

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALKER (ALÇI KATKILI KERPIÇ) TEKNOLOJİSİNİN PÜSKÜRTME
BETON (SHOTCRETE) TEKNİĞİ İLE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
BASINÇ DAYANIMI AÇISINDAN DENEYSEL DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Kevser COŞKUN**

Anabilim Dalı : MİMARLIK

Programı : ÇEVRE KONTROLÜ VE YAPI TEKNOLOJİSİ

MAYIS 2005

**ALKER (ALÇI KATKILI KERPİÇ) TEKNOLOJİSİNİN PÜSKÜRTME
BETON (SHOTCRETE) TEKNİĞİ İLE UYGULANABİLİRLİĞİNİN
BASINÇ DAYANIMI AÇISINDAN DENEYSEL DEĞERLENDİRMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Kevser COŞKUN
502011134**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Mayıs 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : 30 Mayıs 2005**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Bilge IŞIK
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Yılmaz AKKAYA
Yrd. Doç. Dr. Hülya KUŞ**

MAYIS 2005

ÖNSÖZ

Üzerinde yaşadığımız, doğup büyüdüğümüz toprak yer kabuğunun toz durumuna gelmiş kütle kalınlıklarıyla, çürümüş organik cisimlerden oluşan ve canlılara yaşama ortamı sağlayan yüzey bölümüdür. Toprakta elde edilen alçının ham maddesi olan alçı taşı, jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) minerallerinden oluşan tortul taştır. Alçı, alçı taşının yaklaşık yarım molekül kristal suyu kalacak şekilde kızdırılarak suyun uçurulması ve öğütülmesi ile elde edilen, su ile karıştırıldığında kısa sürede katılaşma özelliği gösteren, beyaz renkli, inorganik esaslı, bağlayıcı bir yapı malzemesidir.

Alçı sözcüğünün “al” hecesi ile kerpiç sözcüğünün “ker” hecesinin birleşmesinden “al-ker” sözcüğü türemiştir. Alker (alçı katkılı kerpiç), geleneksel kerpice alçı katılıp güçlendirilmiştir. Bu malzeme çorak toprağa % 10 alçı, % 2 kireç ve toprağın nemine göre % 20 - % 24 su katılarak elde edilmektedir.

“Alker teknolojisinin püskürtme beton (shotcrete) tekniği ile uygulanabilirliğinin basınç dayanımı açısından deneysel değerlendirmesi” konulu yüksek lisans tezinde, 1980’den bu güne İTÜ’de yapılan alker çalışmalarının bir devamı olarak püskürtülerek elde edilen alkerde basınç dayanımı incelenmiştir.

Araştırma altı bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümünde alker teknolojisinin püskürtme beton tekniği ile uygulanabilirliğinin amacı, kapsamı, yöntemi anlatılmıştır. İkinci bölümde kerpice kullanımı ve iyileştirilmesi, alkerin özellikleri ve yapım teknikleri açıklanmıştır. Üçüncü bölümde püskürtme beton tekniği incelenmiştir. Dördüncü bölümde püskürtme beton tekniği ile alker uygulaması gerçekleştirilmiştir. Beşinci bölümde alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin bir kısmı ile basınç dayanımı deneyi, bir kısmı ile su emme deneyi, ve su emme deneyi yapıp kür edilen numuneler ile de basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Altıncı bölümde uygulama ve performans sonuçları değerlendirilmiştir.

Yüksek lisans öğrenimi ve tez çalışmam süresince ilgilenen danışmanım Doç. Dr. Bilge Işık’a, çalışmama katkısı olan Yrd. Doç. Dr. Aslıhan Ünlü Tavlil’e, Araş. Gör. Ecem Edis’e, Araş. Gör. Seden Acun’a, Mimarlık Fakültesi kütüphane personeline teşekkür ederim.

Mayıs 2005

Kevser Coşkun

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No.
ÖNSÖZ	ii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	ix
SUMMARY	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç	2
1.2 Kapsam	2
1.3 Yöntem	2
2. ALKER (ALÇI KATKILI KERPIÇ) TEKNOLOJİSİ	3
2.1 Geleneksel Kerpiç Yapı	3
2.1.1 Geleneksel Kerpicing Tanımı	9
2.1.2 Geleneksel Kerpiç Üretim ve Kullanım Yöntemleri	10
2.1.2.1 Blok Kerpiç	10
2.1.2.2 Omurgalı Kerpiç	11
2.1.2.3 Yığma Kerpiç	11
2.1.2.4 Dövme Kerpiç	12
2.1.3 Geleneksel Kerpicing Olumlu Yönleri	12
2.1.4 Geleneksel Kerpicing Olumsuz Yönleri	14
2.1.5 Geleneksel Kerpicing İyileştirilmesi	14
2.1.5.1 Saman ve Benzeri Lifler Katılması	14
2.1.5.2 Bitüm Katılması	14
2.1.5.3 Bağlayıcı Nitelikteki Endüstri Atıkları Katılması	15
2.1.5.4 Kireç Katılması	15
2.1.5.5 Çimento Katılması	15
2.1.5.6 Alçı Katılması	16
2.2 Alkerin Tanımı	16
2.3 Alker Çalışmaları	17
2.4 Alkerin Özellikleri	18
2.4.1 Alkerin Fiziksel Özellikleri	18
2.4.2 Alkerin Mekanik Özellikleri	20
2.5 Alker Yapım Teknikleri	20
2.5.1 Tuğla Boyutunda Şekillendirilen Alker Bloklar ile Duvar Örülmesi	21
2.5.2 Duvar Kalıbı İçinde Alkerin Tokmaklanması	22
3. PÜSKÜRTME BETON (SHOTCRETE) TEKNİĞİ	24
3.1 Püskürtme Beton Tekniğinin Tanımı	24
3.2 Püskürtme Beton Tekniği Uygulama Alanları	25

3.3 Püskürtme Beton Bileşimi	28
3.3.1 Agregası	28
3.3.2 Çimento	29
3.3.3 Su	29
3.3.4 Katkı Maddeleri	29
3.4 Püskürtme Beton Ekipmanları	30
3.5 Uygulama Öncesi Yapılacak İşlemler	31
3.5.1 Ön İşlemler	31
3.5.2 Karışım Oranlarının Belirlenmesi	32
3.6 Püskürtme Beton Karışımı Hazırlanması	33
3.6.1 Kuru Karışımlı Püskürtme Beton	34
3.6.2 Yaş Karışımlı Püskürtme Beton	34
3.6.3 Kuru Karışım ile Yaş Karışımlı Püskürtme Beton Tekniğinin Karşılaştırılması	35
3.7 Püskürtme Beton Tekniği Uygulamasında Dikkat Edilecek Hususlar	35
3.8 Yüzey Tamamlama İşlemleri	39
3.9 Kür	39
4. PÜSKÜRTME BETON TEKNİĞİ İLE ALKER UYGULAMASI	40
4.1 Makine ve Ekipmanların Hazırlanması	41
4.2 Kalıpların Hazırlanması	41
4.3 Toprağın Hazırlanması	41
4.4 Karışımların Hazırlanması	43
4.4.1 Alçı - Toprak Karışımı Hazırlanması	44
4.4.2 Çimento - Toprak Karışımı Hazırlanması	44
4.5 Karışımların Kalıplara Püskürtülmesi	45
4.6 Kür	46
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	49
5.1 Kuru Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi	49
5.2 Su Emme Deneyi	53
5.3 Su Emen Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi	62
6. SONUÇLAR	67
6.1 Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmesi	67
6.2 Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi	68
KAYNAKLAR	71
ÖZGEÇMİŞ	74

TABLO LİSTESİ

	Sayfa No.
Tablo 2.1	Kerpiç malzemelerin yangındaki davranışı..... 13
Tablo 2.2	Kerpiç malzemelerin ses yalıtım değeri..... 13
Tablo 2.3	Alkerin fiziksel özellikleri..... 18
Tablo 2.4	Çeşitli duvar türlerinin yapı klimatolojisi yönünden nitelikleri..... 19
Tablo 2.5	Alkerin mekanik özellikleri..... 20
Tablo 3.1	Uygulama sırasında zayi olan beton miktarı..... 33
Tablo 3.2	Püskürtme beton bileşenleri kütle toleransı..... 34
Tablo 3.3	Kuru karışım ile yaş karışımlı püskürtme beton tekniğinin karşılaştırılması..... 35
Tablo 4.1	Ayazağa kampus arazisi toprağı içindeki mineral türleri ve bileşimi..... 42
Tablo 4.2	Alçı katkılı toprak numunelerin ağırlıkları ve kuruma miktarları... 48
Tablo 4.3	Çimento katkılı toprak numunelerin ağırlıkları ve kuruma miktarları..... 48
Tablo 5.1	Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru 52
Tablo 5.2	Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru 52
Tablo 5.3	Alçı katkılı toprak numunelerin su emmeden önceki ve su emen numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlıkları..... 61
Tablo 5.4	Çimento katkılı toprak numunelerin su emmeden önceki ve su emen numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlıkları..... 61
Tablo 5.5	Alçı katkılı toprak numunelerin nem oranı..... 62
Tablo 5.6	Çimento katkılı toprak numunelerin nem oranı..... 62
Tablo 5.7	Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru..... 64
Tablo 5.8	Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru..... 64

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No.

Şekil 2.1	Kerpiç yapılarda yaşayan nüfusun dünya üzerindeki dağılımı.....	3
Şekil 2.2	Kerpiç mimari, Mali.....	4
Şekil 2.3	Bam şehri, İran.....	4
Şekil 2.4	Kerpiç yerleşme, Yemen.....	4
Şekil 2.5	Konut yapısı, Hindistan.....	4
Şekil 2.6	Orta Amerika tarzı kerpiç yapı	5
Şekil 2.7	“Pottery House”, Frank Lyod Wright, Santa Fe, Amerika.....	5
Şekil 2.8	Kerpiç yerleşme, Puerto Vallarta, New Mexico.....	6
Şekil 2.9	Kerpiç bina, Quebec, Kanada.....	6
Şekil 2.10	Kerpiç bina, Yeni Zelanda.....	6
Şekil 2.11	Kerpiç yerleşme, Çatalhöyük, Çumra, Konya.....	7
Şekil 2.12	Aşıklıhöyük kazısı, Aksaray.....	7
Şekil 2.13	Kerpiç bina, Tavşanlı, Kütahya.....	8
Şekil 2.14	Kerpiç yerleşme, Akçadağ.....	8
Şekil 2.15	Kerpiç konut, Malatya.....	8
Şekil 2.16	Kerpiç konut, Balaban köyü, Darende.....	8
Şekil 2.17	Kerpiç konut, Sultanhan köyü, Aksaray.....	8
Şekil 2.18	Kademeli şehir dokusu, Urfa.....	8
Şekil 2.19	Kademeli şehir dokusu, Mardin.....	8
Şekil 2.20	Tüm duvarın blok kerpiç ile örülmesi.....	10
Şekil 2.21	Blok kerpiç dolgulu ev, Cumalıkızık, Bursa.....	10
Şekil 2.22	Sahada kerpiç bloklar ile bina yapımı, Yeni Zelanda.....	11
Şekil 2.23	Duvar kalıbı içinde tokmaklama yöntemi ile kerpiç duvar yapımı...	12
Şekil 2.24	Alker malzemenin ısı depolama değerinin diğer duvar malzemeleriyle karşılaştırılması.....	19
Şekil 2.25	İTÜ Anaokulu binası yapımında kullanılan alker blok kalıp elemanları.....	21
Şekil 2.26	İTÜ Anaokulu binası dış ve iç mekan görünüşü.....	21
Şekil 2.27	Endüstriyel kalıpların hazırlanması.....	23
Şekil 2.28	Vibrasyonlu kompaktör ile sıkıştırma işlemi	23
Şekil 2.29	Alker Deneme II Yapısı duvarları.....	23
Şekil 2.30	Alker Deneme II Yapısı, 1995.....	23
Şekil 2.31	Alker Deneme III Yapısı, Altınoluk, 1997.....	23
Şekil 3.1	1930, 1950 ve 2000’lerde püskürtme beton tekniği uygulaması.....	25
Şekil 3.2	Yeraltı tünel yapımı.....	26
Şekil 3.3	Karayolu tünel yapımı, Newport Beach, Kanada.....	26
Şekil 3.4	Kagir yapının güçlendirilmesi, Kazakistan.....	26
Şekil 3.5	Tünel onarımı, Winter Park, Kolombiya.....	26
Şekil 3.6	Metro tünel yenilemesi, New York.....	26
Şekil 3.7	Konut binası, Colorado.....	27
Şekil 3.8	Konut binası duvar ve tavan püskürtmesi.....	27

Şekil 3.9	Konut binası, Medford.....	27
Şekil 3.10	Ofis binası, Denver, Kolombiya.....	27
Şekil 3.11	Organik formlu havuz, Dominik Cumhuriyeti.....	27
Şekil 3.12	Köprü istinat duvarı, Azerbaycan ve otoyol şev duvarı.....	28
Şekil 3.13	Patinaj sahası, Azerbaycan.....	28
Şekil 3.14	Kuru karışım püskürtme başlığı.....	30
Şekil 3.15	Yaş karışım püskürtme başlığı.....	30
Şekil 3.16	Kuru karışım püskürtme beton makinesi.....	31
Şekil 3.17	Yaş karışım püskürtme beton makinesi.....	31
Şekil 3.18	Yaş karışım püskürtme beton hazırlama santrali.....	31
Şekil 3.19	Plastik borular ile suyun yüzeyden uzaklaştırılması.....	32
Şekil 3.20	Püskürtme başlığı uygulama pozisyonları.....	36
Şekil 3.21	Püskürtme başlığı uygulama hareketleri.....	37
Şekil 3.22	Püskürtme betonun kalıba yerleştirilmesi.....	37
Şekil 3.23	Düşey doldurma türü uygulamalarda doğru püskürtme şekli.....	37
Şekil 3.24	Donatılı uygulamalarda doğru ve yanlış uygulama.....	38
Şekil 4.1	Temizlenip yağlanarak püskürtmeye hazırlanan çelik kalıplar.....	41
Şekil 4.2	Ayazağa kampus arazisi toprağının granülometri eğrisi.....	42
Şekil 4.3	Toprağın elenmesi.....	43
Şekil 4.4	Alçı katkılı toprağın karılarak kompresöre aktarılması.....	44
Şekil 4.5	Çimento katkılı toprağın karılarak kompresöre aktarılması.....	45
Şekil 4.6	Alçı - toprak karışımının kalıplara püskürtülmesi ve malalanması.....	45
Şekil 4.7	Çimento - toprak karışımının kalıplara püskürtülmesi.....	46
Şekil 4.8	Kalıptan çıkarılan alçı katkılı toprak numune.....	46
Şekil 4.9	Etüve konulan alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler.....	47
Şekil 5.1	Pres makinesi.....	50
Şekil 5.2	Alçı katkılı toprak numune.....	51
Şekil 5.3	Çimento katkılı toprak numune.....	51
Şekil 5.4	Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru.....	53
Şekil 5.5	Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru.....	53
Şekil 5.6	Numunenin parafinlenmesi.....	54
Şekil 5.7	Numunenin su dolu kaba oturtulması.....	54
Şekil 5.8	30.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	55
Şekil 5.9	30.dk.'da çimento katkılı toprak numune.....	55
Şekil 5.10	60.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	55
Şekil 5.11	60.dk'da çimento katkılı toprak numune.....	55
Şekil 5.12	Alçı katkılı toprak numune.....	56
Şekil 5.13	Çimento katkılı toprak numune.....	56
Şekil 5.14	90.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	56
Şekil 5.15	90.dk'da çimento katkılı toprak numune.....	56
Şekil 5.16	120.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	57
Şekil 5.17	120.dk'da çimento katkılı toprak numune.....	57
Şekil 5.18	150.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	57
Şekil 5.19	150.dk'da çimento katkılı toprak numune.....	57
Şekil 5.20	180.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	57
Şekil 5.21	180.dk'da çimento katkılı toprak numune.....	57
Şekil 5.22	Alçı katkılı toprak numune.....	58

Şekil 5.23	Çimento katkılı toprak numune.....	58
Şekil 5.24	210.dk'da alçı katkılı toprak numune.....	58
Şekil 5.25	210.dk'da çimento katkılı toprak numune.....	58
Şekil 5.26	Su emen alçı katkılı toprağın zamana bağlı ağırlıkça artışı.....	59
Şekil 5.27	Su emen çimento katkılı toprağın zamana bağlı ağırlıkça artışı.....	60
Şekil 5.28	Su emen alçı katkılı toprak numunede basınç dayanımı deneyi.....	63
Şekil 5.29	Su emen çimento katkılı toprak numunede basınç dayanımı deneyi.....	63
Şekil 5.30	Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru.....	65
Şekil 5.31	Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru.....	65
Şekil 5.32	Alçı katkılı toprak numunelerde nem oranına göre basınç dayanımı.....	65
Şekil 5.33	Çimento katkılı toprak numunelerde nem oranına göre basınç dayanımı.....	66

ALKER (ALÇI KATKILI KERPIÇ) TEKNOLOJİSİNİN PÜSKÜRTME BETON (SHOTCRETE) TEKNİĞİ İLE UYGULANABİLİRLİĞİNİN BASINÇ DAYANIMI AÇISINDAN DENEYSEL DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Ülkemiz ve dünya mimari kültüründe kerpiç yapıların önemi büyüktür. Kerpiç, yüzyıllardır bilinen ve kullanılan bir yapı malzemesidir. Buna karşın, bu malzeme yapı sektöründe ileri teknoloji ürünü olan malzemelere olan eğilimin artması ile birlikte sanayi tarafından da desteklenmeyince, sektörün dışında bırakılmış ve kerpicin yapı malzemesi olarak kullanımı kırsal yörelerle sınırlı kalmıştır.

Araştırma alker duvar yapımının günümüz teknolojisinde duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniğine alternatif olarak geliştirilmesi amacıyla betonda kullanılan püskürtme beton tekniğinin, alker malzeme ile uygulanabilirliğinin basınç dayanımı açısından değerlendirilmesi üzerine yapılan deneysel bir çalışmadır.

Araştırmada yöresel bir malzeme olan kerpicin ısı iletkenliği, ısı depolama, ısı yayma, koku emme ve nem alıp verme özellikleri ile insan sağlığına uygun ortam koşullarını gerçekleştirme, “ekolojik denge”yi koruma gibi yararları olmasına rağmen, günümüz koşullarında yetersiz olduğu görülmüştür. Kerpicin özellikle basınç dayanımının artırılması ve suya duyarlılığının azaltılması için çeşitli katkı maddelerinin katılması ile iyileştirilme yöntemleri açıklanmıştır. İTÜ’de 1980’den bu güne yapılan araştırmalar kapsamında çorak toprağa % 10 alçı, % 2 kireç ve toprağın nemine göre % 20 - % 24 su katılarak elde edilen alkerin, özellikleri ve yapım teknikleri incelenmiştir. Alker duvar yapım tekniğinin teknolojiye paralel olarak geliştirilmesi amacıyla püskürtme beton tekniği araştırılmıştır. Alçının su ile birleşip çabuk priz yapmasını engellemek için kuru karışimli püskürtme tekniğine göre hazırlanan alçı - toprak karışımı ve sonuçlarının karşılaştırılması için çimento-toprak karışımı kalıplara püskürtülmüştür. Püskürtülen 6 adet alçı katkılı toprak ve 6 adet çimento katkılı toprak numuneler ile basınç dayanımı deneyi, 3 adet alçı katkılı toprak ve 3 adet çimento katkılı toprak numuneler ile su emme deneyi ve 1 hafta açık havada, ardından 72 saat 52°C’de etüvde kalan su emen numuneler ile de basınç dayanımı deneyi yapılmıştır.

Araştırmada kuru karışimli püskürtme beton tekniği ile 3 m³/h alker dökümü gerçekleştirilmiştir. Ortalama basınç dayanımı kuru karışimli püskürtme beton tekniği ile elde edilen alçı katkılı toprak numunelerde 1,04 N/mm², ortalama % 19,6 nemli alçı katkılı toprak numunelerde 0,90 N/mm² ölçülmüştür. Püskürtme beton tekniği ile elde edilen ve 30 dk’da bir su emme miktarı ölçülen alçı katkılı toprak numunelerin 3,5 saat sonra ağırlığının yaklaşık % 18’i kadar su emdiği görülmüştür.

Yapılan deney çalışmasında kuru karışimli püskürtme beton tekniği ile hazırlanan alkerin püskürtme makinesi ile uygulanabildiği, bu tekniğin hızlı ve rasyonel olduğu, elde edilen alkerin basınç dayanımının artırılması ve su emmeye karşı duyarlılığının azaltılması gerektiği sonucuna varılmıştır.

TEST AND EVALUATION OF THE APPLICABILITY OF SHOTCRETE TECHNIQUE IN ALKER (ADOBE WITH GYPSUM ADDITIVE) TECHNOLOGY IN RESPECT TO COMPRESSIVE STRENGTH

SUMMARY

The importance of earth buildings is significant both in Turkey and in the world. Adobe is known and used for centuries as a building material. However, the increased tendency in building industry to use materials produced by modern technologies, and since the industry does not supported, the usage of adobe is limited within the rural regions.

The aim of this research, based on test methods, is to evaluate the applicability of concrete shotcrete technique in alker wall construction in respect to compressive strength, in order to develop an alternative technique to tamping alker into the wall mould.

In the research, the traditional earth construction is investigated and seen that although with its thermal conduction, thermal capacity, heat distribution, odour absorption, vapour diffusion properties, the local adobe has certain advantages in providing interior built environments appropriate to human health and preserving ecology, it is insufficient for modern conditions. Adobe modification methods based on mixing additive materials, especially for increasing the compressive strength and for decreasing the sensitivity to water is explained. The properties and construction techniques of alker, constituted by mixing 10 % gypsum, 2 % lime and depending on the moisture content 20 - 24 % water to earth according to the researches made in ITU since 1980, is investigated. Concrete shotcrete technique is investigated in order achieve paralel development of alker wall construction techniques with technology. In order to prevent premature setting of gypsum due to reaction with water, gypsum - earth mixture and cement - earth mixture, which is used for comparison of results, is prepared according to dry mix shotcrete technique and sprayed on moulds. Compressive strength test was made on 6 of the gypsum added earth specimens and 6 of the cement added earth specimens, water absorption test was made on 3 of the gypsum added earth specimens and 3 of the cement added earth specimens, dried by leaving in normal outdoor conditions for one week and 72 hours in stove at 52°C.

In the researh 3 m³/h alker spraying was made by dry mix concrete shotcrete technique. The average compressive strength is 1,04 N/mm² in gypsum added earth specimens applied by dry mix concrete shotcrete technique and 0,90 N/mm² in specimens with a moisture content of 19,6 % water absorption rate is measured in 30 minute-intervals and specimens absorbed water equal to 18 % of their weight after 3,5 hours.

The tests show that, alker prepared according to dry mix concrete shotcrete technique can be applied by shotcrete machine and this technique is both rapid and rational. However, compressive strength needs to be increased and sensitivity to water absorption needs to be decreased.

1. GİRİŞ

Dünya nüfusuna paralel olarak konut üretiminin artması, yaşadığımız çevreye verilen yükün en aza indirilmesini gündeme getirmektedir. Bu amaçla doğal çevrenin korunması için hava, su ve toprak kirliliğinin önüne geçilmesi “sürdürülebilir kalkınma” ve yapılabirlik “sağlıklı yapılar” son yıllarda pek çok sanayi ülkesinde araştırma konusu olmaktadır. Kerpiç, yöresel malzeme olmakla birlikte insan sağlığına uygun ortam koşullarını sağlayan, üretimi ve kullanımında en az enerji tüketilen, çevreye duyarlı bir yapı malzemesidir. Dünya ve Türkiye nüfusunun yaklaşık 1/3’ü kerpiç yapılarda yaşamaktadır [1,2].

Ham maddesi toprak olan kerpiç yapı çok eski bir geçmişe sahip olmasına rağmen, bu günkü gereksinimlerin tümünü karşılayabilecek nitelikte değildir. Kerpicein olumsuz yönlerinin giderilmesi, fiziksel özelliklerinin iyileştirilmesi için toprağın içine saman ve benzeri lifler, bitüm (petrol, yağ, katran vb.), çeşitli endüstri atıkları, kireç, çimento gibi katkı maddeleri bağlayıcı olarak katılmaktadır. İTÜ’de 1980’den bu güne dek yapılan araştırmalarla geleneksel kerpice alçı katılarak kerpicein fiziksel ve mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Bu bağlamda iç mekan konforu yükseltilmekte, bakım ve onarım giderleri azaltılmakta, güvenilir yapılar inşa edilmektedir. Alker (alçı katkılı kerpiç), yüksek yoğunluktaki yerleşim bölgeleri dışında her türlü yapıda kullanılabilecek taşıyıcı ve koruyucu bir duvar malzemesidir. Çok katlı yapılaşma dışında ve yaygın yerleşmede alker yapı, yeri doldurulamayacak bir yapı tarzıdır. Tuğla boyutunda şekillendirilen alker bloklar ile duvar örülmesi ve duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği olmak üzere günümüzde iki farklı teknik ile alker duvar inşaatı yapılmaktadır [1, 3, 9].

Kerpiç, binlerce yıldır kullanılan ve tanınan bir yapı malzemesi olmasına karşın, 1950’den itibaren sanayileşmiş ülkelerde unutulmuştur. Ülkemizde ise bazı köylerde kullanılmaya devam edilmektedir [4]. Alçı katılıp güçlendirilen geleneksel kerpiç, yapı tekniklerine bağlı olarak günümüz teknolojisi ile uygulanmalıdır. Özellikle geleneksel konut mimarisinin kerpiç olduğu kırsal yörelerde kerpicein kullanımı yaygınlaşmalıdır [3].

1.1 Amaç

Araştırmanın amacı, alker duvar üretim tekniklerinin teknolojiye paralel olarak geliştirilebilmesi için, hızlı ve pratik bir yöntem olan püskürtme beton (shotcrete) tekniğinin alker yapı malzemesi ile uygulanabilirliğinin belirlenmesidir.

1.2 Kapsam

Araştırma püskürtme beton tekniğinin alker malzeme ile uygulanabilirliğini belirlemek için, kuru karışımı püskürtme beton tekniğı ile hazırlanan alçı katkı toprak ve imento katkı toprak numunelerde basınç dayanımı, su emme deneyi ve su emen numunelerde basınç dayanımı deneyinin yapılması ile sınırlıdır.

1.3 Yöntem

Tez, 1980’den bu güne İTÜ Mimarlık Fakóltesi’nde yapılan alker araştırmalarının bir devamıdır. Bu araştırmada alker ile ilgili tezler, kitaplar, bildiriler, makaleler, standartlar incelenmiş, internet üzerinden gelişmeler izlenmiş ve laboratuvar ortamında deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

2. ALKER (ALÇI KATKILI KERPIÇ) TEKNOLOJİSİ

2.1 Geleneksel Kerpiç Yapı

Dünya nüfusunun % 30'u kerpiç yapılarda yaşamaktadır (*) (Şekil 2.1). Gelişmekte olan ülkeler nüfusunun yaklaşık % 50'si, kent nüfusunun % 20'si, kırsal nüfusun çoğunluğu toprak ve toprağa dayalı yapılarda yaşamaktadır [2].



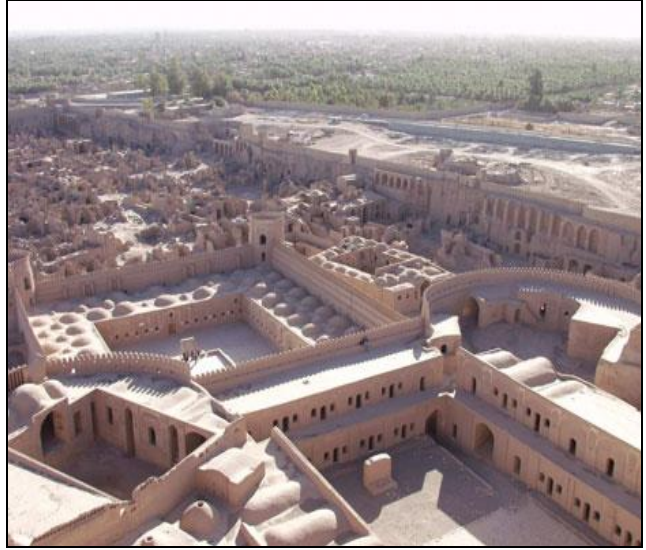
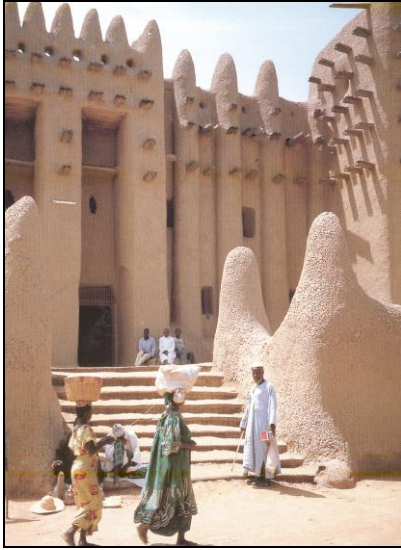
Şekil 2.1 Kerpiç yapılarda yaşayan nüfusun dünya üzerinde dağılımı [2]

Kerpiç yapı, yaklaşık 9000 yıldır kullanılmakta olan en eski yapı türüdür [4]. İnsanlar, yaşantılarını sürdürmek için kendilerine barınak yapma gereksinimi duymuşlardır. Bu nedenle yörelerinde bulunan taş, toprak ve ağaç gibi doğal malzemelerden yararlanmışlardır. Kerpiç, yerleşik uygarlığın ilk dönemlerinde taş, ahşap gibi doğal yapı malzemelerinin bulunmadığı yörelerde kullanılmıştır. Sümerler, Asurlar, Mısırlar ve Hititler kerpiç kullanarak yığma (taşıyıcı) yapılar inşa etmişlerdir. Bu toprak malzeme, evlerin yanı sıra hayvan barınağı, saray, kale, kent surları, kuleler gibi anıtsal yapılarda da tarih öncesi çağlardan beri kullanılmaktadır [6, 7].

(*) Taralı yerler toprak ve toprağa dayalı yapılarda yaşayanları göstermektedir.

Antik Mısır ve Antik Yunan mimarlığında taş ve ahşaba bağlı kolon, kiriş sistemi gelişirken bu yörelerde kerpiç kemer, tonoz, kubbe konstrüksiyonlarında (temel ve duvar öğelerinde) yalnızca basınca çalışan bir malzeme olarak kullanılan taş ve tuğla gibi aynı nitelikteki malzemelere öncülük etmiştir. Kerpicing belirli boyutlarda üretilmesi ile ilk kez modüler yapı malzemesi kavramı ortaya çıkmıştır [6].

Mezopotamya, Nil Vadisi, kuzey Afrika, Mali (Şekil 2.2), Fas, Irak, İran (Şekil 2.3), Yemen (Şekil 2.4), Afganistan, Hindistan (Şekil 2.5), Çin, İsveç, Almanya, Danimarka, Fransa (nüfusunun % 15'i), İspanya, Portekiz, İngiltere, güney Amerika (Kaliforniya'da kerpiç bina yapımı yılda % 30 artmakta), Meksika kerpicing yaygın kullanıldığı ülkelerdir [2].



Şekil 2.2 Kerpiç mimari, Mali [7] Şekil 2.3 Bam şehri, İran [8]



Şekil 2.4 Kerpiç yerleşme, Yemen [2]

Şekil 2.5 Konut yapısı, Hindistan [2]

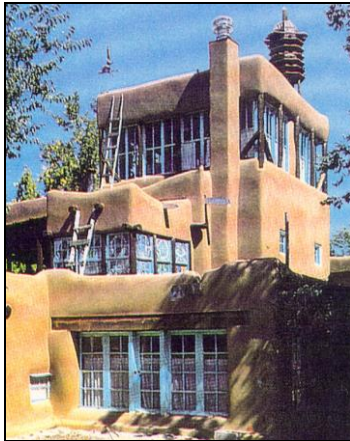
Orta Avrupa’da ahşabın az olduğu yörelerde toprak yapılara rastlanmaktadır. Toprak, ahşabın bol olduğu yörelerde hımış yapı sisteminde dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır.

Fransa’da 18. yy.’da toprak yapı yeniden ele alınıp geliştirilmesine çalışılmış, 19. yy. başlarında toprak yapının geliştirilmesi çalışmaları sürdürülmüştür. Aynı dönemlerde Almanya’da da topraktan yapı malzemesi olarak yararlanma çalışmalarına hız verilmiştir. Bu amaçla enstitüler kurulmuş, halkın eğitimi için geniş ölçüde eğitim kampanyaları düzenlenmiştir [9].

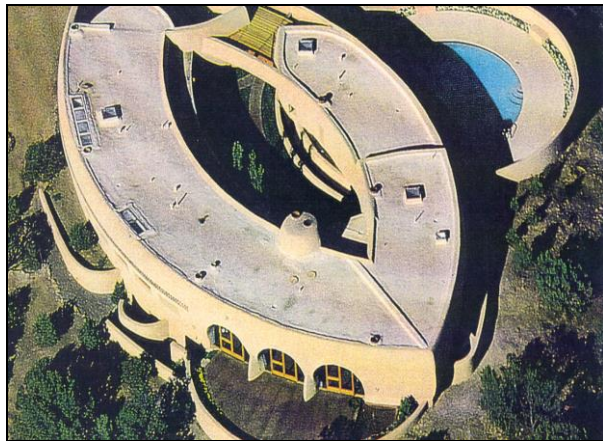
Batı Avrupa’da endüstrileşmenin hızlanması, tuğla ve çimento sanayinin gelişmesi, yapıların biçim ve içeriklerinin değişmesi ile toprak malzeme kullanımı kent yapılarında giderek azalmıştır [9].

Birinci Dünya Savaşı’ndan sonra üretimi kömüre bağlı malzemenin sağlanmasındaki darlık ve taşınım zorlukları, topraktan yararlanma gereksinimini ön plana çıkarmıştır. Aynı durumun İkinci Dünya Savaşı sonrasında da tekrarlandığı görülmektedir. Bu sıkıntılı dönemde insanların barınma sorunlarının çözülmesinde ilk anda topraktan yararlanma zorunluluğu doğmuştur [9].

Amerika’da toprak, yapı malzemesi olarak yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu yönde kerpiç yapı ile ilgili yapım kuralları ve yönetmelikleri hazırlanmıştır. Bazı yörelerde ise kerpiç yapıdan başka yapı yapılmaması karara bağlanmıştır. Kerpiç yapı bir yandan anonim mimari olarak inşa edilirken, diğer yandan ülkenin ünlü mimarlarını da etkilemiştir (Şekil 2.6, Şekil 2.7) [10].



Şekil 2.6 Orta Amerika tarzı kerpiç yapı [10]



Şekil 2.7 “Pottery House”, Frank Lyod Wright, Santa Fe, Amerika [10]

New Mexico (Şekil 2.8), Kanada (Şekil 2.9), güney Amerika, İspanya, Peru, Yeni Zelanda (Şekil 2.10) kerpicin yoğun olarak kullanıldığı ve kerpiç araştırmalarının sürdürüldüğü ülkelerdir [11,12].



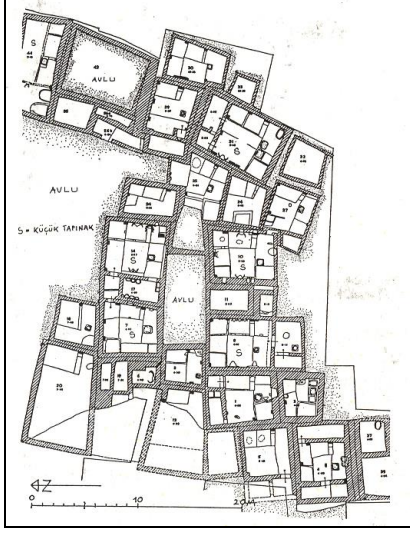
Şekil 2.8 Kerpiç yerleşme, Puerto Vallarta, New Mexico [12]



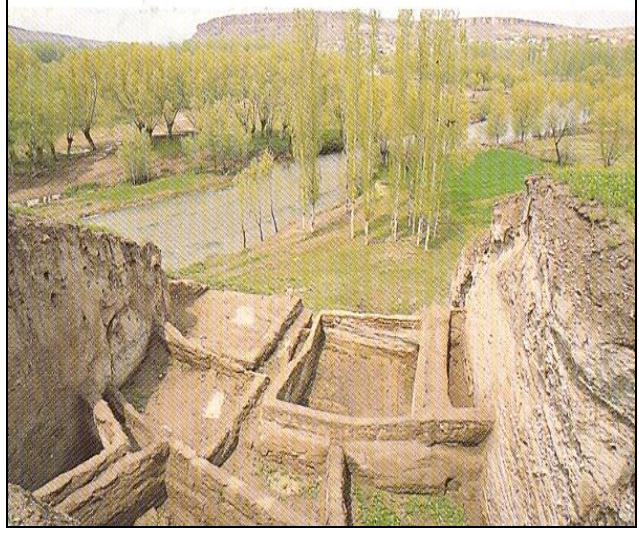
Şekil 2.9 Kerpiç bina, Quebec,Kanada [12] Şekil 2.10 Kerpiç bina, Yeni Zelanda [11]

Yeryüzü, iklim yönünden uygun duruma gelince insanların MÖ yerleşmeleri kuzey Mezopotamya ve Güneydoğu Anadolu’da gerçekleşti. Günümüzde kerpiç malzeme kullanımının ilk örneklerini Anadolu’da pek çok yerleşim yerinde görmekteyiz. Diyarbakır Ergani yakınlarında yaklaşık 10000 yıl öncesi Neolitik Çağa ait taş temelli, kerpiç duvarlı evler ile Çayönü Tepesi’ndeki yerleşme; MÖ 6500 - 5750 yıllarına ait 2000 - 3000 kişilik nüfusu ile ilk yerleşme yeri olan Konya’nın 52 km güneydoğusundaki Çatalhöyük’te 5 m yükseklikte taş duvarların üzerine 1,8 m kalınlıkta ve en az 4 m yükseklikte kerpiç duvarlardan oluşan yerleşme (Bkz. Şekil 2.11); MÖ 5700 - 5600 yıllarına ait küçük bir yerleşme merkezi olan Burdur’un 25 km güneybatısında Hacılar Höyüğü’nde taş temeller üzerine kerpiç duvarlar ile yapılan dikdörtgen odalı, açık avlulu evler; Çorum Alacahöyük’te MÖ 4000 - 3000 Kalkolitik Çağ’a ait taş temel, kerpiç duvar ve üzeri düz toprak damlı küçük bir yerleşme; Aksaray yakınlarında Aşıklıhöyük’te bitişik düzen kerpiç evlerden oluşan

büyük bir yerleşme merkezi (Şekil 2.12); Kültepe’de MÖ 3000 - 2000 Tunç Çağ’a ait taştan temel duvarlar üzerine ahşap hatıllı (kolonlu) kerpiç duvarlı evler arkeolojik kazılarla ortaya çıktı [13, 14, 15, 16, 17].



Şekil 2.11 Kerpiç yerleşme,
Çatalhöyük, Çumra, Konya [15]



Şekil 2.12 Aşıklıhöyük kazısı, Aksaray [15]

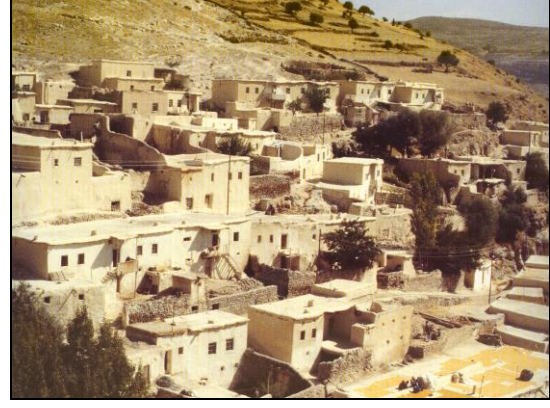
Anadolu’da killi toprağın güneş ışınları ve ısı yolu ile taş kadar sertleştiği önceden bilinmektedir. Killi topraktan elde edilen kerpiç yapı harcı ve yapı blokları, başlıca yapı malzemeleri arasında pek çok yerde yer almaktadır. Sade ve kübik hacimli evler, kerpiç harcı ile sıvalı duvarlar, iş görülen damlar doğal çevre ve yerleşmenin bir bütün içinde kaynaşmasında önemli rol oynamaktadır [18].

Güneydoğu, Orta, Doğu Anadolu yörelerinde kerpiç yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir. Ege yöresinde de çoğu yerde kullanılmaktadır. Kütahya ve çevresi (Bkz. Şekil 2.13), Karaman, Harput, Akçadağ (Bkz. Şekil 2.14), Malatya (Bkz. Şekil 2.15), Darende (Bkz. Şekil 2.16), Aksaray (Bkz. Şekil 2.17), Urfa (Bkz. Şekil 2.18), Mardin (Bkz. Şekil 2.19), Van yörelerinde halk mimarisinin özelliklerini sergileyen kerpiç ve hımış (kerpiç veya tuğla ile örülmüş ahşap duvar) evler korunmaları gereken tarihi dokulardır [15, 18, 19].

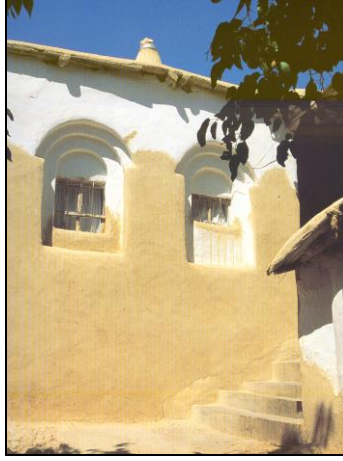
Güneydoğu, Orta, Doğu Anadolu yörelerindeki kadar olmasa da Edirne, Tekirdağ, Çanakkale, Bursa, Bolu - Mudurnu yolu üzerindeki köylerde de kerpiç yapı örnekleri görülmektedir.



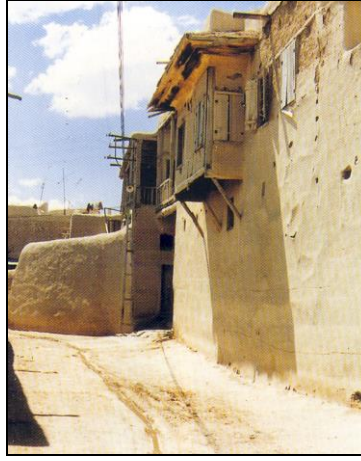
Şekil 2.13 Kerpiç bina, Tavşanlı,
Kütahya [19]



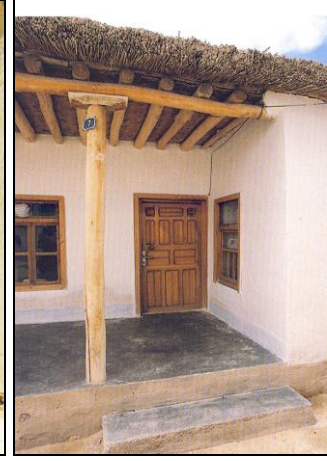
Şekil 2.14 Kerpiç yerleşme, Akçadağ [18]



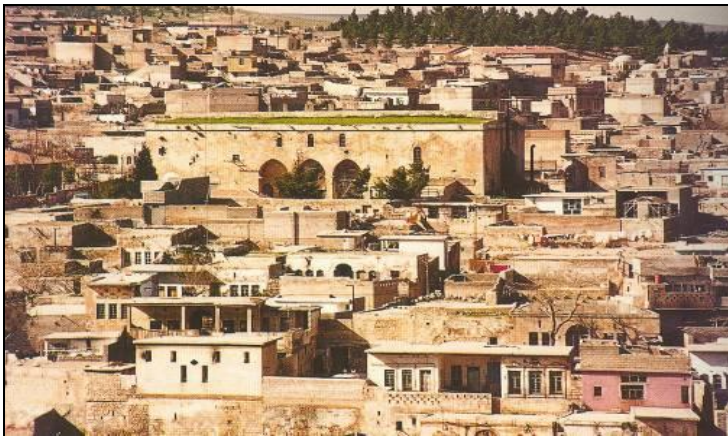
Şekil 2.15 Kerpiç konut,
Malatya [18]



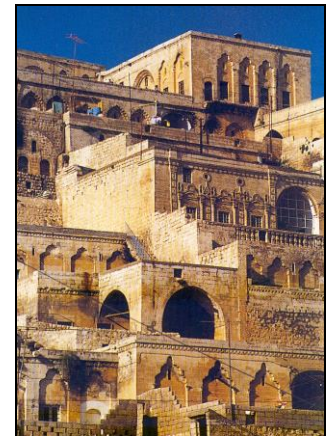
Şekil 2.16 Kerpiç konut,
Balaban köyü, Darende
[15]



Şekil 2.17 Kerpiç konut,
Sultanhan köyü, Aksaray
[15]



Şekil 2.18 Kademeli şehir dokusu, Urfa [19]



Şekil 2.19 Kademeli
şehir dokusu, Mardin
[15]

Son yıllarda tüm dünyada inşaat sektöründe malzeme seçiminde iki farklı eğilim görülmektedir. Bir taraftan üretim ve kullanımında ileri teknoloji ürünü olan fazla enerji gerektiren çağdaş malzemeler yeğlenirken, diğer taraftan az enerji gerektiren geçmişte de kullandığımız geleneksel malzemelere yönelmedir [21].

Günümüzde etkisi giderek artan enerji darlığı, toprak malzemenin öne çıkması ve niteliklerinin geliştirilmesine neden olmaktadır. Bu bağlamda gelişmiş ülkelerde topraktan yararlanma olanaklarına dönük araştırmaların yapılması önem kazanmaktadır. Bu araştırmalar çevrenin korunması, hava, su ve toprak kirliliğinin önüne geçilmesi “sürdürülebilir kalkınma” kavramı üzerinde yoğunlaşmaktadır [1].

2.1.1 Geleneksel Kerpicin Tanımı

TS 2514’te verilen tanıma göre kerpiç, killi ve uygun nitelikteki toprağın içine saman veya diğer bitkisel lifler (saz türünden bitkiler, kaba ot, kenevir lifleri, ahır yemliklerinden toplanmış artık samanlar, kuru funda, çam iğneleri, ağaç dalları, testere, rende talaşları vb. maddeler) karıştırılıp su ile yoğrulduktan sonra kalıplara dökülerek şekillendirilmesi ve açık havada kurutulması ile elde edilen yapı malzemesidir [21].

TS 2515’teki tanıma göre kerpiç yapı, duvarları kerpiç ve çamur harcı ile yapılan, tavan ve kat döşemeleri ahşap olan binalardır [22].

Kerpiç çamuru hazırlamak için uygun toprak seçilir ya da toprağa kum veya kil, gerekiyor ise katkı maddesi katılır. Kerpiç toprağın biçimlendirilmesi için toprağın kıvamı iyi ayarlanmalıdır. Toprağın kıvamı katılan su miktarı ile değişir. Toprak - su karışımında su miktarı arttıkça kerpicin dayanımı azalır, kuruma zorlaşır. Kuruma sırasında rötire (büzülme) ve açılmalar (çatlama) oluşur. Karma suyunun azaltılması bu sakıncaları önler. Bu durumda kerpicin rötresi azalır, dayanıklılığı artar ve biçimi bozulmaz; ancak kalıplanması zorlaşır. Çamurun kalıba dengeli yerleştirilmesi gerekir. Çamurun kıvamı, uygulanacak yöntemle göre önceden denenerek belirlenmelidir. Kerpicin uygun kıvamı için gerekli su miktarı belirlendikten sonra katkı maddeleri katılacak ise, bir kısım katkı maddesi karışım için ayrılmalıdır. Geri kalan kısım su ile iyice karıştırıldıktan sonra en az bir gün dinlendirilmelidir. Çamuru oluşturan toprağın kuru ağırlığına göre belirlenen katkı maddesi (kireç, çimento, alçı) ayrılan suya katılır. Akıcı kıvamdaki bu karışım

dinlendirilmiş çamur ile iyice karıştırılır. Böylece tavlanmış olan çamur, kalıba yerleştirilmeye hazır duruma gelmiş olur. Çamurun karıştırılması ve kalıba yerleştirilmesi, katkı maddesinin katılma süresinden daha az olmalıdır. Kerpiç üretimi için uygun kıvamda hazırlanan bu çamur, kalıplara dökülerek şekillendirilir [24, 29].

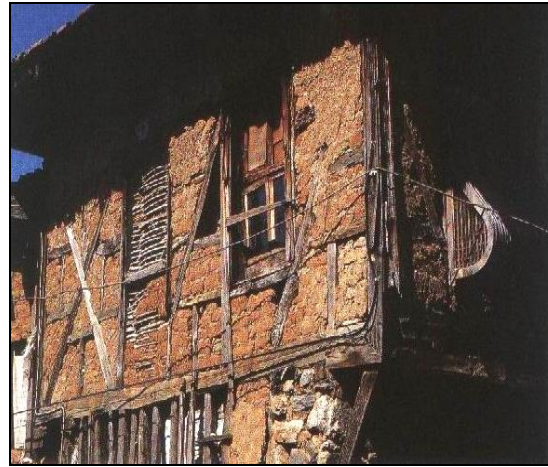
2.1.2 Geleneksel Kerpiç Üretim ve Kullanım Yöntemleri

2.1.2.1 Blok Kerpiç

Bu yöntemde ana ilke, kerpicing duvar örgüsü yapılabilecek boyutlarda üretilmesine dayanmaktadır. Ülkemizde en yaygın kullanılan yöntemdir. Kerpiç yapıların çoğunluğu blok kerpiç ile inşa edilmektedir. Yöreden yöreye farklılık göstermekle birlikte en çok kullanılan blok kerpiç boyutları ana kerpiç için 40 cm / 30 cm / 12 cm veya 30 cm / 18 cm / 12 cm, kuzu kerpiç için 40 cm / 19 cm / 12 cm veya 30 cm / 25 cm / 12 cm'dir. Yapıdaki kullanımı iki şekildedir. Birincisi, tüm duvarlar blok kerpiç ile örülüp yer yer ahşap hatıllar konularak bütünüyle taşıyıcı nitelik kazanır (Şekil 2.20). İkincisi ise, düşey ve yataylardan kurulmuş bir ahşap konstrüksiyon içine yerleştirilen blok kerpiç yapıda dolgu niteliği sağlar (Şekil 2.21) [24, 32, 23, 13].



Şekil 2.20 Tüm duvarın blok kerpiç ile örülmesi [25]



Şekil 2.21 Blok kerpiç dolgulu ev, Cumalıkızık, Bursa [13]

Dünyada tuğla boyutunda şekillendirilen blok kerpiç ile yapı yapımına yönelik çalışmalar sürmektedir. Yeni Zelanda'da deprem ve fırtınaya karşı içinde

yaşanılmaya devam edilen 150 yıllık blok kerpiç binalar vardır. 1998’de yürürlüğe giren, blok kerpiç yapım yöntemleri “NZ Earth Building Standards” ile Yeni Zelanda’da sayısı 600’ü bulan modern kerpiç bina inşa edilmiştir (Şekil 2.22) [11].



Şekil 2.22 Sahada kerpiç bloklar ile bina yapımı, Yeni Zelanda [11]

2.1.2.2 Omurgalı Kerpiç

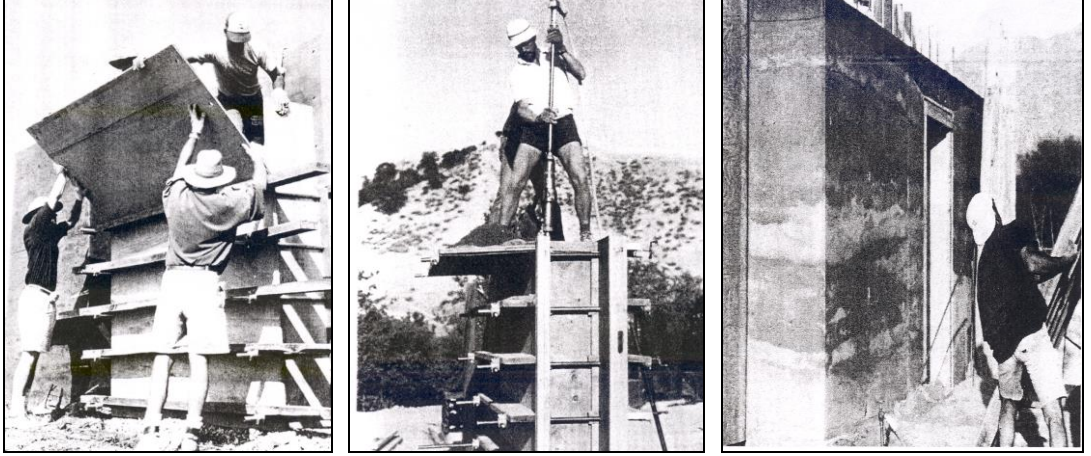
Omurgalı kerpiç yapı, duvar eninden daha kısa olan ahşap elemanların yan yana getirilmesi ve dökülen kerpiç tabakaların arasına konulması ile inşa edilir. Temel olarak, ahşap donatılara sahip kerpiç yöntemidir [2].

2.1.2.3 Yığma Kerpiç

Bitkisel katkı miktarı fazla olan kerpiç hamurunun (kum, kil ve su karışımının) taş bir temel üzerine yığılması ve tıraşlanarak duvar şeklinde kesilmesi ile elde edilmektedir. Fazla bilgiye gerek duyulmadan deneyimli insanlar tarafından basit yöntem ve el aletleri ile üretilmektedir [2].

2.1.2.4 Dövmе Kerpiç

Kerpiç çamurunun kalıplar içine dökülmesi ve tokmak ile dövülerek sıkıştırılmasıdır. Yapımında katkı maddeleri kullanıldığında geleneksel kerpiç yapılara göre dayanımları yüksek, düzgün yüzeyler elde edilmektedir (Şekil 2.23) [25].



Şekil 2.23 Duvar kalıbı içinde tokmaklama yöntemi ile kerpiç duvar yapımı [25]

2.1.3 Geleneksel Kerpіcin Olumlu Yönleri

Kerpiç, günümüzün konfor koşullarını yerine getiren, çağdaş teknolojinin uygulanmasına olanak sağlayan, nitelikleri geliştirilerek olumsuz yönleri giderilen bir yapı malzemesidir. Geleneksel kerpіcin olumlu yönleri [26, 27, 28, 29]:

- Kerpіcin ana maddesi olan toprak her yörede bulunur.
- Üretimi kolaydır, fazla teknik bilgiye gerek duyulmaz.
- Maliyeti düşük, işçilik ücreti ucuzdur.
- Soğuk ve ısıcağa karşı çok iyi bir yalıtıcıdır.
- Binalarda ısı yalıtımı sağlar. Bu durum, yapı fiziği açısından malzemenin doğal rengi, yüzeysel nitelikleri, ısı iletkenliği, ısı depolama, ısı yayma, koku emme ve nem alıp verme özelliklerine sahip olmasına bağlıdır.

- Yangına karşı dayanıklıdır. Kerpiç malzemenin DIN 4102 ve DIN 18951'e göre içinde yanıcı bir katkı bulunmadığında yanma, alev alma, duman ve koku çıkarma özelliği yoktur. İstanbul Büyükşehir Belediyesi Yangından Korunma Yönetmeliği'nde "...binalarda taşıyıcı duvarlar... en az F 90-A sınıfında inşa edilir..." denilmektedir. Buna göre 25 cm'lik kerpiç duvar, yangın yönetmeliğinde yeterli görülen 90 dk'dan fazla yangına dayanmaktadır. Kerpiç yapı malzemelerinin yangındaki davranışı İsviçre Kantonları Yangın Sigortası Birliği'nin çalışmasına (1993) dayanarak verilmektedir (Tablo 2.1).

Tablo 2.1 Kerpiç malzemelerin yangındaki davranışı [27]

Malzeme türü	Yoğunluk p (kg/m ³)	Kalınlık d (cm)	Alev alma duman	Yangına dayanım süresi
Masif kerpiç	2000	15-25	-	F 120 - F 180
Hafif kerpiç	900	25	-	F 180
Beton	2300	20	-	F 180 - A

- Malzeme özelliğine göre ses yalıtımı sağlar. SIA-Norm 181 değerlerine göre yapılan hesaplar sonucu, kerpiç malzemelerin kullanılma kalınlığına göre ses yalıtım değeri Tablo 2.2'de görülmektedir.

Tablo 2.2 Kerpiç malzemelerin ses yalıtım değeri [28]

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

- Üretimi ve kullanımında az enerji tüketilir. Örneğin, 1 m³ beton elde etmek için 300-500 kwh enerji gerekirken, aynı miktarda kerpiç elde etmek için 3 - 5 kwh enerji yeterlidir.
- Çevreyi kirletmez.
- Haşereden etkilenmez, bakım ve onarımı kolaydır.

2.1.4 Geleneksel Kerpicin Olumsuz Yönleri

Geleneksel kerpicin olumsuz yönleri [31, 26]:

- Suya karşı direnci zayıftır.
- Üretimi hava koşullarına bağlıdır. Yağışlı havalarda kerpiç üretimi yapılamaz.
- Kuruma sırasında gerilme, kamburlaşma, çatlamaya bağlı olarak dağılma gösterir.
- Sıcaklık etkisi ile iç yapısında çekme gerilmeleri oluşur.
- Düzenli olarak bakım ve onarım ister.

2.1.5 Geleneksel Kerpicin İyileştirilmesi

Kerpicin pek çok olumlu yönü olmasına karşın suya duyarlılığının azaltılması, basınç dayanımının artırılması için çeşitli katkı maddeleri katılarak malzemenin iyileştirilmesi sağlanmalıdır [9].

2.1.5.1 Saman ve Benzeri Lifler Katılması

Kerpicin malzeme dayanımını artırmak için içine saman ve benzeri liflerin katılması eskiden beri bilinen ve uygulanan bir yöntemdir. Lifler, çekme gerilmelerini aldığı için kuruma çatlaklarını önler ve malzemenin kohezyonunu (birleşme / yapışma) artırarak statik (taşıyıcılık) dayanımını güçlendirir [32].

2.1.5.2 Bitüm Katılması

Kerpicin fiziksel özelliklerini ve yağmura karşı dayanımını artırmak için toprağın içine çözelti halinde bitüm katılır. Bitüm toprağa karıştıktan sonra su veya çözen buharlaşır. Bitüm damlaları iç sürtünmeyi bozmayacak kalınlıkta bir film tabaka halinde kil tanelerini sararak yapışmayı artırır ve su geçirimsizliği sağlar. Amerika’da yapılan araştırmalar toprağa katılacak en uygun bitüm miktarının % 4 - % 9 olduğunu göstermektedir [9].

2.1.5.3 Bağlayıcı Nitelikteki Endüstri Atıkları Katılması

Endüstri atıkları içerisinde toprağın dayanımını artıran yapıştırıcı maddeler vardır. Örneğin, selüloz ($C_6H_{10}O_5$) endüstrisi atığı olan sıvılar toprağa katıldığında toprağın dayanımını artar [31].

2.1.5.4 Kireç Katılması

Kireç, kireçtaşının ($CaCO_3$ - $CaMg(CO_2)$) çeşitli derecelerde ($850 - 1400^{\circ}C$) pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında türüne göre hava veya suda katılaşma özelliği gösteren, beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür. Kireç, kagır malzeme ile yüksek aderans (yapışma) gösterir ve kirecin deformasyonu (biçimin bozulması) fazladır. Bu nedenle, plastik bir bünyeye sahip olan kireç harçlarının işlenebilme ve yerleşme özelliği fazladır [33].

Kireç, genellikle yüksek kil miktarına sahip plastik özellikli toprak ile kullanılır. Toprağa kireç katılması iki farklı davranışa neden olur. Birincisi, toprağın plastik ve likit (sıvı) limitlerinin düşmesi ile kompaksiyon (sıkıştırma) için daha uygun hale getirilmesidir. İkincisi, uzun sürede bir kısım kil mineralleri ile tepkimeler sonucunda toprağın birleştirilmesidir. Toprağa kil mineralleri karıştırıldığında, toprağın dayanımı yükselir ve porozitesi (boşluk miktarı) azalır. Kireç, toprağın içine toz veya lapa (bulamaç) halinde katılır [9].

2.1.5.5 Çimento Katılması

Çimento, belli oranlarda katılan kil ($mSiO_2.nAl_2O_3.pH_2O$), demir oksit (Fe_2O_3) ve kalker ($CaCO_3$) karışımının çeşitli derecelerde ($1200 - 1450^{\circ}C$) pişirilmesi sonucu elde edilen, hava ve suda katılaşma özelliği gösteren, gri veya beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür. Çimento tanecikleri 6,5 - 90 mikrondur. Çimentonun inceliği, hidrasyon olayını hızlandırıcı ve bağlayıcılık değerini artırıcı bir etkidir. Suyu geçen çimento yüzeyinin artması hidrasyonu hızlandırır, karışımın dayanımını yükseltir [33].

Çimento, toprak içinde bir iskelet oluşturur. Hidrasyon sonucu oluşan bu iskelet, karışımın dayanımını artırır ve boşluk hacmini azaltır. Çimento, kil miktarı düşük ve yapışkan olmayan toprağa katılır ise olumlu sonuç elde edilir [34].

2.1.5.6 Alçı Katılması

Alçı, alçıtaşının çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında kısa sürede katılaşma özelliği gösteren, beyaz renkli, inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür. Alçı katılaşma sırasında bir miktar ısı verir, rötreye ve çatlama göstermez. Alçının 80 - 90°C'deki 60 - 90 N/mm² basınç dayanımı portland çimentosu basınç dayanımından yüksektir [33].

Alçı su ile karıştırıldığında 5 - 8 dk priz (katılaşma), kerpiç ile çalışılacak olan süreyi kısaltır. Bu nedenle bu sürenin kontrol altına alınması için toprağa kireç katılarak ile alçının priz başlangıcı 12 - 13 dk'ya çıkarılabilmektedir [9].

Alçı, kilde kuruma başlamadan priz yaparak malzeme içerisinde iskelet oluşturur. İskelet, kuruma sırasında birbirine yaklaştırmaya çalışan kil parçacıklarının hareketini engeller. Malzeme bünyesinde oluşan iç gerilmeler ile rötreye ve birim ağırlık azalır. Alçının rötreyi engellemesi, kuruma sırasında karışımdaki suyun buharlaşması ile oluşan hava boşluklarının malzemeye ince gözeneklilik kazandırmasına yol açar. Böylece kerpicingin ısı geçirme direnci, basınç ve eğilmede çekme dayanımları artar [9]. Toprağa çimento yerine alçı katılması, çimentodan tasarruf edilerek çimentonun yapıda başka yerlerde kullanılmasına (temelde, sulu hacimlerde vb.) olanak sağlar. Alçı katkılı kerpicingin çimento katkılı kerpice ve diğer katkı maddelerine göre maliyeti daha düşüktür. Aynı zamanda alçı katkılı toprak kür işlemi ve işçilik gerektirmeden kalıptan çıktığı gibi kullanılmaktadır [3].

Bazı ülkelerde bitüm, kireç, çeşitli endüstri atıkları, yaygın olarak da çimento gibi katkı maddeleri bağlayıcı olarak kullanılmaktadır. Buna karşılık, TÜBİTAK MAG 505 ve TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 No.lu proje ile elde edilen deney sonuçlarına göre alçının yukarıda belirtilen özellikleri ve her yerde kolaylıkla üretilmesi ile toprak malzeme içine alçı katılarak geleneksel kerpiç yapı malzemesi iyileştirilmiştir [9, 3].

2.2 Alkerin Tanımı

1980'den bu güne yapılan araştırmalarda geleneksel kerpiç alçı katılıp güçlendirilmiştir. Alker çorak toprağa % 10 alçı, % 2 kireç ve toprağın nemine göre % 20 - % 24 su katılarak elde edilen bir yapı malzemesidir [9].

2.3 Alker Çalışmaları

Alker çalışmalarını içeren proje araştırmaları ve deneme yapıları sırasıyla aşağıda açıklanmaktadır [9, 36, 3, 1, 35]:

- 1980’de hazırlanan TÜBİTAK MAG 505 No.lu projede kırsal yöre yerleşimlerinde yapıların iyileştirilmesi, günümüz koşullarına uygun ve yeterli sayıda konut üretilmesi amacıyla toprağın yapı malzemesi olarak değerlendirilmesinin yolları aranmış ve alçı ile stabilize (iyileştirme) olanakları araştırılmıştır. Killi toprağın granülometrik (tane ölçümü) bileşimi incelenmiş, alçı ve kireç katılması ile hazırlanan deney numunelerinin fiziksel ve mekanik özelliklerine göre karışımdaki oranları belirlenmiştir.
- 1983’de Deneme I Yapısı İTÜ Anaokulu binası, alkerin inşaata uyarlanabilmesi amacıyla Mimar Cemal Tanrıverdi tarafından “Alçılı Kerpicing Üretim Olanaklarının Araştırılması” konulu Yüksek Lisans tezi yapılmıştır. Bu tezde belirlenen koşullarda uygun toprak türünün seçimi, karışımın hazırlanma olanakları, kalıp seçenekleri, blok döküm koşulları araştırılmıştır.
- 1987’de Deneme I Yapısı’nda bir yıl altı ay süre ile ısı ve nem ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler sonucu yapının yıllık enerji kullanımı, duvarın ısı geçiş katsayısı belirlenmiştir.
- 1991’de kerpiç duvar üzerinde sıva araştırması yapılmıştır. “Alker Duvar Üzerinde Hazır Sıvaların Davranışı” konulu çalışma beş yıl sürmüştür. 1995’te Deneme II Yapısı inşa edilmiştir. Yapım süresi boyunca yapılan araştırma, uygulama ve deneyler “Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi” konulu TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 No.lu proje olarak yayınlanmıştır.
- 1997’de alker bina yapımının topluma kazandırılması amacıyla Altınoluk’ta yapı alanı 240 m²’lik yazlık konut Deneme III Yapısı inşa edilmiştir.

- 1999’da Deneme II Yapısı üzerinde hasarsız deprem testi yapılarak alker yapının depremde göstereceği tepkinin GAP Bölgesi jeolojik yapısında kullanılmaya uygunluğu incelenmiştir.
- 2000’de Birecik Barajı suyundan etkilenen yerleşmelerin zorunlu olarak yer değiştirmesi ve özellikle kırsal yöredeki konut gereksiniminin karşılanması üzerine “GAP Bölgesi İnsan Yerleşmelerine” katkı sağlamak amacıyla çimento katkılı topraktan elde edilen bloklar ile Deneme IV Yapısı lojman binası inşa edilerek malzemenin toplu konutta kullanılabilirliği araştırılmıştır.

2.4 Alkerin Özellikleri

2.4.1 Alkerin Fiziksel Özellikleri

Alker rötre, su emme, ısı depolama vb. fiziksel özellikleri ile bir duvar malzemesinden beklenen performansları yerine getirmektedir (Tablo 2.3) [9].

Tablo 2.3 Alkerin fiziksel özellikleri [9]

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)	-

Geleneksel kerpice alçı katılması, kerpicingin rötre yapmasını engeller. Buharlaştıran suyun yerini hava boşluklarına bırakması ile alker, ısı depolama özelliği kazanır [9].

Alker 0,4 W/mK ısı geçiş katsayısı, buhar difüzyonu (yayınımı) ve ısı depolama özelliği ile TS 825 standardı koşullarını yerine getirmektedir. Bu durum, mekanların aşırı sıcak veya soğuk olmasını engellemektedir [9, 3].

Geleneksel kerpice kireç katıldığında malzemenin su emme oranı azalmakta, su etkisiyle dağılması önlenmekte, alçının priz süresi uzamakta, karışımın işlenebilirliği artmaktadır [9].

Alker duvar kesitinin homojen olması, duvarın yapı fiziği açısından dengeli davranmasını sağlar. Ayrıca duvarı fiziksel ve kimyasal eskimelerden korur, yüzeyinde küf ve mikroorganizmaların oluşmasını önler [3].

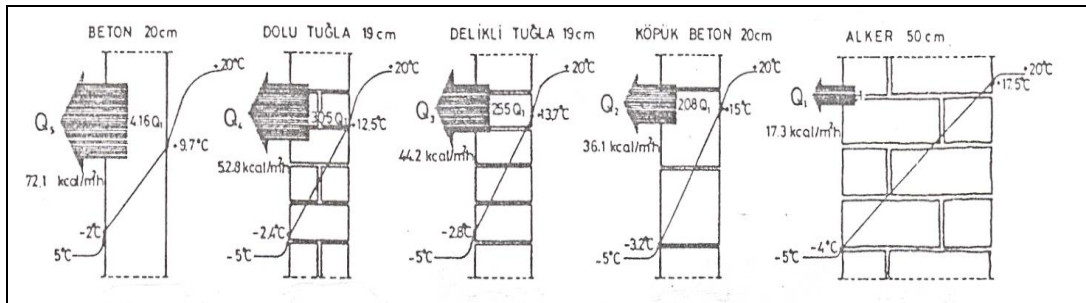
Alker, duvar yapı klimatolojisi (doğal iklimlendirme) ve yapı fiziği açısından istenilen nitelikleri karşılar (Tablo 2.4). Böylece ek bir izolasyon malzemesine gerek duyulmadan tek başına sağlıklı yapı inşa edilmesini sağlar [29].

Tablo 2.4 Çeşitli duvar türlerinin yapı klimatolojisi yönünden nitelikleri (*) [29]

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

(*) İç ortam +20°C, dış ortam -5°C olarak alınmıştır.

Alker, yapı malzemesi olarak kullanılan binalarda yüksek ısı yalıtımı sağlar. Bu malzemenin ısı depolama değeri diğer duvar malzemeleri ile karşılaştırıldığında en az ısı kaybının 17,3 kcal/m²h ile alker duvarda olduğu görülmektedir (Şekil 2.24) [29].



Şekil 2.24 Alker malzemenin ısı depolama değerinin diğer duvar malzemeleri ile karşılaştırılması [29]

Altınoluk'ta 1997'de inşa edilen Deneme III Yapısının ısıtılması için kalorifer tesisatı döşenmiştir. Kış döneminde de konutta oturan insanlar salonda yakılan soba ile ısınmakta ve kalorifer tesisatını kullanmamaktadır. Bu da yapının yaz ve kış iklim koşullarında konfor sağladığını göstermektedir.

2.4.2 Alkerin Mekanik Özellikleri

Yığma yapı duvarlarında yükler yukarıdan aşağıya doğru üçgen biçimde yayılır. Taşıyıcı duvardaki basınç gerilmeleri duvarın alt bölgesinde daha fazladır. Düşey yüklerin artması, yatay yüklerin bileşkesini etkileyerek moment etkisini azaltır [26]. Yığma duvarların bu davranışı ağır alker yapı için bir üstünlüktür [3].

Alçının çabuk priz yapması kilin kuruma sırasında yapacağı rötne, çatlama ve deformasyonu önleyerek basınç dayanımının artmasını sağlar [9].

Eğilmede çekme dayanımının normal kerpice göre daha fazla olması, kuvvet etkileri ile alkerin kırılma ve dağılmasını önler [26].

Alker duvar alanı yapı alanının % 25'ini oluşturur. Örneğin, yapı alanı 100 m² olan alker yapının taşıyıcı duvar alanı 25 m²'dir. Bu değer, deprem kuvvetlerinin karşılanmasına önemli katkı sağlar [35]. Alkerin mekanik özellikleri Tablo 2.5'te verilmektedir [9].

Tablo 2.5 Alkerin mekanik özellikleri [9]

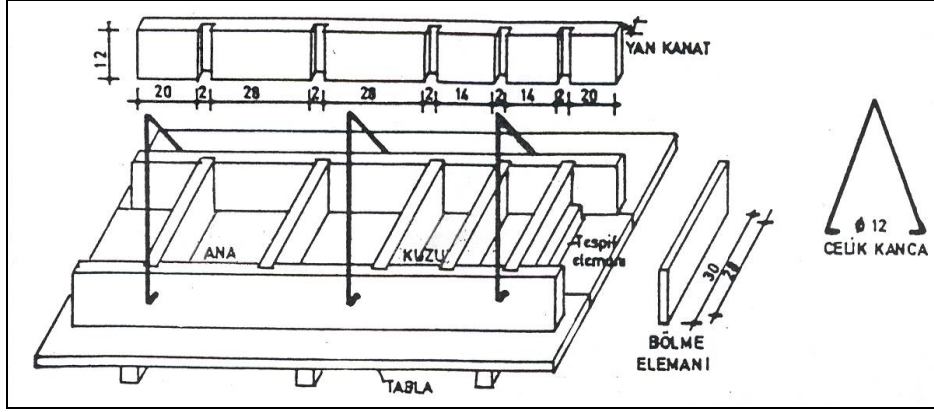
Özellik	Değer
Birim ağırlık (kg/l)	1,6 - 1,7
Basınç dayanımı (N/mm ²)	2,0 - 4,0
Kesme dayanımı (N/mm ²)	0,9 - 1,3

2.5 Alker Yapım Teknikleri

Bu güne dek alker duvar yapımında, tuğla boyutunda şekillendirilen alker bloklar ile duvar örülmesi tekniği ve duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği uygulanmıştır. Duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile inşaat yapımı, hem kendi evini yapan için hem de toplu konut yapımı için alkeri uygulanabilir kılmaktadır.

2.5.1 Tuğla Boyutunda Şekillendirilen Alker Bloklar İle Duvar Örülmesi

Alker bloklar ile duvar yığma yapı kurallarına göre örülmelidir. Deneme I Yapısı İTÜ Anaokulu binası inşaatında kullanılan alker blok boyutu ana alker için 28 cm / 28 cm / 12 cm, kuzu alker için 28 cm / 14 cm / 12 cm'dir (Şekil 2.25) [36]. Çevredeki beton üretim tesislerinden yararlanılarak mekanik döküm araçları ile alker bloklar seri bir şekilde üretilmektedir. Alker araştırmaları kapsamında 1983'te yapımı bitirilen Deneme I Yapısı İTÜ Anaokulu binası, tuğla boyutunda şekillendirilen alker bloklar ile duvar örülmesi tekniğine göre inşa edilmiştir (Şekil 2.26) [3]. İki oda, salon, mutfak ve banyo ile konut binası olarak yapımına başlanılan yapı, anaokulu binasına hizmet verecek şekilde düzenlenmiş ve bu amaçla dokuz yıl kullanılmıştır [1,3].



Şekil 2.25 İTÜ Anaokulu binası yapımında kullanılan alker blok kalıp elemanları [36]



Şekil 2.26 İTÜ Anaokulu binası dış ve iç mekan görünüşü [3]

2.5.2 Duvar Kalıbı İçinde Alkerin Tokmaklanması

Endüstriyel ve rasyonel ölçülü kalıplar kullanılarak kısa sürede duvar inşaatının yapılabilmesi, daha düzgün duvar yüzeyleri elde edilebilmesi açısından tuğla boyutunda şekillendirilen alker bloklar ile duvar örülmesi tekniğine göre geliştirilmiş bir tekniktir [3].

Duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği yapım süreci; ham malzemenin, kalıpların ve alker karışımının hazırlanması ile karışımın duvar kalıbı içine taşınması, yerleştirilmesi ve kalıpların sökülmesine bağlıdır [3].

Karışım katılan suyun 1/3'ü betonyerdeki toprakta kısa bir süre, kalan 2/3'ü % 2 kireç ve % 10 alçı ile yarım dakika karıştırılır. Daha sonra su-kireç-alçı karışımı betonyerde beton karıştırıcısında iki dakika karıştırılır [3].

Beton karıştırıcısında karıştırılan alker karışım betonyere doldurulur. Küreklerle duvar kalıbının içine boşaltılır. Duvar kalıbı olarak elle taşınabilir boyutlardaki endüstriyel beton kalıpları kullanılmaktadır (Bkz. Şekil 2.27). Her 20 cm'de bir yükseklikte tokmaklama işlemi yapılır. Tokmaklama işlemi için elektrikli darbe seti, benzinli kanal kompaktörü (otomatik tokmak) ve 9 kg'lık inşaat balyozu gibi değişik ekipmanlar kullanılmaktadır. Sıkıştırma ve yerleştirme işlemi için en iyi sonuç, vibrasyonlu kompaktör kullanımı ile alınır (Bkz. Şekil 2.28). Bir kişi tarafından kullanılan kompaktör ile çok daha düzgün yüzeyler elde edilir (Bkz. Şekil 2.29). Köşelerin yan duvar yüzeylerinin iyice sıkıştırılabilmesi için, kalıp içinde küçük kompaktör denenmesinde ve bu bölgelerdeki sıkıştırma işleminin balyozla tokmaklanarak desteklenmesinde yarar görülmektedir [3].

Yapı sisteminin stabilizasyonu (iyileştirilmesi) için duvar kalıbı içinde alker karışım yükseltilirken, deprem etkisiyle diyagonal (köşegen) çatlakları oluşturan kuvvetleri karşılamak için her 60 cm'de bir yükseklikte galvanizli (çinko ile kaplanmış) hasır çelik yerleştirilir. Alçı katkılı toprak yapılar da rötre oranı % 4 - % 5'ten % 1,07'ye indirilir. Buna rağmen, her 1 m'de 1 cm rötre çatlağı oluşur. Galvanizli hasır çelik donatı aynı zamanda iş derzlerini (aralığını) engelleyerek rötre çatlaklarının oluşmasını önler. Kalıplar söküldükten sonra düzgün duvar yüzeyler elde edilir [3].

Alker araştırmaları kapsamında 1994'te yapımına başlanan ve 1995'te yapımı tamamlanan, yapı alanı 100 m² olan Alker Deneme II Yapısı (Bkz. şekil 2.30), 1996'da Uluslararası Habitat II delegelerini ağırlamıştır [3].

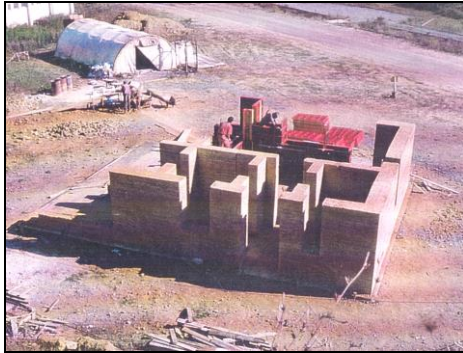
Altınoluk'ta 1997'de yapılan Deneme III Yapısı yazlık konutu da duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile inşa edilmiştir [1] (Bkz. şekil 2.31).



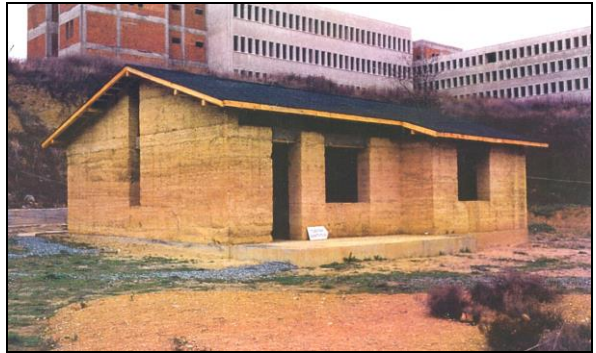
şekil 2.27 Endüstriyel kalıpların hazırlanması [3]



şekil 2.28 Vibrasyonlu kompaktör ile sıkıştırma işlemi [3]



şekil 2.29 Alker Deneme II Yapısı duvarları [3]



şekil 2.30 Alker Deneme II Yapısı, 1995 [3]



şekil 2.31 Alker Deneme III Yapısı, Altınoluk, 1997 [37]

3. PÜSKÜRTME BETON (SHOTCRETE) TEKNİĞİ

Püskürtme beton tekniğinin TS 11747'ye göre tanımı, uygulama alanları, bileşimi, ekipmanları, uygulama öncesi yapılacak işlemler, karışımların hazırlanması, uygulanmasında dikkat edilecek hususlar, yüzey tamamlama işlemleri ve kür edilmesi bu bölümde incelenmektedir [38].

3.1 Püskürtme Beton Tekniğinin Tanımı

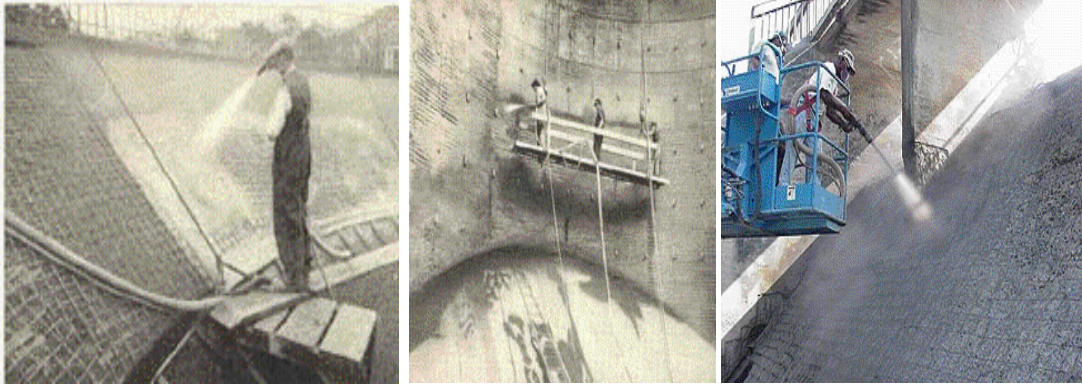
TS 11747'e göre püskürtme beton:

“Püskürtme beton, onarım veya yapım amacıyla önceden hazırlanmış olan betonun basınçlı hava yardımı ile yüksek hızla uygulama yüzeyi veya uygulama alanına püskürtülerek elde edilen betondur”

olarak tanımlanan tekniktir [38].

Püskürtme betonun tarihçesi [39, 40]:

- İlk püskürtme beton makinesi 1907'de Carl Ethan Akeley tarafından dinazor modeli yapmak amacıyla üretildi.
- Carl Ethan Akeley'in dizaynı 1915'te Cement Gun Company tarafından geliştirildi.
- Kuru karışım harçlarının püskürtülmesi işlemine “Gunit” adı verildi. 1930'larda Amerikan Demiryolu Mühendisleri Birliği “Shotcrete” sözcüğünü “Gunit” işlemini tanımlamak amacıyla kullanmaya başladı.
- Kuru karışımın basınçlı hava ile iletimi ve sürekli akışı 1950'de sağlandı. Agregaların kuru karışımda kullanılmasına başlandı. Meynadier ve Aliva daha sonra bu yöntemi geliştirdiler.
- Yaş püskürtme yöntemi 1960'ta kullanıldı.
- ACI, 1960'ta “Shotcrete” sözcüğünü kuru ve yaş yöntem ile püskürtülen harçlar ve betonlara uyarladı.



Şekil 3.1 1930, 1950 ve 2000’lerde püskürtme beton tekniği uygulaması [40, 41]

3.2 Püskürtme Beton Tekniği Uygulama Alanları

Püskürtme beton tekniği uygulama alanları ve örnekleri [41, 42]:

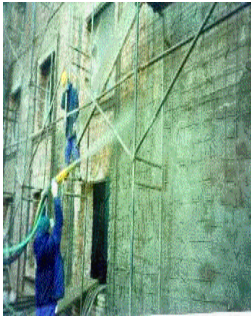
- Tünel (su tünelleri, atık su - kanal tünelleri, karayolu tünelleri) ve sıvı depoları (Bkz. Şekil 3.2, Şekil 3.3),
- Sığınak, otopark gibi yeraltı genel kullanım yapıları,
- Mevcut kagir, tuğla, çelik ve beton yapıların yüzeylerinin güçlendirilmesi, onarımı ve yenilenmesi (Bkz. Şekil 3.4, Şekil 3.5, Şekil 3.6),
- Kabuk veya katlanmış plak çatılar (Bkz. Şekil 3.7),
- Konut, ofis binaları (Bkz. Şekil 3.8, Şekil 3.9, Şekil 3.10),
- Havuz yapımı (Bkz. Şekil 3.11),
- İstinat duvarı yapımı (Bkz. Şekil 3.12),
- Çelik yapıların sıcaktan korunması ve kuvvetlendirilmesi,
- Kalıp yapımının zor olduğu ve ekonomik olmadığı durumlarda, betonun yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasının güç olduğu veya betonun ince bir tabaka olarak uygulanması gereken yerlerde kullanımıdır (Bkz. Şekil 3.13).



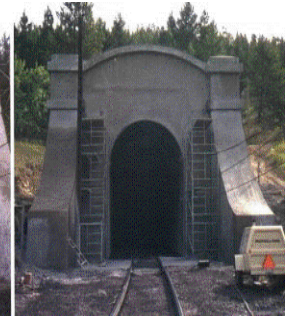
Şekil 3.2 Yeraltı tünel yapımı [43, 44]



Şekil 3.3 Karayolu tünel yapımı, Newport Beach, Kanada [41]



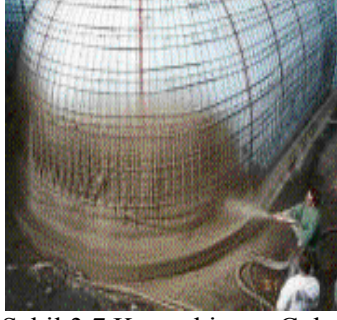
Şekil 3.4 Kagir yapının güçlendirilmesi, Kazakistan [45]



Şekil 3.5 Tünel onarımı, Winter Park, Kolombiya [41]



Şekil 3.6 Metro tünel yenilemesi, New York [41]



Şekil 3.7 Konut binası, Colorado [41]



Şekil 3.8 Konut binası duvar ve tavan püskürtmesi [45] Şekil 3.9 Konut binası, Medford [45]



Şekil 3.10 Ofis binası, Denver, Kolombiya [41]



Şekil 3.11 Organik formulu havuz, Dominik Cumhuriyeti [41]



Şekil 3.12 Köprü istinat duvarı, Azerbaycan [41] ve otoyol şev duvarı [46]



Şekil 3.13 Patinaj sahası, Azerbaycan [41]

3.3 Püskürtme Beton Bileşimi

3.3.1 Agregalar

Püskürtme beton hazırlanmasında kullanılan agregalar TS 706'da belirtilen koşulları sağlamalıdır. Tane çapı 0 - 7 mm olan kum ince agregalar, tane çapı 7 mm - 30 mm olan çakıl iri agregalardır. Püskürtme beton tekniği uygulamalarında iletim hattı çapı ve geri sıçrama vb. limitlerinden dolayı çapı 16 mm'den iri agregalar kullanılmamalıdır. En iri tane büyüklüğü dağıtım hortumu çapının 1/3'ünden büyük olmamalıdır. Püskürtme beton ekipmanlarında aşınmanın en aza indirilmesi ve betonun iyi pompalanabilmesi için yuvarlak biçimli agregalar yeğlenmelidir. Kuru karışım püskürtme beton tekniğinde beton karışımında kullanılacak kum kütlesi % 3 - % 6 neme sahip olmalıdır. Agregalar, ayrışma ve aşınmaya karşı dayanıklı olmalıdır. İçinde kil, silt, mika alkaliler, organik malzemeler bulunmamalı ve 0,075 mm²'den daha ince agregalar miktarı % 2'yi geçmemelidir [47, 38, 39].

3.3.2 Çimento

Püskürtme beton tekniği uygulamalarında portland, katkılı veya erken dayanımı yüksek çimentolar kullanılmalıdır. Portland çimentosu ile katkılı çimento normal işlerde, erken dayanımı yüksek çimento ise hızlı priz gerektiren onarımlarda, ısıya dayanıklı yapı ve asitli ortamlardaki uygulamalarda kullanılmalıdır. Püskürtme beton bileşiminde istenilen aderansı elde etmek için kullanılan çimento miktarı 350 - 400 kg/m³ olup bu değer normal betona göre daha fazladır [38].

3.3.3 Su

Püskürtme beton tekniği uygulamalarında kullanılacak su, TS 1247'de belirtilen beton karma suyu özelliğinde olmalı ve doğal su kullanılmamalıdır. Bu özelliklere sahip su sağlanamaz ise karışım suyunun uygunluğu TS 11747'deki gibi olmalıdır.

Su / çimento oranı kuru veya yaş karışıma göre farklıdır. Genel olarak kuru karışımda bu oran % 50 - % 55 değişirken, yaş karışımda % 50'nin altındadır. Kuru karışımda su miktarına, karışıma püskürtme sırasında (tabancada) katıldığı için ayrıca dikkat edilmelidir. Püskürtülen plastik karışımın sıkı olması, az zayıt vermesi ve gerekli sertlikte olup akmaması uygun su ayarı ile sağlanır [38].

3.3.4 Katkı Maddeleri

Püskürtme beton katkı maddeleri, yerine yerleştirilmemiş taze betonun fiziksel özellikleri (pompalanabilirlik, işlenebilirlik, kıvam, yapışkanlık, priz süresi vb.) ile yerine yerleştirilmiş sertleşme sürecindeki betonun fiziksel ve dayanım özelliklerini kontrol etmek için betona katılır. Ancak, bu maddeler betonun belirli bazı özelliklerini iyileştirirken, bazı özelliklerini olumsuz etkileyebilir. Bu nedenle denenmiş, iyi sonuç alınmış katkı maddeleri kullanılmalıdır [42, 47].

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri, düşük hava sıcaklıklarında ya da erken dayanım ve ani prizin gerekli olduğu yerlerde kullanılır. Ani priz hızlandırıcılar, priz başlangıcının 75 ± 15 saniye, priz bitişinin ise 150 ± 30 saniye olmasını sağlar [38].

Hava sürükleyici katkı maddeleri, donma ve çözülme etkisinde kalacak olan yaş karışımli püskürtme beton tekniğinde kullanılır. Bu katkı maddeleri, püskürtme betonu işlenebilirlik yönünden iyileştirir ve geri sıçrayıp dökülen beton miktarını azaltır [38].

Su azaltıcı katkı maddeleri, su / çimento oranını düşürmek ve betona işlenebilirlik sağlamak üzere yaş karışımlı püskürtme beton tekniğinde kullanılır [38].

Priz geciktirici katkı maddeleri, prizin geç olmasını gerektiren durumlarda katılmalıdır [38].

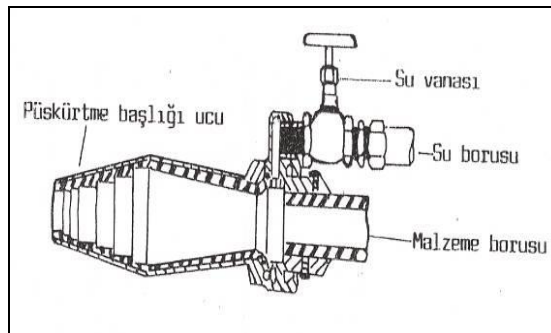
3.4 Püskürtme Beton Ekipmanları

Kuru karışımlı ve yaş karışımlı püskürtme beton ekipmanları ön karışım ekipmanları, karışım ve dağıtım elemanlarından oluşmaktadır [38].

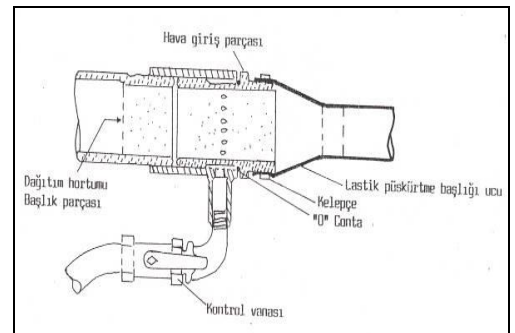
Ön karışım ekipmanları, dağıtım elemanına gelmeden önce beton bileşenlerini kütle esasına göre alıp karıştıran betonyer, beton santrali, transmikser (döner kazanlı kamyon) ve bunker taşıyıcı bantlardır. Bu ekipmanlarda karışmış olarak gelen malzeme, dağıtım elemanlarında toplanıp basınçlı hava ile sıkıştırılır ve püskürtülmek üzere dağıtım hortumu aracılığı ile püskürtme başlığına gönderilir [38].

Karışım ve dağıtım elemanları hava, su ve püskürtme ucuna malzeme taşıyan hortumlardır. Hava hortumu, kompresörden elde edilen basınçlı havayı dağıtım elemanlarına aktarır. Su hortumu, kuru karışımlı püskürtme uygulamasında püskürtme esnasında su vanasından ayarlanan suyu püskürtür. Püskürtme ucuna malzeme taşıyan hortum ise dağıtım elemanlarından gelen kuru veya yaş karışımı kompresörden gelen basınçlı havanın yardımı ile uygulama yüzeyine püskürtür [38].

Dağıtım elemanlarından gelen kuru veya yaş karışım, kompresörden gelen basınçlı hava yardımı ile uygulama yüzeyine püskürtme başlıkları ile püskürtülür (Şekil 3.14, Şekil 3.15) [38].



Şekil 3.14 Kuru karışım püskürtme başlığı [38]



Şekil 3.15 Yaş karışım püskürtme başlığı [38]

Kuru karışım püskürtme beton makinesi Şekil 3.16’da, yaş karışım püskürtme beton makinesi Şekil 3.17’de ve yaş karışımın hazırlandığı beton hazırlama santrali Şekil 3.18’de gösterilmektedir.



Şekil 3.16 Kuru karışım püskürtme beton makinesi [48]



Şekil 3.17 Yaş karışım püskürtme beton makinesi [48]



Şekil 3.18 Yaş karışım püskürtme beton hazırlama santrali [49]

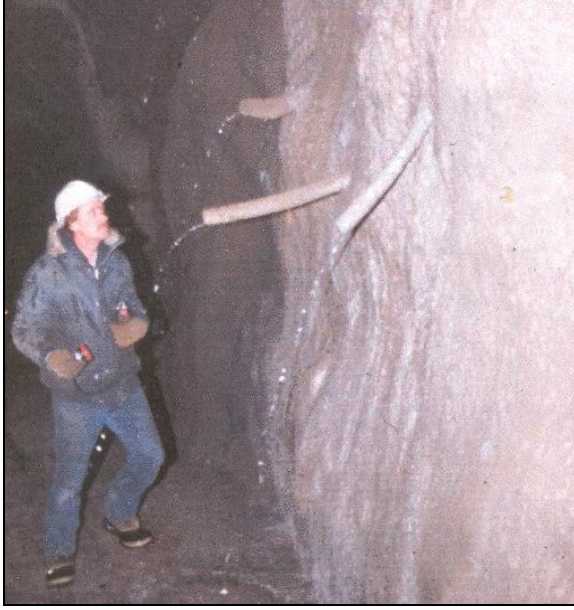
3.5 Uygulama Öncesi Yapılacak İşlemler

3.5.1 Ön İşlemler

Püskürtme beton tekniği uygulamasından önce yapılacak ön işlemler, yüzey ve kalıp hazırlığıdır [38].

Püskürtme uygulanacak olan yüzeyler toprak, kaya, beton ve metal yüzeylerdir. Tüm yüzeyler temiz ve tozsuz olmalıdır. Toprak ve kaya yüzeyler püskürtme uygulamasından önce sıkıştırılıp toz, yabancı madde ve gevşek malzemelerden arındırılarak tesviye edilir. Toprak, kaya ve beton yüzeyler nemli olmalı, yüzeyde donmuş veya serbest halde su bulunmamalıdır. Herhangi bir su akışı

varsa, Şekil 3.19’da görüldüğü gibi su uygun bir drenaj ile yüzeyden uzaklaştırılmalıdır [38, 47].



Şekil 3.19 Plastik borular ile suyun yüzeyden uzaklaştırılması [41]

Püskürtme beton kalıpları çelik, ahşap vb. malzemelerden yapılır. Kullanılacak kalıplar herhangi bir deformasyona uğramayacak şekilde dayanıklı olmalıdır. Kalıplar, uygulama sırasında geri sıçrayıp düşecek malzemenin düşmesine engel olmayacak ve betona sıkışmış havanın boşaltılmasına olanak sağlayacak şekilde tasarlanmalıdır. Çelik kalıplar kalıp yağı ile yağlanmalıdır [38].

Püskürtme betona yük binen kısımlarda kullanılacak olan çelik kafes, hasır çelik kafes veya çubukların kaynaklanması ile bulunduğu yerde hazırlanabilir. Donatı uygulamadan önce klama, kama, kanca, dübel gibi yardımcı parçalar, uygulama sırasında donatı formu ve pas payının bozulmaması için yüzeye sağlam bir şekilde tespit edilmelidir. Çok katlı donatı kullanılacak ise her kat için önce donatının konulacağı yere dek beton püskürtülmeli, sonra donatı yerleştirilmelidir [38].

3.5.2 Karışım Oranlarının Belirlenmesi

Püskürtme beton karışım oranları, beton basınç dayanımı esas alınarak belirlenir. İnce kaplamalarda dayanıklılık, geçirgenlik, rötire gibi özellikler göz önünde bulundurulmalıdır [38].

Kuru karışumlu püskürtme betonun çimento miktarı 300 - 500 kg/m³, agrega içindeki çakıl % 20 - % 40, su / çimento % 35 - % 50 olmalıdır [38].

Yaş karışumlu püskürtme betonun çimento miktarı 300 - 500 kg/m³, agrega içindeki çakıl % 20 - % 40, su / çimento % 35 - % 55, çökme 4 cm - 10 cm ve hava % 5 - % 8 olmalıdır [38].

Püskürtme beton karışım oranlarının uygulamadan önce hangi oranda gerçekleştiğini belirlemek için, yapım öncesi hazırlanan karışım oranları denenmelidir. Karışım oranlarının denenmesi, gerçek çalışma koşullarında çelik veya ahşap deney panelleri ile yapılmalıdır. Her değişik karışım için ayrı paneller kullanılmalı ve bu panellere değişik pozisyonlarda (konumlarda) püskürtme yapılmalıdır. Deney panellerine püskürtülen beton kalınlığı 100 mm'den küçük olmamalıdır. Deneyler için kenarları 450 mm olan kare biçimindeki deney panelleri kullanılmalıdır [38, 39].

Hazırlanan panellerden kare veya karot (silindir) biçiminde numuneler alınmalıdır. Gerekli dayanım elde edilene dek deney çalışmaları sürdürülmeli ve bulunan sonuçlar uygulamanın ilk aşamasında alınmış olan numunelerle kıyaslanarak doğrulanmalıdır [38].

Kuru ve yaş karışumlu püskürtme beton tekniği uygulaması sırasında yapının konumu ve biçimine göre yüzeye yapışmayıp yere düşerek zayi olan beton miktarı Tablo 3.1'de belirtilen değerlerde olmalıdır [38].

Tablo 3.1 Uygulama sırasında zayi olan beton miktarı [38]

Yapı türü	Kuru karışım zayıtı (%)	Yaş karışım zayıtı (%)
Döşeme ve kaplamalar	5 - 10	0 - 5
Duvar ve eğimli yüzeyler	10 - 20	5 - 10
Tavan	15 - 35	10 - 20

3.6 Püskürtme Beton Karışımı Hazırlanması

Püskürtme beton karışımı malzemesi kütle esasına göre tartılmalıdır. Tartımda püskürtme beton bileşenleri kütle toleransı (hata payı), Bkz. Tablo 3.2'de verilen sınırlarda olmalıdır [38].

Tablo 3.2 Püskürtme beton bileşenleri kütle toleransı [38]

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

Kuru karışımli püskürtme betonda kullanılan agrega kütlece % 3 - % 6 nemlendirilmiş olmalıdır. Yaş karışımli püskürtme betonda kullanılan toz veya sıvı katkıları (priz hızlandırıcılar hariç) dağıtım elamanlarında, priz hızlandırıcılar ise püskürtme başlığında betona katılmalıdır. Bu durum, koşullara ve ekipmanlara göre ayarlanmalıdır. Kuru karışımli püskürtme betonda kullanılan toz katkıları karışıma ön karışım ekipmanlarında katılmalıdır. Sıvı katkıları ise karışım suyuna püskürtme başlığına girmeden önce katılarak kullanılmalıdır [38].

3.6.1 Kuru Karışımli Püskürtme Beton

Agrega ve çimentonun uygun ölçülerde bir araya getirilip püskürtme beton makinesinin karışım odasında karıştırıldıktan sonra beton karma suyunun betona püskürtme başlığında katılarak karışımın basınçlı hava ile yüzeye püskürtülmesi ile elde edilen betondur [42, 38].

Ön karışım ekipmanlarında agrega, çimento ve katkı maddesi (toz) homojen olarak karıştırılır. Karıştırmanın ve nemin yeterliliği ince bileşenlerin agrega yüzeyini kaplaması ile anlaşılır. Karışım sırasında oluşacak kum topaklanmaları uygun bir titreşim sağlanarak önlenmelidir. Karıştırmanın yeterliliğine karar verildikten sonra karışım, karışım elemanlarına gönderilir. Karışıma giren su miktarı, püskürtme operatörü tarafından betonun püskürtülmesi sırasında ayarlanmalıdır [38].

3.6.2 Yaş Karışımli Püskürtme Beton

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri hariç çimento, agrega ve suyun püskürtme başlığına gelmeden önce püskürtme beton makinesi karışım odasında karıştırılarak karışımın basınçlı hava ile yüzeye püskürtülmesi ile elde edilen betondur [38].

Ön karışım ekipmanlarında agrega, çimento, katkı maddesi (priz hızlandırıcılar hariç) ve su homojen olarak karıştırılır. Elde edilen karışım, beton dağıtım elemanına

gönderilir ve hazırlanmasından itibaren 45 dk içinde püskürtülür. Betonun slup konisi ile TS 2871'e göre ölçülen çökme 4 cm - 10 cm olmalıdır [38].

3.6.3 Kuru Karışım İle Yaş Karışımli Püskürtme Beton Tekniğinin Karşılaştırılması

Kuru karışımli püskürtme beton tekniği ile yaş karışımli püskürtme beton tekniğinin uygulama öncesi ve uygulama sırasında karşılaştırılması Tablo 3.3'te verilmektedir [47].

Tablo 3.3 Kuru karışım ile yaş karışımli püskürtme beton tekniğinin karşılaştırılması [47]

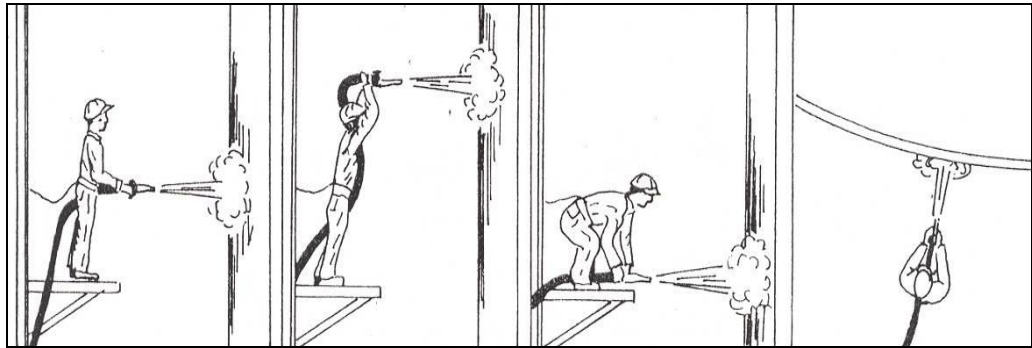
Teknik	Kuru karışım	Yaş karışım
Bileşim	Agrega, katkı maddesi, sonradan su	Agrega, çimento, katkı maddesi ve su
Ekipman	Ucuz, küçük ve esnek makineler	Az sayıda; yatırımı fazla makineler
Kapasite	5 m ³ /h	10-18 m ³ /h
Verim	İletim mesafesi uzun	Verimli; iletim mesafesi sınırlı
Karışım hazırlama	Sahada	Beton hazırlama ünitesinde
Geri sıçrama	Malzeme kaybı fazla (% 20 - % 60)	Malzeme kaybı az (% 10 - % 15)
İş gücü	Nitelikli işçi	Deneyimli / deneyimsiz operatör
Atmosfer	+5°C'nin üzeri	+5°C'nin üzeri
Basınçlı iletim	Seyrek	Seyrek, sık
Su ayarı	Operatör denetiminde yapılır	Su miktarı sabittir
Üretim	Düşük	Yüksek
Kür süresi	20 dk	20 dk
Toz oluşumu	Fazla	Az

3.7 Püskürtme Beton Tekniği Uygulamasında Dikkat Edilecek Hususlar

Kuru karışım ve yaş karışımli püskürtme beton (Bkz. Bölüm 3.6.1, Bölüm 3.6.2) ön karışım ekipmanları, karışım ve dağıtım elemanları, püskürtme başlıkları (Bkz. Bölüm 3.4) yardımıyla hazırlanır ve TS 11747'de belirtilen hususlara göre uygulama yüzeyine püskürtülür [38, 42, 47]:

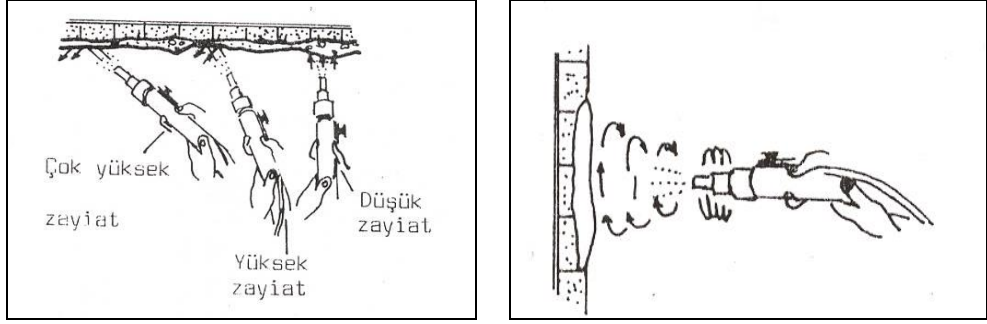
- Uygulamadan önce dağıtım elemanları ve püskürtme başlıklarının temiz ve çalışır durumda olması gereklidir.

- Hava kompresörü, verilen çalışma basıncını sürekli olarak sağlayabilecek durumda olmalıdır.
- Püskürtme sırasında su basıncı, püskürtme başlığı ucundaki hava basıncından 10-20 kPa fazla olacak şekilde ayarlanmalıdır.
- Beton püskürtme işleminden önce uygulama yüzeyine ince bir harç tabakası püskürtülmelidir.
- Püskürtme başlığı uygulama sırasında yüzeye dik olarak tutulmalıdır (Şekil 3.20).



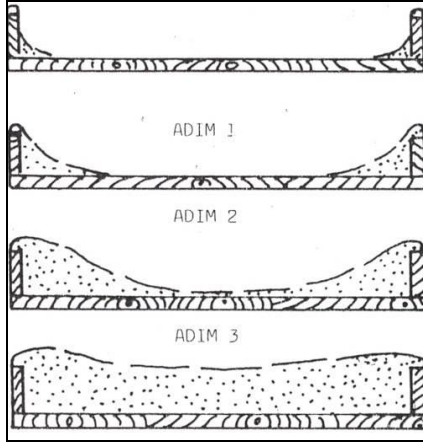
Şekil 3.20 Püskürtme başlığı uygulama pozisyonları [38, 40]

- Püskürtme sırasında püskürtme başlığının uygulama yüzeyine olan uzaklığı 0,5 m - 1,5 m olmalıdır.
- Püskürtme, tek bir nokta yerine belli bir alana püskürtme başlığına dairesel hareketler yaptırılıp uygulama yüzeyinden bir kaç kez geçilerek uygulanmalıdır (Bkz. Şekil 3.21).



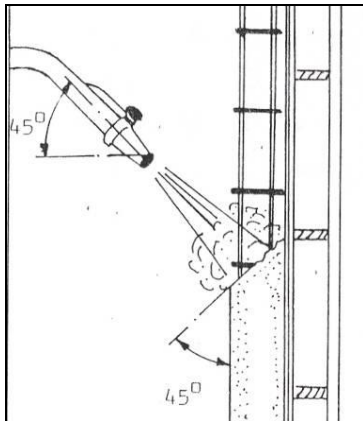
Şekil 3.21 Püskürtme başlığı uygulama hareketleri [38]

- Düşey uygulamalarda (duvar, kolon, perde vb.) püskürtme beton kalınlığı 15 cm'den fazla ise beton, kalıba aşağıdan yukarıya doğru püskürtülmelidir.
- Betonun kalıplara püskürtülmesine kenar ve köşelerden başlanmalıdır (Bkz. Şekil 3.22).



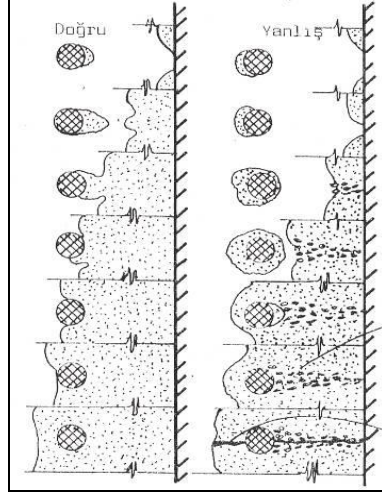
Şekil 3.22 Püskürtme betonun kalıba verleştirilmesi [38]

- Püskürtme başlığı ile püskürtme yüzeyi arasındaki açı zorunlu haller dışında 45° 'den küçük olmamalıdır (Şekil 3.23).



Şekil 3.23 Düşey doldurma türü uygulamalarda doğru püskürtme şekli [38]

- Donatılı uygulamalarda donatının arka kısmı beton ile doldurulduktan sonra yan ve üst kısımları tümüyle betonla kaplanmalıdır (Şekil 3.24).



Şekil 3.24 Donatılı uygulamalarda doğru ve yanlış uygulama [38]

- İkinci tabaka uygulaması yapılacak ise birinci tabaka, prizini aldıktan sonra yüzeyi hava veya kum püskürtme yöntemi ile gevşek malzemelerden temizlenmeli ve yüzeyi pürüzlendirilmelidir.
- İş derzlerinden kaçınılmalıdır. İki tabaka yerleştirilmesi arasındaki süre uzun ise püskürtme yüzeyi uygulama başlayana dek nemli tutulmalıdır.
- Uygulama sırasında yüzeye yapışmayıp geri sıçrayarak dökülen malzeme tekrar kullanılmamalıdır.
- Kuru karışım, uygulamasında karışımın hazırlanmasından püskürtülmesine dek geçen süre 15 dk'yı geçmemelidir. Aksi takdirde agregadaki nemden dolayı karışımında topaklanma ve ön hidrasyon başlar.
- Soğuk hava koşullarında uygulama yapılacak yüzey, hava ve karışım sıcaklıkları $+5^{\circ}\text{C}$ 'nin üzerinde olmalıdır. Bu koşullardan biri sağlanamıyor ise karışım bileşenleri en az $+10^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar ısıtılmalıdır. Elde edilen betonun dayanımı 50 kgf / cm^2 'yi geçinceye dek en az dört gün donmaya karşı önlem alınmalıdır. Sıcak ortamlarda ise beton püskürtüldükten sonra yüzeyin kuruması önlenmelidir. Yüzey, ilk hafta nemli tutulmalı veya kür malzemesi ile kaplanmalıdır.
- Kuvvetli rüzgar, don ve yağmurlu havalarda püskürtme uygulamasına ara verilmelidir. Günlük ara vermelerde püskürtülen betonda keskin kenarlar

yerine, kalınlığı yavaş yavaş değişecek şekilde kenarlar bırakılmalıdır. Dik birleşim yerlerinden kaçınılmalı, yeniden başlarken birleşim yerleri temizlenip ıslatılmalıdır.

- Özellikle dinamik yüklü yapılar püskürtme betonun sertleşmesi için gereken sürede sarsıntı ve titreşimlerden korunmalıdır.
- Püskürtme sonucu ortaya çıkan yüzey pürüzlülüğünün düzeltilmesi durumunda yüzey betonu, kesildiğinde ufalanır duruma gelmiş ise sert ve keskin kenarlı bir lata (dar ve kalınca tahta) ile kalıp dışına taşan kısmı alınarak düzeltme yapılır. Bu işlemten sonra yüzey istenirse süpürülerek daha düzgün duruma getirilebilir. Yüzeyi daha fazla düzeltmek için yukarıda yapılan işlemlerden sonra ince kum kullanılarak uzaktan püskürtme yapılabilir. Mala ile düzeltilerek düzgün bir görünüş elde edilir.

3.8 Yüzey Tamamlama İşlemleri

Püskürtme beton tekniği uygulaması yapıldıktan sonra (Bkz. Bölüm 3.7), estetik açıdan bir zorunluluk yoksa yüzeyde herhangi bir işlem yapılmaz. Yüzeyin perdahlanması (pürüzsüz hale getirilmesi / parlatılması) gerekiyor ise son tabakanın uygulamasından sonra sadece kum ile hazırlanmış püskürtme beton ile yüzey 10 mm kalınlığında kaplanmalıdır [38].

3.9 Kür

Kür, betonun prizini uygun olarak yapılabilmesini sağlamak amacıyla su ile çimento arasındaki tepkime için gerekli sıcaklık ve nem koşullarını yerine getirmek için yapılan işlemdir [50].

Sıcak ve kuru hava özellikle rüzgarla birlikte püskürtme beton yüzeyinin çabuk kurumasına, çatlakların oluşmasına ve dayanımın düşmesine yol açacağından beton yüzeyi nemli tutulmalıdır. Püskürtme uygulamasından sonra betonun kuruması için beton en az 7 gün kür edilmelidir. Bu süre, çok sıcak ve nemsiz havalarda 14 güne çıkarılmalıdır. Beton prizini aldıktan sonra her 4 saatte bir basınçlı su ile ıslatılarak kür edilmelidir [38].

4. PÜSKÜRTME BETON TEKNIĞİ İLE ALKER UYGULAMASI

Araştırmanın deneysel çalışmaları, İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve açık alanında yapıldı.

11 Haziran - 16 Temmuz 2003 tarihleri arasında gerçek çalışma koşullarında 2 adet 15 cm x 15 cm x 15 cm'lik çelik kalıp ve 1 adet 30 cm x 75 cm x 75 cm'lik ahşap kalıp ile ön bir deneme yapıldı (Bkz. Bölüm 3.5.2). Alınan sonuçlara göre 18 Temmuz - 4 Ağustos 2003 tarihleri arasında da uygulama gerçekleştirildi. Püskürtme beton tekniği ile yapılan alker uygulama çalışmalarında sırasıyla:

- Delta Makine Ltd. Şti.'nden sağlanan makine ve ekipmanlar kontrol edildi.
- İTÜ İnşaat Fakültesi'den temin edilen 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarında 24 adet çelik kalıp hazırlandı.
- Ayazağa kampus arazisinden karışımların ham maddesi olan toprak sağlandı.
- Alçı katkılı toprak numune sonuçlarını karşılaştırmak için, çimento katkılı toprak numuneler hazırlanıp deneylerde kullanıldı.
- Alçının su ile birleşip çabuk priz yapmasını engellemek için, kuru karışım püskürtme yöntemine göre 12 adet alçı katkılı toprak ve 12 adet çimento katkılı toprak numuneler hazırlandı.
- Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler çelik kalıplara püskürtüldü.
- Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin etüve girmeden önceki ve etüvde kaldıkları süreye bağlı olarak ağırlıkları ile kurumalarına göre ağırlık kayıp miktarları belirlendi.
- Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler kür edilerek deneysel çalışmalara hazır hale getirildi.

4.1 Makine ve Ekipmanların Hazırlanması

Püskürtme uygulaması için Delta Mini Model, elektrik motoru 4KW 380V 50Hz, püskürtme kapasitesi 3 m³/h, tabanca ve hortum iç çapı 35 mm, hortum uzunluğu 5 m olan makine ve MKE yapımı dizel, 2 silindirli Magirus Deurz motor, püskürtme kapasitesi 4 m³/dk 7 bar, yaklaşık mazot tüketimi 3 lt/h olan kompresör sağlandı. Kuru karışım püskürtme beton ekipmanları, malzeme borusu, püskürtme başlığı, su hortumu ve su vanası kontrol edildi (Bkz. Bölüm 3.4).

4.2 Kalıpların Hazırlanması

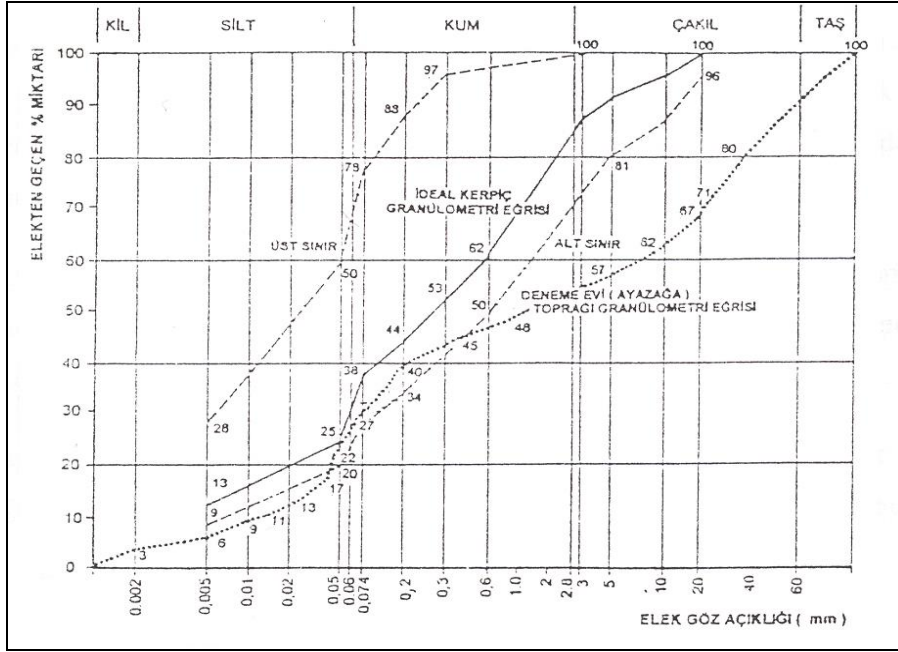
Temizlenerek tozdan arındırılmış olan 15 cm x 15 cm x 15 cm boyutlarındaki 24 adet çelik kalıp dört bir yüzeyinden döner fırça ile kalıp yağı sürülerek (Bkz. Bölüm 3.5.1) püskürtmeye hazır duruma getirildi (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 Temizlenip yağlanarak püskürtmeye hazırlanan çelik kalıplar

4.3 Toprağın Hazırlanması

Karışımların ham maddesi olan doğal killi ve çakıllı toprak, İTÜ Ayazağa kampus arazisinden sağlandı. TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622 No.lu proje kapsamında İTÜ İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan analizler sonucunda toprakta % 49 çakıl (en iri tane çapı 19 mm), % 23 kum, % 20 silt ve % 8 kil bulunmuştur. Ayazağa arazisi toprağının granülometri eğrisi (tane boyutlarının dağılışını gösteren eğri) ideal kerpiç granülometri eğrisi ile birlikte Bkz. Şekil 4.2'de gösterilmektedir [3].



Şekil 4.2 Ayazağa kampus arazisi toprağının granülometri eğrisi [3]

Toprağın içindeki mineral türleri ve bileşimi İTÜ Maden Fakültesi Optik Mineroloji Laboratuvarı'nda belirlenmiştir. Örnek kayalarda (bir veya birkaç mineralden oluşan kütle) detritik taneli minerallerin oranı % 30 - % 35 olup kil boyutlu mineraller başta mika olmak üzere ayrışım cismi olarak bol demirli (demiroksit, hematit - limonit) kaolin - illit (arıkil - yeşil kil) türündendir. Eriyen tuz türüne rastlanmamıştır. Ayazağa arazisi toprağı içindeki mineral türleri ve bileşimi Tablo 4.1'de verilmektedir [3].

Tablo 4.1 Ayazağa kampus arazisi toprağı içindeki mineral türleri ve bileşimi [3]

Mineral türü	Mineral bileşimi (%)	Tane boyutu (mm)	Doku özelliği
Kuvars	22	0,06 - 0,09	İnce - iri taneli, yuvarlak şekilli, kırıklı
Feldispat	14	0,30	Kenarları opaklı malzeme ile çevrili
Plajiolklas	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

Ayazağa arazisi toprağının inorganik madde içerip içermediğinin belirlenmesi için TS 3673'e göre NaOH içine toprak konulmuştur. Karışımın sarı renk aldığı ve üzerinde tortu olmadığı görülmüştür. Bu gözlem, toprakta inorganik madde miktarı yönünden bir olumsuzluk olmadığını göstermektedir [3].

Ayazağa arazisi toprağının pH'sı 6,6 olarak belirlenmiştir. Bu değer, toprağın nötr özelliğe yakın olduğunu göstermektedir. Toprak belli bir doygunluğa eriştikten sonra pH 7,6'ya yükselerek bazik özellik kazanmaktadır [3].

İTÜ İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarı'nda yapılan Proctor deneyi ile Ayazağa arazisi toprağının birim ağırlığı, % 15 su içermesine göre 1850 kg/m³ bulunmuştur [3].

Karışımlara katılmadan önce bu toprak elekten geçirildi (Şekil 4.3).



Şekil 4.3 Toprağın elenmesi

4.4 Karışımların Hazırlanması

Kuru karışimli püskürtme uygulamasında su, karışıma püskürtme sırasında katılırken; yaş karışım uygulamasında su diğer bileşenler ile birlikte homojen olarak kompresörde karıştırıldı. Alçının su ile birleşip çabuk priz yapmasını engellemek için püskürtülecek olan alker malzeme kuru karışım püskürtme tekniğine göre hazırlandı.

Alçı - toprak karışımı ile karşılaştırma yapmak amacıyla kullanılan çimento - toprak karışımında da aynı teknik uygulandı (Bkz. Bölüm 3.6).

4.4.1 Alçı -Toprak Karışımı Hazırlanması

Alçı - toprak karışımı için birim ölçü olarak 15 kürek toprak, 2 kürek katkılı alçı (toprak oranının % 10'u), 1 silme kürek sönmüş kireç (toprak oranının % 2'si) alınarak toplam 45 kürek toprak, 6 kürek alçı, 3 silme kürek kireç iyice toprağa karıştırıldı. Karışım homojen hale gelene dek gözle kontrol edilip karılarak püskürtme beton kompresörüne aktarıldı (Şekil 4.4).

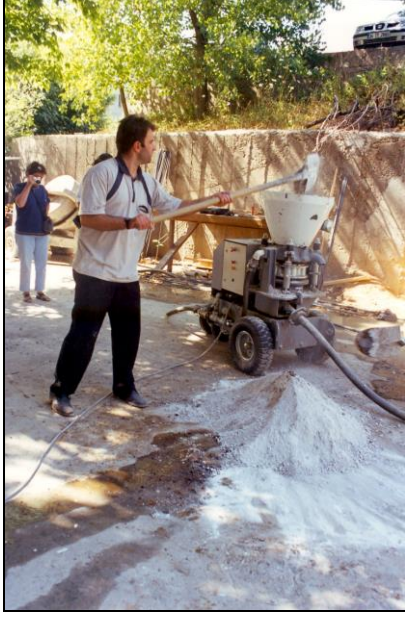


Şekil 4.4 Alçı katkılı toprağın karılarak kompresöre aktarılması

4.4.2 Çimento - Toprak Karışımı Hazırlanması

Çimento - toprak karışımı uygulamasına geçilmeden önce kompresör, basınçlı su ve basınçlı hava ile temizlendi.

Çimento - toprak karışımı için birim ölçü olarak 100 kg toprak ile 15 kg çimento (toprak oranının % 15'i) kürekle iyice karılarak püskürtme beton kompresörüne aktarıldı. Karışım homojen hale gelene dek gözle kontrol edilip en az 1 dk karıştırıldı (Bkz. Şekil 4.4).



Şekil 4.5 Çimento katkılı toprağın karılarak kompresöre aktarılması

4.5 Karışımların Kalıplara Püskürtülmesi

Alçı - toprak karışımı, kuru karışım kompresörüne aktarıldı. Operatör gözetiminde püskürtme başlığında katılan alçı - toprak karışımı, yağlanmış çelik kalıplara (Bkz. Bölüm 3.7) püskürtme başlığı yüzeye dik tutularak dairesel hareketler ile 40 cm - 60 cm mesafeden kenar ve köşelerden başlanarak püskürtüldü. Kalıplar karışımla dolduktan sonra üst yüzeyleri çelik mala ile düzeltilerek etiketlendi (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Alçı - toprak karışımının kalıplara püskürtülmesi ve malalanması

Çimento - toprak karışımı püskürtme uygulamasına geçmeden önce, alçı - toprak karışımı püskürtme uygulamasında kullanılan malzeme borusu ile püskürtme başlığı değiştirildi. Bu karışım, alçı - toprak karışımında olduğu gibi çelik kalıplara püskürtülüp üst yüzeyleri çelik mala ile düzeltilerek etiketlendi (Şekil 4.7).



Şekil 4.7 Çimento - toprak karışımın kalıplara püskürtülmesi

4.6 Kür

Püskürtülen alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin üzeri su ile ıslatılıp muşambalar örtülerek açık havada kurumaya bırakıldı. Püskürtme uygulamasından 7 gün sonra alçı katkılı toprak numuneler kalıplardan çıkarıldı (Şekil 4.8). Hava sıcak olduğundan çimento katkılı toprak numuneler 1 hafta daha su ile ıslatılarak kür edildi (Bkz. Bölüm 3.9).



Şekil 4.8 Kalıptan çıkarılan alçı katkılı toprak numune

Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler 21. günde tartılarak ağırlıkları belirlendi. Ağırlıkları belirlenen numuneler 24 saat süre ile 52°C'deki etüve konuldu (Şekil 4.9).

Etüvde sürdürülen diğer deney çalışmaları nedeniyle iki numunelik yer bulunduğundan ilk aşamada 1 adet alçı katkılı toprak ve 1 adet çimento katkılı toprak numune etüve konuldu. Kür işlemleri biten deney numuneleri etüvden çıkarıldıktan sonra geriye kalan 5 adet alçı katkılı toprak ve 5 adet çimento katkılı toprak numune boşalan etüve konuldu.



Şekil 4.9 Etüve konulan alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler

Etüvden çıkarılan alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numuneler etüvdeki günlük ağırlık kayıp miktarlarına bakılarak 72 saat süre ile tekrar etüve konuldu.

Alçı katkılı toprak numunelerin etüve girmeden önceki, 24 saat etüvde kaldıktan sonraki, 72 saat etüvde kaldıktan sonraki ağırlıkları ve kuruma miktarları Bkz. Tablo 4.2'de; çimento katkılı toprak numunelerin etüve girmeden önceki, 24 saat etüvde kaldıktan sonraki, 72 saat etüvde kaldıktan sonraki ağırlıkları ve kuruma miktarları Bkz. Tablo 4.3'te verilmektedir.

Tablo 4.2 Alçı katkılı toprak numunelerin ağırlıkları ve kuruma miktarları

Numune	Etüve girmeden önceki ağırlığı (g)	24 saat etüvde kaldıktan sonraki ağırlığı (g)	24 saat sonraki kuruma miktarı (g)	72 saat etüvde kaldıktan sonraki ağırlığı (g)	72 saat sonraki kuruma miktarı (g)
Numune 1	5521	5375	150	5300	221
Numune 2	5504	5363	141	5309	195
Numune 3	5436	5281	155	5244	192
Numune 4	5498	5349	149	5286	212
Numune 5	5382	5244	138	5199	183
Numune 6	5479	5333	143	5270	209
Ortalama	5470	5324,1	146	5268	202

Tablo 4.3 Çimento katkılı toprak numunelerin ağırlıkları ve kuruma miktarları

Numune	Etüve girmeden önceki ağırlığı (g)	24 saat etüvde kaldıktan sonraki ağırlığı (g)	24 saat sonraki kuruma miktarı (g)	72 saat etüvde kaldıktan sonraki ağırlığı (g)	72 saat sonraki kuruma miktarı (g)
Numune 1	6334	6058	276	5815	519
Numune 2	5976	5736	240	5492	484
Numune 3	6327	6084	243	5823	504
Numune 4	6126	5859	267	5629	497
Numune 5	6210	5956	254	5701	509
Numune 6	6287	6037	250	5775	512
Ortalama	6210	5955	255	5705,8	504,1

Ortalama kuruma miktarı, 6 adet alçı katkılı toprak numunede 24 saat etüvde kaldıktan sonra 146 g, 72 saat etüvde kaldıktan sonra 202 g bulundu (Tablo 4.2). 6 adet çimento katkılı toprak numunede ise bu miktar 24 saat etüvde kaldıktan sonra 255 g, 72 saat etüvde kaldıktan sonra 504,1 g saptandı (Tablo 4.3).

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Püskürtme beton tekniği ile elde edilen (Bkz. Bölüm 4) alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin deneysel çalışmaları 14 Ağustos - 3 Eylül 2003 tarihleri arasında İTÜ İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvar'ı ve Malzeme Laboratuvarı'nda yapıldı.

Numuneler ile yapılan deneysel çalışmalar:

- Araştırmada 24 adet numune kullanıldı. Püskürtme uygulaması yapılan 12 adet alçı katkılı toprak numune ve 12 adet çimento katkılı toprak numuneden, 6 adet alçı katkılı toprak kuru numune ve 6 adet çimento katkılı toprak kuru numune ile 28. günde basınç dayanımı deneyi,
- Yapının dış kabuğunu oluşturan yapı elemanlarından biri olan duvar yağmur, kar, rüzgar vb. hava koşulları etkisi altında kaldığından, kuru numunelerin yanı sıra 3 adet alçı katkılı toprak numune ve 3 adet çimento katkılı toprak numune ile 28. günde su emme deneyi,
- Su emme deneyi yapıldıktan sonra 1 hafta açık havada ve 72 saat 52°C'de etüvde kalarak kür edilen 3 adet alçı katkılı toprak numune ve 3 adet çimento katkılı toprak numune ile 39. günde basınç dayanımı deneyidir.

5.1 Kuru Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı deneyi TS 3114 “Beton Basınç Dayanımı Belirlenmesi” standardına uygun olarak yapıldı [51].

Bu deneyde “Amsler” marka 10000 kgf maksimum kapasiteli pres makine kullanıldı (Bkz. Şekil 5.1).



Şekil 5.1 Pres makinesi

Etüvden çıkarılıp her biri tartılarak ağırlıkları saptanan 6 adet alçı katkılı toprak numune ve 6 adet çimento katkılı toprak numune ile 28. günde basınç dayanımı deneyi yapıldı. Numuneler, üst yüzeylerine 15 cm x 15 cm neopren parçalar konularak basınç doğrultusunda pres makinesine yerleştirildi ve numunelere yükleme vanasından yükleme hızı sabit tutularak yük verilmeye başlandı (Bkz. Şekil 5.2, Bkz. Şekil 5.3). İbrenin boşaldığı kırılma yükü değeri gösterge üzerinde okundu.

Basınç dayanımı, TS 10465 standardı tarafından belirtilen formüle göre, kırılma yükünün deney yüküne dik deney numunesi kesit ortalama alanına bölünmesi ile bulundu [52].

$$f_{küp} = P / A \quad N/mm^2 \quad (5.1)$$

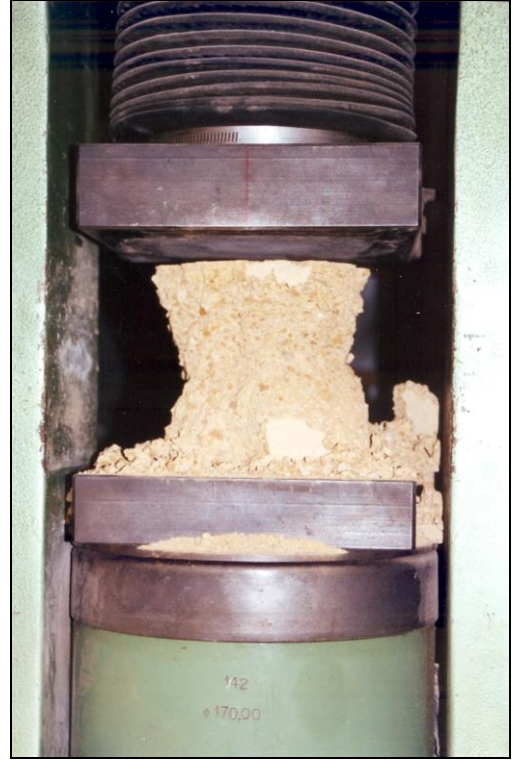
$f_{küp}$: Beton deney numunesi basınç dayanımı (N/mm²)

P : Kırılma yükü (N)

A : Deney yüküne dik deney numunesi kesit ortalama alanı (mm²)



Şekil 5.2 Alçı katkıli toprak numune



Şekil 5.3 Çimento katkıli toprak numune

Numunelerin basınç dayanımı, ortalama basınç dayanımı belirlendikten sonra aşağıda verilen formüldeki “standart sapma” ile numunelerin basınç dayanımının ortalama basınç dayanımından standart sapmanın kaç katı kadar aşağıda veya yukarıda olduğunu belirlemek için her bir numuneye ait “standart skor (z skoru)” hesaplandı. [53].

$$s = \frac{1}{N} \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (5.2)$$

$$z = \frac{X - \bar{X}}{s} \quad (5.3)$$

s : Standart sapma

N : Ölçüm sayısı

X : Numune basınç dayanımı

z : Standart skor (z skoru)

$\bar{X}$: Ortalama basınç dayanımı

Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru Tablo 5.1’de; çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru Tablo 5.2’de verilmektedir.

Tablo 5.1 Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru

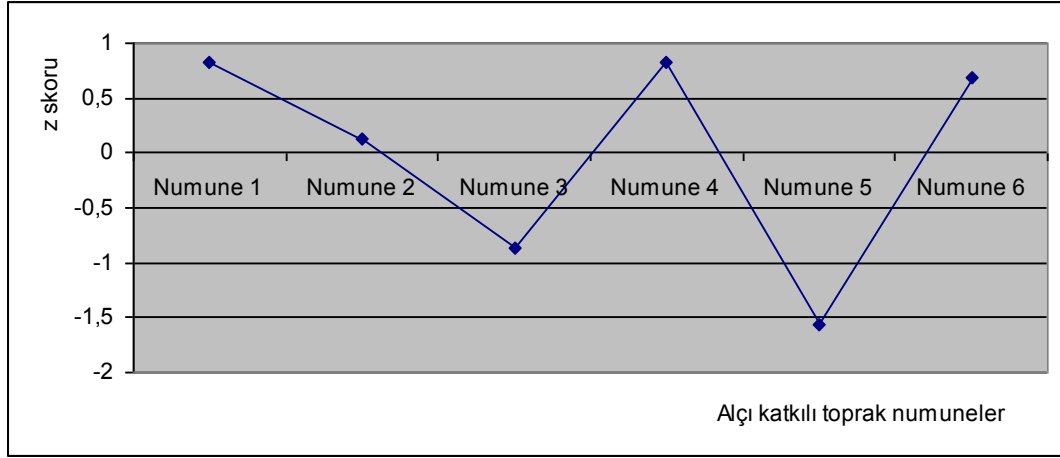
Numune	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Standart sapma	z skoru
Numune 1	24,80	1,10		0,830
Numune 2	23,80	1,05		0,126
Numune 3	22,20	0,98		-0,859
Numune 4	24,90	1,10		0,830
Numune 5	21,00	0,93		-1,563
Numune 6	24,65	1,09		0,690
Ortalama	23,55	1,04	0,71	

Tablo 5.2 Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru

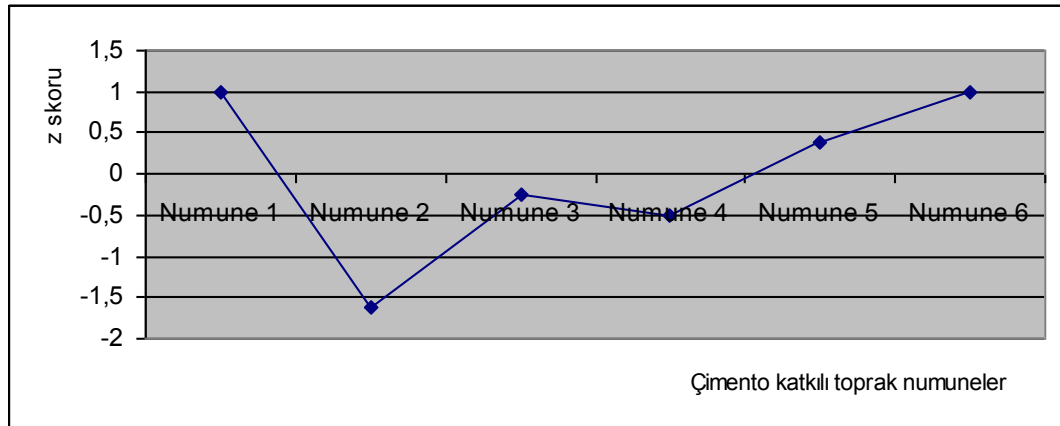
Numune	Kırılma yükü (kN)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Standart sapma	z skoru
Numune 1	47,80	2,11		1,000
Numune 2	43,00	1,91		-1,625
Numune 3	45,50	2,02		-0,250
Numune 4	45,00	2,00		-0,500
Numune 5	46,70	2,07		0,375
Numune 6	47,50	2,12		1,000
Ortalama	45,91	2,04	0,08	

Ortalama basınç dayanımı, alçı katkılı toprak numunelerde 1,04 N/mm²; çimento katkılı toprak numunelerde 2,04 N/mm² bulundu.

Basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru, alçı katkılı toprak numunelerde Şekil 5.4'te; çimento katkılı toprak numunelerde Şekil 5.5'te gösterilmektedir.



Şekil 5.4 Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru



Şekil 5.5 Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru

5.2 Su Emme Deneyi

Su emme deneyi, 3 adet alçı katkılı toprak numune ve 3 adet çimento katkılı toprak numune ile 39. günde yapıldı.

Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin dört yüzeyine gönye ile 1'er cm aralıklarla paralel çizgiler çizildi. Daha sonra numunelerin suya değecek olan yüzeyleri alttan 3 cm yükseklikte parafinlendi (Bkz. Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Numunenin parafınlanması

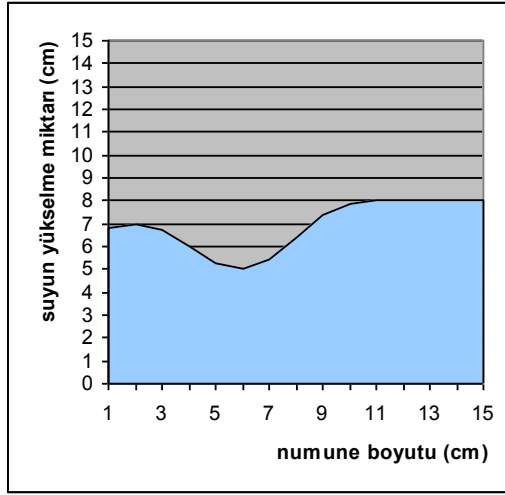
3 adet alçı katkılı toprak numune ve 3 adet çimento katkılı toprak numune birer birer 20°C’de şartlandırılmış odadaki su dolu kap içine cam çubuklar üzerinde sadece alt yüzeyleri suya değecek şekilde oturtuldu (Şekil 5.7).



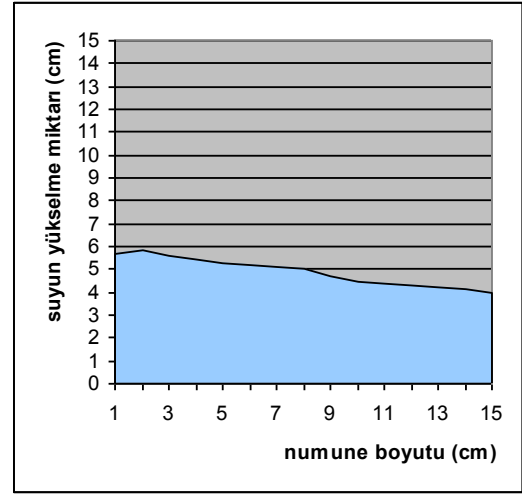
Şekil 5.7 Numunelerin su dolu kaba oturtulması

Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerde 3,5 saat boyunca yarım saatte bir suyun yükselme miktarı gözlemlendi (Şekil 5.8-11, Bkz. Şekil 5.12-25). Ağırlıkları tartılan su emen alçı katkılı toprağın zamana bağlı ağırlıkça artışı Bkz. Şekil 5.26’da, çimento katkılı toprağın zamana bağlı ağırlıkça artışı Bkz. Şekil 5.27’de gösterilmektedir.

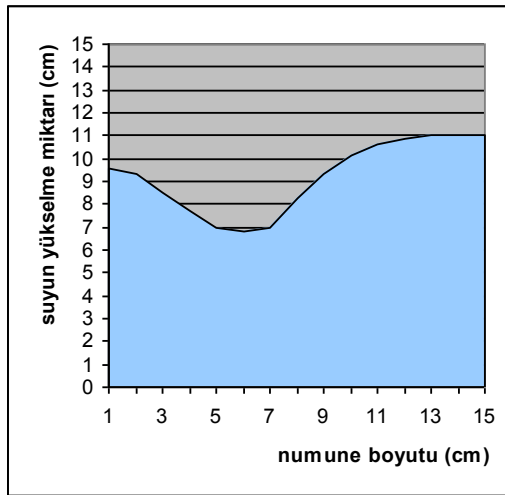
30.dk ve 60.dk’da numunelerde su emme miktarı



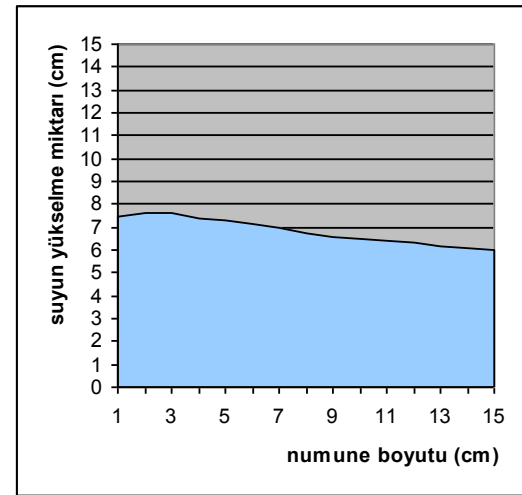
Şekil 5.8 30.dk’da alçı katkılı toprak numune



Şekil 5.9 30.dk’da çimento katkılı toprak numune



Şekil 5.10 60.dk’da alçı katkılı toprak numune

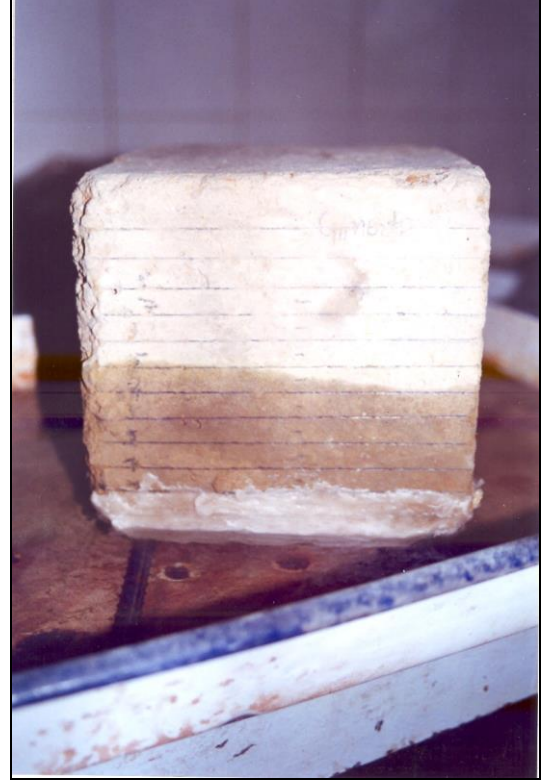


Şekil 5.11 60.dk’da çimento katkılı toprak numune

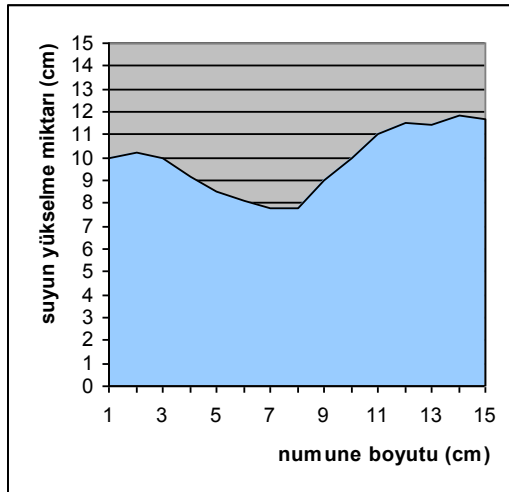
90.dk'da numunelerde su emme miktarı



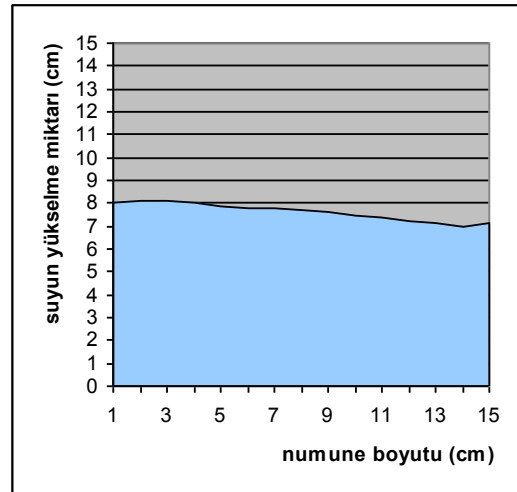
Şekil 5.12 Alçı katkılı toprak numune



Şekil 5.13 Çimento katkılı toprak numune

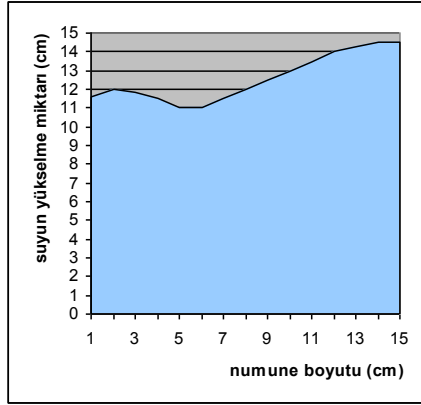


Şekil 5.14 90.dk'da alçı katkılı toprak numune

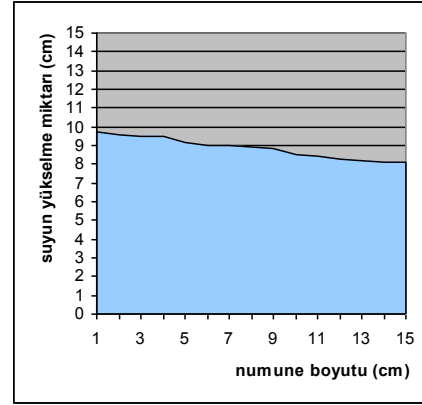


Şekil 5.15 90. dk'da çimento katkılı toprak numune

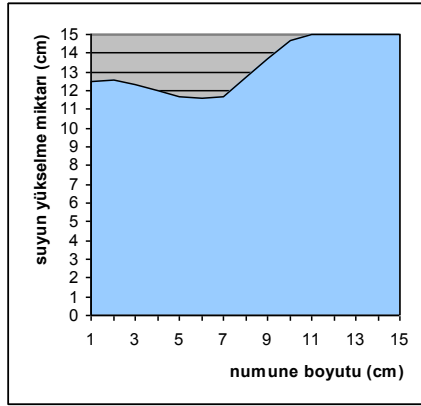
120.dk, 150.dk ve 180.dk'da numunelerde su emme miktarı



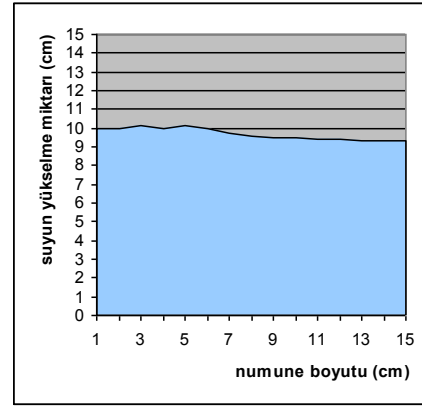
Şekil 5.16 120. dk'da alçı katkılı toprak numune



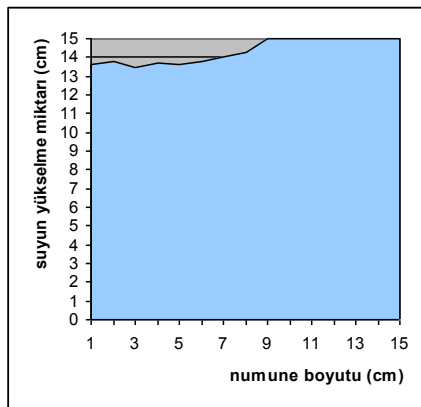
Şekil 5.17 120.dk'da çimento katkılı toprak numune



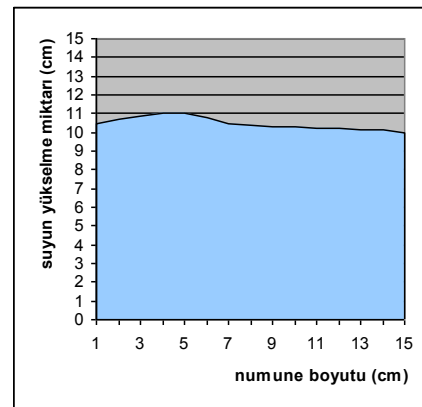
Şekil 5.18 150.dk'da alçı katkılı toprak numune



Şekil 5.19 150.dk'da çimento katkılı toprak numune

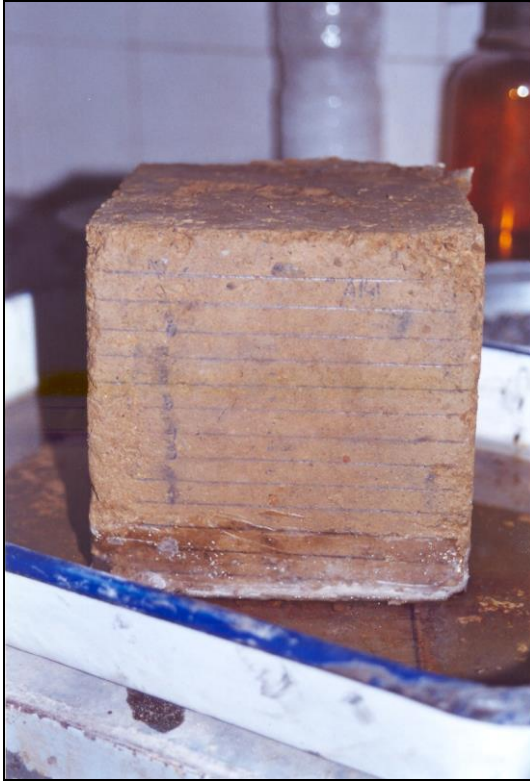


Şekil 5.20 180.dk'da alçı katkılı toprak numune



Şekil 5.21 180.dk'da çimento katkılı toprak numune

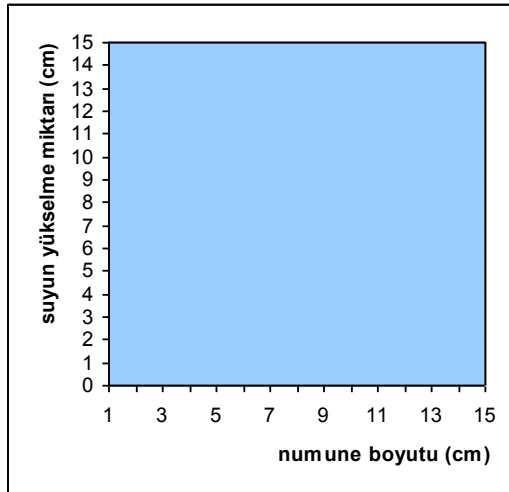
210.dk'da numunelerde su emme miktarı



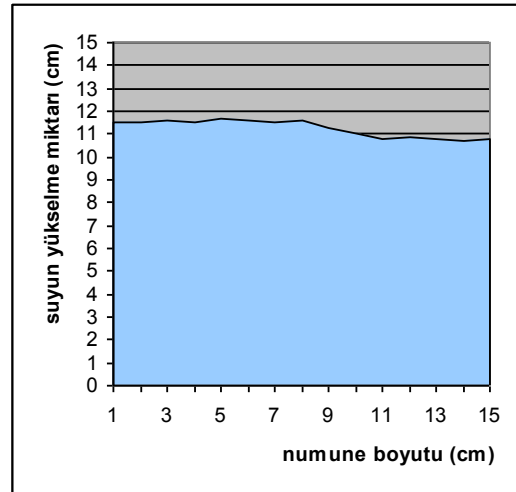
Şekil 5.22 Alçı katkılı toprak numune



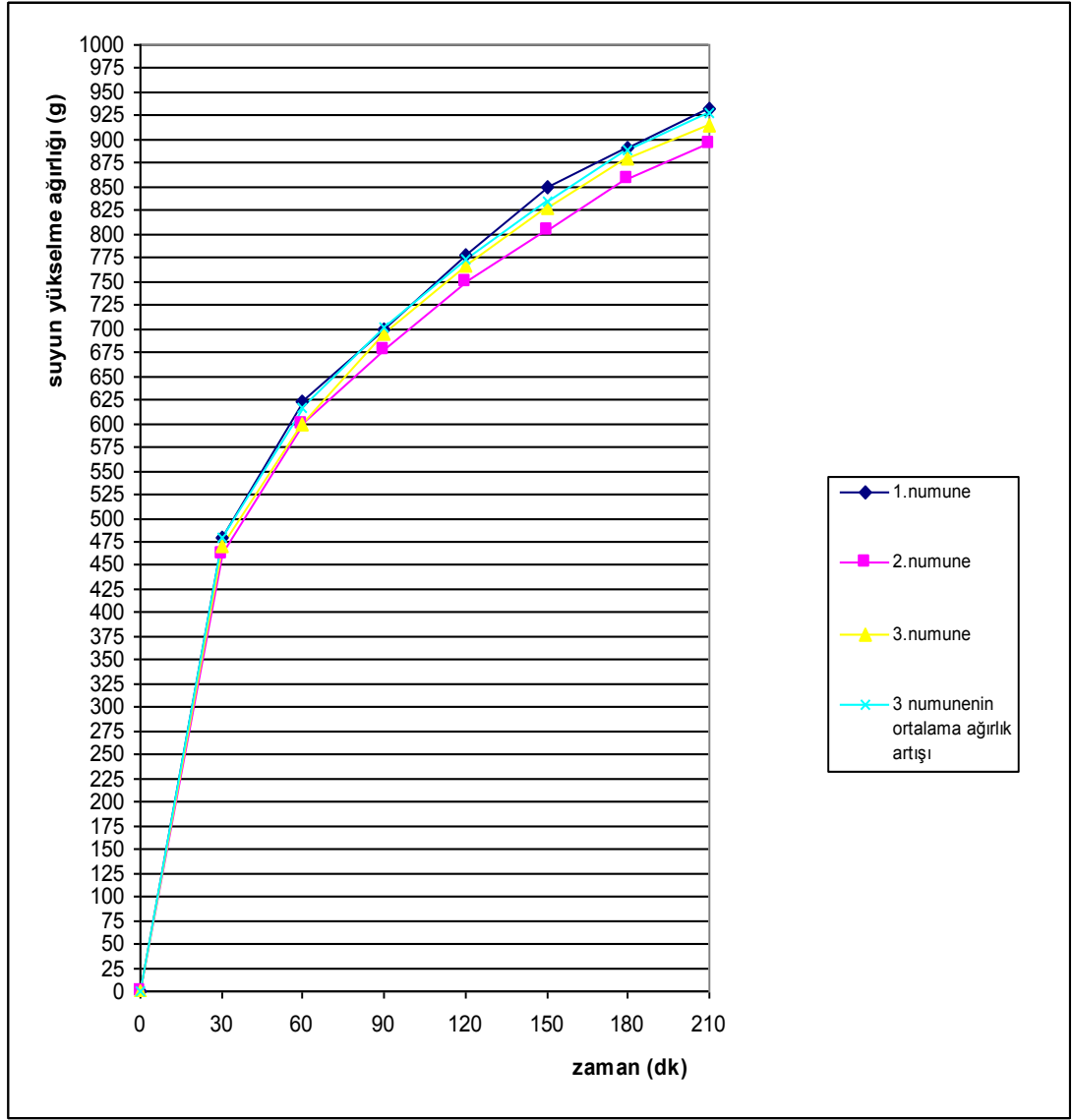
Şekil 5.23 Çimento katkılı toprak numune



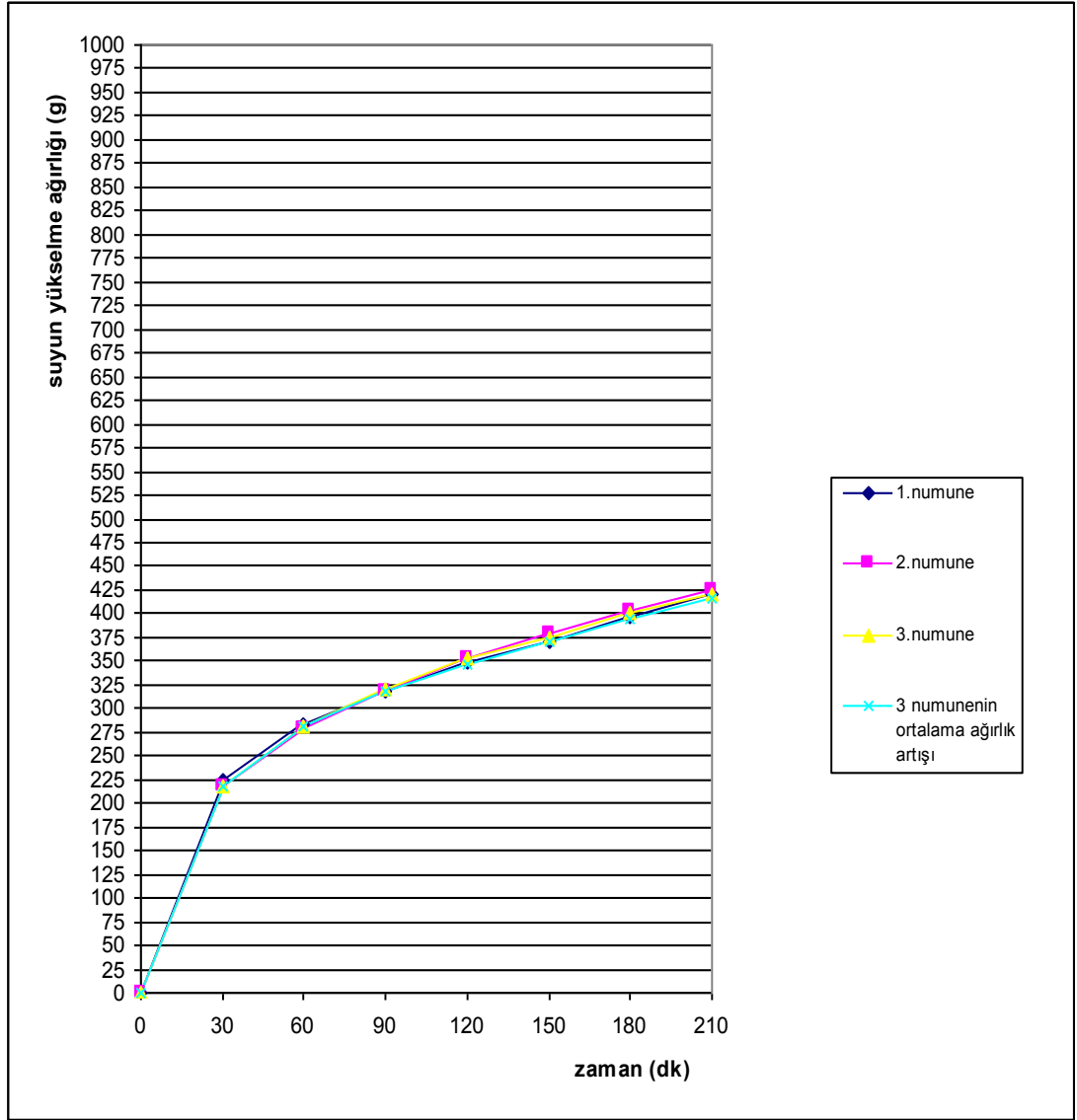
Şekil 5.24 210.dk'da alçı katkılı toprak toprak numune



Şekil 5.25 210.dk'da çimento numune katkı toprak numune



Şekil 5.26 Su emen alçı katkılı toprağın zamana bağlı ağırlıkça artışı



Şekil 5.27 Su emen çimento katkılı toprağın zamana bağlı ağırlıkça artışı

Su emme deneyi yapılan alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerde en fazla su emme ilk 30 dk'da gerçekleşmiştir. Alçı katkılı toprak numuneler 3,5 saat sonra ortalama 928,9 g, çimento katkılı toprak numuneler ise ortalama 415,6 g su emmiştir (Bkz. Şekil 5.26, Şekil 5.27).

Su emme deneyi yapılan 3 adet alçı katkılı toprak numune ve 3 adet çimento katkılı toprak numune 1 hafta açık havada kurumaya bırakıldıktan sonra 72 saat 52°C'deki etüve konuldu. Alçı katkılı toprak numunelerin su emmeden önceki (parafinli) ve su emen numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlıkları (Tablo 5.3), çimento katkılı toprak numunelerin su emmeden önceki (parafinli) ve su emen numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlıkları (Tablo 5.4) saptandı.

Tablo 5.3 Alçı katkılı toprak numunelerin su emmeden önceki ve su emen numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlıkları

Numune	Su emmeden önceki ağırlık (g)	Etüvden çıktıktan sonraki ağırlık (g)
Numune 1	5268,7	6316,6
Numune 2	5257,1	6295,3
Numune 3	5146,2	6141,7
Ortalama	5224,0	6251,2

Tablo 5.4 Çimento katkılı toprak numunelerin su emmeden önceki ve su emen numunelerin etüvden çıktıktan sonraki ağırlıkları

Numune	Su emmeden önceki ağırlık (g)	Etüvden çıktıktan sonraki ağırlık (g)
Numune 1	5701,2	6496,2
Numune 2	5758,7	6519,5
Numune 3	5659,0	6328,1
Ortalama	5706,3	6447,9

Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin su emme deneyi yapılmadan önceki ağırlığı ile etüvden çıktıktan sonraki ağırlığı karşılaştırıldığında tüm numunelerin nemli olduğu saptandı ve her bir numunenin nem oranı belirlendi. Alçı katkılı toprak numunelerin nem oranı Bkz. Tablo 5.5'te, çimento katkılı toprak numunelerin nem oranı Bkz. Tablo 5.6'da verilmektedir.

Tablo 5.5 Alçı katkılı toprak numunelerin nem oranı

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

Tablo 5.6 Çimento katkılı toprak numunelerin nem oranı

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

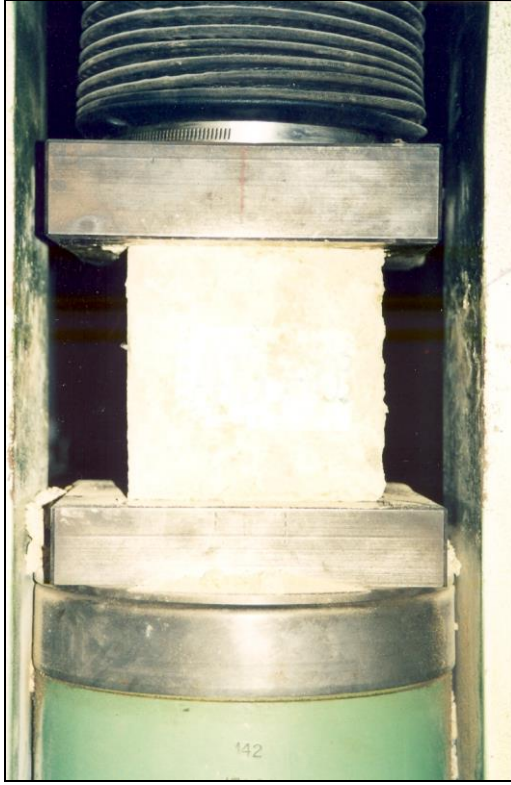
5.3 Su Emen Numunelerde Basınç Dayanımı Deneyi

Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin her birinin su emmeden önceki ağırlığı ile etüvden çıktıktan sonraki ağırlığına göre nem oranı belirlendi.

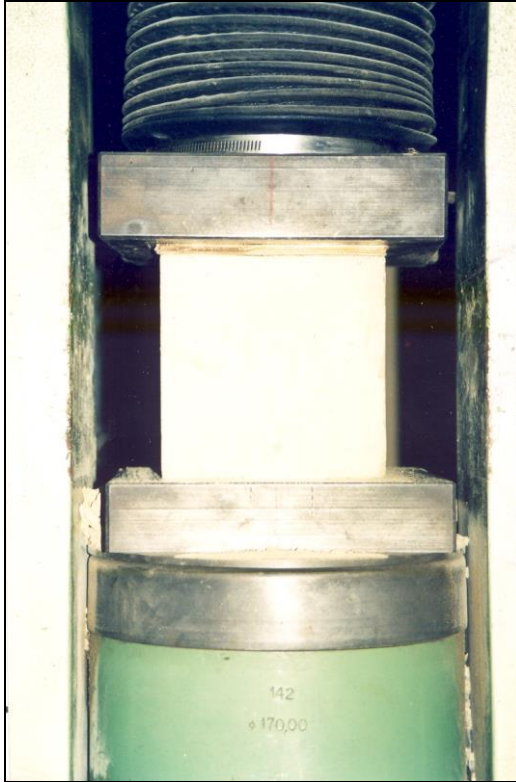
39. günde 3 adet alçı katkılı toprak numune ve 3 adet çimento katkılı toprak numune üst yüzeylerine 15 cm x 15 cm neopren levhalar konularak basınç doğrultusunda pres makinesine yerleştirilip basınç dayanımı deneyi yapıldı.

Su emen ve kür edilen alçı katkılı toprak numunede basınç dayanımı deneyi Bkz. Şekil 5.28’de, çimento katkılı toprak numunede basınç dayanımı deneyi Bkz. Şekil 5.29’da gösterilmektedir.

Su emen ve kür edilen alçı katkılı toprak ile çimento katkılı toprak numunelerde Bkz. Bölüm 5.1’de belirtilen formüller kullanılarak nem oranlarına göre numunelerin basınç dayanımı (5.1), standart sapma (5.2) ve z skoru (5.3) hesaplandı.



Şekil 5.28 Su emen alçı katkılı toprak numunede basınç dayanımı deneyi



Şekil 5.29 Su emen çimento katkılı toprak numunede basınç dayanımı deneyi

Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru Tablo 5.7’de, çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru ve Tablo 5.8’de verilmektedir.

Tablo 5.7 Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru

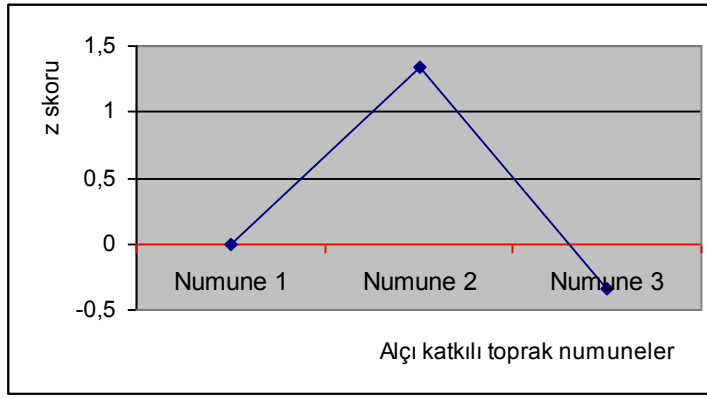
Numune	Kırılma yükü (kN)	Nem (%)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Standart sapma	z skoru
Numune 1	20,0	19,7	0,89		0
Numune 2	21,0	19,3	0,93		1,33
Numune 3	19,8	19,8	0,88		-0,33
Ortalama	20,2	19,6	0,90	0,03	

Tablo 5.8 Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, standart sapma ve z skoru

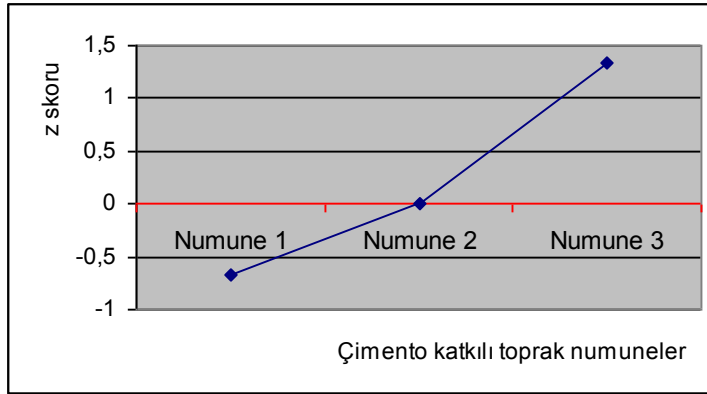
Numune	Kırılma yükü (kN)	Nem (%)	Basınç dayanımı (N/mm ²)	Standart sapma	z skoru
Numune 1	30,6	13,9	1,36		-0,66
Numune 2	31,3	13,8	1,39		0
Numune 3	32,7	13,0	1,45		1,33
Ortalama	31,5	13,6	1,40	0,05	

Ortalama basınç dayanımı su emme deneyi yapıp kurutulan ortalama % 19,6 nemli alçı katkılı toprak numunelerde 0,90 N/mm², ortalama % 13,6 nemli çimento katkılı toprak numunelerde 1,40 N/mm² bulundu.

Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’de verilen değerlere göre alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru (Bkz. Şekil 5.30), çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru (Bkz. Şekil 5.31) belirtilmektedir.

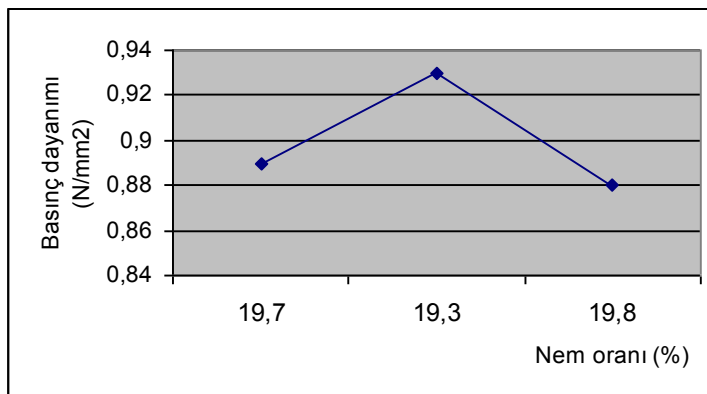


Şekil 5.30 Alçı katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru

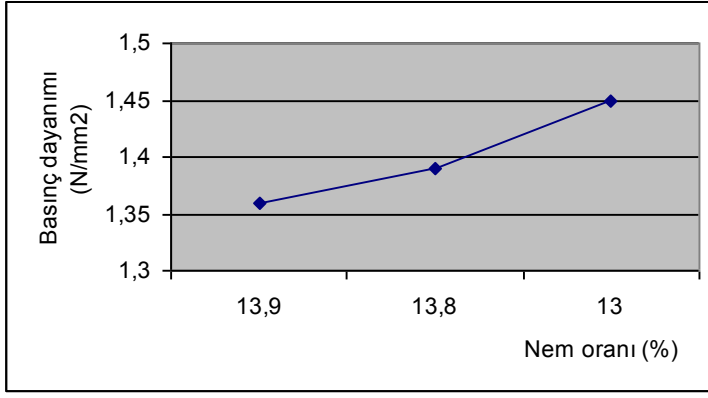


Şekil 5.31 Çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre standart sapma ve z skoru

Deney sonucunda nem oranlarına göre basınç dayanımının değişmesine bağlı olarak, nem oranı azaldıkça basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Alçı katkılı toprak numunelerde nem oranına göre basınç dayanımı Şekil 5.32’de, çimento katkılı toprak numunelerde nem oranına göre basınç dayanımı Bkz. Şekil 5.33’te gösterilmektedir.



Şekil 5.32 Alçı katkılı toprak numunelerde nem oranına göre basınç dayanımı



Şekil 5.33 Çimento katkılı toprak numunelerde nem oranına göre basınç dayanımı

6. SONUÇLAR

Alker (alçı katkılı kerpiç) teknolojisinin püskürtme beton (shotcrete) tekniği ile uygulanabilirliğinin basınç dayanımı açısından deneysel değerlendirmesine yönelik İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve Zemin Mekanik Laboratuvarı'nda yapılan araştırma sonuçları iki başlık altında toplanmıştır.

6.1 Uygulama Sonuçları ve Değerlendirmesi

- TS 11747'ye göre deney çalışması uygulamasından önce püskürtülecek alkerin karışım oranları, püskürtme sırasında katılacak su miktarının ayarı ve püskürtme makinesinin özellikleri belirlendi. Bunun için 2 adet 15 cm x 15 cm x 15 cm'lik çelik kalıp ve 1 adet 30 cm x 75 cm x 75 cm'lik ahşap kalıp kullanılarak 11 Haziran - 16 Temmuz 2003 tarihleri arasında ön bir deneme yapıldı. Daha sonra 18 Temmuz - 4 Ağustos 2003 tarihlerinde deneysel uygulamalara geçildi. Uygulamada püskürtme makinesinin hızının az olduğu ve basınçtan ziyade daha fazla hava hacminin gerekli olduğu saptanmıştır. 3 m³/h kapasiteli ve 35 mm iç çapındaki hortumla kompresör havasının yeterli olmadığı, hava hacmi için en az 6 - 7 m³/dk kapasiteli kompresör kullanılması gerektiği belirlenmiştir.
- Püskürtme beton tekniğinde püskürtme hızına bağlı karışım, homojen olarak kalıbın şekline göre yerleşip sıkıştığından duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniğinde olduğu gibi kalıbın desteklenmesinin gerekmediği görülmüştür. Böylece, maliyeti düşük kalıp kullanılarak duvar inşa edilebileceği belirlenmiştir.
- TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622'ye göre, duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile 3 m³/gün üretim yapılırken, bu araştırmada ise kuru karışumlu püskürtme beton tekniği ile 3 m³/h üretim yapılmıştır. Buna göre, kuru karışumlu püskürtme ile alker elde etme tekniğinin, duvar kalıbı

içinde tokmaklama ile alker elde etme tekniğine göre daha hızlı bir teknik olduğu görülmüştür.

6.2 Deney Sonuçları ve Değerlendirmesi

- TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622'deki sonuçlara göre, duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile elde edilen basınç dayanımı 2 - 4 N/mm²'dir. Ortalama basınç dayanımı, kuru karışimli püskürtme beton tekniği ile elde edilen alçı katkılı toprak numunelerde 1,04 N/mm²; çimento katkılı toprak numunelerde 2,04 N/mm² bulunmuştur. TS 537'ye göre % 5, % 7, % 10 çimento katkılı kerpiç bloklar için basınç dayanımı sırasıyla 1,0; 1,6; 2,1 N/mm²'dir. Bu değerlere göre püskürtme tekniği ile elde edilen alçı katkılı toprak numunelerin ortalama basınç dayanımının, % 5 çimento katkılı kerpiç bloğun basınç dayanımına eşit olduğu; püskürtme tekniği ile elde edilen çimento katkılı toprak numunelerin ise ortalama basınç dayanımının % 10 çimento katkılı kerpiç bloğun basınç dayanımına yakın bir değerde çıktığı görülmüştür. Püskürtme tekniği ile elde edilen alkerin ortalama basınç dayanımı, duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile elde edilen basınç dayanımından düşük bulunmuştur. Püskürtme tekniğinde makine ve ekipman özelliklerinin uygulama sonucunu etkileyeceği bilinmektedir. Bu alanda yapılması önerilen deneysel çalışmalar ile daha iyi sonuçların elde edilmesi beklenmektedir.
- Basınç dayanımı deneyi sonucu kırılma şekline bakıldığında, alçı katkılı toprak numuneler üçgen prizma biçiminde kırılırken (Bkz. Şekil 5.28), çimento katkılı toprak numunelerin ortadan dikey kırıldığı (Bkz. Şekil 5.29) görülmüştür. Buna göre, alçı - toprak karışımı sünek (düktil), çimento - toprak karışımı gevrek (fajil) malzeme özelliği göstermiştir. Malzemelerin sünek davranması istenilen bir özelliktir.
- TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622'de kılcallık deneyinde, tokmaklama tekniği ile vibrasyonlu kompaktör yardımı ile 10 cm x 10 cm x 50 cm'lik çelik kalıplara yerleştirilen % 10 alçı ve % 2 kireç katkılı numunelerde 24 saatlik gözlem sonunda su 17 cm (ağırlığının yaklaşık % 34'ü) yükselmiştir. Püskürtme tekniği ile elde edilen ve her 30 dk'da bir su emme miktarı ölçülen alçı katkılı toprak numuneler 3,5 saat sonra ortalama 928,9 g (ağırlığının yaklaşık

% 18'i); çimento katkılı toprak numuneler ise ortalama 415,6 g (ağırlığının yaklaşık % 7'si) su emmiştir. Püskürtme tekniği ile elde edilen alçı - toprak karışımının su emme miktarı, duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile elde edilen alçı - toprak karışımının su emme miktarından fazla bulunmuştur. Bu durum, alçı - toprak karışımı hazırlama sürecinin her iki teknikte farklı olmasından dolayı karışımlarda ayrı tepkime gerçekleşmesi ile açıklanabilmektedir. Duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniğinde, karışımdaki suyun 1/3'ü toprağa katılır. Kalan 2/3'lük suya önce kireç, sonra alçı katılarak elde edilen karışım 1/3'lük su ve toprak karışımına yedirilir. Püskürtme tekniğinde ise toprak, alçı ve kireç kompresörde birlikte karıştırıldıktan sonra püskürtme esnasında katılan su ile püskürtülmüştür. Alçı katkılı toprak numuneler beklenenin dışında çimento katkılı toprak numunelerden daha fazla su emmiştir. Bu durumun nedenini belirlemek amacıyla deney çalışmalarının yapılması önerilmektedir.

- Alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerde su emdikten sonra herhangi bir dağılma, ayrılma görülmemiştir.
- Su emme deneyi yapılan numuneler, 1 hafta açık havada ve 72 saat 52°C'deki etüvde kaldıktan sonra basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Ortalama basınç dayanımı ortalama % 19,6 nemli alçı katkılı toprak numunelerde 0,90 N/mm², ortalama % 13,6 nemli çimento katkılı toprak numunelerde 1,40 N/mm² bulunmuştur. Nemli alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımı, kuru alçı katkılı toprak ve çimento katkılı toprak numunelerin basınç dayanımına göre azalmıştır. Numunelerde nem oranı azaldıkça basınç dayanımının arttığı görülmüştür. 72 saat etüvde kaldıktan sonra alçı katkılı toprak için % 19,6'lık ve çimento katkılı toprak için % 13,6'lık ortalama nem oranının, numunenin uzun süre etüvde kalması ve daha fazla kurumasına bağlı olarak azalması ile basınç dayanımının artması beklenmektedir. Su emmenin ardından kimyasal tepkimeye girmeyen kil tanecikleri su ile karşılaştığında sürtünme bağlarının zayıflamasından dolayı alçı - toprak karışımının dayanımı azalmıştır. Bununla birlikte bu karışımın % 2 kireç katkısı ile belli bir doygunlukta su emdikten sonra daha fazla su emmeyerek zaman içinde (duvar elemanı olarak

düşünüldüğünde) önceki dayanımına yakın bir değere dönmesi beklenmektedir.

- Ortalama basınç dayanımı, su emen ortalama % 19,6 nemli alçı katkılı toprak numunelerde kuru alçı katkılı toprak numunelere göre % 13,8; su emen ortalama % 13,6 nemli çimento katkılı toprak numunelerde kuru çimento katkılı toprak numunelere göre % 30,8 azalmıştır. Buna göre, çimento katkılı toprak numunelerin su emdikten sonraki basınç dayanımındaki azalma miktarının, alçı katkılı toprak numunelere göre daha fazla olduğu bulunmuştur. Bu durum, çimentonun karışımda bağlayıcı rol üstlenmesine karşın, alçının mineraller ile tepkimeye girip minerallerin yapısını değiştirerek daha dayanımlı bir yapı oluşturmaya ile açıklanabilmektedir.

Tuğla boyutunda şekillendirilen alker bloklar ile duvar örülmesi tekniği ile başlayan alker duvar yapımı, duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniği ile ilerletilmiştir. Teknolojik gelişmeye paralel olarak, araştırmada alker teknolojisinin püskürtme beton tekniği ile uygulanabilirliğinin basınç dayanımı açısından deneysel değerlendirmesi ilk kez yapılmıştır.

Sonuç olarak, kuru karışimli püskürtme beton tekniği ile hazırlanan alkerin püskürtme makinesi ile uygulanabildiği, bu tekniğin duvar kalıbı içinde alkerin tokmaklanması tekniğine göre daha hızlı ve rasyonel olduğu görülmüştür. Püskürtülen alkerin, duvar kalıbı içinde tokmaklama tekniği ile elde edilen alkere göre basınç dayanımının artırılması ve beklenenden fazla su emmesi nedeni ile su emmeye karşı duyarlılığının azaltılması amacıyla deneysel çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]Işık, B., 2000. Alker Yapılar 1983-2000, İstanbul.
- [2]Houben, H., and Guillard, H., 1994. Earth Construction, A Comprehensive Guide, Intermediate Technology Publications, London.
- [3]Işık, B., Akın, A., Kuş, H., Çetiner, İ., Göçer, C., Arıoğlu, N., 1995. Alçı Katkılı Kerpiç Yapı Malzemesine Uygun Mekanize İnşaat Teknolojisinin ve Standartlarının Belirlenmesi, *TÜBİTAK İNTAG TOKİ 622*, İstanbul.
- [4]Kömürcüoğlu, E. A., 1962. Yapı Malzemesi Olarak Kerpiç ve Kerpiç İnşaat Sistemleri, İstanbul Teknik Üniversitesi , İstanbul.
- [5]Warren, J., 1999. Conservation of Earth Structures, Butterworth-Heinemann, London.
- [6]Eczacıbaşı Sanat Ansiklopedisi, 1993. 2. Cilt, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul, s.997-998.
- [7]Pfeifer, G., 2001. Masonry Construction Manuel, Edition Detail, Basel, München.
- [8] www.arkitera.com/sektoreletkinlikler
- [9]Kafesçioğlu, R., 1980. Yapı Malzemesi Olarak Kerpicein Alçı ile Stabilizasyonu, *TÜBİTAK MAG 505*, İstanbul.
- [10]Işık, B., 1993. ABD’de Konut Yapıları “Kerpiç Yapılar”, *Yapı Mimarlık Kültür ve Sanat Dergisi, İstanbul*, **140**, 55-63.
- [11] www.solidearth.co.nz
- [12] www.terrageria.com
- [13]Başgelen, N., 1993. Çağlar Boyunca Anadolu’da Duvar, Arkeoloji ve Sanat Yayınları, İstanbul.
- [14]Mutlı, B., 1996. Mimarlık Tarihi “Ders Notları”, Mengitan Matbacılık.
- [15]Bektaş, C., 1996. Türk Evi, Yapı Kredi Yayınları, İstanbul.
- [16] <http://members.tripod.com>
- [17]Meydan Larousse Büyük Lügat ve Ansiklopedi, 1992. 4.Cilt, İstanbul, s.201.
- [18]Aran, K., 1999. Barınaktan Öte, Tepe Mimarlık Kültür Merkezi, Ankara.
- [19]Aru, K. A., 1998. Türk Kenti, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- [20]Acun, S., Gürdal. E., 2003. Yenilenebilir Bir Malzeme: Kerpiç ve Alçılı Kerpiç, *Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, İstanbul*, **427**, 71-77.
- [21]TS 2514, 1977. Kerpiç Bloklar ve Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

- [22]**TS 2515**, 1985. Kerpiç Yapıların Yapım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [23]**Eriç, M.**, 1980. Kerpiç Eski Evlerin Onarımı ve Korunmasında bir Araştırma, *Üçüncü Uluslararası Kerpiç Koruma Sempozyumu*, Ankara, 29 Eylül-4 Ekim 1980, s.79-86.
- [24]**Kafesçioğlu, R.**, 1949. Orta Anadolu Köy Evleri Yapısı, *Yeterlik Çalışması*, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [25]**Allen, E., Thallon, R.**, 1990. Fundamentals Residential of Construction, New York.
- [26]**Gündüz, Z.**, 1988. Bağlayıcı Olmayan Katkı Maddeleri ile Kilden Kerpiç İmalinin Mühendislik Özellikleri, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [27]**Anon.**,1993. VKF Vereinigung Kant. Feuerversicherungen, Brandschutzregister, Ausgabe.
- [28]**Anon.**, SIA 181, Schallschutz im Hochbau, SIA 381/1 Baustoffkennwerte.
- [29]**Kafesçioğlu, R., Gürdal, E.**, 1985. Çağdaş Yapı Malzemesi Alker, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Enerji Dairesi Başkanlığı, Shell, İstanbul.
- [30]**Akman, A.**, 1995. Kerpicingin Araştırılması ve Niteliklerinin Geliştirilmesi Üzerine, *Yapı Mimarlık Kültür ve Sanat Dergisi*, İstanbul, **169**, 104-105.
- [31]**Kafesçioğlu, R.**, 1977. Yapı Malzemesi Olarak Toprak-Kerpiç Ders Notları, İTÜ Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [32]**Türkçü, Ç.**, 2004. Yapım / Malzemeler, Yöntemler, İlkeler, Çözümler, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [33]**Eriç, M.**, 1994. Yapı Fiziği ve Malzemesi, Literatür Yayınları:2, İstanbul.
- [34]**United Nations for Human Settlements (Habitat)**, 1988. A Compendium of Information on Selected Low-Cost Building Materials, Nairobi.
- [35]**Işık, B.**, 2002. Kerpiç Yapının Depremdeki Davranışının Araştırılması, Alker Yapı Örneği, İstanbul.
- [36]**Tanrıverdi, C.**, 1984. Alçılı Kerpicingin Üretim Olanaklarının Araştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] www.kerpice.org
- [38]**TS 11747**, 1995. Püskürtme Beton (Shotcrete) Yapım, Uygulama ve Bakım Kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [39]**ACI 506R-90.**, 1990. Guide to Shotcrete, Reported by ACI Committee 506, American Concrete Institute, Detroit.
- [40] www.beksa.com.tr
- [41] www.commercialshotcrete.com
- [42]**Aka, İ., Celep, Z.**, 1978. Püskürtme Beton ve Uygulaması, *Doktora Tezi*, İTÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi, İstanbul.
- [43] www.mining-technology.com

- [44] www.hepco.co.ip
- [45] www.cement.org
- [46] www.golder.com
- [47] **Arioğlu, E., Yüksel, A.**, 1999. Tünel ve Yeraltı Mühendislik Yapılarında Çözümlü Püskürtme Beton Problemleri, İstanbul.
- [48] www.reedpums.com
- [49] www.cimit.csiro.au
- [50] **Hasol, D.**, 1995. Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü, Yapı Endüstri Merkezi Yayınları, İstanbul.
- [51] **TS 3114**, 1990. Beton Basınç Mukavemeti Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [52] **TS 10465**, 1992. Beton Deney Metodları, Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Beton), *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [53] www.muh.istanbul.edu.tr

ÖZGEÇMİŞ

Kevser Coşkun, 1978’de Gelibolu’da doğdu. 1994’te Kadir Has Lisesi’ni bitirdi. 2000’de İTÜ Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü’nden mezun oldu. 2001’de İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Çevre Kontrolü ve Yapı Teknolojisi Programı’nda yüksek lisans eğitimine başladı. Mezuniyet sonrası ve yüksek lisans eğitimi döneminde inşaat ve dekorasyon firmalarında çalıştı. 2004’de başladığı İTÜ Yapı Bilgisi Anabilim Dalı Yapı Elemanları Birimi’nde araştırma görevlisi olarak görev yapmaktadır.