

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Uygar GÜNDEŞLİ

**UÇUCU KÜL, SİLİS DUMANI VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETON
VE ÇİMENTO KATKISI OLARAK KULLANIMI ÜZERİNE BİR KAYNAK
TARAMASI**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2008

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**UÇUCU KÜL, SİLİS DUMANI VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN
BETON VE ÇİMENTO KATKISI OLARAK KULLANIMI ÜZERİNE BİR
KAYNAK TARAMASI**

Uygar GÜNDEŞLİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANBİLİM DALI

Bu tez 27/11/2008 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği/Oyçokluğu İle Kabul Edilmiştir.

İmza.....
Yrd. Doç. Dr. A. Hamza TANRIKULU
DANIŞMAN

İmza.....
Doç. Dr. Cengiz D. ATIŞ
ÜYE

İmza.....
Yrd. Doç. Dr. S. Seren GÜVEN
ÜYE

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Aziz ERTUNÇ
Enstitü Müdürü
İmza ve Mühür

- **Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

UÇUCU KÜL, SİLİS DUMANI VE YÜKSEK FIRIN CÜRUFUNUN BETON VE ÇİMENTO KATKISI OLARAK KULLANIMI ÜZERİNE BİR KAYNAK TARAMASI

Uygar GÜNDEŞLİ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Yrd. Doç. Dr. A. Hamza TANRIKULU
Yıl : 2008, **Sayfa:** 71
Jüri : Yrd. Doç. Dr. A. Hamza TANRIKULU
Doç. Dr. Cengiz D. ATIŞ
Yrd. Doç. Dr. S. Seren GÜVEN

Bu çalışmada doğal puzolanlar, uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi malzemelerin ne anlama geldiği, nerelerden elde edilebileceği ve yapı sektöründe nasıl daha faydalı şekilde değerlendirilebileceği araştırılmıştır. Ayrıca, bu malzemelerin beton ve çimento katkısı olarak kullanımının beton özellikleri üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri, hangi oranlarda ikame edildiklerinde ne gibi sonuçlar elde edildiği daha önce yapılan çalışmalardan incelenmiştir. Kaynak araması sonucunda elde edilen veriler değerlendirilerek yukarıda adı geçen malzemeler üzerinde özelliklerin araştırılmasının devam edilmesi gerektiği hakkında yorumlar yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Puzolan, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, çimento.

ABSTRACT

M. SC. THESIS

**A LITERATURE REVIEW ON THE USE OF FLY ASH, SILICA FUME
AND BLAST – FURNACE SLAG IN CONCRETE AND CEMENT AS AN
ADDITIVE**

Uygar GÜNDEŞLİ

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor : Yrd. Doç. Dr. A. Hamza TANRIKULU
Year : 2008, **Pages :** 71
Jury : Yrd. Doç. Dr. A. Hamza TANRIKULU
Doç. Dr. Cengiz D. ATIŞ
Yrd. Doç. Dr. S. Seren GÜVEN

In this study, the meaning of fly ash, silica fume and blast furnuca, and also where these materials can be obtained and how they can be more useful for building sector are searched. Futhermore, the advantages and disadvantages of using these materials as an additive in concrete and cement are investigated. In which proportion these materials are used and how it can be resulted are researched from the studies that were made before. At the end of source searching, the datums which were obtained are evaluated and the comments have been made about the necessity and the continuity of the researches on the features of materials (fly ash, silica fume and blast furnuca) which are mentioned above.

Key words: Puzolan, silica fume ,fly ash, blast furnuca and cement.

TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans Tez programının yürütülmesi esnasında, çalışmalarına yön vererek yardım ve bilgi konusunda bana her türlü desteği sağlayan danışman hocam, sayın Yrd. Doç. Dr. A. Hamza TANRIKULU'na ve benim ile özel ilgilenerek kıymetli zamanını bana ayıran, bilgi ve tecrübeleriyle beni yönlendiren, konusunda vazgeçilmez olan değerli hocam, sayın Doç. Dr. Cengiz D. ATIŞ'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Desteklerini hiçbir zaman esirgemeyerek, Yüksek Lisans eğitime beni teşvik eden değerli işverenlerim, sayın Yaşar DENİZ, Menderes ÇOBAN ve Sait KIRMACI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Tüm öğrenim hayatım boyunca devamlı yanımda olan ve benden maddi manevi desteklerini esirgemeyen, kendilerinden çok beni düşünen sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca sadece iyi günümde değil kötü günümde de yanımda olacak olan, yaşamımın her anında olduğu gibi tez çalışmalarım da beni yalnız bırakmayan kıymetli eşim Pembe GÜNDEŞLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZ	I
ABSTRACT	II
TEŞEKKÜR	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÇİZELGELER LİSTESİ	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR	IX
1. GİRİŞ	1
1.1. Çimentolar.....	3
1.1.1. Çimentonun Tanımı.....	3
1.1.2. Çimentonun Tarihçesi.....	4
1.1.3. Çimento Üretiminde Kullanılan Hammaddeler.....	5
1.1.3.1. Bazik Karakterli Hammaddeler.....	5
1.1.3.2. Asit Karakterli Ham Maddeler.....	7
1.1.4. Portland Çimentoları.....	9
1.2. Puzolanlar.....	10
1.2.1. Puzolanların Tanımı.....	10
1.2.2. Puzolanların Sınıflandırılması Ve Çeşitleri.....	12
1.2.2.1. Doğal Puzolanlar.....	13
1.2.2.1.(1). Volkanik Kökenli Doğal Puzolanlar.....	14
1.2.2.1.(1).(a). Volkanik Cam.....	15
1.2.2.1.(1).(b). Volkanik Tüfler Ve Tras.....	15
1.2.2.1.(2). Isıl İşlem Görmüş Doğal Puzolanlar.....	15
1.2.2.1.(2).(a). Killer Ve Şeyller.....	15
1.2.2.1.(2).(b). Diatomitler.....	16
1.2.2.2. Yapay Puzolanlar.....	17
1.2.2.2.(1). Uçucu Kül.....	17

1.2.2.2.(1).(a). Silisli Uçucu Kül.....	18
1.2.2.2.(1).(b). Kalkersi Uçucu Kül.....	18
1.2.2.2.(2). Yüksek Fırın Cürufu.....	18
1.2.2.2.(3). Silis Dumanı.....	19
1.2.2.2.(4). Pirinç Kabuğu Külü.....	20
1.2.3. Puzolanik Reaksiyon.....	21
1.2.4. Puzolanik Aktivite.....	22
1.2.5. Puzolanların Kullanımı.....	24
1.2.5.1. Puzolanların Betonda Kullanımının Faydaları Ve Zararları.....	24
1.2.5.1.(1). Faydaları.....	24
1.2.5.1.(2). Zararları.....	25
1.2.6. Puzolan Katkıların Beton Özelliklerine Etkileri.....	26
2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ	
ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ.....	28
2.1. İşlenebilirlik Üzerindeki Etkiler.....	28
2.1.1. Doğal Puzolanların İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri.....	28
2.1.2. Uçucu Küllerin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri.....	29
2.1.3. Silis Dumanının İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri.....	30
2.1.3.1. Taze Beton Özellikleri Üzerindeki Etkileri.....	30
2.1.4. Yüksek Fırın Cürufunun İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri.....	31
2.1.4.1. Taze Beton Özellikleri Üzerindeki Etkileri.....	31
2.2. Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkiler.....	31
2.2.1. Doğal Puzolanların Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri.....	31
2.2.2. Uçucu Küllerin Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri.....	33
2.2.3. Silis Dumanının Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri.....	34
2.2.3.1. Basınç Dayanımına Etkisi.....	34
2.2.4. Yüksek Fırın Cürufunun Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri.....	38
2.3. Rötire Üzerindeki Etkiler.....	39
2.3.1. Doğal Puzolanların Rötire Üzerindeki Etkileri.....	39
2.3.2. Uçucu Küllerin Rötire Üzerindeki Etkileri.....	40

2.3.3. Silis Dumanının Rötire Üzerindeki Etkileri.....	41
2.3.4. Yüksek Fırın Cürufunun Rötire Üzerindeki Etkileri.....	41
2.4. Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkiler.....	42
2.4.1. Doğal Puzolanların Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri.....	42
2.4.2. Uçucu Küllerin Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri.....	44
2.4.3. Silis Dumanının Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri.....	44
2.4.4. Yüksek Fırın Cürufunun Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri.....	45
2.5. Aşınma Üzerindeki Etkiler.....	46
2.5.1. Doğal Puzolanların Aşınma Üzerindeki Etkileri.....	46
2.5.2. Uçucu Küllerin Aşınma Üzerindeki Etkileri.....	46
2.5.3. Silis Dumanının Aşınma Üzerindeki Etkileri.....	47
2.5.4. Yüksek Fırın Cürufunun Aşınma Üzerindeki Etkileri.....	47
2.6. Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkiler.....	48
2.6.1. Doğal Puzolanların Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri.....	48
2.6.2. Uçucu Küllerin Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri.....	49
2.6.3. Silis Dumanının Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri.....	50
2.6.4. Yüksek Fırın Cürufunun Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri.....	52
2.7. Donma – Çözülme Üzerindeki Etkiler.....	52
2.7.1. Doğal Puzolanların Donma – Çözülme Üzerindeki Etkileri.....	52
2.7.2. Uçucu Küllerin Donma – Çözülme Üzerindeki Etkileri.....	54
2.7.3. Silis Dumanının Donma – Çözülme Üzerindeki Etkileri.....	54
2.7.4. Yüksek Fırın Cürufunun Donma – Çözülme Üzerindeki Etkileri.....	56
3. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	57
KAYNAKLAR.....	60
ÖZGEÇMİŞ.....	71

ÇİZELGELER LİSTESİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Kil içeriklerine göre çimento hammaddelerinin adlandırılması	8
Çizelge 1.2. Tipik bir portland çimentosunun oksit analizi ve ana bileşen miktarları.....	10
Çizelge 1.3. TS 25'e göre trasda aranması gereken özellikler.....	24
Çizelge 1.4. Puzolanların taze beton özellikleri üzerine etkileri.....	27
Çizelge 1.5. Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri.....	27
Çizelge 2.1. Farklı oranlarda tras içeren çimento örneklerinin basınç dayanımları...	32
Çizelge 2.2. Sabit PH'lı sülfat çözeltisinde bekletilen çimento pastalarının basınç dayanımı kaybı.....	48
Çizelge 2.3. Doğal puzolan içeren düşük portland çimentosu dozajlı betonların bazı özellikleri.....	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

SAYFA

Şekil 1.1. Puzolanların sınıflandırılması.....	13
Şekil 2.1. Çimentodaki doğal puzolan miktarının normal kıvam için gerekli su miktarına etkisi.....	28
Şekil 2.2. Silis dumanı katkı yüzdesinin beton dayanımına etkisi.....	35
Şekil 2.3. Silis dumanı katkısının beton basınç dayanımına etkisi.....	36
Şekil 2.4. Çimentodaki doğal puzolan miktarının farklı yaşlardaki kuruma büzülmesine etkisi.....	39
Şekil 2.5. Rötire - zaman ilişkisi.....	40
Şekil 2.6. Portland çimentosu ve portland - doğal puzolan çimentolarının hidrasyonun erken safhalarındaki hidrasyon ısıları.....	42
Şekil 2.7. Çimentodaki puzolan miktarının farklı yaşlardaki hidrasyon ısısına etkileri.....	43
Şekil 2.8. Doğal puzolanların çimentonun 7 günlük hidrasyon ısısına etkisi.....	44
Şekil 2.9. Sodyum sülfat çözeltilisinde harçların genleşmeleri.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR

- P : Puzolan
PÇ : Portland çimentosu
YFC : Yüksek fırın cürufu
S : Silis dumanı
UK : Uçucu kül
V : Silisli uçucu kül
W : Kalkersi uçucu kül
B : Beton
KB : Kütle betonu
SA : Süper akışkanlaştırıcı
C-S-H : Kalsiyum-silika-hidrat
ÇDİB : Çankırı diatomiti ikameli beton
Q : Endüstriyel Puzolan

1. GİRİŞ

1970’li yıllarda petrol ihraç eden ülkelerin siyasi amaçla petrol üretimini azaltmasıyla ortaya çıkan enerji krizinden inşaat sektörünün vazgeçilmezlerinden çimento sektörü de etkilenmiştir. Bilindiği üzere çimento sektörü yoğun enerji kullanan bir sektördür. Kriz sonucunda mevcut enerjinin tasarruflu kullanılması ve endüstriyel atık malzemelerin çimento ve beton katkısı olarak kullanılabilirliği yoğun olarak gündeme gelmiştir. Kriz öncesi yıllarda uçucu kül, silis dumanı ve cürufun çimento ve beton içine katıldığında kısmi etkilerinin olduğu bilinmekteyse de, kriz sonrasında bu malzemeler üzerinde yapılan bilimsel çalışmalar gün geçtikçe çoğalmıştır ve günümüzde de devam etmektedir.

Çimento üretiminde kullanılan katkı malzemelerinin çoğunluğunu, puzolanik özelliğe sahip olanlar meydana getirmektedir. Silisli veya silisli ve alüminli yapıda olup kendi başlarına bağlayıcı özelliğe sahip olmayan, ancak ince öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda sönmüş kireçle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler oluşturan malzemeler puzolanlar veya puzolanik malzemeler olarak isimlendirilmektedir (ASTM C 618, 1991).

Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki ana gruba ayrılır. Doğal puzolanlar, volkanik kül, ponza taşı, tras gibi volkanik orijinli ve diatomit gibi silisli katkıların çökmesi sonucunda oluşan malzemelerdir. Yapay puzolanlar ise genellikle bir ısıtım işlemi neticesinde elde edilen silis dumanı, uçucu kül (UK), yüksek fırın cürufu (YFC) v.b. gibi atık malzemeler veya özellikle ısıtım işlemi tabii tutulan kil, şeyl v.b. malzemelerdir (Aruntaş, 1996). Doğal puzolanlar, ekseriyetle genç volkanik kayalardır. Yapay puzolanlar, kömürlü güç santralleri tarafından üretilen kül içermektedir (Rudolf, 1984).

Bu malzemelerinin çoğunu, puzolanik özelliğe sahip olanlar meydana getirmektedir. Puzolanlar, su ile karıştırıldıklarında çimento klinkeri gibi sertleşmeyip, sönmüş kireç ve su ile beraber çimento özelliği gösteren suda çözünmeyen bileşikler oluşturan malzemelerdir. Çimento ile puzolanın sulu karışımında ortamda bulunan kireç çimentodan gelmektedir (Rudolf, 1984).

Bilindiği gibi çimento, beton üretiminde kullanılan en pahalı bileşen konumdadır. Çimentoların teknik özellikleri ve miktarı, betonun performansına ve ekonomisine etki etmektedir. Bu yüzden puzolanik malzemeler, betonun maliyetini azaltmak ve çeşitli özelliklerini iyileştirmek amacıyla ya doğrudan katkı olarak ya da çimentonun bir kısmını ikame etmek üzere betona katılmaktadır (Aruntaş, 1996).

Tüm canlıların faydalandığı, insanoğlunun yeme içme gibi vazgeçilmezlerinden olup yaşam alanları oluşturan yapı sektöründe de, bilindiği üzere ekonomiklik, maalesef dayanıklılıktan önce gelmektedir. Kamu ihalelerinde bile bu tip olaylarla karşılaşmaktadır. Erzincan depremi, Marmara depremi başta olmak üzere birçok depremlerde ağır hasar alan hatta yıkılan yapılar bu anlayışa örnek olarak gösterilebilir. Konut yapımında yap – satçılık gibi bir sistem olduğu için ve insanların dayanımdan ve kaliteden çok fiyatı önemsemesinden dolayı müteahhitler için maliyet ilk şart olarak geçerliliğini korumaktadır. Bu anlayıştan yola çıkarak, kaba inşaat maliyeti, bina maliyetinin %40 civarında olması ve kaba inşaat kısmında betonun önemli bir “gider” olmasından dolayı, beton bileşenlerinden çimentoya alternatif malzemeler araştırılmıştır. Tabii ki bu malzemelerin bir kısmı “atık”, bir kısmının da “doğadan” elde edilecek olması maliyeti önemli ölçüde düşürmesi beklenmektedir. Bu çalışmada ülkemizde de bol miktarda yan ürün olarak meydana gelen uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik malzemelerin beton ve çimento katkısı olarak kullanımını üzerine bir kaynak taraması yapılmıştır.

1.1. Çimentolar**1.1.1. Çimentonun Tanımı**

Çimento, ilkel maddeleri kalker ve kil olan mineral parçalarını (kum, çakıl, tuğla, biriket vb.) yapıştırmada kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç vardır. Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir (THBB, Teknik Bilgiler Kılavuzu).

Çimento sözcüğü, yontulmuş taş anlamındaki Latince “Caementum” sözcüğünden türetilmiştir. Çimento inşaat teknolojisine göre yapı malzemeleri grubuna giren hidrolik bağlayıcı bir inşaat malzemesidir. Çimentoya özelliklerini kazandıran iki öğeden biri hammadde bileşimi, diğeri ise klinkerin ısısal işlemleridir. Klinker bileşimi, esas olarak hammadde karışımının kompozisyonuna sıkı sıkıya bağlıdır. Ayrıca kullanılan yakıt cinsi ve yakıt içerisinde kül meydana getiren maddelerde klinker bileşimini etkileyen faktörlerdir (Postacıoğlu, 1986).

Çimento üretimi kompleks bir işlemdir ve büyük tesislere ihtiyaç duyulmaktadır. Çimentonun temel ham maddeleri, kireç taşı ve kildir. Silis, alümin ve demir oksitle birleşme özelliği vardır. Kil, saf olmayan alüminyum, kalsiyum ve demir silikattır. Çimento üretiminde amaç, bu maddeleri belirli oranlarda karıştırmak ve yüksek sıcaklıkta (1350 - 1500 °C) pişirmektir. Yüksek sıcaklıkta temel maddeler değişikliğe uğrar. Kireç taşından CaO, kilden SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ meydana gelir. Bu maddeler yine yüksek sıcaklıkta aralarında birleşerek çimentoya bağlayıcılık özelliği kazandıran silikat ve alüminatları meydana getirirler. Çimento üretiminde hammadde olarak, klinkere %3 – 6 oranında alçı taşı (CaSO₄, 2H₂O) katılır. Klinker ve alçı taşı birlikte öğütülür. Alçı taşının görevi, çimentoda priz süresini ayarlamaktır. Klinkere öğütme sırasında katkı maddesi olarak %2 – 3 gibi az bir oranda, kireç taşı da katılmaktadır. Kireç taşı klinkerden daha kolay öğütülebilen bir malzemedir. Böylece klinker daha iri, kireç taşı malzemeleri daha küçük olur ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak çimentonun mukavemetini ve işlenebilirliğini artırır, kolay yayılmasını sağlar (Postacıoğlu, 1986).

1.1.2. Çimentonun Tarihçesi

Uygarlığın başlangıcından itibaren insanoğlu taş parçalarını yapıştırıp birleştirecek bir malzeme bulmaya çalıştı. Daha o zamanlarda böyle bir uygulamanın inşaatlara esneklik ve çok yönlülük kazandıracağı anlaşılmıştı. En eski malzemelerden olan “çamur” bugün hala dünyanın çeşitli ülkelerinde saman ve bitkisel liflerle karıştırılıp duvar elemanlarının üretilmesinde ve bağlayıcılık özelliklerinin geliştirilmesinde kullanılmaktadır (Postacıoğlu, 1986).

Eski Mısırlılar, Keops piramidinin yapımında alçı harcı kullanmışlardır (M.Ö.~300). Bu, alçı taşının pişirilmesi sonucu mümkün olmuştur. Eski Yunanlılar ve Romalılar killi kalkerleri pişirerek su kireci elde ettiler. Aynı zamanda da bazı volkanik formasyonların ince öğütülüp kireç ve kum ile karıştırıldıklarında kireç harcından daha kuvvetli olmakla kalmayıp suya karşı da daha dayanıklı olan bir malzeme elde edileceğinin bilincine varmışlardı. Bu bağlayıcı malzemelerin karakterleri ancak 18. Yüzyılda anlaşılmaya başlandı (Snell, 2000).

Birkaç öncü çalışmanın ardından, Leeds şehrinde bir yapı ustası olan Joseph Aspdin, 1824 yılında Portland çimentosunun patentini aldı. Sonraları hidrolik çimento kullanımı Avrupa ve Kuzey Amerika’da hızla yayıldı. Çimento üretiminde kullanılan ekipmanın geliştirilmesine başlandı (Snell, 2000).

Döner fırınların geliştirilmesine İngiltere’de 1877 yıllarında başlandı ve ilk başarılı uygulamacı olduğu kabul edilen Fredrick Ransome 1885 yılında döner fırını için patent aldı. Bu o zamanlar için çimento endüstrisinde önemli bir gelişmeydi ancak gerçekten başarılı işlev gören bir döner fırın yıllar sonra gerçekleşti. Ransome’ın fırınlarından sonra bazı Amerika’lı mühendisler bu buluşu geliştirmeye devam ettiler. Amerika’da ekonomik olarak çalışan döner fırın Atlas Çimento Şirketi’nden Hurry ve Seaman tarafından geliştirilerek 1895 yılında üretime başladı (Snell, L.M. and Snell, B.G., 2000).

Portland çimentosunun üretimi arttıkça hammadde ve çimentolarla ilgili deney yöntemleri ve karakterizasyonlar üzerine çalışmalar başladı. Çok sayıda laboratuvar çalışmasından sonra 1900’lerin başlarında başlıca çimento deneyleri büyük ölçüde standartlaşmış oldu. O zamandan beri bunların bir bölümü gözden

geçirilip değiştirildi ve bütün dünyada çimento standartlarıyla yeni deneyler eklendi (Snell, L.M. and Snell, B.G., 2000).

1.1.3. Çimento Üretiminde Kullanılan Hammaddeler

KÜHL (H. Zement Chemie Bd. II. Berlin 1958) ham maddeyi iki ana gruba ayırmıştır. Buna göre;

1. Bazik özellik gösteren maddeler; kireç taşı, alçı taşı, dolomit ve magnezittir.
2. Hidrolik özellik gösteren maddeler; kil, marn, silisli kireç, silis, boksit ve demir hidrolitiktir.

Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler jeolojide sedimenter kayalar olarak bilinen kireçtaşı, kil ve marndır. Klinker üretiminin ana komponentleri olan CaO için kalker (kireçtaşı); SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ için de kil mineralleri temel kaynaklardır. Marn gibi bu dört oksiti bünyesinde bulunduran diğer malzemeler de çimento hammaddesi olarak kullanılmaktadır. Çimento üretiminde kullanılacak hammaddelerin uygunluk dereceleri onların kimyasal bileşimleri ile orantılıdır. Kireçtaşı bileşeni için kireç standardı bir kriter olarak kullanılmaktadır. Bu değer SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ gibi bileşenler hakkında bilgi verir ve aynı zamanda CaO içeriği konusunda da aydınlatıcıdır. Kil minerali olarak kullanılacak kayalarda silikat ve alümina oranı dikkate alınarak değerlendirilmektedir (DPT Sekizinci, 2001).

1.1.3.1. Bazik Karakterli Ham Maddeler

a. Kireç Taşı:

Kimyasal bileşiminde en az %90 CaCO₃ (kalsiyum karbonat) bulunan kayalara kalker ya da kireç taşı adı verilmektedir. Kalkerin mineorolojik incelemesinde saf halde kalsit ve çok az miktarda aragonit kristallerinden oluştuğu görülür. Kalkerin sertlik derecesi 3, özgül ağırlığı 2,5 - 2,7 gr/cm³ arasındadır.

Yeraltı sularında travertenler şeklinde, deniz ya da tatlı sularda ise kimyasal organik veya mekanik çökelme sonucu kalker yatakları oluşur. Oluşum süreçlerinden de anlaşılacağı üzere kalker üç ana grup altında toplanabilmektedir. Yaygın olarak oluşan kireçtaşlarının çoğu organik, kırıntılı ve kimyasal materyaller içermektedir.

Kalsit (hegzagonal ve CaCO_3) ve aragonit (ortorombik CaCO_3) kristallerinin her ikisi de modern kireçtaşı oluşumlarında yer alabilmektedir. Fakat Aragonit kristallerinin kalsit kristaline daha kolay dönüşebilmesi nedeniyle eski kireçtaşı oluşumlarında aragonit kristali bulmak çok güçtür (DPT Yedinci, 2001).

b. Alçı Taşı:

Alçı yapımında kullanılan alçı taşı (jips), çoğunlukla beyaz ve yumuşak bir mineral olup, özgül ağırlığı 2.3, sertliği 1.5 – 2 civarındadır. Asitlerden etkilenmez suda az çözünür. Alçı, kimyasal formülü $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ olan alçı taşının uygun sıcaklıkta (140 – 200 °C, ortalama 163 °C) ısıtılarak, atmosfer basıncı altında kısmi dehidrasyon işlemine uğratılıp, öğütülmesi ve elenmesi ile elde edilir (Ün, 2007).

c. Dolomit:

Dolomit taşı, magnezit ve kalsit taşlarının ikili oluşumundan meydana gelmiştir. $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ olarak kimyasal kompozisyonunda bir çift karbonat bileşiği içeren dolomit, kireçtaşlarından CaO'in yerini kısmen veya tamamen MgO'in alması ile oluşmaktadır (Yeprem, 2003).

1.1.3.2. Asit Karakterli Ham Maddeler**a. Kil:**

Killer, içlerindeki ana maddeler alkali de içeren alüminyum silikat hidratlardır. Killer içinde feldispat, kuvars, mika ve turmolin gibi maddeler bulunabilir. Kilin rengini içerisinde bulunan maddeler oluşturur. Kırmızı killerde demir oksit miktarı yüksektir. Mavimsi ve sarımsı killerde organik maddeler, sarı killerde alüminyum oksitleri bulunur. Kil mineralleri başlıca; kaolen grubu, montmorillonit grubu, alkali ihtiva eden kil grubu gibi grublara ayrılır (Yalnız, 2006).

b. Marn:

Kalker ve kilin doğada % 50 - 70 oranında kalker ve % 30 - 50 oranında kil karışımından oluşmuş kayaca marn denilmektedir. Oluşum bakımından tamamı ile sedimentler olup, diyajenez geçirmiş genellikle düzenli tabakalı olarak bulunur. Marn oluşumu için, daha çok tektonik ve orojenik hareketlerin durulduğu, sakin ortamlar daha uygundur. Çimento klinkeri ortalama % 70 kalker ve % 30 kil içeren hammadde karışımının öğütüldükten sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilmektedir. Marn doğal olarak bu bileşimi taşıdığından veya bu bileşime çok yakın özellikte bulunduğundan ideal çimento hammaddesidir. Ayrıca kalkere göre daha yumuşak olması nedeniyle kolay üretilebilmekte, kırma - öğütme sırasında enerji tüketimi düşük olmaktadır (DPT Sekizinci, 2001).

Marn, sedimentasyon neticesi meydana gelmiş kil kalker karışımı bir hammaddedir. Kalsiyum karbonat ve killi maddelerin simültane bir şekilde çökmesi ile oluşmuştur. Yoğunluğu 2.0 – 2.9 gr/cm³ arasındadır. Marn içindeki kil ve kalker miktarı aralıkları oldukça geniştir.

Marn içinde ayrıca kuvars partikülleri, mika tabakaları, alüminyum ve demir oksitleri de bulunabilir.

Marn, çimento sanayi için önemli bir hammaddedir, kalker ve kilin homojen bir şekilde içinde bulunduğu doğadaki tek maddedir.

Marnın sertlik derecesi kalkere nazaran daha azdır. Ocak işletmesinin, kırılmasının, öğütülmesinin ve pişirilmesinin kolay oluşu, marnı çimento sektöründe aranan bir hammadde durumuna getirmiştir (Yalnız, 2006).

Çizelge 1.1. Kil içeriklerine göre çimento hammaddelerinin adlandırılması (Dayı, 2006).

Kil (%)	Hammadde
0 – 4	Kalker
4 – 10	Marnlı kalker
10 – 25	Kalkerli marn
25 – 60	Marn
60 – 90	Killi marn
90 – 96	Marnlı kil
96 – 100	Kil

c. Silis:

Silis doğada çeşitli şekillerde bulunur. Üç belirli kristalin şekli tanımlanır ki bunlar kuvars, tridimit ve kristobalittir. Her üç şekilde değişik kristal yapıdadır ve birden fazla modifikasyonlara sahiptir. Bu üç mineral arasındaki ilişkiler, silisin üretim ve kullanımında büyük bir öneme sahiptir (Çelik E., Tekmen Ç., 2004).

d. Boksit:

Sert ve düzgün partiküllerden oluşmuş kil şeklinde bulunur ($Al_2O_3 - H_2O$). İçinde limonit, opal gibi jellerle kaolen, kuvars ve diğer mineral partikülleri bulunmaktadır.

Sertlik derecesi 1 – 3, yoğunluğu $2.55 - 3.50 \text{ gr/cm}^3$ tür. Esas itibariyle SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve H_2O dan oluşan boksit içinde %3 oranına kadar TiO_2 de bulunabilir (Yalnız, 2006).

1.1.4. Portland Çimentoları (PÇ)

Yapısal amaçlarla kullanılan çimentolar, agregaları (kum, çakıl, kırma taş) bir arada tutmak için kullanılan, esas itibariyle silisli ve kalkerli bağlayıcılardır. Beton yapımında kullanılan çimentolar ise, su içinde priz alma ve sertleşme özellikleri nedeniyle hidrolik çimentolar olarak adlandırılır. PÇ, hidrolik çimentolar grubunun en önemli üyesidir (Mindess, S. and Young, J.F., 1981).

PÇ, kalkerli ve killi hammaddelerin döner fırınlarda pişirilmesi sonucunda elde edilen klinkere, az miktar alçı ilave edilerek 0.5 – 80 µm boyutlarında öğütülmesi suretiyle elde edilir. Kimyasal açıdan ana bileşenlerini, kristal yapıdaki kalsiyum silikatlar ve alüminatlar oluşturur.

Döner fırına verilen hammadde karışımı, esas olarak kireç, silika, alümina ve demir oksitten meydana gelir. Bu oksitler, yüksek sıcaklıkta birbirleriyle reaksiyona girerek daha kompleks bileşenler oluştururlar (Mindess, S. and Young, J.F., 1981).

PÇ’de dört ana bileşen mevcuttur:

- 1- Trikalsiyum silikat
- 2- Dikalsiyum silikat
- 3- Trikalsiyum alüminat
- 4- Tetrakalsiyum alüminoferrit.

Bu bileşenler, çimento kimyasında kullanılan kısaltmalarla, sırasıyla C_3S ($3CaO.SiO_2$), C_2S ($2CaOSiO_2$), C_3A ($3CaO,Al_2O_3$) ve C_4AF ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) olarak gösterilir (Neville, 1981).

Çimento bileşenleri, basit oksitler halinde bulunmamakla birlikte, kimyasal analiz sonuçları oksit miktarları olarak verilir. Bu oksit analizinden elde edilen değerler, bir çimentodaki ana bileşenlerin miktarlarını, “Bogue Denklemleri” adı verilen formüller vasıtasıyla hesaplamakta kullanılır. Tipik bir PÇ’nin kimyasal analizi ve Bogue denklemleri ile hesaplanan ana bileşen miktarları Çizelge 1.2.’de verilmiştir (Neville, 1981).

Çizelge 1.2. Tipik bir portland çimentosunun oksit analizi ve ana bileşen miktarları (Neville, 1981).

Oksitler	Çimento kimyasına göre sembolü	Miktarı %	Ana bileşen Miktarı
CaO	C	63	
SiO ₂	S	20	C ₃ S=54.1
Al ₂ O ₃	A	6	C ₂ S=16.6
Fe ₂ O ₃	F	3	C ₃ A=10.8
MgO	M	1.5	C ₄ AF=9.1
SO ₃	S	2	
Na ₂ O+K ₂ O	N+K	1	
Kızdırma kaybı	K.K.	2	
Çözünmeyen Kalıntı	Ç.K.	0.5	
Diğer		1	

1.2. Puzolanlar

1.2.1. Puzolanın Tanımı

ASTM C 618'e göre kendi kendine bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan ancak uygun rutubet şartlarında ve normal ortam sıcaklığında kireç ile reaksiyona girip bağlayıcı özelliği olan ürünler açığa çıkaran, ince toz halindeki silisli veya silisli ve alüminli maddelere puzolan denir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO₂) ve alüminyum oksit (Al₂O₃)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe₂O₃) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Reaktif SiO₂ miktarı kütlece %25'den az olmamalıdır. İnsanların su içinde priz yapabilen, su etkisiyle erimeyen bağlayıcı üretme çabaları çok eski çağlara kadar uzanır. Sorunun kesin çözümü çimentonun icadı ile mümkün olabilmiştir. Bununla beraber aktif, camlaşmış silis (SiO₂) içeren toprakların kireçle karıştırılmaları durumunda bu özelliğin kısmen sağlandığı gözlenmiştir.

Eski Mısır'da tuğlanın (pişmiş kil) öğütülerek kirece katılması düşünülmüştür. Bu yöntemle elde edilen harca “horasan harcı” denilmektedir. Osmanlılar bu harcı geniş ölçüde ve bilinçli olarak kullanmışlardır. Avrupa'da ise Romalılar Napoli civarındaki Puzzuoli kasabasının toprağından yararlanmışlardır. Puzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklanmaktadır. Almanlar puzolana “tras” demektedirler, ülkemizde de bu deyim yaygındır ve standartlarımıza geçmiştir (Akman, 1990).

Puzolanlar, doğal olarak meydana gelen malzemeleri (başlıca volkanik orijinli malzemeler) ve yapay malzemeler olan kül, YFC vb. malzemeleri kapsamaktadır. (Gani, 1997).

Puzolan terimi, genel bir ifade olmakla beraber puzolanlar, buldukları ülkelere göre özel adlar almıştır. Mesela, Almanya'da, “Tras” adı ile anılmış, Yunanistan'da ise “Santorin toprağı” olarak anılmıştır. Ülkemizde bu tip volkanik tüf karakterli puzolanlara tras denilmektedir. Fakat son yıllarda traslı ve katkılı çimentolara verilen önemin artmasıyla Puzolan ismi de gerçek anlamına kavuşmuştur. Ülkemizde iç Anadolu, İç Ege, Marmara, Karadeniz, Akdeniz Bölgelerinde bol miktarda tras kaynakları bulunmaktadır. Türkiye jeoloji haritasında 155000 km² alanı kaplayan volkanik kayaç oluşumlarının varlığı görülmektedir ki bu alan, Türkiye yüz ölçümünün hemen hemen 1/5'i kadardır. Bu değerlere göre ülkemiz, tras hammaddesi bakımından oldukça zengindir. Diğer taraftan, 1985 - 1990 yılları arasında üretilen çimentoların %14,6'lık kısmı traslı çimento iken, bu oran 1992 - 1994 yılları için %36,31'e çıkmıştır (Okucu, 1998).

19. yüzyılın sonlarında Portland Çimentosunun (PÇ) keşfedilmesiyle puzolanik çimentonun pratik kullanımında azalma görülmüştür. Ülkemizde, 1950 yılından sonra PÇ ile puzolanik madde kombinasyonlarının kullanılması ile beton ve harçların bağlayıcılık özelliklerinde etkili yararlar görülmüş ve puzolanlar, çimento malzemesi olarak kabul edilmiştir (Okucu, 1998).

1.2.2. Puzolanların Sınıflandırılması Ve Çeşitleri

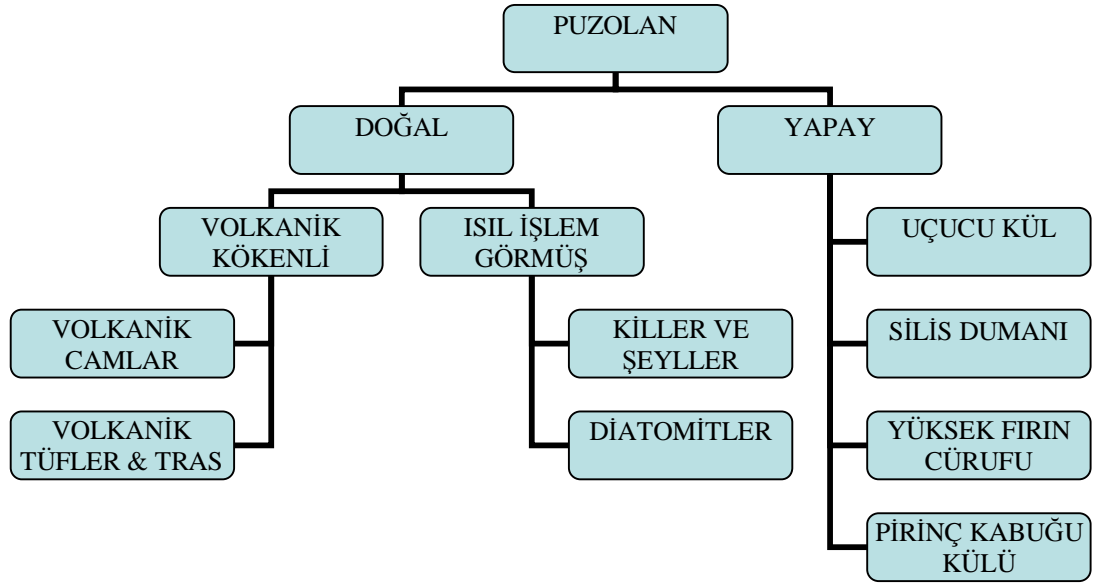
Puzolanlar doğal ve suni olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal puzolanlar; temelde az çok değişikliklere uğramış, volkanik kaynaklı tortul kayalardan oluşmalarına rağmen, farklı kaynaklardan oluşmuş maddeler de içerirler.

Puzolanik maddeler, silisi veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir. Uçucu kül ve silis dumanı puzolanik özelliklere sahip olmalarına rağmen ayrı maddelerde tarif edilmiştir. Puzolanik maddeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat, ince öğütüldüğünde ve suyun mevcudiyetinde normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Bu bileşikler, hidrolik maddelerin sertleşmesinde oluşan bileşiklerle benzerdir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Sertleşme için reaktif kalsiyum oksit oranı ihmal edilebilir. Reaktif silisyum dioksit miktarı kütlece %25,0'den az olmamalıdır.

Puzolanik maddeler doğru şekilde hazırlanmalıdır; yani üretim veya teslim durumuna bağlı olarak seçilmeli, homojenize edilmeli, kurutulmalı veya ısı işlemden geçirilmeli ve öğütülmelidir (TS EN 197-1, 2002).

Puzolanlar, oluşum şekillerine göre doğal ve yapay olmak üzere ikiye ayrılır. Doğal ya da yapay bütün puzolanlar, reaksiyon kapasiteleri açısından üç bileşenden meydana gelirler (Leckebush, 1984).

- Aktif tertip maddeleri: Az ya da çok değişmiş cam fazlan, opal, silisli toprak, zeolitler.
- Atıl bileşenler: Zeolitlerden farklılık gösteren kristal fazları (augit, piroksen ve saf çini).
- Zararlı (istenmeyen) bileşenler: Organik maddeler, kalay ve karbon maddeleri.(Dayı, 2006)



Şekil 1.1. Pozolanların sınıflandırılması (Ün, 2007).

1.2.2.1. Doğal Pozolanlar

Doğada bulunan ve bir ön işlem yapılarak veya doğrudan öğütülerek kullanılan pozolanlar. Volkanik küller, tuf, tras vb bu gruba girer. TS EN 197'de P harfi olarak kısaltılmıştır. Yurdumuzda Kayseri - Nevşehir yöresinde bulunmaktadır. Doğal pozolanlar, başlangıcından sonra az veya çok değişikliğe uğramış volkanik kökenli doğal tortul kayalardan oluşurlar. Doğal pozolanlar; Piroklastik kayalar (Volkan tüfleri, diyatomit, tras, killi maddeler ve zeolitli maddeler vb.), değişik orijinli maddeler (beyaz İtalyan toprakları) ve kırıntı taşlar olarak sınıflandırılmaktadır. Bu tip pozolanik maddeler, öğütülerek kullanıldığı gibi bazıları doğal da olarak kullanılmaktadır (Yıldız, 2006: Ramachandran, V. S., Beaudoin, James J., 2001'den).

Doğal pozolanların çoğu piroklastik kayalardır. Piroklastik kayalar bir volkanik patlama sırasında volkan bacasından havaya fırlatılır. Havaya fırlatılan volkanik parçacıklar zamanla yatak oluştururlar. Piroklastik kayalar oluşumları sırasındaki koşulların bir sonucu olarak iki önemli karakteristik özelliğe sahiptir:

a- Maddelerin hızlı soğumasına bağlı olarak fişkırmada sürecinde oluşan sıvı kristalleşmez ve volkanik cam olarak katılaştır.

b- Yeryüzüne yaklaştığında basınç azalır ve gazların (genellikle H₂O) serbest kalmasına neden olur.

Boşluklu ve kabarcıklı bir yapı meydana gelir. Bu yapı ya olduğu gibi kalır veya serbest kalan gazların patlayıcı etkisiyle az çok bozularak kavisli ve iğnemsî bir yapı oluşur. Her iki durumda da özgül yüzey büyüktür. Fıskıran madde katılma sürecinde camsı bir yapı kazanmaya başlar. Fakat, sadece camsı fazdan oluşan Piroklastik kaya yoktur (Leckebush, 1984).

Bunun sebepleri aşağıda verilmiştir:

a- Fıskıran parçacıklar az ya da çok miktarda (%1 - 61) fenokristaller şeklinde kristalize madde içerirler. Piroklastik kayalarda feldspat, kuvars, biotit, magnetit, hornblend ve ojit en fazla bulunan fenokristallerdir.

b- Volkanik camsı fazın kimyasal kararsızlığından dolayı, mevcut olan mineraller değişime uğrar ve yeni mineraller oluşur. Bu dönüşümün sonucu olarak feldspat ve tridimit önceden oluşan camsı yapının yüzeyindeki gaz fazlarının etkisiyle büyüyebilir. Hava koşullarının kimyasal ve fiziksel değişikliklerin etkisi, zeolitlerin ve kil minerallerinin oluşumuna neden olur. Bu minerallerinin en sık görülenleri:

c- Buhar fazında ve/veya devitrifikasyonla meydana gelen mineraller; feldspat, kristobalit, tridimitdir.

d- Bozunma ve diajenezle meydana gelen mineraller; (kil ve zeolit) (Leckebush, 1984).

1.2.2.1.(1). Volkanik Kökenli Doğal Puzolanlar

Erimiş mağmanın püskürmesi ile oluşmuşlardır. Magmanın şiddetli püskürmesi sonucunda, yüksek puzolanik aktiviteye sahip camsı malzemeler oluşurken daha zayıf şiddetteki püskürmeler, camsı volkanik malzemelere kıyasla, kireçle daha az kimyasal reaksiyon yapan volkanik külleri meydana getirir. Volkanik camlar, volkanik tüfler, traslar ve volkanik küller olarak çeşitleri vardır (Ün, 2007).

1.2.2.1.(1).(a). Volkanik Cam

Yunanistan'a bağlı Santorin adası toprağı, İtalya'nın Bacoli ve Japonya'nın Shirasu en iyi bilinen volkanik cam örnekleridir. Volkanik camlar, şiddetli volkanik püskürmeler esnasında bırakılan sıvı lavların soğuması sonucu oluşurlar. Bu malzemeler puzolanik aktivite karakteristiklerini esas olarak, düzensiz yapıdaki alümina silikat camlarından elde ederler. Küçük miktarlarda reaktif olmayan kuvars, feldspat ve mika gibi minarel kristalleri, camsı faz içinde bulunabilir. İnce öğütülmeleri halinde oldukça güçlü puzolanik özellikleri vardır (Ün, 2007).

1.2.2.1.(1).(b). Volkanik Tüfler Ve Tras

İtalya'da Segni - latium, Almanya'da Ren trası, Türkiye'de Kula cürufu ve Kayseri trası volkanik tüflerin ve trasların tipik örnekleridir. Riyolit tüfler, dazit tüfler ve zeolit tüfler en iyi puzolanik malzemelerdir. Andezit, bazalt ve bazalt tüfü, genellikle kalite ve performans açısından yeterli değildir. Değişik tip traslar içinde, augite, apatit, biotit, magnetit, muskovit, hematit, kristobalit, kaolinit, illit, mika ve hornblend gibi mineraller mevcuttur (Ün, 2007).

1.2.2.1.(2). Isıl İşlem Görmüş Doğal Puzolanlar**1.2.2.1.(2).(a). Killer Ve Şeyller**

Killer ve killi zeminler, plaka veya çubuk şekline sahip olan, boyutları 0,002 mm' den daha küçük parçalardan oluşurlar. Küçük parçalar, orijinal kayaların daha az stabil olan bileşenlerinin kırılmasından meydana gelen ve çoğunlukla alümina silikat içeren kil minarelerinden oluşurlar. Şeyller, killer ile benzer bileşenlere sahiptir ancak su içerikleri killerden daha azdır. Kil mineralleri kristal yapılı olup, killerin ve şeylerin hammadde formları puzolanik özellik göstermez. Ancak 700°C ile 900°C arasında ısıl işleme kalsine olurlar ve puzolanik özellik kazanırlar. Isıl

işlem killerin ve şeylerin kristal yapılarını bozar ve yarı amorf şekle veya bozulmuş alümina silikat yapısına dönüştürür.

Laterit toprakları, limonit veya hematit gibi yüksek miktarda demir minerallerine sahiptir. Hava ile temas edince tuğla gibi sertleşirler. Laterit kelimesi Latince de tuğla anlamına gelmektedir. Boksitli topraklar ise alüminyum mineralleri içerir. Isıl işlem görmüş silisli topraklar, lateritli veya boksitli topraklar gibi silika içeriği açısından zengin değildir. Laterit ve boksit içeren topraklar tropikal ortamlarda kimyasal bozulma sonucu oluşur. Puzolanik aktivite normal olarak, ısıl işlem görmüş kildeki reaktif silis ve kalsiyum iyonlarının reaksiyonu ile oluşur. Ancak kireç, ısıl işlem görmüş laterit ve boksitle de reaksiyon yapar. Muhtemelen silis kadar, demir ve alüminyum da ısıl işlemle bozulmuş yapıdaki boşlukları doldurabilir.

Pişmiş killer, geleneksel olarak atık tuğla ve fayansların öğütülerek ince bir toz haline getirilmesi ile de üretilmektedir. Bu yöntemle elde edilen malzemeler oldukça değişken puzolanik aktivite gösterir. Killer için en yaygın olarak kullanılan ısıl işlem yöntemi döner fırınlarda yapılmaktadır. Isıl işlem süresi ise 1 ile 2 saat arasındadır. Ayrıca, düşey milli fırınlarda bu amaçla kullanılmaktadır (Ün, 2007).

1.2.2.1.(2).(b). Diatomitler

Diatomitler, hücre duvarları silikadan oluşmuş, opal ve hidrate silika içeren, mikroskopik su bitkisi olan diatomların kalıntılarıdır. Bazı topraklarda bulunan bu organik kalıntılar %94 oranında silis içerirler. Diatomitlerin sahip olduğu puzolanik aktivite, içerdiği amorf silis miktarına bağlıdır.

Yüksek miktarda kil minerali içeren diatomitlerde, killer puzolanik aktiviteyi azaltır. Bu yüzden bazı çeşitleri, 760°C ile 1000°C arasında ısıl işlem görerek puzolanik aktiviteleri arttırılır. Büyük miktarlarda diatomit yataklarına A.B.D. California'da, Cezayir'de, Almanya, Danimarka ve Kanada'da rastlanır (Ün, 2007).

1.2.2.2. Yapay Puzolanlar**1.2.2.2.(1). Uçucu Kül**

Birçok termik santralde, elektrik üretimi için gerekli enerjiyi sağlayabilmek amacıyla, yakıt olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Dolayısı ile atık malzeme olarak değişik karakterlerde küller elde edilmektedir. Pulverize kömürün yanmasıyla ortaya çıkan küllerin bir kısmı ocak tabanında birikirken yaklaşık %75 - 80'i gazlarla birlikte bacadan dışarıya sürüklenmektedir. Bu küllere “uçucu kül” ya da “pulverize yakıt külü” denilmektedir (Erdoğan, 2004). Tane boyutları 0,5 – 150 mikron olan, kısmen veya tamamen küresel şekilli küllerin bacadan çıkarak çevreye yayılmasını önlemek gerekmektedir. TS EN 197-1 “Çimento - Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk” standardında belirtilen tipteki uçucu küller, elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülme ile elde edilmektedirler. Yine bu standarda göre diğer metotlarla elde edilen uçucu küller puzolanik madde olarak kullanılamazlar. ASTM C 618 standardına göre uçucu küller F ve C sınıflarına ayrılırlar:

a- F sınıfına, bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi %70'den fazla olan uçucu küller girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde reaktif kireç (CaO) yüzdesi %10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğe sahiptirler.

b- C sınıfı uçucu küller ise, linyit veya yarı bitümlü kömürden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı %50'den fazla olan küllerdir. Aynı zamanda, C sınıfı uçucu küllerde CaO %10'dan fazla olduğu için bu küller yüksek kireçli uçucu kül olarak da adlandırılırlar. C sınıfı uçucu küller, puzolanik özelliğin yanı sıra bağlayıcı özelliğe de sahiptirler.

TS EN 197-1'e göre uçucu küller silissi (V) veya kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Silissi uçucu külün puzolanik özellikleri vardır. Kalkersi uçucu külün ise hidrolik özelliklerine ilâveten puzolanik özellikleri olabilmektedir.

1.2.2.2.(1).(a). Silissi Uçucu Kül

Silissi uçucu kül çoğunlukla puzolanik özelliklere sahip küresel partiküllerden ibaret ince bir toz olup, esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşur. Geri kalan kısım ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşikler ihtiva eder. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan az, reaktif silis miktarının %25'den fazla olması gerekmektedir.

1.2.2.2.(1).(b). Kalkersi Uçucu Kül

Kalkersi uçucu kül, hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz olup, esas olarak reaktif kalsiyum oksit (CaO), reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşur. Geri kalan kısım ise demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşikler ihtiva eder (TS EN 197 - 1, 2002). Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının %10'dan fazla, reaktif silis miktarının da %25'den fazla olması gerekmektedir.

1.2.2.2.(2). Yüksek Fırın Cürufu

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak elde edilen yüksek fırın cürufu (YFC) yüksek fırınlarda, daha hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde yer alır. Demir filiz gangi, kok ve kireç taşının yanma sonrası atıkları YFC' yi meydana getirirler (Tokyay ve Erdoğan, 2003). Granüle yüksek fırın cürufu, ergimiş cürufun hızla soğutulması ile elde edilir, kütlece en az 2/3 oranında camsı cüruf ihtiva eder ve uygun şekilde aktifleştirildiğinde hidrolik özellikler gösterir. Granüle yüksek fırın cürufunun kütlece en az 2/3'ü, kalsiyum oksit (CaO), magnezyum oksit (MgO) ve silisyum dioksit (SiO_2) toplamından ibaret olmalıdır. Geri kalan kısmı az miktarda diğer bileşiklerle birlikte alüminyum oksit (Al_2O_3) ihtiva eder. Kütlece $(\text{CaO} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2)$ oranı 1,0'dan fazla olmalıdır.

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun bağlayıcı özellikli malzeme olarak kullanımı, 1774 yılında Lariot tarafından öğütülmüş yüksek fırın cürufu ile

söndürülmüş kirecin birleştirilmesiyle hazırlanan malzeme karışımının üzerinde yapılan çalışmalar sonucu ortaya çıkmıştır. Öğütülmüş yüksek fırın cüruflarının hidrolik bağlayıcılığı ise 1862 yılında Emil Langen tarafından Almanya’da keşfedilmiştir. Portland çimentosu klinkerinin granüle yüksek fırın cürufu ile birlikte öğütülmesi ile elde edilen Portland yüksek fırın cürufu çimentosunun üretimi de 1892 yılında Almanya’da başlamıştır (Erdoğan, 1995; Tokyay, 2003).

Cürufların, çimento ve beton sektörlerinde çok çeşitli kullanım alanları bulunmaktadır. Geleneksel çelik üretim teknikleriyle elde edilen cüruflar, kristal yapıda olduklarından ya hiç kullanılmaz ya da dolgu malzemesi olarak yollarda ve betonda kullanılır. Buna karşılık, modern çelik üretimi yapan tesislerden elde edilen cüruflar, camsı (amorf) yapıya sahip olduklarından, bunları çimentolu sistemlerde kullanmak mümkündür. Tüm cüruflar arasında en önemlisi ve en yaygın kullanım alanına sahip olanı yüksek fırın cüruflarıdır.

1.2.2.2.(3). Silis Dumanı

Silisyum metalinin veya alaşımlarının elde edilmesi için yüksek saflıktaki kuvars elektrik fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklıkta kömürle indirgeme işlemine tabi tutulmaktadır. Bu işlem esnasında büyük bir miktarı SiO’dan oluşan gaz oluşmaktadır. SiO’nun, fırının nispeten soğuk kısmında havadaki oksijenle hızlı bir şekilde soğuması sonucunda, camsı yapıdaki SiO₂ parçacıkları oluşmaktadır. Bu parçacıklar fiber filtrelerden geçirildikten sonra yoğunlaştırılmış silis dumanı parçacıkları olarak elde edilmektedir (Yeğınobalı, 2003).

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni 1 µm’den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO₂) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür (Koca, 1996).

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutularak 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. Bu

malzeme, “mikrosilis”, veya “silis tozu”, veya “silica füme” gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme olmasından dolayı ve yüksek miktarda SiO₂ içermesi sebebiyle, mükemmel bir puzolanik malzemedir (Erdoğan, 2003).

Silis dumanı aşırı ince parçalara ve yüksek reaktiviteye sahip olduğu için, çok yüksek dayanıma sahip (≥ 100 MPa) ya da erken yaşta yüksek dayanıma sahip beton üretmek için süper akışkanlaştırıcılar ile birlikte kullanılmaktadır.

Silis dumanı, elektrik ark ocaklarında silikon ve çeşitli silikon alaşımlarının üretimi sırasında ortaya çıkan bir yan üründür. Ürün alaşımın tipi (şekli) ile suya daldırılmalı elektrik ark ocaklarında kullanılan iki temel bileşen olan kuvars ve kömürün kompozisyonu, silis dumanının kimyasal kompozisyonunu oldukça çok etkilemektedir (Malhotra, 1997).

1.2.2.2.(4). Pirinç Kabuğu Külü

Pirinç kabuğu, çeltik üretimi sonunda elde edilen zirai ürün atığıdır. Pirinç kabuğunun yapısındaki SiO₂, kabuklar yandıktan sonra elde edilen kül hızlı bir şekilde soğutulursa amorf, yavaş bir şekilde soğutulursa kristal SiO₂ oluşur. Amorf şekilde özgül yüzeyi 50 – 60 m²/g gibi büyük bir değerdedir. Bu nedenle puzolanik aktivitesi yüksektir (Mazlum, 1989).

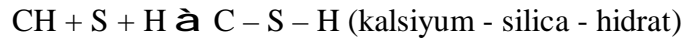
Pirinç, dünyada 1.6 milyar kişinin besin maddesinin yarısını oluşturmaktadır. Ekilebilen alanların % 11’inde yani yaklaşık olarak 145 milyon hektar alanda pirinç ekimi yapılmaktadır. Pirinç üretimi sonucu, atık malzeme olarak aşırı miktarda pirinç kabuğu ortaya çıkmakta ve üretimin fazla olduğu bölgelerde çevrede büyük alanları kaplayarak çevrenin kirlenmesine neden olmaktadır (Mazlum, 1989).

Çeltik bitkisi, yeryüzünde buğdaydan sonra en fazla üretilen tahıldır. Çeltik fabrikalarında işlenerek pirinç elde edilir ve işleme sırasında çeltiğin % 9 – 10’u kepek, %20’si kavuz olarak ayrılır (Ölmez, 1988). Pirinç üretiminin atığı olan kabukların tanelerden ayrılması sırasında iki kabuk oluşur. Birinci kabuk; pirinç tanesinin etrafını saran ince bir zar şeklinde olup buna kepek denir. Besleyici yönden zengin olduğu için hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. İkinci kabuk ise; bir pirinç

tanenin en dışındaki kabuktur. İçteki kabuğa göre daha serttir ve bu kabuğa da kavuz veya kapçık denmektedir. Kavuz, silis ve karbon içerir. Yapısındaki silis kabukların iskeletini oluşturur ve amorf haldedir (Mazlum, 1989). Pirinç kabuğu külü beton için mineral bir karışım olup, çimento ürünlerinin davranışı pirinç kabuğunun kaynağı ile değişir (Gemma, 2005). Pirinç kabuğunun çeşitli uygulama alanları vardır. Kırsal bölgelerde kış mevsiminde ısı gereksinimini karşılamak üzere sobalarda yakıt olarak kullanılmaktadır (Beagle, 1978). Çelik üretimi sonunda kabuklar çelik külçelerin üzerine serilerek, çeliğin soğuması yavaşlatılır ve kristal yapı oluşur. Özellikle Mısır, Japonya ve bazı diğer ülkelerde refrakter malzeme üretiminde ve izolasyon malzemesinde pirinç kabuğundan yararlanılır. Pirinç kabukları havasız yerde yakılarak aktif karbon elde edilebilir ve ayrıca aktif karbon absorpsiyon özelliğinin yüksek oluşu nedeniyle sanayide renk, koku giderici olarak kullanılmaktadır. Yapı malzemesi olarak hafif beton imalinde hafif agrega olarak kullanılmaya elverişlidir (Nemutlu, 1963).

1.2.3. Puzolanik Reaksiyon

Puzolanların kompozisyonu büyük ölçüde silis ve alüminde oluşmaktadır. İnce daneli durumdaki puzolanlar, söndürülmüş kireç ve suyla birleştirildiğinde, bu malzemeler arasında birtakım kimyasal reaksiyonlar yer almaktadır. Kalsiyum hidroksit, silis ve su arasındaki reaksiyonlar, aynen portland çimentosunun hidrasyonunda olduğu gibi hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip kalsiyum – silika - hidrat (C - S - H) jellerinin oluşmasına yol açmaktadır. Nemli ortamda, ince öğütülmüş puzolanın silikası ile kalsiyum hidroksit arasında oluşan kimyasal reaksiyon basitçe aşağıdaki gibi gösterilebilir (Erdoğan, 2003).



Bu reaksiyon çok yavaş bir reaksiyondur. Burada, C=CaO, H=H₂O, S=SiO₂'tir.

1.2.4. Puzolanik Aktivite

Puzolanik malzemelerin söndürülmüş kireçle ve su ile ne ölçüde reaksiyona girebileceği, ne ölçüde bağlayıcılık sağlayabileceği “puzolanik aktivite” olarak tanımlanmaktadır.

Puzolanik malzemenin yeterli aktiviteyi gösterebilmesi için, yeterince ince taneli olması, amorf yapıya sahip olması ve yeterli miktarda “silis + alümin + demir oksit” içermesi gerekmektedir. Puzolanik aktivite “dayanım aktivite indeksi” olarak adlandırılan bir değer hesaplanmasıyla ifade edilmektedir. Bu değer aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Erdoğan, 2003).

$$\text{Dayanım aktivite indeksi} = (A/B) \times 100$$

Burada;

A= Puzolanlı harç numunelerin ortalama basınç dayanımı,

B= Kontrol harç numunelerinin ortalama basınç dayanımıdır.

Puzolanlı harç numuneler ile kontrol harç numunelerini oluşturan malzemelerin miktarları ve deneylerin yapılma şekilleri ASTM C 311 (1994) ve TS EN 450 - 1 (2005) standartlarında belirtilmektedir.

Dayanım aktivite indeksinin belirli bir değerden daha az olmaması gerekmektedir. ASTM C 618 (1994)’e göre bu değer en az 75 olmalıdır. TS 25 (1975)’te bu değer en az 70 olması gerektiği belirtilmektedir.

Massazza, F.’ye göre puzolanik aktivite; birtakım maddelerde var olan kalsiyum hidroksitle (Ca(OH)_2) sulu ortamda “reaksiyona girme” ve “sertleşme” kapasitesidir. Gerçek puzolanik aktiviteden söz edebilmek için bu iki ögenin aynı zamanda oluşması gerekmektedir (Massazza, 1989).

Yüksek aktiviteye sahip puzolanların aşağıdaki özelliklere sahip olduğu ampirik olarak belirlenmiştir:

- Yüksek SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve alkali miktarı,
- Yüksek camsı faz miktarı,
- Büyük özgül yüzey.

Bir malzemenin puzolanlığının kanıtlanabilmesi için puzolanik aktivite deneyinde olumlu sonuç vermesi gerekmektedir. Bu deneyler doğal ve yapay puzolanlarda mekanik ve kimyasal deneyler şeklindedir. Mekanik deneyler; puzolan – çimento harçları üzerinde yapılan eğilme ve basınç dayanımı deneyleridir. Kimyasal deneyler ise puzolanlı çimentonun su ile yaptığı hidrasyon sonunda çözeltide oluşan Ca(OH)_2 'i saptamaya dayanır. Ayrıca puzolanların reaktivitesi spektrofotometrik ve kalorimetrik yöntemlerle de saptanabilir.

Puzolanik maddeleri değerlendirmenin bir başka kriteri, puzolan içeren çimento pastalarındaki özgül yüzeyin artış hızını ölçmekle gerçekleştirilir. Değişik kalsiyum hidroksit – emme hızlarına, benzer özgül yüzey artış hızları karşılık gelir (Mazsazza, 1989).

İyi bir puzolan genel olarak açık renklidir. Konsolide ve homojen bir yapıya sahip ve orta yoğunlukta ($2.00 - 2.30 \text{ g/cm}^3$) dir. TS 25'de puzolan – kireç reaksiyonu sonunda;

Eğilme dayanımı 10 kg/cm^2 ,

Basınç dayanımı 40 kg/cm^2 'den az olmamalıdır.

Kimyasal bileşimi:

Yüksek $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ miktarı %80 civarında

Yüksek $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ miktarı %5 civarında

Yüksek çözünmeyen kalıntı %80 civarında

Kızdırma kaybı maks. %8 civarında

Düşük miktarda $\text{MgO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$ %8'i geçmemeli

Fe_2O_3 maks. %6

Mineralojik bileşimi

Camsı faz miktarı yüksek (%8 ve daha fazla) alkali feldspat (ortoklas, sanidin, albit, oligoklas) miktarı yüksek, kil mineralleri (montmorillonit, kaolinit, halosit) düşük miktarda olmalıdır. Çizelge 1.3.'de TS 25'e göre traslarda aranması gereken kimyasal özellikler verilmiştir (Mazsazza, 1989).

Çizelge 1.3. TS 25'e göre trasta aranması gereken özellikler (Mazsazza, 1989).

$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	En az %70
MgO	En çok %5
SO_3	En çok %3
Rutubet	En çok %10

1.2.5. Puzolanların Kullanımı

İnce öğütülmüş bir puzolan bağlayıcılık özelliğinden faydalanmak üzere üç değişik şekilde kullanılır.

- 1- Direkt olarak – Kalsiyum hidroksitle karıştırılarak.
- 2- Katkılı çimentoların üretiminde katkı olarak – üretim sırasında çimento fabrikalarında Portland çimentosu klinkeri ile birlikte öğütülerek.
- 3- Doğrudan beton karışımına ilave olarak – Karışım sırasında ya da karışım operasyonundan önce puzolanı karışıma bir bileşen gibi ilave etme yolu ile.

Puzolanların kalsiyum hidroksitle direkt olarak karıştırılması yaygın bir uygulama değildir. Ancak çok eski zamanlarda bu yol yaygın olarak kullanılmıştır. Yol alt temeli yada diğer bazı uygulamalarda kireç puzolan karışımı hala kullanılmaktadır (Özcan, 2005).

1.2.5.1. Puzolanların Betonda Kullanımının Faydaları Ve Zararları

1.2.5.1.(1). Faydaları

- En önemli husus, çimento üretim maliyetini düşürmesidir. Çünkü tras veya diğer puzolanlar, yakılmadan sadece öğütülme masraflarıyla klinkere katılmaktadır. Bunların katılma nispeti %20 - 30'a yükselince, çimento miktarı bu

oranda azalmaktadır. Türkiye gibi ısıtma enerjisinin pahalı olduğu bir ülkede çimento maliyetini de bu oranda düşürmektedir.

- Traslı çimentolarda, beton dökümü esnasında hasıl olan hidratasyon ısısı düşüktür. Bu nedenle su buharlaşması çok az olduğundan, hidratasyon olayı çok daha iyi gerçekleşir (Hidrat; bileşiklerin belirli sayıda su molekülleri ile meydana getirdikleri bileşiktir.).

- Betonun çatlamasını önler. Beton donarken kalsiyum silikatlara dönüşmeyip açıkta kalan bir miktar sönmüş kireç (Ca(OH)_2), havadan CO_2 olarak CaCO_3 'e dönüşmektedir. Bu esnada hacim büzülerek azaldığı için yüzeyde çatlaklar oluşur. Bu durum Portland çimentolar içindir. Traslı çimentolarda ise, Tras serbest Ca(OH)_2 ile birleşerek yeni bileşim oluşturur ve buradaki karbonatlaşmayı önler. Bu da çatlamları önlemektedir.

- Traslı çimento betonunda kalsiyum - silikat - hidrat fazla oranda oluşur ve bu bileşenin sıkı yapısından dolayı betonun geçirimsizlik özelliğini artırır (İngiltere de Portlandlı çimento ile inşa edilen bir barajda mikro çatlaklar görülmüş, ancak Traslı çimento ile inşa edilen diğer bir barajda bu gibi çatlaklıkların oluşmadığı görülmüştür).

- Traslı çimentolarda Trikalsiyum alüminat miktarı az olduğundan, beton sülfatlı sulara ve bileşimlere daha dirençli olur.

- Normal Portland çimentolu betonlarda harcın içindeki klor sızarak demirlere ulaşır. Bu da demirin korozyona uğramasına sebebiyet vermektedir. Traslı çimento kullanıldığında, Trasın aktif silisinin oluşturduğu Kalsiyum - silikat - hidrat geçirimsizlik sağladığından klor sızarak demirlere yetişmemekte ve bundan dolayı korozyon olayı da önlenmiş olmaktadır (ANONYMOUS).

1.2.5.1.(2). Zararları

-Traslı çimentonun aleyhindeki en önemli husus ise donma süresinin Portland'a göre daha uzun olmasıdır. Bu da inşaatçının kalıp sökme süresini uzatacağından, işin yavaşlatılmasına sebep olmaktadır.

- Belirli sınırlardan sonra yük alacak kesimlerde kullanılması pek tercih sebebi değildir. Genelde kütleli yapılarda, temellerde, köprü ayaklarında, kazıklarda, barajlarda ve su temastaki kısımlarda kullanılması önerilmektedir.

- Deniz sularına karşı daha az dirençlidirler. Traslı betonları, yıllar içerisinde Portland betonlara göre daha çabuk karbonizasyona uğrarlar. Bunlar da oluşan karbonizasyon derinliği Portland'larda hasıl olanlardan iki kat daha fazladır.

- Portland betonların dökümü $+5^{\circ}\text{C}$ 'de yapılabildiği halde, Puzolanlı betonlar için $+8^{\circ}\text{C}$ gerekmektedir (ANONYMOUS).

1.2.6. Puzolan Katkıların Beton Özelliklerine Etkileri

Puzolanlar beton içinde çimento ağırlığının değişik oranlarında kullanılırlar. Bu oran %15'den %40'a kadar önerilmektedir (Prince, 1975; Şimşek, 2004).








































Kaliteli puzolanlar optimum ölçülerde kullanıldıklarında betonda:

- İşlenebilirliği iyileştirirler.
- Sülfat etkisine karşı direnci artırır (1 kg CaO, 1,07 kg SiO₂ bağlar 'CaSiO₂').
- Hidratasyon ısısını düşürürler.
- Alkali – agrega reaksiyonunun zararlı etkisini azaltırlar.
- Isıl büzülme azaltırlar.
- Maliyeti düşürürler.


Puzolanlar fazla kullanıldıkları zaman zararlı da olabilirler:

- Su ihtiyacını artırır.
- Donma çözülme karşı direnci düşürürler.
- Sertleşme ve dayanım kazanma hızını azaltırlar.
- Kuruma büzülmesini arttırırlar (Prince, 1975; Şimşek, 2004).

Çizelge 1.4. Puzolanların taze beton özellikleri üzerine etkileri (Ün, 2007).

	 Azalır	 Hiç/Az Etki	 Artar	 Değişir	Uçucu kül	Curuf	Silika Dumanı	Doğal Puzolan
Su ihtiyacı								
İşlenebilirlik								
Terleme, Ayrışma								
Hava miktarı								
Hidratasyon Isısı								
Priz süresi								
Mastarlanma								
Pompalanabilirlik								
Plastik büzülme çatlakları								

Çizelge 1.5. Puzolanların sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkileri (Ün, 2007).

	 Azalır	 Hiç/Az Etki	 Artar	 Değişir	Uçucu kül	Curuf	Silika Dumanı	Doğal Puzolan
Dayanım kazanma hızı								
Sürtünme dayanımı								
Donma-çözülme buz çözücü tuzlara karşı dayanım								
Kuruma büzülmesi, sünme								
Geçirimlilik								
Alkali Silika Reaksiyonu								
Kimyasal dayanıklılık								
Karbonatlaşma								
Beton rengi								

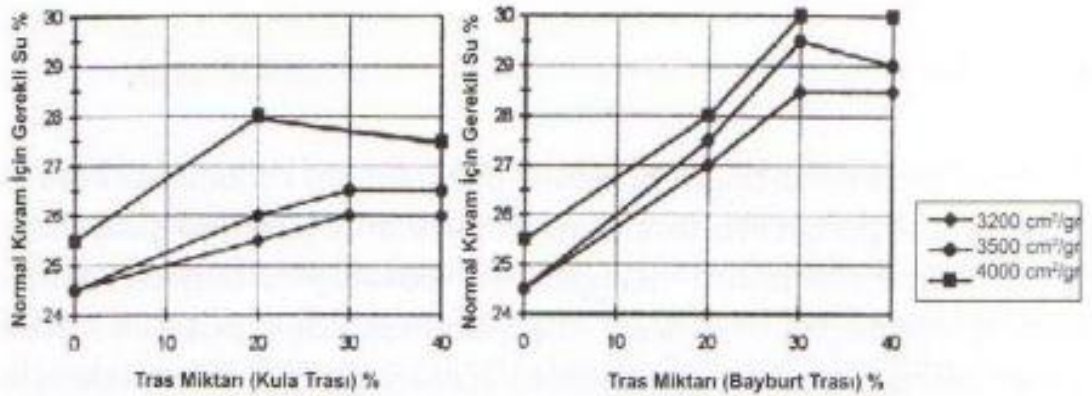
2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

2.1. İşlenebilirlik Üzerindeki Etkiler

2.1.1. Doğal Pozolanların İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri

Portland çimentosu - doğal puzolan karışımının kullanıldığı betonlarda aynı kıvamı sağlamak için gerekli su bir miktar daha fazla olabilir (Davis R.E.; Tuthill L.H., Cordon W.A.).

Beraber öğütme tekniğiyle üretilen ve portland çimentosu klinkeri yerine Türkiye'deki iki farklı trasın %20, %30 ve %40 oranlarında kullanıldığı farklı inceliklerdeki çimentoların normal kıvamı üzerine yapılan çalışmada, Şekil 2.1.'de sunulan sonuçlar elde edilmiştir. Buna göre kullanılan doğal puzolanlar için çimentodaki ikame oranı arttıkça, normal kıvam için gerekli su miktarı da artmaktadır. Ancak %30 düzeyindeki tras miktarlarından sonra su ihtiyacı kayda değer derecede değişim göstermemektedir (Erdoğan, 1996).



Şekil 2.1. Çimentodaki doğal puzolan miktarının normal kıvam için gerekli su miktarına etkisi (çimentolar, tras ve klinkerin beraber öğütülmesiyle üretilmiştir) (Erdoğan, 1996).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Betondaki portland çimentosu ile aynı incelikte herhangi bir puzolan ikamesiyle betonun işlenebilirliği genel olarak fazla değişmez. Doğal puzolanlı harçlar üzerinde yapılan bir çalışmada, doğal puzolanların portland çimentosu yerine bir miktar kullanıldıklarında harçların işlenebilirliği, düşük mertebelerde azalttığı tespit edilmiştir (Stuart, 1980).

Betonda bir miktar portland çimentosu yerine doğal puzolan kullanılmasının çökme (slump) değerine etkisini inceleyen bir başka çalışmada çeşitli beton karışımlarında öğütülmüş skorya (scoria) kullanılmış ve yüksek çimento dozajlı betonlarda skorya ikamesinin çökmeyi azalttığı tespit edilmiştir. Bu azalma skoria ikame oranıyla doğru orantılıdır. Bununla beraber, 300 kg/m³ ya da daha az çimento dozajlı betonlarda skoria kullanımı çökme üzerinde kayda değer etkiler yaratmamıştır (Soraka I.).

Diatomitli topraklar aşırı derecedeki pürüzlü yüzeyleri ve dolayısıyla yüksek özgül yüzey alanları sebebiyle betonda işlenebilirliği zorlaştırmaktadır. Dolayısıyla, bu malzemelerin kullanılması halinde betona akışkanlaştırıcı kimyasal maddeler katılmalıdır. Bununla beraber, diatomitli toprakların düşük miktarlarda kullanılması betonda terlemeyi önler ve plastiğin artmasını sağlar (Hewlet P.C., 1998).

2.1.2. Uçucu Küllerin İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri

Genellikle, çimentonun yerine kısmi olarak uçucu kül konularak kullanılması betonun su ihtiyacını, uçucu külsüz olarak üretilecek betona göre aynı slump değeri için azaltmaktadır. Uçucu külün su ihtiyacını azaltmaktaki rolü esas olarak inceliğine dayanmaktadır. İnceliğin artması su ihtiyacını artırırken, küresel şekillenmiş olan taneler içsel sürtünmeyi azaltmaktadır, dolayısıyla su ihtiyacında azalma olmaktadır. Bu nedenle beton karışım oranları su ihtiyacı üzerinde etkin rol oynar. Uçucu külün puzolanik reaksiyonundan yararlanarak çimento miktarı azaltılarak ve uçucu küllü betonlarda uçucu külsüz betonlarda uçucu külsüz betonla aynı slump değerini elde etmek için su - çimento oranı azaltılır. Diğer taraftan uçucu kül ince agreganın yerine kısmi yerleşim yapılırsa su ihtiyacı yüksek olabilir.

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Uçucu külün kullanımı bağlayıcı hamurun hacmini arttırır. Uçucu kül çimentonun kısmi bir yer değişimi ağırlık bazında yapıldığında, uçucu külün yoğunluğu çimentodan az olduğundan, yer değişimde bağlayıcı maddenin hacminde bir artış olmaktadır. Boşlukların yeterli miktarda bağlayıcı hamuru ile doldurulması sonucu yapışkanlık, plastiklik ve agregata tanelerinin kayganlığı sağlanır. Uçucu küllerin inceliği ve tanelerinin küresel olması işlenebilme üzerinde faydalı etkilere sahiptir. Küresel şekil agregalar arasındaki sürtünmeyi bilyalı - yatak etkisi ile azaltmakta ve betonun daha rahat hareket etmesini sağlamaktadır. İnce taneler boşlukların daha iyi dolmasını sağlar ve perdahlanmayı kolaylaştırır. Aynı zamanda uçucu külün tanelerinin küresel şekli, agregalar arasındaki sürtünmeyi azaltır, dolayısıyla beton ve pompa hattındaki sürtünmeyi azalttığından betonun pompalanabilirliğini arttırmaktadır (Karahan O., 2006).

2.1.3. Silis Dumanının İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri

2.1.3.1. Taze Beton Özellikleri Üzerindeki Etkileri

(Akçaözoğlu, 2007), silis dumanlı beton, sadece Portland çimentosu ile yapılmış olan betondan çok daha koheziftir. Gerek yüksek kohezyondan ve gerekse ince katı taneciklerin arasında daha çok temas olmasından, silis dumanlı betonların işlenebilmesi azdır. Betona katılan silis dumanının oranı çimento ağırlığının %5' inden daha yukarılara çıktıkça, beton daha yapışkan olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Rao (2003), silis dumanı içeriği arttıkça, harcın hava içeriğinin ve işlenebilirliğinin azaldığını belirtmektedir.

Duval ve Kadri (1998), düşük S/B oranında ve süper plastikleştirici kullanılan karışımlarda, silis dumanının çimentoyla %10 oranında yer değiştirmesinin işlenebilirliği azaltmadığını belirtmişlerdir.

Jahren (1993), silis dumanı katılmış taze betonların daha yapışkan olduğunu belirtmektedir. İşlenebilirliklerini bir süre koruyabilmeleri için, ilk çökme değerinde 50 mm civarında bir artışı öngörmektedir. Yapışkanlıktaki artış, taze betonda silis dumanı partiküllerinin yüzey alanının büyüklüğünden dolayı meydana gelen içteki su

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

alma reaksiyonuna ve çimentosal malzemelerin taneleri arasındaki temas alanlarının artışına bağlıdır. Sellovold ve Radjy (1983) ye göre de silis dumanı katkısız betonlara, benzer işlenebilirlik için silis dumanı eklendiğinde, slump değerini 50 mm artırmak gereklidir.

Özcan (2005), S/B oranının 0,25 ve 0,30 olduğu durumlarda, %10 - 20 silis dumanı ilavesinin, süper akışkanlaştırıcı ile birlikte işlenebilirliği artırdığını; %40 silis dumanı ilavesinin ise işlenebilirliği oldukça düşürerek akışkan ihtiyacını artırdığını belirtmektedir.

2.1.4. Yüksek Fırın Cürufunun İşlenebilirlik Üzerindeki Etkileri

2.1.4.1. Taze Beton Özellikleri Üzerindeki Etkileri

Yüksek fırın cürufu betonlar, aynı slump değeri için, Portland çimentoları ile yapılmış betonla kıyaslandıklarında, azaltma miktarı %3'ten fazla olmamasına rağmen, daha düşük su ihtiyacı gösterirler. Bu azalma, çoğunlukla, cüruf partiküllerinin pürüzsüz yüzey dokusuyla ve kimyasal reaksiyonlarda meydana gelen gecikmeyle ilgilidir (Nevman, 2003). Öte yandan, yüksek fırın cürufunun, klinkere göre, daha az bir yüzey pürüzlülüğüne sahip olması ve özgül ağırlığının düşük olması, dolayısıyla hacimce daha fazla çimento hamuru elde edilmesi, cüruf katkılı betonların işlenebilirliğinin olumlu yönde etkileneceğinin göstergeleridir.

2.2. Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkiler

2.2.1. Doğal Puzolanların Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Puzolanlar, betonda klinkerin hidratasyonu sonucu oluşan Ca(OH)_2 ile tepkimeye girer ve bu nedenle betona su karıştırıldıktan sonra, bir süre ortamda Ca(OH)_2 'in toplanma süresince portland çimentosuna seyreltici bir etki yapar. Ancak zamanla ortamda Ca(OH)_2 birikmesi, puzolanların da sistemin dayanımını artıran etkilerinin ortaya çıkmasını sağlar. Bu nedenle, puzolan kullanımıyla betonun

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

erken dayanımında bir düşüş olması beklenir. Sonuç olarak portland çimentosu ile puzolan karışımı içeren çimentolar, dolayısıyla betonlar özdeş incelikte portland çimentosu içeren betonlara göre daha uzun süre suya (kür) ihtiyaç duyarlar. Buradan da anlaşılacağı üzere traslı çimentolarla üretilen betonların, ancak geç dayanımlarının eşdeğer karşılaştırma örneklerinin sonuçlarına ulaşması hatta bunları geçmesi beklenir (Erdoğan K., Tokyay M., Türker P., 2001).

DP100, DP10, DP20, DP25, DP30 ve DP35 çimentolarından hazırlanmış harçlarla basınç dayanımı deneyleri yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2.1.' de yer almaktadır.

Çizelge 2.1. Farklı oranlarda tras içeren çimento örneklerinin basınç dayanımları (Erdoğan K., Tokyay M., Türker P., 2001).

Örnek	Basınç Dayanımı (N/mm ²)			
	1 Günlük	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük
DP00	12.0	21.3	40.1	60.8
DP10	9.9	18.1	36.1	55.2
DP20	7.4	13.2	30.5	49.6
DP25	6.5	11.9	27.2	45.6
DP30	5.9	11.3	23.4	41.7
DP35	5.3	10.8	22.0	37.8

Basınç dayanımı test sonuçlarından görüldüğü gibi (Çizelge 2.1.), doğal puzolan oranı arttıkça erken dayanım düşmektedir. Bunun sebebi, deney süresinin 28 günle sınırlandırılmış olması ve doğal puzolanın henüz tamamen hidrate olmaması olarak değerlendirilebilir. Yapılan çalışmalar, gereğinden fazla ince öğütülmüş puzolan malzeme içeren çimentoların, portland çimentosu taneciklerinin hidrasyon neticesinde birbirinden fazlaca uzaklaşmaları sonucu, basınç dayanımlarında düşüşe sebep olabileceğini de bildirmektedir (Targan Ş., Olgun A., Erdoğan Y., Sevinç V., 2003). Ancak yeterli (daha uzun) süre sonunda, puzolan taneciklerinin de tepkimeye girmesi sonucu bu dayanım farkının azalmış olduğu görülecektir. Bu bağlamda bir diğer dayanım etkeni de ince öğütülme yeteneğine sahip trasın mikro boşlukları iyi bir biçimde doldurabilmesi olarak ortaya çıkmaktadır.

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Portland çimentosu ile üretilen harç, kütlece %35 oranında tras içeren çimento ile üretilmiş harca göre, 28 gün sonunda %38 oranında bir dayanım fazlalığı sergilemektedir. Bununla birlikte, bu fark, birinci günde %56 iken, ikinci günde %49 ve yedinci günde ise %45 oranında gerçekleşmiştir. Bu durum traslı çimento örneklerinin dayanım kazanma hızlarının, portland çimentosuna göre daha yavaş olduğunu göstermekte, ancak zamanla bu farkın aşılabileceğinin de ilk işaretini vermektedir. Özellikle puzolan karışımı çimentolarla üretilen betonların ilk günlerden başlamak üzere daha özenli bir bakıma (yüzey kapatması, püskürtme, ısıtma vb.) gereksinme duydukları, bu sayede de sertleşme ve dayanım kazanımlarında belirgin bir çabuklaşma görüldüğü (E. Kern, 1985) bilinmektedir. Böylece gerçekleşen göreceli çabuk katılma aynı zamanda beton elemanın uç kısımlarının da direncini yükseltmiş olmaktadır.

Buradan çıkarılan bir diğer sonuç ise, doğal puzolan oranının %35 gibi yüksek bir değere çıkarılmasına rağmen çimento harçlarının EN 196'da istenen en düşük mekanik özelliği (32.5 N/mm^2) güvenli bir şekilde sağlamasıdır. Nitekim DP35 çimentosu %35 oranında doğal puzolan içermektedir ve yaklaşık 38.0 N/mm^2 'lik bir basınç dayanımına sahiptir. Bu da, özellikle yüksek dayanım gösteren çimentolara göreceli yüksek oranda puzolan katılmak suretiyle, ilk aşamada daha düşük dayanımlı bir standart çimento elde edilebileceğini ve buna göre beton tasarımı yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ancak uzun sürede bu yöntemle dayanımdan taviz verilmeden dayanıklılık şartı da sağlanmış olacaktır.

2.2.2. Uçucu Küllerin Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Beton karışımı içinde uçucu kül kullanımı genelde su ihtiyacını azaltmakta, bağlayıcı madde içeriğini artırmakta ve uzun dönemde puzolanik aktivite yoluyla dayanıma katkıda bulunmaktadır. Uçucu külün katılma oranının yavaş ve erken yaşlarda basınç dayanımı kazanımını azalttığını bilinmektedir. Bu durum uçucu külün çimento ile kısmen yer değişimi yaptığı zaman geçerlidir ve bağlayıcı olarak görev görür. Eğer, bir beton karışımında bağlayıcı malzeme miktarı sabit ise ve bu bağlayıcı miktarının bir kısmı uçucu kül ile yer değiştirmiş ise; basınç dayanımı

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

uçucu kül miktarının artmasıyla daha da düşer. Diğer taraftan, uçucu küllü betonun dayanımı ve dayanım kazanma oranı kullanılan uçucu külün miktarına, karakteristiklerine ve kullanılan çimentoya kuvvetlice bağlıdır. Yüksek kireçli uçucu kül daha yüksek reaksiyon oranı ve yüksek dayanımı düşük kireçli uçucu küle nazaran erken yaşlarda gösterir. Genelde, bütün betonların dayanım ve dayanım kazanma oranı kür edilme zamanı tarafından etkilenmektedir. Uçucu küllü beton normal betona göre daha uzun kür edilme zamanı isteyebilir. (Erdoğan, 1997; Bilim 2001; Atış, Beton katkı malzemeleri ders notu).

2.2.3. Silis Dumanının Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri

2.2.3.1. Basınç Dayanımına Etkisi

Silis dumanının betona ilavesi basınç dayanımını oldukça arttırmaktadır. Silis dumanının betondaki boşlukları doldurma ve puzolanik etki olmak üzere iki işlevi vardır. Bunlardan hangisinin belirleyici olduğu yönünde değişik görüşler vardır (Bentur ve ark, 1993). Ancak silis dumanının puzolanik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega - çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu, mikroyapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlanmıştır (Taşdemir, 1996).

Bu ise boşluk oranının azalmasından kaynaklanmaktadır. Bununla beraber silis dumanının herhangi bir akışkanlaştırıcı kullanılmadan beton karışımına ilavesi su ihtiyacını artırmakta böyle bir durumda suyun artması ise dayanımda azalmalara sebep olmaktadır. Bu nedenle silis dumanı neredeyse her zaman akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanılarak su - bağlayıcı oranının azaltılması sağlanmaktadır.

Silis dumanı ilavesiyle betonun dayanımının artmasının esas nedenleri kullanılan silis dumanının miktarına, su - bağlayıcı oranına, bağlayıcı malzeme miktarına, çimento tipine, su azaltıcı katkının cinsine, kür durumuna ve zamana bağlanmaktadır. Silis dumanı kullanılarak elde edilen betonda optimum basınç dayanımını elde edebilmek için, silis dumanının miktarının ve akışkanlaştırıcının dozajının uygun oranlarda olması gerekmektedir. Akışkanlaştırıcı kullanmadan üretilen silis dumanı betonunun su ihtiyacı sabit işlenebilirlik için direk olarak silis

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

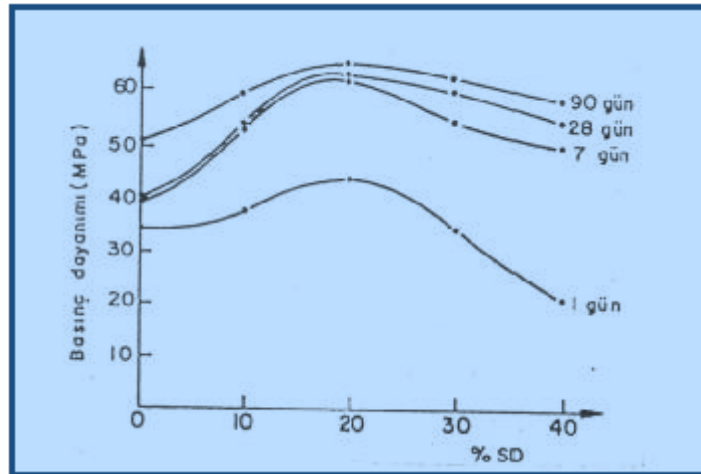
Uygar GÜNDESLİ

dumanı miktarına bağlıdır. Genel yapılarda kullanmak için silis dumanının dozajı genelde %7 ile %10 arasında değişir. Bazı özel durumlarda ise %15'e kadar silis dumanı başarılı bir şekilde kullanılmıştır.

Taşdemir ve ark (1994), betonda silis dumanı kullanımının agrega - harç temas yüzeyinin mikroyapısal özelliklerini değiştirdiği, bu ara yüz bölgesinin daha yoğun ve daha homojen hale geldiği, bunun sonucu olarak malzemenin daha gevrek bir davranış sergilediği belirtmiştir. Silis dumanı içeren betonlarda gevreklik indisinin belirgin biçimde arttığını bunun sonucu olarak da betonun daha gevrek bir davranış sergilediğini belirtmiştir.

Bazı araştırmalara göre silis dumanının dayanıma kazandırdığı artış, çimento harç matrisinin daha yüksek kalitede sonuç vermesine bağlıdır. Bazılarına göre ise beton dayanımının artışı, harç ve agrega arasındaki gelişmiş bağın artmasıyla ilgilidir. Silis dumanının çimento harcındaki geniş boşlukları azaltarak homojenliği artırdığı bilinmektedir. Böylece daha kuvvetli bir malzeme oluşmasına neden olmaktadır (Xiaofeng, 1993).

Silis dumanı katkısının beton dayanımına etkisi aşağıdaki şekilde açıklanabilir.



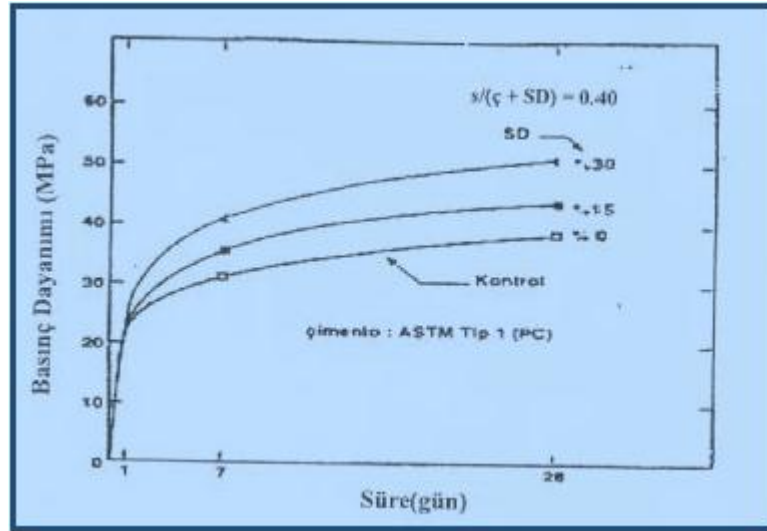
Şekil 2.2. Silis dumanı katkı yüzdesinin beton dayanımına etkisi (Yeğinobalı, 1993).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Silis dumanı taneleri, CSH jelleri oluşturması dışında, çimento hamurunu agrega - hamur ara yüz geçiş bölgesini sıkılaştırıp kuvvetlendirerek beton dayanımını artırmaktadır. Buna karşın belirli bir işlenebilirlik için su gereksiniminin artması gibi olumsuz etkileri de olabilmektedir. Betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlıdır ve çimento, agrega ve akışkanlaştırıcı katkının tipi ve miktarları ile bakım koşulları gibi faktörlerden etkilenmektedir (Jahren, 1993).

Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir (Şimşek, 2000; Mazloom ve ark, 2004). Normal bakım koşullarında bu etki 3 - 28 gün arasında kendisini gösterir. Ancak su - bağlayıcı oranının %40 civarına indirerek 1 günlük dayanımı bile yükseltmek mümkündür (Khayet ve Aitcin, 1992). Şekil 2.3. 'te görüldüğü gibi, süper akışkanlaştırıcı kullanılarak ve S/B oranını %40' ta sabit tutarak dökülen betonlarda çimentonun %30'una kadar varan miktarda katılan silis dumanı, ilk birkaç günden itibaren dayanımları artırmaktadır (Malhotra ve ark, 1987).



Şekil 2.3. Silis dumanı katkısının beton basınç dayanımına etkisi (Khayet ve Aitcin, 1992).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

İleri yaşlarda olumlu etkileri azalmakta olup bazı araştırmacılara göre silis dumanlı betonlarda 90. günden sonra dayanım düşebilmektedir (Carette ve ark, 1987). Diğer taraftan, 4 - 6 yıl sonra dahi dayanımlarda azalma olmadığını bildirenler de vardır (Aitcin ve Laptante, 1990).

Betonun 28 günlük dayanımı artırmayı amaçlayan çalışmalarda silis dumanının genellikle çimentonun %10 - 20'si oranında betona katıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için %10'dan yukarı miktarların süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir (Yeğınobalı, 1993). Silis dumanının beton dayanımına olan olumlu etkisi, S/B oranını 0,40'ın altına çekerek çok kısa bir sürede gözlenebilmektedir (Yeğınobalı ve Erdoğan, 1999).

Shannag (2000), yaptığı deneysel çalışmada, çimento ağırlığının %15'i oranında silis dumanı ilavesiyle, 28 günlük basınç dayanımı 10 MPa olan yüksek dayanımlı beton elde edilmiştir.

28 günlük basınç dayanımı 50 - 70 MPa civarında olan yüksek dayanımlı betonlarda silis dumanı ile çimentonun yer değiştirme oranı yaklaşık %15 olarak tespit edilmiştir. Çimento miktarı arttıkça ve S/B oranı düştükçe, silis dumanının etkisi azalmaktadır (Yogendran ve ark, 1987). Bu betonlarda çimento dozajını 400 - 500 kg/m³ sınırının üstüne çıkarmak ve S/B oranını 0.30'un altına indirmek gibi zorlamalar fazla yarar sağlamamaktadır (Bentur ve Goldman, 1989; Goldman ve Bentur, 1989).

Ekinci (1995), silis dumanı ilavesiyle harçların basınç ve eğilme dayanımları arttığını ve optimum yer değiştirme oranının %10 olduğunu belirtmektedir.

Rao (2003), silis dumanı katkısıyla erken yaşta C₃A ve C₃S hidratasyon reaksiyonlarının arttığını ve optimum silis dumanı içerik oranının %15 - 22 arasında olduğunu belirtmiştir.

Özcan (2005), silis dumanının basınç dayanımı üzerindeki olumlu etkisinin karışım oranlarına bağlı olarak 28. günden sonra yavaşladığını belirtmektedir. Buna benzer olarak, Pala ve ark. (2007) da, silis dumanı ilave edilen betonlarda, erken yaşlardaki dayanımın arttığını, ancak uzun dönemde dayanım kazanma hızının azaldığını belirtmektedirler.

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Silis dumanı katkılı betonlarda çekme veya eğilme dayanımlarının basınç dayanımına oranı, katkısız betonlardakine benzemektedir. Basınç dayanımı arttıkça, çekme ve eğilme dayanımları da artar. Silis dumanı miktarının artması veya süper akışkanlaştırıcı kullanılmaması, eğilme - basınç dayanımları orantısının katkısız betonlardakininden daha küçük olmasına yol açmaktadır (Khayat ve Aitcin, 1992).

Bhanja ve Sengupta (2005), diğer karışım parametreleri sabit tutularak silis dumanı miktarının artırılmasıyla, eğilme dayanımında kayda değer bir artış olduğunu belirtmişlerdir. Optimum 28 günlük çekme dayanımının %5 - 10 silis dumanı yer değişimiyle, eğilme dayanımının ise %15 - 25 silis dumanı - çimento yer değişim oranında elde edildiğini bildirmişlerdir.

2.2.4. Yüksek Fırın Cürufunun Basınç Ve Çekme Dayanımı Üzerindeki Etkileri

Eşit çimento miktarı ve eşit su/bağlayıcı oranları söz konusu olduğunda cüruf katkılı betonlar, normal Portland çimentosu içeren betonlara göre, erken yaşlarda nispeten düşük, geç yaşlarda ise daha yüksek beton dayanım değerlerine neden olurlar. Granüle yüksek fırın cürufları, Portland çimentolarına göre daha yavaş hidrate olduğundan, cürufllu betonların erken yaşlardaki mukavemet gelişim oranları daha düşüktür. Yüksek miktardaki cüruf yer değişim oranları ise, daha düşük mukavemet gelişimine neden olmaktadır. Ancak, uygun bir nemli ortam sağlandığında, cürufllu betonların uzun dönem mukavemeti muhtemel olarak daha yüksek olacaktır. Bu daha yüksek son dönem mukavemeti, cürufun kısmen uzun süren mukavemetinden ve daha yavaş hidratasyon reaksiyonunun bir sonucu olarak meydana gelen daha yoğun hidrate olmuş mikro yapıdan ileri gelmektedir. Sıcaklık arttığı zaman, cüruf katkılı betonların dayanım kazanma oranında meydana gelen artış da, Portland çimentosu içeren betonlarınkinden daha fazla olmaktadır.

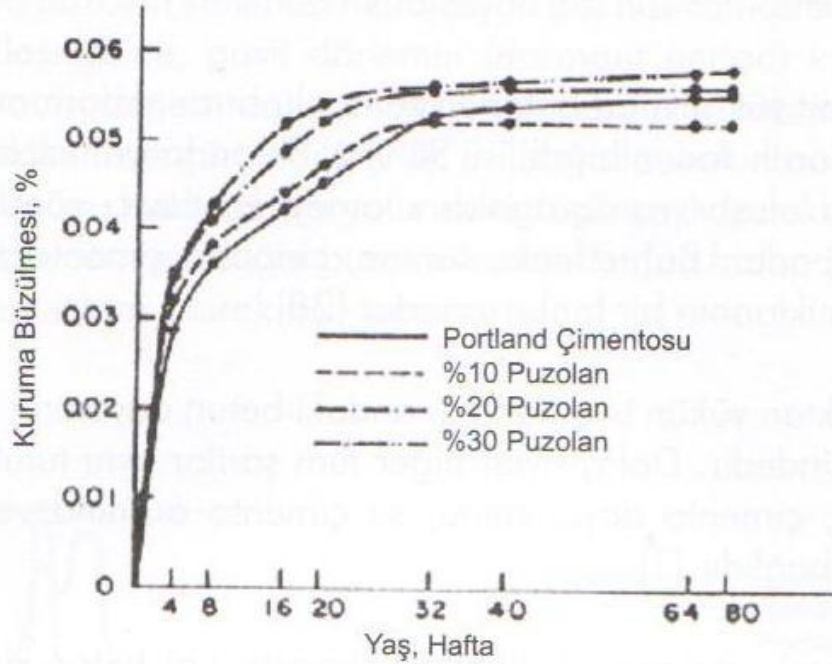
Çekme mukavemetinde ise cürufllu betonlar, verilen bir basınç dayanımı için Portland çimentolu betona göre biraz daha yüksek çekme mukavemetine sahiptir (Nevman ve Choo, 2003).

2.3. Rötire Üzerindeki Etkiler

2.3.1. Doğal Puzolanların Rötire Üzerindeki Etkileri

Genel olarak, çimentoya alışlageldik dozajlarda puzolan ilavesiyle harçlardaki kuruma büzülmesinin küçük bir miktar arttığı söylenebilir (Hewlet P.C., 1998).

Santorin toprağıyla yapılan bir araştırmada %30 katkı oranına kadar bu malzemenin kuruma büzülmesine etkisi incelenmiştir. Şekil 2.4. 'den de görüleceği gibi bu malzemenin kullanılışı kontrol numuneleriyle karşılaştırıldığında önemsiz mertebelerde artan kuruma büzülmesine yol açmıştır (Mehta, 1981).



Şekil 2.4. Çimentodaki doğal puzolan miktarının farklı yaşlardaki kuruma büzülmesine etkisi (Mehta, 1981).

Davis ve arkadaşlarının çalışmaları yukarıda sunulan verileri doğrular nitelikte doğal puzolan kullanımıyla betonun hacim değişmesinin artacağını göstermiştir (Davis, 1950). Yine aynı araştırmacılar bu durumu doğal puzolan

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

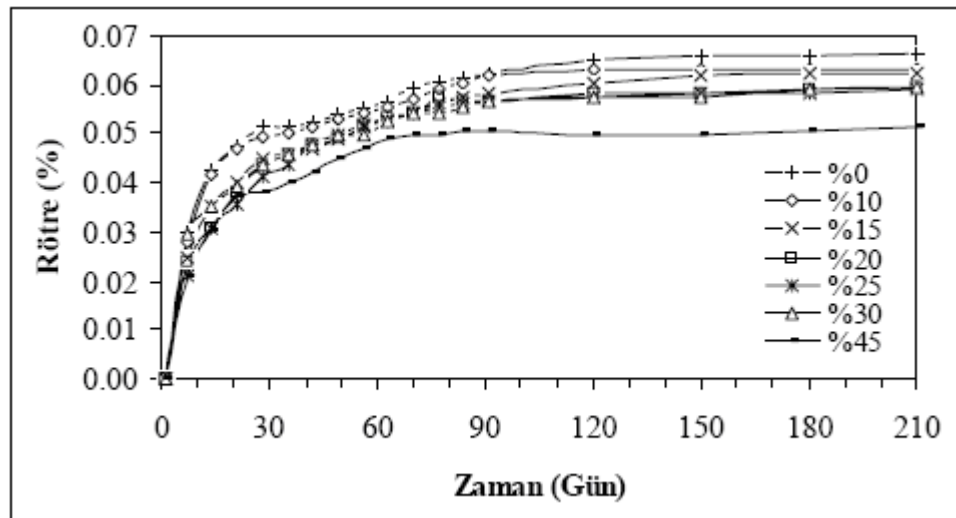
Uygar GÜNDESLİ

kullanımının betonda su ihtiyacını artırmasıyla açıklamışlardır (Davis, 1950). Bilindiği gibi betondaki karışım suyu miktarının artması büzülmeyi artırır (Shaclock B.W., Kenee P.W., 1957). Dolayısıyla, doğal puzolanların büzülme etkisini betonun su ihtiyacına olan etkisi ile ilişkilendirmek daha doğru bir yaklaşım olur.

Konuya bir başka yaklaşım ise şu şekilde olabilir; portland çimentosu kullanılan betonla, doğal puzolanlı çimento kullanılan bir betonun aynı erken dayanıma sahip olmalarını sağlamak için, doğal puzolanlı çimento içeren betonun çimento dozajı diğerine göre biraz daha fazla olmalıdır ya da puzolanlı çimento bir miktar daha ince olmalıdır. Çimento dozajının veya inceliğinin artması ise betonda büzülmeyle genellikle artırır (Shoya M.).

2.3.2. Uçucu Küllerin Rötire Üzerindeki Etkileri

Betonların kuruma - büzülme tayini 50x50x285 mm'lik kiriş prizma numuneleri üzerinde yapılmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılan rötire numuneleri ilk günden itibaren $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki bağıl nemi %65 olan kür odasında tutulmuştur. İlk 28 gün boyunca her gün 91 güne kadar her hafta ve daha sonra ise her ay ölçüm alınmıştır. Ölçümler 0.002 mm hassasiyetli deformasyon saatine sahip ölçüm aletinde yapılmıştır. Uçucu kül katkılı betonlara ait rötire - zaman ilişkisi Şekil 2.5.'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Rötire - zaman ilişkisi (Karahan O., 2006).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Uçucu kül içeren beton numunelerin kontrol beton numunesinden daha az kısaldığı yani daha az rötre yaptığı görülmüştür. Uçucu kül ikame oranı arttıkça kuruma rötresinde düştüğü ve en az rötre yapan grubun %45 uçucu kül katkılı beton grubu olduğu görülmüştür. %20, %25 ve %30 uçucu kül içeren beton gruplarının rötre değerleri birbirine oldukça yakın değerlerde olmuştur.

%0, %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 uçucu kül katkılı beton gruplarının rötre değerleri (%) olarak, 28'inci gün için sırasıyla 0.05123, 0.04947, 0.04491, 0.04351, 0.04140, 0.04351 ve 0.03789 iken, 210. gün sonunda 0.06632, 0.06316, 0.06246, 0.05965, 0.05895, 0.05965 ve 0.05123 olmuştur.

210'uncu gün sonunda %10, %15, %20, %25, %30 ve %45 oranındaki uçucu kül içeren betonların kuruma rötrelere kontrol betonuna kıyasla sırasıyla %5, %6, %10, %11, %10 ve %23 oranlarında azalmıştır. Kullanılan Sugözü uçucu külünün kuruma rötresini azalttığı görülmüştür (Karahan O., 2006).

2.3.3. Silis Dumanının Rötre Üzerindeki Etkileri

Silis dumanı doldurucu özelliğinden dolayı betona yüksek kohezyon vermektedir. Bu nedenle taze betonda terlemenin çok azalması veya hiç meydana gelmemesi, özellikle beton yüzeyinde buharlaşmanın olduğu ortamlarda plastik büzülmeden dolayı çatlama riskini artırabilmektedir. Çatlakların oluşması priz başlangıcına kadar sürebilmektedir.

Mazloom ve ark. (2004)'a göre, silis dumanı miktarının artması, toplam rötreyi önemli derecede etkilememektedir fakat karışımdaki silis dumanı oranı arttıkça, otojen rötre de artmaktadır (Akçaözöglü K., 2007).

2.3.4. Yüksek Fırın Cürufunun Rötre Üzerindeki Etkileri

Cürufu çimentolarla üretilmiş betonların rötrelere konusunda yapılan araştırmaların sonuçları birbirlerinden, deney koşulları ve kullanılan malzemelerin değişik olması nedeniyle, farklılıklar göstermekle birlikte bu farklar önemli ölçüde değildir (Wainwright, 1986). Genel olarak ifade etmek gerekirse, cürufu çimento

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

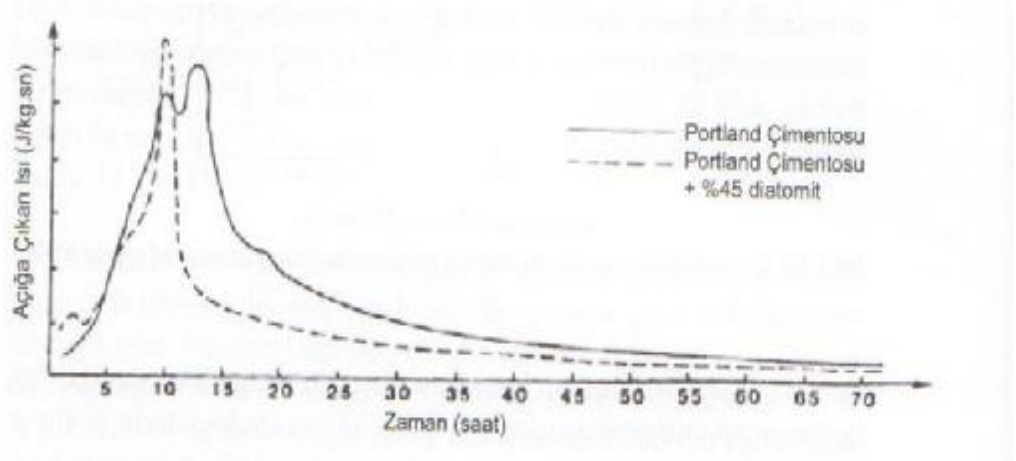
Uygar GÜNDESLİ

kullanımının rötreyi portland çimentosu kullanıldığı durumlardan daha değişik etkilemediği söylenebilir (Bilim C., 2006: Wainwright, 1986'dan).

2.4. Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkiler

2.4.1. Doğal Puzolanların Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri

Portland çimentosunun toplam hidratasyon ısısı portland çimentosu - doğal puzolan karışımından genellikle daha fazladır. Bununla beraber, puzolanik tepkimelerin de ısı açığa çıkarttığı unutulmamalıdır. Çimentoya puzolan katılması hidratasyon ısısı hızı - zaman diyagramının daha dikleşmesine, pasif dönemin (dormant period) kısalmasına ve maksimum değere daha erken ulaşılmasına sebebiyet verir. Bu durum Şekil 2.6.'da görülebilir (Gryzmek, 1980). Bu doğal puzolanların alit (C_3S) hidratasyonunu hızlandırdığı yolundaki düşüncüyü desteklemektedir. Alit hidratasyonunun doğal puzolanlar tarafından hızlandırılmasının sebebi tam olarak açıklanamamıştır.

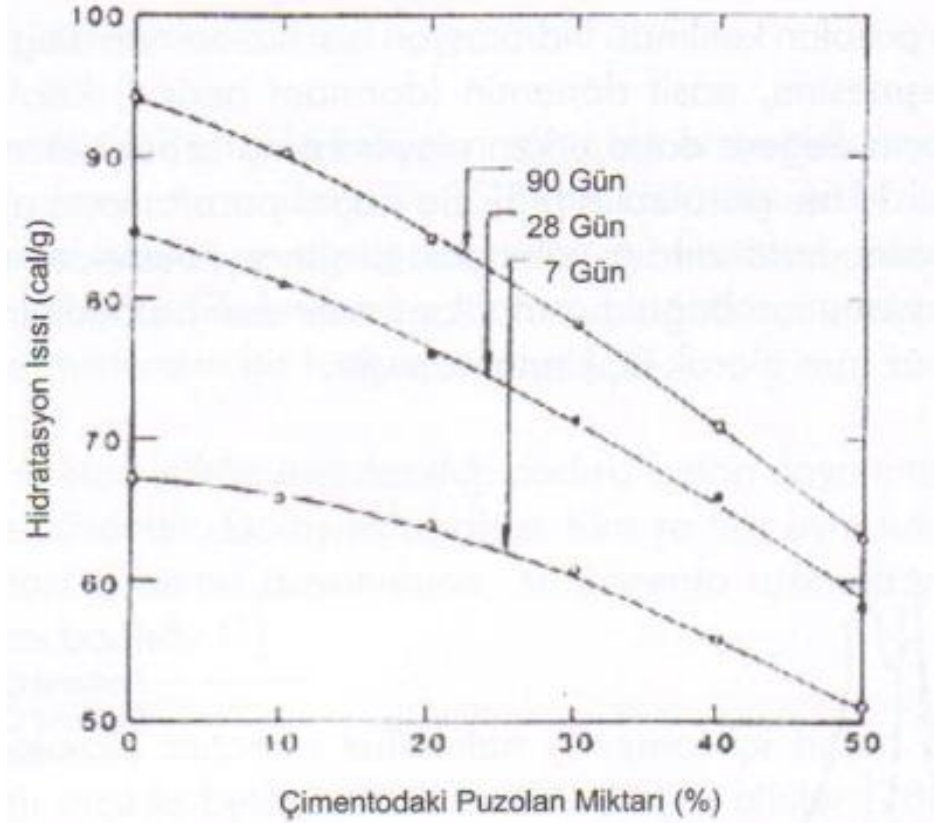


Şekil 2.6. Portland çimentosu ve portland - doğal puzolan çimentolarının hidratasyonunun erken safhalarındaki hidratasyon ısıları (Gryzmek, 1980).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

Şekil 2.7. ise puzolan katkısıyla hidrasyon ısısında değişik yaşlarda meydana gelen düşüşleri göstermektedir (Massazza, 1974; Mather B.). Davis'e göre bir miktar portland çimentosunun yerine puzolan ikamesiyle elde edilen hidrasyon ısısı düşüşü oranı ikame yüzdesinin yarısı olarak öngörülebilir.

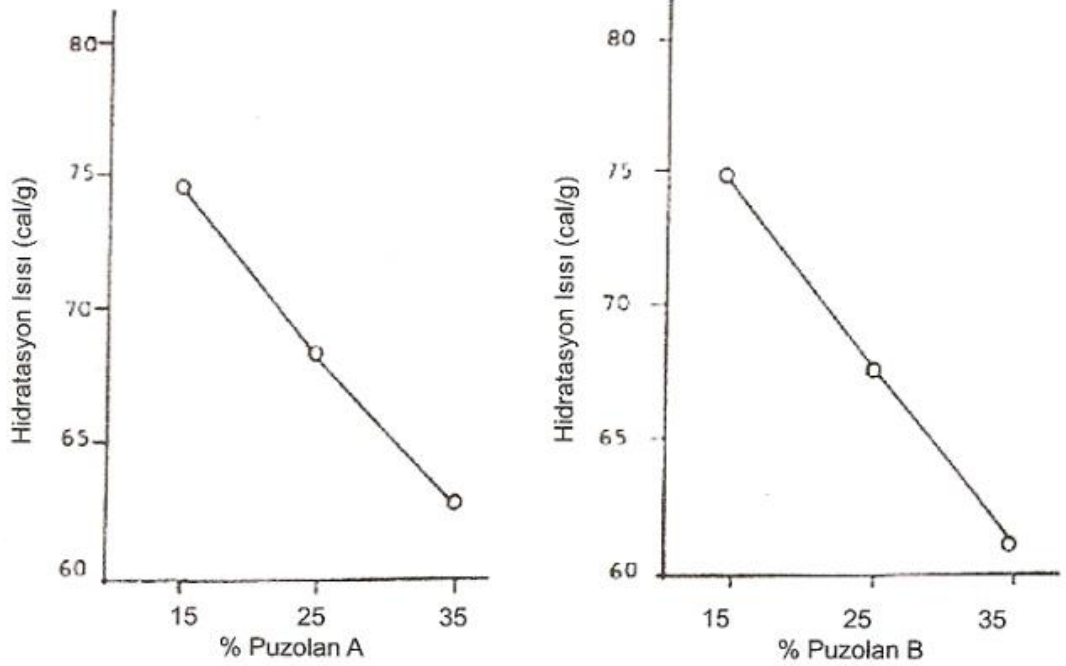


Şekil 2.7. Çimentodaki puzolan miktarının farklı yaşlardaki hidrasyon ısısına etkileri (Swamy R.N., 1986).

Doğal puzolan ikamesinin hidrasyon ısısına etkisinin incelendiği bir başka araştırmanın sonuçları ise Şekil 2.8'de sunulmaktadır (Shannag M.J., Yeğınobalı A., 1995).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ



Şekil 2.8. Doğal puzolanların çimentonun 7 günlük hidratasyon ısısına etkisi (Shannag M.J., Yeğınobalı A., 1995).

2.4.2. Uçucu Küllerin Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri

Uçucu kül ve portland çimentosunun hidratasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit arasındaki kimyasal reaksiyon, çimentonun hidratasyonu işleminden daha yavaş bir işlemdir. Bu durum daha yavaş ısı oluşmasına ve beton içinde daha az iç gerilmeye ve daha az rötreye sebep olur. Uçucu külün bu özelliği onun özellikle baraj yapılarında kütle betonlarında ortaya çıkan yüksek ısıları kontrol etmede kullanılır (Karahan O., 2006).

2.4.3. Silis Dumanının Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri

Çimento ağırlığının %7 - %10'u kadar silis dumanı kullanılarak yapılan betonların ilk 72 saat içerisindeki hidratasyon ısısı, silis dumanı kullanılmayan betonlardan biraz daha fazla olabilmektedir. Ancak, silis dumanlı betonlarda, silis

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

dumanı kullanılmayan betonlarınkine göre, yaklaşık %8 - %10 kadar daha az hidratasyon ısısı çıkmaktadır (Erdoğan, 2003).

Silis dumanı katkısının hidratasyon ısısı üzerindeki etkileri değişebilmektedir. Bazı araştırmacılar, silis dumanı ilavesiyle hidratasyon ısısının ilk günlerde arttığını, sonraları ise azaldığını belirtmekte iken; bazı araştırmacılar ise silis dumanlı betonlarda ileri yaşlarda toplam ısının arttığını belirtmektedir.

Hidratasyon hızı; Yeğınobalı (1993), silis dumanının çok etkin bir puzolan olarak hidratasyon reaksiyonlarını hızlandırdığını ve daha yoğun olarak devam ettirdiğini belirtmektedir.

Silis dumanı katkısı; OH⁻ iyonlarının ve alkalilerin gözenekli sıvılarda serbest kalmasından dolayı, çimentonun erken yaştaki hidratasyon hızını arttırmaktadır. Silis dumanı, ilk birkaç saat boyunca C₃A ve C₃S hidratasyonlarını hızlandırmaktadır (Cheng-Yi, 1985). Bu kireç, CSH ve etrengit gibi hidratasyon ürünlerine çekirdekleşme alanları yapmayı sağlamaktadır (Larbi ve ark, 1990).

2.4.4. Yüksek Fırın Cürufunun Hidratasyon Isısı Üzerindeki Etkileri

Cürufların beton içerisinde kullanılması, hidratasyon ısısını azaltarak hem maksimum beton sıcaklığını düşürmekte hem de bu maksimum sıcaklığa erişilen süreyi azaltmaktadır. Ayrıca yüksek fırın cürufu ile birlikte sıcaklık değişim oranı, artan cüruf oranı ile birlikte azalmaktadır. Bu özellik, yüksek sıcaklıkların ortaya çıkmasına engel olduğu için büyük kütle betonlarının dökümünde faydalı olmaktadır. Uygulamada elde edilen sıcaklık azalmaları asıl olarak kesit büyüklüğü, çimento miktarı, cüruf oranı, bağlayıcı bileşenlerin inceliği ve kimyasal kompozisyonu gibi birçok faktöre bağlıdır (Bilim C., 2006).

2.5. Aşınma Üzerindeki Etkiler

2.5.1. Doğal Puzolanların Aşınma Üzerindeki Etkileri

Yıldız E., 2006 (yls tezi), yaptığı deneysel çalışmasında Çankırı Diyatomiti kullanmıştır. Puzolanların 28 günlük, 90 günlük ve 180 günlük aşınma dayanımına etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalara göre, Çankırı Diyatomiti İkameli Beton'larda, 28 günlük aşınma dayanımları, %5 ÇDİB ve %15 ÇDİB ile Kütle Betonu aynıdır. ÇDİB'larda en yüksek dayanım %10 ÇDİB'da elde edilmiştir %10 ÇDİB aşınma dayanımında da KB'ndan %10,9 daha yüksek dayanıma sahiptir. %20 ÇDİB ise KB'ndan %9 düşük dayanımlıdır.

Çankırı Diyatomiti İkameli Beton'un, 90 günlük aşınma dayanımları, %5 ÇDİB, %15 ÇDİB ve %20 ÇDİB, KB'na göre aşınma oranı %2,3 - %16,5 arasında daha yüksektir. %10 ÇDİB ise KB oranla aşınma oranı %2.3 daha azdır. ÇDİB'larda en yüksek dayanım %10 ÇDİB da elde edilmiştir.

Çankırı Diyatomiti İkameli Beton'un 180 günlük aşınma dayanımları, KB oranla ÇDİB tüm ikame oranlarında aşınma dayanımı daha azdır.

Bu çalışmada incelendiğinde görülmüştür ki, üretilen betonların aşınma dayanımları bir kararlılık göstermemektedir. Burada aşınmayı etkileyen numune yüzey durum, ikame oranı, puzolanın sertlik değeri etkili olmuştur.

2.5.2. Uçucu Küllerin Aşınma Üzerindeki Etkileri

Yüksek oranda uçucu kül kullanımı ile elde edilen betonun aşınmaya karşı direnci deneysel olarak incelenmiştir. Uçucu külün (UK) aşınma üzerindeki etkisi karşılaştırma yapılarak araştırılmıştır. Değişik miktarlarda uçucu kül kullanılarak farklı betonlar elde edilmiş ve süper akışkanlaştırıcı (SA) yardımı ile değişik işlenilebilirlikte betonlar üretilmiştir. Bu betonlar Dorry aşındırma makinesinde teste tabi tutulmuş olup, elde edilen deney sonuçları aralarında karşılaştırılmıştır. Beton basınç dayanımı arttıkça aşınma direncinin de arttığı görülmüştür. Çok yüksek beton basınç dayanımlarında, yüksek oranda uçucu kül kullanımı (Çimento ağırlığının

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

%70'i ile yerdeğişim) ile üretilen betonun aşınma direncinin aynı basınç dayanımına sahip uçucu kül konulmadan üretilen betonun aşınma direncinden daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Süper akışkanlaştırıcı kullanımının, üzerinde çalışan betonların aşınma direnci üzerinde önemli ölçüde bir etkisi görülmemiştir. Kür şartları, beton aşınmasının genel eğilimi üzerinde bir değişiklik göstermemiştir (Atiş C. D. , 2000).

2.5.3. Silis Dumanının Aşınma Üzerindeki Etkileri

Beton yüzeylerinin servis koşulları altında bozulup çatlayarak parçalanması trafik yükleri altında veya akarsuların etkisi ile erozyon ve oyulma şeklinde meydana gelir. Silis dumanı katkısı gerek hamur gerekse hamur - agrega arayüzey dayanımlarını artırması nedeni ile betonun bu gibi yıpratıcı etkilere karşı direncini artırmaktadır (McDonald, 1991). Böhme cihazı ile yapılan deneylerde çimentonun %10'u kadar katılan silis dumanı ile aşınma kaybının %40 mertebesinde azaltılabileceği bulunmuştur (Ekinci, C.E. ve Yeğınobalı, A., 1995).

2.5.4. Yüksek Fırın Cürufunun Aşınma Üzerindeki Etkileri

Betonda yüksek fırın cürufu kullanılması, uygun ve yeterli kür uygulanması şartıyla, aşınma dayanıklılığında bir miktar avantaj sağlamaktadır. Ancak, yetersiz kür şartlarından cüruf katkılı betonlar portland çimentolu betonlara göre daha fazla etkilenmiş olsa da tüm betonların aşınma dayanıklılığı önemli bir şekilde azalmaktadır (Bilim C., 2006).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

2.6. Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkiler

2.6.1. Doğal Pozolanların Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri

Uygun tipte pozolanın çimentonun bir kısmının yerine kullanılmasının sülfat dayanıklılığına etkisi üç yolla olur. Birinci olarak, pozolan kullanılması ortamdaki $\text{Ca}(\text{OH})_2$ miktarını azaltacaktır. Böylece sülfatların betona zararlı ürünler oluşturabilmesi için gerekli $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ortamdaki C_3A miktarını göreceli olarak azaltacaktır. Bu durum yine sülfatların C_3A ile yaptıkları zararlı tepkimelerin azalmasını doğurur. Üçüncü olarak ise, pozolanlar uygun miktarlarda kullanıldığında betonun geçirimsizliğini artırdıklarından betona sülfat girişini önlerler. Fakat sonuç olarak, her pozolanın sülfat direncini artıracığı gibi bir yargıya varılmamalıdır. Kullanılacak olan pozolan düşük oranlarda CaO içermelidir (Ludwing U., Schwierte H.E.). Ayrıca ASTM'ye göre C sınıfı olarak tanımlanan uçucu küller genel olarak betonun sülfat direncini azaltır (P.J. Tikalsky, 1992).

Santorin toprağıyla yapılan araştırmadan elde edilen sonuçlar Çizelge 2.2.'de sunulmaktadır. Tablodan görüleceği gibi, artan doğal pozolan miktarı betonun sülfat etkisine karşı direncini olumlu yönde etkilemektedir (Mehta P.K., 1981).

Çizelge 2.2. Sabit PH'lı sülfat çözeltisinde bekletilen çimento pastalarının basınç dayanımı kaybı (Mehta P.K., 1981).

Çimento Tipi	Önceki Dayanım MPa	Sülfat Çözeltisinde 28 Gün Kaldıktan Sonraki Dayanım MPa	Dayanım Kaybı %
Kontrol - PÇ	18.0	6.1	66
% 10 Santorin Topraklı Çimento	18.5	9.5	49
% 20 Santorin Topraklı Çimento	16.1	12.9	20
% 30 Santorin Topraklı Çimento	15.2	12.8	16

2.6.2. Uçucu Küllerin Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri

Sudaki, zemindeki ve deniz suyundaki sülfat iyonları beton yapılarda bozulmaya yol açabilir. Sülfat saldırısının zararlı etkisi, sülfat iyonlarının sertleşmiş betondaki alüminli (C_3A) ve kalsiyumlu ($Ca(OH)_2$) bileşenlerle kimyasal reaksiyona girerek, hacmi çok artan etrenjit ve alçı oluşturmamasından kaynaklanmaktadır. Reaksiyon ürünleri, sertleşmiş betonda genişleme yaratarak agrega - çimento hamuru aderansının olumsuz yönde etkilenmesine, çatlak oluşumuna ve geçirimsizliğin artmasına yol açar. İleri derecedeki etkilenmelerde ise betonun tamamen dağılması söz konusudur. Sülfat saldırısı gibi dış kaynaklı iyon girişi sebebiyle oluşan kimyasal reaksiyonlarda çimentonun kimyasal bileşiminin kontrolü kadar, betonun geçirimsizliği de önem kazanmaktadır (ASTM C 1012, 1995; Baradan vd., 2002).

Katı, kuru tuzlar betona zarar vermezler ancak su ile birlikte bulunmaları sonucu, sertleşmiş çimento harcıyla reaksiyona girerler. Bazı kiler alkali magnezyum ve kalsiyum sülfat gibi kimyasal maddeler içerir, bunlar yeraltı suyuyla birleşince zararlı etki ortaya çıkar.

Zemin yüzeyinde oluşan tuz birikintileri çoğunlukla sodyum sülfattır. Ancak magnezyum sülfata da birçok bölgede rastlanır. Na_2SO_4 , $Ca(OH)_2$ ve C_3A ile, $CaSO_4$ ise yalnızca C_3A ile reaksiyona girer. Deniz suyunda da bulunabilen $MgSO_4$, $Ca(OH)_2$ ve C_3A 'nın yanı sıra kalsiyum - silikat - hidrate (CSH) yapıyla da reaksiyona girebilmektedir (Baradan vd., 2002; Neville, 1997).

Reaksiyonun gelişimini, sülfatlı ortamın şiddeti, betonun geçirimsizliği, betonda kullanılan çimentonun kimyasal yapısı ve suyun varlığı etkilemektedir. Sülfat dayanıklılığını arttırmak için sülfata dayanıklı çimento ile birlikte uçucu kül, yüksek fırın cürufu gibi puzolanik katkıları kullanılabilir. Puzolanlar, $Ca(OH)_2$ 'i bağlayarak sülfatlarla reaksiyonu önlerler ve sadece Portland çimentosu kullanımı ile kıyaslandığında bağlayıcı içindeki $Ca(OH)_2$ ve C_3A oranının azaltılmasını sağlar (Akman, 1992; Mehta ve Monteiro, 1997; Yeğinobalı, 1999).

Chindaprasirt vd. tarafından yapılan çalışmada, F sınıfı uçucu kül kullanımının sülfat dayanıklılığını arttırdığı, uçucu kül inceliği arttıkça bu etkinin daha belirgin hale geldiği görülmüştür. Kaba uçucu kül (Blaine değeri $1800 \text{ cm}^2/\text{g}$)

kullanımı halinde ise genleşmelerin azalmadığı aksine arttığı ifade edilmektedir (Chindaprasirt vd., 2004).

Monteiro ve diğerleri tarafından yapılan çalışmada, betonun sülfat saldırısından zarar görmemesi için kritik bir bölgenin bulunduğu, çimentonun C_3A miktarının %8'den az, su/çimento oranının 0.45'in altında olması halinde 40 yıllık maruz kalma süresinde hasar oluşmadığı, çimento yerine %25 ve %45 uçucu kül kullanımının genleşmeleri azalttığı belirtilmektedir (Monteiro ve Kurtis, 2004). (Yazıcı H., 2006).

2.6.3. Silis Dumanının Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri

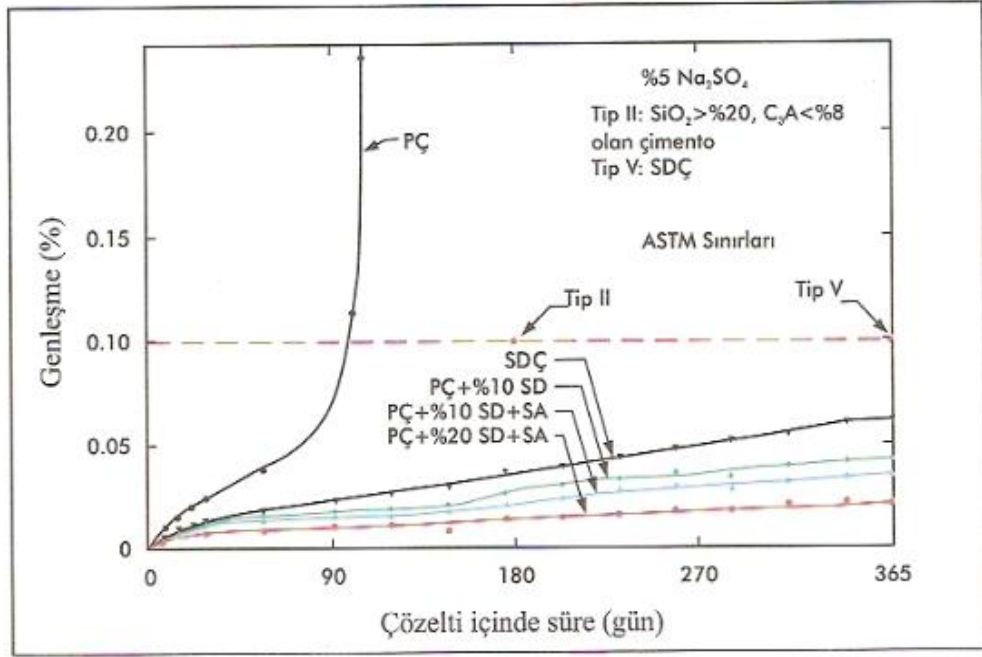
Sülfatlar katyona bağlı olarak alçı ve etrengit oluşturarak betonda şişme ve çatlamalara yol açarlar veya C – S - H jelini ayrıştırırlar. Bu yıpratıcı reaksiyonların çoğunda çimentodaki C_3A içeriğinin olumsuz rolü büyüktür. Silis dumanı çimentonun genellikle %15'ine kadar katıldığı için C_3A miktarını daha fazla katılan diğer puzolanlar kadar azaltmaz. Ancak geçirgenliği etkin bir şekilde azaltması ve kalsiyum hidroksiti bağlamadaki yüksek aktivitesi dolayısı ile daha başlangıçtan itibaren betonda zararlı etkilere karşı en az diğer puzolanlar kadar direnç sağlar.

Normal portland çimentosuna %10 - 15 kadar silis dumanı katıldığında sülfatlara dayanıklı çimento (ASTM Tip V) benzeri bir çimento elde edilebilmektedir. Silis dumanı katkısı özellikle sodyum sülfata karşı etkili olmaktadır (Mehta, 1985; Yeğinobalı, A., ve Dilek, F.T., 1994).

Şekil 2.9.'da görüldüğü gibi ASTM C 1012 metodu uyarınca %5'lik sodyum sülfat çözeltisinde bekletilen harç çubuklarından %10 - 20 silis dumanı katkısı ile yapılanlar sülfatlara dayanıklı çimento ile yapılanlardan daha az genleşme göstermişlerdir (Hooton, 1993). C_3A miktarı yüksek çimentolar ve bunların %30 katkılı türleri ile yapılmış harç çubukları sodyum sülfat çözeltisine maruz bırakıldığında en az yıpranan silis dumanı katkılı harç olmuştur (Mather, 1982). Beton boru yapımında kullanılmak üzere hazırlanan %5 silis dumanı katkılı beton numuneler %10'luk sodyum sülfat çözeltisinde 92 hafta bekletildiklerinde katkısız betondan çok daha az ağırlık kaybına uğramışlardır (Carlsson, 1986).

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ



Şekil 2.9. Sodyum sülfat çözeltisinde harçların genleşmeleri (Hooton, 1993).

Silis dumanı katkısının magnezyum sülfata karşı olan etkisi ise genellikle olumsuzdur. Bu davranış oluşan puzolanik C - S - H jelinin bağlayıcı özelliği olmayan hidrate magnezyum silikat (M - S - H) jeline dönüşmesi ve koruyucu magnezyum hidroksit (MH) tabakasının azalarak bu reaksiyona yardımcı olması ile açıklanmaktadır (Cohen M.D. ve Bentur, A., 1988; Bonen, 1993). Silis dumanı katkısı normal ve sülfatlara dayanıklı çimentolarla yapılan hamurların %4.5 SO₃ yoğunluğunda magnezyum sülfat çözeltisi içindeki davranışlarını olumsuz etkilemiştir. Her iki çimento ile de ağırlık ve dayanım kayıpları katkısız numunelere oranla on misline yakın artmıştır (Cohen M.D. ve Bentur, A., 1988).

Silis dumanı ve silisli uçucu kül katkılarını içeren harç ve betonların sülfat dirençleri ASTM C 452 ve C 1012 metotlarına ilaveten numuneleri %10'luk sodyum ve %8.4'lük magnezyum sülfat çözeltileri içinde bekleterek araştırılmıştır. Çimento yerine %16 oranında katılan silis dumanı ile sodyum sülfata karşı en iyi direnç elde edilmiştir. Katkı maddeleri ve özellikle silis dumanı magnezyum sülfata karşı direnci olumsuz etkilemişlerdir (Yeğinobalı, A., ve Dilek, F.T., 1994).

Silis dumanı katkısının harçların amonyum sülfata karşı olan direncini olumlu etkilediği yolunda bulgular vardır (Popovic, K., Ukraincik, V. ve Djurekovic, A., 1984). Ancak etkinin çok belirgin olmadığı da bildirilmektedir (Mehta, 1985).

2.6.4. Yüksek Fırın Cürufunun Sülfat Saldırısı Üzerindeki Etkileri

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu içeren betonların, sadece portland çimentosu içeren betonlara göre sülfat ataklarına karşı daha dayanıklı olduğu kabul edilir. Bu arttırılmış dayanıklılık, yüksek fırın cüruflarının hiç C_3A içermemesinden dolayı katkılı çimentoların C_3A içeriklerindeki toplam düşüşle ve permeabilitedeki doğal azalmayla ilişkilidir. Cürufların Al_2O_3 içeriğinin %15'ten daha az olması şartıyla, en az %70 yüksek fırın cürufu içeren çimentoların genel olarak sülfata dayanıklı çimentolarla kıyaslamada göz önüne alınabileceği kabul edilmektedir (Bilim, 2006).

2.7. Donma – Çözülme Üzerindeki Etkiler

2.7.1. Doğal Puzolanların Donma - Çözülme Üzerindeki Etkileri

Puzolanlı çimentoların hidrasyon hızının aynı incelikteki portland çimentolarına göre daha yavaş olduğu belirtilmişti. Bu sebeple, puzolanlı çimento içeren betonlar donma - çözülme döngülerine karşı yeterli dayanıklılığı aynı incelikteki portland çimentolu betonlara göre biraz daha geç kazanırlar. Dolayısıyla, betonun donma - çözülme dayanıklılığını ölçen birçok standard test metodunda yetersiz kürlenme nedeniyle puzolanlı çimentolar olumsuz sonuçlar verir. Esasında yeteri kadar uzun kürlenmeden sonra puzolan içeren çimentolar donma - çözülme döngülerine portland çimentolarıyla benzer yada bunlardan daha iyi performans gösterirler (Hewlet P.C., 1998; Nevile A.M.). Diğer yandan, literatürdeki verilerin ışığında puzolan içeren çimentonun portland çimentosuyla aynı erken dayanımı verecek kadar ince olması halinde, portland çimentosu ve puzolanlı çimentonun

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

donma - çözülme dayanıklılıkları açısından aralarında bir farklılık olmaması beklenir.

Genelde, donma - çözülme döngülerine karşı betonda dayanıklılık sağlamak için betona hava sürüklenmesi en kabul görmüş uygulamadır. Betona hava sürüklenmesi halinde betonların dayanımları aynı olmak kaydıyla, betonda doğal puzolan, uçucu kül ya da mikrosilika kullanımının portland çimentosu kullanımıyla karşılaştırıldığında donma - çözülme dayanıklılığı açısından olumsuz etkileri olmadığı belirtilmiştir (Hewlet P.C., 1998).

Doğal puzolan kullanılmasıyla betonda belirli bir miktarda hava sürüklenmesini sağlamak için gerekli katkı miktarı artar. **Çizelge 2.3.**'den doğal puzolan kullanılmasıyla betonda %6 - 7 hava içeriği sağlanması için ne miktarlarda katkı kullanılmış olduğu görülebilir (Mather B.). Bu sonuçlara göre, betonda artan doğal puzolan miktarı betonun hava sürükleyici katkı ihtiyacını da artırmaktadır. Fakat bu durum her zaman böyle olmayabilir. Dolayısıyla, her zaman olduğu gibi doğal puzolan kullanıldığında da belirli bir miktarda hava sürüklenmesi için gerekli hava sürükleyici katkı dozajı deneysel çalışmalarla belirlenmelidir.

Çizelge 2.3. Doğal puzolan içeren düşük portland çimentosu dozajlı betonların bazı özellikleri (Mather B.).

	No	Çimento Dozajı kg/m ³	Doğal Puzolan Miktarı kg/m ³	Su - Çimento Oranı	Hava Sürükleyici Katkı Miktarı ml/m ³	Çökme (mm)	Hava Miktarı %	Terleme %	Geçirgenlik Kontrol Numunesinin Yüzdesi Olarak	Dayanım MPa		Hidratasyon Isısı J/gr	
										3 Günlük	90 Günlük	3 Günlük	28 Günlük
Pümsit	1	55.0	44.5	0.86	395	50.0	6.7	1.1	26.75	3.3	14.8	108	238
	2	55.0	71.0	0.65	890	44.5	6.2	0.8	15.15	3.3	16.0	134	217
	3	55.0	101.0	0.57	2543	44.5	6.3	0.7	13.70	3.2	17.0	108	184
	4	55.0	130.5	0.52	5467	50.0	6.0	0.5	17.00	2.7	16.9	125	192
Diatomit	1	55.0	35.5	0.92	317	44.5	6.8	1.1	1.45	3.1	12.5	205	317
	2	55.0	47.5	0.80	362	37.5	6.6	0.4	3.50	3.9	13.5	175	280
	3	55.0	59.5	0.76	735	44.5	6.2	0.2	1.20	3.7	15.0	180	272
Kontrol		112.0	-	0.77	283	44.5	6.6	7.5	1.00	7.0	14.7	255	380

2.7.2. Uçucu Küllerin Donma - Çözülme Üzerindeki Etkileri

Soma uçucu külü kullanarak üretilen betonların donma - çözülme etkisinde mekanik özelliklerini değerlendirmek amacıyla yapılan deneysel çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Beton üretiminde çimento yerine ağırlıkça % 10 - 20 oranında (30 - 60kg/m³) uçucu kül kullanıldığında normal betonlara eşdeğer dayanım değerleri elde edilmiştir. Ancak uçucu kül oranı arttıkça dayanımda azalma meydana gelmiştir. Aynı şekilde numuneler üzerinde donma - çözülme etkisindeki dayanımların gelişimini belirlemek için okunan ultra ses geçiş süreleri değerleri de dayanımın uçucu kül miktarı artışına bağlı olarak azalma eğilimi göstereceğini doğrulamıştır.

Betonda, erken yaşlarda uçucu kül miktarı artışı su emme miktarını aşırı bir şekilde arttırırken, betonun yaşı ilerledikçe bu miktar azalmıştır.

Üretilen beton numunelerinin donma - çözülme etkisinde uçucu kül oranı arttıkça dayanımda görülen ilişkinin tersine elastisite modüllerinde artma eğilimi görülmüştür. Dolayısıyla uygulanan donma - çözülme çevrimlerine göre karışımda 30 - 60kg/m³ arasında uçucu kül kullanılması ile üretilen betonların da donmaya karşı dayanıklılık göstereceği söylenebilir (Ünal O., Uygunoğlu T., 2004).

2.7.3. Silis Dumanının Donma - Çözülme Üzerindeki Etkileri

Betonun donma - çözülme etkisine karşı direnci geçirimsizliği ve boşluk yapısı ile yakından ilişkilidir. İyi beton yapım kurallarına uyulması (düşük s/ç oranıtısı, iyi sıkıştırma ve etkin kür) ve kimyasal katkıları yolu ile hava sürüklenmesi alınacak başlıca önlemlerdir.

Saucier % 15 silis dumanı katkılı, yüksek dayanımlı betonlarda 28 günlük kür sonunda ASTM C 666 metodunu uygulayarak %95 gibi yüksek bir dayanıklılık faktörü elde etmiştir (Saucier, 1984). Gene yüksek dayanımlı (s/b=0.35) ve % 10, 15 ve 20 oranlarında silis dumanı içeren, 14 gün kür edilmiş betonlarda da dayanıklılık faktörü %90'ı geçerken katkısız kontrol betonunda %56'da kalmıştır (Hooton, 1993). Uçucu kül ve silis dumanı katkılı yüksek dayanımlı betonlarda dayanıklılık faktörü

2. PUZOLANLARIN BETON ÖZELLİKLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN DETAYLI İNCELENMESİ

Uygar GÜNDESLİ

sırası ile %98 ve %96 olmuştur (Luther, M. ve Hansen, W., 1989). Bir grup araştırmacıya göre s/b oranı 0.25 iken silis dumanı %30'a varan katılma oranlarında donma - çözülme direncini olumlu etkilemekte, ancak daha yüksek s/b oranlarında etki olumsuz olmaktadır (Yamato, T., Emoto, Y. ve Soeda, M., 1986). Başka bir çalışmada da 14 gün kür edilmiş betonlarda silis dumanı katkısının s/b oranından bağımsız olarak olumsuz sonuçlarına değinilmektedir (Malhotra, V.M., Painter, K.M. ve Bilodeau, A., 1987).

Hava katkılı ve s/b oranı 0.40 olan betonlarda çimentonun %20 - %30'u yerine katılan silis dumanı donma - çözülme direncini düşürmüştür. Silis dumanı %5 oranında katıldığında ise az bir miktar olumlu etki gözlenmiştir. Geçirgenliği az olan silis dumanlı hamurlarda oluşan hidrolik basıncın olumsuz etkiye neden olduğu ileri sürülmektedir (Carette, G.G. ve Malhotra, V.M., 1983). Ayrıca, düşük s/b oranlı betonlarda silis dumanı katkısı arttıkça hava sürüklenmesi zorlaşmakta ve hava kabarcıkları arasındaki gerekli kritik mesafenin de daha küçük olması gerekmektedir. Uygun miktarda hava sürüklenmiş betonlarda silis dumanı katkısının olumsuz etkisi pek görülmemektedir (Malhotra, V.M., Painter, K.M. ve Bilodeau, A., 1987). Hava katkılı veya katkısız betonlarda çimentonun %7.5 veya %15'i yerine katılan silis dumanının donma - çözülme direnci üzerindeki etkisi s/b oranına bağlı olarak değişebilmektedir. Olumlu etki s/b oranı 0.60 olduğunda az, 0.45 olduğunda ise daha fazladır. Yüksek dayanımlı (s/b=0.32) betonlarda ise etki olumsuzlaşmaktadır (Hooton R.D. ve McGrath, P., 1991).

Özet olarak, silis dumanı katkısının betonda donma - çözülme direnci üzerindeki etkisi konusundaki araştırmalardan çelişkili sonuçlar alınmaktadır. Bunda kullanılan malzeme özellikleri, beton karışımı, kür seviyesi ve hava katkısı gibi parametrelerdeki farklılıklara ilaveten uygulanan deney metodu da rol oynamaktadır.

2.7.4. Yüksek Fırın Cürufunun Donma - Çözülme Üzerindeki Etkileri

Benzer mukavemet ve hava içeriğinde, Portland çimentolu betonlar ile cüruf katkılı betonların donma - çözülme dirençleri arasında az bir farklılık vardır. Ancak %60 ve daha yukarısı gibi yüksek cüruf ikame oranlarındaki hava katkısız betonlar, Portland çimentolarına göre daha düşük bir dayanıklılık sergilemektedirler. Normal şartlarda, betonda yüksek fırın cüruflarının kullanımı, hava sürükleyici katkıların etkinliğine zarar vermemektedir (Bilim C., 2006).

Yüksek Fırın Cürufllu çimentoların betonların donma - çözülme direncine etkileri, dayanım ve betonun hava miktarı sabit tutulduğu sürece, portland çimentolarınıninkinden farklı değildir. Ancak, “cüruf miktarı” çok yüksek olduğu takdirde, az bir miktar düşüş görülebilir (Virtanen, J., 1989).

Öte yandan, yüksek fırın cürufu kullanımının beton içindeki gözenek boyutlarında, gerek fiziksel gerekse hidrasyon sonucunda, azalmaya neden olması betonun donma - çözülme direncini yükselttiği görüşü de öne sürülmektedir (Pigeon, M. ve Regourd, M., 1989).

Yapılan tüm araştırmalarda hemfikir olunan bir sonuç cürufllu çimentoların, betonda sabit bir hava miktarı sağlamak için, portland çimentolarına göre daha fazla hava sürükleyici katkıya ihtiyaç gösterdikleri hususudur (Regourd, M., 1986; Virtanen, J., 1989; Pigeon, M. ve Regourd, M., 1989; Malhotra, V.M., 1989).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Önceki yapılan çalışmalar incelendiğinde şu sonuçlara varılmıştır;

- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirilmesi sonucunda taze betondaki işlenebilirliğin: Doğal puzolan ikamesiyle genel olarak fazla değişmediği söylene de işlenebilirliği azalttığı gözlemlenmiştir. Uçucu kül ve yüksek fırın cürufu ikamesiyle işlenebilirliğin arttığı, silis dumanı ikamesiyle işlenebilirliğin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirilmesi sonucunda beton basınç dayanımının: Doğal puzolan ikamesiyle dayanımın erken yaşlarda düştüğü fakat iyi kür edildiğinde dayanımı artırabileceği gözlemlenmiştir. Uçucu kül ikamesinin de doğal puzolan ikamesine benzer olarak erken yaşlarda dayanımı azalttığı ve normal betona göre daha uzun kür edilme zamanı istediği gözlemlenmiştir. Silis dumanının ikamesiyle dayanımın arttığı gözlemlenmiştir (Silis dumanı ilavesiyle harçların basınç ve eğilme dayanımlarının arttığı ortak kanı olsa da optimum yer değiştirme oranı hakkında değişik sonuçlar elde edilmiştir, kesin bir yargıya varılamamıştır bu konu hakkında çalışmaların devam ettirilebileceği düşünülmektedir.). Yüksek fırın cürufu ikamesinin betonda erken yaşlarda nispeten düşük, geç yaşlarda ise daha yüksek beton dayanımına sebep olduğu gözlemlenmiştir.
- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirilmesi sonucunda rötrenin: Doğal puzolan ikamesiyle kuruma büzülmesini küçük bir miktar artırdığı gözlemlenmiştir. Uçucu kül ikamesinin kuruma rötresini azalttığı gözlemlenmiştir. Silis dumanı ikamesiyle betondaki toplam rötrenin önemli derecede etkilenmediği fakat karışımdaki silis dumanı oranı arttıkça otojen rötrenin de arttığı gözlemlenmiştir. Yüksek fırın cürufunun ikamesiyle rötreyi portland çimentosu kullanıldığı durumlardan daha değişik etkilemediği gözlemlenmiştir.
- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirmesi sonucunda hidrasyon ısısının: Doğal puzolan ikamesiyle düştüğü gözlemlenmiştir. Uçucu kül ikamesinin betonun hidrasyon ısısına etkileri hakkında yeterli çalışma olmamakla

beraber uçucu küllerin özellikle baraj yapımında, kütle betonlarında ortaya çıkan yüksek ısıları kontrol etmede kullanıldığı gözlemlenmiştir (Uçucu kül ikamesinin hidrasyon ısısını bazı araştırmacılara göre azalttığı, bazı araştırmacılara göre de arttırdığı öne sürülse de bu konuda yeterli çalışma olmadığı gözlemlenmiştir ve bu konudaki araştırmaların devam ettirilmesi gerektiği düşünülmektedir.). Silis dumanı ikamesiyle hidrasyon ısısının bazı araştırmacılar ilk günlerde arttığını, sonraları ise azalttığını belirtmekte iken; bazı araştırmacılar ise silis dumanlı betonlarda ileri yaşlarda toplam ısının arttığını belirtmektedirler (Bu konuda çelişkili sonuçlara varıldığından kesin bir yargıya ulaşabilmek için çalışmaların devam ettirilmesi gerektiği düşünülmektedir.). Yüksek fırın cürufu ikamesi ise hidrasyon ısısını azaltarak, hem maksimum beton sıcaklığını düşürdüğü hemde bu maksimum sıcaklığa erişilen süreyi azalttığı gözlemlenmiştir.

- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirmesi sonucunda aşınmaya karşı direncin: Doğal puzolan ikamesiyle bir kararlılık göstermediği görülmüştür (Bu konu hakkında çalışmaların devam ettirilmesi gerektiği düşünülmektedir.). Uçucu kül ikameli betonun aşınma direncinin aynı basınç dayanımına sahip betona göre daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Silis dumanının belirli oranlarda ikamesi ile betonun aşınma direncini arttırdığı görülmüştür. Yüksek fırın cürufunun ikamesinden sonra uygun ve yeterli kür uygulanırsa aşınma direncinin bir miktar artacağı aksi durumda aşınma direncinin azalacağı gözlemlenmiştir.
- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirmesi sonucunda sülfat direncinin: Doğal puzolan, uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu ikamesiyle arttığı gözlemlenmiştir. Ancak silis dumanı ikamesiyle betonun, magnezyum sülfata karşı direncinin azaldığı gözlemlenmiştir.
- Çimentonun belirli oranlarda yer değiştirmesi sonucunda donma - çözünme direncinin: Doğal puzolan, uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufunun ayrı ayrı ikame edilmesi sonucunda, betona uygun miktarda hava sürüklenmesi şartı ile donma - çözünme direncinin çok fazla değişmediği gözlemlenmiştir.

Gelişmekte olan ülkemiz için yatırım sektörünün lokomotifi sayılan inşaat sektörünün her dalında çimento kullanılmaktadır. Çimentonun kaliteli oluşu insanoğlunun geleceğinin de teminat ve garantisi sayılmaktadır. Kaliteli çimento ile bilinçli olarak yapılan yapılar, daha sağlam ve daha uzun ömürlü olacağından israfın da önüne geçilmiş olunur. Çimentonun daha ucuz elde edilebilmesi yurt ekonomisine büyük katkı sağladığı gibi yatırım sektörünün teşvik edilmesinde de büyük rol oynamaktadır.

Çimentoyu ucuz üretebilmenin bir yolu da katkı maddelerinin kullanılması ile mümkündür. Bu katkı maddelerinin başında da puzolanik maddeler gelir. Türk Standartları'nda belirtilen normlara uymak şartıyla üretilen ve bilinçli olarak yerli yerinde kullanılan puzolanlar ile elde edilen çimento ile yapılan betonlar hem daha ucuz hem daha sağlam olacağı düşünülmektedir. Ülkemiz puzolan bakımından da çok zengin bir ülkedir. Yeter ki faydalanılması bilinsin.

KAYNAKLAR

- AITCIN, P.C., LAPTANTE, P., 1990. Long-Term Compressive Strength of Silica Fume Concrete. *J. Materials in Civil Engineering*, 3 (3), pp.164-170.
- AKÇAÖZOĞLU K., 2007. Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısalma Üzerindeki Etkisi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 140s.
- AKMAN M.S. 1990, “Yapı Malzemeleri”, T.C. İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, Sayı 1408.
- AKMAN M.S. (1992): “Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi”, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, İstanbul.
- ARUNTAŞ, H. Y., 1996. Diatomitlerin Çimentolu Sistemlerde Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1-55.
- ASTM C 1012-95a: “Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution”, USA.
- ASTM C 311, 1994. Standart Test Method for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use a Mineral Admixtural Portland – Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standard.
- ASTM C 618 1994. Standart Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Naturel Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete. Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 618, “Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Portland Cement Concrete”, ASTM, Philadelphia (1991).
- ATİŞ C. D., “Yüksek Oranda Uçucu Kül Kullanımı ile Üretilen Betonun Aşınma Direnci”, *Teknik Dergi* Cilt 11, Sayı 4, Ekim 2000.
- ATİŞ C. D., Beton Katkı Malzemeleri. Ders Notu. Çukurova Üniversitesi, Balcalı-Adana. (yayınlanmamış).
- BARADAN B., YAZICI H, ÜN H. (2002): “Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)”, D.E.Ü. Müh. Fak. Yayın No 298, İzmir.

- BEAGLE, E. C. (1978), "Rice Husk Conversion to Energy", FAO Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- BENTUR, A, BONEN, D., GOLDMEN, A, 1993. Discussion of a paper by Chong, X. At all Roll of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete ACI Material Journal, pp. 376.
- BHANJA, S., SENGUPTA, B. 2005. Influence of Silica Fume on The Tensile Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete. ACI Material Journal, pp.376.
- BİLİM, C., 2001. Afşin - Elbistan Uçucu Külünün Beton İçinde Kullanılabilirliği ve Hızlandırılmış Kür Uygulaması. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antakya, 128s.
- BİLİM C., 2006. Yüksek Fırın Cürufu Katkısının Çimento Tabanlı Malzemelerde Kullanılabilirliği. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 206s.
- BONEN, D., 'A Microstructural Study of Effect Produced by Magnesium Sulfate on Plain and Silica-Fume Bearing Portland Cement Mortars', Cement and Concrete Research, v.23, n.3, 541-553, 1993.
- CARETTE, G.G. ve MALHOTRA, V.M., 'Mechanical Properties, Durability and Drying Shrinkage of Portland Cement Concrete Incorporating Silica Fume', ASTM Concrete Aggregates, v.5, n.1, 1-3, 1983.
- CARETTE, G.G., MALHOTRA, V.M., AITCIN, P.C., 1987. Preliminary Data on Long - Term Strength Development of Condensed Silica Fume Concrete. Canmet Int. Workshop on Condensed Silica Fume in Concrete, Montreal.
- CARLSSON, M., HOPE. ve PEDERSEN, J., 'Use of Condensed Silica Fume in Concrete', ACI SP-91, v.2, 1013-1030, American Concrete Institute, Detroit, 1986.
- CHENG-YI, 1985. Cement and Concrete Research. Vol. 15, no. 2, pp. 285-94. 1985
- Chindaprasirt P., Homwuttiwong S., Sirivatnanon V. (2004): "Influence of Fly Ash.

- COHEN M.D. ve BENTUR, A., ‘Durability of Portland Cement-Silica Fume Pastes in Magnesium Sulfate and Sodium Sulfate Solutions’ ACI Materials Journal, v. 85, n.3, 148-157, 1988.
- ÇELİK E., TEKMEK Ç., Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. Cilt: 6 Sayı: 2 s. 81-93 Mayıs 2004.
- DAYI M., 2006. Doğal ve Yapay Puzolanların Kompoze çimento Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 77s.
- DAVIS R.E. ve diğerleri, ‘Properties of Mortars and Concretes Containing Portland Puzolan Cements’, ACI, 32, pp80-114-10.
- DAVIS R.E., ‘A Review of Pozzolanic Materials and Their Use on Concretes’, Symposium on Pozzolanic Materials in Mortars and Concretes, STP 99, ASTM, 1950 – 10. Kaynaktan alınmıştır.
- DUVAL, R, KADRI, E.H., 1998. Influence of Silica Fume on The Workability and the Compressive Strength of High-Performance Concretes. Cement and Concrete Research, v. 28, n.4, pp. 533-547.
- DPT Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Özel İhtisas Komisyonu, “Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri”, Ankara, 2:14-27 (2001).
- DPT Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, “Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Toprak Sanayi Hammaddeleri IV (Çimento Hammaddeleri) Çalışma Grubu Raporu”, Ankara, DPT: 2614 – ÖİK: 625, (2001).
- EKİNCİ, C.E. ve YEĞİNOBALI, A., ‘Silis Dumanlı Betonlarda Sürtünme Yolu İle Aşınma Kaybı’, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler II. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, 359-368, İstanbul, 1995.
- EKİNCİ, C.E., 1995. Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesi Silis Dumanlarının Çimento ve Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ, 204s.
- ERDOĞAN, T. Y., 1995. Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu ve Kullanımı. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, s. 1-13.

- ERDOĞAN, T.Y., 1997. Admixtures for Concrete. The Middle East Technical University Press, Ankara, 188s.
- ERDOĞAN, T.Y., 2003. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık A.Ş., Ankara, 741s.
- ERDOĞAN, T.Y., 2004, 'Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri', Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul, 975-92122-1-8.
- ERDOĞDU K., TOKYAY M., TÜRKER P., Traslar ve Traslı Çimentolar, TCMA, Ankara, Turkey, 9-15, 2001.
- ERDOĞDU K., 'Effects of Pozzolanik Additions on Grindability and Some Mechanical Properties of Pozzolanik Cements of Different Finenes Values', Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 1996.
- GANI, M. S. J., "Cement and Concrete", Faculty of Engineering Monash University Clayton, Victoria, Australia, 83-90 (1997).
- GEMMA, R. S. (2005), "Strength Development of Concrete with Rice-Husk Ash", Cement and Concrete Composites, 158-160.
- GOLDMAN, A., BENTUR, A., 1989. Bond Effects in High Strength Silica Fume Concretes. ACI Materials Journal, Detroit 86 859, s.440-447.
- GRZYMEK J. ve diğerleri, 'Hydration of Cements with Pozzolanik Additions', Proceedings of 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 1980, IV, pp 66-71 – 10. Kaynaktan alınmıştır.
- HEWLET P.C., Lea's Chemistry of Cement and Concrete, John Wiley and Sons Inc., Fourth Edition, New York, 1998.
- HOOTON R.D. ve MCGRATH, P., 'Influence of Self-Desiccation on Non-Air Entrained Silica Fume Mortars on Resistance to Freezing and Thawing', CANMED/ACI Workshop on Use of Silica Fume in Concrete, Washington, D.C., 1-13, 1991.
- HOOTON, R.D., 'Influence of Silica Fume Replacement of Cement on Physical Properties and Resistance to Sulfate Attack, Freezing and Thawing and Alkali Silica Reactivity', ACI Materials Journal, v.90, n.143-161,1993.

- JAHREN, P., 1993. Use of Silica Fume in Concrete. ACI Sp Publication SP-79, Detroit, s.625-645.
- KARAHAN O., 2006. Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 256s.
- KERN E., Folgerungen aus der betontechnischen Entwicklung der letzten 25 Jahre für die Baustelle, Beton und Stahlbetonbau, 12, 320-324, 1985.
- KHAYET, K.H., AITCIN, P.C., 1992. Silica Fume in Concrete: an Overview. ACI Sp Publication S132, Detroit, pp.835-872.
- LARBI, J.A., FRAAY, A. L. A., BIJEN, J.M., 1990. The Chemistry of The Porefluid of Silica Fume-Blended Cement Systems. Cement and Concrete Research 20 (4), pp.506-516.
- LECKEBUSH, R., "Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı", Çimento Araştırma ve Geliştirme Merkezi, Ankara, 1-10 (1984).
- LUDWING U., SCHWIETE H.E., 'Kalk Bindung und Neubildungen bei den Traskalk Reaktioen, Zement Kalk Gips, 16,pp 421-431 – 1.Kaynaktan alınmıştır.
- LUTHER, M. ve HANSEN, W., 'Comparison of Creep and Shrinkage of High-Strength Silica Fume Concretes with Fly Ash Concretes of Similar Strength', ACI SP-114, v.1, 573-591, American Concrete Institute, Detroit, 1989.
- MALHOTRA, V.M., 1997. Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook, Nawy Edward G. CRC Pres, New York, pp.27-36.
- MALHOTRA, V.M., PAINTER, K.M. ve BILODEAU, A., 'Mechanical Properties and Freezing and Thawing Resistance of High-Strength Concrete Incorporating Silica Fume', ASTM Concrete Aggregates, v.9, n.2, 65-79, 1987.
- MALHOTRA, V.M., RAMACHANDRAN, V.S., FELDMAN, R.F., AITCIN P.C., 1987. Condensed Silica Fume in Concrete. CRC Pres Inc., Florida.

- MASSAZZA F., 'Chemistry of Pozzolanic Additions and Mixed Cements', Proceedings of 6th International Congress on the Chemistry of Cements, Moscow, 1974 – 10. Kaynaktan alınmıştır.
- MASSAZZA, F., Pozzolanlar, Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları, Seminer, TÇMB, Ankara, 41 – 79 (1989).
- MATHER B., "Use of Concrete with low PC Content in Combinations with Pozzolans and other Admixtures in Construction of Concrete Dams", ACI 71, pp589-599 – 10.
- MATHER, K., 'Current Research in Sulfate Resistance at the Waterways Experiment Station', ACI SP-77, 63-74, American Concrete Institute, Detroit, 1982.
- MAZLOOM, M., RAMEZANIANPOUR, A.A., BROOKS, J.J., 2004. Effect Of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Cement & Concrete Composites, v. 26, pp.347-357.
- MAZLUM F., 1989. Piriç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul.
- MCDONALD, J.E., 'Properties of Silica Fume Concrete', Technical Report REMR-CS 32, U.S. Army Engineer Waterways Exp. Sta., Vicksburg, Virginia, 1991.
- MEHTA P.K., 'Studies on Blended Portland Cements Containing Santorin Earth', Cement and Concrete Research, 1981, No.4, pp507-518.
- MEHTA P.K., MONTEIRO P.J.M. (1997): "Concrete Microstructure, Properties and Materials", Indian Edition, India.
- MEHTA, P.K., 'Studies on Chemical Resistance of low Water/Cement Ratio Concretes', Cement and Concrete Research, v. 15, n.6,696-978,1985.
- MINDESS, S. And YOUNG, J.F., "Concrete", Prentice-Hall Inc., New Jersey, 41-94 (1981).
- MONTEIRO P.J.M., KURTIS K.E. (2003): "Time to Failure for Concrete Exposed to Severe Sulfate Attack", Cement and Concrete Research, Vol. 33, p. 987-993.
- NEMUTLU, S. (1963), "Çeltik Kapçığı Araştırmaları", İmar ve İskan: Bakanlığı Yayınları, No:5-16, Ankara.

- NEVILLE, A.M., “Properties of Concrete”, Longman Scientific & Technical, İngiltere, 36 – 115 (1981).
- NEVILLE A.M. (1997): “Properties of Concrete”, Final Edition, Longman Ltd., England.
- NEVMAN, J., CHOO, B. S., 2003. Adv Anced Concrete Technoloji. Constituent Materials, Butterworth-Heinemann, Oxfort.
- OKUCU, A., 1998. Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri. Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Balıkesir, 1-54s.
- ÖLMEZ, H. (1988), “Endüstriyel Tarımsal Atıkların Çimento Üretiminde Değerlendirilmesi”, On Dokuz Mayıs Üniversitesi Yayınları Fen Edebiyat Fakültesi, Samsun, 80 s.
- ÖZCAN, F., (2005). Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 173s.
- PIGEON, M. ve REGOURD, M., “Freezing-Thawing Durability of Three Cements with Various Granulated Blast Furnace Slag Contents” 3rd Int. Confr. On Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI Sp. Publ.SP-114, C.2,5. 979-997, Trondheim, 1989.
- POPOVIC, K., UKRAINCIK, V. ve DJUREKOVIC, A., ‘Improvement of Mortar and Concrete Durability by the use of Condensed Silica Fume’, Durability of Building Materials, v.2, n.2, 171-186, 1984.
- POSTACIOĞLU, B., “Bağlayıcı Maddeler”, Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul, 5-38 (1986).
- PRINCE, W.H., “Puzolans – A Rview”, ACI Journal, Detroit, 225 – 232 (1975).;
- ŞİMŞEK, O., “Beton ve Beton Teknolojisi”, Seçkin Yayınevi, Ankara, (2004).
- RAMACHANDRAN, V. S., BEAUDOIN, JAMES J., “Concrete Admixtures Handbook”, Noyes Publication, New Jersey, 42-47 (2001).

- RAO, G.A. 2003. Investigations on The Performance of Silica Fume-Incorporated Cement Pastes and Mortars. Cement and Concrete Research 33, pp. 1765-1770.
- REGOURD, M., "Slags and Slag Cements", Cement Replacement Materials (Ed. R.N. Swamy), s. 73-99, Surrey Univeristy Press, 1986.
- RUDOLF, D., "Türkiye'deki Doğal Puzolanların Çimento Katkı Maddesi Olarak Kullanımı Üzerine İncelemeler", Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara (1984).
- SAUCIER, K., 'High Strenght Concrete for Peace Keeper Facilities' Mis. Paper SL-84-3, U.S. Army Engineer Waterway: Exp. Sta., Vicsburg, MS, 1984.
- SELLOVOLD E.J., RADJY, F.F., 1983. Condenced Silica Fume (Mikrosilica) in Concrete: Water Demand and Strength Development. ACI SP 132, 1, pp.677-694.
- SHACLOC B.W., Kenee P.W., 'The Effect of Mix Proportions and Testing Conditions on Drying Shrinkage and Moisture Movement of Concrete ', Cement and Concrete Association Tech. Rep. TRA/266, Londra, 1957 – 28. Kaynaktan alınmıştır.
- SHANNAG M.J., Yeğınobalı A., "Properties of Pastes, Mortars and Concretes Containing Naturel Pozzolan", Cement and Concrete Research, 1995,25.
- SHANNAG, M.J., 2000 High Strength Concrete Contening Naturel Pozzolan and Silica Fume. Cement & Concrete Composites, v.22, pp.399-406.
- SHOYA M., 'Drying Shrinkage and Moisture Loss of Superplasticizer Admixed Concerete of Low Water Cement Ratio', Transactions of the japan Concrete Institute, 11-5, pp103 – 110 – 28. Kaynaktan alınmıştır.
- SNELL, L.M. and SNELL, B.G., "The Early Roots of Cement", Concrete International, 83-85 (2000).
- SORAKA I.,'Using Powderes Scoria in Concrete Mixes', Building Research and Practice 4, pp 296-303 – 10. Kaynaktan alınmıştır.
- STUART K.D., ANDERSON D.A., CADY P.D., 'Compressive Strength Studies on Portland Cement Mortars Containing Fly Ash and Superplastisizer', Cement and Concrete Research, 1980, 10, pp823-832.

- ŞİMŞEK, O., 2000. Yapı Malzemesi 2. Ankara Üniversitesi Basımevi, s.2-90.
- TARGAN Ş., OLGUN A, ERDOĞAN Y., SEVİNÇ V., Influence of Naturel Puzzolan, Colemanite or Waste, Bottom Ash and Fly Ash on the Properties of Portland Cement, Cem. And Conc. Res. 33, 1175-1182, 2003.
- SWAMY R.N., “Cement Replacement Materials”, Blackie & Son Ltd., Londra, 1986.
- TAŞDEMİR, C., 1996. Mikrofiller Malzemelerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.175-187.
- TAŞDEMİR, C., AKYÜZ, S., TAŞDEMİR, M.A., KOCA, C., 1994. Silis Dumanı İçeren yüksek Mukavemetli Betonların Basınç Altındaki Davranışı. 3. Ulusal Beton Kongresi Hazır Beton Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s.175-187.
- TOKYAY ve ERDOĞDU, 2003, ‘Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar’, TÇMB/AR-GE, Ankara, 975-8136-03-08.
- TOKYAY, M., 2003. Cürüfla ve Cürüflü Çimentolar. Araştırmaların Gözden Geçirilmesi ve Durum Değerlendirmesi Raporu, TÇMB, Ankara, 47s.
- TS 25, 1975. Tras. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 5s.
- TS EN 197-1, 2002, ‘Çimento- Bölüm 1 : Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri’, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 91.100.10.
- TS EN 450-1, 2005. Uçucu Kül – Betonda Kullanım İçin- Bölüm 1: Tarifler, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 35s.
- TUTHILL L.H., CORDON W.A., ‘Properties and Uses of Initially Retarded Concrete’, ACI, 52, pp273-286 – 10.
- TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ, “Beton Kullanıcıları İçin Teknik Bilgiler Kılavuzu”, Kavacık – İstanbul, 40s.
- ÜNAL O. ve UYGUNOĞLU T., Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 02 – 04 Haziran 2004 Zonguldak, Türkiye.
- ÜN, H., PAÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemeleri Ders Notları, Denizli, 2007.

- VIRTANEN, J., "Freez-Thaw Resistance of Concrete Containing Blast-Furnace Slag, Fly Ash or Condensed Silica Fume", 3rd Int. Confr. on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete, ACI Sp. Publ. SP-114, C.2, s.923-941, Trondheim, 1989.
- WAINWRIGHT, P.J., 'Properties of Fresh and Hardened Concrete Incorporating Slag Cements', Cement Replacement Materials (Ed. R.N. Swamy), s.100-133, Surrey University Press, 1986.
- XIAOFENG, C., 1993. Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar and Concrete. ACI Materials Journal, Detroit, 89 (4), pp. 375-388.
- YALNIZ H., 2006. Çimento Sanayi Hammadde Ocağı Üretim Planılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İzmir, 178s.
- YAMATO, T., EMOTO, Y. ve SOEDA, M., 'Strength and Freezing and Thawing Resistance of Concrete Incorporating Condensed Silica Fume', ACI SP-91, v.2, 1095-1117, American Concrete Institute, Detroit, 1986.
- YAZICI H., Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi. Cilt: 8 Sayı: 1 s. 51-58 Ocak 2006.
- YEĞİNOBALI, A, 1993. Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s.149-167.
- YEĞİNOBALI, A., ve DİLEK, F.T., 'Silis Dumanı Katılmış Çimento Harçlarının Sülfat Direnci', TÜBİTAK Proje No: INTAG-608 Sonuç Raporu, Ankara, 1994.
- YEĞİNOBALI, A., ERDOĞDU, K., 1999. Çimento ve Betonda Mineral Katkılar. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Çimento ve Beton Araştırma-Geliştirme Enstitüsü Seminer Notları-4, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara, 18s.
- YEĞİNOBALI, A., 2003, 'Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı', TÇMB/AR-GE, Ankara, 975-8136-14-3.

- YEPREM, H. A., 2003. Dolomit Refrakter Üretiminde Kullanılacak Yerli Bir Dolomitin Sinterlenme Karakterizasyonu. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul, 144s.
- YILDIZ, E., 2006. Farklı Tipteki Puzolanların Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 79s.
- YOGENDRAN, V. Langan, B.W., Hague, M.N., Ward, M.A., 1987. Silica Fume in High Strength Concrete. ACI Materials Journal, Detroit, 84 (2), pp. 124-129.

ÖZGEÇMİŞ

1982 yılında Kahramanmaraş'ta doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kahramanmaraş'ta tamamladı. Erzincan Fen Lisesi'nde 2 yıl öğrenim gördükten sonra, lise öğrenimini Kahramanmaraş Özel Kahramankent Lisesi'nde başarıyla tamamladı. 2000 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat mühendisliği Bölümü'nü kazanarak Çukurova Üniversitesi Yabancı Diller Merkezi'nde bir yıl İngilizce eğitimi aldı. 2005 Haziran ayında lisans eğitimini başarıyla tamamlayarak İnşaat Mühendisi ünvanıyla mezun oldu. Aynı yıl, Çukurova üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Yüksek Lisans programına başladı. Aynı zamanda, 2005 Haziran ayında Adana'da özel bir şirkette şantiye şefi ünvanıyla 10 blok 230 daireden oluşan büyük bir konut inşaatına imzasını atarak, 2008 Mayıs ayında tüm projeyi başarıyla tamamladı. Halen Adana'da, lüks konutlar üreten özel bir şirkette, 7 blok 180 daire ve 5000 m² işyerinden oluşan inşaat, şantiye şefi ünvanıyla görevine ve Yüksek Lisans eğitimine devam etmektedir.