonu ile pişmiş seramik eşyanın yüzeyinde köpük oluştuğu zaman yüzeyin tamamında beyaz lekeli üniform bir tabaka gözlenir (16).

5.4.2.1.4.3. Vanadyum (Yeşil veya Sarı Lekeler)

Bazı yapısal kil ürünlerinde tuzlar su ile temas ettiklerinde sarı veya yeşil çiçeklenme meydana gelir. Bu lekeler genellikle vanadyum tuzlarıdır. Her ne kadar bu lekelerin çoğu kolayca görünen açık renkli ünitelerin üzerinde olsalar bile, kırmızı, kahverengimsi, sarı veya beyaz kil ürünlerinde de bulunabilirler. Bu lekeler, kil ürünlerinin imalatı için kullanılan hammaddelerin menşelerinde bulunan vanadyum tuzlarından ileri gelir. Sarı veya yeşil lekeler genellikle vanadil tuzlarının sülfatları, klorürleri veya hidratlarından meydana gelmektedir. Yani vanadyum tuzları, yeşil vanadil sülfat (VOSO_4) ve kahverengi vanadik asit (H_5VO_5) halinde zahmetli çiçeklenmeye neden olur (16,42)

Kil mineralleri, özellikle kaolinit %10'a kadar vanadyum içerir, alüminyum oksitin üç değerli bir katı çözeltisi gibi bulunur. Fırınlama esnasında, vanadyum kilin yapısından açığa çıkar ve beş değerli haline oksitlenir. Vanadyum pentaoksit düşük bir erime noktasına sahiptir fakat silis veya alüminyum oksit ile reaksiyona girmez; bununla beraber, suda çözünür. Tuğlaların gözenekli yapısı vasıtasıyla süzülen su, vanadyum pentaoksitin bir kısmını çözer ve eğer ortamda sülfatlar varsa, vanadil sülfat olarak yüzeyde çöker. Sülfatların yokluğunda, kahverengi vanadik asit çöker. Ara sıra, tuğlanın tuz ruhu ile temizlenmesi onu mavi-yeşil vanadil klorür (VOCl_2) kristalleri haline dönüştürür (16).

Bu tip lekelenmenin mekanizması şöyledir : Su tuğla içinde hareket ederken vanadyum oksitleri ve sülfatları çözer. Bu işlemde, çözelti oldukça asidik olabilir. Çözelti ürünün yüzeyinden buharlaşır, tuzlar tortu bırakır. Vanadil klorür, en çok göze çarpan leke bileşimleri olup, hidroklorik asit ile yıkamanın bir sonucu olarak meydana gelir. Brownell tarafından da ifade edildiği gibi : "Fazla asitli ortamdaki suyun tuğlaya işlemesi, renkli vanadil tuzlarının tanınması için gereklidir."

Vanadyum tuzlarından ileri gelen yeşil lekenin önlenmesi önemlidir, çözünmeyen kalıntı, temizlemeden sonra yapılan işlemlerle uzaklaştırılması çok zor olan bir kahverengi lekeye dönüşebilmektedir.

Yeşil leke oluşmasını mümkün olduğu kadar en aza indirmek için aşağıdaki işlemler tavsiye edilir.

- a) Tuğlalar yerde ve koruyucu örtüler altında depolanmalı,
- b) Açık renkli tuğlanın temizlenmesinde asla asit çözeltileri kullanılmamalı,
- c) Renkli tuğlaların bütün türleri için, tuğla imalatçısının önerdiği temizleme işlemleri kullanılmalı.

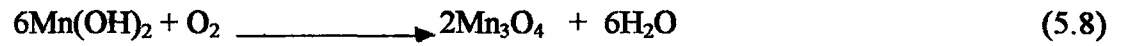
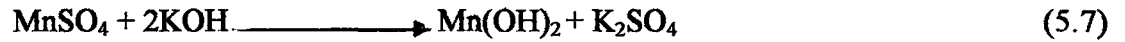
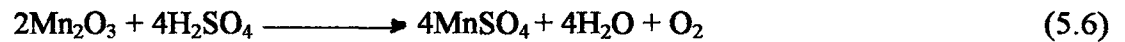
Yeşil vanadyum lekelerini uzaklaştırmak zor bir işlemdir. Yeşil lekeleri asitlerle uzaklaştırmaya çalışmak, teşebbüs edilmemesi gereken bir davranıştır (42).

5.4.2.1.4.4. Mangan (Kahverengi Leke)

Belirli şartlar altında, tuğlanın harçla temas ettiği yerlerde güneş yanığı rengi veya kahverengi ve bazen de gri lekelenmeler meydana gelebilmektedir. Ara sıra, kahverengi lekeler tuğlanın alt yüzeyinde çizgi şeklinde olabilmektedir. Bu tip lekelerin nedeni ünitelerde bir renklendirme maddesi olarak mangan dioksit kullanılmasının bir sonucudur. Bu lekelenme problemi genel çiçeklenme problemiyle yakından ilgilidir. Çünkü mangan sülfat ve klorür tuzları tuğlanın yüzeyine hareket ederler ve harç temas yerlerinde birikirler.

Tuğla pişirme işlemi sırasında, mangan renklendirme maddeleri, sonuçta suda çözünmeyen mangan bileşikleri meydana getirecek şekilde birkaç kimyasal değişikliğe uğrarlar. Zayıf asitlerde çözünürlük dereceleri değişir. Daha önce de açıklandığı gibi, asit çözümleri duvardaki tuğlanın içinde de meydana gelebilir. Örneğin, dış cepheleri temizleme işlemi sırasında hidroklorik asit tuğla tarafından absorblanabilir. Tabii ki bazı bölgelerde yağmur suyunun asidik olma ihtimali de vardır (42).

Kırmızı fırınlama ürünlerine mangan dioksit ilave edildiğinde kahverengi ve siyah renk tozu oluşur. Bu lekenin oluşum mekanizması aşağıda ileri sürüldüğü gibidir.



Beyaz

Kahverengi

Mangan dioksit (5.5) denklemine göre bozunur, 1090 °F (588 °C) ' de fırınlanır; mangan oksitlerin yüksek sıcaklık reaksiyonları demir oksitlerinkine benzer. Yüksek sıcaklıkta üç mangan oksitin hepsi (Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , MnO) asidik çözeltilerde nispeten çözünür ve erime kabiliyetleri düzenli olarak artar. (5.6) denklemi iç silikat yüzeyleri üzerindeki SO_3 moleküllerinin adsorplanmasından türeyen bir sülfirik asit çözeltisindeki Mn_2O_3 'ün çözünürlüğünü ifade eder. Manganın asidik çözeltisi harç bağlantılarını kapsayan duvarın bütün açık yüzeylerine yayılır. (5.7) nolu eşitlik, mangan hidroksitin nötralizasyonunu ve çökmesini ifade eder. Önce hidroksit gözle görülemeyen beyaz bir kalıntıdır, ama hava ve kurutmaya maruz kaldığında, kahverengi mangan oksit, Mn_3O_4 'e dönüşür. Bu harç bağlantılarının kahverengi leke oluşturmasının doğal mekanizmasıdır.

Mangan dioksit kahverengi lekelenme olmaksızın koyulaşmış ateş kili ürünlerinde yıllardır kullanılmaktadır. Bunun nedeni, reaksiyonun ilerlemesindeki yüksek fırınlama sıcaklığıdır. Özellikle indirgenme koşulları altında, mangan alüminyum silikat, $[Mn_3Al_2(SiO_4)_3]$ oluşur. Bu kristal faz asitlerde çözünmez; bu nedenle kahverengi leke oluşumu başlayamaz. Lekelenme olmayan ürünlerde mangan alüminyumsilikat'ın olduğu söylenebilir. Mangan alüminyum silikat ince taneli kaolin ve pirolüsit (MnO_2)'in birbirine karıştırılarak 2020 °F (1104 °C)' de ısıtılması ile hazırlanır (16).

Brownell'e göre : Mangan sülfat veya mangan klorür çözeltileri özellikle kurutma periyodu sırasında tuğladan harç temas yerlerine taşınmaktadır. Bu asidik mangan çözeltileri harçın temel yapısında var olan maddeler tarafından nötralize olabilmektedirler. Nötralizasyonda , çözünmeyen mangan hidroksit harç temas yerlerine çöktirmektedir ve bu kurutmada kahverengi Mn_3O_4 'e dönüşmektedir.

Mangan lekelenmesini mümkün olduğu kadar azaltmak veya yok etmek için şunlara dikkat edilmelidir :

1) Bir bina mangan renkli tuğla kullanılarak yapıldığında hidroklorik asit ile durulama işlemi sırasında asit nötralize edilmeden temizlenmemelidir. Böyle nötralizasyonlar, çözelti içine alınan mangan miktarını azaltmaya yöneliktir.

- 2) Tuğlaya silikonların uygulanması tuğlanın depolanması veya kullanılması esnasında suyun tuğlaya nüfuz etmesini geciktirerek kirlenmeyi önleyebilir.
- 3) Kahverengi veya mangan renkli tuğlanın temizlenmesinde tuğla imalatçısının önerileri dikkate alınmalıdır.

Mangan lekesinin uzaklaştırılması az çok basit bir işlemdir. Bununla birlikte uzaklaştırmanın sürekliliği çoğu kez şüphelidir (42).

5.4.2.1.5. Çiçeklenmenin önlenmesi ve uzaklaştırılması

Dış cephe yüzeylerinden çiçeklenme yapan tuzların uzaklaştırılması nispeten kolay bir işlemdir. Çiçeklenme yapan suda çözünebilir tuzların bir çoğu normal havanın etkisiyle kendiliğinden ortadan kaybolur.

Çözünebilir tuzların ve nemin dış cephe ile temas etmesine engel olmaya çalışmak pratik değildir. Bununla beraber çiçeklenmeye neden olan bu faktörlerin azaltılması mümkündür ve genellikle çiçeklenmenin oluşması ya azaltılır ya da önlenir.

Uygun olmayan işlemler ve hatalar çiçeklenme veya diğer lekelerle neden olabildiğinden, dış cephenin temizleme işlemlerinde özel dikkat uygulanmalıdır (43).

Tuğlaların temizlenmesine başlamadan önce, istenmeyen kalıntılar veya lekeler doğru olarak analiz edilmelidir. Çünkü bazı durumlarda temizlemeden sonra daha kötü problemlerle karşılaşılabilir.

Çiçeklenmeler, genellikle su ile yıkamak ve fırçalamak suretiyle giderilebilir, ancak değişik kökenli çiçeklenmelerin giderilmesinde farklılıklar vardır.

Yanlış depolamanın sebep olduğu çiçeklenmelerden sakınmak için tuğlaların veya pişmiş toprak malzemenin daima kum yerlere konulması ve depolanması gereklidir. Yani malzemelerin, yağmur, kar ve yerdeki nem tarafından doygun hale gelmesini önleyecek şekilde depolanması gerekir (2,43).

Tuğlaları özellikle; ot, ıslak toprak, humuslu toprak, moloz döküntüsü, maden kömürü, kimyasal maddeler, çürümüş organik maddeler üzerine koymamak gerekir (2).

Harçtan dolayı çimentolu malzemelerin yerle teması olmaksızın örtü altında veya içinde depolanmaları gerekir. Harçtaki kumun çiçeklenmeye etki edebilecek herhangi bir şeyle kirlenmesini önlemek amacıyla yerle temas etmeyecek şekilde depolanmalıdır (43).

Na_2SO_4 'ün kireç ile birleşerek oluşturduğu $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ çiçeklenmesi zayıf tuğlaların yüzeylerinde döküntü ve pullanmalara neden olur. Bu tür çiçeklenmeler HCl asidi ile temizlenerek giderilmelidir.

Na_2SO_4 ' den oluşan çiçeklenmeler su ile yıkanarak giderilebilir. Ancak, üretim sırasında tuğla hamuruna BaCO_3 katılarak, Na_2SO_4 'ı, BaSO_4 'a dönüştürmek ve böylece bu tür çiçeklenmeyi önleme olanağı vardır. BaSO_4 suda erimeydiği için çiçeklenmeye sebep olmaz.

Karbonatlara bağlı olan çiçeklenmelerin tanınması için tuğla üzerine bir miktar asit sürülür. Köpürme olursa karbonat çiçeklenmesi olduğu anlaşılır. Bu tür çiçeklenmenin giderilmesi için çiçeklenen yüz, önce su ile daha sonra %5-10 oranında asitli su ile yıkanır. Sonunda tekrar temiz su ile yıkanması gerekir. Asitin, duvarın derinliklerine kadar girmesini engellemek için temizleme işinin çabuk bir şekilde ve küçük yüzeyler halinde yapılması gereklidir.

Güherçile çiçeklenmesi (KNO_3) halinde, çiçeklenme görülen duvar yüzleri temizleninceye kadar fırçalanmalı ve silinmelidir. Güherçile artıkları zeminde bırakılmayarak toplanmalı ve yapıdan uzaklaştırılmalıdır.

Duvar yüzlerinde bulunabilecek mikro-organizmaları yok etmek amacı ile duvar yüzü, içine bu organizmaları öldürecek ilaç katılmış 60-70 °C'daki sıcak su ile yıkanmalıdır.

Çiçeklenmesi temizlenmiş tuğla yüzlerine eski canlılığını kazandırmak için tuğla yüzlerinin tercihen bir bitkisel yağ ile silinmesi tavsiye edilir.

Vanadyum lekeleri ise kostik soda (NaOH) veya potasyum hidroksit (KOH) çözeltileri ile uzaklaştırılmalıdır. Harç bağlantılarındaki mangan lekeleri asetik asit ve

hidrojen peroksit karışımı tarafından kolaylıkla uzaklaştırılır, fakat bundan sonra kuvvetli bir bazla asit nötralizasyonu yapılmalıdır (16).

Macunlama gerektiren dış cephe, kapı ve pencere çerçeveleri arasındaki bağlantılar dış cephe içine yağmurun nüfuz etmesine neden olan kaynaklardır. Bu kolay zedelene yerlere tasarım ve yapım sırasında çok dikkat edilmesi gerekir. Aynı zamanda sık sık kontrol ederek ve yenileme işlemi yaparak veya macunlama yaparak bakım uygulanmalıdır. En kullanışlı dolgu macunu materyalinin ömrü maruz kaldığı şartlara bağlı olarak sadece 4 ile 10 yıl arasındadır (43).

Çiçeklenmelerin duvar yapımı sırasında önlenmesi amacı ile alınacak başka tedbirler de vardır :

- Zemin sularına karşı duvarları su geçirmez hale getirmek,
- Duvar ve kaplama malzemesini harç ile yerine yerleştirmeden evvel su ile tamamen doyacak derecede su içinde bırakmamak,
- Yeni yapılmış yapı kısımlarını yağmura karşı korumak (2),

Ayrıca inşaatın beyaz, açık kahverengimsi sarı veya mangan tuğlaları ile yapıldığı durumlarda, tuğla hala ıslak iken asit bir 0.1 M KOH veya karbonat ile nötralize edilmelidir (16).

5.4.2.2. Geçikmiş hidrasyon etkisi

Bazı malzemeler istenen ve yağmur gibi atmosferik koşullar karşısında karasız malzemelerdir. Örneğin kireç, sıva harçları ve tuğla bu tür malzemelerdendir. Yapılarda kullanılan kireç genellikle kalsiyum karbonattan elde edilir. Bunun yanmasıyla oluşan kalsiyum oksit (CaO), sağlam olmayan bir malzemedir ve sağlam bir malzeme olan kalsiyum hidroksit [Ca(OH)₂] elde etmek için kullanılmadan önce mutlaka su ile söndürülmelidir. Bu olay hidrasyon olarak adlandırılır. Eğer sönmüş kireç, sönmemiş kireç partiküllerine sahip ise ve bu partiküllerin içinde bulunduğu katı malzeme de hidrate olmaya elverişli ise meydana

gelen genişleme hasarlarına yol açar. Bu da yağmur sularının etkisi ile gerçekleşir. Hidratasyon, kalsiyum oksit ihtiva eden kalkerli killerle yapılan tuğlalarda parçalanmalara neden olur.

5.4.2.3 Asit etkisi

Asitlerin dış cephe üzerindeki zararlı etkileri malzemelerin gösterdikleri dirence, yoğunluğa ve asitlerin kaynağına göre çeşitlilik gösterir. Atmosfer gazlarından etkilenen malzemeler, tuğla, çimento esaslı malzemelerdir. Kalsiyum karbonat ile kalsiyum sülfat içeren taşlarda yağmur suyunun akışı kirli malzeme ile süspansiyon oluşturur ve suyun buharlaşması ile bunlar siyah sert kabuk olarak birikirler. Granit ve bazı kum taşları gibi suda çözünmeyen taşlar da yüzeyde daha sert bir kabuk oluştururlar, yani kireç taşı gibi taşlardaki kabuklar yağmur suyu tarafından yumuşatılıp götürülebilirken aynı etki granit gibi taşlarda görülmez.

Tuğlalar genelde atmosferdeki asit gazlara karşı yüksek dirence sahiptirler. Bir cephe yüzeyinde tuğlalar kireç taşı ile birlikte kullanılırlarsa bazen kalsiyum sülfat ile birleşerek bir çürüme oluştururlar ki, bu kireç taşının kirlenmiş atmosferdeki karakteristik aşınmasıdır. Tuğlanın yüzeyindeki kalsiyum sülfat kristalize olarak tabakalar halinde dökülür.

Beton ve çimento esaslı dış cephelere genellikle nemli durumlarda etki eden gazlar CO_2 ve SO_2 'dir. Burada baca gazlarından çıkan kükürtlü gazlar da önemlidir. Eğer bacada yoğunlaşma olursa beton veya çimento harçlı tuğlalar etkilenirler. Portlan çimentolu betonlar, SO_2 gazının etkisine karşı daha hassastır.

5.4.2.4 Alkali etkisi

Tuğla duvarlarda iki tip leke görülür. Harçtaki veya tuğladaki demir bileşiklerinden oluşan paslı lekeler ve betondan gelebilen beyaz lekeler. Paslı lekeler derz harçlarındaki demir tuzlarına bağlıdır. Özellikle demir sülfat yüzeye ilk geldiğinde "çiçeklenme" oluşturur.

Eğer paslı lekeler neden olan demir tuzlarına sahip tuğlalar kullanılırsa, lekenin yatak derzine zarar vermeden büyümesine izin verilerek, iş bittikten sonra derz harcı ile kapatılabilir. Bu durumda lekenin tekrarlanması söz konusu değildir.

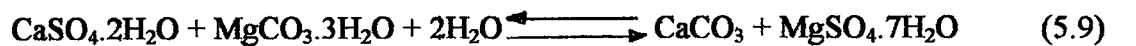
Beyaz lekeler ise kalsiyum karbonat içerirler ve atmosferik CO₂ serbest kireçle reaksiyona girdiğinde oluşurlar. Bu tür lekeler tuğlanın yağmur suyu ile yıkanması ile kaybolmazlar.

5.4.2.5 Sülfat etkisi

Sülfat etkisi deyimi genellikle çözelti halindeki sülfatlarla çimento ve hidrolik kirecin belli bileşenleri arasındaki reaksiyonu belirtmek için kullanılır. Reaksiyon genişmeye, yumuşamaya, parçalanmaya ve sonuçta malzemenin gücünü kaybetmesine neden olur. En çok etkilenen malzemeler, beton, harç, sıva gibi çimento esaslı malzemelerdir. Magnezyum sülfat en tahrip edici olanıdır, çok çözünür. Magnezyum sülfatın etkisi sonucunda harç ve beton yüzeylerinde sert-mat bir kabuk oluşur. Tuğla duvarlarda sülfat etkisi daha çok çimento sıvalar kullanıldığı zaman görülür. Çünkü bu sıvalar tuğlalardaki nemlenmeyi daha uzun süre teşvik eder ve özellikle koruma periyodu sırasında çatlakları geliştirir (2).

Kireçte bulunabilecek CaSO₄, magnezyum oksit ile birlikte veya kendi başına harçtan tuğla yüzeyine çıkarak çiçeklenme yapabilir. Harçtaki magnezyum oksit havadaki CO₂ gazı ile MgCO₃'i oluşturur ve daha sonra bu kalsiyum sülfat ile magnezyum sülfat çiçeklenmesini meydana getirebilir (40).

Harçlardaki magnezyum sülfatın çiçeklenmesi aşağıdaki şekilde olabilir :



Magnezyum karbonat, magnezyum oksit veya hidroksitin karbonasyonu ile oluşur ve CO₂ içeren hava ile temastayken su içinde kararlıdır. Kalsiyum sülfat-alüminattaki su ve CO₂'nin

reaksiyonu sonunda magnezyum karbonat ile reaksiyon için uygun olan kalsiyum sülfat oluşur. Bu tip bir reaksiyon magnezyumlu veya dolomitik kireç içeren dış cephe çimentolarında olur, ama portland çimentosunda uygunluğu çok daha azdır. Düşük MgO içerikli yüksek kalsiyum kireçleri ile çimento karışımlarında aynı şey olmaz. Bu reaksiyon tersinirdir (44).

Şekil 5.3.'de yüzeyde oluşan çiçeklenme görülmektedir.



Şekil 5.3. Harçtan kaynaklanan çiçeklenme

5.4.2.6. Korozyon

Korozyon, bir malzemenin yüzeydeki kimyasal ve elektrokimyasal etkilerle uğradığı değişikliklerdir.

Yüze y korozyonu en çok görülen korozyon çeşitidir. Bütün metaller ve özellikle yapıda kullanılanlar doğru çevresel koşullarda korozyona uğrayabilirler. Korozyonun zararlı olup olmaması metalin ve korozyonun türüne bağlıdır.

Diğer tür korozyon cephe yüzeylerinde yağmur suyunun varlığıyla oluşur, demirin paslanması gibi ve bu korozyonun ürünleri koruyucu olmadığı gibi metalin kemirilmesine neden olur. Dolayısıyla yüzey hem hasara uğrar hem kirliliğe sahip olur. Yağmur suyunun etkisiyle demirsiz metaller de korozyona uğrayabilirler. Korozyonun etkileri şöyle sıralanabilir :

- Yapısal zayıflık,
- Diğer yapı malzemelerinde ayrışma ve çatlama,
- Görünüşteki değişiklikler.

Yağmur suyu, korozyona uğramış metalin üzerinden akarken bazı korozyon ürünlerini alttaki malzemeye taşır ve bu malzemenin lekelenmesine neden olur. Özellikle gözenekli malzemeler böyle lekelenirse, bu lekenin çıkartılması çok zordur. Görüldüğü gibi yağmur suyunun metal cephe yüzeylerinin korozyona uğramasında ve kirlenmesinde hem direkt hem de indirekt etkisi vardır.

Korozyonun zararlı etkileri azaltılmak istenirse, korozyona neden olabilecek durumları önleyecek dizaynlar yapılmalı, belirli durumlar için malzeme seçiminde titizlik gösterilmelidir (40).

5.5 Kaplamalar

Silikon veya akrilik uygulamaları çiçeklenmenin önlenmesi için sık sık önerilen çözümler arasındadır. Bir dış cephe duvarına kaplama uygulanması çiçeklenmenin tekrar meydana gelmesini önleyebilir. Bununla birlikte, çiçeklenmenin oluşmasına neden olan mekanizmaları durdurmadan dış cepheye kaplamanın uygulanması dış cephenin ayrılıp

dağılmasına neden olabilir. Şekil 5.4' de silikon uygulaması yapılmış bir duvar görülmektedir.

Dış cephenin içerisine artarak giren su, çözelti içine çözünebilir tuzları alacaktır. Su işlem gören yüzeye doğru hareket ettiği için kaplamanın iç derinliklerinde (genellikle 3 ile 6 mm) durdurulacaktır (43).



Şekil 5.4 Silikon uygulaması yapılmış duvar (çiçeklenme yok)

5.5.1 Silikon muamelesi

Silikonlar, sentetik polimerlerdir. Bu şekilde olan tek polimer ailesidir. Kuartza benzeyen polimer yapısı gösterirler. Organik artıklara rağmen, silikonların su geçirmez özellikleri son derece belirgindir. Si-O-Si grupları bina malzemelerine metil grupları da dışarıya doğru yönelmişlerdir, böylece suyun geçmesine engel olurlar.

Silikon polimerleri, uygulama ve istenen özelliğe bağlı olarak dolgu maddeli veya dolgu maddesiz olabilirler. Yüksek sıcaklıklar veya oda sıcaklıklarında bir çok mekanizma ile geliştirebilirler. Son biçimleri akışkan, jelatin, elastomerimsi veya rijit olabilir (46).

5.5.1.1 Silikon reçineleri

Silikon reçineleri, organik çözücüler içinde çözülmüş yapısal koruyuculardır. Silikon reçineleri, düşük veya yüksek emme özelliğine sahip açık veya koyu renkli zeminler üzerinde kullanılabilir. Yüksek kaliteli bir silikon reçinesini aşağıdaki dört kritere sahip olmalıdır :

-Kurutma : Bir ürünün yapışmadan kurutulması leke önlemede önemlidir. Herhangi bir yüzey kirliliği yağmur tarafından yıkanır, yani ön cephe kendiliğinden temizlenir.

- Penetrasyon derinliği : Silikonla muamele işleminin dayanıklılığı ciddi olarak penetrasyonun derinliğine bağlıdır. Gözenekler ve kılcal damarlar açık ve boş olmalıdır. Eğer bir inşaat malzemesinin gözenek sistemi su ile dolu olursa en iyi ürün bile sadece yüzeysel bir etki gösterir. Ortamın maksimum penetrasyonu için yüzey ne kadar kuru olursa, şartlar o kadar iyi olur. Reçinenin kalitesi ve kullanılan çözücü yanında, tuğlanın emme özelliği fevkalade önemlidir.

- Ultraviyole (Mor Ötesi) radyasyon direnci : Silikon reçineleri, ultraviyole radyasyonuna karşı çok yüksek direnç gösterirler. Penetrasyon derinliğine ulaşmak çok güç değildir. Çünkü ışınların katı malzemelerdeki penetrasyon derinliği önemsiz derecededir.

-Alkali direnci : Bir muamele işleminin kalitesi için en önemli kriterlerden bir taneside alkali direncidir. Silikon reçinesi ; kireç, çimento v.b. çok alkali inşaat malzemelerine karşı yüksek alkali dirence sahip olmalıdır. Eğer alkali direncinde bir eksiklik olursa, işlem hızlı bir şekilde etkisiz hale gelir (47).

6. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6.1 Denemelerin Amacı

Dış cephe tuğlalarında görülen sarımsak renkli lekelerin (çiçeklenme) nereden kaynaklandığının tespit edilmesi ve bu tür çiçeklenmenin önlenmesidir.

6.2. Killerin Kimyasal Analizi

Bu çalışmada, Eskişehir, Söğüt yöresine ait üç ayrı ocaktan elde edilmiş kil numuneleri üzerinde çeşitli kimyasal analizler yapılmıştır. Bu kimyasal analizlerde Fe_2O_3 , Cl^- , CaO , MgO miktarları volumetrik analiz metodları ile, serbest nem, kızdırma kaybı, asitte çözünmeyen madde (SiO_2 dahil), SiO_2 , çözünmeyen madde (SiO_2 hariç), SO_3 miktarları gravimetrik analiz metodları ile, fosfat, Na_2O , K_2O ve eser miktardaki maddelerin tayini enstrümantal analiz yöntemleri ile yapılmıştır.

Kimyasal analizlerin yapıldığı ilgili yöntemler tezin ekinde verilmiş olup analiz sonuçları Tablo 6.1'de görülmektedir. Tablo incelendiğinde sarı çiçeklenmelerin görüldüğü sorunlu kil numuneleri sorunsuz kil numunelerine göre V_2O_5 ve TiO_2 %'lerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 6.1. Killerin Kimyasal Analizi

%	Sorunsuz (1)	Az Sorunlu (2)	Sorunlu (3)
Fe ₂ O ₃	1,0952	2,05	0,837
Al ₂ O ₃	19,0640	22,6016	24,1479
R ₂ O ₃	20,1592	24,6516	24,9849
SiO ₂	67,28	57,51	60,29
P ₂ O ₅	0,931	0	1,629
CaO	0,0074	0,0101	0,0239
MgO	0,0962	0,368	0,2255
Na ₂ O	0,01512	0,01605	0,01823
K ₂ O	0,0085	0,00475	0,00486
MnO	0,0097	0,0097	0,0050
Cu ₂ O	0,0275	0,0074	0,0074
PbO	0,0060	0,0035	0,0039
ZnO	0,0056	0,0079	0,0108
V ₂ O ₅	0,0599	0,1199	0,1079
TiO ₂	1,248	3,347	3,261
As ₂ O ₃	0,2767	0,08027	0,07037
Bi ₂ O ₃	0,0153	0,0060	0,0060
SO ₃	0,029	0,0120	0,017
Cl	0,1667	0,177	0,2010
Nem	0,8868	1,259	1,002
Kızdırma Kaybı (Ateş Zayıtı)	6,60	9,371	7,46
Asitte Çözünmeyen Madde (SiO ₂ Dahil) HCl ile Referans Metod	91,52	88,295	90,44

Deneysel çalışmada kullanılan killerin kimyasal analizleri, gravimetrik, volumetrik ve enstrümental analiz yöntemleri ile yapılmış ve kimyasal bileşim aşağıdaki Tablo 6.1’de verilmiştir.

6.3 Killerden Laboratuvarda Tuğla Numunelerinin Hazırlanması

Deney örnekleri; hazırlama, kurutma ve pişme olmak üzere üç aşamalı bir şekilde üretilmiştir.

6.3.1 Tuğla hamurunun hazırlanması

Denemelerde esas olarak üç çeşit kil örneği ele alınarak yapılan analizler sonunda biri sorunlu (mamul tuğla üzerinde sarı renkli çiçeklenmelerin olduğu) diğeri sorunsuz (çiçeklenme görülmeyen) numuneler olmak üzere 2 adet kil örneği seçilerek bu örnekler ve bu örneklerden Tablo 6.2’de görüldüğü gibi toplam 9 adet kil örneği elde edilmiştir. Çalışmanın amacına uygun olarak sorunlu ve sorunsuz kil örneklerine bir takım katkı maddeleri ilave edilmiştir. Hazırlanan bu dokuz örnek aşağıda sırasıyla açıklanmıştır :

1 No’lu Örnek : Eskişehir, Söğüt yöresinden elde edilen katkısız, sorunlu kil örneğinden yapılan tuğla numunesidir.

2 No’lu Örnek : Eskişehir, Söğüt yöresinden elde edilen katkısız, sorunsuz kil örneğinden yapılan tuğla numunesidir.

3 No’lu Örnek : TiO_2 katkısının sorunsuz kile, sorunlu örnekteki kadar katılarak TiO_2 ’nin tuğla üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

4 No’lu Örnek : Sorunlu kile %1 oranında TiO_2 katılarak bunun tuğla üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

5 No’lu Örnek : Sorunsuz kile, sorunlu örnekteki kadar TiO_2 ve %1 oranında da Fe_2O_3 katılarak bunların tuğla üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

6 No’lu Örnek : Sorunsuz kile, sorunlu örnekteki kadar V_2O_5 katılarak bunun tuğla üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

7 No'lu Örnek : Sorunlu kile, %1 oranında V_2O_5 katılarak bunun tuğla üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

8 No'lu Örnek : Sorunsuz kile, sorunlu örnekteki kadar V_2O_5 ve %1 oranında Fe_2O_3 katılarak bunların tuğla üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

9 No'lu Örnek : % 50 sorunlu kil ile % 50 oranında sorunsuz kili karıştırarak birbirleri üzerindeki etkilerini görmek amacıyla hazırlandı.

Bu hazırlanan kil örnekleri Tablo 6.2'de özet olarak verilmiştir.

Sorunlu-sorunsuz, katkılı ve katkısız bu kil örnekleri öğütücüden geçirilerek, etüvde bir kaç saat kurutulduktan sonra kil ağırlığının %20'si kadar su ilave edilip yoğurularak plastik kıvama getirilmiştir. Hazırlanan bu hamur örnekleri, şekillendirilmeden önce 24 saat süre ile dış hava ile ilişkileri kesilerek bir naylon torba içinde dinlendirilmiştir. Daha sonra 20x58x77 mm boyutlarındaki çelik kalıplara yerleştirilen kil hamuru örnekleri tahta bir tokmak yardımıyla sıkıştırılmış ve prizmatik şekillendirilmiş yaş tuğla örnekleri elde edilmiştir. Ayrıca yaş tuğla numuneleri etüve verilmeden önce 50 mm'lik iki nokta kilin kuruma çekmesi için işaretlenir.

Tablo 6.2. Denemelerde Kullanılan Katkısız ve Katkılı Kil Örnekleri

Grup No	Örnek Adedi	Hazırlanan Örneklerin Bileşimi
1	1	Katkısız sorunlu kil numunesi
2	1	Katkısız sorunsuz kil numunesi
3	1	Sorunsuz kil+ Sorunlu örnekteki kadar TiO_2 katkılı numune
4	1	Sorunlu kil + %1 daha TiO_2 katkılı numune
5	1	Sorunsuz kil + %1 kadar daha Fe_2O_3 + Sorunlu örnekteki kadar TiO_2 katkılı numune
6	1	Sorunsuz kil + Sorunlu örnekteki kadar V_2O_5 katkılı numune
7	1	Sorunlu kil + %1 daha V_2O_5 katkılı numune
8	1	Sorunsuz kil + %1 kadar daha Fe_2O_3 + Sorunlu örnekteki kadar V_2O_5 katkılı numune
9	1	% 50 Sorunlu kil + % 50 Sorunsuz kil katkısız numune
Toplam 9		

6.3.2 Kurutma

Hazırlanan yaş tuğla numuneleri 6-7 saat oda sıcaklığında bırakılmıştır. Bu örnekler daha sonra Gallenkamp LTD marka etüve alınarak 24-48 saat $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 'de sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuş ve desikatörde oda sıcaklığına gelene kadar bekletildikten sonra ağırlık ve boyutları kuruma yoğunluğu tespiti için ölçülmüştür. Ayrıca etüve konmadan önce atılan 50 mm'lik iki noktanın çekmesi ölçülerek kuruma çekmesi hesaplanır.

6.3.3 Pişme

Hazırlanan tuğla numunelerinin pişmesi için $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ulaşabilen, pişme süresi ve sıcaklığı ayarlanabilen "SFL ADVANCED HIGH TEMPERATURE" marka elektrikli bir fırın kullanılmıştır. Etüvde kurutulan tuğla numuneleri saatte $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ artacak şekilde bir pişme programı uygulanarak pişirilmiştir.

Tuğla numunelerinin belirtilen ısıtma hızı ile $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar pişirilmesinden sonra $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de 3 saat bekletilerek fırının ısıtma devresi kesilmiş ve örnekler fırın içinde kendi halinde soğumaya terkedilmiştir. Yaklaşık 16 saat sonra numuneler fırın içerisinde alınarak desikatörde oda sıcaklığına gelene kadar bekletildikten sonra pişmiş tuğla numunelerinin ağırlık ve boyut ölçümlerine geçilmiştir.

Kumpasla yapılan ölçümler sonunda örneklerin pişme yoğunluğu ve pişme çekmesi (etüv kurutmasından sonra numuneler üzerindeki işaretlenmiş iki nokta arasındaki uzaklık ölçümünden) tayin edilmiştir.

Sözü edilen deneylerden ve kuru tuğla örnekleri üzerinde yapılan diğer deneylerden (kızdırma kaybı, su emme denemeleri) elde edilen sonuçlar ve denemelerin yapılaş şekilleri deney sonuçları bölümünde verilmiştir.

6.4. Deney Sonuçları

Denemelerin yapılabilmesi için, kullanılan killerden hiçbir katkı maddesi katılmadan üretilen örneklerin dışında yedi farklı karışım hazırlanmış ve bu karışımların her birinden birer adet örnek üretilerek bunlar üzerinde sırasıyla :

- Kuruma çekmesi,
- Kuru yoğunluk,
- Pişme çekmesi,
- Toplam çekme,
- Pişme yoğunluğu,
- Ateş zaiyatı (kızdırma kaybı)
- Su emme

deneyleri yapılmış ve bu denemelerin yapılış şekilleri verildikten sonra elde edilen sonuçlar Tablo 6.3.'de yüzde olarak verilmiştir.

Ayrıca Tablo 6.2.'de verilen kil örneklerinden hazırlanmış kil hamurlarının pişirilmesiyle elde edilen tuğla örneklerinin resimleri Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9'da görülmektedir.

6.4.1 Kuruma çekmesi

Bu denemede kil numuneleri su ile ele yapışmayacak kıvamda yoğrulduktan ve bir neylon torbada nemin homojenlenmesi için 1 gece bekletildikten sonra 20x58x77 mm boyutlarındaki paslanmaz çelik kalıplarda şekillendirilir. Şekillendirilen tuğlaların üzerine bir kumpas vasıtasıyla 50 mm uzunluğunda iki nokta işaretlenir (l_0). Oda sıcaklığında 24 saat bekletildikten sonra $105 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki etüvde 24-48 saat kadar kurutulur. Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra işaretlenmiş noktalar arası uzaklık ölçülür (l_1).

Aşağıdaki formül yardımıyla kuruma çekmesi hesaplanmıştır.

$$\text{Kuruma çekmesi (\%)} = \frac{l_0 - l_1}{l_0} \times 100$$

6.4.2. Kuru yoğunluk

Etüvden alınıp bir desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan tuğla numuneleri 0,0001 g hassasiyetle ağırlığı (m_{kuru}), bir kumpas vasıtası ile de en, boy ve yüksekliği ölçülür (V_{kuru}).

Aşağıdaki formül yardımıyla da kuru yoğunluk hesaplanmıştır :

$$d_{\text{kuru}} = \frac{m_{\text{kuru}}}{V_{\text{kuru}}}$$

6.4.3. Pişme çekmesi

Kuruma çekmesi hesaplandıktan sonra tuğla numuneleri bir elektrikli fırında saatte 180 °C artacak şekilde 1000 °C'ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta 3 saat bekletilir ve fırın kapatılarak (akım kesilerek) numuneler fırın içerisinde kendi halinde soğumaya bırakılır. Ertesi gün fırından alınan tuğla numuneleri bir desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra işaretli noktalar arası uzaklık ölçülür (l_2).

Aşağıdaki formül yardımıyla pişme çekmesi hesaplanır.

$$\text{Pişme çekmesi (\%)} = \frac{l_1 - l_2}{l_1} \times 100$$

6.4.4. Toplam çekme

Kuruma çekmesi için şekillendirildikten sonra konulan iki işaret arası uzaklık (l_0) ile pişirme sonrası okunan ölçüm (l_2) ile toplam çekme hesaplanır.

$$\text{Toplam çekme (\%)} = \frac{l_0 - l_2}{l_0} \times 100$$

6.4.5 Pişme yoğunluğu

Fırından alınıp bir desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan tuğla numuneleri 0,0001 g hassasiyetle tartılır ($m_{\text{pişme}}$) bir kumpas vasıtası ile de en, boy ve yüksekliği ölçülerek hacim bulunur ($V_{\text{pişme}}$).

Aşağıdaki formül yardımıyla pişme yoğunluğu hesaplanır.

$$d_{\text{pişme}} = \frac{m_{\text{pişme}}}{V_{\text{pişme}}}$$

6.4.6. Ateş Zayıyatı (Kızdırma kaybı)

Etüvden alınıp bir desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulan tuğla numuneleri 0,0001 g hassasiyetle tartılır (m_k). Daha sonra elektrikli bir fırında saatte 180 °C artacak şekilde 1000 °C'ye kadar ısıtılır. Bu sıcaklıkta 3 saat bekletilir ve fırın kapatılarak numuneler fırın içerisinde kendi halinde soğumaya bırakılır. Daha sonra tuğla numuneleri desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutularak 0,0001 g hassasiyetli bir terazide tartılır (m_p).

Aşağıdaki formül yardımıyla ateş zayıyatı hesaplanır :

$$\text{Ateş Zayıyatı (\%)} = \frac{m_k - m_p}{m_p} \times 100$$

6.4.7. Su emme

Değişmez kütleye kadar pişirilmiş tuğla numuneleri fırından çıkarıldıktan sonra oda sıcaklığına kadar soğutulup tartılır (m_p). 1 litrelik beherlere yerleştirilerek üstünü tamamen kapatacak miktarda saf su konarak 1 saat oda sıcaklığında bekletilir. Sonra ısı kaynağına konularak içindeki suyun kaynaması sağlanır. Buharlaşan su yerine zaman

zaman kaynar su ilave edilerek, tuğla numunesinin devamlı olarak su altında bulunması sağlanır. Kaynama 1 saat sürdürülür. Isı kaynağı su kabından uzaklaştırılarak kap içindeki su ve tuğla numunesi ile birlikte bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğutulur. Soğuyan tuğla sudan çıkarılarak, ıslatılarak sıkılmış bir sünger veya bez ile su damlaları alınır ve beklenilmeksizin tartılır (m_s).

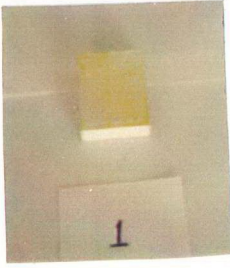
Tuğlanın ağırlıkça su emme oranı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır :

$$\text{Su emme (\%)} = \frac{m_s - m_p}{m_p} \times 100$$

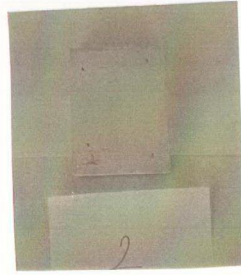


Tablo 6.3 1000 °C Sıcaklıkta Pişirilmiş Tuğla Numunelerinin Bazı Özellikleriyle İlgili Deney Sonuçları

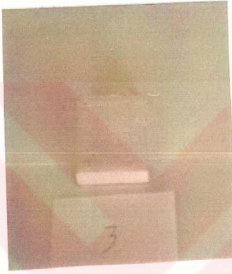
%	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Kuruma Çekmesi	5,20	5,20	4,60	5,20	6,00	4,20	4,40	4,40	4,20
Kuru Yoğunluk (g/cm ³)	1,8613	1,9049	1,9251	1,8922	1,8826	1,85997	1,8394	1,8663	1,8540
Pişme Çekmesi	0,44	0,16	0,0166	1,84	0,58	2,28	3,04	2,56	2,04
Toplam Çekme	3,86	3,08	3,14	4,38	3,48	4,28	5,98	4,76	4,62
Pişme Yoğunluğu (g/cm ³)	1,7864	1,7380	1,7709	1,800	1,7598	1,7094	1,7844	1,7349	1,7407
Ateş Zayıyatı	7,7127	7,3007	7,1847	7,5025	7,0173	7,3238	7,7401	7,2552	7,5337
Su Emme	14,4773	16,0866	16,4295	14,5826	16,6354	16,3931	13,5789	16,3897	15,2551



Şekil 6.1. Sorunlu Tuğla
Örneği (Katkısız)



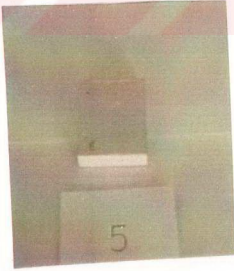
Şekil 6.2. Sorunsuz Tuğla
Örneği (Katkısız)



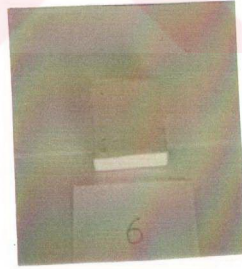
Şekil 6.3. Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği
(Sorunlu Örnekteki Kadar TiO_2 Katkılı)



Şekil 6.4 Sorunlu Kilden Elde Edilen
Tuğla Örneği (%1 Daha TiO_2 Katkılı)



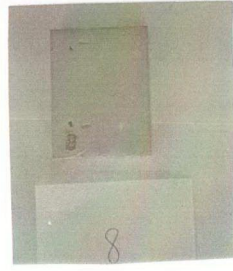
Şekil 6.5. Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği
(%1 Fe_2O_3 + Sorunlu Örnekteki Kadar TiO_2 Katkılı)



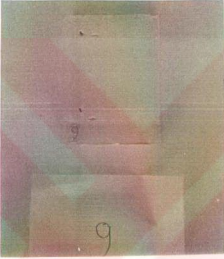
Şekil 6.6. Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği
(Sorunlu Örnekteki Kadar V_2O_5 Katkılı)



Şekil 6.7. Sorunlu Kilden Elde Edilen
Tuğla Örneği (%1 Daha V_2O_5 Katkılı)



Şekil 6.8. Sorunsuz Kilden Elde Edilen Tuğla Örneği
(%1 Fe_2O_3 + Sorunlu Örnekteki Kadar V_2O_5 Katkılı)



Şekil 6.9. % 50 Sorunlu Kil + % 50 Sorunsuz Kilden
Elde Edilen Tuğla Örneği (Katkısız)

7. TARTIŞMA ve SONUÇLAR

Bu yüksek lisans çalışmasında, beyaz dış cephe tuğlaları üzerinde görülen sarı renkli lekelerin (çiçeklenme) nereden kaynaklanabileceği araştırılmış ve bu lekelerin giderilmesi üzerinde çalışılmıştır.

Numune olarak Işıklar Holding'den temin edilen üç ayrı kil üzerinde çalışılmıştır. Bu kil örnekleri sorunlu (tuğlada sarı lekelenmeler oluşturan), sorunsuz (tuğla yüzeyinde hiçbir lekelenme oluşturmayan) ve az sorunlu (tuğla yüzeyinde daha az sınırlı lekeler oluşturan) olarak nitelendirildi. Yapılan kimyasal analiz sonuçlarına (Tablo 6.1) göre sorunlu kil numunelerindeki vanadyum penta oksit ve titanyum dioksit yüzdelерinin sorunsuz kil örneğine göre daha fazla olduğu görülmüştür.

Vanadyum tuzlarının sarı renkli çiçeklenmelere sebep olduğu literatürde yer aldığından sorunlu ve sorunsuz kil numunelerine V_2O_5 katkı maddesi olarak katıldı. 9 adet kil örneğinden hazırlanan tuğlaların yüzeyi renk değişimleri bakımından incelendi (Şekil 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5, 6.6, 6.7, 6.8, 6.9'da görülen resimler).

Yapılan incelemelerde 1 No'lu sorunlu kil örneğinden (katkısız) yapılan tuğla numunesinde sarı renkli çiçeklenme gözlemlendi. 2 No'lu sorunsuz kil örneğinden (katkısız) yapılan beyaz renkli tuğla örneğinde herhangi bir çiçeklenme görülmedi. 3 No'lu kil örneğinden (sorunsuz kil+sorunlu örnekteki kadar TiO_2) yapılan ve rengi 2 No'luya göre daha beyaz olan tuğla numunesinde çiçeklenme gözlemlenmedi. 4 No'lu kil örneğinden (sorunlu kil+%1 daha TiO_2) yapılan tuğla numunesinde sarı renkte çiçeklenmeler olduğu görüldü. 5 No'lu kil örneğinden (sorunsuz kil+%1 Fe_2O_3 + sorunlu örnekteki kadar TiO_2) yapılan açık eflatun rengindeki tuğla örneğinde çiçeklenme görülmedi. 6 No'lu kil örneğinden (sorunsuz kil+ sorunlu örnekteki kadar V_2O_5) yapılan tuğla yüzeyinde sonradan sarı renkte çiçeklenmelerin olduğu görüldü. Bu bize V_2O_5 'in sarı lekelerin oluşumunda etkili olduğu ve bu lekelenmenin ortamdaki sülfat tuzlarının V_2O_5 ile pişme sırasında meydana getirdiği $VOSO_4$ 'tan kaynaklanabileceği ortaya çıkmıştır. 7 No'lu kil örneğinden (sorunlu kil+%1 daha V_2O_5) yapılan tuğla numunesinde fazla miktarda sararma ve aynı zamanda çatlamlar gözlemlendi. Bu da bize V_2O_5 'in aşırısının istenmeyen sonuçlara yol açtığını göstermiştir. 8 No'lu kil örneğinden (sorunsuz

kil+%1Fe₂O₃+ sorunlu örnekteki kadar V₂O₅) yapılan 5 No'ya göre rengi biraz daha koyu olan eflatun rengindeki tuğla numunesinde çiçeklenme görülmedi.

Bunun yanında 9 No'lu kil örneğinden (%50 sorunlu kil+ %50 sorunsuz kil) yapılan tuğla örneği incelendiğinde tuğla yüzeyinde sarı bir leke görülmedi ve beyaz renkli tuğla elde edildi. Bu bize V₂O₅ konsantrasyonunun düşmesiyle (% 0,08) çiçeklenmenin oluşmadığını göstermiştir. Bu bakımdan sorunlu kil örneklerinin sorunsuzlarla uygun oranlarda karıştırılarak kullanılabilceği (değerlendirilebileceği) anlaşılmaktadır.

VOSO₄'tan ileri gelen tuğla yüzeyindeki sarı rengin giderilmesi için hipoklorit çözeltisi ile yükseltgenme yapıldığında +4 değerlikli vanadyum +5değerlikli vanadyuma yükseltgenerek bileşiğin yapısının bozulduğu ve sarı rengin kaybolduğu görülmüştür. Böylece kalite bozukluğuna neden olan VOSO₄ esaslı tuğla yüzeyinde homojen olmayan dağılımdaki sarı renkli çiçeklenmelerin hipoklorit çözeltisi yardımıyla okside edilerek giderilebileceği bir çözüm olarak önerilebilir.

Ayrıca beyaz tuğla üretiminde kullanılan killerin bileşimindeki özellikle sülfatlı (veya kükürtlü) kil örneklerinde V₂O₅ miktarının %0,075'i aşması halinde sarı renkli çiçeklenmelerin oluşabileceği anlaşılmıştır. Bununla beraber sülfat ve sülfürlerin V₂O₅ olması halinde kil numunesinin çiçeklenmesi (sarı renkli) üzerindeki etkileri, birbirleriyle ilişkileri, sülfat ve sülfürlerin, kil ortamında çözünmeyen bileşikleri halinde bağlaması ve miktarlarının sınırlandırılması daha detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Seyhan, İ., 1972. Kaolin, Bentonit, Kil ve Tuğla-Kiremit Toprakları Teknolojisi, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayınları, No : 13, Ankara.
2. Toydemir, N., 1991. Seramik Yapı Malzemeleri, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
3. Tolon, C., 1973. Bazı Bölgelerimize Ait Killerin Fiziksel ve Kimyasal İncelenmesine Katkı, İTÜ Doktora Tezi, İstanbul.
4. Alsancak, G., 1975. Tinkal Cevheri Çözeltilerinden Kolloidal Kilin Çöktürülmesi, Ankara Üniversitesi Fen Fakültesi Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
5. Grim, R., E., 1953. Clay Mineralogy, Mc Graw Hill Book Company, New York.
6. Worrall, W., E., 1982. The Colloid Chemistry of Clays and Ceramic Materials, Ceramic Monograph 3.2.1. Supplement to Interceram (31), s. 1-5.
7. Forral, V., E., 1986. Clays and Ceramic Raw Materials, Elsevier Applied Science Publishers, (Second edition), New York.
8. Kingery, W.,D., 1960. Introduction to Ceramics, John Wiley and Sons, New York.
9. Nay, P., 1981. Introduction to the Geology of Ceramic Mineral Deposits, Ceramic Monographs Handbook of Ceramic, Monograph 1.1.4., Verlag Schmid GmbH Freiburg I. Brg, s. 1-8.
10. Barshad, I., 1959. Clays and Clay Minerals, Factors Affecting Clay Formation, Pergamon Press, London
11. Kırıkoğlu, M., S., 1990. Endüstriyel Hammaddeler, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
12. Özuygur, M., 1959. Pedoloji Ders Notları, İTÜ Hidrojeoloji Enstitüsü, İstanbul.
13. Konta, J., 1979. Deposits of Ceramics Raw Materials, Ceramic Monographs Handbook of Ceramics, Monograph 1.1.3., Interceram 28 and 29 Verlag Schmid GmbH, Freiburg I. Brg, s. 1-20.
14. Singer, F., Singer, S., S., 1963. Industrial Ceramics, Chapman and Hall LTD., London.
15. Tanacan, L., 1993. Hafif Duvar Tuğlası Üretiminde Perlit ve Bazı Katkıların Etkilerinin Araştırılması, İTÜ Doktora Tezi, İstanbul.
16. Brownell, W.,E., 1976, Structural Clay Products, Springer Verlag, Wien, New York, s. 82-157.
17. Güngör, N., 1981. Bentonitik Kil Minerallerinin Yapı ve Özellikleri Üzerine Değişebilen Katyonların Etkilerinin Fiziksel Yöntemlerle İncelenmesi, İTÜ Doktora Tezi, İstanbul.

18. Weaver, C.,E., 1989. Clays, Muds and Shales, School of Geophysical Sciences, Georgia Institute of Technology, Atlanta.
19. Kocataşkın, F., 1976. Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İTÜ Matbaası, İstanbul.
20. Toydemir, N., 1978. Pişmiş Toprak Yapı Malzemesinin Rasyonel Üretim Olanaklarının Araştırılması, İTÜ Mimarlık Fakültesi, Doçentlik Tezi, İstanbul.
21. Akman, S., 1973. Yapı Malzemesi Ders Notları, İTÜ Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
22. Stefanov, S., 1985. Ceramic Glazes and Fritz, Ceramic Monographs Handbook of Ceramics, Monograph 1.1.1., Interceram 34, s. 1-6.
23. Scholz, R., Gardeik, H.,O., 1980. Drying Processes for Porous Materials, Ceramic Monographs Handbook of Ceramics, Monograph 1.5.1., Verlag Schmid GmbH, Freiburg I. Brg, s. 1-15.
24. Vlack, L., H., Van, 1972. Malzeme Bilimine Giriş, Kipaş Dağıtımcılık, İstanbul.
25. Mc Colm, I., J., 1983. Ceramic Science for Materials Technologists, Leonard Hill, New York.
26. Reed, J., S., 1988. Introduction to the Principles of Ceramic Processing, John Wiley and Sons, USA.
27. Brindley, G., W., 1973. The World of Clays and Clay Minerals, Ceramic Bulltein, Vol.52, No :12.
28. Gardeik, H., O., 1981. Thermal Technology for Tunnel Kiln Firing in the Ceramic Industry, Ceramic Monographs Handbook of Ceramics, Monograph Verlag Schmid GmbH, Freiburg I. Brg, s. 1-12.
29. Geçkinli, E., A., 1992. İleri Teknoloji Malzemeleri, İTÜ Matbaası, Gümüşsuyu, İstanbul.
30. Akman, S., 1987. Yapı Malzemeleri, (1. Baskı). İTÜ İnşaat Fak. Matbaası, İstanbul
31. Hermann, R., 1989. Firing of Whitewares, Ceramic Monographs Handbook of Ceramics, Supplement to Interceram 38, No 1.5.7, Verlag Schmid GmbH, Freiburg
32. Ortelli, G., Vincezini, P., 1984. Reduction of Efflorescence in Brick Through Addition of Ceramic Sludges, Ceramic Bulltein, Vol. 63, No : 8, s.1025-1029.
33. Onaran, K., 1985. Malzeme Bilimi, Çağlayan Basımevi, İstanbul.
34. Genç, S., 1984. Duvarlar İçin Düşey Delikli Hafif Tür Tuğla Kagir Özellikleri, İTÜ Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
35. Anonim, 1985. Türk Standartları, TS 705, Fabrika Tuğlaları- Duvarlar İçin Dolu ve Düşey Delikli, UDK 691-421, TSE, Ankara, s. 1-13.

36. Anonim, 1985. Türk Standartları, TS 4562, Fabrika Tuğlaları- Duvarlar İçin Klinker Tuğla, UDK 691-421, TSE, Ankara, s. 1-11.
37. Anonim , 1979. Türk Standartları, TS 704, Harman Tuğlası- Duvarlar İçin, TSE, Ankara, s. 1-5.
38. Güvercin, M., Kiremit İmalatı, Lüks Kiremitkerin Çatılarda Aplikasyonu, Kılıçoğlu Toprak Sanayii ve Ticareti A.Ş.
39. Sur, H., 1996. Bor Konsantrasyon Atıklarının Seramik veya Tuğla Sanayiinde Kullanım Alanlarının Araştırılması, YTÜ Yüksek Lisans Tezi.
40. Zaim, H., 1985. Yağmur Suyu Cephe Elemanları ve Yüzey Kirliliği İlişkisi, İTÜ Yüksek Lisans Tezi.
41. Erdik, E., Sarıkaya, V., 1986. Temel Üniversite Kimyası, A.Ü. Fen Fakültesi Kimya Bölümü, Ankara, s. 246-247.
42. Anonim, 1985. Technical Notes and Brick Construction 23 Revised, Efflorescence Causes and Mechanisms, Virginia , s. 1-5.
43. Anonim, 1985. Technical Notes and Brick Construction , 23A Revised, Efflorescence Prevention and Control, Virginia, s. 1-5..
44. Lea, F.,M., 1970. The Chemistry of Cement and Concrete Third Edition, s. 546-550.
45. The Magazine of Masonry Construction, Why Use Lime Cement Mortar ? July, 1988, s.169-171
46. Marşoğlu, M., 1986. Plastik Malzemeler, YTÜ Mühendislik Fakültesi, Metalurji Mühendisliği Bölümü, İstanbul, s. 113.
47. Handbuch Für Die Ziegel Industrie Bauverlag , s. 424-425, 1982.

EKLER

EK-1 Kimyasal Analiz Yöntemleri

Deneysel çalışmada kullanılan killerin kimyasal analizleri Gravimetrik, Volumetrik, ve Enstrümental analiz yöntemleri ile yapılmış olup, bu yöntemler bu bölümde verilmiştir.

1)Fe₂O₃ Tayini

Reaktifler :

- Hidroklorik Asit(HCl): Derişik (d=1.19 kg/lt),
- Nitrik Asit(HNO₃): Derişik (d=1.40 kg/lt),
- Amonyum Per Sülfat Çözeltisi(% 4, m/v): 4g Amonyum Per Sülfatın 100 ml damıtık suda çözülmesiyle elde edilen,
- Salisilik Asit Çözeltisi (% 4, m/v) : 4 g salisilik asidin 100 ml metanolde çözülmesiyle elde edilen,
- Amonyak+Amonyum Klorür(NH₃+NH₄Cl) Tampon Çözeltisi (pH=10.5): 67.5g NH₄Cl'ün 300 ml suda çözülmesinden sonra 570 ml amonyak çözeltisi (d=0.91 kg/lt) ilave edilmesi ve çözeltinin damıtık su ile 1 lt'ye tamamlanması ile elde edilen,
- EDTA çözeltisi(Merck)

Cihaz ve Malzemeler

- Genel laboratuvar malzemeleri
- Süzgeç kağıdı: az gözenekli, külsüz

İşlem :

5g numune üzerine 25 ml destile su ve 30 ml der. HCl ilave ederek elektrik ocağında çözülür. Üzerine yükseltgen olarak 10 damla HNO₃ damlatılır. Bir miktar buharlaştırıldıktan sonra soğumaya bırakılır. Mavi band süzgeç kağıdı ile süzme yapılır. Daha sonra katalizör olarak 5 damla Amonyum Per Sülfat ve indikatör olarak 5 damla

salisilik asit çözeltisi damlatılır. Tampon çözeltisi ilavesi ile pH=2.3-3.0 civarına getirilir. Tampon çözelti ilavesinden sonra çözeltinin rengi pembe olmalıdır. Faktörlenmiş EDTA çözeltisi ile pembe renkten mor renge dönene kadar titre edilir ve sarfiyat okunur.

Fe₂O₃ miktarı için harcanan toplam EDTA hacminden yola çıkılarak hesaplanan Fe₂O₃ %'si Tablo 6.1.'de verilmiştir.

2)Klorür Miktarı Tayini

Reaktifler :

- Potasyum kromat(K₂CrO₄) indikatörü: 50 g potasyum kromat damıtık suda çözülür. Hafif kırmızı çökelek verinceye kadar gümüş nitrat çözeltisi (N/20) konur. Bu çözelti en az 24 saat bekletilir, ve 1 lt'lik balon jøjeye alınır ve damıtık su ile litreye tamamlanır.
- Gümüş nitrat (AgNO₃) çözeltisi (N/20)'lik:8.4944 g gümüş nitrat bir miktar damıtık suda çözülür, çözelti 1 litrelik balon jøjeye alınır ve damıtık su ile litreye tamamlanır.
- Sodyum klorür (NaCl) çözeltisi (N/20)'lik:Yaklaşık 140°C'da, etüvde kurutulmuş sodyum klorürün tartılarak ayrılan 2,9221 g'lık kısmı bir miktar damıtık suda çözülür, çözelti 1000 ml'lik balon jøjeye alınır ve damıtık su ile litreye tamamlanır.

Cihaz ve Malzemeler :

- Terazı: 200 g çekerli 0.0001 g duyarlı
- Beher: 400 ml'lik
- Saat camı: 400 ml'lik beherin ağzını kapatabilecek çapta bir saat camı
- Balon jöje: 1000 ml ve 500 ml'lik
- Süzgeç kağıdı: Mavi band
- Büret: 25 ml kapasiteli 0.1 ml taksimatlı

İşlem :

Nem tayini deneyinde işlem gören numune(A), içinde 200 ml damıtık su bulunan 400ml'lik beher içine konur. Beherin ağzı bir saat camı ile kapatılır ve 1 saat kaynatılır.

Çökelmeye terkedilir, çökeltme tamamlanıncaya kadar bekletilir. Çözelti mavi band süzgeç kağıdından süzülür, süzgeç kağıdı üzerinde kalan çökelek 250 ml damıtık su ile beherin içine yıkanır. Süzüntü, 500 ml'lik balon jøjeye aktarılıp damıtık su ile 500 ml'ye tamamlanır. Bundan 50 ml alınıp 2-3 damla potasyum kromat indikatörü ilave edilerek N/20 gümüş nitrat çözeltisi ile renk sarıdan pembemsi sarıya dönüşünceye kadar titre edilir. Harcanan N/20 gümüş nitrat hacmi büretten okunarak kaydedilir. Aynı şekilde kaynatılıp soğutulmuş damıtık sudan 50 ml alınarak 2-3 damla potasyum kromat indikatörü ilave edilerek titre edilir. Bunun için harcanan gümüş nitrat çözeltisi hacmi de büretten okunur.

Agreganın klorür miktarı :

$$C = 1,772 \frac{(S - B)}{A} \quad (\%) \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

Burada :

C : Agreganın klorür miktarı (105 °C ± 5 °C'da kurutulmuş agrega ağırlığının yüzdesi olarak) (%)

S : 50 ml için harcanan N/20 gümüş nitrat hacmi (ml)

B : 50 ml damıtık su için harcanan N/20 gümüş nitrat hacmi (ml)

A : Nem tayini deneyinde işlem görmüş numunenin yaklaşık 1 g'lık kısmın ağırlığı (g) dır.

3) Toplam CaO + MgO Tayini

Reaktifler :

- Tri Etanol Amin ($C_6H_{15}NO_3$) %99 derişik

- KOH çözeltisi [%20 (m/m)] : 20 g KOH'ın 100 ml damıtık suda çözülmesiyle elde edilen

- Kalkon karboksilik asid indikatörü ($C_{21}H_{14}N_2O_7S$)

- EDTA çözeltisi (0,01 N) : 3,7224 g. disodyum etilen diamin tetra asetik asit dihidratın (Titriplex III), ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) 1 lt damıtık suda çözülmesiyle elde edilen

- Hidroklorik asit (HCl) : Derişik, d=1,19 kg/lt

- Hidroksil amin asit : (%10'luk) (H_4CINO)

- Potasyum siyanür çözeltisi (20 g/lit) : 2 g KCN'ün 100 ml damıtık suda çözülmesiyle elde edilen,

Uyarı : Potasyum siyanür (KCN) zehirlidir. Bu maddenin kullanılması sırasında gerekli tedbirler alınmalıdır. Potasyum siyanür ihtiva eden çözeltiler asitlendirilmemelidir.

- Buffer çözeltisi (pH=10,5) : 67,5 g NH₄Cl'ün 300 ml suda çözülmesinden sonra 570 ml amonyak çözeltisi (d = 0,90 kg/lit) ilave edilmesi ve çözeltinin damıtık su ile 1 lt'ye tamamlanmasıyla elde edilen

- Eriochromschwarz-T indikatörü : 1 g Eriochromschwarz-T (C₂₀H₁₂N₃NaO₇S) indikatörünün 100 g NaCl ile karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen

Cihaz ve Malzemeler

- Genel laboratuvar malzemeleri
- Analitik terazi : 0,0001 g hassasiyetle tartım yapabilen,
- Süzgeç kağıdı : Beyaz band süzgeç kağıdı,
- Etüv : 110 °C ± 5 °C sıcaklığa ayarlanabilen

İşlem

0, 5 g deney numunesi 0,0001 g hassasiyetle tartılarak alınır ve 250 ml'lik bir erlene konulur. Üzerine 20 ml derişik HCl konulduktan sonra Hot Plate'de sıçratmadan kuruluğa kadar buharlaştırılır. Etüve alınarak 105 °C'lik sıcaklıkta 1 saat bekletilir. Bakiye 20 ml derişik hidroklorik asitte çözülerek, 30 dakika hafifçe ısıtılır. Soğutulduktan sonra 250 ml'lik ölçülü balona beyaz band süzgeç kağıdından süzülür. Süzgeç kağıdı destile su ile iyice yıkanarak süzüntü damıtık su ile 250 ml'ye tamamlanır.

CaO için :

Hazırlanmış olan 250 ml'lik asidik çözeltiden pipetle 10 ml alınarak bir erlene konulur : 100 ml destile su ile seyreltikten sonra 5 ml Tri Etanol Amin katılarak, 10 ml KOH çözeltisi ile pH =12'ye ayarlanır. 0.3-0.4 g kadar kalkon karboksilik asit eklenir. 0,01 N EDTA çözeltisi ile renk pembeden boncuk mavi (parlak mavi) oluncaya kadar titre edilir. Titrasyon sonunda sarfedilen toplam EDTA çözeltisi hacmi kaydedilir. (V₁).

$A = 280,4 \cdot 0,01 \cdot F \cdot V_1$ formülü ile CaO miktarı hesaplanır. Burada :

$V_1 =$ CaO miktarı için harcanan EDTA hacmi

$F =$ EDTA çözeltisinin faktörü

MgO için :

Hazırlanmış olan 250 ml'lik asidik çözeltiden pipetle 10 ml alınarak bir erlene konulur : 100 ml destile su ile seyreltikten sonra 5 ml Tri Etanol Amin, 5 ml (%10'luk) Hidroksil amin asit, 2 ml Potasyum siyanür (KCN) çözeltisi katılarak, 10 ml Buffer çözeltisi ile pH =10'a ayarlanır. 0.3-0.4 g kadar Eriochromschwurz-T indikatörü eklenir. 0,01 N EDTA çözeltisi ile renk pembeden gece mavisi renge kadar titre edilir. Titrasyon sonunda (CaO+MgO için) sarfedilen toplam EDTA çözeltisi hacmi kaydedilir. (V_2). MgO'e eşdeğer EDTA çözeltisi hacmi, (V) ml olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$V = V_2 - V_1 \text{ (ml)}$$

Burada :

$V_2 =$ Titrasyon sonucunda bulunan (CaO+MgO için) sarfedilen toplam EDTA çözeltisi hacmi, ml

$V_1 =$ CaO miktarı için harcanan EDTA hacmi, ml 'dır.

$B = 201,6 \cdot 0,01 \cdot F \cdot V$ formülü ile MgO miktarı hesaplanır.

4) Sebest Nem (Higroskopik Nem, Serbest Su) Oranı Tayini

Cihaz ve Malzemeler

- Porselen kroze : uygun büyüklükte,
- Terazi : Yeterli kapasitede 0,01 g hassasiyette,
- Etüv : 110 °C± 5 °C sıcaklığa ayarlanabilen, hava sirkülasyonsuz
- Desikatör : Uygun büyüklükte, içinde nem çekici madde bulunan
- Genel laboratuvar malzemeleri

İşlem

1 g numune önceden $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da değişmez kütleyle getirilip tartımı alınmış uygun büyüklükteki porselen krozeye 0,01 g hassasiyetle tartılarak konulur. Numune 1 saat ön kurutmaya tabi tutulduktan sonra önceden $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ getirilmiş etüvde değişmez kütleyle gelinceye kadar kurutulur. Bir desikatör içinde oda sıcaklığına kadar soğutulan kroze muhteviyatı 0,01 g hassasiyetle tartılır.

Serbest nem oranı (S) kütlece yüzde olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır:

$$S = \frac{B - C}{B - A} \cdot 100 \text{ [\%, (m/m)]}$$

Burada :

A = Porselen kroze kütlesi, g

B = (Porselen kroze + Numune)'nin kurutmadan önceki kütlesi , g

C = (Porselen kroze + Numune)'nin kurutmadan sonraki kütlesi , g'dir.

5) Kızdırma Kaybı (Ateş Zayıyatı) Tayini

Cihaz ve Malzemeler

- Kroze : uygun büyüklükte porselen kroze
- Terazi : 0,0001 g hassasiyette,
- Desikatör : Uygun büyüklükte, içinde nem çekici madde bulunan
- Fırın : $420\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanabilen
- Genel laboratuvar malzemeleri

İşlem

$1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da değişmez kütleyle getirilmiş porselen kroze içerisine 0,0001 g hassasiyetle tartılarak alınan 0,5 g deney numunesi konulur. Kroze ve muhtevası soğuk bir fırına yerleştirilir. Fırının sıcaklığı önce $400\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa ayarlanarak ısıtmaya başlanır. Bu sıcaklığa erişildiği andan itibaren 30 dakika kadar bekletilir. Sonra ısıtmaya devam edilir. $1000\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'da en az 30 dakika bekletilerek değişmez kütleyle gelinceye kadar kızdırılan kroze ve muhtevası fırından çıkarılarak desikatör içerisine

konulur. Oda sıcaklığına kadar (yaklaşık 20 dakika) soğutulan kroze ve muhtevası 0,0001 g hassasiyetle tartılır. (Birbirini izleyen 30' ar dakikalık 1000 °C ± 50 °C deki kızdırmalar sonunda bulunan kütleler arasındaki fark, son tartımın %0,25'i kadar veya daha az ise değişmez kütleye erişildiği kabul edilir).

NOT : Kızdırma kalıntısı asitte çözünmeyen madde (SiO₂ dahil) tayini için muhafaza edilir.

Kızdırma kaybı (K) kütlece yüzde olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$K = \frac{B - C}{B - D} \cdot 100 [\%, (m/m)]$$

Burada :

D = Kroze kütlesi, g

B = (Kroze + deney numunesi)'nin deneyden önceki kütlesi , g

C = (Kroze + deney numunesi)'nin deneyden sonraki kütlesi , g

A = Orjinal deney numunesi kütlesi (A=B-D), g dir.

6) Asitte Çözünmeyen Madde (SiO₂ Dahil) Tayini

(Hidroklorik Asitle, Referans Metod)

Reaktifler

- Hidroklorik Asit (HCl) : Derişik (d=1,16 kg/lt)

- Seyreltik Hidroklorik Asit (1+1)'lik Çözeltisi : 1 hacim derişik HCl'nin 1 hacim su ile seyreltilmesiyle elde edilen,

- Seyreltik Hidroklorik Asit (5+95)'lik Çözeltisi : 5 hacim derişik HCl'nin 95 hacim su ile seyreltilmesiyle elde edilen,

Cihaz ve Malzemeler

-Terazi : 0,0001 g hassasiyette

- Kapsül : Porselen veya platin, uygun büyüklükte

- Kroze : Porselen veya platin, uygun büyüklükte

- Etüv : 110 °C± 5 °C sıcaklığa ayarlanabilen, hava sirkülasyonlu
- Fırın : 1000 °C ± 50 °C sıcaklığa ayarlanabilen
- Desikatör : Uygun büyüklükte, içinde nem çekici madde bulunan
- Genel laboratuvar malzemeleri
- Süzgeç kağıdı : Orta gözenekli, külsüz

İşlem :

Kızdırma kaybı tayininde elde edilen kızdırılmış madde bakiyesi, bir platin veya porselen kapsüle alınarak yaklaşık 10 ml damıtık su ile ince bir çamur haline getirilir. Buna 10 ml derişik HCl ilave edilip ısıtılarak çözününceye kadar karıştırılır. Sonra bir su banyosu üzerine alınarak kuruluğa kadar buharlaştırılır. Bu esnada numunenin dışarı sıçramamasına dikkat edilmelidir.

Daha sonra, 110 °C ± 5 °C 'deki etüve konularak 1 saat tutulan deney numunesi, bu süre sonunda etüvden çıkarılarak soğutulur ve 20 ml HCl çözeltisi (1+1)'lik ile muamele edilir. Üzeri saat camı ile kapatılarak 10 dakika su banyosu üzerinde ısıtılır. Orta gözenekli külsüz çift süzgeç kağıdında süzülür. Çökelti önce sıcak seyreltik HCl çözeltisi (5+95)'lik ile sonra da 2-3 defa sıcak su ile yıkanır.

Süzüntü tekrar kuruluğa kadar buharlaştırılır. 20 ml HCl çözeltisi (1+1)'lik ile muamele edildikten sonra bu defa 2 dakika ısıtılır ve aynı şekilde başka bir aynı cins süzgeç kağıdından süzülür. Süzüntü diğer deneyler için muhafaza edilir.

Her iki süzgeç kağıdı, önce etüvde bir süre kurutulur. Sonra önceden 1000 °C ± 50 °C'de değişmez kütleye getirilip tartımı alınmış bir porselen kroze konular, alevsiz olarak kağıt yakıldıktan sonra 1000 °C±50 °C'ye ayarlanmış fırında 30 dakika tutulur. Desikatör içinde soğutulduktan sonra tartılır. Isıtma, soğutma ve tartma işlemine değişmez kütleye erişinceye kadar devam edilir.

Çözünmeyen (SiO₂ dahil) madde miktarı (Mç) kütlece yüzde olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$Mç = \frac{B}{A} \cdot 100 [\%, (m/m)]$$

Burada :

A = Kızdırma kaybı tayininde alınan orjinal deney numunesi kütlesi, g

B = Deney numunesinin deneyden sonraki kütlesi, g dir.

7) Silisyum Dioksit Tayini

Reaktifler :

- Hidroflorik Asit (HF) : Derişik (%40 m/m), d = 1,13 kg/lt
- Sülfürik Asit (H₂SO₄) : Derişik (%98 m/m), d = 1,84 kg/lt

Cihaz ve Malzemeler :

- Kroze : Platin uygun büyüklükte,
- Fırın : 1000 °C ± 50 °C sıcaklığa ayarlanabilen,
- Genel laboratuvar malzemeleri

İşlem :

Asitte çözünmeyen madde (SiO₂ dahil)(Hidroklorik Asit Metodu) tayininde elde edilen kızdırılmış bakiye bir platin krozeye alınarak üzerine 5 ml damıtık su, 5 ml hidroflorik asit (%40'lık) ve birkaç damla sülfirik asit (der.) ilave edilir.

Tablalı bir elektrik ocağında kuruluğa kadar buharlaştırıldıktan sonra 2-3 saat kadar da 100 °C ± 10 °C'lik bir etüvde bekletilir. Daha sonra 1000 °C ± 50 °C sıcaklığa getirilmiş fırında 2-3 dakika tutulup desikatörde soğutulduktan sonra 0,0001 g hassasiyetle tartılır.

Silisyum dioksit (SiO₂) kütlece yüzde olarak, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$\text{SiO}_2 = \frac{B-C}{A} \cdot 100 [\%, (m/m)]$$

Burada :

A= Asitte çözünmeyen madde (SiO₂ dahil)(Hidroklorik Asit Metodu) tayininde alınan orjinal deney numunesinin kütlesi, g

B = Orjinal deney numunesinin asitte çözünmeyen madde (SiO_2 dahil)(Hidroklorik Asit Metodu) tayininde açıklanan deney sonunda bulunan çözünmeyen maddenin (SiO_2 dahil) deneyden önceki kütlesi, g

C = Krozedeki kalıntının kütlesi, g dir.

8) Demir 3 Oksit (Fe_2O_3), Alüminyum Oksit (Al_2O_3) Toplamı, (R_2O_3) Tayini

Reaktifler

- Seyreltik Hidroklorik Asit (1+1)'lik Çözeltisi : 1 hacim derişik HCl'nin ($d=1,16 \text{ kg/l}$) 1 hacim su ile seyreltilmesiyle elde edilen,
- Seyreltik Hidroklorik Asit (1+3)'lük Çözeltisi : 1 hacim derişik ($d=1,16 \text{ kg/l}$) HCl'nin 3 hacim su ile seyreltilmesiyle elde edilen,
- Nitrik Asit (HNO_3) : Derişik ($d=1,42 \text{ kg/l}$)
- Hidroklorik Asit (HCl) : Derişik ($d=1,16 \text{ kg/l}$)
- Metil Kırmızısı İndikatörü : 2 g metil kırmızısı ($\text{C}_{15}\text{H}_{15}\text{N}_3\text{O}_2$)'nin 100 ml % 95'lik etanolde çözülmesiyle elde edilen,
- Amonyak Çözeltisi (Amonyum hidroksit) : NH_3 'ün sudaki %28-%30 (m/v) 'lik çözeltisi, ($d = 0,90 \text{ kg/l}$)
- Amonyum klorür çözeltisi [%2 (m/v)'lik] : 2 g NH_4Cl 'ün 100 ml suda çözülmesiyle elde edilen

Cihaz ve Malzemeler

- Kroze : Platin, uygun büyüklükte
- Fırın : $1050 \text{ }^\circ\text{C} \pm 50 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklığa ayarlanabilen,
- Genel laboratuvar malzemeleri
- Süzgeç kağıdı : Orta gözenekli, külsüz

İşlem :

Çözünmeyen madde (SiO_2 hariç) tayininde elde edilen süzüntü ile birleştirilmiş olan, asitte çözünmeyen madde (SiO_2 dahil)(Hidroklorik Asit Metodu) tayininde elde

edilen süzüntüye bir kaç damla (5 ml) derişik nitrik asit ilave edilip, açığa çıkan klorun tamamı uçurulana kadar kaynatılır. Sonra, toplam asit hacminin 15 ml olmasını sağlamak üzere çözeltiye 10 ml hidroklorik asit (Derişik, % 37'lik) ilave edilir ve 200 ml'ye seyreltilir. Birkaç damla metil kırmızısı indikatörü ilave edildikten sonra kaynama derecesine kadar ısıtılır ve amonyak çözeltisi ile nötralleştirilir. Bariz sarı renk elde edildiğinde işleme son verilir. Çözelti birkaç dakika kaynatılır, 5 dakika kadar dinlendirilir, çöken jel halindeki alüminyum ve demir hidroksitleri bir süzgeç kağıdından süzülür. Çökelti bekletilmeden %2'lik sıcak NH₄Cl çözeltisi ile 2-3 defa yıkanır.

Çökelti süzgeç kağıdı ile birlikte 110 °C ± 5 °C'de 1-2 saat kurutulduktan sonra 1050 °C ± 50 °C'da değişmez kütleye getirilmiş bir platin krozeeye alınır. Önce küçük alevde süzgeç kağıdı, alev almasına meydan verilmeden yakılır. Sonra 1050 °C±50 °C'de sabit kütleye gelinceye kadar kızdırılır. Bir desikatörde soğutulduktan sonra tartılır (E).

Demir 3 oksit , Alüminyum oksit toplamı, (R₂O₃) kütleye yüzde olarak aşığıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$R_2O_3 = \frac{E}{A} \cdot 100 [\%, (m/m)]$$

Burada :

A= Asitte çözünmeyen madde (SiO₂ dahil)(HCl ile, Referans Metod) tayininde alınan orjinal deney numunesinin kütlesi, g

E = Krozedeki kalıntının kütlesi, g dir.

9) Kükürt Trioksit (SO₃) Tayini

Reaktifler :

- Hidroklorik Asit : Derişik [%37 (m/m)'lik] d=1,19 kg/lt

- Hidroklorik Asit Çözeltisi (1+1)'lik

- Baryum Klorür Çözeltisi (%10 m/v'lik) : 100 g BaCl₂.2H₂O'nun 1 lt suda çözülmesiyle elde edilen,

- Süzgeç kağıdı, sık gözenekli, külsüz (mavi band)

-Cihaz ve Malzemeler :

- Analitik Terazı : 0,1 mg hassasiyette tartım yapabilen,
- Su Banyosu : Sıcaklığı 95 °C ± 5 °C 'e ayarlanabilen
- Fırın : 350 °C ± 50 °C ve 1050 °C ± 50 °C sıcaklığa ayarlanabilen,
- Kroze : Porselen, uygun büyüklükte ,
- Desikatör : Uygun büyüklükte,içinde nem çekici madde bulunan,
- Genel laboratuvar malzemeleri

İşlem :

0,1 mg hassasiyetle 2 g deney numunesi tartılır (A). 400 ml'lik bir behere alınır, üzerine 10 ml su, 15 ml HCl çözeltisi dikkatle ilave edilir, ısıtılır ve bir bagetle karıştırılarak deney numunesinin tam çözünmesi sağlanır. Sık gözenekli (mavi band) süzgeç kağıdından süzülür, süzgeç kağıdı ve çözelti sıcak suyla çok iyi yıkanır. Süzüntü yaklaşık 250 ml'ye kadar suyla seyreltilir, kaynama noktasına yakın ısıtılır, devamlı karıştırılarak 10 ml sıcak baryum klorür çözeltisi damla damla katılır, birkaç dakika dikkatle kaynatılır. Önce 1 saat 95 °C ± 5 °C olan su banyosunda bekletilir, iyice karıştırılır ve bir gece dinlendirilir. Sık gözenekli (mavi band) süzgeç kağıdından süzülür. Süzgeç kağıdı ve içindeki çözeltinin süzüntüsü klorür reaksiyonu vermeyinceye kadar sıcak suyla yıkanır. Çözelti süzgeç kağıdı ile birlikte 1000 ± 50 °C'de pişirilmiş tartımı belli (m₁) kroze alınır. Süzgeç kağıdı 350 °C ± 20 °C deki fırına konarak alevsiz olarak yakılır. Sonra 900 °C ± 50 °C deki fırında sabit tartıma gelene kadar bekletilir. Desikatöre alınır, soğutulur ve 0,1 g hassasiyetle tartılır (m₂).

Kükürt trioksit (SO₃), kütlece yüzde olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır :

$$\%SO_3 = \frac{0,343.G.100}{A} = \frac{34,3.G}{A}$$

Burada :

G= Baryum sülfat kütlesi (m₂-m₁), g

A = Deney numunesinin kütlesi, g dir.

10) Spektrofotometrik Fosfat Tayini

Reaktifler

- Fenolftalein indikatör çözeltisi [%4 (m/v)] = 4 g fenolftaleinin 100 ml %95'lik alkoldeki çözeltisi,
- Amonyum molibdat belirteci : 25 g $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (amonyum hepta molibdat tetrahidrat kristali) , 175 ml destile suda çözülür. 280 ml saf sülfirik asit (H_2SO_4) ve 400 ml destile su karışımı soğutulur. Buna Amonyum molibdat çözeltisi katılır ve litreye seyreltilir.
- SnCl_2 Belirteci : 2,5 g $\text{SnCl}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (kalay-2 klorür) 100 ml gliserinde çözülür,
- NaOH Çözeltisi (2N) : 80 g NaOH' ın 1 lt damutık suda çözülmesiyle elde edilen
- Standart Fosfat Çözeltisi : 219,5 g mg susuz KH_2PO_4 destile suda çözülerek litreye tamamlanır. Bu çözeltinin 1 ml'sinde 50 μg PO_4 fosforu vardır.
- Hidro Florik Asit (HF) : Derişik (%40'lık, m/m), d = 1,13 kg/lt
- Hidro Klorik Asit (HCl) : Derişik (%37'lik, m/m), d = 1,19 kg/lt

Cihaz ve Malzemeler

- Kroze : Platin, uygun büyüklükte ,
- Genel laboratuvar malzemeleri
- Süzgeç kağıdı : Mavi band süzgeç kağıdı

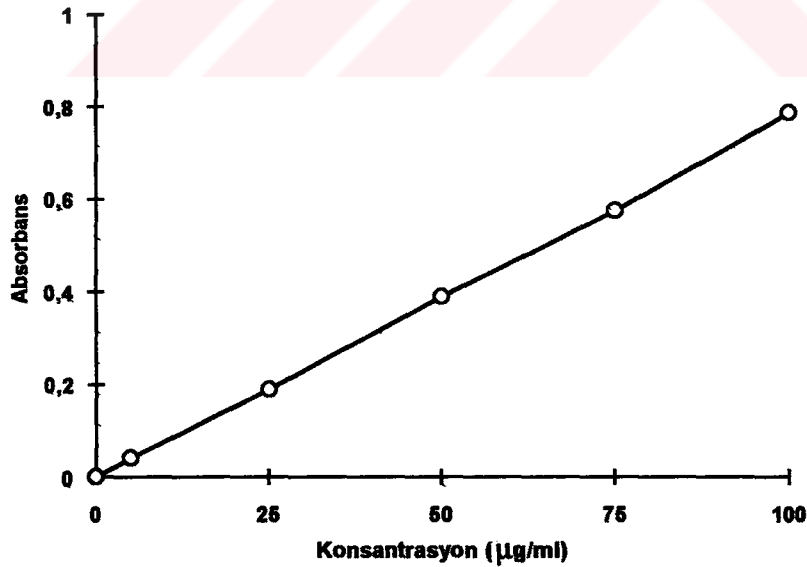
Şahit çözeltinin hazırlanması : 4 ml amonyum molibdat belirtecinin üzerine 0,5 ml SnCl_2 belirteci, eklenerek destile su ile 100 ml'ye tamamlanır.

Ölçü eğrisinin hazırlanması : Belli konsantrasyondaki standart fosfat çözeltisinden 0,1 , 0,5 , 1,0 , 1,5 , 2,0'şer ml duyarlı bir pipetle alınır üzerine 4 ml $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ belirteci ve 0,5 ml SnCl_2 belirteci ilave edilerek destile su ile 100 ml'ye tamamlanır. İyice karıştırılır ve çalkalanır. 10 dakika sonra şahit örneğe karşı 690 nm dalga boyunda herbir standart örneğin absorbanları okunarak, ölçü eğrisi çizilir.

Alınan hacim	Fosfat miktarı	Absorbans değeri
0,1 ml	5 $\mu\text{g/ml PO}_4$	0,041
0,5 ml	25 $\mu\text{g/ml PO}_4$	0,189
1,0 ml	50 $\mu\text{g/ml PO}_4$	0,389
1,5 ml	75 $\mu\text{g/ml PO}_4$	0,574
2,0 ml	100 $\mu\text{g/ml PO}_4$	0,786

İşlem :

3 g numune hassas tartıda duyarlı olarak tartılır. Numune platin kroze içerisine alınarak, %40'lık HF (Hidro florik asit)'in 15 ml'sinde çözülür. Bir miktar destile su ilave edilerek hot plate'de kuruluğa kadar ısıtıldıktan sonra HCl ile çözerek mavi band süzgeç kağıdı ile süzme yapılır. 2N NaOH çözeltisi ile fenolftalein indikatörlüğünde nötralize edilir. 500 ml'lik balon joje de destile su ile hacmine tamamlanır. Bu çözeltiden 5 ml pipetle alınır ve 250 ml'lik bir balon jodede destile su ilave edilerek hacmine tamamlanır. Buradan alınan 100 ml örnek üzerine 4 ml amonyum molibdat, 0,5 ml SnCl_2 belirteçleri konarak karıştırılır. 10 dakika bekletildikten sonra 690 nm dalga boyunda şahit çözeltiye karşı absorbans değerleri okunur.



Şekil E.1 : Standart PO_4 Eğrisi

Ölçü eğrisi üzerinde bu değere karşı gelen fosfor ($\mu\text{g/ml}$) değeri okunur. Buradan alınan tartımdaki fosfor miktarı ve $\%P_2O_5$ miktarı hesaplanır.

$$A(\mu\text{g / ml}) \times 100 \times \frac{5}{2} \times 100 = B \mu\text{g P}$$

$$B \times \frac{142}{62} \times \frac{100}{C} \times 10^{-6} = \% P_2O_5$$

Burada :

A = Grafikten okunan değer

C = Alınan tartım (g) dir.

11) Flame Fotometri ile Na_2O - K_2O Tayini

Örnek Çözeltiler :

1,2 ve 3 numaralı örneklerden ayrı ayrı 0,0001 g hassasiyetle 1'er g tartılan numuneler bir beherde 100 ml destile su ile çözülür. Daha sonra 100 °C'lik su banyosunda 30 dak. bekletilerek süzülür. Süzüntü 100 ml'lik balon jodede çizgisine kadar destile su ile seyreltilir. Fotometrik tayine geçilir.

Standart Çözeltiler :

Litrede 500 mg Na^+ ve 500 mg K^+ olacak şekilde, etüvde kurutulmuş NaCl ve KCl 'den gerekli miktarlar alındı ve 1 lt'lik çözeltileri hazırlandı.

Na^+ çözeltilisinden 2, 4, 6, 8, 10 ppm'lere karşılık gelen sırasıyla 0,4 , 0,8 , 1,2 , 1,6 , 2,0 ml çekilerek 100 ml'lik balon jodede destile su ile hacmine tamamlanarak seyreltildi.

K^+ çözeltilisinden 2, 4, 6, 8, 10 ppm'lere karşılık gelen sırasıyla 0,4 , 0,8 , 1,2 , 1,6 , 2,0 ml çekilerek 100 ml'lik balon jodede destile su ile hacmine tamamlanarak seyreltildi.

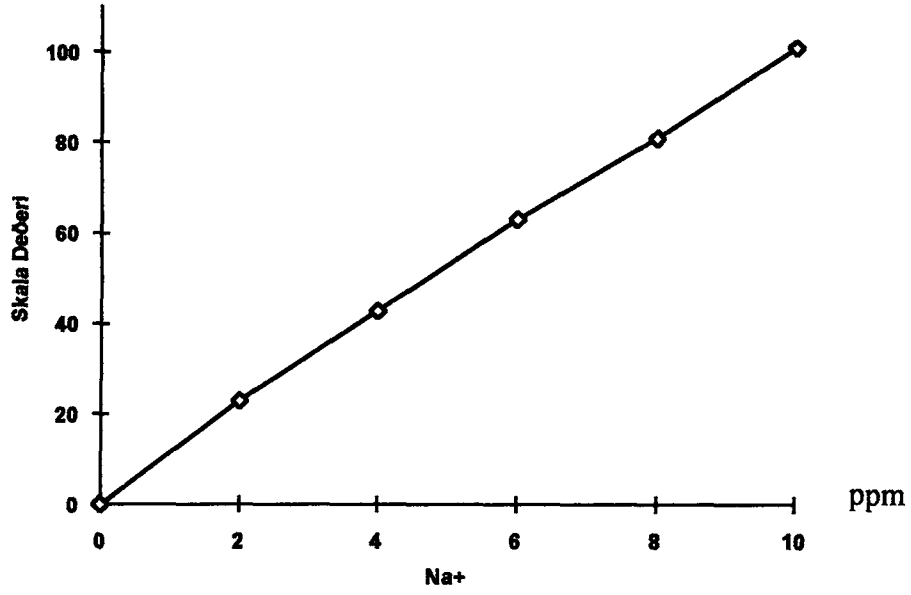
Standart çözeltilerin ölçümü :

Gaz açılıp, fuel düğmesinden gaz ayarı yapılır. Destile su drenajı yapılarak beklenir ve hazırlanan standartların en derişik çözeltileri ile hassas ve kaba ayar yapılır. stabil okuma değeri gerçekleşene dek sıfır değeri ve en derişik çözeltilerin değeri tekrarlanmıştır. Her bir ppm hazır çözeltileri de aynı şekilde cihazdan skala değeri okunarak incelendikten sonra, bu değerler için konsantrasyon-skala değeri grafikleri çizilir. Hazırladığımız Na ve K çözeltileriyle ilgili değerler aşağıda verilmiş olup standart grafikleri Şekil E.2 ve Şekil E.3 'de görülmektedir.

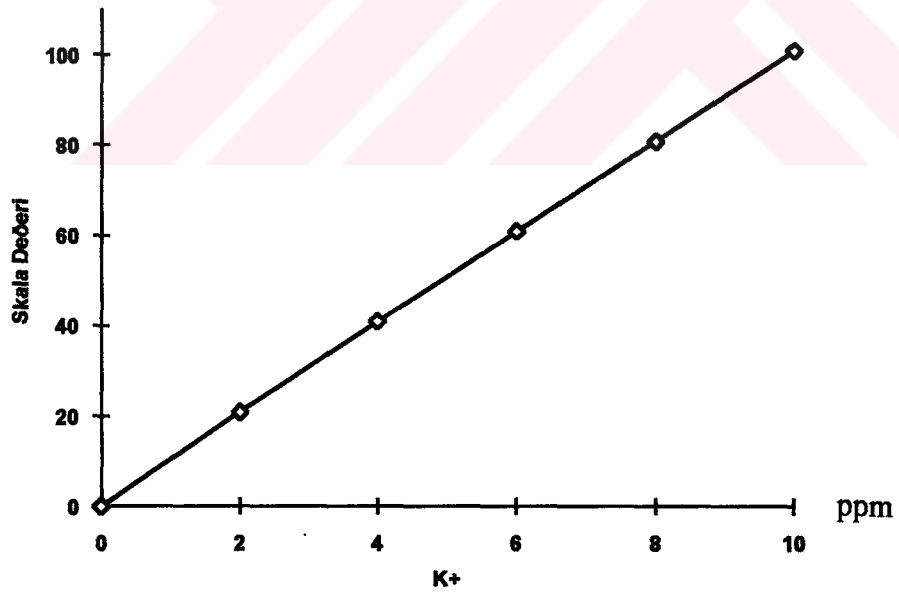
Na ⁺		K ⁺	
İçerdiği ppm	Skala Değeri	İçerdiği ppm	Skala Değeri
2	23	2	21
4	43	4	41
6	63	6	61
8	81	8	81
10	101	10	101

Örnek çözeltilerin ölçümü :

Standart çözeltilere uygulanan ölçme çalışmaları örnek çözeltilere de uygulanarak skala değerleri okunmuş ve çizilen grafiklerden yaklaşık ppm değerleri bulunarak hesaplara geçilmiştir. Örnekler için ölçülen ortalama skala değerleri aşağıda olup, hesaplanan Na₂O Ve K₂O % leri Tablo 6.1'de verilmiştir.



Şekil E.2 Na⁺ İyonlarının Standart Eğrisi



Şekil E.3 K⁺ İyonlarının Standart Eğrisi

12) Atomik Absorpsiyon Spektroskopisi ile Eser Miktardaki Maddelerin Tayini

0,0001 g hassasiyetle 3'er gram tartılan 1,2 ve 3 numaralı kil örnekleri içindeki SiO₂ ve diğer çözünmeyen maddeler eritiş yoluyla ayrıldıktan sonra elde edilen süzöntü 250 ml'lik balon jojelerde toplandı ve destile su ile 250 ml'ye tamamlandı.

Örneklerdeki eser miktardaki Cd, Ni, Mo, Bi, Ca, Mg, Mn, Cr ve Pb değerleri ile, killelerde nadir olarak rastlanan V değerleri ppm mertebesinde okunmuştur. Tablo 6.1'de % oksid değerleri görülmektedir.

<u>Standart Çözeltiler</u>	<u>Hazırlanan Seriler (ppm)</u>	<u>Dalga Boyu (nm)</u>
Fe standart çözeltisi	7,84	248,3
Ca standart çözeltisi	9,963	422,7
Mg standart çözeltisi	0,80356	285,2
Co standart çözeltisi	2	240,7
Ni standart çözeltisi	4	232,0
Mn standart çözeltisi	2,04	279,8
Cu standart çözeltisi	4	324,8
Bi standart çözeltisi	10	223,1
Pb standart çözeltisi	3,34	217,0
Zn standart çözeltisi	1,011	213,9
V standart çözeltisi	100	318,4
Ti standart çözeltisi	1000	364,3
Al standart çözeltisi	80	309,3
Mo standart çözeltisi	100	313,3
Cr standart çözeltisi	100	357,9
As standart çözeltisi	100	193,7

HILGER-WATTS H1550 ATOMSPEK cihazı ile, YTÜ Metalurji Mühendisliği Bölümü Kalite Kontrol Araştırma ve Uygulama Birimi, Malzeme ve Ölçme Tekniği Laboratuvarında yapılan ölçümlerde standart seri çözeltilere karşılık örnek çözeltilerin ppm değerleri okundu.

ÖZGEÇMİŞ

ADI SOYADI	Akın Sunay
DOĞUM TARİHİ	03.02.1969
DOĞUM YERİ	İstanbul
ÖĞRENİM	Uzunyusuf İlkokulu 1975-1980
	Çapa Ortaokulu 1980-1983
	İstanbul Şehremini Lisesi 1983-1986
	YTÜ 1988-1993 Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği Bölümü
	YTÜ 1993- Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Programı
BİTİRME ÖDEVİ	Kimya Mühendisliği Terimleri İngilizce- Türkçe Sözlük Özeti'nin Hazırlanması
YABANCI DİL	İngilizce