

KASIM 2021

Yüksek Lisans – Mimarlık Bölümü

SİNAN TALHA ÖZCAN

**T.C.
HASAN KALYONCU ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ ENSTİTÜSÜ**

**ALKER (ALÇI KATKILI KERPIÇ)
TEKNOLOJİSİNİN
ENDÜSTRİLEŞMEDE HIZ VE KALİTE
AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ**

**MİMARLIK ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**SİNAN TALHA ÖZCAN
KASIM 2021**

**Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Endüstrileşmede
Hız ve Kalite Açısından Değerlendirilmesi**

Hasan Kalyoncu Üniversitesi

Mimarlık Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İncesakal

SİNAN TALHA ÖZCAN

KASIM -2021

© 2021 [Sinan Talha ÖZCAN]



**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜDÜRLÜĞÜNE
YÜKSEK LİSANS KABUL VE ONAY FORMU**

Mimarlık Anabilim Dalı Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi **Sinan Talha ÖZCAN** tarafından hazırlanan “**Alker (Alçı katkılı kerpiç) Teknolojisinin Endüstrileşme Hız ve Kalite Açısından Değerlendirilmesi**” başlıklı tez **15/11/2021** tarihinde yapılan savunma sınavı sonucu **başarılı** bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Görevi

**Unvanı, Adı ve Soyadı
Kurumu/Üniversitesi**

İmzası:

**Tez
Danışmanı**

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İNCESAKAL
Hasan Kalyoncu Üniversitesi

Jüri Başkanı

Dr. Öğr. Üyesi Şefika ERGİN
Dicle Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Gülden AYALP
Hasan Kalyoncu Üniversitesi

Bu tez Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İbrahim GÜZELBEY
Enstitü Müdürü V.

İlgili tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek ilgili tezde yer aldığını beyan ederim.

Sinan Talha ÖZCAN



ÖZET

ALKER (ALÇI KATKILI KERPIÇ) TEKNOLOJİSİNİN PÜSKÜRTME BETON TEKNOLOJİSİ (SHOTCRETE) TEKNİĞİ İLE ENDÜSTRİLEŞMEDE HIZ VE KALİTE AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

ÖZCAN, Sinan Talha
Yüksek Lisans Tezi, Mimarlık
Tez Yöneticisi: Dr. Öğr. Üyesi Mustafa İncesakal
Kasım 2021
90 sayfa

İnsanlık tarihinden günümüze ulaşan, inşaat yöntemi Anadolu’da toprağa saman katılarak geliştirilip Kerpiç adını almıştır. Anadolu ve dünyada ki mimari kültürlerde Kerpiç yapıların önemi fazladır. Kerpiç malzeme, fiziksel özellikleri ile insan sağlığına uygun iç mekân iklimi yaratır. Ancak yakın tarihlerde, küresel sanayi tarafından büyük ölçüde desteklenen beton ve çelik malzemelerin yaygınlaşması, Kerpiç malzemenin sektör dışında bırakılmasını sağlamıştır. Beton ve çelik malzemenin büyümesindeki sebep, hızlı ve kaliteli malzemenin sanayi tarafından teminidir. Buna karşın geleneksel kerpiç malzeme üretimi uzun zaman almaktadır. Kerpiç malzeme ile inşaatın dayanıklı, deprem güvenli ve hızlı olabilmesi için çeşitli araştırmalar yürütülmüştür.

Kerpiç: Dünyada en çok kullanılan yapı malzemesidir. Toprağa saman katılarak ve kalıpta şekli verilerek elde edilir. Üretim işlemleri çok uzun sürmekte ve günümüz inşaat ihtiyacını çözememektedir. İTÜ’de 1962 yılında kerpiç araştırmaları başlatılmıştır. 1980 de Prof. Ruhi Kafescioğlu’nun zamana karşı dayanıklı olması amacıyla yürütülen araştırmalar neticesinde toprağa; alçı ve kireç katılarak Alker adı verilen yapı malzemesi elde edilmiştir. Ancak Alker teknolojisi hızlı ve kaliteli olmasına rağmen sanayi ürünü olan beton ve çelik malzemedenden, oluşan inşaat sektöründen pay alamamaktadır.

Bu çalışmada Alker malzemenin inşaatda kullanılması amacıyla teknolojik yapım yöntemleri esas alınarak üretim yöntemlerinin geliştirilmesi düşünülmüştür. Üretim süresinin kısaltılması için 2002 senesinden itibaren İTÜ Mimarlık Fakültesinde Prof. Dr. Bilge Işık tarafından toprağın püskürtme beton makinesi (shotcrete) ile duvar kalıplarına püskürtülerek inşaat hızlandırma araştırması başlanmıştır. Beton teknolojisinde kullanılan “Shotcrete” makinesi ile Alker duvar inşaatı kararları için deney dizisi düzenlendi. Bu bağlamda öncelikle Shotcrete makinesi ve beraber kullanılan kompresör tipi belirlendi. Toprak püskürtme tekniği için inşa sahasında gerekli olan ihtiyaçlar ve ekipmanlar; Shotcrete Makinesi, Kompresör, Elektrik ve Su’dur. Karışım malzeme özelliği tanımlandı ve Shotcrete makine ile farklı operatörlerle uygulama denendi. Shotcrete makinesinin kolay kullanımının önündeki engel, nozulda (tabancada) su miktarının vana kullanılarak belirlenmesi işlemleri yürütüldü. Tecrübesiz veya az tecrübeye sahip operatörün kullanım rahatlığının oluşması ve shotcrete makinesinden verim almak amacıyla, shotcrete makinesinde yapılabilir tadilat öneriler ve çıkarımlar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Alker, Kerpiç, Yapı yöntemi, Sürdürülebilir Yapı

ABSTRACT

EVALUATION OF ALKER (ADOBE WITH GYPSUM ADDITIVE) TECHNOLOGY IN TERMS OF SPEED AND QUALITY IN INDUSTRIALIZATION

ÖZCAN, Sinan Talha

M.Sc. in Architecture

Supervisor: Asts. Prof. Mustafa İNCESAKAL

November 2021

90 pages

The earth construction method, which has reached by today from the history of humanity, developed in Anatolia named as Mudbrick -also known as Kerpiç adobe- after addition of various additive materials. The importance of a mudbrick style structure is significantly high in Anatolian and Worldwide Architectural Cultures. A mudbrick material creates healthy indoor climates for humanity with its physical properties.

However, the widespread use of Concrete and Steel materials, which has been largely supported by Global Industry, has led to look towards adobe from the sector lately. The reason behind the growth of demand on Concrete and Steel materials is the continuous supply of fast and improved materials. On the contrary to this demand, today's traditional mudbrick production is time taking. In order to speed up construction period and build up durability of the material and earth quake resistance construction various researches has been conducted. A Traditional mudbrick, is a construction material obtained by adding straw to the soil and shaping it in a mold. Production processes take too long and cannot solve today's construction needs. As a result of the researches that started with the aim of increasing the mudbrick durability against time in 1980 Istanbul Technical University has obtained, by adding gypsum and lime material into the mudbrick mortar a construction material called Alker. Alker technology is fast and had higher quality. It cannot get an enough share as much as concrete and steel consisted materials do from the construction sector. In this study, it is considered to develop construction methods based on using Alker material in construction.

So as to achieve reduced production time and produce structures researches were carried out with a Shotcrete machine. Series of experiments has organized for Alker wall construction decisions with the “Shotcrete” machine used in concrete technology. In this context, primarily, the Shotcrete machine and the type of compressor used together were determined, the material properties of the mixture were defined and the application was tested with different operators with the Shotcrete machine. The easy usage of the shotcrete machine is the determination of the amount of water in the nozzle. In order to create the ease of use of the machine by inexperienced or less experienced operators and to get efficiency with Shotcrete machine on earth construction, modification suggestions and inferences were made.

Keywords : Alker, Kerpiç, Construction method, Sustainable Building





Çok kıymetli aileme

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans ve tez çalışma süresince tüm bilgilerini benimle paylaşmaktan kaçınmayan, her türlü konuda desteğini benden esirgemeyen ve tezimde büyük emeği olan, aynı zamanda kişilik olarak ta bana çok şey katan sayın Prof. Dr. Bilge Işık 'a sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Deney çalışmaları ve tez yazımı sırasında desteklerini benden esirgemeyen değerli arkadaşlarım Melih Ceylan, Üveys Alperen Mermer ve Emine Gülsüm Özcanlı' ya çok teşekkür ederim.

Bu çalışmada maddi ve manevi destek sağlayan Hasan Kalyoncu Üniversitesi eski Rektörü sayın Prof. Dr. Edibe Sözen'e, sayın Mimar Erden Güven ve Hasan Kalyoncu Üniversitesi Mimarlık Bölüm Başkanı sayın Doç. Dr. Gülden Ayalp'e sonsuz minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca verdiğim tüm kararlarımı destekleyen, kişiliğimde rol model aldığım, beni çok seven ve güvenen; annem Fazilet Özcan, babam Ünal Özcan ve ablam Sümeyye Ecem Özcan' a sonsuz saygı ve teşekkürlerimi sunarım...

İÇİNDEKİLER

ÖZET	v
ABSTRACT	7
TEŞEKKÜR	10
İÇİNDEKİLER	11
TABLolar LİSTESİ	16
ŞEKİLLER LİSTESİ	17
SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ	xxi
BİRİNCİ BÖLÜM	1
1. GİRİŞ	1
1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi	2
1.2. Araştırmanın Kapsamı	3
1.3. Araştırmanın Yöntemi	4
İKİNCİ BÖLÜM	5
2. GELENEKSEL KERPiÇ VE ÖZELLİKLERİ	5
2.1. Saman Katkılı Geleneksel Kerpicin Tanımı ve Kullanım Özellikleri	6
2.1.1. Geleneksel Kerpiç Tanımı	6
2.1.2. Tarihsel Gelişimi.....	7
2.1.3. Geleneksel Kerpicin Yararları	13

2.1.4. Geleneksel Kerpicin Sakıncaları.....	14
2.1.5. Geleneksel Kerpicin iyileştirilmesi.....	14
2.2. Geleneksel Kerpicin Üretim ve Kullanım Yöntemleri	15
2.2.1. Blok Kerpiç Duvar Yöntemi.....	15
2.2.2. Hatıllı Kerpiç Duvar Yöntemi	16
2.2.3. Omurgalı Kerpiç Duvar Yöntemi	17
2.2.4. El ile Şekillendirme Kerpiç Duvar Yöntemi.....	18
2.2.5. Tokmıklama(sıkıştırma/dövme) Kerpiç Duvar Yöntemi	19
2.2.6. Hıms Kerpiç Duvar Yöntemi.....	20
2.2.7. Pise Kerpiç Duvar Yöntemi.....	21
2.3. Geleneksel Kerpiçte İyileştirme Teknikleri.....	22
2.3.1. Mekanik İyileştirme	22
2.3.1.1. Granülometrinin iyileştirilmesi	22
2.3.1.2. Dövme (sıkıştırma) ile sağlamlaştırma	22
2.3.1.3. Toprağın demlenme süreci ile iyileştirilmesi.....	22
2.3.1.4. Fiziksel iyileştirme.....	22
2.3.1.5. Lif donatı ile iyileştirme.....	23
2.3.2. Geleneksel Kerpicin Katkı ile İyileştirilmesi.....	24
2.3.2.1. Endüstri atıkları ile iyileştirilmesi.....	24
2.3.2.2. Çimento ile iyileştirme.....	25
2.3.2.3. Kireç katkısı	26
2.3.2.4. Alçı katkısı	26
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM.....	27

3. TOPRAĞA ALÇI KATKISI – ALKER TEKNOLOJİSİ	27
3.1 Alker, Alçı Katkılı Toprak, Mekanik ve Fiziksel Özellikleri	27
3.2. Alker, Alçı Katkılı Toprak İnşaat Yöntemi	30
3.3 Alkerin Uygulama Örnekleri	33
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM.....	37
4. PÜSKÜRTME BETON TEKNOLOJİSİ VE ÇALIŞMALARI.....	37
4.1 Püskürtme Beton (Shotcrete) Makinesiyle İnşaat Teknolojisi	37
4.1.1. Püskürtme beton teknolojisinin tanımı	37
4.1.2. Püskürtme beton teknolojisinin tarihçesi	37
4.1.3. Kuru – Yaş püskürtme teknolojisi ve karşılaştırılması.....	39
4.1.4. Uygulama alanları.....	41
4.1.5. Harç hammaddeleri (Çimento, Su, Agregası)	43
4.1.6. Katkı maddeleri.....	43
4.1.7. Uygulama öncesi yüzey hazırlık işlemi	44
4.1.8. Harç karışımının hazırlanması	44
4.1.9. Püskürtme beton teknolojisi ekipmanları	45
4.1.9.1. Kuru sistem shotcrete (püskürtme beton) makinesi.....	46
4.1.9.2. Kompresör makinesi	47
4.1.9.3. Su pompası.....	47
4.1.9.4. Kuru karışım karım makinesi.....	48
4.1.9.5. Nozul sistemi.....	49
4.1.10. Püskürtme beton teknolojisinin uygulanması	49
4.2 Püskürtme Beton Teknolojisi ile İTÜ’ de Alker Arge Çalışması	52

4.2.1. Makine ve ekipmanlar	52
4.2.2. Kalıp özellikleri	53
4.2.3. Toprak özellikleri.....	53
4.2.4. Karışımların hazırlanması.....	54
4.2.5. Üretilen numunelerin test aşaması.....	55
BEŞİNCİ BÖLÜM.....	58
5. PÜSKÜRTME BETON TEKNOLOJİSİ İLE ALKERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ	58
5.1 Püskürtme Beton Teknolojisi ile Alkerin Hazırlanması ve Uygulanması....	58
5.1.1. Makine ve ekipmanlar	59
5.1.2. Numune kalıplarının hazırlanması.....	61
5.1.3. Toprağın hazırlanması	61
5.1.4. Karışımın hazırlanması.....	64
5.1.5. Operatör seçimi ve eğitimi.....	65
5.1.6. Püskürtme uygulamaları	66
5.1.5.1. I. Püskürtme uygulaması.....	67
5.1.5.2. II. Püskürtme uygulaması.....	68
5.1.5.3. III. Püskürtme uygulaması.....	69
5.2 Püskürtme Beton Teknolojisi İle Alkerin Deneysel Çalışması	70
5.2.1. Basınç dayanım testi	72
5.2.2. Su emme deneyi.....	75
5.2.3. Nemli numunelerle basınç dayanım testi.....	80
ALTINCI BÖLÜM.....	82

6. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLAR.....	82
6.1 Uygulamaların Sonuçları ve İş Gücünün Değerlendirilmesi.....	82
6.2 Deneysel Çalışmaların Sonuçları.....	84
6.3 Deneysel Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Öneriler	85
KAYNAKÇA.....	87



TABLULAR LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1: Kerpiç malzemelerin ses yalıtım değeri.....	13
Tablo 2.2: Araştırmada kullanılan Ferrokrom cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	25
Tablo 3.1: Alkerin fiziksel özellikleri.....	27
Tablo 3.2: Çeşitli duvar türlerinin yapı klimatolojisi yönünden nitelikleri.....	28
Tablo 3.3: Alkerin mekanik özelliği.....	29
Tablo 4.1: Kuru ve yaş sistem püskürtme betonun karşılaştırılması.....	41
Tablo 4.2: Püskürtme beton karışım bileşenlerinin kütle toleransı.....	44
Tablo 4.3: Ayazağa kampüs arazisi toprağı içindeki mineral türleri ve bileşimi.....	54
Tablo 4.4: Çalışma için numune sayısı tablosu.....	55
Tablo 4.5: Alçı katkılı toprak numunelerin nem oranı.....	56
Tablo 4.6: Çimento katkılı toprak numunelerin nem oranı.....	57
Tablo 5.1: İdeal Kerpiç ve Oğuzeli toprağı granülometri eğrisi.....	62
Tablo 5.2: Numunelerin basınç dayanım test verileri.....	74
Tablo 5.3: Zamana bağlı numunelerin su emme seviyeleri.....	76
Tablo 5.4: Parafinli numunelerin deney öncesi ve deney sonrası nem yüzdeleri ve etüv sonrası ağırlıkları.....	79
Tablo 5.5: Numunelerin etüv işlemi sonrası nem yüzdeleri ve etüv sonrası ağırlıkları.....	80
Tablo 5.6: Numunelerin basınç dayanım test verileri.....	81
Tablo 6. 1: Üretim yöntemlerinin test verilerinin karşılaştırılması.....	85

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1: Kerpiç blok yapımı (Url1).....	5
Şekil 2.2: Van kalesi, 2016,Asur Mimarisi (Url 2).....	7
Şekil 2.3: Babil kulesi tasviri, 4. yy. , (Çizer Pieter Brueghel, 1563)	8
Şekil 2.4: Hımış yapı sistemi ile yapılmış kerpiç yapı, Osmaniye (Özcan,2018)	9
Şekil 2.5: “Pottery House”, Fronk Lyod Wright, Santa Fe, Amerika (Mather vd,1986)	10
Şekil 2.6: Kerpiç ve toprağa dayalı yapıların dünya üzerinde dağılımı taralı alanla ifade edilmiştir (Url3).	10
Şekil 2.7: Gaziantep, Yığma yapı (Özcan, 2018)	11
Şekil 2.8: Urfa, Yığma yapı (Özcan, 2015)	11
Şekil 2.9: Kahramanmaraş, Yığma yapı (Özcan,2019)	11
Şekil 2.10: Kayseri, Yığma yapı (Özcan, 2016).....	12
Şekil 2.11: Konya, Yığma yapı (Özcan,2018).....	12
Şekil 2.12: Osmaniye, Hımış yapı (Özcan,2017)	12
Şekil 2.13: Kerpiç harcı için uygun killi toprak ve saman karıştırılarak hazırlanıyor.	15
Şekil 2.14: Hazırlanan kerpiç harcı fermantasyon için dinlendiriliyor.....	15
Şekil 2.15: Dinlendirilmiş kerpiç harcı son halini almak için kalıplarda şekillendiriyor	15
Şekil 2.16: Kalıp da şekil alan kerpiç bloklar kurutulma işleminde.....	16
Şekil 2.17: Kerpiç blokları duvar elemanı olarak kullanılması.	16
Şekil 2.18: Ahşap Hatıllı kerpiç duvar yöntemi, Çizer S.T. Özcan.....	17
Şekil 2.19: Betonarme Hatıllı kerpiç duvar yöntemi, Çizer S.T. Özcan	17
Şekil 2.20: Tel Örgü Hatıllı kerpiç duvar yöntemi, Çizer S.T. Özcan	17
Şekil 2.21: Omurgalı kerpiç, (Url4).....	18
Şekil 2.22: El ile şekillendirilen kerpiç duvar yöntemi, (Url5)	19
Şekil 2.23: Tokmak ile sıkıştırılmış kerpiç duvar yöntemi, (Işık,2011).....	19
Şekil 2.24: Kompaktör ile sıkıştırılmış kerpiç duvar yöntemi.....	20
Şekil 2.25: Hımış duvar örneği (Aktaş,2018).....	20

Şekil 2.26: Kalıp içerisinden çıkartılma, Çizer S.T. Özcan.....	21
Şekil 2.27: Donatılı plakaların taşınması, Çizer S.T. Özcan	21
Şekil 2.28: Sarsma tablası deney sonrası (Işık,2009)	23
Şekil 3.1: Alker malzemenin ısı depolama değerinin diğer duvar malzemeleri ile karşılaştırılması (Kafescioğlu, R., Gürdal, E., 1985. Çağdaş Yapı Malzemesi Alker, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Dairesi Başkanlığı, Shell, İstanbul).....	29
Şekil 3.2: İTÜ Anaokulu binası yapımında kullanılan alker blok kalıp elamanları (Kafescioğlu,1980).....	30
Şekil 3.3: İTÜ Anaokulu binası (Işık,1995)	30
Şekil 3.4: Endüstriyel kalıp montajı (Işık,1995).....	31
Şekil 3.5: Kompaktör ile sıkıştırma (Işık,1995)	31
Şekil 3.6: Kalıp sökümü (Işık, 1995).....	32
Şekil 3.7: II. Deneme Alker yapısı (Işık,1995).....	32
Şekil 3.8: Alker harcının shotcrete makinesine aktarılması (Işık,2002).....	32
Şekil 3.9: Üretimin yapıldığı parke taşı imalathanesi (Işık,2000)	34
Şekil 3.10: Urfa GAP idaresi örnek Alker bina (Işık,2000)	34
Şekil 3.11: Prof. Dr. Bilge Işık ve Viranşehir bölge sakinleri inşaat teknik eğitimi (Işık,2011)	35
Şekil 3.12: Sandık kalıp ve tokmaktama ile Alker duvar yapımı (Işık,2011)	35
Şekil 3.13: KKTC, Dilekkaya püskürtme uygulaması (Işık,2011).....	36
Şekil 3.14: Göbeklitepe ziyaretçi merkezi (Işık,2018)	36
Şekil 4.1: 1907'de kullanılan orijinal makine (Yoggy,2000).....	38
Şekil 4.2: Yeni nesil kuru sistem beton püskürtme (Özcan,2019)	39
Şekil 4.3: Yeni nesil yaş sistem beton püskürtme makinesi (Özcan,2020).....	40
Şekil 4.4: Yüzme havuzu inşası, Amerika (Url6).....	42
Şekil 4.5: İstinat duvarı ve iksa sistemi inşası (Url7)	42
Şekil 4.6: Karmaşık planlı çatıların inşası (URL 8)	43
Şekil 4.7: Kuru karışım püskürtme başlığı (TS EN 14487-2)	45
Şekil 4.8: Yaş karışım püskürtme başlığı (TS EN 14487-2)	45
Şekil 4.9: Kuru sistem püskürtme beton makinesi (Özcan,2021)	46
Şekil 4.10: Kuru sistem püskürtme beton makinesinin basınçlı hava girişi (Özcan,2021).....	47
Şekil 4.11: Kuru sistem püskürtme beton makinesi ve kompresör makinesi bağlantısı(Özcan,2021)	47

Şekil 4.12: Santrifüj pompasının çalışma prensibi ,Çizer S.T. Özcan.....	48
Şekil 4.13: Yatay harç karma makinesi(Özcan,2021)	48
Şekil 4.14: Nozulu oluşturan parçalar aktarım hortum bağlantısı ile (Özcan,2021) .	49
Şekil 4.15: Beton püskürtme düşey doldurma türü uygulamalarda doğru püskürtme şekli (TS EN 14487-2)	50
Şekil 4.16: Donatılı uygulamalarda doğru ve yanlış uygulama (TS EN 14487-2)....	51
Şekil 4.17: Çalışma sırasında kullanılan çelik kalıplar (Işık, 2002)	53
Şekil 4.18: Ayazağa kampus arazisi toprağının granülometri eğrisi (Işık Vd., 1995)	53
Şekil 4.19: Toprağın elenmesi (Işık,2001)	54
Şekil 5.1: Makine üretimi K260 model püskürtme beton makinesi	59
Şekil 5.2: Mekanik Makine üretimi K260 model püskürtme beton makinesi teknik özelliği (Url9).....	60
Şekil 5.3: Atlas Copco marka XAS 97 model kompresör (Özcan,2019)	60
Şekil 5.4: Kullanılan plastik kalıplar (Özcan,2019)	61
Şekil 5.5: Toprak elek analizi (Özcan,2019)	61
Şekil 5.6: Toprağın elenmesi (Özcan,2019)	62
Şekil 5.7: Toprağın havalandırma işlemi ardından ölçülü olarak hazırlanması (Özcan,2019).....	63
Şekil 5.8: Kuru karışımın uygulama sırasında el ile karılma işlemi (Özcan, 2020).	64
Şekil 5.9: Shotcrete eğitiminin verilmesi(Özcan,2021).....	66
Şekil 5.10: Önerilen Alker püskürtme açısı ve nozul hareket yönü (Çizer S.T. Özcan)	66
Şekil 5.11: Kuru karışımın makineye aktarılması (Özcan,2019)	67
Şekil 5.12: I. Uygulama numuneleri (Özcan,2019).....	68
Şekil 5.13: II. Uygulama numuneleri (Özcan,2020).....	69
Şekil 5.14: Kuru karışımın makineye aktarılması (Özcan,2021)	69
Şekil 5.15: III. Uygulama numuneleri (Özcan,2021)	70
Şekil 5.16: Eğitim kalıbından çıkan ürün (Özcan,2021)	70
Şekil 5.17: Operatör 2 tarafında üretilen hasarlı numunelerin kalıptan çıkartılması (Özcan,2020).....	72
Şekil 5.18: Operatör 2 tarafından üretilen hasarlı numuneler (Özcan,2020).....	72
Şekil 5.19: UTest otomatik deney presi (Özcan,2020).....	73
Şekil 5.20: Etüv makinesinde ki numuneler (Özcan,2019)	73

Şekil 5.21: Basınç dayanım tesetlerindeki numune (Özcan,2021)	74
Şekil 5.22: Numunelere eritilmiş parafin sürülmesi (Özcan,2021)	75
Şekil 5.23: Su emme deneyi için hazırlanan numuneler (Özcan,2021).....	75
Şekil 5.24: Nem hesaplama formülü	79
Şekil 5.25: Nemli numunenin basınç dayanım testi (Özcan, 2021)	80



SEMBOLLER / KISALTMALAR LİSTESİ

%	Yüzde
°C	Derece santigrat
ARGE	Araştırma ve Geliştirme
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat
Cm	Santimetre
Dk	Dakika
Fe ₂ O ₃	Demir (III) Oksit
g	Gram
HKÜ	Hasan Kalyoncu Üniversitesi
Hz	Hertz
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
Kg	Kilogram
kn	Kilonewton
KÜSGET	Küçük Sanayi Geliştirme Teşkilatı
kW	Kilowatt
L	Litre
m	Metre
mm	Milimetre
MKE	Makine Kimya Enstitüsü
M.Ö.	Milattan Önce
NaOH	Sodyum hidroksit
Pp	Polipropilen [(C ₃ H ₆) _n]
SiO ₂	Silisyum dioksit (Silis Dumanı) veya silika
TS	Türk Standartı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TÜBİTAK	Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu
V	Hacim
v	Hız
Vb.	Ve benzerleri
Vd.	Ve diğerleri
y.y.	Yüzyıl

BİRİNCİ BÖLÜM

1. GİRİŞ

Dünyada nüfus artışı hızlanmakta, planlı veya plansız oluşan yaşama alanları çevreyi olumsuz yönde etkilemiştir. Çevre kirliliği canlı sağlığı için önemlidir. Zorunlu hale gelen bilinçlenme, gelecek nesil için temiz, yaşanabilir bir çevre bırakmayı güçlendirmiştir. Günden güne fazlaşan inşaat malzemeleri üretimi ve inşaat atıkları çevreye zararları artırmaktadır. Bilinçlenme en başta inşaat sektörüne yansımalıdır. Yapı ve malzeme üretiminde, teknolojik gelişmelerin ışığında sürdürülebilirlik, enerji etkinliği, ekoloji bilinci ivme kazanmalıdır.

Yapılarda kullanılan küresel sanayi inşaat malzemelerinin üretimi ve geriye dönüşmesi aşamasında çevreye kalıcı zarar verdiğini yapılan araştırmalar göstermektedir. Endüstriyel yapı miktarının artması sonucu hız kazanmıştır.

Günümüzde yapı inşaatı ve yapı malzemesi çeşitliliği, çevreci kavramlar ile yeniden düşünülmelidir. Çevreci ve enerji tasarrufuna katkıda bulunan yapı malzemeleri araştırılması, sürdürülebilirlik kavramının mimari ile bütünleşmesi kaçınılmaz bir olaydır. Bu aşamada geleneksel malzemelerin incelenmesi ve geliştirilmesi düşünülmektedir.

Ancak küresel sanayi tarafından büyük ölçüde desteklenen beton ve çelik malzemelerin yaygın kullanılması Kerpiç malzemenin sektör dışında bırakılmasına sebep olmuştur. Beton ve çelik malzemenin yaygın kullanılmasının sebebi, hızlı ve kaliteli malzemenin sürekli temin edilebilmesidir. Buna karşın Geleneksel Kerpiç malzemenin üretim hızı yavaş ve kalite olarak yeterli değildir. Kerpiç malzeme ile inşaat tekniklerinin geliştirilmesi için çeşitli yöntemler izlenilmiştir (Işık,2018).

Kerpiç; malzeme özelliklerine bağlı olarak insan, çevre ve yapısal sağlık yönünden sahip olduğu olumlu özellikler ile dünyadaki konut ihtiyacının çevreye duyarlı ve rasyonel çözümünü sağlayacak potansiyele sahiptir.

Kerpicin zayıf yönlerinin geliştirilmesi, yapı malzemesi kültür mirasını gelecekte yer edinmesi gereken bir yapı Malzemesi biçimidir. İstanbul Yüksek Mühendis Mektebi (İstanbul Teknik Üniversitesi) bünyesinde, 2. Dünya Savaşı sırasında Almanya'dan gelen akademisyenler bulunmaktaydı. İTÜ bünyesinde bulunan Alman akademisyenler ile 1950 yılına kadar, Türkiye'de her yaz dönemi, kerpiç yapı araştırmaları yapılmıştır.

2. Dünya Savaşı sonrasında başta Almanya olmak üzere Avrupa'da ortaya çıkan konut ihtiyacının giderilmesi için kerpiç yapı kullanılmıştır (Işık,2020).

İTÜ'de 1962 yılında Eyüp Kömürcüoğlu ile başlayan çalışmalar, 1980 yılında Prof. Ruhi Kafesçioğlu, Kerpicin alçı ile stabilizasyon araştırmasını başlatmasıyla devam etti. Toprağa alçı katkısı ile suya dayanıklılığı artırıldı. Nitelikleri iyileştirilen Kerpice, Alçı ve Kerpiç kelimelerinden bu yeni malzemeye Alker adı verilmiştir.

Alker yapı sistemi teknolojik gelişmeler ışığında geliştirilip çağdaş inşaat sektöründe kendine yer edindirilmelidir, kullanımı yaygınlaştırılmalıdır. Yapı sektörünü Alker teknolojisi kullanılmaya teşvik edildiğinde; başta ülkemizde mevcut konut ihtiyacının karşılanmasına yardımcı olacak, çevreye duyarlı, rasyonel ve yeni bir konut modeli önerilebilecek, ülke yapı kültürüne ve ekonomisine katkı, yerel kaynakların değerlendirilmesi sağlanacak, çevreye saygılı bir profil olacaktır (Işık, 2018).

1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Kerpiç, köklü bir geçmişi olan yapı malzemesi olarak dikkat çekse de 1950'den itibaren beton sanayisinin güçlenmesi ve yükselen bir ivme kazanmasıyla gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde unutulduğu, Anadolu'da ise halen köylerde varlığını devam ettirmektedir (Kömürcüoğlu, 1962).

Çevreci kavramlar ve teknolojik gelişmeler de aranan malzeme, Anadolu yapı kültürümüzde bulunan Kerpiç malzemeye yönlendiriyor. Kerpiç malzeme üretim aşamasında az enerji gerektiren, çevreci ve ekonomik yapı malzemesidir. Kerpiç, yapı iç mekân konfor şartlarını sağlayan teknolojik gelişmelere açık bir yapı malzemesidir (Kafesçioğlu, 1985).

Kerpiç malzemenin dezavantajlarını en aza indirmek amacıyla olarak, İTÜ' de 1962 yılında başlayan ve devam eden çalışmalar sonucunda toprağa alçı katkısı ile oluşan Alker teknolojisi, tokmaktama tekniği ve blok üretim tekniği ile uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Alker malzemenin avantajları geleneksel kerpiç malzemeye kıyasla artış göstermiştir. Karışımındaki alçı, su ile kısa zamanda priz hızı üretim hızını etkilemiştir.

Güncel teknolojiler kullanılarak Alker üretim hızı arttırılmak istenmiş ve denenmiştir (Bilge, 2018).

2000 yılında Prof. Dr. Bilge Işık yürütücülüğünde, “Birecik Barajından Etkilenen Nüfusun Yeniden Yerleşimi, İstihdamı ve Ekonomik Yatırımı İçin Planlama ve Uygulama Projesi” konu olarak belirlenen proje hayata geçirilmiştir. İnşa sırasında gerekli olan Alker bloklar, parke taşı üretim tesisinden faydalanılarak, toplamda 60 bin adet Alker blok üretilmiştir (Işık, 2000).

2002 yılında İTÜ de Prof. Dr. Bilge IŞIK tarafından Alker malzemenin daha hızlı üretim yapılma arayışında güncel beton üretim teknolojileri incelenmiş, hızlı üretime katkı sağladığı düşünülen püskürtme beton (shotcrete) makinesi ile uygulanabilirliği belirtilmiştir (Işık,2018).

Alker malzemenin püskürtme uygulamasının hız ve kalite açısından değerlendirilmesi, bu sonuçların Alker malzemenin endüstrileşmedeki hızını ve kalitesinin değerlendirilmesi olarak belirlenecektir.

1.2. Araştırmanın Kapsamı

Tez, İTÜ’de 1980 yılında başlayan Alker teknolojisinin araştırmalarının devamıdır. Araştırmada Alker teknolojisi ile ilgili araştırmalar, deneyler, standartlar incelenmiştir. Alker malzemenin, 2002’de başlayan püskürtme beton (shotcrete) makinesi deneyimleri ile uygulanmasına yönelik yapılacak çalışmalar, sayesinde inşaat endüstrisinde yer kazanacaktır. Püskürtme uygulamasının hızı ve kolay uygulanabilirliği sayesinde maliyeti düşük, çevreci (eko turizm vb.) ve hızlı inşa gerektiren durumlarda (acil barınma çözümü vb.) kilit malzeme olarak endüstriyellemesine fayda sağlayacaktır.

1.3. Araştırmanın Yöntemi

Araştırma da Alker inşaat teknolojisi ile ilgili araştırmalar, deneyler ve standartlar incelenmiştir. Püskürtme beton (shotcrete) makinesi kullanılarak Alker püskürtme uygulamasının, geniş kullanım alanı ve kullanıcıya sahip olması için, endüstriyellesmesindeki hız ve kalite açısından değerlendirilmesi için 3 farklı operatör kullanılarak püskürtme uygulamaları, sayısal değerler ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilerek, karşılaştırmalar yapılmıştır.



İKİNCİ BÖLÜM

2. GELENEKSEL KERPIÇ VE ÖZELLİKLERİ

Kerpiç, yapı malzemesi 9000 yıldır kullanıldığı bilinen dünya üzerindeki en eski yapı türüdür (Kömürcüoğlu, 1962).

Kerpiç yapı malzemesi, içerisinde saman, su ve kil miktarı yüksek toprak ile meydana gelen karışımdır. Tarih boyunca çeşitli yöntemler ile uygulanmıştır.

Kerpiç yapının tanımı ise, duvarları kerpiç bloklar ve kerpiç çamur harcı ile oluşan, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan yapılardır (TS2515,1985).

Geleneksel Kerpiç üretiminde kullanılan toprakta kil oranı yüksek olduğu için harç suyu ile şişer. Hazırlanan kerpiç malzeme kalıplara el yordamı ile yerleştirilir. Kalıp sayesinde şekil alan kerpiç uygun bir alan da harçtaki suyun hazırlanan karışımdan ayrılmasını sağlamak ve mukavemet kazanması için güneşte kurutulur. Oluşan bloklar (Şekil 2.1) duvar yapımında kullanılır (Işık, 2018).



Şekil 2. 1. Kerpiç blok yapımı (Url 1)

Son yıllarda inşaat sektöründe artan enerji ve ekonomik daralmalar, ekonomik ve kolay tedarik edilebilen kerpiç ve toprak malzemelere olan ilginin artmasına kaynak sağlamıştır. Artan ve gelişen teknoloji ile kerpiç yapı malzemesi geliştirilmeye çalışılmıştır. Küresel ısınma ve çevre kirliliği gibi konular da bu durumu beslemiş olup, bazı ülkelerde araştırmaların devamı önem kazanmıştır. Yapılan araştırmalar çevre kirliliğinin azaltılması kavramı ile “sürdürülebilir kalkınma” olgusu üzerinde yoğunlaşmıştır (Işık,2000).

2.1. Saman Katkılı Geleneksel Kerpicin Tanımı ve Kullanım Özellikleri

2.1.1. Geleneksel kerpiç tanımı

Türk Standartları Enstitüsünün belirlemiş olduğu tanımda; Kerpiç, kil oranı yüksek toprağın içerisine saman veya benzeri bitkisel lifler ile su eklenerek karıştırılması ve hazırlanan karışımın bir miktar dinlendirilmesi, dinlenen karışımın daha önce hazırlanmış olan kalıplar sayesinde şekil verilmesine “kerpiç kesme” denilir. Belirli boyutlar da hazırlanan kerpiç balçık, uygun hava koşullarında güneşte kurutulmasıyla üretilen bir yapı malzemesidir. **TS 2514** de belirtildiği gibi duvar yapımında kullanılacak olan kerpiç bloklar cm olarak,12x25x30 (ana) ve 12x18x30 (kuzu) veya 12x25x40 (ana) ve 12x19x40 (kuzu) ölçülerinde olmalıdır (TS2514,1977).

Kerpiç yapının tanımı ise, duvarları kerpiç bloklar ve kerpiç çamur harcı ile oluşan, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan yapılardır (TS2515,1985).

Kerpiç yapı malzemesi için toprağın, kil oranı %30 olmalıdır. Topraktaki kil miktarının fazla olması durumunda, karışım bünyesine daha fazla su emerek molekül düzenini değiştirir. Bunun sonucu olarak oluşan kerpiç üründe rötne çatlakları oluşarak dökülmeler meydana gelir. Uygun toprak yok ise yörede bulunan toprağa kil veya kum ilave edilir. İstenildiği takdirde karışıma ek katkı maddeleri eklenebilir. Hazırlanacak olan kerpiç malzemenin molekül tutum yönünden iyi olması için, karışım kıvamının iyi ayarlanması gerekir. Karışım kıvamı, karışıma eklenecek su miktarı ile değişkenlik gösterir. Karışımdaki toprak-su oranlarının iyi ayarlanması önemlidir. Karışımdaki su miktarının fazlalığı oluşan kerpiç malzemenin mukavemetini azaltırken, rötne ve çatlak oluşur. Su miktarındaki yetersizlik ise molekül birleşmesini tamamlayamaz ve oluşan malzeme duvardan dökülür. Fazla su ve az su oranına sahip karışımlar, kalıp ile şekillendirme sırasında kerpiç malzeme özelliklerini kaybeder. Karışımın kalıba

dengeli bir şekilde yerleşmesi gerekir (Kafesçioğlu Vd,1985).

2.1.2. Tarihsel gelişimi

İnsanlar, güvenlik amaçlı sığındığı mağaraları, ağaç kovuklarını ve doğal oluşumlu çeşitli sığınakları, yaşantıları sürdürmek ve konfor ihtiyaçlarının ön plana çıkmasından kaynaklı terk etmesiyle, barınak ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

İnsanlar buldukları yöreye bağlı olarak temin edebilecekleri toprak, ağaç, taş ve bitkiler gibi doğada kolayca bulunan malzemeleri kullanmışlardır.

Kerpiç yapı malzemesi neolitik dönemin başlangıcında taş ve kereste gibi doğadan karşılanabilecek yapı malzemelerinin kolay ulaşılamayan yörelerde kullanılmıştır.

Sümer, Asur, Mısır ve Hitit gibi medeniyetler kerpiç yapı malzemesini kullanarak, konut ihtiyacını yığma yapılarla gidermiştir. Bu malzeme ile sadece konut ihtiyacını değil; ahır, saray, kale, kent surları, kuleler gibi anıtsal yapılarda da karşımıza çıkmaktadır. (Pfeifer, 2001).

Van Kalesi, Urartu Devleti'nin başkenti olarak, Urartu Kralı I. Sarduri tarafından M.Ö. 840-825 tarihleri arasında inşa edilmiştir (ktb.gov.tr) (Şekil 2.2).



Şekil 2. 2. Van Kalesi, 2016, Asur Mimarisi (Url 2)

MÖ 7. YY başlangıcında, Babil Kulesinin yapımına başlanmıştır. Kule inşaatında kolay bulunabilirliği açısından toprak malzeme kullanılmıştır. Toprak çamura, ısıtılarak işlenilerek pişmiş tuğla üretilmiştir. Ancak pişmiş tuğla karışımına katran ilave edilmiş olup, hazırlanan bloklar katran vasıtasıyla yapıştırılmıştır.

Bu yöntemle suya daha dayanıklı ancak çevreye duyarlı olmayan blok toprak elde edilmiştir. Yapıldığı dönemde tarihin en yüksek yapısı olan Babil Kulesi yerden 90 metre yukarı ulaşmış olup, günümüzde “tarihin ilk gökdeleni” olarak adlandırılmaktadır (Dethier,1983).



Şekil 2. 3. Babil kulesi tasviri, 4. yy., (Çizer Pieter Brueghel,1563)

Babil kulesinin (MÖ 4.yy) (Şekil 2.3) yapılmasıyla, uygarlığın konut ihtiyacının giderilmesi için blok üretimine başlanmıştır. Yaz mevsiminin başlamasıyla tuğla üretilen için bu aylar “tuğla ayı” (Sivan) olarak alınmıştır. (Mud Village Society, 1991).

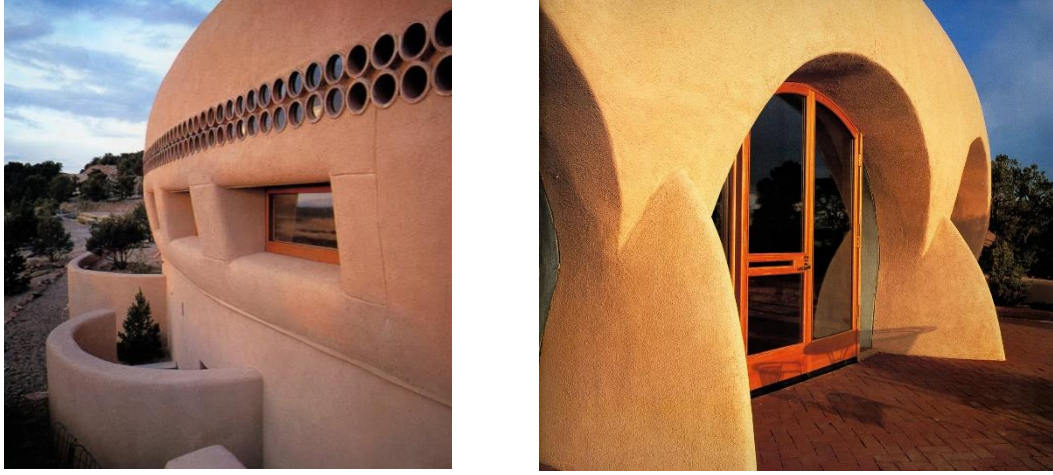
Dünyada ağaç örtüsü olmayan veya kereste kullanımı için yetersiz olan yörelerde kerpiç veya toprağa dayalı yapılara rastlanılır. Bu durum yörede yapı malzemesi olarak kullanılmayacak derecede büyük veya küçük taşların olduğu yörelerde kerpiç veya toprağa dayalı malzeme ile Hımsı yapı sistemi kullanılır. Hımsı yapı; ahşap iskelet yapının aralıklarının kerpiç malzeme ile doldurularak duvar yapılması yöntemidir. (Şekil 2.4) (Işık, 2018).



Şekil 2. 4. Hımmış yapı sistemi ile yapılmış kerpiç yapı, Osmaniye, (Özcan,2018)

Toprak yapılar, 1. Dünya Savaşı sonrası artan konut ihtiyacının bir çözümü olarak Avrupa ülkelerinde geliştirilmek istenmiştir. Bu konuda fikir birliğinde uzlaşan Avrupa'nın 2 büyük devletlerinden; Almanya ve Fransa enstitüler kurup, halkı bilinçlendirmek için çeşitli politikalar izlemiştir. Bu çalışmalar; Avrupa'daki endüstrileşmenin ivme kazanması, çimento ve ateş tuğla sanayisinin gelişmesi, konut ve ticari yapıların ihtiyaca göre biçim ve fonksiyonel olarak değişmesi, kent yapılarında kerpiç veya toprak esaslı yapı malzemesinin kullanımını arttırmak yerine azalmasına sebebiyet göstermiştir. Ancak bu durum 1. Dünya Savaşının sonlanması ile değişmiştir. Üretimi için gerekli olan enerji ve iş gücü azalmasından kaynaklı olarak, toprağın yapı malzemesi olarak yaygınlaşmasını sağlamıştır. Bu tür durumlar Avrupa'da yaşanan diğer büyük savaşlar sonrasında da görülmüştür. Bu dönemlerde insan hızlı ve ekonomik barınma ihtiyacı için toprağa başvurmuştur (Kafescioğlu,1980).

İnsan yaşamış olduğu türlü konut sıkıntılarında hızlı ekonomik ve göz ardı ettiği çevreci yaklaşımı kerpiç malzemedeki bulmuştur. Güncel tarihte Amerika Kıtasında toprak, yapı malzemesi olarak yaygınlaşmaya başlamıştır. Bu olguyu güçlendirmek ve korumak amacıyla kerpiç yapı yönetmelikleri yürürlüktedir. New Mexico gibi bazı yerel yönetimler ise yerleşim bölgeleri belirleyip, bu bölgelere sadece kerpiç yapı malzemesi kullanılması izni vermişlerdir. Kerpiç, yapı malzemesi olarak kullanılmasının ardından Amerika'nın ünlü mimarları da tasarımlarında kerpiç malzemeye yönelmiştir (Işık,1993) (Şekil 2.5).



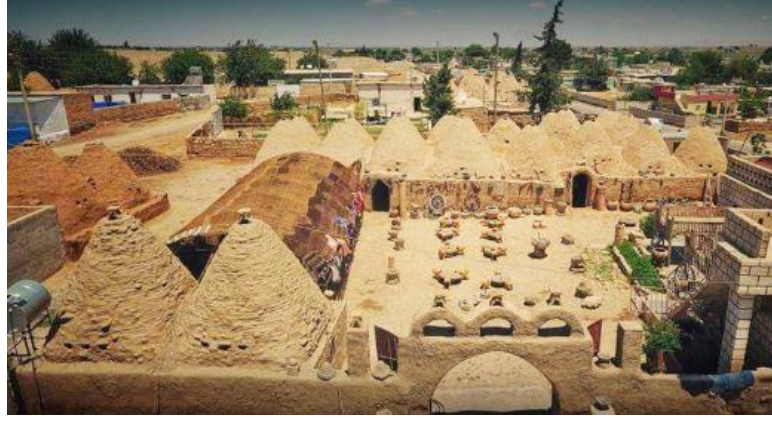
Şekil 2. 5. “Pottery House”, Fronk Lyod Wright, Santa Fe, Amerika (Mather vd,1986)

Dünyada başta Kuzey Amerika kıtası olmak üzere, Afrika, Avrupa, Asya, Avustralya ve Güney Amerika kıtalarında ülkelerin sosyo-ekonomik ve siyasi hayatlarına göre kerpiç evler konut ihtiyacını karşılamaktadır. Dünyadaki insan nüfusunun %32 sinin kerpiç ve toprağa dayalı yapılarda yaşadığı saptanmıştır (Kömürcüoğlu, 1962) (Şekil 2.6).



Şekil 2. 6. Kerpiç ve toprağa dayalı yapıların dünya üzerinde dağılımı taralı alanla ifade edilmiştir. (URL 3)

Anadolu’da kerpiç yapı malzemesi kullanımı oldukça yaygındır. Karasal iklime sahip şehirlerde yığma yapı olarak karşılaşılır. Karadeniz ve Akdeniz Bölgesinde genellikle hımış yapı sistemi tercih edilir. Güney Doğu Anadolu, Ege, Marmara ve İç Anadolu bölgelerinde yığma yapı tercih edilir. (Şekil 2.7) (Şekil 2.8) (Şekil 2.9) (Şekil 2.10) (Şekil 2.11) (Şekil 2.12).



Şekil 2. 7. Urfa, Yığma yapı, (Özcan, 2015)



Şekil 2. 8. Gaziantep, Yığma yapı, (Özcan,2018)



Şekil 2. 9. Kahramanmaraş, Hımiş yapı, (Özcan,2019)



Şekil 2. 10. Kayseri, Yığma yapı, (Özcan, 2016)



Şekil 2. 11. Konya, Yığma yapı, (Özcan, 2018)



Şekil 2. 12. Osmaniye, Hımsız yapı, (Özcan, 2017)

Günümüzde yapı inşaatlarında iki farklı yönelim görülmektedir. Küresel sermaye tarafından destek gören, fazlaca enerji ihtiyacı duyan ileri teknoloji ürünü çağdaş malzemeler kullanılırken, diğer taraftan az enerji ihtiyacı ile geçmişten gelen üretim bilgisine sahip olduğumuz geleneksel malzemelere yönelim vardır (TS2514,1977).

2.1.3. Geleneksel kerpiğin yararları

Kerpiç yapı malzemesi, insanlık tarihince yapı ihtiyacını karşılamıştır. Kerpiç malzemenin ana bileşeni olan toprak, doğada kolay temin edilebilen malzeme olmasından dolayı ekonomiktir.

- Toprak, kolayca her yörede temin edildiği için taşıma yolu azdır. Üretimi için tesise ihtiyaç duyulmaz.
- Uсталık gerektiren teknik bilgi birikimine ihtiyaç duyulmadığı için işçilik masrafı azdır. Kullanıcı tarafından inşa edilirse maliyet düşük olmaktadır. Ancak yapı inşasında, inşaat işçisi kullanmak günümüz koşullarında maliyeti artırmaktadır.
- Havadaki nemi içerisine alarak nem dengesine yarar sağlar. Bu sayede yalıtım olarak yüksek koruma değerine sahip olur.
- Kerpiç duvar içerisinde haşerat barındırmaz.
- Kerpiç malzeme **DIN 18951** ve **DIN 4102** de belirtildiği gibi alevden etkilenme ve tutuşma özelliği yoktur. Bu özelliği sayesinde yangına karşı koruyucudur. Yangın Sigortası Birliği İsviçre kantonlarına göre, 1993’de kerpiç malzeme üzerine yaptığı çalışmalarda ortaya çıkan sonuç tabloda verilmiştir (Anon, 1993).
- Kerpiç malzeme kullanılan yöntem ve duvar kalınlığına göre ses yalıtımı sağlar. **SIA-NORM 181** parametresine göre yapılan hesaplar neticesinde ses yalıtım tablosu oluşmuştur (Tablo 2.1) (Anon, 2006).

Tablo 2. 1: Kerpiç malzemelerin ses yalıtım değeri (Anon., SIA 181, Schallschutz im Hochbau,)

Kerpiç türü	Yoğunluk p (kg/m ³)	Ses Şiddeti			
		30 dB	40 dB	50dB	55 dB
Masif kerpiç	2000	0,03	0,07	0,20	0,40
Hafif kerpiç	1200	0,04	0,12	0,33	0,73

- Kerpiç günümüzde değer kazanan ekolojik, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir yapı kavramlarını karşılamaktadır. Yani çevreye karşı saygılıdır. Malzeme ömrünün tamamlanması ve yapının terki durumlarında ortaya çıkan atık malzemenin doğal, geri dönüşümlü malzeme olduğundan dolayı yıkımı ve moloz imhası için fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaz (Işık,2018).

2.1.4. Geleneksel kerpicin sakıncaları

Kerpiç malzemenin diğer yapı malzemelerine göre dezavantajları oldukça azdır.

- Kerpiç harcın geleneksel formülünden kaynaklı su direnci zayıftır.
- Üretim süresi uzundur. Havadaki nem, sıcaklık, yağış miktarına göre değişkenlik gösterir. Üretim sırası; harç hazırlanması, blok kalıplarında şekillendirme, güneş yardımıyla kurutma, oluşan blokları taşıma, inşaat süresi boyunca depolama ve duvar örümünde kullanma şeklindedir.
- Blok üretimi sırasında üretilen bloklarda doğal kurutma esnasında zayı miktarı fazladır.
- Periyodik olarak onarım ve bakım ihtiyacı duyulur.
- Durabilite ve deprem güvenliği konularında yetersizdir.
- İnşasında usta kullanılmak günümüz koşullarında maliyetlidir.

2.1.5. Geleneksel kerpicin iyileştirilmesi

Kerpiç doğal yapı malzemesidir. Kerpiç malzeme, modern ve gelişmekte olan dünyada çevreye duyarlı, sürdürülebilir, ekolojik vb. yapı kavramlarına olan yönelim ile ön plana çıkmaktadır. Buna ek olarak kerpiç malzeme, fazla enerji ve bütçeye gerek duyulan yangın güvenliği, ses ve ısı yalıtımı parametrelerini ekstra çabaya gerek duyulmadan karşılamaktadır. Tüm avantajları sayesinde, modern dünyada kerpiç yapı malzemesi kullanımının artırılması gereken bir malzeme olarak öne çıkmıştır. Tüm bu avantajlarının yanında kerpiç malzemenin yapı sektöründe endüstriyelmesi için dezavantaj olarak kabul edilen; suya karşı dayanım zayıflığı, su emiliminin yüksekliği, basınç dayanım zayıflığı ve hacim ağırlığı gibi konuların giderilmesi için, kerpiç harcın 3 ana bölümde toplanan iyileştirme yöntemlerine başvurulmuştur. Bu yöntemler ayrı kullanıldığı gibi birlikte de kullanılmıştır (Onaran,1999).

2.2. Geleneksel Kerpiçin Üretim ve Kullanım Yöntemleri

2.2.1. Blok kerpiç duvar yöntemi

Blok duvar yönteminde, kerpiç malzemenin belirli ölçülerde üretilmesini sağlar. Bu yöntem, Anadolu'daki kerpiç yapılarda kullanılan en yaygın yöntemdir. Bu yöntemde hazırlanan kerpiç harcı, içerisindeki saman ve çeşitli bitki liflerinin fermantasyonunu sağlamak için yaklaşık 24 saat dinlendirilir (Şekil 2.13).



Şekil 2. 13. Kerpiç harcı için uygun killi toprak ve saman karıştırılarak hazırlanıyor.

Bu sayede içerisindeki laktik asit harçtan ayrılıp yüzeye çıkar (Şekil 2.14).



Şekil 2. 14. Hazırlanan kerpiç harcı fermantasyon için dinlendiriliyor

Dinlendirilme işlemi ardından kalıplara yerleştirilir (Şekil 2.15).



Şekil 2. 15. Dinlendirilmiş kerpiç harcı son halini almak için kalıplarda şekillendiriyor, (Özcan,2019)

Kalıplardan çıkartılarak şeklini alan kerpiç harcı son halini alması için uygun hava koşullarında güneşin etkisi ile açık havada kuruma işlemine alınır. Kerpiç bloklarının kuruma süresine göre birkaç gün sürer (Şekil 2.16).



Şekil 2. 16. Kalıp da şekil alan kerpiç bloklar kurutulma işleminde, (Özcan,2019)

Kerpiç bloklar, bu işlemten sonra son halini almış olurlar. Hazır olan bloklar inşaat sahasına taşınır ve duvar elemanı olarak yapı inşasında kullanılır (Şekil 2.17).



Şekil 2. 17. Kerpiç blokları duvar elemanı olarak kullanılması, (Özcan,2018)

2.2.2. Hatıllı kerpiç duvar yöntemi

Hatıllı kerpiç duvar özellikle Orta ve Batı Afrika’da sıkça kullanılan bir yöntemdir. Hatılın amacı yapı yükünü yatay olarak dağıtmaktır. Duvar inşaatı için kalıp sistemi hazırlanır. Hazırlanan kalıp içerisine su miktarı az, kil oranı yüksek olan topraklı harç hazırlanır. Hazırlanan kerpiç kalıp içerisinde belirli seviyeye kadar dökülür. Dökülen harç taşıyıcılık sağlaması için sıkıştırılır. Sıkıştırma yöntemi yörenin inşaat teknoloji seviyesine göre farklılık gösterir. Bu farklılık duvar elemanın kalitesine engel teşkil etmez. Yörenin imkanları doğrultusunda malzemeler göz edilerek ahşap (Şekil 2.18), betonarme (Şekil 2.19), tel örgü (Şekil 2.20), çözünmeyen bitki lifleri gibi hatıllar

yerleştirilir. Bu hatıl malzemelerin farklılığı sebebi ile duvar kalitesi doğru orantılıdır. Yerleştirilen hatıl malzemenin üzerine kerpiç harç dökülerek sıkıştırılır. Bu işlem tekrar edilerek istenilen duvar yüksekliğine ulaşılan kadar devam eder (Işık, 2018).



Şekil 2. 18. Ahşap Hatıllı kerpiç duvar yöntemi, Çizer S. T. Özcan



Şekil 2. 19 Betonarme Hatıllı kerpiç duvar yöntemi, Çizer S. T. Özcan



Şekil 2. 20. Tel örgü Hatıllı kerpiç duvar yöntemi, (Işık.2009)

2.2.3. Omurgalı kerpiç duvar yöntemi

Bu yöntemde oluşturulmak istenilen duvar elamanı için duvar kalıp düzeneğine ihtiyaç vardır. Hazırlanan kalıp içerisine duvar eni uzunluğundan daha kısa boyutlara sahip ağaç dalları yerleştirilir. Dallar, kuruma aşamasında şekil değiştireceği için duvarın bozulmaması için önemlidir. Kullanıma uygun dallar, kalıp içerisinde duvar örtüsünün sağlamlığı açısından yatay ve dikey olarak dizilir.

Dizilen bu dalların kerpiç malzeme ile buluşması sırasında, herhangi bir düzensizlik içerisine girmemesi için, ip veya benzeri malzemeler ile birbirlerine bağlanır. Bu diziliminin herhangi bir zorunlu elaman sayısına ihtiyaç olmasa da, yatayda 1 metre uzunluğa sahip duvar için 25-30 adet yatay, 5-10 adet dikey olarak yerleştirilmesi tavsiye edilir. Hazır olan ahşap iskelete, sulu kıvamda hazırlanan (balçık) kil oranı yüksek toprak ile hazırlanan harç dökülür. El veya kürek ile dövülerek basit sıkıştırma ile hazırlanan ahşap iskelet ile bağlayıcılığı sağlanır (Şekil 2.21) (Akyol Vd.,2019).



Şekil 2. 21. Omurgalı kerpiç, (URL 4).

2.2.4. El ile şekillendirme kerpiç duvar yöntemi

Neolitik dönemden günümüze ulaşan ve çeşitli estetik değer kaygısı taşıyan modern kerpiç yapılarda kullanılan bu yöntem, uygun sağlamlığa sahip temel üzerine el yardımı ile oluşturulan topaklar, üst üste yığılarak oluşturulan duvar yöntemidir. Diğer duvar yöntemlerine nazaran en ilkel ve ustalık bilgisi gerektirmeyen yöntemdir. Ancak bu yöntemde hazırlanan kerpiç malzemenin su miktarı önemlidir.

Karışımındaki fazla su miktarı akışkanlığı, az su miktarı ise bağlayıcılığa engel oluşturacaktır. Topaklar ile oluşan katman, kuruma süresi de bağlayıcılık açısından önem arz etmektedir (Şekil 2.22).



Şekil 2. 22. El ile şekillendirilen kerpiç duvar yöntemi, (URL 5).

2.2.5. Tokmaktama(sıkıştırma/dövme) kerpiç duvar yöntemi

Tokmaktama yönteminde duvar yapılacak yere uygun kalıp kurulur. Hazırlanan kerpiç harç kalıp içerisine dökülür. Kalıp içerisinde ki harcın bağlayıcılık ve dayanım özelliğini güçlendirmek için, bir alet yardımı ile harç sıkıştırılır. Bu sayede duvar elamanı olan kerpice dayanım kazandırılır. Kalıba dökülen harç 20 cm gibi az olmalıdır. Böylelikle tokmak kuvveti üst yüzeyden malzemenin altına kadar ulaşarak malzemeyi sıkıştırır. Bu yöntem günümüzde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır (Şekil 2.23) (Şekil 2.24).



Şekil 2. 23. Tokmak ile sıkıştırılmış kerpiç duvar yöntemi, (Işık,2011)



Şekil 2. 24. Kompaktör ile sıkıştırılmış kerpiç duvar yöntemi, (Işık,2015)

2.2.6. Hımış kerpiç duvar yöntemi

Ahşap iskelet ve kerpiç dolgu yapıya hımış yapı denir. Anadolu'da özellikle Cumhuriyetin ilk dönemlerinde şehir merkezlerinde yaygın kullanıma sahiptir. Kare veya dikdörtgen kesitli kereste ile taşıyıcı kullanılan ahşap iskelet elemanlarının arası 50-80 cm'dir. Taşıyıcı iskelet sistem arası 2 farklı yöntem ile doldurulur; biri kerpiç blokla örülerek diğeri de iskelet arası dökme kerpiç harcı ile üretilir. Dökme kerpiç ve blok kerpiç dolgulu hımış yöntemi olarak adlandırılır (Kafescioğlu,1954) (Şekil 2.25).



Şekil 2. 25. Hımış duvar örneği (Aktaş,2018)

2.2.7. Pise kerpiç duvar yöntemi

Ağaç dalları, çeşitli bitki lifleri ve dökme olarak kullanılan kerpiç malzeme ile yapılan duvar türüdür. Bu tarz inşaat türünde kil oranı yüksek malzeme kullanılmaktadır. Kilin nem miktarının dengeli olması gerekir. Hazırlanan kerpiç harcı, inşanın yapılacağı alanda plakalara veya kalıplara yerleştirilerek oluşmaktadır.

Bu geniş ölçekli yöntem büyük mekanlar ya da yer döşemesi ihtiyacı için kullanılmaktadır. Plaka veya kalıba yerleştirilen kerpiç harcı, şekil aldıktan sonra kalıp içerisinden çıkartılarak kuruması beklenir (Şekil 2.26) (Özdoğan,1996).



Şekil 2. 26. Kalıp içerisinden çıkartılma, Çizer S. T. Özcan

Yeterli kuruma ve sertlik sağlanması sonrasında kalıp veya plaka bu levhanın üzerine taşınarak, duvar yapımı devam eder. Bu inşa yöntemi, güncel beton kalıp yöntemine benzemektedir (Şekil 2.27).



Şekil 2. 27. Donatılı plakaların taşınması, Çizer S. T. Özcan

2.3. Geleneksel Kerpiçte İyileştirme Teknikleri

2.3.1. Mekanik iyileştirme

Mekanik iyileştirme yöntemleri, geleneksel karışım harcının içerisine herhangi bir yabancı malzeme veya madde eklenmeden yapılan iyileştirme çalışmalarıdır (Işık,2018).

2.3.1.1. Granülometrinin iyileştirilmesi

Granülometri olarak iyileştirilmiş kerpiç harç, tane çapı farklı topraklar kullanılarak oluşturulur. Bu karışım sonucu, dayanım ve gözenekliliğini etkilemektedir. Çap farkı kullanılarak harcın yoğrulma işlemi sırasında tanecik arası boşluk en aza indirilmeye çalışılır (Binici Vd., 2010).

2.3.1.2. Dövme (sıkıştırma) ile sağlamlaştırma

Bu iyileştirme yöntemi, duvar yapım yöntemi olarak karşımıza çıkmaktadır. Hazırlanan kerpiç harcın, kullanım yöntemi veya boyutuna göre fark edilmeksizin bir alet tarafından kas veya makine gücü tarafından sıkıştırılma işlemi uygulanmasıdır. Bu sayede ortaya çıkacak olan kerpiç malzeme, tanecik arası en aza indirilip karışım içerisindeki fazla sudan kısa sürede kurtulması sağlanır. Bu olay sonucu dayanım ve kuruma süresinden kazanç sağlanır (Işık,2018).

2.3.1.3. Toprağın demlenme süreci ile iyileştirilmesi

Geleneksel kerpiç harç kullanım aşamasına geçmeden önce, saman öz suyunun toprak ile moleküler olarak kaynaşmasını ve birleşmesini sağlamak amacı için belirli bir süre dinlendirilmesi olayıdır. Demlenme süreci sonrasında doğal kimyasal reaksiyonlar neticesinde dayanım ve bağlayıcılık kalitesinde artış elde edilir (Işık,2018).

2.3.1.4. Fiziksel iyileştirme

Fiziksel iyileştirmede, harca organik lif oranı yüksek bitki ve bitki artıklarının katılması ile durabilite seviyesinde artış gözlenir. Anadolu'da kerpicin durabilitesini arttırmak amaçlı olarak eskiden beri, harca saman katılmaktadır (Kafesçioğlu Vd.,1985).

2.3.1.5. Lif donatı ile iyileştirme

Geleneksel kerpiç yapılarda sıkça karşılaşılan blok kerpiç duvar yöntemi ile inşa edilen yığma yapılar, deprem yatay kuvveti ile köşegen çatlak oluşursa yapı kendi ağırlığı ile heyelan sonucu yıkılır. Tarihsel süreçte, deprem dayanımını arttırmaya yönelik yörelere göre çeşitli fiziksel iyileştirmeler denenmiştir. Hayvancılıkta gelişmiş soğuk iklimli yörelerde hayvan kılları kullanılırken, tarımda gelişmiş ılıman iklime sahip yörelerde, tarımsal hasat atıkları karışıma dahil edilmesi ile gerçekleşmiştir. Bu karışım oranları yörelerde farklılık göstermekte olup, nicelik bilgiden uzaktır (Onaran,1999).

- 2009 yılında Deprem güvenliği konusunda Prof. Dr. Bilge Işık tarafından Ankara, Afet işleri Genel Müdürlüğü ile ortaklaşa yürütülen ARGE (Araştırma ve Geliştirme) sonucu depremle oluşan yatay kuvvetleri söndüren yatay esnek düzlemler duvar içine yerleşmeli düşüncesi, sarsma tablası deneyi ile de kanıtlanmıştır. Sarsma deney yapısı shotcrete teknolojisi ile inşa edilmiştir (Şekil 2.28) (Işık,2018).



Şekil 2. 28. Sarsma tablası deney sonrası (Işık,2009)

- 2020 yılında Teknolojinin gelişmesi ile fiziksel iyileştirme olarak polipropilen (PP) malzemelerde denemiş Ayaz ve Berkgil' in araştırma sonucunda yanal deformasyonu indirgenmesi ile tahribatı geciktirilmiştir (Berkgil Vd. 2020).

2.3.2. Geleneksel kerpiçin katkı ile iyileştirilmesi

Geleneksel kerpiç malzemeyi, gelişmiş laboratuvar çalışmaları ile kimyasal tepkimeler ile dayanımını ve su emici özelliğini iyileştirmek üzere çeşitli malzeme katkıları kullanılmıştır. Kimyasal iyileştirme yöntemleri, karışım malzemelerinin oranı baz alınarak kullanılacak olan katkı madde miktarı belirlendiği için stabilize çalışmalarını desteklemekte olup, endüstriyel kimlik için yarar sağlamaktadır.

2.3.2.1. Endüstri atıkları ile iyileştirilmesi

Kullanım alanı kısıtlı olan ve malzeme türü atık olarak nitelendirilen malzemelerin kullanımını ön görülmüştür. Bu tür atık malzemelerin kerpiç malzeme ile buluşturulması fikri beton sanayi tecrübesinden gelmektedir. Malzeme dayanımını arttıran yapışkan özelliğe sahip maddeler vardır.

- 1995’de yaptığı araştırmada Bülent Baradan, üretiminde ve sonrasında “tık” olarak tanımlanan tuğla ve kiremit parçalarını öğütürerek kerpiç harcında toprak hammaddesi olarak kullanmıştır. Tuğla ve kiremit parçalarının öğütülmesi ile üretilen toza, belirli oranlarda uçucu kül ve kireç katmıştır. Elde ettiği numunelerde mukavemet değerinin arttığını göstermiştir (Baradan,1995).
- 2001’de Osman Şimşek Vd., çalışmalarında uçucu kül (FA) kullanmıştır. Termik santrallerden ortaya çıkan endüstri atığı çeşididir. Elektrik üretiminde yakıt olarak kullanılan, kömür tozunun açığa çıkarttığı kül ve dumanın baca filtrelerinde tutularak ortaya çıkan kül tanelerine uçucu kül adı verilmiştir. Çalışma sonucunda basınç dayanımı verilerinin en üst sınıra çıktığını kanıtlamışlardır (Şimşek Vd, 2001).
- 2007’de tamamladığı tez çalışmasında Jülide Kıvrak, samanlı kerpiç harcına silikon metal veya ferrosilikon alaşım endüstrisinin atık ürünü olarak silis duman (SiO_2) adı ile ortaya çıkar. %0- %25 oranları arasında silis dumanı ekleyerek basınç dayanım, hacim ağırlığı ve su dayanımı deneyleri yapmış ve çalışma sonucunda silis dumanı tüm ekleme oranlarında başarı göstermiştir (Kıvrak,2007).
- 2008’de Şükrü Yetgin Vd., çalışmasında kerpice birim ağırlık olarak en fazla lif içerinin 0,5 olduğunu kanıtlamışlardır (Yetgin Vd., 2008).
- 2008’de çalışmasını bitiren Ömer Can, araştırmasında Ferrokrom Cürufu

kullanmıştır. Elâzığ Eti Bor Madeninden, Ferrokrom üretimi ardından ortaya çıkan Ferrokrom cürufu temin edilmiştir. Araştırmada kullanılan Ferrokrom cürufunun kimyasal ve fiziksel özellikleri (Can,2008) (Tablo 2.2).

Tablo 2. 2: Araştırmada kullanılan Ferrokrom cürufunun fiziksel ve kimyasal özellikleri (Can,2008)

Kimyasal Analiz (%)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+0,658K ₂ O
45,62	31,90	1,95	2,25	16,80	1,48
Fiziksel Özellikler					
Birim ağırlık (gr/cm ³)		Su emme (%)		Özgül ağırlık (gr/cm ³)	
1,06		13,63		2,86	

- Ferrokrom üretimi sırasında çevreye zararlı olan atık malzemenin, kerpiç harca katkısının mukavemeti arttırdığı görülmüştür. Basınç dayanımını 1,74 kat, su dayanımını belirtilen sürede %10 oranında arttırıldığını kanıtlamıştır (Can,2008).
- 2009'da Jonathan E. Oti Vd, İngiltere'de yapılan araştırmada; Demir – Çelik tesislerinde, demir üretimi esnasında ortaya çıkan yüksek fırın cürufu, kireci ve Portland çimentosu olarak isimlendirilen içeriğindeki kil, kum ve demir cevheri gibi organik maddeler bulunduran gri renkli çimento gibi maddeleri, kerpiç katkısı olarak çeşitli varyasyonlarda kullanmışlardır. Çalışma sonucu kireç ve yüksek fırın cürufu ikili katkısının kerpiçte çimento ve yüksek fırın cürufu ikili katkısından dayanım açısından daha iyi sonuca ulaşılmıştır (Oti Vd, 2009).
- 2011'de yüksek lisans çalışmasını tamamlayan Tuna Gül, yaptığı çalışmada, beton üretimi sırasında oluşan hava boşluklarının bir araya gelerek, daha büyük bir hava boşluğunun oluşmasını engelleyen hava sürükleyici olarak adlandırılan katkı maddesi ve Cam lifi veya elyafı olarak adlandırılan, çok ince cam tellerden üretilen madde katkı olarak kerpiç harca katılmıştır. İki farklı katkı kullanılarak hazırlanan numunelerde basınç dayanım artışı görülmüştür (Gül,2011).

2.3.2.2. Çimento ile iyileştirme

Çimento, belirli oranda kil (m Al₂O₃, n SiO₂, p H₂O), kalker (CaCO₃) ve demir oksit (Fe₂O₃) karışımının ısı işlem gören beyaz veya gri renkli inorganik bir malzemedir (Alkan,1969).

- 1969 yılında Alkan' ın araştırması kerpiç malzemesinde kullanılacak toprağın hacmi göz önünde bulundurularak 1/10 veya 1/18 oranında çimento katkısı önermiş olup, bu sayede donma çözülme, su ve basınç dayanımı konusunda yarar sağlanacağını belirtmiştir (Alkan,1969).

2.3.2.3. Kireç katkısı

Kireç doğası gereği aderans özelliği fazladır. Bu inorganik madde kerpiç harcında ortaya çıkan hava boşluklarını azaltarak, karışımın temel aderansını yükselterek dayanımını ve geçirgenliğini azaltır. Karışımdaki kireç katkı miktarı ise, kullanılan toprağın sahip olduğu kil miktarına göre ayarlanır.

- 2008 yılında Younoussa Millogo Vd, Mikro yapı ve kireç-killi kerpiç tuğlaların fiziksel özelliklerini içeren araştırmasında kireç katkısının, kerpiç malzemedeki su emilimi üzerindeki etkisini tropik kuşakta yağmur suyunda 4 günlük bekleme süresi gözlenmiş ve su emilim düzeyinin azalmasında etkili olduğunu görülmüştür (Millogo Vd, 2008).

2.3.2.4. Alçı katkısı

Alçı, alçıtaşının çeşitli işlemlerinden geçerek ortaya çıkan inorganik bir maddedir. Alçının kerpiç harcına ilavesinin başlıca nedeni, hızlı priz ve rötreye engel olmasıdır. Alçının su ile karışımı neticesinde, priz süresi 5 – 8 dakika olarak belirlenmiştir. Alçının, kerpiç harç içerisine eklenmesi durumu ortaya çıkan harcın çalışma süresini kısaltmış olacaktır. Priz süresinin kontrol edilip, isteğe göre ayarlanması için karışım kireç eklenerek istenilen çalışma süresine ulaşılabilir (Kafescioğlu,1980).

Karışımın kuruma sırasında, alçının rötreyi engelleme durumundan karışım içerisindeki su buharlaşırken oluşan gözenekler, ısı yalıtım ve dayanım oranlarında iyileştirme sağlar. Alçı katılan karışım hızlı priz özelliğinden dolayı, herhangi bir işleme gerek duyulmadan kalıptan çıkartıldığı hali ile kullanımı uygundur (Işık,1995).

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

3. TOPRAĞA ALÇI KATKISI – ALKER TEKNOLOJİSİ

Alker malzeme kavramı, 1980 yılında yapılan araştırma sonucu alçı ve kerpiç sözcüklerinin ilk heceleri kullanılarak ALKER ismi türetilmiş ve Alkerin ilk reçetesi ortaya çıkmıştır. Bu reçeteye göre çorak toprak kullanılarak hazırlanacak karışıma %10 alçı, %2 kireç ve toprağın nemine göre %20 veya %24 oranında su eklenmesi ile oluşturulan harç yapı malzemesi olarak kabul görmüştür (Işık,2018).

3.1 Alker, Alçı Katkılı Toprak, Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Alker, duvar elamanı oluşturması ön görülen malzemelerde olduğu gibi ısı ve ses yalıtımı, rötre seviyesi, su emilimi vb. değerlerde beklenen performans şartlarını karşılamaktadır (Kafescioğlu,1980) (Tablo 3.1).

Tablo 3. 1: Alkerin fiziksel özellikleri (Kafescioğlu, R., 1980. Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin Alçı ile Stabilizasyonu, TÜBİTAK MAG 505, İstanbul)

Özellik	Değer
Rötre (%)	1,0 – 1,5
Su emme (%)	Çok düşük
Isı geçiş katsayısı (W/mK)	0,4
Isı depolama (kJ/kgK)	1,0
Uzun süreli su etkisi (yüzey darbesi hariç)	-

Alker malzemenin ısı ve ses yalıtım özelliği kazanması, karışım harcındaki malzemelerin kimyasal reaksiyonlarından meydana gelir. Karışımdaki alçı katkısı sayesinde harcın rötre yapma seviyesini düşürerek, harcın içerisindeki suyun buharlaşması ile meydana gelen hava boşlukları da bu özelliği oluşturur (Kafescioğlu,1980).

Alkerin sahip olduğu ısı ve ses yalıtım özelliği **TS 825** koşullarına uygundur. Isı kat sayısını yapılan araştırmalar neticesinde 0,4 W/mK olarak belirlenmiştir. Bu veriler neticesinde, Alker ile oluşturulan mekanların konfor seviyesi arttırılmaktadır (Işık,1995).

Alker harcındaki kireç katkısı oluşturulan malzemede su emilim miktarının azalmasını sağlamaktadır. Malzemenin fazla sudan kaynaklanan bozulmalardan ve dağılmalardan korumakta ve karışımdaki alçı katkısı ile reaksiyon göstererek harcın priz süresinin uzatılmasında da katkı sağlamaktadır. Bu sayede harcın işlenebilirliği artırılmış olmaktadır (Kafescioğlu,1980).

Harcın priz süresi göz edilerek su ilave edilmeden toprak, kireç ve alçı malzemelerin kuru karma yapılması ve su katıldıktan sonra harcın karılma işleminin tekrarlanması sonucu oluşturulan, Alker duvar elamanının kesitlerinin homojen olduğu görülmektedir. Bu karılma tekniğinden dolayı Alker, yapı fiziği olarak dengeli sonuçlara rastlanır (Kafescioğlu,1980).

Harcın içerisindeki malzemelerin özelliklerinden kaynaklı olarak Alker yüzeyleri, kimyasal ve fiziki eskime süresini en aza indirir ve küf gibi çeşitli mikroorganizmaların türemesini engeller (Kafescioğlu,1980).

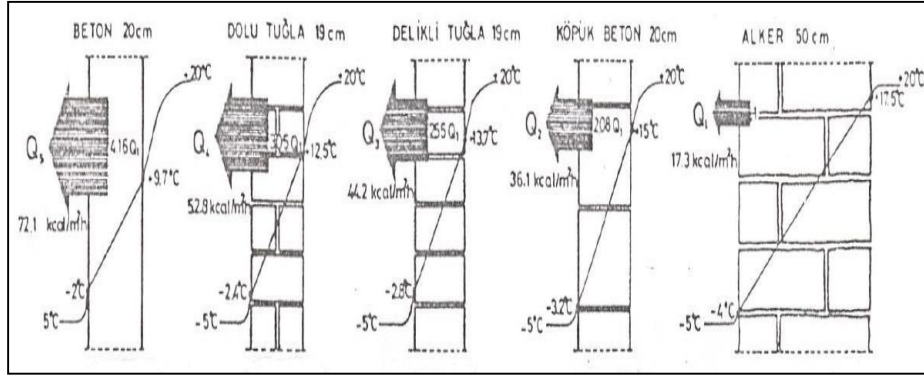
Alkerin sahip olduğu özellikler neticesinde ısı, ses ve su izolasyonuna gerek duyulmaz. Duvar elamanı olarak doğal iklimlendirme ve yapı fiziği olarak istenilen özellikleri karşılar (Tablo 3.2) (Kafescioğlu Vd.,1985).

Tablo 3. 2: Çeşitli duvar türlerinin yapı klimatolojisi yönünden nitelikleri (Kafescioğlu, R., Gürdal, E., 1985. Çağdaş Yapı Malzemesi Alker, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Dairesi Başkanlığı, Shell, İstanbul) (*)

Nitelik	Harman tuğlası	Delikli tuğla	Beton blok	Hafif beton blok	Alker
İç yüzey sıcaklığı (C)	12,44	13,70	9,68	14,85	16,80
Isı biriktirme kapasitesi (kJ/kgK)	75,24	54,34	110,00	57,60	139,80
Faz ötelemesi (h)	4,50	4,47	4,03	13,58	29,00
Soğuma süresi (h)	14,29	12,87	13,97	17,28	66,68

(*) iç ortam sıcaklığı +20 C, dış ortam sıcaklığı -5 C olarak belirlenmiştir.

Duvar elamanı olarak kullanılan yapı malzemelerinin ısı kaybı yönünden karşılaştırıldığında, Alker duvarın en az ısı kaybı değerine sahip olduğu sonucu ortaya çıkmıştır (Şekil 3.1) (Kafescioğlu,1985).



Şekil 3. 1. Alker malzemenin ısı depolama değerinin diğer duvar malzemeleri ile karşılaştırılması (Kafescioğlu, R., Gürdal, E., 1985. Çağdaş Yapı Malzemesi Alker, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Dairesi Başkanlığı, Shell, İstanbul)

Alker teknolojisi çalışmaları sonucu yapılan deneme yapılarının tümünde, benzer yapı metrekaresine ve benzer coğrafi alanda bulunan diğer yapılardan kıyasla, ısınma ihtiyacı olarak daha az enerji kullanıldığı görülmüştür.

Karışımındaki alçı, priz süresinin kısa olmasından kaynaklı harcın kuruma sırasında meydana geleceği deformasyonu ve rötre oluşumunu önler. Bu sayede basınç dayanımı olumlu yönde artar (Kafescioğlu, 1980) (Tablo 2.3).

Alker duvar tercih edilen yapıda, yapı inşaat alanının %25'ni kaplar. Örnek olarak; yapı inşaat alanı 100 m² olan yapının, Alker duvar alanı 25 m² olmuş olur. Bu oran, yapının deprem direncini olumlu yönde etkiler (Işık,2002).

Alkerin, birim ağırlık basınç dayanımı ve kesme dayanımı gibi mekanik özellikleri tablo 3.3' de verilmiştir (Tablo 3.3).

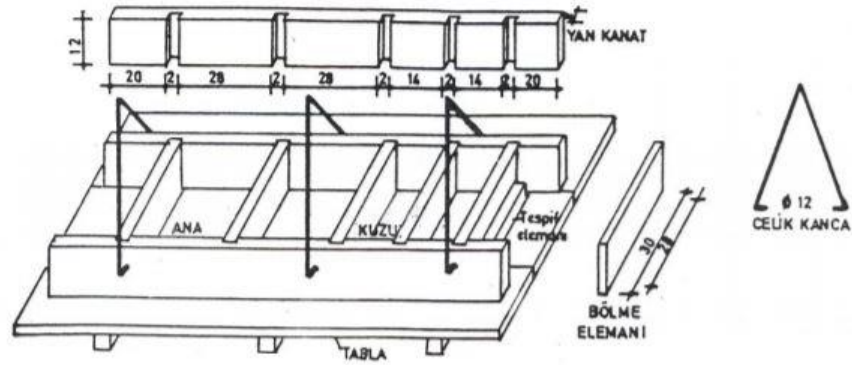
Tablo 3. 3: Alkerin Mekanik Özelliği (Işık,2002)

Özellik	Değer
Birim Ağırlık (kg/l)	1,6 - 1,7
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2,0 - 4,0
Kesme Dayanımı (N/mm ²)	0,9 - 1,3

3.2. Alker, Alçı Katkılı Toprak İnşaat Yöntemi

Alker yapım tekniği olarak, kerpiç yapım tekniklerinden yola çıkılmıştır. Alker harcın içerisindeki alçının hızlı priz süresinden yararlanılmıştır. Blok duvar yöntemi, Sıkıştırılmış / Dövme duvar yöntemi ve Püskürtme (shotcrete makinesi yardımıyla) duvar yöntemi uygulanmıştır.

Alker blok kullanılarak, I. Deneme yapısı inşa edilmiştir. Bu yapı, İTÜ Anaokulu yapısı olarak da bilinmektedir. Yapı inşaatında blok büyüklükleri 28 cm/ 14 cm/12 cm Kuzu blok ve 28 cm/ 28 cm/ 12 cm Ana blok olarak adlandırılmıştır (Şekil 3.2) (Tanrıverdi,1984).



Şekil 3. 2. İTÜ Anaokulu binası yapımında kullanılan alker blok kalıp elamanları (Kafescioğlu,1980)

Deneme yapılarında, kullanılan alker yapım yöntemleri alker malzemenin üretim hızının endüstriyel standartlarda olduğunun gösterilmesi için fırsat olarak nitelendirilmiştir.

I. Deneme yapısı için çevredeki beton tesislerden yararlanılarak mekanik araç vasıtası ile ihtiyaç duyulan Alker bloklar, süre olarak hızlı ve iş gücü olarak az seviye ile üretimi gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3) (Işık,1995).



Şekil 3. 3. İTÜ Anaokulu binası (Işık,1995)

Sıkıştırılmış/dövme alker yöntemi kullanılarak, II. Deneme yapısı inşa edilmiştir. Yapı inşası sırasında, yapı planına uygun şekilde konumlandırılan endüstriyel kalıplar içerisine hazırlanmış olan harç dökülür.

Harç hazırlanırken karşım içerisinde ihtiyaç duyulan su miktarı üçe ayrılır. Ayrılan suyun 1/3'ü karışımında kullanılacak miktardaki toprak, betonyerde karıştırılır. Kalan suyun 2/3'ü toprak miktarı baz alınarak %2 olacak şekilde kireç ve %10 olacak şekilde alçı ilave edilerek, betonyerde priz süresi göz önünde bulundurulur ve iki dakika karıştırılır. Betonyerde hazırlanan harç, kürek yardımı ile hazırlanan duvar kalıbı içerisine aktarılır. Aktarılan Alker harç, her 20 cm kalınlığa ulaştığında sıkıştırma/dövme işlemi yapılmıştır. Bu deneme yapısında üretim hızının ve endüstriyel yapı inşaatına uyumu gösterilmek için, elektrikli darbe seti, kompaktör (otomatik tokmak) ve 9 kg'lık demir inşaat balyozu gibi çeşitli ekipmanlar kullanılmıştır. Kullanılan ekipmanlar arasından istenilen, süre olarak hızlı ve iş gücü olarak az seviye ile üretimi kompaktör olarak belirlenmiştir.

II. Deneme yapısının, yapı sisteminin iyileştirilmesi (stabilizasyonu) için deprem etkisi ile oluşacak diyagonal (köşegen) deformasyon, çatlaklara dayanım sağlaması amacıyla zeminden itibaren her 60 cm yükseklikte galvanizli (çinko ile kaplanmış) çelik hasır yerleştirilmiştir. Bu eklenti sayesinde rötre oranı %1,07 olan Alkerin rötre oranını sıfıra indirmişti (Şekil 3.4-5-6-7) (Işık,1995).



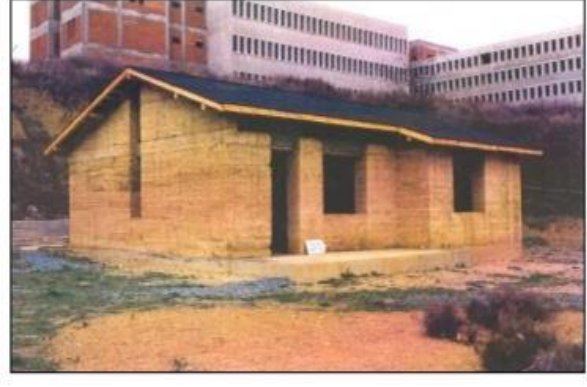
Şekil 3.4: Endüstriyel kalıp montajı (Işık,1995)



Şekil 3.5: Kompaktör ile sıkıştırma (Işık,1995)



Şekil 3. 6: Kalıp sökülmesi (Işık,1995)



Şekil 3. 7: II. Deneme Alker yapısı (Işık,1995)

Shotcrete makinesi ile toprak kullanılarak inşaat yöntemi, 2002 yılında “Delta” firmasının sahibi Haluk Yurttutan tarafından shotcrete makinesinin temini, Prof. Dr. Bilge Işık tarafından başlatılmıştır. Dünyada “shotcrete ile inşa edilmiş yapı” hakkında bilimsel veri bulunmamaktadır. Bu yöntem, 2002 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve Zemin Mekaniği Laboratuvarında başlayan araştırma, 2005 yılında tamamlanan deneysel çalışma sonucu, shotcrete makinesinin püskürtme barına (hızına) bağlı olarak harç homojen olarak, hazırlanmış olan kalıp içerisine namlu (nozül) yardımı ile püskürtülerek gerçekleştirilir. Sıkıştırma/dövme yönteminde kullanılan; kurulum sırasında yüksek iş gücü gerektiren destekli kalıp yerine, maliyeti düşük endüstriyel, modüler kalıplar kullanılarak duvar inşa edilebileceği belirlenmiştir. II. deneme yapısı **TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622**’ de sıkıştırma dövme tekniği ile üretimi $3\text{m}^3/\text{gün}$ vakit alırken, kuru sistemli shotcrete makinesi ile üretim $3\text{m}^3/\text{saat}$ oranına düşmüştür. Bu verilere göre shotcrete tekniği, Alker duvar oluşturmada hızlı bir yöntem olduğu kanıtlanmıştır (Şekil 3.8) (Coşkun,2005).



Şekil 3. 8. Alker harcının shotcrete makinesine aktarılması (Işık,2002)

3.3 Alkerin Uygulama Örnekleri

Alker malzeme kavramı, 1980 yılında yapılan araştırma sonucu alçı ve kerpiç sözcüklerinin ilk heceleri kullanılarak ALKER ismi türetilmiş ve Alkerin ilk reçetesi ortaya çıkmıştır. Bu reçeteye göre çorak toprak kullanılarak, hazırlanacak karışıma %10 alçı, %2 kireç ve toprağın nemine göre %20 veya %24 oranında su eklenmesi ile oluşturulan harç yapı malzemesi olarak kabul görmüştür (Işık,2018).

1980 yılında Prof. Ruhi Kafescioğlu ile başlayan Alker çalışmalarının ARGE (araştırma ve geliştirme) ve deneme yapı çalışmaları tarihsel sırayla açıklanmıştır:

- 1980 'de **TÜBİTAK MAG 505** numaralı projede kırsal yerleşim yapılarının, yapı sağlığı açısından iyileştirilmesi, dönemin koşullarına göre ekonomik ve konut ihtiyacını giderebilmek amacıyla, yörelerde bilgi birikimi var olan yapı malzemesi kerpicin geliştirilme yöntemleri aranmış, malzemenin olumsuz yönleri göz önünde bulundurularak harcın stabilizesini, Anadolu'da özellikle soğuk yörelerde kullanılan kireç ve alçı katkılı sıva harcından ilham alınarak, alçı katkılı kerpiç fikri ortaya konulmuştur. Yapılan araştırmada karışımda bulunan kireç seviyesinin alçının priz süresini ve karışımdaki toprağın granül metrik yapılaşma değerini kontrol etmek için önemi ortaya konulmuştur. Bu araştırmanın sonucunda da Alker malzemenin tanımı ve reçetesi ortaya çıkmıştır (Kafescioğlu,1980).
- 1983'de Mimar Cemal Tanrıverdi tarafından "Alçılı Kerpiç' in Üretim Olanaklarının Araştırılması" başlıklı yüksek lisans tezi yazılmıştır. Tezde uygun toprak seçimi, harcın hazırlanma evresi, kalıp tercihleri ve yapı üretim yöntemi araştırılmıştır. Hazırlanan tez sonucundaki veriler kullanılarak, Alker malzemenin I. Deneme yapısı olan İTÜ içerisindeki ihtiyacı karşılamak için, projelendirilen Anaokulu binasının inşa uygunluğuna yarar sağlamıştır (Tanrıverdi,1984).
- 1987'de I. Deneme yapısı olan İTÜ Anaokulu binasının bir buçuk yıllık periyotta ısı ve nem ölçümleri için araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucu yapının yıllık enerji kullanımını ve ısı geçiş kat sayıları ortaya konulmuştur (Işık,1995).
- 1991'de "Alker Duvar Üzerinde Hazır Sıvaların Davranışı" başlıklı araştırma, beş yıl boyunca devam etmiştir (Işık,2000).

- 1995’ de II. Deneme yapısı inşa edilmiştir. Deneme yapısı üretimi sırasında ve öncesinde yapılan araştırmalar, deneyler ve uygulama verileri “Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartların Belirlenmesi” başlıklı araştırma **TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622** numaralı proje olarak yayınlamıştır (Işık,1995).
- 1996’da inşaat süresi başlayan III. Deneme yapısı olan Altınoluk Yazlık projesini Prof. Dr. Bilge Işık tarafından yürütülmüştür. 1997’de tamamlanan III. Deneme yapısının mimari projesi ve şantiye yönetimi de Prof. Dr. Bilge Işık tarafından yapılmıştır. Alker yapıların kullanım popüleritesinin artırılması amaçlanmıştır (Işık,2000).
- 1999’da II. Deneme yapısı üzerinden deprem dayanım testleri yapılmıştır. Bunun sonucu olarak, o dönem GAP Bölgesinde yapılması düşünülen proje için verilere ulaşılması sağlamıştır. GAP bölgesi, deprem kuşağı üzerinde yer almasından dolayı bu araştırma ihtiyaç duyulmuştur ve olumlu sonuçlara ulaşılmıştır (Işık,2000).
- 2000’de Birecik barajının faaliyete geçmesiyle, kontrollü olarak su altında kalacak bölge halkı için konut ihtiyacı gündeme gelmiştir. Prof. Dr. Bilge Işık yürütücülüğünde “Birecik Barajından Etkilenen Nüfusun Yeniden Yerleşimi, İstihdamı ve Ekonomik Yatırımı İçin Planlama ve Uygulama Projesi” konu olarak belirlenen proje hayata geçirilmiştir. IV. Deneme yapısı lojman binası olarak projelendirilmiştir. Bu sayede malzemenin toplu konut inşasında kullanılabilirliği araştırılmıştır. İnşa sırasında gerekli olan kerpiç bloklar, parke taşı üretim tesisine başvurularak toplamda 60 bin adet kerpiç blok üretilmiştir. Bu deneme yapısını diğerlerinden ayıran özellik, karışıma çimento katkısı eklenmesi ve betonarme karkas yapının duvar elemanı olarak blok Alker kullanılmıştır (Şekil 3.9) (Şekil 3.10) (Işık,2000).



Şekil 3. 9: Üretimin yapıldığı parke taşı imalathanesi (Işık,2000)



Şekil 3. 10: Urfa GAP idaresi örnek Alker bina (Işık,2000)

- 2002’de Mimar Beylem Aydınay, yüksek lisans tez konusu olarak “Donatılı ve Donatısız Alker Duvarların Kayma Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma” belirlemiş ve araştırmasını gerçekleştirmiştir. Araştırma sonucu, Alkerin yatay yüklere karşı dayanımını arttırmaya yönelik sonuçlarına ulaşılmıştır (Aydınay,2002).
- 2005’de Mimar Ece Özcan, yüksek lisans tez konusu olarak “Konut Sektöründe Hafif Çelik ve Alker Yapım Teknolojilerinin Birlikte Kullanılabilirliği” belirlenmiş ve araştırmasını tamamlamıştır. Araştırmada iki katlı konut projesinin, yapım süreci ve performansı ECCREDİ (the European Council for Construction Research, Development and Innovation) hedeflerine denklik durumu, değerlendirilmiştir (Özcan,2005).
- 2005’de Mimar Demet Çebi, yüksek lisans tez konusu olarak “Küçük Adaları Geliştirme Birliği (SIDS) Kriterleri Bağlamında Yapı Malzemesi Alkerin Kuzey Kıbrıs da Sürdürülebilirliği” araştırılmıştır. Araştırmanın amacı olarak, inşaat ihtiyacında Alkerin ekonomik yönüne dikkat çekilmiştir (Çebi,2005).
- 2005’de Mimar Kevser Coşkun, yüksek lisans tez konusu olarak “Alker (alçı katkılı kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (shotcrete) tekniği ile Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı Açısından Deneysel Değerlendirmesi” araştırmasını gerçekleştirmiş. Çıkan sonuçta da bu yapım tekniği hızlı ve rasyonel olduğu sonucuna varılmıştır (Coşkun,2005).
- 2011’de Şanlıurfa, Viranşehir ilçesinde gönüllü ailelerin katılımıyla yeni yerleşim yeri kurulması planlanılmıştır. Köy halkına kendi evlerini yapma fırsatı sunulmuştur. Bu bölge sakinlerine Alker malzeme eğitimi verilmiştir. Araştırma sonucu olarak, kırsal yörede konut ihtiyacının çözümü olarak verilere ulaşılmıştır (Kafescioğlu,2016) (Şekil 3.11) (Şekil 3.12).



Şekil 3. 11: Prof. Dr. Bilge Işık ve Viranşehir bölge sakinleri inşaat teknik eğitimi (Işık,2011)



Şekil 3. 12: Sandık kalıp ve tokmaklama ile Alker duvar yapımı (Işık,2011)

- 2011’de Kuzey Kıbrıs Türk Cumhuriyeti, Değirmenlik Belediyesine bağlı Dilekkaya’da Mehmet Dağdeviren adına yapılan konut yapısının projesi, dış duvarlarda kerpiç iç bölmeler ise hafif çelik olarak hazırlanmıştır. Üretiminde püskürtme beton makinesi kullanılmıştır (Şekil 3.13) (Işık, 2012).



Şekil 3. 13. KKTC, Dilekkaya püskürtme uygulaması (Işık,2011)

- 2015’ de Şanlıurfa, Göbeklitepe ören yeri ve müzesi için ihtiyaç duyulan, ziyaretçi merkezi kompleksi, kompaktör (otomatik tokmak) kullanılarak tokmaklama tekniği Alker duvar inşa yöntemi ile yapılmıştır (Şekil 3.14) (Işık, 2018).
- 2015’ de Muğla Köyceğiz ilçesinde, BKM Plato olarak adlandırılan film platosu inşa edilen alanda, 3 farklı uygulama tekniği kullanılmıştır. Çok amaçlı salon olarak tasarlanan hangar tipli yapı kompaktör (otomatik tokmak) kullanılarak, tokmaklama tekniği Alker duvar inşa yöntemi ile, platoda konaklama ihtiyacı için tasarlanan yapının üretiminde püskürtme ve tokmaklama tekniği ve ziyaretçi merkezi olarak tasarlanan yapı da Alker blok ile yapım yöntemleri kullanılmıştır (Işık,2018).



Şekil 3. 14. Göbeklitepe ziyaretçi merkezi (Işık,2018)

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

4. PÜSKÜRTME BETON TEKNOLOJİSİ VE ÇALIŞMALARI

4.1 Püskürtme Beton (Shotcrete) Makinesiyle İnşaat Teknolojisi

4.1.1. Püskürtme beton teknolojisinin tanımı

Püskürtme beton teknolojisi, ilk defa 1995’de inşaat ihtisas grubu tarafından **TS 11747** numarasıyla Türk standartlarına girmiştir. Bu standart 2014 yılında iptal edilmiştir. İki bölümden oluşan yeni Türk standarttı **TS EN 14487-1**(2006) ve **TS EN 14487-2** (2007) numaralı olarak yerine geçmiştir.

TS EN 14487-1 de tarifler, özellikler ve uygunluk standartları açıklanmıştır.

TS EN 14487-2 de ise uygulama standardı açıklanmıştır.

Yüksek basınçlı hava yardımı ile püskürtülen betonun hem homojen hem de ince bir katman olarak yüzeye yüksek hızda atılmasını sağlayan, makinelerdir. Kullanım alanı oldukça geniş yelpazededir. Betonarme yapı onarımında, Yatay, düşey ve baş üzeri uygulama, İç ve dış mekânda kullanım, Kolon, kiriş ve döşemelerde kullanım imkânı sağlamaktadır.

TS EN 14487-1 ve **TS EN 14487-2** ‘de yerine geçen İptal **TS 11747**’ye itafen yapılan tanım:

“Püskürtme beton, onarım veya yapım amacıyla önceden hazırlanmış olan betonun basınçlı hava yardımıyla yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilen betondur.” (TS EN 14487-1)

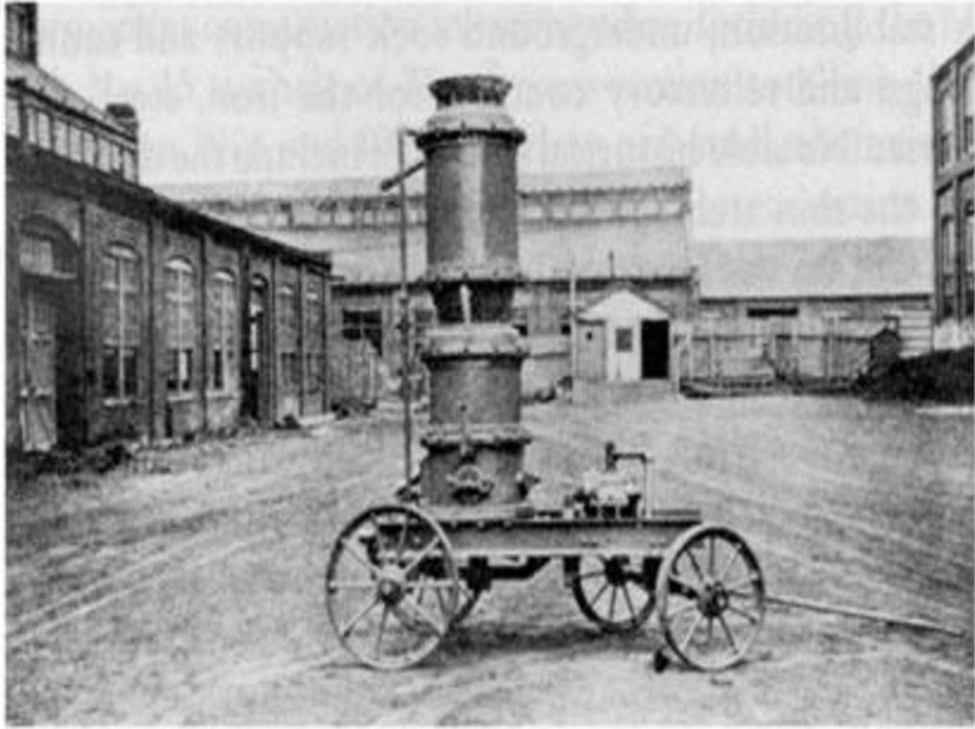
4.1.2. Püskürtme beton teknolojisinin tarihçesi

1907 yılında asıl mesleği tahnitçi olan Carl ETHAN AKELEY tarafından ihtiyaca binaen püskürtme makinesinin oluşturdu. Makineyi “plaster shooter” (sıva atıcı) olarak isimlendirirdi. Haznesindeki kuru sıvayı, basınçlı hava yardımıyla hortumu kullanarak püskürtme yapan ilk prototipini gerçekleştirdi (Yoggy ,2000).

1910'da kuru malzemenin su ile karışması için, püskürtmenin gerçekleştiği uca ekstra bir hortum kullanılarak su ilavesi yapıldı. Yapılan ilave ile hortum ucuna karışımın gerçekleşmesi ve kontrolü için geliştirmiş hortum ucu kullanılmıştır. "Mortar shooter" (püskürtme harç) olarak isimlendirilmiştir (Yoggy ,2000).

Carl Ethan Akeley' in ürettiği prototip 1915'de Cement Gun Company tarafından hakları satın alınarak prototipin geliştirilme çalışmaları yapıldı (Yoggy, 2000).

1915'de sanayi devri ile hızlanan inşaat sektöründe kullanım hızı ile ön plana çıkan makine; köprü, tünel gibi ulaşım yapılarında baraj, sulama kanalı, lağımlar gibi enerji ve alt yapı yapılarının inşasında kullanılırken, yapıların tamiri gibi çeşitli alanlarda da kullanılmıştır. Bu denli kullanım alanına sahip olan püskürtme teknolojisinin 1920'de kullanımı yaygınlaşmıştır (Şekil 4.1) (Yoggy, 2000).



Şekil 4. 1. 1907'de kullanılan orijinal makine (Yoggy,2000).

Tarihsel süreçte kuru karışım harcın püskürtülme işlemi "gunit" olarak isimlendirildi (ACI 506R-90,1990).

1930'da AREMA (Amerikan Demiryolu Mühendisleri Birliği) tarafından günümüzde kullanılan adı olan 'Shotcrete' adını gunit işlemi gerçekleştiren makine olarak öne sürdü (ACI 506R-90,1990).

Çimento ve kumdan oluşan kuru harcın içerisine kaba agrega ilavesiyle kuru karışım püskürtme makinesi olarak 1950 yılında ün kazanmaya başladı (Bickley Vd. 2001).

1970’de yaş karışım püskürtme işlemi denenmiş ancak harçta yüksek oranda olan Su/Çimento kullanımı oluşan betonun dayanım seviyesinde düşmeye yol açtığı için kullanımı yaygınlaşmamıştır (Sümer,1994).

1975’de yaş karışımının kullanımının yaygınlaşması için, harca silikat ve plastisiteyi arttırmayı sağlayan katkıları ilave edilmiştir. Bu sayede beton dayanımı kazandırılmış ve yaş karışım tercihi yaygınlaşmaya başlamıştır (Sümer,1994).

4.1.3. Kuru – Yaş püskürtme teknolojisi ve karşılaştırılması

Kuru karışım olarak hazırlanmış harcın, makinenin haznesine aktararak makinenin gövdesinde bulunan çelik ve kauçuk disklerin arasından seyrek ve hızlı olarak dış bağlantı ile sağlanan, basınçlı hava ile pnömatik olarak iletim hortumundan nozula (hortum ucu) iletilir. Nozulda, kuru karışımın su ile karışması sağlanır. Dış bağlantıyla başka bir hortum ile iletimi sağlanan suyun karışıma eklenecek miktarı nozulda bulunan vana ile gerçekleştirilmektedir. Operatörün nozulda suyu kontrol etmesi, anlık olarak su miktarının değişkenliği sebebiyle, herhangi bir priz hızlandırıcı katkı kullanılmasının önüne geçer. Bu sistemde operatörün tecrübeli ve bilgili olması hayati önem taşımaktadır. Kuru sistem uygulamalarda çok sık ara vermeye imkân sağladığından dolayı kullanışlıdır (Şekil 4.2).



Şekil 4. 2. Yeni nesil kuru sistem beton püskürtme makinesi (Özcan,2019).

Hazırlanan yaş karışımı harç makinenin haznesinden, pnömomatik olarak hortum ile uygulama yapılacak olan yüzeye iletilir. Harç daha önce hazırlanmış ve hazır harç olduğu için bu sistemde operatör etkisi pek bulunmamaktadır. Yaş sistemde kullanılan harç, hızlı donma yapabileceği için harç tüketilene kadar püskürtme işlemine ara verilmez. Makine parça bakımı, kullanılan harcın donma yapabilmesinden kaynaklı önemlidir. Hazne ve hortum püskürtme işleminin hemen ardından yapılmalıdır (Şekil 4.3).



Şekil 4. 3. Yeni nesil yaş sistem beton püskürtme makinesi (Özcan,2020)

Kuru sistem, püskürtme beton teknolojisi ile yaş sistem püskürtme beton teknolojisinin uygulama ihtiyaçları ve çalışma prensipleri üzerine karşılaştırılması (Tablo 4.1).

Tablo 4. 1: Kuru ve yaş sistem püskürtme betonun karşılaştırılması (Çakıroğlu, 2007)

Faktör	Kuru Sistem	Yaş Sistem
Aderans Dayanımı	Her iki sisteminde aderans dayanımı geleneksel betona göre önemli ölçüde yüksek olmasına rağmen yaş sistemin aderans dayanımı kuru sisteme göre daha yüksektir.	Yaş sistem püskürtme betonun aderans dayanımı daha yüksektir.
Uygulanma Oranı	Kuru karışım püskürtme geri sekme vb. dezavantajlarından dolayı daha az oranda uygulanmaktadır. Ancak ekipmanları ucuz ve hafif olduğu için tercih sebebidir.	Yaş karışım püskürtme kuru karışıma nazaran kullanımı daha yaygındır.
Uygulama	Küçük ölçekli işler için elverişlidir	Büyük ölçekli işler için elverişlidir.
Geri Sekme	Özellikle lif kullanıldığında geri sekme yüksek olur.	Kuru karışım püskürtmeye göre daha az geri sekme olur. Bu nedenle püskürtme öncesi ve sonrasındaki granülometri dağılımında büyük farklar olmaz.
Toz Oluşumu ve İşçi Sağlığı	Toz oluşumu yaş karışıma nazaran daha fazladır. Bu nedenle işçi sağlığı ile ilgili problemlere yol açması muhtemeldir.	Uygulama sırasında daha az toz oluşur. İnsan sağlığı için zararlı toz etkisi minimuma iner. Böylece iş verimi de artar. Çalışma koşulları daha elverişlidir.
Makine ve Bakım	Yatırım maliyeti az ve bakımı kolaydır.	Yatırım maliyeti fazla ancak ekipmanlar kolayca kirlenmediğinden dolayı temizliği ve bakımı kolaydır.
Kalite Kontrolü	Karışıma ilave edilen su miktarı operatör tarafından ayarlandığı için kalite büyük oranda buna bağlı olarak değişir.	Su miktarı santralde ayarlandığı için karışım daha üniformdur.
Personel (Operatörün Deneyimi)	Su miktarının ayarı operatörün deneyimine bağlıdır. Bu nedenle operatörün deneyimli olması şarttır.	Su/çimento oranının ayarı makine ile olduğundan operatörün dayanımı kuru sisteme göre daha az önemlidir.

4.1.4. Uygulama alanları

Püskürtme beton teknolojisi, asırlık tarihi boyunca çok yönlü kullanım alanı sunmuştur. Tüm kalıp yöntemlerinde ve tüm yüzeylere uygulanma imkânı sunar. Püskürtme beton teknolojisinin pnömatik gücünden dolayı tavan uygulamalarında kullanımı yaygındır. Su/Çimento oranı, yüksek aderansa sahip olması püskürtme betonun yapıların onarımında ve güçlendirilmelerinde kullanımı uygundur (Seegebrech ve Vd.,2000).

Püskürtme beton teknolojisinin uygulama ve kullanım alanları;

- Beton kanalizasyon ve beton su borularının onarımı.
- Yüzme ve yağmur suyu depolama havuzlarının inşası (Şekil 4.4).
- Yiğma yapıların onarımında.

- Beton yüzeylerin onarımında.
- İstinat duvarı ve iksa sistemi inşası (Şekil 4.5).
- Tren yolu tüneli vb. tünel inşası.
- Karmaşık planlı çatıların inşası (Şekil 4.6).
- Yer altı yapılarının (sığınak, otopark, vb.) inşası.
- Tavan uygulamaları.



Şekil 4. 4. Yüzme havuzu inşası, Amerika (Url 6)



Şekil 4. 5. İstinat duvarı ve iksa sistemi inşası (Url 7)



Şekil 4. 6. Karmaşık planlı çatıların inşası (URL 8)

4.1.5. Harç hammaddeleri (Çimento, Su, Agregası)

Çimento; Portland çimentosu olarak isimlendirilen içeriği Önce, kil, kum ve demir cevheri gibi organik maddeler bulunduran gri renkli çimento tercih edilmelidir. Harç için karışımda tercih edilen çimentonun priz hızlandırıcı gibi çeşitli katkı maddelerinin ilavesine uygun olmalıdır. Erken dayanım oranı yüksek olmalıdır (İnce Vd.,2015).

Agregası, harcın aderans seviyesini etkilemeyen, **TS 706 EN 12620+A1**' de belirtilen özelliklere sahip agregası kullanılmalıdır. Kullanılan agregasının büyüklüğü en fazla aktarım hortumunun çapının 1/3 oranında olmalıdır. Hortum sağlık ve geri sıçrama gibi konular için yuvarlak köşeli agregası tercih edilmeli (TS 706 EN 12620+A1).

Su tercihi sonucu hazırlanan karışım da önem arz eder. İçilebilir nitelikte suyun kullanımı önemlidir. Koku, tat ve berraklık olarak kontrol edilmesi önemlidir. Harçta Su/Çimento oranının en uygunu, yaş sistem için 0,35/0,55 iken kuru sistem için 0,35/0,50 arasında olmalıdır (İnce Vd.,2015).

4.1.6. Katkı maddeleri

Püskürtme beton teknolojisinde katkı madde kullanımı daha çok yaş sistem uygulamalarında ihtiyaç duyulur. Uygulama sırasında zeminin çeşitliliği, beton harcının üretim tesisinden taşınım mesafesi, hortum uzunluğu gibi çeşitli etmenlere göre harca katkı maddeleri ilave edilir. Harca ilave edilebilecek katkı maddeleri;

- Süper akışkanlaştırıcılar.
- Hidratasyon kontrollü katkılar.
- Priz geciktiriciler.
- Priz hızlandırıcılar.
- Lifler (Çelik ve Sentetik Lifler).

4.1.7. Uygulama öncesi yüzey hazırlık işlemi

Hemen hemen tüm yüzeylerde çalışma imkânı sağlayan püskürtme betonun pnömatik gücü neticesinde; yüzeye yüksek hızlı şekilde çarpması, aderans oranını yükseltir. Ancak uygulama yapılan yüzeyin ufalanmaya müsait vb. malzemenin bulunması betonun aderans seviyesinin etkilenmesinin önüne geçilmesi için uygulama yüzeyinin temiz olması hayati önem taşımaktadır. Su veya yüksek basınçlı hava kullanılarak yüzey temizlemelidir. Don olayı gerçekleşen yüzeyler kum ile temizlenmeli bu sayede katılma esnasında beton ısı değişkenliği en az seviyede gerçekleşmesi sağlanmış olmalıdır.

4.1.8. Harç karışımının hazırlanması

Karışım hazırlanırken malzemelerin kütle esaslarına göre tartımı yapılmalıdır. Karışım bileşenlerinin kütle toleransı (hata payı) sınırı tabloda verilmiştir (Tablo 4.2) (TS 11758-1).

Tablo 4. 5: Püskürtme beton karışım bileşenlerinin kütle toleransı (TS 11758-1)

Malzeme	Kuru karışım zayıtı (%)
Agrega	± 4
Çimento	± 2
Katkı maddesi	± 6

Kuru sistemde, karışımdaki agrega kütlece %2- %6 oranında nemli olmalıdır. Yaş sistemde, karışıma ilave edilecek olan sıvı veya toz katkı maddeleri (priz hızlandırıcı hariç) harç üretiminde, priz hızlandırıcı katkı maddeleri ise püskürtme işlemi sırasında nozuldan, harca ilave edilmelidir. Koşullara göre operatör mahareti ile ayarlanabilir.

Kuru sistemde, karışıma ilave edilecek olan toz katkı harç hazırlık aşamasında karışım ekipmanı (betonyer vb.) kullanımı sırasında; sıvı katkı ise nozuldan su ile karıştırılarak harca ilave edilmelidir.

4.1.9. Püskürtme beton teknolojisi ekipmanları

Kuru ve yaş sisteme sahip püskürtme beton makinelerinin ekipmanları iki bölümden oluşur.

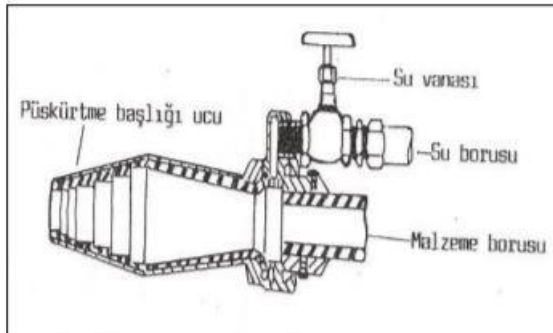
- Ön karışım ekipmanları.
- Karışım ve dağıtım ekipmanları.

Ön karışım ekipmanları; uygulama sırasında ihtiyaç duyulan harcın, hazırlık ve oluşumunda kullanılan el ile karma, betonyer, trans mikser, beton santrali gibi ekipmanları kapsar.

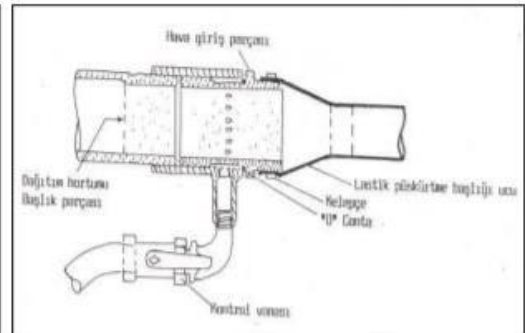
Ekipman kullanılarak üretilen harç, püskürtme beton makinesinin kovaşına/ haznesine aktarılır.

Karışım ve dağıtım ekipmanları; püskürtme makinesinin ihtiyaç duyduğu hava, su ve harcın iletimi için hortumlar bütünüdür.

Nozul üzerinde ihtiyaç duyulan su, çeşme veya uygun su kaynağından makine bağlantısını sağlar (Şekil 4.7) (Şekil 4.8).



Şekil 4. 7: Kuru karışım püskürtme başlığı
(TS EN 14487-2)



Şekil 4. 8: Yaş karışım püskürtme başlığı
(TS EN 14487-2)

Harcın, hazneden püskürtülmenin ve karışım işleminin son noktası olan nozula aktarımını sağlayacak esnek, yüksek dayanımlı hortum bu bağlantıyı sağlar.

4.1.9.1. Kuru sistem shotcrete (püskürtme beton) makinesi

Kuru sistem püskürtme makinesi, hafif olarak adlandırılan püskürtme uygulamalarında kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Düşük satın alma ve düşük bakım maliyetlerine sahiptir. Pratik kullanımı, 170 cm x 97cm x 150 cm boyutlarında ve ortalama 720 kg ağırlığa sahip çekme tekerli ergonomik yapıya sahiptir. 13-21 litre rotor hacmine sahip müsait yapısı sayesinde büyüklüğü 20 mm ulaşan çakıl, iri taneli kum, kırık çakıl, agregaları püskürtebilmektedir (Şekil 4.9).



Şekil 4. 9. Kuru sistem püskürtme beton makinesi (Özcan,2021).

Kuru sistemde, püskürtme işlemi yapılacak olan harç malzemeleri su ilavesiz kuru karışım olarak el ile karma veya betonyer, yatay karıştırıcı vb. makineler ile karım işlemi yapılarak, kompresör ile üretilen minimum 7 bar hava basıncının (11-20 m³/saat) püskürtme makinesinin alt haznesinde kuru karışım ile buluşarak, çıkış hortumuna pnömatik olarak iletilerek nozula ulaşır. Nozul, kuru karışımın su ile buluştuğu püskürtme makinesinin çıkış parçasıdır. Karışım, bu noktada homojen olarak karışmış harç olarak 70-120 m/saniye hızla püskürtülür. Püskürtülen harç uygulama yapılacak olan yüzeye hızla çarparak yapışma sağlar (Topçu,2006).

Kuru sistemli shotcrete makinesinin sahip olduğu özellikler ile, içerisinde suyla karışım sırasında hızlı priz özelliğine sahip alçı katkılı toprak, Alker malzemenin uygulanmasına uyumlu olduğu görülmektedir.

4.1.9.2. Kompresör makinesi

Kuru sistem püskürtme makinesinde harcın püskürtülme işlemi için, 7 bar (11-20 m³/saat) yüksek hava basınca ihtiyaç duymaktadır (Şekil 4.10).



Şekil 4. 10. Kuru sistem püskürtme beton makinesinin basınçlı hava girişi (Özcan,2021)

Bu ihtiyacı püskürtme makinesine yüksek hava basıncına dirençli 2 inç genişliğinde hortum ile dizel yakıtlı kompresöre bağlanarak karşılamaktadır (Şekil 4.11).

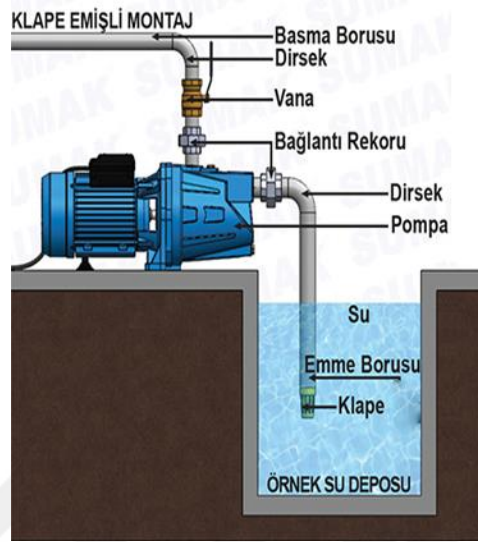


Şekil 4. 11. Kuru sistem püskürtme beton makinesi ve kompresör makinesi bağlantısı (Özcan,2021)

4.1.9.3. Su pompası

Kuru sistem püskürtme makinesi, 2-4 bar basınca sahip su bağlantısına ihtiyaç duyar. Bu basınç seviyesine şebeke suyunda direk musluk bağlantısı ile karşılandığı gibi şebeke suyu olmayan kullanım alanlarında taşıma suyu, biriktirme havuzlarında su vb. ile ihtiyacı karşılamak için mekanik pompa devreye girer. Pompa sıvıların

aktarımı için, sıkıştırma kuvveti veya fiziksel kaldırma ile maddeyi hareket ettirme prensibini kullanarak çalışan mekanik bir mekanizmadır. Pompa, su vb. sıvı malzemeyi düşük basınçtan, yüksek basınca hareket ettirir ve bunun sonucu olarak basınç farkı oluşturur (Şekil 4.12).



Şekil 4. 12. Santrifüj pompasının çalışma prensibi, Çizer S.T. Özcan

4.1.9.4. Kuru karışım karım makinesi

Kuru sistemde püskürtme makinesinde karışım hazırlama bölümüne sahip olamaması, püskürtme işlemi yapılacak olan harç malzemeleri kuru karışım olarak el ile karma veya betonyer, yatay karıştırıcı vb. makineler ile karım işlemi yapılarak püskürtme makinesi haznesine aktarılır (Şekil 4.13).



Şekil 4. 13. Yatay harç karma makinesi (Özcan,2021)

4.1.9.5. Nozul sistemi

Nozul, kuru karışımın su ile buluştuğu püskürtme makinesinin çıkış parçasıdır. Karışım, bu noktada nozulun tasarımından dolayı ek iletim hortumundan ulaşan su ile homojen olarak karışmış harç olarak 70-120 m/saniye hızla püskürtülür (Şekil 4.14).

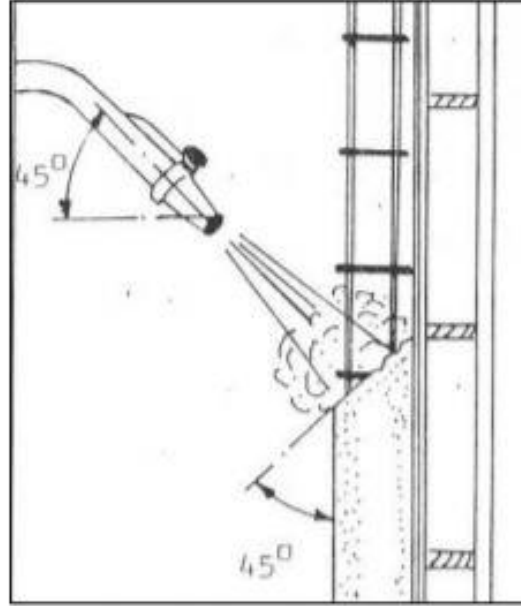


Şekil 4. 14. Nozulu oluşturan parçalar aktarım hortum bağlantısı ile (Özcan,2021)

4.1.10. Püskürtme beton teknolojisinin uygulanması

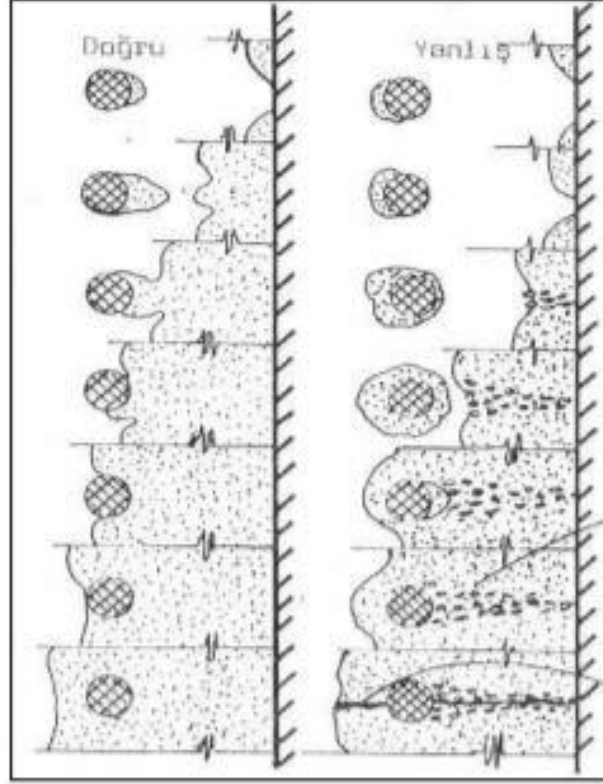
- Uygulama yapılacak yüzeye ince harç tabakası püskürtülmelidir. Bu yöntem harç kıvamının kontrolüne ve sonrasında püskürtme işleminde aderans seviyesini artırır (Arıoğlu Vd., 2008).
- Hava basıncını sağlayan kompresörün yakıt durumuna ve çalışmasını aksatıcı herhangi bir olaya karşı tetkik edilmelidir (Waner, 1995).
- Püskürtme esnasında nozulun çıkışındaki hava, sistemde ki su basıncından az olmalıdır. Su basıncı ve hava basıncı arasında 10 – 20 KPa fark olmalıdır (Sümer, 1994).
- Beton püskürtme sırasında nozul uygulama yapılacak olan yüzeye dik açı ile tutulmalıdır. Açının şaşması durumunda zayıf miktarı artışa geçerek çıkan üründe statiksel bozulmalar meydana gelir (Sümer,1994).
- Uygulama yüzeyi ile nozul mesafesi uygulama sürecinde stabil tutulmalı ve 0,5 m – 1,5 m olmalıdır (Bekşioğlu, 1993).

- Püskürtme yapılacak yüzeyde, püskürtme işlemi sürekli tek nokta yerine sabit süre kalıp veya yüzey üzerinde dairesel hareketler uygulanmalıdır (Sümer, 1994).
- Püskürtme işlemi katmanların kontrolü ile uygulanmalıdır (Waner, 1995).
- Püskürtme uygulaması yapılacak alanda bulunan donatılar sabitlenmelidir (Yerlikaya, 2004).
- Kalıplara püskürtme uygulaması yapılacağında, kalıbın kenar ve köşelerinden başlanmalıdır (Sümer, 1994).
- Beton püskürtme, düşey uygulamalarda püskürtme açısı 45° dereceden dar olmamalıdır (Şekil 4.15) (TS EN 14487-2).



Şekil 4. 15. Beton püskürtme düşey doldurma türü uygulamalarda doğru püskürtme şekli (TS EN 14487-2)

- Donatılı uygulamalarda dikkat edilmesi gereken husus öncelikle donatının arka bölümü beton ile kaplandıktan sonra, geriye kalan diğer bölümleri tamamıyla kaplanmalıdır (Şekil 4.16).



Şekil 4. 16. Donatılı uygulamalarda doğru ve yanlış uygulama (TS EN 14487-2)

- Daha önce uygulama yapılmış olan alanda, ikinci katman uygulamasında yüzey temizlenmeli ve pürüzlü hale getirilmelidir.
- Püskürtme sırasında sıçrayan veya dökülen malzeme zayi olarak ayrılmalı ve tekrar kullanımı yapılmamalıdır.
- Kuru sistemde, uygulanacak olan karışımda agrega kullanılmasında süreye dikkat edilmez. Agreganın bağıl nemi karışımdaki malzemelerle priz yaparak topaklanma yapabilir. Uygulama esnasında agregalı kuru karışımın 10 veya 15 dakikadan fazla bekletilmemelidir.
- Olası hava muhalefetine (don, yağmur, kuvvetli rüzgâr vb.) uygulamaya ara verilmelidir. Püskürtme betonda verilen günlük veya daha uzun süreli aralarda, uygulamada beton kalınlığı azalarak seviye kaybeden kenar bırakılmalıdır. Dik ve keskin kenar uygulamalarından kaçınılmalı, uygulamaya tekrar başlandığı sırada yüzey temizlenip ıslatılmalıdır.
- Uygulama sonrası ortaya çıkan yüzeydeki perdahlama (pürüzsüzleştirme/parlatılma) ihtiyacı kum püskürtülmesiyle giderilir.

4.2 Püskürtme beton teknolojisi ile İTÜ' de alker arge çalışması

Püskürtme beton makinesi ile Alker uygulama çalışması, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ev sahipliğinde 2003 yılında başlatıldı (Coşkun, 2005).

Yapılan deneysel uygulamada, Delta Makine Ltd. Şti. tarafından tedarik edilen püskürtme beton makinesi kullanılmış olup Alker harcı oluşturulacak toprak, İTÜ Ayazağa kampüsünden karşılanmıştır. Deneysel uygulamada, çıkan ürünün gerekli olan kuru basınç dayanımı, su emme ve su emen numunelerde basınç dayanımı gibi testlere tabi tutulmuştur. Bu testlerde alçı katkılı toprak püskürtme numuneleri, çimento katkılı toprak püskürtme numuneleriyle kıyaslanmıştır. İki farklı karışım numuneleri aynı koşullarda, aynı makine ve operatör tarafından uygulanmıştır. Alınan numuneler önce kalıplardan çıkartılıp etüv edilmiştir. Çalışmada toplam 24 adet numune kullanılmış olup yarı yarıya Alçı katkılı toprak numune (12 adet) ve Çimento katkılı toprak numune (12 adet) hazırlanmıştır. 12' şer adet hazırlanan, alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler kuru ve sulu basınç testleri için 6'şar adet olarak iki gruba ayrılıp testler yapılmıştır. İki guruba ayrılan numunelerden 1. Grup numuneler ile kuru olarak basınç dayanımı testi yapılmıştır. 2. Grup numuneler ise önce su kaplarına konularak su emilimi izlenilmiş, su emilimi yapmış numuneler basınç testine tabi tutulmuştur (Coşkun, 2005).

4.2.1. Makine ve ekipmanlar

Uygulama çalışması için, Delta Makine Ltd. Şti.' den tedarik edilen "Delta Mini Model" 4 KW – 380 V – 50 HZ' lik güce sahip elektrik beslemeli motoru, 3m³/h püskürtme kapasitesine sahip özellikli makine kullanılmıştır. Makinenin harç püskürtme iletimi için, 35 mm iç çapa sahip, 5 m uzunluğunda (kısa) hortum kullanılmıştır. Püskürtme beton makinesinin yüksek basınçlı hava ihtiyacı, Makine Kimya Endüstrisi A.Ş. (MKE) tarafından üretilen 2 silindirli Magirus Deutz motora ve 4m³/dk – 7 bar kapasiteye sahip kompresör ile sağlanmıştır (Coşkun, 2005)

4.2.2. Kalıp özellikleri

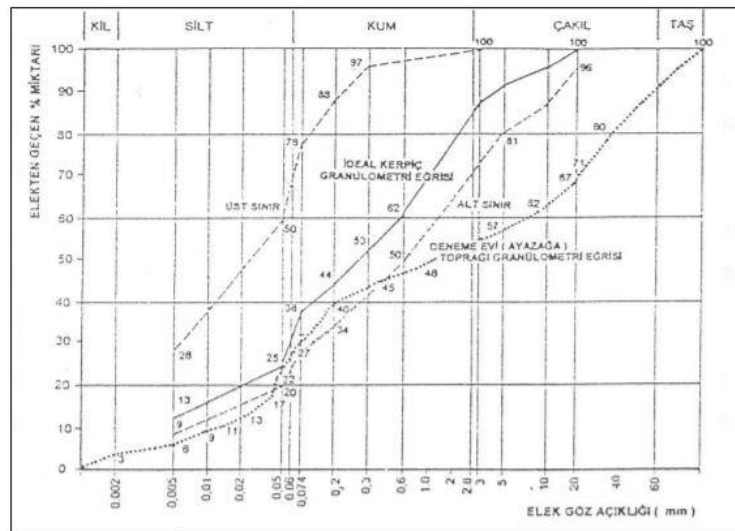
Uygulama çalışması için 15cm x 15cm x 15cm boyutlarında 24 adet çelik kalıp kullanılmıştır. Kullanılan kalıplar, kalıp yağı ile yağlanmışlardır (Şekil 4.17) (Coşkun, 2005).



Şekil 4. 17. Çalışma sırasında kullanılan çelik kalıplar (Işık, 2002)

4.2.3. Toprak özellikleri

Uygulama çalışmasında hazırlanan iki karışım için gerekli olan toprak, çalışmanın yapıldığı yer olan İTÜ Ayazağa kampüsünün arazisinden temin edilmiştir. Laboratuvara verilerine göre tercih edilen toprakta %49 çakıl (en iri tane çapı 19 mm), %23 kum, %20 silt ve %8 kil bulunmuştur (Şekil 4.18) (Tablo 4.3) (Coşkun, 2005).



Şekil 4. 18. Ayazağa kampüsü arazisi toprağının granülometri eğrisi (Işık Vd., 1995)

Tablo 4. 3: Ayazağa kampus arazisi toprağı içindeki mineral türleri ve bileşimi (Işık ve Ark, 1995)

Mineral türü	Mineral bileşimi (%)	Tane boyutu (mm)	Doku özelliğı
Kuvars	22	0,06 - 0,09	İnce - iri taneli, yuvarlak şekilli, kırıklı
Feldispat	14	0,30	Kenarları opaklı malzeme ile çevrili
Plajiyoklas	7	0,30 - 0,60	Öz şekilli, kırıklı, polisentetik ikizli
Biotit (siyah mika)	7	0,30	Yerel olarak opaklanmış ince iğne şekilli
Müskovit (beyaz mika)	3	0,30	İnce taneli, lifsel, iğne şekilli
Yabancı kayaç	1	0,35	Yarı köşeli
Matriks	46	Çok düşük	İnce taneli

Laboratuvara verilerine göre tercih edilen toprakta %8 kil bulunmuştur.

Uygulama öncesi kullanılacak toprak içerisindeki çakıl boyutunun düzensiz ve beklenmedik oluşundan dolayı makineye zararı göz önünde bulundurularak hazırlanan elekten geçirilip karışım için uygun boyutlara getirilmiştir (Şekil 4.19) (Coşkun, 2005).



Şekil 4. 19. Toprağın elenmesi (Işık, 2002)

4.2.4. Karışımların hazırlanması

Alçı katkılı toprak karışım için ölçüler;

- 15 kürek toprak.
- 2 kürek alçı (toprak oranının %10 'u)
- 1 silme kürk kireç (toprak oranının %2'si)

Olarak belirlenmiştir (Coşkun, 2005).

Uygulama sırasında kalıpların dolumuna yetecek düzeyde karışım hazırlandığı için, 45 kürek toprak, 6 kürek alçı, 1 kürek kireç karışımında kullanılmıştır. Malzemeler el ile karılıp makine haznesine kürek yordamıyla aktarılmıştır. Harcın ihtiyacı olan su, operatör tarafından tecrübeye dayalı şekilde ayarlanmıştır (Coşkun, 2005).

Çimento katkılı toprak karışım için ölçüler;

- 100 kg toprak
- 15 kg çimento (toprak oranının %15'i)

Olarak belirlenmiştir. Malzemeler el ile karılıp makine haznesine kürek yordamıyla aktarılmıştır (Coşkun, 2005).

4.2.5. Üretilen numunelerin test aşaması

Hazırlanan toplam 24 numunenin, 12 adedi alçı katkılı toprak numune, 12 adedi çimento katkılı toprak numunedir. 12' şer adet numune kuru ve sulu testler için 6' şar adet olarak ayrılmıştır (Tablo 4.4) (Coşkun, 2005).

Tablo 4. 4: Çalışma için üretilen numune sayısı tablosu

KARIŞIM İÇERİĞİ	KURU TEST İÇİN GEREKLİ OLAN	SULU TEST İÇİN GEREKLİ OLAN	TOPLAM NUMUNE SAYISI
ALÇI KATKILI TOPRAK	6 ADET	6 ADET	12 ADET
ÇİMENTO KATKILI TOPRAK	6 ADET	6 ADET	12 ADET

Her iki karışımdan 6 adet numune önce etüve edilerek sırasıyla 24 ve 72 saat boyunca su kaybetme miktarları incelenmiştir.

Ortalama su kaybetme (kuruma) miktarları;

- Alçı katkılı toprakta, 24 saatte 146 g, 72 saat sonunda ise 202 g olduğu belirlenmiştir (Coşkun, 2005).
- Çimento katkılı toprakta, 24 saatte 255 g, 72 saat sonunda ise 504,1 g olduğu belirlenmiştir (Coşkun, 2005).

Etüve sonuçlarına ulaşılan numuneler, basınç dayanım testine tabi tutunuldu. Çıkan sonuçların ortalamaları;

- Alçı katkılı toprak numuneler, 1,04 N/mm² olarak belirlenmiştir.
- Çimento katkılı toprak numuneler, 2,04 N/mm² olarak belirlenmiştir.

24 adet numuneden geriye kalan 12 adet numune (6 adet alçı katkılı numune, 6 adet çimento katkılı numune) su emme testi için numunelerin su ile temas yüzeyini parafinlenip, parafin seviyesini geçmeyecek şekilde doldurulan su kaplarına yerleştirilip gözlenmiştir. İki tip karışım için, ilk 30 dakikada en fazla su emilim seviyesi gözlenmiştir. Test boyunca ortalama olarak;

- Alçı katkılı toprak karışım numuneleri, 928,9 g su emilimi gerçekleştirmiştir.
- Çimento katkılı toprak karışım numuneleri, 415,6 g su emilimi gerçekleştirmiştir.

Su emilim testinden sonra ıslanan numuneler, etüve edilerek kurumaları sağlanmıştır. Etüv işleminden sonra numunelerde değişken ancak benzer nem miktarları ortaya çıkmıştır (Tablo 4.5) (Tablo 4.6) (Coşkun, 2005)

Tablo 4. 5: Alçı katkılı toprak numunelerin nem oranı (Coşkun, 2005)

Numune	Nem (%)
Numune 1	19,7
Numune 2	19,3
Numune 3	19,8
Ortalama	19,6

Tablo 4. 6: Çimento katkılı toprak numunelerin nem oranı (Coşkun, 2005)

Numune	Nem (%)
Numune 1	13,9
Numune 2	13,8
Numune 3	13,0
Ortalama	13,6

Nem miktarları belirlenen numuneler, basınç dayanım testine tabi oldular. Test sonucunda ortalama basınç dayanımı;

- Alçı katkılı toprak karışımında, $0,90 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir.
- Çimento katkılı toprak karışımında, $1,40 \text{ N/mm}^2$ olarak belirlenmiştir.

Ortaya çıkan veriler, nem oranının azalması basınç dayanım sonuçlarının arttığını göstermiştir (Coşkun, 2005).

BEŞİNCİ BÖLÜM

5. PÜSKÜRTME BETON TEKNOLOJİSİ İLE ALKERİN UYGULANABİLİRLİĞİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

5.1 Püskürtme Beton Teknolojisi ile Alkerin Hazırlanması ve Uygulanması

Araştırmanın deneysel veri çalışması, HKÜ (Hasan Kalyoncu Üniversitesi) İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı ev sahipliğinde 2019 yılında başlandı. Deneysel uygulama çalışmalarında kullanılmak için, Mekanik Makine üretimi K260 model püskürtme beton makinesi (shotcrete) çeşitli hibe ve desteklerle satın alınmıştır. Araştırma boyunca 3 uygulama, farklı koşullarda, farklı operatörlerle ancak aynı makine, ekipmanlar ve aynı Alker karışım kullanılarak yapıldı. Araştırma boyunca üç operatör kullanılmıştır. Bu operatörler numaralar ile isimlendirilmiştir.

- Operatör 1, püskürme beton makinesinde Alker uygulaması deneyimine sahiptir.
- Operatör 2, şap makinesi makinesinde beton uygulaması deneyimine sahiptir.
- Operatör 3, püskürtme beton makinesi deneyimine sahip değil ancak uygulama öncesi hazırlanan 30 cm x 100 cm x 100 cm ölçülerinde hazırlanan kalıpta eğitim verilmiştir.

HKÜ İnşaat Mühendisi Laboratuvarından temin edilen UTest üretimi, model UTC-821 sert plastik kalıplar tek parça halinde, **TS EN 12390-1**'de belirtilen standartlara uygun üretilen 15 cm x 15 cm x 15cm boyutlarında 9 adet plastik kalıplar kullanıldı. Püskürtme uygulamasından sonra plastik kalıplardaki numuneler, basınçlı hava kullanılarak kalıplarından kolayca çıkartılabilir. Toplamda 3 uygulamada birbirlerini tekrar edecek şekilde, Alker numuneler için temin edilen plastik kalıplara püskürtüldü. Numunelerde oluşacak bilecek hata riskini en aza indirmek için her uygulamada;

- 3 adet numune etüv işlemi ardından basınç dayanım testi için,
- 3 adet numune sırasıyla, su emilim testi, etüv işlemi ve basın dayanım testi için,
- 3 adet numune ise yedek numune olarak,

Toplam 9 adet numune alınmıştır. Alker numunelerin etüv işleminden önceki ve süreye bağlı, sonraki kütle ağırlıkları karşılaştırıldı. Karışımın hammaddesi olan

toprak, Gaziantep, Oğuzeli ilçesinde yöre halkının tecrübeye dayalı olarak barak mimarisinde kullandığı kerpiç toprağı olarak adlandırılan toprak, yöreden temin edildi. Deneysel uygulamada üretilen numunelerin gerekli olan basınç dayanımı, su emilim gibi testler yapıldı.

5.1.1. Makine ve ekipmanlar

Araştırmada, kuru sistem beton püskürtme makinesi tercih edilmiştir. Mekanik Makine üretimi K260 model püskürtme beton makinesi araştırmada kullanılmak için çeşitli hibe ve desteklerle satın alınmıştır (Şekil 5.1).



Şekil 5. 1. Makine üretimi K260 model püskürtme beton makinesi (Özcan, 2020)

Tek devirli motor, 21 litre rotor hacmine, püskürtme kapasitesi 9-12 m³/h, elektrik motoru 7,5 kW 400V/50 Hz, ihtiyaç duyulan hava basıncı 5-10 bar gibi teknik özelliklere sahip olan püskürtme beton makinesi ve 38 mm hortum, nozul iç çapa sahip olan 20 m uzunlukta beton sevk hortumu kullanıldı (Şekil 5.2).

Rotor litresi	13 L. & 21 L.
Beton aktarma kapasitesi	5 -7m ³ / h - 9-12 m ³ / h
Püskürtme hava Basıncı	5-10 bar
Püskürtme hava debisi	15 / 21 m ³ /saat
Beton sevk hortumu	2 1/2 "
Kuru karışım mesafesi Yatay / Dikey	150m / 60m (Kompresöre göre artabilir.)
Agrega ölçüsü	5-21 mm.
Gres pompası	Manuel & Otomatik
Tahrik motoru	7.5 kw 400V / 50 hz.
Vibrasyon motoru	0.17 kw 400V / 50 hz.
Koruma	IP55
Ağırlık	1.050 kg.

Şekil 5. 2. Mekanik makine üretimi K260 model püskürtme beton makinesi teknik özelliği (Ur19)

Atlas Copco marka XAS 97 model 3 silindirli Zylinder Deutz motor, püskürtme gücü 5,3 m³/dk 7 bar, motor gücü 35,5 kW olan mobil hareket tipli kompresör sağlandı (Şekil 5.3).



Şekil 5. 3. Atlas Copco marka XAS 97 model kompresör (Özcan, 2019)

5.1.2. Numune kalıplarının hazırlanması

Her uygulama öncesi ve sonrasında kalıplar temizlendi. 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında 9 adet plastik kalıp kullanım öncesi kalıp yağı ile yağlandı. (Şekil 5.4).



Şekil 5. 4. Kullanılan plastik kalıplar (Özcan, 2019)

Uygulamanın yapılacağı alanda, Alker püskürtme eğitiminde kullanılmak üzere 1 adet 30 cm x 100 cm x 100 cm ölçülerinde kereste ve demir donatı yardımıyla güçlendirilmiş kalıp hazırlandı.

5.1.3. Toprağın hazırlanması

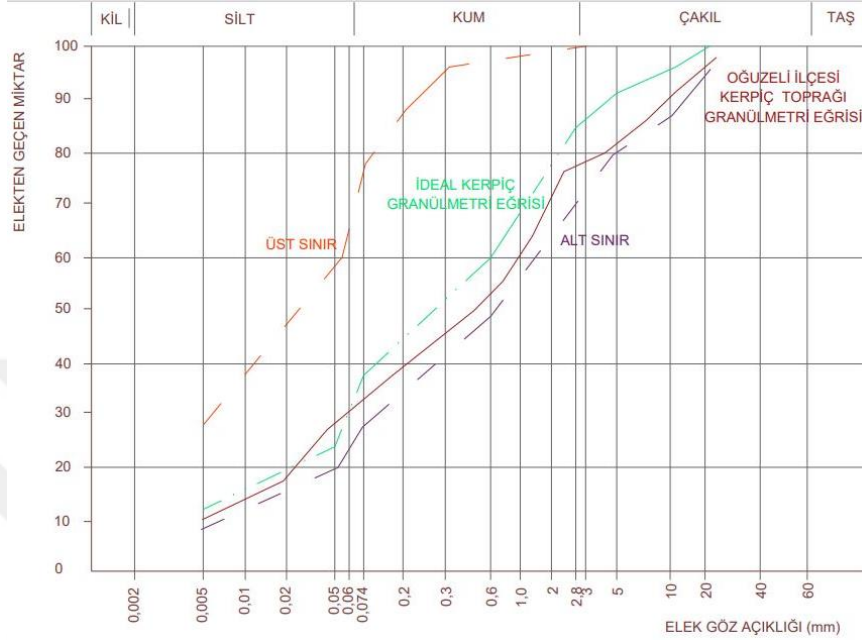
Karışımın hammaddesi olan toprak, Gaziantep ili Oğuzeli ilçesinden temin edildi. HKÜ İnşaat Mühendisliği Zemin Mekaniği Laboratuvarın' da gerçekleştirilen analizde, toprakta %55 çakıl (en iri tane çapı 22,4 mm), %29 kum, %10 silt, %6 kil bulunmuştur (Şekil5.5).



Şekil 5. 5. Toprak elek analizi (Özcan, 2019)

Gaziantep ili Oğuzeli ilçe toprağı granülometri eğrisi (tane boyutlarının dağılışını gösteren eğri) 1995’de Prof. Dr. Bilge Işık Vd, tarafından hazırlanan ideal kerpiç granülometri eğrisi ile birlikte Tablo 5.2 de gösterilmiştir (Tablo 5.1).

Tablo 5. 1: İdeal kerpiç ve Oğuzeli toprağı granülometri eğrisi (Özcan,2021)



Kullanılan Gaziantep ili Oğuzeli ilçesi kerpiç toprağının olumsuzluk oluşturabilecek, inorganik maddenin varlığının belirlenmesi için TS 3673’e göre NaOH’ nın (Sodyum hidroksit) içerisine toprak konulmuştur. NaOH ile karışan toprak numune, sarı renk aldığı ve üzerinde tortu olmadığı görülmüştür. Bu gözlem sonucu, toprakta inorganik madde miktarı yönünden bir olumsuzluk olmadığını göstermektedir.

Karışımlarda kullanılacak hammadde olan toprak, laboratuvara getirilmeden önce toprağın temin edildiğı arazide elekten geçirildi (Şekil 5.6).



Şekil 5. 6. Toprağın elenmesi (Özcan, 2019)

Elekten geçirilen toprak, laboratuvara getirilerek uygulama yapılacak olan açık alanlarda kullanılmak üzere, toprak önce havalandırılıp ölçülü şekillerde çuvallara aktarıldı (ekil 5.7).



Şekil 5. 7. Toprağın havalandırma işlemi ardından ölçülü olarak hazırlanması. (zcan, 2019)

Kuru sistemli püskürtme makinelerinde kullanılacak olan malzemeler, makineden bağımsız şekilde el ile karım yapılarak veya betonyer türevi gibi makineler kullanılarak, homojen kuru karışım olması gerekmektedir. Hazırlanan karışım makinenin haznesine aktarılmalı, pnömatik olarak sevk hortumundan iletilerek, nozulda kuru karışım su ile buluşturularak, homojen harcın oluşturulması sağlanmaktadır.

5.1.4. Karışımın hazırlanması

Kuru sistemli püskürtme makinelerinde kullanılacak olan malzemeler, makineden bağımsız şekilde el ile karım yapılarak veya betonyer türevi gibi makineler kullanılarak homojen kuru karışım olması gerekmektedir. Hazırlanan karışım makinenin haznesine aktarılmalı, pnömatik olarak sevk hortumundan iletilerek, nozulda kuru karışım su ile buluşturularak homojen harcın oluşturulması sağlanmaktadır.

Uygulama için kullanılacak olan karışım, olası bekleme durumundan kaynaklı içeriğindeki alçının toprağın nem miktarından dolayı kaynaklı priz durumdan, her uygulama sırasında, önceden hazırlanmış alçı, toprak ve kireç, el ile karılarak kuru karışım hazırlanır (Şekil5. 8).



Şekil 5. 8. Kuru karışımın uygulama sırasında el ile karılma işlemi (Özcan, 2020)

Alker malzemenin karışım ölçüsü olarak;

- 15 kürek toprak
- 2 kürek alçı (toprak oranının %10'u)
- 1 silme kürek kireç (toprak oranının %2'si)

Belirlenmiştir (Işık,2002).

Belirlenen miktarlar neticesinde uygulamada kullanılacak toplam miktar;

- 225 kürek toprak
- 30 kürek alçı
- 15 silme kürek kireç

Olarak hesaplanmıştır. Belirlenen malzeme miktarı 3 uygulama ve öğreti sırasında kullanılmıştır.

5.1.5. Operatör seçimi ve eğitimi

Araştırma boyunca üç operatör kullanılmıştır. Farklı operatör tercihi, araştırma boyunca üretilen numunelerin endüstrileşmede hız ve kalitesinin etkisini görmek amaçlandı. Kuru sistem makinenin Alker malzemenin üretimine uygun olduğu, ancak su miktarının ayarlanması hayati önem taşımaktadır. Bu tür makinelerde, su ayarı nozulda bir vana tarafından operatör tarafından ayarlanması gerekliliğine göre tasarlanmıştır. Nozul üzerinde bulunan su vanası, operatörün nozulu kavrama noktasına yakınlığı gibi konularda operatörlerin etkisi, alınan numuneler sonucu ortaya çıkmıştır. Bu operatörler numaralar ile isimlendirilmiştir.

- Operatör 1, mesleği püskürme beton makine operatörüdür. Daha önce Alker uygulaması deneyimine sahiptir. 1. Uygulama bu operatör ile yapılmıştır. Tecrübesine dayanarak su miktarını belirledi.
- Operatör 2, mesleği şap operatörüdür. Şap makinesinde beton uygulaması deneyimine sahiptir. Kuru sistem makine tecrübesine sahip olmayan operatör karışımın su seviyesinin ayarlanmasında yardım edildi.
- Operatör 3, mesleği inşaat işçisi olan operatör püskürtme beton makinesi deneyimine sahip değildi ancak uygulama öncesi hazırlanan 30 cm x 100 cm x 100 cm ölçülerinde hazırlanan kalıpta tarafımca eğitim verilmiştir (Şekil5.9).

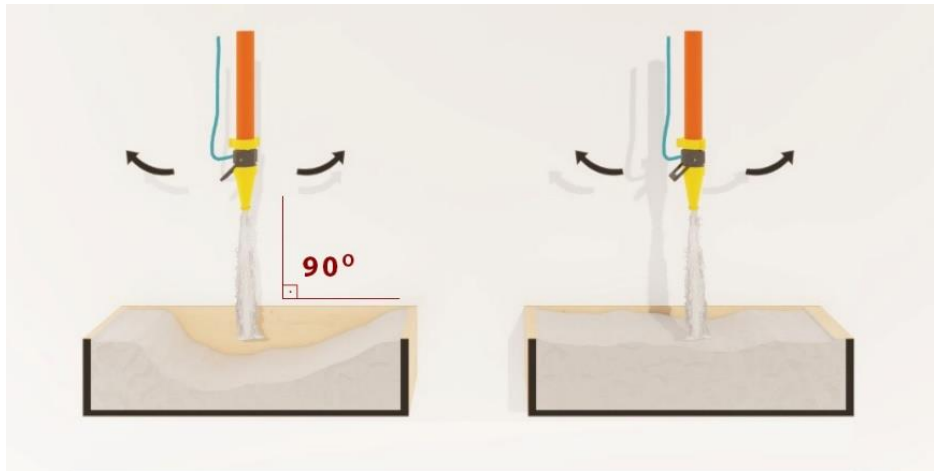


Şekil 5. 9. Shotcrete eğitiminin verilmesi (Özcan, 2021)

Farklı operatör tercihi, araştırma boyunca üretilen numunelerin endüstrileşmede hız ve kalitesinin etkisini görmek amaçlandı.

5.1.6. Püskürtme uygulamaları

Araştırma boyunca üç operatör kullanılmıştır. Farklı operatör tercihi, araştırma boyunca üretilen numunelerin endüstrileşme de hız ve kalitesinin etkisini görmek amaçlandı. Kuru sistem makinenin Alker malzemenin üretimine uygun olduğu, ancak su miktarının ayarlanması hayati önem taşımaktadır. Alker malzeme püskürtme uygulamasında kullanılan kalıbın 4 tarafı kapalı olmalı ve nozul kalıba püskürtme kuvvetine göre dik açıyla tutulmalıdır. Bu şartların olmayışı püskürtme kalitesini ve çıkan ürün kalitesini olumsuz etkilemektedir (Şekil5.10).



Şekil 5. 10. Önerilen Alker püskürtme açısı ve nozul hareket yönü, Çizer S. T. Özcan

5.1.6.1. I. Püskürtme uygulaması

I. Uygulama, Operatör 1 olarak isimlendirilen operatör ile gerçekleştirilmiştir. Mesleği, püskürme beton makine operatörüdür. Daha önce, Alker püskürtme uygulaması deneyimine sahiptir. Tecrübesine dayanarak, karışım su miktarını kendisi uygulama sırasında belirledi. I. Uygulama 15 Aralık 2019 tarihinde, Gaziantep ili Şehitkamil ilçesi, Karacaahmet mahallesinde ki şantiye alanında gerçekleştirilmiştir. Alanda bulunan Atlas Copco marka XAS 97 model kompresörün kullanımından yararlanılmış olup diğer uygulamalar içinde aynı makine kiralanmıştır. Hazırlanan toprak uygulama alanına getirilerek, alçı ve kireç katılarak el ile karılıp makinenin haznesine aktarılarak püskürtme işlemine hazırlandı (Şekil5.11).



Şekil 5. 11. Kuru karışımın makineye aktarılması (Özcan, 2019)

Operatörün karışım ile su miktarını ayarlaması için, şantiye alanında uygun bir noktada malzemenin püskürtülme işlemini gerçekleştirmesinin ardından, temin edilen 9 adet kalıba püskürtme uygulamasını gerçekleştirmiştir. Püskürtme işlemi tamamlanan kalıplar, testlerin yapılması HKÜ İnşaat Mühendisliği Laboratuvarına götürmüştür (Şekil5.12).



Şekil 5. 12. I. Uygulama numuneleri (Özcan, 2019)

5.1.6.2. II. Püskürtme uygulaması

II. Uygulama, Operatör 2 olarak isimlendirilen operatör ile gerçekleştirilmiştir. Mesleği, şap makine operatörlüğüdür. Şap makinesinde beton uygulaması deneyimine sahiptir. II. Uygulama 20 Nisan 2020 tarihinde, uygulama maliyetleri göz önünde bulundurularak, Gaziantep ili Şehitkamil ilçesi, KÜSGET Sanayi bölgesinde makine ve ekipmanların muhafaza edildiği deponun açık alanında gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan toprak uygulama alanına getirilerek alçı ve kireç katılarak el ile karılıp makinenin haznesine aktararak püskürtme işlemine hazırlandı. Operatör 2, kuru sistem makine tecrübesine sahip olmayışı ve shotcrete makinesi ile şap makinesinin nozullarındaki işlev farkından, karışımın su seviyesinin ayarlanmasında güçlük çekmiştir. Operatörün karışım ile su miktarını ayarlaması için yardım edilmiş, test uygulama alanında, uygun bir noktada malzemenin püskürtülme işlemini gerçekleştirmesinin ardından püskürtme sırasında, nozulu kavrayan elinin su miktarını ayarlayan vanaya müdahalesi olmuştur. Temin edilen 9 adet kalıba püskürtme uygulamasını gerçekleştirmiştir. Püskürtme işlemi tamamlanan kalıplar, testlerin yapılması için HKÜ İnşaat Mühendisliği Laboratuvarına götürmüştür. Alınan numunelerdeki su miktarından kaynaklı olarak verim alınamamıştır (Şekil5.13).



Şekil 5. 13. II. Uygulama numuneleri (Özcan, 2020)

5.1.6.3. III. Püskürtme uygulaması

III. Uygulama, Operatör 3 olarak isimlendirilen operatör ile gerçekleştirilmiştir. Mesleği, inşaat işçisidir. 19 Haziran 2021 tarihinde, Gaziantep ili Şehitkamil ilçesi, Osmangazi mahallesinde araştırma destekçisi olan, Mimar Erden Güven' in şantiyesinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan toprak uygulama alanına getirilerek alçı ve kireç katılarak el ile karılıp makinenin haznesine aktarılarak püskürtme işlemine hazırlandı (Şekil5.14).



Şekil 5. 14. Kuru karışımın makineye aktarılması (Özcan, 2021)

Makine ve ekipman şantiye alanına getirilmiş olup, 1 adet 30 cm x 100 cm x 100 cm ölçülerinde kereste ve demir donatı yardımıyla güçlendirilmiş kalıp hazırlandı. Hazırlanan kalıpta, Operatör 3' e Alker malzeme püskürtme eğitimi verildi. Eğitiminin ardından makinelerin motorları kapatılarak, Operatör 3 kontrolünde tekrar çalıştırıldı. Su miktarını ve nozul açısını eğitimine göre ayarlayarak, önce 30 cm x 100 cm x 100 cm ölçülerinde ki kalıbı tamamladı, sonrasında temin edilen 9 adet kalıba püskürtme

uygulamasını gerçekleştirmiştir. Püskürtme işlemi tamamlanan kalıplar, testlerin yapılması HKÜ İnşaat Mühendisliği Laboratuvarına götürmüştür (Şekil 5.15).



Şekil 5. 15. III. Uygulama numuneleri (Özcan, 2021)

Püskürtme uygulaması biten eğitim kalıbı, şantiye alanında kalıbı açabilecek işçiye sahip olunmaması nedeniyle, 1 gün bekletilerek kalıptan çıkartılmıştır (Şekil5.16).



Şekil 5. 16. Eğitim kalıbından çıkan ürün (Özcan, 2021)

5.2 Püskürtme Beton Teknolojisi ile Alkerin Deneysel Çalışması

Araştırmanın deneysel veri çalışması, HKÜ (Hasan Kalyoncu Üniversitesi) İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarı ev sahipliğinde 2019 yılında başlandı. Bu çalışmalarda Alker püskürtme uygulamasından alınan sonuçların iptal edilen “TS 2514 Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları” isimli standart değerinin üzerinde olduğunu

kanıtlatılmaya çalışılmıştır. **TS 2514** de belirtilen basınç dayanımı $0,8 \text{ N/mm}^2$ olarak belirtilmiştir.

Püskürtme beton tekniği ile elde edilen (Bkz. Bölüm 5) Alker numunelerin HKÜ İnşaat Mühendisliği Laboratuvarında 16 Aralık 2019, 22 Nisan 2020 ve 22 Haziran 2021 tarihlerinde gerçekleşen deneysel çalışmalar:

- Araştırmada, toplamda 27 adet numune kalıbına püskürtme yapıldı. Çeşitli operatörler ile gerçekleşen püskürtme uygulaması sonucu; Operatör 1 testlerde kullanımı uygun 9 adet numune, Operatör 2 testlerde kullanımı uygun numune alınamamıştır. Operatör 3 testlerde kullanımı uygun 9 adet numune toplamda 18 adet numune üretilmiştir. İki operatörden 6'şar adet, toplamda 12 adet testlerde numune kullanılmıştır,
- Operatör 1 ve Operatör 3'ün testlerde kullanımı uygun 18 adet numuneden, 3'er adet kuru numune ile basınç dayanımı testi,
- Dış mekân hava koşullarındaki etki gözlemi için 3'er adet numune ile su emilim testi,
- Su emilim deneyinin ardından açık hava koşullarında 1 hafta bekletilen numuneler 72 saat 56°C 'de etüv makinesinde bekletilerek basınç dayanım testidir.

Araştırmada, her uygulama için 9 numune kalıbı, 3 uygulama için toplam 27 numune kalıbı kullanıldı. Uygulamalarda makine, ekipmanlar ve karışım aynı kullanılırken, farklı üç operatör kullanıldı. Operatörlerin deneyimine göre numune sonuçları ortaya çıkmıştır (Bkz. 5.5). Operatör isim numaralarına göre püskürtme işlemi yapılan numune kalıpları üretimine göre numaralandırılmıştır. Operatör 2 ile yapılan numune kalıplarına püskürtme uygulaması operatörün püskürtme sırasında, nozulda su ayarını yapamamasından dolayı, harç yeterince su ile buluşamamıştır. Su oranı düşük olmasından dolayı, toprak tanelerinin yapışmaması çıkan ürünün taşıyıcılık özelliğinin olmamasına neden olur. Bağlayıcılık özelliği bulunmayan numunelerin kalıptan çıkartma işlemi sırasında, numuneler kalıplardan dökülerek çıkartılmıştır (Şekil 5.17, Şekil 5.18).



Şekil 5. 17. Operatör 2 tarafından üretilen hasarlı numunelerin kalıptan çıkartılması (Özcan, 2020)



Şekil 5. 18. Operatör 2 tarafından üretilen hasarlı numuneler (Özcan, 2020)

5.2.1. Basınç dayanım testi

Testlerde, Operatör 2 tarafından üretilen numuneler kullanılmamıştır. Testlerde toplam 12 adet numune kullanılmıştır.

Basınç dayanımı deneyi için, HKÜ (Hasan Kalyoncu Üniversitesi) İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında mevcut olan UTest marka UTC-4331 model 3000 kN kapasiteli 300 mm piston çapına ve maksimum 410 bar çalışma basıncına sahip **TS EN 772-1+A1**, **TS EN 12390-3**, **12390-4** ve **ASTM C39**, **BS 1881** standartlarına uygun Otomatik Deney Presi kullanılmıştır (Şekil 5.19).



Şekil 5. 19. UTest otomatik deney presi (Özcan, 2020)

Basınç dayanım testleri TS EN 772-1+A1 standardının talimatlarına göre uygulanmıştır.

Basınç testine girecek olan numuneler, 72 saat boyunca etüv makinesinde 52° C de bekletilmiştir (Şekil 5.20).



Şekil 5. 20. Etüv makinesinde ki numuneler (Özcan, 2019)

Etüvden alınan numuneler basınç dayanım testine tabi tutuldu (Şekil 5.21).



Şekil 5. 21. Basınç dayanım testindeki numune (Özcan, 2021)

Otomatik deney pres makinesi ile gerçekleştirilen basınç dayanım verileri tabloda verilmiştir (Tablo 5.2).

Tablo 5. 2: Numunelerin basınç dayanım test verileri.

OPERATÖR NUMARASI	NUMUNE NUMARASI	KIRILMA YÜKÜ (kN)	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)
OPERATÖR 1	NUMUNE 1	21,00	0,94
OPERATÖR 1	NUMUNE 2	22,25	0,99
OPERATÖR 1	NUMUNE 3	23,65	1,03
OPERATÖR 3	NUMUNE 19	20,30	0,84
OPERATÖR 3	NUMUNE 20	20,65	0,90
OPERATÖR 3	NUMUNE 21	21,10	0,95
ORTALAMA		21,49	0,94

5.2.2. Su emme deneyi

TS EN 772-11 standardına uygun su emme deneyi toplamda 6 adet numune ile gerçekleştirilmiştir. Bu deneyin amacı, üretilen numunelerin dış hava koşullarının dayanım açısından etkisini görmektir. Numunelerin su emme deneyinden sonraki aşamada nem miktarlarının belirlenmesi için, deneye başlanmadan ve deney sonrası tartılmıştır. Deneyde kullanılacak numunelerin üzeri keçeli kalem ile 1 cm aralıklarla çizildi ve taban hizasından başlayarak 5 cm yüksekliğe kadar parafin ile kaplanmıştır (Şekil 5.22).



Şekil 5. 22. Numunelere eritilmiş parafin sürülmesi (Özcan, 2021)

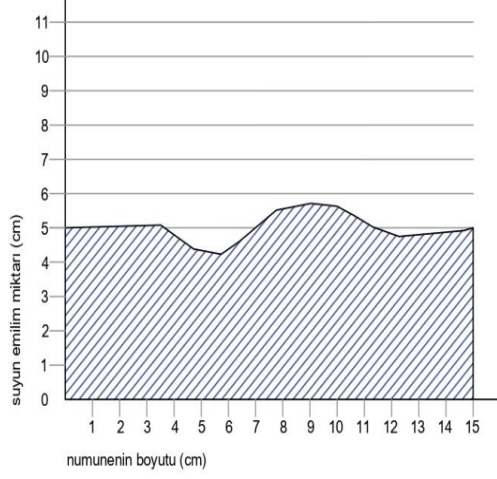
Su dolu kabın iç yüzeyine temas etmemesi için metal pul konulmuştur. Parafinle kaplanan yüzeylerini geçmeyecek şekilde su ile doldurulmuş kaba yerleştirilerek su emme deneyi gerçekleştirildi (Şekil 5.23).



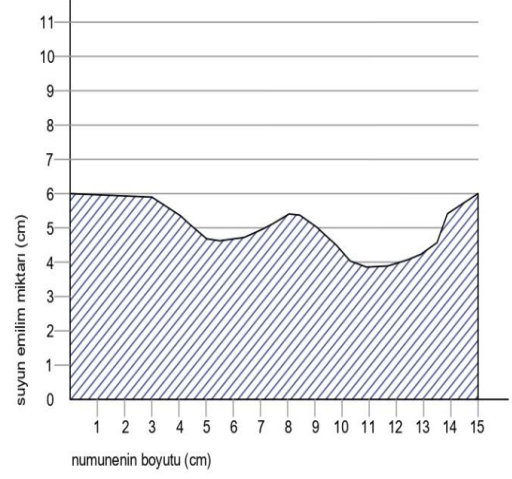
Şekil 5. 23. Su emme deneyi için hazırlanan numuneler (Özcan, 2021)

Alker numuneler, her yarım saate su emme seviyesi kayıt altına alınarak toplam 3,5 saat gözlemlendi. İki operatörden, numune 5 ve numune 24 'ün zamana bağlı su emme seviyeleri grafik olarak tabloda verilmiştir (Tablo 5.3).

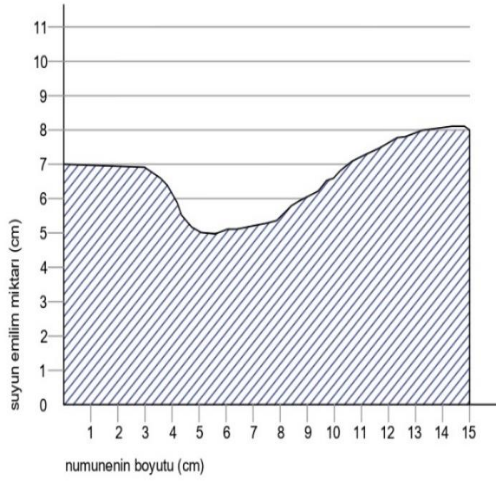
Tablo 5. 3: Zamana bağlı numunelerin su emme seviyeleri



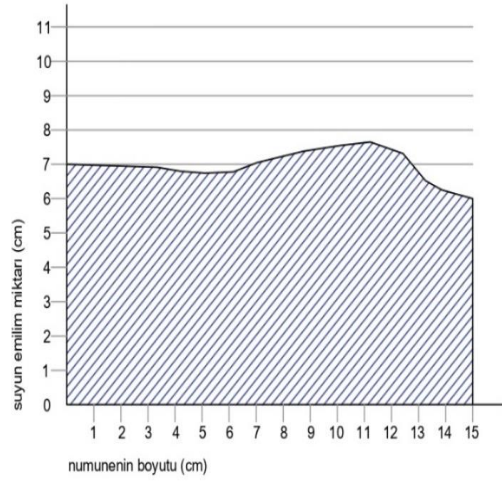
Numune 5 - 30. dakika su emme seviyesi



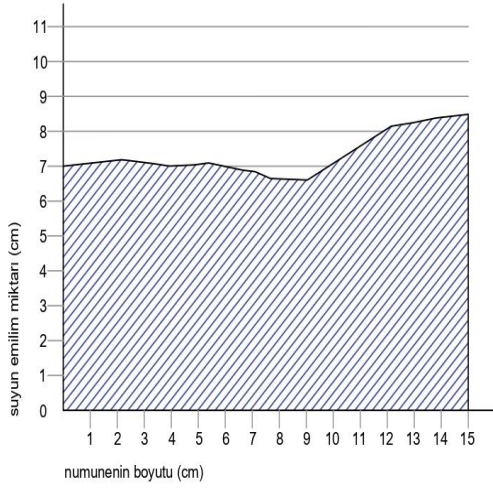
Numune 24 - 30. dakika su emme seviyesi



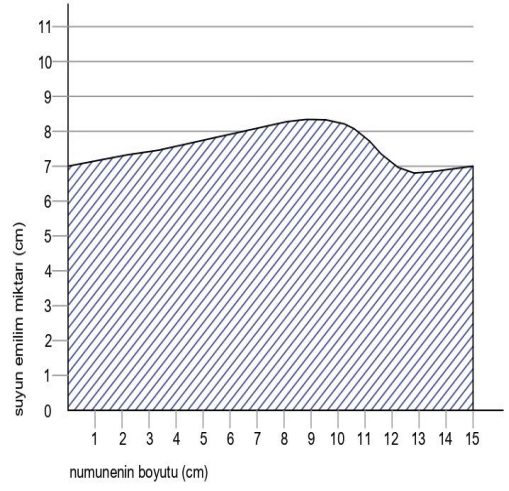
Numune 5 - 60. dakika su emme seviyesi



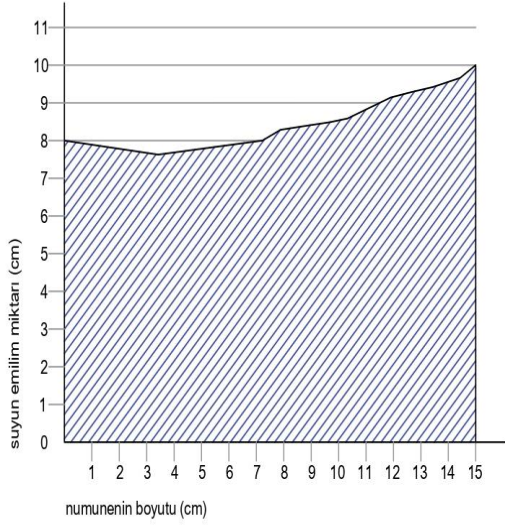
Numune 24 - 60. dakika su emme seviyesi



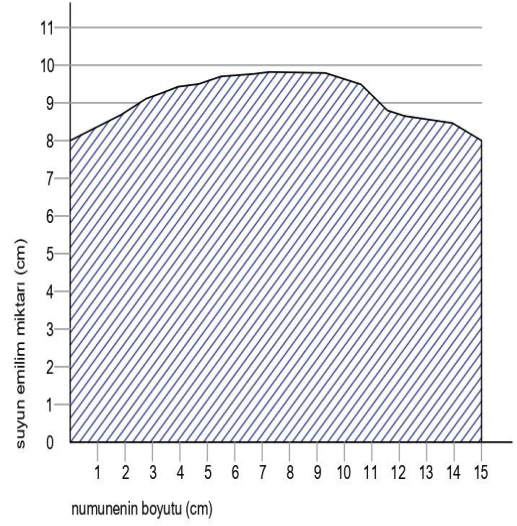
Numune 5 - 90. dakika su emme seviyesi



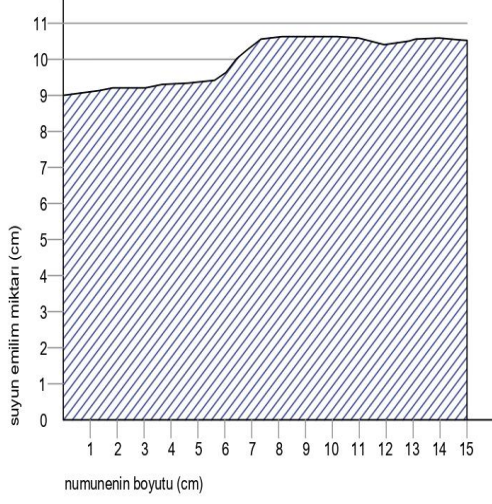
Numune 24 - 90. dakika su emme seviyesi



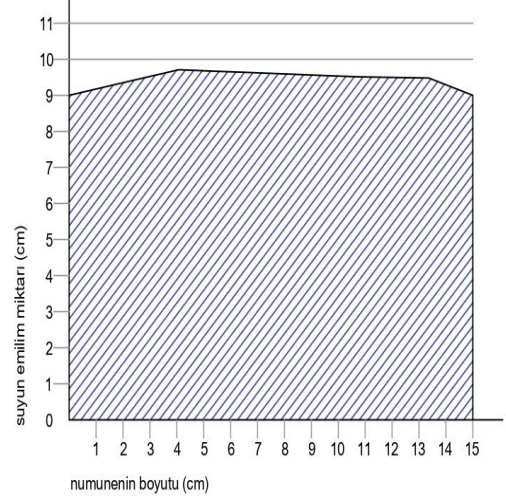
Numune 5 - 120. dakika su emme seviyesi



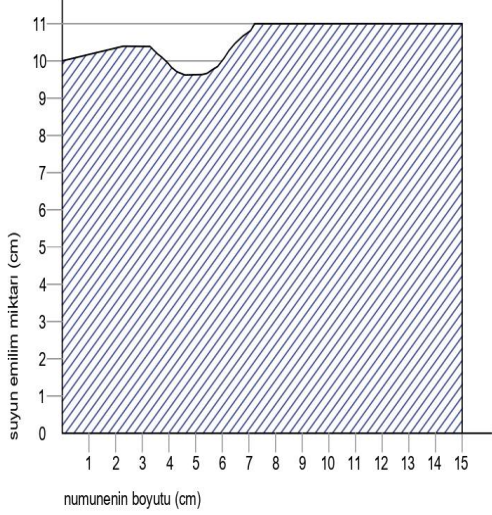
Numune 24 - 120. dakika su emme seviyesi



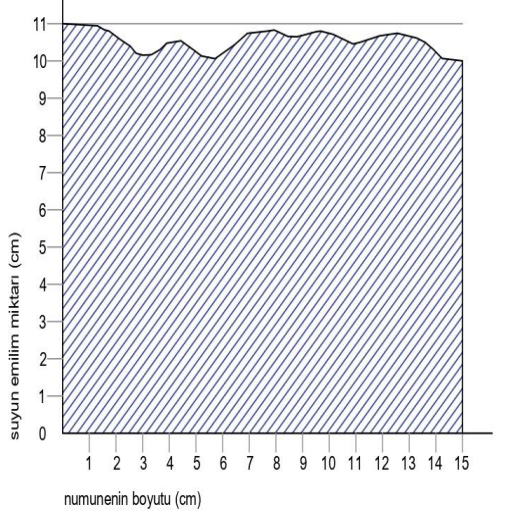
Numune 5 - 150. dakika su emme seviyesi



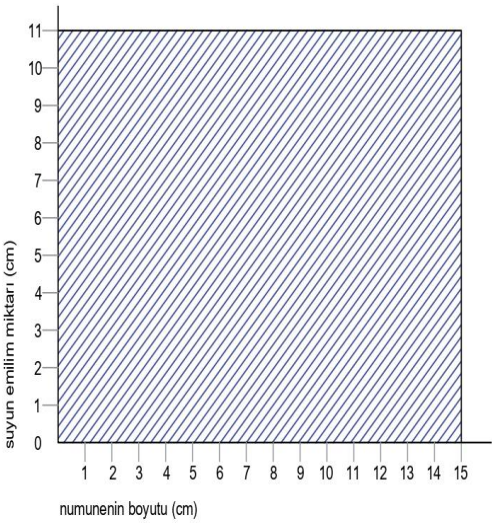
Numune 24 - 150. dakika su emme seviyesi



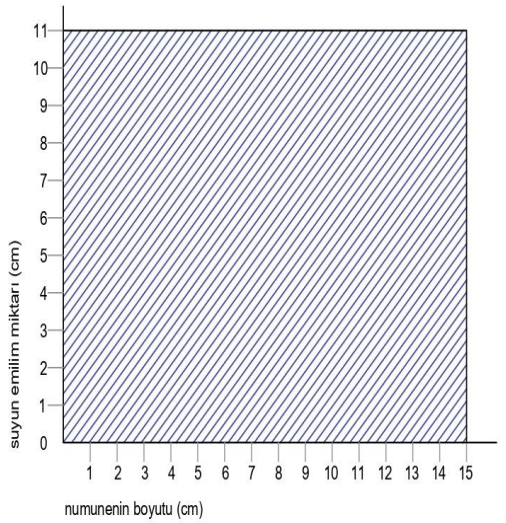
Numune 5 - 180. dakika su emme seviyesi



Numune 24 - 180. dakika su emme seviyesi



Numune 5 - 210. dakika su emme seviyesi



Numune 24 - 210. dakika su emme seviyesi

Su emme deneyi yapılan toplam 6 adet numune, deneyin ardında 3 gün boyunca açık havada kurumaya bırakılmış sonrasında diğer numuneler gibi 72 saat boyunca etüv makinesinde 52° C de bekletilmiştir. Etüvden çıkarılan parafinli numuneler test öncesi ağırlıkları ile karşılaştırılmıştır (Tablo 5.4).

Tablo 5. 4: Parafinli numunelerin deney öncesi ve deney sonrası ağırlıkları.

OPERATÖR NUMARASI	NUMUNE NUMARASI	SU EMME DENEYİ ÖNCESİ AĞIRLIK (g)	ETÜV SONRASI AĞIRLIK (g)
OPERATÖR 1	NUMUNE 4	5165,2	6235,2
OPERATÖR 1	NUMUNE 5	5146,5	6141,4
OPERATÖR 1	NUMUNE 6	5167,1	6249,8
OPERATÖR 3	NUMUNE 22	5230,5	6254,3
OPERATÖR 3	NUMUNE 23	5253,6	6288,6
OPERATÖR 3	NUMUNE 24	5146,5	6141,4
ORTALAMA		5184,9	6218,4

Belirlenen ağırlıklar ile nem formülü kullanılarak, nem miktarları hesaplanmıştır (Şekil 5.24) (Tablo 6.4).

$$\%H_2O = \frac{m_0 - m_1}{m_1} \times 100$$

m_0 = nemli ağırlık

m_1 = kuru ağırlık

Şekil 5. 24. Nem hesaplama formülü

Tablo 5. 5: Numunelerin etüv işlemi sonrası nem yüzdeleri ve etüv sonrası ağırlıkları

OPERATOR NUMARASI	NUMUNE NUMARASI	NEM (%)
OPERATÖR 1	NUMUNE 4	20,7
OPERATÖR 1	NUMUNE 5	19,8
OPERATÖR 1	NUMUNE 6	21,0
OPERATÖR 3	NUMUNE 22	19,6
OPERATÖR 3	NUMUNE 23	19,7
OPERATÖR 3	NUMUNE 24	19,3
ORTALAMA		20,00

5.2.3. Nemli numunelerle basınç dayanım testi

Basınç dayanımı deneyi için, HKÜ (Hasan Kalyoncu Üniversitesi) İnşaat Mühendisliği Bölüm Laboratuvarında mevcut olan UTest marka **UTC-4331** model cihaz kullanılmıştır. Basınç dayanım testleri **TS EN 772-1+A1** standardının talimatlarına göre uygulanmıştır. Su emme deneyi yapılan toplam 6 adet numune, deneyin ardında açık havada kurutma ve etüv işleminin ardından otomatik deney pres makinesi ile gerçekleşen basınç dayanım testi verileri tabloda verilmiştir. (Şekil 5.25) (Tablo 5.6).



Şekil 5. 25. Nemli numunenin basınç dayanım testi (Özcan, 2021)

Tablo 5. 6: Numunelerin basınç dayanım test verileri.

OPERATÖR NUMARASI	NUMUNE NUMARASI	NEM (%)	KIRILMA YÜKÜ (kN)	BASINÇ DAYANIMI (N/mm ²)
OPERATÖR 1	NUMUNE 4	20,7	19,62	0,74
OPERATÖR 1	NUMUNE 5	19,8	20,00	0,86
OPERATÖR 1	NUMUNE 6	21,0	18,40	0,62
OPERATÖR 3	NUMUNE 22	19,6	20,30	0,83
OPERATÖR 3	NUMUNE 23	19,7	20,15	0,80
OPERATÖR 3	NUMUNE 24	19,3	20,50	0,95
ORTALAMA		20,00	19,82	0,80

Nemli Alker numunelerde ortalama basınç dayanımı, %20 nem miktarında 0,80 N/mm² olarak bulunmuştur. Testler sonucunda nem oranı ile basınç dayanımı arasında ters orantı olduğu görülmektedir.

ALTINCI BÖLÜM

6. BULGULARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE SONUÇLAR

Geleneksel kerpiç, fiziksel özellikleriyle insan sağlığına uygun, enerji tasarrufu sağlayan iç mekân iklimi yaratır. Kerpiç malzemenin üretim süresi ve çevresel faktörlere karşı göstermiş olduğu dayanımın iyileştirilmesi 1962 yılında İTÜ’de Prof. Eyüp Kömürcüoğlu tarafından ele alınmış, 1980 yılında İTÜ’de Prof. Ruhi Kafesçioğlu tarafından yürütülen araştırmada toprağa; alçı ve kireç katılarak, Alker adı verilen yapı malzemesi elde edilmiştir. Alker malzemenin içeriğindeki alçı, priz yaparak Alker’in hızlı mukavemet kazanmasının yanı sıra, uygulama hızının artmasını da sağlamıştır. Prof. Dr. Bilge Işık, bu malzemenin kullanım alanının genişletilmesine ve uygulama yöntemlerinin geliştirilmesine yönelik çalışmaları günümüzde de sürdürmektedir. Bu çalışmalar kapsamında, çağdaş inşaat sektöründe kullanılan beton üretim ve uygulama makinelerini kullanarak Alker üretim ve uygulama araştırması başlatmıştır. 1995 yılında Kompaktör (otomatik tokmak) kullanılarak tokmaklama tekniği Alker duvar inşası, 2000 yılında parke taşı üretim tesislerinde Alker blok üretimi ve 2002 yılında kuru karışım beton püskürtme makinesi (shotcrete) ile Alker püskürtme tekniği kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında, önce yürütülen ve tamamlanan araştırmaların devamı olarak, Alker (alçı katkılı kerpiç) teknolojisinin, püskürtme beton (shotcrete) makinesi ile endüstrileşmesi aşamasında “iş gücünün” hız ve kalite açısından etkisi incelenmiştir. Hasan Kalyoncu Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında “teknisyen” ve açık alanlarda “iş gücü kullanılarak” gerçekleştirilen uygulamalara bağlı elde edilen “kalite” sonuçları değerlendirilmiştir.

6.1 Uygulamaların Sonuçları ve İş Gücünün Değerlendirilmesi

Her çalışmada olduğu gibi “**kalite ve başarı**”, kullanılan “**makine ve sistem**” standartlarından oluştuğu gibi “**insan bilgi ve becerisi**”nden de etkilenmektedir.

Tez çalışmasında, Alker' in kuru karışım olarak beton püskürtme makinesi (shotcrete) kullanarak püskürtülmesi ve inşaatın tamamlaması süresi boyunca “iş gücü”nün inşaat kalitesine etkisi izlenmiştir.

“Püskürtme beton (scotcrete) yapım Uygulama ve Bakım Kuralları” **TS11747** de belirtilen standartlara uygun şekilde uygulanmıştır. Kullanılacak makine, ekipman ve Alker püskürtme uygulaması sırasında kuru karışım olarak püskürtülecek Alkerin karışım oranları, püskürtme sırasında eklenecek su miktarı, nozul üzerindeki vana vasıtasıyla ayarlanmıştır.

Araştırma kapsamında; 15 Aralık 2019, 20 Nisan 2020 ve 19 Haziran 2021 tarihlerinde farklı operatörler ile püskürtme uygulamaları yapılarak farklı “iş gücü-: operatör” ün kaliteye etkisi araştırılmıştır. Kaliteyi değerlendirme deneyinde 30x30x30cm boyutunda numune kalıbı kullanılmıştır. Numune üretiminden önce Operatör 3'e eğitim verilmesi için; 1 adet, duvara benzeyen büyük boyutlu 30 cm x 100 cm x 100 cm ölçülerinde kereste ve demir donatı yardımıyla güçlendirilmiş kalıp hazırlanıldı.

- Tecrübeli Operatör 1, numune kalıbına kuru karışım püskürtme uygulamasında su püskürtme oranı da uygun gerçekleştirildi. Ortaya çıkan numuneler tecrübeyle orantılı olarak kaliteli olarak belirlendi.
- Tecrübesiz Operatör 2, numune kalıbına kuru karışım püskürtme uygulamasında su püskürtme işlemi gerçekleştirirken, numune kalıplarına yetersiz su püskürtmesi gerçekleştirdi. Harç oluşmadı. Kalitenin iş-gücü tecrübesiyle orantılı olduğunu kanıtlandı.
- Yarı tecrübeli Operatör 3, püskürtme beton (shotcrete) makinesi kullanım ve Alker püskürtme “öncesi”: 1. püskürtme açısı, 2. nozul kullanım şekli ve 3. su miktarının ayarlanması hakkında gereken bilgiler ve eğitim verildi. Ayrıca: su basıncı ise teknik olarak önceden ayarlanarak kullanıldı.

Değişik iş gücü (operatör) ile Ortaya çıkan üretim kalitesinin iş gücündeki; 1. eğitim ve 2. tecrübeyle orantılı olduğu belirlendi. Uygulamalarda; operatör seçiminde tecrübenin üretim kalitesinde yararlı olduğunu, ancak kısa süreli eğitim sonucunda operatörün başarılı olma durumuna bağlı olarak bu yöntemin endüstrileşme hızına

katkısının olabileceği görülmüştür.

6.2 Deneysel Çalışmaların Sonuçları

1995'de gerçekleşen TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 projesindeki deney sonuçlarında, Alkerin kalıp içerisinde tokmaktama/sıkıştırma yöntemi ile duvar inşasında “**basınç dayanımı**” verisi 2-4 N/mm² ortaya konulmuştur.

Püskürtme beton (shotcrete) makinesi ile Alker püskürtme uygulaması ile elde edilen numunelerde basınç dayanım deneyi **TS EN 12390-3** “Sertleşmiş betonun test edilmesi- Bölüm 3: Test numunelerinin basınç dayanımı” standardına uygun olarak yapıldı. Numunelerde basınç dayanımı 0,94 N/mm² bulunmuştur. Alker püskürtme uygulamasının ortalama basınç dayanımının, kalıp içerisinde tokmaktama/sıkıştırma yöntemi ile üretilen numunelerin basınç dayanımından düşük olduğu deneysel bulgularla görülmüştür. Bu değer, geleneksel harman tuğlasından beklenen basınç değeri mertebesindedir.

Alker püskürtme uygulamasına uygun entegre numune kalıbı kullanılarak, dayanım testlerinin tekrar incelenmesi durumunda, dayanım seviyesinin tokmaktama/sıkıştırma yönteminden alınan verilere yaklaşabileceği beklenmektedir. İTÜ'de Prof. Dr. Bilge IŞIK tarafından yürütülen çalışmalara göre; yüksek mukavemet gereken taşıyıcı duvarlarda püskürtmenin hemen arkasından, malzeme priz yapmadan önce, tokmaktama ile mukavemet yükseltilmelidir.

Su emme davranışını elde etmek üzere: püskürtülerek elde edilen Alker numuneler **TS EN 12390-2** “Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” standardına uygun olarak yapıldı. Numuneler toplam test süresi olan 3,5 saat su ile temas sonrası herhangi bir dağılma durumu gözlenmemiş; ortalama 1033,5 g su emmiştir.

Basınç dayanımını elde etmek üzere: Su emme deneyi yapılan numunelere **TS EN 12390-2** “Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması” standardına uygun olarak, 3 gün boyunca açık havada ve 72 saat etüv makinesinde 52° C ısı işlem ardından basınç dayanım testi yapılmıştır. Basınç dayanım testinde kullanılan numunelerin ortalama nem miktarı %20 olarak belirlenmiş, bu durumda basınç dayanım

testinde alınan verilerin ortalama basınç dayanımı 0,80 N/mm² olarak belirlenmiştir. Nemli Alker numunelerde, nem oranı arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Ayrıca numunelerde daha fazla kuruma sağlandığı takdirde basınç dayanımının artacağı ön görülmektedir.

6.3 Deneysel Çalışmaların Değerlendirilmesi ve Öneriler

Bu araştırmada, geleneksel kerpiç yerine alçı ile Alker kullanılması ve shotcrete ile inşaatın endüstrileşmesi aşamasında elde edilen kalitenin değerlendirilmesi yapılmıştır. Diğer yapı malzemelerine göre daha sağlıklı olan kerpiç malzemenin özelliğinin iyileştirilmesi ve inşaat teknolojisinin güncellenmesi, kerpiç yapıların günümüzde kullanılmasına katkıda bulunacaktır. Alker blok ile örme veya tokmaktama çalışmaları, günümüz teknolojik gelişmeler kullanılarak devam ettirilmektedir. Geleneksel samanlı kerpiç ile inşaatla göre Alker ile inşaat, çok kısa zamanda tamamlanmakta.

İTÜ de Prof. Dr. Bilge IŞIK tarafından yürütülen TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 projesinde belirtilen, kalıp içerisindeki Alker harcının tokmaktama/sıkıştırma yöntemiyle ile duvar yapımı 3-5m³/gün olarak üretim yapılırken, püskürtme beton (shotcrete) makinesi ile Alker püskürtme yöntemi ile 3-5m³/saat üretim yapılır (Tablo 6.1).

Tablo 6. 1: Üretim yöntemlerinin test verilerinin karşılaştırılması.

1995'de gerçekleşen TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 projesindeki deney sonuçları	Tez çalışmasında yapılan uygulamaların sonuçları
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> <u>Yönetim:</u> Sıkıştırma/Tokmaktama	<input type="checkbox"/> <u>Yönetim:</u> Püskürtme
<input type="checkbox"/> <u>Basınç dayanım verisi:</u> 2-4 N/mm ²	<input type="checkbox"/> <u>Basınç dayanım verisi:</u> 0.80 N/mm ²
<input type="checkbox"/> <u>Üretim süresi:</u> 3-5 m ³ /gün	<input type="checkbox"/> <u>Üretim süresi:</u> 3-5 m ³ /saat

Alker püskürtme uygulamasında, topraktan kuru harç hortum ucundaki püskürtme tabancasında (nozül) su ile karışarak kalıp içerisine püskürtülür. Karışım, kalıp içerisinde kompresörden gelen hava basıncı ile sıkıştığı için mukavemet kazanır. Bunun sonucunda püskürtme uygulaması ile inşaat süresi kısılacağı için, yapı maliyeti

de düşer. Alker malzeme ile inşaatın hızlandırılması amacıyla; Püskürtme beton (shotcrete) makinesi ile uygulanma çalışmaları 2002 yılında Prof. Dr. Bilge IŞIK tarafından başlatıldı. Shotcrete makinasının kapasitesine bağlı olarak en küçük makine ile inşaat: 3-5m³/saat olarak elde edilmektedir.

Tez çalışmasında, tarihsel süreçte kullanılan geleneksel saman katkılı kerpiç duvar yapımının hızlandırılması amacıyla:

- 1- Toprağın alçı+kireç ile stabilizasyonu Alker
- 2- İnşaatta Tokmıklama tekniği
- 3- İnşaatta Beton püskürtme (shotcrete) makinası kullanılması.

Aşamaları incelendikten sonra verimli ve kalitesi yüksek üretim için

1. “**Makinaya dengeli kuru karışım**” doldurulması tekniği
2. “**Dengeli su basıncının**” olması tekniği
3. Kuru malzeme püskürten shotcrete makinasında harç oluşturacak suyun düzenli karışması için “**tecrübeli iş gücü**” etkisi incelenmiştir.

Tez çalışmasında, Shotcrete ile Alker inşaatın “**hızlı ve kaliteli**” olması amacıyla “**iş gücü**”nün etkisini düzenleyen “otomasyon sisteminin” tasarlanması yararlı olacağı görülmüştür.

KAYNAKÇA

- ACI 506R-90. (1990). Guide to Shotcrete, Reported by ACI Committee 506, Detroit: American Concrete Institute.
- ANON., (1993). VKF Vereinigung Kant. Feuerversicherungen, Brandschutzregister, Ausgabe.
- ANON., SIA 181, “Schallschutz im Hochbau”, SIA 381/1 Baustoffkennwerte
- AKMAN, M. S. (2003). Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi. *TMH-Türkiye Mühendislik Haberleri*, sayı 426, s. 30-36, İstanbul.
- AKTAŞ, Z. (2018). MIM3032 Yapı Çözümlemesi Ders Notu. Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- AKYOL, A. ve DİRİCAN, T. (2019). Anadolu’da Kerpiç Duvar Yapımı Yöntemlerine Ait Bir Derleme Çalışması. *STD 219*. 117-127.
- ARIOĞLU, E., YÜKSEL, A. ve YILMAZ, A.O., (2008). Püskürtme Beton Bilgi Föyleri-Çözümlü Problemler. *TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*, Yayın No:142, 296.
- AYDINAY, B. (2002). Donatılı ve Donatısız Alker Duvarların Kayma Dayanımı Üzerine Deneysel Bir Araştırma. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- BARADAN, B. (1995). Kerpiç Yapıların Korunması İçin Uygun Puzolanik Karışımlar. Sempozyum; Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması, 73-80, Ankara
- BERKGİL, M., ve Ayaz, Y. (2020). Polipropilen Lif Katkılı Kerpiç Tuğlaların Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi, *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*.
- BEKİŞOĞLU, Ş. (1993). Beton Kaplamalı Kanallarda Sızdırmazlık Önlemleri Mastik Asfalt ve Püskürtme Beton Uygulaması. D.S.İ. Matbaası, İşletme ve Bakım Dairesi Başkanlığı, 24-49s. Ankara.
- BİCKLEY, A. J., MITCHELL, D. (2001). A State-of-the-Art Review of High Performance Concrete Structures” Built in Canada: 1990-2000. 87 pp.
- BİNİCİ, H., DURGUN, Y. ve YARDIM, Y. (2010). Kerpiç Yapılar Depreme Dayanıksız Mıdır? Avantajları ve Dezavantajları Nelerdir?. *KSÜ Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **2**, 13.
- Can, Ö. (2008). Ferrokrom Cürufunun Kerpicingin Mühendislik Özelliklerine Etkisi. *Teknik-Online Dergi*, **7**,175-185.
- COŞKUN, K. (2005). Alker (Alçı Katkılı Kerpiç) Teknolojisinin Püskürtme Beton (shotcrete) Tekniği ile Uygulanabilirliğinin Basınç Dayanımı açısından Deneysel Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÇAKIROĞLU A. M., (2007). Betonarme Kirişlerin Güçlendirilmesinde Püskürtme Betonun Alternatif Bir Yöntem Olarak Kullanılması. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta.

ÇEBİ, D. (2003). Sustainability of Construction Material Alkerin North Cyprus at the Context of Small Island Development tates Criteria. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÇETİNER İ., GÖÇER C. ve ARIOĞLU. N. (1995). TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

GALAB- MARİN, C. RİVERA- GOMEZ, C. ve Petric, J. (2010). Clay-based composite stabilized with natural polymer and fibre. Construction and Building Materials, **24**, 1462-1468.

GÜL, T. (2011). Cam Elyaf ve Hava Sürükleyici Katkı Kullanılarak Geliştirilmiş Kerpiç. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

IŞIK, B. (1995). Alçı katkılı Kerpiç Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

IŞIK, B., ÖZDEMİR P. ve BODUROĞLU H. (1999). Earthquake Aspects of Proposing Gypsum Stabilized Eart (Alker) Construction for Housing in the Southeast (GAP) Area of Turkey. Workshop on Recent Earthquakes and Disaster Prevention Management, Earthquake Disaster Prevention Research Center Project (JICA), General Directorate of Disaster Affairs (GDDA), Middle East Technical University, Ankara, 10-12 March 1999.

IŞIK, B. (2000). Alker Yapılar 1983-2000. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

IŞIK, B. (2000). GAP Bölgesinde Yeni Gözeli Örneğinde Konut Duvarında Tuğla Yerine Alçılı Kerpiç (Alker) Kullanılmasının Yıllık Enerji Kullanımına ve Hava Kirliliğine Etkisi. GAP Çevre 2000 Kongresi, HARRAN

IŞIK, B. (2012). Kıbrıs Dilekkaya'da Püskürtme Tekniği ile Karma Kerpiç Konut İnşaatı, III. Konut Kurultayı. DAÜ Mimarlık Fakültesi, Konut Eğitim Araştırma Danışmanlık.

IŞIK, B. (2018). Ders Notu, Hasan Kalyoncu Üniversitesi, Kerpiç Yapım Yöntemleri. Gaziantep.

IŞIK, B. (2020). ANMA; Ruhi Kafescioğlu Vefat Etkinliği.

KAFESÇİOĞLU, R. TOTDEMİR N. GÜRDAL E. ÖZÜER B. (1980). Yapı Malzemesi Olarak Kerpicin alçı ile Stabilizasyonu. TÜBİTAK MAG 505. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

KAFESÇİOĞLU, R. Gürdal, E. (1985). Çağdaş Yapı Malzemesi, Alker. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

KAFESÇİOĞLU, R. (2008). Gypsum-Stabilized Adobe (Alker) Structures: An Evaluation of Their Social, Economic and Environmental Advantages, 8th International Seminar on Structural Masonry, 5-7 Kasım 2008 İstanbul: İTÜ Yayınları.

KAFESÇİOĞLU, R. (2016). Alker ve Nitelikleri. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

DETHIER, J. (1983). Down 10 Earth; Adobe Architecture: An Old Idea, A New

Future. U.S.A. : Facts on File.

KIVRAK, J. (2007). Silis Dumanı Katkılı Kerpiçlerin Mekanik Ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

KÖMÜRCÜOĞLU, E. A. (1962). Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç İnşaat Sistemleri. İstanbul: İ.T.Ü. Mimarlık Fak. Yayını.

MİLLOGO, Y., HAJJAJI, M., & OUEDRAOGO, R. (2008). Microstructure and physical properties of lime-clayey adobe bricks. *Construction and Building Materials*, **22**, 386–392.

DOAT, P., HAYS, A., & HOUBEN, H. (1991). Building with Earth. New Delhi: Mud Village Society.

ONARAN, R. K. (1999). Malzeme Bilimi. Türkiye: Bilim Teknik Yayınları.

OTİ, J. E., KİNUTHIA, J. M., & BAİ, J. (2009). Engineering Properties Of Unfired Clay Masonry Bricks. *Engineering Geology*, 130–139.

ÖZCAN, E. (2005). Konut Sektöründe Hafif Çelik Ve Alker Yapı Teknolojilerinin Birlikte Kullanılabilirliği. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

ÖZCAN, Sinan Talha, “Kişisel Arşivi ve Çizimleri”

PFEİFER, G. (2001). Masonry Construction Manual. Almanya: Birkhauser.

SEEGBRECHT, W. G., & GEBLER, H. S. (2000). Concrete vs. Shotcrete; What's the Difference? Swimming Pool/Spa. *Career and Technical Education*, **74(4)**, 22–24.

SÜMER, T. (1994). Püskürtme Beton Malzeme, Ekipman, Katkı Seçim Kriterleri ve Maliyet Optimizasyonu. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni*, **56**, 18–21.

ŞİMŞEK, O., SANCAK, E., & FIRAT, S. (2001). Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi Bildiriler Kitabı [Bildiriler Kitabı]. Ankara, Türkiye: Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi.

TANRIVERDİ, C. (1984). Alçılı Kerpicin Üretim Olanaklarının Araştırılması. İTÜ.

TOPÇU, İ. B. (2006). Beton. *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Eskişehir Şubesi*, **2**, 189–190.

TS EN 14487-1. Teknik Kurul. (2007). Püskürtme Beton -Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 14487-2. Teknik Kurul. (2007). Püskürtme Beton -Bölüm 2: Uygulama. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 772-1+A1. İnşaat Teknik Komitesi. (2015). Kâgir birimler- Deney yöntemleri- Bölüm 1: Basınç dayanımının tayini. Türk Standartları Enstitüsü.

TS 11758-1. Petrokimya İhtisas Grubu. (2002). Polimer Bitümlü Örtüler-Su Yalıtımı İçin-Eritme Kaynağıyla Birleştirilerek Kullanılan-Bölüm 1. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12390-2. İnşaat İhtisas Grubu. (2019). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması. Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 12390-3. İnşaat İhtisas Grubu. (2019). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayin. Türk Standartları Enstitüsü.
TS 2514. İnşaat İhtisas Grubu. (1977). Kerpiç Bloklar Yapım ve Kullanma. Türk Standartları Enstitüsü.

TS 2515. İnşaat İhtisas Grubu. (1985). Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü.

URL 1. Kerpiç blok yapımı. <https://www.ivriz.org/project-details/kerpic-yapimi/> .., 23.11.2021.

URL 2. Van kalesi, Asur Mimarisi. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Van_kalesi.jpg., 02.07.2021.

URL 3. Kerpiç ve toprağa dayalı yapıların dünya üzerinde dağılımı taralı alanla ifade edilmiştir. <https://www.craterre.com/ensang>. 09.10.2021.

URL 4. Omurgalı kerpiç. <https://www.colorvate.com/uganda.html>., 23.10.2021.

URL 5. El ile Şekillendirilen Kerpiç Duvar Yöntemi. <http://www.naturalbuildingblog.com/puddled-adobe>., 13.09.2021.

URL 6. Yüzme Havuzu İnşası Amerika. <https://william-hargreaves-zqj8.squarespace.com/shotcrete-swimming-pools>., 29.07.2021.

URL 7. İstinat Duvarı ve İksa Sistemi İnşası. <http://kiliczemin.com/kategori/hizmetler>., 10.07.2021.

URL 8. Karmaşık Planlı Çatıların İnşası. <https://www.archdaily.com/867369/bosjes-chapel-steyn-studio>., 15.07.2021.

URL 9. Mekanik Makine Üretimi K260 Model Püskürtme Beton Makinesi Teknik Özelliği. https://www.mekanikmakina.com.tr/m-260_u9., 1.08.2020.

YERLİKAYA M. 2004. Çelik Tel Donatılı Püskürtme Beton. www.beksa.com.tr/celiktel2.pdf., 20.01.2021.

Yetgin, Ş., Çavdar, Ö ve Çavdar, A. (2008). The Effects Of The Fiber Contents On The Mechanic Properties Of The Adobes, Construction and Building Materials 22, 3, 222-227.

Yoggy, D. G. (2000). The History of Shotcrete Part I of a Three Part Series. *American Shotcrete Association, Shotcrete Magazine Fall*, 2-4, 28-29.

Warner, J. (1995). Püskürtme Beton (Shotcrete) Anlamak Esaslar, *Hazır Beton Dergisi*, 40-45.