

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PIŞMIŞ KİL ESASLI YAPI TUĞLASININ KORUNMASINA YÖNELİK
ANALİTİK BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rumeysa TEMEL

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü Yapı Teknolojisi Programı

ŞUBAT 2023

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PIŞMIŞ KİL ESASLI YAPI TUĞLASININ KORUNMASINA YÖNELİK
ANALİTİK BİR YAKLAŞIM**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Rumeysa TEMEL
(502191514)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Leyla TANAÇAN

ŞUBAT 2023

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 502191514 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Rumeysa TEMEL, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PİŞMİŞ KİL ESASLI YAPI TUĞLASININ KORUNMASINA YÖNELİK ANALİTİK BİR YAKLAŞIM” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Leyla TANAÇAN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Sedat KURUGÖL**

Mimar Sinan Üniversitesi

Doç. Dr. Işıl POLAT PEKMEZCİ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Aralık 2022
Savunma Tarihi : 02 Şubat 2023





Aileme,



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca, benden yardımını, desteklerini ve zamanını hiç esirgemeyen, tüm süreç boyunca yanımda olan ve değerli birikimleri ile bana yol gösteren sevgili danışmanın Prof. Dr. Leyla Tanaçan'a tüm katkıları için çok teşekkür ederim.

Tez sürecinin en başından beri tüm zorlu adımları beraber aştığımız Tuğba Yıldız'a, ne zaman ihtiyacım olsa yardımlarını esirgemeyen Mina Hazal Taşcı ve Nazlıcan Kaymak'a, her zaman yanımda olup beni destekleyen bütün dostlarıma, aralarında olduğum için çok şanslı olduğum Marmara Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'ndeki tüm hocalarıma ve iş arkadaşlarıma çok teşekkür ederim.

Tüm hayatım boyunca beni hep destekleyen, bu süreci benim adıma oldukça kolaylaştıran, her fırsatta ne kadar şanslı olduğumu hissettiren canım annem Nazmiye Temel ve canım babam Haydar Temel'e, manevi destekleri ile hep yanımda olan, ağabeyim Ömer Temel ve kardeşim Zeynep Şentürk'e, anneanneme, dedeme ve hayatımın renkleri yeğenlerime sonsuz teşekkür ederim.

Şubat 2023

Rumeysa Temel
(Arş.Görevlisi, Mimar)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Problem	1
1.2 Amaç	2
1.3 Kapsam	3
1.4 Yöntem	3
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	7
2.1 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlası Mimarisinin Tarihsel Süreç İçerisindeki Yeri..	7
2.2 Seramiklerin Genel Özellikleri.....	9
2.3 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Üretim Süreci	13
2.3.1 Hammadde özellikleri	13
2.3.1.1 Plastik hammadeler	13
2.3.1.2 Plastik olmayan hammadeler	15
2.3.2 Üretim aşamaları	16
2.3.2.1 Hamurun hazırlanması	16
2.3.2.2 Şekillendirme	17
2.3.2.3 Kurutma.....	19
2.3.2.4 Pişirme.....	20
2.4 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Özellikleri.....	25
2.4.1 Petrografik, mineralojik ve kimyasal özellikler	25
2.4.2 Fiziksel özellikler	26
2.4.2.1 Birim ağırlık, özgül ağırlık.....	26
2.4.2.2 Gözeneklilik (porozite) / doluluk (komposite).....	27
2.4.2.3 Su Emme	30
2.4.2.4 Su ile şişme-büzülme / ısı ile genişleme-daralma	30
2.4.2.5 Renk	31
2.4.2.6 Uygulanabilirlik/ölçüler	32
2.4.3 Mekanik özellikler	33
2.4.3.1 Basınç dayanımı.....	33
2.4.3.2 Eğilmede çekme dayanımı	34
2.4.3.3 Elastiklik modülü	34
2.5 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Durabilitesi.....	35

2.6 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Analizler	37
2.6.1 Tahribatsız (yerinde yapılan/in stu) analizler	38
2.6.1.1 Sertlik muayenesi	38
2.6.1.2 Ultrases yöntemi (UPV) / ultrasonic velocity testing	39
2.6.1.3 Malzemenin yüzey sıcaklığının ve neminin ölçülmesi	40
2.6.1.4 İnfrared tomografi yöntemi	41
2.6.1.5 Georadar yöntemi (GPR/ surface penetrating radar).....	42
2.6.1.6 Boru yöntemleri ile su emme analizi.....	43
2.6.2 Laboratuvar analizleri	44
2.6.2.1 Fiziksel özellik analizleri.....	45
2.6.2.2 Spot testler ve basit deneyler.....	51
2.6.2.3 Mekanik özellik analizleri	54
2.6.2.4 Petrografik, mineralojik ve kimyasal analizler	56
2.6.2.5 Eskitme deneyleri	62
2.7 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasında Bozulma ve Bozunma.....	67
2.8 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Korunma İlkeleri ve Nedenleri.....	77
3. PİŞMİŞ KİL ESASLI YAPI TUĞLASININ SAĞLAMLAŞTIRILMASI	79
3.1 Uygulama Öncesi	81
3.1.1 Ortam.....	81
3.1.2 Sağlamaştırma işlemi için karar verme	81
3.2 Uygulama Sırası	83
3.2.1 Sağlamaştırıcı malzemenin altlık ile ilişkisi sonucundaki özellikler	83
3.2.2 Uygulama özellikleri	88
3.3 Uygulama Sonrası	90
3.3.1 Kür koşulları.....	90
3.3.2 Eskitme etkenleri.....	90
3.4 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Sağlamaştırılmasında Kullanılan Malzemeler	91
3.4.1 Sağlamaştırıcı malzemelerin sınıflandırılması	91
3.4.2 İnorganik sağlamaştırıcılar	92
3.4.3 Alkoksisilanlar	95
3.4.4 Sentetik organik polimerler	106
3.4.5 Nanomalzemeler.....	109
3.4.6 Biyo sağlamaştırıcılar.....	113
3.5 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlası Üzerine Uygulanan Sağlamaştırıcı Çalışmalarının Genel Değerlendirmesi	117
4. KİL ESASLI PİŞMİŞ TUĞLANIN KORUNMASI İÇİN BİR YAKLAŞIM	123
4.1 Yapı Yerinde Gözlem, Değerlendirme ve Belgeleme	124
4.1.1 Binanın tarihsel sürece bağlı olarak tanımlanması.....	125
4.1.2 Morfolojik araştırmalar (binada kullanılan malzemenin tespiti).....	125
4.1.3 Binadaki hasara bağlı tespitler	126
4.2 Kil Esaslı Tuğlanın Tanımlanması/Karakterizasyonu	127
4.2.1 Tahribatsız deneyler (bina yerinde yapılan deneyler)	128
4.2.2 Örnek alma	129
4.2.3 Tahribatlı deneyler (laboratuvar deneyleri).....	129
4.3 Değerlendirme-Yapılacak Koruma Uygulamasına Karar Verme	130
4.3.1 Mevcut tuğla alternatiflerinin kontrol edilmesi.....	131
4.3.1.1 İkinci el tuğlalar	131

4.3.1.2 Tuğlanın tersine çevrilmesi	131
4.3.1.3 Binanın kaynak olarak kullanılması	132
4.3.2 Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasına yüzey işlemlerinin uygulanması	132
4.3.2.1 Pişmiş kil esaslı tuğlanın temizlenmesi.....	132
4.3.2.2 Tuzdan arındırma (desalination)	136
4.3.2.3 Pişmiş kil esaslı tuğlanın sağlamlaştırılması.....	137
4.3.2.4 Pişmiş kil esaslı tuğlaya yüzey koruyucuların uygulanması.....	140
4.3.3 Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının eskiye sadık kalarak yenilenmesi.....	143
4.3.4 Pişmiş kil esaslı yapı tuğlası için geçici onarım yöntemleri	147
4.4 Değerlendirme	148
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	151
KAYNAKÇA	155
EKLER	177
ÖZGEÇMİŞ	183





KISALTMALAR

Al	: Alüminyum
Al₂O₃	: Alümina/Alüminyum Oksit
ASTM	: Amerikan Test ve Malzeme Enstitüsü
Ba (OH)₂	: Barita/ Baryum hidroksit
BSI	: İngiliz Standartları Enstitüsü
Ca₂	: Kalsiyum
Ca (OH)₂	: Kireç suyu çözeltisi
CaCO₃	: Kalsiyum Karbonat
CaO	: Kalsiyum Oksit
CaO₂	: Karbondioksit
CIELAB	: Lab renk alanı
Cl-	: Klörür
CO₃²⁻	: Karbonat
CT	: X-ışını mikro bilgisayarlı tomografi
CuSO₄	: Kristal bakır sülfat
DIN	: Alman Standartları Enstitüsü
DSC	: Diferansiyel tarama kalorimetrisi
DTA	: Diferansiyel termal analiz
EDS	: Enerji Dispersiv Spektrum
EDX	: Enerji Dağılımı X- Işını Spektroskopisi
EN	: Avrupa Standartı
Fe₂O₃	: Demir Oksit
Fe₃O₄	: Manyetit
FITR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi
GPR	: Georadar
H₂SO₃	: Kükürtlü Asit
H₂SO₄	: Sülfürik Asit
ICCROM	: Kültürel Varlıkların Korunması ve Onarımı Araştırma Merkezi
ICOMOS	: Uluslararası Anıtlar ve Sitler Konseyi
ICP	: İndüktif Eşleşmiş Plazma

INAA	: Tahribatsız Nötron Aktivasyon
K₂O	: Potasyum Oksit
KUDEP	: Koruma Uygulama ve Denetim Müdürlüğü
MIP	: Cıva İntrüzyon Porozimetrisi
Mg	: Magnezyum
MgO	: Magnezyum Oksit
M.Ö	: Milattan Önce
Na₂O	: Sodyum Oksit
NH₃	: Amonyak
NO₃⁻	: Nitrat
-OH	: Hidroksil
PO₄³⁻	: Fosfat
RILEM	: The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu
SiO₄⁴⁻	: Silisyum-Oksijen Tetrahedrosu
SiO₂	: Silika/Silikon Oksit/Silisyum
Si₂O₇⁻	: Silikat Çift Tetraedr Birimi
Si₃O₉⁶⁻	: Vollastonit
Si₄O₁₂⁸⁻	: Siklosilikatlar
Si₆O₁₈¹²⁻	: Beril
SO₂	: Kükürt
SO₄²⁻	: Sülfat
TiO₂	: Titanyum Oksit
TEOS	: Tetraetil Ortosilikat
TGA	: Termogravimetrik (TGA) analiz
TG	: Termogravimetri
TS/EN	: Türk Standardları Enstitüsü
UPV	: Ultrasonik Darbe Hızı
UV	: Ultraviyole
XRD	: X-Işını kırınımı
XRF	: X-ışını floresan (XRF) spektrometresi
VOC	: Uçucu organik bileşikler

SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$: Sıcaklık
E	: Dinamik Elastiklik Modülü
fc	: Basınç Dayanımı
g	: Yerçekimi İvmesi
GPa	: Gigapaskal
M	: Kütle
μm	: Mikrometre
mm	: Milimetre
MPa	: Megapaskal
N	: Newton, Ağırlık Birimi
p	: Porozite
t	: Zaman
T	: Sıcaklık
W	: Ağırlık
V	: Hız
λ	: Dalga Boyu
Qi	: Emilen Su Hacmi
Δ	: Birim ağırlık
γ	: Özgül ağırlık
%	: Yüzde
ΔE	: Renk farkı



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Seramik fırın tipleri (Toydemir, 1976).....	21
Çizelge 2.2 : Tuğla malzemesinin dayanıklılık değerlendirmesi için fiziksel gereklilik değerleri (ASTM, 2022).	36
Çizelge 2.3 : Temel bozulma ve bozunma süreçleri ve sonuçları (Lourenço ve diğ, 2014; Fernandes, 2019).....	68
Çizelge 3.1 : Sağlamaştırma adımları.....	80
Çizelge 3.2 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanmış inorganik sağlamaştırıcı çalışmaları.	93
Çizelge 3.3 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan inorganik sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.....	94
Çizelge 3.4 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan alkoksisilan sağlamaştırıcı çalışmaları. Tuğla için 1994 yılındaki çalışma istisna olarak dahil edilmiştir.....	96
Çizelge 3.5 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan alkoksisilan sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.....	100
Çizelge 3.6 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan sentetik organik polimer sağlamaştırıcı çalışmaları.....	108
Çizelge 3.7 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan sentetik organik polimer sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.....	109
Çizelge 3.8 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan nano sağlamaştırıcı çalışmaları.....	111
Çizelge 3.9 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine yapılan nano sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.	112
Çizelge 3.10 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan biyo sağlamaştırıcı çalışmaları.....	114
Çizelge 3.11 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerinde yapılan biyo sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.	115



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

- Şekil 2.1** : Firavun Rekhmire'in (M.Ö. 1479-1425) mezarından (Hanedanlık Dönemi, tuğla üretimini anlatan fresk (Eroğlu ve Akyol, 2017)..... **8**
- Şekil 2.2** : Sırası ile tuğla kubbe örneği (Sivas Gök Medrese) (Öter, 2021), tuğla duvar örneği (İzzet Paşa Hamamı) ((Naldan, 2019); tamamı tuğla ile inşa edilen İplikçi Camii'nin mihrap arkasındaki kemer (Yasa, 2016), Tuğla beşik tonoz (Zinciriye Medresesi) (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). **9**
- Şekil 2.3** : Kil plakaları (Torraca, 2005)..... **14**
- Şekil 2.4** : Ortası boşaltılıp su eklenmiş kil (solda), stabilize hale getirilmiş kil hamuru (sağda) (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). **17**
- Şekil 2.5** : Farklı boyut ve şekillerde tuğla kalıpları (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). **18**
- Şekil 2.6** : Kil hamurunun şekillendirilmesi (Er, 2013; Dick, 2020)..... **18**
- Şekil 2.7** : Şekillendirilmiş kil hamurunun güneşte kurutulması (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017; Kazmi ve diğ, 2017). **20**
- Şekil 2.8** : Sırası ile, tuğla bloklar arasında kömür serilmesi (Er, 2013), dışı sıvanmış kesik piramit şeklindeki fırın, yanıcı malzemenin yerleştirilip yakıldığı hava delikleri, pişirilmiş ve bir kısmı sökülmiş tuğlalar (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017), yanmakta olan sahra fırınının üstten görünüşü ve fazla ısı sebebi ile zihterleşmiş tuğlalar (Er, 2013). **22**
- Şekil 2.9** : Tuğla malzemedeki farklı boyut ve oranlardaki gözenekler (Stefanidou, 2007). **29**
- Şekil 2.10** : Durabilite indeksini geliştirmek için kullanılan araştırma (Koroth ve diğ, 1998). **37**
- Şekil 2.11** : N tipi geri tepme çekici (solda), p tipi geri tepme çekici (sağda) (schmidt çekici) (Schuller, 2003; Arpacı, 2016). **39**
- Şekil 2.12** : UPV testi (ASTM, 2016; Zebari ve diğ, 2017). **39**
- Şekil 2.13** : Yüzey sıcaklığı ve neminin belirlenmesi (Aköz, 2005). **41**
- Şekil 2.14** : Termal kamera örnekleri (Tuğla ve diğ, 2018). **41**
- Şekil 2.15** : İnfrared (Kızılötesi) tomografi yöntemi ile tarihi bir duvarın yüzey sıcaklığının Ölçülmesi (Costanzo ve diğ, 2015)..... **42**
- Şekil 2.16** : Georadar yönteminin bir yapıda uygulanması (Aköz ve Yüzer, 2005). **43**
- Şekil 2.17** : Karsten tüpü ölçümü (Svahn, 2006)..... **44**
- Şekil 2.18** : Tuğla malzemesinin dayanıklılık değerlendirmesi için fiziksel gereklilik değerleri (ASTM, 2022). **45**
- Şekil 2.19** : Mikro CT analizi yapılmış bir tuğla örneği (yüzeye erişilebilir gözenekler mavi, yüzeye erişilemeyen gözenekler ise kırmızı renklidir) (Reedy ve Reedy, 2022)..... **47**
- Şekil 2.20** : Kılcallık örnekleri: (a) kapiler emme, (b) yüzeysel emme (Onaran, 1989). **49**
- Şekil 2.21** : Munsell renk tonu için tanımlama sistemleri (solda), yüzey-renk-algı düzeyinin boyutları (sağda) (ASTM, 2008). **51**

Şekil 2.22 : Örnekler asit eklendikten sonra baget ile karıştırılması ve nötralizasyon sonrası örneklerin çökmesinin beklenmesi (KUDEP, 2011).	52
Şekil 2.23 : Cismin basınç altında yanal ekseninde şekil değiştirmesi (Toydemir ve diğ, 2019).	54
Şekil 2.24 : Tuğla numuneler uygulanan basınç dayanım deneyi (Çağlar, 2018).	55
Şekil 2.25 : Tuğla numunelere uygulanan eğilmede çekme dayanım deneyi (Çağlar, 2018).	56
Şekil 2.26 : Sırası ile petrografi analizi için numunelerden ince kesitlerin hazırlanması, parlatılması, ince kesitlerin hazır hali ve mikroskop ile incelenmesi (KUDEP, 2011).	57
Şekil 2.27 : (a) X-Ray spektrometresi ve (b) kurulum kontrolü ve veri depolama için bilgisayar (Fernandes, 2006).	59
Şekil 2.28 : Spektrometre ölçümleri için seramik numunenin hazırlanması. (a) Tuğlalardan çıkarılan numunenin görünümü ve (b) teste hazır olan seramik malzeme ile plastik tablet (Fernandes F. M., 2006).	59
Şekil 2.29 : SEM-EDX 'in görünümü (KUDEP, 2011).	62
Şekil 2.30 : Donma/çözülme deneyi için kullanılacak numunelerin özellikleri (TS/EN, 2010).	62
Şekil 2.31 : Solda örneklerin suya sağda suya doymuş örneklerin dondurucu tanka yerleştirilmesi (KUDEP, s. 89).	63
Şekil 2.32 : Döngü Aşamaları (TS/EN, 2010).	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 2.33 : Kirli atmosfer simülasyonu için Kesternich odasının diyagramı (Cultrone ve diğ, 2000).	65
Şekil 2.34 : Tuğla deneyleri ve bu deneylerle elde edilen verileri tablosu.	66
Şekil 2.35 : Harcın tuğladan daha güçlü olduğu durumlarda tuğladaki bozulma (Donnelly, 2009).	69
Şekil 2.36 : Casa Beccafumi'nin (XVI. Yüzyıl, Siena, İtalya) cephesindeki tuğlaların toz haline gelmesi (solda); Corpus Domini Manastırı'ndaki (XV Yüzyıl., Bologna, İtalya) dekoratif bir pişmiş toprak heykelin derin erozyonu (sağda) (Franzoni ve diğ, 2014).	69
Şekil 2.37 : Tuğla duvar yüzeyinde çiçeklenme ve yosun büyümesi (Donnelly, 2009).	74
Şekil 2.38 : Duvarda, yapısal hasar gibi görünen ancak harcın iç kısmındaki geniş reaksiyonun neden olduğu çatlak deseni (Lourenço ve diğ, 2014).	75
Şekil 3.1 : Tuğlaya sağlamaştırıcı uygulama metodları, sırası ile damlatma, püskürtme, fırçalama ve kılcal yükselme ile emdirme (Pereira ve diğ, 2021)	89
Şekil 3.2 : Kâğıt kaplama tekniği (Torraca, 2005).	89
Şekil 3.3 : Farklı kaynaklarda geleneksel sağlamaştırıcıların sınıflandırılması.	91
Şekil 3.4 : Kil esaslı pişmiş tuğlanın sağlamaştırılmasında kullanılan sağlamaştırıcılar.	92
Şekil 4.1 : Malzeme analizi paftası örneği (solda), hasar analizi paftası örneği (sağda) (Ersen ve Verdön, 2010).	126
Şekil 4.2 : MDDS, inşaat ölçeğinde (solda) ve malzeme ölçeğinde (sağda) (Lourenço ve diğ, 2014).	127
Şekil 4.3 : Lazer ile temizleme şeması (Torraca, 2009).	134
Şekil 4.4 : Atomize (Nebülize) su ile temizleme şeması (Torraca, 2009).	134
Şekil 4.5 : Uygun olmayan aşındırıcı temizlik ile koruyucu yüzeyini kaybetmiş ve bozulmaya karşı savunmasız hale gelmiş tuğla örneği (Donnelly, 2009).	135

Şekil 4.6 : Sağlamlaştırıcının yerinde test edilmesi (Sánchez de Rojas ve diğ, 2004).	137
Şekil 4.7 : Önerilen deney süreci için akış diyagramı (BS/EN, 2014).	142
Şekil 4.8 : Tuğlaya uygulanmış harçla onarım çalışması. Gerektiğinde ve iyi işlikle yapıldığında geçici olarak istenilen etkiyi verdiği görülmektedir (Donnelly, 2009).	147
Şekil A.1 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerinde yapılan sağlamlaştırıcı çalışmalarının karşılaştırılması.....	179
Şekil B.1 : Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması için bir yaklaşım.....	181





PİŞMİŞ KİL ESASLI YAPI TUĞLASININ KORUNMASINA YÖNELİK ANALİTİK BİR YAKLAŞIM

ÖZET

Mimari miras, üretildiği dönemin kültürünü, yapı teknolojisini, zamanının özelliklerini günümüze taşıyan en önemli değerlerimizdendir. Bu nedenle, tarihi mirasımıza ait olan yapıların korunması oldukça önemlidir ve sürece çok hassas yaklaşılması gerekmektedir. Mimari mirası oluşturan tarihi yapı malzemelerinde, zamanın etkileri, atmosferik koşullar, kullanımdan kaynaklı etkiler, doğal afetler, insan etkileri gibi etkenler sonucunda, bozulma ve bozunma meydana gelebilmektedir. Ve hasar nedenleri doğru tespit edilip uygun müdahalelerde bulunulmazsa yapının ömrü azalmaktadır.

Pişmiş kil esaslı tuğlanın, insanlık tarihinde yapı malzemesi olarak kullanımı çok eski dönemlere kadar dayanmaktadır. Hammaddesinin kolay bulunabilmesi, pişirildiğinde dayanımı oldukça yüksek, uzun ömürlü bir malzeme elde edilmesi, uygulama kolaylığı gibi nedenlerden, doğal taşlardan sonra en çok tercih edilen yapı malzemelerinden biri olmuştur. Günümüzde tarihi mirasın birçoğu pişmiş kil esaslı yapı tuğlalarından oluşmaktadır. Fakat tuğla, geniş kullanım alanına sahip olmasına rağmen; genellikle araştırmalarda doğal taş ile birlikte ele alınmış, ayrı değerlendirilmemiştir. Hammade özellikleri, üretim şekli, fiziksel- kimyasal özellikleri, gözeneklilik özellikleri, bozulma ve bozunma süreçleri gibi nedenlerle doğal taştan ayrı özelliklere sahip olan pişmiş kil esaslı tuğla, özelinde bir araştırma yapılmasını gerekli kılmaktadır. Geleneksel üretim yöntemi ile elde edilen ve hammaddesinde safsızlıkların bulunduğu tarihi pişmiş kil esaslı tuğlalarda hasar süreçleri, doğal taşta göre farklılaşmakta ve çok daha hızlı gelişmektedir. Bu konu özellikle, mimari mirasının büyük çoğunluğunu tuğlaların oluşturduğu yerler için büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde de doğal taştan sonra tarihi mirasta en çok kullanılan malzeme kil esaslı pişmiş tuğladır.

Bu tez kapsamında, pişmiş kil esaslı tuğla malzemesinin korunması için bir yöntem geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yöntem olarak literatür araştırması tercih edilmiştir. Ulusal ve uluslararası kaynaklardan, öncelikle pişmiş kil esaslı tuğla malzemesinin korunması ve restorasyonu ile ilgili tüm kaynaklar incelenmiş, ardından kaynakların yetersiz kaldığı noktalarda, doğal taş ve harç malzemelerin koruma kaynakları incelenmiş ve bu doğrultuda bir yöntem önerisi geliştirilmiştir. Bu yöntem önerisiyle pişmiş kil esaslı tuğlanın korunmasında olası hataların önüne geçilmesi ve yapının ömrünün uzatılması hedeflenmiştir.

Tarihi mirasın korunmasında öncelikli olan, orijinal malzemenin mümkün olduğunca özgün ve az işlem göreyerek korunmasıdır. Yüzey koruyucu malzemesi olan sağlamlaştırıcılar, başarımlerini yerine getirdikleri takdirde yapı malzemelerinin özgün ve yerinde korunmasını sağlamaktadır. Kagir yapılarda sağlamlaştırıcıların kullanılması günümüzde devam etmektedir ama özellikle pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının üzerindeki etkinliklerinin anlaşılması için yeterli araştırma ve veri bulunmamaktadır. Bu nedenle bu tez kapsamında, sağlamlaştırma süreçleri ve başarımler

kriterleri ulusal ve uluslararası standartlar ve ilgili kaynaklardan araştırılarak, “uygulama öncesi”, “uygulama sırası”, “uygulama sonrası” olmak üzere üç ana adım oluşturularak incelenmiştir. Doğal taş ve pişmiş kil esaslı tuğlalar üzerine son 20 yılda yapılan sağlamlaştırıcı çalışmaları niceliksel olarak karşılaştırılmış ve tuğla üzerinde yapılan çalışmaların yetersizliği belirlenmiştir. Pişmiş kil esaslı tuğla üzerindeki yapılan tüm sağlamlaştırıcı çalışmaları incelenmiş, etkinlikleri başarımlar kriterleri üzerinden değerlendirilmiştir. Pişmiş kil esaslı tuğlalar için hangi sağlamlaştırıcıların uygun olduğu, uygulama yöntemlerinin sağlamlaştırıcıların başarısına etkisi, altlık özellikleri (sağlamlaştırıcının uygulandığı malzeme) ile sağlamlaştırıcıların özelliklerinin ilişkisi araştırılmıştır. Bu sayede ilerideki çalışmalara ışık tutması amaçlanmıştır.

Sonuç olarak, pişmiş kil esaslı tuğlaların sağlamlaştırılmasına yönelik tüm çalışmalar incelendiğinde, bütün tuğlalar için önerilebilecek ve tüm başarımlar kriterlerini karşılayan, tek bir sağlamlaştırıcı ve uygulama yöntemi olmadığı anlaşılmıştır. Pişmiş kil esaslı tuğlaların, etil silikat, nano silikat, nano titanyum ve biyomalzemeler ile sağlamlaştırılması çalışmaları neticesinde umut verici sonuçlar elde edildiği için, araştırmalara devam edilmelidir. Sağlamlaştırıcılar ile ilgili yapılan çalışmaların genellikle, sağlamlaştırıcı performansı üzerine yapıldığı görülmüştür. İşlem görmüş tuğlanın durabilitesi üzerine yapılan çalışma sayısı çok azdır. Su iticiler tuza dayanımı artırdığı için, sağlamlaştırıcılar ile birlikte etkileri üzerine de çalışılmalıdır. Tuğla, morfolojik, biçimsel özellikleri ve yeni tuğla üretimi ile koruma yönteminde diğer malzemelerden ayrılmaktadır. Tuğlanın korunması ve sağlamlaştırılmasında başarımların özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle korunmasına karar verilen her tuğla ve uygulanacak yöntemler malzemenin kendi özelinde düşünülmelidir. Tuğlanın korunmasında hata payını en aza indirmek için önerilen akış şemasındaki her bir adım özenle ve titizlikle takip edilmelidir.

AN ANALYTICAL APPROACH FOR THE CONSERVATION OF FIRED CLAY BASED BUILDING BRICK

SUMMARY

Historical heritage is an indicator of essential values that consist of information about the culture of that period, the building technology, and other characteristics of architecture at the time it was produced. For this reason, conserving the structures of architectural heritage is crucial, and the conservation process should be executed very sensitively.

Due to the effects of time, atmospheric conditions, usage, natural disasters, and human actions, deterioration and decay occur on historical building materials that constitute architectural heritage. And if the causes of deterioration and decay factors are not correctly determined and appropriate interventions are not made, the structure's life decreases.

As a building material, fired clay brick dates back to the earliest times in human history. After natural stone, brick has become one of the most preferred building materials. Because raw materials are available and easy to acquire, brick becomes very durable and long-lasting when fired, and ultimately, it is easy to apply. Thus, most structures of historical heritage are built with fired clay bricks.

However, despite brick's wide range of uses, it is generally not evaluated separately from natural stone materials in the research field. However, fired clay brick has very different properties (raw material, production method, physical-chemical properties, porosity, and degradation processes) than natural stone and requires a specified research area. Because of the lack of technological applications in its traditional production and the impurities in its raw material, the damage processes in bricks differ from those in natural stone and develop much faster. It is vital for countries like Turkey (in which, after natural stone, the most used material in the historical heritage is fired clay brick), where bricks constitute the majority of the architectural heritage.

As a research method, the literature review was preferred in this thesis. National and international sources (theses, standards, books, articles, and reports) were investigated in this context.

This research aims to develop a method for conserving fired clay brick material. The method was designed as a flow chart. Conservation method proposals for natural stone, mortar, and masonry structures in general exist in the literature, but not for fired clay bricks. Firstly, the literature related to conserving and restoring the fired clay brick material was examined. When the resources were insufficient, the conservation and restoration resources of natural stone and mortar materials were examined, and a method proposal was developed accordingly. This method proposal aims to avoid mistakes in the conservation process of fired clay brick and to extend the material's life after brick structures are built. So this way, it is expected to minimize the errors caused by the applications and extend the structure's life.

The priority in conserving historical heritage is to preserve the original material as authentically as possible and with the least amount of intervention. Consolidants—surface protective treatments—ensure the original and on-site preservation of building materials if they meet the performance criteria. Surface protective treatments are currently available in masonry structures, but more research and data are needed to understand their effectiveness, particularly in fired clay brick structures. Therefore, within the scope of this thesis, consolidation processes and performance criteria have been investigated from standards and related sources (national and international). Furthermore, they were examined by establishing three main steps. Which are:

- "pre-application"
- "during application"
- "after application"

In the last 20 years, consolidation studies on natural stone and fired clay bricks were compared quantitatively. This showed that the studies on bricks were not good enough. All consolidation research on fired clay bricks was examined, and their effectiveness was investigated, such as the compatibility of consolidation materials, the effectiveness of the consolidation, and the relationship between the properties of the substrate (the material to which the consolidant is applied) and the consolidation. In this way, it is aimed to understand and systematize the consolidation process for fired clay bricks and shed light on future studies about the conservation of fired clay-based bricks.

Besides those goals, this research aims to systematize the experiments to characterize the brick and understand the factors that cause the decay and degradation of fired clay bricks and the deterioration that occurs.

As a result of all the studies about the consolidation of fired clay bricks, it is understood that there is not one consolidation product or application method for fired clay bricks that can be recommended and meet all performance criteria. The research about consolidating fired clay bricks with ethyl silicate, nanosilicate, nanotitanium, and biomaterials gives promising results, so it should be continued. Accomplished consolidation of fired clay brick is directly related to the properties of the fired clay brick, the application method, and the properties of the consolidant. For this reason, the fired clay brick that is decided to be consolidated and the consolidant to be applied should be specially evaluated. In-depth studies and laboratory tests should be carried out before every application. The results should be analyzed, and decisions should be made accordingly.

In these technological conditions, none of the consolidants can be successful at all performance criteria. For this reason, conservation specialists should decide the primary criteria for fired clay brick which decided to consolidate according to its conditions (climatic conditions, function, location on the structure, etc.). The primary requirements for consolidation are: consolidation value, the durability of untreated fired clay brick, penetration depth, the porosity of treated fired clay brick, moisture transport, vapor transport, physical-chemical compatibility with fired clay brick, and effect on appearance.

The consolidation researches are generally about consolidant performance on the substrate. There are very few studies about the durability of treated fired clay bricks. Water repellents are increasing the durability of fired clay bricks for salt

crystallization. So the together usage and interaction between water repellents and consolidants should be researched.

Fired clay bricks differ from other conservation methods for building materials in terms of their morphological features and new brick production steps. These differences are considered in the proposed method. Historic terracotta bricks are heterogeneous materials and may have different properties in the same building. In some cases, they may even have different properties in one brick sample. For this reason, decision-making and the methods to be applied should be considered for each material itself. and it must be specific to that material. Each step in the proposed flow chart for the conservation of the fired clay brick must be followed carefully and meticulously.

Conservation of material is an interdisciplinary issue. For this reason, it will be possible to reach the most accurate result only with the cooperation of experts from different disciplines. In the process of conservation and restoration of the fired clay brick, experts should be consulted at every step.





1. GİRİŞ

1.1 Problem

Pişmiş kil esaslı yapı tuğlası, bol ve kolay erişimli hammaddesi, üretim ve uygulama kolaylığı, düşük maliyetli olması gibi nedenlerden dolayı günümüze kadar birçok uygarlıkta yapı malzemesi olarak geniş yer bulmaktadır (Eroğlu ve Akyol, 2017). Mezopotamya'dan, Mısır uygarlığına, Romalılardan, Asurlulara hatta Orta Asya'da dahi yaygın olarak kullanıldığı bilinmektedir. İbraniler Babil kulesini tuğladan yaparken, İranlılar tuğla ve çeşitleriyle birçok dini ve sivil mimari yapıları inşa etmişlerdir (Bakırer, 1981).

Günümüzde dünyadaki tarihi yapı stokunda, tuğla yapılar halen yüksek oranda yer almaktadır. Ve bu yapılar, inşa edildikleri dönemin mimari özelliklerini, yapı teknolojisini, kültürel özelliklerini, toplum kimliği yansıtmakta, buldukları ülkeler için yüksek tarihi ve ekonomik değer oluşturmaktadırlar. Bu nedenle mimarlık tarihinde yaygın olarak tuğla kullanılan ülkelerde, kil esaslı yapı tuğlasının korunması ve restorasyonu çok önemlidir. Fakat, aciliyetine ve önemine rağmen, pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması için literatürde yeterli çalışma bulunmadığı görülmektedir (Franzoni ve diğ, 2014).

Tarihi yapılarda malzeme korunması, karakterizasyonu ve standardizasyonu üzerine yapılan çalışmalar genel olarak doğal taş ve harç üzerinedir. Doğal taş, harç ve genel olarak kagir malzemeler için hazırlanmış koruma ve restorasyon yöntemleri mevcut iken (Arioglu ve Acun, 2006; Karkaş ve Acun Özgünler, 2021), tuğla için koruma ve restorasyon yöntemi bulunmadığı görülmüştür. Fakat tuğla, hammadde özellikleri, pişmesi ve bunun sonucunda vitrifikasyon elde edilmesi, üretim koşulları gibi süreçlerden sonra, son noktada harç ve doğal taştan farklı bir malzemeye dönüşmektedir. Bu nedenle korunması için uygulanacak adımların tuğla malzemeye uygun olarak tasarlanması gerekmektedir. Literatürde tarihi tuğlaların korunmasına yönelik bilginin yetersiz olmasının nedenlerinden biri de tuğla karakterizasyonuna yönelik standardizasyon eksikliğidir (Elert ve diğ, 2003; Lourenço ve diğ, 2014).

Tuğlaların mekanik özellikleri ve yüksek dayanıklılığı; atmosfer, insan, zaman vb. etkiler sonucunda azalabilir. Bu sürecin sonucunda, yapının statik ve dinamik davranışında sorunlar oluşabilir (Ribeiro, 2016). Bu noktada yapının güvenliği ve geleceğe aktarılması için önlem alınmalıdır. Bu sürecin önemli ve hassas olması nedeni ile, uygulanacak her adımın iyi tasarlanmış ve düşünülmüş, standardize edilmiş ve yöntem haline getirilmiş olması önemlidir.

1.2 Amaç

Bu çalışmada, tarihi yığma duvarların ana bileşenlerinden biri olan pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması ve restorasyonu sürecinde en doğru kararların alınabilmesi için bir yöntem önerisi geliştirilmesi amaçlanmıştır. Mimarlar ve koruma uzmanları için, pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması söz konusu olduğunda, bir yol haritası oluşturulmak istenmiştir. Böylece uygulamalardan kaynaklı hataların minimuma indirilmesi ve yapı ömrünün uzatılması hedeflenmektedir.

Tarihi mirasın korunmasında, yapının özgünlüğünün korunması ilk amaçtır (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Koruma yöntemlerinden sağlamlaştırma uygulamaları, tuğlanın yerinde korunmasına imkân sağlamaktadır. Literatür araştırmasında tuğla üzerine yapılan sağlamlaştırıcı çalışmalarının yeterli düzeyde olmadığı belirlenmiştir (Ribeiro, 2016). Bu nedenlerle bu tezde:

- Kil esaslı pişmiş tuğlalar üzerinde yapılan deneylerin sistematik hale getirilmesi;
- Tuğla malzeme üzerinde hasara neden olan etkenlerin belirlenmesi ve bu etkenler sonucunda meydana gelen hasarların tespit edilmesi;
- Hem doğal taş üzerine hem de tuğla üzerine uygulanan sağlamlaştırma çalışmaları, standartlar incelenerek, tuğla için sağlamlaştırma sürecinin de sistematik hale getirilmesi;
- Tuğlanın sağlamlaştırılmasında nelere dikkat edilmesi gerektiği, sağlamlaştırıcı etkinliğinin neye göre değerlendirilebileceği, başarılı bir sağlamlaştırma süreci için en başından sonuna kadar hangi etkenlerin önemli olduğunun anlaşılması;

- Kil esaslı pişmiş tuğlanın sağlamaştırıcı malzemeler ile korunması üzerine yapılan çalışmaların yetersiz olmasına ve bu çalışmaların artırılmasına yönelik dikkat çekilmesi;
- Kısaca pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının özgün değerini koruması için, fiziksel özelliklerine, meydana gelmiş hasar tipine, büyüklüğüne ve derinliğine, ortam şartlarına göre en uygun sağlamaştırma (konsolidasyon) malzemesi ve uygulama yöntemi belirlenmesi, böylece malzemenin yanlış konsolidasyon işlemi görüp ömrünün azaltılmasının önüne geçilmesi; amaçlanmıştır.

1.3 Kapsam

Bu tezin kapsamı, pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması için uygulanacak adımların belirlenmesi ve sistematik bir koruma yöntemi oluşturulmasıdır. Ayrıca malzemenin yerinde ve özgün bir şekilde korunmasına imkân sağladığı için pişmiş kil esaslı tuğlanın sağlamaştırıcı malzemeler ile korunmasının ve sağlamaştırılmasının incelenmesidir. Bu amaçla, pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması ile ilgili yönetmelikler, uluslararası standartlar, kaynaklar taranmıştır. Tuğla ile ilgili veri eksikliğinde doğal taş ile ilgili kaynaklar incelenmiştir. Bunun yanı sıra, bu zamana kadar pişmiş kil esaslı tuğlalara uygulanmış sağlamaştırma çalışmaları incelenmiş, sağlamaştırıcıların tuğla ile etkileşimleri, sağlamaştırma özellikleri, uygulama özellikleri, altlık özellikleri, kür koşulları ve değerlendirme parametreleri üzerinden bir analiz yapılmıştır.

1.4 Yöntem

Bu çalışmadaki, araştırma yöntemi literatür araştırmasıdır. Literatür araştırması kısmının birinci bölümünde pişmiş kil esaslı tuğlanın mimarlık mirası içerisindeki öneminin anlaşılması için tarihi araştırılmıştır. İkinci bölümünde pişmiş kil esaslı tuğlanın özelliklerinin anlaşılması için seramiklerin genel özellikleri, üçüncü bölümünde, pişmiş kil esaslı tuğlanın hammadde özellikleri ve üretim aşamaları incelenmiştir. Dördüncü bölümünde pişmiş kil esaslı tuğlanın; fiziksel, mekanik, petrografik, mineralojik ve kimyasal özellikleriyle ilgili kaynaklar; beşinci bölümünde ise pişmiş kil esaslı tuğlanın dayanıklılığının ve malzeme ile ilişkisinin anlaşılabilmesi için durabilitesi ile ilgili kaynaklar incelenmiştir. Böylece pişmiş kil esaslı tuğla

bütünsel olarak ele alınarak değerlendirilmeye çalışılmıştır. Çünkü pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanmış korumaya yönelik çalışmaların anlaşılması için öncelikle malzemenin kendi özelliklerinin tanınması gerekmektedir.

Malzemenin korunması sürecinde, öncelikle özelliklerinin karakterize edilmesi gerekmektedir. Böylelikle, bozulma ve bozunma mekanizmaları, malzeme özellikleri belirlenecek ve uygulanacak müdahalenin doğru seçilmesi mümkün olabilecektir. Bu nedenle literatür araştırmasının altıncı bölümünde pişmiş kil esaslı tuğlanın karakterize edilmesi yönünde uygulanacak deney yöntemleri araştırılmıştır.

Pişmiş kil esaslı yapı tuğlası, dayanıklılığı yüksek bir malzeme olmasına rağmen, zamanla çevresel ve diğer agresif etkiler sonucunda çeşitli bozunma ve bozulma süreçlerine uğramaktadır. Malzemenin korunma sürecinde doğru kararların verilebilmesi için, sorunlara neden olan etkenlerin ve bu etkenlerin tuğla üzerindeki sonuçlarının anlaşılması açısından önem taşımaktadır. Ancak bu şekilde hasar kaynağının ortadan kaldırılıp kaldırılamayacağı, özgün tuğlanın korunup korunamayacağı veya yeni tuğla kullanımı gerekip gerekmediği yönünde karar verilebilecektir. Bu nedenle literatür araştırmasının yedinci bölümünde, pişmiş kil esaslı tuğlada bozunma ve bozulma tipleri üzerine araştırma yapılmıştır.

Literatür araştırmasının sekizinci bölümünde, pişmiş kil esaslı tuğlanın korunma ilkeleri ve nedenleri araştırılmıştır. Çünkü tuğlanın korunması ve restorasyonu üzerine bir yöntem önerilmesi amaçlandığında öncelikle hangi ilkelere dikkat edilmesi gerektiği bilinmelidir.

Pişmiş kil esaslı tuğlanın yüzey koruyucuları ile sağlamlaştırılması, koruma yöntemlerinden biridir ve pratikte sıkça kullanılan bir uygulamadır. İnşaatında tuğla malzemenin kullanıldığı bazı kagir yapılarda, restorasyon çalışmalarında koruyucu olarak sağlamlaştırıcıların uygulanmış olmasına rağmen, tuğla üzerindeki etkinlikleri, performans kriterleri yeterli oranda anlaşılmış değildir. Bu nedenle literatür araştırmasının dokuzuncu bölümünde, tuğla üzerine uygulanmış sağlamlaştırıcı çalışmaları incelenmiş, sağlamlaştırıcı malzemelerin tuğla ile uyumunun değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Tuğlanın korunması ve sağlamlaştırılması ile ilgili tüm ulusal tezlere, İTÜ kütüphanesi, YÖK tez merkezi üzerinden ulaşılmıştır. Konu ile ilgili uluslararası

tezlere, Google arama motoru üzerinden, anahtar kelimeler ile yapılan arama sonucunda ulaşılmıştır.

Konu ile ilgili ulusal ve uluslararası yayınlanmış kitaplara, İTÜ Mimarlık Fakültesi Kütüphanesi, İTÜ Mustafa İnan Kütüphanesi, İTÜ Kütüphanesi veri tabanları, Google arama motoru, Google books üzerinden ulaşılmıştır.

Ulusal ve uluslararası kapsamda makale, rapor çalışmalarına İTÜ kütüphanesi, Tubitak Ulakbim, Sciencedirect, Springer, RefSeek, Base Research, Wiley, Taylor and Francis Online, Worldcat, Google arama motoru üzerinden ilgili anahtar kelimeler ile ulaşılmıştır. Tuğla ve doğal taşlarının sağlamaştırılması hakkındaki çalışmalar son 20 yıl ile sınırlandırılmıştır. Fakat tuğla ile ilgili kaynak azlığı nedeni ile bu sınır dışındaki çalışmalar da istisna olarak incelenmiştir. Tezin kapsamına sırlı tuğlalar dahil edilmemiştir.

Öncelikle ulusal standart TS-EN (Türk Standartları Enstitüsü) olmak üzere, uluslararası EN, BSI, ASTM, DIN standartlarında, tuğlanın ve doğal taşın korunması, sağlamaştırılması, karakterizasyonu için yapılacak deney konuları araştırılmıştır.

Araştırmada kullanılan anahtar kelimeler, “tuğlanın özellikleri”, “tarihi tuğlaların karakterizasyonu”, “tuğlaların sağlamaştırması”, “tuğlanın restorasyonu”, “tuğlanın korunması”, “koruma yöntemi”, “yüzey koruyucular”, “yüzey temizleyiciler”, “tuğlanın üretim yöntemleri”, “geleneksel tuğla”, “tuğlada bozulma ve bozunma etkenleri”, “kültürel miras”, “koruma ilkeleri”, “doğal taşların sağlamaştırılması”, “inorganik sağlamaştırıcılar”, “sentetik organik polimer sağlamaştırıcılar”, “alkoksisilan sağlamaştırıcılar”, “biyo sağlamaştırıcılar”, “biyokalsifikasyon”, “nano sağlamaştırıcılar”, “tahribatsız deneyler”, “tahribatlı deneyler”, “tuzdan arındırma” şeklindedir.



2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

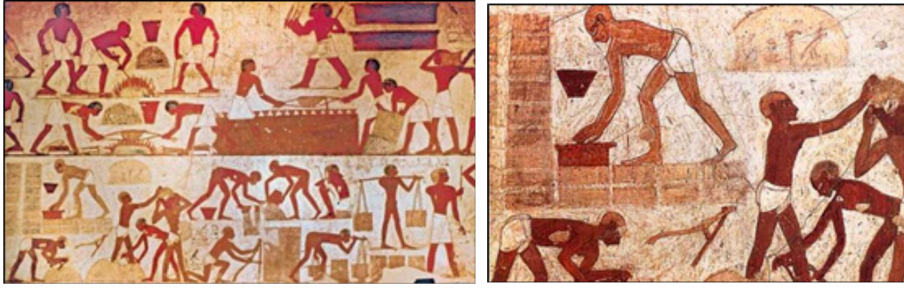
Literatür araştırması bölümünde kil esaslı pişmiş tuğlanın öneminin ve özelliklerinin anlaşılması amaçlanmıştır. Bu nedenle bu bölümde kil esaslı pişmiş tuğlanın tarihi, özellikleri, üretim aşaması, korunma ilkeleri araştırılmıştır. Malzeme karakterizasyonu için yapılması gereken deneyler, malzemede bozulma biçimleri ve nedenleri tuğla özelinde araştırılıp değerlendirilmiştir.

2.1 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlası Mimarisinin Tarihsel Süreç İçerisindeki Yeri

Pişmiş toprak malzeme günümüze kadar birçok uygarlıkta yapı malzemesi kullanımı olarak geniş yer kaplamaktadır. Özellikle ilk insanlar kili pişirmeyi öğrendikten sonra, yapılarını doğal taşın yanı sıra tuğla ile de yapmaya başlamışlardır (Toydemir, 1976; Ribeiro, 2016). Tuğla malzemesinin geniş kullanımda yer bulmasının nedenleri, üretim kolaylığı, hammaddelerine ulaşımın rahat olması ve düşük maliyetli olmasıdır (Eroğlu ve Akyol, 2017). Kerpicing pişirilerek tuğlaya dönüştürülmesi, ilk olarak Mezopotamya’da M.Ö.3500 dolaylarında görülmüştür (Bakırer, 1981, s. 2). Tuğla, ahşap veya doğal taştan farklı olarak yapıda kullanılmadan önce belirli hazırlık ve teknik bilgi gerektirir. İstenilen şekle göre üretilebilir. Bu nedenle tarihte ilk defa istenilen biçim ve boyutlara uygun ve aynı ölçülerde birimlerin bir araya getirilerek yapı yapılmaya başlanması tuğla ile gerçekleşmiştir (Toydemir, 1976; Bakırer, 1981, s. 1)

Tuğlanın yoğun olarak kullanıldığı uygarlıklara örnek olarak Asurlular, Çin uygarlığı, İbraniler, Hindistanlılar, İranlılar, Roma uygarlığı, Mezopotamya uygarlıkları gösterilebilir. Her biri seramiği hem taşıyıcı yapı malzemesi olarak hem de farklı kullanım alanlarında tercih etmişlerdir. Çinliler Çin Seddini, İbraniler Babil Kulesi’ni inşa etmişler, İranlılar bu malzeme ile birçok dini ve sivil mimari ortaya koymuşlardır. Aynı şekilde Anadolu uygarlığında da seramik malzeme kendine geniş ve zengin bir uygulama alanı bulmuştur (Toydemir, 1976).

İnsanlar korunmak için barınak yapmaya başladıkları zamandan beri, buldukları çevre koşulları ve şartları, yapı malzemelerinin seçimini etkilemiş, her topluluk doğal olarak kendine yakın çevrede bulunan malzemeyi değerlendirmek durumunda kalmıştır. Yapı teknikleri de malzemeyle ilişkili olduğu için bu süreçten etkilenmiştir. Tuğlanın kullanımı da bölgesel olanaklar ile de bağlantılıdır. Büyük Selçuklular 11. yy'da, bütün yapılarında (işlev ve ölçek fark etmeksizin), yalın tuğla kullanmayı tercih etmişlerdir. Fakat Anadolu'ya göçtüklerinde, tuğlanın yerini bölgede kaynak yoğunluğu nedeni ile doğal taş almış, tuğla ikincil yapı malzemesine dönüşmüştür. Kafkaslar, Girit ve Kıbrıs'ta da doğal taş yapı stoğu çoğunlukta iken, Mezopotamya, İran, Orta Asya ve Mısır'da taş kaynakları az olduğu için yoğunlukla tuğladan inşa edilmiş yapılar bulunmaktadır. Bu bölgelerde taş, tuğla duvarları sağlamlaştırmak için kullanılmıştır. Tuğlanın M.Ö. 1479-1425 döneminde üretimi ile ilgili freskler günümüze ulaşmıştır (Şekil 2.1) (Bakırer, 1981; Eroğlu ve Akyol, 2017).



Şekil 2.1 : Firavun Rekhmire'in (M.Ö. 1479-1425) mezarından (Hanedanlık Dönemi, tuğla üretimini anlatan fresk (Eroğlu ve Akyol, 2017).

Tuğlanın Anadolu'da ilk kullanıldığı yerler Erzincan ve Kayseri'dir. 12.yy.-13.yy. arasında yapılan bu yapıları Aksaray Selimiye köy ve Neneziköy takip eder. 13.yy.'da tuğla kullanımının yaygın olduğu yerler ise Konya, Akşehir ve çevresidir. Tuğla kullanılan yapıların işlevleri; türbe, mescit, cami, medrese, köşk, saray, han, kervansaray gibi yapılardır (Şekil 2.2). Tuğla Anadolu'da sadece yapısal olarak değil süsleme aracı olarak da geniş yer almıştır (Bakırer, 1981, ss. 20-22). Tuğla geleneksel Türk evlerinde, taşıyıcı malzeme ve ahşap karkas sistemde dolgu malzemesi olarak kullanılmıştır (Arpacı, 2016). Kısacası Anadolu uygarlığında doğal taştan sonra ikincil öneme sahip pişmiş tuğlanın hem ulusal hem de evrensel tarihi yapı stokumuzda ve kültürel mirasımızda önemli bir yeri vardır. Bu yapılar yapıldıkları dönemin tekniklerini göstermektedir ve yapıldıkları dönem ile günümüz arasında tarihi bir ilişki kurmaktadır. Bu nedenle tuğlanın korunması ve gelecek nesillere aktarılması önem teşkil eder.



Şekil 2.2 : Sırası ile tuğla kubbe örneği (Sivas Gök Medrese) (Öter, 2021), tuğla duvar örneği (İzzet Paşa Hamamı) ((Naldan, 2019); tamamı tuğla ile inşa edilen İplikçi Camii'nin mihrap arkasındaki kemeri (Yasa, 2016), Tuğla beşik tonoz (Zinciriye Medresesi) (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).

2.2 Seramiklerin Genel Özellikleri

Seramik genel olarak toprak esaslı malzemelerin pişirilmesi olarak tanımlanabilmektedir (Hasol, 2008, s. 414). Fakat malzeme biliminde, malzemelerin davranışları onların içyapıları ile açıklanmaya başladığından beri bu tanım genişlemiştir (Toydemir, 1978). Yeni tanıma göre seramikler; tuğla, terakota, sırlı karolar, bloklar gibi pişmiş toprak cisimlerin yanı sıra metal olmayan manyetik malzeme ve molekül yapısı toprağa benzeyen diğer malzemeleri de içermektedir (Vlack, 1972; Kocataşkın, 1976; Hasol, 2008, s. 414).

Seramik malzemeler bir veya birden çok metalin metal olmayan bir elementle (çoğunlukla oksijen) reaksiyona girmesi sonucu meydana gelmektedir. Bu reaksiyon sonucu oluşan iyonik veya kovalan bağları seramiklere kararlı ve dirençli olma özelliğini vermektedir (Kocataşkın, 1976, s. 33). Seramik malzemelerinin dirençlerinin yüksek olması erime sıcaklıklarının da yüksek olması sağlamaktadır. Fakat eğer genleşme imkânı olmayan bir yerde bulunurlarsa ısı değişimlerinde, ısı gerilmeleri sonucunda kırılma eğilimleri (Tanaçan, 1993).

Seramikler elektrik ve ısı iletimine karşı direnci yüksek malzemelerdir çünkü yapılarında serbest elektron bulunmamaktadır. Isıya ve kimyasal etkilere karşı dirençleri metallere oranla yüksektir. Bunun nedeni olarak da atomları arasındaki bağların metallereinkinden daha yüksek olması gösterilebilir (Kocataşkın, 1976; Toydemir, 1978). Suda erimezler ve yüksek sıcaklıklarda birçok eriyik malzemenin kimyasal etkilerine karşı dayanımlıdırlar. Sertlikleri yüksektir. Birçok türü aşınmaya karşı dirençlidir. Yük altında deformasyon kabiliyetleri sınırlı olduğu için kırılma sınıfına girmektedirler (Tanaçan, 1993).

Seramik malzeme basınç dayanımı yüksek bir malzeme iken, bünyesinde bulunan boşluklar ve çatlaklar nedeni ile çekme dayanımı belirli bir seviyede kalmaktadır (Postacıoğlu, 1981). Dayanımları yüksek olmasına rağmen sünek değildirler (Kocataşkın, 1976).

Seramik malzemeler yapılarına göre şu şekilde incelenebilir (Akman, 1987):

a. Kristal seramikler:

a.1 Silikat tipi kristaller,

a.2 Silikat dışındaki kristaller,

a.1.1 Sıkı yapılı MX bileşikleri

a.1.1.1 AX türü kristaller

a.1.1.2 A_mX_p türü kristaller

a.1.1.3 $A_mB_nX_p$ türü kristaller (Onaran, 1989)

b. Amorf seramikler

c. Cam bağlı seramikler

d. Çimentolar

“Seramik kristalleri, camlaşmış bir seramik matrisi içinde bulunmaktadır ve özellikleri üzerinde camlaşmış yapıdaki matrisin etkisi büyüktür” (Akman, 1987). Yapısını silikatlar oluşturur ve silikatlar doğada var olan birçok mineralin bünyesinde bulunmaktadır (Tanaçan, 1993). Silikatlar, seramik maddeler arasında iç yapısı organik polimerlere benzeyen maddelerdir. İç yapıları organik polimerlere benzediği için seramiklerle organikler arasında geçiş teşkil ettiği söylenebilir (Kocataşkın, 1976). Silikatların ana birimi monomer olan ve düzgün dörtyüzlüden oluşan SiO_4 ‘dür

(Tanaçan, 1993). Bu monomerde bir küçük silis atomu, dört büyük oksijen atomunun teşkil ettiği tetraedrin merkezdeki boşluğa yerleşmiştir (Kocataşkın, 1976).

Silikatlar farklı yapılardan oluşabilmektedir. Başlıca silikatlar aşağıdaki gibidir (Toydemir, 1978).

- Silikat tetrahedral birimi
- Silikat çift tetrahedral birimi
- Halka (Kocataşkın, 1976) ve Zincir yapısı
- Levha yapısı
- Kafes yapısı
- Silikat tetrahedral birimi

Silikat tetraedr biriminin ana yapı birimi bir silis-oksijen tetraedridir (SiO_4). Bu monomerde bir küçük silis atomu, dört büyük oksijen atomunun teşkil ettiği tetraedrin merkezdeki boşluğa yerleşmiştir (Vlack, 1972; Kocataşkın, 1976). Bu dört oksijen atomu ve silisyum atomu arasında birer elektron ortaklaşa kullanarak oluşan kovalan bağ kuvvetleri, tetraedrin atomlarını bir arada tutan kuvvetleri oluşturur. Bu elektron ortaklaşması ile ortadaki silisyum atomunun dış kabuğu elektronlarını 8'e tamamlar fakat tetraedrin köşelerindeki oksijen atomlarının dış kabuklarındaki elektronların sayısı 7 olmuş olur. Bu durumda bünye daha kararlılığa ulaşmış olmaz. Kararlı hale geçmek için oksijen atomları dış kabuk elektronlarının sayısını 8'e çıkarması gerekmektedir. Bunun için ya başka tetraedrlerin silisleri ile kovalan bağlar kurmak, ya da dışarıdan birer elektron alarak SiO_4^{4-} iyonu haline geçmek zorundadır. Bu iyon pozitif metal iyonları ile iyon bağları kurma eğilimindedir. Bu yolla birçok silikat yapısı ortaya çıkmaktadır (Kocataşkın, 1976).

Silikat çift tetrahedral birimi

İki silikat tetraedr birimi yan yana geldiği zaman oksijenlerden birisi her iki tetraedr tarafından paylaşılır. Bu şekilde ortak bir oksijen atomunun iki tetraedri birbirine bağlanması sonucunda negatif bir Si_2O_7^- iyonu (silikat çift tetraedr birimi) oluşur (Kocataşkın, 1976; Toydemir, 1978). Negatif silikat çift tetraedr iyonları, kendilerini dengeleyecek eş sayıda pozitif iyonla birleşirlerse piro-silikat grubunu meydana getirirler. Örnek olarak Ca_2 , Mg , Si_2O_7 mineralleri verilebilir (Kocataşkın, 1976).

Halka ve zincir yapısı

Halka ve zincir yapısının kurulması için her bir tetraedr biriminin iki oksijeni ortaklaşa kullanılır (Kingery, 1960). Üç, dört veya altı silikat tetraedri, ortak oksijen atomları yardımı ile kapalı halka oluşturacak şekilde birleşirler ve $\text{Si}_3\text{O}_9^{6-}$, $\text{Si}_4\text{O}_{12}^{8-}$ ve $\text{Si}_6\text{O}_{18}^{12-}$ bileşiminde negatif iyonları meydana getiriler (McColm, 1983). Bu halkalı aniyonların pozitif iyonlarla birleşmeleri sonucunda (kendilerini dengeleyecek kadar) halkalı silikatlar grubu mineralleri oluşur. Halkalı silikatlara örnek olarak Ca_3 , Si_3O_9 , (Wollastonit), Be_3 , Al_2 , Si_6O_{18} (Beril) verilebilir. Tetraedrler ortak oksijen atomları yardımı ile birbirlerine belirsiz uzunlukta zincirler doğacak şekilde eklenmesi sonucu, tekli, çift ve üçlü zincir olmak üzere üç farklı zincir türü ortaya çıkmaktadır. Zincirler arası bağlar Van der Waal's bağlarıdır ve zayıftır bu nedenle bu mineraller liflidir. Ca_2 , Mg_5 , $\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ (Tremolit), Mg_6 , $\text{Si}_4\text{O}_{11}(\text{OH})_6$, $2\text{H}_2\text{O}$ (Krisolit) mineralleri zincirli silikatlara örnek olarak gösterilebilir (Kocataşkın, 1976, s. 38).

Levha yapısı

Silika tetraedrler bir doğru yerine düzlem boyunca eklenmesi ile $(\text{Si}_2\text{O}_5^{2-})_m$, n formülünde iki boyutlu iyon oluşur. Ortaya çıkan bu iki boyutlu anyon iki boyutlu metal bir katyonla üst üste geldiğinde levha yapısı ortaya çıkar. Levha yapıları iki veya daha fazla tabakanın iyon bağları ile kuvvetli bir şekilde bağ oluşturması sonucu ortaya çıkmaktadır (Kocataşkın, 1976; Toydemir, 1978). Tabiattaki bu minerallerin birbirleri ile zayıf Van der Waal's kuvvetleri ile bağlı olması sonucu, bu mineraller kaygan, yumuşak ve kolay tabakalara ayrılma özelliklerine sahiptir. Bilinen en önemli örnekleri Kaolinit, Talk ve Profilitir (Kocataşkın, 1976).

Kafes yapısı

Silika tetraedrler eğer bir düzlem boyunca değil üç yöne doğru gelişirse o zaman kafes yapısı ortaya çıkmaktadır. Bu yapıda silikat tetraedrler tüm oksijenlerini komşu silikat tetraedrlere ile paylaşır. Her silisyum dört oksijen arasındadır (Vlack, 1972, s. 237). Silis mineralinin formülü SiO_2 şeklinde yazılır çünkü kütesindeki oksijen atomlarının sayısı silisyum atomlarının sayısının iki katıdır. Atomlarının hepsi kuvvetli kovalan bağı ile bağlıdır. Bu bağlarla bağlanan tetraedrler eğer uzayda düzenli dizilirse kuvars kristalini, düzensiz dizilirse amorf silis oluşur (Onaran, 1989, s. 283). SiO_2 atomlarından en sade olanı kristobalittir (Vlack, 1972, s. 237).

2.3 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Üretim Süreci

Bu bölümde kil esaslı pişmiş tuğlanın üretim süreci hammaddenin özellikleri ve üretim aşamaları olmak üzere iki ana başlık altında incelenecektir.

2.3.1 Hammaddenin özellikleri

Seramik malzemeyi oluşturan hammaddeleri temel özelliklerine ve üretim fonksiyonlarına göre sınıflandırmak mümkündür. Ancak bu hammaddelerin aynı anda benzer üretim koşulları ve özelliklere sahip olması söz konusu olduğundan bir veya birden fazla alt grupta yer alabilmektedirler (Tanaçan, 1993). Diğer sınıflandırma yöntemi seramiği oluşturan hammaddeleri plastik ve plastik olmayan hammaddeler olarak iki temel gruba ayırmasıdır (Toydemir, 1976). Pişmiş kil esaslı tuğla seramik bir malzeme olduğu için, bileşenleri aynı şekilde plastik ve plastik olmayan hammaddeler olarak ayrılmaktadır.

2.3.1.1 Plastik hammaddeler

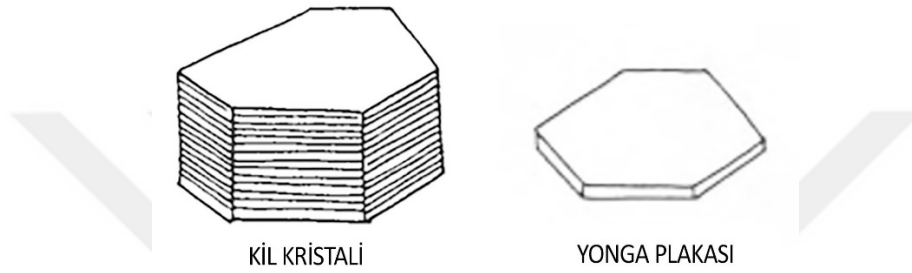
Plastik hammaddeler su eklendiğinde plastik özelliği gösteren her türlü kil içerikli malzemedir. Plastiklik özelliği killerin kuruma ve pişme aşamasında sahip oldukları şekillerini koruma avantajı sağlamaktadır. Bu sayede şeklini kaybetmeden, sıcaklık etkisi ile dayanımı ve yoğunluğu yüksek bir malzeme elde edilebilmektedir. Pişmiş kil esaslı tuğlanın plastik hammaddelerinden en önemlisi kildir ve hammaddesi için genellikle kilce zengin topraklar kullanılmaktadır. Bu topraklar killeri ile killi şistlerin ayrışmasından oluşur (Toydemir, 1978). Plastiklik özelliğini killere küçük levha yapılı kristalleri ile kil mineralleri sağlamaktadır (Tanaçan, 1993).

Kilin özellikleri

Killer, doğada bulunan minerallerdir. Doğal taşların içinde bulunan kuartz, feldspat, mika vb. minerallerin jeolojik ve kimyasal etkilerle zamanla ayrışması sonucu meydana gelirler (Toydemir, 1976; Torracca, 2005).

Ham kil heterojen ve karmaşık bir mineraldir (Fernandes, 2019). Ortak özellikleri çok küçük kristal yapılı parçacıklardan oluşmalarıdır (Kocataşkın, 1966; Tanaçan, 1993). Alvarez de Buergo ve Lim on (1994)'de kili 0,1 mm'den küçük danelerden oluşan bir mineral olarak tanımlamakta, Torracca (2005), kil kristallerinin boyutunun 2 mikronun altında ve genellikle altıgen şekle sahip olduklarını söylemektedir (Şekil 2.3). Gomes

ise kili çapı 2 mm'den küçük olan tüm çökeltiler için kullanılabilir bir terim olduğunu belirtmiştir (Fernandes, 2019). Birçok kil çeşidi olmakla birlikte en basit formu kaolinit (Hidrate Alümin Silikat) olarak isimlendirilir. Ve kaolinit kristali 1 mikron boyutunda hegzagonal plakçıklar şeklindedir (Kocataşkın, 1966). Kaolinitin yanı sıra diğer yaygın kil mineralleri montmorillonit, illit, talk ve pirofilittir (Fernandes, 2019). Doğada saf kil bulmak çok nadirdir. En yaygın killerde (örneğin Montmorillonit) yonga plakası, iki kat silika ve aralarına yerleştirilmiş bir alümina tabakasından oluşur (Torraca, 2005).



Şekil 2.3 : Kil plakaları (Torraca, 2005).

Yonga plakaları safsızlıkların varlığından dolayı hidroksil (-OH) grupları ve negatif yükler taşır. Bu safsızlıklara örnek olarak demir verilebilir. Demir pişmiş kilin sarı veya kırmızı renk almasına, erimiş kilin ise yeşil renk almasına neden olur. Montmorillonitteki sodyum gibi pozitif iyonlar, genellikle yonga plakaları arasında tutulur. Su hidroksil grupları tarafından çekildiği için kristale nüfuz edebilir. Suyun erişimi yonga plakaları arasındaki uzaklığın artmasına ve kilin şişmesine neden olur. Kuru bir atmosferde ise su kaybolur ve kil tekrardan büzülür (Torraca, 2005).

Killerin kimyasal formülü mAl_2O_3 , $nSiO_2$, pH_2O şeklindedir (Kocataşkın, 1966; Toydemir, 1976). Bünyelerinde ana bileşen olarak silika dioksit veya silika (SiO_2) ve alüminyum oksit veya alümina (Al_2O_3) içermektedir (Onaran, 1989; Torraca, 2005; Fernandes, 2019). Bunlara ek olarak, alkali ve toprak alkali bileşiklerini, demir oksitleri bünyelerinde barındırırlar. Silikatların dünya kabuğunun %90'ını oluşturduğu tahmin edilmektedir (Fernandes, 2019). Bu nedenle günlük hayatımızda önemli yer kaplamaktadırlar.

Killerin özellikleri 4 ana başlıkta incelenebilir. Bunlar plastisite, kohezyon, renk ve rötredir. Bu özellikler kilin seramik malzeme olma aşamasına kadar her noktada rol oynadığı için iyi anlaşılması gerekmektedir (Toydemir, 1976, ss. 7-8).

Plastisite: Kilin su ile birleşmesi sonucunda şekil alabilme özeliği kazanmasıdır. Su dışında farklı herhangi bir malzeme ile plastisite kazanması söz konusu değildir (Toydemir, 1976). Tüm killer ıslakken plastiktir, çünkü ince kristaller hafif bir basınç altında birbiri üzerinde kolayca kayar. Islak kile daha fazla su eklenirse tamamen dağılır (Torraca, 2005).

Kohezyon: Su ile karıştırılarak oluşturulmuş kil hamurunun, kurduğunda en son verilmiş şekli koruma özelliğine sahip olmasıdır (Toydemir, 1976).

Renk: Killer içinde bulunan maddelere göre farklı renkler alabilmektedir. Bu da bize killerin özellikleri hakkında bilgi sağlamamızda fayda sağlar. Saf kil yani kaolen beyaz renklidir. Eğer kilin içinde metal oksitler varsa renk alır. Mesela eğer kilde demir peroksit var ise rengi kırmızı olur, manganez bioksit ve lignit rengini siyah yapar ama pirit, glukoni ve stronsiyum tuzları rengini açık yeşil yapar. Kilde organik malzemeler de görülebilir. Bunlar da kilin rengini menekşeye döndürür. Killerin pişme öncesi ve sonrası renkleri de içlerinde bulunan demir oksit ve manganez oksit nedeni ile aynı olmayacaktır (Toydemir, 1976).

Rötre: Su ile oluşturulmuş kil hamurunun kurumaya terkedildikten sonra hacimce küçülmesine rötre denilmektedir. Kuruma sırasında başlayan rötre pişme aşamasında da devam eder. Ve kil hamurunun hem kurumada hem pişmede yaptığı rötreye toplam rötre denilir (Toydemir, 1976).

2.3.1.2 Plastik olmayan hammadeler

Plastik olmayan maddeler kil içine katıldığı zaman kilin plastisitesini azaltan maddelerdir. Yağ alıcı maddeler olarak da adlandırılırlar. Bu tür maddelerin kile katılması ile kilin plastisitesinin azaltılmasının yanı sıra, kilin rötresi de azaltılır. Kurumuş kil hamurunun porozitesini yükseltir. Bu maddelerin yağ alıcı özelliklerinin yanı sıra bir kısmı kil hamurunun camlaşması üzerinde de etkisi vardır. Bu özellikte maddelere eriticiler denir. Kum, pişirilmiş çakıl taşları, şamot, seramik kırıkları, feldspat, pegmatit, mika, ergiyen kumlar, cam, kireçtaşı plastik olmayan hammaddelere örnek olarak verilebilir. Kil esaslı tuğlanın bünyesinde plastik olmayan hammaddeler olarak genellikle feldspat, kireç, ergiticiler, silis kumu kullanılmaktadır. En çok bilineni ve en ucuz olanı ise kumdur. Kumun, kilin pişmesi sırasında meydana gelen küçülmeleri rötre gibi şekil değiştirme durumlarını kontrol altına alma özeliği vardır (Toydemir, 1976).

Plastik olmayan hammaddeler, tuğlanın pişme sıcaklığı, porozitesi, durabilitesi, ağırlığı vb. gibi birçok özelliği üzerinde etkilidir. Ham, kuru ve pişmiş haldeki tuğlalara istenen fiziksel ve kimyasal özelliklerin kazandırılmasında yardımcı olurlar. Ürünün rengini değiştirmek, kimyasal ve mekanik dayanımını artırmak, yüksek plastiklik kazandırmak, kuruma ve pişme rötresini azaltmak, ateşe dayanıklılığı artırmak, ısı yalıtım niteliği kazandırmak (yüksek porozite ve düşük birim-hacim ağırlık) vb. gibi nedenlerle plastik olmayan malzemeler tuğla hamuruna eklenmektedir (Tanaçan, 1993).

2.3.2 Üretim aşamaları

Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesinin geleneksel üretim yöntemi dünyanın birçok bölgesinde benzerdir ve temelleri zaman içinde değişiklik göstermemiştir. Dört ana üretim aşaması şu şekildedir (Toydemir, 1976; Gür ve diğ, 2012; Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017)

- Hamurun hazırlanması
- Şekillendirme
- Kurutma
- Pişirme

Elde edilecek tuğla malzemenin kaliteli olması için bu dört aşama da etkilidir. Yani bu aşamalardan herhangi birinde yapılan bir hata, diğer aşamalar doğru yapılsa bile sonuçta üretilen tuğlanın niteliğini etkileyecektir. Bu nedenle her aşamaya aynı özenin gösterilmesi gerekmektedir (Toydemir, 1976).

2.3.2.1 Hamurun hazırlanması

Hamurun hazırlanması aşaması, kilin yataktan veya ocaktan çeşitli vasıtalar ile çıkarılmasını, çürütme havuzunda çürütülmesini, ardından ihtiyaca göre gerekli malzemeler ile karıştırılmasını, parçalanmasını, öğütülmesini, incelttilmesini ve gerekli ölçüde rutubetlendirilmesini kapsar (Toydemir, 1976). Tuğlanın geleneksel üretim tekniğinde toprak, istenmeyen maddelerden arındırılmak için önce elenir, höyük şekline getirilip ortası boşaltılır ve su eklenir. Toprak bünyesindeki nem bulunduğu yere, su kaynağına yakınlığına göre değişmektedir, bu nedenle tuğla için kullanılacak su miktarı toprağın tipine, konumuna göre değişecektir (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).

Hammadde çıkarılma işleminden sonra bir açık hava deposuna taşınır ve birkaç gün veya hafta çürümeye bırakılır. Kilin içinde bulunan çözüner tuzların en aza indirilmesi ve malzemenin homojenliğinin artırılması için kil yığını sık sık karıştırılmalıdır. Karıştırma ilk zamanlarda insan gücü ile yapılırken daha sonra atların çektiği silindirler ve tekerlekler ile yapılmaya başlanmıştır. Böylece karıştırma süreci daha verimli hale gelmiştir (Fernandes, 2019). Hazırlanan çamurun üstü örtülüp malzemenin dayanımının ve kalitesinin artması için 2-3 gün stabilize olmaya bırakılır. Aksi takdirde bu hamurdan üretilen tuğlalarda zamanla çatlaklar görülecektir (Şekil 2.4) (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).



Şekil 2.4 : Ortası boşaltılıp su eklenmiş kil (solda), stabilize hale getirilmiş kil hamuru (sağda) (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).

Kil hamurunun plasisitesi kalıplanmaya uygun olmalıdır. Su oranı yani plasisitesi fazla olursa, kuruma aşamasında fazla büzülme nedeni ile bükülme, çatlama görülecektir. Su oranı fazla olan tuğla hamuruna kum eklenerek kilin plastikliği azaltılabilir. İlk tuğla üreticileri genellikle yaklaşık %30 kum ve %70 plastik kil karışımı kullanmışlardır (Fernandes, 2019).

2.3.2.2 Şekillendirme

Şekillendirme, tuğla hamuruna farklı yöntemlerle istenilen fonksiyona uygun olarak biçim verilmesi aşamasıdır. Bu aşamada kuruma ve pişme aşamasında meydana gelecek rötre nedeni ile hacim kaybının olacağı unutulmamalıdır. Kullanılacak kil hamurunun rötresi bilinmeli, tuğla kalıpları büyüklükleri buna göre hazırlanmalı ve sonuçta istenilen tuğla boyutundan büyük tutulmalıdır. Tuğlanın hamurunun şekillendirmeye uygun olduğu; hamurun karışımı, incelik derecesi, homojenliği, saflığı ve kıvamından anlaşılır. Tuğla hamurunun incelik derecesi, fayans gibi seramiklere göre farklı olmalıdır (Toydemir, 1976).

Tuğla için kullanılabilen şekillendirme yöntemleri kalıplama, presleme ve filaj veya etriyaj yöntemleridir. Kalıplama yönteminde, bir kalıp yardımı ile tuğla malzemenin şekillendirilmesi söz konusudur. Hamur kalıba el ile veya el presleri ile doldurulur. Kalıplar alçı, ahşap veya çelik olabilir (Toydemir, 1976). Geleneksel tuğla üretiminde ahşap kalıplar kullanılmaktadır (Şekil 2.5) ve hamurun yapışmasını önlemek için dibine kum serpilmiştir (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017; Fernandes, 2019).



Şekil 2.5 : Farklı boyut ve şekillerde tuğla kalıpları (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).

Tuğla hamuru kumla kaplanmış kalıplara elle yerleştirilir ve preslenir. Ardından kalıpta fazla malzeme varsa çıkarılır ve düzeltme aletleri kullanılarak düzeltilir (Şekil 2.6) (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).



Şekil 2.6 : Kil hamurunun şekillendirilmesi (Er, 2013; Dick, 2020).

On yedinci yüzyılda ortaya çıkan yeniden kullanılabilir stok kalıplar, daha hızlı ve daha tutarlı tuğla üretimine izin vermiş ve tuğla yapım sürecinin sanayileşmesinin ilk adımı olmuştur (Robinson, 1982). On dokuzuncu yüzyılın Sanayi Devrimi, kilin çıkarılmasından tuğlanın pişirilmesine kadar olan tüm aşamalar dahil olacak şekilde, tuğla üretim sürecinin mekanize edilmesinde ilerlemeler getirmiştir. Bu yüzyılda kil hamurunun büyük bir kuvvetle çelik kalıplara preslenmesi işlemi sonucunda çok tutarlı bir şekle ve düşük toleranslara sahip, çok yoğun bir tuğla elde edilmiştir. Tuğla için önemli gelişmelerden bir diğeri nihai tuğla ürünü üzerinde önemli bir etkisi olan

tuğla ekstrüzyon makinesinin geliştirilmesidir. Bu yeni teknik tarihi, geleneksel tuğlayı modern tuğladan ayıran önemli eşiklerden biridir. New England'da tarihi olarak kabul edilen ekstrüde tuğla örnekleri mevcut olsa da yirmi birinci yüzyılda üretilen ekstrüde tuğlalar tarihi olarak kabul edilmemektedir (Dick, 2020).

Ekstrüzyon, bir burgu ekipmanının plastik kili, tuğlanın enine kesitini oluşturan bir kalıp açıklığından geçirmesi şeklinde çalışmaktadır. Kalıplama işlemi ile hazırlanan tuğlalar, ekstrüde tuğlaya göre daha yüksek ve büyük boyutlu gözeneklilik özellikleri göstermektedir. Daha büyük gözenekler dayanıklılığı artırdığı için kabul edilebilir gözeneklilik değerleri, kalıplanmış tuğlada ekstrüde tuğladan daha yüksek olduğu söylenebilir (Robinson, 1982).

2.3.2.3 Kurutma

Tuğla hamurunun kurutulması işlemi, hamur içerisine kili şekillendirebilmek için katılan suyun hamurdan uzaklaştırılması işlemidir (Toydemir, 1976; Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). Kurutma işlemi güneş enerjisinden yararlanılarak açık havada yapılabileceği gibi (doğal yöntem), önceden ısıtılmış sıcak havanın hamur üzerine uygulanması şeklinde (suni yöntem) de yapılabilir. Süreç sonunda kil katılacak ve kurutma rötresi meydana gelecektir (Toydemir, 1976).

Geleneksel tuğla üretiminde doğal kurutma yöntemi tercih edilmektedir (Şekil 2.7). Bu yöntemde; üzeri kapalı, yerden bir miktar yüksek sundurmalarda, aralarından hava geçmesi için aralıklı dizilen şekillendirilmiş kil hamurları, atmosferdeki ısı enerjisi ile kurumaya bırakılmaktadır. Kurumanın süresi ve niteliği atmosfer koşullarına bağlıdır. Sonbahar ve ilkbahar ayları, kontrolü kurutma için uygun olmaktadır. Yağmur, rüzgâr ve güneşe karşı önlem alınmalıdır. Kuruma süresi genellikle tuğla cinsine bağlı olarak 15-30 gün arasındadır. Bu kurutma yöntemi enerji üretimine gerek olmadığı için ekonomik olarak nitelendirilebilir fakat kurutmanın uzun sürede gerçekleşmesi, geniş alan ihtiyacı, herhangi bir kurutma kontrolü yapılamaması, kurutmanın hava şartlarına bağlı oluşu ve el işçiliğine çok ihtiyaç duyulması dezavantajlarıdır (Toydemir, 1976; Vitruvius, 2017; Fernandes, 2019).



Şekil 2.7 : Şekillendirilmiş kil hamurunun güneşte kurutulması (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017; Kazmi ve diğ, 2017).

Suni kurutma, doğal kurutmanın dezavantajlarını gidermek için geliştirilmiştir. Isı enerjisi ile ısıtılmış havanın, kil hamurları üzerine verilmesi prensini ile çalışmaktadır. Bu yöntem sayesinde kurutma işlemi doğal hava koşullarının durumuna bağlı olmaktan çıkmıştır ve kuruma süresi 48 saate inmiştir. Homojen bir kurutma sağlanmaktadır. Tünel kurutma fırını ve kurutma odaları yöntemi olarak ikiye ayrılır. Bu yöntemde her yüzeye eşit uygulama yapılmasına dikkat edilmelidir. Aksi takdirde, daha fazla sıcak havaya maruz kalan yüzeyler önce kurur, rötrelerini aldıkları halde az kuruyan yüzeyler onları engeller ve sonuç olarak malzemede kırılma ve çatlama meydana gelir. Kurutucu hava aşırı sıcaksa da benzer durumlar görülebilir. Diğer kurutma yöntemleri ise elektrik akımı ile kurutma ve enfraruj (kızılötesi) ile kurutmadır (Toydemir, 1976).

2.3.2.4 Pişirme

Bu aşama tuğlaya esas özelliklerini kazandıran en önemli ve son üretim aşamasıdır. Tuğla pişme ile çeşitli fazlardan geçer ve son aşamada dayanımı yüksek sert bir malzemeye dönüşür. Pişme, tuğladaki dayanımın gelişiminden, tuğlanın renginden ve bozulma sürecinden de sorumludur. Bu nedenle pişirmenin kalitesi ve kapsamı tuğlanın ana özelliklerini belirler (Robinson, 1982). En son ürünün kalitesi de tuğlanın kullanıldığı yapının dayanıklılığını önemli ölçüde etkileyecektir (Fernandes, 2019).

Tuğlanın pişirilmesinde kullanılan fırınlar

Pişme işlemi seramik fırınlarında gerçekleştirilir. Bu fırınlar zaman içerisinde evrilseler de hepsinde pişirme aşamaları “doldurma veya istif, ısınma, pişme veya ateşleme, soğuma ve boşaltma” olacak şekilde aynıdır. Tuğla pişirmek için kullanılan fırınlar aralıklı işleyen fırınlar ve devamlı işleyen fırınlar olarak iki başlıkta incelenebilir (Toydemir, 1976).

Aralıklı işleyen fırınlarda pişme safhaları ayrı ayrı gerçekleşirken devamlı fırınlarda pişirme safhalarının her biri aynı anda gerçekleşmektedir. Böylece hızlı üretim yapılması söz konusu olmaktadır. Çizelge 2.1’de tuğla pişirmek için kullanılan tüm fırınlar görülmektedir. Bu fırınların çoğu, günümüzdeki gereken ihtiyaçları karşılayamadıkları için terkedilmişlerdir. Günümüzde tuğla pişirmek için en çok kullanılan fırın tipleri Hoffman fırını prensibinde çalışan fırınlar, tünel fırınlar, elektrikli fırınlardır. Sahra fırınları oldukça ilkel bir yöntem olmasına rağmen ülkemizdeki şartlar nedeni ile hala kullanımı yaygındır (Toydemir, 1976).

Çizelge 2.1 : Seramik fırın tipleri (Toydemir, 1976).

Aralıklı İşleyen Fırınlar	Devamlı İşleyen Fırınlar
Direkt alevli fırınlar	Pişme bölgesi hareketli fırınlar
Sahra fırını	Yuvarlak hofman (Hoffman) fırını
Kare fırın, iki katlı kare fırın	Galerili fırın
Kassel (Cassel) fırını	Zik-Zak fırın
Bovezi (Beauvaisis) fırını	Pişme bölgesi sabit fırınlar
Yuvarlak fırın	Tünel fırın
Çan fırını	Zarflı tünel fırın
Dolaylı alevli fırınlar	
Kubbeli yuvarlak fırın	

Geleneksel tuğla üretiminde kullanılan pişirme fırını sahra fırınlarıdır. Sahra fırınları, doğrudan ateş ile pişirilen ve sabit olmayan fırınlardır (Şekil 2.8) (Toydemir, 1976). Yaklaşık olarak 850°C ile 950°C arasında değişen sıcaklıklar elde edilebilmektedir. Aralarında boşluk bırakılarak üst üste kesik piramit şeklinde dizilen kil bloklarının üstü yine kil ile kaplanır. Yığının alt tarafında hava girmesi için delikler bırakılır ve yanıcı malzeme yerleştirilir. Böylece yanma için gerekli yakıt ve hava ihtiyacı karşılanmış olur. Bu fırınlarda pişme süresi uzundur ve 15-60 gün arasında değişir. Bu fırınlarda ısının homojen dağılması mümkün değildir. (Toydemir, 1976; Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017; Fernandes, 2019).

Ateşten uzak tuğlalar, yumuşak, turuncu ve somon renklerinde olabilmekte iken yüksek sıcaklık bölgesindeki tuğlalar oldukça sert, koyu kırmızı hatta kahverengi veya siyah olabilmektedir. Ateşe yakın tuğlalarda deformasyon da görülebilmektedir. Sonuç olarak, bu fırınlarda üretilen tarihi tuğlaların çoğu, yüksek gözenekli, yumuşak ve heterojen olmaktadır. Eski dönemlerde tuğlalardaki bu özellik farklılıkları, daha yumuşak tuğla birimlerinin iç mekânda, daha sert olanlarını ise cephe kaplamasında kullanılması şeklinde değerlendirilmiştir. Bu nedenle eski dönemlere ait iç mekân

tuğlalarını, dış hava koşullarına uygun olmadıkları için dış ortama maruz bırakan herhangi bir rekonstrüksiyon uygulaması başarısız bir uygulamadır (Robinson, 1982). Sahra fırınlarında dezavantajlarına rağmen iyi kalitede tuğla üretmek yine de mümkündür. Elastik bir üretim biçimi olması ve sabit yatırım gerektirmemesi nedeni ile hala tercih edildiği bölgeler vardır (Toydemir, 1976; Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).



Şekil 2.8 : Sırası ile, tuğla bloklar arasında kömür serilmesi (Er, 2013), dışı sıvanmış kesik piramit şeklindeki fırın, yanıcı malzemenin yerleştirilip yakıldığı hava delikleri, pişirilmiş ve bir kısmı sökülmiş tuğlalar (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017), yanmakta olan sahra fırınının üstten görünüşü ve fazla ısı sebebi ile zihterleşmiş tuğlalar (Er, 2013).

Sanayi Devrimi'nin bir sonucu olarak tuğladaki önemli gelişme, daha verimli fırınların geliştirilmesi ile daha düzgün, homojen ve genel olarak daha yüksek dayanıklılığa sahip tuğlaların üretilmesinin mümkün olmasıdır (Dick, 2020). Öncelikle sahra fırınları için, pişmiş tuğladan kalıcı duvarlar inşa edilmiş, ardından periyodik fırınlar geliştirilmiş ve dairesel alttan çekişli fırınlar popüler olmuştur. Tünel fırın 1940'larda hızlı bir yükselişe geçmiştir ve tek tip tuğla üretiminde daha başarılı olmanın yanı sıra; 30 saatlik pişme süresi ile, periyodik fırınlardaki beş güne kıyasla çok daha kısa pişirme döngülerine izin vermiştir (Robinson, 1982).

Kömür tuğla üretiminde 19 yy.'dan sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Öncesinde çok tercih edilmemektedir ve bazen tuğlaların bünyesine sülfat işlenmesine neden olmaktadır (Fernandes, 2019). Fakat bir kerede daha fazla miktarda tuğla üretme gerekliliği kömür kullanımını zorunlu hale getirmiştir (Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017).

1858 yılında Hoffman- tarafından bulunan yuvarlak hoffman fırınının diğer fırınlara göre avantajı, üretim hızı ve kapasitesinin yüksek olması ve yakıt ile elde edilen ısıyı oldukça verimli kullanmasıdır. Bu fırında, pişmiş malzemeye temas eden hava ısınır ve ısınan hava da pişmemiş malzemeyi ısıtarak ısı kazancı sağlar. Tünel fırınının, hoffman fırınından farkı malzemenin dekoviller üzerinde hareket etmesidir. Hoffman ve tünel fırının avantajları seri üretim sağlamaları, homojen ve niteliği yüksek bir pişirme elde edilmesi ve el işçiliğini azaltmalarıdır. Elektrikli fırınlar kil hamurunu elektrik akımının ısı enerjisinden faydalanarak pişiren fırınlardır. Yakıt için yanıcı madde ihtiyacı yoktur ve bu nedenle atık madde oluşturmaz. Pişirilecek malzeme en iyi şartlarda pişirilir ve yine kaliteli ve homojen bir ürün elde edilir (Toydemir, 1976).

Tuğlanın pişirilmesinde meydana gelen reaksiyonlar

Kil esaslı tuğlaların pişirilmesinde meydana gelen kimyasal reaksiyonlar asıl olarak kaolinite ne olduğuyla ilgilidir. Sıcaklık arttıkça farklı kimyasal reaksiyonlar tetiklenir (Fernandes, 2019). Camlaşma veya vitrifikasyon, kildeki ergiyen ilk bileşiklerin, katı halden sıvı hale geçmesi ve katı parçacıkların çevresini sarıp, boşlukları doldurması durumudur. Sıcaklık arttıkça bileşenlerdeki ergiyen miktarı artar, boşlukların hacmi azalır, camlaşma seviyesi yükselir. Sıcaklık artmaya devam ettikçe ve yaklaşık 1400°C' ye ulaşıncaya kadar tüm kütle sıvı hale geçer ve tam camlaşma gerçekleşir. Vitrifikasyon derecesi arttıkça, malzemenin bünyesindeki boşluk azalır, yoğunluğu artar; malzeme sert, gevrek ve yüksek dayanımlı olur (Onaran, 1989).

Kil esaslı pişmiş tuğlanın hamuru pişirilmeye başlandığında 100°C’de ilk olarak bünyesindeki serbest suyu kaybeder. Bu duruma büzülme de eşlik eder. Bu aşamalarda tuğlanın çatlamaması için çekmenin çok yavaş olması gerekmektedir. 350°C ile 650°C arasında organik maddelerin oksidasyonu gerçekleşmektedir ve 450 °C - 650°C arası sıcaklıkta kilin moleküler suyu serbest bırakılır (Toydemir, 1976; Onaran, 1989; Fernandes, 2019). 600°C ile 700°C arasında, kaolinit bünyesindeki suyu kaybeder ve metakaolin adı verilen susuz bir bileşik oluşur. 650 °C sıcaklıkta silis ve alümina arasındaki ayrışma, sıcaklığın artmasıyla başka bileşiklerin de oluşmasını sağlar. Böylece 850 °C ile 950 °C arasında CaO₂ salımını ve kalsit ve dolomit oluşumu ile karbonat yapının çökmesi meydana gelir. Bu sıcaklıklarda, yeni silika ve alümina bileşiklerinin oluşumu nedeniyle bir başka önemli büzülme gerçekleşir. Bu ilave büzülme, başlangıç hacminin %15 'ine ulaşabilir. Plastik olmayan kum gibi maddeler bu rötrenin az olması için kil hamuruna eklenir (Fernandes F. M., 2019). 800°C ile 1000°C arasında ilk sinterleme ve vitrifikasyon belirtileri gözlemlenebilir (Onaran, 1989; Fernandes, 2019). 900°C 'de gehlenit tamamen kaybolur. Sıcaklık yükseldikçe vitrifikasyon artar (Onaran, 1989). 1200-1500°C’ler arasında kilin pişmesi ile meydana gelen maddeler erimeye başlar ve camlaşır (Toydemir, 1976; Fernandes, 2019). Tuğlanın kırmızı rengi, sıcaklık arttıkça siyaha döner, bu durumda bünyesindeki boşluk azalmış dayanımı artmıştır (Onaran, 1989).

Piştirme süresinde malzemenin gözenekli yapısında görülen değişimler tanecik boyutunda büyüme, gözenek boyutunda küçülme, gözenek şeklinde küçülme, katı hal reaksiyonları, polimorfik dönüşümler, kristal yapılu bileşiklerde yeni faz veya gaz oluşturacak ayrışmalardır. Bu reaksiyonların hepsi killerin mineralojik, kimyasal birleşimleri ve tanecik boyutları ile alakalı olup, her kil türü için değişecektir (Kingery, 1960; Singer ve Singer, 1963; Toydemir, 1976; Tanaçan, 1993).

Kireçli tuğlalarda vitrifikasyonun başlaması için gerekli pişme sıcaklığı 840–960°C iken, kalkersiz tuğlalarda bu sıcaklık 30-60°C daha yüksektir. Tuğla hamuru içerisindeki karbonat varlığı, pişme sırasında gözenekliliğin artmasına neden olur. Genel olarak daha yüksek piştirme sıcaklıklarında partiküllerin erimesi ve kaynaşması sonucu kil partikülleri arasındaki küçük gözenekler kaybolur ve daha büyük gözenekler oluşur (Elert ve diğ, 2003). Bir tuğlanın yüzeyinden merkezine kadar olan özellikler, sıcaklıkta artan zamanla daha düzgün hale gelir (Robinson, 1982).

2.4 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Özellikleri

Tuğla estetik, yüksek basınç dayanımlı, durabilitesi yüksek, yüksek yangın ve hava direncine sahip, kaliteli ısı ve ses yalıtımı gibi performans özellikleri gösteren bir malzemedir. Dayanıklı yüksek yapı yapma ihtiyacını karşılar (Ren ve Kagi, 1995; Gür ve diğ., 2012; Dalkılıç ve Nabikoğlu, 2017). Gözeneklilik ve basınç dayanımının tuğlanın özelliklerinden en önemlileri olduğu söylenebilir çünkü diğer tüm özellikler bu iki ana özellikten etkilenmektedir (Fernandes, 2019).

Pişmiş kil esaslı tuğlanın karakterizasyonu için özelliklerinin iyi anlaşılması gerekmektedir. Bu bölümde kil tuğlalarının fiziksel, mekanik, petrografik, mineralojik ve kimyasal özellikleri incelenmektedir.

2.4.1 Petrografik, mineralojik ve kimyasal özellikler

Kil esaslı pişmiş tuğlaların mineralojisi, tuğlaların genel kalitesinin anlaşılması için faydalı bilgiler verir. Ham kilin karakterizasyonu ve kökeninin tanımlanabilmesi için tuğlanın bünyesindeki kuvars, feldspat mika veya muskovit gibi minerallerin miktarları ve oranları bilinmelidir. Ayrıca bazı minerallerin varlığı, pişme sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir. Son olarak da minerallerin yerleşim doğrultularından kalıplama süreci hakkında bilgi edinilir (Fernandes, 2006).

Kil esaslı tuğlalarda yaygın olarak bulunan kimyasal elementler şunlardır: silikon oksit (SiO_2), alüminyum oksit (Al_2O_3), demir oksit (Fe_2O_3) veya manyetit (Fe_3O_4), potasyum oksit (K_2O), titanyum dioksit (TiO_2), sodyum oksit (Na_2O), kalsiyum oksit (CaO) ve magnezyum oksit (MgO). Silisyum (SiO_2), ve alüminyum oksitler (Al_2O_3), kilin temel elementlerini oluşturur ve genellikle sırasıyla %50 ve %15-20 oranında bulunurlar (Fernandes, 2006; Lourenço ve diğ., 2014). Killer kumlu malzeme, alçı, kireç ve organik madde gibi farklı bileşenleri de bünyelerinde barındırmaktadırlar. Pişmiş toprak malzemeye rengini veren bileşen demir oksittir (Fe_2O_3). Demir oksit oranı arttıkça tuğlanın rengi de koyulaşacaktır. Eğer kilin içinde katkı maddesi olarak kireçtaşı gibi kalkerli mineraller var ise tuğlanın erken çatlamasına neden olabilir. Çünkü bu mineraller kalsiyum okside dönüşecektir ve suyla birleştiğinde hacimce genişleyecek, pişme aşamasında ise ayrışma meydana gelecektir. Tuğlanın rötresini azaltmak için eklenen kum gibi silisli malzemeler de, eğer kumun dane boyutu büyük ise kuruma ile rötre sırasında çatlamaya neden olacaktır (Fernandes, 2019). Eğer hamur içerisindeki kum az ise yağlı olarak ifade edilir ve bu hamurun işlenmesi zordur.

Kuruma ve pişme aşamasında fazla hacim değişimi ve çatlama yapar. Eğer bünyesinde yabancı maddeler az ise, ergime sıcaklığı yüksek olur ve pişirmek için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulur. Saf kaolinitin ergime sıcaklığı 1550 °C'dir ve eğer bünyesine yabancı maddeler eklenirse ergime sıcaklığı 800 °C'ye inecektir. Buna ek olarak yabancı organik maddeler pişme sırasında gaz haline geçecekler, kütle içinde gözle görülmeyen kapalı boşluklar oluşturacaklar ve tuğlaya izolasyon ve hafiflik açısından fayda sağlayacaklardır (Kocataşkın, 1966). Kilin temel bileşenlerinden silis 1750 °C'de, alüminat 2050 °C'de ergimektedir. Farklı kimyasallar ergime sıcaklığının düşürülmesi sağlayabilir. Mesela silise %6 alüminat katılması ergime sıcaklığını 1550 °C'ye düşürürken, kil içinde bulunan demir oksitler ve alkali bileşikler ergime sıcaklığını 900 °C'ye kadar düşürür (Onaran, 1989).

Kireç, organik madde, kum gibi bileşenlerin varlığı kil ile yapılan ürünlerin sonucunda yüksek heterojenliğe neden olabilir. Bu durumda ürüne zarar verici sonuçlar doğurabilir. Bu nedenle kiler kullanılmadan önce belirli yöntemlerle temizlenmelidir. Tarihi pişmiş kil tuğlası örneklerinde bu zararlı bileşenlerin yeterince uzaklaştırılmadığı görülmüştür. Tarihi pişmiş kil esaslı tuğlaların bu özelliklerini bilmek ileriki koruma ve sağlamlaştırma süreçlerinde büyük önem taşımaktadır. Çünkü yüksek heterojenlik çevresel koşullara karşı dayanımın az olması ile sonuçlanmaktadır.

2.4.2 Fiziksel özellikler

Bu bölümde kil esaslı pişmiş tuğlanın fiziksel özellikleri yani birim ağırlığı, özgül ağırlığı, gözeneklilik ve doluluk özellikleri, su emme, su ile şişme-büzülme / ısı ile genleşme-daralma, renk ve uygulanabilirlik/ölçüler özellikleri incelenmiştir.

2.4.2.1 Birim ağırlık, özgül ağırlık

Birim ağırlık, kuru tuğla ağırlığı ile tuğlanın görünen hacmi arasındaki oran olarak tanımlanır (Kocataşkın, 1976; Onaran, 1989; Fernandes ve diğ, 2010). Birim ağırlığın yüksek olması tuğlanın yoğunluğunun yüksek olması anlamına gelmektedir. Tuğlanın yoğunluğunun yüksek olması, bu sayede mekanik ve dayanım özellikleri de yüksek olacağı anlamına gelmektedir (Toydemir, 1976; Fernandes ve diğ, 2010). Tarihi tuğlalar için birim ağırlık tipik değerleri 1200 ila 1900 kg/m³ arasındadır (Fernandes ve diğ, 2010).

Özgül ağırlık ise kuru tuğla ağırlığı ile tuğlanın dolu hacmi arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır (Kocataşkın, 1966, 1976; Onaran, 1989). Özgül ağırlık dolu hacmine göre hesaplandığı için boşluklu malzemelerde daima birim ağırlıktan büyüktür (Onaran, 1989).

2.4.2.2 Gözeneklilik (porozite) / doluluk (kompasite)

Yapı malzemeleri ister doğal (taş) ister yapay (tuğla, kireç ve çimento harcı) olsun tek ya da çok mineralli agregalar ile belirli bir hacimde boş alan içermektedir. Bu boş alan, çeşitli biçim ve boyutlarda gözenek yarık ve çatlak olarak dolu malzeme kütlesi içinde dağılır. Bu boş hacmin toplamı gözeneklilik (porozite) olarak adlandırılır (Borrelli ve Urland, 1999, s. 3; Cultrone ve diğ, 2004). Gözeneklilik boşlukların (gözenek ve çatlakların) hacmi ile numunenin toplam hacmi arasındaki oran olarak tanımlanabilir (Kocataşkın, 1976; Onaran, 1989; Jernberg ve diğ, 2004; Fernandes ve diğ, 2010). Gözeneklilik yapı malzemesinin dayanıklılığını, mekanik dayanımını, birim ağırlığını, su emme özelliklerini, geçirimsizliğini, dona dayanımını, ısı ve ses yalıtımını büyük ölçüde etkileyen önemli bir özelliğidir (Onaran, 1989; Borrelli ve Urland, 1999). Bunun yansira malzemelerin gözenek durumu hakkında bilgi sahibi olmak, (gözenek ve yarıkların yapıları, hacimleri, boyutları, dağılımları) malzemeleri karakterize etmek, eskitme etkenleri altındaki davranışlarını tahmin etmek, eskime derecesini değerlendirmek ve koruma işlemlerinin etkinliğini anlayabilmek için çok önemlidir (Borrelli ve Urland, 1999; Cultrone ve diğ, 2004).

Cisimlerdeki boşluk tipleri kılcal boşluk, kapalı boşluk ve açık boşluk şeklindedir ve büyüklüklerine göre boşluklar şu şekilde sıralanabilir (Onaran, 1989):

- Moleküller arası boşluklar (Bu boşluklar cismin iç yapısı ile ilgilidir ve dışarıdan etkilenmezler)
- Mikro boşluklar (0,1 mikrondan küçük boşluklara denir)
- Kılcal boşluklar (0,1 mikron ile 2,5 µm arasındaki boşluklardır)
- Makro boşluklar (2,5 µm den büyük olan boşluklardır)

Bu boşluklar dışa açık veya dışa kapalı şeklinde olabilirler. Dışa açık olan boşluklar ile kılcal boşluklar malzemenin su emme ve geçirimsizlik özellikleri açısından önemlidir (Onaran, 1989).

Doğal taşlardaki gözenekler malzemenin doğada oluşumuna bağlıdır fakat insan üretimi yapı malzemelerinde bu durum farklılaşır ve gözeneklilik malzemenin üretim aşamasındaki kriterlere bağlı hale gelir (Borrelli ve Urland, 1999). Yani tuğlanın gözenekliliği hammaddesindeki kilin kalitesinden, içindeki su miktarından, safsızlıkların varlığından, pişirme koşullarından ve sıcaklığından etkilenir (Fernandes ve diğ, 2010; Fernandes, 2019).

Özellikle tuğlanın üretim aşamasında pişirilmesi -ki doğal taşlardan ayıran en önemli parametresidir- pişirme sıcaklığına bağlı olarak gözenekliliği etkileyen dokusal, mineralojik ve fiziksel bağlamda birçok değişikliğe neden olur (López-Arce ve diğ, 2003; Cultrone ve diğ, 2004). Pişme sıcaklığı arttıkça büyük gözenekler artacak, gözeneklerin arasındaki bağlantı azalacaktır ama ince gözenekler de azalacaktır. Bunun sonucunda da gözenekler arası bağlantısı daha az tuğlalar elde edilecektir (López-Arce ve diğ, 2003). Pişme sıcaklığının yanı sıra, kil esaslı tuğlada gözeneklilik; hammaddedeki kilin kalitesinden, içindeki su miktarından, safsızlıkların varlığından da etkilenir (Fernandes ve diğ, 2010; Fernandes, 2019).

Kil esaslı pişmiş tuğlalarda gözenekler tuğlanın hacminin büyük bir bölümünü oluşturur ve tuğlanın mekanik dayanım, durabilite (dayanıklılık), kimyasal tepkime ve tuğlanın genel kalitesi ile doğrudan ilgilidir (Fernandes ve diğ, 2010; Fernandes, 2019). Gözeneklilik arttıkça, malzemenin dayanımı, elastiklik modülü ve sertliği önemli ölçüde azalır (Lu ve diğ, 1999; Lourenço ve diğ, 2014). Gözeneklilik sadece tuğlanın kendi bünyesinde bulunan boşluklardan ya da diğer süreksizlik nedenlerinden değil, bozulma sürecinde oluşan çatlaklardan da etkilenmektedir (Papayianni ve Stefanidou, 2000; Cultrone ve diğ, 2004). Su malzemeler içerisinde gözenekler aracılığı ile iletilir. Tuzlar daha gözenekli malzemede, tuzların su ile taşınmasından dolayı, daha yoğun olacağından, yüksek oranda gözenekli malzemeler (özellikle ince gözenekler) tuz kristalizasyonundan daha çok etkilenecektir (Charola ve Lazzarini, 1986; Lu ve diğ, 1999). Belirli bir zaman aralığında emilen su miktarı, tuğlanın sadece toplam gözenekliliği ile değil aynı zamanda gözenek boyutu ve dağılımı ile de ilişkilidir (Mallidi, 1996). Gözenek boyutu ve dağılımı yüksek olan malzemelerde su tutma kapasitesi de fazla olacaktır. Aynı şekilde kuruma davranışı için de bu orantıdan söz edilebilir (Cultrone ve diğ, 2004). Bu nedenle gözenek boyutu dağılımı tuğlaların donma çözünme döngüsüne dayanımını da etkileyen bir faktördür (Mallidi, 1996). Küçük gözenekler ise geniş gözeneklere göre çözünür tuzlardan ve donma çözülme

döngülerinden daha fazla etkilenmektedirler. Eğer ham kilin bünyesinde karbonat varsa 800-1000°C arasındaki bir sıcaklıkta ince gözenekler ($<1 \mu\text{m}$) oluşacaktır ve çözünür tuzlara ve donma çözünme döngülerine karşı daha dayanıksız bir tuğla elde edilecektir. Aynı zamanda ince gözenekler tuğlaların su emme ve tutma kapasitesini artırdığı için yine tuğla kalitesini olumsuz etkileyecektir (Lu ve diğ, 1999; Fernandes, 2019). Yani buradan da anlaşılacağı üzere gözenek boyutu dağılımı da malzemenin fiziksel ve mekanik özellikleri ile ilişkilidir (Mallidi, 1996; Papayianni ve Stefanidou, 2000). Kil esaslı tuğla, özellikle geleneksel yöntemler ile elde edilmişse, hammadde kalitesi, pişirme sırasında yeterli sıcaklığa ulaşamaması ve homojen pişirme sağlanamama gibi nedenlerle yüksek gözenekliliğe sahiptir. Çağdaş binalarda kullanılan tuğlaların gözeneklilik oranı %11-40 aralığında karakterize edilir (Martinez ve diğ, 2016). Tarihi binalarda yapılan çalışmalar sonucunda gözeneklilik aralığı %15-%48 aralığında bulunmuştur (Elert ve diğ, 2003; Fernandes, 2006; Fernandes ve diğ, 2010; Eroğlu ve Akyol, 2017). Oysa tarihi yapılarda kullanılan belirli türdeki kumtaşlarının gözeneklilik oranları, 10-15%, kireçtaşlarının gözeneklilik oranları yaklaşık %20-30 arasındadır (Franzoni ve diğ, 2014). Şekil 2.9'da tuğladaki farklı boyut ve oranlardaki gözenekler gösterilmektedir.



Şekil 2.9 : Tuğla malzemedeki farklı boyut ve oranlardaki gözenekler (Stefanidou, 2007).

Bu verilerden anlaşıldığı gibi tarihi kil esaslı tuğlalar, doğal taşlardan daha yüksek porozite değerleri göstermektedir ve bunun sonucu olarak bozulma ve bozunma süreçlerinden daha çok etkileneceklerdir.

Kompasite kil esaslı pişmiş tuğlanın dolu hacminin tüm hacmine oranıdır. Porozite ve kompasitenin toplamı kil esaslı pişmiş tuğlanın toplam hacmini vermektedir (Kocataşkın, 1976).

2.4.2.3 Su Emme

Akışkanlar basınç altında boşluklu malzemelerin içinden geçeceklerdir. Bunun yanı sıra basınç olmadığı zamanlarda, doğal koşullarda da boşluklu malzemelerde kılcal etki ile su geçirimsizliği görülebilmektedir. Kılcallık suyun yüzey geriliminden dolayı doğan bir çekimdir ve akışkanın farklı yönlerde hareket etmesine neden olabilir. En sık rastlanan akışkanlar sıvı halinde su, gaz halinde ise su buharıdır. Malzemenin suyu içerisine geçirmemesi ama su buharının geçirimini engellememesi beklenmektedir. (Kocataşkın, 1976; Onaran, 1989).

Gözeneklilik kısmında değindiğimiz gibi kil esaslı pişmiş toprak malzemeler gözeneklilik oranı yüksek malzemelerdir. Gözenekler suyun iletimini sağlayan en önemli parametredir. Gözeneklilik tuğla içerisinde dolaşacak veya depo edilecek suyun kapasitesini, su emme oranı belirler. Yüksek gözenekliliğe sahip olan tuğlalarda su emme oranının da yüksek olması söz konusudur. Bünyesinde yüksek miktarda su bulunduran tuğla, donma çözülme ve tuz kristalizasyonu etkilerine karşı dayanımı düşük olacağı için, su emme oranının tuğlanın mekanik dayanımını azaltmayı desteklediği söylenebilir (Fernandes ve diğ., 2010).

Su emme oranı tuğlanın kullanılma amacını belirler. Tuğlaların harca yapışabilmesi için su emme oranının belli bir miktarın altında olmaması gerekir. Ama ısı izolasyonu için kullanılacak bir tuğla ise su emme yani boşluk oranının yüksek olması gerekmektedir. Dona dayanıklı bir tuğla ihtiyacı varsa su emme oranı düşük olmalıdır (Toydemir, 1976).

Kılcal su emme, cismin alt yüzeyinden suyla temas etmesi sonucunda, suyun malzeme bünyesindeki borucuklardan, yerçekimine karşı zamana bağlı olarak yükselmesidir. Borucuk yarıçapı küçüldükçe ($<150 \mu\text{m}$), suyun ilerlemesi artacaktır. Kılcallık yani kılcal su emme katsayısı, cismin ağırlığının artışı ile belirlenir (Toydemir ve diğ., 2019).

2.4.2.4 Su ile şişme-büzülme / ısı ile genleşme-daralma

Gözenekli malzemelerin çoğu bir miktar nem genleşmesi gösterir. Tuğlanın nem genleşmesi yaklaşık % 0,04 oranı ile genellikle düşüktür. Pişme sıcaklığı düşük olan tuğlalarda % 0,1 gibi daha yüksek genleşmeler meydana gelebilir (Robinson, 1982). Tuğlaların nem genleşmesi kilin pişmesi sırasında bünyesinde oluşan amorf malzemelerin veya camların hidratasyonu ile ilgilidir (Ritchie, 1975), ve bünyesindeki

killi minerallerin içeriğinden ve kireç varlığından etkilenir (Fernandes ve diğ, 2010). Kireç veya alçı parçacıkları, bazen duvar birimlerini parçalamaya veya duvarları çatlatmaya ve tahrip etmeye yetecek kadar yüksek nem genleşmelerine neden olabilir (Robinson, 1982). Islanma/kuruma nedeni ile kil esaslı tuğlalarda gerçekleşen nem genleşmesi, kısmen veya tamamen tersine çevrilebilir. Tuğlaların eski olması ile çok ilgili değildir (Fernandes ve diğ, 2010).

Tuğlalarda nem genleşme miktarı, tuğlanın üretimindeki parametrelerin farklılaşabilmesi ve sonuç ürünlerin de aynı nedenle değişken olması nedeni ile değişkendir. Nem genleşme hızı ve miktarı, iç özelliklerin yanı sıra tuğlanın depolandığı havanın bağıl nemine bağlıdır. Belirli bir hammaddeden yapılmış tuğlaların nem genleşme miktarı büyük ölçüde pişme sıcaklığına bağlıdır. Farklı kil hamurları pişme sıcaklığı ile nem genleşmesi arasındaki ilişkinin anlaşılması için 850-1200°C aralığında pişirildiklerinde ve daha sonra su buharı ile buğulandıklarında, pişme sıcaklığına karşı nem genleşmesi grafiklerinin 950°C de maksimuma çıktığı, daha sonra azaldığı, 1100°C' de pişirilen numunelerin genleşmesinin 850°C' de pişirilen numunelerden daha az olduğu bulunmuştur (Ritchie, 1975).

Sıcaklık değişimi ile tuğlalarda genleşme ve daralma meydana gelecektir. Sıcaklık değişimlerinden dolayı yapı tuğlalarının uzunluğundaki değişiklik, bazen tuğla-yığma duvarların çatlamasına neden olan faktörlerden biridir. Araştırmalar sonucunda kil esaslı tuğlanın genleşmesi ile diğer fiziksel özellikleri arasında belirgin bir ilişki olmadığı görülmüştür (Ross, 1941).

2.4.2.5 Renk

Kil esaslı pişmiş tuğlaların rengi çoğunlukla içinde bulundurduğu kilin kimyasal yapısına ve pişirilme işlemi sırasındaki koşullara bağlıdır. Kil esaslı pişmiş tuğlaların renkleri, kil mineralinin yapısı, tuğlanın içindeki kireç kum, organik madde gibi safsızlıkların miktarına ve bünyesindeki demir oksitlerin ve hidroksitlerin içeriği gibi nedenlere bağlı olarak açık bejden koyu mora doğru değişebilir. Eğer tuğla daha çok sarı renkli ise hammaddesindeki kilin daha düşük demir bileşikleri içerdiği söylenebilir. Yüksek demir bileşiklerine sahip killerden üretilen tuğlalar kırmızı ve mor olacaktır. Bunun yanı sıra kireçtaşı varlığı tuğlalara turuncu rengi verebilecek iken yüksek miktarda organik madde varlığı tuğlaları karartacaktır. Tuğla bünyesinde %5-10 arasında demir oksit (Fe_2O_3) bulunursa tuğlanın rengi kırmızı, %3-10 arasında

Titanyum Dioksit (TiO_2) varsa tuğlanın rengi sarı, %0,5-4 arasında Manganez Dioksit varlığı ise tuğlanın rengi kahverengi olabilir. Yani metal oksitin oranına göre tuğlanın rengi değişecektir. Bu üç metal oksit dışındaki krom gül rengini, kobalt ve manganez birlikte siyah rengini, antimon ve titanyum sarı rengini, bakır yeşil rengini, kobalt mavi rengini verebilir (Fernandes, 2006).

Tuğlanın rengi ile yapısı arasında belirgin bir karşılıklı ilişki vardır. Daha açık renkli tuğlalar, heterojendir, bünyesinde görünür kil toprakları mevcuttur, daha az kompakttır ve çatlak oranı yüksektir (Bartz ve Chorowska, 2016). İlk bakışta, seramiğin renk ve yapısındaki bu tür farklılıklar, farklı hammaddelerin kullanılmasına bağlanabilir. Bununla birlikte, tuğlanın rengi, pişme sıcaklığı, fırındaki oksitleyici/indirgeyici koşullar gibi pişme sürecinin de bir göstergesidir (Cardiano ve diğ, 2004; Rathossi ve diğ, 2004). Tipik olarak tuğlada daha koyu renkler, yüksek pişirme sıcaklığı ve daha gelişmiş bir vitrifikasyon ile ilişkilidir (López-Arce ve diğ, 2003). Fırın içerisinde oksijen serbestçe akabiliyorsa ve sıcaklık 900 ile 1000 °C arasında ise ortam oksitlenmiş olur ve açık sarıdan kırmızıya doğru tuğlalar oluşur. Bu sıcaklığın üzerine çıkıldığında tuğlaların rengi mor, kırmızı, kahverengi veya griye dönüşebilir ama eğer hava sirkülasyonu zor olan bir fırında tuğla pişiriliyorsa ortam “indirgeyici” olur ve siyah çekirdekli koyu kahverengi, mor veya mavimsi renkler gibi daha koyu renkler elde edilir (Fernandes, 2006). Homojen olmayan pişirme koşulları gibi nedenlerden tek tuğlanın bünyesinde bile renk farklılıkları meydana gelebilmektedir (Fernandes, 2006; Bartz ve Chorowska, 2016). Rengi farklı olan tuğalaların petrografik özellikleri benzer olabilmektedir (Bartz ve Chorowska, 2016).

2.4.2.6 Uygulanabilirlik/ölçüler

Pişmiş kil esaslı tuğlanın boyutları her zaman aynı değildir ve binlerce yıllık tarihi boyunca gelişmiştir. Genel olarak, eski kil tuğlaların sergilediği boyutların, malzemelerdeki gelişmeler, yapım teknolojisi, kullanımları, üretim maliyetleri ve insan ihtiyaçları ile birlikte değiştiği kabul edilmektedir. En eski kil esaslı tuğlaların, Mezopotamya ve Roma dönemlerinde ortaya çıkanlar gibi geniş bir formatta ortaya çıktığı anlaşılmaktadır. Genellikle o döneme ait tuğlalar, kenarları 40-50 cm'den büyük değerlere ulaşan düz kare veya dikdörtgen şeklindedir ve uzunluğunun %20' sinden daha küçük kalınlıklar sergiler (Fernandes, 2006).

Orta Çağ'dan sonraki tuğlalarda tuğla oranlarının şaşırtıcı bir şekilde benzer kaldığı görülmüştür. Bir tuğla uzunluğunun genişliğine yaklaşık 2:1 oranı, tuğla duvarın çeşitli biçimlerinde dış açmak için başlıkların kullanıldığı tipik bağ desenleri tarafından gereklidir. Başlıklar farklı bir yöne yönlendirilmiş tuğla olduğundan, bu 2:1 oranı bir tuğla duvarın inşası için esastır. Tarihsel olarak pek çok farklı bağ deseni kullanılmış olsa da 2:1 uzunluk / genişlik oranı kavramı, Orta Çağ'dan beri tüm duvar örgüsü bağlarında ve hatta büyük Roma tuğlalarında bile yaygındır (Dick, 2020).

2.4.3 Mekanik özellikler

Mekanik özellikler, dış kuvvetler ve benzeri farklı yükler altında malzemede oluşan her türlü değişiklikleridir. Pişmiş kil esaslı tuğlanın kullanımı açısından karşılaştığı mekanik etkiler; basınç, eğilme ve çekme etkileridir. Tuğla kırılğan bir malzemedir bu nedenle gevrek kırılmaya uğrar. Yani mekanik yükler altında kırılması anidir ve çok az deformasyona uğrar. Ve yine kırılğan bir malzeme olduğu için basınç dayanımı genellikle çekme dayanımlarından yüksektir (Toydemir, 1976).

Tarihi tuğlaların mekanik dayanımlarının değerlendirilmesi, dağılımlarından dolayı zor olabilmektedir. Ek olarak deney koşulları da (numune boyutları ve nem içeriği, sınır koşulları, sıcaklık vb.) çıkan sonuçları etkileyebilir (Lourenço ve diğ, 2014).

2.4.3.1 Basınç dayanımı

Basınç dayanımı, kil esaslı pişmiş tuğlanın, bulunduğu yapıda mevcut olan basınç yükleri altındaki dayanımının değerlendirilmesini sağlayan önemli bir özelliğidir. Tarihi duvarlarda basınç dayanımı, duvarı oluşturan bileşenlerin durabilitesine bağlıdır. Kil esaslı tuğladan oluşan duvarlarda bileşenler, tuğla, harç ve tuğla-harcın ara yüzüdür. Yapılan çalışmalar sonucunda, duvarın basınç dayanımının çoğunlukla tuğlanın dayanıklılığına bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle tarihi tuğla duvarlarda, tuğlanın dayanıklılığı mevcut yapının güvenliği ve dayanım ömrü için en önemli parametredir (Fernandes ve diğ, 2010). Tarihi tuğlalar, düşük kaliteli hammadde ve geleneksel yöntemlerle üretildiği için, bazı uygarlıklar iyi kalitede tuğla üretmeyi başarmış olsa da genellikle düşük kalitelidir (Fernandes, 2006).

Literatür taramasından, tarihi pişmiş kil esaslı tuğlalarının basınç dayanımlarının tipik değerleri, 4 ila 32 N/mm² arasında bulunmuştur. Düşük basınç dayanımı gösteren tuğlalar, daha fazla dağılma eğilimi göstermiştir (Lourenço ve diğ, 2014).

2.4.3.2 Eğilmede çekme dayanımı

Kil esaslı pişmiş tuğlalar çekme gerilmelerinin varlığında, beton veya taş gibi diğer yarı kırılğan malzemelere benzer şekilde davranırlar (Fernandes ve diğ, 2010). Farklı şekiller, malzemeler, üretim süreçleri ve delik hacimleri nedeniyle, tuğla duvar biriminin çekme direncini basınç dayanımı ile ilişkilendirmek zordur. Kil, kalsiyum-silikat ve beton birimlerinin uzunlamasına çekme dayanımı için, kapsamlı bir test programı yürütüldüğünde çekme ile basınç dayanımı arasında 0.03 ile 0.10 arasında değişen bir oran elde edilmiştir (Lourenço ve diğ, 2014).

Çekme yükleri altında malzemede mikro çatlaklar başladığında ve maksimum yüke ulaşıldıktan sonra tek bir çatlağın sebep olduğu gerilme yığılması neticesinde, çekme dayanımında gittikçe azalma meydana gelir. Çekme dayanımı basınç dayanımı ile kıyaslandığında çok düşüktür ve genellikle eleman tasarımında ihmal edilebilir. Çekme dayanımı, çoğunlukla tuğlanın mineral tanelerinin dayanımına, onları tutan matrise, kimyasal bileşime, kalıntılara, tuğladaki gözeneklerin miktarına ve boyutlarına bağlıdır. Düşük düzeyde gayrisafsızlık içeren ve homojen olan kilden üretilen tuğlaların çekme dayanımı daha yüksek olmaktadır. Çünkü bu tuğlalarda çatlaklar daha az görülmektedir ve dayanım büyük ölçüde bu çatlakların bulunduğu zayıf bölgelere bağlıdır (Fernandes ve diğ, 2010; Fernandes, 2019).

2.4.3.3 Elastiklik modülü

Malzemeler yük altında şekil değişikliğine uğrayabilir ve yük kaldırıldığında ilk haline dönebilir veya dönemez. Yük kaldırıldığında ilk haline dönebilen şekil değiştirme elastik şekil değiştirme olarak tanımlanır. Yapı malzemelerinin çoğunda gerilmeye orantılı veya lineer olarak bağlıdır (Kocataşkın, 1976).

Kil esaslı pişmiş tuğlaların karakterizasyonu söz konusu olduğunda literatürdeki bakılan mekanik özelliklerden biri elastiklik modülüdür. Pek çok standart, gerilme-deformasyon grafiğinde maksimum gerilmenin %10-15'ine kadar olan doğrusal bölgenin alınmasını önermektedir. Elastiklik modülü değerleri genellikle 1 ila 18 GPa (1000 ila 18000 MPa) aralığında-olup basınç dayanımının (f_c) 125-1400 katıdır. En sık karşılaşılan değer 200 f_c aralığında olup ortalama 350 f_c dolayındadır (Fernandes, 2006; Lourenço ve diğ, 2014)

2.5 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Durabilitesi

Durabilite (dayanıklılık) hem malzeme özelliklerinin hem de malzemenin maruz kaldığı ortamın bir fonksiyonudur (Koroth ve diğ, 1998). Pişmiş tuğlaların özellikleri; hammaddesine, pişme sıcaklığı ve süresine, üretim aşamalarındaki yeterliliğe bağlıdır. Sonuçta ortaya çıkan ürün bu parametrelerin hepsi ile ilgilidir ve tuğlanın çeşitli iç özelliklerini belirlerler (Buys ve Oakley, 1996; Warren, 1999; Cultrone ve diğ, 2005; Johari ve diğ, 2010; Mostaghelchi ve diğ, 2013; Bohara ve diğ, 2020). Tuğlaların dayanıklılığı da bu iç özelliklere (mikro yapı ve mineralojik özellikler) bağlıdır (Livingston ve diğ, 1998; Elert ve diğ, 2003; Fernandes, 2019). Tuğlanın dayanıklılığını etkileyen maruz kalma koşulları: Sıcaklık aralığı, donma hızı, yüzeyin ıslanma derecesi ve/veya nem kaynaklarıyla temastır (Koroth ve diğ, 1998).

Gözenekler ve çatlaklar tuğlaların fiziksel-kimyasal davranışında önemli bir rol oynamaktadır ve bu nedenle tuğlaların dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler (Cultrone ve diğ, 2000). Durabilitenin artırılması, daha uygun bir gözenek boyutu dağılımına ve gözeneklilikteki azalmaya bağlı görünmektedir (Elert ve diğ, 2003). Gözenek boyutu ve tuğlanın durabilitesi arasındaki ilişkiye bakıldığında, bünyesinde 1 µm'den küçük gözeneklerin baskın olduğu tuğlalar düşük durabiliteye; bünyesinde 2 µm'den büyük gözeneklerin baskın olduğu tuğlaların ise yüksek durabiliteye sahiptir. Çünkü iri gözenekler su ile kolayca dolup, boşalmaktadır ve bu nedenle donma durumunda tuğlaya zarar vermemektedir. 1-0.1 µm aralığındaki gözenekler çabuk suyla doldukları için ve büyük gözeneklere göre daha yavaş kurdukları için donma etkisine duyarlıdır. 0.1 µm'den küçük gözenekler, kolayca su ile dolmadıkları ve küçük gözeneklerdeki suyun çok düşük sıcaklıklara ulaşana kadar donmadığı için – çünkü çok küçük gözeneklerdeki su kılcal kuvvet tarafından tutulduğu için çok daha düşük sıcaklıklarda donar- donma çözülme döngüsünde etkileri düşüktür (Koroth ve diğ, 1998).

Kireçli tuğlalarda, kireçsiz tuğlalara göre daha düşük derecelerde vitrifikasyon görülmektedir. Bu nedenle 700 ila 900 °C arasındaki düşük sıcaklıklarda, kireçli tuğlalar kireçsiz tuğlalara göre daha yüksek basınç dayanımı sergiler. Fakat elverişsiz gözenek boyutu dağılımı ve çatlak gelişimi nedeniyle tuz kristalleşmesine ve donmaya karşı dirençleri belirgin şekilde gelişmez. Kireçli tuğlalardaki diğer durum, kalkerin yaklaşık 800°C'de kalsiyum okside dönüşmesidir. Kalsiyum oksit nem ile kolayca

reaksiyona girerek, kalsiyum hidroksiti oluşturur ve böylece hacim artışına (kireç şişmesi/lime blowing) yol açar. Bu problem, ham killerdeki tane boyutunu ve kalker içeriğini yakından kontrol ederek önlenir. Kireçli kil durumunda 1100 °C ve kalkersiz kil durumunda 1000 °C'lik yüksek fırınlama sıcaklıkları, hava şartlarına karşı değişmeden kalan dayanıklı tuğlalar üretmek için gereklidir (Elert ve diğ., 2003).

Tuğlanın durabilitesinin pişme sıcaklığı ile ilişkisi incelendiğinde bulunan diğer veriler şu şekildedir: 1000°C'de pişirilen tuğlaların, hızlı kuruma ve yavaş su emme ve az gözeneklilik miktarı ile yüksek dayanım gösterdiği bulunmuştur. Ancak tuz açısından zengin ortamlarda, tuz testlerinde kötü performans göstererek uygun olmadıkları görülmüştür. 850°C'de pişirilen tuğlalar, tuz etkisiyle bozulmaya (bileşenlere ayrılma) karşı dirençli iken yavaş kuruma ve hızlı su emme özellikleri nedeni ile donma-çözülme ve ıslanma-kuruma döngülerine az direnç gösterebilmektedir. 1100 °C'de pişirilen tuğlalar, tuz performans testlerinde ve hidrik (su emme, kuruma) özelliklerde olumlu sonuçlar verse de çoğu hızlandırılmış yaşlandırma testinde 1000°C'de pişirilen tuğlalar kadar iyi performans gösterememişlerdir. Alçı oluşumu ise, maruz kalma süresi, tuğlanın bileşimi veya pişirme sıcaklığından bağımsız olarak SO₂'ye maruz kalan tüm tuğlalarda oluşumu görülmektedir (Cultrone ve diğ., 2000).

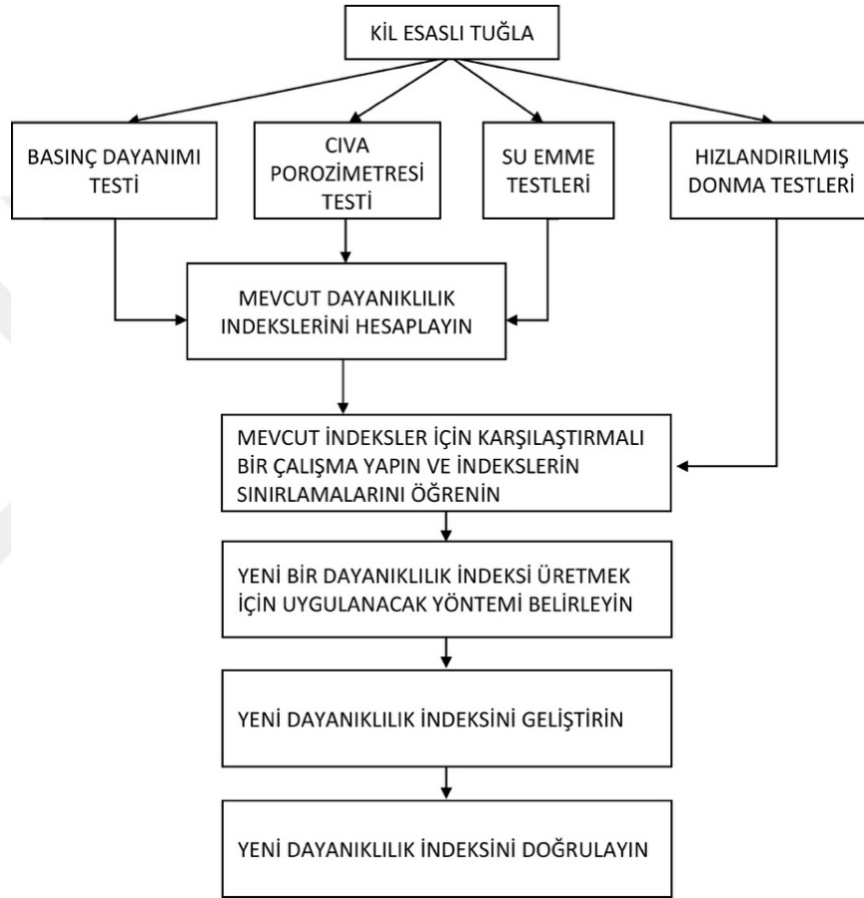
Kil esaslı tuğlanın potansiyel dayanıklılığı genellikle ilgili ulusal standartlarda belirtilen şartnameler ve test yöntemleri kullanılarak belirlenir. Amerikan standardı ASTM C216'da tuğla için dayanıklılık gereksinimleri belirlenmiştir (Çizelge 2.2). Bu standart, tuğlanın su emme ve basınç dayanımı için gereken fiziksel gereksinimlerini vermektedir. Dayanıklılık ilgili tuğlanın bu gereksinimleri karşılayıp karşılayamadığına göre değerlendirilir (Korothe ve diğ., 1998; ASTM, 2022).

Çizelge 2.2 : Tuğla malzemesinin dayanıklılık değerlendirmesi için fiziksel gereklilik değerleri (ASTM, 2022).

Tanımlama (Designation)	Minimum Basınç Dayanımı psi, (MPa) brüt alan		5 Saatlik Kaynama ile Maksimum Su Emme, %		Maksimum Doygunluk Katsayısı*	
	5 tuğlanın ortalaması	Tek tuğla	5 tuğlanın ortalaması	Tek tuğla	5 tuğlanın ortalaması	Tek tuğla
SW Sınıfı	3000 (20.7)	2500 (17.2)	17.0	20.0	0.78	0.80
MW Sınıfı	2500 (17.2)	2200 (15.2)	22.0	25.0	0.88	0.90

*Doygunluk katsayısı, soğuk suda 24 saat daldırmanın, kaynar suda 5 saat batırmadan sonrakine oranıdır.

Tuğlalar absorpsiyon gerekliliklerine uymadığında alternatif olarak ASTM C67'ye göre 50 döngülü donma çözülme deneyine maruz bırakılırlar. Bu değerlendirme yöntemleri zaman alıcı ve bazı durumlarda güvenilmez bulunmuşlardır. Fakat dayanıklılığı değerlendirmek için indeks yöntemi, tuğla tiplerini karşılaştırma, tuğla tipleri için performans seviyesinin sınırlarını sağlama yeteneğine sahip olacaktır. (Korothe ve diğ., 1998; ASTM, 2022). Korothe ve diğ. (1998), durabilite indeksinin geliştirilmesi için bir akış önermişlerdir (Şekil 2.10) (Korothe ve diğ., 1998).



Şekil 2.10 : Durabilite indeksini geliştirmek için kullanılan araştırma (Korothe ve diğ., 1998).

2.6 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Yapılan Analizler

Bu bölümde kil esaslı pişmiş tuğlanın özelliklerini belirlemek için yapılan analizler anlatılmaktadır. Bu analizler tahribatsız (yerinde yapılan analizler) ve laboratuvar analizleri olmak üzere iki ana başlık altında incelenecektir.

2.6.1 Tahribatsız (yerinde yapılan/in stu) analizler

Tahribatsız deneyler, restorasyon uygulaması yapılacak yapı üzerinde gözlemlenebilir bir hasara neden olmadan bilgi sahibi olmaya yarayan araçlardır. Durabilite ve sertlik gibi malzeme özelliklerinin doğrudan değerlendirilmesi tahribatsız deneyler ile sağlanamaz. Ayrıca malzeme özellikleri ile tahribatsız deney sonuçları arasındaki korelasyonlar (bağıntı) genellikle zayıftır. Fakat tahribatsız deneyler ile malzemedeki hasar durumu hakkında bilgi sahibi olunabilir ve gerekli laboratuvar testleri için daha fazla bilgi elde edilir. Malzemenin kalitesi hakkında genel bir veri sağlar (Schuller, 2003). Malzeme özellikleri için yapılan tahribatsız testler ve yerinde yapılan testler şu şekilde sıralanabilir:

1. Sertlik muayenesi (Schuller, 2003; Aköz, 2005)
2. Ultrases yöntemi (Crocì, 2000; Schuller, 2003; Zebari ve diğ., 2017)
3. Yüzey sıcaklığı ve nemin ölçülmesi (Fevziye Aköz, Nabi Yüzer, 2005)
4. İnfrared tomografi (Schuller, 2003)
5. Georadar yöntemi (Schuller, 2003)

2.6.1.1 Sertlik muayenesi

Sertlik demek malzemenin yüzeyinin plastik şekil değiştirmeye direnci demektir (Kocataşkın, 1976). Sertlik malzemenin dayanım ve süneklik gibi özelliklerini tam yansıtmaz sadece dayanımı hakkında genel bir fikir verir. Sertlik deneyleri kolaydır, hızlıdır ve uygulandığı malzemeye zarar vermez. Elle taşınabilir aletlerle laboratuvar dışında, yani yerinde test olarak da uygulanabilir (Aköz, 2005). Çizme, batma veya geri tepme yöntemleri ile araştırılır. (Kocataşkın, 1976).

Gözenekli ve seramik bünyeli yapı malzemelerinde sertliğin ölçülmesi için daha çok geri tepmeyi ölçmeye yarayan Schmidt çekici (Geri Tepme Çekici/ Rebound Hammer) kullanılır. Bu çekicinin genel prensibi, bir bilye (N tipi) veya pandülün (P tipi), arkasındaki yay ile malzemenin yüzeyine fırlatılıp, geri sıçrama miktarının ölçülmesidir (Şekil 2.11). Geri sıçrama ne kadar yüksek ise malzemenin sertliği de o kadar yüksek demektir (Postacıoğlu, 1981; Aköz, 2005). Geri tepme sertliği testi hızlıdır ve her okuma sadece birkaç saniyede gerçekleştirilebilir kurulabilir (Schuller, 2003).

Uygulamalar, hasar görmüş duvarın tanımlanmasını, eksiklikleri veya daha önce yapılmış onarımları gösterebilecek birim sertlik farklılıklarını belirlemeyi içerir. Laboratuvarında dikkatle yapılacak kalibrasyon ile bu test sonucu ile duvarın elastik özellikleri veya basınç dayanımı arasında ilişki kurulabilir (Schuller, 2003).

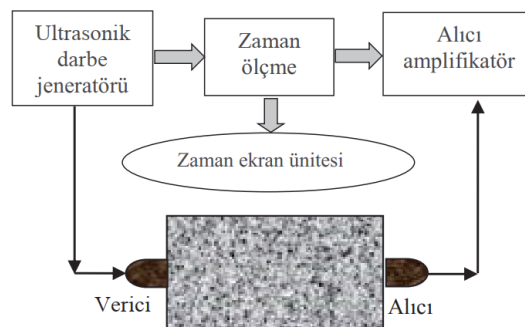


Şekil 2.11 : N tipi geri tepme çekici (solda), p tipi geri tepme çekici (sağda) (Schmidt Çekici) (Schuller, 2003; Arpacı, 2016).

2.6.1.2 Ultrases yöntemi (UPV) / ultrasonic velocity testing

Ultrases titreşim frekansı 20 Khz'den fazla olan ses dalgalarıdır ve bu dalgalar; katı, sıvı veya gaz halinde bulunan cisimlerin içerisinde belli bir V hızıyla yayılır (Postacıoğlu, 1981). Ultrases ölçümü, malzeme içerisinde yayılan bu ses dalgasının hızının ölçülmesidir. Bu hız malzemenin yoğunluğuna, cinsine bağlıdır ve mikro çatlaklar, boşluklar, tuğlanın homojenliği, restorasyon yöntemlerinin etkinliği gibi konularda bilgi alınmasını sağlar (Croci, 2000; ASTM, 2016).

Ultrases (Ultrasonic Pulse Velocity-UPV) Testi için kullanılan cihazların çalışma prensibi Şekil 2.12'de verilmiştir. Bu deney yönteminde alıcı ve verici sensörler arasındaki ses dalgası iletim hızı ve süresi zaman ölçer devre ile ölçülür (Postacıoğlu, 1981; Zebari ve diğ, 2017). Ses geçiş süresi hızının bulunması için denklem 2.1'den faydalanılır (Tanaçan ve diğ, 2009; ASTM, 2016):



Şekil 2.12 : UPV testi (ASTM, 2016; Zebari ve diğ, 2017).

$$V = L / t \text{ (m/s)} \quad (2.1)$$

V= Hız (dk)

L= Numune Boyu (m)

t= Zaman (s)

Gözenekli bir malzemede, ses geçiş hızı malzemenin içerdiği boşluk hakkında bilgi verecektir. Ses dalgaları eğer geçtiği doğrultu üzerinde bir boşluk varsa, bu boşluğu geçemezler ve etrafından dolanırlar. Sonuçta ses dalgasının geçiş süresi artar. Bu süre arttığında, hız düşecektir. Malzeme içerisindeki mikro çatlaklar ve boşluklar durabiliteyi olumsuz olarak etkilemektedir. Buradan ses geçiş hızı ile malzemenin durabilitesi arasında doğrudan bir orantı olduğu söylenebilir. Ultrases yöntemi sayesinde, malzeme tahrip edilmeden, yerinde tanımak ve özelliklerini anlamak mümkündür. Ancak malzemenin durabilitesini anlamak için bu deneyin tek başına yeterli olduğu söylenemez (Akbulut, 2006).

Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesinin elastiklik modülü ultrases cihazı ile ölçülebilir. Silindir ya da prizma formuna getirilmiş kil esaslı pişmiş tuğla üzerinde ultra ses dalgası geçiş hızı ölçülerek elastiklik modülüne ulaşılabilir (Tanaçan ve diğ, 2009; Abdullah ve diğ, 2017; Zebari ve diğ, 2017). Ultrases yöntemi ile elastiklik modülü tayini denklem 2.2'deki bağıntı ile bulunmaktadır (Tanaçan ve diğ, 2009):

$$E_d = (10^5 \times V^2 \times \Delta) / g \quad (2.2)$$

E= Dinamik Elastiklik Modülü (kgf/cm²)

V= Ultrases hızı (km/s)

Δ = Malzemenin Yoğunluğu (kf/dm³)

g= yerçekimi ivmesi (9.81m/s)

Malzemelerin mekanik özelliklerinin ultrases ile bulunması, malzeme yapı özellikleri ve referans verisi bulunmaması nedeni ile tamamen güvenilir değildir (Kuran ve Dabanlı, 2016).

2.6.1.3 Malzemenin yüzey sıcaklığının ve neminin ölçülmesi

Malzemelerin içinde buldukları iklim koşulları, bünyelerinde meydana gelen bozulmalar ve hasarlar ile ilişkilidir. Ortamın mikro iklim koşulları, yapı

malzemesinin yüzey sıcaklığı ve nemi, malzemedeki meydana gelen hasarın nedenlerinin anlaşılmasını sağlar. Hasar görmüş malzemeye, etkin koruma ve restorasyon kararlarının alınması için hasar nedenlerinin anlaşılması önemlidir. Bu nedenle yerinde yüzey sıcaklığı ve nem ölçümü (Şekil 2.13) tahribatsız deneyi malzeme korunması söz konusu olduğunda yapılmalıdır. Yaz ve kış mevsimlerinde bu deney tekrarlanmalıdır (Aköz ve Yüzer, 2005).



Şekil 2.13 : Yüzey sıcaklığı ve neminin belirlenmesi (Aköz, 2005).

2.6.1.4 İnfared tomografi yöntemi

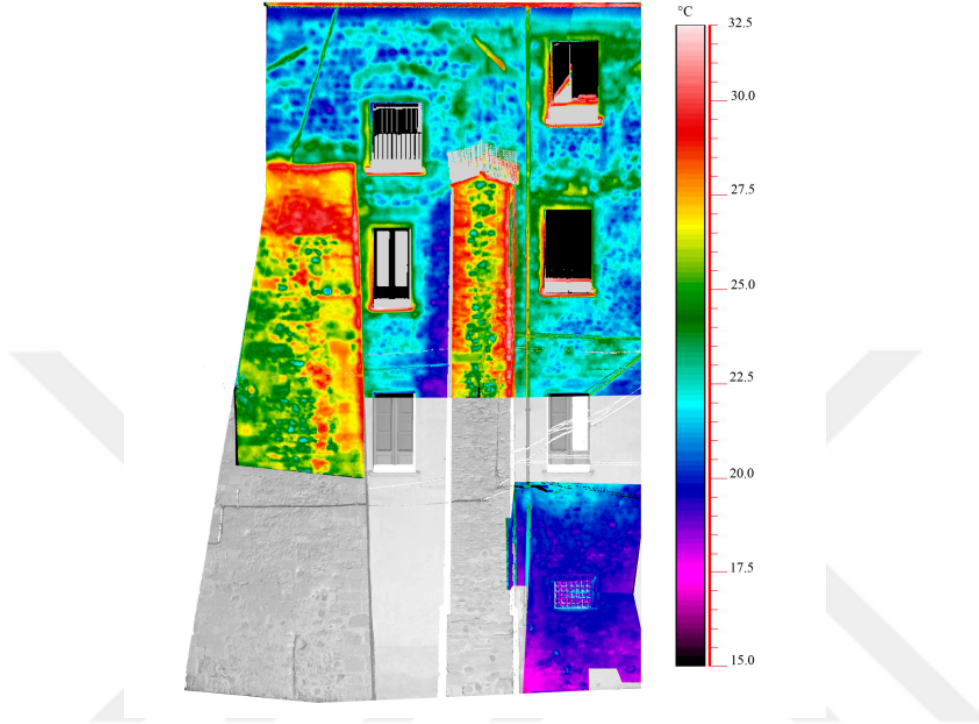
Yüzey sıcaklığı ölçen aletlerin yanı sıra infrared (Kızılötesi) tomografi yöntemi ile de yüzey sıcaklığı ölçülebilmektedir. İnfared (Kızılötesi) tomografi yöntemi, bir nesne tarafından yayılan kızılötesi enerjiyi, elektrik sinyaline döndürerek görünür temsilini sağlayan tahribatsız ve temassız teşhis tekniğidir (Schuller, 2003; Costanzo ve diğ., 2015). Kızılötesi kameralarla tarama, duvara doğrudan erişim gerektirmeden geniş bölgelerin hızlı bir şekilde değerlendirilmesine izin verir (Şekil 2.14) (Schuller, 2003).



Şekil 2.14 : Termal kamera örnekleri (Tuğla ve diğ., 2018).

Malzemede eğer bir bozulma varsa, farklı termal iletkenliği olacaktır ve bunun sonucunda farklı ısı akımı ile yüzey sıcaklığı da aynı olmayacaktır. (Aköz, 2005). Yüzey sıcaklığındaki bu farklılıklar kızılötesi ışınlar ile ölçülerek, yüzeye yakın

hasarların, bozulma, bozunma ve boşlukların, malzeme farklılıklarının, kılcal hareketle nem artışı olup olmadığının, tıkanmış boşluklar veya önceki onarımların hakkında bilgi sahibi olunabilir (Şekil 2.15) (Schuller, 2003; Costanzo ve diğ, 2015; Proietti ve diğ, 2021).



Şekil 2.15 : İnfrared (Kızılötesi) tomografi yöntemi ile tarihi bir duvarın yüzey sıcaklığının Ölçülmesi (Costanzo ve diğ, 2015).

Bir termal sensörün çalışma prensibi, iyi bilinen ve denklem 2.3'te gösterilen Wien'in yer değiştirme yasası ile açıklanmaktadır (Costanzo ve diğ, 2015).

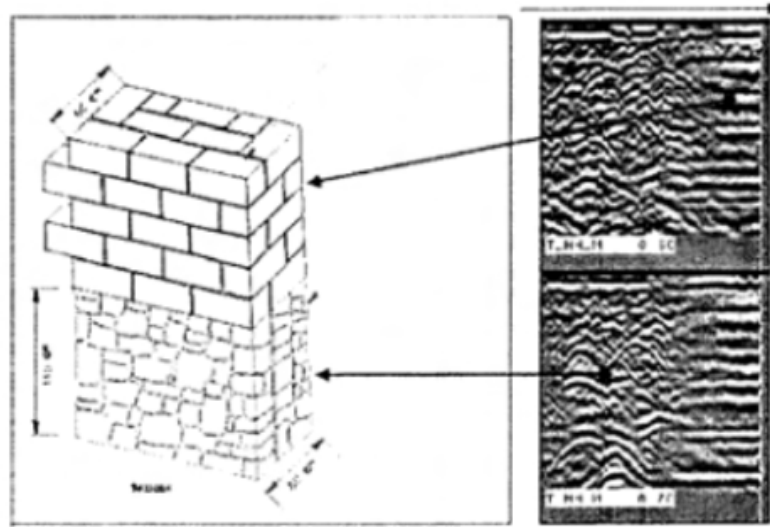
$$\lambda_m = 2897.8/T \quad (2.3)$$

λ_m : μm cinsinden ifade edilen maksimum spektral ışıma yayılımının dalga boyu

T: K cinsinden mutlak sıcaklık

2.6.1.5 Georadar yöntemi (GPR/ surface penetrating radar)

Georadar yöntemi ile malzemenin mekanik özellikleri değil, yapının gözle ya da karotla belirlenemeyen fiziksel karakteristikleri araştırılabilir. Bu yöntemde, araştırma yapılacak ortam içinden, verici bir anten yardımı ile elektromanyetik dalgalar gönderilir. Alıcı ve verici arasındaki süre kaydedilir (Aköz ve Yüzer, 2005). Şekil 2.16'da bir yapıda georadar yönteminin uygulanmasının gösterimi mevcuttur.



Şekil 2.16 : Georadar yönteminin bir yapıda uygulanması (Aköz ve Yüzer, 2005).

Georadar ile yapıdaki boşlukların ve diğer kusurların tespit edilmesi, onarım tekniklerinin etkinliğinin belirlenmesi, duvarlardaki iç hasar veya bozulma durumunun nitelendirilmesi, nem içeriğinin ölçülmesi, yüksek tuz içeriğine sahip bölgelerin belirlenmesi mümkündür (Schuller, 2003).

2.6.1.6 Boru yöntemleri ile su emme analizi

Boru yöntemleri ile su emme deneylerinin amacı, düşen yağışa benzer bir basınç altında gözenekli malzemelerin su penetrasyonunu ölçmektir. Yöntem, işlenmemiş veya herhangi bir işleme veya eskimeye tabi tutulmuş gözenekli inorganik malzemeler üzerinde kullanılabilir. Tahribatsız bir deneydir. Prensibi su ile temas halinde olan test yüzeyinden suyun emilme miktarının ve hızının belirlenmesidir (BS EN 16302, 2013). Bu deneyde ince borular, analiz edilmek istenen malzemeye sabitlenir. Boru musluk suyu, deiyonize veya damıtılmış su ile doldurulur. Su seviyesindeki değişiklik sabit bir değere ulaşıncaya kadar belirli zaman aralıklarında ölçülür. Test ölçümlerinin sonuçları, zamanın (t_i) bir fonksiyonu olarak emilen su hacmini (Q_i) içeren bir su emme grafiği şeklinde veya kılcal su emme katsayısı hesaplanarak bulunabilir. Karsten tüpü, Alman Karsten tüpü, RILEM borusu, İtalyan pipeti ve Polonya Mirowski tüpü başlıca kullanılan boru yöntemleridir (Svahn, 2006; BS/EN, 2013).

Boru yöntemleri ve karsten tüpü (Şekil 2.17) doğru kullanıldığında tekrarlanabilir sonuçlar vermektedir. Koruma uzmanları tarafından sıklıkla tercih edilmektedir (Svahn, 2006; Hendrickx, 2013).

İşlem öncesi ve sonrası su emilimi ölçülerek, gözenekli malzemeye uygulanan su iticilerin etkinliğinin değerlendirilmesi için de yaygın olarak kullanılmaktadır (Heesl ve diğ, 1996). Aynı noktalardan yapılan ölçümler sistematik olarak uzun süre boyunca tekrarlandığında, testin tedavinin kalıcılığını ölçmek için de faydalı olduğu kanıtlanmıştır (Hendrickx, 2013).



Şekil 2.17 : Karsten tüpü ölçümü (Svahn, 2006).

2.6.2 Laboratuvar analizleri

Malzemelerin karakterizasyonu için yerinde yapılan tahribatsız analizlerden sonra, yapıdan numuneler alınır ve laboratuvar analizleri uygulanır. Laboratuvar analizleri ile bulunan veriler ve tahribatsız analizler (numunenin alındığı bölgeye ait) ile bulunan veriler arasındaki istatistiksel ilişki araştırılır, korelasyon katsayısı yüksek bir bağıntı elde edilmeye çalışılır. Bulunan istatistiksel bağıntılar ile numune alınamayan ama tahribatsız analiz uygulanabilen malzemelerin özellikleri anlaşılır (Akbulut, 2006).

Laboratuvar analizleri :

- Fiziksel özellik analizleri,
- Kimyasal özellik analizleri,
- Mekanik özellik analizleri,
- Mikro yapısal analizler,
- Eskitme deneyleri olarak sıralanabilir.

Pişmiş kil esaslı yapı tuğlası için uygulanan laboratuvar deneyleri Şekil 2.18’de verilmiştir.

LABORATUVAR DENEYLERİ				
Fiziksel Özellik Analizleri	Birim Ağırlık			
	Özgül Ağırlık Deneyleri			
	Gözeneklilik/ Kompasite	Gözeneklilik Analizinde Doğrudan Metotlar	Petrografi Mikroskobu (Optik Mikroskop) Analizi	
			Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscopy Analysis / SEM)	
	Gözeneklilik Analizinde Endirekt Metotlar		X-ışını Mikro Bilgisayarlı Tomografi (X-ray micro-computed tomography)	
			Cıva İntrüzyon Porozimetrisi (Mercury Intrusion Porosimetry / MIP)	
			Nitrojen Adsorpsiyon Ölçümü (Measurement of Nitrogen Adsorption)	
	Su emme		Gerçek Yoğunluk, Görünür Yoğunluk, Toplam ve Açık Gözeneklilik Deneyleri	
			Kaynar suda su emme deneyi	
			Basınç altında su emme deneyi	
			Atmosfer basıncı altında su emme deneyi	
			Kılcal Su Emme Deneyleri	
			Su Desorpsiyon Testi	
			Su Buharı Geçirimi	
		Renk Ölçümü		
Spot Testler ve Basit Deneyler	Asit Kaybı Analizi			
	Kızdırma Kaybı Analizi (Kalsinasyon)			
	Spot Tuz Testleri			
	Karbonat Tayini			
	Yağ ve Protein Analizi			
Mekanik Özellik Analizleri	Basınç Dayanımı			
	Eğilmede Çekme Dayanımı			
	Elastiklik Modülü			
Petrografik, Minerolojik ve Kimyasal Analizler	Stereo Mikroskop			
	Petrografi Mikroskobu (Polarizan Mikroskop)			
	XRD			
	XRF			
	DTA/TGA			
	Diferansiyel termal analiz ve termografik analiz			
	SEM-EDX			
	FITR			
	EDX-EDS			
Eskitme Deneyleri	Donma Çözünme			
	Islanma Kuruma Deneyi			
	Tuz Kristallenmesi Etkilerine Dayanım Deneyi			
	SO ₂ Buharına Dayanım (Maruziyet) Deneyi			

Şekil 2.18 : Tuğla malzemesinin dayanıklılık değerlendirmesi için fiziksel gereklilik değerleri (ASTM, 2022).

2.6.2.1 Fiziksel özellik analizleri

Gözeneklilik, birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme kapasitesi, kılcal su emme, kompasite, buhar geçirgenlik gibi analizler tuğla malzemesi için uygulanan fiziksel özellik analizleridir. Fiziksel testler yardımı ile yapı malzemelerinin, özgün özelliklerini ne kadar kaybettikleri anlaşılabilir (Akyol, 2019).

Birim ağırlık, özgül ağırlık deneyleri

Birim ağırlık, cismin kuru ağırlığının hacmine bölünmesi ile elde edilir. Cisim düzgün şekilli ise hacmi boyutları ölçülerek bulunur. Eğer cisim düzgün şekilli değil ise birim

ağırlık, 24 ila 48 saat suya doyurulmuş cismin havada tartılan ağırlığından, suda tartılan ağırlığının çıkarılması ve kuru ağırlığına bölünmesi ile bulunur (Kocataşkın, 1976; Onaran, 1989)

Özgül ağırlık hesaplanırken ise dolu hacmin bulunabilmesi için, malzemenin en ufak boşlukları bile parçalayabilecek şekilde toz haline getirilmesi gerekmektedir. Kurutulmuş ve öğütülmüş malzemenin hacmi bir piknometre yardımı ile belirlenir. Elde edilen hacim malzemenin dolu hacmi olarak kabul edilir ve bu bilgiler ile malzemenin özgül ağırlığı hesaplanır (Kocataşkın, 1966, 1976).

Gözeneklilik (porozite) / doluluk (kompasite) analizleri

Kompasite birim ağırlığın (Δ), özgül ağırlığa (γ) oranına eşittir. Birim ağırlık ve özgül ağırlık bulunduktan sonra kompasite değerine ulaşılabilir. Ayrıca cismin porozite değerinin 1'den çıkarılması ile de kompasite değerine ulaşılacaktır (Kocataşkın, 1976).

Malzemenin gözeneklilik ile ilgili özellikleri tanımlanırken temel olarak üç yapısal özeliğe bakılır. Bunlar gözeneklilik, gözenek boyutu dağılımı ve spesifik yüzeydir. Bu özellikler geometrik olduğu için doğrudan metotlarla ölçülebilir. Doğrudan analiz metotları dışındakiler, diğer parametrelere dayalı hesaplamalardan buldukları için dolaylı metotlar olarak tanımlanmaktadır (Borrelli ve Urland, 1999).

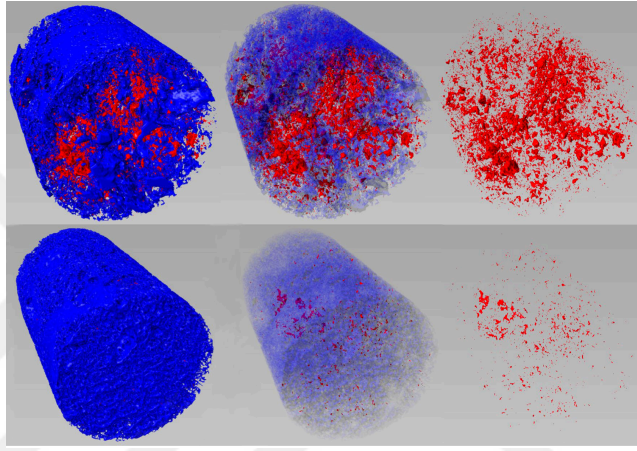
Gözeneklilik analizinde doğrudan metotlar:

Gözeneklilik analizinde dolaylı metotlar petrografi mikroskobu (optik mikroskop) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile gözenekli yapının doğrudan gözlemlenmesini sağlayan analiz yöntemleridir (Borrelli ve Urland, 1999). Bu iki analizin detaylı incelemesi “Petrografik, Mineralojik ve Kimyasal Analizler” bölümünde yapılmıştır.

Petrografi mikroskobu, malzemedeki ince kesitler alınarak taranan görüntülerden boşluk boyutu dağılımının elde edilmesini sağlar (Korat ve Ducman, 2017; Dhasindrakrishna ve diğ, 2021). Kapalı gözenekleri de içeren toplam gözenekliliğin değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır. İnce kesitler üzerindeki gözeneklerin toplam alanının, toplam yüzey alanına oranını yüzde olarak hesaplar ve boyut dağılımlarını kaydeder. Bu yöntemin avantajları görünür olanın doğrudan ölçülebilir olmasına izin vermesi ve daha büyük gözeneklerin boyut dağılımı gibi özel verilerin yalnızca bu yöntemle elde edilmesidir (Borrelli ve Urland, 1999).

Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) bir elektron mikroskobudur. Bu teknikte petrografi mikroskobundaki iki boyutlu sistemin aksine üç boyutlu görüntü elde edilebilir. Bu sayede gözeneklerin kapladığı boş alanın tanımlanması ve gözeneklerin şekli, boyutu ve üç boyutlu dağılımı hakkında doğrudan ve gerçek bilgi elde edilmesi mümkün olmaktadır (Borrelli ve Urland, 1999).

X-ışını mikro bilgisayarlı tomografi (CT) üç boyutlu görüntüler ile gözenek boyutu ve dağılımının belirlenmesi için kullanılan gelişmiş metotlardan birisidir (Şekil 2.19). (Korat ve Ducman, 2017; Dhasindrakrishna ve diğ, 2021).



Şekil 2.19 : Mikro CT analizi yapılmış bir tuğla örneği (yüzeye erişilebilir gözenekler mavi, yüzeye erişilemeyen gözenekler ise kırmızı renklidir) (Reedy ve Reedy, 2022).

Mikro-CT'nin gözeneklilik çalışmalarında kullanılmasının geçmişteki dezavantajı, genellikle zaman alıcı taramalar ve özel yazılımların gerektirmesi iken, günümüzdeki mikro-CT tarayıcılar ve özel analiz programları ile hızlı ve kapsamlı analiz yapılabilmektedir (du Plessis ve diğ, 2016).

Gözeneklilik analizinde dolaylı metotlar:

Dolaylı analiz metotları, gözenekli yapıyı değerlendirmek için, yoğunluk, akışkanlara karşı geçirgenlik (sıvı, gaz) sıvı emme oranı, adsorpsiyon kapasitesi vb. özellikleri ölçmektedir. Gözenekliliği değerlendirmek için en yaygın olarak kullanılan dolaylı yöntemler cıva intrüzyon porozimetrisi (mercury intrusion porosimetry / MIP) ve nitrojen adsorpsiyon ölçümüdür (measurement of nitrogen adsorption). İki analiz de esasen, bir akışkanın malzemenin gözeneklerine nüfuz ettirilmesi için gerekli olan basınç ile gözenekliliğin ilişkilendirilmesi ilkesine dayanır (Borrelli ve Urland, 1999).

Cıva intrüzyon porozimetrisi analiz tekniğinde cıva, sürekli artan basınç uygulanarak malzemenin içerisine itilir. Malzeme içindeki gözenek boyutlarının dağılımının ölçülmesini mümkün kılar. Denklem 2.4'te gösterilen Washburn denklemi ile gözenek yarıçapını bulmak mümkündür. Gözeneklerin dağılımı, toplam gözeneklilik değeri, gerçek ve görünen yoğunluk, intrüzyon hacmi; penetrasyon için gerekli basınç ile gözeneklerin boyutu arasındaki orantıdan elde edilebilir (Borrelli ve Umland, 1999).

$$r=2\sigma\cos\theta/P \text{ (Washburn Denklemi)} \quad (2.4)$$

P = uygulanan basınç

σ = cıvanın yüzey gerilimi

θ = cıva ve katı arasındaki temas açısı

r = gözenek yarıçapı

Nitrojen adsorpsiyon ölçümü (Measurement of Nitrogen Adsorption), sabit sıcaklıkta ve artan basınç seviyelerinde, gözenekli bir malzeme tarafından adsorbe edilen gaz miktarına dayanmaktadır. Bu yöntem ile adsorpsiyon izotermi adı verilen ve malzemedeki gözenek boyutu dağılımı ile ilişkili olan bir eğri elde edilir (Borrelli ve Umland, 1999).

Gözenekliliği ölçmek için malzemenin türetilmiş özelliklerinden faydalanılarak sonuç elde edilebilen diğer dolaylı yöntemler de kullanılabilir. Bu yöntemlere örnek olarak, birim ağırlık, özgül ağırlık deneyleri, kompasite deneyi, su emme, kılcal su emme deneyleri, su desorpsiyonu ve su buharı geçirgenliğinin ölçülmesi verilebilir (Kocataşkın, 1966, 1976; Borrelli ve Umland, 1999). Porozite (p), birim ağırlığın (Δ), özgül ağırlığa (γ) oranının 1'den çıkarılmasına eşittir. Eğer cismin kompasite değeri biliniyorsa 1'den çıkarılarak porozite değerine ulaşılabilir (Kocataşkın, 1976).

Açık gözeneklilik (%), numunenin açık gözeneklerinin hacminin görünür hacmine oranı şeklinde bulunabilir. Toplam gözeneklilik (%), numunenin toplam gözeneklerinin (açık ve kapalı) hacminin, görünür hacmine oranı şeklinde elde edilebilir (TS/EN, 2007b).

Su emme deneyleri

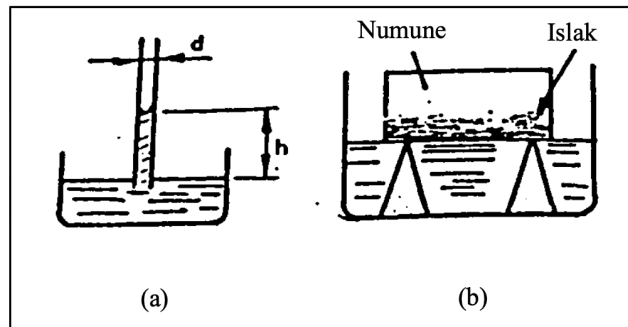
Su emme deneyleri, kaynar suda su emme, basınç altında su emme, atmosfer basıncı altında su emme ve kılcal su emme deneyleri olarak sayılabilir. Tuğlaların,

bünyesindeki boşlukların, su ile temas ettiklerinde ne miktarda suyu emeceklerinin anlaşılabilmesi için kütlece ve hacimce su emme oranlarına bakılması gerekmektedir (Bayram, 2009).

Normal şartlar altında gerçekleştirilen su emme deneylerinde, malzemenin bünyesindeki dışarıya açık boşlukların bir kısmının ölçülebilmektedir. Çünkü kılcal boşluklar ve malzemenin içerisindeki hava kabarcıkları, suyun içeriye girmesini önleyecektir. Basınç altında veya kaynatma ile yapılan su emme deneylerinde ise suyun bu kılcal boşluklara girmesi sağlanabilmektedir. Ve böylece malzemenin maksimum su emme oranı görülebilmektedir (Onaran, 1989; Toydemir ve diğ, 2019).

Kaynar suda kütlece su emme oranı, sabit kütleyle kadar kurutulmuş tuğlanın, kaynayan su içerisinde bekletildiğinde, absorbe edeceği su kütlesinin, tuğlanın kütlesine oranı iken kaynar suda hacimce su emme oranı ise aynı koşullarda tuğlanın absorbe edebileceği su hacminin, tuğlanın hacmine oranıdır. Basınç altındaki kütlece su emme oranı, sabit kütledeki kurutulmuş tuğlanın ($15,0 \pm 0,5$) MPa'lık basınç altında emebileceği su kütlesinin, tuğlanın kütlesine oranı iken, basınç altında hacimce su emme oranı, yine aynı şartlarda kütle yerine hacimce absorbe edebileceği su miktarının bütüm hacmine oranıdır (TS, 2009).

Kılcal su emme deneyi, yapı malzemelerinde su hareketinin en yaygın biçimi olan kılcal su yükselişini ölçmektedir (Şekil 2.20). Kılcal su emme gözeneklerin çapı ile ters orantılıdır (Borrelli ve Urland, 1999). Malzemenin kılcal su emme deneyi, deney numunesine su emdirilmesi ile kütledeki artışın, zamanın fonksiyonu olarak ölçülmesi sonucunda bulunmaktadır (TS/EN, 2000). Malzeme boşluklarına kılcal olarak emilen suyun miktarı, temas alanı ile ve geçen sürenin karekökü ile doğru orantılıdır (Kocataşkın, 1976; Onaran, 1989).



Şekil 2.20 : Kılcallık örnekleri: (a) kapiler emme, (b) yüzeysel emme (Onaran, 1989).

Su desorpsiyon testi (water desorption test)

Su desorpsiyon testi, oda sıcaklığında ve basıncında doymuş numunelerin buharlaşma oranını ölçmektedir. Bu sayede malzemelerin kuruma özellikleri yani uzun süre ıslak mı kalacağı yoksa çabuk mu kuruyacağı belirlenir (Borrelli ve Urland, 1999).

Su buharı geçirimi (water vapour permeability)

Su buharı geçirimi testi, malzemelerin su buharı geçirme kapasitesini ölçmek için uygulanmaktadır. Malzemenin iki yüzeyi arasındaki su buharının kısmi basınç farkının sonucu olarak, belirli bir kalınlıktan geçen su buharı miktarını ölçer. Paralel yüzeylerle sınırlıdır ve yaklaşık olarak bulunabilir (Onaran, 1989; Borrelli ve Urland, 1999).

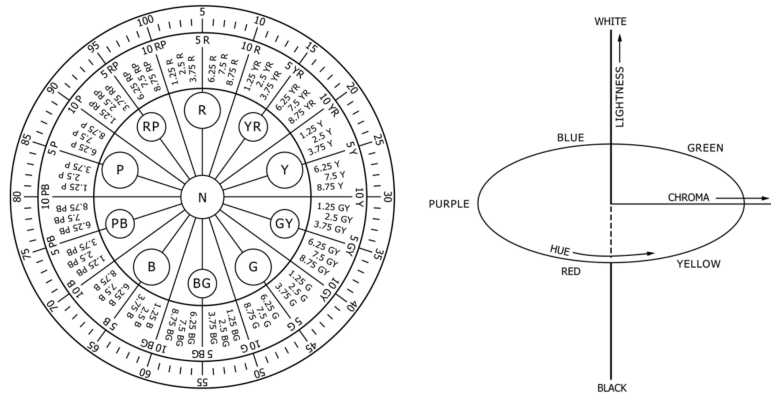
Buhar geçirimliliği, özellikle dış ortam ile temasta bulunan tuğlalar için önemlidir. Buhar geçirimliliği düşük olan malzemedede, iç ve dış ortamdaki sıcak farklılıkları, malzemenin bünyesindeki buharın yoğunlaşmasına ve suya dönüşmesine neden olacaktır. Bunun sonucunda da malzeme de hasar oluşumu gerçekleşecektir (Eriç, 1994).

Renk ölçümü

Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesinin korunması ve sağlamlaştırılması söz konusu olduğunda, fiziksel özelliklerinden renk de önemli bir parametre haline gelmektedir. Kullanılacak yeni malzemenin veya işlem uygulanacak özgün malzemenin; işlem görmemiş özgün malzeme ile renk uyumu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle tuğlanın fiziksel özellikleri araştırılırken renk ölçümü de yapılmalı, orijinal malzeme ile onarımda kullanılacak yeni malzeme veya işlem görmüş malzemenin renk uyumu araştırılmalıdır (Aköz ve Yüzer, 2005).

Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesinde renk ölçümü kolorimetre aleti ile yapılabilir. Renk farklılıklarının ölçülmesinde CIELAB sistemi kullanılır. Renk farkı ΔE olarak ölçülmelidir (Martinez ve diğ, 2016). Renk tayini için kullanılacak diğer yöntem Munsell Renk Sistemi'dir (Şekil 2.21) (Stefanidou ve diğ, 2015). Bu sistem, renkleri nitelendirip aralarındaki ilişkiyi rasyonel bir şekilde göstermek amacı ile geliştirilmiştir (Per, 2012). Üç boyutlu bir renk uzayında algısal olarak farklı ve bağımsız üç boyutu (ton, kroma ve değer) temsil eder. Ton, kırmızı (R), sarı (Y), yeşil (G), mavi (B) ve mor (P) renklere göre beş ana bölüme ayrılır. Değer veya hafiflik 0 (siyah) ile 10 (beyaz) arasında değişmektedir (Ruck ve Brown, 2015).

Renk belirlemesi, doğal gün ışığı ile yapılmalıdır. Bu nedenle güneşin parlamadığı bir pencere seçilmelidir (ASTM, 2008).



Şekil 2.21 : Munsell renk tonu için tanımlama sistemleri (solda), yüzey-renk-algı düzeyinin boyutları (sağda) (ASTM, 2008).

2.6.2.2 Spot testler ve basit deneyler

Pişmiş tuğla malzemesinin karakterizasyonu için; tuğla örnekleri belirli bir deney programı ile basit spot testlerden aletli ileri analizlere kadar çeşitli işlemlere tabi tutulur (Ersen ve diğ., 2009). Yani basit ve spot testler deney programının ilk aşamasını oluşturmaktadır. Asit kaybı, kızdırma kaybı, tuz testleri, organik madde tayini, tuğla için yapılan spot ve basit deneylerdir (Ersen ve Verdön, 2010; KUDEP, 2011).

Asit kaybı deneyi

Asit kaybı deneyi, malzemelerdeki agrega-bağlayıcı oranını ve kullanılan agregaların dane dağılımını belirleyebilmek için yapılan bir deneydir (KUDEP, 2011; Güleç, 2012; Arpacı, 2016). Analiz edilecek numunelerin üzerine, numunenin asit ile reaksiyonu bitene kadar asit ekleme ve karıştırma şeklinde uygulanır. Şekil 2.22’de asit eklenen ve karıştırılan numuneler görülmektedir. En sonunda beherin dibinde kalan numune tartılır ve denklem 2.5 ile % nem ve denklemler 2.6 ile ise % asit kaybı hesaplanır (KUDEP, 2011).

$$\%Nem = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100 \quad (2.5)$$

W_0 : Kuru beherin ağırlığı

W_1 : W_0 + Örnek

W_2 : W_0 + Kuru Örnek

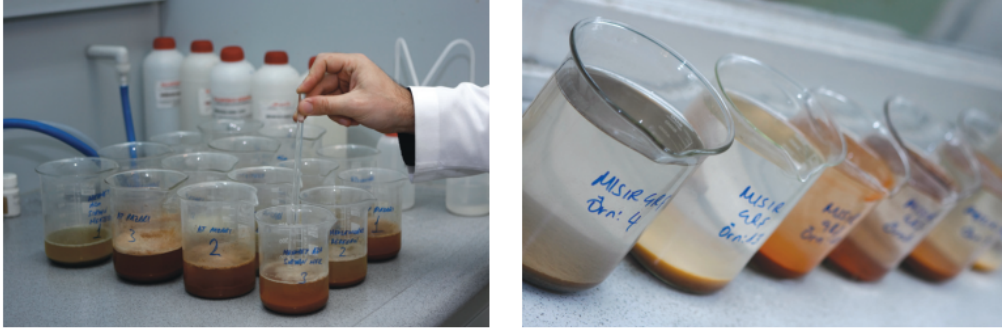
$$\%Kalan = \frac{W_3 - W_0}{W_1 - W_0} \times 100$$

$$\% Kayıp = 100 - \% Kalan \quad (2.6)$$

W_0 : Kuru beherin ağırlığı

W_1 : $W_0 + \text{Örnek}$

W_3 : $W_0 + \text{Asit kaybı sonrası kalan kuru örnek}$



Şekil 2.22 : Örneklere asit eklendikten sonra baget ile karıştırılması ve nötralizasyon sonrası örneklerin çökmesinin beklenmesi (KUDEP, 2011).

Kızdırma kaybı analizi (kalsinasyon)

Kızdırma kaybı (kalsinasyon) analizi harç, sıva, taş ve tuğla malzemelerindeki nem, molekül suyu, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve organik maddelerin yüzde olarak miktarlarının belirlenmesi ve malzemedan ayrılan karbondioksit miktarına bağlı olarak kalsiyum karbonat miktarının hesaplanmasını sağlamaktadır (KUDEP, 2011; Güleç, 2012). Bu deneyin prensibini numunelerin belirli sıcaklıklarda bekletilerek (105°C , 550°C , 1050°C) ağırlık kayıplarının belirlenmesi şeklindedir. Yüzde nem denklem 2.7 ile , örneğin içerdiği molekül suyu ve organik madde miktarının hesaplanması denklem 2.8 ile gerçekleştirilir (KUDEP, 2011).

$$\%Nem = \frac{W_0 - W_1}{W_1 - W_d} \times 100 \quad (2.7)$$

W_d : Kuru krozenin ağırlığı

W_0 : $W_d + \text{Örnek}$

W_1 : 105°C 'de kurutulmuş örneğin ağırlığı

Örneğin içerdiği molekül suyu ve organik madde miktarının hesaplanması (KUDEP, 2011):

$$\% = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_d} \times 100 \quad (2.8)$$

W_d: Kuru krozenin ağırlığı

W₁:105°C'de kurutulmuş örneğin ağırlığı

W₂:550°C'de kurutulmuş örneğin ağırlığı

Kalsiyum karbonat (CaCO₃), 1050 °C'de ayrışır ve bünyesindeki gaz halindeki karbondioksiti bırakır. Ayrışan karbondioksit miktarı, 1050 °C'de bekletilen numunenin tartılması ile bulunabilir (KUDEP, 2011).

Spot tuz testleri

Spot tuz testleri, malzemelerin doğal içeriğini oluşturan ya da dış etkilerle sonradan kazandıkları özellikleri araştırmaya yarayan testlerdir. Malzeme bünyesindeki suda çözülebilen tuzların türlerinin belirlenebilmesi için kullanılır. Bu testlere anyon/katyon testleri de denilmektedir. Ve malzeme yapısındaki sodyum, potasyum ve magnezyum tuzları olan sülfatlar, fosfatlar, nitrat ve nitritler, klor ve karbonat gruplarının belirlenmesini sağlar (Güleç, 2012; Karakuş, 2012; Akyol, 2019). Analiz edilmek istenilen malzeme numunesi (harç, sıva, taş, tuğla) toz haline getirilir ve 1'er gramı 100 ml saf su ile karıştırılır. Oluşturulan süspansiyonun iletkenliği, 48 saat aralarda karıştırılarak bekletildikten sonra kondaktometre ile ölçülerek kaydedilir. Ardından süzülen çözeltide, klorür (Cl⁻), nitrat (NO₃⁻), sülfat (SO₄²⁻), karbonat (CO₃²⁻) ve fosfat (PO₄³⁻) gibi suda çözünebilir tuzlarının varlığının belirlenebilmesi için spot testler yapılır (KUDEP, 2011).

Yağ ve protein analizi

Yağ ve protein analizinin amacı, malzemenin bünyesinde veya daha önce üzerine uygulanmış işlemlerde protein ve/veya yağ esaslı maddelerin kullanılıp kullanılmadığının anlaşılmasıdır. Koruma ve onarım uygulaması yapılması durumunda, uygulanacak koruyucu veya sağlamlaştırıcı malzemenin niteliği bu veriye göre belirlenmelidir (KUDEP, 2011). Harç, sıva, taş ve tuğla malzemelerin üzerinde bu deneyler uygulanır. Yağ ve protein analizleri uygulanmadan önce numuneler toz haline getirilir (Güleç, 2012). Yağ testinde numunelere, önce kristal bakır sülfat

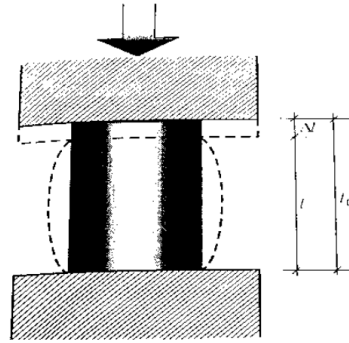
(CuSO₄) sonra hidrojen peroksit ardından da birkaç damla konsantre amonyak (NH₃) eklenir. Bu karışım kalıcı sabun oluşturuyorsa numunede yağ var demektir. Protein testinde ise toz numune kapiler tüpe konulup, tüpün açık ucuna, ucu reaktife (1 gram p- dimetilamino benzaldehit 100 ml %33,5'luk HCl) batırılmış bir parça süzgeç kâğıdı yerleştirilir. Tüp ispirota ocağında ısıtılır. Numuneden çıkan gazlar süzgeç kağıdında pembe-mor renk oluşturuyorsa numunede protein var demektir (KUDEP, 2011).

2.6.2.3 Mekanik özellik analizleri

Malzemenin mekanik özellikleri basınç deneyi, eğilmede çekme deneyi gibi deneylerle araştırılmaktadır. Bu deneylerde, çeşitli deney makinaları ile mekanik etki oluşturulur ve bu etki sonucunda oluşan boy değişimleri, belirli ölçüm aletleri ile ölçülür. Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesinin mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi için yapılabilecek testler aşağıda sıralanmıştır.

Basınç dayanımı

Basınç dayanımı, yük altında tuğlanın kırılmadan dayanabildiği maksimum değerdir. Bu değer aşıldığında tuğla kırılacaktır. Malzemeler basınca maruz kaldığında, boyunda azalma yanal ekseninde genişlemeler meydana gelecektir (Şekil 2.23) (Onaran, 1989).



Şekil 2.23 : Cismin basınç altında yanal ekseninde şekil değiştirmesi (Toydemir ve diğ., 2019).

Basınç dayanımı deneyinin prensibi, deney uygulanacak numunelerin bir deney cihazının tablasının merkezine konulması, ardından yeknesak dağılımlı bir yükün, kırılma olana kadar devamlı uygulanmasıdır (Şekil 2.24) (TS/EN, 2007a). Pişmiş kil esaslı tuğla malzemesinde basınç deneyi yapılmak istenen numunelere tek eksenli basınç deneyi yapılır. Kırma yükü (P_k, kN) belirlenir. Basınç dayanımı (f_b, N/mm²), kırma yükünün kuvvet uygulanan yüzeye oranlanması ile bulunur (Aköz, 2005).



Şekil 2.24 : Tuğla numuneler uygulanan basınç dayanım deneyi (Çağlar, 2018).

Elastiklik modülü tayini sertlik, ultrases, flat-jack yöntemi gibi tahribatsız deneylerle analiz edilmekle birlikte malzeme laboratuvarlarında, numuneler üzerinde statik basınç yükleri altında yapılan kırma deneyleri ile de elde edilebilir. Elastiklik modülü malzemenin basınç yükü altında şekil değiştirmesinin bir ölçütüdür. Birim uzama başına karşılık gelen gerilme olarak tanımlanabilir. Yani malzemenin basınç dayanımı ile doğrudan ilişkilidir (Aköz, 2005; Abdullah ve diğ, 2017). Ayrıca Bölüm 2.6.1.2’de tarif edilen yöntemle de ultrases hızı ölçülerek dinamik elastiklik modülü hesaplanabilir.

Eğilmede çekme dayanımı

Eğilmede çekme dayanımı, tuğlanın eğilme kuvvetlerine karşı gösterdiği dirençtir. Eğilmede çekme dayanımı deneyinin prensibi, deney uygulanacak numuneye yükün; sabit hızla ve darbe tesiri olmaksızın, kırılma 30 s ilâ 90 s arasında olacak şekilde uygun hızlarda uygulanmasıdır (Şekil 2.25). Deney numunelerinin eğilmede çekme dayanımı, denklem 2.9 bağıntısı ile hesaplanır (TS/EN, 2002).

$$R_{tf} = \frac{Fl}{bh^2} \quad (2.9)$$

Numunelerdeki kırılma, mesnetler arasındaki mesafenin orta üçte birlik kısmı dışında oluşmuşsa, deney sonucu dikkate alınmaz. Sonuçlar üç veya daha fazla numune üzerinde saptanmalıdır (TS/EN, 2002).



Şekil 2.25 : Tuğla numunelere uygulanan eğilmede çekme dayanım deneyi (Çağlar, 2018).

2.6.2.4 Petrografik, mineralojik ve kimyasal analizler

Petrografik, mineralojik ve kimyasal analizler, fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenen malzemelerin, iç yapı özelliklerinin anlaşılması için yapılan analiz yöntemleridir. Tuğlanın en önemli hammaddeleri kil ve su karışımıdır. Ham kilin karakterizasyonu için ilk adım, gerçekleştirilmesi hızlı olan ve az miktarda malzemenin yeterli olduğu mineralojik ve kimyasal çalışmalardır (Cultrone ve diğ., 2000; Lourenço ve diğ., 2014). Elde edilen bu veriler, tarihi yapıda eksik parçaların üretimi veya bozulan parçaların değiştirilmesi için uygun hammaddelerin belirlenmesinde de kullanılabilir. Üretim sürecinin orijinaline mümkün olduğunda yakın olması gerektiği unutulmamalıdır (Lourenço ve diğ., 2014).

Petrografik analiz ve mikroskopik inceleme

Petrografik analiz kayaların mineral ve kimyasal bileşimlerini, yapı-doku ve doğada bulunuş şekillerini, varsa ayrışma ve bozulma mekanizmalarını belirleyen analiz yöntemidir (KUDEP, 2011; Öngen, 2013). Petrografik analiz tanımında harç ve sıvalar için bağlayıcı/agrega oranı, içeriğindeki agrega türü ve özelliklerini tespit etmeye yardımcı olur. Yapay taş yani tuğla malzemesinin bağlayıcı agrega oranlarının, agrega biçimlerinin ve formlarının belirlenmesi ve türünün tespiti için de petrografik analiz kullanılır (KUDEP, 2011).

Petrografi çalışmalarında öncelikle kayacı oluşturan mineraller optik veya makroskopik inceleme ile belirlenir (Öngen, 2013). Makroskopik inceleme el merceği ile veya stereoskopik mikroskop yardımı ile gerçekleştirilmektedir (TS/EN, 2019). Stereo mikroskop ile yapılan kalın kesit yüzey incelemelerinde, yapılan tespitler gözlemseldir ve yaklaşık değerler vermektedir (KUDEP, 2011).

Numunelerden bir veya birden fazla hazırlanan ince kesitler, numunenin mikroskobik bir tanımını ve modal analizini (mineral fazların hacim oranları) vermek için polarize ışık mikroskobu kullanılarak incelenir (TS/EN, 2019).

Polarizan mikroskop ile minerallerin tayini optik özelliklerine bakılarak yapılır (Öngen, 2013). Polarizan mikroskop ile yapılan incelemelerde stereo mikroskopa göre agregaların türü tespitleri daha doğru yapılmaktadır ve stereo mikroskop ile tanımlanamayan agrega türlerinin de tanımlanmasını sağlamaktadır (Ersen ve Verdön, 2010; KUDEP, 2011; Eroğlu, 2017). Şekil 2.26'da, petrografi analizi için numunelerin ince kesit olarak hazırlanması, parlatılması ve mikroskop ile incelenmesi gösterilmektedir.



Şekil 2.26 : Sırası ile petrografi analizi için numunelerden ince kesitlerin hazırlanması, parlatılması, ince kesitlerin hazır hali ve mikroskop ile incelenmesi (KUDEP, 2011).

Optik ve makro inceleme ile incelenen minerallerin göreceli oranları modal analiz ve norm hesabı ile belirlenir ve sonrasında ayrıntılı doku analizi ile minerallerin oluşum sırası anlaşılır (Öngen, 2013). Tuğlada optik mikroskop, dokusal ve mikro yapısal özelliklerin yanı sıra vitrifikasyon gelişimini gözlemlemek için kullanılmaktadır (Elert ve diğ, 2003).

Görüntü analizi yöntemi (image analysis)

Görüntü analizi yöntemi; doğal taşların ve tuğlaların mineralojik ve petrografik analizi için, daha kolay, hızlı ve hata oranı daha düşük bir yöntemdir. Çözünürlüğü uygun olan bir fotoğrafın, uygun bir bilgisayar ve bilgisayar yazılımı ile analiz edilmesi şeklinde gerçekleştirilir. Görüntü analizi için geliştirilmiş birçok farklı yazılım mevcuttur. Bu yazılımların özelliklerine göre, malzemenin kamera ile çekilen, mikroskop ile elde edilen, yüksek çözünürlüklü (2048x1536 ve üzeri) dijital fotoğraf makinası ile elde edilen veya tarayıcı ile elde edilen fotoğrafları kullanılabilir. Bu yöntem ile malzemelerin porozite, süreksizlikler, tane boyut dağılımı, tane sınırları, tane şekilleri özellikleri analiz edilir (Çelik, 2008; Ersen ve Verdön, 2010).

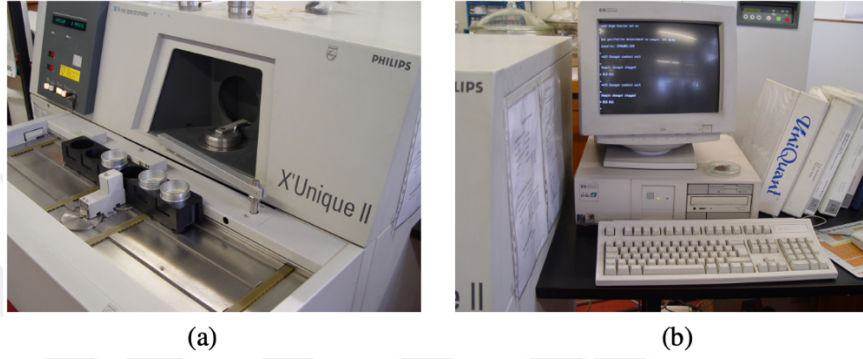
X-Işını difraksiyonu yöntemi (XRD)

“X-Işını kırınımı tekniği temel olarak bir X-ışını kaynağından (Cu) alfa (α), beta (β) parçacıkları üretilerek bir mineral üzerine yönlendirilmesi ve yönlendirilen parçacığın minerale ait kristal yapısına bağlı olarak yansıma açılarının tespit edilmesi prensibine dayanmaktadır”(Yünsel ve diğ, 2019). X-Işını difraksiyonu yöntemi (XRD), mineral tipi tanımlaması (kalitatif analiz) için kullanılmaktadır (Yünsel ve diğ, 2019). İşlem görmemiş tuğlanın mineralojik analizi için de X-ışını kırınımı (XRD) yöntemi tercih edilmektedir (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea, 2005; Franzoni ve diğ, 2014)

Pişmiş kil esaslı tuğlanın bünyesindeki mineraller anlaşıldığında, bu elementlerin sıcaklığa göre faz değişimlerinden, tuğlanın pişme sıcaklığı da anlaşılmaktadır. Örneğin tuğla içerisinde mullit, kristobalit gibi yüksek sıcaklık mineralleri gözlenmiyorsa, tuğlanın pişirme sıcaklığı 900-950 °C’yi aşmamış demektir. Aynı şekilde tuğlanın bünyesinde albit minerali bulunmaktaysa, bu mineral 900-1000°C’nin üzerindeki sıcaklıklarda faz değişimine uğradığı için tuğlanın pişme sıcaklığının bu aralık üstünde olmadığı anlaşılmaktadır. Anortit mineralinin oluşumu ise tuğlanın pişme sıcaklığının 850 °C’nin üzerinde olduğunu gösterir (Yüzer ve diğ, 2015).

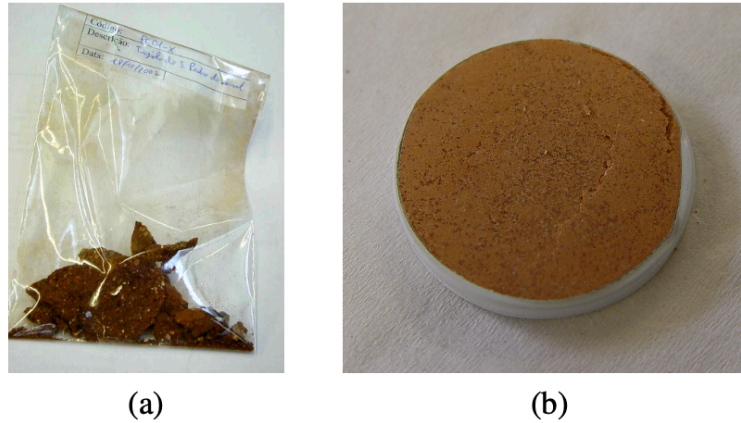
X-ışını floresan (XRF) spektrometresi

XRF tekniği geleneksel olarak kayaların incelenmesinde kullanılır. Jeolojik numunelerdeki ana elementlerin ve eser elementlerin belirlenebilmesini sağlar (Şekil 2.27). Pişmiş kil esaslı yapı tuğlaları yapay olarak metamorfize edilmiş tortul bir kaya olarak kabul edilebileceğinden, aynı teknik tuğla için de kullanılabilir. Ki eski seramiklerin kimyasal bileşiminin belirlenmesinde en çok kullanılan yöntemlerden biridir (Potts ve Webb, 1992; Fernandes, 2006; Lourenço ve diğ., 2010).



Şekil 2.27 : (a) X-Ray spektrometresi ve (b) kurulum kontrolü ve veri depolama için bilgisayar (Fernandes, 2006).

XRF analizi için, öğütülmüş numuneler spektrometreye konulur (Şekil 2.28) ve x-ışınları uygulanır. Farklı tuğla elementleri tarafından üretilen radyasyon, konsantrasyonu ile ilişkili olan belirli bir dalga boyu ve yoğunluk ile karakterize edilir ve bu sayede x-ışını spektrumunda tanımlanmasına izin verir. Böylece tuğla içeriğinde var olan kimyasal maddeler belirlenir (Lourenço ve diğ., 2010).



Şekil 2.28 : Spektrometre ölçümleri için seramik numunenin hazırlanması. (a) Tuğlalardan çıkarılan numunenin görünümü ve (b) teste hazır olan seramik malzeme ile plastik tablet (Fernandes F. M., 2006).

Termogravimetrik ve termal analiz yöntemleri (TG/TGA/DTA/DSC)

Termal analizin esası, sıcaklık değişmesine karşı bir katı maddenin fiziksel ve kimyasal reaksiyonlar sonucunda özelliklerindeki değişimlerin ölçülmesi ve yorumlanmasıdır. Bilinen yaygın termal analiz yöntemleri: diferansiyel tarama kalorimetrisi (DSC), diferansiyel termal analiz (DTA), termogravimetrik (TGA) analiz ve termogravidir (TG) (Cebeci, 2007). Tek bir numune/çalışma ile termal özelliklerin aralığını belirlemek için TGA/TG-DTA/DSC teknikleri aynı anda gerçekleştirilebilir. Bu analizler ile örneklerin sıcaklık artışı ile birlikte kaybettiği ağırlık miktarları tespit edilecektir (Micheals, 2013; Çelik ve diğ, 2019).

Termogravimetrik ve termal analizler genellikle diğer tekniklerle birlikte tarihi harç ve tuğlaların karakterizasyonu ve sınıflandırılması için bir araç olarak kullanılır. Sıcaklık aralığı ve ağırlık kaybı, kalsit, kireç, manyezit, hidromanyezit ve alçıtaşının tanımlanmasına ve yarı niceliksel olarak belirlenmesine, organik bileşiklerin ve kil dehidroksilasyon fenomenlerinin saptanmasına imkân verir. Eşzamanlı TGA/DTA format araştırmalarına dayalı olarak ham madde bileşimi ve kaynağına ilişkin öneriler ile pişirme sıcaklığına ilişkin bilgiler de mevcut olabilir (Brown, 2004; Cardiano ve diğ, 2004; Drebuschak ve diğ, 2007; Solongo ve diğ, 2020).

İndüktif eşleşmiş plazma (ICP) ve tahribatsız nötron aktivasyon (INAA) analizi

ICP ve INAA analizleri tuğla malzemesi içindeki majör ve eser elementlerinin konsantrasyonunun belirlenmesini sağlar. INAA, nadir toprak elementleri hakkında niteliksel ve niceliksel olarak bilgi vermektedir. Ham, pişmiş ve eskitilmiş malzemelerin bileşimi gibi soruları ele almak için tercih edilen bir analitik tekniktir. Tuğla üretiminde kullanılan hammaddelerin aynı jeolojik bölgeden gelip gelmediğini anlamak için çok faydalı bir araçtır (Cardiano ve diğ, 2004).

Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FITR)

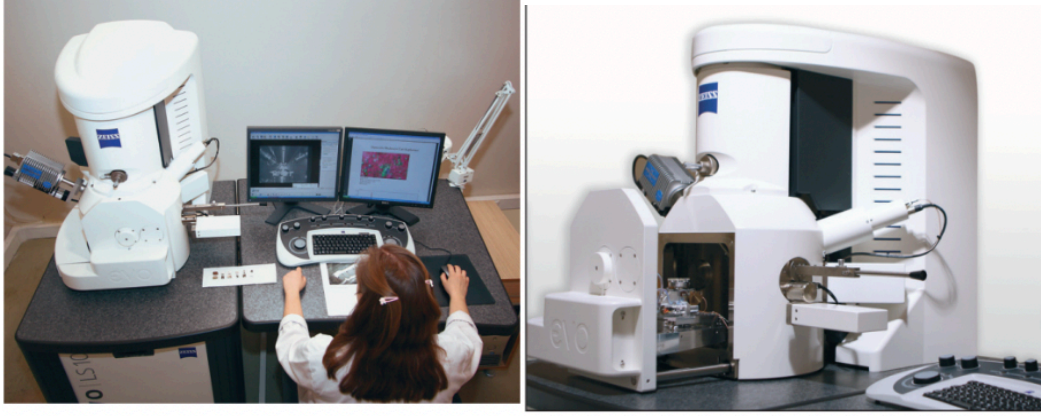
Kızılötesi absorpsiyon spektroskopisi (IR) bir tür titreşim spektroskopisidir. IR ışınları molekülün titreşim hareketleri tarafından soğurulur ve her dalga boyunu ayrı ayrı taramaya gerek kalmadan hızlı ve yüksek çözünürlükte spektrumların elde edilmesini sağlar. Örnek miktarı az bile olsa kısa sürede sonuç alınmasını sağlar (Büyüksırt ve Kuleaşan, 2014). Kısaca FTIR, matematiksel Fourier dönüşümü yöntemi ile ışığın infrared yoğunluğuna karşı dalga sayısını ölçen bir kimyasal analitik yöntemdir (Kılıç ve Karahan, 2010).

FITR tuğlanın hammaddesi olan killerin hem organik hem de inorganik fraksiyonu hakkında bilgi sağlamaktadır. Tuğlanın kimyasal ve mineralojik özelliklerini analiz etmek için kullanılır (De Benedetto ve diğ, 2002; Solongo ve diğ, 2020).

Analitik bir araç olarak kızılötesi spektroskopi, ucuz ve güvenilir bir teknik olma, gerekli numune miktarının miligram altı aralığında olması, numune alma işleminin basitliği ve çok yönlü örnek alma prosedürüne sahip olması gibi birçok avantaj sağlamaktadır. Diğer önemli avantajı ise pişirilmiş killerdeki, pişme sıcaklığı kaynaklı hem kristal hem de amorf değişiklikleri belirleyebilmesidir. Kil esaslı nesnelere pişmesi ile geçirdiği değişimler, (minerallerin kaybolması, kristalleşme ve yeni mineral fazlarının oluşumunu vb.) X-Işını difraksiyonu yönteminin yanı sıra Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FITR) ile belirlenir. Sıcaklık arttıkça mineral bileşimindeki değişikliklerin belirlenmesi prensibi ile çalışmaktadır (De Benedetto ve diğ, 2002; Maritan ve diğ, 2005; Solongo ve diğ, 2020).

Taramalı elektron mikroskobu + enerji dağılımı X- ışını spektroskopisi (SEM-EDX)

Taramalı Elektron Mikroskobu analizi, çok kısa sürede, çok küçük boyuttaki örneklerin incelenmesine imkân tanımaktadır. Bu analiz yöntemi ile tuğla malzemesinin kimyasal içerikleri ve tuğla malzemesindeki fiziksel bozulma türleri belirlenebilmektedir. Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM), “Gözeneklilik Analizinde Dolaylı Metotlar” bölümünde anlatılmıştır. Bu teknik ile elde edilen görüntüler ile örnek hakkında yüzey topografisi, bileşimi ve elektrik iletkenliği gibi bilgiler elde edilir. Eğer bu analiz yöntemindeki görüntüler örnek hakkında ön bilgi vermiyor ve sonuçlar bir şey ifade etmiyorsa, birleştirilmiş bir analiz metoduna başvurulur. Enerji Dağılımı X- Işını Spektroskopisi, analiz edilmek istenen örneği oluşturan bileşenleri belirlemekte veya örneğin kimyasal karakterizasyonunu anlamakta kullanılan bir analitik deney yöntemidir. X-ray fluorescence (XRF)’in bir çeşididir. Çalışma prensibi, bir spektroskopi çeşidi olarak, incelenecek örneğin yüklü parçacıklarla vurulması sonucunda yaydığı x ışınlarını analiz etmektir. Yani kısaca elektromanyetik radyasyon ile maddenin etkileşimleri prensibine dayanmaktadır. EDX örneğin bileşenlerinin niteliksel analizini hızlı, sayısal analizini ise normal standartlarda yapar. SEM-EDX (EDS) analizi iki analiz yönteminin birleştirilmiş enstrüman analiz metodudur (Şekil 2.29). SEM’in olanaklarının kullanılarak yapılan EDX analizine denir (KUDEP, 2011).



Şekil 2.29 : SEM-EDX 'in görünümü (KUDEP, 2011).

2.6.2.5 Eskitme deneyleri

Eskitme deneyleri, malzemelerin zamanın ve çevresel etkilerin sonucunda oluşacak hasarlara karşı dayanımını ölçmek amaçlı uygulanan hızlandırılmış deneylerdir. Pişmiş kil esaslı tuğlalara uygulanan eskitme deneyleri, donma çözünme deneyi, ıslanma kuruma deneyi, tuz kristallenmesi etkilerine dayanım deneyi ve SO₂ buharına dayanım deneyidir.

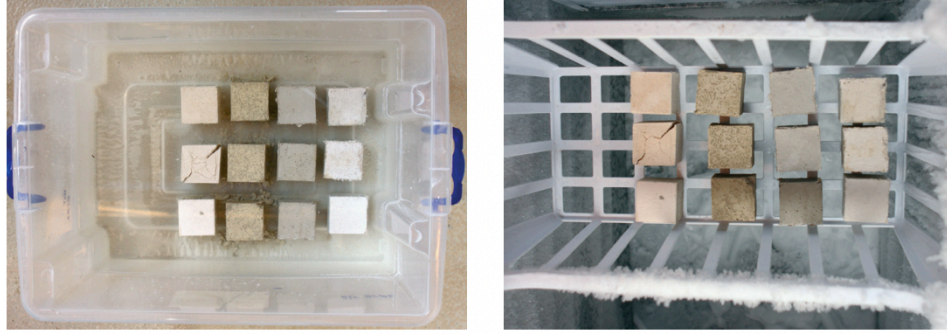
Donma çözünme

Donmaya dayanım testi, özellikle atmosfer koşulları ile temas halindeki malzemelerin, bünyelerindeki suyun donması ile oluşturduğu basınca dayanımını belirlemek için yapılır (KUDEP, 2011). Analiz edilecek numunelerinin belirli sayılarda donma çözülme döngülerine maruz bırakılması şeklinde uygulanır. Deneyler için hazırlanacak numune sayısı, deneyle ilgili standarda uygun olmalıdır (Şekil 2.30).

	Teknolojik deney (Deney A)		Tanımlama deneyi (Deney B)
	Eğilme dayanımı	Basınç dayanımı	
Numune büyüklüğü (mm)	50x50x300 (Not 1 ve Not 3)	(Not 2)	50x50x300 (Not 3)
Numune sayısı (en az)	21	21	7
<p>Not 1 - Numune büyüklüğü, EN 12372'ye veya EN 13161'e uygun olmalıdır. Not 2 - Numune büyüklüğü, EN 1926'ya uygun olmalıdır. Not 3 - Kırılmaya meyilli bazı taşlar (şeyl, fillit gibi) için kalınlık, en az 13 mm olmak üzere kullanım kalınlığına indirilebilir. Kalınlık, EN 12372 veya EN 13161'de belirtilen en az kalınlık değerinden küçük ise, eğilme dayanımı deneyi için uzunluk (180 ± 1) mm'ye eşit olmalıdır.</p>			

Şekil 2.30 : Donma/çözülme deneyi için kullanılacak numunelerin özellikleri (TS/EN, 2010).

Sabit kütleye erişene kadar kurutulan numuneler, suya doyurulur ve ardından donma/çözülme döngülerine maruz bırakılır (Şekil 2.31) (TS/EN, 2010).



Şekil 2.31 : Solda örneklerin suya sağda suya doymuş örneklerin dondurucu tanka yerleştirilmesi (KUDEP, s. 89).

Donma deneyinde bir döngü demek, havada 6 saatlik donma periyodu ve bunu takiben örneklerin suya daldırılarak bekletildiği 6 saatlik çözülme periyodudur. Döngüler örnekler bozulunca veya en büyük döngü sayısına ulaşıncaya kadar devam eder. **Hata! Başvuru kaynağı bulunamadı.**'de donma çözülme deneyi için döngü aşamaları gösterilmiştir (KUDEP, s. 89).

	İzlenen numunenin merkezindeki sıcaklık	Süre
Döngünün başlangıcı (T_0)	$\geq +5\text{ °C} \leq +20\text{ °C}$	T_0
Kademe 1	$\leq 0\text{ °C} \geq -8\text{ °C}$	$T_0 + 2,0$ saat
Kademe 2	$\leq -8\text{ °C} \geq -12\text{ °C}$	$T_0 + 6,0$ saat
Kademe 3 ($T_0 + 6,5$ saate kadar)	Tam daldırma	$T_0 + 6,5$ saat
Kademe 4	$\geq +5\text{ °C} \leq +20\text{ °C}$	$T_0 + 9,0$ saate kadar
Kademe 5	$\geq +5\text{ °C} \leq +20\text{ °C}$	$T_0 + 12,0$ saat

Şekil 2.32 : Döngü Aşamaları (TS/EN, 2010).

Donma/çözülme döngüleri sırasında numunelerde meydana gelen mikro çatlaklar gibi bozulmaların belirlenmesi ancak dinamik elastiklik modülündeki değişimin belirlenmesi ile mümkün olacaktır. Elastiklik modülü yine TS EN 12371:2011-04 standardında verilen yöntemle göre ölçülür. Donma/çözülme döngülerine iki veya daha fazla numunenin, gözle inceleme skorunun üç olması veya dinamik elastiklik modülündeki azalmanın %30'a ulaşması demek numunelerin bozulması demektir. Deneye numuneler bozulana kadar devam edilir (TS/EN, 2010).

Islanma kuruma deneyi

Islanma kuruma deneyi, ıslanma kuruma döngülerinde, aşınmaya karşı tuğlanın dayanıklılığının analizi amacıyla yapılmaktadır. Bu deney ile ıslanma kuruma etkisiyle, numunelerde meydana gelebilecek fiziksel ve mekanik özellik değişimleri de belirlenebilir (TS, 2009). Döngüler numunelerin 6 saatlik su içerisinde bekletilip, 6 saat kurutulması şeklinde gerçekleştirilir. Her ıslanma kuruma bir döngüye karşılık

gelmektedir. Her 6 döngüden sonra numunelerin fotoğrafları çekilmeli, makroskopik ve mikroskopik inceleme yapılmalıdır. Numuneler üzerinde meydana gelen değişimler (kırık, ayrılma vb.) belirlenmelidir. Döngü sayısı 80 olmalıdır. Sonuçta numunelerdeki kütle kaybı ve istenen diğer fiziksel ve mekanik özellikler ölçülür. Kütle kaybı bağıntısı denklem 2.10'da verilmiştir (TS, 2009).

$$Kütle\ kaybı = \frac{A - B}{A} \times 100 (\%) \quad (2.10)$$

A: Numunenin deney öncesi kuru kütlesi, g

B: Numunenin deney sonrası kuru kütlesi, g

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanım deneyi

Tuz kristallenmesi etkilerine dayanım testi, %5'ten fazla açık gözenekliliği sahip doğal taş ve tuğlaların tuzların kristalleşmesi nedeni ile oluşacak hasarlara karşı bağıl direncini değerlendirmek içindir. Deney prensibi sabit kütleyle gelene kadar kurutulan numunelerin, bir sodyum sülfat çözeltisi içinde kurutulması ve oda sıcaklığında soğutulması şeklindedir. Bu bir döngüdür ve 15 kez gerçekleştirilir (eğer numunelerde daha önce parçalanma ve kırılma görülmediyse). Ardından numunelerin kütleleri tartılır. Deney için %14'lük bir sodyum sülfat dekahidrat çözeltisi kullanılmalıdır. Sonuçlar denklem 2.11'deki bağıntı ile hesaplanır (TS/EN, 2020).

$$\Delta M = \frac{M_f - M_{d1}}{M_d} \times 100 \quad (2.11)$$

M_d : Kurutulmuş numunenin kütlesi, gram cinsinden

M_{d1} : Birinci döngüden önce etiketli kurutulmuş numunenin kütlesi, gram cinsinden

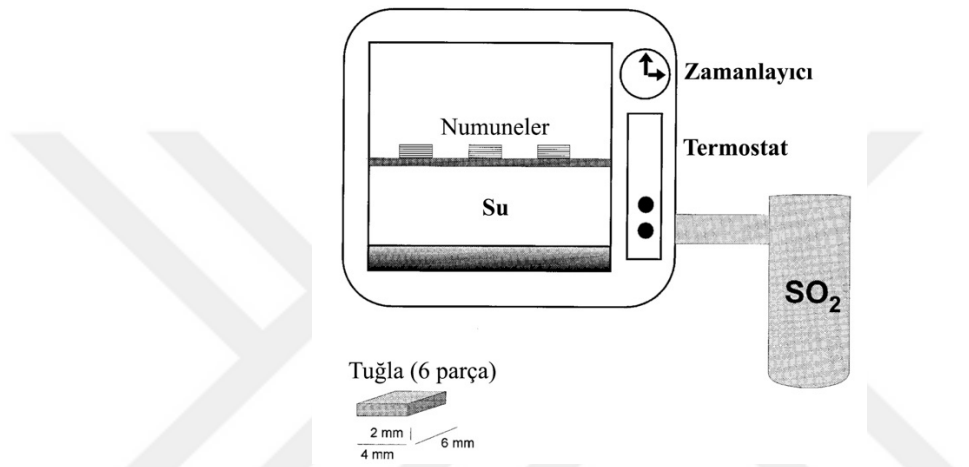
M_f : 15 döngüden sonra etiketli kurutulmuş numunenin kütlesi, gram cinsinden

ΔM : Testten önce ve sonra kütlelerin göreceli farkıdır (kütle kaybı veya kütle kazancı), yüzde cinsinden

SO₂ buharına dayanım deneyi (kirli havaya maruziyet deneyi)

Kirli çevre testi (DIN 50018 yönetmeliği) kentsel ve endüstriyel alanlarda yaygın bir kirletici olan kükürt dioksitin tuğlalar üzerindeki etkisini inceler (Cultrone ve diğ, 2000). Simülasyon deneyleri, sıcaklık, bağıl nem ve SO₂ konsantrasyonunun kontrol edildiği bir akış odasında gerçekleştirilir (Zappia ve diğ, 1994).

Akış odasına örnek olarak Kesternich hava odası verilebilir (Şekil 2.33) (Cultrone ve diğ., 2000). Deney kısaca laboratuvar ortamında, hazırlanmış numunelerin belirli bir süre SO₂ buharına maruz bırakılmasıdır (Akbulut, 2022). Deney sonucunda numunelerdeki kütle kaybı belirlenir (DIN, 1997). Ayrıca numunelere XRD, petrografik analiz, x-ışını kırınımı, kızılötesi spektroskopisi, iyon bağlı plazma emisyon spektrometresi (ICP) uygulanabilir. Kirli atmosfere maruz kalmanın etkileri ise taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile analiz edilebilir (Zappia ve diğ., 1994; Cultrone ve diğ., 2000).



Şekil 2.33 : Kirli atmosfer simülasyonu için Kesternich odasının diyagramı (Cultrone ve diğ., 2000).

Deney ortamı oluşturulurken malzemenin maruz kaldığı gerçek ortam şartları göz önünde bulundurulmalıdır. Deney numunenin içinde bulunduğu hava koşullarına benzer sıcaklık ve bağıl nem, tuz kristallerinin hızlı gelişimini desteklemesi için yüksek SO₂ konsantrasyonu (örn. 400 ppm) ve sabit atmosfer basıncında (1 atm) yapılabilir (Cultrone ve diğ., 2000). Deney süresi, ilgili test standartlarında aksi belirtilmedikçe, her biri 24 saatlik 1,2,5,10,15 veya 20 döngü gerçekleştirilmelidir. Kabul edilemez bir korozyon derecesine ulaşırsa veya numunelerin görünümü veya işlevi başka şekilde bozulursa test sonlandırılabilir (DIN, 1997).

Bu bölümde pişmiş kil esaslı tuğlanın karakterizasyonu için yapılan deneyler incelenmiştir. Bu deneylerin her biri ile tuğlanın birden fazla özelliğini incelemek mümkün olabilmektedir. Pişmiş kil esaslı tuğlanın analizi için yapılan deneyler ve bu deneylerin tuğlanın hangi özelliğini analiz etmeye imkân verdiği Şekil 2.34'te karşılaştırılmıştır.

MALZEME ÖZELLİKLERİ	DENEYLER																												
	Gerilme Çekici	Ultras	Yüzeysel sıcaklığı ve nemin ölçüm aleti	İnfrared tomografi	Georadar yöntemi	Petrografi Mikroskopu Analizi	Taramalı Elektron Mikroskopu/SEM	X-ışın Mikro Bilgisayarlı Tomografi	Cıva İntrüzyon Porozimetrisi/MIP	Nitrojen Adsorpsiyon Ölçümü	Su emme deneyleri	Su desorpsiyon	Su buharı geçirimi	Kolorimetre	Munsell Renk Sistemi	Asit kaybı deneyi	Kızdırma Kaybı Analizi	Spot Tuz Testleri	Yağ ve Protein Analizi	Basınç dayanımı analizi	Çekme dayanımı analizi	Petrografi Analiz ve Mikroskopik inceleme	X-ışın difraksiyonu yöntemi (XRD)	X-ışın floresan (XRF) spektrometrisi	Termogravimetrik ve Termal Analiz (TG/TGA/DTA/DSC)	ICP and INAA analyses	Fourier Dönüşümlü Kızıltesi Spektroskopisi (FTIR)	SEM-EDX	
Hammadde özellikleri																													
Hammadde oranları																													
Pişme sıcaklığı																													
Durabilite																													
Elastisite modülü																													
Basınç Dayanımı																													
Çekme Dayanımı																													
Renk																													
Gözeneklilik																													
Gözenek boyutu																													
Gözenek dağılımı																													
Gözenek şekli, yarıçapı																													
Su emme																													
Su desorpsiyon																													
Su buharı geçirimi																													
Sertlik																													
Mikro çatlaklar ve boşluklar																													
Tuğlanın homojenliği																													
Tuğlada bozulma, iç hasar																													
Önceki onarımlar																													
Tuğlanın bünyesindeki nem miktarı																													
Tuğlanın bünyesindeki tuz miktarı																													
Kuruma özelliği																													
Buhar geçirgenliği																													

Şekil 2.34 : Tuğla deneyleri ve bu deneylerle elde edilen verileri tablosu.

2.7 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasında Bozulma ve Bozunma

Tuğla, dayanıklılığı yüksek bir malzemedir. Ancak doğal hava koşullarına maruz kalan pişmiş kil esaslı yapı tuğlası diğer malzemelerde olduğu gibi zamanla bozulmaya ve bozunmaya uğrar. Çoğu durumda, eskime, renkte küçük kaymalar veya yüzey kirinin birikmesi gibi değişikliklere neden olur. Diğer durumlarda, duvar birimlerinin ufalanması, ayrışması veya büyük ölçüde çatlaması gibi daha ciddi hasarlar meydana gelebilir. Değişimin kapsamı, çevresel etkilerin ciddiyeti, yapısal tasarım ve tuğlaların özelliklerine göre belirlenir (Robinson, 1982).

Bozulma, malzemenin, çevre ve iklim etkileri ile fiziksel ve mekanik olarak yapısal değişikliğe uğraması iken bozunma, kimyasal, elektrokimyasal, biyokimyasal, mikrobiyolojik ve termal etkiler sonucunda malzemede gözlenen kalıcı etkilerdir. Bozulma ve bozunmanın her ikisinde de malzemede şekil değişikliği, malzeme kaybı, direnç azalması, gözenek ve kırılabilirliğin artışı gözlenir (Konak ve diğ, 2022)

Tuğla duvardaki hasar oluşumunu etkileyen en önemli faktörler şunlardır: Uzun süreli kullanım, terk edilme, hammadde kalitesi ve pişme sıcaklığının uygun olmaması, kullanıcı hataları, restorasyon hataları, çeşitli iklim koşullarına, hava kirliliğine maruz kalma, binanın tasarımı, binanın yapımında ve bakımındaki işçilik ve doğal afetler (Lourenço ve diğ, 2014; Fernandes, 2019). Dış çevre ile etkileşimi nedeniyle gerçekleşen malzeme hasarlarının altında yatan bozulma etkenleri ve mekanizmalarını belirlemek ve anlamak alınacak iyileştirici önlemlere karar vermek için esastır (Fernandes, 2019).

Tuğlada hasar türleri kimyasal, fiziksel ve mekanik olarak ayrılabilir (Öztürk, 1992; Franzoni ve diğ, 2014). Bu hasar tiplerinin yanı sıra tuğla, farklı makroskopik bozulma ve bozunma biçimlerinden de ciddi şekilde etkilenebilir (Franzoni ve diğ, 2014) Fiziksel ve mekanik bozulma nedenlerine örnek olarak uygun olmayan hammadde kalitesi, yetersiz pişirme sıcaklığı, aşırı yükleme, neme bağlı genleşme, sıcaklık değişimine bağlı genleşme/büzülme, çözünür tuzların kristalleşmesi, erozyon; kimyasal bozunma nedenlerine örnek olarak alkali ve sülfat atakları, çözünme, ayrışma, tuğla ile temas eden demir donatının korozyonu, kil kütlelerinde sönmüş kireç yumrularının varlığı; yine kimyasal bozunma içerisinde ele alınan biyolojik bozunma nedenlerine örnek olarak; zararlı bakteri ve alglerin üremesi, bitkilerin malzeme üzerinde yetişmesi verilebilir (Fernandes, 2019).

Malzemede meydana gelen bozulma ve bozunma süreçleri ve bunların sonucunda meydana gelen bozulma ve bozunma tipleri Çizelge 2.3'te gösterilmiştir.

Çizelge 2.3 : Temel bozulma ve bozunma süreçleri ve sonuçları (Lourenço ve diğ, 2014; Fernandes, 2019).

	Süreç	Sonuç
Fiziksel Bozulma	Nem, tuz kristalizasyonu, donma	Effloresans, dökülme, soyulma (exfoliation), toz haline gelme (powdering)
Kimyasal Bozunma	Hava kirliliği, Biyolojik organizmalar	Biyolojik bozunma, siyah kabuk oluşumu (black crusts)
Mekanik Bozulma	Aşırı yükleme, sünme (creep), deprem, bindirme kemerleri ve tonozları	Çatlaklar Yer değiştirme / deformasyon

Malzemelerin bozulma ve bozunma mekanizmalarının anlaşılması için içinde bulunduğu ortamın iklim verileri özellikle bağıl nem, sıcaklık, rüzgâr şiddeti ve yönü araştırılmalıdır. Sadece topraktan gelen nem değil, havadaki nem veya yağmur kaynaklı nem de gözenekli malzemelerde çözülebilir tuzların hareket etmesine ve kristalleşmesine, kimyasal ve biyolojik hasarların artmasına, donma çözülme kaynaklı hasarlara neden olur ve kötüleştirir (Saiz-Jimenez, 1993; Camuffo, 1995; La Iglesia ve diğ, 1997; Warscheid ve Braams, 2000; Sandrolini ve diğ, 2007).

Sıcaklık değişimleri, farklı ısı genleşme nedeniyle tuğla duvarda bozulmaya neden olabilecek iken, depremlerden kaynaklanan dinamik yükler ve rüzgâr veya trafik tarafından tetiklenen titreşimler de tuğlada çatlak oluşmasına neden olabilmektedir (Lourenço ve diğ, 2014).

Bozulma ve bozunma süreçleri malzemeler üzerine baskı uygular, bu da malzemeyi hasar görünür hale gelene kadar zayıflatır. Malzemenin azalan performansına karşılık eskimesinde bir artış meydana gelmesidir. Bu nedenle hasar, malzemenin performansında, dayanıklılığını etkileyen kabul edilemez bir azalma olarak tanımlanabilir (Lourenço ve diğ, 2014). Bir malzemedeki bozulma ve bozunma mekanizmaları ve hızları sadece farklı yapılarda değil aynı bina içerisinde bile değişken olabilir (Torraca, 2009).

Tuğladaki hasar süreçleri; doğal taş, harç gibi diğer gözenekli malzemeler ile birlikte ele alınmaktadır (Franzoni ve diğ, 2014). Fakat gözeneklilik bölümünde de bahsedildiği gibi özellikle endüstri öncesi üretilen kil esaslı pişmiş tuğlalar; hammadde özellikleri, düşük pişirme sıcaklıkları ve el ile üretim teknolojileri nedeni ile oldukça

heterojendirler ve yüksek poroziteye sahiptirler. Bu tür yüksek gözeneklilik, tuğlaları, donma-çözülme döngüleri, çözünür tuzların kristalleşmesi ve biyolojik büyüme gibi doğal taşı etkileyen aynı fiziksel mekanik bozulma süreçlerine karşı daha çok savunmasız hale getirir (Şekil 2.35) (Camuffo, 1995; Franzoni ve diğ, 2014). Tuğla duvarda harç, tuğladan daha güçlü ise tuğladaki bozulma daha şiddetli olabilmektedir (Şekil 2.36) (Donnelly, 2009).



Şekil 2.35 : Harçın tuğladan daha güçlü olduğu durumlarda tuğladaki bozulma (Donnelly, 2009).



Şekil 2.36 : Casa Beccafumi'nin (XVI. Yüzyıl, Siena, İtalya) cephesindeki tuğlaların toz haline gelmesi (solda); Corpus Domini Manastırı'ndaki (XV Yüzyıl., Bologna, İtalya) dekoratif bir pişmiş toprak heykelin derin erozyonu (sağda) (Franzoni ve diğ, 2014).

Üretimden kaynaklanan hasar

Tuğla malzemesinin hammaddesinde bulunan kalsiyum oksit parçacıkları veya kireç varlığı, tuğladaki hasar nedenlerinin en başında gelmektedir. Çünkü pişirme işlemi ile birlikte, kalsiyum karbonat kalsiyum oksite dönüşür. Kalsiyum oksit su ile temas ettiğinde kalsiyum hidroksite kristalleşir ve hacim artışı meydana gelir. Bu hacim artışı, gerilmelerin birikmesine, çatlamaya ve nihayet tuğlanın kısmen veya tamamen

ayrışmasına neden olur. Ayrıca karbonat bakımından zengin hammaddelerden üretilen eski tuğlalar, yine düşük pişirme sıcaklıklarından dolayı bünyelerinde bazı birincil veya ikincil kalsit (CaCO_3) bulundurlar (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea, 2005). Yapılan araştırmalar da tarihi tuğlaların düşük pişirme sıcaklığından dolayı oldukça yüksek CaCO_3 miktarı içerdiklerini kanıtlamıştır (Sandrolini ve diğ, 2007). Bu durum tuğlayı kirli ortamlarda asit saldırısına ve dolayısıyla siyah kabuk oluşumuna karşı duyarlı hale getirir (Cultrone ve diğ, 2000).

Üretim kaynaklı hasarlarda diğere önemli parametre plastisiteyi azaltmak için ham kile kum ilave edilmesidir. Kum oranı eğer yetersiz ise, üretilen tuğlalar yüksek oranda büzülme ve düzensiz şekil gösterme eğiliminde olur. Fakat kum oranı fazla ise kil esaslı pişmiş tuğlalar bu durumda kırılabilir hale gelebilmektedir. Ayrıca, kil karışımlarının büyük boyutlu kum taneleri içermesi, bu tanelerin etrafında lokal çatlaklara neden olabilmektedir (Lynch, 1994; Fernandes, 2006; Fernandes, 2019). Eğer tuğla hamuru yüksek oranda tuz içeriyorsa, pişirildikten sonra, nem varlığında hasara meyilli bir tuğla meydana gelecektir (Lynch, 1994). Bunların yanı sıra kusurlu kalıplama ve şekillendirme süreci, kil hamurunun yetersiz ve uygun olmayan koşullarda (aşırı rüzgâr vb.) kurutulması, tuğla hamurunun erken pişirilmeye başlatılması, uygun olmayan pişirme koşulları da tuğlada hasar miktarını artıran etmenlerdir.

Islanma-kuruma döngülerine bağlı hasar oluşumu

Suya doygunluk, doğrudan yağış yolu ile veya dolaylı olarak suyun kılcallıkla temelden yukarı yükselmesi ya da temas halinde bulunan diğere malzemelerden yanal hareketi ile gerçekleşebilir. Bu nedenle, duvarda hasar oluşumuna yol açan ana unsur su penetrasyonu olduğundan, su emme için doğru bir değer ve doyma katsayısı gereklidir. Tuğlanın içine suyun nüfuz etmesi, neme doyması, en yaygın ve potansiyel olarak tuğlaya en çok zarar veren etkenlerden biridir (Ashurst ve Ashurst, 1988; Abu Bakar ve diğ, 2009; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Çünkü çözünür tuzlar, atmosfer kirliliği, CO_2 , canlı organizmalar gibi tuğlaya zarar verebilecek etmenlerin taşınmasında rol oynar. Buna ek olarak hava sıcaklığının düşük olduğu iklimlerde su, tuğla içerisinde donar ve hacim genişlemesi nedeni ile hasara neden olur. Tarihi binalarda, kılcallık ile yükselen su ile ilişkili hasarlar genellikle yağmurun neden olduğu hasarlardan daha şiddetlidir (Fernandes, 2006; Fernandes, 2019).

Su yapıya, kusurlu derz harçları, çatlaklar, açık gözenekler vb. zayıf noktalarından; doğrudan yağmura maruz kalma, kusurlu drenaj sistemleri veya yeraltı suları gibi kaynaklardan kılcallık yükselmesi ile sızabilir ve ilerleyebilir (Fernandes, 2006; Zakar ve Eyüpgiller, 2015; Fernandes, 2019). Tuğla bozulmalarına en sık, suya sık maruz kalan, pencere denizlikleri, parapetler, baca dipleri gibi bölgelerde rastlanmaktadır (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Duvar örgülerinde yüzeysel ıslanma yolu ile de sorunlar oluşabilir.

Donma-çözülme döngülerine bağlı hasar oluşumu

Donma eylemi, hava sıcaklığı donma noktasının altına düştüğünde ve malzemenin gözeneklerindeki su donmaya başladığında gerçekleşir. Bu nedenle su, özellikle düşük sıcaklıkların görüldüğü ülkelerde ciddi bir hasar nedenidir. Tuğla veya diğer yapı birimlerinin suyla doyması ve ardından donması, birimleri yok edecek yıkıcı kuvvetler üretebilir. Bu, suyun buza dönüşürken gözeneklerin içinde % 9'luk hacimce genişlemesinden ve malzemenin içerisinde basınç kuvvetlerinin oluşmasından kaynaklanır. Bu basınç kuvveti malzemedeki gözenek miktarına, boyutuna, dağılımına, malzemenin doyma derecesine ve malzemenin konumu ile suya maruziyetine bağlıdır (Robinson, 1982; Ashurst ve Ashurst, 1988; Koroth ve diğ, 1998; Fernandes, 2006).

Don etkisi nedeniyle hasar oluşumu, tuğlanın suya yoğun ve uzun süreli maruz olduğu noktalarda daha çok görülmektedir. Bu nedenle suyun birikimine imkân veren bölge ve detaylarda hasar daha çok oluşmaktadır (Ashurst ve Ashurst, 1988; Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Gözenek içerisindeki su miktarı ne kadar fazla ise, oluşan basınç da o kadar yüksek olmaktadır. Bu basınç gözenek çeperlerine baskı uygulamaktadır. Malzemenin dayanımını aştığında da don hasarı meydana gelmekte ve tuğlada kırılmalar, mikro ve makro çatlaklar oluşmaktadır (Ashurst ve Ashurst, 1988; Koroth ve diğ, 1998; Fernandes, 2006; Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Malzeme düşük doygunluk derecesine sahip ise, gözenekler içerisinde oluşan basınç kuvveti ihmal edilebilir olur. Çünkü bu durumda gözeneklerdeki; boş alan donan suyun genişlemesine imkân vermektedir. Sıcaklık değişiminin çok olduğu, ve sıcaklık farkının yüksek olduğu yerlerde , pişmiş kil esaslı tuğla, kendisine zarar verebilecek döngüsel donma ve çözülmeye yoğun maruz kalmaktadır (Koroth ve diğ, 1998).

Tuğlada %12'yi aşan su emme oranında, donma-çözülme döngülerinde bozulma görülmeye başlar. Emilim ne kadar fazla olursa, hasar olasılığı da o kadar yüksek olur. Genellikle, ekstrüde tuğla için %15'in üzerindeki su emme oranı kabul edilemez. Preslenmiş ve kalıplanmış tuğla, belki %14 ila %17 gibi daha yüksek su emme oranı ile kabul edilebilir bir performans verecektir (Robinson, 1982).

Gözenek yapısını değerlendirmeye yönelik ilk girişimlerde büyük gözenek ve küçük gözenek oranlarının bir ölçüsü olarak doygunluk katsayısı kullanılmıştır. Mevcut çabalar, gözenek boyutu dağılımını belirlemeye yöneliktir, ancak doygunluk katsayısı, tuğlanın dayanıklılığının kusurlu olsa bile yararlı bir indeksi olmaya devam etmektedir. Doymunluk katsayısı, oda sıcaklığındaki suya 24 saat daldırma sırasında emilen suyun, kaynayan suya 5 saat daldırma sırasında emilen suya oranıdır. Oda sıcaklığındaki emilen suyun, bir tuğlanın yağıştan alacağı su miktarını gösterdiği varsayılırken, kaynamadan eklenen su emme, yalnızca anormal basınç altında nüfuz edilebilecek gözeneklerin miktarını gösterir. 0,75'in altındaki doymunluk katsayıları, sağlamlığın iyi bir güvencesini verir. Ancak 0.85'in üzerinde değerlere sahip mükemmel dayanıklılığa sahip tuğla örnekleri de mevcuttur. Bu durumlarda, dayanıklılığın belirlenmesinde üretim prosedürünün diğer etkenler ön plana çıkmaktadır (Robinson, 1982).

Gözeneklilik ve dona dayanım ilişkisi hakkında yapılan çalışmalar sonucunda, tuğlaların 3 µm' den daha büyük çapa sahip gözeneklerin sahip olmasının dona dayanımda avantaj sağladığı, daha küçük gözeneklerin ise sakıncalı olduğunu gözlemlenmiştir (Fernandes, 2006). Çünkü ince gözenekler kılcallık ile su emilimini artırmaktadır. Tuğlanın pişme sıcaklığının ve süresinin artırılması düşük gözenekli ve daha büyük boyutlu gözeneklere sahip tuğla elde edilmesini sağlar. Böylece donma direncine katkıda bulunur (Korothe ve diğ, 1998).

Pişmiş kil esaslı tuğlalar, dona karşı dirençlerinde büyük farklılıklar gösterir. Tarihi kil esaslı tuğlaların çoğu, düşük sıcaklıkta pişirildikleri için, önemli bir oranda ince ve açık gözenekler içerirler. Bu da donma hasarına karşı onları savunmasız hale getirir. Bu nedenle, çok ince gözenek oranı (0.25 ile 1 µm arasında) yüksek olan tuğlaların donma etkisinden dolayı dayanıklılığı daha düşüktür (Fernandes, 2006). Büyük oranda açık gözenekliliğe sahip, yüksek gözenekli tuğlalar da donmaya karşı zayıf dirence sahiptir (Ashurst ve Ashurst, 1988).

Donma hızının da donma eylemi üzerinde kontrol edici bir etkisi vardır. Genellikle su gözeneklerde donduğunda, genişleme kuvveti donmamış suyu doymamış gözenek boşluklarına sıkıştırır ve böylece basıncı tahliye eder. Ancak yüksek bir donma hızı altında, donmamış suyun boş gözeneklere hareket etmesi için yeterli zaman olmayacak ve bu da basınçta ani bir artışa neden olacaktır. Ayrıca, donma hızı düşük olduğunda, malzeme içinde büyük bir buz birikmesine ve ardından tuğlaların dökülmesine neden olan "buzlanma" olgusunun ortaya çıkmasına neden olabilir (Korothe ve diğ., 1998).

Çözünür tuzlar ve çiçeklenmeye bağlı hasar oluşumu

Pişmiş kil esaslı tuğlanın hammaddesinde işlenmemiş killerin ve safsızlıkların bulunması, karışımda potansiyel olarak tehlikeli çözünür tuzların kalmasına neden olur. Bu tuzlar su ile temas ettiklerinde, yeterli sıcaklık ve nem koşullarında, su içerisinde çözülerek ve suyun hareketi ile taşınır (Fernandes, 2006; Fernandes, 2019). Tuzun verdiği zarardan sorumlu olan mekanizma halen tartışılmaktadır (Charola, 2000). Bununla birlikte, tuz ayrışmasında tuzların hem taşınması hem de kristalleşmesi kilit etkenler olarak görünmektedir. Tuzların taşınması ve kristalleşmesi, malzeme içindeki hareketi ile yakından bağlantılıdır (Huinink ve diğ., 2006). Taşınan tuzlar suyun buharlaşması sonucunda yüzeye yakın bir yerde birikir ve kristalleşir. Kristalize olan bu tuzlar, yüksek hacim artışına, dış yüzey üstünde çiçeklenme, dış yüzeyin altındaki gözeneklerin içerisinde ise kripto (kabuk altı) çiçeklenmeye neden olur. Çiçeklenme tuğlanın yüzeyinde atmosferik etkilere maruz kaldıktan sonra ince bir çözünür tuz tortusu oluşmasıdır. Tuğlanın hammaddesinde bulunan çözülebilir tuz yüzdesi ne kadar yüksekse çiçeklenme görülmesi o kadar yüksektir. Tuğlada ciddi estetik ve mekanik hasarların oluşmasına neden olur (Fernandes, 2006; Fernandes, 2019). Şekil 2.37’de tuğla duvar yüzeyinde oluşan çiçeklenme ve yosun kaynaklı hasar görülmektedir. Kripto-çiçeklenme ile tuğlanın gözenekleri içerisinde basınç ve gerilme etkisi oluşturabilmektedir. Bunun sonucunda tuğla yüzeyinde pullanma ve ayrışma meydana gelir (Ashurst ve Ashurst, 1988; Fernandes, 2006; Zakar ve Eyüpgiller, 2015; Fernandes, 2019). Tuzlar, çok düşük konsantrasyonlarda (ağırlıkça %0,05) bile malzeme içinde kristalleşebilir, bu da kristalleşme basıncının oluşmasına ve çatlakların oluşmasına ve tanecikli ayrışmaya neden olur (Cultrone ve diğ., 2000). Tuğlada çözünür tuzların kristalizasyonu, tuğlanın gözenek yapısından, su emme kapasitesinden (en az %6’lık bir emme gerekli), kristalleşme mekanizmasından ve suyun buharlaşmasından etkilenir (Fernandes, 2006; Fernandes, 2019).



Şekil 2.37 : Tuğla duvar yüzeyinde çiçeklenme ve yosun büyümesi (Donnelly, 2009).

Eski tuğlaların yüksek gözenekliliği ile bünyelerinde yüksek oranda tuz bulunması sonucunda tuz kristallenmesinden kaynaklı hasarlar kaçınılmaz olarak görülebilmektedir. Tuz kristalleşmesi en çok, saçak altlarında, yüzeyde çıkıntı yapan detayların çevresinde, yağmur suyu ile yıkanmayan ve kirlerin biriktiği yüzeylerde meydana gelmektedir (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Tuzlar kilin malzemenin kendinden (işlenmemiş kil, deniz suyu kullanılması vb.), çevreden, harçtan, kireçtaşı gibi malzemelerden, binanın geçmiş kullanımlarından (tuz deposu vb.) gelebildiği gibi yükselen nem ile topraktan da taşınabilir. Kilden, suyun safsızlıklarından ve bileşenlerinden kalsiyum, sodyum, potasyum, magnezyum ve demir sülfatları gibi tuzlar tuğlanın bünyesine katılırken, klorürler ve nitratlar genellikle toprak altından tuğlanın bünyesine katılır (Ashurst ve Ashurst, 1988; Fernandes, 2006; Fernandes, 2019).

Son olarak tuğla ve harç birbiri ile beraber kullanıldığı için tuz hasarının riski ve yeri, iki malzemenin gözenek boyutu dağılımına bağlıdır (Huinink ve diğ, 2006). Kılcallık yoluyla nem (ve tuz) taşınması daha büyük gözeneklerden daha küçük gözeneklere doğru hareket ettiğinden, kaba, gözenekli bir harçla temas halinde olan ince, gözenekli bir tuğla, ince, gözenekli bir harç üzerine uygulanan kaba bir tuğladan daha büyük bir bozulma riskine sahip olacaktır. Ancak bu, kaba gözenekli bir altlık üzerindeki ince gözenekli bir harcın her durumda yanlış seçim olacağı anlamına gelmemektedir (Lourenço ve diğ, 2014; Fernandes, 2019). Saf kristalleşmenin yanı sıra, tuzların harç bileşenleriyle reaksiyona girmesi nedeniyle genişleyen bileşiklerin oluşumu da yalnızca harçlara değil, bir bütün olarak duvarlara önemli zararlar verebilmektedir (Şekil 2.38) (Lourenço ve diğ, 2014).



Şekil 2.38 : Duvarda, yapısal hasar gibi görünen ancak harcın iç kısmındaki geniş reaksiyonun neden olduğu çatlak deseni (Lourenço ve diğ, 2014).

Isı değişimleri ve yangına bağlı hasar oluşumu

Hava sıcaklığındaki günlük ve mevsimsel değişiklikler, pişmiş kil esaslı tuğlaların genişleme ve büzülmesine neden olur ve bunun sonucunda tuğlada yeni çatlaklar oluşturabilir veya mevcut çatlakları artırabilir. Çatlaklar malzemenin bozulma hızını arttırmakta, su, tuz vb. agresif maddelerin tuğlaya nüfuz etmesini kolaylaştırmaktadır (Fernandes, 2019).

Tuğla malzemesinin bozulma nedenlerinden bir diğeri yangındır. Yangının tuğla üzerindeki hasarı, yangının şiddetine, tuğla duvarın kalınlığına ve cinsine göre değişebilmektedir. Tuğlanın pişme sıcaklığı, çıkan yangının sıcaklığından daha yüksek ise yangına yüksek dayanım gösterir. Şiddetli bir yangında, tuğlada çatlama gibi yüzey hasarlarına ek olarak şişme ve yüzeyde pullanma gibi hasarlar görülebilir. Yangın çok yoğunsa tuğlada bir miktar vitrifikasyon meydana gelebilir. Yangın söndürülürken tuğlaya ani suyun temas etmesi, tuğlada kabarmaya neden olabilir ancak bu tuğlanın sağlamlığını genellikle etkilemez. Yangın sonucunda oluşan is ve duman nedeni ile tuğlada lekelenmeler görülebilir (Ashurst ve Ashurst, 1988). Yangının tuğla üzerinde etkilerinden en önemli olanı ise, yüksek sıcaklık nedeni ile, tuğla duvarı oluşturan harç ve diğer strüktürel malzemelerin taşıyıcı özelliklerini kaybetmeleri ve sonucunda tuğla üzerinde çatlakların oluşmasıdır (Zakar ve Eyüpgiller, 2015).

Bir yangının ortalama sıcaklığı 550°C'dir ve bu sıcaklık tarihi pişmiş kil esaslı tuğlaların pişirilme sıcaklığından (kırmızı tuğlalar genellikle 800-1100° C aralığında) düşüktür. Fakat malzemenin üretim sürecindeki eksiklikler nedeni ile, birçok tarihi tuğlanın yangına yeteri dayanımı olmadığı düşünülmektedir (Fernandes, 2019).

Biyolojik bozunma

Pişmiş kil esaslı tuğlanın biyolojik etkenler tarafından bozunması çok sayıda faktörün bir araya gelmesi ile gerçekleşir. Yosunlar, likenler, bitki örtüsü malzemedeki fiziksel ve kimyasal hasara neden olur. Mikroorganizmalar ve bitki örtüsü tarafından üretilen organik ve inorganik asitler tuğlada kırılma, ayrışma meydana getirebilir. Biyolojik bozunmaya humus ve böcek içeren toprak bitkileri de neden olabilir. Bunun yanı sıra büyük bitki ve ağaçların köklerinin mekanik hareketi de önemli çatlaklara neden olabilir. Özellikle sarmaşığın hasarlı yüzeylerde büyümesine izin verilirse ve kök sistemiyle duvar çekirdeğine nüfuz ettiğinde ciddi zararlara neden olabilir. Diğer tırmanıcı bitkilerin de kökleriyle duvara nüfuz etmeseler bile, tuğla duvarın kusurlarını saklayacak, nemi tutacak ve duvarın doğal olarak kurummasını önleyecek kadar büyümelerine izin verilmemelidir. Tuğla üzerinde büyüyen yosun, neme doymuş bir duvarın kesin bir işaretidir ve büyüme, tuğla yüzeyine karşı daha fazla su tutulmasını teşvik ederek tuğlalara daha fazla zarar verebilmektedir. Ek olarak kuşların (özellikle güvercin) dışkılarında asit bulunmaktadır ve bu asit tuğlaya zarar verir. Aynı zamanda bu dışkılar bitki örtüsü için gübre görevi görür ve bakteri kaynağıdır (Donnelly, 2009; Fernandes, 2019).

Hava kirliliğine bağlı hasar oluşumu

Yüksek düzeydeki hava kirliliği, binaların, tarihi yapıların bozunma oranlarında önemli oranda artışa neden olmaktadır. Fosil yakıtlarının yakılması, atmosferdeki tuğlalar için en zararlı etkenler olan NO_x ve SO₂ konsantrasyonunu artırır. Atmosferik yağışta çözünen hem NO_x hem de SO₂, daha sonra taştaki kalsiyum karbonat (kalsit) minerallerine saldıran asitleri oluşturur (Rozniakowski ve diğ., 2001). Atmosferdeki SO₂, SO₃ su ile reaksiyona girerek zayıf bir asit olan H₂SO₃'ü ve H₂SO₄'ü meydana getirir. Meydana gelen bu asitler malzeme bünyesinde kalsit (CaCO₃) bulunması durumunda, kalsit mineralleri ile tepkimeye girer ve suda çözünebilen CaSO₄ ve CaSO₄.2H₂O oluşumuna neden olur (Akbulut, 2022).

- $H_2O + H_2SO_4 + CaCO_3 \rightarrow CaSO_4, 2H_2O + CO_2 \uparrow$ (Kübra Ekiz Barış, Leyla Tanaçan, 2017)

Bunun yanı sıra sülfürik asit (H₂SO₄), karbonatlara ve volastonit, gehlenit ve Ca-feldispatlar gibi Ca bakımından zengin, yüksek sıcaklıktaki silikatlara saldırır ve alçı kristallerinin oluşumuna neden olur. Sülfürün sülfata oksidasyonunu etkileyen faktörler arasında saldırı altındaki taşın tipi ve gözenekliliği, nem seviyesi, dahil olan oksitleyici

maddelerin doğası ve metal oksitler, klor ve amonyum tuzları gibi yabancı reaktanların varlığı yer alır (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea, 2005). CaSO₄ yani alçıtaşı oluşumu, kristalleşme sırasında genişleme olması nedeni ile çatlakların ve ayrışmaların oluşmasından sorumludur (Barış ve Tanaçan, 2017). Malzeme yüzeyinde görünüm kaybına, çukurlar veya yuvarlak çıkıntılar oluşturabilir (Rozniakowski ve diğ, 2001). Ve yine malzemenin yüzeyinde siyah kabuk oluşmasından sorumludur (Cultrone ve diğ, 2000).

Tarihi pişmiş kil esaslı yapı tuğlaları, genel olarak geleneksel yöntemler ile elde edildiği için, üretim koşulları nedeni ile homojen olmaması sonucunda, bünyesinde kireç bulundurabilmektedir (Fernandes, 2006). Bu nedenle tuğlada yaşlandırma deneyleri yapılırken SO₂ buharına dayanıklılık deneyinin yapılması da önem kazanmaktadır.

2.8 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Korunma İlkeleri ve Nedenleri

“Koruma, bir kültürel varlığın, var oluş biçimini, geçmişini ve taşıdığı önemi anlamakla başlar; bu varlığın özgünlüğünü tehlikeye atmadan yapılacak tüm restorasyon müdahaleleriyle devam eder” (Zakar ve Eyüpgiller, 2015). Bu tanımdan tarihi bir yapının korunması söz konusu olduğunda en esas öncelikli konunun özgünlüğe sahip çıkmak olduğu anlaşılmaktadır.

ICOMOS Türkiye'nin 2013'te yayımladığı Mimari Mirası Koruma Bildirgesi'nde mimari mirasa müdahale ilkelerini aşağıdaki gibi ele almıştır (ICOMOS, 2003).

- Korunmaya yönelik müdahalelerde yapının özgünlüğünün tüm boyutu ile korunmalı
- Yapının bütünlüğü korunmalı.
- Müdahaleler yapıya zarar vermemeli, tarihi belge niteliğindeki izler zarar görmemeli
- Müdahaleler özgün yapıya olabildiğince zarar vermeden kaldırılabilir veya yenilenebilir tekniklerle olmalı.
- Yeni malzeme ve teknikler, ilgili müdahale özelinde gereken testler yapılmadan, bilimsel veriler ile uygunluğu ortaya konulmadan uygulanmamalı

- Uygulama sırasında ve sonrasında etkinlik takibi için, ölçüme dayalı, düzenli izleme yapabilecek mekanizmalar tanımlanmalı
- Her kültür varlığının kendine özgü sorunları ve potansiyelleri olduğu unutulmamalı, evrensel ve ulusal yaklaşımlara uyulmak şartı ile müdahalelerde farklı değerlendirme ve çözümler gerekebileceği kabul edilmeli.

Tarihi bir yapıda malzemeye yapılacak müdahalelerde de bu ilkeler benimsenmeli, her malzemenin kendine has özellikleri, bozulma ve bozunma mekanizmaları olduğu kabul edilmeli ve standart bir koruma uygulamasından daha çok o yapıdaki malzemeye uygun bir koruma yöntemi seçilmelidir. Bunun için gerekli deneyler ve gözlemler yapılmalı ve mimari mirasın incelenip korunmasına fayda sağlayacak tüm bilim ve teknik bilgidan faydalanılmalıdır (ICOMOS, 1964).

Tuğla binlerce yıldır dünya çapında ilgi gören bir yapı malzemesidir. Bu evrensel yapı malzemesi, dünyadaki birçok şehir ve ülkeyi karakterize etmektedir (Dick, 2020). Hammaddesinin bulunma kolaylığı, üretim kolaylığı ve uygulama kolaylığı nedeni ile yaygın kullanım alanı bulmuştur. Tuğlanın korunması bu nedenle oldukça önemli olmasına rağmen bu konunun araştırılması yeterli değildir (Franzoni ve diğ., 2014).

Önleyici koruma kuramı 19. yy. sonundan, Ruskin ve Morris'e kadar uzanırken, son dönemde daha ciddi olarak ele alınmıştır. Hasara uğramış malzemenin ortamı ile, hasar süreçlerinin korelasyonları incelenerek, hasar hızını kontrol edilmesi amaçlanmıştır. Ve sonucunda "ortam koşullarını denetleme" kavramı ortaya çıkmıştır. Bu kavram minimum müdahale, duvara zarar verecek malzemelerin duvar yapısına sokulmaması gibi durumların tartışılmasına ön ayak olmuştur (Ersen, 2013).

Bilim adamları bir kültür varlığının korunması sırasında hem hasar nedenlerinin gözlemlenmesi hem de yerinde ve laboratuvar analizleri ile karmaşık, değişken ve uzun süreli ortam şartlarına maruz kalacak malzemelerin yaşayacağı sorunlara en doğruya yakın tahminde bulunabilmek için yöntem geliştirmeye çalışırlar. Kültür varlığının koruyucularına bilgi, yani risk değerlendirmeleri, yönetim seçenekleri sağlayarak kıt kaynakların uygun bir şekilde kullanılmasına yardımcı olurlar (Baer, 1991).

3. PİŞMİŞ KİL ESASLI YAPI TUĞLASININ SAĞLAMLAŞTIRILMASI

Sağlamlaştırma hasara uğramış malzemelerin, hasarlı yüzeyi ve sağlam yüzeyi, arasındaki kohezyonunu artırmak amacı ile sağlamlaştırma yeteneği olan sıvıların malzemeye emdirilmesi işlemidir (Clifton, 1980; BS, 2000). Malzemeye daha iyi mekanik direnç sağlamalı, gözenekli sistemi değiştirerek su ve tuz çözeltilerinin malzeme içine nüfuz etmesini zorlaştırmalıdır (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Mimari mirası korurken önemli olan malzeme kaybının önlenmesi olduğu için, sağlamlaştırma eğer malzeme kohezyonunu kaybetmişse, mekanik dayanımı ve ömrü azalmış ise, koruma sürecinin önemli bir parçasıdır (Öztürk, 1992; Torraca, 2005).

Sağlamlaştırıcıların kullanımı, tuğladaki hasara neden olan tüm etkenler anlaşıldıktan ve hasar kaynakları ortadan kaldırıldıktan sonra düşünülmelidir. Kullanılacak uygun sağlamlaştırıcının seçilebilmesi için, malzemenin içine bulunduğu mevcut koşullar, malzemenin performans gereksinimleri, malzemedeki hasar tipi ve büyüklüğü araştırılmalıdır (BS, 2000; ASTM, 2008). Koruma işlemlerinin gerçekçi bir değerlendirmesi için, ister sağlamlaştırıcı prosedürünün parametreleri, isterse altlığın kendisi olsun, gözlemlenen etkilerden neyin sorumlu olduğunu anlamak için dikkatli olmak gereklidir. Farklı gözeneklilik ve özelliklere sahip altlıklar farklı sonuç gösterecektir. Bu nedenle karşılaştırma yapılmadan önce altlığın iyi karakterize edilmesi ve sağlamlaştırıcının uygulanacağı malzemeye özel seçilmesi gerekmektedir. Aynı şekilde uygulama yöntemindeki bir değişiklik, sağlamlaştırıcının kimyasındaki bir değişiklik kadar olmasa da yine de önemli olabilir (Hansen ve diğ, 2003). Başarılı bir sağlamlaştırma süreci için altlık ile uyumlu sağlamlaştırıcı ve uygulama yöntemi seçilmelidir (Cnudde ve diğ, 2006). Yanlış sağlamlaştırıcı seçimi ve uygulanması, altlığın ömrünün kısalmasına neden olabilecektir. Sağlamlaştırıcıların her durumda kullanılması uygun olmayabilir hatta bazı koşullarda hiçbir şekilde kullanılmamaları gerekebilir. Başarılı bir sağlamlaştırma sürecinin elde edilebilmesi için her adımda kontrollü olmak, belirli adımları takip etmek faydalı olacaktır. Kil esaslı pişmiş tuğlanın sağlamlaştırılması için gereken adımlar, standartlar ve tuğla ve doğal taş ile ilgili kaynaklardan incelenerek oluşturulmuştur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1 : Sağlama adımları.

Sağlama Adımları	
Uygulama Öncesi	Ortam (ASTM, 2008).
	<p>Sağlama İşleminin Amacı (BS, 2000; ASTM, 2008)</p> <p>Tarihi Koruma Yönergeleri ve Yasal Kısıtlamalar (BS, 2000; ASTM, 2008)</p> <p>Altlık Özellikleri (sağlamatıcı uygulanmadan önce altlığın özellikleri) Malzemenin cinsi (taş, toprak, tuğla, harç) (ASTM, 2008)</p> <p>Geçmişte Uygulanan İşlemler (ASTM, 2008)</p> <p>Çevrenin Korunmasına İlişkin Hususlar (BS, 2000; ASTM, 2008)</p>
Uygulama Sırası	<p>Nüfuz Etme Derinliği (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Franzoni ve diğ, 2014)</p> <p>Sağlama Yeteneği (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008)</p> <p>Su Buharı Geçirgenliği (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Franzoni ve diğ, 2014)</p> <p>Isıl Genleşme Özellikleri (Termal Genleşme) (BS, 2000; ASTM, 2008; Doehne ve Price, 2011)</p> <p>Nem Genleşmesine Dayanım (Doehne ve Price, 2011)</p> <p>Görünümdeki Değişiklikler (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Doehne ve Price, 2011; Franzoni ve diğ, 2014)</p> <p>Toz çekme ve emme duyarı (ASTM, 2008)</p> <p>Dayanıklılık (Durabilite) (Öztürk, 1992; ASTM, 2008)</p> <p>Suya Dayanıklılık (ASTM, 2008)</p> <p>Biyolojik bozunmaya dayanım (BS, 2000; ASTM, 2008)</p> <p>Yeniden işlem uygulanmasına izin verme (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008)</p> <p>Altlık gözenekliliğine etkisi (Öztürk, 1992; ASTM, 2008)</p> <p>Altlık ile iyi kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluk (Öztürk, 1992; Franzoni ve diğ, 2014)</p> <p>Elastiklik Modülü (Doehne ve Price, 2011)</p> <p>Yapı üzerindeki etkisi (ASTM, 2008)</p>
	<p>Uygulama kolaylığı (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Doehne ve Price, 2011)</p> <p>Maliyet (BS, 2000; ASTM, 2008; Doehne ve Price, 2011)</p> <p>Yan Ürünler (BS, 2000; Doehne ve Price, 2011; Franzoni ve diğ, 2014)</p>
Uygulama Sonrası	Kür koşulları
	<p>Eskitme etkenleri</p> <p>Test alanlarında, işlem gören malzeme, işlem görmeyen malzemeye göre daha az bozulma ve bozunma göstermeli (ASTM, 2008)</p> <p>Uzun süre etkili olmalı, bakım onarım gerektirmemeli (BS, 2000; Doehne ve Price, 2011)</p>

Pişmiş kil esaslı tuğla malzemesinin sağlamlaştırılmasını üç ana adımda incelenmektedir:

1.Uygulama Öncesi

2.Uygulama Sırası

3.Uygulama Sonrası

3.1 Uygulama Öncesi

Bu aşama, öncelikle sağlamlaştırıcı uygulanacak malzemenin bulunduğu ortamın anlaşılmasını, sağlamlaştırma uygulanması için karar verme parametrelerinin belirlenmesini ve sağlamlaştırıcı uygulanacak yüzeyin hazırlanmasını içermektedir.

3.1.1 Ortam

Sağlamlaştırma kararı verilmeden önce sağlamlaştırıcı uygulanacak malzemenin bulunduğu ortam koşullarının iyice analiz edilmesi gerekmektedir. Örneğin yükselen nem veya uygun olmayan drenaj gibi hasar mekanizmaları araştırılmalı bu mekanizmaların ortadan kaldırılması önemsenmelidir. Tuğlada hasara neden olan sorunlar çözülmeyen tuğlaya sağlamlaştırma uygulanırsa, sonucunda başarılı bir sağlamlaştırma süreci yerine tuğlanın hasara uğraması hızlandırılabilir (ASTM, 2008).

3.1.2 Sağlamlaştırma işlemi için karar verme

Pişmiş kil esaslı tuğla malzemesine sağlamlaştırıcı uygulanmadan önce belirli ölçütlere bakılmalıdır. Öncelikle sağlamlaştırma işleminin amacı belirlenmelidir. Uygulamanın Tarihi Koruma Yönergeleri 'ne uygunluğu kontrol edilmelidir. Altlığın özellikleri, daha önce herhangi bir işlem görüp görmediği anlaşılmalıdır. Son olarak uygulanacak sağlamlaştırıcının çevreye zararlı olmamasına dikkat edilmelidir.

Sağlamlaştırma işleminin amacı

Tuğla malzeme için sağlamlaştırma uygulanacaksa amacı tanımlanmalıdır. Genel olarak tuğla malzemeye uygulanacak sağlamlaştırıcının amacı, kohezyonunu kaybetmiş tuğla yüzeyinin sağlam kısım ile bağlarını artırmak ve durabilitesini artırmaktır. Hava koşulları, mikro çatlaklar vb. gibi bozulma mekanizmaları tuğlanın yüzeyinde aşınmalara ve zayıflamalara neden olmaktadır (BS, 2000; ASTM, 2008).

Tarihi koruma yönergeleri

Mimari mirasa ait olan pişmiş kil esaslı tuğla malzemesine sağlamlaştırıcı uygulamaya karar verildiğinde, tarihi koruma yönergelerine uygunluğa dikkat edilmelidir. Koruma kurulları tarafından kabul edilen standartlar, tüzükler takip edilmelidir. Binanın özgün niteliğine zarar verilmemesi amaçlanmalıdır (ICOMOS, 1964; BS, 2000; ASTM, 2008).

Altlık özellikleri

Sağlamlaştırıcı uygulanacak malzemenin cinsi (taş, toprak, harç, tuğla) ve altlık özellikleri sağlamlaştırma için karar verme parametrelerini etkileyecektir. Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesine sağlamlaştırıcı uygulanmadan önce tuğlanın karakterizasyonu bölümünde açıklandığı gibi karakterizasyon testleri yapılmalı, fiziksel, kimyasal, mekanik ve petrografik özellikleri analiz edilmelidir. Tuğlada eğer varsa hasar tipleri, nedenleri analiz edilmeli, sağlamlaştırıcı ihtiyacı olup olmadığına bu şekilde karar verilmelidir (ASTM, 2008).

Geçmişte uygulanan işlemler

Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesine, geçmişte uygulanan işlemler varsa dikkatlice araştırılmalıdır. Aynı şekilde uygulanması düşünülen sağlamlaştırıcınının geçmişte benzer malzemeler üzerindeki etkinlikleri araştırılmalı, performansı dikkate alınmalıdır. Tuğla üzerine uygulanacak sağlamlaştırıcı etkinliği kanıtlanmış bile olsa, uygulama yönteminden ve ortam şartlarından ciddi ölçüde etkilenebileceği unutulmamalıdır.

Çevrenin korunmasına ilişkin hususlar

Sağlamlaştırıcı malzeme seçilirken mümkün olduğunca çevreye zarar vermeyen tehlikeli kirleticiler içermeyen ürünler tercih edilmelidir. Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB)'nde belirtildiği üzere havaya tehlikeli parçacık, uçucu organik bileşikler (VOC), sera gazları ve tehlikeli madde salımı yapmamalıdır (ASTM, 2008; Anonim, 2013). Yürürlükte olan tüm çevresel düzenlemeler, standartlar takip edilmeli, sağlamlaştırıcı uygulaması bu kurallara uygun olmalıdır (BS, 2000; ASTM, 2008).

3.2 Uygulama Sırası

Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesi-için en uygun sağlamlaştırıcının seçimine karar vermeden önce, sağlamlaştırıcı uygulanmış tuğlanın, maruz kalacağı çevre koşulları altında gerekli fiziksel özellikleri (başarım ölçütleri) karşılayıp karşılamadığının belirlenmesi gereklidir (ASTM, 2008).

Uygulama sırasında karşılanması beklenen parametreler iki ana başlık altında incelenebilir.

1. Sağlamlaştırıcı malzemenin altlık ile ilişkisi sonucundaki özellikler
2. Sağlamlaştırıcı malzemenin uygulama özellikleri

Aşağıda listelenen tüm özellikler her bir uygulama için geçerli değildir. Koruma uzmanının uygulanabilir olan ve ilgili malzemeye özel dikkate alınması gereken özellikleri seçmesi gerekmektedir (ASTM, 2008).

3.2.1 Sağlamlaştırıcı malzemenin altlık ile ilişkisi sonucundaki özellikler

Bu başlık altında sağlamlaştırıcı malzemenin uygulandığı altlık ile ilişkisi incelenmektedir.

Nüfuz etme derinliği: Sağlamlaştırıcılar ile ilgili geçmiş deneyimler, aşınmış altlığa nüfuz etme derinliklerinin, sağlamlaştırıcıların performansını belirleyen ana etkenlerden biri olduğunu göstermiştir (Clifton, 1980). Kil esaslı pişmiş tuğla malzemesine uygulanacak sağlamlaştırıcı malzemenin en azından aşınmış katmanlardan tuğlanın sağlam kısmına kadar kolayca nüfuz etmeli, tatmin edici bir penetrasyon derinliği sağlamalı ve kuruyunca orada kalmalıdır. Yani tuğlanın kohezyonunu kaybetmiş kısmını katılaştırarak, sağlam çekirdeğe bağlanacağı bir derinliğe ulaşmalıdır (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Franzoni ve diğ, 2014).

Geçmiş çalışmalardan penetrasyon derinliğinin büyüklüğü ile sağlamlaştırıcı işleminin başarısının doğru orantılı olduğu anlaşılmıştır (ASTM, 2008). Penetrasyon derinliğinin en az 25 mm olmasını önerilmektedir (Clifton, 1980). Pişmiş kil esaslı yapı tuğlası ile ilgili yapılan sağlamlaştırma çalışmalarında 10 mm'lik penetrasyon derinliği de tatmin edici bir sonuç olarak değerlendirilmiştir (Franzoni ve diğ, 2014). Diğer önemli parametre mineral taneleri arasında iyi bir kohezyon oluşması için sağlamlaştırıcının malzemeye eşit şekilde nüfuz etmesi gerekliliğidir. Yüzeysel olarak

nüfuz eden veya homojen dağılmayan sağlamaştırıcılar, altlığın yüzey katmanlarında, gözeneklerini doldurma eğilimde olacaktır, böylece geçirgenliği azaltacak ve işlenmiş katmanların arkasında nem ve tuz birikmesine neden olacaktır (Clifton, 1980).

Konsolidasyon malzemesinin penetrasyonunu etkileyen birçok faktör vardır. Bunlar viskozite, yüzey gerilimi, buharlaşma hızı gibi sağlamaştırıcı malzemenin kendisinden kaynaklanan özelliklerin yanı sıra, sağlamaştırıcının uygulandığı gözenekli malzemenin özellikleri ve pişme sıcaklığı ile de ilgilidir (Clifton, 1980). Uygulanacak sağlamaştırıcının düşük viskoziteli ve yüksek yüzey gerilimli olması penetrasyon miktarını artıracaktır (Öztürk, 1992).

Sağlamaştırma yeteneği: Bir sağlamaştırıcıdan beklenen, uygulandığı malzemenin basınç ve eğilmede çekme dayanımını, aşınma direnci ve erozyon direnci gibi mekanik özelliklerini geliştirmesidir (Clifton, 1980; Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008). Bunu da malzeme içerisindeki taneler arası bağları yeniden kurarak sağlayabilir. Yani malzemenin içinde yeni ve dayanıklı bir bağlayıcı madde biriktirmesi gerekmektedir (Öztürk, 1992). Fakat bunu yaparken yüzeyde sert bir kabuk oluşturmamalıdır. Doğal taşlarda sağlamaştırıcıların konsolidasyon değerinin kalitatif bir değerlendirmesini elde etmek için kullanılan yöntemler arasında, işlenmiş taşın çekme dayanımının, yüzey sertliğinin ve aşınma direncinin ölçülmesi vardır. İşlem görmüş taşın basınç dayanımının, işlem görmemiş taştan en az %10 daha fazla olması gerektiğini tavsiye edilmiştir. Bununla birlikte, yıpranmış taşın dayanımının, işlem görmemiş taştan önemli ölçüde daha fazla artırılması, tüm yapı sağlamaştırıcı ile muamele edilmedikçe, işlem görmemiş taşın bozulmasını hızlandırabilir (Clifton, 1980). Tuğlaların sağlamaştırılması söz konusu olduğunda da bu değerler göz önünde bulundurulmalıdır.

Su buharı geçirgenliği: Sağlamaştırıcı uygulandığı kil esaslı pişmiş toprak malzemesinin su buhar difüzyonunu azaltmamalı, mümkün olduğunda korumalıdır (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Franzoni ve diğ, 2014). İşlem sonrası malzemenin gözenekleri tamamen tıkanmamalı, kısmen azaltılmalıdır (Franzoni ve diğ, 2014). Aksi takdirde tuğla malzemesinin içindeki su buharı ve hava sirkülasyonunun azalması ile işlem görmüş tabaka arkasında tuğlanın bozulmasına neden olacak nem ve tuz birikmesi görülecektir (Öztürk, 1992).

Isıl genleşme özellikleri (termal genleşme): İşlem görmüş tuğlanın ısı genleşme katsayısı, işlem görmemiş tuğladan önemli ölçüde farklı olmamalıdır (BS, 2000; ASTM, 2008). Sağlamlaştırıcının ısı-boyut özellikleri orijinal tuğla ile benzer olmalıdır. Eğer işlem görmüş tuğla işlenmemiş tuğladan farklı termal genleşmeye sahip olursa bunun sonucunda, işlem görmüş ve görmemiş tuğla arasında çatlamalara neden olacak çekme gerilmeleri oluşabilir (Öztürk, 1992).

Nem genleşmesine dayanım: İşlem görmüş pişmiş kil esaslı tuğla malzemesi ile işlem görmemiş tuğlanın benzer nem genleşmesine sahip olması gerekmektedir (Doehne ve Price, 2011).

Görünümdeki değişiklikler: Sağlamlaştırıcı malzeme kil esaslı pişmiş tuğla malzemenin görünümünde (renk tonu, doku, parlaklık, yansıtıcılık vb.) mümkün olduğunca az değişiklik üretmelidir (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008). Yani sağlamlaştırıcı işlemi görünmez olmalıdır (Doehne ve Price, 2011). Ancak bu şekilde tatmin edici estetik sonuç alınması mümkün olacaktır (Franzoni ve diğ, 2014).

Literatürde bir sağlamlaştırıcının uygulandığı altlık üzerinde neden olduğu renk değişikliğinin kabul edilebilir ölçüsü ΔE^* (toplam renk değişikliği/total colour change) ≤ 5 'dir. Çünkü bu eşğin üzerindeki renk değişimi insan gözü tarafından algılanabilecek eşiktir (Grossi ve diğ, 2007; Miliani ve diğ, 2007). Farklı kaynaklarda insan gözü ile algılanabilen eşik $\Delta E^* \leq 3$ olarak da alınmıştır (Matteini ve diğ, 2011; Kapridaki ve Maravelaki-Kalaitzaki, 2013; Franzoni ve diğ, 2014; Luo ve diğ, 2015; Sassoni ve diğ, 2016).

Toz çekme ve emme duyarı: Sağlamlaştırıcı uygulanmış kil esaslı tuğla malzemesi, uygulanmamış tuğlaya göre havadaki partikülleri, gazları ve tozu çekmeye ve emmeye daha elverişli olmamalıdır (ASTM, 2008).

Dayanıklılık (durabilite): Sağlamlaştırıcı uygulanmış pişmiş kil esaslı tuğla malzemesi, dayanıklılık gibi gelişmiş özelliklerini uzun süre koruması beklenmektedir (ASTM, 2008). Bunun yanı sıra sağlamlaştırılmış kil esaslı pişmiş tuğlanın hasar görmemiş tuğla kadar dayanıklı olması beklenmektedir. Eğer sağlamlaştırılmış tuğla hasar görmemiş tuğladan daha dayanıklı değilse hasar görmüş tuğla yenisi ile değiştirilmelidir. Özgün görünüşünü koruması açısından da işlem görmüş tuğlanın aşınma oranı işlem görmemiş tuğla ile mümkün olduğunca aynı olmalıdır. İşlem görmüş tuğlanın dayanıklılığı, sağlamlaştırıcının dayanıklılığına, sağlamlaştırıcının

altlık ile uyumuna, işlem görmüş altlığın özelliklerine ve çevre gibi çeşitli etkenlere bağlıdır. Bu etkenler arasındaki karmaşık etkileşim, uygun hızlandırılmış dayanıklılık testlerinin geliştirilmesini zorlaştırır. ASTM E-632'de, sağlamlaştırıcılar için hızlandırılmış dayanıklılık testlerinin tasarımında ve geliştirilmesinde faydalı olabilecek bir metodoloji verilmiştir (Clifton, 1980; Öztürk, 1992; ASTM, 1996).

Kil esaslı tuğla malzemeye uygulanan sağlamlaştırıcı malzeme, tuğlanın tuz kristalleşmesi veya donma-çözülme etkileriyle hasara uğramasına karşı direncini artırmalıdır. Yani sağlamlaştırılmış tuğlanın, malzemenin iç kuvvetleri ile oluşabilecek genleşmeye karşı dayanımı yüksek olmalıdır (ASTM, 2008).

Diğer önemli nokta, pişmiş kil esaslı tuğlaya göre literatürün çok daha geniş olduğu doğal taş için bile, konsolidasyonun hasar kaynaklarının mevcudiyetindeki dayanıklılığı, performansına göre daha nadiren dikkate alınmaktadır. Çünkü değerlendirilmesi daha zordur ve sağlamlaştırıcının sadece altlığı hasara karşı korumasına değil, aynı zamanda sağlamlaştırıcı ürünün direncine de bağlıdır (Sassoni ve diğ, 2013; Sassoni ve diğ, 2016).

Malzemelerin hasara karşı duyarlılığı, mekanik dayanımlarından taşıma özelliklerine ve mikro yapılarına kadar çok sayıda parametreye bağlıdır (Miliani ve diğ, 2007; Sassoni ve Franzoni, 2014a; Sassoni ve diğ, 2016). Hasar görmüş tuğlaya bir sağlamlaştırıcı uygulandığında, bu parametrelerden bir veya birkaçını değiştirdiğinde, malzemenin bozulmaya ve bozunmaya karşı duyarını artırabilir (Hewat, 1996).

Suya dayanıklılık: Kil esaslı pişmiş tuğla malzemeye uygulanan sağlamlaştırıcı, malzemenin su ile çözünmesine ve su erozyonuna karşı direncini artırmalıdır. Hatta mümkünse işlem görmüş malzeme, erozyona karşı işlem görmemiş malzemedenden daha dayanıklı olmalıdır (ASTM, 2008).

Biyolojik bozunmaya dayanım: Sağlamlaştırıcı malzeme, bakterilerin, bitkilerin, mikroflora türlerinin büyümesini sağlayacak besinleri sağlamamalıdır (BS, 2000; ASTM, 2008).

Yeniden işlem uygulanmasına izin verme: Sağlamlaştırıcı malzemenin tersine çevrilebilirliği koruma uzmanlarınca pratikten daha ziyade teorik olarak değerlendirilen bir durumdur (Öztürk, 1992). Kil esaslı pişmiş tuğla malzemeye bir sağlamlaştırıcı uygulandığında bunun geri dönülemez bir süreç olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle ilerleyen zamanlarda yeniden işlem yapılmasına (ya aynı

ya da farklı bir sağlamlaştırıcı kullanılarak) izin veren sağlamlaştırıcıların tercih edilmesi büyük önem taşımaktadır (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008).

Altlık gözenekliliğine etkisi: Hasar görmüş tuğlalar genellikle, hasar görmemiş olanlara göre daha yüksek gözeneklilik ile karakterize edilmektedir. Bu nedenle, malzemenin orijinal özelliklerini bir şekilde eski haline getirmek için sağlamlaştırıcı işlemine bağlı olarak bir miktar boşluk hacmi azalması olumlu olarak kabul edilebilir. Bununla birlikte, dış ortama maruz kaldığında (özellikle yükselen nemin varlığında) ayrılmaya meyilli çok kompakt bir sağlamlaştırılmış katman oluşmaması için bu azalmanın orta düzeyde olması gerekmektedir. Mevcut standartlar tarafından bir eşik sabitlenmemiş olmasına rağmen, çalışmalarda boşluk hacminin azalması için uygun oran yaklaşık % 23-29 olarak kabul edilmektedir (Franzoni ve diğ, 2014).

Sağlamlaştırıcı uygulaması ile tuğlanın gözenek boyutu dağılımındaki değişiklikler, sağlamlaştırıcının tuğla üzerindeki başarısı ile doğrudan ilişkilidir. Tuğla gözenek boyutu dağılımındaki değişim, sağlamlaştırıcı uygulaması ile farklı çaplardaki gözeneklerin seçici olarak dolması sonucunda olabilir. Bu değişikliklerin çevresel etkilere karşı dayanıklılık üzerindeki etkileri, tuğlanın özelliklerine, ilk gözenek yapısına ve ortama göre değişebilmektedir. Sağlamlaştırıcı uygulaması eğer gözeneklilikte önemli bir azalmaya neden olursa, suyun malzeme içerisinde hapsolmesine ve sonuç olarak donma/çözülme gerilmelerinden zarar görmesine neden olacaktır (ASTM, 2008). İnce gözeneklerin artması malzemeyi donma çözülme döngülerinin yanı sıra tuz hasarına karşı da savunmasız hale getirecektir (Öztürk, 1992). Ve tuğlanın kılcallık ile su emme oranı artacaktır. Büyük gözeneklerde azalma gerçekleşir ise, tuğlanın su buharı geçişi engellenecektir (Cultrone ve Madkour, 2013).

Altlık ile kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluk: Sağlamlaştırıcı malzeme uygulanacak altlık malzemesi ile iyi bir kimyasal-fiziksel-mekanik uyum sağlamalıdır (Franzoni ve diğ, 2014). Altlık ile, çözünür tuzlar gibi yan ürünler oluşturabilecek zararlı kimyasal veya fiziksel etkileşimlerde bulunmamalıdır. Altlığın mikro yapısını, özellikle inorganik sağlamlaştırıcının çökmesi gibi nedenlerle oluşabilecek kristal büyüme yoluyla bozmamalıdır. Kristal büyümesi tuğlada mikro ve makro çatlaklar oluşturabilecek iç gerilmelere neden olabilir (Öztürk, 1992).

Elastiklik modülü: Sağlamlaştırıcı uygulanmış kil esaslı tuğla malzeme ile uygulanmamış tuğla aynı ya da benzer elastiklik modülüne sahip olmalıdır (Doehne ve Price, 2011).

Yapı üzerindeki etkisi: Sağlamlaştırıcı uygulandığı kil esaslı tuğla malzemedan oluşan yapıya, herhangi bir olumsuz etki oluşturmamalıdır. Sağlamlaştırıcının yapı üzerinde olumsuz etkisi yerinde yapılan testler sonucunda anlaşılabilir (ASTM, 2008).

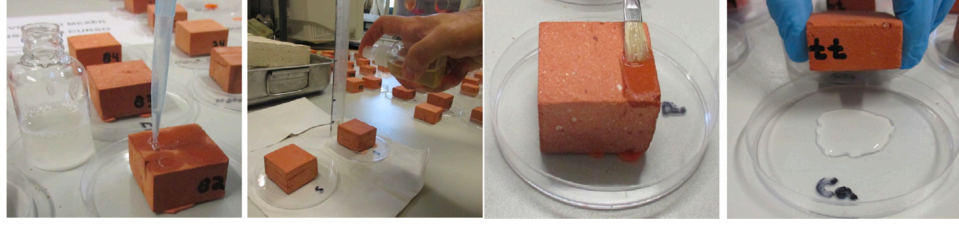
3.2.2 Uygulama özellikleri

Sağlamlaştırıcı malzemenin uygulama aşaması, son aşamada istenilen sonucun elde edilebilmesi için önemli bir parametredir. Uygulanacak malzemenin uygulama kolaylığı, maliyeti ve doğru yöntemin seçilmesi ve uygulanırken çevreye ve insanlara zararlı olmaması uygulama sırasında dikkat edilmesi gereken özelliklerdir.

Uygulama yöntemi: Sağlamlaştırıcının, şartlara göre (şantiye ortamında bulunulması vb.) uygulanması kolay olmalıdır. Kil esaslı pişmiş tuğla malzeme için sağlamlaştırıcı seçilirken, önerilen uygulama yönteminin uygulanabilirliği, sağlamlaştırıcıyı uygulayacak kişilerin becerisi, sağlamlaştırıcı uygulanacak alanın büyüklüğü dikkate alınmalıdır (ASTM, 2008).

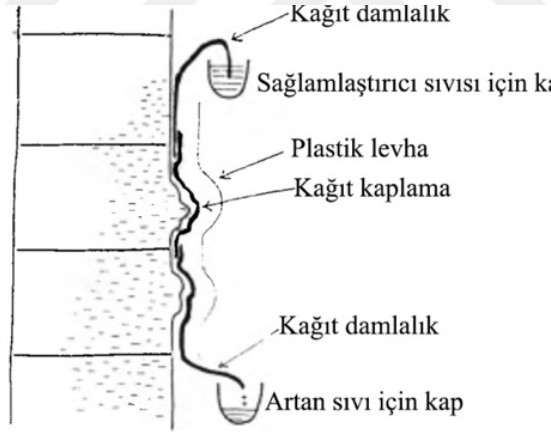
Sağlamlaştırıcı için kullanılan uygulama metodu, iyi bir sağlamlaştırma işlemi sonucu almak için oldukça önemlidir (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Bir malzeme için laboratuvara getirip, uygun şartlarda, izole deney ortamında, uygun bir çözeltiye daldırılarak veya kılcal emme yöntemi ile yeterli, tatmin edici ve homojen penetrasyon elde etmek nispeten kolaydır (Torraca, 2005; Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Fakat şantiye ortamında bir malzemeye aynı izole edilmiş çevreyi oluşturmak veya daldırma yöntemini kullanmak mümkün değildir. Bu nedenle tarihi yapılara sağlamlaştırıcı uygulanırken farklı yöntemler geliştirilmiştir.

Püskürtme, fırçalama, malzeme yüzeyinin daldırılması, kılcal yükselmeyle emdirilme, basınçlı sızma sağlamlaştırıcı malzemelerin uygulama yöntemleri olarak sıralanabilir (Şekil 3.1) (ASTM, 2008). Deneylerde damlatma, yöntemi de kullanılmaktadır (García-González ve diğ, 2020).



Şekil 3.1 : Tuğlaya sağlamlaştırıcı uygulama metodları, sırası ile damlatma, püskürtme, fırçalama ve kılcal yükselme ile emdirme (Pereira ve diğ, 2021).

Bu yöntemlere ek olarak kâğıt kaplama tekniği (Şekil 3.2) ve vakum tekniği de sağlamlaştırıcı uygulama yöntemi olarak önerilmiştir. Kâğıt kaplama tekniği kâğıt levhaların hafif bir yapıştırıcı ile altlık üzerine yapıştırıldığı, kâğıt yüzeyin sürekli sağlamlaştırıcı sıvı ile ıslak tutulduğu bir tekniktir. Amaç yüzeyin birkaç saat boyunca (bazı durumlarda birkaç güne kadar) sürekli ıslak tutularak, sağlamlaştırıcının derine nüfuz etmesi için gereken sürede buharlaşmasını önlemektir. Vakum yönteminde ise altlık yüzeyine plastik (veya kauçuk) bir levha sarılarak ve levhadan geçen bir valf vasıtasıyla vakum uygulanarak (altlık yüzeyi çok büyük olsa dahi) malzemenin emdirilmesidir. Daha derine penetrasyonu mümkün kılar (Torraca, 2005).



Şekil 3.2 : Kâğıt kaplama tekniği (Torraca, 2005).

Koruma pratiğinde sahada tercih edilen sağlamlaştırıcı uygulama yöntemi genellikle fırçalama tekniğidir. Beş fırça darbesi koruma geleneğine daha yakinken, on fırça darbesi, ticari birleştiricilerin çeşitli teknik veri sayfalarında önerilen (ancak tuğla gibi yüksek oranda gözenekli malzemeler için aşağıdakilere karşılık gelebilir) ideal 'görünür reddetme' hedefine daha yakındır. 30 veya daha fazla fırça darbesinin, sahada uygulanması imkansızdır. Fırça darbelerinin sayısının sadece konsolidasyonun penetrasyon derinliği üzerinde değil, aynı zamanda dağılımı ve tuğla gözeneklerinde birikmesi üzerinde de etkisi olması beklenmektedir (Graziani ve diğ, 2016).

Maliyet: Kullanılacak sağlamlaştırıcı malzemenin hem malzeme hem uygulama işçiliği açısından ekonomik olması gerekmektedir (Öztürk, 1992; BS, 2000; ASTM, 2008; Doehne ve Price, 2011).

Yan ürünler: Bir sağlamlaştırma malzemesi taşıma veya uygulama sırasında sağlık ve güvenlik için tehlike oluşturmamalıdır. Eğer sağlamlaştırma malzemesi uçucu, yanıcı, zehirli ise uygulayacak kişilere uygun koruyucu giysi, gözlük, solunum maskeleri verilmeli, gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Sağlamlaştırıcı uygulaması deneyimli uygulayıcılar tarafından yapılmalıdır (Öztürk, 1992).

“Çevrenin Korunmasına İlişkin Hususlar” kısmında da anlatıldığı gibi sağlamlaştırıcı zararlı bir yan ürün bulundurmamalı, çevre dostu olmalıdır (BS, 2000; Doehne ve Price, 2011; Franzoni ve diğ, 2014).

3.3 Uygulama Sonrası

Sağlamlaştırıcı malzemenin uygulanması ile süreç tamamen tamamlanmış demek değildir. Uygulama sonrası halen dikkat edilmesi gereken parametreler söz konusudur.

3.3.1 Kür koşulları

Sağlamlaştırıcılardan istenilen başarının alınabilmesi için, uygun sağlamlaştırıcı seçimi ve yönteminin yanı sıra, sağlamlaştırıcı uygulaması sırasında ve sonrasında kür koşullarının da uygun ayarlanması önem taşımaktadır. Örneğin uygulama ortamındaki bağıl nem, sıcaklık, seçilen sağlamlaştırıcı ve uygulama türü için uygun aralıklarda olmalıdır (Ersen, 2013).

Kür koşulları ile ilgili gerekli bilgiler sağlamlaştırıcı kimyasalı üreten firmaların teknik şartnamelerinden veya sağlamlaştırıcı ile ilgili daha önce uygulanmış çalışmalardan alınabilir.

3.3.2 Eskitme etkenleri

İşlem gören malzeme, işlem görmeyen malzemeye göre daha az bozulma ve bozunma göstermelidir. Sağlamlaştırıcı malzemeye uygulandıktan sonra uzun süre etkili olması beklenmektedir. Bakım onarım gerektirmemelidir (BS, 2000; ASTM, 2008; Doehne ve Price, 2011).

3.4 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Sağlamaştırılmasında Kullanılan Malzemeler

Bu bölümde pişmiş kil esaslı tuğlanın sağlamaştırılması için kullanılan sağlamaştırıcılar incelenmektedir. Geçmişte tarihi yapılarda sağlamaştırma uygulamalarından bahsedilirken, zarar gören parçalar sıklıkla değiştirilir veya zaman zaman taşların içindeki suyun zarar verici etkilerini önceleme için yağlar ve reçineler kullanılırdır (Snethlage, 2014). 20.yüzyılın başlarında tarihi mirasın eskimesini önlemek için kimya şirketleri tarafından sağlamaştırıcılar ve su iticiler üretilmeye başlanmıştır (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018).

3.4.1 Sağlamaştırıcı malzemelerin sınıflandırılması

Sağlamaştırıcı malzemeler üzerine yapılan araştırmalara bakıldığında, çalışmaların genel olarak doğal taş üzerine yoğunlaştığı görülmektedir (Ribeiro, 2016). Doğal taş malzemesi üzerine uygulanan sağlamaştırıcı malzemeler için farklı kaynaklarda farklı sınıflandırmalar yapılmıştır. Geleneksel sağlamaştırıcı malzemelerin sınıflandırılması Şekil 3.3’de verilmiştir (Clifton, 1980; Öztürk, 1992; Winkler, 1994; Hansen ve diğ, 2003).

KAYNAK	SAĞLAMLAŞTIRICILAR			
(Clifton, 1980)	İnorganik Mazemeler	Silisli Sağlamaştırıcılar	Alkali Silikatlar, Silikofloritler	
		Alkali Toprak Hidroksitler	Kalsiyum hidroksit, Stronsiyum ve Baryum Hidroksitler	
		Diğer İnorganik Sağlamaştırıcılar		
	Alkoksilanlar			
	Sentetik Organik Polimer Sistemleri	Akrilik Polimerler		
		Akrilik Kopolimerler		
		Vinil Polimerler		
		Epoksiler		
		Diğer Sentetik Organik Polimerler		
	Reçineler			
(Öztürk, 1992)	İnorganik Mazemeler	Silikalı Sağlamaştırıcılar	Alkali silikatlar, Florosilikon bileşikleri	
		Alkali Toprak Hidroksitler	Kalsiyum hidroksit, Baryum hidroksit	
	Alkoksilanlar			
	Sentetik Organik Polimerler	Akrilik Polimerler		
		Akrilik Kopolimerler		
		Epoksiler		
	Reçineler			
(Doehe ve Price, 2011)	Kireç Katkılı Uygulamalar, Baryum Hidroksit, Organik Polimerler, Alkoksilanlar, Akrilikler, Emülsiyonlar			
(Winkler, 1994)	Kireç Suyu, Kireç Yıkama Ve Barita Suyu, Ketten Tohumu Yağı, Fluosilikatlar, Sodyum Silikat, Silica Sols, Akrilatlar, Polyester Ve Alkid Reçineleri, Epoksi Resin, Silikat Esterler, Alkil-Trietoksilan			

Şekil 3.3 : Farklı kaynaklarda geleneksel sağlamaştırıcıların sınıflandırılması.

Tuğlanın korunması ile ilgili çalışmalara baktığımızda bazı durumlarda sağlamaştırıcının tek uygulandığını, bazı durumlarda sağlamaştırıcı ile yüzey koruyucuların (genellikle su iticiler) birlikte kullanıldığı görülmektedir. Eğer tuğlada kohezyon kaybı yok ise su iticilerin yalnız başına uygulandığı durumlar da mevcuttur. Bu tezin kapsamında sağlamaştırıcılar olduğu için bu bölümde sağlamaştırma uygulamaları incelenmektedir. Eğer sağlamaştırma çalışmaları ile birlikte su iticiler de incelendiyse bu bölüme dahil edilmiştir.

Bu tez çalışmasında yukarıdaki sınıflandırmalardan, tuğla üzerinde gerçekleştirilen çalışmalardan yola çıkılarak ve güncel sağlamaştırıcı malzemelerin de eklenmesi ile oluşturulmuş Şekil 3.4 'deki sınıflandırma takip edilmiştir. Tuğla üzerine uygulanmış reçine sağlamaştırıcı çalışması olmadığı için sınıflandırmaya dahil edilmemiştir.

İnorganik Sağlamaştırıcılar
Alkoksisilanlar
Sentetik Organik Polimerler
Nano Sağlamaştırıcılar
Biyo Sağlamaştırıcılar

Şekil 3.4 : Kil esaslı pişmiş tuğlanın sağlamaştırılmasında kullanılan sağlamaştırıcılar.

3.4.2 İnorganik sağlamaştırıcılar

İnorganik sağlamaştırıcılar 19.yy.'da yoğun olarak kullanılmakla birlikte, günümüzde hala zaman zaman taş sağlamaştırıcısı olarak tercih edilmektedir (Clifton, 1980; Öztürk, 1992). Kireç suyu (doymuş, Ca (OH)₂ çözeltisi) ve barita (Ba (OH)₂ çözeltisi), 19 yüzyılda yoğun kullanılan inorganik sağlamaştırıcılardandır. Fakat derin penetrasyon elde edilememesi nedeni ile organik sağlamaştırıcılara göre pek tercih edilmemişlerdir. Taş üzerinde kireç suyu ile sağlamaştırma çalışmaları İngiltere'de hala kullanılmakta olan bir tekniktir (Ersen, 2013).

2002 ve 2022 yılları arasında yapılan sağlamaştırıcı uygulamaları ile ilgili araştırmalar incelendiğinde Çizelge 3.2'de görüldüğü gibi inorganik sağlamaştırıcı araştırmalarının ağırlıklı olarak doğal taş üzerine olduğu görülmektedir. Pişmiş kil esaslı tuğlanın inorganik sağlamaştırıcı ile sağlamaştırılması üzerine yalnızca bir çalışma bulunmaktadır.

Çizelge 3.2 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanmış inorganik sağlamaştırıcı çalışmaları.

Kaynak	Kullanılan Sağlamaştırıcı	Altlık
(Hansen ve diğ., 2003)	İnorganik Sağlamaştırıcı- kalsiyum hidroksit	Doğal Taş
(Matteini ve diğ., 2011)	İnorganik Sağlamaştırıcı- amonyum fosfat, amonyum oksalat, kalsiyum oksalat, kalsiyum fosfat	Doğal Taş
(Sassoni ve diğ., 2011)	İnorganik Sağlamaştırıcı- hidroksiapatit	Doğal taş
(Daehne ve Herm, 2013)	İnorganik Sağlamaştırıcı -kalsiyum hidroksit	Doğal taş
(Sassoni ve diğ., 2013)	Hidroksiapatit, Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Sassoni ve Franzoni, 2014b)	İnorganik Sağlamaştırıcı- hidroksiapatit	Doğal taş
(Yang ve diğ., 2014)	İnorganik Sağlamaştırıcı- hidroksiapatit	Doğal taş
(Franzoni, Sassoni, ve diğ., 2015)	İnorganik Sağlamaştırıcı- hidroksiapatit	Doğal Taş
(Graziani ve diğ., 2015)	İnorganik Sağlamaştırıcı- Fosfat	Doğal Taş
(Sassoni ve diğ., 2015)	Hidrojen fosfat (DAP), Etil silikat (TEOS), Amonyum oksalat	Doğal taş
(Ion ve diğ., 2015)	İnorganik Sağlamaştırıcı- Caoxite- hidroksiapatit	Doğal Taş
(Naidu ve diğ., 2015)	İnorganik Sağlamaştırıcı- Hidroksiapatit (HAP)	Doğal Taş
(Possenti ve diğ., 2016)	İnorganik Sağlamaştırıcı -Diamonyum hidrojen fosfat (DAP; (NH ₄) ₂ HPO ₄)	Doğal Taş
(Sassoni ve diğ., 2016)	İnorganik Sağlamaştırıcı _ hidroksiapatit Amonyum fosfat Alkoksisilan _Tetraethylortosilicate TEOS	Doğal Taş
(Chen ve diğ., 2016)	İnorganik Sağlamaştırıcı - Potasyum Silikat	Doğal Taş
(Delgado Rodrigues ve Ferreira Pinto, 2016)	İnorganik Sağlamaştırıcı-Baryum Hidroksit	Doğal Taş
(Barriuso ve diğ., 2017)	İnorganik Sağlamaştırıcı _ Diamonyum fosfat (DAP)	Doğal Taş
(Ma ve diğ., 2017)	İnorganik Sağlamaştırıcı- hidroksiapatit	Doğal Taş
(Molina ve diğ., 2017)	İnorganik Sağlamaştırıcı- Kalsiyum fosfat	Doğal Taş
(Xu ve Li, 2017)	Hidroksiapatitin (HA): Diamonyum hidrojen fosfat (DAP) ve setiltrimetilamonyum bromür (CTAB) karışımı	Doğal Taş
(Possenti, Colombo, Conti, Gigli, ve diğ., 2019)	İnorganik Sağlamaştırıcı _ Diamonyum hidrojen fosfat (DAP)	Doğal Taş
(Kroftová ve diğ., 2019)	İnorganik Sağlamaştırıcı – Kalsiyum hidroksit	Doğal Taş
(Possenti, Colombo, Conti, Marinoni, ve diğ., 2019)	İnorganik Sağlamaştırıcı-Fosfat	Doğal Taş
(Shekofteh ve diğ., 2019a)	İnorganik Sağlamaştırıcı + Nanomalzeme -nano kireç ve dibazik amonyum fosfat	Doğal taş
(Shekofteh ve diğ., 2019b)	Nano kireç ve dibazik amonyum fosfat	Doğal taş
(Muru ve Fort, 2020)	İnorganik Sağlamaştırıcı _ Diamonyum hidrojen fosfat (DAP)	Doğal taş
(Sassoni ve diğ., 2021)	Fosfat	Doğal taş
(Possenti ve diğ., 2022)	İnorganik Sağlamaştırıcı - Diamonyum hidrojen fosfat (DAP)	Doğal taş
(Sena da Fonseca, Ferreira Pinto, Rodrigues, Rucha, ve diğ., 2022)	Alkoksisilan (Etil Silikat), İnorganik _DAP, Modifiye alkoksisilan (Tetraetoksisilan (TEOS)+polietilen glikol içeren bazlı solüsyon), Nanoparçacıklı alkoksisilan (TEOS+HAP), Nanoparçacıklı alkoksisilan (TEOS+ SiO ₂)	
(Navarro-Moreno ve diğ., 2021)	Nano kireç, etil silikat ve sodyum silikat	Tuğla

Kireç suyu ve baritanın (baryum hidroksit) yanı sıra çözünür cam ve su camı gibi malzemeler de inorganik sağlamaştırıcılara örnek olarak gösterilebilir. İnorganik malzemelerin sağlamaştırıcı olarak kullanılması, sulu çözeltilerden bozulmuş taşın gözeneklerinde bozunmaya dirençli bir faz üretme çabasıdır. Taş parçacıklarını birbirine bağlayacak çökeltme, çözücünün buharlaşması veya taşla kimyasal reaksiyonlardan kaynaklanabilir (Öztürk, 1992). Kumtaşını sağlamaştırmak için son ürün olarak silika biriktiren sağlamaştırıcılar kullanılması gerekirken, kireçtaşı ve mermer gibi kalkerli taşlar, kalsiyum veya baryum karbonat oluşumuyla sonuçlanan

sağlamlaştırıcılar tercih edilmelidir. Fakat pratikte sağlamlaştırıcılar ve altlık arasındaki kimyasal uyuma çok az ilgi gösterilmektedir (Clifton, 1980).

İnorganik sağlamlaştırıcılar dört ana başlıkta incelenebilir. Bunlar: Alkali silikatlar, florosilikon bileşikleri, alkalın toprak hidroksitleri ve diğer inorganik sağlamlaştırıcılardır. Hepsinin ortak özelliği, karbonatlaşmanın sonucunda sodyum karbonat ve potasyum karbonat gibi suda çözünür tuzları oluşturmalarıdır. Geçirimsiz yüzey tabakası oluşmasına neden olurlar. Alkalın silikatlar yüksek viskoziteleri de yetersiz penetrasyondan sorumludur. Florosilikon bileşikleri bu dezavantajlara ek olarak taşın rengini büyük oranda değiştirir. Alkalın toprak hidroksitleri arasında olan kalsiyum hidroksit ile işlemin, kireç harçları şeklinde birbirine kenetlenen kalsiyum karbonat kristallerinin birikmesine yol açacağı umuduna rağmen, mevcut kanıtlar, çok az sağlamlaştırıcı etkiye sahip olabilen amorf bir formda biriktiğini göstermektedir. Diğer alkalın toprak hidroksitlerinden baryum hidroksitin $[Ba(OH)_2]$ uzun vadeli konsolidasyon etkisi yoktur ve sert yüzey oluşturur (Clifton, 1980; Öztürk, 1992; Doehne ve Price, 2011).

Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanmış inorganik sağlamlaştırıcı çalışmaları

Bu bölümde kil esaslı yapı tuğlaları üzerinde gerçekleştirilmiş inorganik sağlamlaştırıcı çalışmaları incelenmiş ve özetlenmiştir. Çalışmaların özeti Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan inorganik sağlamlaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamlaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Navarro-Moreno ve diğ., 2021)	XII-XIII. yüzyıla ait, geleneksel yöntemle üretilmiş tarihi tuğlalar	sodyum silikat	püskürtme yöntemi ile (1.3 bar basınçlı hava fırçası ile 7 cm uzaklıktan)	Toplam renk farkı: Sodyum silikat ile işlem gören numunelerde= $\Delta E^*=11.24$ Aşınma direnci: İşlem görmemiş numunelerde yüzey soyulma değeri= 272 mg/cm^2 Etil silikat ile işlem gören numunelerde yüzey soyulma değeri= 27 mg/cm^2 Sertlik deneyleri: İşlem görmemiş numuneler ile karşılaştırıldığında sağlamlaştırıcıların güçlendirme etkisini çok net bir şekilde yansıtmamıştır. İşlem görmemiş numunelerde= 62.60 Shore-A Sodyum silikat ile işlem görmüş numunelerde= 65.10 Shore-A Su emme: Sodyum silikat, numunelerin su emme özellikleri üzerinde herhangi bir önemli etkiye neden olmamıştır. <ul style="list-style-type: none">• Çatlak oluşumu, parlama, pullanma, kopma, beyaz patina (çiçeklenme) oluşumu gözlenmiştir.

Tuğlaların inorganik sağlamaştırıcılar ile sağlamaştırılması hakkında, sodyum silikat ile ilgili bir çalışma bulunmuştur. Sodyum silikat, tuğlalar üzerinde sağlamaştırıcı olarak kullanıldığında, malzemenin yüzeyindeki soyulmayı azaltmıştır. Fakat tuğlada çatlak oluşumu, pullanma, yüksek renk değişimi, tuğla yüzeyinde beyaz noktalar, çiçeklenme görülmüştür (Navarro-Moreno ve diğ, 2021). Tuğlaların inorganik sağlamaştırıcılar ile sağlamaştırılması hakkında az sayıda çalışma olduğu için diğer parametreler hakkında veri alınamamıştır. Fakat eldeki veriler ile tuğlanın sağlamaştırılması için uygun olmadıkları söylenebilir.

3.4.3 Alkoksisilanlar

Alkoksisilanlar taş sağlamaştırmasındaki başarılarından dolayı büyük ilgi çekmektedirler. Pişmiş kil esaslı tuğla malzeme üzerinde de en çok çalışması yapılan sağlamaştırıcı malzemeler alkoksisilanlardır. Fakat alkoksisilan ile ilgili 2002-2022 arasında yapılan sağlamaştırıcı çalışmalarına bakıldığında, çoğunluk olarak doğal taş üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür (Çizelge 3.4).

Tetraetiloksilatın veya etil silikatın taş sağlamaştırıcısı olarak kullanılması ilk olarak A.W. Hoffman tarafından 1861 yılında önerilmiştir. 1924'te endüstriyel bir kimyasal olarak üreilmeye başlanmıştır ve 1965'te taş sağlamaştırıcı olarak kullanılması için A.P. Laurie tarafından patenti alınmıştır. 1960'larda Almanya'da geniş çaplı laboratuvar araştırmalarından ve alan testlerinden alınan olumlu sonuçlardan sonra Almanya'da taş sağlamaştırmada en çok kullanılan sağlamaştırıcı olmuştur. 1972'den sonra batı Avrupa, Amerika ve İngiltere'de de Etil-silikat ve organo-silikon hidrofobik maddelerle olan kombinasyonlarının kullanılması yaygınlaşmıştır (Öztürk, 1992).

Etil silikat ve daha sonra geliştirilen silanlar ve silan-siloksanlar, son yıllarda en çok tercih edilen ve olumlu sonuçlar alınan organik sağlamaştırıcılardır (Ersen, 2013). Alkoksisilanlar, su ile reaksiyona girerek silika veya bir alkilpolisiloksan oluşturan monomerik moleküllerin bir ailesidir. Polimerizasyonları bir hidroliz reaksiyonu ile başlatılır. Polimerizasyon, tüm alkoksi grupları serbest kalana ve bir alkilpolisiloksan veya silika üretilene kadar devam eder. Silika, bir silisik asit esterinin polimerizasyonu ile üretilir. Bir alkilpolisiloksan, diğer alkoksisilan türlerinin polimerizasyonu ile oluşturulur. Hidroliz hızını arttırmak için asidik bir katalizör, örneğin hidroklorik asit kullanılır (Clifton, 1980).

Çizelge 3.4 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan alkoksisisilan sağlamaştırıcı çalışmaları. Tuğla için 1994 yılındaki çalışma istisna olarak dahil edilmiştir.

Kaynak	Kullanılan Sağlamaştırıcı	Altlık
Zárraga ve diğ (2002)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Wheeler ve diğ, 2003)	Alkoksisisilan- Zr-alkoksitler	Doğal taş
(Moropoulou ve diğ, 2003)	Alkoksisisilan-silikanın koloidal dispersiyonu	Doğal taş
(Maravelaki-Kalaitzaki ve diğ, 2008)	Alkoksisisilanlar- Tetraetilsilikat, Tetraetilsilikat ve silan, Oligomerik siloksan, Koloidal silika	Doğal Taş
(Salazar-Hernández ve diğ, 2009)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Zárraga ve diğ, 2010)	Alkoksisisilan- TEOS+PDMS-OH hibrid	Doğal taş
(Ferreira Pinto ve Delgado Rodrigues, 2012)	Etil Silikat Sağlamaştırıcı, Akrilik Sağlamaştırıcı, Epoksi Reçinesi Sağlamaştırıcı, Organo silikon	Doğal taş
(Slavíková ve diğ, 2012)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Liu ve diğ, 2013)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Sassoni ve diğ, 2013)	Hidroksiapatit, Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Pérez ve diğ, 2014)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Ludovico-Marques ve Chastre, 2014)	Alkoksisisilan-Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Tesser ve diğ, 2014)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Franzoni, Graziani, Sassoni, ve diğ, 2015)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Sassoni ve diğ, 2015)	Hidrojen fosfat (DAP), Etil silikat (TEOS), amonyum oksalat	Doğal taş
(Franzoni, Graziani, veSassoni, 2015)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Graziani ve diğ, 2015)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Sassoni ve diğ, 2016)	Inorganik Sağlamaştırıcı _ hidroksiapatit Amonyum fosfat Alkoksisisilan_ Tetraethylortosilicate TEOS	Doğal Taş
(Ruffolo ve diğ, 2017)	Nano Malzeme_ Alkolde nano kireç suda bir nanosilika süspansiyonu	Doğal taş
(Zornoza-Indart ve diğ, 2016)	Aloksisisilan_ beyaz ispiirtoda dağılmış etil silikat.	Doğal taş
(Zornoza-Indart ve diğ, 2017)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Columbu ve diğ, 2017)	Nano Malzemeler_ SiO ₂ ve Ca(OH) ₂ nano parçacıkları Alkoksisisilan_ etil silikat	Doğal Taş
(Buosi ve diğ, 2019)	Sentetik Organik Polimer_ akrilik reçine	Doğal taş
(Ban ve diğ, 2019)	Etil silikat sağlamaştırıcılar ve koruyucu nano moleküler silan monomer su itici	Doğal taş
(Sena da Fonseca ve diğ, 2019)	Alkoksisisilan, alkali silikat	Doğal taş
(Ruffolo ve diğ, 2020)	Alkoksisisilanlar-TEOS, alkil-trialkoksisisilan	Doğal Taş
(Sassoni ve diğ, 2020)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Sena da Fonseca ve diğ, 2020)	Silika, etil silikat ve bir akrilik mikroemülsiyonun reaktif nanoparçacıklarının bir süspansiyonu.	Doğal taş
(Gemelli ve diğ, 2021)	Nano kireç, nano silika, amonyum fosfat	Doğal taş
(Pötl ve diğ, 2021)	Alkoksisisilan bazlı sollar	Doğal Taş
(Rodrigues ve diğ, 2021)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş
(Salazar-Hernández ve diğ, 2022)	Alkoksisisilan- SiO ₂ nanoparçacıkları (SiO ₂ NP'ler) içeren alkoksisisilan bazlı sağlamaştırıcı	Doğal taş
(Sena da Fonseca, Ferreira Pinto, Rodrigues, Rucha, ve diğ, 2022)	Alkoksisisilan-Silisik asit esteri	Doğal taş
(Barnos ve diğ, 2022)	Alkoksisisilan-TEOS	Doğal taş
(Sena da Fonseca, Ferreira Pinto, Rodrigues, Piçarra, ve diğ, 2022)	Alkoksisisilan	Doğal taş
	Alkoksisisilan (Etil Silikat), İnorganik_DAP, Modifiye alkoksisisilan (Tetraetoksisisilan (TEOS)+polietilen glikol içeren bazlı solüsyon), Nanoparçacıklı alkoksisisilan (TEOS+HAP), Nanoparçacıklı alkoksisisilan (TEOS+ SiO ₂)	Doğal taş
	TEOS, Nano kireç, TEOS + MTMOS karışımı, TEOS + Nanokireç karışımı	Doğal taş
	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Doğal taş

Çizelge 3.4 (devam) : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan alkoksisisilan sağlamaştırıcı çalışmaları. Tuğla için 1994 yılındaki çalışma istisna olarak dahil edilmiştir.

Kaynak	Kullanılan Sağlamaştırıcı	Altlık
(Fassina, 1994)	Alkoksisisilan etil-silikat ve poli-metil-fenil siloksan karışımı, Etil silikat, poli-metil-siloksan, etil silikat ve alkil-alkoksi-silan karışımı	Tuğla
(Cultrone ve diğ, 2003)	Rurewall Coat 20/sağlamaştırıcı/silisik ester Paraloïd B72/ sağlamaştırıcı/etilmetakrilat kopolimeri Tegosivin HL100/Su itici/oligomer siloxane etoksi-functional Estel 1100/Sağlamaştırıcı+ su itici/Silisik asit ve oligomerik polisiloksanların etil esteri	Tuğla
(Sánchez de Rojas ve diğ, 2004)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Cultrone ve Madkour, 2013)	Alkoksisisilan- Tegovakon V Sentetik organik polimer-Paraloïd B72 Silo 111-Su itici	Tuğla
(Franzoni ve diğ, 2014)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Graziani ve diğ, 2016)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Martinez ve diğ, 2016)	Alkoksisisilan-Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Ribeiro, 2016)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Beringuilho, 2017)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018)	Alkoksisisilan- Etil silikat (TEOS)	Tuğla
(Navarro-Moreno ve diğ, 2021)	Nano kireç, Etil silikat (TEOS) ve sodyum silikat	Tuğla

Alkoksisisilanlar altlık bünyesinde biriktiğinde, polimerizasyon hidroliz ve yoğunlaşma olmak üzere iki adımda ilerler. Yani silanlar suyla hidrolize edilerek silanoller oluşturulur ve daha sonra bir yoğunlaştırma reaksiyonunda polimerize edilir. Bu işlemin sonunda güçlendirme etkisi sağlayan siloksan bağları (- Si- O- Si-) oluşur. Ancak nihai ürünün oluşumu çok basit değildir. Su atmosferden veya taşın kendisinden gelebilir veya kasıtlı bir içerik olarak eklenebilir. Karışımı karışabilir hale getirmek veya viskozitesini azaltmak için bir çözücü gerekebilir. Böylece reaksiyon hızları ve taşa nüfuz etme derinliği kontrol edilebilir. Yoğunlaşma reaksiyonu ve hidroliz reaksiyonu işlem taş tarafından absorbe edildikten sonra gerçekleşir ve elde edilen polimer taşa gereken gücü verir (Öztürk, 1992; Doehne ve Price, 2011; Ersen, 2013).

Silanlar uzun vadede dayanıklıdır ve sudan akışkan oldukları için altlık içerisinde derin penetrasyon sağlarlar. Ek olarak da polimerizasyonları derin penetrasyon sağlanana kadar ertelenmektedir. Bu nedenlerden dolayı sağlamaştırıcı kimyasal olarak yoğun ilgi görmektedirler. Metil gruplu alkoksisisilanlarda metil grubunun varlığı sağlamaştırma özelliği ile birlikte su iticilik özelliği de kazandırmaktadır (Clifton, 1980; Ersen, 2013).

Alkoksisisilanlar ile sağlamaştırıcı uygulamalarında başarı sağlanması için, gerekli ortam koşullarının ve uygulama yönteminin sağlanması gerekmektedir. Örnek olarak bağıl nemin %35- %50 arasında olması, hava sıcaklığının 15-20°C civarında olup aşırı sıcak ve soğuk olmaması gibi şartlar sağlanmalıdır (Ersen, 2013).

Termal, oksidatif ve fotokimyasal dahil olmak üzere yüksek kimyasal stabiliteye sahiptir. Silis ağının oluşumu sırasında üretilen kimyasal bileşikler, taş kalıntılara zarar vermez. Aşırı konsolidasyon nedeniyle yüzeyi sertleşmiş tabakalar neredeyse hiç oluşmaz. Uygulanması kolaydır. Çok çeşitli gözenekli malzemeleri sağlamlaştırılmasına kullanılabilmesi gibi özellikleri olumlu yönleridir (Xu ve diğ, 2019).

Diğer yandan maliyetleri yüksektir. Gözenekli malzemenin rengini koyulaştırma eğilimi olabilir ve hidroliz gerçekleşmeden yüzeyden buharlaşma olasılığı söz konusudur (Öztürk, 1992). Uygulandığı altlıkta çatlamalara neden olabilir (Xu ve diğ, 2019). Etil silikat ile sağlamlaştırma gözenekli altlığın, boşluklarındaki tuzları stabilize edememektedir. Bu nedenle polimer filmlerinin altında kristal büyümeleri gerçekleşerek polimer filmlerini patlatabilir (Ersen, 2013). Silikat sağlamlaştırıcılar geri döndürülemezlerdir ancak genellikle yeniden işlenebilir olarak kabul edilirler. Açık gözeneklilik tamamen kapatılmasa da silikatlı sağlamlaştırıcılar gözenek boyutu dağılımındaki önemli değişikliklerden sorumludur (Sassoni ve diğ, 2013).

Tuğlanın sağlamlaştırılması ile ilgili çalışmalar genellikle etil silikat ile ilgilidir. Çünkü pişmiş kil esaslı tuğlalar ve pişmiş toprak eserler, etil silikatın alt tabakaya kimyasal olarak bağlanmasına izin veren silikat fraksiyonları içermektedir. Bu nedenle tuğlanın etil silikat ile sağlamlaştırmaya uygun oldukları varsayılmaktadır (Graziani ve diğ, 2016). Hatta pişmiş tuğla için en iyi sağlamlaştırıcının silika ester esaslı ürünler olduğunu savunan araştırmacılar mevcuttur (Charola ve Rörig-Dalgaard, 2019).

Bununla birlikte, pişirilmiş kil elemanları üzerindeki davranışı ve performansı, çoğunlukla dayanıklılık söz konusu olduğunda, bilimsel literatürde sistematik olarak değerlendirilmemiştir. Bu durum, literatürde etil silikatın alt tabaka dayanıklılığı üzerindeki etkisi hakkında farklı veriler bulunduğu için önemlidir. İncelemedeki özel duruma bağlı olarak etil silikatın malzemelerin hasara karşı direncini artırdığı veya engellediği bulunmuştur (Graziani ve diğ, 2016). Bu nedenle etil silikatın hangi koşullarda ne sonuç verdiğine erişmek için sistematik bir inceleme yapılması gerekmektedir. Tuğla ile ilgili çalışmalarda genellikle elde edilen olumlu sonuçların yanı sıra, yağma yapıları etkileyen en yaygın bozulma ve bozunma etkenlerinin mevcudiyetinde etil silikat ile işlenmiş tuğlaların dayanıklılığı hakkında hala bazı sorular mevcuttur (Graziani ve diğ, 2016).

Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanmış alkoxisilan çalışmaları

Bu bölümde kil esaslı yapı tuğlaları üzerinde gerçekleştirilmiş alkoxisilan çalışmaları incelenmiş ve özetlenmiştir. Çalışmaların karşılaştırılması Çizelge 3.5' de verilmiştir.

Tuğla üzerinde yapılan alkoxisilan sağlamaştırıcı uygulamalarında en çok tercih edilen kimyasal etil silikat'dır. Etil silikat, tuğlalar içerisinde hızlı bir şekilde polimerizasyonunu tamamlamaktadır (Cultrone ve Madkour, 2013) ve gözenekler içerisinde çökelerek toplam gözenek hacminde ve açık gözeneklilikte önemli bir azalmaya neden olmaktadır. Açık gözeneklilikteki azalma etil silikatın konsantrasyonu ile doğru orantılıdır (Cultrone ve Madkour, 2013; Franzoni ve diğ, 2014; Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018)

Bazı çalışmaların sonucunda, etil silikat ince gözeneklerin (<1 µm) oranında önemli bir azalma gerçekleştirirken, büyük gözeneklerin oranını değıştirmediği gözlenmiştir (Franzoni ve diğ, 2014; Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Büyük gözeneklerin kapanmaması, tuğlanın buhar geçirgenliğinin önlenmediğı anlamına gelmektedir. İnce gözeneklerdeki azalma, tuğlaların su emme özelliklerini de olumlu yönde etkilemektedir (Franzoni ve diğ, 2014). Bunun yanı sıra etil silikat ile işlem gören tuğlaların buhar geçirgenliğini azalttığını söyleyen bir çalışma da mevcuttur (Beringuilho, 2017). Yapılan diğler çalışmalarda etil silikat uygulamasının tuğlanın büyük gözeneklerinde bir miktar azalmaya neden olurken, ince gözeneklerinde artışa neden olduğı görülmüştür (Cultrone ve Madkour, 2013; Graziani ve diğ, 2016). Mikro yapıda büyük değışiklik olmadığı sürece toplam açık gözeneklilikteki bir miktar düşüş olumlu olarak kabul edilmektedir fakat ince gözeneklerin artması tuğlayı hasarlara karşı daha savunmasız hale getirecektir. İnce gözeneklerin artmasının nedeni, etil silikatın, kılcal boşluklarda polimerleştüğünde çatlak oluşturmastır (Cultrone ve Madkour, 2013). Nitekim farklı bir çalışmada etil silikat ile işlem gören tuğlalarda, ince gözenek oranı azalmakla birlikte, gözenek içerisinde biriken silikanın, sertleşme sırasındaki büzülme ve kurumasından dolayı tuğlada hafif çatlakların meydana geldiğı görülmüştür (Franzoni ve diğ, 2014). Gözeneklilikteki düşüşün, tuğlanın türü veya pişme sıcaklığı ile doğrudan ilişkili olmadığı anlaşılmıştır. Genel olarak ürünün homojen olarak emilmesinde ve dağılmasında rol oynayan uygulama yöntemi ile ilgili olduğı düşünülmektedir (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Tuğlalarda gözenek oranı arttıkça, ürün emilimi ve sağlamaştırıcı verimliliğı daha yüksek olmuştur (Fassina, 1994).

Çizelge 3.5 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan alkoksisilan sağlamlaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamlaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Fassina,1993)	Tip 1: Düşük gözenekli, pembe, kompakt homojen Tip 2: Daha gözenekli, sarı-pembe Tip 3: Çok gözenekli, sarı-yeşil büyük boşluklu	Etil silikat ve poli-metil-fenil siloksan karışımı (Rhodorsil RC90+Rhodorsil 11309) Etil silikat (Rhodorsil RC70) Poli-metil-siloksan + etil silikat karışımı + alkil-alkoksi-silan (Rhodorsil RC80+Tegosivin HS) Alkil-alkoksi-silandır (Tegosivin HS).	Numunelerin her yüzeyine kılcal emme yöntemi ile uygulanmıştır. (Oda sıcaklığında bir ay kürlenmiştir.)	Ürün emilimi/ Koruma verimliliği: -Tip 2 tuğlaları düşük emilim göstermiş, “etil silikat + poli-metil-fenil siloksan karışımı ile yüksek koruma verimi, “poli-metil-siloksan + etil silikat + alkil-alkoksi-silan karışımı ile düşük koruma verimliliği göstermiştir. -Tip 1 tuğlaları Tip 2 tuğlalarından daha yüksek emilim göstermiştir. Rhodorsil RC90 (etil silikat) ve Rhodorsil RC70 (etil silikat) ile sadece iki işlem uygulanmıştır ve ilkinden daha yüksek performans alınmıştır. -Maksimum ürün emilimi ve maksimum koruma verimliliği, “etil silikat ve poli-metil-fenil siloksan karışımı” ve “poli-metil-siloksan + etil silikat karışımı + alkil-alkoksi-silan karışımı” ile işlem gören Tip 3 tuğlalarında gözlenmiştir. -Etil silikat (Rhodorsil RC70) ile işlem, yüksek miktarda sağlamlaştırıcı varlığında bile iyi bir su direncine izin vermemektedir ve koruma verimliliği sadece %30'dur. ● -Rhodorsil RC90+ Rhodorsil 11309: farklı tuğla türlerinde en iyi performansı göstermiştir.
(Cultrone ve diğ.,2003)	Geleneksel tuğla (Karbonat içermeyen kuvars açısından zengin kil ile) GC: %10 kalsit GD: %10 dolomit GS: %0.5 sodyum klörür	Sağlamlaştırıcılar: Rurewall Coat 20 (silisik ester), Su iticiler: Tegosivin HL100 (oligomer siloksan etoksi-fonksiyonel, alkoksi içeren oligosiloksan) Sağlamlaştırıcı+ su itici: Estel 1100 (Silisik asit ve oligomerik polisiloksanların etil esteri, Alkoksisilan)	Daldırma yöntemi (10 dk boyunca) (4 hafta boyunca sıcaklığın 10-25 °C ve bağıl nemin %50)	Ürün emilimi/Ağırlık artışı: Tegosivin (su itici) ile işlem gören numunelerde en düşük, Rurewall Coat 20 ve Estel 1100 ile işlem gören numunelerde yüksek emilim gerçekleşmiştir. Ağırlık artışı: Tegosivin HL100= GC: %2.5, GD: %2.84, GS: %2.68 ; Rurewall Coat 20= GC: %4.11, GD: %5.40, GS: %6.14; Estel 1100= GC: %6.03, GD: %6.02, GS: %7.05 Penetrasyon derinliği: Rurewall Coat 20 ve Estel 1100 ile işlem gören numunelerde yüksektir. Toplam renk farkı: İşlem gören numunelerde renk ve parlaklıkta önemli değişme görülmemiştir. Su emilimi: En düşük Tegosivin (su itici) ile işlem gören numunelerde gerçekleşmiştir. Estel 1100 ve Rurewall Coat 20 iyi sonuç vermemiştir. Rurewall Coat 20, su ile sürekli temas halinde bir kısım niteliklerini kaybetmiştir. Dayanım: En düşük malzeme kaybı Tegosivin ile işlem gören numunelerde gözlenmiştir. Estel 1100, Rurewall Coat 20 ve Paraloid B72'ye göre kısmen su itici olduğu için daha iyi sonuçlar vermiştir.
(M.I. Sánchez de Rojas ve diğ.,2004)	Tarihi tuğla, %25 ile %27 arasında değişen değerlerde gözeneklilik	Sağlamlaştırıcılar: Alkali silika jel, (Consistone F), Etil silikatlar (Stone consolidating agent, Wacker OH, Estel 1000, Tegovakon V) Su iticiler: Stone water-repellent (Dimetil polisiloksan + akrilik reçine + biyosit), Aquellux 2000 (Dimetil Polisiloksan), Sikaguard 70 (Siloksan), Silo 111 (Organosiloksanlar ve oligomerlerin karışımı), Tegosivin HL 100 (metiletoksi-polisiloksan)	Doğunluğa ulaşana kadar fırçalama (bir süre bekletilmiştir)	Toplam renk farkı: Numunelere uygulanan hiçbir ürün (su iticiler dahil) önemli bir renk farkı oluşturmamıştır. Gözeneklilik: Tegovakon V (etil silikat) veya Stone consolidating agent (etil silikat) ile işlem gören numunelerde, en kompakt numunelerde kontrollü gözeneklilik azalması gözlemlenmiştir. Su iticiler: Su iticiler, tüm ürünlerde eşit derecede etkili olmamıştır. Aquellux 2000 ve Sikaguard 70 ile işlenen numuneler, su ile temas ettirildiğinde tuğla ile minimum yüzey teması sağlayan mükemmel damlacıklar oluşmuştur. Silo 111 ve Tegosivin HL 100 'de benzer performansı göstermiş fakat uzun süre suya temas durumunda koruyucu özelliklerini kaybetmişlerdir. Sağlamlaştırıcı ve su itici maddelerin tamamen uyumlu olması gerektiği anlaşılmıştır. Test sonuçlarına göre hastane tuğlaları için önerilen ürünler, sağlamlaştırıcı için etil silikat (Stone consolidating agent), su itici için ise dimetil polisiloksan (Aquellux 2000)'tir.

Çizelge 3.5 (devam) : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan alkoksisilan sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Cultrone ve Madkour, 2013)	Seramik numuneler, %70 ince seramik kili ve %30 kuvars kumu karışımı ile elektrik fırınında 900 °C'de pişirilerek elde edilmiştir.	Sağlamaştırıcı : Tegovakon V (Etil silikat) Su iticiler: Silo 111	Kılcallık yöntemi	Penetrasyon derinliği: En yüksek penetrasyon derinliği Tegovakon V ile işlem gören numunelerde gözlenmiştir. Ultras ses hızındaki artış: İşlenmemiş numunelere göre, Tegovakon V ile işlenmiş numunelerde =%12,2, Silo 111 ile işlenmiş numunelerde = %3,32 artış gözlenmiştir. Su emme: İşlenmemiş numunelerde su emilimi % 14.08, Silo 111 ile işlenen numunelerde su emilimi=%3,15, Tegovakon V ile işlenen numunelerde su emilimi=%9,69'dur. Gözeneklilik: İşlenmemiş numunelerde gözeneklilik=%30,75, Tegovakon V ile işlem gören numunelerde gözeneklilik=% 27.07, Silo 111 ile işlem gören numunelerde gözeneklilik=%19.10 Tegovakon V, çapı 0.01 µm'den küçük olan gözeneklerin sayısında orta düzeyde bir artışa neden olan tek ürün olmuştur. Durabilite: Tegovakon V ile işlenen numunelerde kısmi çatlak ve ayrışma gözlenmiştir. Silo 111 ile işlenen numunelerde ise yalnızca hafif bir ağırlık kaybı gözlenmiş ve herhangi bir görünür değişiklik olmadan numuneler şeklini korumuştur. ● Toplam renk farkı: Silo 111'de renk farkı=0,67, Tegavon V ile renk farkı=6,06
(Franzoni ve diğ., 2014)	Geleneksel yöntemle üretilmiş, pişme sıcaklığı 1000°C, açık gözeneklilik ≈ %45; basınç dayanımı ≈14 N/mm ²	Etil silikat konsolidasyonu (ağırlıkça %75 Beyaz ispirotolu TEOS)	24 saat daldırma ve her yüzeye fırça ile uygulama (sağlamaştırıcı reddedilene kadar)	Ürün emilimi: Daldırma ile emilim fırçalama ile emilimden 0,211 ml/cm ² fazladır. Gözenek hacmi: Daldırma ile uygulamada daha yüksek olmak üzere iki uygulamada da azalma görülmüştür. Gözenek boyutu: 1 µm'den küçük gözeneklerin (özellikle daldırma) önemli ölçüde azaldığı görülmüştür. Ortalama gözenek yarıçapı: İşlenmemiş:0.24 um, fırçalama ile işlenmiş : 0.12 um, daldırma ile işlenmiş: 0.10 um Özgül boşluk hacmi: Yüzeyden ilk 0,5 cm'de fırçalama ile %23, daldırma ile %29 azalmıştır, gözenekler tamamen kapanmamıştır. Penetrasyon derinliği: Yaklaşık 10mm Basınç dayanımı: İşlem görmemiş =13.8 (±0.9) N/mm ² , fırçalama ile işlem görmüş=21.6 (±3.5) N/mm ² , daldırma ile işlem görmüş:22.7 (±5.1) N/mm ² Toplam renk farkı: Fırçalama ile ΔE=4.4, daldırma ile ΔE=10.2 (kabul edilen renk farkı=5) İşlenen yüzey üzerinde herhangi bir gözenek tıkanıklığına veya geçirimsiz film tabakasına neden olmamıştır. İşlem gören ve görmemiş kısım arasında mekanik uyum mevcuttur. Tuğlada hafif bir çatlamaya neden olmuştur.
(Graziani ve diğ., 2016)	Ticari pişmiş kil esaslı tuğlalar (RDB, İtalya)	Etil silikat (ağırlıkça %75 etil silikat ve %25 beyaz ispiroto)	Küp numuneleri n bir yüzeyine, silindir numuneleri n tüm yüzeyine fırçalama ile uygulama (5 fırça darbesi, 10 fırça darbesi)	Penetrasyon derinliği: 5 fırça darbesi=8 mm, 10 fırça darbesi=11 mm (iki değer de tatmin edici) Gözenek boyutu: her iki uygulamada da gözenek boyutu azalmıştır (daldırma yönteminde daha yüksek) İnce gözeneklerin yüzdesi her iki uygulamada da artmıştır. Ağırlık artışı: 5 fırça darbesi=0.027 (g/cm ²), 10 fırça darbesi=0.046 (g/cm ²) Gerilme direnci: İşlem görmemiş= 3,3 MPa, 5 fırça darbesi=4,3 MPa, 10 fırça darbesi=4,8 MPa Dinamik elastiklik modül: İşlem görmemiş= 4,3 GPa, 5 fırça darbesi=11,10 GPa, 10 fırça darbesi=16,87 GPa Mekanik özellik: Daha yüksek ürün emilimi nedeni ile 10 fırça darbesindeki iyileşme, 5 fırça darbesinden yüksektir. Tuzlu su absorpsiyon hızı her iki uygulamada da azalmıştır. Bünyelerindeki tuz miktarı işlenmemiş numunelere göre azalmıştır. Tuz kristalleşmesine dayanım: işlenmemiş tuğla=bozulma görülmemiştir, 5 fırça darbesi=bozulma görülmemiştir,10 fırça darbesi= açık gözeneklilikte artış (muhtemelen mikro çatlak oluşumu) Daha yüksek verim adına daha yüksek miktarda ürün uygulamasının daha düşük dayanım ile sonuçlanabileceği anlaşılmıştır.

Çizelge 3.5 (devam) : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan alkoksisilan sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Martinez ve diğ., 2016)	Katkısız, %10, %20 kaolin oranlarında, 800 oC, 900 oC ve 1000 oC olmak üzere farklı pişme sıcaklıklarında a pişirilmiş tuğlalar	Etil silikat (TEOS)	1 saat boyunca daldırma yöntemi ile, 4 hafta boyunca iklim odasında (environment al chamber) kürlenmiştir.	<p>Ürün emilimi: Kalsinasyon sıcaklığı arttıkça sağlamaştırıcı emilimi azalmış ve kaolin miktarı arttıkça artmıştır. Maksimum emilim L10-800 tuğlasında minimum emilim, L10-1000 tuğlasında gözlenmiştir.</p> <p>Yüzey sertliği: İşlem gören tüm numunelerde yüzey sertliği artmıştır. L10-800 ve L0-900 numunelerinde, sırasıyla %59.6 ve %51.5 ile yüzey sertliğinde en büyük artışları sağlamıştır.</p> <p>Mekanik özellik: İşlem gören tüm numunelerde mekanik özelliklerde iyileşme görülmüştür (L10-800'ün eğilme dayanımı hariç). Dayanım başlangıçtaki yüksek dayanıklılık (vitrifikasyon ile orantılı) ve sağlamaştırıcının katkısı ile alakalıdır. Sağlamaştırıcı emilimi arttıkça dayanım artmaktadır.</p> <p>Açık gözeneklilik: Tüm numunelerde azalmıştır. En büyük azalma=L10-800 (%7,3)-en yüksek sağlamaştırıcı emilimi-</p> <p>Elektrik direnci: İşlem gören tüm numunelerde artmıştır. L10-1000, elektrik direncinde (%45) en büyük artışları sergilerken ve L0-900 en düşük (%7) artışı sergilemiştir.</p> <p>Gözenek boyutu dağılımı: 1 ile 0.1 µm arasındaki gözeneklerde= en düşük azalma %8 ile L10-800, en büyük azalma %23 ile L10-1000.</p> <p>0,1 ile 0,01 µm arasındaki gözeneklerde= en düşük azalma %10 ile, L10-1000, en büyük azalma %28 ile L10-800 Küçük gözeneklerde (<0.01 µm) L10-1000 hariç tüm numunelerde mikro çatlak oluşumu nedeni ile artış gözlenmiştir.</p> <ul style="list-style-type: none"> Renk farkı: Genellikle renk farkı gözlenmemiştir. L0-900, L10-1000 numunelerinde renk değişimi=6,25 ile fazladır
(Ribeiro, 2016)	Eski bir duvardan alınan tuğla örnekleri	Etil silikat (TEOS)	Fırçalama yöntemi (5 dk., 10 dk, 15dk. ve 30 dk aralıklarla, uygunluğa ulaşana kadar	<p>Gözeneklilik: İşlem görmemiş tuğlalar=%21,1 (± 0,3), Etil silikat ile işlem görmüş tuğlalar=%17,9 (± 0,3) Oran olarak %9,66 azalma</p> <p>Maksimum su içeriği: İşlenmemiş tuğlada= %10,2 (± 0,2), işlem görmüş tuğlada = %8,4 (± 0,2)'dir. Oran olarak %11 azalma</p> <p>Ultrasonik hız: İşlem görmemiş numunelerde=2240 ile 2520 m/s, işlem görmüş numunelerde=2280 ile 2830 m/s Fırçalama ile uygulanan sağlamaştırıcı, numunenin tüm kalınlığına nüfuz etmiş ve numunelerin yüzeyinde birikme yapmamıştır.</p> <p>Mekanik özellikler: İşlem görmüş numunelerde, işlem görmemiş numunelere göre basınç değeri %7,14, eğilme direnci ise %6,25 oranında artış göstermiştir.</p> <p>Sağlamaştırıcı etkisi: Sağlamaştırıcı etkisi 2,5 cm' e ulaşmıştır.</p> <p>Kuruma indeksi: İşlem görmüş numunelerde %32,20 oranında artma meydana gelmiştir.</p>
(Beringui lho, 2017)	Gözeneklilikler i % 19,9 ile % 21,9 arasında değişen gözenekli tuğlalar	Etil silikat (TEOS)	Numunelerin tek yüzeyine, fırçalama metodu (13-16 uygulama) (uygulama araları 5dk,10 dh., 15dk., 20dk.) (HR = 56 ± 15% e T = 24 ± 4°C olan laboratuvar koşullarında 128 gün bekletilmiştir.	<p>Gözeneklilik: İşlem görmemiş tuğlaların gözeneklilik değeri=% 20,7 (±0,2)</p> <p>Etil silikat ile işlem görmüş tuğlaların gözeneklilik değeri=%18,7 (±0,3)</p> <p>Kılcal su emme: İşlem görmüş numunelerin kılcallık katsayısında yüksek bir azalma, kılcallık ile su emmesinde (kg / m²) bir miktar azalma meydana gelmiştir.</p> <p>Kuruma süresi: Konsolidasyon işlemi kuruma sürecini yavaşlatmıştır.</p> <p>Geçirgenlik katsayısı: P1 de daha yüksek olmak üzere hem P1'de hem P2 'de azalma meydana gelmiştir. Numunelerin nefes alma kapasitesinin azalmıştır.</p> <p>Toplam renk farkı: Konsolidasyon işlemi, ortalama olarak 5,91'lik bir toplam renk farkına (ΔE*) neden olmuştur, bu nedenle, insan gözüyle görülebilen renk değişikliklerinden (ΔE*>3) yüksektir. Sağlamaştırma işlemi orta düzeyde bir uyumsuzluk derecesi ortaya çıkarmıştır.</p>

Çizelge 3.5 (devam) : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan alkoksisilan sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Cultrone ve Ibanez, 2018)	Tuğla hamuruna ağırlıkça %30 halit ve ağırlıkça %10 diatomit çamuru eklenmiş ve hem katkı hem de katkısız tuğla hamurları 800, 950 ve 1100 ° C'de pişirilmiştir.	%25 oranında beyaz ispirotoda seyreltilmiş etil silikat, %50 oranında beyaz ispirotoda seyreltilmiş etil silikat	15 dk aralıklarla, fırça ile uygulama yapılmıştır	<p>Açık gözeneklilik: İşlenen tuğlaların hepsinde azalmıştır ve %50 konsantrasyonda bu azalma en yüksektir. Gözeneklilikteki düşüş, tuğlanın türü veya pişme sıcaklığı ile ilgili değildir (Fırçalama tekniğinde). Kalsine diatomit katkılu tuğlada gözenek hacmi %50'lik ürün uygulandığında düşmüştür, böylece tüm işlenmiş tuğlalarda daha düşük gözeneklilik görülmüştür. Küçük gözeneklerin sayısı önemli ölçüde düşmüştür.</p> <p>Gerçek ve görünen yoğunluklar: Uygulanan konsolidasyon ürününün oranından etkilenmemiştir ve bu değerlerde genel olarak hafif bir artış gözlenmiştir.</p> <p>Gözenek boyutu eğrileri, yaklaşık olarak maksimum 1 µm yarıçap ile tek modlu bir dağılım göstermeye devam etmektedir.</p> <p>Toplam renk farkı: Genel olarak, renk farkının (ΔE) 5'ten küçüktür. %50 etil silikat ile işlem gören numunelerde ΔE, %25 etil silikat ile işlem gören numunelerinkinden daha düşüktür.</p> <p>Durabilite: Daha derine nüfuz edebildiği için en iyi dayanıklılık sonuçları %25 konsantrasyonlu etil silikattan alınmıştır. %50 etil silikat derine nüfuz edememiş, zengin silikalı fakat tuz döngüleri sonrası dökülen ve dayanımsız bir yüzey tabakası oluşturmuştur.</p>
(Navarro-Morena ve diğ., 2021)	Geleneksel yöntemle üretilmiştir.	Etil silikat	Püskürtme yöntemi ile (1.3 bar basınca ayarlı bir hava fırçası 7 cm uzaklıktan)	<p>Toplam renk farkı: Etil silikat ile işlem gören numunelerde $\Delta E^*=2.24$</p> <p>Aşınma direnci: İşlem görmemiş numunelerde yüzey soyulma değeri=272 mg/cm² Etil silikat ile işlem gören numunelerde yüzey soyulma değeri=38 mg/cm²</p> <p>Sertlik deneyleri: İşlem görmemiş numuneler ile karşılaştırıldığında sağlamaştırıcıların güçlendirme etkisini çok net bir şekilde yansıtmamıştır. İşlem görmemiş numunelerde=62.60 Shore-A Etil silikat ile işlem görmüş numunelerde=65.70 Shore-A</p> <p>Su emme: Etil silikat, nano kireç, sodyum silikat veya işlem görmemiş numuneler ile karşılaştırıldığında numunelerin su emme miktarını azalttığı görülmüştür.</p>

Etil silikatın (Rhodorsil RC70) işlendiği tuğlaya, düşük ürün emilimi, düşük koruma verimliliği ve düşük su direnci kazandırdığı bir çalışma mevcuttur. Etil silikat, (Rhodorsil RC90) kullanıldığında, Rhodorsil RC70'e göre daha yüksek verimlilik elde edilmiştir. Alkil-alkoksi-silan (Tegosivin HS) ile işlem gören tuğlalar, etil silikata göre daha yüksek verimliliğe sahipken, tuğlalar üzerinde en yüksek verim farklı alkoksisilanların karışımı olan "etil silikat ve poli-metil-fenil siloksan karışımı olan Rhodorsil RC90+Rhodorsil 11309" ile elde edilmiştir. Yani sağlamaştırıcı malzemelerin verimliliği artırmak için farklı kimyasalları bir arada kullanmak uygun bir çözüm olmaktadır (Fassina, 1994). Ve sağlamaştırılması için karar alınmış her tuğla ve uygulanması düşünülen her sağlamaştırıcı malzeme, yerinde koruma kararı verilmeden önce mutlaka laboratuvar deneylerine tabi tutulmalı ve uygunluğu kontrol edilmelidir.

Etil silikat ile işlem gören tuğlalarda, ürün altlığa yeterli miktarda nüfuz edebildiyse, sert kabuk, geçirimsiz yüzey veya film oluşumu görülmemiştir (Franzoni ve diğ, 2014; Ribeiro, 2016). Fakat, %50 etil silikat ile işlem gören tuğlada, ürün yeterli miktarda derine nüfuz edemediği için tuğlanın sağlamlaştırılmış kısmı tuz döngülerine dayanımı düşük, dökülmeye uğrayan bir yüzey tabakasına dönüşmüştür (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Tuğla içerisine nüfuz etmesi (penetrasyon derinliği), uygulama yöntemine ve ürün yoğunluğuna ve altlığın gözenekliliğine bağlı olarak değişmiştir. Etil silikat ile yapılan çalışmalarda genel olarak tatmin edici bir sonuç alınmıştır (Cultrone ve Madkour, 2013; Franzoni ve diğ, 2014).

Mevcut sonuçlar, etil silikatın penetrasyon derinliği, mikro yapısal özellikler, mekanik özellikler ve estetik sonuç açısından pişmiş kil tuğla muamelesinde etkili olduğunu göstermektedir. Etil silikat ile işlem gören tuğlaların basınç dayanımında da önemli bir artış meydana gelmiştir. İşlem görmüş ve işlem görmemiş yüzeyler arasında, basınç dayanımı analizi sırasında ayrılma olmaması da sağlamlaştırılmış kısım ile orijinal kısım arasında uyum olduğu kanıtlamıştır (Franzoni ve diğ, 2014).

Etil silikatının tuğla üzerindeki sağlamlaştırıcı etkisinin ve dayanıklılığın uygulama yöntemine bağlı olduğu anlaşılmıştır. Çünkü uygulama yöntemi ürün emilimini etkilemektedir (Franzoni ve diğ, 2014; Graziani ve diğ, 2016). Aynı şekilde penetrasyon derinliği de uygulama yöntemi ile ilişkilidir. Mesela 10 fırça darbesi ile işlem gören numunelerde ürün emilimi 5 darbe ile işlem gören numunelere göre 1.5 kat yüksek iken, penetrasyon derinliği de 5 darbe ile işlem gören numunelere göre daha yüksektir. Ama iki değer de tatmin edici olarak kabul edilmektedir. Ürün emilimi ve penetrasyonu arttıkça malzemenin basınç dayanımı ve çekme dayanımı da artmaktadır. Özellikle çekme dayanımında bu artış daha belirgindir. Uygulanan ürün miktarına özellikle dikkat edilmelidir, çünkü daha yüksek ürün absorpsiyonu, genel olarak daha iyi etkinliğe yol açmasına rağmen, daha yüksek mikro yapısal değişikliklere neden olabilir ve malzemelerin dayanıklılığını engelleyebilir (Graziani ve diğ, 2016). Daldırma ile yapılan uygulamada fırçalama ile yapılan uygulamaya göre daha yüksek basınç dayanımı, su emme özelliklerindeki daha yüksek iyileşme, ince gözeneklerde daha fazla azalma görülmesine rağmen, tuğlalardaki renk değişikliği kabul edilemez bir oranda gerçekleşmiştir. Bu nedenle fırçalama ile tuğlalarda yeterli basınç dayanımı, su emme vb. özellikler elde edilebildiği ve istenilen estetik sonuca varıldığı için etil silikat sağlamlaştırıcılar için fırçalama uygulamasının daldırma

uygulanmasına göre daha uygun olduğu söylenebilir (Franzoni ve diğ, 2014). Şantiye ortamında fırçalama yönteminin daldırma yöntemine göre uygulanması daha kolay olduğu için bu durum olumlu olarak kabul edilebilir.

Etil silikat ile işlem gören tuğlaların, dayanımının ölçülmesi için tuz kristalizasyonu deneyi uygulandığında, dayanım için penetrasyon derinliğinin kilit rol oynadığı görülmüştür (Graziani ve diğ, 2016). Tuğlanın dayanım değerleri artmakla birlikte, etil silikat ile işlem gören tuğlalarda tuz kristalizasyonu deneyi sonucunda kısmi çatlak ve ayrışma meydana gelmiştir (Cultrone ve Madkour, 2013). Fakat sağlamlaştırılmış tuğlalar, tuza dayanım testlerinde bozulma göstermelerine rağmen işlenmemiş tuğlalara göre daha dayanıklıdır (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018). Şimdiye kadar elde edilen olumlu sonuçların yanı sıra, yığılma yapıları etkileyen en yaygın hasar kaynaklarının mevcudiyetinde etil silikat ile işlenmiş tuğlaların dayanıklılığı ile ilgili bazı açık sorular hala mevcuttur. Yine farklı fırça darbe sayısı ile işlem gören numunelerde, tuza dayanım analizleri yapıldığında, işlem görmemiş tuğlaların ve 5 fırça darbesi ile işlem gören tuğlaların etkilenmediği ama 10 fırça darbesi ile uygulama yapılan tuğlalarda numunelerin açık gözenekliliğinde artış yaşandığı görülmüştür. Daha yüksek verim için daha yüksek miktarda ürün uygulanması tuğlaların dayanımını azaltabilmektedir (Graziani ve diğ, 2016). Farklı konsantrasyondaki sağlamlaştırıcı ürünlerin karşılaştırıldığında da konsantrasyon oranı azaldıkça ürünün penetrasyon derinliği arttığı için dayanımının arttığı görülmüştür. Yani konsantrasyon yüksek olursa dayanım da yüksek olur gibi bir bağıntı yoktur. Hatta yüksek konsantrasyonlu ürünün (%50) uygulanması sonucunda, ürün derine nüfuz edemediği için, tuğlanın yüzeyine yakın, silika bakımından zengin ancak tuz döngülerinden sonra dökülme yaşayan bir yüzey tabakası oluşmuştur (Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018).

Etil silikat ile işlem gören numunelerde genellikle renk değişikliği, insan gözü ile fark edilen sınır değerinden düşük olmaktadır. Fakat, uygulama yöntemine bağlı olarak fazla sağlamlaştırıcı emilmesi durumunda renk farkı kabul edilemez değerlere ulaşabilmektedir. Nitekim kılcallık ile uygulanan etil silikatın tuğlada gözle görülen eşikten daha çok renk değiştirdiği görülmüştür. Sağlamlaştırıcının konsantrasyonu ile tuğladaki renk değişimi arasında da doğrusal bir bağıntı bulunmamıştır. Daha çok seyreltilmiş etil silikatta renk değişimi genel olarak daha az seyreltilmiş etil silikata göre düşük çıkmıştır. Etil silikatın sağlamlaştırıcı etkinliği altlığa göre değişmektedir (Cultrone ve Madkour, 2013; Cultrone ve Sánchez-Ibáñez, 2018).

Sağlamlaştırıcı ile birlikte yapılan su itici çalışmalarında, su iticilerin tuğlanın yüzeyindeki su emme oranını oldukça düşürdüğü için, tuğlanın tuz döngülerine dayanımını artırdığı görülmüştür. Fakat numunelerin mekanik özelliklerinde önemli bir değişikliğe neden olmamışlardır (Cultrone ve diğ, 2003; Cultrone ve Madkour, 2013). Tuğla numunenin yüzeyinde oldukça düşük renk değişimi gerçekleştirilmiştir (Cultrone ve Madkour, 2013). Su iticiler numunelerin su emme oranını azaltmakla birlikte, kuruma sürelerini artırmışlardır (Cultrone ve diğ, 2003). Çalışmalarda sağlamlaştırıcılar ile birlikte kullanılma durumları incelenmemiştir. Bu nedenle aynı anda kullanılmaları durumu değerlendirilememiştir.

3.4.4 Sentetik organik polimerler

Sentetik organik polimerler taşın içine nüfuz edebilir ve taşı sağlamlaştırarak sert, dayanıklı bir faz oluşturabilir. Taşa iki şekilde uygulanmaktadır. Basit prosedür, polimer reçinenin organik bir çözücü içinde çözülerek taşa uygulanması ve çözücünün buharlaşması ile polimerin taşa kalması yöntemidir. Bu yöntemin problemi birçok solventin çözülmüş reçineyi taşın yüzeyine çekme eğilimidir. Diğer uygulama prosedürü, saf haldeki veya bir çözücü içerisinde çözülmüş monomerlerin, gözeneklerinde polimerize edilmesi yöntemidir. Monomerler molekül boyutları küçük olduğu için daha derin penetrasyona elverişlidirler (Sleater, 1973).

Sentetik reçineler termoplastik ve termoset reçineler olmak üzere iki ana gruba ayrılabilir. Yapıları temelde farklı olsa da her ikisi de sağlamlaştırma için kullanılmıştır. Termoplastikler, doğrusal sentetik polimerlerdir ve ısıtıldıklarında öncelikle yumuşarlar, sonra eriyerek viskoz bir sıvıya dönüşürler ve özelliklerinde bir değişiklik olmadan yeniden biçimlendirilebilirler. İki boyutlu doğrusal zincirler oluşturmak için zayıf moleküler kuvvetlerle birbirine bağlanan monomerik birimlerden oluşur. Prensipine tersine döndürülebilirler ve uygun çözücüler ile çözülmeleri mümkündür. Ancak büyük moleküllüdürler ve bu nedenle küçük gözeneklere kolayca nüfuz edemezler ve yüzeye yakın birikme yapma eğilimindedirler. En yaygın kullanılan termoplastik sentetik organik polimerler akrilatlar, polietilen, naylon ve polivinil asetatdır. Termoset reçineler, termoplastiklerin aksine geri döndürülemezdir. Isı uygulamasıyla kalıcı bir şekle dönüşürler ve bir kez oluşturulduktan sonra yeniden eritilip biçimlendirilemezler. Çünkü monomerik birimleri, üç boyutlu bir ağ oluşturmak için, güçlü kimyasal bağlarla birbirine

bağlanmaktadır. Termosetler, termoplastiklere göre daha sert ve güçlüdürler. Ancak aynı zamanda daha kırılgandırlar. En çok kullanılan örnekleri epoksiler, polyesterler ve poliüretanlardır (Clifton, 1980; Öztürk, 1992; Torracca, 2009).

Sentetik organik sağlamlaştırıcılar, uygulandıkları taşın mekanik özelliklerini iyileştirirler, çözünebilir tuzların taşa girmesini önlerler. Fakat oksijen ve ışık varlığında yavaş yavaş bozulurlar (Sleater, 1973; Torracca, 2005).

Akrilik polimerler, akrilik kopolimerleri, epoksiler olmak üzere üç ana başlıkla incelenebilir. Akrilik polimerlerden derin penetrasyon ve tam polimerizasyon elde edilirse, etkili bir sağlamlaştırma beklenebilir. Bununla birlikte, penetrasyon derinlikleri düşüktür. Değerlendirilen maksimum penetrasyon derinliği yaklaşık 5 mm'dir. Bu nedenle kaba gözenekli malzemeler için uygun olabilirler. Akrilik reçineler, oksidasyona ve UV radyasyona karşı daha iyi dirence sahiptir. İnorganik malzemelerle karşılaştırıldığında önemli bir avantaj gösterirler. Uygun polimerik sağlamlaştırıcı seçilmesi durumunda su itici olmaları sayesinde altlığı sudan koruma konusunda da faydalı olabilirler. Böylece aynı anda iki sonuç elde edilir (Clifton, 1980; Öztürk, 1992; Vicini ve diğ., 2005; Snethlage, 2014).

Akrilik kopolimerler tek bir monomer çeşidinden ziyade farklı monomerlerin kombinasyonu oldukları için elde edilen polimerin özelliklerinin altlığa uyması için değiştirilme imkanını da beraberinde getirir. Sağlamlaştırıcının penetrasyonu ve emilme oranı çözünen özelliklerine ve miktarına bağlıdır. Eğer çok fazla çözücü kullanılırsa, buharlaşma ile akrilik kopolimer altlığın yüzeyine geri çekilecek ve sert bir kabuk oluşturacaktır. Eğer çok az ve uygun olmayan çözücü kullanılırsa akrilik kopolimer taşın derinliklerine nüfuz etmeyecektir (Clifton, 1980; Öztürk, 1992). Sağlamlaştırma çalışmalarında en yaygın kullanılan akrilik kopolimeri Paraloid B72 dir. Paraloid B72, parçalanmış taş yüzeylerin, seramik ve metalik arkeolojik buluntuların, duvar resimlerinin ve daha birçok objenin sağlamlaştırılmasında kullanılır (Snethlage, 2014).

En çok kullanılan epoksi reçineleri epiklorohidrin ve bisfenol A.'dır. Epoksi reçineler, taşa iyi yapışır, suya ve kimyasallara dayanıklıdır ve doğru uygulandığında taşın mekanik özelliklerini artırır. Fakat, düşük penetrasyon derinliği, güneş ışığına maruz kaldıklarında yaşlanma, renk değiştirme, tebeşirlenme eğilimleri gösterirler ve altlık yüzeyinde beyaz tozlu bir yüzey oluştururlar. Geri dönüştürülemez bir

sağlamlaştırıcıdır ve sertleştikten sonra sıradan çözücüler ile çözünmezler. Ayrıca epoksiler altlığın gözeneklerini tamamen doldurma eğilimindedir ve bunun sonucunda malzemedeki hava ve su buharı geçişi engellenir. Ek olarak epoksinin diferansiyel termal genişemesinin neden olduğu gerilimler sonunda taş zarar görecektir (Clifton, 1980; Selwitz, 1990; Öztürk, 1992; Snethlage, 2014). Epoksi sağlamlaştırıcılarda, solvent seçimi, uygulama araçları ve uygulama sonrası prosedürler, başarılı bir sonuç için hayati öneme sahiptir (Doehne ve Price, 2011).

Pişmiş kil esaslı tuğlanın inorganik sağlamlaştırıcılar ile sağlamlaştırılması çalışmalarında kullanılan malzeme, Paraloid B72'dir. 2002-2022 arasında yapılan sağlamlaştırıcı çalışmalarına bakıldığında, çalışmaların çoğunluğu doğal taş sağlamlaştırılması ile ilgili olduğu görülmüştür (Çizelge 3.6).

Çizelge 3.6 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan sentetik organik polimer sağlamlaştırıcı çalışmaları.

Kaynak	Kullanılan Sağlamlaştırıcı	Altlık
(Vicini ve diğ., 2001)	Etilmetakrilat ve metilakrilat	Doğal taş
(Moropoulou ve diğ., 2003)	Silikanın kolloidal dispersiyonu, amorf silika ile önceden hidrolize edilmiş etil silikat, etanol içinde etil silikat ve organik çözücüler içinde akril-silikat reçinesidir.	Doğal taş
(Vicini ve diğ., 2005)	Polimer HDDA, Kopolimer HDDA/TFEMA	Doğal taş
(Favaro ve diğ., 2006)	Akrilik reçine_Paraloid B72 (etilmetakrilatemetilakrilat kopolimer) ve Paraloid B67 (i-butilmetakrilat homopolimer)	Doğal taş
(Cappitelli ve diğ., 2007)	Silikon tabanlı ürün Dri-Film 104	Doğal taş
(Favaro ve diğ., 2006)	Poli-laurilmetakrilat ve poli-izobutilmetakrilat	Doğal taş
(Khallaf ve diğ., 2011)	Akrilik silikon karışımı_Bologna Kokteyl_Akriliksilikon karışımı_Paraloid B72 (B72) (etil metakrila-teemetil akrilat kopolimer)	Doğal taş
(Ferreira Pinto ve Delgado Rodrigues, 2012)	Akrilik polimer_ metilakrilat-etilmetakrilat (MA/EMA),	Doğal taş
(Essa ve Khallaf, 2016)	Etil Silikat Sağlamlaştırıcı Akrilik Sağlamlaştırıcı, Epoksi Reçinesi	Doğal Taş
(Zornoza-Indart ve diğ., 2017)	Polimer	Doğal taş
(Al-Dosari ve diğ., 2017)	Nano Malzemeler_ SiO ₂ ve Ca(OH) ₂ nano parçacıkları, Alkoksilan_ etil silikat, Sentetik Organik Polimer_ akrilik reçine	Doğal Taş
(El-Gohary ve El-MAGD, 2018)	Paraloid B-72, Ca (OH) ₂ nanopartikülleri	Doğal taş
(Ietto ve diğ., 2018)	Akrilik polimer (asetonda Paraloid B-72 %2), Ca (OH) ₂ nanopartiküller (etanolde nanolime %2,5).	Doğal taş
(Ruffolo ve diğ., 2020)	Epoksi Reçine	Doğal taş
(Cultrone ve diğ., 2003)	Silika, etil silikat ve bir akrilik mikroemülsiyonun reaktif nanoparçacıklarının bir süspansiyonu.	Doğal taş
(García-Lodeiro ve diğ., 2021)	Rurewall Coat 20/sağlamlaştırıcı/silisik ester Paraloid B72/ sağlamlaştırıcı/etilmetakrilat kopolimeri Tegosivin HL100/Su itici/oligomer siloxane etoxi-functional Estel 1100/Sağlamlaştırıcı+ su itici/Silisik asit ve oligomerik polisiloksanların etil esteri	Tuğla
	Alkoksilan- Tegovakon V, Sentetik organik polimer-Paraloid B72 Silo 111-Su itici	Tuğla

Bu bölümde pişmiş kil esaslı yapı tuğlaları üzerinde gerçekleştirilmiş sentetik organik polimer çalışmaları incelenmiş ve özetlenmiştir. Çalışmaların karşılaştırılması Çizelge 3.7'de verilmiştir.

Sentetik organik polimerlerin tuğla üzerinde etkinliğinin araştırıldığı çalışmalarda, Paraloid B72'nin tercih edildiği görülmüştür. Paraloid B72 ile işlem gören tuğlalarda,

yüksek oranda renk değişimi gözlenmiştir. Yaşlandırma testleri sonucunda da tuğlada çatlaklar ve malzeme kayıpları olmuştur. Penetrasyon derinliği düşüktür. Uzun süre suya maruz kaldığında koruyucu özelliklerini kaybetmiştir. Ürün emilimi çok düşüktür. Yalnızca numunelerin yüzeyinde ince bir tabaka oluşturmuştur (Cultrone ve diğ., 2003; Cultrone ve Madkour, 2013). Çalışmalar sonucunda Paraloid B72'nin tuğlanın sağlamlaştırılması için uygun olmadığı görülmüştür.

Çizelge 3.7 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan sentetik organik polimer sağlamlaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamlaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Cultrone ve diğ., 2003)	Karbonat içermeyen kuvars açısından zengin bir kil ile geleneksel yöntemlerle üretilmiştir. GC: %10 kalsit GD: %10 dolomit GS: %0.5 sodyum klorür	Sağlamlaştırıcılar: Paraloid B72/ (etilmetakrilat kopolimeri, sentetik organik polimer,	Daldırma yöntemi (10 dk boyunca) (4 hafta boyunca sıcaklığın 10-25 °C ve bağıl nemin %50)	Ürün emilimi: Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde ürün emilimi çok düşüktür. . Penetrasyon derinliği: En düşük Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde gözlenmiştir. Toplam renk farkı: Numuneler üzerinde renk ve parlaklıkta önemli bir değişim meydana getirmemiştir. Su emilimi: Paraloid B72 ile işlem gören numuneler emilimi çok yüksektir. Durabilite: Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde, yüzeyel bir katman oluştuğu için eskitme deneylerinde bu tabaka süresiz bir hale gelmiştir. Yüksek derecede bozulma görülmüştür. Sağlamlaştırma yeteneği: Tuğla yüzeylerini yalnızca kısmen sağlamlaştırmayı başarmıştır. Ultrases hızı: Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde, ultrases hızında çatlaklar oluşması nedeni ile artış meydana gelmiştir
(Cultrone ve Madkour,2013)	Seramik numuneler, %70 ince seramik kili ve %30 kuvars kumu karışımı ile elektrik fırınında 900 °C'de pişirilerek elde edilmiştir.	Paraloid B72: Sağlamlaştırıcı	Kılcallık yöntemi	Penetrasyon derinliği: Yalnızca ince yüzeyel bir tabakanın oluşumunu destekleyen zayıf penetrasyon görülmüştür. Ürün emilimi: En düşük ürün emilimi görülmüştür. Ultrases hızındaki artış: Paraloid B72 ile işlenmiş numunelerde işlenmemiş numunelere göre %6,28 artış gözlenmiştir. Su emme: İşlenmemiş numunelerde su emilimi % 14.08'dir. Paraloid B72 ile işlenen numunelerde ise bu değer % 14.23'dir. Neredeyse aynı su emilimini göstermiştir. Gözeneklilik: İşlenmemiş numunelerde gözeneklilik=%30,75 iken Paraloid B72 bu değer % 27.16 ile çok küçük bir azalma göstermiştir Durabilite: Paraloid B72 ve muamele işlem gören numuneler, kısmen çatlama ve ayrışma gösterdikleri için tuz kristalizasyon testinde kötü sonuçlar vermişti Toplam renk farkı: Paraloid B72 'de renk farkı=10.76 (oldukça yüksek)

3.4.5 Nanomalzemeler

Nanomalzemeler, boyutları 1 ila 100 nm (nanometre) arasında değişen malzemelerdir (Khan ve diğ., 2019; Baig ve diğ., 2021). Kültürel mirasın korunması yakın zamana kadar geleneksel yöntemler ile sürdürülmekteyken, son zamanlarda tarihi yapılarda zarar görmüş taşların sağlamlaştırılmasında, korunmasında, dünya kültürel mirasının inşası ve bakımında nanomalzemeler uygulanmaktadır. Çünkü sentetik polimerlerin kullanımı gibi geleneksel yöntemler, genellikle orijinal malzeme ile gerekli

uyumluluktan ve kalıcı bir performanstan yoksundur (Sierra-Fernandez ve diğ, 2017). Ve nano teknoloji, orijinal malzeme altlığı ile uyumlu sağlamlaştırıcı ürünler tasarlanması imkânı sağlamaktadır. Malzemenin parçacık boyutları yaklaşık 1-100 nanometre olduğunda, malzeme özellikleri; daha büyük parça boyutlu malzemelere göre önemli ölçüde değişmektedir. Bu anlamda nanomalzemeler, daha büyük ölçekli malzemelerin benzer kütlelerine göre daha geniş yüzey alanlarına sahiptir ve bu sayede kimyasal reaktiviteleri artar. Ek olarak, nanomalzemeler, parçacık boyutundan dolayı zarar görmüş taş malzemelerin derinliklerine nüfuz etme imkânı sunar ve yüzeysel emilim sorununu çözer (Giorgi ve diğ, 2000; Sierra-Fernandez ve diğ, 2017). Sonuç olarak nanomalzemeler ile yapılan çalışmalar sonucunda koruma için umut verici sonuçlar ve geleneksel yöntemlerde bulunan birçok sorunu çözebilecek avantajlar elde edilmiştir (Esposito Corcione ve diğ, 2016; Sierra-Fernandez ve diğ, 2017). Çünkü malzemenin korunması için kullanılan kimyasalların parçacık boyutu nano ölçeğe kadar küçüldükçe uygulamanın etkinliği artmaktadır. Boyut küçültme, katı parçacıkların taşıyıcı solventlere dağılmasını kolaylaştırmak için de önemlidir. Sağlamlaştırıcılar böylece yüzeylere kolayca fırçalama, püskürtme veya damlatma metodu ile uygulanabilir. Nano boyutlu parçacıklar, organik-inorganik hibrit kompozitlerin özelliklerini geliştirmek için de yararlıdır. Mekanik özellikler, kimyasal direnç, UV radyasyonuna karşı koruma vb. açılardan geleneksel sağlamlaştırıcılara göre daha iyi performans gösterirler (Baglioni ve diğ, 2015).

Nanomalzemeler, kendi kendini temizleme eylemini de destekleyen su itici özelliğe de sahip olabilir (Kapridaki ve diğ, 2014). Ve böylece sudan kaynaklı hasarları önüne geçilebilir. Nano yapılu parçacıklar, altlığa yalnızca hidrofobik ve itici özellikler sağlamakla kalmaz, aynı zamanda 150°den daha büyük su temas açısı oluşturan süper hidrofobik özellikler de sağlayabilir (Sierra-Fernandez ve diğ, 2017). Nanomalzemeler, fotokatalitik kapasiteleri sayesinde bina cephelerinde aşırı kirlenmeyi ve mikroorganizmaların büyümesini önleyerek, malzeme yüzeyinden biyolojik kirlerin ve lekelerin, daha kolay çıkarılmasını sağlamaktadır (Linsebigler ve diğ, 1995; Munafò ve diğ, 2015). Bu sayede nanopartiküllerin yapı malzemelerinde kullanılması ile çevre kirliliğini iyileştirme, kendi kendini temizleme ve anti-mikrobiyal etki gibi yenilikçi uygulamalara ulaşılmıştır (Sierra-Fernandez ve diğ, 2017).

Nano sağlamaştırıcılar ile ilgili çalışmalara bakıldığında Çizelge 3.8’de görüldüğü gibi pişmiş kil esaslı tuğla üzerindeki çalışmalarda oldukça azdır ve genellikle tuğla üzerinde çalışmalara yoğunlaşmıştır.

Çizelge 3.8 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan nano sağlamaştırıcı çalışmaları.

Kaynak	Kullanılan Sağlamaştırıcı	Altlık
(D'Arienzo ve diğ., 2008)	Polimerik nanokompozitler	Doğal Taş
(Costa ve Rodrigues, 2012)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal Taş
(Natali ve diğ., 2014)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal Taş
(Luo ve diğ., 2015)	TEOS/PDMS/HA nanokompozitleri	Doğal Taş
(Lopez-Arce ve Zornoza-Indart, 2015)	Nano Malzeme_Kalsiyum hidroksit nanopartikülleri	Doğal taş
(Borsoi ve diğ., 2016)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal Taş
(oi ve diğ., 2016b)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal Taş
(Ruffolo ve diğ., 2017)	Nano Malzeme_Alkolde nano kireç suda bir nanosilika süspansiyonu, Alkoksilan_beyaz ispirotoda dağılmış etil silikat.	Doğal taş
(Zornoza-Indart ve diğ., 2017)	Nano Malzemeler_SiO ₂ ve Ca(OH) ₂ nano parçacıkları Alkoksilan_ etil silikat	Doğal Taş
(Borsoi ve diğ., 2017)	Sentetik Organik Polimer_ akrilik reçine	
(Gheno ve diğ., 2018)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal Taş
(Weththimuni ve diğ., 2018)	Nano Sağlamaştırıcı_NanoRestore Ca (OH) ₂ , NanoEstel SiO ₂	Doğal taş
(Ksinopoulou ve diğ., 2018)	Nano Malzemeler_diamonyum hidrojenfosfat ve kalsiyum hidroksit nanoparçacıkları	Doğal Taş
(Ksinopoulou ve diğ., 2018)	Si bazlı nanokompozitler	Doğal taş
(Taglieri ve diğ., 2018)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal Taş
(El-Gohary ve El-MAGD, 2018)	Akrilik polimer (asetonda Paraloid B-72 %2), Ca (OH) ₂ nanopartiküller (etanolde nanolime %2,5).	Doğal taş
(Pesce ve diğ., 2019)	Nano Malzeme_Di-Amonyum Fosfat ve Kalsiyum Bazlı Nanomalzemeler	Doğal Taş
(Shekofteh ve diğ., 2019a)	Nano kireç ve dibazik amonyum fosfat	Doğal taş
(Shekofteh ve diğ., 2019b)	Nano kireç ve dibazik amonyum fosfat	Doğal taş
(Vasanelli ve diğ., 2019)	SiO ₂ nanopartiküller	Doğal taş
(Ban ve diğ., 2020)	Su bazlı nano-zirkonya dispersiyon, Su-alkol bazlı koloidal silika ve Nano-titanya ile modifiye edilmiş alkoksilan	Doğal taş
(Sassoni ve diğ., 2020)	Nano kireç, nano silika, amonyum fosfat	Doğal taş
(Becerra ve diğ., 2020)	Nano malzeme_SiO ₂ NPs Ca(OH) ₂ NPs Ca(OH) ₂ /ZnO NPs	Doğal taş
(Macera ve diğ., 2020)	Alkoksilan_Etil silikat	
(Ruffolo ve diğ., 2020)	Nano Malzeme_Nano kireç	Doğal taş
(Gemelli ve diğ., 2021)	Silika, etil silikat ve bir akrilik mikroemülsiyonun reaktif nanoparçacıklarının bir süspansiyonu.	Doğal taş
(Barnoos ve diğ., 2022)	Alkoksilan- SiO ₂ nanoparçacıkları (SiO ₂ NP'ler) içeren alkoksilan bazlı sağlamaştırıcı	Doğal taş
(Stucchi ve diğ., 2022)	TEOS, Nano kireç, TEOS + MTMOS karışımı, TEOS + Nanokireç karışımı	Doğal taş
(Pozo-Antonio ve diğ., 2022)	Nano Malzeme_Nano silika	Doğal taş
(Apicella ve diğ., 2022)	Nano kireç	Doğal taş
(Sena da Fonseca, Ferreira Pinto, Rodrigues, Rucha, ve diğ., 2022)	Nano kompozit Alkoksilan (Etil Silikat), İnorganik_DAP, Modifiye alkoksilan (Tetraetoksilan (TEOS)+polietilen glikol içeren bazlı solüsyon), Nanoparçacıklı alkoksilan (TEOS+HAP), Nanoparçacıklı alkoksilan (TEOS+ SiO ₂)	Doğal taş
(Rodrigues ve diğ., 2022)	TEOS nanokompozitler	Doğal taş
(Hemeda ve diğ., 2018)	Nano Sağlamaştırıcı_Nano silika, Nano Titanyum, Nano Kalsit	Tuğla
(Navarro-Moreno ve diğ., 2021)	Nanokireç, Etil silikat (TEOS) ve sodyum silikat	Tuğla

Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanan nano sağlamaştırıcı çalışmaları

Bu bölümde kil esaslı yapı tuğlaları üzerinde gerçekleştirilmiş nano sağlamaştırıcı çalışmaları incelenmiş ve özetlenmiştir. Çalışmaların özeti ve karşılaştırılması Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine yapılan nano sağlamlaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamlaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Hemeda ve diğ., 2018)	Feldspar, hematit, albit, halit, mullit ve kalsit içeren tarihi tuğlalar	Nano Sağlamlaştırıcı Nano Silika, Nano Titanyum, Nano Kalsit (Nano Restore)	Fırçalama	<p>Birim hacim ağırlık: Birim hacim ağırlık olarak en yüksek değeri, “suda %20 konsantrasyonlu (Waker Bs15) Bs15 malzemeleri ile %1,5 konsantrasyonlu Nano Silika ve %1,5 Nano Titanyum” ile işlem gören J numunesi vermiştir. Kontrol numunesi= 1.25g/cm³ iken J numunesi=1.64g/cm³ ile 31.2% oranında fazladır.</p> <p>Su emme: Kontrol numunesinin su emme oranı=%28.14 iken J numunesinde su emme oranı=%1.62’ye düşmüştür. (en düşük değer)</p> <p>Görünür porozite oranı: %2.64 ile en düşük oran J numunesine aittir.</p> <p>Mekanik özellikler: Basınç dayanımı J numunesinde kontrol numunesine göre %250 artış göstermiştir.</p> <p>Ultrasonik hız artışı: J numunesindeki değer 2334 m/s hız ile en yüksek değeri vermiştir. Kontrol numunesine göre % 48.56 artış gözlenmiştir.</p>
(Navarro-Moreno ve diğ., 2021)	XII-XIII. yüzyıla ait, geleneksel yöntemle üretilmiş tarihi tuğlalar	Nano kireç	Püskürtme yöntemi ile (1.3 bar basınca ayarlı bir hava fırçası 7 cm uzaklıktan)	<p>Toplam renk farkı: Nano kireç ile işlem gören numunelerde=ΔE*=8.25’dir. Tuğlaların yüzeyinde heterojen birikme ve beyazlama meydana gelmiştir.</p> <p>Aşınma direnci: İşlem görmemiş numunelerde yüzey soyulma değeri=272 mg/cm² Nano kireç ile işlem gören numunelerde yüzey soyulma değeri=29 mg/cm²</p> <p>Sertlik deneyleri: İşlem görmemiş numunelerde=62.60 Shore-A Nano kireç ile işlem görmüş numunelerde=65 Shore-A</p> <p>Su emme: Nano kireç ile işlem gören tuğlaların, su emme özellikleri üzerinde önemli bir etki oluşturmadığı görülmüştür.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Homojen olmayan dağılım göstermiştir.

Nano malzemelerin (nano silika, nano titanyum, nano kalsit) tuğla üzerinde değerlendirilmesi hakkında yapılan çalışmalarda, geleneksel sağlamlaştırıcı malzemelerle kıyaslandığında, her ne kadar polimerlerin dağılımı nano malzemelere göre daha homojen olsa da tarihi binadaki tuğlaların fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmede nano malzemeler, geleneksel sağlamlaştırıcı malzemelerden daha yüksek performans göstermişlerdir. Özellikle polimer ve iki nano malzemenin (nano silika, nano titanyum) karışımı kullanıldığında, en iyi sonuç alınmıştır.

Nano malzemelerin tuğla üzerinde değerlendirilmesi hakkında yapılan çalışmalarda, nano sağlamlaştırıcıların heterojen dağılım gösterdikleri görülmüştür. Bunun nedeninin, nano malzemelerin mekanik olarak zayıf olan hasarlı yüzeyler tarafından daha fazla emilmesi olduğu öngörülmektedir. Homojen olarak dağılan polimer ile karıştırıldığında nano malzemenin yüksek performans gösterdiği anlaşılmıştır (Hemeda ve diğ., 2018; Navarro-Moreno ve diğ., 2021). Bu nedenle nano malzemelerin homojen dağılım imkânı verecek farklı malzemeler ile karıştırılıp uygulanması daha iyi sonuçlara neden olacaktır.

Nano kireç tuğlanın yüzey soyulmasını önemli oranda azaltmakla birlikte, tuğlanın su emme oranında önemli bir değişikliğe neden olmamıştır. Ayrıca tuğla yüzeyinde kabul edilemeyecek kadar yüksek renk farkına neden olmuştur (Navarro-Moreno ve diğ., 2021).

3.4.6 Biyo sağlamlaştırıcılar

Biyolojik bozunma süreci her türlü kültür mirasını etkilemektedir. En uygun önleme ve koruma stratejilerinin belirlenmesi için, biyolojik bozunmaya neden olan mikrobiyal ve mantar topluluklarının doğru bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Genellikle kimyasal ve fiziksel teknolojileri içeren geleneksel koruma yöntemleri toksik etkiler, çevresel tehlikeler ve tatmin edici olmayan sağlamlaştırma etkinliği gibi dezavantajlar sunabilmektedir. Restorasyon alanındaki araştırmalar, mikro organizmaların, restorasyon için potansiyel araçlar olarak görüldüğü yenilikçi biyolojik yaklaşımların veya "biyorestorasyonun" yolunu açmıştır. Ve mikrororganizmalar yalnızca bir tehlike kaynağı olmaktan çıkmıştır. Biyokonsolidasyonun esas amacı, iklimsel-çevresel koşullardan veya doğal ayrışma sürecinden etkilenen taş eserlerin, kalkerli matrisindeki bozulmayı tersine çevirmektir (Soffritti ve diğ., 2019).

Taş altlığın üzerinde uyumlu bir kalsiyum karbonat mineral çimentonun/bağlayıcının (cement) bakteriyel olarak indüklenmiş çökmesine dayanır. Çoğu geleneksel tedaviden farklı olarak, çökelti altlık ile oldukça uyumlu görünmektedir (Castanier ve diğ., 1999; Rodriguez-Navarro ve diğ., 2003).

Bazı bakterilerin metabolik aktivitesi, pasif veya aktif mekanizmalarla kalsit çökmesine neden olur (Jroundi ve diğ., 2012). Pasif çökeltmede bakteri aktivitesi, mikro ortamda kimyasal değişikliklere neden olarak karbonat ve bikarbonat iyonlarının birikmesine ve katı parçacıkların çökmesine yol açar. Aktif çökeltmede ise karbonat partikülleri, hücre zarı boyunca iyonik değişimlerle üretilir (Castanier ve diğ., 1999).

Bacillus pasteurii, Bacillus subtilis, Myxococcus xanthus, Acinetobacter, Pseudomonas, Pantoea ve Cupriavidus gibi mikro organizmaların koruma amaçlı kalsit çökmesinde etkili olduğu kanıtlanmıştır (Soffritti ve diğ., 2019).

Biominerilizasyon ile taş konsolidasyonu iki stratejiye dayanmaktadır. İlki, biyokalsifiye edici özelliklere (BCB) sahip canlı bakterilerin altlığa doğrudan

uygulanmasıdır. Diğeri ise altlığın bünyesinde bulunan mikroorganizmalarda karbonat çökmesini indükleyen bir kültür ortamının uygulanmasıdır (Jroundi ve diğ, 2017).

B. subtilis hücre duvarı parçalanmasının kalsit çökmesine neden olmadaki etkinliğini kanıtlayan hem laboratuvar koşullarında hem de yerinde tedavilerde, taşlar üzerindeki olumlu etkisini ortaya çıkaran çeşitli çalışmalar olmuştur (Perito ve diğ, 2014) Yeni bir yaklaşım olarak tuzla hasar görmüş taşların konsolidasyonu için, bakteriyel kendi kendine aşılama, tedavisi önerilmektedir. Jroundi ve ark. taş örneklerinden karbonatojenik bakterileri izole etti, bunları aktive edici besleyici solüsyonla kültürlendi ve manipüle bakteri kültürünü taş örneklerine yeniden uyguladı. Organiklerin kalsit biyominerallerine dahil edilmesi, artan biyokonsolidasyon kapasitesine sahip bir organik-inorganik hibrit biyomateryal ile sonuçlanmıştır (Jroundi ve diğ, 2017).

Biyo sağlamaştırıcılar ile yapılan çalışmalara bakıldığında, Çizelge 3.10'da görüldüğü gibi tuğlalar için yapılan sağlamaştırıcı çalışmaları, doğal taşlar için yapılan çalışmalardan daha kısıtlıdır.

Çizelge 3.10 : Son 20 yıl içerisinde doğal taşlar ve tuğlalar üzerine uygulanan biyo sağlamaştırıcı çalışmaları.

Kaynak	Kullanılan Sağlamaştırıcı	Altlık
(Rodriguez-Navarro ve diğ, 2003)	Myxo- coccus xanthus bakterisi	Doğal Taş
(Jimenez-Lopez ve diğ, 2007)	Myxo- coccus xanthus bakterisi	Doğal Taş
(Zamarreño ve diğ, 2009)	Tatlı su bakterileri	Doğal Taş
(Piñar ve diğ, 2010)	Myxococcus xanthus	Doğal Taş
(Jroundi ve diğ, 2012)	Karbonatojenik bakteriler	Doğal Taş
(De Muynck ve diğ, 2013)	Sporosarcina psychrophila, Bacillus sphaericus, Sporosarcina pasteurii	Doğal Taş
(Daskalakis ve diğ, 2013)	Pseudomonas, Pantoea ve Cupriavidus	Doğal Taş
(Micallef ve diğ, 2016)	Bacillus subtilis	Doğal Taş
(Zamani ve diğ, 2017)	Bio- sağlamaştırıcılar	Doğal Taş
(Delgado Rodrigues ve Ferreira Pinto, 2019)	Karbonatojenik bakteriler	Doğal taş
(Andreolli ve diğ, 2020)	Bio- sağlamaştırıcılar	Doğal Taş
(Sarda ve diğ, 2009)	Bacillus pasteurii	Tuğla
(Raut ve diğ, 2014)	Bacillus pasteurii	Tuğla
(García-González ve diğ, 2020)	Bio- Sağlamaştırıcılar	Hava kireç harcı, çimento harcı, kalker, seramik tuğla, kerpiç ve CEB.

Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine uygulanmış biyo sağlamaştırıcı çalışmaları

Bu bölümde kil esaslı yapı tuğlaları üzerinde gerçekleştirilmiş nano sağlamaştırıcı çalışmaları incelenmiş ve özetlenmiştir. Çalışmaların karşılaştırılması Çizelge 3.11'de verilmiştir.

Çizelge 3.11 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerinde yapılan biyo sağlamaştırıcı çalışmaları özetleri.

Kaynak	Tuğlanın Özellikleri	Sağlamaştırıcı	Uygulama Türü	Değerlendirme
(Sarda, ve diğ., 2009)	Tuğlalar yerel bir şantiyeden temin edilmiştir.	Bacillus pasteurii (NB: besin suyu, BHI: beyin kalp infüzyon ortamı)	Plastik kap içerisinde, bakteri aşılannmış ortam oluşturulmuş ve tuğla numuneleri içerisinde daldırılmıştır.	Su emme oranı: İşlem gören tuğlalarda, su emme oranı kontrol numunelerine göre, NB ortamında kürlenen tuğlada %14.1, BHI ortamında kürlenen tuğlalarda ise % 44.5 oranında azalma görülmüştür. Yani BHI ortamında kürlenen bakteriler, tuğlanın dayanıklılığını artırmada daha etkili olmuştur. Su emilimdeki azalma, yüzeydeki biyokalsifikasyona atfedilmiştir.
(Raut, ve diğ., 2014)	Tuğlalar, %80 kil, %15 kül ve %5 pirinç kabuğundan oluşmaktadır ve yerel bir fırından elde edilmiştir.	Bacillus pasteurii (Standart Nutrient Broth (NB) ve OptU besiyeri)	Tuğla numuneleri, su ile doldurulup bakterilerin aşılannığı besiyerlere daldırılmıştır.	Mekanik özellikler: B. pasteurii'li OptU ortamına daldırılan numunelerin dayanımında %83.9'luk bir artış gözlenmiştir. B. pasteurii ile aşılannmış NB'de kürlenen tuğlalarda, kontrole kıyasla dayanımdaki gelişme sadece %24,9 olmuştur. Su emme: OptU ortamında yetiştirilen B. pasteurii ile işlenen tuğlalar, musluk suyuna daldırılan kontrol tuğlalarıyla karşılaştırıldığında su emme kapasitesinde %48,9 azalma ile sonuçlanmıştır. NB ortamında işlenen tuğlalarda ise %19.95 oranında azalma olmuştur. <ul style="list-style-type: none"> Metabolik olarak aktif olan bu B. pasteurii hücreleri, tuğlaların yüzeyinde olduğu kadar gözeneklerde de kalsit çöktürmüştür.
(García-González, ve diğ., 2020)	Seramik tuğlalar, EN 771-1'e göre kategori II olarak sınıflandırılan, Portekiz'de bir tuğla üreticisinden alınmıştır.	Demir açısından zenginleştirilmiş Escherichia coli ve karışık mikrobiyal (MMC)	Kılcılık ve damlama, santrifüjleme ve yeniden süspansiyon gibi işlemler, biyo ürün süspansiyonunun saklama koşulları (4°C, 20°C) gibi farklı deney koşulları değerlendirilmiştir.	Yüzey rengi: E. coli ve MMC ham gliserol bazlı biyolojik ürünler, test edilen materyallerin yüzeylerinin rengini değiştirmemiştir. Su emme: İşlem görmemiş tuğla: % 10.3 ± 0.2 Escherichia coli + Demir (EC+Fe (4°C_48h) ile işlem gören tuğlalarda su emme oranı %180 oranında artmıştır. Uygulama türü: Kılcalılık esaslı uygulama, numunelerin yatay yüzeyine damlatma işlemlerinden daha iyi sonuçlar vermiştir. <ul style="list-style-type: none"> Tuğlalar için en iyi sonuç 4°C'de 48 saat bekletilen, Escherichia coli + Demir (EC+Fe (4°C_48h) içeriğinden alınmıştır. Ham gliserol biyo ürünü ile büyütülen MMC ile yapılan işlemlerde de test edilen tüm materyallerde su emme süresinin arttığı görülmüştür. MMC kullanmanın avantajları, oda sıcaklığında çalışma, biyo kütle büyümesi için basit bir ortamın yeterli olması ve bu nedenle ekonomik olması, ek olarak sadece atık büyü kütle kullanılmasıdır. Her bir biyolojik işlemin etkinliğinin altlığın özelliğine bağlı olduğu görülmüştür.

Biyo malzemeler ile yapılan sağlamaştırma çalışmaları incelendiğince, sağlamaştırıcı etkinliğinin su emme özellikleri, basınç dayanımı ve tuğladaki renk değişimi üzerinden analiz edildiği görülmüştür. Bu nedenle henüz sınırlı veriler elde edilmiş olduğu söylenebilir. Yapılan araştırmalarda, sağlamaştırıcı başarısında, bakteri türünün, bakterilerin aşılannığı ortamın, bakterilere eklenen demir vb. katkı maddelerinin, inkübasyon süresinin, uygulama yönteminin, saklama koşullarının ve en önemlisi altlık özelliklerinin etkili olduğu görülmüştür (Sarda ve diğ., 2009; Raut ve diğ., 2014; García-González ve diğ., 2020).

Bacillus pasteurii bakterisi ile tuğlalarda su emme oranında % 44.5 azalma görülmesine rağmen, *E. Coli* ile %180 oranında çok daha büyük bir başarı elde edilmiştir (Sarda ve diğ, 2009; García-González ve diğ, 2020). Altlık özellikleri tamamen aynı olmadığı için, doğrudan olarak kıyaslanamamakla birlikte aradaki yüksek farktan dolayı, *E. Coli* bakterisinin tuğlaların dayanımında daha başarılı olduğu öngörülebilir (García-González ve diğ, 2020).

Bakteriler, tuğlanın bünyesindeki mikro çatlaklar, boşluklar, homojensizlikler sayesinde, sadece tuğlanın yüzeyinde değil, tuğlanın gözeneklerine de nüfuz etmiş, kalsit birikimi böylece tuğlanın gözeneklerinde de gerçekleşmiştir. Bunun sonucunda, tuğlanın dayanımı uygun ortamda kürlendiğinde %83,9 kadar artış göstermiştir (Raut ve diğ, 2014).

Bakterilerin biyokalsifikasyonu ile tuğlada su emme ve dayanıklılık açısından elde edilen büyük gelişmeler, tuğlanın sağlamaştırılması için bakterilerin kullanılmasının, ekolojik bir yöntem olarak kullanılabilmesi noktasında umut vericidir. Özellikle OptU ortamında yetişen *B. pasteurii*'nin mikrobiyal kaynaklı kalsit çökmesi, tuğla ile inşa edilen anıtsal yapıların korunmasında büyük yardımcı olacaktır (Raut ve diğ, 2014).

Bakteriler ile işlem yapılan tuğlalarda renk değişimi olmadığı görülmüştür (García-González ve diğ, 2020).

Tuğlaların yüzeyinde ve gözeneklerinde bakteri hücrelerinin devam eden biyo kalsifikasyon faaliyeti nedeniyle $CaCO_3$ birikmeye devam etmesi, tuğlaların basınç dayanımının zamanla artmasına neden olur. Çalışmada 28. gününde en yüksek basınç dayanımına ulaşılmıştır (Raut ve diğ, 2014).

Atık malzemelerin kullanılması, doğal bir yöntem olması, insan sağlığına veya çevreye zarar verici yan ürün oluşumu olmaması nedenleri biyomalzemelerin önemli avantajları arasındadır. Fakat uzun vadede etkileri bilinmemektedir. Ayrıca biyo ürünler ile sağlamaştırıcı çalışması, günümüz şartlarında, yapının yerinde uygulanması zor ve maliyetlidir (Sarda ve diğ, 2009; Raut ve diğ, 2014). Bu nedenle, biyo sağlamaştırıcıların altlık ile kimyasal ve fiziksel uyumu, nüfuz etme derinliği, gözenek boyutu dağılımı, renk gibi özellikleri üzerinden, daha ekonomik ve kolay uygulanabilirlik kriterleri hakkında çok daha fazla ve detaylı araştırma yapılmalıdır.

3.5 Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlası Üzerine Uygulanan Sağlamaştırıcı Çalışmalarının Genel Değerlendirmesi

Tuğla üzerine yapılan literatür araştırması kapsamında tuğlanın sağlamaştırılmasında kullanılan malzemeler, sağlamaştırmanın etkinliği açısından değerlendirilmiş ve Şekil A.1’de tablolatırılmıştır. Sonuç olarak;

Uygulama özellikleri (daldırma, fırçalama, püskürtme, kılcallık):

Etil silikatın (TEOS-Tetra etil ortho silikat) uygulama yönteminin homojen uygulamaya imkân vermesi gözeneklilikteki düşüşü etkilediği; escherichia coli ve karışık mikrobiyal (MMC) kültürünün uygulamasında, kılcallık ile uygulama damlatma yöntemine göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Nüfuz etme derinliği (penetrasyon):

- Etil silikatta **sağlamaştırıcı emilimi ve kütle artımının** genellikle yüksek olduğu ama kullanılan etil silikata göre ve uygulama yöntemine değıştiği görülmüştür. Altlığın gözenekliliği arttıkça, artmıştır. Silisik Ester ve” silisik asit+ oligomerik polisiloksanların etil esteri”nin yüksek ürün emilimi sağladığı fakat Paraloid B72’nin ise oldukça düşük emilim sağladığı görülmüştür.
- **Nüfuz etme derinliğine** bakıldığında, etil silikatın genellikle yeterli penetrasyon gerçekleştirdiği ve bunun uygulama yöntemine, ürün yoğunluğuna, altlığın gözenekliliğine bağlı olarak değıştiği; silisik Ester ve “silisik asit + oligomerik polisiloksanların etil esteri”nin yüksek penetrasyon sağlarken, Paraloid B72’nin ise oldukça düşük bir sığ tabaka oluşturduğu anlaşılmıştır.

Gözeneklilik özellikleri:

- **Su buharı geçirgenliği**, etil silikat ile işlem gören tuğlada, bir çalışmada aksi görölse de genellikle azalmamıştır. “Nano silikat+Nano titanyum+Polimer” karışımı ise su buharı geçirimini engellememiştir.
- **Su emiliminin** silisik ester, “silisik asit + oligomerik polisiloksanların etil esteri”, Paraloid B72, nano kireç ile işlem gören numunelerde azalmadığı; etil silikat, nano silika, nano titanyum ve biyo sağlamaştırıcıların hepsi ile işlem gören numunelerde azaldığı görülmüştür. Biyo sağlamaştırıcılarda su emme bakterilerin yetiştiği ortama bağlı olduğu, nano malzemelerde ise polimer, nano silikat ve nano titanyum karışımının en yüksek iyileşmeyi gösterdiği görülmüştür.

- **Gözenek boyutu dağılımında** ince gözenekler, etil silikat ile işlem gören tuğlalarda genellikle azaldığı fakat artış gözlenen çalışmaların da olduğu, büyük gözeneklerin ise değişmemiş veya bir miktar azaldığı görülmüştür.
- **Özgül yüzey alanının** etil silikat ile işlem gören numunelerde azaldığı ve ürünün konsantrasyonu ile doğru orantılı olduğu görülmüştür.
- **Açık gözeneklilik**, etil silikat ile işlem gören numunelerde (sağlamlaştırıcının konsantrasyonuna bağlı olarak), nano silikat ve nano titanyum ile işlem gören numunelerde azaldığı, nano kireç ile işlem gören numunede ise önemsiz azalma gösterdiği anlaşılmıştır.
- **Toplam gözenekliliğin** etil silikat ile işlem gören numunelerde azaldığı, Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde çok az azaldığı; kompasitenin silisik ester ve “silisik asit + oligomerik polisiloksanların etil esteri” ile işlem gören numunelerde arttığı anlaşılmıştır.

Durabilite:

- Tuz kristalizasyonu döngüleri sonucunda etil silikat ile işlem gören numunelerde, silisik ester ve Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde bozulma, “silisik asit + oligomerik polisiloksanların etil esteri” ile işlem gören numunelerde kabul edilebilir sonuç alındığı görülmüştür.
- Silisik ester ile işlem gören numunelerde **suya dayanım** yüksektir.
- **Biyolojik bozunmaya dayanım**, çalışmalarda değerlendirilmemiştir.

Sağlamlaştırma yeteneği:

- **Basınç dayanımı** açısından sağlamlaştırma malzemelerinin sağlamlaştırma yeteneği incelendiğinde etil silikatın numunelerde basınç dayanımını önemli ölçüde artırdığı görülmüştür. Basınç dayanımındaki iyileşme tuğlanın ilk dayanımı ve ürün emilimi ile alakalıdır. Nano kireç uygulamasının önemli bir artışa sebep olmadığı; nano silikatın genellikle yüksek artışa neden olduğu anlaşılmıştır. Sadece nano silikata göre, polimer ile karıştırılmış nano silikat daha yüksek, polimer ve nano titanyum ile karıştırılmış nano silikat en yüksek değeri vermiştir. Bacillus pasteurii ile sağlamlaştırılan numunelerde ise bakterilerin yetiştirildiği ortama (OptU ortamı) bağlı olarak önemli artış gözlenmiştir.

- **Çekme dayanımı ve elastiklik modülü** açısından değerlendirildiğinde, etil silikat ile işlem gören numunelerde önemli artış gözleendiği ve bu durumun ürün emilimi ve penetrasyon derinliği ile alakalı olduğu görülmüştür.
- **Aşınma direnci** açısından incelenen araştırmalarda sağlamaştırılan tuğlada yüzey soyulmasını sodyum silikatın azalttığı ancak nano kirecin yüksek oranda azalttığı görülmüştür.
- **Birim ağırlıktaki** değişim ise etil silikat uygulandığında genel olarak hafif artış gözlenmiş bunun da uygulanan sağlamaştırıcının yoğunluğundan etkilendiği anlaşılmıştır.
- **Gerçek yoğunluktaki** değişim, etil silikat uygulandığında genel olarak hafif bir artış olduğu, nanokireç uygulamasında diğer nano malzemelere göre düşük artış olduğu, nano silikatın artışa neden olduğu ama nano silikata göre, polimer ile karıştırılmış nano silikatın daha yüksek, polimer ve nano titanyum ile karıştırılmış nano silikatın ise en yüksek değeri verdiği görülmüştür.
- **Su direnci** ise etil silikat uygulanan tuğlalarda kullanılan etil silikata göre değişmektedir. Rhodorsil RC70 kullanıldığında tuğlanın su direnci kazanmadığı fakat “TEOS + poli-metil-fenil siloksan” karışımında kazandığı görülmüştür.

Altık ile kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluk:

- Sağlamaştırıcıların **ısı genleşme** ve **nem genleşmesine dayanım** özellikleri üzerine etkisine çalışmalarda yer verilmediği görülmüştür.
- **Yüzey sertleşmesi (geçirimsiz film tabakası)**, etil silikat ile işlem gören tuğlalarda eğer ürün yeterli nüfuz etmediyse görülmüştür. Ama yeterli nüfuz ettiyse görülemezdir.
- **Çatlak oluşumu**, sodyum silikat ve Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde yüksek, etil silikat ile işlem gören numunelerde hafif derecede gerçekleşmiştir.
- Etil silikat ile işlem gören numunelerde **konsolide olan kısım olmayan kısım arasında** eğer yetersiz nüfuz etme söz konusu uyumsuzluk görülmüştür.
- **Yeniden işlem görmeye elverişli** olma özelliği sağlamaştırıcılar için oldukça önemli olmasında rağmen, araştırmalarda yer verilmemiştir.

Görünümdeki değişiklikler

- **Renk farkı** etil silikat ile işlem gören numunelerde, genellikle düşük olmakla birlikte, fazla ürün emiliminin yüksek renk değişime neden olduğu; silisik ester ve “silisik asit + oligomerik polisiloksanların etil esteri” , Escherichia coli ve Karışık mikrobiyal (MMC) kültür ile işlem gören numunelerde renk değişimi olmadığı, Paraloid B72 ile işlem gören numunelerde renk değişiminin altlığa ve uygulama yöntemine bağlı olduğu, sodyum silikat ve nano kireç ile işlem gören numunelerde ise yüksek renk değişimi gözlenmiştir.

- **Toz çekme ve emme duyarı** üzerinde çalışmalarda analiz yapılmamıştır.

Sonuç olarak, sağlamaştırıcıların etkinliği, nüfuz etme özellikleri, gözeneklilik özellikleri, durabilite, sağlamaştırma yeteneği altlık ile kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluk ve görünümdeki değişiklikler gibi başarımlar parametreleri üzerinden değerlendirildiği görülmüştür. Fakat tüm sağlamaştırıcı çalışmalarda bu kriterlerin hepsine bakılmamıştır. Etil silikat ile işlem gören numunelerde genellikle, başarımlar kriterlerinin çoğu göz önünde bulundurulurken, sodyum silikat ile sağlamaştırmada aşınma direnci, renk farkı, çatlak oluşumu ve “bozulma ve bozunma” ; Silisik ester ve Silisik asit + Oligomerik polisiloksanların etil esteri ile sağlamaştırmada genellikle nüfuz etme, su emilimi, toplam gözeneklilik, durabilite, renk farkı, alkil alkoksilanol ile sağlamaştırmada ürün emilimi ve su emme; Paraloid B72 ile sağlamaştırmada nüfuz etme, su emilimi toplam gözeneklilik, durabilite, renk farkı ve çatlak oluşumu, nano malzemeler ile sağlamaştırmada genellikle, su buharı geçirgenliği, su emme, açık gözeneklilik, basınç dayanımı, gerçek yoğunluk, biyo sağlamaştırıcılarda ise genellikle su emme, renk farkı ve mekanik dayanım göz önünde bulundurulmuştur. Tüm sağlamaştırıcı çalışmalarda en çok değerlendirilen parametre su emme, ardından renk değişikliği, ardından basınç dayanımı ve ürün emilimi olmuştur. Penetrasyon derinliği, açık gözeneklilik, toplam gözeneklilik, malzeme iç kuvvetleri ile oluşabilecek genleşmeye karşı dayanım ve gerçek yoğunluk ise onları takip etmektedir. Biyolojik bozunmaya dayanım, ısıl genleşme özellikleri, yeniden işlem uygulanmasına izin verme, toz çekme ve emme duyarı parametreleri hiçbir çalışmada ele alınmamıştır. Özellikle sağlamaştırıcının yeniden işlem uygulamaya izin vermesi, malzemenin ömrünün uzun süreli olması için çok önemlidir. Bu nedenle ilerideki çalışmalarda bu başarımlar parametresi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Sağlamlaştırıcının uygulanma yöntemi, altlığın özellikleri, uygulanacak sağlamlaştırıcının özellikleri, başarımlarında çok önemli rol almaktadır.

Etil silikat ile işlem gören numunelerde başarımlarında genellikle olumlu sonuç alınırken, numunede çatlak oluşumu gözlenmesi, ince gözenekliliği artırabilmesi, durabilite deneyleri sonucu ayrışma ve bozulma gözlenmesi nedenleri ile hala kuşkulu yaklaşmak gerekmektedir. Konsantrasyonu yüksek etil silikat ile işlem gören numunelerde, nüfuz etme derinliği yeterli olmadığı için bu olumsuz özellikler daha çok ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle başarımlar oranı, altlık porozitesine, etil silikatın yoğunluğuna, cinsine, uygulama yöntemine bağlıdır. Etil silikat ile ilgili çalışmalar, bu bağlamda devam etmelidir. Yine de geleneksel sağlamlaştırıcılar arasında tuğlanın sağlamlaştırılması için en uygun kimyasalın etil silikat olduğu söylenebilir.

Nano silika ve nano titanyum ile işlem gören numunelerde, değerlendirilen her parametrede pozitif sonuç alınmıştır. Aynı şekilde, biyo malzemeler ile işlem gören numunelerde de bu söz konusudur. Etil silikat ile işlem gören numuneler her başarımlar parametresinde olumlu sonuç vermemiştir. Fakat nano malzemeler ve biyo malzemeler ile yapılan çalışmalar, oran olarak etil silikatlardan oldukça düşüktür ve etil silikatlar kadar çok başarımlar kriteri üzerinden değerlendirilmemişlerdir. Ayrıca ortak değerlendirildikleri parametrelerde hepsinde başarımlar elde edilmiştir. Bu nedenle etil silikata göre mutlak başarılı oldukları varsayılmaz. Fakat, yine de elde edilen sonuçlar doğrultusunda, tuğlanın sağlamlaştırılması için umut verici oldukları söylenebilir ve araştırmalara devam edilmelidir.

Nano malzemeleri ile yapılan çalışmalarda özellikle durabilite, gözenek özellikleri, Altlık ile kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluk ve renk değişimi parametrelerine bakılmalıdır. Biyo malzemeler ile yapılan sağlamlaştırma çalışmalarında da durabilite, gözenek özellikleri, altlık ile kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluğa ek olarak basınç dayanımı, parametreleri değerlendirilmelidir. Hem nano malzemelerde hem de etil silikatlarda, sağlamlaştırıcıların negatif yönlerini tamamlayacak farklı malzemeler ile karıştırıldığında daha başarılı sonuçlar alındığı görülmüştür.

Sodyum silikat, Paraloid B72 ve nano kireç tuğlanın sağlamlaştırılmasında, gözenekliliğe etkilerinin olmaması, yüksek renk değişimine neden olmaları, su emilimini azaltmamaları, çatlak oluşuma neden olmaları gibi nedenlerden dolayı, tercih edilmemelidirler.



4. KİL ESASLI PIŞMIŞ TUĞLANIN KORUNMASI İÇİN BİR YAKLAŞIM

Kil esaslı pişmiş tuğlanın korunması, tarihi mirasın önemli bir miktarının tuğla olan ülkeler için büyük önem taşımaktadır. Mimari miras için önemi olan yapıların korunması ve restorasyonundan bahsedildiğinde hataya pay bırakılmayacak önlemlerin alınması gerekmektedir. Bunun için de sürecin her adımının dikkatle düşünülmüş, tasarlanmış ve standardize edilmiş olması önemlidir. Böylece uygulamadan kaynaklı hataların önüne geçilmesi sağlanabilir.

Tarihi yapı malzemelerinin özelliklerinin ve yapı teknolojisinin tanınması, bu malzemelerin korunması ve restorasyonunda uygun ve doğru kararların alınmasında çok önemli bir rol oynamaktadır. Tarihi duvarlar, çoklu ve örtüşen rekonstrüksiyonlar ve yenilemeler ile gizlenmiş, karmaşık bir tarihe sahiptirler. Genellikle farklı duvar türlerinin üst üste gelmesi ile karakterize edilirler. Sonuç olarak, mevcut görünümleri, genellikle tanımlanması zor olan çoklu müdahalelerin sonucudur. Bu nedenle, bu binaların incelenmesi için stratejiler geliştirmek gereklidir (Barluenga ve diğ, 2014; Bartz ve Chorowska, 2016).

Araştırmacılar, tuğlanın karmaşık tarihinin anlaşılabilmesi için öncelikle, tuğla boyutlarının istatistiksel analizi veya kullanılan malzemelerin ayrıntılı bir incelemesi yolu gibi yöntemlerle morfolojik bir araştırma yapılmasını önerirler (Pesci ve diğ, 2012; Tc, 2012). Diğer bir metot ise mineralojik araştırmalardır (Moropoulou ve diğ, 2000; Baronio ve diğ, 2003; López-Arce ve diğ, 2003; Scalenghe ve diğ, 2015).

Tarihi binaların araştırılması, laboratuvar testleri ile birlikte saha gözlemleri ve ölçümlerini birleştirmelidir. Göz önünde bulundurulması gereken ana hususlar aynı zamanda binanın tarihi, kronolojisi ve yapı tekniklerinin tarihini de içermelidir (Tc, 2012). Laboratuvar analizinin ideal ve ayarlanmış koşullarının arazi koşulları ile aynı sonuçları veremediğini vurgulayan bilim adamları olmakla birlikte, yine de koruma çalışmalarının bir standardizasyonunun olmasının hata payını azaltacağı düşünülmektedir (Ersen, 1991). Koruma sürecinin karmaşıklığı göz önüne alındığında bir kılavuzun mantıklı kararlar için gerekli olduğu bile söylenebilir (Tc, 2012).

Standardizasyonun yanı sıra korumada, farklı disiplinlerdeki insanların ve farklı uzmanlık alanlarının beraber çalışıp, çözüm üretmesi ile daha doğru sonuçlar alınacaktır (ICOMOS, 1964, 2003). Tarihi yapının incelenmesi, hasar ve bozulma varsa tipi ve nedenlerinin araştırılması incelenmesi ve teşhis edilmesi disiplinler arası bir çalışma gerektirebilmektedir (KUDEP, 2011).

Literatür araştırması yapıldığında, kil esaslı pişmiş tuğlanın korunması üzerine yönelik bir metod önerisinin bulunmadığı görülmüştür. Bu bölümde pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması için bir yöntem önerisi geliştirilmiştir. Şekil B.1’de gösterilen pişmiş kil esaslı tuğlanın korunması için bir yaklaşım önerisi, öncelikle tuğlanın bulunduğu yapının “yerinde gözlem, değerlendirme ve belgeleme”, sonrasında “pişmiş kil esaslı tuğlanın karakterizasyonu”, ardından “değerlendirme ve yapılacak koruma uygulamasına karar verme” ve bu karara göre “mevcut tuğla alternatiflerinin kullanılması”, “sağlamlaştırma uygulaması” veya “yeni tuğla üretimi” aşamalarını kapsamaktadır.

4.1 Yapı Yerinde Gözlem, Değerlendirme ve Belgeleme

Koruma çalışmalarında, binanın mevcut, korunma durumunun değerlendirilmesi, çözülmesi gereken sorunun doğru bir şekilde tanımlanması için ilk ve tek koşuldur. Bu adım aynı zamanda hangi araştırmaların yapılması gerektiğine dair kararı da içerir (Te, 2012; Lourenço ve diğ, 2014). Öncelikle yapının tasarımı, formu, strüktürü, kullanılan malzemeler anlaşılmalıdır. Bunun yanı sıra bulunduğu çevre ile ilişkisi, kullanım amacı, yapıldığı ilk zamandan itibaren geçirdiği her türlü süreç de anlaşılmalıdır. Teşhis aşaması için farklı alanlardan uzmanlar birlikte yapıyı yerinde incelemeli ve hasarları ve sorunları yerinde saptamalıdır (Ersen ve Verdön, 2010).

Restorasyon çalışmalarına başlamadan önce yapı fotoğraf, video gibi tekniklerle belgelenmeli, tarihçesi, estetik özellikleri ve değeri, teknik özellikleri, yasal statüsü incelenmelidir. Bu aşama genellikle rölöve ile birlikte yürütülür ve bu sayede yapının iyice tanınması sağlanır (KUDEP, 2011).

Görsel inceleme, lekelenme problemlerini anlamak için yeterli olabilir. Ayrıca görsel inceleme ile, tuğlanın kırılma şekli, su penetrasyon kaynakları, sıva ve tuğla arasındaki çatlaklar, doldurulmamış derzler; çatıdaki ve suyun uzaklaştırılmasındaki problemler belirlenebilir (Robinson, 1982).

Yapıdaki hasar ve sorunların belirlenmesi, yapılan incelemelerin yazılı ve görsel olarak belgelenmesi için mimarı mirasın yerinde gözlemlenmesi gerekir. Bu adıma yerinde tespit denilmektedir. Müdahalenin ne kadar ve nasıl olması gerektiğinin ilk anlaşılacağı aşama burasıdır. Bu nedenle koruma sürecinin en önemli adımlarından biridir (KUDEP, 2011).

4.1.1 Binanın tarihsel sürece bağlı olarak tanımlanması

Kil esaslı tuğla malzemesinin bulunduğu yapının restorasyon kararı verilmeden önce yapı ile ilgili tüm tarihi verilerin toplanması gerekmektedir. Yapının tarihçesi, yapım dönemi, üslubu, mimarı, mimari detay bilgileri, yapı malzemesi gibi veriler araştırılmalıdır. Yapıya dair yazışmalar, halihazır haritalar, eski fotoğraflar, daha önce yapı ile ilgili alınmış kararlar araştırılmalıdır. Yapının plan krokisi, rölövesi, kesit çizimleri, restitüsyon ve restorasyon projeleri ilgili kurumlardan toplanmalıdır (BS, 2000; KUDEP, 2011).

Binanın tarihi ve önem değerlendirmesi yapılırken, binanın bozulmasına katkıda bulunmuş olabilecek geçmiş müdahaleler ve tarihi olaylar da incelenmelidir. Geçmişteki müdahalelerin ve olayların olası tarihsel değeri de göz önünde bulundurulmalıdır (Tc, 2012).

4.1.2 Morfolojik araştırmalar (binada kullanılan malzemenin tespiti)

Morfolojik analizler, stratigrafik çalışmalara dayanır. Stratigrafik alet, duvarların makroskopik özelliklerini kaydetmek ve binanın farklı bölümlerinin kronolojisini belirlemek için uygundur. Arkeolojik alanda çok iyi bilinmektedir ve tarihi yapılar üzerinde pek çok kullanım örneği mevcuttur (Giovannini ve diğ, 2002). Morfolojik analizlerde amaç, tuğlanın şekil, boyut ve tuğla işçiliği dikkate alınarak bir binada var olan yapısal birimleri bulmaktır. Bu yaklaşım, yapısal malzemeleri, dış görünüşlerinin dışında, kendi içsel özelliklerini dikkate almaz. Bu durum da tuğlanın analizini kısıtlamaktadır (Barluenga ve diğ, 2014). Koruma aşamaları malzemeye özgün olarak verilmesi gereken kararlar bütünüdür bu nedenle koruma uygulanacak altlık malzemesinin biçimsel ve tür olarak tanınması önemlidir. Bu aşamada kullanılan tuğlanın türü, yaşı, rengi, dokusu ve boyutu, bağlayıcı türü, derz kaplama stilleri, malzemenin bulunduğu çevrenin özellikleri (cephenin yönü, bağıl nem vb.) hakkında da bilgi edinmek gerekmektedir (Donnelly, 2009). Şekil 4.1’te malzeme analizi paftası örneği bulunmaktadır.

4.1.3 Binadaki hasara bağı tespitler

Bu aşama kil esaslı pişmiş tuğlanın bozulma nedenlerinin, süreçlerinin ve kaynaklarının, ortamla ilişkisinin anlaşılmasına çalışıldığı aşamadır. Ve altta yatan bu nedenler sonucunda malzemede hangi tür hasarın meydana geldiğinin anlaşılması hedeflenmektedir. Bu sayede öncelikle tuğlada hasar meydana getiren nedenlerin ortadan kaldırılıp kaldırılamayacağı araştırılır, gerekli müdahaleler yapılır. Ardından hasar türüne göre tuğlaya uygulanması gereken koruma yöntemi tercih edilir (ICOMOS, 2003).

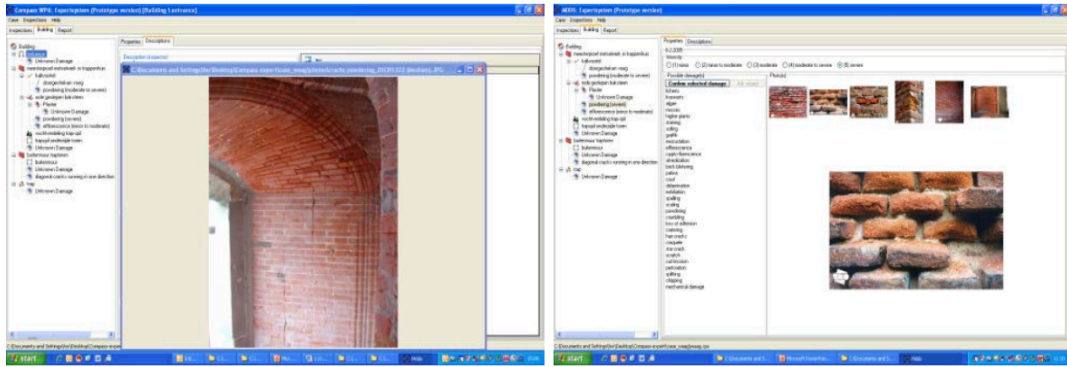


Şekil 4.1 : Malzeme analizi paftası örneği (solda), hasar analizi paftası örneği (sağda) (Ersen ve Verdön, 2010).

Tuğlada çatlama veya şişme gibi hareket belirtileri olup olmadığı ve bu hareketlerin aktif veya pasif olma durumuna, lekelenme, tuz saldırısı, kireç sızıntısı, çiçeklenme nedeniyle tuğla renginde bozulma olup olmadığına, biyolojik büyüme ve istilacı bitki örtüsü belirtileri gibi hasar çeşitlerine bakılmalıdır (Donnelly, 2009). Ve bu hasar çeşitleri belgelenmelidir (Şekil 4.1). Tarihi binalardaki eski tuğlalardaki ayrışma izlerinin karakterizasyonu, koruma faaliyetleri veya temizlik uygulamaları planlanırken çok önemli bir görevdir (Lopez-Arce ve Garcia-Guinea, 2005).

Pişmiş kil esaslı tuğla yapılarda hasar tespiti yapılırken MDDS (Masonry Damage Diagnostic System)'den yararlanılabilir. MDDS tarihi tuğla yığma yapılarda hasar tespiti için kullanılan bir sistemdir. Sistem, kültürel mirasın korunmasından sorumlu ulusal kuruluşlar, üniversiteler ve restorasyon mimarları gibi kullanıcı gruplarına yöneliktir. Tam bir teşhis örneği verilir ve yorumlanır (Hees ve Naldini, 1995).

Sistem bir binada bulunan her durumun, bir bağlamın parçası olarak ele alınmasına yardımcı olur. Yapı, taşıyıcı sistem ve malzeme olmak üzere üç seviyede tanımlama yapabilmektedir (Şekil 4.2). Ve hasar ile ilgili olduğu düşünülen tüm bilgiler sisteme girilebilir. Bulunan hasar türünün değerlendirilmesi farklı ölçeklerde yapılabilir: Yapı ölçeğinde (bütün bir duvar olarak) veya malzeme, (tuğla, taş, sıva, döşeme harcı) ölçeğinde. Tanımlama kısmı ile entegre edilmiş hasar atlasının sayesinde, her iki ölçekte de gözlemlenen hasar tipinin doğru bir tanımı mümkündür (Lourenço ve diğ, 2014).



Şekil 4.2 : MDDS, inşaat ölçeğinde (solda) ve malzeme ölçeğinde (sağda) (Lourenço ve diğ, 2014).

Sistem, doğru hasar tipini değerlendirmenin ve gözlemlere dayalı bir hipotezle birlikte gelmenin yanı sıra, daha kesin bir teşhis için, örneğin bir duvardaki nem ve tuz dağılımı gibi ölçüm verilerinin eklenmesine de izin vermektedir (Lourenço ve diğ, 2014).

4.2 Kil Esaslı Tuğlanın Tanımlanması/Karakterizasyonu

Bu aşama malzemenin tanınmasını, karakterize edilmesini, malzemedeki bozulmaların morfolojisinin belirlenmesini ve sürecini anlaşılmasını sağlayacaktır. Onarım için seçilecek malzemeler, temizleme teknikleri, sağlamaştırıcı ve yüzey koruyucu malzemesi ve uygulama yöntemi, bütünleme malzeme ve teknikleri vb. aşamaların

karar verilmesi bu bilgiler sayesinde mümkün olacaktır. Ve her bir malzeme kendi korunmuşluk durumu ve özelliğine göre farklı deney programı gerektirebilir (Ersen ve Verdön, 2010).

Mevcut literatürde tarihi tuğlaların gözenekliliği, gözenek boyutu dağılımı ve higrik davranışı ile ilgili genel bir veri eksikliği söz konusudur. Bu kısmen, tarihi tuğlaların karakterize edilebileceği standart bir prosedürün olmamasından ve tuğla numunelerinin toplanmasındaki zorluklardan kaynaklanmaktadır (Elert ve diğ, 2003; Lourenço ve diğ, 2014).

Tarihi tuğlaların özellikleri genellikle modern tuğlalardan farklıdır ve sıklıkla yüksek gözeneklilik, yüksek su emme, düşük basınç dayanımı ve düşük elastiklik modülü ile karakterize edilirler. Bu nedenle modern malzemeler kimyasal, fiziksel veya mekanik açıdan uygun olmayabileceğinden, tarihi tuğlanın karakterizasyonu; hasarı anlamak, güvenliği değerlendirmek, koruma önlemlerini tanımlamak ve hatta mevcut malzemeleri yeniden kullanma veya değiştirme konusunda karar vermek için önemlidir (Lourenço ve diğ, 2014).

Tarihi kil esaslı pişmiş tuğlalar incelenirken ayrışma mekanizmaları (çatlama, soyulma, çiçeklenme vb.), malzemenin yaşlanması gibi uzun vadeli etkiler ile ilgili parametreler göz önünde bulundurulmalıdır. Atmosferik etkenler, bu etkilerin yoğunluğunu artırmaktadır. Atmosferik ve uzun vadeli etkiler nedeni ile eski kil esaslı pişmiş tuğlaların günümüzde sergilediği özellikler her zaman orijinal malzeme özelliklerini temsil edemez. Fakat yine de fiziksel, mekanik, kimyasal ve mineralojik parametreler, eski kil esaslı pişmiş tuğlaların dayanıklılığının ve direncinin değerlendirilmesinde rol oynar (Fernandes ve diğ, 2010; Lourenço ve diğ, 2014).

Kil esaslı tuğlanın özelliklerinin belirlenmesi için yapılacak deneyler bölümünde yöntem için bütün deneyler açıklanmıştır ve bu kısımda kısaca hangi deneylerin ne zaman uygulanması gerekliliğinden bahsedilecektir.

4.2.1 Tahribatsız deneyler (bina yerinde yapılan deneyler)

Kil esaslı tuğla malzemesindeki hasar tipi ve nedenlerinin anlaşılması için laboratuvara gönderilmeden önce binanın yerinde, “Tahribatsız (Yerinde Yapılan/In situ) Analizler” bölümünde anlatılan analizler gerçekleştirilir. Bu analizler tuğlaların karakterizasyonu için yeterli olmamakla birlikte, laboratuvar deneyleri öncesinde genel bir veri alınması açısından faydalıdır.

4.2.2 Örnek alma

Deneysel süreç numunelerin alındığı saha aşamasından başlamaktadır. Laboratuvarda deneylerin yapılma aşamaları kadar numune alma prosedürü de önemlidir. Koruma sırasında dikkat edilmesi gereken sorular: “Numune ne zaman, hangi koşullarda, hangi araçlarla, ne kadar miktarda, hangi boyutlarda, nereden alınmalı, numuneler hakkında neden analiz yapılmak isteniyor?” şeklindedir. Özellikle hem uygulanacak tekniklerin hem de sonuçta alınan verilerin tekrarlanabilir olması gerektiği unutulmamalıdır (Borrelli ve Urland, 1999).

Tarihi yapılarda gerçekleştirilecek analizler için örnekler, yapıdaki özgün malzemelerin bulunduğu kısımlardan gerekli miktarlarda (ilgili testler için, yönetmelik veya standartların belirlediği ölçülerde) ve hasar durumuna göre sistematik olarak alınmalıdır (Ersen ve Verdön, 2010; KUDEP, 2011). Eğer gerekli görülürse yapının onarım görmüş kısımlarından da tuğla örneği alınmalıdır (KUDEP, 2011).

Binadan bu testler için yeterli ölçüde karot cihazı yardımı ile örnek alınmalıdır. Pişmiş tuğla harç ile çalışan bir malzeme olduğu için örneklerin içine harç ile birlikte alındığı da eklenmelidir. Görsel analiz sonuçlarına göre hem bozulan dış yüzeyden hem de korunmuş iç yüzeyden örnek alınmalıdır. Alınan numune miktarı gerekli olan test analizlerine göre değişecektir. Ancak yine de örnekler en az 3 mümkünse beş adet veya 40 – 100 gram arasında olmalıdır. Eğer bu mümkün değilse yapının elverdiği ölçüde alınabilir. Örnek alınan yerler mutlaka sistematik olarak analitik rölöve üzerinde işaretlenmelidir (Ersen ve Verdön, 2010; KUDEP, 2011).

Tuğla özellikleri genellikle bir bütün veya yarım tuğla üzerinde belirlenir ve bildirilen değerler aslında tüm tuğla için ortalama değerlerdir. Tuğla yüzeyinden iç kısmına kadar farklı noktalardan numune alınması, farklı gözenek yapıları dahil olmak üzere farklı özellikler gösterecektir (Robinson, 1982).

4.2.3 Tahribatlı deneyler (laboratuvar deneyleri)

Kil esaslı pişmiş tuğlanın karakterizasyonu için yerinde yapılan testlerden sonra, uygun metot ve yerlerden alınan numuneler, incelenmesi için laboratuvar ortamına getirilir. Bu deneyler Laboratuvar Analizleri bölümünde anlatılmıştır ve şu başlıklar altında incelenmektedir:

- Spot ve Basit Deneyle
- Petrografik, Mineralojik ve Kimyasal Analizler
- Fiziksel Özelik Analizleri
- Mekanik Özelik Analizleri

Pişmiş tuğlanın bozulma morfolojisini anlamak, karakterizasyonunu anlamak ve üretim özelliklerini (hammadde, karışım oranları, pişme sıcaklığı) belirlemek için yapılan testlerdir. Kil esaslı pişmiş tuğla malzemeye koruma uygulamaları yapılmasına karar vermeden önce, malzemenin hakkında bu bilgileri elde etmek hayati önem taşımaktadır. Böylece koruma uygulanacak malzeme daha iyi tanınır, yapılacak müdahalenin seçimi hakkında daha doğru bir sonuca ulaşılabilir. Yeni tuğla üretilmesi gereken durumlarda bu deneylerden alınan verilerden faydalanılır. Ayrıca uygulanan müdahaleden öncesinde ve sonrasında malzeme özelliklerinin karşılaştırılabilmesi böylece yapılan müdahalenin performans gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını anlaşılması için gereklidir. Bu deneyler “Kil Esaslı Pişmiş Tuğlanın Özelliklerinin Belirlenmesi için Yapılan Analizler” kısmında anlatılmıştır.

4.3 Değerlendirme-Yapılacak Koruma Uygulamasına Karar Verme

Bu aşama işlem uygulanmamış kil esaslı pişmiş tuğla malzeme için elde edilen veriler çerçevesinde, nasıl bir yol izleneceğine karar verilecek olan aşamadır. Sorunların çözülmesi için mevcut olasılıklar düşünülmeli, uygulanacak koruma yöntemleri her yönü ile tartışılmalıdır (KUDEP, 2011). Tuğla malzemesine yönelik iyileştirme çalışmaları, bozulma nedenlerinin kapsamlı bir analizi ele alınarak dikkatlice seçilmelidir (Lynch, 1994). Sonuç olarak en az müdahale ile en iyi korunma sağlanması hedeflenmelidir. Bu müdahalelerin mümkün olduğunca minimum seviyede tutulması demektir. Korunacak tuğlanın her durumu özel bir çözüm gerektirecektir ama tuğlayı söküp yenisi ile değiştirmek yerine yerinde onarmak her zaman birincil amaç olmalıdır (Donnelly, 2009).

Yeterli ön araştırma verileri olmadan ve bu veriler yeterince değerlendirilip üzerine düşünülmeden onarıma geçilmesi durumunda kötü sonuçlar meydana gelecektir. Bu nedenle araştırma ve değerlendirme aşamaları üzerinde özenle durulmalıdır. Bu aşamada üç yöntem söz konusudur:

- Mevcut tuğla alternatiflerinin kontrol edilmesi
- Kil esaslı tuğlanın sağlamlaştırılması
- Kil esaslı pişmiş toprak tuğlasının eskiye sadık kalarak yenilenmesi (Eski ile uyumlu yeni tuğlanın üretilmesi)

4.3.1 Mevcut tuğla alternatiflerinin kontrol edilmesi

Tarihi yapıda özgünlüğün korunması ilk amaç olduğu için öncelikle var olan tuğlanın, hiç işlem görmeden korunabilmesi mümkün olup olmadığına bakılmalıdır. Bunun için ikinci el tuğla kaynağı olup olmadığına, tuğlanın tersine çevrilmesi yönteminin yeterli olup olmadığına ve eğer mümkünse binanın kaynak olarak kullanılıp kullanılmayacağına bakılmalıdır. Eğer tuğla alternatiflerinin kullanımı mümkün değilse, malzemenin sağlamlaştırma ile korunup korunamayacağına bakılır. Fakat binada malzeme eksikliği söz konusu ise veya tuğla sağlamlaştırma ile korunamayacak kadar hasar gördüyse o zaman yeni tuğla üretimine başvurulacaktır. **İkinci el tuğlalar**

Bazen uygun ikinci el tuğlalara ulaşmak söz konusu olabilir. Bunun için yerel gözlem ve araştırma yapmak gerekecektir. İkinci el tuğlalar özellikle dış hava koşullarına ilişkin olarak, değiştirme amaçlarına uygun olduklarından emin olmak için her zaman dikkatli bir şekilde incelenmelidir. Eğer kullanılacak ikinci el tuğlalar eskimiş, yıpranmış, yıkım veya taşıma evresinde ciddi hasar görmüş ise bu tuğlalar tercih edilmemelidir. Ve baca gibi kirlili bir kaynaktan gelmemesine dikkat edilmelidir. Bu nedenle izlenebilir kaynaklar seçilmelidir. Kullanılacak ikinci el tuğlaların gerekli testleri ve ölçümleri yapılmalı (kalite ve tuz içeriği gibi), eğer orijinal tuğla ile uyumlu özellikler sergiliyorsa o zaman tercih edilmelidir (Lynch, 1994; BS, 2000; Donnelly, 2009).

4.3.1.2 Tuğlanın tersine çevrilmesi

Bu teknik, hasarlı ve yıpranmış tuğlaların, dikkatlice kesilerek, harcı temizlenerek, duvara ters konuma getirilip tersine yerine yerleştirilmesi işlemidir (Lynch, 1994; BS, 2000; Donnelly, 2009). Aynı hasar süreci, tuğlanın diğer yarısında da, dış etkilere maruziyet durumunda benzer şekilde gerçekleşeceğinden, kalitesiz ve dayanımı az tuğlaların tersine çevrilmesi gereksizdir. Bu yöntem emek gerektiren bir süreçtir ve pratikte çok nadiren gerçekleştirilir. Tuğlaya yapışan harcın temizlenmesi için

hidroklorik asit kullanılabilir ama tuğlalar asitle muamele edilemeden önce temiz su ile iyice yıkanmalı sonrasında da ıslatılmalıdır (Lynch, 1994; Donnelly, 2009).

4.3.1.3 Binanın kaynak olarak kullanılması

Çok nadir durumlarda alternatif tuğla değiştirmek için kaynak olarak binanın kendisi kullanılabilir. Büyük ölçüde değiştirilmiş başka bir kısımdan, ihmal edilmiş müstemilatlardan, ya da yıkılmış sınır duvarlarından tuğlaları çıkarmak gerekebilir. Ama hiçbir koşulda tarihi ve arkeolojik öneme sahip bina ve malzeme kullanılmamalıdır. Bu tür tuğlaların orijinal konumlarından çıkarılması uzman gözetimi ve değerlendirmesi altında yapılmalıdır (Lynch, 1994; Donnelly, 2009).

4.3.2 Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasına yüzey işlemlerinin uygulanması

Mimari mirasın korunması kapsamında eskime ve hasar oluşumu süreçlerini geciktirmek için çeşitli yüzey işlemleri yapılabilir (BS/EN, 2014). Mimari yüzeylerin korunmasına yönelik işlemler dizisinin ana adımları şunlardır (Torraca, 2009):

- Temizlik
- Sağlamaştırma (konsolidasyon)
- Koruma

4.3.2.1 Pişmiş kil esaslı tuğlanın temizlenmesi

Bir duvarın temizlenmesinin amacı en genel olarak alt tabakaya zarar vermeden yüzey kirleticilerini temizlemektir. Temizliğin gerekli olup olmadığına ilişkin dikkatli bir değerlendirme için çok sayıda sorunun cevaplanması gerekmektedir (Slaton ve Normandin, 2005).

- Duvarın neden temizlenmesi gerekiyor?
- Duvar temizlenirse (veya temizlenmezse) bozulur mu?
- Bina zarar görmeden temizlenebilir mi?

Bu sorular yanıtlanıp, temizlik için kullanılacak uygun yöntem ve tekniklerin seçimine dikkat edilse bile bir başka önemli soru hala ortadadır:

- Ne kadar temiz yeterince temizdir?

Bu soruların çoğunun cevabı özellikle alt tabaka özelliklerine ve kirin yapısına bağlıdır (Slaton ve Normandin, 2005).

Bir malzemenin korunma uygulamasından önce temizlenmesi; zararlı, istenmeyen ve potansiyel olarak tehlikeli maddelerin (örn. çözünür tuzlar) veya önceki uygulamaların malzemedan uzaklaştırılması, yüzeyin yoğun kirli olduğu durumlarda gizli kusurların açığa çıkarılması, gelecekteki uygulamalar için yüzeyin hazırlanması gibi nedenlerden uygulanmaktadır (Warren, 1999; Slaton ve Normandin, 2005; Torraca, 2009; BS, 2012). Fakat tuğlalar veya binanın diğer bölümleri iyi bir neden olmadığı sürece temizlenmemeli, sadece bozulmayı durdurmak ve ağır kirleri çıkarmak için gerektiğinde temizlenmelidir (Warren, 1999; Slaton ve Normandin, 2005).

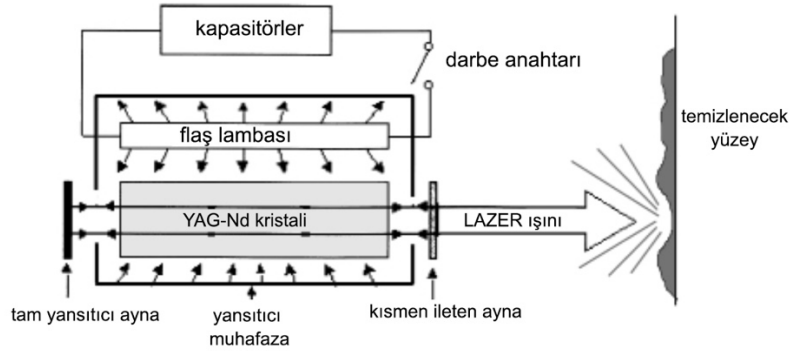
Temizleme tekniği aşağıdaki kriterlere göre seçilmelidir (Fassina, 1993):

- Uygulanacak binaya doğrudan veya dolaylı zarar vermemelidir. Orijinal malzemedan yüzey kaybı olmamalıdır.
- Gelecekte uygulanacak koruma yöntemlerini etkileyecek yan ürünler (örn. çözünür tuzlar) üretmemelidir.
- Malzemenin yüzeyinde güçlü aşınmalara, mikro çatlaklara veya başka herhangi bir süreksizliğe neden olmamalıdır. Çünkü bunlar yeni bozulma süreçlerini başlatabilir.
- Operatörün temizlik sırasında, rahatça ayarlayabilmesi için hızları kontrol edilebilir olmalıdır.

Bazı durumlarda birden fazla temizlik türü kullanmak gerekebilir. En uygun yöntemin seçimi: Altlığın kimyasal ve mineral yapısına, gözenekliliğine, hasar durumuna ve kaldırılacak kirin türüne ve miktarına, malzemenin bulunduğu yapı tekniğine, konumuna, iklim koşullarına ve işlevine, yeniden kirlenme riskine bağlıdır (Fassina, 1993; BS, 2012). Bunun yanı sıra koruma gereklilikleri, çevresel kısıtlamalar, özel uygulama gereklilikleri ve maliyet de göz önünde bulundurulmalıdır, mümkün olan en nazik yöntem seçilmelidir (Slaton ve Normandin, 2005).

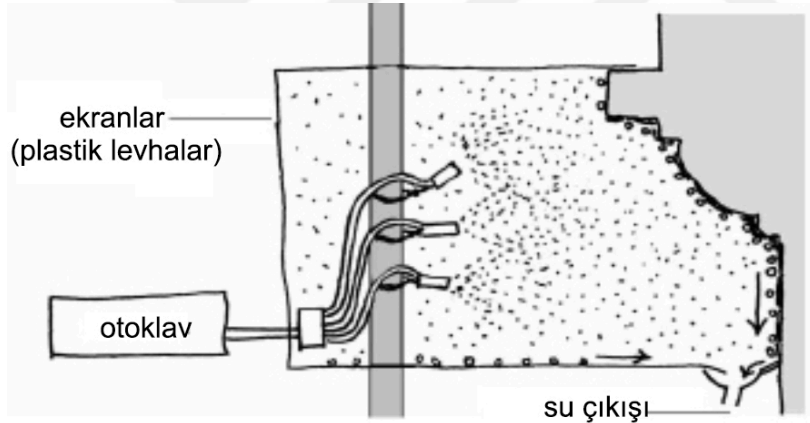
Tuğla yüzeylerin temizliği için mevcut yöntemler arasında, emici malzemeler ile kuru ovma, su jeti ile temizlik, vakumlu temizleme, buharlı temizleme, mekanik fırçalama (kuru veya ıslak), deterjanlar, kimyasal veya diğer çözücüler kullanılarak yıkama, lazer (Şekil 4.3) ve ultrasonik gibi özel teknikler yer alır. Bu yöntemlerin arasında

mekanik aşınma yöntemi olan kum püskürtme yer almaz çünkü bu teknik tuğlanın, pişmesi ile oluşan sert yüzeyini bozup küçük kırıklar içeren bir yüzey bırakır (Warren, 1999; Donnelly, 2009).



Şekil 4.3 : Lazer ile temizleme şeması (Torraca, 2009).

Son kullanılan teknikler, atomize su ile yıkama (Şekil 4.4), kimyasal absorblayıcı jeller, kontrollü mikro boyutlu özel agregalarla kumlama (Ersen, 2013).



Şekil 4.4 : Atomize (Nebülize) su ile temizleme şeması (Torraca, 2009).

Temizliğin başlıca riskleri, orijinal malzemenin zarar görmesi ve detay kaybı; uygun olmayan mekanik araçlar kullanıldığında kırılabilir malzemelerde çatlakların oluşması; kimyasal temizliğin sonucu olarak (uygun olmayan reaktiflerin seçimi veya karıştırılması) duvarın renginin değişmesi ve başlangıçta mevcut olandan daha kötü lekelenme oluşması, yeni hasarların meydana gelmesine neden olacak çözünür tuzların oluşumu. Hiçbir temizlik işlemi hasar riskinden tamamen muaf değildir (Robinson, 1982; Torraca, 2009).



Şekil 4.5 : Uygun olmayan aşındırıcı temizlik ile koruyucu yüzeyini kaybetmiş ve bozulmaya karşı savunmasız hale gelmiş tuğla örneği (Donnelly, 2009).

Tarihi bir pişmiş kil esaslı tuğla duvara temizleyici uygulamadan önce , kil tuğlaların yüzey dokusu, gözenekliliği, rengi ve sertliğindeki farklılıklar belirlenmeli, bileşenler ve harç derzlerinin durumu, gerekli olacak işlemin kapsamı, tarihi yüzeyin ne ölçüde değiştirilmek istendiği değerlendirilmelidir (Warren, 1999; BS, 2012). Yeterli pişme sıcaklığında üretilmeyen tuğlalar, uygun şekilde pişirilmiş tuğlalara göre aşınma ve kimyasal reaktiflerden daha çok etkilenecektir (Robinson, 1982). Tuğlalarda, özellikle aşındırıcı teknikler kullanılırsa orijinal yüzeylerini kaybedebilir ve onarılamaz bir duruma gelebilir (Şekil 4.5) (Warren, 1999).

Su bazlı temizleme yöntemleri gerekirse yumuşak bir fırça kullanarak hafif fırçalama ile yalnızca gevşek şekilde yapışmış birikintileri çıkarmak için kullanılmalıdır. Pişmiş kil esaslı tuğlada, atmosferik etkilerden kaynaklanan birikintiler genellikle suda çözünmezler. Bu nedenle kimyasal veya ıslak aşındırıcı teknikler kullanılmalıdır. Hava ile aşındırma teknikleri, yumuşak veya kırılğan tuğlalar üzerinde kullanılmamalıdır. Tuğlalar üzerinde konsantre hidroflorik asit bazlı temizleyiciler kullanılmamalıdır. Tuğla temizliğinde kimyasal ve havayla aşındırıcı temizleme yöntemleri kullanılabilir ancak gerekli önlem prosedürlerine uyulmalıdır (BS, 2012).

Tarihi tuğla işçiliğinde eskime belirtileri ve zamanın patinası genellikle tarihi tuğla işçiliğinin karakterinin bir parçasıdır ve temizlik işlemleri bunu ortadan kaldırır. Aşınmış, kirli ve kararmış yüzeylerin, kusurları veya uygun olmayan onarımları gizlediği zamanlar da vardır. İkinci durumda, daha önceki hataları düzeltmek için çalışma dikkatli bir şekilde planlanmadıkça, temizlik mantıklı bir yaklaşım olmayabilir. Fakat tuğla yüzeyinde yıllarca farklı atmosferik nedenlerden oluşan sert kabuğun tarihi dokuya zarar verme ihtimali vardır ve dikkatlice temizlenmesi gerekmektedir. Ayrıca onarımların önerildiği bazı durumlarda, tuğlanın orijinal renginin doğru onarım malzemeleriyle tam olarak eşleşmesini sağlamak için önceden temizlik yapılması gerekebilir (Warren, 1999; Donnelly, 2009).

Yüzey temizleme uygulaması temizleme yöntemine karar verildikten sonra, duvarda yüzey temizleme testleri gerçekleştirilmeli, temizlemenin etkinliği, duvarda kabul edilemez renk değişimine veya hasara neden olup olmadığı gözlemlenmelidir (Robinson, 1982; Slaton ve Normandin, 2005; BS, 2012). Biyolojik aktivasyonların temizlenmesi için mekanik temizleme yöntemleri ile birlikte biyosidal etkiye sahip kimyasal temizleyiciler kullanılmaktadır (Slaton ve Normandin, 2005; Doehne ve Price, 2011).

4.3.2.2 Tuzdan arındırma (desalination)

Temizleme ve sağlamlaştırma prosedürlerinin arasında genellikle tuğlaları tuzdan arındırmak gereklidir (Radu ve Doni, 2020). Öncelikle malzemenin bünyesindeki tuz miktarının ve çevresel koşullar hakkında gerekli araştırmaların yapılması gerekmektedir. Teorik bir bakış açısından, bir bina duvarından suda çözünür tuzların uzaklaştırılması farklı yöntemlerle mümkün olmaktadır (Fassina, 1994). İlk yöntem tuğlanın tuzsuz su ile yoğun yıkanmasıdır. Bu yöntemin sorunu tarihi duvarın çok fazla suya maruz kalması ve bu nedenle bozulmaya uğrayabilmesidir. Diğer yöntem lapa uygulamasıdır. Bu yöntemde tuzu alınacak yüzeye genellikle ham maddesi kil veya selüloz olan ıslak lapa sürülür ve kurumaya bırakılır. Böylece tuzlar malzeme bünyesinden ıslak lapanın bünyesine göç eder. Ve lapa kurduğunda içerdiği tuzlarla birlikte fırçalanıp malzemenin yüzeyinden uzaklaştırılır (Fassina, 1994; Ottosen ve Christensen, 2012). Diğer yöntem elektro-göç ile (elektroliz, elektrodializ, elektrokinetik, elektrokimyasal yöntemler) tuğlanın tuzdan arındırılmasıdır. Bu yöntem tarihi duvarların korunmasında ara ara kullanılmakla birlikte, elektrik sistemlerinin pratik uygulamada zorluk çıkarması söz konusudur (Fassina, 1994). Fakat tuğlaların elektrokinetik ile tuzdan arındırılması hakkında yapılan laboratuvar ölçeğindeki çalışmalarda başarılı sonuçlar alınmıştır ve tuğla duvarın tuzdan arındırılması hakkında pilot ölçekte cesaret verici sonuçlar elde edilmiştir (Ottosen ve Röriğ-Dalgård, 2007; Ottosen ve Röriğ-Dalgaard, 2009; Ottosen ve Christensen, 2012). Bunlara ek olarak difüzyon, vakum/su basıncı ile tuz çıkarma, oda sıcaklığında müdahale ederek tuzları çözünmez hale getirmek için baryum bileşiklerinin kullanılması, mikrobiyolojik reaksiyonları veya mikrodalga fırınları içeren yöntemlerin kullanılması, kalsiyum hidroksit çözeltisi, kristalleşme düzenleyiciler (ferrosiyanürler, boraks, vb.) veya diamonyum hidrojen fosfat kullanımı da alternatif olarak denenilen yöntemlerdir (Radu ve Doni, 2020; Manohar ve Santhanam, 2021).

4.3.2.3 Pişmiş kil esaslı tuğlanın sağlamlaştırılması

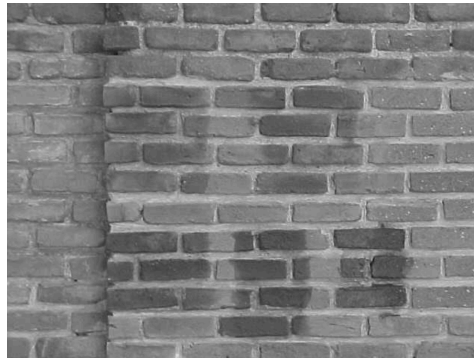
Kil esaslı tuğlanın sağlamlaştırılması aşamaları üretim öncesi, üretim sırası ve üretim sonrası olmak üzere “Kil esaslı pişmiş tuğla malzemenin sağlamlaştırılması” bölümünde incelenmiştir. Yerinde gözlem, tahribatsız ve laboratuvar deneylerinden gelen bilgiler ışığında, tuğla malzemesinin hasar görmüş kısımlarının özellikleri sağlamlaştırma ile orijinal malzemeye uyum sağlayacak seviyeye gelebilirse, yeni tuğla üretiminden önce sağlamlaştırma tercih edilmelidir. Bu sayede özgün malzeme değiştirilmeden, yeni tuğla üretimi için hammadde ve enerji harcanmadan tarihi yapı korunmuş olacaktır.

Sağlamlaştırıcı uygulanacak malzeme, uygulama öncesinde ortam, karar verme parametreleri ve yüzey hazırlık gereksinimleri açısından değerlendirilmelidir. Bunun sonucunda alınan kararlar neticesinde uygulanacak sağlamlaştırıcı ve yöntemi seçilmelidir (ASTM, 2008).

Sağlamlaştırıcının etkinliğinin değerlendirilmesi

Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasına sağlamlaştırıcı uygulanmadan önce etkinliğinin anlaşılması için çeşitli analizler yapılmalıdır. Bu analizler yerinde (in situ) ve laboratuvar deneyleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır (ASTM, 2008).

Yerinde test (In situ test): Yapılacak sağlamlaştırıcı müdahalesinin tüm alana uygulanmadan önce, yapıda temsili bir alanda, sağlamlaştırıcının ve uygulama yönteminin performansını değerlendirmektir (Şekil 4.6). Sağlamlaştırıcının performansı değerlendirilmeden önce, işlem gören alanın en az bir yıl boyunca hava almasına izin vermeleri gerekmektedir. İstenildiği takdirde birden fazla sağlamlaştırıcı kimyasal da denenebilir. Fakat korumacıların, sağlamlaştırıcı işlemlerinin bir kısmının geri döndürülemez olduğunu unutmamaları gerekmektedir (ASTM, 2008).



Şekil 4.6 : Sağlamlaştırıcının yerinde test edilmesi (Sánchez de Rojas ve diğ, 2004).

Test alanının konumunun belirlenmesi: Sağlamaştırıcı uygulanacak test alanı seçiminde, tuğlanın maruz kalacağı çeşitli çevre koşullarını temsil edecek bir bölge seçilmesine dikkat edilmelidir. Ve işlem uygulanacak alana benzer özelliklerdeki bir alan kontrol için işlem görmeden bırakılmalıdır. Test alanı seçilirken dikkat edilmesi gerekenler (ASTM, 2008):

- Tuğlanın mevcut durumu (Yüzeyde birikme ve bozulma var mı, varsa türü, derinliği?)
- Tuğlanın performansını etkileyecek mimari özellikler
- Hâkim hava koşullarına maruz kalma
- Test edilecek malzemenin tarihsel ve sanatsal önemi

Test alanının hazırlanması:

- Dokümantasyon: Test alanında, tuğlaya sağlamaştırıcı uygulanmadan önce, tuğlanın durumu, kontrol alanı ve işlem uygulanacak alan fotoğraflarla (geniş formatlı veya stereo), eskizlerle ve notlarla belgelenmelidir (ASTM, 2008).
- Başvuru Prosedürleri: Test alanlarında, uygulanacak prosedürün tüm yapıda uygulanacak prosedür ile aynı olmasına dikkat edilmelidir. Örneğin yapıda temizleme veya su itici uygulanması yapılacaksa test alanında da aynı işlemler aynı sıra ile uygulanmalıdır (ASTM, 2008).

Test Alanına Sağlamaştırıcı Uygulanması: Test alanına sağlamaştırıcı uygulaması yapılırken tüm yapıda kullanılacak aynı malzeme ve uygulama yöntemi olmasına dikkat edilmelidir. Seçilen sağlamaştırıcıya göre test alanı, işlem sırası ve sonrasında yağmur veya güneşten korunması gerekebilmektedir (ASTM, 2008).

Test Alanının Değerlendirilmesi:

- Sağlamaştırıcı Tüketimi: Tuğlanın birim yüzey alanında kullanılan sağlamaştırıcı miktarı, öncelikle işlem için gerekli miktarı hesaplayabilmek, ikinci olarak da istenilen oranda sağlamaştırıcının işlem sırasında uygulanıp uygulanmadığını kontrol etmek için belirlenir (ASTM, 2008).
- Yerde Değerlendirme: Sağlamaştırıcı test alanına uygulandıktan hemen sonra ve bir yıllık mevsimsel döngüden sonra veya koruma uzmanının belirlediği zaman dilimlerinde gerçekleştirilir. İşlem görmüş alan ile, kontrol

için bırakılan test alanı görünüm üzerinde herhangi olumsuz bir durum olup olmaması üzerinden karşılaştırılır (ASTM, 2008).

- Test Alanının Laboratuvar Analizi: Laboratuvar analizi, saha performansının laboratuvar sonuçları ile tutarlı olup olmadığı doğrulanmak istenildiğinde gerçekleştirilir. Bu testler: penetrasyon derinliği, su buharı geçirgenliği, su emme analizi, petrografik inceleme ve sem analizi olabilir (ASTM, 2008).

Laboratuvar analizleri: Malzeme üzerine uygulanacak sağlamlaştırıcı kimyasala ve yöntemine karar vermeden önce etkinliğinin anlaşılması için laboratuvar deneyleri uygulanmalıdır.

İşlem görmüş tuğlanın tanımlanması: İşlem görmemiş tuğlanın karakterizasyonu için yapılmış olan fiziksel, kimyasal, mekanik, petrografik, mineralojik ve kimyasal deneyler, işlem gördükten sonraki numuneye de sistematik bir şekilde uygulanmalı ve sonuçlar karşılaştırılmalıdır. İşlemin numunelere uygulama yönteminin, yapının yerinde uygulanabilir olmasına özen gösterilmelidir (ASTM, 2008).

Sağlamlaştırıcı uygulanan numunelerin durabilitesinin belirlenmesi (Eskitme Deneyleri): Sağlamlaştırıcı uygulanan numunelere, zaman içerisinde geçireceği değişimleri analiz edebilmek için eskitme deneyleri uygulanmalıdır. Tuz kristalizasyonu, ıslanma kuruma deneyi, donma çözünme ve kükürt-dioksite dayanım deneyleri sonucunda sağlamlaştırıcı yöntemlerinin etkinliği, dayanım süresi ve kullanılan kimyasal malzemenin uygunluğu hakkında fikir sahibi olmak mümkün olacaktır.

Değerlendirme: Uygulanacak sağlamlaştırıcı malzemenin etkinliğinin anlaşılabilmesi için, in situ analizinden gelen veriler ve işlem görmüş tuğlalara uygulanan laboratuvar analizlerinin, işlem görmemiş tuğla analizleri ile karşılaştırılması ile elde edilen veriler değerlendirilir. Sağlamlaştırıcının etkinliği için bakılması gereken parametreler, pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının sağlamlaştırılması bölümünde, uygulama sırası başlığı altında tartışılmıştır. Eğer deney sonuçlarında bu parametrelerin uygunluğu tespit edilirse o zaman, sağlamlaştırıcı korunması amaçlanan malzemeye yerinde uygulanabilir. Yerinde uygulama yönteminin laboratuvar analizlerinde kullanılan yöntem ile aynı olmasına mutlaka dikkat edilmelidir.

Teoride bir sağlamlaştırıcıdan bütün parametrelerde iyileştirme sağlaması beklenirken pratikte bu pek mümkün gözükmemektedir. Bu durumda sağlamlaştırıcının birincil gereksinimlerde iyileştirme sağlaması hedef olarak belirlenmelidir. Tuğlada sağlamlaştırma sırasında beklenen birincil performans parametreleri, belirli uygulamadan bağımsız olarak konsolidasyonların yerine getirmesi gereken değişmez performans gereksinimlerinden oluşur. Kalan kategoride ikincil performans gereksinimleri vardır. Bunlar, bir konsolidasyona belirli bir uygulama ile dayatılan gereksinimlerdir. Birincil gereksinimler; sağlamlaştırma değeri, işlenmiş tuğlanın durabilitesi, penetrasyon derinliği, işlenmiş tuğlanın gözenekliliği, nem transferi, buhar transferi, tuğla ile fiziksel kimyasal uyumluluk ve görünüm üzerindeki etkisidir (Clifton, 1980; BS, 2000). Ve bir sağlamlaştırıcı ürün, tuğlaya uygulandıktan sonra bu birincil gereksinimlerde iyi sonuçlar verdiği takdirde, tuğla iin uygun olduğundan bahsedilebilir.

Sağlamlaştırıcı uygulanan pişmiş kil esaslı tuğlasının penetrasyon derinliği işlem görmüş numunelerin, kırılarak, deiyonize su ile yıkanarak ve sonucunda görsel olarak incelenip değerlendirilebilir. İşlenmiş bölge hidrofobik ve kuru olduğu iin aık renginden tahmin edilebilmektedir (Graziani ve diğ, 2016). X-ışını floresans spektrometresi (XRF) ile birlikte evresel Taramalı Elektron Mikroskopu (ESEM), EDS analizi ve FT-IR analizi kullanılarak da penetrasyon derinliği belirlenmektedir (Franzoni ve diğ, 2014). İşlem görmüş tuğlanın gözenek özellikleri cıva intrüzyon porozimetrisi (MIP) ve su emme deneyleri ile incelenmektedir (Franzoni ve diğ, 2014; Graziani ve diğ, 2016; Cultrone ve Snchez-Ibanez, 2018). İşlem görmüş tuğlanın mikro yapısı, yani altlık ve sağlamlaştırıcı etkileşimleri, XRD (X-ışını Kırınım), ESEM görüntüleri, EDS analizi, FT-IR analizi ile incelenmektedir (Franzoni ve diğ, 2014; Cultrone ve Snchez-Ibanez, 2018). İşlem görmüş tuğlanın durabilitesinin değerlendirilmesi iin genellikle tuz kristalleşmesine dayanım testleri yapılmaktadır (ASTM, 2008; Alejandre ve Villegas, 2009; Cultrone ve Madkour, 2013; Graziani ve diğ, 2016; Cultrone ve Snchez-Ibanez, 2018).

4.3.2.4 Pişmiş kil esaslı tuğlaya yüzey koruyucuların uygulanması

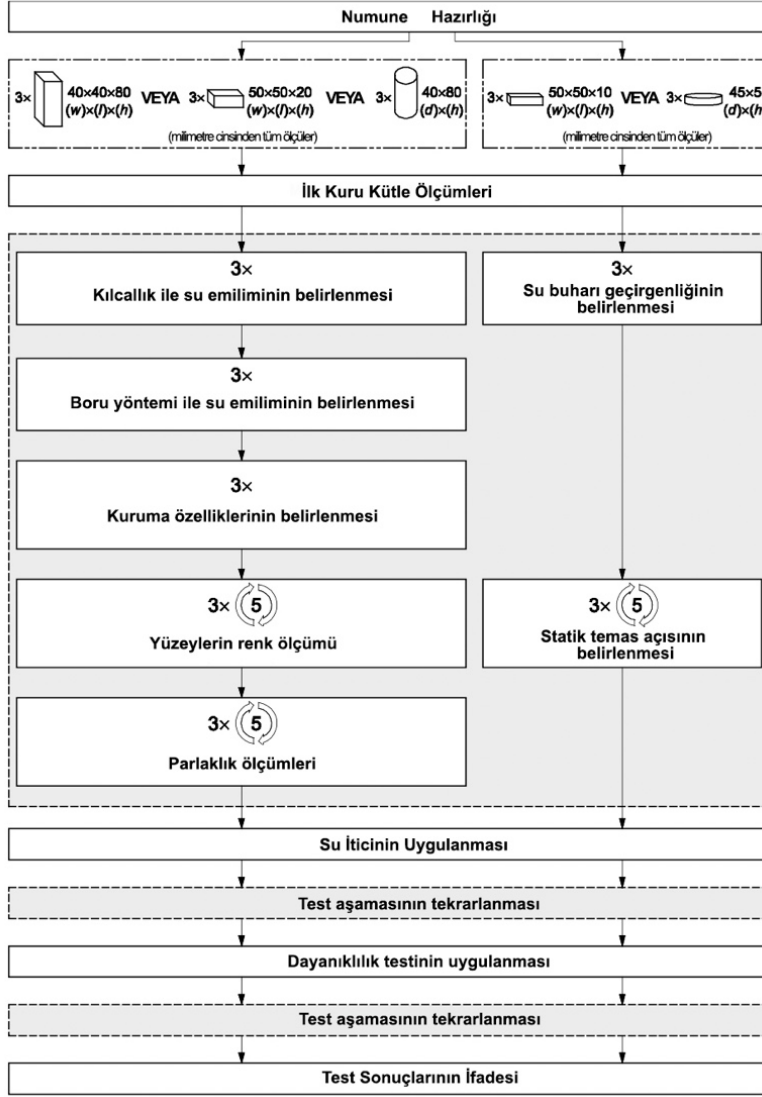
1970'den beri sağlamlaştırıcılar ile yüzey koruyucuların tek ürün ile başarılması iin araştırmalar yapılmaktadır. Fakat günümüzde bu iki hedefin aynı anda gerekleştirilmesi iin ürünler olmasına rağmen sağlamlaştırma ve yüzey koruma

uygulamalarının birbirinden ayrı ve ardışık olarak yapılmaları daha iyi sonuçlar vermiştir. Ve yüzey koruyucuların belirli aralıklarla (örn. 5-10 yıl) yenilenmeleri uygun görülmektedir (Ersen, 2013).

Bir su iticinin temel amacı, suyun ve suda çözünen maddelerin gözenekli malzemeye nüfuz etmesini, malzemenin yüzey özelliklerini değiştirerek azaltmaktır. Su itici, altlığın yüzeyine uygulanır ve malzemenin gözeneklerine nüfuz eder. Su iticinin penetrasyon derinliği, malzemenin kılcal özelliklerine, hidrofobik özelliklerine, yüzeyin nem içeriği ve sıcaklığına, uygulamanın türüne ve süresine bağlıdır (BS/EN, 2014). Ancak genellikle 3 mm penetrasyon derinliği elde edilir (BS, 2000). Su iticilerin yerinde uygulama yöntemleri arasında fırçalama, püskürtme, daldırma, kılcal yükselme ile emilim (capillary rise absorption) ve lapa yer almaktadır (BS/EN, 2014).

Su iticiler uygulandıkları altlığın buhar geçişini engellememeli yani su buharı difüzyon direnç faktörünü artırmamalıdır (BS, 2000; Ersen, 2013). Bunun yanısıra altlığın renginde ve parlaklığında mümkün olduğunca değişime neden olmamalı, uygulamadan sonra zararlı ürünler üretmemeli, altlığın fiziksel ve kimyasal stabilitesini korumalıdır (BS/EN, 2014).

Yüzey koruyucu ve su iticilerde, sonuçlar, uygulanacak altlığın fiziksel, petrografik özelliklerine, yüzeydeki erozyon derecesine, malzemenin bünyesinde suda çözünür tuzların varlığına da bağlıdır. Çürümüş ve ufalanan duvarlarda, nemin yükseldiği veya işlenmiş yüzeyin arkasında tuzların birikme olasılığı bulunan yerlerde su itici kullanılmamalıdır. Su itici uygulamasına karar verildikten sonra, uygunluğu yerinde (sahada küçük bir alanda deneme yapılarak) ve laboratuvar deneyleri ile kontrol edilmelidir. Su iticilerin performans, gözenekli malzemelerde performans değerlendirilmesi için takip edilebilecek metod Şekil 4.7'de verilmiştir. Fakat laboratuvar içerisindeki kabul edilebilir performans, her durumda uygulamanın kapsamlı bir şekilde onaylandığı anlamına gelmemektedir. Su iticinin uygulanacağı malzemenin kendi özel bağlamında (maruz kalma, tuz içeriği, su girişi ile ilgili sorunlar, ortam özellikleri) iyi araştırılması gerekmektedir (Lynch, 1994; BS, 2000; Ersen, 2013; BS/EN, 2014). Su iticilerin, uygulama yapılacak altlığın içinde bulunduğu ortamı temsil eden durabilite deneylerine (hafif ışınlama, donma ve çözülme, ıslanma ve kuruma, termal döngüler, tuz kristalizasyonu, kirletici madde simülasyonu, biyolojik büyüme vb.) maruz kaldığında uygun dayanıklılık göstermesi beklenmektedir (BS/EN, 2014).



Şekil 4.7 : Önerilen deney süreci için akış diyagramı (BS/EN, 2014).

Su iticilerin, tuğla duvar yüzeyine bölgesel uygulanması sonucunda düzensiz bir görünüme neden olabilir. Duvarın süt kısmına uygulanırsa, duvardan su akışında artışa neden olabilir ve alt seviyede su sorunlarına yol açabilir. Kullanım ömürleri 10 yıldan azdır. Su emilimini azaltmakla birlikte, buharlaşma oranını da azaltabilirler. Bu hasar oluşumunu artırabilir. Ek olarak sonraki temizleme ve yüzey işlemlerinde sorun oluşturabilirler. Karar verirken bu parametreler de göz önünde bulundurulmalıdır (BS, 2000).

Gözenekli malzemelerin yüzey koruyucusu olarak günümüzde araştırılan bir diğer metot kristal inhibitörleridir. Yakın zamana kadar tuz veya nemi ortadan kaldırmadıkça, tuz kristalleşme hasarını sınırlamak için kesin bir çözüm mevcut değildi. Tuz kristalleştirme sürecini, kristalleştirme inhibitörleri vasıtasıyla daha az zararlı hale getirme olasılığı ancak yakın zamanda değerlendirilmiştir. Bu metot,

kristal büyüme inhibitörlerinin gözenekli malzemenin yüzeyinden emdirilmesi işlemidir. Bu metotta, fosfonatlar ve karboksilatlar birlikte kullanılmaktadır fakat uygulandığı örneklerin bazılarında bu maddeler yüzey çiçeklenmesinin oluşumunu kolaylaştırdığı ve iç gerilmeleri azalttığı görülmüştür. Bazı örneklerde ise yüzeyde kristallenmeyi, tuz çözeltilerinin konsantrasyonlarını doyma ötesi noktasına taşıyarak artırmıştır. Bu da yüzey erozyonunun artmasına neden olmuştur. Bunun yanı sıra kristalizasyon inhibitörlerinin çekirdeklenmeyi geciktirdiği ve toplu çözeltideki kristallerin büyüme hızını değiştirdiği bilinmektedir, ancak bunların gözenekli malzemede tuz bozulmasının önlenmesine yönelik olası uygulamaları hala tartışmalıdır ve deneme aşamasındadır (Lubelli ve van Hees, 2007; Ersen, 2013).

Diğer yüzey koruma metodu biyosit kullanımudur. Gözenekli malzemelerin yüzeylerine, mikrobiyolojik ve biyolojik bozulma süreçlerine karşı koruma sağlamaları için uygulanmaktadır. Etkilerinin uzun süreli olması, altlık yüzeyi ile tepkimeye girmemeleri, renk değişimine neden olmamaları, ultraviyoleye ve oksidasyona dayanıklı olmaları ve etkin olmadan yağmur suyu ile yıkanmamaları beklenmektedir ama henüz bu parametrelerin hepsini yerine getiren bir biyosit mevcut değildir. Hatta bazı biyosit çeşitleri, çevre ve insan sağlığına zararlı olduğu için kullanımı yasaklanmıştır (Ersen, 2013).

4.3.3 Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının eskiye sadık kalarak yenilenmesi

Kil esaslı tuğla malzemesi eğer farklı yöntemler ile sağlamlaştırılmayacak veya onarılamayacak kadar hasar gördüyse, büyük oranda doku kaybı yaşadıysa, duvarın taşıyıcılığı riske girdiyse veya duvarda büyük oranda malzeme kaybı söz konusu ise o noktada, hasar görmüş tuğlanın, yeni tuğla ile değiştirilmesi tercih edilmelidir (Lynch, 1994; Ersen ve Verdön, 2010).

Tuğlaların yenisi ile değiştirilme yöntemi; tek tek tuğlaların değiştirilmesi veya belirli bir alanın değiştirilmesini içerebilir. Bu noktada seçim, hasarın derecesinin yanı sıra kesme işleminin kolay gerçekleştirilip gerçekleştirilemeyeceğine de bağlıdır ve bu tuğlalar arasındaki harcın dayanımı ile ilgilidir. Kesme işleminde hasarsız tuğlaların zarar görmemesine çok dikkat edilmelidir (Lynch, 1994).

Mevcut tarihi tuğlanın yerinde onarılmasının veya değiştirilmesinin gerekli olabileceği veya istenebileceği birçok farklı senaryo söz konusudur. Lokalize hasar ve bozulmalar, darbe hasarı, önceden yapılmış olan işlemler ve değişiklikler, tuğlanın dayanımının

düşük olması, şiddetli atmosfer etkilerine maruz kalma gibi birçok farklı nedenler sonucunda olabilir. Değiştirmenin veya eklemenin estetik hedefleri her zaman aynı değildir. Bazı durumlarda yapılan restorasyon çalışmalarının okunaklı olması, hatta yenileme için farklı malzemelerin kullanımı hedeflenebilir (Dick, 2020).

Tamir tuğlasının üretimi için bu aşamaya kadar yapılan deneyler ile elde edilen veriler sonucunda uygun malzemeler elde edilmelidir. Bu malzemeler uygun oranlar ve yöntemlerle karıştırılarak tuğla hamuru üretilmeli ve bu hamur yine orijinal tuğlaya uygun bir şekilde biçimlendirilerek aynı sıcaklıkta pişirilmelidir. Tamir tuğlalarının sertliği, gözenekliliği mevcut tuğlaların özelliklerine ve dayanıklılığına uygun olmalıdır. (Lynch, 1994; BS, 2000; Donnelly, 2009). Özellikle inşa için kullanılacak harcın, bina hareketine uyum sağlayamayacak şekilde sert olmaması gerekmektedir (BS, 2000).

Tarihi bir binada yedek tuğla tercih edilirken, kalıp ile elde edilmiş bir tuğla yerine ekstrüde edilmiş bir tuğla, pürüzlü bir tuğlanın yerine düz bir tuğla, polikromatik örülmüş tuğla alanı yerine tek tip tuğla renklerinin kullanılması uygun olmayacaktır. Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasını yerine yeni tuğla üretilirken, estetik olarak üç ana parametre göz önünde bulundurulmalıdır: Geometri, doku ve renk. Bu parametreler ölçülebilir olduğu için eşlenmesi kolaydır. Bununla birlikte, yedek tuğlanın geometrisini mevcut tuğlanın geometrisiyle eşleştirmenin önemi hafife alınmamalıdır çünkü aksi durumda tüm bağ ve yapı tehlikeye girecektir. Tarihi tuğlaların boyutlarının, renklerinin standart olmaması tamir tuğlasının eşleştirilmesinde önemli bir sorun teşkil etmektedir. Yanlış geometriye sahip tuğla (örn. boyut, tolerans, vb.) kullanılması, hizalama (coursing), harç derz genişliği ve bağ deseni özelliklerinin hepsinin aynı anda eşleştirilemeyeceği anlamına gelecektir. Bu farklılıklar nedeni ile, harç derzlerinin genişletilmesi veya daraltılması gerekecek, hizalar bozulacak ve bu üç özelliğin eşleşmemesi durumunda binanın tarihi karakterine zarar veren bir onarımla sonuçlanacaktır. Tuğlanın geometrisini eşleştirmek tüm bu kritik özelliklerin korunmasını sağlarken, yine de başarılı bir onarım olacağını garanti etmez. Ayrıntılara dikkat etmek, deneme onarımları yapmak, inşaat sırasında iyi işçiliğe özen göstermek kritik öneme sahiptir. Aynı hammaddelerden yapılmış ve aynı şekilde pişirilmiş iki tuğla, dokuları farklıysa çok farklı görünebilir. Bir tuğlanın dokusu veya bitişi, tuğlanın yüzey alanın parlaklığını/matlığını ve dolayısıyla tuğlanın nasıl algılandığını etkiler. Bu nedenle, dokuyu doğru bir şekilde tanımlamak ve eşleştirmek de çok

önemlidir. Son olarak, tuğla eşleştirmesinde renk uyumuna dikkat edilmelidir. Tuğlaların sadece renklerini eşlemek yeterli değildir, aynı zamanda renk aralıklarını, farklı renkler kullanıldıysa oranlarını ve desenlerini de tutturmak gerekmektedir. Bunun yanı sıra tuğlanın rengi, zamanla lekelenip kirlendikçe değişebilir ve bu da renginin nasıl algılandığını etkiler. Kirli tuğla ile (zamanla kirlenmeye uğrayacak olsa da) yeni tuğlanın yan yana getirilmesi renk farklılıkları nedeni ile uygun bir eşleştirme olmayacaktır. Temiz tuğlanın temiz tuğla ile eşleştirilmesi uzun vadede iyi bir eşleştirme için çok önemlidir. Öte yandan yeni tuğlayı temizlenmiş tarihi tuğlayla eşleştirmek, diğer temizlenmemiş tarihi tuğla alanlarıyla geçici bir uyumsuzluğa neden olabilir. Eğer bu görünüm estetik açıdan ciddi uyumsuzluk yaratıyorsa, tuğlanın genel olarak uzun vadeli performansını olumsuz etkilemeyecek şekilde, çamur ve kir uygulaması yapılması, yeni tuğlanın estetik olarak daha uyumlu hale gelmesini sağlayabilir (Dick, 2020).

Tuğlanın kendi estetik özelliklerinin yanı sıra, yeni tuğlanın örülmesi için kullanılacak harcın rengi, dokusu, profili gibi özellikleri de tuğlanın nasıl algılandığını etkileyebilir. Mesela optik yanılsama nedeni ile koyu gri bir harç ile açık gri bir harcın yanında ayı tuğla farklı renklerde algılanabilir. Veya harç derzlerinin girintili olup olmaması, tuğlaya düşen gölgeleri değiştirebilir. Yine harcın dokusu (kaygan veya eskitilmiş), tuğla duvarın genel görünümünü etkileyecektir (Dick, 2020).

Yeni tuğlanın tanımlanması (karakterizasyonu)

Tarihi tuğla duvarın onarılması için üretilen yeni tuğlanın, mevcut tuğlalar ile uyumluluğunu ve onarımda kullanılmasının uygun olup olmadığını anlaşılması için analiz edilmesi gerekmektedir. Yeni tuğlanın karakterizasyonu için fiziksel, mekanik özellik analizleri ve eskitme deneyleri uygulanmaktadır.

Yeni tuğlanın fiziksel ve mekanik özellikleri: Yığma tuğla duvarların teknik özellikleri, su emme, mekanik direnç, yoğunluk, gözeneklilik vb. fiziksel özelliklerinden etkilenir. Bu özelliklerin her birinin eşleşmesi belirli yapı malzemeleri ve onarımları için önemli olsa da tuğlada durum farklıdır. Sert bir malzemeyi daha yumuşak bir malzemenin yanına yerleştirmek, orijinal malzemenin zarar görmesine neden olabilir. Tuğlada yeni tuğla, harç derzleri nedeni ile orijinal tuğlaya hiç temas etmeyecektir. Tuğlanın yanındaki malzeme hep harç olacağı için, harç derzleri her zaman tuğla duvarda en zayıf halka olmalı ve feda edilen (sacrificial) malzeme olarak işlev görmelidir. Bu

nedenle, biraz daha sert bir tuğla veya biraz farklı özelliklere sahip bir tuğla kullanma endişesi, diğer malzemelerde olduğu gibi, mevcut yapıya yedek tuğla dahil edilirken o kadar kritik değildir. Tuğlanın fiziksel özelliklerini eşleştirmenin temel amacı, hasar görmüş orijinal tuğlayı, hasar görmemiş mevcut tuğlalar ile orantılı dayanıklılığa sahip tuğlalarla değiştirmektir. Çoğu zaman değiştirilmesi gereken tuğla çok düşük kalitededir. Bu durumlarda, özellikle, değiştirilmekte olan düşük performanslı, düşük kaliteli tuğla, yedek tuğlanın tutulduğu standart olmamalıdır (Dick, 2020).

Yeni tuğlanın durabilitesinin belirlenmesi (eskitme deneyleri): Tamir tuğlası üretildikten sonra uygunluğunun anlaşılması için durabilite testleri yapılmalıdır. Bu testler ıslatma-kurutma, dondurma-çözdürme sodyum sülfat dekahidrat deneyi (tuzlu çözelti) ve yaşlandırma testleridir. Bu testler bize yeni tamir tuğlasının atmosfer koşulları altında nasıl bir davranış göstereceğini gösterir. Diğer bir deyişle tamir tuğlasının ömrü hakkında bilgi verir. Eğer tamir tuğlası bu deneyler altında herhangi bir hasara uğramamışsa bu bizim için uygun olduğu anlamına gelmektedir.

Yeni tuğla ile eski tuğlanın test sonuçlarının karşılaştırılması: Tamir tuğlası ile orijinal tuğlanın test sonuçlarının karşılaştırılması: Orijinal tuğla ile tamir tuğlası arasındaki benzerliklerin belirlenmesi için karşılaştırma yapılmalıdır. Tamir tuğlası için yapılan durabilite testleri ile orijinal tuğla için yapılan durabilite testleri karşılaştırılır. Tamir tuğlası ile orijinal tuğlanın karakteristik özelliklerinin çok yakın olması gerekmektedir. Bu sayede tamir tuğlasının uygunluğuna karar verilebilir. Sağlamlaştırılmış tuğlanın dayanım değerleri, eğer hasar görmemiş orijinal tuğladan daha yüksek değilse, bu durumda tuğlanın sağlamlaştırma ile korunması uygun değildir ve hasarlı tuğla yeni tuğla ile değiştirilmelidir (Clifton, 1980).

Karar verme: Sonuç olarak üretilen tamir tuğlasının karakteristik ve durabilite özellikleri uygunsa kullanımına uygun denilebilir. Tamir tuğlasındaki hammaddelere ve karışım oranlarına bağlı kalınarak tamir tuğlaları üretilip gerekli yerlerde kullanılabilir. Eğer karakteristik özellikleri ve durabilitesi uygun değilse bu durumda tamir tuğlası tasarımı aşamasına yeniden dönmek gerekmektedir.

Tamir tuğlasında tonlama: Tamir tuğlalarının yerleştirildiği, yeni tuğlaların eskileri ile yan yana getirildiği durumlarda eski tuğlalar ile yeni tuğlalar arasında uyum sağlamak için bazen bir yıkama uygulaması ile yeni tuğlaların parlaklığının alınması istenebilir. Genel olarak doğal aşınma ve kirlenme süreçlerinin tamir tuğlasının rengini eski tuğla

ile uyumlu hale getirmesini beklemek doğrudur. Ama gerekli olduğu durumlarda geleneksel kurum yıkama işlemi (bir torba kurum bir kova suya bir gece bırakılarak hazırlanan geleneksel bir teknik) veya seyreltilmiş bir boya lekesi kullanılabilir. Bu teknikler uygulanmadan önce mutlaka binanın göz önünde olmayan bir kısmında denenmeli ve değerlendirme yapılmadan iyice kuruması beklenmelidir (Lynch, 1994).

4.3.4 Pişmiş kil esaslı yapı tuğlası için geçici onarım yöntemleri

Bu yöntemler pişmiş kile esaslı tuğlanın onarımında oldukça nadir ve geçici olarak kullanılan tekniklerdir.

Plastik onarım:

Plastik veya harçlı onarımların kullanımına genellikle ekonomik gerekçelerle başvurulmaktadır. Tek tek tuğlaların bölgesel onarım yöntemleri, küçük deliklerin doldurulmasını veya küçük hasarların, tuğlaya uygun şekilde renklendirilmiş bir kireç harcı karışımı kullanılarak onarılmasını içerebilir. Bu, harç onarımı veya "plastik onarım" (Şekil 4.8) adı verilen özel bir tekniktir. Fakat doğru düzeltme çalışması yapılabilene kadar yalnızca geçici bir onarım çözümü olarak kullanılmalıdır. Sadece bölgesel onarımlarda kullanılmalıdır. Geniş alanlar asla plastik onarımlarla tamir edilmemelidir (BS, 2000; Donnelly, 2009).



Şekil 4.8 : Tuğlaya uygulanmış harçla onarım çalışması. Gerektiğinde ve iyi işlikle yapıldığında geçici olarak istenilen etkiyi verdiği görülmektedir (Donnelly, 2009).

Onarımın yapılacağı boşluk min. 20-25 mm derinliklerinde, sağlam kısma kadar kesilmelidir. Her tuğla ayrı ayrı tamir edilmelidir ve harç uygulanmadan önce o bölge iyice ıslatılmalıdır. Harç 9 mm'yi geçmeyen tabakalar halinde sıkıştırılmalıdır. Zaman alıcı bir iş olabilir ve yetenekli bir usta gerektirir. Tuğla için en iyi harç onarımları güçlü doğal renge sahip keskin köşeli kum ve SBR (stiren bütadien kauçuk) katkı maddesi kullanan duvar çimento bağlayıcısı ile gerçekleştirilmiştir. Harçla onarım tuğlada küçük ve münferit bozulmaların olduğu durumlarda yararlı bir tekniktir, ancak

tuğlada büyük ölçekte bozulmanın olduğu durumlarda önerilmez. Ve çok az harç onarımı iyi kalitededir ve bazı durumlarda tamir edilmek istenen tuğlaya daha çok zarar verebilir (BS, 2000; Donnelly, 2009).

Tuğla astarları

Tuğla astarları (ince tuğla kiremitleri), hasarlı tuğla kesildiğinde sağlam tuğlalara büyük zarar verileceği durumlarda, hasarlı tuğlanın tamamen değiştirilmesi yerine kullanılan kaplama tuğlalarıdır. Astarlar en az 25-30 mm aralığında (ama tercihen 50 mm) kalınlığında olmalıdır. Tuğla astarlar, tek tuğla onarımında veya maksimum altı tuğlaya kadar olan küçük alanlarda uygulanmalıdır. Bu onarım yöntemi büyük alanlar için uygun değildir. Astarlar harç ile ya da özel olarak hazırlanmış klipsler ile monte edilmelidir. Boşluklar temiz ve düzgün olmalı ve kullanılan harç orijinal tuğla ile uyumlu olmalıdır. Tarihi detayların ve profillerin kaybolmasının önlenmesi için astarlar bitişik tuğla ile aynı hizada olmalıdır. Parapet ve bacalar gibi açıkta kalan yerlerde tuğla astarları kullanılmamalıdır. Modern inşaatlarda kullanılması amaçlanan ve epoksi reçinelerle uygulanan daha ince, tescilli tuğla astarları, tarihi bina onarımında asla kullanılmamalıdır. Epoksi veya başka reçine harcı kullanılarak yapıştırılmış astarlar ile geniş alanlar kaplandığında, nem malzeme içerisinde hapsolacak ve membran etkisi oluşarak kaplanmış alanın veya bitişik tuğlaların dökülmesi ile sonuçlanabilecektir (Lynch, 1994; BS, 2000; Donnelly, 2009).

4.4 Değerlendirme

Pişmiş kil esaslı tuğla malzemesinin korunması söz konusu olduğunda, doğal taşlardan ve harçlardan ayrılan ilk özelliği tuğlanın boyutsal özellikleridir. Diğer özelliği ise ham maddelerin pişmesi ile vitrifikasyona uğraması ve yeni özellikler kazanmasıdır. Bunların yanı sıra özellikle tarihi tuğlalar farklı gözenek özellikleri ile ayrılmaktadır. Bu farklılıklar tuğlanın korunması yönteminin, doğal taş ve harcın korunması yönteminden ayrıştıran öğeler olmuştur.

Tuğla malzemenin korunması ve restorasyonunda, mevcut tuğla alternatiflerinin kullanılması seçeneği mevcuttur ve ilk tercih olarak seçilmelidir. Mevcut tuğla alternatifi olmadığı durumlarda, hasar görmüş tuğlanın dayanımı yüzey koruyucular ile hasar görmemiş orijinal tuğlanın dayanımına ulaşabilirse, o zaman sağlama yöntemleri ile koruma yöntemi değerlendirilir. Kaynaklarda doğal taş için

kohezyon kaybının 5 cm'den küçük olduğu ve bağlayıcı minerallerin kaybı durumunda sağlamlaştırıcı yüzey uygulamalarının kullanılması uygun görülmüştür (Karkaş ve Acun Özgünler, 2021). Fakat tuğla için kohezyon kaybı hakkında bir veri elde edilememiştir. Bu durumda ölçüt, kohezyon kaybına uğramış tuğlaların sağlamlaştırıcı ile en azından orijinal tuğlanın özelliklerini geri kazanmasıdır. Aksi durumda tuğlaların yeniden üretilmesi gerekecektir. Yapılan analizler ışığında orijinal tuğlanın hammaddeleri ve pişme sıcaklığı ile ilgili alınan veriler sayesinde tuğlanın yeniden üretimi gerçekleştirilebilir.

Yığma tuğla duvarların malzeme karakterizasyonu hem tuğlanın kendisinin hem de bağlayıcı malzemenin karakterizasyonunu içermelidir. Bağlayıcı malzeme genel olarak harçtır. Malzemenin karakterizasyonunda, duvar morfolojisi veya tarihi dönemi gibi diğer yönleri ele alınmadan yapılan analizler sınırlı kalacaktır. Hammadde ve üretim tekniklerinin anlaşılması söz konusu olduğunda, tarihi ve coğrafi özelliklerin de sürece dahil edilmesi önemlidir (Barluenga ve diğ., 2014). Tuğla yapılarında, koruma için uygulanacak müdahalelerde, kullanılacak onarım harçlarının, tuğlayı hasardan korumak için prensipte fedakâr (sacrificial) olması gerektiği unutulmamalıdır (Tc, 2012).

Korunma uygulanacak malzemedeki dayanıklı olduğu kanıtlanan yeni malzemenin orijinal malzeme ile uyumlu olmadığı durumlarda, yeni sorunların ortaya çıktığı görülmüştür. Bu nedenle koruma uzmanının, önerilen müdahalelerde sadece dayanıklılık değil, aynı zamanda uyumluluğu da göz önünde bulundurmalıdır. Pratikte, dayanıklılık ve uyumluluk arasında "optimizasyon" yapılması gerekir ve günümüzde, belirli bir dereceye kadar, genellikle uyumluluk için çaba gösterilmektedir. Korunma için alınan tüm kararların, sağlam bir şekilde belgelenmesi, sadece o yapı özelinde değil, aynı zamanda geleceğe bilgi aktarılması ve bilgi geliştirilmesi için son derece önemli olduğu unutulmamalıdır (Tc, 2012).

Günümüzdeki mevcut koruma teknolojisi, yirminci yüzyılın ikinci yarısında geliştirilmiştir. Öncelikle bozulma ve bozunma etkenlerini azaltmayı, hasar görmüş malzemenin kohezyonunu yeniden oluşturmayı ve kaçınılmaz olan gelecekteki bozulma süreçlerinin başlamasını geciktirmeyi amaçlar. Her tür malzemeyi sağlamlaştıran her tür eskimeyi bozulma ve bozunmayı süresiz durduran mucizevi bir ürün olmadığı unutulmamalıdır. Bugün teknolojinin sunabileceği koruma, her adımda birkaç seçeneğin mevcut olduğu, sonuçlarına sadece aşırı uzun olmayan bir servis

ömrü sınırları içerisinde güvenilebilecek, bir dizi işlemdir. Mevcut seçenekler arasından, malzemelerin yapısı ve bozulma nedenleri ile ilgili ön araştırma sonuçlarına göre en uygun olanı seçilmelidir. Kullanılacak malzemelerin karşılaşacakları şartlar altında dayanıklılıkları test edilmeli ve böylece kullanım ömürleri tahmin edilmelidir. Sonuç olarak verilecek koruma kararı (sağlamaştırma, değiştirme) bu bilgiler ışığında verilmelidir. Kullanılacak malzemelerin karşılaşacakları şartlar altında dayanıklılıkları test edilmeli ve böylece kullanım ömürleri tahmin edilmelidir, çünkü sonunda tamir edilmeleri veya değiştirilmeleri gerekecektir. Artık koruma teknolojisinin amacının aşırı dayanıklılık değil, yirmi ila yirmi beş yıllık bir hizmet ömrü olması gerektiğini düşünülmektedir. Şimdiki koruma uzmanı neslinin görevi kültürel varlığı, teknolojinin daha iyi imkanları ve daha gelişmiş bilgilere sahip olan bir sonraki nesle güvenle taşımaktır. Uzun vadeli koruma için periyodik muayene ve bakım sistemi kurulmalıdır (Torraca, 2009).

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sonuç olarak, yapılan literatür araştırması sonucunda, pişmiş kil esaslı tuğlanın araştırılmasına; fiziksel, kimyasal, mekanik, petrografik, üretim özellikleri bakımından doğal taşlardan farklılaşmasına, mimari miras alanında önemli bir yere sahip olmasına ve bu nedenle ayrıca araştırılması gereken bir konu olmasına rağmen; yeteri kadar önem verilmediği anlaşılmıştır. Tuğla ve taş üzerinde yapılan sağlamlaştırıcı uygulama çalışmaları karşılaştırıldığında, tuğla üzerine yapılan çalışmaların doğal taşta göre çok sınırlı ve yetersiz kaldığı belirlenmiştir.

Pişmiş kil esaslı tuğlaların sağlamlaştırılmasına yönelik tüm çalışmalar incelendiğinde, belirli başarımlar kriterlerinde benzer sonuçlar alınsa da bütün tuğlalar için önerilebilecek tek bir sağlamlaştırıcı ve uygulama yöntemi olmadığı anlaşılmıştır. Sağlamlaştırmanın etkinliği tuğlanın özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Bu nedenle korunmasına karar verilen her tuğla ve uygulanacak her sağlamlaştırıcı malzeme kendi özelinde düşünülmeli, yerinde ve laboratuvar deneyleri yapılmalı, sonuçlar analiz edilmeli ve uygulama kararı ona göre verilmelidir. Aynı binadaki tuğlaların bile; hasar çeşitlerinin, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin, üretim dönemlerinin farklı olabileceği unutulmamalıdır.

Günümüz teknolojisi ile üretilen sağlamlaştırıcıların hiçbirinin, sağlamlaştırma için beklenen başarımlar kriterlerinin hepsini karşılamadığı görülmüştür. Bu nedenle koruma kararı verilmiş pişmiş kil esaslı yapı tuğlası için, öncelikle koruma uzmanı tarafından; malzemenin şartlarına (iklim koşulları, fonksiyon, yapıda bulunduğu yer vb.) göre, başarımlar elde edilmesi gereken en önemli ve gerekli kriterlerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu noktada birincil gereksinimler olan sağlamlaştırma değeri, işlenmiş tuğlanın durabilitesi, penetrasyon derinliği, işlenmiş tuğlanın gözenekliliği, nem transferi, buhar transferi, tuğla ile fiziksel kimyasal uyumluluk ve görünüm üzerindeki etki ön planda tutulmalıdır.

Geleneksel sağlamlaştırıcılardan tuğla için en çok çalışma yapılan ve en verimli sonuçlar alınan sağlamlaştırıcı alkoksisilanlardır. Özellikle çalışmalar etil silikat (TEOS) üzerine yoğunlaşmıştır. Fakat yine de alkoksisilanların, tuğlanın

sağlamlaştırılmasında istenilen tüm parametreleri karşılayabildiği söylenememektedir. Özellikle uzun vadede etkileri henüz bilinmemektedir.

İnorganik malzemeler ile ilgili olarak tuğlalar üzerinde yapılan çalışma sayısı çok az olmakla birlikte, alınan sonuçlardan tuğlalar için uygun olmadıkları anlaşılmaktadır. Sentetik organik polimerlerin, pişmiş kil esaslı tuğlalar üzerinde yapılan çalışmaları incelendiğinde, yüzeysel, ince bir katman oluşturduğu, istenen parametrelerin çoğunu karşılayamadığı görülmüştür. Bu nedenle sentetik organik polimerlerin günümüz teknolojisi ile tuğlaların sağlamlaştırılması ve korunması için uygun olmadıkları söylenebilir.

Nano sağlamlaştırıcı çalışmalarının yoğun olarak doğal taş ile ilgili olduğu fakat, tuğla için yapılan çalışmaların yeterli olmadığı görülmüştür. Tuğlalar üzerinde yapılan çalışmalardan, nano titanyum ve nano silikanın homojen dağılımını sağlayacak başka bir kimyasal ile (örn. Polimer) karıştırılması sonucunda tuğlalar için, geleneksel sağlamlaştırıcılara göre fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirme bakımından daha umut verici sonuçlar elde edileceği anlaşılmıştır. Nano kireç tuğlalar için yüzey soyulmasını önemli oranda azaltmakta iken, tuğlanın su emme özelliklerini iyileştirmemiş ve estetik olarak kabul edilemeyecek renk farkına neden olmuştur. Özellikle nano silika ve nano titanyumun olmak üzere, nanomalzemeler ile tuğlaların sağlamlaştırılması hakkında daha çok çalışma yapılması gerekmektedir.

Biyo-sağlamlaştırıcılar, doğal olmaları, insan ve çevre sağlığına zarar vermemeleri, malzemede geri dönüştürülemeyen etki bırakmamaları, tuğlanın sadece yüzeyinde değil gözeneklerin de de biriktikleri, tuğlanın su emme oranını azalttıkları ve mekanik özelliklerini iyileştirdikleri, tuğlanın yüzeyinde renk değişimine neden olmadıkları için gelecekte tuğlanın sağlamlaştırması için önemli potansiyele sahip gözükmemektedir. Ama şu anki uygulamalar ekonomik olarak pahalı ve şantiye ortamında uygulaması zor olan yöntemlerdir. Ayrıca henüz biyo malzemelerin tuğlanın dayanımı ve diğer başarımlarını kriterleri ile ilgili çalışmaları gerçekleştirilmemiştir. Bu nedenle tuğlalar üzerinde biyo-sağlamlaştırıcı çalışmalarının artırılması gerekmektedir.

Sağlamlaştırıcıların başarısının, sağlamlaştırıcının kimyasal özelliklerine, tuğlanın özelliklerine, uygulama yöntemine, penetrasyon kabiliyetine, sağlamlaştırıcının yoğunluğuna, çözücü tipine, altlık ile fiziksel ve kimyasal uyumuna, kür koşullarına, ortam şartlarına, karıştırılarak kullanılıyorsa oranlara bağlı olduğu anlaşılmıştır. Biyo

malzemelerde, uygulama yöntemlerine ek olarak bakteri türü, aşılındığı ortam, besin olarak ne kullanıldığına, ortam koşullarına, inkübasyon süresine, saklama koşullarına ve yine altlığın özelliklerine bağlı olduğu anlaşılmıştır.

Sağlamlaştırıcılar ile ilgili yapılan çalışmaların genellikle, sağlamlaştırıcı performansı üzerine olduğu görülmüştür. İşlem görmüş tuğlanın durabilitesi üzerine yapılan çalışma sayısı çok azdır. Ama tuğlada performans gereksinimlerini sağlayan her sağlamlaştırıcı, eskitme deneylerine dayanım gösterecek diye kesin bir yargı yoktur. Bu nedenle tuğlada sağlamlaştırıcı etkinliği değerlendirilirken, mutlaka dayanım deneyleri de yapılmalı, uzun vadede sağlamlaştırıcının tuğla üzerindeki etkisi anlaşılmalı çalışılmalıdır. Sağlamlaştırıcıların tuğlanın durabilitesine etkisinde penetrasyon derinliği en önemli kriterlerden biridir.

Pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması ve restorasyonu için öncelikli tuğla hakkındaki tüm kaynaklar ve standartlar incelenmiş. Tuğla ile ilgili kaynak olmadığı yerlerde, doğal taş üzerine var olan standartlar ve kaynaklar incelenmiştir. Doğal taş, harç ve kagir malzemelerin korunması üzerine var olan yöntem önerileri incelenmiş ve sonuç olarak pişmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması için bir yöntem önerisi geliştirilmiştir. Bu yöntem akış şeması olarak tasarlanmıştır. Pişmiş kil esaslı tuğla, doğal taşlardan farklı olarak, farklı hammaddelerin belli oranlarda bir araya getirilip pişirilmesi ile oluşmaktadır. Harçlardan da farkı yine pişirilmesidir. Pişirilme ve vitrifikasyon sonucunda bünyesindeki hammaddeler özelliklerini kaybedip farklı bir faza dönüşmektedir. Belli bir biçimi olduğu için korunması sırasında biçimsel özellikleri de göz önünde bulundurulmalıdır. Kısaca tuğla, morfolojik, biçimsel özellikleri ve yeni tuğla üretimi ile koruma yönteminde diğer malzemelerden ayrılmaktadır. Yöntem önerisinde bütün bu farklar göz önünde bulundurulmuştur.

Geliştirilen yöntemin hedefledikleri aşağıda sıralanmıştır:

- Pişmiş kil esaslı tuğlanın korunması söz konusu olduğunda hatanın olabildiğince en aza indirilmesi
- Koruma uzmanının veya ilgili kişinin, pişmiş kil esaslı tuğlanın korunması için takip edebileceği tüm adımları içeren bir kılavuz olması
- Koruma uzmanının veya ilgili kişinin, pişmiş kil esaslı tuğlanın karakterize edilmesi için yapılacak deneyleri takip edebileceği bir kaynak olması

Öneriler

- Pişmiş kil esaslı tuğlanın korunmasına karar verildiğinde, öncelikle hasar nedenleri ortadan kaldırılmalı, mevcut tuğla kaynaklarının kullanımı kontrol edilmeli, eğer sağlamlaştırma dışında başka hiçbir çözüm kalmadıysa o noktada sağlamlaştırıcı uygulamasına gidilmelidir. Günümüzdeki teknoloji ile üretilmiş sağlamlaştırıcıların geri dönüştürülemez olduğu ve uzun vadede etkilerinin henüz netleşmediği unutulmamalıdır.
- Pişmiş kil esaslı tuğlanın korunması istenildiğinde, tez kapsamında önerilen koruma adımlarının hepsi dikkatle uygulanmalı, yerinde analizler ve laboratuvar analizleri titizlikle yapılmalıdır.
- Pişmiş kil esaslı tuğlanın korunması sürecinde her adımda konunun uzmanları ile iletişim halinde bulunulmalı, tavsiyeleri alınmalıdır. Malzemenin korunması disiplinlerarası bir konudur. Bu nedenle ancak farklı disiplinlerden uzmanların bir arada çalışması ile en doğru sonuca ulaşmak mümkün olacaktır.
- Pişmiş kil esaslı tuğla üzerine sağlamlaştırıcı çalışmalarının artırılması gerekmektedir. Bu çalışmalar tuğlanın fiziksel, kimyasal mekanik, petrografik özellikleri ile sağlamlaştırıcı ilişkisi üzerine yoğunlaşmalıdır. Tuğlanın doğal taş ve benzeri malzemelerden ayrı özellikte olduğu göz önünde bulundurulmalıdır.
- Pişmiş kil esaslı tuğlanın sağlamlaştırması çalışmalarında, tuğladaki hasar tipi ve sağlamlaştırıcı ilişkisi üzerine çalışmaların olmadığı anlaşılmıştır. Bu konuda çalışmaların artırılması gerekmektedir.
- Pişmiş kil esaslı tuğlanın sağlamlaştırılması için nano sağlamlaştırıcılar (nano titanyum, nano silika, nano kalsit) ve bio sağlamlaştırıcılar (biyokalsifikasyon) üzerine çalışmalar artırılmalıdır. Geleneksel sağlamlaştırıcı malzemelerden olan alkoksisilanların, zayıf yönlerinin geliştirilebilmesi için farklı kimyasallar ile birlikte kullanılması üzerine de araştırmalar yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Abdullah, V., Aydın, E., & Bedirhanoglu, İ.** (2017). Beton elasticsite modülünün ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi. *Mühendislik Dergisi*, 8(3), 475-484.
- Abu Bakar, B. H., Wan Ibrahim, M. H., & Megat Johari, M. A.** (2009). A Review: Durability of Fired Clay Brick Masonry Wall due to Salt Attack. *International Journal of Integrated Engineering (Issue on Civil and Environmental Engineering)*, 1(2), 52-56.
- Akbulut, D. E.** (2006). *Tarihi Yapıları Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri* YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.]. İstanbul.
- Akbulut, Z. F.** (2022). SO₂ Buharına Maruz Bırakılmış Bazı Doğal Taşların Yüzey Özelliklerinin İncelenmesi [Makaleler]. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 27(1), 168-180. <https://doi.org/https://dergipark.org.tr/tr/pub/yyufbed/issue/68588/1085965>
- Akman, S.** (1987). *Yapı Malzemeleri*. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Aköz, F.** (2005). *Yığma Kagir Yapılarda Hasar Tespiti* YDGA 2005,
- Aköz, F., & Yüzer, N.** (2005). *Tarihi Yapılarda Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesinde Uygulanan Yöntemler* Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Antalya.
- Akyol, A. A.** (2019). Sivrihisar Ulu Cami Yapı Malzeme Analizleri. *Akdeniz Sanat Dergisi*, 13, 36-55.
- Al-Dosari, M. A., Darwish, S. S., Adam, M. A., Elmarzugi, N. A., Al-Mouallimi, N., & Ahmed, S. M.** (2017). Ca (OH)₂Nanoparticles Based on Acrylic Copolymers for the consolidation and protection of Ancient Egypt Calcareous Stone Monuments. *Journal of Physics: Conference Series*, 829(1), 012009. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/829/1/012009>
- Alejandre, F. J., & Villegas, R.** (2009). Brick durability and conservation treatment (Santa María de Jesús chapel portal, Seville, Spain). *Materiales de Construcción*, 59(293), 85-103. <https://doi.org/10.3989/mc.2009.40107>
- Andreolli, M., Lampis, S., Bernardi, P., Calò, S., & Vallini, G.** (2020). Bacteria from black crusts on stone monuments can precipitate CaCO₃ allowing the development of a new bio-consolidation protocol for ornamental stone. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 153, 105031.
- Anonim.** (2013). *Yapı Malzemeleri Yönetmeliği (305/2011/AB)*. resmigazete.gov.tr: <https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2013/07/20130710-10.htm>
- Apicella, A., D'Arienzo, L., Caridi, S., Pietrosanto, A., & Scarfato, P.** (2022). Development of a multifunctional nanocomposite system for protection, consolidation and microbial growth prevention of porous stones: A case study for the conservation of tuff. *Case Studies in Construction Materials*, 16, e00993. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e00993>
- Arioglu, N., & Acun, S.** (2006). A research about a method for restoration of traditional lime mortars and plasters: A staging system approach. *Building and Environment*, 41(9), 1223-1230. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.05.015>

- Arpacı, E. Y.** (2016). *Tarihi Yiğma Yapıların Onarımında Kullanılan Enjeksiyon Malzemesinin (Grout) Performans Değerlendirmesi ve 19. Yüzyıl Tuğla Yiğma Yapılarda Örneklenmesi*. (Publication Number Yüksek Lisans Tezi) Yıldız Teknik Üniversitesi]. İstanbul.
- Ashurst, J., & Ashurst, N.** (1988). Practical Building Conservation. In *English Heritage Technical Handbook* (Vol. 2).
- ASTM.** (1996). *Standard Practice for Developing Accelerated Tests to Aid Prediction of the Service Life of Building Components and Materials (Withdrawn 2005) (ASTM E632-82)*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM.** (2008). *Standard Guide for Selection and Use of Stone Consolidants (ASTM E2167-01)*. American Society for Testing and Materials.
- ASTM.** (2016). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete (ASTM C597-16)*.
- ASTM.** (2022). *Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete (ASTM C216-22)*. American Standards Institute.
- Baer, N. S.** (1991). Assessment and Management of Risks to Cultural Property. In N. S. Baer, C. Sabbioni, & A. I. Sors (Eds.), *Science, Technology and European Cultural Heritage* (pp. 27-36). Butterworth-Heinemann. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-0237-2.50011-3>
- Baglioni, P., Chelazzi, D., & Giorgi, R.** (2015). *Nanotechnologies in the Conservation of Cultural Heritage, A compendium of materials and techniques*. Springer.
- Baig, N., Kammakam, I., & Falath, W.** (2021). Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges [10.1039/D0MA00807A]. *Materials Advances*, 2(6), 1821-1871. <https://doi.org/10.1039/D0MA00807A>
- Bakırer, Ö.** (1981). *Selçuklu Öncesi ve Selçuklu Dönemi Anadolu Mimarisinde Tuğla Kullanımı*. Orta Doğu Teknik Üniversitesi.
- Ban, M., Aliotta, L., Gigante, V., Mascha, E., Sola, A., & Lazzeri, A.** (2020). Distribution depth of stone consolidants applied on-site: Analytical modelling with field and lab cross-validation. *Construction and Building Materials*, 259, 120394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120394>
- Ban, M., Mascha, E., Weber, J., Rohatsch, A., & Rodrigues, J. D.** (2019). Efficiency and Compatibility of Selected Alkoxysilanes on Porous Carbonate and Silicate Stones. *Materials (Basel)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/ma12010156>
- Barış, K. E., & Tanaçan, L.** (2017). *Durability of steam cured pozzolanic mortars at atmospheric pressure* Calcined Clay for Sustainable Concrete Conference,
- Barluenga, G., Estirado, F., Undurraga, R., Conde, J. F., Agua, F., Villegas, M. Á., & García-Heras, M.** (2014). Brick masonry identification in a complex historic building, the Main College of the University of Alcalá, Madrid (Spain). *Construction and Building Materials*, 54, 39-46. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.027>
- Barnos, V., Shekofteh, A., & Oudbashi, O.** (2022). Experimental evaluation of the consolidation treatments of low porosity limestone from the historic monument of the Anahita Temple of Kangavar, Iran. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 14(4), 63. <https://doi.org/10.1007/s12520-022-01536-z>

- Baronio, G., Binda, L., Tedeschi, C., & Tiraboschi, C.** (2003). Characterisation of the materials used in the construction of the Noto Cathedral. *Construction and Building Materials*, 17(8), 557-571. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2003.08.007>
- Barriuso, B. C., Botticelli, G., Cuzman, O. A., Osticioli, I., Tiano, P., & Matteini, M.** (2017). Conservation of calcareous stone monuments: Screening different diammonium phosphate based formulations for countering phototrophic colonization. *Journal of Cultural Heritage*, 27, 97-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.03.002>
- Bartz, W., & Chorowska, M.** (2016). Mineralogy and technology of bricks used for the construction of the XII century ducal castle on the island of Ostrów Tumski, Wrocław (SW Poland). *Geoscience Records*, 2(1), 4-16. <https://doi.org/doi:10.1515/georec-2016-0002>
- Bayram, O.** (2009). *Bazı doğal taşların dokusal özellikleri ile fiziksel ve mekanik özellikleri arasındaki ilişkilerin araştırılması* [Yüksek lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul.
- Becerra, J., Zaderenko, A. P., Ortiz, R., Karapanagiotis, I., & Ortiz, P.** (2020). Comparison of the performance of a novel nanolime doped with ZnO quantum dots with common consolidants for historical carbonate stone buildings. *Applied Clay Science*, 195, 105732. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105732>
- Beringuilho, J. d. A. C.** (2017). *Consolidation of ceramic bricks - Potential harmfulness assessment*. <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile>
- Bohara, N. B., Ghale, D. B., Chapagain, Y., Duwal, N., & Bhattarai, J.** (2020). Effect of firing temperature on physico-mechanical properties of contemporary clay brick productions in Lalitpur, Nepal. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 55, 43-52.
- Borrelli, E., & Urland, A.** (1999). *ARC Laboratory Handbook* (Vol. 1). ICCROM.
- Borsoi, G., Lubelli, B., van Hees, R., Veiga, R., & Santos Silva, A.** (2017). Evaluation of the effectiveness and compatibility of nanolime consolidants with improved properties. *Construction and Building Materials*, 142, 385-394. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.097>
- Borsoi, G., Lubelli, B., van Hees, R., Veiga, R., & Silva, A. S.** (2016). Optimization of nanolime solvent for the consolidation of coarse porous limestone. *Applied Physics A*, 122(9), 846. <https://doi.org/10.1007/s00339-016-0382-3>
- Brown, M. E.** (2004). Thermogravimetry (TG). In M. E. Brown (Ed.), *Introduction to Thermal Analysis. Hot Topics in Thermal Analysis and Calorimetry*. Springer, Dordrecht.
- BS.** (2000). *Code of practice for cleaning and surface repair of buildings - Part 2: Surface repair of natural stones, brick and terracotta (BS 8221-2:2000)*. The British Standards Institution.
- BS.** (2012). *Code of practice for cleaning and surface repair of buildings – Part 1: Cleaning of natural stone, brick, terracotta and concrete (BS 8221-1)*. The British Standards Institution.
- BS/EN.** (2013). *Conservation of cultural heritage — Test methods — Measurement of water absorption by pipe method. European Committee for Standardization (BS EN 16302)*. The British Standards Institution.

- BS/EN.** (2014). *Conservation of Cultural Heritage — Surface protection for porous inorganic materials — Laboratory test methods for the evaluation of the performance of water repellent products (BS EN 16581)*. The British Standards Institution.
- Buosi, C., Columbu, S., Ennas, G., Pittau, P., & Scanu, G. G.** (2019). Mineralogical, Petrographic, and Physical Investigations on Fossiliferous Middle Jurassic Sandstones from Central Sardinia (Italy) to Define Their Alteration and Experimental Consolidation. *Geoheritage*, 11(3), 729-749. <https://doi.org/10.1007/s12371-018-0326-8>
- Buys, S., & Oakley, V.** (1996). *The Conservation and Restoration of Ceramics*. Butterworth Heinemann.
- Büyüksırt, T., & Kuleaşan, H.** (2014). Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ve Gıda Analizlerinde Kullanımı. *GIDA*, 39, 235-241.
- Camuffo, D.** (1995). Physical weathering of stones. *Science of The Total Environment*, 167(1), 1-14. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697\(95\)04565-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0048-9697(95)04565-1)
- Cappitelli, F., Principi, P., Pedrazzani, R., Toniolo, L., & Sorlini, C.** (2007). Bacterial and fungal deterioration of the Milan Cathedral marble treated with protective synthetic resins. *Science of The Total Environment*, 385(1), 172-181. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2007.06.022>
- Cardiano, P., Ioppolo, S., De Stefano, C., Pettignano, A., Sergi, S., & Piraino, P.** (2004). Study and characterization of the ancient bricks of monastery of “San Filippo di Fragalà” in Frazzanò (Sicily). *Analytica Chimica Acta*, 519(1), 103-111. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2004.05.042>
- Castanier, S., Le Métayer-Levrel, G., & Perthuisot, J.-P.** (1999). Ca-carbonates precipitation and limestone genesis — the microbiogeologist point of view. *Sedimentary Geology*, 126(1), 9-23. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(99\)00028-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0037-0738(99)00028-7)
- Cebeci, A.** (2007). *Muğla Diasporitinin Termal Özelliğine Mekanik Aktivasyonun Etkisi*, Sakarya Üniversitesi]. Sakarya.
- Charola, A. E.** (2000). Salts in the Deterioration of Porous Materials: An Overview. *Journal of the American Institute for Conservation*, 39(3), 327-343. <https://doi.org/10.1179/019713600806113176>
- Charola, A. E., & Lazzarini, L.** (1986). Deterioration of Brick Masonry Caused by Acid Rain. In *Materials Degradation Caused by Acid Rain* (Vol. 318, pp. 250-258). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/bk-1986-0318.ch017>
- Charola, A. E., & Rörig-Dalgaard, I.** (2019). *Conservation of brick*. Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/335126956_Conservation_of_brick
- Chen, W., Dai, P., Yuan, P., & Zhang, J.** (2016). Effect of inorganic silicate consolidation on the mechanical and durability performance of sandstone used in historical sites. *Construction and Building Materials*, 121, 445-452. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.06.008>
- Clifton, J. R.** (1980). *Stone Consolidating Materials— A Status Report*. U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards.
- Cnudde, V., Dierick, M., Masschaele, B., & Jacobs, P. J. S.** (2006). Surface Treatment. In S. K. Kourkoulis (Ed.), *Fracture and Failure of Natural Building Stones: Applications in the Restoration of Ancient Monuments* (pp. 519-540). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5077-0_32

- Columbu, S., Lisci, C., Sitzia, F., & Buccellato, G.** (2017). Physical–mechanical consolidation and protection of Miocenic limestone used on Mediterranean historical monuments: the case study of Pietra Cantone (southern Sardinia, Italy). *Environmental Earth Sciences*, 76(4), 1-29. <https://doi.org/DOI:101007/s12665-017-6455-6>
- Costa, D., & Rodrigues, J. D.** (2012). Consolidation of a porous limestone with nanolime 12th Int. Congress on Deterioration and Conservation of Stone, New York (USA).
- Costanzo, A., Minasi, M., Casula, G., Musacchio, M., & Buongiorno, M. F.** (2015). Combined Use of Terrestrial Laser Scanning and IR Thermography Applied to a Historical Building. *Sensors*, 15(1), 194-213. <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/1/194>
- Croci, G.** (2000). *The Conservation and Structural Restoration of Architectural Heritage*. Great Britain: Computational Mechanics Publications.
- Cultrone, G., de la Torre, M. J., Sebastián, E., & Cazalla, O.** (2003). Evaluation of bricks durability using destructive and nondestructive methods (DT and NDT). *Materiales de Construcción*, 53(269), 41-60. <https://doi.org/10.3989/mc.2003.v53.i269.267>
- Cultrone, G., De la Torre, M. J., Sebastian, E. M., Cazalla, O., & Rodriguez-Navarro, C.** (2000). Behavior of Brick Samples in Aggressive Environments. *Water, Air, and Soil Pollution*, 119(1), 191-207. <https://doi.org/10.1023/A:1005142612180>
- Cultrone, G., & Madkour, F.** (2013). Evaluation of the effectiveness of treatment products in improving the quality of ceramics used in new and historical buildings. *Journal of Cultural Heritage*, 14(4), 304-310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.08.001>
- Cultrone, G., & Sánchez-Ibáñez, V.** (2018). Consolidation with ethyl silicate: how the amount of product alters the physical properties of the bricks and affects their durability. *Materiales de Construcción*, 68(332), e173. <https://doi.org/10.3989/mc.2018.12817>
- Cultrone, G., Sebastián, E., & de la Torre, M. J.** (2005). Mineralogical and physical behaviour of solid bricks with additives. *Construction and Building Materials*, 19(1), 39-48. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2004.04.035>
- Cultrone, G., Sebastián, E., Elert, K., de la Torre, M. J., Cazalla, O., & Rodriguez-Navarro, C.** (2004). Influence of mineralogy and firing temperature on the porosity of bricks. *Journal of the European Ceramic Society*, 24(3), 547-564. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0955-2219\(03\)00249-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0955-2219(03)00249-8)
- Çağlar, A.** (2018). *Geleneksel Kastamonu Evlerinde Kullanılan Harman Tuğlası Özelliklerinin Bor Atığı Katkısı İle İyileştirilmesi Üzerine Deneysel Araştırma* Selçuk Üniversitesi]. Konya.
- Çelik, A. G., Yörükoğlu, A., Sürdem, S., Türker, A., & Erdoğan, Y.** (2019). *Bor katkılı pomza tuğla üretimi, fizikomekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi* [Interview].
- Çelik, M. Y.** (2008). *Görüntü analiz yöntemlerinin kayaç özelliklerinin nicel analizinde kullanılması* Mersem 2008 Türkiye VI. Mermer Sempozyumu,

- D'Arienzo, L., Scarfato, P., & Incarnato, L.** (2008). New polymeric nanocomposites for improving the protective and consolidating efficiency of tuff stone. *Journal of Cultural Heritage*, 9(3), 253-260. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2008.03.002>
- Daehne, A., & Herm, C.** (2013). Calcium hydroxide nanosols for the consolidation of porous building materials - results from EU-STONECORE. *Heritage Science*, 1(1), 11. <https://doi.org/10.1186/2050-7445-1-11>
- Dalkılıç, N., & Nabikoğlu, A.** (2017). *Traditional manufacturing of clay brick used in the historical buildings of Diyarbakir (Turkey)* (Vol. 6).
- Daskalakis, M. I., Magoulas, A., Kotoulas, G., Catsikis, I., Bakolas, A., Karageorgis, A. P., Mavridou, A., Doulia, D., & Rigas, F.** (2013). Pseudomonas, Pantoea and Cupriavidus isolates induce calcium carbonate precipitation for biorestitution of ornamental stone. *Journal of Applied Microbiology*, 115(2), 409-423. <https://doi.org/10.1111/jam.12234>
- De Benedetto, G. E., Laviano, R., Sabbatini, L., & Zambonin, P. G.** (2002). Infrared spectroscopy in the mineralogical characterization of ancient pottery. *Journal of Cultural Heritage*, 3(3), 177-186. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01178-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01178-0)
- De Muynck, W., Verbeken, K., De Belie, N., & Verstraete, W.** (2013). Influence of temperature on the effectiveness of a biogenic carbonate surface treatment for limestone conservation. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(3), 1335-1347. <https://doi.org/10.1007/s00253-012-3997-0>
- Delgado Rodrigues, J., & Ferreira Pinto, A. P.** (2016). Laboratory and onsite study of barium hydroxide as a consolidant for high porosity limestones. *Journal of Cultural Heritage*, 19, 467-476. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.10.002>
- Delgado Rodrigues, J., & Ferreira Pinto, A. P.** (2019). Stone consolidation by biomineralisation. Contribution for a new conceptual and practical approach to consolidate soft decayed limestones. *Journal of Cultural Heritage*, 39, 82-92. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.04.022>
- Dhasindrakrishna, K., Pasupathy, K., Ramakrishnan, S., & Sanjayan, J.** (2021). Progress, current thinking and challenges in geopolymer foam concrete technology. *Cement and Concrete Composites*, 116, 103886. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2020.103886>
- Dick, J. C.** (2020). Best practices for matching replacement brick to historic fired-clay brick. In C. Kubica & K. Bednarz (Eds.), *Brick and Block Masonry - From Historical to Sustainable Masonry* (1st Edition ed., pp. 207-213). Taylor & Francis Group.
- DIN.** (1997). *Testing in a saturated atmosphere in the presence of sulfur dioxide (DIN50018:1997:06)*.
- Doehne, E., & Price, C. A.** (2011). *Stone Conservation: An Overview of Current Research*. Getty Conservation Institute.
- Donnelly, J.** (2009). *Bricks, A Guide to the Repair of Historic Brickwork, Advice Series*. J. Donnelly.
- Drebushchak, V. A., Mylnikova, L. N., & Molodin, V. I.** (2007). Thermogravimetric investigation of ancient ceramics. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 90(1), 73-79. <https://doi.org/10.1007/s10973-007-8478-9>

- du Plessis, A., Olawuyi, B. J., Boshoff, W. P., & le Roux, S. G.** (2016). Simple and fast porosity analysis of concrete using X-ray computed tomography. *Materials and Structures*, 49(1), 553-562. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0519-9>
- El-Gohary, M. A., & El-MAGD, M. A.** (2018). Influence Of Acrylic Coatings And Nanomaterials On The Interfacial, Physical, And Mechanical Properties Of Limestone-Based Monuments. Case Study Of “Amenemhat II Temple”.
- Elert, K., Cultrone, G., Navarro, C. R., & Pardo, E. S.** (2003). Durability of bricks used in the conservation of historic buildings — influence of composition and microstructure. *Journal of Cultural Heritage*, 4(2), 91-99. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(03\)00020-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074(03)00020-7)
- Er, A. C.** (2013). Geleneksel Harman Tuğlası ve Üretimi. *Mesleki Bilimler Dergisi*, 2(2), 61-70.
- Eriç, M.** (1994). *Yapı fiziği ve malzemesi*. Literatür Yayınları.
- Eroğlu, M., & Akyol, A. A.** (2017). Antik Yapı Malzemesi Olarak Tuğla ve Kiremit: Boğsak Adası Bizans Yerleşimi Örnekleme [Makaleler]. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 141-163. <https://doi.org/https://dergipark.org.tr/tr/pub/sanatvetasarim/issue/33313/370745>
- Eroğlu, M. A., Ali Akın.** (2017). Antik Yapı Malzemesi Olarak Tuğla ve Kiremit: Boğsak Adası Bizans Yerleşimi Örnekleme [Makaleler]. *Sanat ve Tasarım Dergisi*, 141-163. <https://doi.org/https://dergipark.org.tr/tr/pub/sanatvetasarim/issue/33313/370745>
- Ersen, A.** (1991). Taş Koruma ve Uygulamalarının Evrimi (Evolution of Stone Conservation and Applications)(Unpublished).
- Ersen, A.** (2013). Taş Korumada Son Yirmi Yıldaki Gelişmeler ve Yenilikler. *Restorasyon ve Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 10(3), 3-14.
- Ersen, A., Güleç, A., Alkan, N., & Kudde, E.** (2009). Konservasyon Raporunun Önemi, İçeriği ve Hazırlanma Adımları *Restorasyon Konservasyon Çalışmaları Dergisi*, 2, 03-17.
- Ersen, A., & Verdön, İ.** (2010). Konservasyon Biliminin Restorasyon Proje ve Uygulamalarına Katkıları. *TÜBA-KED Türkiye Bilimler Akademisi Kültür Envanteri Dergisi*, 7-10.
- Esposito Corcione, C., Manno, R., & Frigione, M.** (2016). Sunlight curable boehmite/siloxane-modified methacrylic nano-composites: An innovative solution for the protection of carbonate stones. *Progress in Organic Coatings*, 97, 222-232. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2016.04.037>
- Essa, A. M., & Khallaf, M. K.** (2016). Antimicrobial potential of consolidation polymers loaded with biological copper nanoparticles. *BMC Microbiol*, 16(1), 144. <https://doi.org/10.1186/s12866-016-0766-8>
- Fassina, V.** (1993). *General Criteria for the Cleaning of Stone: Theoretical Aspects and Methodology of Application* Course on Monument Conservation "Stone material in monuments: diagnosis and conservation Heraklion-Crete.
- Fassina, V.** (1994). *105-Desalination of Brick Masonry and Consolidation Treatments in The Crypt of S.Marco Basilica* Proc. of 7th Expert Meeting NATO_CCMS Pilot Study "Conservation of Historic Brick Structures", Academia: https://www.academia.edu/42967962/105_Desalination_of_Brick_Masonry_and_Consolidation_Treatments_in_The_Crypt_of_S_Marco_Basilica

- Favaro, M., Mendichi, R., Ossola, F., Russo, U., Simon, S., Tomasin, P., & Vigato, P. A.** (2006). Evaluation of polymers for conservation treatments of outdoor exposed stone monuments. Part I: Photo-oxidative weathering. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 3083-3096. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2006.08.012>
- Fernandes, F. M.** (2019). Clay bricks. In P. B. Lourenço (Ed.), *Long-term Performance and Durability of Masonry Structures* (pp. 3-19). Elsevier.
- Fernandes, F. M., Lourenço, P. B., & Castro, F.** (2010). Ancient Clay Bricks: Manufacture and Properties.
- Fernandes, F. M. C. P.** (2006). *Evaluation of two novel NDT techniques: Microdrilling of clay bricks and Ground Penetrating Radar in masonry.*
- Ferreira Pinto, A. P., & Delgado Rodrigues, J.** (2012). Consolidation of carbonate stones: Influence of treatment procedures on the strengthening action of consolidants. *Journal of Cultural Heritage*, 13(2), 154-166. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.07.003>
- Franzoni, E., Graziani, G., & Sassoni, E.** (2015). TEOS-based treatments for stone consolidation: acceleration of hydrolysis–condensation reactions by poulticing. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 74(2), 398-405. <https://doi.org/10.1007/s10971-014-3610-3>
- Franzoni, E., Graziani, G., Sassoni, E., Bacilieri, G., Griffa, M., & Lura, P.** (2015). Solvent-based ethyl silicate for stone consolidation: influence of the application technique on penetration depth, efficacy and pore occlusion. *Materials and Structures*, 48(11), 3503-3515. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0417-1>
- Franzoni, E., Pigino, B., Leemann, A., & Lura, P.** (2014). Use of TEOS for fired-clay bricks consolidation. *Materials and Structures*, 47(7), 1175-1184. <https://doi.org/10.1617/s11527-013-0120-7>
- Franzoni, E., Sassoni, E., & Graziani, G.** (2015). Brushing, poultice or immersion? The role of the application technique on the performance of a novel hydroxyapatite-based consolidating treatment for limestone. *Journal of Cultural Heritage*, 16(2), 173-184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.05.009>
- García-González, J., Pereira, A. S., Lemos, P. C., Almeida, N., Silva, V., Candeias, A., Juan-Valdés, A., & Faria, P.** (2020). Effect of surface biotreatments on construction materials. *Construction and Building Materials*, 241, 118019. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118019>
- García-Lodeiro, I., Zarzuela, R., Mosquera, M. J., & Blanco-Varela, M. T.** (2021). Consolidation of artificial decayed portland cement mortars with an alkoxy silane-based impregnation treatment and its influence on mineralogy and pore structure. *Construction and Building Materials*, 304, 124532. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124532>
- Gemelli, G. M. C., Zarzuela, R., Fernandez, F., & Mosquera, M. J.** (2021). Compatibility, effectiveness and susceptibility to degradation of alkoxy silane-based consolidation treatments on a carbonate stone. *Journal of Building Engineering*, 42, 102840. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102840>
- Gheno, G., Badetti, E., Brunelli, A., Ganzerla, R., & Marcomini, A.** (2018). Consolidation of Vicenza, Arenaria and Istria stones: A comparison between nano-based products and acrylate derivatives. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 44-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.02.013>

- Giorgi, R., Dei, L., & Baglioni, P.** (2000). A New Method for Consolidating Wall Paintings Based on Dispersions of Lime in Alcohol. *Studies in Conservation*, 45, 154-161.
- Giovannini, P., Parenti, R., & Camporeale, S.** (2002). Material structure and constructive history. *Journal of Cultural Heritage*, 3(1), 73-82. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(02\)01162-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074(02)01162-7)
- Graziani, G., Sassoni, E., & Franzoni, E.** (2015). Consolidation of porous carbonate stones by an innovative phosphate treatment: mechanical strengthening and physical-microstructural compatibility in comparison with TEOS-based treatments. *Heritage Science*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.1186/s40494-014-0031-0>
- Graziani, G., Sassoni, E., & Franzoni, E.** (2016). Experimental study on the salt weathering resistance of fired clay bricks consolidated by ethyl silicate. *Materials and Structures*, 49(7), 2525-2533. <https://doi.org/10.1617/s11527-015-0665-8>
- Grossi, C. M., Brimblecombe, P., Esbert, R. M., & Alonso, F. J.** (2007). Color changes in architectural limestones from pollution and cleaning. *Color Research & Application*, 32(4), 320-331. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/col.20322>
- Güleç, A. T.** (2012). Nuruosmaniye Camii'ne Ait Malzemelerin Nitelik Ve Problemlerinin Analizi.
- Gür, N. V., Deniz, Ö. Ş., & Ekinçi, S.** (2012). *Kagir Yığma Duvarlarda Taşıyıcı Malzeme ve Bileşenler*.
- Hansen, E., Doehne, E., Fidler, J., Larson, J., Martin, B., Matteini, M., Rodriguez-Navarro, C., Pardo, E. S., Price, C., de Tagle, A., Teutonico, J. M., & Weiss, N.** (2003). A review of selected inorganic consolidants and protective treatments for porous calcareous materials. *Studies in Conservation*, 48(sup1), 13-25. <https://doi.org/10.1179/sic.2003.48.Supplement-1.13>
- Hasol, D.** (2008). *Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü*. Yem Yayınevi.
- Hees, R. v., & Naldini, S.** (1995). The masonry damage diagnostic system.
- Heesl, R. P. J. v., Koekl, J. A. G., Clercq, H. D., Witte, E. D. W., Binda, L., & Baronio, G.** (1996). *Evaluation of the Performance of Surface Treatments for the Conservation of Brick Masonry* (Tech. rep., Issue).
- Hemeda, S., Khalil, M. H., Shoeb, A. Z. M., & Aziz, A. A. e.** (2018). The effectiveness of nano materials and nano-modified polymers for preservation of historic brick masonry in Rashid, Egypt.
- Hendrickx, R.** (2013). Using the Karsten tube to estimate water transport parameters of porous building materials. *Materials and Structures*, 46(8), 1309-1320. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9975-2>
- Hewat, J. M.** (1996). *Approaches to the Conservation of Salt Deteriorated Brick* [Masters Thesis, University of Pennsylvania]. Philadelphia.
- Huinink, H. P., Petkovic, J., Pel, L., & Kopinga, K.** (2006). Water and salt transport in plaster/substrate systems. *Heron*, 51(1), 9-31.
- ICOMOS.** (1964). *Venedik Tüzüğü*. http://www.icomos.org.tr/Dosyalar/ICOMOSTR_tr0243603001536681730.pdf
- ICOMOS.** (2003). *Mimari Mirasın Analizi, Korunması Ve Strüktürel Restorasyonu İçin İlkeler* 14. Genel Kurul, Victoria Şelaleri.

- Letto, F., Perri, F., Miriello, D., Ruffolo, S. A., Laganà, A., & Le Pera, E.** (2018). Epoxy Resin for the Slope Consolidation Intervention on the Tropea Sandstone Cliff (Southern Calabria, Italy). *Geoheritage*, 10(2), 287-300. <https://doi.org/10.1007/s12371-017-0235-2>
- Ion, R.-M., Turcanu-Caruțiu, D., Fierăscu, R.-C., Fierăscu, I., Bunghez, I.-R., Ion, M.-L., Teodorescu, S., Vasilievici, G., & Rădițoiu, V.** (2015). Caoxite-hydroxyapatite composition as consolidating material for the chalk stone from Basarabi–Murfatlar churches ensemble. *Applied Surface Science*, 358, 612-618. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.08.196>
- Jernberg, P., Lacasse, M. A., Haagenrud, S., & Sjöström, C.** (2004). Guide and Bibliography to Service Life and Durability Research for Buildings and Components.
- Jimenez-Lopez, C., Rodriguez-Navarro, C., Piñar, G., Carrillo-Rosúa, F. J., Rodriguez-Gallego, M., & Gonzalez-Muñoz, M. T.** (2007). Consolidation of degraded ornamental porous limestone stone by calcium carbonate precipitation induced by the microbiota inhabiting the stone. *Chemosphere*, 68(10), 1929-1936. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.02.044>
- Johari, I., Said, S., Hisham, B., Bakar, A., & Ahmad, Z. A.** (2010). Effect of the change of firing temperature on microstructure and physical properties of clay bricks from Beruas (Malaysia). *Science of Sintering*, 42, 245-254.
- Jroundi, F., Gómez-Suaga, P., Jimenez-Lopez, C., González-Muñoz, M. T., & Fernandez-Vivas, M. A.** (2012). Stone-isolated carbonatogenic bacteria as inoculants in bioconsolidation treatments for historical limestone. *Science of The Total Environment*, 425, 89-98. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.02.059>
- Jroundi, F., Schiro, M., Ruiz-Agudo, E., Elert, K., Martín-Sánchez, I., González-Muñoz, M. T., & Rodriguez-Navarro, C.** (2017). Protection and consolidation of stone heritage by self-inoculation with indigenous carbonatogenic bacterial communities. *Nature Communications*, 8(1), 279. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-00372-3>
- Kapridaki, C., & Maravelaki-Kalaitzaki, P.** (2013). TiO₂-SiO₂-PDMS nanocomposite hydrophobic coating with self-cleaning properties for marble protection. *Progress in Organic Coatings*, 76(2), 400-410. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2012.10.006>
- Kapridaki, C., Pinho, L., Mosquera, M. J., & Maravelaki-Kalaitzaki, P.** (2014). Producing photoactive, transparent and hydrophobic SiO₂-crystalline TiO₂ nanocomposites at ambient conditions with application as self-cleaning coatings. *Applied Catalysis B: Environmental*, 156-157, 416-427. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2014.03.042>
- Karakuş, F.** (2012). *Geleneksel Yiğma Yapılarda Strüktürel Sorunlar ve Çözüm Yolları* [Gazi Üniversitesi].
- Karkaş, Z. S., & Acun Özgünler, S.** (2021). Tarihi Yapılarda Kagir Yapı Malzemelerinin Koruma Uygulamalarında Kullanılabilecek Bir Yöntem Önerisi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 25(3), 564-577.
- Kazmi, S. M. S., Abbas, S., Nehdi, M. L., Saleem, M. A., & Munir, M. J.** (2017). Feasibility of Using Waste Glass Sludge in Production of Ecofriendly Clay Bricks. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(8), 04017056. [https://doi.org/doi:10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001928](https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001928)

- Khallaf, M. K., El-Midany, A. A., & El-Mofty, S. E.** (2011). Influence of acrylic coatings on the interfacial, physical, and mechanical properties of stone-based monuments. *Progress in Organic Coatings*, 72(3), 592-598. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2011.06.021>
- Khan, I., Saeed, K., & Khan, I.** (2019). Nanoparticles: Properties, applications and toxicities. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(7), 908-931. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2017.05.011>
- Kılıç, G. B., & Karahan, A. G.** (2010). Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Spektroskopisi ve Laktik Asit Bakterilerinin Tanısında Kullanılması. *Gıda*, 35(6), 445-452.
- Kingery, W. D.** (1960). *Introduction to Ceramics*. Jon Wiley and Sons.
- Kocataşkın, F.** (1966). *Yapı Malzemesi Bilimi*. Arı Kitabevi.
- Kocataşkın, F.** (1976). *Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları.
- Konak, A., Karahan, G., & Gedük, S.** (2022). Açık Hava Koşullarında Sergilenen Taş Eserlerde Bozulma – Bozunma Süreçleri Ve Koruma Yöntemleri. *Adıyaman Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 0(42), 194 - 226.
- Korat, L., & Ducman, V.** (2017). The influence of the stabilizing agent SDS on porosity development in alkali-activated fly-ash based foams. *Cement and Concrete Composites*, 80, 168-174. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2017.03.010>
- Korothe, S. R., Fazio, P., & Feldman, D.** (1998). Comparative Study of Durability Indices for Clay Bricks. *Journal of Architectural Engineering*, 4(1), 26-33. [https://doi.org/doi:10.1061/\(ASCE\)1076-0431\(1998\)4:1\(26\)](https://doi.org/doi:10.1061/(ASCE)1076-0431(1998)4:1(26))
- Kroftová, K., Škoda, D., Witzany, J., & Čejka, T.** (2019). *Consolidation Of Natural Stone With Calcium Hydroxide Nanosuspension In Ethanol And Verification Of Surface Hardening Rate* Structural Studies, Repairs and Maintenance of Heritage Architecture XVI Lisbon, Portugal.
- Ksinopoulou, E., Bakolas, A., & Moropoulou, A.** (2018). Consolidation effectiveness of modified Si-based nanocomposites applied to limestones. *Materials and Structures*, 51(6), 156. <https://doi.org/10.1617/s11527-018-1281-1>
- KUDEP.** (2011). *Restorasyon ve Konservasyon Laboratuvarları*. Şan Matbaası
- Kuran, F., & Dabanlı, Ö.** (2016). Tarihi Yığma Yapıların Mekanik Özelliklerinin Yerinde Yapılan Flat-Jack (Yassı Kriko) Deneyi ile Belirlenmesi. *Restorasyon Yıllığı Dergisi*(12, 180-187.
- La Iglesia, A., González, V., López-Acevedo, V., & Viedma, C.** (1997). Salt crystallization in porous construction materials I Estimation of crystallization pressure. *Journal of Crystal Growth*, 177(1), 111-118. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-0248\(96\)01072-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-0248(96)01072-X)
- Linsebigler, A. L., Lu, G., & Yates, J. T., Jr.** (1995). Photocatalysis on TiO₂ Surfaces: Principles, Mechanisms, and Selected Results. *Chemical Reviews*, 95(3), 735-758. <https://doi.org/10.1021/cr00035a013>
- Liu, R., Han, X., Huang, X., Li, W., & Luo, H.** (2013). Preparation of three-component TEOS-based composites for stone conservation by sol-gel process. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 68(1), 19-30. <https://doi.org/10.1007/s10971-013-3129-z>
- Livingston, R. A., Stutman, P. E., & Schuman, I.** (1998). *Conservation of Historic Brick*.

- Lopez-Arce, P., & Garcia-Guinea, J.** (2005). Weathering traces in ancient bricks from historic buildings. *Building and Environment*, 40(7), 929-941. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.08.027>
- López-Arce, P., Garcia-Guinea, J., Gracia, M., & Obis, J. n.** (2003). Bricks in historical buildings of Toledo City: characterisation and restoration. *Materials Characterization*, 50(1), 59-68. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1044-5803\(03\)00101-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1044-5803(03)00101-3)
- Lopez-Arce, P., & Zornoza-Indart, A.** (2015). Carbonation acceleration of calcium hydroxide nanoparticles: induced by yeast fermentation. *Applied Physics A*, 120(4), 1475-1495. <https://doi.org/10.1007/s00339-015-9341-7>
- Lourenço, P. B., Fernandes, F. M., & Castro, F.** (2010). Handmade Clay Bricks: Chemical, Physical and Mechanical Properties. *International Journal of Architectural Heritage*, 4(1), 38-58. <https://doi.org/10.1080/15583050902871092>
- Lourenço, P. B., van Hees, R., Fernandes, F., & Lubelli, B.** (2014). Characterization and Damage of Brick Masonry. In A. Costa, J. M. Guedes, & H. Varum (Eds.), *Structural Rehabilitation of Old Buildings* (pp. 109-130). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-39686-1_4
- Lu, G., Lu, G. Q., & Xiao, Z. M.** (1999). Mechanical Properties of Porous Materials. *Journal of Porous Materials*, 6(4), 359-368. <https://doi.org/10.1023/A:1009669730778>
- Lubelli, B., & van Hees, R. P. J.** (2007). Effectiveness of crystallization inhibitors in preventing salt damage in building materials. *Journal of Cultural Heritage*, 8(3), 223-234. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.06.001>
- Ludovico-Marques, M., & Chastre, C.** (2014). Effect of consolidation treatments on mechanical behaviour of sandstone. *Construction and Building Materials*, 70, 473-482. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.005>
- Luo, Y., Xiao, L., & Zhang, X.** (2015). Characterization of TEOS/PDMS/HA nanocomposites for application as consolidant/hydrophobic products on sandstones. *Journal of Cultural Heritage*, 16(4), 470-478. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.08.002>
- Lynch, G.** (1994). *Brickwork: History, Technology and Practice*. Donhead.
- Ma, X., Balonis, M., Pasco, H., Toumazou, M., Counts, D., & Kakoulli, I.** (2017). Evaluation of hydroxyapatite effects for the consolidation of a Hellenistic-Roman rock-cut chamber tomb at Athienou-Malloura in Cyprus. *Construction and Building Materials*, 150, 333-344. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.06.012>
- Macera, L., Gigli, L., Daniele, V., Plaisier, J. R., Arrizza, L., & Taglieri, G.** (2020). Synchrotron investigations of the nanolime reactivity on biocalcarene stone surfaces. *Construction and Building Materials*, 262, 120066. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120066>
- Mallidi, S. R.** (1996). Application of mercury intrusion porosimetry on clay bricks to assess freeze-thaw durability —a bibliography with abstracts. *Construction and Building Materials*, 10(6), 461-465. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-0618\(96\)00005-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0950-0618(96)00005-0)
- Manohar, S., & Santhanam, M.** (2021). Use of poulticing in desalination of masonry units – implications on salt-deteriorated structures. *Current Science*, 121(10), 1307-1315.

- Maravelaki-Kalaitzaki, P., Kallithrakas-Kontos, N., Agioutantis, Z., Maurigiannakis, S., & Korakaki, D.** (2008). A comparative study of porous limestones treated with silicon-based strengthening agents. *Progress in Organic Coatings*, 62(1), 49-60. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2007.09.020>
- Maritan, L., Mazzoli, C., Michelin, V., Bonacossi, D. M., Luciani, M., & Molin, G.** (2005). The Provenance and Production Technology of Bronze Age and Iron Age pottery from Tell Mishrifeh/Qatna (Syria). *Archaeometry*, 47(4), 723-744. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.2005.00229.x>
- Martinez, P., Soto, M., Zunino, F., Stuckrath, C., & Lopez, M.** (2016). Effectiveness of tetra-ethyl-ortho-silicate (TEOS) consolidation of fired-clay bricks manufactured with different calcination temperatures. *Construction and Building Materials*, 106, 209-217. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.116>
- Matteini, M., Rescic, S., Fratini, F., & Botticelli, G.** (2011). Ammonium Phosphates as Consolidating Agents for Carbonatic Stone Materials Used in Architecture and Cultural Heritage: Preliminary Research. *International Journal of Architectural Heritage*, 5(6), 717-736. <https://doi.org/10.1080/15583058.2010.495445>
- McColm, I. J.** (1983). *Ceramic Science for Materials Technologists*.
- Micallef, R., Vella, D., Sinagra, E., & Zammit, G.** (2016). Biocalcifying *Bacillus subtilis* cells effectively consolidate deteriorated *Globigerina* limestone. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 43(7), 941-952. <https://doi.org/10.1007/s10295-016-1768-0>
- Micheals, A. D.** (2013). Materials Analysis and Failure Analysis. In P. J. J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. 483-493). Elsevier.
- Miliani, C., Velo-Simpson, M. L., & Scherer, G. W.** (2007). Particle-modified consolidants: A study on the effect of particles on sol-gel properties and consolidation effectiveness. *Journal of Cultural Heritage*, 8(1), 1-6. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2006.10.002>
- Molina, E., Rueda-Quero, L., Benavente, D., Burgos-Cara, A., Ruiz-Agudo, E., & Cultrone, G.** (2017). Gypsum crust as a source of calcium for the consolidation of carbonate stones using a calcium phosphate-based consolidant. *Construction and Building Materials*, 143, 298-311. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.155>
- Moropoulou, A., Bakolas, A., & Bisbikou, K.** (2000). Investigation of the technology of historic mortars. *Journal of Cultural Heritage*, 1(1), 45-58. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(99\)00118-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074(99)00118-1)
- Moropoulou, A., Haralampopoulos, G., Tsiourva, T., Auger, F., & Birginie, J. M.** (2003). Artificial weathering and non-destructive tests for the performance evaluation of consolidation materials applied on porous stones. *Materials and Structures*, 36(4), 210-217. <https://doi.org/10.1007/BF02479613>
- Mostaghelchi, M., Zahiri, R., Miremad, S. H., & Ebadi, A. G.** (2013). Use of Mica Mineral Powder in Bricks Industry to Improve the Performances. *Asian Journal of Chemistry*, 25(16), 9144-9148.
- Munafò, P., Goffredo, G. B., & Quagliarini, E.** (2015). TiO₂-based nanocoatings for preserving architectural stone surfaces: An overview. *Construction and Building Materials*, 84, 201-218. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.02.083>

- Murru, A., & Fort, R.** (2020). Diammonium hydrogen phosphate (DAP) as a consolidant in carbonate stones: Impact of application methods on effectiveness. *Journal of Cultural Heritage*, 42, 45-55. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.09.003>
- Naidu, S., Liu, C., & Scherer, G. W.** (2015). Hydroxyapatite-based consolidant and the acceleration of hydrolysis of silicate-based consolidants. *Journal of Cultural Heritage*, 16(1), 94-101. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2014.01.001>
- Naldan, F.** (2019). Erzincan'da Osmanlı Dönemi Hamamları. *Belleten*, 83, 585-604.
- Natali, I., Saladino, M. L., Andriulo, F., Chillura Martino, D., Caponetti, E., Carretti, E., & Dei, L.** (2014). Consolidation and protection by nanolime: Recent advances for the conservation of the graffiti, Carceri dello Steri Palermo and of the 18th century lunettes, SS. Giuda e Simone Cloister, Corniola (Empoli). *Journal of Cultural Heritage*, 15(2), 151-158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.03.002>
- Navarro-Moreno, D., Martínez-Arredondo, A., García-Vera, V. E., Lourdes Gutiérrez-Carrillo, M., Antonio Madrid, J., & Lanzón, M.** (2021). Nanolime, ethyl silicate and sodium silicate: Advantages and inconveniences in consolidating ancient bricks (XII-XIII century). *Construction and Building Materials*, 277, 122240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122240>
- Onaran, K.** (1989). *Malzeme Bilimi*. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Ottosen, L. M., & Christensen, I. V.** (2012). Electrokinetic desalination of sandstones for NaCl removal—Test of different clay poultices at the electrodes. *Electrochimica Acta*, 86, 192-202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.electacta.2012.06.005>
- Ottosen, L. M., & Rørig-Dalgaard, I.** (2009). Desalination of a brick by application of an electric DC field. *Materials and Structures*, 42(7), 961-971. <https://doi.org/10.1617/s11527-008-9435-1>
- Ottosen, L. M., & Rørig-Dalgård, I.** (2007). Electrokinetic removal of Ca(NO₃)₂ from bricks to avoid salt-induced decay. *Electrochimica Acta*, 52(10), 3454-3463. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.electacta.2006.03.118>
- Öngen, S.** (2013). Tarihi Yapıların İncelenmesinde ve Restorasyonunda Petrografinin (Kayaç Bilim) Önemi. In *Restorasyon Konservasyon Çalışmaları* (pp. 73-80).
- Öter, N.** (2021). Anadolu Selçuklu Mimarisinde Tuğla Kubbeler *Gazi Türkiyat*, 28, 103-114.
- Öztürk, I.** (1992). *Alkoxysilanes Consolidation of Stone and Earthen Building Materials* [Masters Thesis,
- Papayianni, I., & Stefanidou, M.** (2000). *Characteristic of Bricks of Byzantine Period* 12th International Brick/Block Maonry Conference, Madrid.
- Pereira, A. S., Oliveira, A., Lemos, P. C., Guerra, J. P. L., Candeias, A., & Faria, P.** (2021). Biotreatment of ceramic bricks: The impact of the application method of an innovative bioproduct on biomineralization. *Construction and Building Materials*, 300, 124050. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124050>
- Pérez, N. A., Lima, E., Bosch, P., & Méndez-Vivar, J.** (2014). Consolidating materials for the volcanic tuff in western Mexico. *Journal of Cultural Heritage*, 15(4), 352-358. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.07.010>

- Perito, B., Marvasi, M., Barabesi, C., Mastromei, G., Bracci, S., Vendrell, M., & Tiano, P.** (2014). A *Bacillus subtilis* cell fraction (BCF) inducing calcium carbonate precipitation: Biotechnological perspectives for monumental stone reinforcement. *Journal of Cultural Heritage*, *15*(4), 345-351. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2013.10.001>
- Pesce, C., Moretto, L. M., Orsega, E. F., Pesce, G. L., Corradi, M., & Weber, J.** (2019). Effectiveness and Compatibility of a Novel Sustainable Method for Stone Consolidation Based on Di-Ammonium Phosphate and Calcium-Based Nanomaterials. *Materials*, *12*.
- Pesci, A., Bonali, E., Galli, C., & Boschi, E.** (2012). Laser scanning and digital imaging for the investigation of an ancient building: Palazzo d'Accursio study case (Bologna, Italy). *Journal of Cultural Heritage*, *13*(2), 215-220. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.09.004>
- Piñar, G., Jimenez-Lopez, C., Sterflinger, K., Eettenauer, J., Jroundi, F., Fernandez-Vivas, A., & Gonzalez-Muñoz, M. T.** (2010). Bacterial Community Dynamics During the Application of a *Myxococcus xanthus*-Inoculated Culture Medium Used for Consolidation of Ornamental Limestone. *Microbial Ecology*, *60*(1), 15-28. <https://doi.org/10.1007/s00248-010-9661-2>
- Possenti, E., Colombo, C., Bersani, D., Bertasa, M., Botteon, A., Conti, C., Lottici, P. P., & Realini, M.** (2016). New insight on the interaction of diammonium hydrogenphosphate conservation treatment with carbonatic substrates: A multi-analytical approach. *Microchemical Journal*, *127*, 79-86. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2016.02.008>
- Possenti, E., Colombo, C., Conti, C., Gigli, L., Merlini, M., Plaisier, J. R., Realini, M., Sali, D., & Gatta, G. D.** (2019). Diammonium hydrogenphosphate for the consolidation of building materials. Investigation of newly-formed calcium phosphates. *Construction and Building Materials*, *195*, 557-563. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.077>
- Possenti, E., Colombo, C., Conti, C., Marinoni, N., Merlini, M., Negrotti, R., Realini, M., & Gatta, G. D.** (2019). Consolidation of building materials with a phosphate-based treatment: Effects on the microstructure and on the 3D pore network. *Materials Characterization*, *154*, 315-324. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matchar.2019.05.037>
- Possenti, E., Conti, C., Gatta, G. D., Marinoni, N., Merlini, M., Realini, M., Vaughan, G. B. M., & Colombo, C.** (2022). Synchrotron X-ray diffraction computed tomography to non-destructively study inorganic treatments for stone conservation. *iScience*, *25*(10), 105112. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.105112>
- Postacıoğlu, B.** (1981). *Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, İç Yapı ve Mekanik Özellikleri* (Vol. 1). İ.T.Ü Matbaası.
- Potts, P. J., & Webb, P. C.** (1992). X-ray fluorescence spectrometry. *Journal of Geochemical Exploration*, *44*(1), 251-296. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0375-6742\(92\)90052-A](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0375-6742(92)90052-A)
- Pozo-Antonio, J. S., Otero, J., & González, N.** (2022). The influence of using wet cellulose poultice on nanolime consolidation treatments applied on a limestone. *Construction and Building Materials*, *337*, 127615. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127615>
- Pötzl, C., Rucker, S., Wendler, E., & Siegesmund, S.** (2021). Consolidation of volcanic tuffs with TEOS and TMOS: a systematic study. *Environmental Earth Sciences*, *81*(1), 13. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-10066-1>

- Proietti, N., Calicchia, P., Colao, F., De Simone, S., Di Tullio, V., Luvidi, L., Prestileo, F., Romani, M., & Tati, A.** (2021). Moisture Damage in Ancient Masonry: A Multidisciplinary Approach for In Situ Diagnostics. *Minerals*, *11*(4), 406. <https://www.mdpi.com/2075-163X/11/4/406>
- Radu, C. F., & Doni, M.** (2020). Selected Aspects Regarding the Restoration/Conservation of Traditional Wood and Masonry Building Materials: A Short Overview of the Last Decade Findings. *Applied Sciences*, *10*(3), 1164. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/app10031164>
- Rathossi, C., Tsolis-Katagas, P., & Katagas, C.** (2004). Technology and composition of Roman pottery in northwestern Peloponnese, Greece. *Applied Clay Science*, *24*(3), 313-326. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.clay.2003.07.008>
- Raut, S. H., Sarode, D. D., & Lele, S. S.** (2014). Biocalcification using *B. pasteurii* for strengthening brick masonry civil engineering structures. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, *30*(1), 191-200. <https://doi.org/10.1007/s11274-013-1439-5>
- Reedy, C. L., & Reedy, C. L.** (2022). High-resolution micro-CT with 3D image analysis for porosity characterization of historic bricks. *Heritage Science*, *10*(1), 83. <https://doi.org/10.1186/s40494-022-00723-4>
- Ren, K. B., & Kagi, D. A.** (1995). Upgrading the durability of mud bricks by impregnation. *Building and Environment*, *30*(3), 433-440. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1323\(94\)00056-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0360-1323(94)00056-X)
- Ribeiro, L. A. N.** (2016). *Consolidation of ceramic bricks. Effectiveness Assessment*. Assessment <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt>
- Ritchie, T.** (1975). *Moisture expansion of clay bricks and brickwork*.
- Robinson, G. C.** (1982). *Characterization of Bricks and Their Resistance to Deterioration Mechanisms. Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments* (Conservation of Historic Stone Buildings and Monuments Issue).
- Rodrigues, A., Sena da Fonseca, B., Ferreira Pinto, A. P., Piçarra, S., & Montemor, M. F.** (2021). Tailoring alkoxy silanes with poly(ethylene glycol) as potential consolidants for carbonate stones. *Construction and Building Materials*, *289*, 123048. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123048>
- Rodrigues, A., Sena da Fonseca, B., Ferreira Pinto, A. P., Piçarra, S., & Montemor, M. F.** (2022). TEOS Nanocomposites for the Consolidation of Carbonate Stone: The Effect of Nano-HAp and Nano-SiO₂ Modifiers. *Materials (Basel)*, *15*(3). <https://doi.org/10.3390/ma15030981>
- Rodriguez-Navarro, C., Rodriguez-Gallego, M., Ben Chekroun, K., & Gonzalez-Muñoz, M. T.** (2003). Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus*-induced carbonate biomineralization. *Appl Environ Microbiol*, *69*(4), 2182-2193. <https://doi.org/10.1128/aem.69.4.2182-2193.2003>
- Ross, C. W.** (1941). *Thermal Expansion of Clay Building Bricks*.
- Rozniakowski, K., Klemm, P., & Klemm, A. J.** (2001). Some experimental results of laser beam interaction with surface layer of brick. *Building and Environment*, *36*(4), 485-491. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(00\)00012-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0360-1323(00)00012-3)
- Ruck, L., & Brown, C. T.** (2015). Quantitative analysis of Munsell color data from archeological ceramics. *Journal of Archaeological Science: Reports*, *3*, 549-557. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2015.08.014>

- Ruffolo, S. A., La Russa, M. F., Ricca, M., Belfiore, C. M., Macchia, A., Comite, V., Pezzino, A., & Crisci, G. M.** (2017). New insights on the consolidation of salt weathered limestone: the case study of Modica stone. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 76(1), 11-20. <https://doi.org/10.1007/s10064-015-0782-1>
- Ruffolo, S. A., Rovella, N., Arcudi, A., Crupi, V., Majolino, D., Osanna, M., Pace, R., Pantuso, A., Randazzo, L., Ricca, M., Ruggieri, N., Venuti, V., & La Russa, M. F.** (2020). New insights to assess the consolidation of stone materials used in built heritage: the case study of ancient graffiti (Tituli Picti) in the archaeological site of Pompeii. *Heritage Science*, 8(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-00393-0>
- Saiz-Jimenez, C.** (1993). Deposition of airborne organic pollutants on historic buildings. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 27(1), 77-85. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0957-1272\(93\)90047-A](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0957-1272(93)90047-A)
- Salazar-Hernández, C., Salazar-Hernández, M., & Mendoza-Miranda, J. M.** (2022). The sol-gel process applied in the stone conservation. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s10971-022-05931-9>
- Salazar-Hernández, C., Zárraga, R., Alonso, S., Sugita, S., Calixto, S., & Cervantes, J.** (2009). Effect of solvent type on polycondensation of TEOS catalyzed by DBTL as used for stone consolidation. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 49(3), 301-310. <https://doi.org/10.1007/s10971-008-1879-9>
- Sánchez de Rojas, M. I., Azorín, V., Frías, M., Rivera, J., García, N., & Martín-Estarlich, A.** (2004). Weathering, cleaning and conservation of the brick façade on the “Niño Jesus” Hospital in Madrid. In C. Saiz-Jimenez (Ed.), *Air Pollution and Cultural Heritage*. Taylor & Francis Group.
- Sandrolini, F., Franzoni, E., Cuppini, G., & Caggiati, L.** (2007). Materials decay and environmental attack in the Pio Palace at Carpi: A holistic approach for historical architectural surfaces conservation. *Building and Environment*, 42(5), 1966-1974. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.04.021>
- Sarda, D., Choonia, H. S., Sarode, D. D., & Lele, S. S.** (2009). Biocalcification by *Bacillus pasteurii* urease: a novel application. *J Ind Microbiol Biotechnol*, 36(8), 1111-1115. <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0581-4>
- Sassoni, E., Delhomme, C., Forst, S., Graziani, G., Hénin, J., Masi, G., Palazzo, A., Rolland, O., & Vergès-Belmin, V.** (2021). Phosphate treatments for stone conservation: 3-year field study in the Royal Palace of Versailles (France). *Materials and Structures*, 54(4), 140. <https://doi.org/10.1617/s11527-021-01717-7>
- Sassoni, E., & Franzoni, E.** (2014a). Influence of porosity on artificial deterioration of marble and limestone by heating. *Applied Physics A*, 115(3), 809-816. <https://doi.org/10.1007/s00339-013-7863-4>
- Sassoni, E., & Franzoni, E.** (2014b). Sugaring marble in the Monumental Cemetery in Bologna (Italy): characterization of naturally and artificially weathered samples and first results of consolidation by hydroxyapatite. *Applied Physics A*, 117(4), 1893-1906. <https://doi.org/10.1007/s00339-014-8629-3>
- Sassoni, E., Franzoni, E., Pigino, B., Scherer, G. W., & Naidu, S.** (2013). Consolidation of calcareous and siliceous sandstones by hydroxyapatite: Comparison with a TEOS-based consolidant. *Journal of Cultural Heritage*, 14(3, Supplement), e103-e108. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.11.029>

- Sassoni, E., Graziani, G., & Franzoni, E.** (2015). Repair of sugaring marble by ammonium phosphate: Comparison with ethyl silicate and ammonium oxalate and pilot application to historic artifact. *Materials & Design*, *88*, 1145-1157. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.101>
- Sassoni, E., Graziani, G., & Franzoni, E.** (2016). An innovative phosphate-based consolidant for limestone. Part 1: Effectiveness and compatibility in comparison with ethyl silicate. *Construction and Building Materials*, *102*, 918-930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.04.026>
- Sassoni, E., Naidu, S., & Scherer, G. W.** (2011). The use of hydroxyapatite as a new inorganic consolidant for damaged carbonate stones. *Journal of Cultural Heritage*, *12*(4), 346-355. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2011.02.005>
- Sassoni, E., Ugolotti, G., & Pagani, M.** (2020). Nanolime, nanosilica or ammonium phosphate? Laboratory and field study on consolidation of a byzantine marble sarcophagus. *Construction and Building Materials*, *262*, 120784. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120784>
- Scalenghe, R., Barello, F., Saiano, F., Ferrara, E., Fontaine, C., Caner, L., Olivetti, E., Boni, I., & Petit, S.** (2015). Material sources of the Roman brick-making industry in the I and II century A.D. from Regio IX, Regio XI and Alpes Cottiae. *Quaternary International*, *357*, 189-206. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.11.026>
- Schuller, M. P.** (2003). Nondestructive testing and damage assessment of masonry structures. *Progress in Structural Engineering and Materials*, *5*(4), 239-251. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pse.160>
- Selwitz, C. M.** (1990). The Use of Epoxy Resins for Stone Consolidation. *MRS Online Proceedings Library*, *185*(1), 181-191. <https://doi.org/10.1557/PROC-185-181>
- Sena da Fonseca, B., Ferreira, M. J., Taryba, M. G., Piçarra, S., Ferreira Pinto, A. P., & Montemor, M. d. F.** (2019). Alkoxysilane-based sols for consolidation of carbonate stones: Impact of the carbonate medium in the sol-gel processes. *Journal of Cultural Heritage*, *37*, 63-72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.11.007>
- Sena da Fonseca, B., Ferreira Pinto, A. P., Piçarra, S., & Montemor, M. F.** (2020). Alkoxysilane-based sols for consolidation of carbonate stones: Proposal of methodology to support the design and development of new consolidants. *Journal of Cultural Heritage*, *43*, 51-63. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2019.11.003>
- Sena da Fonseca, B., Ferreira Pinto, A. P., Rodrigues, A., Piçarra, S., Santos, C., & Montemor, M. F.** (2022). Effect of the pore network and mineralogy of stones on the behavior of alkoxysilane-based consolidants. *Construction and Building Materials*, *345*, 128383. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128383>
- Sena da Fonseca, B., Ferreira Pinto, A. P., Rodrigues, A., Rucha, M., & Montemor, M. F.** (2022). Ability of novel consolidants to improve cohesion of carbonate stones: Dependence on pore-shape, aging conditions and treatment procedures. *Journal of Cultural Heritage*, *55*, 95-106. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2022.02.011>

- Shekofteh, A., Molina, E., Rueda-Quero, L., Arizzi, A., & Cultrone, G.** (2019a). Correction to: The efficiency of nanolime and dibasic ammonium phosphate in the consolidation of beige limestone from the Pasargadae World Heritage Site. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*(9), 5081-5083. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00892-7>
- Shekofteh, A., Molina, E., Rueda-Quero, L., Arizzi, A., & Cultrone, G.** (2019b). The efficiency of nanolime and dibasic ammonium phosphate in the consolidation of beige limestone from the Pasargadae World Heritage Site. *Archaeological and Anthropological Sciences*, *11*(9), 5065-5080. <https://doi.org/10.1007/s12520-019-00863-y>
- Sierra-Fernandez, A., Gomez-Villalba, L. S., Rabanal, M. E., & Fort, R.** (2017). New nanomaterials for applications in conservation and restoration of stony materials: A review. *Materiales de Construcción*, *67*(325), e107. <https://doi.org/10.3989/mc.2017.07616>
- Singer, F., & Singer, S. S.** (1963). *Industrial Ceramics*. Springer.
- Slaton, D., & Normandin, K. C.** (2005). Masonry Cleaning Technologies. *Journal of Architectural Conservation*, *11*(3), 7-31. <https://doi.org/10.1080/13556207.2005.10784950>
- Slavíková, M., Krejčí, F., Žemlička, J., Pech, M., Kotlík, P., & Jakubek, J.** (2012). X-ray radiography and tomography for monitoring the penetration depth of consolidants in Opuka – the building stone of Prague monuments. *Journal of Cultural Heritage*, *13*(4), 357-364. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2012.01.010>
- Sleater, G. A.** (1973). *NBSIR 74-444 A Review of Natural Stone Preservation*.
- Snelhage, R.** (2014). Stone in Architecture. In R. S. S. Siegesmund (Ed.), *Stone in Architecture, Properties, Durability* Springer.
- Soffritti, I., Maria, D. A., Lanzoni, L., Volta, A., Bisi, M., Mazzacane, S., & Caselli, E.** (2019). The Potential Use of Microorganisms as Restorative Agents: An Update. *Sustainability*, *11*(14), 3853. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su11143853>
- Solongo, S., Franken, C., Tengis, S., Ulambayar, E., & Batbayr, T.-O.** (2020). Multi-method (XRF, FTIR, TGA) analysis of ancient bricks from Karabalgasun : A preliminary study.
- Stefanidou, M.** (2007). *Assimilation of porosity in modern bricks by computational means* Computational Methods and Experiments in Materials Characterisation III,
- Stefanidou, M., Papayianni, I., & Pacht, V.** (2015). Analysis and characterization of Roman and Byzantine fired bricks from Greece. *Materials and Structures*, *48*(7), 2251-2260. <https://doi.org/10.1617/s11527-014-0306-7>
- Stucchi, N. M. E., Tesser, E., Zaccariello, G., Antonelli, F., & Benedetti, A.** (2022). Evaluating two nanosilica dimensional range for the consolidation of degraded silicate stones. *Construction and Building Materials*, *329*, 127191. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127191>
- Svahn, H. A.** (2006). Non-Destructive Field Tests in Stone conservation: Field and Laboratory Tests: Final Report for the Research and Development Project.
- Taglieri, G., Otero, J., Daniele, V., Gioia, G., Macera, L., Starinieri, V., & Charola, A. E.** (2018). The biocalcarenite stone of Agrigento (Italy): Preliminary investigations of compatible nanolime treatments. *Journal of Cultural Heritage*, *30*, 92-99. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.003>

- Tanaçan, L.** (1993). *Hafif Duvar Tuğlası Üretiminde Perlit ve Bazı Katkıların Etkilerinin Araştırılması* [İstanbul Teknik Üniversitesi]. İstanbul.
- Tanaçan, L., Kurugöl, S., & Ersoy, H. Y.** (2009). Investigation of Ultrasonic Pulse Velocity-Strength Relationship of Lime-Pozzolan Mortars. *Fourth International ECOMATERIALS* . ,
- Tc, R. H. M.** (2012). RILEM TC 203-RHM: Repair mortars for historic masonry. *Materials and Structures*, 45(9), 1287-1294. <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9847-9>
- Tesser, E., Antonelli, F., Sperti, L., Ganzerla, R., & Maravelaki, N.-P.** (2014). Study of the stability of siloxane stone strengthening agents. *Polymer Degradation and Stability*, 110, 232-240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2014.08.022>
- Torraca, G.** (2005). *Porous Building Materials: Materials Science for Architectural Conservation*. ICCROM.
- Torraca, G.** (2009). *Lectures on Materials Science for Architectural Conservation*. The Getty Conservation Institute.
- Toydemir, N.** (1976). *Seramik Yapı Malzemeleri*.
- Toydemir, N.** (1978). *Pişmiş Toprak Yapı Malzemesinin Rasyonel Üretim Olanaklarının Araştırılması* [İTÜ Mimarlık Fakültesi Matbaası]. İstanbul.
- Toydemir, N., Güldal, E., & Tanaçan, L.** (2019). *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme*. Literatür Yayıncılık.
- TS.** (2009). *Doğal Yapı Taşları-İnceleme ve Laboratuvar Deney Yöntemleri (TS 699)*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TS/EN.** (2000). *Doğal taşlar- Deney metotları- Kılcal etkiye bağlı su emme katsayısının tayini (TS EN 1925)*.
- TS/EN.** (2002). *Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 6: Beton kâgir birimlerin eğilmede çekme dayanımının tayini (TS EN 772-6)* Türk Standardları Enstitüsü.
- TS/EN.** (2007a). *Doğal taşlar- Deney metotları- Basınç dayanımı tayini (TS EN 1926)*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TS/EN.** (2007b). *Doğal taşlar- Deney metotları- Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini. Türk Standardları Enstitüsü (TS EN 1936)*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TS/EN.** (2010). *Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Dona dayanım tayini (TS EN 12371:2011-04)*. Türk Standardları Enstitüsü.
- TS/EN.** (2019). *Doğal taşlar - Deney yöntemleri - Petrografik inceleme (TS EN 12407)*). Türk Standardları Enstitüsü.
- TS/EN.** (2020). *Doğal taşlar - Deney Yöntemleri - Tuz kristallenmesine direncin tayini (TS EN 12370)*. Türk Standardları Enstitüsü.
- Tuğla, R., Demircan, R. K., & Kaplan, G.** (2018, 2018//). A Study on the Use of Advanced Nondestructive Testing Methods on Historic Structures. *Proceedings of 3rd International Sustainable Buildings Symposium (ISBS 2017)*, Cham.
- Vasanelli, E., Calia, A., Masieri, M., & Baldi, G.** (2019). Stone consolidation with SiO₂ nanoparticles: Effects on a high porosity limestone. *Construction and Building Materials*, 219, 154-163. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.169>
- Vicini, S., Margutti, S., Moggi, G., & Pedemonte, E.** (2001). In situ copolymerisation of ethylmethacrylate and methylacrylate for the restoration of stone artefacts. *Journal of Cultural Heritage*, 2(2), 143-147. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074\(01\)01114-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1296-2074(01)01114-1)

- Vicini, S., Mariani, A., Princi, E., Bidali, S., Pincin, S., Fiori, S., Pedemonte, E., & Brunetti, A.** (2005). Frontal polymerization of acrylic monomers for the consolidation of stone. *Polymers for Advanced Technologies*, 16(4), 293-298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/pat.584>
- Vitruvius.** (2017). *Mimarlık Üzerine 10 Kitap* (S. güven, Trans.).
- Vlack, L. H. V.** (1972). *Malzeme Bilimine Giriş*. Matbaa Teknisyenleri Basımevi.
- Warren, J.** (1999). *Conservation of Brick*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Warscheid, T., & Braams, J.** (2000). Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 46(4), 343-368. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00109-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00109-8)
- Weththimuni, M. L., Licchelli, M., Malagodi, M., Rovella, N., & La Russa, M.** (2018). Consolidation of bio-calcareous stone by treatment based on diammonium hydrogenphosphate and calcium hydroxide nanoparticles. *Measurement*, 127, 396-405. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.06.007>
- Wheeler, G., Méndez-Vivar, J., & Fleming, S.** (2003). The Use of Modified Zr-nPropoxide in the Consolidation of Calcite: A Preliminary Study Focused into the Conservation of Cultural Heritage. *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 26(1), 1233-1237. <https://doi.org/10.1023/A:1020728806759>
- Winkler, E.** (1994). Historic and Actual Stone Conservation Compounds. In R. S. S. Siegesmund (Ed.), *Stone in Architecture* (pp. 417-440).
- Xu, F., & Li, D.** (2017). The use of CTAB as an addition of DAP for improvement resisting acid rain on limestone. *Applied Surface Science*, 422, 1059-1066. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.06.044>
- Xu, F., Zeng, W., & Li, D.** (2019). Recent advance in alkoxy silane-based consolidants for stone. *Progress in Organic Coatings*, 127, 45-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.11.003>
- Yang, F., Liu, Y., Zuo, G., Wang, X., Hua, P., Ma, Q., Dong, G., Yue, Y., & Zhang, B.** (2014). Hydroxyapatite conversion layer for the preservation of surface gypsification marble relics. *Corrosion Science*, 88, 6-9. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.07.003>
- Yasa, A. A.** (2016). Anadolu Selçuklu Ve Beylikler Dönemi Konya Yapılarında Malzeme Kullanımı Ve Yapım Teknikleri. *Vakıflar Dergisi* 45, 143-176.
- Yünel, T. Y., Ersoy, A., & Ehsani, A.** (2019). X-ışını difraksiyonu yöntemi ile kantitatif mineral içeriği tayini ve çalışma şartlarının etkisi. *Artbilim: Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi* 2(2), 16-28.
- Yüzer, N., Doran, B., Coşandal, A., Hazar, A. B., Berilgen, M. M., & Büyükpınar, Ç.** (2015). *Tarihi Yapıların Tuğla Duvar Özgün Malzeme Özelliklerinin Belirlenmesi ve Yük Altında Davranışının Model Deneylerle Araştırılması* (TÜBİTAK 1001 Kodlu Araştırma Projesi, Issue).
- Zakar, L., & Eyüpgiller, K. K.** (2015). *Mimari Restorasyon Koruma Teknik ve Yöntemleri*. YEM Kitapevi.
- Zamani, N., Ghezsofla, M., Ahadi, A. M., & Zamani, M.** (2017). Application of Microbial Biotechnology in Conservation and Restoration of Stone Monument. *Journal of Applied Biotechnology Reports*, 4, 587-592.
- Zamarreño, D. V., Inkpen, R., & May, E.** (2009). Carbonate Crystals Precipitated by Freshwater Bacteria and Their Use as a Limestone Consolidant. *Applied and Environmental Microbiology*, 75(18), 5981-5990. <https://doi.org/doi:10.1128/AEM.02079-08>

- Zappia, G., Sabbioni, C., Pauri, M. G., & Gobbi, G.** (1994). Mortar damage due to airborne sulfur compounds in a simulation chamber. *Materials and Structures*, 27(8), 469-473. <https://doi.org/10.1007/BF02473451>
- Zárraga, R., Alvarez-Gasca, D. E., & Cervantes, J.** (2002). Solvent effect on TEOS film formation in the sandstone consolidation process. *Silicon Chemistry*, 1(5), 397-402. <https://doi.org/10.1023/B:SILC.0000025602.64965.e7>
- Zárraga, R., Cervantes, J., Salazar-Hernandez, C., & Wheeler, G.** (2010). Effect of the addition of hydroxyl-terminated polydimethylsiloxane to TEOS-based stone consolidants. *Journal of Cultural Heritage*, 11(2), 138-144. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2009.07.002>
- Zebari, Z., Bedirhanoglu, İ., & Aydın, E.** (2017). Beton basınç dayanımının ultrasonik ses dalgası yayılma hızı ile tahmin edilmesi. *Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi*, 8(1), 43-52.
- Zornoza-Indart, A., Lopez-Arce, P., Leal, N., Simão, J., & Zoghalmi, K.** (2016). Consolidation of a Tunisian bioclastic calcarenite: From conventional ethyl silicate products to nanostructured and nanoparticle based consolidants. *Construction and Building Materials*, 116, 188-202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.04.114>
- Zornoza-Indart, A., López-Arce, P., & López-Polín, L.** (2017). Durability of traditional and new nanoparticle based consolidating products for the treatment of archaeological stone tools: Chert artifacts from Atapuerca sites (Burgos, Spain). *Journal of Cultural Heritage*, 24, 9-21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.10.019>

EKLER

EK A: Pişmiş Kil Esaslı Tuğla Üzerinde Yapılan Sağlamlaştırıcı Çalışmalarının Karşılaştırılması.

EK B: Pişmiş Kil Esaslı Yapı Tuğlasının Korunması İçin Bir Yaklaşım





EK A

SAĞLAMLAŞTIRICI ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRME PARAMETRELERİ		SAĞLAMLAŞTIRICILAR (KONSOLİDANTLAR)											
		İnorganik Sağlamaştırıcılar	Alkoksisilanlar				Sentetik Organik Polimerler	Nano sağlamaştırıcılar			Biyo sağlamaştırıcılar		
		Sodyum Silikat	Etil Silikat (TEOS-Tetra etil ortho silikat)	Alkil-alkoksilan	Silisik ester	Silisik asit + Oligomerik polisiloksanların etil esteri	Paraloid B72	Nano Kireç (NK)	Nano silika (NS)	Nano titanyum (NT)	Bacillus pasteurii	Escherichia coli	Karışık mikrobiyal (MMC) kültür
Uygulama özellikleri (daldırma, fırçalama, püskürtme, kılcallık)			(-) Uygulama yöntemi her değerlendirilmesinde aynı sonucu vermeyebilir.									Kılcallık ile uygulama: (+) Damlatma ile uygulama:(++)	Kılcallık ile uygulama: (+) Damlatma ile uygulama:(++)
Nüfuz etme özellikleri	Sağlamaştırıcı emilimi veya kütle artımı		(+) Genellikle yüksektir. Düşük ürün emilimi gözlenen bir çalışma mevcuttur.	(-) Altlığın özelliklerine göre değişmektedir.	(+) Yüksek emilim	(+) Yüksek emilim	(-) Oldukça düşük						
	Nüfuz etme derinliği (penetrasyon)		(+) Genellikle yeterli		(+) Yüksek	(+) Yüksek	(-) Oldukça düşük						
Gözeneklilik Özellikleri	Su buharı geçirgenliği		(-) Genellikle azalmamıştır. Fakat bir çalışmada azalma gerçekleşmiştir.						(+) Nano silikat+Nano titanyum+Polimer gözenekleri kapatmamıştır.				
	Su emme		Azalma görülmüştür. TEOS (+), TEOS + poli-metil-fenil siloksan: (+), TEOS+ poli-metil-siloksan+ alkil-alkoksi-silan: (+)	(+) Yüksek olmamakla birlikte orta derecede azalma	(-) Yüksek su emilimi	(-) Yüksek su emilimi	(-) Yüksek su emilimi	(-) Yüksek su emilimi veya düşük oranda azalma	Azalma gözlenmiştir. NS: (+) NS+Polimer: (++) NS+NT+Polimer: (+++)	Azalma gözlenmiştir. NT+Polimer: (+) NT+NS+Polimer: (++)	Azalma gözlenmiştir. NB ortamı:(+) BHI ortamı:(++) OptU ortamı:(+++)	(+) Demir açısından zenginleştirilmiş (4°C 48h) Escherichia coli'de yüksek oranda azalma görülmüştür.	(+) Tüm numunelerde iyileşme görülmüştür.
	Gözenek boyutu dağılımı	İnce gözenekler (r<1µm)	(-) Genellikle azalmakla birlikte artış gözlenen çalışmalar da mevcuttur.										
		Büyük gözenekler (>1 µm)	(+) Değişmemiştir veya bir miktar azalmıştır.										
	SSA/özgül yüzey alanı		(+) Azalmıştır. (Ürünün konsantrasyonu arttıkça, SSA düşer)										
	Açık gözeneklilik (Hacimce su emme)		(+) Azalmıştır. Etil silikatın konsantrasyonu arttıkça, açık gözeneklilik azalır.						(-) Düşük artış gözlenmiştir. (Diğer nano malzemelerden düşük kalmıştır.)	Hepsinde azalma gözlenmiştir. NS: (+), NS+Polimer: (++) NS+NT+Polimer: (+++)	Hepsinde azalma gözlenmiştir. NT+Polimer: (+), NT+NS+Polimer: (++)		
	Toplam gözeneklilik/komposite		(+) Azalmıştır. (Altlık özellikleri ile değil, sağlamaştırıcının konsantrasyonu ile ilgilidir)			(+) Ultrases hızında azalma	(+) Ultrases hızında azalma	(-) Çok küçük azalma					
Durabilite	Malzeme İç Kuvvetleri ile Oluşabilecek Genleşmeye Karşı Dayanım		(-) Kısmi çatlak ve ayrışma gözlenmiştir. (Yetersiz penetrasyon veya yüksek ürün emilimi ile mikro yapının değişmesi olumsuz sonuca neden olabilir.)		(-) Çatlak oluşumu gözlenmiştir.	(+) Kabul edilebilir sonuçlar vermiştir (kısmen su itici olduğu için).	(-) Yüksek derecede bozulma, ayrışma, çatlak oluşumu gözlenmiştir.						
	Uzun süre dayanım				(-) Suya uzun süre temasta niteliğini kaybetmiştir.								
	Biyolojik bozunmaya dayanım												

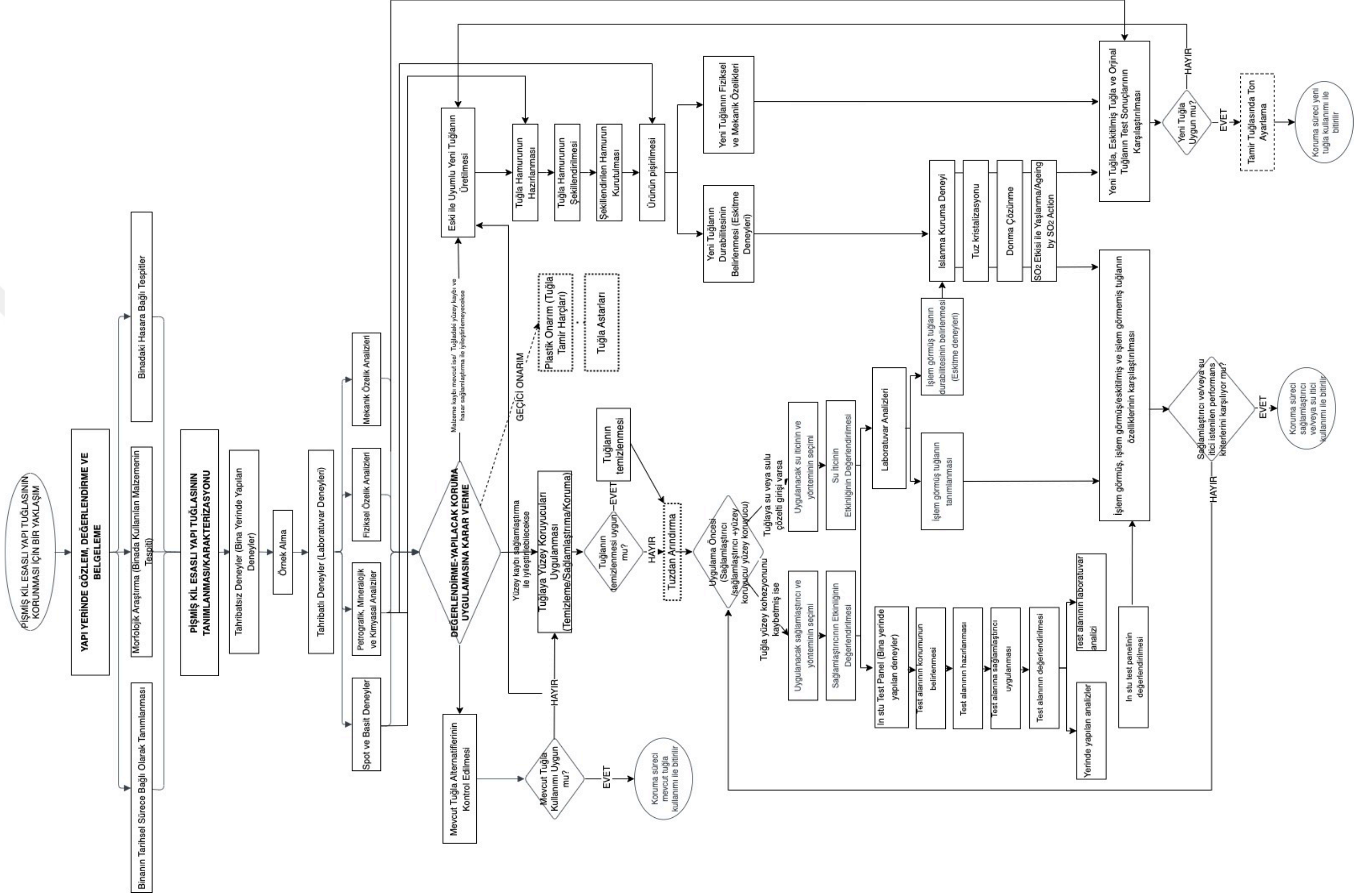
OLUMSUZ SONUÇ: (-), OLUMLU SONUÇ: (+), DEĞİŞKEN: (~)

Şekil A.1 : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerinde yapılan sağlamaştırıcı çalışmalarının karşılaştırılması.

SAĞLAMLAŞTIRICI ETKİNLİĞİNİ DEĞERLENDİRİME PARAMETRELERİ		SAĞLAMLAŞTIRICILAR (KONSOLİDANTLAR)											
		İnorganik Sağlamlaştırıcılar	Alkoksisilanlar				Sentetik Organik Polimerler	Nano sağlamlaştırıcılar			Biyo sağlamlaştırıcılar		
			Sodyum Silikat	Etil Silikat (TEOS-Tetra etil ortho silikat)	Alkil-alkoksisilan	Silisik ester	Silisik asit + Oligomeric polisiloksanların etil esteri	Paraloid B72	Nano Kireç (NK)	Nano silika (NS)	Nano titanyum (NT)	Bacillus pasteurii	Escherichia coli
Sağlamlaştırma Yeteneği	Basınç Dayanımı		(+) Önemli artış (Tuğlanın ilk dayanımı ve ürün emilimi ile alakalıdır.)					(-) Önemli bir artış gözlenmemiştir veya düşük artış gözlenmiştir.	Genellikle artış gözlenmiştir. NK: (+), NS+Polimer: (++) , NS+NT+Polimer: (+++)	Genellikle artış gözlenmiştir. NT+Polimer: (+), NT+NS+Polimer: (++)	Artış gözlenmiştir. NB ortamı:(+) OptU ortamı:(++)		
	Çekme Dayanımı		(+) Artış gözlenmiştir. (Ürün emilimi ve penetrasyonu ile ilgili)										
	Elastiklik Modülü		(+) Artış gözlenmiştir. (Ürün emilimi ve penetrasyonu ile ilgili)										
	Aşınma Direnci	(+) Yüzey soyulmasını azaltmıştır.						(+) Yüzey soyulmasını yüksek oranda azaltmıştır.					
	Birim ağırlık/özgül ağırlık		(+) Genel olarak hafif artış.										
	Gerçek yoğunluk		(+) Genel olarak hafif artış.					(+) Artış gözlenmiştir. (Diğer nano malzemelere göre düşük)	Artış gözlenmiştir. NS: (+), NS+Polimer: (++) , NS+NT+Polimer: (+++)	Artış gözlenmiştir. NT+Polimer: (+) NT+NS+Polimer: (++)			
	Su Direnci		(~) Kullanılan etil silikata göre değişmektedir. Rhodorsil RC70 (TEOS): (-) TEOS + poli-metil-fenil siloksan: (+)										
Altık ile kimyasal-fiziksel-mekanik uyumluluk	Isıl Genleşme Özellikleri (Termal Genleşme)												
	Nem Genleşmesine Dayanım												
	Yüzey sertleşmesi (geçirimsiz film tabakası)		(~) Ürün yeterli nüfuz ettiyse görülmemiştir, etmediyse görülmüştür.										
	Çatlak oluşumu	(-) Çatlak oluşumu gözlenmiştir.	(-) Hafif çatlak oluşumu gözlenmiştir.				(-) Çatlak oluşumu gözlenmiştir.						
	Konsolide olan kısım olmayan kısım arasındaki uyum		(~) Genellikle uyumludur. Yetersiz nüfuz etme sonucu uyumsuzluk gerçekleşmiştir.										
	Bozulma ve Bozunma	(-) Pullanma, çiçeklenme görülmüştür.											
Yeniden işlem uygulanmasına izin verme													
Görünümdeki değişiklikler	Renk farkı	(-) Yüksek renk değişimi, beyaz nokta oluşumu	(~) Genellikle renk farkı düşüktür. (Fazla ürün emilimi yüksek renk değişimine neden olabilir.) Fırçalama:(+), Daldırma:(-)		(+) Renk değişimi görülmemiştir.	(+) Renk değişimi görülmemiştir.	(~) Altığa ve uygulama yöntemine göre değişmektedir.	(-) Yüksek renk değişimi, yüzeyde heterojen birikme ve beyazlatma				(+) Renk değişimi görülmemiştir.	(+) Renk değişimi görülmemiştir.
	Toz çekme ve emme duyarı												

OLUSMUZ SONUÇ: (-), OLUMLU SONUÇ: (+), DEĞİŞKEN: (~)

Şekil A.1 (devam) : Pişmiş kil esaslı tuğla üzerinde yapılan sağlamlaştırıcı çalışmalarının karşılaştırılması.



Şekil B.1 : Pışmiş kil esaslı yapı tuğlasının korunması için bir yaklaşım.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Rumeysa Temel

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2011, Trakya Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2011-2018 yılları arasında MMProje/İKA mimarlık ofisinde mimar olarak çalıştı.
- 2021 yılından itibaren Marmara Üniversitesi, Mimarlık ve Tasarım Fakültesi, Mimarlık Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.