



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Puzolan Katk. Kireç Harcı. Mek. Özel. Etk.

Yüksek Lisans Tezi

KEMAL BAYDEMİR

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE VE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Yer No (DDC): R.150/609

Kayıt No : 3727
Geldiği Yer : Fen Bilimleri
Tarih : 27.12.2007
Fiyat : 3,00
Fatura No :
Ayniyat No : 23
Ek :

2550702039999 3040000

609

PUZOLAN KATKILARIN KİREÇ HARCININ MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİLERİ

FBE İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Kemal BEYDEMİR
03513103

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 4 Ocak 2007

Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Şubat 2007

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fevziye AKÖZ

Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Nabi YÜZER

Doç. Dr. Fahriye KILINÇKALE (İÜ)

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ŞEKİL LİSTESİ.....	iv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	v
KISALTMA LİSTESİ.....	vi
ÖNSÖZ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT.....	ix
1 GİRİŞ	1
2 KONU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER	3
2.1 Harç	3
2.1.1 Üretim Yöntemi.....	3
2.1.2 Özellikleri.....	5
2.1.3 Yapıda Kullanım Yeri ve Amacı.....	6
2.1.4 Yapılmış Deneysel Çalışmalardan Örnekler:	7
2.2 Bağlayıcılar.....	14
2.2.1 Özellikleri	14
2.2.1 Alçı	16
2.2.1.1 Üretimi.....	18
2.2.1.2 Özellikleri.....	18
2.2.1.3 Yapıda Kullanım Yeri ve Amaçları.....	20
2.2.2 Kireç	20
2.2.2.1 Üretim Yöntemi	20
2.2.2.2 Kirecin Sertleşmesi.....	23
2.2.2.3 Kirecin Özellikleri	24
2.2.2.4 Kirecin Yapıda Kullanım Yeri ve Amaçları.....	25
2.2.3 Çimento	26
2.2.3.1 Üretimi.....	28
2.2.3.2 Özellikleri	28
2.2.3.3 Yapıda Kullanım Yeri	29
2.2.4 Puzolanlar	29
2.2.4.1 Özellikleri	35
2.2.4.2 Yapıda Kullanım Yeri ve Amaçları.....	36
2.2.4.3 Doğal Puzolanlar ile ilgili Çalışmalar:	37
2.3 Agregat	37
2.4 Katkı Maddeleri.....	38
2.5 Karma Suyu	39
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	40
3.1 Deneyde kullanılan malzemeler	40

3.1.1	Kireç	40
3.1.2	Standart RILEM Kumu	40
3.1.3	Cüruf.....	41
3.1.4	Silis Dumanı	42
3.1.5	Uçucu Kül.....	42
3.2	Puzolanik Aktivite Deneyi	43
3.3	Ön Deneyler.....	44
3.4	Harç Üretimi ve Numunelerin Kodlanması.....	45
3.5	Kontrol Deneyleri.....	46
3.5.1	Birim Ağırlık Deneyi.....	46
3.5.2	Eğilme Deneyi	46
3.5.3	Basınç Deneyi	47
4	DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	48
4.3	Birim Ağırlık	48
4.2	Eğilme Dayanımı.....	49
4.3	Basınç Dayanımı	50
5	DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ	52
5.1	Birim Ağırlık Deneylerinin İrdelenmesi	52
5.2	Eğilme Dayanımı Deneylerinin İrdelenmesi	52
5.3	Basınç Dayanımı Deneylerinin İrdelenmesi.....	53
6	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	55
	KAYNAKLAR	56
	ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 2.1	Bağlayıcı maddeler	14
Şekil 3.1	Rilem Kumu Granülometri Eğrisi.....	41
Şekil 4.1	Harçta Birim Ağırlıklar	48
Şekil 4.2	Şahit ve Puzolan Katkılı Harçların Eğilme Dayanımının Zamanla Değişimi	50
Şekil 4.3	SSF, SUK ve SYFC gruplarının 28.gündeki SC grubu numunelerine göre eğilme mukavemeti.....	50
Şekil 4.4	Şahit ve Puzolan Katkılı Harçların Basınç Dayanımının Zamanla Değişimi	51
Şekil 4.5	SSF, SUK, SYFC gruplarının 28.gündeki SC grubu numunelerine göre basınç mukavemeti.....	51

ÇİZELGE LİSTESİ**SAYFA**

Çizelge 2.1	Harç Karışım Oranları.....	4
Çizelge 2.2	Harç Karışım Oranları.....	4
Çizelge 2.3	Selanik'teki Bizans yapıları için üretilen harçların karışım oranları	7
Çizelge 2.4	Hazırlanan numunelerin test sonuçları.....	8
Çizelge 2.5	Selanik'teki 400 yıllık Osmanlı mimarisinin harç mukavemetleri ve elastisite modülü	8
Çizelge 2.6	Harç numunenin ağırlığına göre karışım oranları	8
Çizelge 2.7	40x40x160 mm boyutlarındaki numunelerin mukavemeti ve elastisite modülleri	9
Çizelge 2.8	Değirmenci ve Baradan tarafından üretilen harç özellikleri	9
Çizelge 2.9	Mavi tarafından üretilen harç karışım oranları	10
Çizelge 2.10	Mavi tarafından üretilen harçların mekanik deney sonuçları.....	10
Çizelge 2.11	1m ³ taze betonu oluşturan malzeme miktarları	11
Çizelge 2.12	Lifsiz ve lifli betonların eğilme dayanımı değerleri.....	11
Çizelge 2.13	Üretilen numunelerin kodlanması ve malzeme karışım oranları	12
Çizelge 2.14	Ortalama eğilme mukavemeti değerleri (MPa).....	12
Çizelge 2.15	Ortalama basınç mukavemeti değerleri (MPa)	13
Çizelge 2.16	Eğilme ve basınç mukavemeti değerleri (MPa).....	14
Çizelge 2.17	Kirecin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri.....	25
Çizelge 2.18	Portland Çimento türleri.....	28
Çizelge 3.1	RILEM kumu granülometri değerleri	40
Çizelge 3.2	Cürufun kimyasal analizi ve fiziksel özellikleri	41
Çizelge 3.3	Cürufun mekanik özellikleri	42
Çizelge 3.4	Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri	42
Çizelge 3.5	Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri.....	43
Çizelge 3.6	Uçucu külün fiziksel özellikleri	43
Çizelge 3.7	Harç üretimi (1dm ³) için gerekli malzeme miktarları.....	43
Çizelge 3.8	Puzolanik aktivite deney sonuçları	44
Çizelge 3.9	Malzeme Miktarları ve Yayılma Oranı	45
Çizelge 3.10	Üretilen numunelerin kodlanması ve malzeme karışım oranları	46
Çizelge 4.1	Harçlarda birim ağırlıklar (g/cm ³)	48
Çizelge 4.2	Ortalama eğilme mukavemeti değerleri (MPa).....	49
Çizelge 4.3	Ortalama basınç mukavemeti değerleri (MPa)	51

KISALTMA LİSTESİ

ASTM	Amerikan Standart for Testing Materials
RILEM	Uluslararası Malzeme ve Yapı Laboratuarları Birliği
TSEN	Euro Code' a girmiş standartlar

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın meydana gelmesinde, değerli zamanını ayırarak desteklerini, bilgilerini ve deneyimlerini esirgemeyen Sayın Prof. Dr. Fevziye AKÖZ'e,

Laboratuvar çalışmaları sırasında her konuda bana yardımcı olan Sayın Araş. Gör. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT'a ve YTÜ İnşaat Fakültesi Yapı malzemeleri Laboratuvarı Öğretim Elemanlarına ve Teknisyen Halil YAVAŞÇA'ya

Destegiğini her zaman hissettiğim aileme, sonsuz teşekkür ederim.

İnş. Müh.

Kemal Beydemir

ÖZET

Tarihinde pek çok uygarlığın beşiği olan Anadolu'da yer altında ve yer üstünde bu uygarlıkların sayısız kalıntısı ve halen ayakta olan ve hizmet veren eserler bulunmaktadır. Bu eserlerin korunması ve günümüzden geleceğe aktarılması çağdaş insanın en değerli görevlerinden biri olmalıdır. Başta Bizans ve Osmanlı olmak üzere pek çok tarihi esere ve doğal güzelliğe sahip olan İstanbul 2010 Dünya Kültür Başkenti olmaya hak kazanmıştır. Bu durum, tarihi mirasın korunması konusundaki çalışmaların önemini artırmıştır. Bu konuda yapılacak her çalışma uygulamada somut sonuçların alınmasına katkıda bulunacaktır.

Tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde özgün malzemeye uygun dayanımı yüksek, dayanıklılığı artırılmış harç karışımlarının hazırlanması uygulayıcılar için önemli bir kazanım olacaktır.

Günümüze kadar ulaşan tarihi yapılarda kireç harcı kullanılmış ancak kirecin dayanımının ve suya karşı dayanıklılığının az olması nedeniyle Güney Avrupa'da doğal puzolan Bizans ve Osmanlı yapılarında ise kalsine edilmiş kil, tuğla kırığı ve tozu kullanılmıştır.

Bu çalışmada kireç harcı üretiminde puzolanik özelliği olan silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu, endüstri atığı mineral katkı maddeleri kullanılmıştır. Bu maddeler kireç miktarının %30'u oranında katılmış dört farklı harç karışımı hazırlanmıştır. Agregat olarak silis esaslı standart kum kullanılmış, tuğla tozu ve kırığı kapsam dışı bırakılmıştır.

Belirlenen 4 grup numunede 7. 28. ve 365. günlerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Puzolanların taze harç özelliklerine, eğilme ve basınç dayanımına etkisi bir yıl süren mekanik deneyler ile araştırılmış puzolanların dayanıklılığa etkisi kapsam dışı bırakılmıştır.

Deney sonuçlarından kireç harcına belirli oranda puzolan malzeme katılması harçların dayanımını artırmıştır.

Anahtar sözcükler: Harç, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu

ABSTRACT

Being a cradle in its past to many civilizations, Anatolia nests to many remnants of these civilizations either underground or on the surface, many of which are still in the service of public. Therefore it is the most reputable obligation of all mankind to put their utmost effort to preserve these structures and relay to the next generations as the most valuable heritage left by our ancestors. Because of hosting a vast heritage of many different civilizations, particularly from Byzantine and Ottoman times, and also with her paramount natural beauties, Istanbul has already deserved to be the World's Cultural Capital for the year of 2010. Obviously this situation has increased the importance of enhanced efforts to be put in, in preserving this heritage to their originals. Any effort spent in to this purpose will surely produce concrete results.

For the renovative works of historical structures, it is obvious that the preparation of prescriptions to produce compatible to genuine mortar mixtures with enhanced strength and durability is of utmost importance for the purpose.

Because of the low strength of lime mixture mortars alone used in historical buildings reaching to our times and their poor durability features to environmental attacks like water, finely powdered natural pozzolana has been used in the mortar mixtures of Southern European and calcined clay, finely crushed red brick and its powder has been used in the mortars of Byzantine and Ottoman times structures.

In this workshop pozzolana featured industrial residuals like silica fume, fly ash and blast furnace slag have had been used. Four different mortar mixtures have been prepared with 30 percent addition of these pozzolana materials proportionated to the lime in weight. Silica based standard sand had been used and fine crushed red brick and its powder were exempted.

Compressive and flexural tests had been carried out on four differently prescribed group of samples at 7, 28 and 365 days intervals. Scope of this study was limited to the flexural and compressive strength tests leaving the durability concerns out of the scope.

Keywords: Mortar, fly ash, silica fume, blast furnace slag

1 GİRİŞ

Eski Yunan, Roma ve onu izleyen dönemlerden, çimentonun bulunmasına kadar geçen sürede yapıların inşaatında kullanılmıştır. Kireç harcı ,bağlayıcı olarak kireç , su ve dolgu malzemesinin karıştırılması ile elde edilir. Yapı üretiminde kullanılan bilinen en eski bağlayıcılar alçı ve kireçtir. Mısırlıların kireç kullanarak harç ürettikleri sanılmaktadır. Romalılar, kirece puzolan denilen maddeyi katarak elde ettikleri bağlayıcı ile zamanımıza kadar dayanan yapılar üretmişlerdir. Roma'daki Coliseum harabeleri ve Fransa'nın güneyindeki Nimes şehrine yakın Gard köprüsü bu yapılara birer örnektir. Kireç ve puzolan karışımı harçlar ile :Roma'da üç ve hatta dört katlı evlerin açıklığı 30 m aşan köprülerin ve önemli deniz yapılarının yapıldığı bilinmektedir(Postacıoğlu,1986). Fransız mühendis Vicat 1818 yılında bir miktar kil içeren, saf olmayan kalker pişirmek suretiyle su kireci denilen bağlayıcı malzemeyi bulmuş, ilk kez çimento ilkesini içeren bir bağlayıcı malzeme üretilmiştir

Ancak yapıların başlıca malzemelerinden biri olan kireç suya karşı dayanıksızdır ve mukavemeti düşüktür. Bu nedenle kireç yerine çağdaş malzemeler tercih edilmektedir. Günümüzde kireç harcı yerine portland çimentosu yaygın olarak kullanılmaktadır. Çimento icat edilmeden önce kagir inşaat (yığma yapılarda) kabul edilen emniyet gerilmeleri 1-2 MPa iken çimentonun kullanılmasıyla bu değer 3 MPa hatta 7.5 MPa kadar yükseltilmiştir.

Kireç harcına yeni özellikler kazandırmak ve bazı özelliklerini de belirgin olarak arttırmak için içerisine puzolonik katkı maddeleri ve lifler katılmaktadır. Bu şekilde kullanımı giderek azalan kireç harçlarının nitelikleri iyileştirilebilir ve özellikle tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanımı yeniden yaygınlaştırılabilir. Ancak tarihi yapıların korunmasına yönelik yapılacak müdahalelerden önce harçların özelliklerinin belirlenmesi ve bu özelliklere sahip harç üretilerek koruma çalışmalarının yürütülmesi gerekir. Çünkü çimento gibi bilinçsizce seçilen malzemeler kullanılarak yapılan müdahaleler, tarihi yapıların bozulma sorunlarını artırmakta, yapılarda geri dönüşümü mümkün olmayan zararlara neden olmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle kireç harcının, bağlayıcıların, puzolan malzemelerin özellikleri, tarihçesi ile ilgili kaynak taraması yapılmıştır. Kireç harcının dayanımı ve dayanıklılığını artırmak amacı ile kirece %30 oranında yüksek fırın cürufu, silis dumanı ucucu kül gibi puzolanik özelliği olan inorganik katkı maddeleri katılmış, bu maddelerin kireç harcının mekanik özelliklerine etkisi deneysel olarak araştırılmıştır. Deneysel çalışma puzolan katkıları ile sınırlandırılmış, lif etkisi ve puzolanların harçların dayanıklılığına etkisi kapsam dışında bırakılmıştır.

Deneysel çalışmada kireç harcı başta olmak üzere bu harca, %30 oranında cüruf, silis dumanı ve uçucu kül eklenerek 4 seri harç hazırlanmış, bu harçlardan 7., 28. ve 365. günlerde eğilme ve basınç deneyleri yapılmak üzere 40x40x160 mm boyutlu toplam 36 adet numune üretilmiştir.

2 KONU İLE İLGİLİ GENEL BİLGİLER

Bu tezin konusu olan puzolan katkılı kireç harçlarının incelenmesi için harcın tanımı, üretimi, özellikleri ve harç üretiminde kullanılan bağlayıcıların ve puzolanların özellikleri tarihi süreç içinde ele alınmış bu amaç ile konu ile ilgili kaynaklardan yararlanılmıştır.

2.1 Harç

Bağlayıcı malzeme, kum, su ve gerektiğinde katkı malzemelerinin karıştırılmasından meydana gelen, katılaşma özelliğine sahip karışımlara "harç" denir (Eriç, 1994).

Harç, kâgir yapıların derzlerinde kullanılabilen, bağlayıcı ve kumun bir miktar su ile yoğrulmasından elde edilen, az veya çok plastik özelliği olan bir hamurdur (Debes, 1961).

Harçlar, bünyelerine giren bağlayıcı malzeme çeşidine göre kil, alçı, kireç, çimento ve melez harçlar olmak üzere beş grupta, yapıdaki kullanma yerlerine göre de duvar harçları ve sıva harçları olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilir. Bağlayıcı malzemeler yapıda ayrıca şap, şerbet ve badana işlerinde de kullanılır(Eriç, 1994).

Tarihte ilk harç uygulamaları kil harçlarıdır. Bundan sonra Mısır'da alçı, Roma'da kireç ve puzolanik özelliği olan malzemeler, Osmanlılar'da Horasan harcı, XVIII. yüzyıl Avrupa'sında ise su kireci ile hazırlanan harçlar kullanılmıştır. Bağlayıcı malzeme endüstrisinin gelişmesi ile son olarak XIX. yüzyıl Avrupası'nda çimento harçları yapılarda uygulama alanına girmiştir (Eriç, 1994).

2.1.1 Üretim Yöntemi

Harç, yapıdaki kullanılma şekli ve yerine göre ağırlıkça veya hacimce önceden tespit edilen miktarda bağlayıcı malzeme ve kumun kuru olarak karıştırılması, bu karışıma hidratasyon ve işlenebilme özelliği sağlayıcı nitelikte gerekli miktarda suyun ilave

edilmesi ve tekrar karıştırılması ile işlenebilmeye etki eder. Harca gerekli hallerde mineral esaslı boya pigmenti ve katkı maddeleri ilave edilmesi mümkündür (Eriç, 1994).

Çizelge 2.1 Harç Karışım Oranları (Eriç, 1994)

Harç Cinsi	Hacim Oranları					
	Kil	Tras	Kireç	Alçı	Çimento	Kum
Kil Harcı	1	-	-	-	-	-
Alçı Harcı	-	-	-	1	-	0-4
Kireç Harcı	-	-	1	-	-	3
Puzolanik Harç*	-	0,5-0,7	1	-	-	3-6
Çimento Harcı	-	-	-	-	1	(3)-4-(6)
Melez Harç	-	-	1,5-(2)	-	1	8

* Kireç / Kireç, Tras / Kireç oranları normalleştirilmiştir.

Harç üretiminde kullanılacak malzeme oranları ağırlık esasına, hacim esasına veya bu ikisini birden dikkate alan sisteme göre belirlenir. Hacim esasına göre yapılan harçlarda bir hacim bağlayıcıya birkaç hacim kum katılmak sureti ile harç karışımı elde edilir; Su istenen işlenebilmeyi sağlayacak miktarda konur. Aşağıdaki tabloda hacimce yapılan harç oranları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Harç Karışım Oranları (Saraylı, 1975).

Harç adı	Kireç	Çimento	Alçı	Kum
Alçı	-	-	1	(0-4)
Kireç	1	-	-	3(2-6)
Alçı+Kireç	1	-	1	(3-4)
Çimento	-	1	-	4(3-6)
Melez	1,5	1	-	8(6-10)
Takviyeli	1	1,5	-	8(6-10)

Su bağlayıcının ağırlıkça %20-30'u yoğurma suyu kumun ağırlıkça %3-8'i kadar da ıslanma suyu olarak alınmalıdır. Agrega çapı büyüdükçe ıslanma suyu azalır, ufaldıkça artar. Çünkü ıslanacak özgül yüzey artmaktadır. Nemli kumlardan nem kadar suyu azaltmak gerekir (Saraylı, 1975).

2.1.2 Kireç Harcının Özellikleri

Harçlarda genel olarak aranan özellikler dayanım, doluluk, geçirimsizlik, aderans, hacim sabitliği ve dayanıklılıktır.

Harçların özellikleri malzemenin cinsi, işçiliği, bakım-kür gibi aşağıda açıklanan birçok faktör etki eder (Saraylı, 1975, Akagün 1966, Eriç 1994).

Harçta aranılacak özellikler şunlardır:

a. Harcın mekanik mukavemeti

Kireç harçlarının mukavemetlerine etki eden faktörler:

- Kumun Etkisi

Kumun, basınç ve eğilmede ve çekme mukavemetlerine etkisi büyüktür. Farklı irilikte tane içeren bir başka deyişle sürekli granülometriye sahip kum ile üretilen kireç harçlarının mukavemetleri, aynı irilikte tane içeren kesikli granülometrilik kum ile üretilen harçların mukavemetinden daha yüksektir.

- Killi Kumların Etkisi

Kil su ile birleştiğinde plâstiklik özelliği kazandığı için yapışkanlık özelliği vardır. Kilin az miktarda bulunmasının betonun işlenebilme özelliği ve geçirimsizliği üzerinde faydalı etkileri vardır.

- Kireç Miktarının Etkisi

Kireç harçlarına, arzu edilen harç cinsine göre kireç katılmalıdır. Kireç miktarının artması ile harcın mukavemeti de artmaktadır.

- Karma Suyunun Etkisi

Karma suyu özelliği ve miktarının mukavemete etkisi çok büyüktür. Yeterli işlenebilmenin sağlanması için gerekli olan su miktarından daha fazla su katılması durumunda mukavemet de o nisbette azalma meydana gelir.

- Zamanın Etkisi

Bütün harçlarda olduğu gibi doğal koşullarda kireç harçlarında da zamanla mukavemet artmaktadır. Harçlar ısıtılarak uygulanarak kurutulursa normal mukavemete erişilemez.

b. Harcın doluluğu

Doluluk harca mukavemet, geçirimsizlik, dış etkilere karşı dayanıklılık gibi bir çok özellik kazandıran önemli bir faktördür. Doluluğun sağlanması için kumun granülometri şartlarına kesinlikle uyulması gerekir (Eriç, 1994).

c. Harcın geçirimsizliği

Ekseriya dış sıvada kullanılacak harca, suyu az geçiren maddeler ilâve etmek suretiyle, geçirimsizliği sağlanmış olur. Bu gibi maddelerin seçiminde dikkatli olmak gerekir; ilâve maddelerinin harçla bağdaşması ve uzun müddet tesirlerini muhafaza etmesi lâzımdır (Akagün, 1966).

d. Harcın aderansı

Bağlayıcının uygulandığı yüzeyin pürüzlülüğüne ve özelliğine bağlı olarak harcın yapışma gücüdür. Plastik kıvamdaki harç kurumuş ve taze haldeki harçlara oranla daha yüksek aderansa sahiptir. Harcın türleri içinde yüksek aderansa sahip olarak kireç ve melez harçlar söylenebilir (Eriç, 1994).

e. Harçta hacim değişikliği

Kireç harcı kuruyup setleştikten sonra, ekseriye az veya çok miktarda bir hacim küçülmesine sahip olur. Kurumada önce başlayan hacim küçülmesine, çekilme, büzülme ve buruşma olayı denir. Eğer kurumakta olan harçta meydana gelen hacmen küçülmeler önlenmek istenirse; harç suyunun miktarına ve dış tesirlere dikkat etmek gerekir. (Akagün, 1966).

f. Harçta dış etkilere dayanıklılık

Kireç harcından yapılmış dış sıvalardan en çok hasar gören yerler: Yağmur suyunun temas ettiği, aktığı veya çarptığı mahallerdir. Harç nemli durumdan donma vaziyetine girer ve tekrar bu donun çözülmesiyle birçok arazlar meydana gelir (Akagün, 1966).

2.1.3 Yapıda Kullanım Yeri ve Amacı

Yapıda harç kullanımının temel amacı, yapı bileşenlerini meydana getiren elemanların birbirleri ile bağlantısını sağlayarak bir bütün oluşturmaktır. Böylece, bileşene gelen basınç yüklerinin dağılımını gerçekleştiren harç, bileşenin esnemesine de yardımcı olur.

Taş veya tuğladan yapılmış olan, birçok eski eserin kalın duvarlarında kullanılmış olan harçlar, sınırlı basınç dayanımına sahip olsa da bunun bir harç için oldukça doyurucu olduğu bilinmektedir. Harç kullanımının diğer bir sebebi ise, yapı elemanlarını dış havanın bozucu etkilerinden korumaktır (Sabbioni, 1997).

Harçların doğal ve sentetik katkı maddeleri içeren veya içermeyen türleri bulunmaktadır. Ancak bu malzemeler çoğunlukla, üretimleri için kullanılan bağlayıcıların niteliğine göre isimlendirirler (Hasol, 1998).

2.1.4 Yapılmış Deneysel Çalışmalardan Örnekler:

Penelis'in Selanik'teki Bizans yapıları için, Pella bölgesinin puzolanik tüflerinden ürettiği Skydra puzolanı ve Santorin toprağı ile yaptığı çalışmada, Çizelge 2.3'de verilen malzeme oranları kullanılmıştır. Bu malzeme oranlarıyla 28.gün sonunda yaptığı deney sonuçları da Çizelge 2.4'te verilmiştir (Penelis, 1995).

Çizelge 2.3 Selanik'teki Bizans yapıları için üretilen harçların karışım oranları (Penelis, 1995)

Puzolanın menşei	HARÇ NO	Ağırlığa göre karışım oranları						Su	Yoğunluk kg/dm ³
		Kireç	Puzolan	Kum		Tuğla Kırıntısı			
				max boyut		max boyut			
				2 mm	6 mm	2 mm	6 mm		
Santorin	K1	1	1	6		-	-	2,24	1,86
	K2	1	1	3		3	-	2,70	1,88
	K3	1	1	3		-	3	2,42	1,87
	K4	1	1		6	-	-	1,92	1,94
	K5	1	1		6	-	-	1,86	1,93
	K6	1	1	3		-	3	2,20	1,84
	K7	1	1		5	-	1	1,97	1,90
	K8	1	1		3	-	3	2,24	1,86
Skydra	K18	1	1	6		-	-	2,17	1,94
	K19	1	1		6	-	-	1,67	2,02

Çizelge 2.4 Hazırlanan numunelerin test sonuçları (Penelis, 1995)

Harç No	Yoğunluk (kg/dm ³)	Eğilme mukavemeti (N/mm ²)	Basınç mukavemeti (N/mm ²)	Dinamik elastisite modülü (N/mm ²)
K1	1,59	0,166	0,410	1118
K2	1,47	0,234	0,859	1244
K3	1,51	0,261	1,318	1807
K4	1,68	0,421	0,697	1505
K5	1,59	0,258	0,928	2390
K6	1,54	0,214	0,770	1900
K7	1,63	0,194	0,784	1820
K8	1,51	0,269	1,249	2446
K18	1,60	0,193	0,336	1541
K19	1,74	0,142	0,652	1640

Penelis, Selanik'teki 400 yıllık bir Osmanlı minaresi üzerinde yaptığı tahribatlı ve tahribatsız deneyler sonucunda harç için Çizelge 2.5'te mukavemet ve elastisite modülü değerlerine ulaşmıştır. (Penelis, 1995)

Çizelge 2.5 Selanik'teki 400 yıllık Osmanlı minaresinin harç mukavemetleri ve elastisite modülü (Penelis, 1995)

Eğilme mukavemeti MPa	Basınç mukavemeti MPa
0,36	1,28

Karaveziroğlu ise restorasyonda kullanılan harçların davranışlarını incelediği çalışmasında puzolan ve çimento katkılı harçlar üretmiş ve bunların eğilme, basınç mukavemetlerini ve elastisite modülünü hesaplamıştır. Çizelge 2.6'ta çimento kullanılmamış numunenin karışım oranları mukavemet ve elastisite modülü değerleri (Çizelge 2.7) verilmiştir (Karaveziroğlu, 1995).

Çizelge 2.6. Harç numunenin ağırlığına göre karışım oranları (Hacimce)
(Karaveziroğlu, 1995)

Kireç	Puzolan	Tuğla Kırıntısı	Kum	Su
1	1	3	3	1,87

Çizelge 2.7. 40x40x160 mm. boyutlarındaki numunelerin mukavemeti ve elastisite modülleri (Karaveziroğlu, 1995)

Eğilme Mukavemeti (N/mm ²)			Basınç Mukavemeti (N/mm ²)			Elastisite Modülü (N/mm ²)		
7 gün	15 gün	28 gün	7 gün	15 gün	28 gün	7 gün	15 gün	28 gün
-	0,127	0,309	-	0,735	1,104	-	1140	1849

Değirmenci ve Baradan tarafından yapılan deneysel çalışmada uçucu kül ve tuğla tozu katkılı harç numuneler üretilmiştir. Bu çalışmada kullanılan malzeme oranları vebirim ağırlık ve 28.gündeki basınç dayanımı değerleri Çizelge 2.8’de verilmiştir .

Çizelge 2.8 Değirmenci ve Baradan tarafından üretilen harç özellikleri

Malzemeler(%)					Birim ağırlık (g/cm ³)	Basınç dayanımı (MPa)
Sönmüş kireç	Uçucu kül (FA)	Tuğla tozu(PB)	FA/PB	Su		
10	30	60	0,5	29	2,587	3,9
10	39	51	0,75	30	2,59	5,77
10	45	45	1	29	2,587	6,28
10	50	40	1,25	30	2,59	6,94
10	54	36	1,5	30	2,587	7,04
10	57	33	1,75	30	2,59	7,49
10	60	30	2	30	2,59	8,22
10	62	28	2,25	30	2,593	8,38
10	64	26	2,5	30	2,6	8,72
10	66	24	2,75	31	2,61	8,3
10	68	22	3	31	2,61	8,31

Mavi Ö., tarafından yapılan Y.Lisans tezi kapsamındaki deneysel çalışmada, Çizelge 2.9 da verilen miktarlarda kum,sönmüş kireç,puzolan olarak ponza taşının öğütülmesi ile elde edilen toz, akrilik,su itici,çimento ve kireç suyu kullanılarak dokuz farklı karışımda numuneler üretilmiş, bu numunelerde 14.,28.,90.,180.,ve 270. günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış,yapılan deneysel çalışma sonuçları Çizelge 2.10 da özetlenmiştir.

Çizelge 2.9 Mavi tarafından üretilen harç karışım oranları

Kod	Kum (cc)	Kireç (cc)	Puzolan (cc)	Akrilik (g)	Su itici (g)	Çimento (cc)	Kireç suyu (ml)
KH	2,4	1	-	-	-	-	-
KPH1	2,4	1	15	-	-	-	-
KPH2	2,4	1	30	-	-	-	50
KAH1	2,4	1	-	2,7	2,7	-	400
KAH2	2,4	1	-	5,4	-	-	-
KAH3	2,4	1	-	10,8	-	-	-
KÇH	2,4	1	-	-	-	30	-
KAPH	2,4	1	30	10,8	-	-	50
KASH	2,4	1	-	10,8	-	-	-

Çizelge 2.10 Mavi tarafından üretilen harçların mekanik deney sonuçları

Kod	Eğilme(N/mm2)					Basınc(N/mm2)				
	14	28	90	180	270	14	28	90	180	270
KH	0,43	0,50	0,70	0,81	0,81	0,35	0,51	0,72	1,36	1,24
KPH1	0,26	0,32	0,48	0,64	0,61	0,35	0,53	0,97	1,29	1,23
KPH2	0,41	0,42	0,66	0,85	0,79	0,46	0,57	1,08	1,67	1,48
KAH1	0,25	0,28	0,47	0,51	0,45	0,30	0,39	0,75	0,97	0,91
KAH2	0,28	0,48	0,60	0,78	0,75	0,38	0,66	1,08	1,64	1,62
KAH3	0,38	0,34	0,75	0,76	0,75	0,55	0,62	1,38	1,55	1,52
KÇH	0,34	0,34	0,41	0,51	0,40	0,72	0,78	0,92	1,18	1,06
KAPH	0,41	0,50	0,68	0,88	0,78	0,62	0,82	1,28	1,95	1,69
KASH	0,31	0,36	0,58	0,76	0,70	0,50	0,69	1,22	1,50	1,47

Şimşek ve Erdal tarafından yapılan deneysel çalışmada çelik lifli betonlarda değişik oranlarda silis dumanı çimento ile yer değiştirilerek kullanılmış 100 x 100 x 500 mm. boyutlarında prizma numuneler üretilmiştir. Bu çalışmada kullanılan malzeme oranları ve 28., 90. ve 120. günde eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 2.11’de ve Çizelge 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.11 1m³ taze betonu oluşturan malzeme miktarları

Karışım no	Beton Tipi	Silis dumanı (kg)	Çimento (kg)	SA(lt)	Su (lt)	Çelik lif (kg)	AGREGA (kg)		
							Tane Sınıfları (mm)		
							0_4	4_16	16_32
1	KB	0	320	-	160	-	900	911	205
2	SDB-2,5	8	312	6,4	138	-	900	911	205
3	SDB-5	16	304	6,4	138	-	900	911	205
4	SDB-10	32	288	6,4	138	-	900	911	205
5	LB	0	320	-	160	50	893	903	204
6	SDLB-2,5	8	312	6,4	138	50	893	903	204
7	SDLB-5	16	304	6,4	138	50	893	903	204
8	SDLB-10	32	288	6,4	138	50	893	903	204

Çizelge 2.12 Lifsiz ve lifli betonların eğilme dayanımı değerleri

Beton yaşı (gün)	Silis Dumanı Oranı (%)	Lifsiz beton		Lifli beton	
		Ortalama (MPa)	Standart sapma	Ortalama (MPa)	Standart sapma
28	0	4,6	0,61	4,89	0,22
	2,5	5	0,61	5,07	0,13
	5	4,52	0,8	5,92	0,21
	10	3,69	1,61	6,04	0,29
90	0	5,2	1,12	5,33	0,57
	2,5	5,72	0,82	6,12	0,11
	5	5,16	1,15	6,62	0,22
	10	5,25	1,83	6,97	0,12
120	0	5,6	3,58	5,67	0,14
	2,5	5,2	1,08	5,87	0,13
	5	4,89	1,63	6,42	0,1
	10	4,25	2,42	6,71	0,28

Pusat E., tarafından yapılan Y.Lisans tezi kapsamındaki deneysel çalışmada Çizelge 2.13’de verilen oranlarda kireç,kum,cüruf,pişmiş toprak kırıntısı ve pişmiş toprak tozu kullanılarak farklı karışımda numuneler üretilmiş,bu numunelerde 14., 28., 56., ve 90.

günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmış,yapılan deneysel çalışma sonuçları Çizelge 2.13 ,Çizelge 2.14 ve Çizelge 2.15’de verilmiştir.

Çizelge 2.13 Üretilen numunelerin kodlanması ve malzeme karışım oranları

Numune kodu	Açıklama	Su	Kireç	Rilem kumu	Pişmiş toprak kırıntısı	Cüruf	Pişmiş toprak tozu
A	Kireç+Rilem kumu	0,76	1,00	3,00	-	-	-
B	Kireç+Pişmiş toprak kırıntısı	1,4	1,00	-	3,00	-	-
C10	Kireç+Cüruf+Rilem kumu	0,76	0,90	3,00	-	0,10	-
C20	Kireç+Cüruf+Rilem kumu	0,76	0,80	3,00	-	0,20	-
C30	Kireç+Cüruf+Rilem kumu	0,76	0,70	3,00	-	0,30	-
C40	Kireç+Cüruf+Rilem kumu	0,76	0,60	3,00	-	0,40	-
D10	Kireç+Pişmiş toprak tozu+Rilem kumu	0,76	0,90	3,00	-	-	0,10
D20	Kireç+Pişmiş toprak tozu+Rilem kumu	0,76	0,80	3,00	-	-	0,20
D30	Kireç+Pişmiş toprak tozu+Rilem kumu	0,76	0,70	3,00	-	-	0,30
D40	Kireç+Pişmiş toprak tozu+Rilem kumu	0,76	0,60	3,00	-	-	0,40

Çizelge 2.14 Ortalama Eğilme Mukavemeti Değerleri (MPa)

numune kodu	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
zaman										
14. gün	0.171	0.323	0.123	0.192	0.236	0.277	0.123	0.095	0.123	0.154
28. gün	0.167	0.254	0.174	0.291	0.387	0.419	0.187	0.151	0.138	0.182
56. gün	0.245	0.385	0.253	0.267	0.381	0.396	0.165	0.199	0.154	0.182
90.gün	0.295	0.449	0.262	0.292	0.385	0.356	0.226	0.162	0.144	0.221

Çizelge 2.15 Ortalama basınç mukavemeti değerleri (MPa)

numune kodu	A	B	C10	C20	C30	C40	D10	D20	D30	D40
zaman										
14. gün	0,979	1,208	1,167	1,583	1,708	1,667	1,333	1,125	1,042	0,792
28. gün	1,104	1,188	1,500	1,729	2,396	1,865	1,708	1,250	1,021	0,813
56. gün	1,688	1,521	1,917	2,333	3,000	2,958	1,292	1,625	1,042	1,250
90.gün	2,271	2,156	1,979	2,583	3,042	3,083	1,563	0,917	1,208	1,167

Tarihi yapılarının korunumu, onarımı ve güçlendirilmesinde kullanılacak kireç harçlarının, yapıdaki özgün malzeme ile uyumunu sağlayacak malzemelerin seçimi amacıyla yapılan deneysel çalışmada, farklı karışımlarda hazırlanan harçların fiziksel, mekanik özellikleri ve bu harçların atmosfer etkilerine dayanıklılığı araştırılmıştır.

Harç üretiminde agrega olarak bir grupta maksimum tane çapı 8 mm olan tuğla kırığı, bir grupta da maksimum tane çapı 2 mm olan kum ile bağlayıcı olarak kireç, puzolan olarak silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve tuğla tozu olmak üzere 4 farklı puzolan polimer lif kullanılmıştır. Puzolan malzemeler, kum agrega grubunda %30 oranında kirece ilave edilmiştir. Bu malzemeler ile farklı özellikte 20 seri harç üretilmiş, farklı deneyler için toplam 600 adet 40x40x160 mm boyutlu harç numune hazırlanmıştır.

Lifli ve liffsiz olarak üretilen harçların mekanik ve fiziksel özelliklerinin belirlenmesi ve atmosfer etkilerine dayanıklılığının araştırılması amacıyla numunelerin bir grubu laboratuvar koşullarında, bir grubu atmosfer koşullarında saklanmış bir diğer grup ise laboratuvarda hızlandırılmış ve şiddetlendirilmiş eskitme etkilerine maruz bırakılmıştır.

Tüm numunelerde atmosfer, laboratuvar ve hızlandırılmış, şiddetlendirilmiş ayrıştırılmış eskitme süreçlerinin etkisinin belirlenmesi için fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırıldığı kontrol dengeleri yapılmıştır.(Akbulut,2006)

Çizelge 2.16 Eğilme ve basınç mukavemetleri

Eğilme dayanımı (MPa)				Basınç dayanımı (MPa)		
Numune kodu	28. Gün	Yıllık		28. Gün	Yıllık	
		Lab	Atm		Lab	Atm
SC	0,60	0,80	-	0,60	3,5	-
SSF	2,30	2,30	2,70	10,20	11,10	12,90
SFA	0,50	0,80	2,0	1,10	3,20	5,0
SBF	0,90	1,5	1,80	4,2	6,20	7,20
SBP	0,50	0,90	1,30	1,0	3,40	3,5
SCf	0,40	0,80	0,90	0,90	3,4	2,0
SSFf	1,60	2,20	1,80	11,5	15,30	12,30
SFAf	0,52	0,75	1,44	1,17	2,58	4,33
SBFf	0,46	1,38	1,90	1,13	6,58	8,08
SBPf	0,68	0,80	0,98	1,75	3,5	2,54

2.2 Bağlayıcılar

Bağlayıcılar, kırma taş, tuğla kırıkları, çakıl, kum gibi dolgu maddelerini birbirine bağlayarak, bir anlamda yapıştırarak yapay taş oluşumuna imkan veren malzemelere verilen addır (Akman, 1990).

Kum ve çakıl gibi ufak malzemeleri birleştirip bir aglomera elde etmede kullanılan malzeme çeşidine verilen isimdir. Bunları

- Hidrokarbonlu olanlar (katran, bitüm v.s.)
- Kalsiyum menşeli olanlar (alçı, kireç, çimento v.s.)

olmak üzere iki ana gruba ayırmak mümkündür. Kalsiyum menşeli bağlayıcı malzemelerde yine:

- Yalnız havada donanlar (hava kireçleri)
- Hem suda hem havada donanlar (su kireçleri, çimentolar) olmak üzere iki ara gruba ayırmak mümkündür (Saraylı, 1975).

Priz yapma olayına bağılı olarak, bağlayıcı maddeleri iki grup altında incelemek mümkündür. Priz olayını sadece havada yapabilen bağlayıcılara hava bağlayıcıları, hem havada, hem su içinde katılaşılan bağlayıcılara ise hidrolik bağlayıcılar denir. Kireç bir hava bağlayıcısı olup, çimento ve alçı ise hidrolik bağlayıcılardandır (Postacıoğlu, 1986).

Bu iki genel grup yanında, diğer bir grubu da puzolanlar oluşturmaktadır. Bunlar tek başlarına bağlayıcı olmayıp, kireç veya çimento gibi diğer bağlayıcılarla karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanan maddelerdir (Postacıoğlu, 1986).

Bağlayıcı Maddeler

Alçı	Kireç	Puzolanlar	Çimento
	a) Yağlı kireç b) Su kireci	a) Doğal puzolanlar b) Yapay puzolanlar	a) Portland çimento b) Letiye çimento c) Alüminli çimento d) Doğal çimentolar

Şekil 2.1. Bağlayıcı Maddeler (Lea, 1983)

2.2.1 Özellikleri

Bağlayıcı malzemeler, genel olarak toz halindedir. Ancak asfalt yapımında kullanılan hidrokarbonlu bağlayıcılar sıvıdır (Postacıoğlu, 1986).

Su ile karıştırılan bağlayıcı maddeler, önce viskoz bir sıvı hamur haline dönüşür. Daha sonra katılaşıp ve sertleşerek dayanım kazanırlar. Bağlayıcı maddelerin sıvı halden katı hale geçmesine priz denir. Bu hal değişimi salt bir fiziksel olay değildir, fiziko-kimyasal bir olaydır. Priz olayı su ile karıştırma başladığında meydana gelir, ancak belirgin değildir. Pratik yönden katılaşmanın belli bir düzeye varması durumunda priz başlangıcı denir. Bağlayıcı maddeye su ilave edilerek hamur yapılmasından sonra, priz başlayıncaya kadar geçen süreye 'priz başlama süresi', priz sona erdiği an ile hamurun

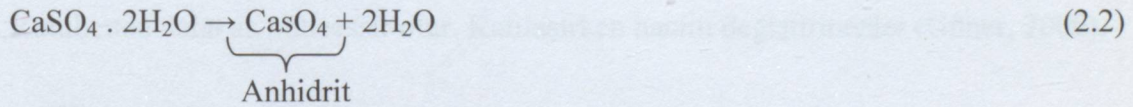
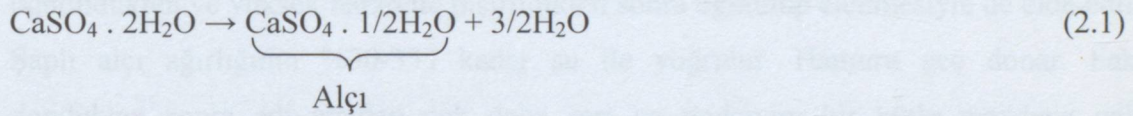
yapıldığı an arasında geçen süreye 'priz sona erme süresi' denir. Priz olayının tamamlanmasının ardından, sertleşme olayı başlar. Bağlayıcı maddeler sertleşme ile mekanik mukavemet kazanırlar ve bu zamanla artar (Postacıoğlu, 1986).

2.2.1 Alçı

Alçı taşının (jips: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) çeşitli derecelerde pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında kısa süre içinde katılaşma özelliği gösteren beyaz renkli inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür (Eriç, 1994).

Alçının hammaddesi jips, alçıtaşının sulu türüdür. Alçıtaşı bir kalsiyum sülfat mineralidir. Çift sulu bileşiğine jips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), susuz türüne ise anhidrit (CaSO_4) adı verilir.

Isıtılan jips yapısındaki kristal suyunun bir parçasını ya da tümünü yitirir.



İlk evrede oluşan ürün, kimyasal adıyla yarımhidrat, yaygın adıyla da alçıdır. Kristal suyunun tümünün uçurulduğu ikinci evre sonunda elde edilen ürün ise anhidrittir (Ülkay, 1990).

Alçılar, pişme ve öğütme şekillerine, üretimlerinde kullanılan maddelerin saflığına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılırlar.

- Kaba Alçı (Adi Alçı)

İçerisinde bulunan yabancı madde miktarı %40'a yaklaşır. Tavan ve duvar sıvalarında, onarım işlerinde kullanılır. Kaba olarak öğütülmüştür (Güner, 2000).

- Birinci Alçı

İçerisindeki yabancı madde miktarı kaba alçıya oranla azdır. Kaba alçının kullanıldığı yerlerde kullanılırlar (Güner, 2000).

- Ekstra Alçı

İçerisinde yabancı madde miktarı %5-10'dur. Beyaz renkli, ince öğütülmüş alçıdır. Mermer kaplama, alçı perdahı kartonpiyer işlerinde kullanılır. İnce alçıda denilmektedir (Güner, 2000).

- Ekstra-Ekstra Alçı

İçerisindeki yabancı madde miktarı %5'ten azdır. İtinayla pişirilip, öğütülmüşlerdir. Kalıp alma, suni mermer ve süsleme işlerinde kullanılır (Güner, 2000).

- Şaplı Alçı

Alçı taşı önce adi alçı taşı üretiminde olduğu gibi pişirilip öğütülür, sonra içerisinde %10-12 oranında şap bulunan su ile yoğrulur. Hazırlanan hamur, biriketler halinde kalıplandıktan sonra 1100-1200 °C'de pişirilir (Güner, 2000).

Biriketlerin öğütülüp elenmesiyle şaplı alçı elde edilir. Alçının şap ile karıştırılıp öğütüldükten ve yüksek hararete pişirildikten sonra öğütülüp elenmesiyle de elde edilir. Şaplı alçı ağırlığının %30-35'i kadar su ile yoğrulur. Hamuru geç donar. Fakat donduktan sonra adi alçıdan çok daha sert ve mukavim bir kütle meydana gelir. Rutubetten daha az müteessir olur. Katılaşırken hacim değıştirmezler (Güner, 2000).

- Döşeme Alçısı

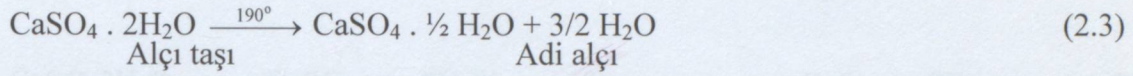
Alçı taşı 1100-1200 °C'de pişirildiğinde kükürt trioksit ve kalsiyum oksit ayrışır. Böylece bir miktar serbest kireç alçı içerisinde dağılır. Geç donan ve donduktan sonra alçıdan çok daha sert ve mukavim bir kütle meydana getiren bu maddeye döşeme alçısı denir (Güner, 2000).

Alçı, M.Ö. 3000 yıllarında Ortadoğu ve Mısır'da, harç ve sıva olarak yoğun olarak kullanılmıştır. Alçının hammaddesini oluşturan alçıtaşı, kaya tabakaları şeklinde bulunur. Taş, ezilip öğütüldükten sonra, içerdığı suyun %75'ini kaybedene kadar ısıtılarak, harç ve sıva olarak kullanılan alçıya dönüşür (Smith, 1979).

Bağlayıcı yapı malzemesi olarak alçının 'Mısır'da Gizza piramidinde ve Sakkura mezarında kullanıldığı, Yunan ve Roma yapıtlarında duvar sıvası, stük (mermer taklidi) olarak yer aldığı bilinmektedir (Eriç, 1994).

2.2.1.1 Üretimi

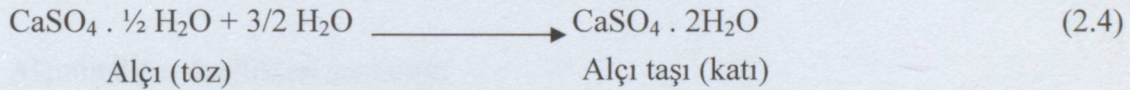
Alçının hammaddesi doğadaki alçıtaşı veya jips ile anhidrittir. Alçıtaşı $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 'dur, anhidrit ise CaSO_4 'ten ibarettir. 190°C civarında pişirilen jips, alçı dediğimiz toz halindeki beyaz renkli malzemeye dönüşür (Anstett, 1949).



Sıcaklık 200°C 'nin üstüne çıkarsa alçı taşı suyunun tümünü kaybeder, ancak elde edilen toz bağlayıcı değildir, yani priz yapmaz. Ancak 600°C 'yi aşarsa elde edilen alçı çok özel ve çok dayanıklı bir alçının üretiminde kullanılır. Bu kristal suyu içermeyen ve şapla ve jelatinle karıştırılmış alçılara döşeme alçısı, Keene Çimentosu denilir (Anstett, 1949).

2.2.1.2 Özellikleri

Alçının katılaşması ve sertleşmesi yukarıda yazılan üretim reaksiyonunun tersi reaksiyonla meydana gelir.



Katılaşmanın fiziksel nedeni kristalleşme, kimyasal nedeni ise hidratasyondur. Hidratasyon moleküler yapısına hidrat suyu almak demektir. Alçıdan elde edilen alçıtaşı, doğadaki alçıtaşından (jipsten) farklıdır, saftır, ince kristallidir, beyazdır (Anstett, 1949).

Doğada alçı, içerdiği su molekül yapısına göre doğal alçı olan jips $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ veya anhidrit (susuz CaSO_4) olarak adlandırılır. Doğal alçı olan jipsin saydam camsı yapıda, birbirine paralel düzgün lifsel dokuda olabileceği gibi, sıkı mikro kristal yapıda bulunması da mümkündür. Özgül ağırlığı ise $2,3 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Anhidrit alçı ise sıkı kristal yapıda olup, özgül ağırlığı $2,8-3,0 \text{ gr/cm}^3$ 'tür. Açık hava veya nemli ortamlarda

bulunduğu zaman anhidrit, yapısına su alarak jipse dönüşürken, hacminde artış gösterir (Akman, 1990).

Alçı üretiminde kullanılan alçı taşı, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ formülü ile bilinen hidrate (sulu) kalsiyum sülfattır. Bu da, alçı taşının kireç, kükürt oksit ve su bileşimi olduğunu gösterir (Akman, 1990).



Alçıtaşı, saf halde de bulunsa, genellikle kil, kireçtaşı, silis, demir vb. bileşimleri içerir. Saf halde beyaz renklidir. Eğer çeşitli bileşikler içeriyorsa gri, kahverengi veya kırmızımsı kahverengi olabilir (Akman, 1990).

Alçıdan elde edilen yapay alçı taşının içi boşlukludur. Porozitesi %25-60 arasında değişen bu malzeme, suya dayanıklı olmayıp, bina dış yüzeylerinde kullanıma uygun değildir. Ayrıca alçının kumun ana maddesi olan silis ile (SiO_2) uyumu iyi olmadığından, harç yapımına elverişli sayılmaz. Ancak alçının saç veya bitkisel liflerle karıştırılması sonucu oluşturulmuş, dayanıklı saf alçı sıvalar üretilmiştir (Akman, 1990).

Alçının diğer özellikleri şunlardır:

- Hacim : Alçılar imal edilirken düşük ısıda yandıklarından, katılaşma esnasında hacmen büyüme gösterirler (%1). Yalıtımda kullanılan alçılarda bu olay olmaz. Diğer alçıları yağmura karşı korumalı ya da korumak için parafin, vaks ve buna benzer maddeler kullanılmalıdır.
- Korozyon : Alçı, demir ve çeliğin korozyona sebebiyet verir ve alçı renklenir.
- Aderans : Alçının ahşaba ve parlak agregalara aderansı çok zayıftır.
- Yangın : Alçı yanmaz bu bakımdan yangına karşı ideal koruyucu bir malzemedir. Bu özelliğinden dolayı, bilhassa tavan sıvalarında bağlayıcı maddelerin içerisine ilâve edilmesi tavsiye edilir.
- Isı ve Gürültü : Alçı ısı ve ses yalıtımı bakımından gayet elverişli bir malzemedir.

- Maliyeti : Alçının maliyeti gayet ucuzdur. Bir ton alçı için 90 kg kömüre ihtiyaç vardır (Akagün, 1966).

2.2.1.3 Alçının Yapıda Kullanım Yeri ve Amaçları

Günümüzde alçıdan, bina içerisinde betonarme yüzeylerin kaplanmasında normal veya dekoratif amaçlı sıvanmasında, bölme pano, kartonpiyer, tavan ve duvarlarda kullanılacak akustik elemanların üretiminde ve hazır yapı elemanları arası birleşim detaylarının çözümünü sağlamada yararlanılır (Akman, 1990).

Alçı sıva işlerinde, kumlu veya kumsuz olarak düz satıh elde etmede kullanıldığı gibi, donarken hacim genleşmesi yaptığından ve de çabuk donduğundan takozlama işlerinde de kullanılır. Alçı daha çok kalıplara dökülerek süsleyici eleman olan kartonpiyer yapımında ve doğal mermerin yerine iç mekanlarda renk ve desen verilerek suni mermer yapımında kullanılır. Ayrıca dişçilikte, tıpta (kırık ve çıkıta) seramik kalıplar yapımında da kullanılır. Ancak suya dayanıklı olmadığından dış cephelerde (yani yağışa maruz yerlerde) kullanmayıp kapalı yerlerde kullanmak gerekir (Saraylı, 1975).

Dış tesirlere ve aşınmaya karşı mukavim olduğu için genellikle döşeme işlerinde kullanılırlar. Alçı çok iyi termik izolen ve bu sebeple de yangına karşı mükemmel bir koruyucudur. Alçı ve alçı karışımından meydana gelen malzemeler ısı izolasyon malzemesi olarak geniş ölçüde kullanılmaktadır (Güner, 2000).

En eski bağlayıcı maddelerden olan alçı artık günümüzde bağlayıcı madde olarak pek kullanılmamaktadır. Alçı günümüzde içine başka malzeme katılmadan tek başına kullanılır. Alçı içine, ona çekme yönünden dayanım sağlamak üzere lifli malzemeler konulur (Akman, 1990).

2.2.2 Kireç

Kireç taşının (CaCO_3 - $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) çeşitli derecelerde ($850-1400\text{ }^\circ\text{C}$) pişirilmesi sonucu elde edilen, su ile karıştırıldığında tipine göre hava veya suda katılaşma özelliği gösteren beyaz renkli inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür (Eriç, 1994).

Ana maddesi KALKER (Kalsiyum karbonat CaCO_3) olan, doğada kireç taşı adı verilen; bünyesinde başka maddeler de içerebilen taşların özel fırınlarda veya basit fırınlarda çalı+çırpı veya kömür ya da yanıcı bir gaz yakılmak suretiyle pişirilmesi sonucu elde edilen ürün KİREÇ (Kalsiyum Oksit CaO) olarak tanımlanır. 3, 4 yoğunlukta amorf beyaz ve katı bir maddedir. Sıcaklık etkisiyle ayrılmaz; 2580 °C'da erir (Ülkay, 1990).

Piyasada üretim yöntemine göre sınıflandırılmış çalı kireci, kömür kireci, mermer kireci ve esmer kireç olmak üzere 4 çeşidi mevcuttur.

1. Çalı kireci; alevli ateşle pişirilmiş (1000 °C), söndürülmesi kolay,
2. Kömür kireci; kömürle pişirilmiş (1400 °C) söndürülmesi zor kireçlerdir.
3. Mermer kireci; hammaddesi saf ve diğerlerine oranla daha fazla miktarda sönmüş kireç veren,
4. Esmer kireç; içinde %10 yabancı madde bulunan (dolomit kireci $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) kireç türleridir (Eriç, 1994).

Kireci, içindeki kil miktarına bağlı olarak yalnız havada katılaşma özelliği gösteren hava kireci (yağlı kireç) ve hem de suda katılaşma özelliği gösteren su kireci (hidrolik kireç) olmak üzere iki tipe ayırmak mümkündür (Eriç, 1994).

Kirecin hammaddesi kireçtaşı (kalker), tebeşir vb. kalsiyum karbonat (CaCO_3) ve magnezyum karbonattan (MgCO_3) oluşan kütlelerdir. Eğer kireçtaşı, %90 CaCO_3 içerirse "yüksek kalsiyumlu kireçtaşı" adını alırken, %10'dan çok MgCO_3 içermesi halinde "magnezyumlu kireçtaşı" denir. Ancak taş %25'ten fazla magnezyum karbonat içerirse "dolomitik kireçtaşı" diye adlandırılır (Smith, 1979).

Tarihte kireç sıvaya ilk olarak Miken ve Minion uygarlığında rastlanmıştır. (M.Ö. 1700) Kirecin Mısırlılar tarafından kullanımı ise çok daha geç dönemlerde (M.Ö.300) gerçekleşmiştir (Ersen, 1991).

Kireç bilinen en eski bağlayıcılardan biridir. Eski Mısır, Babil, Finike, Hitit ve Persler tarafından hava kireci yapıda bağlayıcı malzeme olarak kullanılmıştır. Romalılar devrinde su kireci bulunmuş ve su içi inşaatlarında kullanılmıştır. Bu arada puzolan

kireç ile, Türkler tarafından tuğla kırıkları öğütülüp kireçle karıştırılarak ve Horosan adı altında kullanılmıştır. Ayrıca bu tür bağlayıcı Mısır'da Homra, Hindistan'da Surkhi adı altında bilinmektedir. Bizans'ta ise kireç sıva kullanılmıştır. Orta çağda bu sanayide daha fazla bir ilerleme görülmez (Eriç, 1994).

Smeaton 1756 yılında bir deniz feneri yaparken killi kireci pişirerek su kireci ve hidrolik bağlayıcı fikri üzerinde önemli adımlar atmıştır. Bu başlangıç sonradan çimentonun gelişmesi içinde önemli rol oynamıştır. Günümüzde kireç sıva, bağlayıcı boya malzemesi, gazlı beton ve bilhassa plastik endüstrisinde hammadde olarak önemini korumaktadır (Eriç, 1994).

2.2.2.1 Üretim Yöntemi

Kirecin üretiminde iki aşama vardır.

1. Kireçtaşının yakılması işlemi (kalsinasyon)

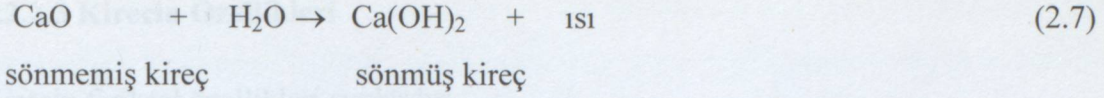


Kalsinasyon işlemi kireç ocaklarında odun veya kömür kullanılarak (çalı kireci), veya fabrikalarda sıvı yakıt kullanılarak gerçekleştirilir. Kireçtaşının 900 °C üstünde yakılmasıyla elde edilmiş sönmemiş kireç (CaO), beyaz, amorf ve kolayca ufalanabilen bir malzeme olup yoğunluğu 3,08-3,30 gr/cm³ arasındadır. (Akman, 1990; Postacıoğlu, 1986)

Kireçtaşının yakılması, farklı sıcaklıklarda mümkün olmakla beraber, 1000-1100 °C civarında elde edilen çalı kireci kolayca söndürülürken, 1400 °C civarında üretilen kömür kirecinin söndürülmesi son derece güç olup, uzun zaman alır (Akman, 1990; Postacıoğlu, 1986).

2. Söndürme İşlemi

Kaliteli ürün elde edebilmek için, kirecin dikkatle hazırlanarak söndürülmesi gerekir. Bu da, sönmemiş kirece ağırlığının 1/3'ü kadar su eklenmesiyle olur.



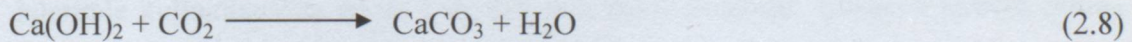
Söndürme esnasında kireç hacminde büyük bir artış olur. Kireç tamamen söndürülmeden yapıda kullanılırsa hacim artışına bağlı olarak, kullanıldığı yerde hasara yol açar. Bu yüzden kireç taşları en az iki hafta su içerisinde bekletilerek söndürülür.

Söndürmenin diğer bir özelliği ise, reaksiyon esnasında büyük ısı çıkışının olması ve sıcaklığın 300-400 °C'ye ulaşmasıdır. Magnezyumlu kireçtaşından elde edilen kireç söndürülürken açığa çıkan ısı, kalsiyumlu kireç taşından açığa çıkan ısıdan azdır.

Söndürme işlemi teknelerde, kireç kuyularında veya fabrikalarda su püskürtülerek yapılır. Kireç söndürülürken, üzerine azar azar su döküp, soğuyup kabarmasını bekledikten sonra yavaş yavaş su eklemeye devam edilir. İlkel bir yöntem olan kireç kuyularında kireç fazla su ile söndürüldüğünden, ürün $\text{Ca(OH)}_2 + n\text{H}_2\text{O}$ şeklindedir ve yağlı kireç olarak adlandırılır. Fabrikalarda ise sönmüş kireç sadece Ca(OH)_2 'dir, ince toz halindedir. Buna hidrate kireç de denir (Akman, 1990; Postacıoğlu, 1986).

2.2.2.2 Kirecin Sertleşmesi

Elde edilmiş olan kireç, açık hava ile temas halinde bırakıldığı zaman sertleşmeye başlar. Bu, kirecin havanın karbondioksidini alarak tekrar kalker şeklinde kristalleşmesi ve kuruma sonucu suyunu kaybetmesiyle olur. Pürüzlü yüzeylerde su buharlaşması kolay olduğundan kuruma ve sertleşme düzgün yüzeylerden hızlı olur (Akman, 1990; Postacıoğlu, 1986).



Sertleşme yüzeyden içeri doğru meydana geldiği için dışı kuru gibi gözükse duvarların iç kısımlar tam kuruyamadığından uzun süre rutubetli kalır. Dolayısıyla kireç harçları, iç kısımlarının plastikliğini uzun süre devam ettirmesi sebebiyle fazla kalınlıkta kullanılmamalıdır (Akman, 1990, Postacıoğlu, 1986).

2.2.2.3 Kirecin Özellikleri

Kirecin fiziksel özellikleri şunlardır:

- Verimlilik

Hava kireçleri : 10 kg sönmemiş hava kirecinden minimum 20 lt. kaymak kireç elde edilmelidir.

- Hacim Sabitliği

Hacim sabitliği deneyi yapıldığında radyal ve ağ şeklinde çatlamlar yoksa, kireç sabit hacimli olarak kabul edilir (Güner, 2000).

- İncelik

Toz halinde satılan kireç cm^2 'sinde 4900 göz bulunan elekten %15'ten fazla kalıntı bırakmayacak şekilde öğütülmüş olmalıdır (Güner, 2000).

- Renk

Yapıda kullanılacak kireç yağlı, taze ve tam kıvamında pişmiş olacak toz, toprak, kum, çakıl vb. yabancı maddelerle fazla pişmiş parçaları içinde bulundurmamalıdır. Rengi yeknesak beyaz olmalıdır.

Kirecin diğer özellikleri ve dikkat edilmesi gereken konular aşağıda ele alınmıştır.

Uygun bulunan kireç toprakları yapı yerinde bekletilmeyecek, derhal söndürülecektir ve süzülüp akıtılacaktır (Güner, 2000).

Söndürülmüş kireçte %3'ten fazla yabancı madde bulunmayacaktır. Uygun şekilde söndürülen kireç süzildükten sonra harç işlerinde kullanılacaksa en az 10 gün, sıva işlerinde kullanılacaksa en az 1 ay çukurda bekletilmelidir. Çukurda kirecin sönme işi tamamlanıp, kireç koyu hamur kıvamını almadıkça ve çatlamadıkça kullanılmayacaktır (Güner, 2000).

Hava kireçlerinin bünyesinde reaksiyon kabiliyeti olan $\text{CaO} + \text{MgO}$ miktarı %80'den fazla (beyaz kireçte MgO %6) olmalıdır. Ancak dolomitli kireçte MgO miktarı %4'ten büyük olabilir. Su kirecinde ise reaksiyona giren $\text{CaO} + \text{MgO}$ miktarı %45-60 oranındadır (Eriç, 1994).

İncelik kirecin su ile hidratasyona girmesinde önemli rol oynayan bir husustur. Hava kireçlerinin katılaşma özelliği göstermesi, bünyesine CO_2 alarak kalsiyum hidroksit haline dönüşme olayıdır. Bu olay hava ile temas eden yüzey şekli ve kalınlık önem kazanır. Hava kireçlerinin diğer bir özelliği ise suda erimesidir (Eriç, 1994).

Kil içinde bulunan silisin kireç ile birleşmesi neticesinde kalsiyum silikat meydana gelir. Bu nedenle su kireçleri sudan etkilenmeyen ve su içinde katılaşma özelliği gösteren bir kireç türüdür (Eriç, 1994). Hava ve su kireçlerinin fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 2.8' de verilmiştir

Çizelge 2.17. Kirecin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri (Eriç, 1994).

Kireç Çeşidi		Bileşim içindeki kil oranı %	Fiziksel Özellik (gr/cm^3)			Mekanik Özellikler	
			Birim Ağırlık	Özgül Ağırlık	Katılaşma Süresi	Basınç N/mm^2	Çekme N/mm^2
Hava Kireci	Yağlı	0	0.6	2.2	Değişken	7	-
	Beyaz						
	Gri Zayıf	0-2	0.75	2.4	Değişken	-	-
Su Kireci	Kuvvetli	15-19	0.7	2.7	2-7 gün	15	3
	Normal	19-22	0.8	2.8	24-48 saat	60-80	9

Genellikle kireçlerin diğer bir özelliği de kargir malzeme ile yüksek aderans göstermesi ve deformasyon kabiliyetlerinin üstünlüğüdür. Bu nedenle kireç harçları plastik bir bünyeye sahip olduklarından işlenebilme ve yerleşme özellikleri yüksek değerdedir. Kireç harcı yapımında beyaz kireç ağırlığının %75'i, dolomitli kireç %65'i, su kireci %50'si oranında suya ihtiyaç gösterir (Eriç, 1994).

2.2.2.4 Kirecin Yapıda Kullanım Yeri ve Amaçları

Pişmiş haldeki hava kireci (CaO) söndürülmeden kullanılmaz. Söndürüldükten sonra yalnız başına su ile veya istenirse renk ve plastik maddeler katıldıktan sonra üzerine süsleyici malzeme olarak badana şeklinde sürülerek kullanılır (Saraylı, 1975).

Kireç sıvalar düşük mukavemetli ancak yüksek aderanslı elastik bir yapıya sahip olduğundan özellikle tavan ve iç duvar yüzeyleri için uygun bir sıva malzemesidir (Eriç, 1992).

Suya karşı dayanımlarının zayıf olması nedeni ile dış duvarlarda ve yapının su basman hatılı dahil zemin seviyesi altındaki bodrum dış duvarlarında kullanılmaması gereklidir (Eriç, 1992).

Kireç badana yapımında aderans artırıcı özellik sağlamak amacıyla bazı katkı maddeleri (tutkal, zeytinyağı, tuz vs.) ilave etmek mümkündür. Kireç badanalar, eski önemini kaybetmekle birlikte hijyenikliği, teneffüs ettirme kabiliyeti, ucuzluğu ve uygulama kolaylığı açısından günümüzde de yaygındır (Eriç, 1994).

Havada sertleşmesi sebebiyle hava bağlayıcıları sınıfında olan kireç, suya direnci olamayışı ve düşük mukavemeti dolayısıyla tek başına kullanılmaz. Kum ve suyla karıştırılarak yapıda sıva ve duvar harcı yapımında, badana işlerinde kullanılır. Tarım ve ziraat işleri, hava kirliliği olan bölgelerde kirliliği azaltmak amacıyla yakıtlara karıştırılması diğer kullanım alanlarından. Kireç harçlarının tuğla, taş, beton gibi yüzeylere kolay yapışarak işçilikten tasarruf sağlaması, sertleşme sonrası binada oluşacak deformasyonlara uyum sağlayacak şekil değiştirme yeteneğine sahip olması ise kullanım avantajlarını oluşturur. (Akman, 1990, Postacıoğlu, 1986).

2.2.3 Çimento

Belli oranlarda karıştırılan kil ve kalker karışımının çeşitli sıcaklık derecelerinde (1200-1450 °C) pişirilmesi sonucu elde edilen havada ve suda katılaşma özelliği gösteren gri veya beyaz renkli inorganik esaslı bir bağlayıcı türüdür (Eriç, 1994).

Çimentolar, daneli malzemenin boşluğunda yer alan ve su ile birleştiğinde evvela bir hamur meydana getiren, sonra da sertleşerek dayanım kazanan ve böylece bir kütle meydana gelmesini sağlayan ve genel bileşenleri itibariyle, kil ve kireç bünyeli bağlayıcı malzemedir (Özışık, 2000).

Günümüzde en yaygın kullanılan çimento türü Portland çimentosudur. Amerikan standartlarında Portland çimentoları beş tipe ayrılır. Çizelge 2.17'da bu tiplerin birleşim nitelikleri ve kullanım yerleri belirtilmiştir.

Çizelge 2.18. Portland çimento türleri (Akman, 1992)

Tip	Birleşim Özelliği	Hidratasyon Isısı 72 Saate cal/gr	Kullanım Alanı
I	Sınırlama yok	68	Özelliği olmayan tüm işlerde
II	$C_3A < \%8$ $C_3A + C_3S < \%58$	-	Zayıf sülfat etkisi bulunan yerlerde
III	$C_3A < \%15$ C_3S yüksek	83	Yüksek mukavemet istenen yerlerde
IV	$C_3A < \%7$ $C_3S > \%35$ $C_2S > \%40$	47	Düşük hidratasyon ısısı gerektiren durumlarda
V	$C_3A < \%5$		Sülfata dayanıklı çimento

Normal Portland çimentosuna üretimin öğütme aşamasında puzolan katılması ile katkılı portland çimentosu elde edilmektedir. Puzolanlar, Portland çimentosunun hidrotasyonu sırasında açığa çıkan $Ca(OH)_2$ ile birleşerek mukavemeti ve özellikle kimyasal dayanıklılığı artırırlar (Akman, 1992).

Günümüzde kullandığımız çimentonun üretimine ilişkin bilinen ilk uygulamalar, 1756 yılında J. Smeaton'un bir deniz feneri inşa ederken pişirerek elde ettiği su kireci hakkında "en iyi portland taşına denk" (İngiltere'ye bağlı portland adasındaki tabii bir taş) ifadesini kullanması ve 1796 yılında J. Parker'ın bir killi kalker taşını pişirerek elde ettiği bağlayıcıdan çok iyi sonuç alması ve buna da Romalıların kullandığı su kirecine izafeten Romen Çimentosu adını vermesi ile çimento üretiminde ilk adımlar atılmıştır (Eriç, 1994).

1824'te Joseph Aspdin'in bulmuş olduğu çimento, kalker ve kilin kalsinasyonu sonucu elde edilmiştir. Daha sonra 1838'lerde İsaac Johnson tarafından pişirme sıcaklığı yükseltilerek ve öğütmeye önem verilerek üretilen çimento, daha yavaş sertleşmekteydi ve daha üstün niteliklere sahipti. Modern çimento üretim yöntemlerine en yakın yöntemler ise 1850'lerin sonlarında uygulandı (Eriç, 1994).

2.2.3.1 Çimento Üretimi

Çimento üretiminde, belirli oranlarda kalker, kil karışımının içine ergimeyi kolaylaştırmak için demir filizi içeren toprak katılır. Karışım, döner fırında 1400 °C'ye kadar ısıtılır. Isıtılan maddenin ani soğutulması sonucu meydana gelen ceviz büyüklüğündeki granüle malzemeye klinker denir. Klinkerin dört ana bileşeni olan karma oksitler, bikalsiyum silikat ($C_2S = 2CaO \cdot SiO_2$), trikalsiyum silikat ($C_3S = 3CaO \cdot SiO_2$), trikalsiyum alüminat ($C_3A = 3CaO \cdot Al_2O_3$) ve tetra kalsiyum alümino ferrit ($C_4AF = 4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$)dir. Klinkerin çimentoya dönüşmesi yani bağlayıcı özellik kazanması için, alçı taşı katılıp çok ince öğütülmesi gerekir. Alçı taşının görevi çimentonun priz süresini ayarlamaktır. Karma oksitler suyla karıştırıldıklarında derhal hidrate olmaya ve kristal yapıya dönmeye hazırdırlar, hidrate ürünler ve hidratasyon hızları her karma oksitte farklıdır. Çimentoların hidratlaşması ekzotermik bir olaydır (Akman, 1990).

2.2.3.2 Özellikleri

Alüminli çimentolar, hammaddesi boksit ($Al_2O_3 + nH_2O$) olan farklı bir çimento türüdür. Portland çimentolarının aksine asit ortamlara ve sülfatlara dayanıklılık sağlarlar ve bir iki gün içinde son mukavemetlerine ulaşırlar, ancak ilk günlerdeki hidratasyon ısısı portland çimentolarının 3-4 katıdır. Bu nedenle, büyük kütleler halinde dökülmezler ve üretim sırasında sıcaklık yükselmesi denetim altında tutulur (Akman, 1992).

Betonun sürekli fazını oluşturan çimento, mineral kökenli, hidrolik bağlayıcıdır. Mineral kökenli bağlayıcılar genel olarak toz haldedir. Suyla karıştırılan toz bağlayıcılar önce viskoz sıvı veya hamur haldedir, daha sonra katılaşır ve zaman içinde sertleşerek dayanım kazanırlar. Bağlayıcı maddelerin sıvı halden katı hale geçmesi olayına "priz" denir, bu hal değişimi fiziko-kimyasal bir olaydır. Priz olayı, bağlayıcı ile suyun karşılaştığı anda başlar, ancak belirgin değildir. Pratik yönden katılaşmanın belirgin bir düzeye varması durumuna "priz başlangıcı" denir. Priz olayını sadece havada yapabilen bağlayıcılara "hava bağlayıcıları", hem havada, hem de su içinde katılaşabilen bağlayıcılara ise "hidrolik bağlayıcılar" denir (Akman, 1990).

2.2.3.3 Çimento'nun Yapıda Kullanım Yeri

Çimento ya yalnız başına su ile karıştırılarak şerbet veya hamur şeklinde kullanılır veya ufak malzeme (agrega = kum ve çakıl) ile karıştırılıp su ile yoğurularak harç, beton ve aglomeraların yapımında kullanılır.

Yalnız su ile karıştırılıp şerbet veya hamur halde: derz dolgularında, enjeksiyon işlerinde, temel takviyelerinde, sızdırmaz perde imalinde kullanılır. Pahalı olduğundan ve priz yaparken rötre çatlakları yaptığından gerekmeden yalnız başına teknik ve ekonomik nedenler yüzünden kullanmamak gerekir (Saraylı, 1975).

2.2.4 Puzolanlar

Puzonlar kendi başlarına bağlayıcı olmadıkları halde, kireç veya çimento gibi diğer bağlayıcılarla karıştırılınca bağlayıcılık özelliği kazanan maddelerdir (Postacıoğlu, 1986).

Puzolanlar, "kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli veya silisli ve alüminli malzemeler" olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Puzolanlar, bileşimlerinde çok miktarda silis ve daha az alüminyum içeren maddeler olup, doğal ve yapay puzolanlar olarak iki grupta isimlendirilir (Anstett, 1949).

- Doğal puzolanlar

1) Volkanik Puzonlar

İtalya (Napoli vs.), Santorin (Yunan ada grubu) ve Asorlarda bulunur. İsimlerini Vezüv'ün eteğinde bulunan Puzol şehrinden almışlardır, çünkü ilk kullanılan puzolanlar bu volkanın külleri idi (Debes, 1961).

2) Tras

Tabii puzolanların en önemlisi Almanya'da Ren vadisinden çıkarılan ve Tras adı verilen puzonlardır. Bu puzolan üstün özelliklere sahip olduğundan birçok ülkede ve ülkemizde tras, puzolan sözcüğünün yerini almıştır. İkinci önemli puzolan yatağı İtalya'da Roma ve Napoli arasındaki bölgede yer almaktadır. Yüksek nitelikli puzolanların bulunduğu bir diğer bölge de Ege Denizi'nde Yunanistan'a bağlı Santorin adalarıdır. Ülkemizde, Çorum civarında Mecitözü'nde geniş puzolan yatakları bulunmaktadır (Postacıoğlu, 1986).

Çok su ihtiva eden sert bir kayadır, öğütülmeden evvel havada kurutulmalıdır (Debes, 1961).

Sünger taşının bulunduğu yataklardaki ocaklardan elde edilir. Ocaklarda çıkarılarak tuffstein olarak adlandırılan malzeme, ince bir şekilde öğütülünce "tras" adını alır. Son derece sert bir kaya olan tras, öğütülmeden önce iyice kurutulmalıdır (Eriç, 1992). Pişmiş ve öğütülmüş kil yapay bir tras, doğal volkanik camlar ise doğal bir tras türü olmaktadır (Akman, 1990).

3. Gaize

Gri veya sarımsı-gri renklerde olabilen yumuşak bir kayadır. Yapısının %80'ini silis oluşturur. Bu silisin büyük bir kısmı suda çözünür (Debes, 1961).

4. Toz haline getirilmiş bazı lavlar ve volkanik kökenli kumlar (arenler) (Debes, 1961)

• Yapay puzolanlar

Yapay puzolanlar arasında öğütülmüş tuğla dışında, termik santral baca külleri (uçucu kül), silis dumanı, yüksek fırın cürufları da sayılabilir. Bu sonuncular puzolan tanımına tam uymazlar, zira kendileri de zayıf bağlayıcıdırlar (Akman, 1990).

1. Pişmiş Kil

Kilin 600-800 °C'de pişirilmesi sonucu kaolinit kristal suyunu kaybederek silis ve alümine ayrışır. Sonuçta elde edilen ürün kireç ile reaksiyona girer. Saf killer 600-700 °C'de, marnlı killer ise 800 °C'de pişirilip, öğütülerek puzolan olarak kullanılabilir hale

gelir. En iyi puzolan killeri, pipo toprakları olarak bilinen refrakter killer olurken, marnlı killer orta kaliteye sahiptirler (Postacıoğlu, 1986).

2. Tuğlalar ve Toz Haline Getirilmiş Kiremitler

Horasan adlı bağlayıcı, tuğla ve kiremit tozlarının kireçle karıştırılması sonucu üretilmiştir. Kireç harçlarından üstün olan bu harç, özellikle suya karşı son derece dirençlidir (Postacıoğlu, 1986).

Bunlara, umumiyetle tüilo çimentosu derler. Kaliteleri çok değişkendir. Tuğlalar çok az pişmiş oldukları vakit dehidrate kile benzeyen bir malzeme elde edilmektedir. Fakat, bu tüilo çimentoları arasında çok iyi puzolanlara da rastlanmaktadır (Debes, 1961).

3. Yüksek Fırın Cürufu

Hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) gibi demir cevherleri, doğada, demir oksit olarak bulunmaktadır. Demir cevherlerinde çok az miktarda silis, alümin, kükürt, fosfor, mangan gibi bazı yabancı maddeler de yer almaktadır (Erdoğan, 2003).

Demir elde edebilmek için, demir cevherlerinin, "yüksek fırın" olarak adlandırılan fırınlarda çok yüksek sıcaklıklara kadar (yaklaşık 1600°C sıcaklığa kadar) ısıtılarak, oksitli bileşiklerden ve yabancı maddelerden arındırılmaları gerekmektedir. Kok kömürünün (karbon'un) yakıt olarak kullanıldığı bu fırınlarda ayrıca, arıtma işlemine yardımcı olabilmesi için kalkertaşı da cevherle birlikte ısıtılmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle, kok kömürünün karbonu ile demir oksitteki oksijen birleşerek karbon monoksit ve karbon dioksit gazları oluşturarak fırını terketmektedir. Geride, eriyik durumda demir ve eriyik durumda olan CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , MnO , S gibi yabancı maddeler kalmaktadır. Demirin yoğunluğu, yabancı maddelerden daha yüksek olduğu için, eriyik durumdaki demir, fırının en alt bölümünde ve eriyik durumdaki diğer malzemeler ise, demirin hemen üzerinde yer almaktadır. Demir ve diğer malzeme topluluğu ayrı ayrı çıkışlardan dışarı çıkartılmaktadır. Elde edilen yabancı maddeler topluluğu "yüksek fırın cürufu" olarak adlandırılmaktadır (Erdoğan, 2003).

Cürufun içinde bulunan maddeler, kireç, silis ve alümindir. Cüruf içindeki bu maddelerin miktarı, demir üretiminde kullanılan cevherin birleşimine ve uygulanan

üretim sistemine bağlı olarak oldukça geniş bir aralık içinde değişmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalara göre; cürufun bileşiminde, % 42-48 oranında CaO (kireç), % 26-34 oranında SiO₂ (silis), % 12-20 oranında Al₂O₃ (alümin), ve bu üç esas elemandan başka % 5 oranında MgO, % 1 oranında alkali maddeler bulunur (Postacıoğlu, 1986).

Bileşiminden kolaylıkla görüldüğü gibi, bu maddeler çimentoyu da oluşturan maddelerdir, bu nedenle cürufu, çimento üretiminin ilkel maddesi olarak kullanmak mümkündür, bu durumda cüruf, kilin yerini tutmaktadır. Cüruf ayrıca beton üretiminde agrega olarak da kullanılabilir, özellikle yol yapımında çok iyi sonuçlar elde edilmektedir. Bu maddenin üçüncü bir kullanma şekli ise bir bağlayıcı madde ile karıştırılarak hidrolik bağlayıcı gibi kullanılmasıdır. Cürufun kirece ve daha çok da portland çimentosuna karıştırılmasıyla "cüruf çimentoları" denilen geniş bir bağlayıcı madde grubu elde edilir. Cürufun çimentoya karıştırılması ilk defa 1863'de Almanya'da Langen tarafından gerçekleştirilmiştir. Cürufun kullanılması ancak 1934 senesinde Fransa'da resmen kabul edilmiştir. Bu tür çimentoların" tüketimi devamlı bir artış göstermiş. Örneğin, 1973 senesinde, Rusya'da üretilen 110 milyon ton çimentoda cüruf çimentosunun miktarı 30 milyon ton gibi yüksek orana ulaşmıştır (Postacıoğlu, 1986).

4. Uçucu Kül

Elektrik enerjisi üretimi için, termik santrallerin çoğunda yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Kömür, %80'inin 75µm elekten geçebilecek inceliğe sahip olacak tarzda öğütülmekte ve havayla birlikte, buhar üretici kazanları ısıtmak amacıyla, yakıt olarak püskürtülmektedir (Erdoğan, 2003).

Pulverize kömürün yanmasıyla büyük bir miktarı çok ince olan, bir miktarı da nispeten biraz daha iri boyutlara sahip kül tanecikleri ortaya çıkmaktadır. Çok ince tanelere sahip olan küller, yakıt gazlarıyla beraber "uçarak" bacadan dışarı çıkmak üzere hareket etmektedirler. Nispeten ağır olan iri kül tanecikleri taban külü olarak ocağın tabanına düşmektedirler (Erdoğan, 2003).

Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin yaklaşık %75-%80'i, gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimi gösteren çok ince taneli küllerdir. Bu küllere "uçucu kül" denilmektedir (Erdoğan, 2003).

Uçucu küllerin yüzey alanları, 2000'den 5000 cm²/gr'a (Blaine'in permeabilimeter metodu) kadar değişir. Kömür ya da linyitin artıklarının doğasıyla sıkı sıkıya ilişkili olduğundan, uçucu küllerin kimyasal bileşimi önemli ölçüde değişir, bu arada özellikleri yanma işlemine de bağlıdır. CaO miktarının yüksek veya düşük olmasına göre de puzzolanik özellik değişir (Massazza, 1989).

ASTM C618'e göre uçucu küller, kaynaklandıkları kömürün tipine ve kimyasal bileşimine bağlı olarak ikiye ayrılır.

a) F sınıfı antrasit veya bitümlü kömür küllerinin kimyasal bileşiminde

$$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \% 70 \quad (2.10)$$

b) C sınıfı linyit veya ikincil bitümlü kömür küllerinin kimyasal bileşiminde

$$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > \% 50 \quad (2.11)$$

olmalıdır.

5. Silis Dumanı

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars, elektrik fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta kömür yardımıyla indirgenmeye tabi tutulmaktadır. Üretim işleminde çok büyük miktarı SiO'dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO'nun, fırının soğuk bölgelerinde havayla temas etmesiyle ve çok çabuk yoğunlaştırılmasıyla, gazın içerisindeki SiO, amorf yapıya sahip SiO₂ durumuna dönüşmektedir (Erdoğan, 2003).

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85-%98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye "yoğunlaştırılmış silis dumanı" veya kısaca "silis dumanı" adı verilmektedir (Erdoğan, 2003).

Silis dumanı, amorf yapıya sahip olduğundan, çok ince taneli malzeme olduğundan ve yüksek miktarda SiO₂ içerdiğinden, mükemmel bir puzzolanik malzemedir. Diğer

puzolanik malzemeler gibi, kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirildiği takdirde, hidrolik bağlayıcılık göstermektedir (Erdoğan, 2003).

Üretilcek silisyum alaşımlarının özelliğine bağlı olarak, hammaddenin bileşimindeki farklılıklar nedeni ile silis dumanının bileşenlerinin oranı değişir. Örneğin ferrosilisyum metali üretiminde silisyum miktarı arttıkça, silis dumanı bileşimindeki silisyumdioksit oranı %70'ten %96'ya kadar artar. Amerika Birleşik Devletleri'nde, SiO_2 oranı en az %85 olan silis dumanı kullanılmaktadır. Dünya çapında 900,000 ton silis dumanı üretildiği halde, yapı üretiminde kullanılabilen miktar yaklaşık 400,000 ton'dur (Khayat, 1992; Wolsiefer, 1991). Silis dumanı dünyada, sıkıştırılmamış kuru şekli ile paket içinde, kuru-sıkıştırılmış şekliyle, çimentoya veya klinkere karıştırılmak suretiyle silis dumanı katkılı çimento olarak ve katı kısmı %45-50 olan su ile karıştırılmış bulamaç halinde olmak üzere dört farklı şekilde pazarlanmakta ve kullanılmaktadır (Wolsiefer, 1995).

Ülkemizde silis dumanı, Etibank Elektrometalurji Sanayi İşletmesinin Antalya'daki tesislerinde elde edilmektedir. Fabrikanın ferrosilisyum (FeSi), silikoferrokrom (SiFeCr) fırınlarının baca tozları özel filtreli toz tutucularda tutulmaktadır. Bunlardan SiO_2 oranı % 94.00-95.00 olan ferrosilisyum ve % 85.00-90.00 olan silikoferrokrom fırınları baca tozu, silis dumanı olarak kullanılabilir. Toplam baca tozu miktarı yıllık 1100 ton'a ulaşmaktadır. İşletme, baca tozlarını 80x80x140 cm boyutlarında torbalar ile pazarlamaktadır (Yeğinobalı, 1993).

Silis dumanı, yüksek silika miktarı, çok ince boyutlu partikülleri ve çok yüksek olan özgül yüzeyi nedeniyle, yüksek puzolanik aktiviteye sahip çok etkin bir malzemedir. Betona katkı malzemesi olarak kullanıldığında, çimentonun hidratasyonu sırasında çıkan serbest kireci bağlayarak kalsiyum silikat hidrateyi (CSH) oluşturur. Serbest kirecin bağlanması sonucu çimento hamuru daha büyük kimyasal dirence, daha yoğun mikro boşluk yapısına ve daha yüksek dayanıma sahip geçirimsiz bir beton oluşturur. Son derece düşük Cl^- geçirimsizliğine ve çok yüksek elektriksel dirence sahip olan silis dumanı katkılı betonlar, betonarme yapılarda donatıda makro ve/veya mikro korozyon hücrelerinin önlenmesinde çok önemli rol oynar (Wolsiefer, 1991; Wolsiefer, 1995).

"Puzolan" ismi, İtalya'daki Vezüv Yanardağı'nın eteklerinde bulunan "Pozzuoli" isimli kasabanın isminden alınmıştır (Erdoğan, 2003).

Milattan yaklaşık 100 yıl önce, eski Romalılar, Pozzuoli kasabasının civarında volkanik kül ile söndürülmüş kirecin suyla birlikte katılmasıyla elde edilen malzemenin hidrolik bağlayıcılık özelliği gösterdiğini farketmişlerdir. O nedenle, su altında sertleşme gösterebilen bu malzeme, "puzolan" ismiyle anılmaya başlanmıştır. (Günümüzde, ince taneli durumdayken söndürülmüş kireçle ve suyla birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık gösteren silisli ve alüminli malzemelerin tümü, aynı isimle anılmaktadır) (Erdoğan, 2003).

Yaklaşık 2000 yıl önce Roma'da yaşayan ünlü bir mimar ve mühendis olan Vitruvius, kitaplarında, volkanik kül ve söndürülmüş kirecin suyla birleştirilmesiyle hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanıldığını açıklamaktadır. Ayrıca, öğütülmüş tuğlaların (ince taneli durumdaki pişirilmiş kilin), volkanik küller gibi puzolanik özellik gösterdiği de belirtilmektedir (Erdoğan, 2003).

2.2.4.1 Özellikleri

Puzolanların yapısında büyük miktarda yer alan silisin ve alüminin yanı sıra, bir miktar da demir oksit, kalsiyum oksit, alkaliler ve karbon bulunabilmektedir (Erdoğan, 2003).

Hidratasyon ürünlerinden olan serbest kireci bağlaması ve ince boşlukları doldurması nedeni ile betonun zararlı ortama karşı dayanıklılığını arttırmak için betona üretim aşamasında puzolan malzeme katılır (Mehta, 1982).

Puzolan maddelerin bileşiminde fazla miktarda kolloidal halde silis ve alümin bulunmaktadır. Bu maddelerin kireçle yapmış olduğu reaksiyon sonunda puzolan malzeme bağlayıcılık özelliği kazanır. Portland çimentosuna puzolan karıştırıldığında çimentonun hidratasyonu sonunda meydana gelen Ca(OH)_2 ile SiO_2 ve Al_2O_3 arasında meydana gelen reaksiyon sonunda puzolan bağlayıcılık özelliği kazanır. Bu reaksiyonlar sonunda Ca(OH)_2 tespit edilir, başka bir deyişle çözülmez duruma getirilir (Postacıoğlu, 1986).

Asit karaktere sahip olan puzolanların başka bir deyişle $Al_2O_3 + SiO_2$ toplamının kuvvetli bir baz olan $Ca(OH)_2$ ile ilişkisinin fazla olduğunu göstermektedir. Bir puzolanın reaksiyon sonunda tespit ettiği kireç miktarı ne kadar fazla ise reaktivitesi o kadar büyüktür veya puzolanik özelliği o kadar yüksektir, bu özellik, en çok puzolanın inceliğine bağlıdır. Şu halde puzolanik özelliğin artırılması için maddenin çok ince bir şekilde öğütülmesi gerekmektedir. Puzolanik özelliği etkileyen diğer bir faktör puzolanın içerdiği Al_2O_3 ve SiO_2 gibi reaktif maddelerin amorf veya camsı yapıda olmasıdır. Çünkü kristal yapıdaki alümin ve silisin reaktif özellikleri yoktur. Diğer taraftan puzolanik özellik, Al_2O_3 ile SiO_2 kireçle yaptığı reaksiyon sonunda meydana geldiğinden bir puzolanda CaO'nin az miktarda bulunması gerekmektedir. Bu açıklamalara göre puzolan maddelerde fazla miktarda SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 amorf halde bulunmalı, CaO az miktarda yer almalıdır. Reaktif maddelerin oranı, A.S.T.M.'nin (C618-72) nolu standardına göre;

$$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 0.70 \quad (2.9)$$

Koşulu gerçekleşmeli, CaO miktarı da %4'ü geçmemelidir. Ancak hemen belirtilmelidir ki yukarıdaki koşulun sağlanması o maddenin puzolan olduğunu göstermez çünkü puzolanın içerdiği SiO_2 ve Al_2O_3 amorf yapıya sahip değilse o maddenin puzolanik özellik göstermesi beklenemez. Kimyasal analiz sonuçlarının miktar bakımından olumlu olması halinde maddenin puzolanik özelliğe sahip olup olmadığı kanıtlanmalıdır (Postacıoğlu, 1986).

2.2.4.2 Yapıda Kullanım Yeri ve Amaçları

Puzolanlar kireç harçlarında kullanıldıklarında harç üzerinde iyi bir etki yaparak, onları suya dirençli hale getirmesi sebebiyle, senelerce kullanılmıştır. Ancak, bu puzolanik etkinin açığa çıkması çok uzun zaman alır. Bu yüzden, çimentonun bulunmasıyla yerlerini bu yeni malzemeye bırakmış olan puzolanlar, günümüzde çimentonun korozyona karşı mukavemetini yükseltmek, priz esnasında oluşacak ısı miktarını azaltmak, deformasyon yapma kabiliyetini arttırmak, betonun işlenebilme özelliğini arttırmak, su geçirimsizliği daha az olan harç ve beton üretmek için çimentoya katılarak kullanılır (Laçinyurt, 1994).

2.2.4.3 Doğal Puzolanlar ile ilgili Çalışmalar:

DSİ Genel Müdürlüğü Malzeme Laboratuarında yapılan bir çalışmada traslarla ilgili bilgiler verilmiş, ülkemizde volkanik tüflerin bulunduğu bölgelerden bahsedilmiş ve değişik menşeli Kayseri doğal puzolanları üzerinde kimyasal ve fiziksel analizler yapılmıştır. Bu puzolanlardan elde edilen numunelerin %30 oranında çimento yerine katıldığı harç ve beton karışımları üzerinde normal ve agresif suda basınç ve çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Özgül yüzeyi ve özgül ağırlığı yüksek ve su emmesi az, esas bileşimi cam olan puzolanlar ile olumlu sonuçlar elde edilmiştir (DSİ Raporu, 1974; Uyan, 1982; Yeginobalı, 1986).

Kesik köprü barajında Niğde fabrikasının traslı çimentosunun kullanılması sırasında DSİ Genel Müdürlüğü 14. Bölge'sinde ve Niğde fabrikasında bu çimento ile yapılan betonların dayanımları incelenmiş, traslı çimentonun bir çok nitelikleri bakımından normal portland çimentosundan daha üstün olduğu belirtilmiştir (DSİ Raporu, 1974; Uyan, 1982; Yeginobalı, 1986).

2.3 Agregalar

Kum, çakıl, kırmataş, cüruf gibi çeşitli büyüklükteki mineral kökenli taneli malzemelere agregalar denir. Agregalar bağlayıcılar yardımıyla beton yapımında kullanılırlar ve betonun yaklaşık %70-75'ini oluştururlar. Agregaların özellikleri kendisinden yapılan betonun özelliklerine de aynen yansır. Yani kendi özellikleri iyi olan agregalar ile yapılan betonun özellikleri de iyi olur (Güner, 2000).

Agregalardan, kullanılan bağlayıcı türüne göre, asfalt ve polimer betonu da üretilebilir. Agregalar doğada, doğal olarak bulundukları gibi iri taş parçalarının konkasör adı verilen taş kırma makinalarında kırılması sonucunda da elde edilebilirler. Konkasörde elde edilen agreganın irisine kırmataş, incesine de kırma kum denir. Kırmataş ve kırmakuma mıcır adı verilir (Güner, 2000).

Doğal veya yapay yollarla elde edilmeleri mümkündür. Kum ve çakıllar tabii agregaları oluştururken, kırma taşlar, yüksek fırın cürufları, kazan külleri, pişmiş killeri ve bunların geliştirilmesiyle elde edilmiş maddeler suni agregaları oluşturur (Laçinyurt, 1994).

Agregaları, ince ve iri agregalar olmak üzere, iki gruba ayırmak mümkündür. İnce agregalar boyutları belirli bir değerden küçük olan tanelerden meydana gelir. Kum denilen malzeme ince agregadan başka bir şey değildir. İri agregalar ise boyutları belirli bir değerden büyük olan tanelerden oluşur. Çakıl bir doğal (iri agregalar) agregadır. Bazı hallerde iri agregalar olarak çakıl yerine doğal taş bloklarının konkasör denilen aletlerle parçalanması sonunda elde edilen kırmataş da kullanılır. Buna göre, kırmataş yapay bir agregadır. Doğal kumun bulunmaması halinde öğütülerek yapay ince agregalar da elde edilebilir (Postacıoğlu, 1987).

Bir bağlayıcı madde yalnız kum ile birlikte kullanılırsa harç elde edilir. Çimento aynı zamanda hem ince agregalar, hem de iri agregalar ile birlikte kullanmakla beton üretilir (Postacıoğlu, 1987).

2.4 Katkı Maddeleri

Çimento harcına veya betona bazı özellikler kazandırmak ve bazı özelliklerini değiştirmek için karışıma eklenen maddelere, "katkı maddeleri" denir. Bunlar organik veya inorganik kimyasal maddelerdir. Katkı maddeleri su, agregalar ve çimento dışında betona çok düşük miktarlarda çimento ağırlığının %5'inden daha az olmak üzere üretim sırasında katılır (Akman, 1990).

Roma'lılar kireçle beraber katkı maddesi olarak puzolanik malzemelerin, İngiliz, Alman ve Hollanda'lılar da buna eşdeğer malzemeleri kullanmasını biliyorlardı. Ancak bu malzemeler pahalı ve zor bulunduğu için yaygın olarak kullanılamıyordu. Bu nedenle zayıf kireç harçlarının özelliklerini geliştirmek için ustalar kan, yumurta akı, şeker, tutkal vs. gibi organik katkı maddeleri kullanmışlardır. Bu tür organik malzemelerin niteliği ve kullanıldığı tarihler hakkında yeterli kaynak halen bulunmadığı için bu konudaki çalışmalara devam edilmektedir. Arap zıncı, kemik tutkalı, yumurta akı, incir sütü gibi daha pek çok maddelerin eski çağlarda yapıştırıcı veya katkı maddesi olarak kullanılmış olduğu bilinmektedir. Vitruvius'tan öğrenildiğine göre, incir sütü, çavdar hamuru, domuz yağı, kesilmiş süt, sertleşmeyi sağlamak için, yumurta akı ve kan sertleşmeyi geciktirmek için, malt ve ürün de hava sürükleyici olarak sertleşmeden sonra dayanımı arttırmak için kullanılmışlardır (Güleç, 1992).

Eski ustalar harç ve sıvıların mekanik özelliklerini artırmak için çok çeşitli doğal organik maddeler kullanmışlardır. Kullanılan katkı maddelerinden en çok bilinen bazıları kan, albümin, peynir, yumurta, zambak, çeşitli bitkisel lifler ve reçinelerdir (Güleç, 1992).

Katkı maddesi olarak kırılmış ve öğütülmüş, pişmiş toprak malzemeler, demir cevheri, odun kömürü gibi inorganik malzemeler de kullanılmıştır. Puzolanik karakteri olan veya olmayan kil ve diğer silikatlı malzemeler harçlara ve sıvalara katılarak bu malzemelerin hidrolik özellikleri arttırılmaya çalışılmıştır (Güleç, 1992).

2.5 Karma Suyu

Karma suyunda organik maddeler, madensel ve organik yağlar, endüstri atıkları ile kullanılacak bağlayıcıya zararlı olabilecek miktarlardaki mangan bileşikleri, amonyum tuzları ve kükürt trioksit (SO_3) ile lağım suları bulunmamalıdır (TS 2848, 1977).

Bu konuda kullanılacak suyun en iyisi içilebilecek özellikteki sular olmalıdır. Harç karışımında, suyun donma noktasını düşürecek herhangi bir madde kullanılmamalıdır (TS 2848, 1977).

Betonu oluşturan maddelerden biri de beton karma işleminde kullanılan sudur, içilebilen su beton üretiminde rahatlıkla kullanılabilir. Betonda kullanılacak karma suyu asit karakterli olmamalı, sülfat (SO_3) içeriği 2gr/litre değerinden az olmalı, su içinde bulunan bazı anyon ve katyonlardan ve ayrıca organik maddelerden kaçınılmalıdır. Şeker, nişasta gibi maddeler de prizi geciktirici etkisinden dolayı sorun yarattığından bu hususta dikkatli olunmalıdır (Akman, 1990; TS 500, 1985).

3 DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Puzolan katkıların kireç harcının mekanik özelliklerine etkilerini araştırmak amacı ile yapılan deneysel çalışmada;

Harç üretiminde maksimum dane çapı 2mm olan silis esaslı standart kum ile bağlayıcı olarak kireç, puzolan olarak silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu kullanılmıştır. Puzolan malzemeler, ağırlıkça %30 oranında kireçle yer değiştirilerek kirece katılmıştır. Bu malzemeler ile farklı özellikte dört seri harç üretilmiş, toplam 36 adet 40 x 40 x 160 mm boyutlu harç numune üretilmiştir.

3.1 Deneyde kullanılan malzemeler

3.1.1 Kireç

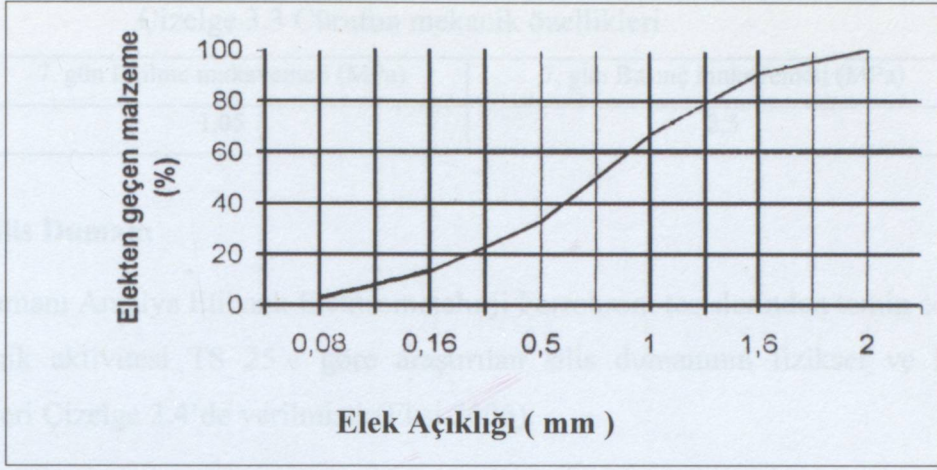
Deneylerde Özgül ağırlığı $2,38\text{gr/cm}^3$ olan, TS 4022'ye uygun söndürülmüş "toz kalker kireci" kullanılmıştır (TS 4022,1977; TS 2848,1977).

3.1.2 Standart RILEM Kum

Deneylerde, TS 819'a uygun silis esaslı "RILEM CEMBUREAU Standart CEN Kum" kullanılmıştır. Aşağıda granülometrik özellikleri verilen kumun birim ağırlığı $2,01\text{gr/cm}^3$ olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 3.1 RILEM kumu granülometri değerleri

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Ü.; Kalan (%)
0,08	98 ±2
0,16	87 ±2
0,50	67 ±2
1,00	33 ±2
1,60	9 ±2
2,00	0



Şekil 3.1 Standart CEN kumu granülometri eğrisi

3.1.3 Yüksek Fırın Cürufu

Üretimde kullanılan yüksek fırın cürufu, İskenderun Demir Çelik: Fabrikaları'ndan temin edilmiştir. Özgül ağırlığı $2,89 \text{ gr/cm}^3$, özgül yüzeyi $1180 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olan cürufun kimyasal özellikleri Çizelge 3.2'de, mekanik özellikleri ise Çizelge 3.3'de verilmiştir. Üretimde kullanılmadan önce TS 25'e göre puzolanik aktivite testi yapılmıştır

Çizelge 3.2 Cürufun kimyasal analizi

Kimyasal Özellikler	(%)
CaO	35,97
SiO ₂ (Çözünen)	38,99
Al ₂ O ₃	11,58
Fe ₂ O ₃	0,23
MgO	9,12
MnO	1,20
K ₂ O	0,95
S	0,72
TiO ₂	0,57

Çizelge 3.3 Cürufun mekanik özellikleri

7. gün Eğilme mukavemeti (MPa)	7. gün Basınç mukavemeti (MPa)
1,05	2,5

3.1.4 Silis Dumanı

Silin dumanı Antalya Etibank Elektrometalurji Ferro-krom tesislerinden temin edilmiştir. Puzolanik aktivitesi TS 25'e göre araştırılan silis dumanının fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.4'de verilmiştir(Ekşi,2006).

Çizelge 3 .4 Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim	Silis Dumanı (FeSi) (%)
SiO ₂	70-85
Al ₂ O ₃	2-5
Fe ₂ O ₃	1-2.5
CaO	1-2
MgO	4-8
Cr ₂ O ₃	1-4
SO ₂	70-85
Kızdırma Kaybı	-
Çözünemez Kalıntı	2.16
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk (g/cm ³)	0.15-0.25
Özgül Yüzey (m ² /kg)	12300-31000

3.1.5 Uçucu Kül

Uçucu kül İskenderun Demir Çelik Fabrikalarının atık ürünüdür. Türkiye Hazır Beton Birliğinden alınmıştır. Uçucu külün fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.5'de verilmiştir(Ekşi,2006).

Çizelge 3.5 Uçucu Külün Kimyasal Özellikleri

(%) Bileşen	UK	TS 630
SiO ₂ (S)	54.97	
Fe ₂ O ₃ (F)	11.27	
Al ₂ O ₃ (A)	19.96	
CaO	4.64	
MgO	5.68	≤5
Na ₂ O	0.74	
K ₂ O	2.31	
S+F+A	85.0	≥70
SO ₃	1.067	≤5

Çizelge 3.6 Uçucu Külün fiziksel özellikleri

Çap (µm)	Şekil	Renk	Yoğunluk (g/cm ³)
1-200	Yuvarlak	Gri	2.38

3.2Puzolanik Aktivite Deneyi

Puzolan malzeme olarak kullanılması planlanan silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufunun puzolanik aktivitesinin araştırılması için TS25 (1975)'e göre 1dm³ harç için çizelge 3.7'da verilen miktarlarda puzolan malzeme, sönmüş kireç, standart kum ve su karıştırılarak elde edilen ve standarda uygun koşullarda saklanan 40x40x160 mm boyutundaki harç numunelerde 7.günde TS EN 196-1 (2002)'ye göre eğilme deneyi ve kırılan parçalarda basınç deneyi yapılmıştır. Deney sonucunda (Çizelge3.8) eğilme dayanımının 1N/mm²'den, basınç dayanımının 4N/mm²'den büyük olması nedeniyle dört malzemenin de puzolanik özelliğe sahip olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 3.7 Harç Üretimi (1dm³) için gerekli malzeme miktarları

Malzemeler	Standart Miktarlar
Standart Kum	1350 g
Sönmüş Kireç	150 g
Puzolan	2x150x(δ _p /δ _k)
Su	0,50(150+puzolan)

Çizelge 3.8 Puzolanik aktivite deney sonuçları

NUMUNE	Eğilme Dayanımı $f_c(N/mm^2)$		Basınç Dayanımı $f_b(N/mm^2)$	
	Deney Sonucu	Standart değer	Deney Sonucu	Standart Değer
Silis Dumanı	3,77	≥ 1.0	26,33	≥ 4.0
Yüksek Fırın Cürufu	1,93		6,13	
Uçucu Kül	2,11		7,96	

3.3 Ön Deneyler

İstenen işlenebilmenin sağlanması için gerekli olan su miktarının belirlenmesi amacı ile ön üretim yapılmış, taze harçta yayılma deneyi yapılarak su/bağlayıcı oranı belirlenmiştir. Yayılma deneyi, sarsma tablası üzerine yerleştirilen tabanı 10 cm çaplı içi boş koni içine iki kerede şişlenerek yerleştirilen harcın, koni kaldırıldıktan sonra sarsma tablasının 15 saniye içinde 25 kere düşürülmesi şeklinde uygulanmıştır. Sarsmadan sonra yapılan ölçümlerle harcın yayılma miktarları belirlenmiştir. Birkaç deneme yapılarak optimum su oranı tespit edilmeye çalışılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır. Son denemede bulunan değerler üretimde kullanılmıştır. Her bir karışım için 1350 g standart rilem kumu , 450 g. Kireç, kirecin ağırlıkça %30 oranında puzolan katkı ve 0,50 oranında su ile üretime başlanmıştır. Ayrıca puzolan katılmamış, şahit numunelerde üretilmiştir. Aşağıda her bir harç için yayılma deneyi ve belirlenen su miktarı açıklanmış, sonuçlar Çizelge 3.9’da verilmiştir.

- Kireç Harcının Ön Deneyi

Ön üretime 225 g. su ile başlandı. İstenen yayılma sağlanamayınca su miktarı arttırıldı; 337,5 g. su ile ortalama 12,5 cm yayılma sağlandı.

- Silis Dumanı Katkılı Kireç Harcının Ön Deneyi

Ön üretime 225 g. su ile başlandı. İstenen yayılma sağlanamayınca su miktarı arttırıldı; 292,5 g. su ile ortalama 13 cm yayılma sağlandı.

- Ucucu Kül Katkılı Kireç Harcının Ön Deneyi

Ön üretime 225 g. gram su ile başlandı. İstenen yayılma sağlanamayınca su miktarı artırıldı; 281,5 g. su ile ortalama 12,3 yayılma sağlandı.

- Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kireç Harcının Ön Deneyi

Ön üretime 225 g su ile başlandı. İstenen yayılma sağlanamayınca su miktarı artırıldı; 270 g su ile ortalama 11,9 cm yayılma sağlandı.

Çizelge 3.9 Malzeme Miktarları ve Yayılma Oranı

Numune Kodu	Rilem kumu miktarı (gr)	Kireç miktarı (gr)	Su miktarı (gr)	Yayılma Oranı (cm)	$w=\text{Su/Kireç}$
Kireç Harcı	1350	450	337,5	12,5	0,75
Silis Dumanı Katkılı Kireç Harcı	1350	315	292,5	13	0,65
Uçucu Kül Katkılı Kireç Harcı	1350	315	281,5	12,3	0,625
Yüksek Fırın Cürufu Katkılı Kireç Harcı	1350	315	270	11,9	0,60

3.4 Harç Üretimi ve Numunelerin Kodlanması

Harç üretiminde maksimum dane çapı 2mm olan silis esaslı standart kum, TS 4022'ye uygun sönmüş kireç, özellikleri Çizelge 3.2 ve 3.3'te verilen yüksek fırın cürufu, özellikleri Çizelge 3.4'de verilen silis dumanı ve özellikleri çizelge 3.5 ve 3.6'da verilen uçucu kül kullanılmıştır. Harç üretimi 4.5 lt kapasiteli harç mikserinde gerçekleştirilmiştir.

Dört farklı gruptaki harç ile 40 x 40 x 160 mm boyutlarındaki numuneler üretilmiştir. Üretimden 48 saat sonra kalıplardan çıkarılan, numuneler deneylerin yapılacağı 7. 28.

ve 365. güne kadar sıcaklığı 19 ± 2 °C, nemi $\%60 \pm 5$ olan rüzgarsız laboratuvar ortamında bekletilmiştir.

Özellikleri Çizelge 3.1-3.6'da verilen malzemeler belirlenen oranlarda kullanılarak Çizelge 3.9'de verilen 4 seri harç üretilmiştir. Bu suretle cüruf, silis dumanı ve uçucu külün harç özelliklerine etkileri araştırılmıştır. Numunelerin kodlanması Çizelge 3.10'da verilmiştir. Oranlar malzeme ağırlıklarının kireç ağırlığına oranlanmasıyla belirlenmiştir.

Çizelge 3.10. Üretilen Numunelerin Kodlanması ve Malzeme Karışım Oranları

Numune Kodu	Açıklama	Su/Bağlayıcı	Kireç	Rilem Kumu	Silis Dumanı	Uçucu Kül	Cüruf
SC	Kireç + Rilem kumu	0,75	1	3	-	-	-
SSF	Kireç + Rilem kumu + Silis Dumanı	0,65	0,70	3	0,3	-	-
SUK	Kireç + Rilem kumu + Uçucu kül	0,63	0,70	3	-	0,3	-
SYFC	Kireç + Rilem kumu + cüruf	0,60	0,70	3	-	-	0,3

3.5 Kontrol Deneyleri

Harç numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra sıcaklığı ortalama 19 ± 2 °C, nemi $\%60 \pm 5$ olan rüzgarsız laboratuvar ortamında saklanmış, 7., 28. ve 365. günlerde kontrol deneyleri yapılmıştır. Deneyler ve kullanılan aletler aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1 Birim Ağırlık Deneyi

Numuneler 4000g kapasiteli 0,1 g duyarlıklı elektronik tartıda tartılmış ve ortalama birim ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan birim ağırlık değerleri Bölüm 4'de verilmiştir.

3.5.2 Eğilme Deneyi

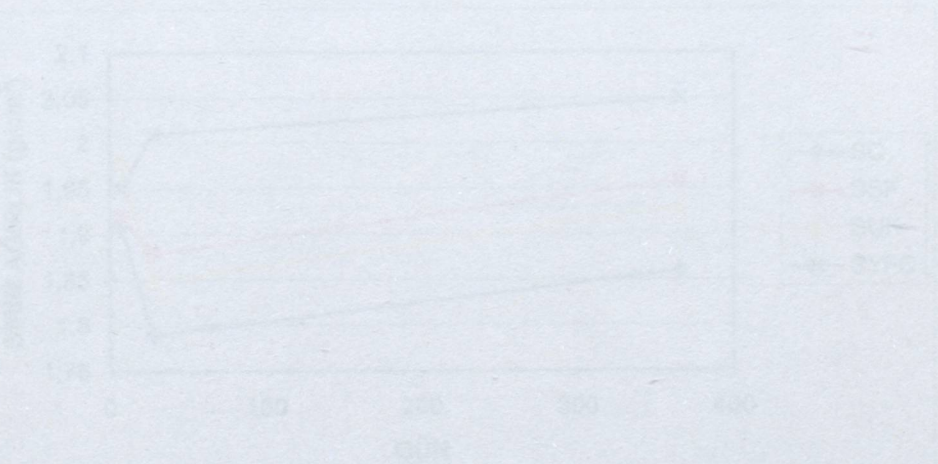
Numunelerde 7., 28. ve 365. günlerde eğilme dayanımını belirlemek üzere TS EN 196-1'e uygun olarak eğilme deneyi yapılmıştır. Eğilme deneyinde 40 x 40 x 160mm

boyutlu prizma biçimindeki numuneler açıklığı 100mm olan iki mesnet üzerine, yan yüzlerden biri mesnetler üzerine oturacak şekilde yerleştirilmiş ve açıklığın tam ortasından numunenin bütün genişliği boyunca etkileyen P yükü, hızı saniyede 50 ± 10 N olacak şekilde uygulanarak kırma yükü (P_k , kN) belirlenmiştir. Eğilme dayanımı (f_e MPa) olarak 4.1 bağıntısından hesaplanmış, üç numunede belirlenen eğilme dayanımının ortalama değerleri Bölüm 4'te verilmiştir.

3.5.3 Basınç Deneyi

Eğilme deneyinde iki parçaya ayrılmış olan her bir numunenin yarım prizmaların birinde basınç deneyi yapılmıştır. Deneyde yük 2400 ± 200 N/s hızla yüklenmiş, kırma yükü (P_k , kN) belirlenmiş, yükün kuvvet uygulanan yüzeye (F , mm^2) oranlaması ile basınç dayanımı (f_c , MPa) belirlenmiş, her bir gruba ait ortalama değerler Bölüm 4'te verilmiştir.

	7. gün	28. gün	365. gün
SC	1,910	1,790	1,860
SB	1,920	1,880	1,960
SK	1,980	1,850	1,950
SYTC	1,950	2,010	2,090



Şekil 4.1. Betonun Basınç Dayanımı

4 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

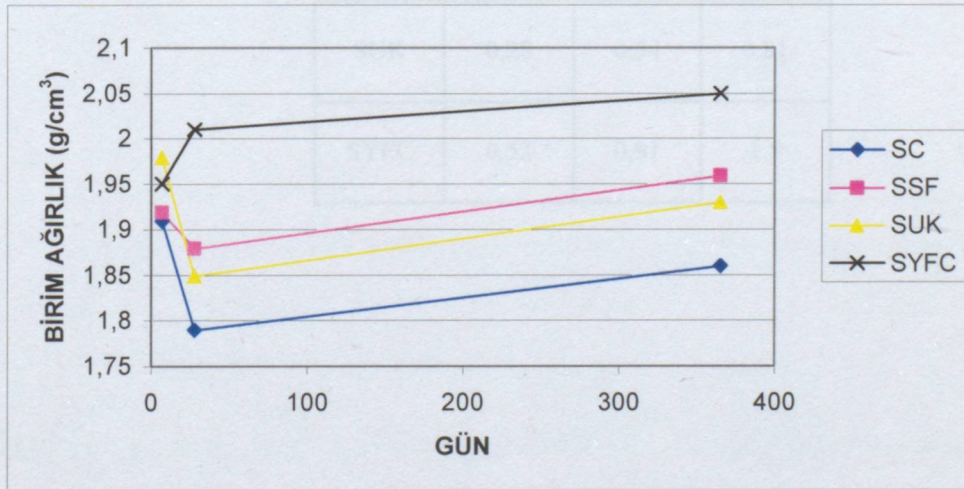
Puzolan katkıların kireç harcının mekanik özelliklerini etkilerini belirlemek amacı ile planlanan ve 3.Bölüm’de açıklanan deneysel çalışmada agrega olarak kum kullanılmış, kireç harçlarına üç farklı puzolan malzeme katılarak dört grup harç üretilmiştir.Bu harçlarda 7., 28. ve 365. günlerde eğilme, basınç, deneyleri yapılmıştır.

Bu bölümde bir yıl süre ile laboratuvar koşullarında bırakılan numunelerde yapılan eğilme ve basınç deneyleri sonuçları ve grafikleri Şekil 4.1- 4.4’te verilmiştir.

4.1 Birim Ağırlık

Çizelge 4.1 Harçlarda Birim Ağırlıklar(g/cm^3)

Numune Kodu	Birim Ağırlık (g/cm^3)		
	7. gün	28. gün	365. gün
SC	1,910	1,790	1,860
SSF	1,920	1,880	1,960
SUK	1,980	1,850	1,930
SYFC	1,950	2,010	2,050



Şekil 4.1 Harçta Birim Ağırlıklar

4.2 Eğilme Dayanımı

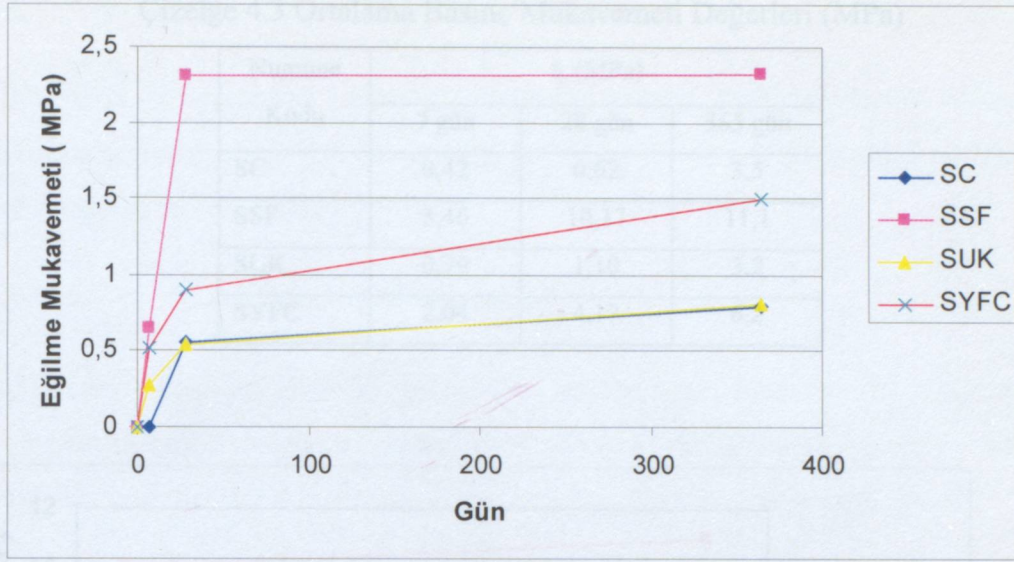
Numuneler eğilme aleti altında mesnet açıklığı 100 mm olan 10 mm çaplı 2 silindir üzerine yerleştirilmiştir. Numuneler eğilme deneyine tabi tutularak kırma yükü (P_k) belirlenmiştir.

Numunelerin eğilme mukavemetleri 4.1 bağıntısına göre hesaplanmış sonuçlar Çizelge 4.2’de verilmiştir. Şekil 4.2’de ise grupların zamana bağlı olarak karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.

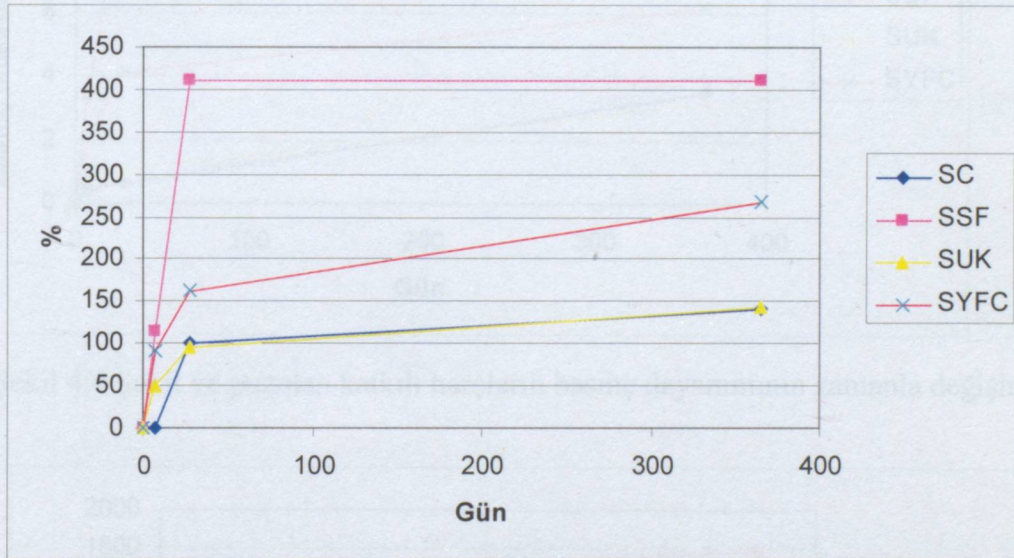
$$f_e = \frac{1.5 P_K \cdot L}{a^3} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.2 Ortalama Eğilme Mukavemeti Değerleri (MPa)

Numune Kodu	f _e (MPa)		
	7 gün	28 gün	365 gün
SC	-	0,56	0.8
SSF	0,65	2,32	2.33
SUK	0,28	0,54	0.81
SYFC	0,52	0,91	1.5



Şekil 4.2 Şahit ve puzolan katkılı harçların eğilme dayanımının zamanla değişimi



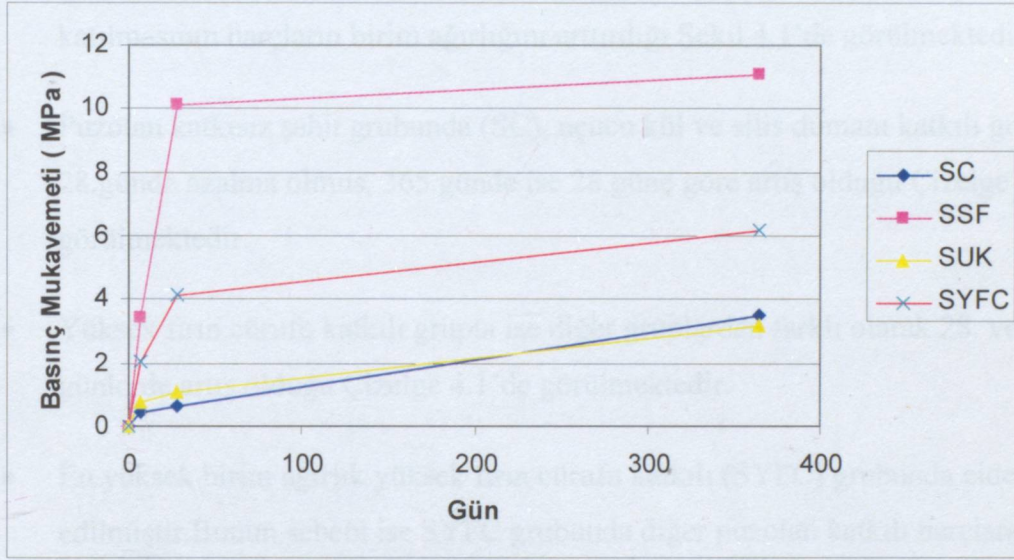
Şekil 4.3 Eğilme mukavemetinin bağıl değerinin zamanla değişimi

4.3 Basınç Dayanımı

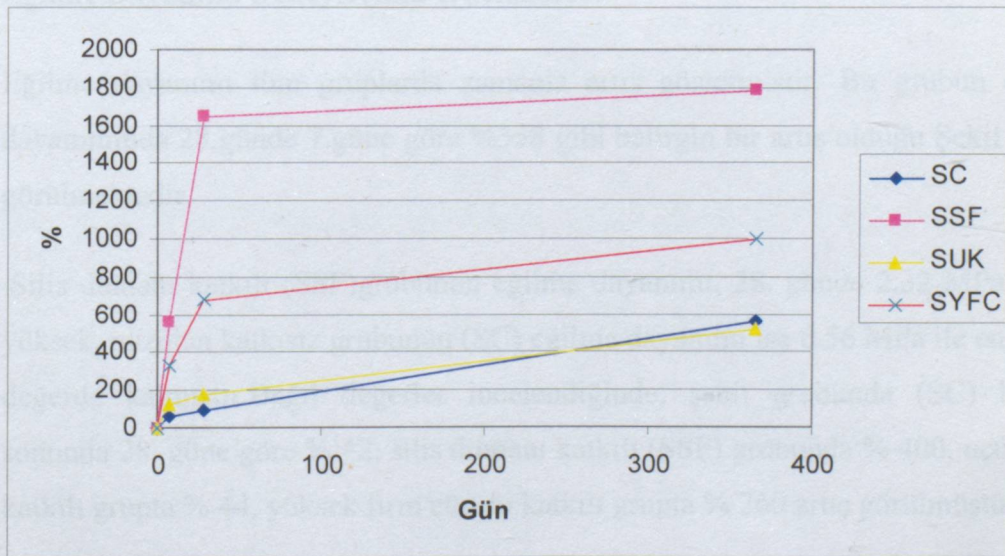
Eğilme deneyinde ikiye kırılan numunelerin bir adedinde 3000 kN kapasiteli basınç aletinde 7., 28. ve 365. günlerde basınç deneyi yapılmıştır. Numunelerin basınç mukavemetleri çizelge 4.4'te verilmiştir. Şekil 4.4'te ise grupların zamana bağlı olarak karşılaştırmalı grafikleri verilmiştir.

Çizelge 4.3 Ortalama Basınç Mukavemeti Değerleri (MPa)

Numune Kodu	f_b (MPa)		
	7 gün	28 gün	365 gün
SC	0,42	0,62	3,5
SSF	3,46	10,17	11,1
SUK	0,79	1,10	3,2
SYFC	2,04	4,17	6,2



Şekil 4.4 Şahit ve puzolan katkılı harçların basınç dayanımının zamanla değişimi



Şekil 4.5 Basınç mukavemetinin bağıl değerinin zamanla değişimi

5 DENEY SONUÇLARININ İRDELENMESİ

Bu Bölüm'de agrega olarak Rilem kumunun kullanıldığı kireç harçlarına puzolanların etkisinin araştırıldığı deneysel çalışmadan alınan ve dördüncü bölümde değerlendirilen deney sonuçları irdelenmiştir.

5.1 Birim Ağırlık Deneylerinin İrdelenmesi

- Şahit (SC) grubuna göre tüm gruplarda 7. günde birim ağırlıkta artış gözlenmiştir. Değirmenci ve Baradan'ın yaptığı çalışmada da görüldüğü gibi, kirece puzolan katılmasının harçların birim ağırlığını arttırdığı Şekil 4.1'de görülmektedir.
- Puzolan katkısız şahit grubunda (SC), uçucu kül ve silis dumanı katkılı gruplarda 28.günde azalma olmuş, 365.günde ise 28.güne göre artış olduğu Çizelge 4.1'de görülmektedir.
- Yüksek fırın cürufu katkılı grupta ise diğer gruplardan farklı olarak 28. ve 365. günlerde artış olduğu Çizelge 4.1'de görülmektedir.
- En yüksek birim ağırlık yüksek fırın cürufu katkılı (SYFC) grubunda elde edilmiştir. Bunun sebebi ise SYFC grubunda diğer puzolan katkılı harçlara göre su/bağlayıcı oranının düşük olmasıdır.

5.2 Eğilme Dayanımı Deneylerinin İrdelenmesi

- Eğilme dayanımı tüm gruplarda zamanla artış göstermiştir. Bu grubun eğilme dayanımında 28.günde 7.güne göre %358 gibi belirgin bir artış olduğu Şekil 4.2'de görülmektedir.
- Silis dumanı katkılı (SSF) grubunun eğilme dayanımı, 28. günde 2.32 MPa ile en yüksek, puzolan katkısız grubunun (SC) eğilme dayanımı ise 0.56 MPa ile en düşük değerde kalmıştır. Bağlı değerler incelendiğinde, şahit grubunda (SC) bir yıl sonunda 28. güne göre % 42, silis dumanı katkılı (SSF) grubunda % 400, uçucu kül katkılı grupta % 44, yüksek fırın cürufu katkılı grupta % 260 artış görülmüştür.

- Çok aktif olan silis dumanının erken mukavemete etkisi olduğundan, SSF (Rilem+silis dumanı+kireç) grubunun 365.günde eğilme dayanımında 28.güne göre bir değişim olmadığı, fakat deneydeki en yüksek eğilme mukavemeti değeri olduğu görülmüştür.
- Uçucu kül katkılı (SUK) grubunun 28.gün eğilme dayanımının şahit SC (Rilem+kireç) grubuna göre %4 oranda düşük olduğu görülmektedir.
- Yüksek fırın cürufu katkılı (SYFC) grubunun eğilme dayanımının 28.günde SC grubuna göre %62, 365.günde SC grubuna göre %87 oranında artış olduğu Çizelge 4.2’de görülmektedir.Pusat’ın çalışmasında da benzer durum gözlenmiştir.
- Silis dumanı katkılı (SSF) grubu ile yüksek fırın cürufu katkılı (SYFC) gruplarının 28.ve 365.gündeki eğilme dayanımları şahit (SC) grubuna göre yüksek iken, uçucu kül katkılı (SUK) grubunun eğilme dayanımı(SC) grubuna göre 28.gündeki eğilme dayanımının düşük olduğu Şekil 4.2’de görülmektedir.

5.3 Basınç Dayanımı Deneylerinin İrdelenmesi

- Basınç deneyi sonuçlarına göre; tüm grupların basınç dayanımı beklenildiği gibi zamanla artış göstermiştir. Şahit (SC) grubun 7. günde 0.42 MPa olan dayanımı 28. günde 0.62 MPa, bir yıl sonunda 3.5 MPa ulaşmıştır.
- Silis dumanı ince ve puzolanik aktivitesi çok yüksek olduğundan, silis dumanı katkılı (SSF) grubunun 365.gündeki basınç dayanımının deneydeki en yüksek basınç dayanımı değeri olduğu görülmüştür.
- Şimşek ve Erdal ile Pusat’ın çalışmasına paralel olarak, silis dumanı katkılı (SSF) grubu, yüksek fırın cürufu katkılı (SYFC) grubunun 7. 28. ve 365. gündeki basınç dayanımı değerleri şahit (SC) grubunun 28.gündeki basınç dayanımı değerinden yüksektir. Uçucu kül katkılı (SUK) grubunun 7. ve 28. gündeki basınç dayanımı şahit (SC) grubunun 7. ve 28. gündeki basınç dayanımından yüksek iken ; 365. günde şahit (SC) grubuna göre basınç dayanımı düşüktür.

- 28. günde ki basınç dayanımları küçükten büyüğe doğru sıralandığında şahit (SC) 0.62 MPa ile en düşük değerdedir. Onu 1.1 MPa ile uçucu kül katkılı (SUK), 4.17 MPa ile yüksek fırın cürufu katkılı (SYFC) grubu izlemiş, en büyük değeri ise 10.17 MPa ile silis dumanı katkılı gruptan elde edilmiştir.
- Silis dumanının puzolanik aktivitesi çok yüksek olduğundan erken dayanıma etkisi vardır. Bundan dolayı, silis dumanı katkılı (SSF) grubunun basınç dayanımında 28. günde 7. güne göre %294 gibi belirgin bir artış olduğu Şekil 4.4'te görülmektedir.

6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Kireç harçlarına yüksek fırın cürüfö, silis dumanı ve uçucu kül katılarak üretilen harçlarda yapılan deneylerden elde edilen başlıca sonuçlara göre ;

- Harçlara puzolan katılması kireç harcının eğilme ve basınç dayanımını arttırmıştır.
- Yapıdaki harcın özellikleri belirlendikten sonra harç üretiminde kirece deneyler ile belirlenecek oranlarda puzolan katılarak istenilen özelliklere en yakın özellikte harç üretilebilir.
- Katkılı harçların eğilme ve basınç dayanımı puzolan türüne göre silis dumanı, yüksek fırın cürufu ve uçucu kül şeklinde sıralanmışlardır. Silis dumanı katkı harçların eğilme ve basınç dayanımları 7.,28. ve 365. günlerde diğer katkı harçların eğilme ve basınç dayanımlarından daha yüksektir.

Sonuç olarak; özellikle tarihi yapıların onarım ve güçlendirilmesinde kullanılacak kireç harçlarının eğilme ve basınç dayanımının artırılması amacı ile kirece belirli oranda silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özelliği olan endüstriyel atık malzemelerin katılabileceği ve elde edilen harçların tarihi yapıların onarımında kullanılabileceği görüşüne varılmıştır. Ancak bu harçların atmosfer etkilerine dayanıklılığının uzun süreli dayanıklılık deneyleri ile araştırılması gerekir.

KAYNAKLAR

- Akagün, A.; (1966), "Yapı Malzemesi Notları, KTÜ Yayınları
- Akman, M. Süheyl ; (1975), "Kırmataş İri Agregalı Betonlarda Harç, Beton Sınırı Üzerinde Araştırmalar, Haziran , Teknik Rapor No:21
- Akman, M.S.; (1992), Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi, İTÜ Matbaası, İstanbul
- Akman, S.; (1990), "Yapı Malzemeleri", İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul.
- Anstett F., (1949); "Çimento ve Beton Lugatı" İstanbul.
- Çakır, Ö.; (2000) "Yüksek Fırın Cürufunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi" (Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi), İstanbul 2000.
- Davey, N.; (1993), "Lime And Cements", A Histrory of Bulding Materials.
- Debes G.;(1961), "Yapı Malzemeleri – Kagir, Beton, Betonarme, Kireç ve Çimentolar, Harçlar", İstanbul.
- Değirmenci,N., Baradan, B. (2004) 'Chemical resistance of Pozzolanice Plaster for Earthen walls'.
- Ekşi Akbulut, D. (2006), "Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harçların Seçimine Yönelik Bir Öneri", Doktora Tezi, YTÜ Fen bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdoğan, Y. Turhan, (2003); "Beton" I. Baskı, , ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.
- Eriç, M., (1994) "Yapı Fiziği ve Malzemesi", İstanbul 1994.
- Eriç, M.,(1992), "Yapıda Sıva Uygulamaları Ve Sorunları", İnşaat Dergisi, Temmuz , s.70-73.
- Ersen, A., Güleç, A. (1991), Geleneksel Harçlar Konusunda Bir Araştırma "Tahtakale Hamamı", Taç Vakfı Yıllığı, Sayı 1, s.56-75, İstanbul.
- Güleç A., (1992), "Bazı Tarihi Anıt Harç ve Sıvalarının İncelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul.
- Güner, M. Selçuk; Sönme, Veli; (2000), "Yapı Malzemesi ve Beton" 2. Baskı, Aktif Yayınevi.
- Hasol, D.; (1998), "Ansiklopedik Mimarlık Sözlüğü", İstanbul 1988
- Karaveziroğlu, M. Papayianni I., (1995) "Long Term Strenght of Mortars and Grouds Used in Intervantions" IABSE Symposium, Rome 1995.

Khayat, K.H. ve Aitcin, P.C., (1992), "Silica Fume in Concrete An Overview", IV Canmet/ACI International Conference, Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozolans in Concrete, Mayıs, İstanbul, 835-872.

Laçinyurt, S.,(1994) İstanbul Şehir Surları, Horosan Harçları Üzerine Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi.

Lea M.F.,(1983) "The Chemistry of Cement and Concrete", England.

Massazza, F., (1989) "Puzolanlar" Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, Mayıs

Mavi,Ö.,(2000), Kireç Harç ve Sıvaların fiziksel ve mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi, Y.Lisans Tezi, İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Mehta, P.K ve GJORV, O.D., (1982), "Properties of Portlanda Cement Concrete Containing Fly Ash and Condensed Silica Fume", Cement Concrete Research 12 pp 587-585.

Özışık, Gündüz;(2000), "Beton" Birsen Yayınevi, İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İstanbul

Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M., (1999), Her Yönüyle Beton. THBB, İstanbul.

Penelis, G.Gr., (1995) "Ancient and Traditional Mortar Technologie and their Importance in Conservation Projects", Mortars and Grouts in Restoration of Roman and Byzantine Monuments, Selanik 1995.

Postacıoğlu, B., (1986), "Bağlayıcı maddeler", Beton, Cilt I, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

Postacıoğlu, B., (1987), "Agregalar, Beton", Cilt II, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

Prof. Ülkay, Sadi; İstanbul 1990, Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi, Yapı Malzemesi, Yapı Elemanları ve Malzemeleri Bilim Dalı.

Pusat, S. (2002), 'Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi ' Y.Lisans Tezi YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

Sabbioni, C., Zappia, G., Ghedini, N., Riontino, C., (1997); "Sulphur and Carbon Compounds on Damaged Mortars in Ancient Ma'sonry" 4 th International Symposium on the Conervation of Monuments in the Mediterranean, Cilt. 1, Rodos 1997.

Saraylı, M.Ali, (1975); "Yapı Malzemeleri Bilimi Yapı Malzemelerinin Tanımı, Üretilmesi, Sınıflandırılması, Denenmesi ve Kullanılması, İkinci Kısım Özeti, İ.D.M.M. Akademisi

Smith R.C.,(1979), "Materials of Construction" America.

Swallow, P., Corrington, D., "Limes and Lime Mortars", Past one, Journal of Architectural Conservation No. 3 November 1995, s.7-25.

Şimşek, O., Mürsel, Erdal(2005), "Silis dumanının çelik lifli betonun eğilme dayanımına etkisi" Gazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Der. Cilt 20, NO:2

TS 2848 (1977) "Kargir Duvar Harçları" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara 1977.

TS 500, (1985), Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları.

TS 706 Beton Agregaları, Ankara Nisan 2003.

Türkiye Çimento Fabrikalarında Katkı Maddesi Olarak Kullanılan Çeşitli Traslar Üzerine Araştırma, DSİ Raporu, Ankara, 1974.

Uyan, M., Isıl İşlem Uygulanması ile Birlikte Katkı Kullanımının Beton Özellikleri Üzerine Etkisi, Doç. Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fak., 1982.

Wolsiefer, j., (1991), "Silica Fume Concrete: A Solution to Steel Reinforcement Corrosion in Concrete", II CANMETE/ACI International Conference on Durability of Concrete, Montreal, Canada, 527-558.

Wolsiefer, j., Sivasanduram, V., Malhotra, V.M. ve Corette G.G., (1995, "Performance of Concretes Incorporating Various Forms of Silica Fume," V. CANMET/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolons in Concrete, Milwaukee, 591-655.

Yeginobalı, A., A Reviw of Some Studies on Local Pozzolans, Proceedings of Second International Conference, 27-30 Oct.-1986 TRIPOLI.

Yeğinoğlu, A., (1993), "Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, "Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 18-19.11.1993, Ankara, 149-167.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum Tarihi	: 25. 11. 1978
Doğum Yeri	: İstanbul
Lise	: 1993-1996 İstanbul Pertevniyal Lisesi
Lisans	: 1997-2001 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	: 2003-2006 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Yapı Programı
Çalıştığı Kurumlar	
2001-2002	: Keleşoğlu İnşaat
2002-2003	: Hayat Holding Kontrol Mühendisi
2003-2004	: Sur Yapı
2005-2006	: Bodrum Anastasiapolis Villaları Şantiye Şefi
2006-	: Devam ediyor. Işık Yapı Denetim Kontrol Mühendisi

