

**BAZI YAPAY PUZOLANLARIN HARÇLARIN BASINÇ
DAYANIMLARINA VE ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU
ÜZERİNE ETKİLERİ**

Serdar KORKMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ARALIK 2010
ANKARA**

Serdar KORKMAZ tarafından hazırlanan “BAZI YAPAY PUZOLANLARIN HARÇLARIN BASINÇ DAYANIMLARINA VE ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU ÜZERİNE ETKİLERİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

Tez Danışmanı, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Bu çalışma jürimiz tarafından oy birliği ile Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Hasbi YAPRAK

Kastamonu Meslek Yüksekokulu, K.Ü.

10/12/2010

Bu tez ile Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

.....

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serdar KORKMAZ

BAZI YAPAY PUZOLANLARIN HARÇLARIN BASINÇ DAYANIMLARINA VE ALKALİ SİLİKA REAKSİYONU ÜZERİNE ETKİLERİ

Yüksek Lisans Tezi

Serdar KORKMAZ

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Aralık 2010

ÖZET

Bu çalışmada Kırşehir-Kaman atık tuğla tozunun ve Muğla-Yatağan ilçesinde bulunan termik santral uçucu küllerinin çimento harcı içerisinde puzolanik katkı malzemesi olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla atık tuğla tozu, uçucu kül %5, %10, %15, %20 ve atık tuğla tozu+uçucu kül eşit oranlarda karıştırılarak %5, %10, %15, %20 oranlarında çimento yerine ikame olunmuştur. Üretilen çimento ikameleri ile hazırlanan 40x40x160 mm' lik harç numuneleri içme suyu kürü ve deniz suyu kürüne tabi tutulmuştur. Bu numunelerin 7, 28 ve 90 gün yaşlarındaki basınç dayanımı değerleri tespit edilmiştir. Ayrıca atık tuğla tozu %5, %10, %15 ve %20 oranlarında; uçucu kül 5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikame edilerek 25x25x285 mm boyutundaki harç çubukları üretilerek bu çubukların boy değişim değerleri ASTM C-1260 standardına göre tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlara göre atık tuğla tozu, uçucu kül ve atık tuğla tozu+uçucu kül ikameli harçların priz başlama ve priz sona erme sürelerinde uzama meydana gelmiştir. Deniz suyu kürünün numunelerin basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği gözlemlenmiştir. Uçucu külün basınç dayanımına etkileri diğer karışımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Üretilen karışımlarda Alkali-Silika Reaksiyonu etkilerinin ikame oranı arttıkça azaldığı görülmüştür.

Bilim Kodu : 714.1.143

Anahtar Kelimeler : Puzolan, Alkali Silika Reaksiyonu, Atık Tuğla Tozu,
Uçucu Kül, Basınç Dayanımı

Sayfa Adeti : 70

Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK

**THE EFFECTS OF SOME ARTIFICIAL POZOLANA MORTARS ON
COMPRESSIVE STRENGTH AND ALKALI SILICA REACTION**

(M.Sc. Thesis)

Serdar KORKMAZ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

December 2010

ABSTRACT

In this study, we researched employability of Kırşehir-Kaman waste brick powder and fly ash of thermal reactor in Muğla - Yatağan as pozzolanic ingredient in cement mortar. For that purpose, waste brick powder, fly ash was substituted by %5, %10, %15, %20 and both waste brick powder+fly ash equially were substituted by %5, %10, %15, %20 into cement mortar directly. The mortar samples in size of 40x40x160mm made of the cement mortars were exposed to drinking water cure and sea water cure. On the other, we produce mortar rods in size of 25x25x285mm, in which waste brick powder was substituted by %5, %10, %15, %20 and fly ash was substituted by %5, %10, %15, %20. Length change values of the rods was determined according to ASTM C-1260 Standards.

According to the results, after the usage of waste brick powder, fly ash and waste brick powder+fly ash together, the span between initial setting and completion of setting stringed out. We identified that sea water cure effects the compressive strength of the samples negatively. The effects of fly ash on compressive strength was identified higher than the other mixtures'. In mixtures, if proportion of substitution increases, the effects of Alkali Silica Reaction decreases.

Science Code : 714.1.143
Key Words : Pozzolana, Alkali Silica Reaction, Waste Brick Powder,
Fly Ash, Compressive Strength
Page Number : 70
Adviser : Assist. Prof. Osman ŞİMŞEK

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca benden yardımlarını esirgemeyen her konuda bana bilgi, beceri ve tecrübeleri ile destek olup ışık tutan sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK' e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca deneyler sırasında yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım H. Süleyman GÖKÇE' ye, öğrencilerim M. Baran BALÇIN, Orkun YERSEL ve Barış MATRAÇ' a, malzeme temininde yardımlarını esirgemeyen Şifa İNŞAAT firmasının yönetimine ve çalışanlarına da teşekkür ederim. Ayrıca her koşulda bana destek veren, yardım eden en değerli varlığım aileme de teşekkürlerimi borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Çimento.....	4
2.1.1. Çimentonun tanımı.....	4
2.1.2. Çimentonun üretimi	5
2.1.3. Çimento sektörünün günümüzdeki durumu	9
2.2. Puzolan.....	10
2.2.1. Puzolanın tanımı	10
2.2.2. Puzolanların sınıflandırılması	11
2.2.3. Puzolanların puzolanik aktivitesi ve standart değerleri	11
2.2.4. Puzolanların beton özelliklerine etkileri	14
2.3. Atık Tuğla Tozu	15
2.3.1. Tuğla hammaddeleri.....	15
2.3.2. Tuğla üretim aşamaları.....	16
2.3.3. Tuğla üretiminde oluşan atık malzeme miktarı.....	17

Sayfa

2.3.4. Atık tuğla tozunun kullanım alanları.....	17
2.3.5. Atık tuğla tozu ile yapılmış önceki çalışmalar	18
2.4. Uçucu Kül	18
2.4.1. Uçucu külün elde edilişi.....	19
2.4.2. Uçucu kül sınıfları.....	20
2.4.3. Atık uçucu kül miktarı	21
2.4.4. Uçucu külün özellikleri	22
2.4.5. Uçucu külün pozolanik özellikleri	26
2.4.6. Uçucu küllerin kullanım alanları.....	27
2.4.7. Uçucu kül ile yapılmış önceki çalışmalar	29
2.5. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR).....	32
2.5.1. Alkali Silika Reaksiyonu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar	34
3. MATERYAL VE METOT	36
3.1. Materyal	36
3.1.1. Çimento	36
3.1.2. Standart kum	37
3.1.3. Atık tuğla tozu.....	37
3.1.4. Uçucu kül	38
3.1.5. Su	39
3.1.6. Deniz suyu.....	40
3.2. Metot	40
3.2.1. Priz süresi ve hacim genişmesi özelliklerinin belirlenmesi.....	41

Sayfa

3.2.2. Çimento harçlarının hazırlanması ve dayanımının belirlenmesi	41
3.2.3. Alkali Silika Reaksiyonu numunelerinin hazırlanışı ve boy değişim ölçümleri	43
4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME	45
4.1. Yapay Puzolanların Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkileri	45
4.2. Basınç Dayanımı	48
4.2.1. Atık tuğla tozu, uçucu kül ve atık tuğla tozu+uçucu kül ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına etkileri	48
4.2.2. Atık tuğla tozu ikameli harç numunelerinin basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi	53
4.2.3. Uçucu kül ikameli harç numunelerinin basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi	55
4.2.4. Atık tuğla tozu-uçucu kül birlikte ikameli harç numunelerinin basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi	56
4.3. Atık tuğla tozu ve uçucu kül ikamesinin alkali silika reaksiyonuna etkisi	58
4.3.1. Atık tuğla tozu ikamesinin alkali silika reaksiyonuna etkisi	58
4.3.2. Uçucu kül ikamesinin alkali silika reaksiyonuna etkisi	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	61
5.1. Sonuçlar	61
5.2. Öneriler	62
KAYNAKLAR	63
ÖZGEÇMİŞ	69

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2. 1. Türkiye'deki çimento üretimi, ithalat ve ihracat değerleri	10
Çizelge 2. 2. Türkiye'deki kömürlü termik santraller	22
Çizelge 2. 3. Türkiye uçucu küllerinin fiziksel özellikleri.....	23
Çizelge 2. 4. Türkiye uçucu küllerinin kimyasal bileşimleri	25
Çizelge 2. 5. TS 639' da belirtilen uçucu külün kimyasal özellikleri.....	26
Çizelge 2. 6. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım alanları.....	29
Çizelge 3. 1. CEM I 42,5R özellikleri.....	36
Çizelge 3. 2. CEN Referans kumu tane büyüklüğü dağılımı	37
Çizelge 3. 3. Atık tuğla tozu ve uçucu kül özellikleri	38
Çizelge 4. 1. Çimento ve ikame katkıların priz başlangıcı, priz sonu ve hacimsel genleşme değerleri	45
Çizelge 4. 2. K, ATT, UK ve ATT+UK harçlarının basınç dayanımları	48
Çizelge 4. 3. ASTM C1260 sınır değerleri	58

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2. 1. Çimento üretimi akım şeması	6
Şekil 2. 2. Çimento üretimi	7
Şekil 2. 3. Çimento üretimi ve depolanması	8
Şekil 4.1. Karışım türlerinin priz başlangıcı ve priz sonu süreleri.....	46
Şekil 4.2. Karışım türlerinin kıvam suyu artış yüzdeleri	47
Şekil 4. 3. Farklı kür şartlarında 7 günlük numunelerin basınç dayanımları	49
Şekil 4. 4. Farklı kür şartlarında 28 günlük numunelerin basınç dayanımları	50
Şekil 4. 5. Farklı kür şartlarında 90 günlük numunelerin basınç dayanımları	51
Şekil 4. 6. İçme suyu kürüne tabi tutulan numunelerin kontrol numunelere göre basınç dayanımı artış-azalışı (%)	52
Şekil 4. 7. Deniz suyu kürüne tabi tutulan numunelerin referans numunelere göre basınç dayanımı artış-azalışı (%)	53
Şekil 4. 8. Farklı kür şartlarında 7, 28 ve 90 günlük atık tuğla tozu karışımlarının basınç dayanımları	54
Şekil 4. 9. Farklı kür şartlarında 7, 28 ve 90 günlük uçucu kül karışımlarının basınç dayanımları	55
Şekil 4. 10. Farklı kür şartlarında 7, 28 ve 90 günlük atık tuğla tozu+uçucu kül karışımlarının basınç dayanımları	57
Şekil 4. 11. ATT ikameli numunelerde günlere göre boy değişimi	59
Şekil 4. 12. U ikameli numunelerde günlere göre boy değişimi	60

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 3. 1. Atık tuğla tozunun mikro yapısı	38
Resim 3. 2. Uçucu külün mikro yapısı	39
Resim 3. 3. ELE marka otomatik harç karıştırma mikseri	41
Resim 3. 4. Basınç dayanımı cihazı	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Kısaltmalar	Açıklaması
ASR	Alkali Silika Reaksiyonu
ATT	Atık Tuğla Tozu
ATT5	% 5 Atık Tuğla Tozu ikameli
ATT10	% 10 Atık Tuğla Tozu ikameli
ATT15	% 15 Atık Tuğla Tozu ikameli
ATT20	% 20 Atık Tuğla Tozu ikameli
ATT+UK	Atık Tuğla Tozu + Uçucu Kül
ATT+UK5	Toplamda % 5 eşit oranda Atık Tuğla Tozu ve Uçucu Kül ikameli
ATT+UK10	Toplamda % 10 eşit oranda Atık Tuğla Tozu ve Uçucu Kül ikameli
ATT+UK15	Toplamda % 15 eşit oranda Atık Tuğla Tozu ve Uçucu Kül ikameli
ATT+UK20	Toplamda % 20 eşit oranda Atık Tuğla Tozu ve Uçucu Kül ikameli
DS	Deniz Suyu
ISIC	International Standards for Industrial Classification
İS	İçme Suyu
K	Kontrol
PÇ	Portland Çimentosu

Kısaltmalar	Açıklaması
TCMB	Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği
TS	Türk Standartları
TS EN	Türk Standartları European Norm
UK	Uçucu Kül
UK5	% 5 Uçucu Kül ikameli
UK10	% 10 Uçucu Kül ikameli
UK15	% 15 Uçucu Kül ikameli
UK20	% 20 Uçucu Kül ikameli

1. GİRİŞ

Bir yapıdan ekonomiklik, sağlamlık, estetik ve fonksiyonel olma özellikleri beklenir. Bu özellikleri sağlayacak şekilde yapı tasarlanır. Bu sebeple beton ve çelik günümüzde en çok kullanılan yapı malzemeleridir. Betonarme yapılar basınç ve çekme kuvvetlerini karşılayabilir özelliğe sahiptir. İstenilen biçim ve boyutlarda oluşturulabilmesi, malzeme temininin kolaylıkla yapılabilir olması da betonarmeyi ekonomik kılmaktadır.

Günümüzde beton üretiminde, maliyetin azaltılması ve daha yüksek bir performans elde edilmesi açısından pek çok araştırmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Diğer taraftan çağımızda hızlı bir endüstrileşme olmakta ve buna paralel olarak gerek malzeme ve gerekse enerji tasarrufuna verilen değerde artmaktadır. Bu endüstrileşmeyle birlikte atık olarak doğaya terk edilen ve günden güne doğanın daha çok kirlenmesine neden olan birçok yan ürün oluşmaktadır. Atık olarak doğaya terk edilen bu ürünlerin büyük bir bölümü malzeme özellikleri açısından inşaat sektöründe değerlendirilebileceği yapılan araştırmalarla belirlenmiştir. Mevcut malzemelerin geliştirilmesi ve atıl malzemelerin değerlendirilmesi mühendislik adına, bir tarafta ekonomiyi sağlayarak diğer taraftan çevreye verilen zararı önleyerek toplum için üzerine düşen görevi yerine getirmektir [Özcan, 1997].

Ülkemizde doğayı kirletmesi ve aynı zamanda inşaat endüstrisinde kullanım olanağı açısından en iyi örnek, elektrik enerjisi elde edebilmek amacıyla kullanılan genellikle yakıt olarak pulverize kömürünün kullanıldığı termik santrallerdir. Ülkemizde enerji üretiminin yarısından fazlası taş kömürü veya linyit ile çalışan termik santrallerden karşılanmaktadır. Bu üretim sonucunda elde edilen elektrik enerjisi ile birlikte atık yan ürünler olarak ortaya uçucu kül (UK) adı verilen çok ince taneler çıkmakta ve bunlar ya kuru olarak atık depolarına atılmakta ya da suyla karıştırmak suretiyle kül barajlarına pompalanmaktadır. Her iki durumda da çevrenin kirlenme riski vardır. Kimyasal kompozisyonu itibariyle betonun ana bağlayıcısı olan portland çimentosuna (PÇ) oldukça benzeyen ve puzolanik özelliğe sahip olan UK' lar, inşaat

sektöründe katkılı çimento ve beton üretiminde bağlayıcılık sağlayan malzeme olarak kullanılmaktadır. Gerek PÇ' nin bir kısmını oluşturarak katkılı çimento üretiminde gerekse beton yapımında kullanılan PÇ' nin bir miktarının yerine kullanılmasıyla hem çevresel problemlerin azaltılması sağlanmakta hem de beton maliyeti açısından küçümsenmeyecek bir ekonomi sağlanmış olmaktadır [Özcan, 1997].

Endüstriyel atık olarak görülen bir diğer malzeme de tuğla üretiminde açığa çıkan tuğla kırıkları ve parçalarıdır. Bu malzemeler genellikle daha ince boyutlarda kırılma işlemine tabi tutularak yollarda dolgu malzemesi, tuğla üretim aşamasında sürece hammadde olarak katma gibi yöntemlerle değerlendirilmektedir. Son yıllarda ise tuğla kırıklarının öğütülerek çimento içerisinde puzolanik katkı özellikleri irdelenmeye başlanmıştır. Bunun nedeni çimento miktarının atık v.b. ürünlerle düşürebilmektir. Böylece hem maliyet düşecek; hem de çevreye bırakılan atık miktarında azalma görülecektir.

Atıkların kullanılması ile çevre sorunları azalmakta, enerji tasarrufu ve ekonomi elde edilmektedir. Yeryüzündeki doğal yapı malzemeleri ve hammadde kaynaklarının azaldığı bir gerçektir. Bu sebeple bazı sanayi atıklarının kendilerine özgü özellikleri ile kullanıldıkları alanda teknik yönden de iyileştirmelerle, daha kaliteli ürünler elde etme çalışmaları devam etmektedir [Aruntaş ve Tokyay, 1996].

Bilindiği gibi çimento, beton üretiminde kullanılan en pahalı bileşen konumundadır. Çimentoların teknik özellikleri ve miktarı, betonun performansına ve ekonomisine etki etmektedir. Bu yüzden puzolanik malzemeler, betonun maliyetini azaltmak ve çeşitli özelliklerini iyileştirmek amacıyla doğrudan katkı olarak ya da çimentonun bir kısmını ikame etmek üzere betona katılmaktadır [Okucu, 1998].

Ülkemiz puzolanik malzemeler olarak geniş kaynaklara sahiptir. Ancak bu potansiyel yeterli düzeyde kullanılamamaktadır. En yaygın kullanım çimento endüstrisindedir [Okucu, 1998].

Bu çalışmada içme suyu (İS) kürü ve deniz suyu (DS) kürü uygulanan uçucu kül (UK), atık tuğla tozu (ATT) ve atık tuğla tozu+uçucu külün (ATT+UK) imento harcında puzolanik bir katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Ayrıca UK ve ATT ikameli numunelerde Alkali Silika Reaksiyonunun (ASR) gelişimi de incelenmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Çimento

Harç ve beton gibi çimentolu ürünler insanoğlunun yakın geçmişte en fazla kullandığı ve gelecekte en fazla kullanacağı yapı malzemesi olmakla beraber aynı zamanda özellikleri en az bilinen malzemelerdir.

2.1.1. Çimentonun tanımı

Çimento, silisyum, kalsiyum, alüminyum ve demir oksitleri içeren kalker, kil, marn ve demir cevheri gibi hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılarak sinterleşme sıcaklığına kadar pişirilmesiyle oluşan klinkerin, alçıtaşı ile veya katkı maddeleri ilavesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcılar olarak tanımlanmaktadır. Türkiye’ de standardı olan çimento tipleri:

- Portland Çimentolar
- Portland Kompoze Çimento
- Yüksek Fırın Cürufu Çimento
- Puzolanik Çimento
- Kompoze Çimento’ dur [TS EN 197-1,2002].

Bunların haricinde gerek klinker üretimi sırasında, gerekse sonradan ilave edilen mineral katkıları sayesinde özel kullanım amaçlı olarak üretilmiş, TS EN 197-1 standardının kapsadığı 5 çeşit daha çimento bulunmaktadır. Bunlar:

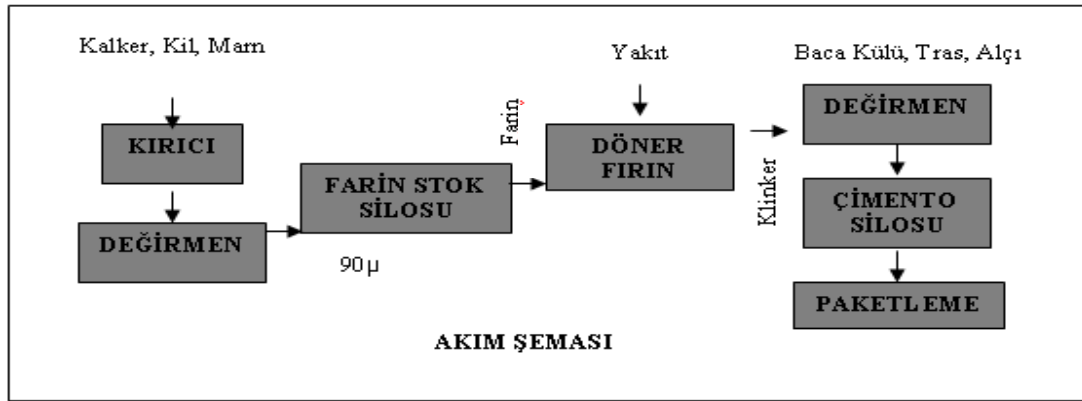
- Sülfatlara Dayanıklı Çimento
- Beyaz Portland Çimentosu
- Harç Çimentosu
- Yüksek Fırın Cürufu Katkılı, Düşük Erken Dayanımlı Çimento
- Çok Düşük Hidratasyon Isılı Özel Çimentolar’ dır [TS EN 197-1,2002].

2.1.2. Çimento üretimi

Çimento üretiminde kullanılan ana hammaddeler ülkemizde kireçtaşı ve marndır. Klinker üretiminin ana bileşenleri ise CaO için kalker, SiO₂, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ için de kil mineralleridir. Çimento klinkeri ortalama %70 kalker ve %30 kil içeren hammadde karışımının öğütüldükten sonra yüksek sıcaklıklarda pişirilmesi ile elde edilmektedir. Ana hammaddeler dışında, klinker üretimi için gerekli katkı maddeleri ise ham karışımın kimyasal bileşimini düzeltici yönde etkiye sahip Fe, SiO₂, Al₂O₃ içerikli materyallerdir. Bunlara örnek, fırınlanmış pirit, düşük tenörlü demir cevheri, laterit, kuvarşlı kum ya da boksitlerdir. Ülkemizde beyaz çimento için kaolin kullanılmaktadır. Çeşitli tip çimento üretimi için öğütmede %20-100 oranlarında klinker kullanılmakta, öğütme işlemi sırasındaki klinker miktarı ve diğer katkı maddelerinin oranına göre çeşitli çimento tipleri oluşturulmaktadır. Çimento fabrikaları döner fırınlarında klinker pişirilmesinde, yakıt olarak fuel-oil, kömür, doğalgaz, petrokok, taşkömürü veya bunların muhtelif oranlarda karışımı kullanılmaktadır.

Pişirmede kullanılan kömür veya petrokok yatay (bilyalı) veya dikey değirmenlerde, kömürde elek üstü %6-7, petrokokta elek üstü %0-1 olacak şekilde öğütülür. 60-105 metre uzunluğunda 2,5 metre çapında %3-3,5 meyilli fırının bir ucundan otomatik ayarlama cihazları ile uygun oranda karıştırılan yakıtlar püskürtülürken, diğer ucundan pişirilecek farin verilir. Yakıtlarla beraber verilen hava, fırın içindeki alev topunun uzunluğunu ayarlar. İstenen alev topu uzunluğu, sinterleşme bölgesi olan fırının ilk 20 metrelik kısmı kadar olmalıdır. Fırının yakıt verilen ucunda 1400°C olan sıcaklık, malzeme verilen ucunda 1000°C civarındadır. Fırın içine gelen farin döner fırında yavaş yavaş pişerek 1400°C' lik kısımda sinterleşir. Fırında pişirilen malzeme, ağırlığının %35'ini kaybeder. Diğer bir deyişle 1 ton klinker 1,65 ton hammaddeden elde edilir. Daha sonra fırından alınan klinker 100°C ye soğutulularak klinker silolarına alınır. Fırının sonunda 1000°C sıcaklığa düşen hava, siklonlardan beslenen farinin ve pişirmede kullanılan kömürün kurutulmasında kullanılır. Sisteme dönen hava bazen ısınmada da kullanılır. Bazı fabrikalarda farinin %80 oranında pişirilme işlemi, fırından önce kalsinatörlerde, malzeme siklonlardan beslenirken

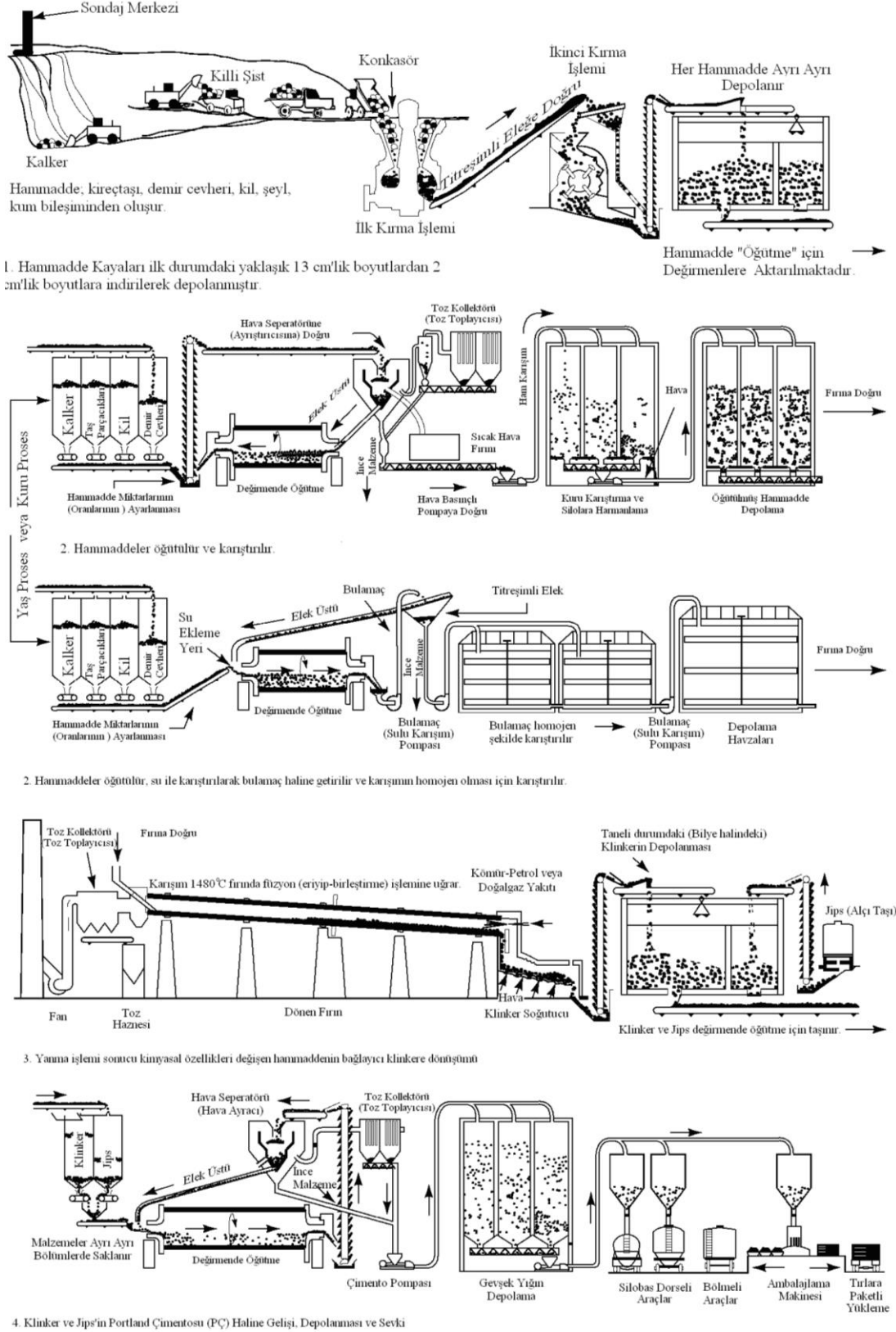
yapılır. Ön pişirme tesisi yani kalsinatör olan fırınların kapasitesi o oranda artmaktadır. Pişirmede kullanılan yakıtların %100 oranında yanması gerekmektedir. Beyaz çimento pişirilecek fırınlarda kül oranı düşük, kalorisi yüksek bir yakıt olan petrokok ve fuel oil kullanılmaktadır. Kül oranının ve kül içindeki demir oranının yüksek olması nedeniyle rengini bozduğundan; beyaz çimentoda kömür kullanılmamaktadır [Gülen ve Yalap, 2003].



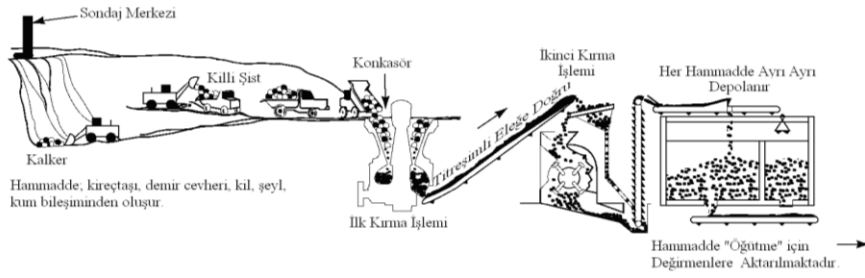
Şekil 2.1. Çimento üretimi akım şeması [Gülen ve Yalap, 2003]

Şekil 2.1’ de çimento üretimi akım şeması bulunmaktadır. Bu şemaya göre kalker, kil, marn kırıcı ve değirmenlerden geçerek döner fırına gönderilir. Burada baca külü, tras ve alçı eklenerek değirmende işlenir.

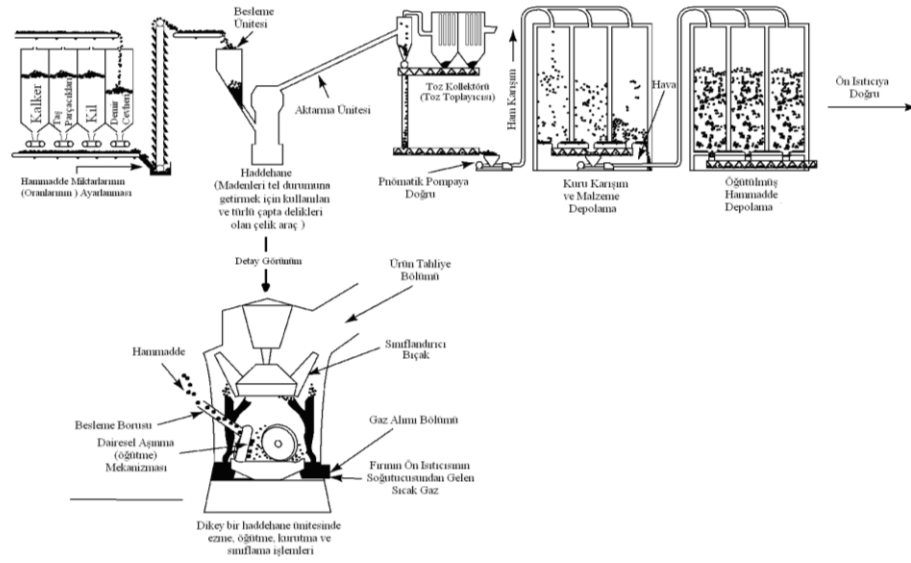
Şekil 2.2 ve Şekil 2.3’ de hammadde elde edilişinden itibaren paketleme ve silolarda depolamaya kadar geçen çimentonun üretimi süreci bulunmaktadır.



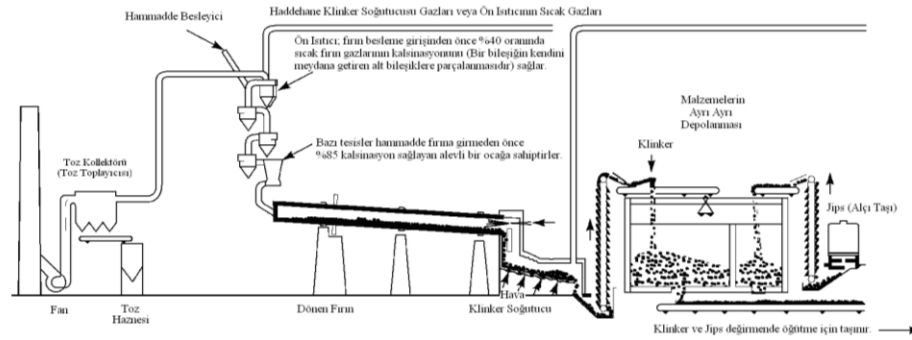
Şekil 2.2. Çimento üretimi [Kroschwitz, 2001]



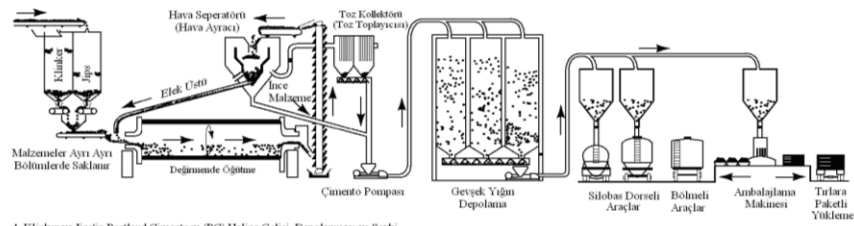
1. Hammadde Kayaları ilk durumdaki 13 cm'lik boyutlardan 2 cm'lik boyutlara indirilerek depolanmıştır



2. Hammaddelerin toz halinde öğütülmesi ve karıştırılması



3. Yama işlemleri sonucu kimyasal özellikleri değişen hammaddenin bağlayıcı klinkere dönüştürülmesi (Dört aşamalı Ön İstübye, Alevli Ocaklar ve Boyu Daha Kısa Fırın)



4. Klinker ve Jips'in Portland Çimentosu (PÇ) Haline Gelişi, Depolanması ve Sevki

Çimento Üretiminde Kuru Proses Teknolojisi

Şekil 2.3. Çimento üretimi ve depolanması [Kroschwitz, 2001]

2.1.3. Çimento sektörünün günümüzdeki durumu

Türk çimento sektörü 1911 yılında 20.000 ton/yıl kapasiteli bir fırınla Darıca’ da üretime başlamıştır. 1950'den sonra Türkiye Çimento Sanayisi’nin kurulmasıyla üretimin artmasına rağmen 1970'lere dek talebin yeterli derecede karşılanamaması nedeniyle çimento ithalatı devam etmiştir. 1978-1983 yılları arasında dünyada patlayan inşaat krizi, Türkiye'nin büyük oranda ihracat yapmasını sağlamıştır. 2001-2007 yılları arasında %64 büyüyen Türkiye çimento pazarı, 2008 yılında da global krizin etkisine rağmen %2’ lik bir büyüme kaydetmiştir. Sektör, Türkiye’ de yıldan yıla artan ihracat hacmi ile Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH)’ da önemli bir yer sahibi olmanın yanında, sağladığı önemli bir istihdam düzeyiyle de ekonomik yapı içindeki önemini korumaktadır. Makro ekonomik dalgalanmaların ve istikrarsızlıkların ilk etkisini gösterdiği sektörlerden biri olan çimento sektörü, yaşanan ekonomik krizlerden olumsuz yönde etkilenmekte olup, inşaat sektörünün ana girdilerinden birini sağlaması sebebiyle, bu sektördeki dalgalanmalardan doğrudan etkilenmektedir. Günümüzde sektör, hammadde konusunda tamamen kendi kaynaklarını kullanmakta olup, üretimiyle ülke ihtiyacını karşılayabilmektedir. 2009 yılında üretim 54 milyona ulaşmış, tüketim ise 39 milyona gerilemiştir. İthalattaki payı az olan çimento sektörü, ihracattaki payını her geçen gün arttırmakta ve dünyanın 54 ülkesine satış yapmaktadır. İhracatın büyük bölümü Rusya, Irak, Suriye ve İtalya’ ya yapılmakta olup, 2009 yılında Kuzey Afrika gibi yeni pazarlara açılmıştır. Mevcut durumda, yurtiçi talebi karşılamakta sıkıntı çekmeyen, bunun yanı sıra ihracatını yüzde 150 oranlarında artıran sektör Avrupa’ nın en büyük çimento ihracatçısı konumuna gelmiştir. Fakat 2008 yılında, ardı ardına arttırılan kapasiteler, talep fazlası üretimi meydana getirmiş piyasadaki fiyatların düşmesine yol açmıştır. Dünya pazarına bakıldığında üretim 2.87 milyar tona ulaşmıştır. Çin ve Hindistan en büyük üretici ve tüketici konumunu korurken, Avrupa ve Amerika kıtasında tüketim oranları düşmüştür. Dünya genelinde bir kapasite fazlalığı yaşanırken, bu sorunu yaşayan ülkeler öncelikle kamusal yatırımlarını arttırmaya, sonrasında ise ihracata ağırlık vermeye başlamıştır.

Çizelge 2,1’de ise Türkiye’deki çimento üretimi, ihracat ve ithalat değerleri ile ilgili bilgiler verilmiştir.

Çizelge 2.1. Türkiye’deki çimento üretimi, ithalat ve ihracat değerleri [TCMB, 2010]

	Üretim (Ton)	Yıllık Artışlar (%)	İthalat (Ton)	Yıllık Artışlar (%)	İhracat (Ton)	Yıllık Artışlar (%)
1999	34.816.734	-	67.137	-	3.413.600	-
2000	35.952.515	3.26	13.531	-79.85	4.484.967	31.39
2001	29.959.054	-16.67	33.022	144.05	5.213.104	16.24
2002	32.758.049	9.34	25.501	-22.78	5.958.979	14.31
2003	35.094.768	7.13	18.514	-27.40	7.362.923	23.56
2004	38.795.797	10.55	13.365	-27.81	8.206.317	11.45
2005	42.786.835	10.29	71.118	432.12	7.737.666	-5.71
2006	47.400.159	10.78	198.817	179.56	5.638.351	-27.13
2007	49.300.000	17.4	205.476	125.11	8.756.210	23.77

2.2. Puzolan

Kendi başına bağlayıcı özelliği olmayan ancak ince öğütülmüş olarak kalsiyum hidroksit ile karıştırıldığında hidrolik bağlayıcı özelliği kazanan silis ve/veya alüminyum silikat bileşimli maddedir [Yeğınobalı, 2003].

2.2.1. Puzolanın tanımı

Puzolanlar, kendi başına bağlayıcılık özelliği çok az olan veya hiç olmayan fakat öğütüldüklerinde, normal sıcaklıkta ve rutubetli ortamlarda sönmüş kireç (kalsiyum hidroksit) ile kimyasal reaksiyona girerek ilave bağlayıcı bileşikler oluşturan silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir [ASTM C 618-78, 1978].

Bu tanıma uyan birçok doğal malzeme bulunduğu gibi, birçok endüstri atığı mineral madde de puzolanik özellik göstermektedir [Özturan, 1991; Biricik ve Ark. 1996].

2.2.2. Puzolanların sınıflandırılması

Puzolanlar, kimyasal olarak çok miktarda aktif SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO gibi oksitler içeren maddelerdir. Puzolan malzeme içindeki camlaşmış aktif silis kireçle karıştırıldığında, nemli ortamda bağlayıcılık özelliği kazanır ve suda erimeyen kalsiyum silikat tuzuna dönüşür. Çimentonun hidratasyon ürünü olan ve suda eriyen Ca(OH)_2 ile de birleşerek suda erimeyen silikat tuzu oluşturur. Bu özelliği nedeni ile puzolanlar, çimentonun suya karşı dayanıklılığını olumlu yönde etkiler [Lea, 1970]. Çimentonun bir kısmı yerine puzolan ilave edilmesi, betonun plastikliğini artırır, kuma ve çözülme olaylarını önler, hidratasyon ısını ve betonun geçirgenliğini azaltır [Kocataşkın, 1959]. Puzolanlar oluşum şekillerine göre doğal veya yapay olmak üzere ikiye ayrılırlar. Doğal puzolan olarak bilinen maddeler volkanik küller, killi şist, diatome toprağı, pomza taşı v.b.'dir. Bunlar dünyanın belirli bölgelerinde bulunmaktadır. Puzolanın kimyasal yapısı ve aktivitesi bulunduğu bölgeye göre değişiklik gösterir. Özgül ağırlıkları 2000 ile 2200 kg/m^3 arasındadır. Doğal puzolanlar kalsinasyon (bir maddenin nemini ve karbondioksit gibi uçucu maddelerini uzaklaştırmak için o maddeyi erime noktasının altında ısıtma, kavurma işlemi ile cevherin öğütülmesinden sonra faydalı hale getirmek için en çok yapılan) işleme tabi tutulabilir. Böylece kalsinasyon sonucu varsa yapıdaki karbonatlar bozularak oksitli bileşenlere dönüşür. Doğal puzolanlar, killer ve tortul şistler, opaller ve volkanik tüfler, sünger taşları olarak üç gruba ayrılır [Neville, 1995].

Yapay puzolanlar, kalsinasyon işlemi ile elde edilen puzolanlardır. Bunlar çoğunlukla endüstri artığı maddelerdir. Metal silis ve silis alaşımlarının üretiminden silis dumanı, termal elektrik güç santrallerinden UK, demir çelik endüstrisindeki font üretiminden cüruf, tarım artıklarından pirinç kabuğu külü, buğday sapı külü gibi malzemelerdir [Massazza, 1989; Mehta, 1983].

2.2.3. Puzolanların puzolanik aktivitesi ve standart değerleri

Mineral katkıların genel bir sınıflandırılmaları ve tipik örnekler şöyle sıralanabilir:

- Bağlayıcı özelliği olanlar: Suda soğutulmuş (granüle) yüksek fırın cürufu,
- Bağlayıcı ve puzolanik özellikte olanlar: Kalkersi UK, bazı bitümlü şist külleri,
- Puzolanik aktivitesi yüksek olanlar: Silis dumanı, pirinç kabuğu külü,
- Normal puzolanlar: Silissi UK, doğal veya kalsine puzolanlar,
- Puzolanik aktivitesi düşük olanlar: Yavaş soğumuş yüksek fırın cürufu, bazı doğal puzolanlar, bazı kazan cürufları, bitki külleri,
- Atıl olanlar: İnce öğütülmüş kuvars, kalker, bentonit,

Mineral katkıların etkileri katıldıkları klinker veya çimentonun özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Ayrıca atıl olarak sınıflandırılan bazı katkıların, örneğin kalker tozunun, çimento hidratasyonu ve hamur oluşumu üzerinde olumlu etki yapabildikleri anlaşılmaktadır [Yeğinoğlu, 2003].

Yeğinoğlu, mineral katkı türleri ve TS EN 197-1 de öngörülen bileşimleri konusundaki bilgileri şu şekilde özetlemiştir:

Doğal Puzolan: Doğada bulunan puzolanik özellikte madde ve kayalardır. Genellikle volkanik kökenlidirler. Türkiye’de “tras” olarak adlandırılırlar. TS EN 197-1’e göre doğal puzolanlarda reaktif silis miktarı en az % 25 olmalıdır.

Kalsine Edilmiş Doğal Puzolan: Puzolanik özellikleri ısıtma işlemi uygulanarak kazandırılmış olan doğal madde ve kayalardır. Reaktif silis içerikleri en az %25 olmalıdır.

Granüle Yüksek Fırın Cürufu: Yüksek fırında pik demir elde edilirken demir cevheri içindeki SiO_2 ve Al_2O_3 içeren gayri saflıklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan cürufun bileşimi PÇ’ye büyük benzerlik gösterir. Fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO , MgO ve SiO_2 miktarları toplamı gene en az 2/3

oranında olmalıdır. $(\text{CaO} + \text{MgO}) / \text{SiO}_2$ oranının ise 1,0 den fazla olması istenmektedir.

UK; çok ince öğütülmüş kömür yakan fırınların baca gazlarına karışan ve çoğunlukla çimentodan ince olan kül tanecikleri elektrostatik yöntemlerle tutularak ayrılırlar. Genellikle kömürle çalışan termik elektrik santrallerinde elde edilir. Kızdırma kaybı 1 saatte %5'i geçmemelidir.

Silissi UK: Reaktif CaO oranı %10'dan az olan puzolanik özellikli UK' dır. Serbest CaO içeriği %1'den fazla olmamalıdır. Reaktif SiO_2 %25 'den fazla olmalıdır.

Kalkersi UK: Reaktif CaO oranı %10'dan fazla olan bağlayıcı ve/veya puzolanik özellikli UK' dır. Reaktif CaO miktarı %15'e kadar olan küllerde reaktif SiO_2 %25'den fazla olmalıdır. Hacim genişmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

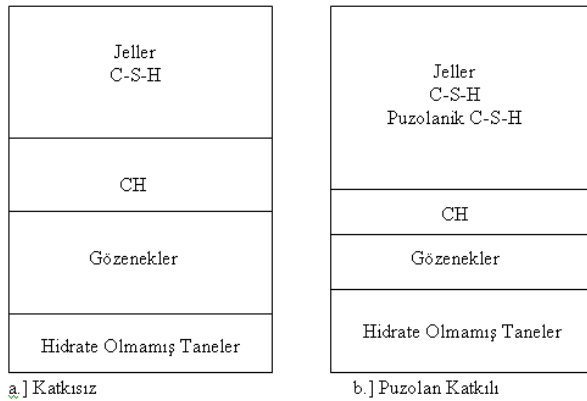
Pişmiş Şist: Yaklaşık 800 °C da pişirilen şist bileşimi itibarı ile puzolanik ve bağlayıcı özellikler gösterir. Çimento gibi denendiğinde 28 günlük basınç dayanımı en az 25 MPa olmalıdır. Hacim genişmesi 10 mm'yi geçmemelidir.

Kalker (Kireçtaşı): CaCO_3 içeriği en az %75 olmalıdır. Kül içeriği %1,2' yi geçmemelidir. Standartta toplam organik karbon (TOC) değerinin en fazla %0,2 (LL) ve %0,5 (L) olarak sınırlandırıldığı iki sınıfa ayrılmıştır.

Silis Dumanı: Silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli baca tozudur. Reaktif silis içeriği en az %85 olup; özgül yüzeyi en az 15 m^2/g olmalıdır. Kızdırma kaybı 1 saatte %4'ü geçmemelidir [TS EN 197-1,2002; Yeğinobalı, 2003].

2.2.4. Pozolanların beton özelliklerine etkileri

Beton içyapısının içerisinde $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kristallerinin oluşumunu önlemek amacıyla pozolanlar kullanılır. Pozolanlar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyona girerek çimento içerisindeki diğer hidrate elemanlara benzer yeni elemanlar oluşturmaktadır. Böylelikle beton içerisinde homojen bir ortam oluşmakta; aynı zamanda küçük boşlukların da pozolanlar sayesinde dolduğu gözlenmektedir. Pozolan olarak “UK, pirinç kabuğu külü ve silis dumanı” önerilebilir [Mazlum, 1989]. Pozolan kullanımının bir başka olumlu yanı da çimento hidratasyon ısını düşürmesi, böylece ısıl çatlak oluşumunu önlemesidir. Ayrıca pozolanların bir atık malzeme oluşu ve çimentodan daha ucuza mal ediliyor olması diğer kullanım nedenleri olarak gösterilebilir [Özkul ve Karagüler, 2010].



Şekil 2.4. Kontrol ve pozolan katkılı çimento hamurunun bileşimi

Çimento su ile karıştırıldığında kalsiyum silikatlar bağlayıcı özellikteki kalsiyum silikat hidrat, (C-S-H) jelini oluştururlar ve bir miktar kireç hidrat, (CH) açığa çıkar. C_3S erken dayanıma ve hidratasyon ısına daha fazla katkıda bulunur, daha fazla kireç açığa çıkarır. Kalsiyum aluminatlar da jel meydana getirirler. C_3A hidratasyon ısını artırır, sülfatlara karşı direnci azaltır. Şekil 2.4a’ ya bakıldığında kontrol çimento hamurunun bileşimi gösterilmiştir. Bağlayıcı özellikteki C-S-H jelleri ile kalsiyum aluminat jelleri hamurun yarısından fazlasını oluşturmakta, kireç hidrat (CH) açığa çıkmakta ve gözenekler oluşmaktadır. CH ve gözenekler dayanım ve dayanıklılığı olumsuz etkileyen unsurlardır. Katkılı çimentonun hidratasyonu ve

özellikleri ise farklıdır. Karma oksitlerden C_3A azaldığı için sülfat direnci artacak, C_3S ve C_3A azaldığı için hidrasyon ısı ve erken dayanım azalacaktır. C_2S ve C_3S azaldığı için açığa çıkan CH miktarı da azalacaktır. Bu da gene sülfat direncini ve dayanıklılığı arttıracaktır. Pozolanik özelliklere sahip olduğu kabul edilirse katkı kalan CH' yi zamanla bağlayarak yeni (pozolanik) C-S-H jeline dönüştürecek ve gözenekleri tıkayacaktır. Dolayısı ile zamana bağlı olarak dayanım ve dayanıklılıkta artış söz konusudur. Özet olarak, Şekil 2.4b' de gösterildiği gibi katkılı çimento hamurunda bağlayıcı jeller artmakta, CH ve gözenekler azalmaktadır. Kuşkusuz bu genel etkiler klinker ve katkı özelliklerine bağlı olarak değişebilir. Pozolanik olmayan katkıların bile ince öğütüldüklerinde harç ve betonda su ihtiyacını azalttıkları, hidrasyonu hızlandırdıkları ve gözenekleri tıkayarak dayanıklılığı arttırdıkları bilinmektedir. Sonuç olarak, çimentoya katılan mineral katkıları:

- Ekonomi ve enerji tasarrufu sağlanması,
- Doğal kaynakların ve çevrenin korunması, sera gazlarının azaltılması,
- Hidrasyon ısısının azaltılması,
- Çimento ürünlerinde işlenebilmenin kolaylaştırılması dayanıklılığın ve zamanla dayanımın artırılması gibi konularda yararlı olabilmektedir. Erken dayanımlarda görülebilecek azalma çimentoyu daha ince öğüterek veya klinker özelliklerini değiştirerek çözümlenebilmektedir [Yeğinobalı, 2003].

2.3. Atık Tuğla Tozu

Atık haldeki tuğla kırıklarının öğütülmesi sonrasında eleklerden geçirilerek elde edilir.

2.3.1. Tuğla hammaddeleri

Türkiye'de tuğla sanayi; üretim yapısı itibariyle ülkenin dört bir yanına dağılmış, çok sayıda birimi olan bir sektördür. Üretim hammaddelerinin kolaylıkla temin edildiği bölgelerde küçük yoğunlaşmalar gösteren sektörde 520 civarında tuğla fabrikası

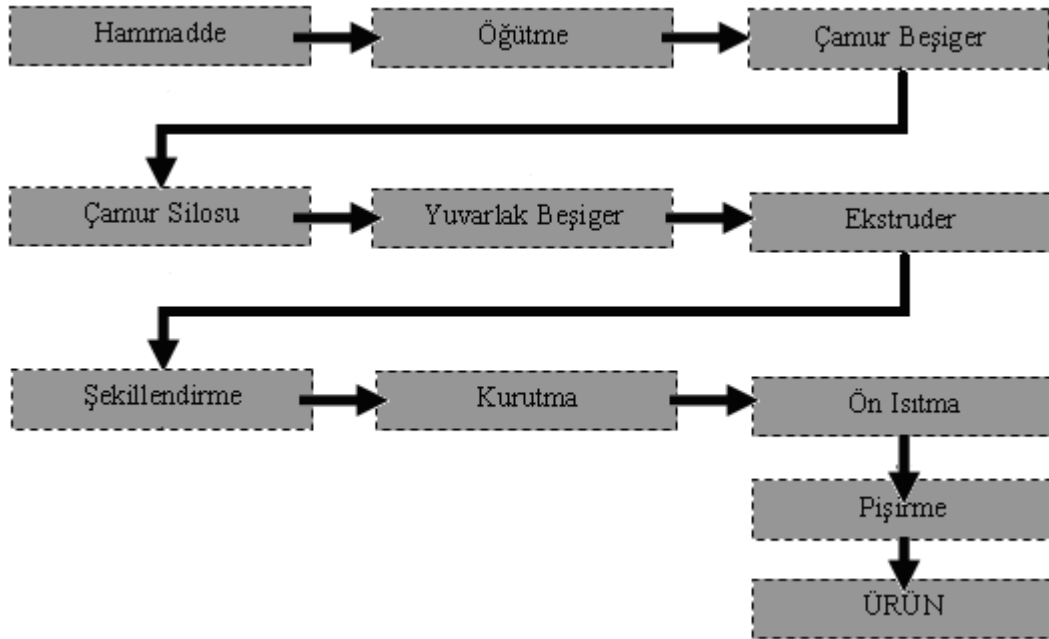
vardır. Bu sayı göz önünde bulundurulduğunda yıllık hammadde tüketiminin 30 milyon ton civarında olabileceği hesaplanmaktadır. Ülkemizde tuğla, kolay üretilen, ucuz ve kullanımı yaygın bir yapı malzemesidir [Kırgız, 2007].

Tuğla yapımında kil esaslı malzeme kullanılmaktadır. Killer fiziksel ve kimyasal bakımdan birbirinden farklılık gösteren hammaddeler olduğundan, bu konuda bir sınıflandırma yapmak mümkün değildir. Diğer yandan bir genelleme yapmak gerekirse tuğla yapımına en uygun killer illit grubu killerdir. Montmorillonit ve halloysit grubundan killer bünyelerine fazla su aldıklarından dolayı yüksek oranda şişme gösterirler ve buna bağlı olarak su kaybı ile hacimsel küçülmeleri çok fazla olacağından tuğla üretiminde kullanılmaları uygun değildir. Killer genellikle saf halde bulunmadıklarından, tuğla yapımına uygunluğu içerdikleri safsızlıkların cinsine ve miktarına büyük ölçüde bağlıdır [Çelik, 2005].

Tuğla-kiremit imaline elverişli topraklar kumlu kil olarak adlandırılabilir. Seramik killerinden farkları bunların demir, silis ve karbonat bakımından daha zengin olmalarıdır. Bu toprakların içinde kuvars, montmorillonit, kaolinit, kalsit, limonit, hidromika, serisit, illit ve klorit gibi mineraller bulunur. Toprakların bir kısmı ise amorf yapıdaki killerden oluşur. Kireçtaşı parçaları, jips, organik maddeler ve iri kayış artıkları kaliteyi bozan unsurlardır. Tuğla, tarih öncesi çağlardan beri Mezopotamya ve Nil Vadisi gibi yapı taşı bulunmayan aluviyal ovalarda ikame malzemesi olarak önem kazanmıştır [DPT, 1996].

2.3.2. Tuğla üretim aşamaları

Şekil 2.5’ de görüleceği gibi tuğla üretiminde istenilen özellikleri sağlayan kil esaslı hammaddeler belirlenen karışım oranlarda karıştırılır. İstenilen tane boyutuna değirmenlerde getirilen karışım Şekil 2.5’ de belirtildiği gibi işlemlerden geçmektedir [Çelik, 2005].



Şekil 2.5. Tuğla üretiminde genel süreç akım şeması [Çelik, 2005].

2.3.3. Tuğla üretiminde oluşan atık malzeme miktarı

Türkiye’de yıllık yaklaşık 250.000 ton kiremit kırığı atığı oluşmaktadır. Kiremit kırıklarının bir kısmı üretime yeniden katılırken büyük bir kısmı da depolanmaktadır [Anöz ve Ay, 2003].

2.3.4. Atık tuğla tozunun kullanım alanları

Altyapılarda kullanılan betonlarda tane çapı küçük agregalar tercih edilmektedir. Kiremit kırıkları kum yerine altyapı betonlarında kullanılabilir. Beton teknolojisinde kiremit kırıkları yüksek sıcaklığa dayanıklı, hafif beton ve renkli harç üretiminde kullanılabilir. Yapılan çalışmalarda tuğla kırıklarının betonda kullanılması ile betonun renginin kırmızı olduğu görülmüştür. Bu renk özelliği ile binalarda dekoratif ve mimari dizaynlar için beton blok üretilmesinde de kullanılabileceği önerilmiştir [Anöz ve Ay, 2003].

2.3.5. Atık tuğla tozu ile yapılmış önceki çalışmalar

Özgan ve Yıldız yapmış oldukları çalışmada, PÇ ağırlıkça %0, %5, %10, %15, %20 ve %25'i yerine krom mağnezit tuğla tozları konularak altı değişik karışım elde etmiş ve çimentonun priz başlama ve bitişine olan etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak, %5 katkılı krom mağnezit tuğla tozunun çimentoda priz başlama ve bitiş sürelerini kontrol çimentosuna göre nispeten kısalttığı ancak miktar arttıkça priz başlama ve bitiş sürelerinin uzadığını tespit etmişlerdir [Özgan ve Yıldız, 2009].

Topçu ve Canbaz kiremit üretimi sırasında beton teknolojisinde kullanılabilecek düzeyde kiremit kırığı atığının ortaya çıktığını tespit etmişlerdir. Kırmızı renkli görünümü nedeni ile bu atıklar kullanılarak mimari açıdan renkli beton ve harç üretiminde kullanılabileceğini belirtmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmada 0-2 mm boyutlarına indirgenmiş kiremit kırıkları ile harç çubukları üretmişlerdir. Bu çalışma sonucunda kiremit kırığı kullanımının eğilme dayanımı ve donatı dayanıklılık yönünden olumlu sonuçlar verdiğini görmüşlerdir. Bu nedenle %100 oranında kum yerine alt yapı elemanlarının üretiminde kiremit kırığı kullanımını önermişlerdir [Topçu, Canbaz, 2005].

2.4. Uçucu Kül

Kömür tam olarak karbondan oluşmamaktadır, içerisinde birçok yanmaz mineral barındırmaktadır. Elektrik üretmek için yakılan kömürden geriye kalan ve yanma sonucu oluşan malzemenin %75-85'i baca gazları ile kazandan çıkar. Bu tür malzemelere UK adı verilmektedir [Şengül, 1999; Kolukısa, 1999]. Genellikle UK'ların %85'ini SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve MgO oluşturur [Ağar,2007]. Yakıt olarak kömür kullanılan santrallerde, baca gazlarından UK'ların tutulması amacıyla genel olarak yüksek verimli elektroflitreler kullanılmaktadır [Morrison, 1970].

2.4.1. Uçucu külün elde edilişi

Termik santrallerde çok ince partiküller baca çekişi ile taşınarak elektro filtrelerde toplanır. Bu küller baca gazları ile sürüklenir. Daha sonra küller hava ile temas ederek ani soğuma sonucu puzolanik özellik kazanırlar. Genellikle küresel bir yapıya sahip olan bu küllerin çapları 1–100 mikron arasındadır. Termik santrallerin atık UK' larının değerlendirilerek hem ekonomiye kazandırılması hem de çevreye verdiği zararı en aza indirmek için çalışmalar yapılmaktadır. Ülkemizde milyonlarca ton UK termik santrallerde yan ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Bu miktarın çok az bir kısmı çimento üretiminde, baraj enjeksiyonlarında ve tuğla üretiminde kullanılmaktadır. Oysa endüstriyel bir atık olan UK' ların birçok ülkede değişik ve yaygın kullanım alanları vardır [Kılınçkale, 1995].

Termik santrallerden atmosfere verilen baca külünün yani UK' nın toplanması hava kirliliğinin kontrolü konusunda en önemli işlemlerden birisidir. Baca külünün tane irilik dağılımı, kimyasal bileşimi ve konsantrasyon seviyelerindeki çok geniş değişimlerin görülmesi külün tutulmasını daha da zorlaştırmaktadır. Tüm bu faktörler kullanılan yakıt ve yakma sistemine (örneğin kullanılan kazan tipi) bağlıdır [Toraman ve Bayat, 1995].

Endüstriyel alanda toz tutma amacıyla kullanılan tutucuları 4 ana tipe ayrılmıştır. Bunlar;

Merkezkaç kuvvetine dayalı ayrıştırıcılar; merkezkaç kuvvetini kullanarak parçacıkları gazdan ayırmak için diğer bir ifadeyle gaz içindeki taneciklerin tutulması amacıyla kullanılmaktadır. Yapı olarak bir siklonun genellikle bir gaz girişi, gaz çıkış kısmı ve hava kolonu (girdap) oluşturacak şekilde gövde tasarımının olması istenir [Toramanve Bayat, 1995]. Üç tip ayrıştırıcı bulunmaktadır. Bunlar;

Filtrasyon ile toz tutma; gaz içindeki toz parçacıklarını tutmanın en eski yöntemlerinden birisi filtrelemedir. Bu işlemde, gaz içindeki tanecikler poroz bir yapıya sahip (filtre bezi) malzemeden geçirilerek daha iri boyutlu taneler bu

malzemenin üstünde toplanırken daha ince boyutlu taneler ortamdan geçerek ayrılır [Toraman ve Bayat, 1995]. Torbalar sentetik, keçeli pamuktan yada fiberglas malzemeden yapılabilir.

Yaş yöntem ile toz tutma; bu sistemlerde yıkama sıvısı (genellikle su) toz taneciklerini taşıyan gaz akımı ile bir araya gelirler. Gaz ve sıvı arasındaki kontak kurma ne kadar fazlaysa sistemin toz tutma verimi o kadar yüksek olmaktadır.

Elektrostatik çökeltme yolu ile toz tutma; elektrostatik ayırıcılar egzoz gazlarından toz partiküllerini ayrıştırabilmek için elektrostatik güçleri kullanılmaktadırlar. Birkaç adet yüksek gerilimli, doğru akımlı, şarjsız elektrotlar toplama elektrotlarının aralarına yerleştirilir. Kirli gazlar şarjsız ve toplama elektrotlarının oluşturduğu pasajların arasından süzülerek toplanır. Havada uçuşan partiküller elektrotlar arasındaki iyonize alandan geçerken negatif şarj alırlar. Bu yüklü parçacıklar topraklanmış ya da pozitif yüklenmiş elektrotların yüzeylerine yapışırlar. Elektrot üzerinde toplanan materyaller toplamı elektrotların titreştirilmesi yardımıyla yüzeyi terk ederler.

Yerinde toz tutucular; diğer tutuculardan farklı olarak tozları oluştukları kaynaklarda tutmak için geliştirilmiş cihazlardır. Toz tutulması işlemi cihaz içerisinde bulunan bir fan yardımıyla yapılmaktadır.

2.4.2. Uçucu kül sınıfları

UK' ların sınıflandırılmasında, kimyasal bileşen yüzdesi esas olarak ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları baz alınmaktadır.

ASTM C 618 standardına göre UK' lar F ve C sınıflarına ayrılırlar. 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 UK' lar girmektedir. Aynı zamanda bu küllerde CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar. F sınıfı UK' lar, pozolanik özelliğe sahiptirler. C sınıfı UK' lar 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. C sınıfı UK' larda $\text{CaO} > \% 10$ olduğu için bu küller yüksek kireçli UK olarak da adlandırılırlar. C sınıfı UK' lar, pozolanik özelliğin yanı sıra az miktarda da bağlayıcı özelliğe de sahiptirler [ASTM C 618, 2000].

TS EN 197-1'e göre yapılan sınıflandırmada UK' lar silissi (V) ve kalkersi (W) olmak üzere iki gruba ayrılırlar. V sınıfı UK' lar, çoğunluğu pozolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup; esas olarak reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksitten (Al_2O_3) oluşan; geri kalanı demir oksit ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının % 10'dan az, reaktif silis miktarının % 25'den fazla olması gerekmektedir. W sınıfı küller ise, hidrolik veya pozolanik özellikleri olan ince bir toz olup; esas olarak reaktif kireç (CaO), reaktif SiO_2 ve Al_2O_3 'den oluşan; geri kalanı demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer bileşenleri içeren küllerdir. Bu küllerde, reaktif kireç (CaO) oranının % 10'dan fazla, reaktif silis miktarının da % 25'den fazla olması gerekmektedir [TS EN 197-1, 2002].

2.4.3. Atık uçucu kül miktarı

Günümüzde kömür en önemli enerji kaynaklarından biridir. Ülkemizde enerji ihtiyacını karşılamak üzere kurulan büyük kapasiteli kömür yakan termik santrallerde, düşük kalorili, kül oranı yüksek linyitler kullanılmaktadır. Kömürün yanması sonucunda UK, cüruf ve baca gazı gibi atıklar oluşur. Türkiye'de bir yılda yaklaşık 45 milyon ton kömür yakılmakta ve ortalama 15 milyon ton UK açığa çıkmaktadır [Güler ve Ark, 2005].

Ülkemizde halen aktif olmak üzere toplam on beş termik santral bulunmaktadır. Termik santrallerin listesi Çizelge 2.2' de gösterilmiştir. Bu tabloda santrallerin adı, yakıt cinsi, kurulu güç ve bulunduğu il ile ilgili bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 2.2. Türkiye'deki kömürlü termik santraller [Tokyay ve Erdoğan, 1998].

No	Santral Adı	Yakıt Cinsi	Kurulu Güç (MW)	Bulunduğu İl
1	Afşin-Elbistan A	Linyit	1355	Kahramanmaraş
2	Afşin-Elbistan B	Linyit	1440	Kahramanmaraş
3	Çan	Linyit	320	Çanakkale
4	Çatalağzı	Taş Kömürü	300	Zonguldak
5	Çayırhan Park	Linyit	620	Ankara
6	Çolakoğlu 2	Taş Kömürü	190	Kocaeli
7	Kangal	Linyit	457	Sivas
8	Kemerköy	Linyit	630	Muğla
9	Orhaneli	Linyit	210	Bursa
10	Seyitömer	Linyit	600	Kütahya
11	Soma A-B	Linyit	1034	Manisa
12	Sugözü-İskenderun	İthal Kömür	1210	Adana
13	Tunçbilek A-B	Linyit	429	Kütahya
14	Yatağan	Linyit	630	Muğla
15	Yeniköy	Linyit	420	Muğla

Afşin – Elbistan termik santralinde yılda yaklaşık olarak yılda 3.240.000 ton UK açığa çıkarmaktadır [Ural, 2005].

2.4.4. Uçucu külün özellikleri

UK hemen hemen doğal elementlerin tümünü içerir ve eser element bakımından kömüre göre daha zengindir. UK' ların ve taban küllerinin fiziksel, kimyasal ve mineralojik özellikleri çeşitli etkenlere bağlıdır. UK' nın kaynağını oluşturan kömürün türü ve değişkenliğine, kömürün yakılmadan önceki öğütülme (pulvarizasyon) derecesine, kazan türüne, yakma sıcaklığı ve diğer işletme parametrelerine, kül toplama ve uzaklaştırma sistemlerinin özellikleri ve işleyişine, çevre koruması amacıyla kömüre ilave edilen katkı maddeleri gibi faktörlerden ve faktörlerin de zamana göre değişebilmelerinden kaynaklanan özelliklere bağlıdır [Kefelioğlu, 1998; Hycnar, 1983].

UK' lar genelde küçük, camsı, oyuk yapılı, 0,01–100 μm arasında tane boyutuna sahip ve yoğunluğu 2,1 ile 2,6 g/cm^3 arasında değişen taneciklerdir. Bunların içi boş yapılarından dolayı yüzey alanları oldukça yüksektir [Doğan, 2007]. Türkiye' de elde edilen UK' ların fiziksel özellikleri Çizelge 2.3' de verilmiştir.

Çizelge 2.3. Türkiye uçucu küllerinin fiziksel özellikleri [Bayat ve Toraman, 1996]

Uçucu Kül	Özgül Yüzey (m^2/g)	Hacimsel Yoğunluk (g/cm^3)	Özgül Ağırlık (g/cm^3)
Yatağan	0,334	1,07	1,99
Soma	0,207	0,95	2,12
Seyitömer	0,115	0,88	1,58
Yeniköy	0,168	1,44	2,99
Çatalağzı	0,139	1,07	1,95
Afşin-Elbistan	0,342	1,05	2,7
Tunçbilek	0,094	1,11	1,83

Yanma biçimine bağlı olarak esas elemanlar, silis ve alüminyum veya kireç ve kükürttrioksit olabilir. Demir oksit, manyezit, sodyum, potasyum ve titan sekonder olarak bulunur. Fe_2O_3 , CaO , MgO ateşten uzak olduğu oranda azalmakta, dolu küresel taneler artmakta ve birim hacim fazlalaşmaktadır. Bu oksitler külün toplam bileşiminin %95 – 99'unu oluşturur. Minör bileşenler (Mg, Ti, Na, K, S ve P) ise külde %0,5–3,5 arasında değişmektedir. Termik santral külleri ayrıca sayıları 20–50 arasında değişen iz elementleri de içerirler [Barry ve Russell, 1998].

Mineralojik analizlerde genel olarak UK içindeki silisin bir kısmının kuvars kristalleri halinde, diğer bir kısmının ise alüminyumla birleşerek Mullit'e ($2\text{SiO}_2\text{-}3\text{Al}_2\text{O}_3$) dönüştüğü, geri kalanının ise camsı yapıda olduğu saptanmıştır. Demirin kısmen manyetit (Fe_2O_4) ve hematit (Fe_2O_3), geri kalanının da camsı fazda olduğu görülür. Genellikle ideal şartlarda elde edilen UK' ların %66-88'i camsı yapıda olmakta ve içerisindeki SiO_2 ve Al_2O_3 toplamı %70–88 geri kalan kısmi Fe, Ca, Mg, Na, K ve Ti'dan meydana gelmektedir [Doğan, 2007].

UK termik santrallerin atığı konumundadır. Çok ince tanecikli yapısı olması dolayısıyla çevreye zarar vermeden depolanmasında sıkıntılar yaşanabilmektedir. Günümüzde UK ile yapılan çalışmaların amacı bu atığın çevreye zarar vermesini engellemek olarak da söylenebilir. Böylece UK' nın çevreye etkileri de azaltılmış olmaktadır.

Çizelge 2.4' de Türkiye' de elde edilen uçucu küllerin kimyasal bileşimleri verilmiştir.

Çizelge 2.4. Türkiye uçucu küllerinin kimyasal bileşimleri [Bayat ve Toraman, 1996]

Elementler	Yatağan	Soma	Seyitömer	Yeniköy	Çatalağzı	Afşin	Tunçbilek	Çayırhan	Orhaneli	Kangal	Kemerköy
SiO ₂	45,18	49,5	53,5	15,35	47,6	15,14	52,1	47,5	52	23-30	13-25
Al ₂ O ₃	20,94	26,70	15,71	5,54	24,31	7,54	19,06	15,95	26	12	3,22
Fe ₂ O ₃	7,99	5,42	8,81	3,52	4,48	3,3	10,1	16,3	12	4,7-7	3-13
CaO	1,22	0,84	0,29	25,62	0,2	23,66	0,1	6,6	6	35	21-60
MgO	2,79	2,92	2,94	2,61	1	4,5	6,11	4,65	1,6	6	2
K ₂ O	2,24	2,42	1,19	0,41	3,5	0,28	1,32	3,7	1,5	0,8	1
Na ₂ O	0,57	0,81	0,77	0,27	0,58	0,57	0,49		3		1
TiO ₂	1,04	0,99	0,12	0,63	1,5	1,03	1,07	NA	0,6	NA	NA
SO ₃	5,63	1,59	1,11	20,86	0,57	13,22	0,83	NA	NA	NA	NA
Cd ^b	9,6	8	-	8	4	8	-	NA	NA	NA	NA
Pb ^b	57,7	79,7	79	39,8	118,5	79,6	99,3	NA	NA	NA	NA
Zn ^b	404,1	195,2	112,6	71,6	138,3	79,6	99,3	NA	NA	NA	NA
Cu ^b	136,7	59,8	98,8	39,8	98,8	39,8	99,3	NA	NA	NA	NA
Cr ^b	134,7	119,5	454,5	79,6	138,3	298,4	695,1	NA	NA	NA	NA
Ni ^b	134,7	79,7	1975,9		118,5	119,4	1986,1	NA	NA	NA	NA
Mn ^b	384,8	358,6	790,4	457,4	790	218,8	1589	NA	NA	NA	NA
K.K	1,87	6,47	3,78	1,33	1,87	2,31	4,62	NA	NA	NA	NA

2.4.5. Uçucu külün puzolanik özellikleri

En yaygın puzolan UK' dır. Bu malzeme, termik enerji santrallerinde içersinde öğütölmüş kömürün yanmasıyla ortaya çıkan bir üründür. Baca gazları atmosfere bırakılmadan önce bu gazlar içindeki ince tanelerin toz toplama sistemi tarafından toplanmasıyla elde edilir. Taneler genellikle küresel olup çapları 1 ile 150 µm arasında değişir. UK' nın kimyasal bileşimi ve özellikleri kullanılan kömürün yapısı ve bileşimine ve külün oluştuğu yakılma işlemine bağlı olarak değişir. UK inceliği puzolanik aktiviteyi önemli ölçüde etkiler [Özturhan, 1991].

UK' ların kimyasal özellikleriyle ilgili olarak TSE'nin getirmiş olduğu sınırlandırmalar aşağıda Çizelge 2.5'de verilmiştir. TS 639 nolu standart, çimento imal edilirken klinkere veya betona katılacak UK' ları kapsar. Başka amaçlarla kullanılan UK' ları kapsamaz [Özturhan, 1991].

UK inceliği puzolanik aktiviteyi önemli ölçüde etkiler. İnceliğini arttırmak için UK elenebilir, hava kullanılarak iri ve ince taneler ayrılabilir veya öğütme yapılabilir. Puzolanik reaksiyon UK tanesinin yüzeyinde başlar. İncelik arttırılırsa puzolanik aktivite de artar, ayrıca; betonda en zayıf halka olan agrega-çimento hamuru ara yüzeyinin özelliklerinin iyileştirilmesi için de UK inceliği önemlidir.

Çizelge 2.5. TS 639' da belirtilen uçucu külün kimyasal özellikleri

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

Puzolanların kullanım amaçları beton teknolojisinde enerji tasarrufu sağlamak ve betona taze ve sertleşmiş halde bazı yeni özellikler kazandırılması bulunmaktadır. Puzolanların etkinlikleri, mineralojik ve kimyasal yapısına, aktivitesine, kullanım

miktarına ve beton bileşim özelliklerine bağlıdır. Yüksek miktarda CaO içeren C sınıfı UK' lar ile silis dumanı ise betonda ilk yaşlardaki mukavemetleri de artırmakta ve oldukça yüksek nihai mukavemet verir. Bunların süper akışkanlarla kullanılması ile yüksek mukavemetli beton üretiminde yeni bir çığır açılmıştır [Özturhan, 1991]. UK' lar betonda termik rötreyi önlemek için kütle betonu yapımında kullanılmaktadır. Bu malzemelerin doğrudan betona katılması durumunda büyük enerji tasarrufu sağlanabilir. UK' lar çok ince olduklarından geçirimsiz beton üretiminde de kullanılabilir [Temiz, 1997].

UK' ların yapısı küresel ve süngerimsi olup tane büyüklüğü 1-200um arasında değişir, Genellikle kimyasal yapısının % 85'i SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ve MgO oluşturur. Taneciklerden oluşan kül yapılanmada senosfer, dermosfer özellikleri gösterir ve yüksek ısıdan dolayı dekompozedir. Minerolojik yapısında düşük kalsiyum barındıran UK' lar kendi rutubetli ortamlarında kalsiyumhidroksit ile reaksiyona girer ve bağlayıcı özelliğini ortaya koyar. Yani pozolaniktirler. Yüksek kalsiyumlu küller ise kimyasal yapısındaki amorf bileşenler v.b. den dolayı tek başlarına bağlayıcı özellikleri vardır. UK' ların özgül yüzeyleri $1700\text{-}5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ arasında değişiklik gösterir. Bir termik santralin hammadde ve imalat şartları değişiklik göstermediği sürece o santralin külünün inceliği değişmez.

Elektro filtrelerde tutulan veya seperasyona tabii tutulan küller çimento ve betonda kullanım açısından uygundur. Yoğunluğu yaklaşık 800 kg/m^3 dür [Çil, 2003].

2.4.6. Uçucu küllerin kullanım alanları

UK' lar çimento ve beton olarak baraj duvarları, maden ve diğer yapıların dolgu enjeksiyonlarında, köprü ayaklarında ve diğer pek çok inşaat yapılarında; tarımda çatı bahçesi ve ağaçlandırma çalışmalarında; agrega olarak otoyol, köprü, yol ve briket yapımında, endüstride hafif mineral dolgu maddesi, yol drenaj işlemlerinde ve asfalt içinde dolgu maddesi olarak kullanılmaktadır.

Hazır betonda UK kullanılırsa;

- Mukavemet PÇ' ye göre çok artar ve bu artım 400 güne kadar sürer.
- Boşluk doldurduğu için donatı korozyonunu net önler.
- Hidratasyon ısını düşürdüğü, için beton çatlaklarını önler.
- Ciddi oranda geçirimsizlik sağlar.
- Belli oranlarda betonun su ihtiyacını azaltır.
- Az oranda, da izolasyon sağlar.
- Betonun işlenme oranı çok artar.
- İşletmede beton pompalarının çalışmasını son derece rahatlatır ve aşman parçaların ömrünü uzatır.
- Betondaki büzüşmeyi engeller.
- Betondaki kuma ve ayrışmayı önler [Çil, 2003].

UK' nun taşınması, stoklanması beton, içine katılımı aynı çimento gibidir. Belli oranda çimento yerine kullanılabileceği gibi, ince agrega yerine de kullanılabilir. Külün ve agreganın nitelik ve niceliklerine göre laboratuvar çalışmaları sonucunda en iyi neticenin; hem çimento, hem de ince agrega yerine kullanıldığında alındığı tespit edilmiştir [Çil, 2003].

UK' nın çimento ile birlikte inşaat sektöründe en çok kullanıldığı alan, beton üretimidir. UK, hem normal ve hafif betonda hem de giderek kullanımı yaygınlaşan hazır beton üretiminde gerek katkı gerekse ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır [TS EN 450-2, 2008].

Ayrıca UK; tuğla üretiminde, gazbeton üretiminde, enjeksiyon betonlarında, zemin stabilizasyonunda ve dolgu malzemesi olarak kullanılmasında gün geçtikçe artan oranlarda kullanılmaktadır [Çil, 2003].

Beycioğlu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada UK' ların kullanım alanlarını Çizelge 2.6' daki gibi belirtmişlerdir.

Çizelge 2. 6. Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım alanları
[Beycioğlu ve Ark, 2008].

Malzeme	Kullanım Alanı/Yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame
Agrega	İnce agrega, iri agrega, hafif agrega
Beton	Katkı ve ikame malzemesi
Tuğla/Ateş Tuğlası	Katkı malzemesi
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme
Yapı Malzemesi	Blok, panel, duvar, gaz beton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Çeşitli Yapılar/Uygulamalar	Baraj, otoyol, nükleer santral, geoteknik uygulamalar

2.4.7. Uçucu kül ile yapılmış önceki çalışmalar

Binici ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Afşin-Elbistan UK' s1 ile Kahramanmaraş tekstil fabrikalarından elde edilen atık tekstil küllerin beton katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Afşin-Elbistan UK' s1 ile tekstil küllerinin %20 oranlarında betona katılması en ideal çözüm olarak tespit edilmiştir. Çünkü bütün dayanım yaşlarında bu oran en yüksek dayanım sonucunu göstermiştir. Afşin-Elbistan UK' s1 ile tekstil küllerin %10 ve %20 arasında kullanılmasının basınç dayanımını önemli ölçüde artırdığı; %30 ve daha fazla katılmasının ise basınç dayanımını azalttığı görülmüştür [Binici ve Ark, 2009].

Çullu ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, katkılı çimento üretiminde kullanılan Yatağan ve Soma termik santralleri UK' larının, çimentoya UK ikame edilmesiyle çimento örneklerinde karışım içerisinde artan CaO ve MgO miktarına bağlı olarak meydana gelebilecek genleşme miktarı ve çimento mekanik özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Bu amaçla, karışıma %0, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında UK ikame edilerek 25x25x285 mm boyutlarında harç çubukları ve 40x40x160 mm boyutlarında basınç ve eğilme dayanımı örnekleri hazırlamışlardır [Çullu ve Ark., 2008].

Hazırlanan numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, otoklav ve Le Chatelier (silindir kalıp) yöntemi ile hacim genleşme miktarı tayini deneyleri gerçekleştiren Çullu ve arkadaşları bu çalışma ile;

- Yatağan UK' sı ikameli ve Soma UK ikameli örneklerde basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerlerinin UK ikame oranına bağlı olarak azaldığı, %0 ikameli numunelerin en yüksek basınç ve eğilme dayanımı değerine sahip olduğu,
- Basınç dayanımlarının örnek yaşına bağlı olarak bütün UK ikame oranlarında anlamlı bir şekilde arttığı,
- UK ikame miktarına bağlı olarak çimento numunelerinde genleşme miktarlarının arttığı,
- En fazla genleşme miktarının her iki UK türünde de %40 UK ikameli numunelerde meydana geldiği,
- %0 ikameli örneklerin diğer bütün numunelerden daha az genleşme gösterdiği,
- %0 ikameli örneklerde %40 ikameli numunelere göre Yatağan UK ikamelilerde %62, Soma UK ikamelilerden %71 oranında daha az genleşme meydana geldiği sonuçlarına ulaşmışlardır. [Çullu ve Ark., 2008].

Saraswathy ve arkadaşları, çimento-UK karışımının hidratasyonunu hızlandırmak için UK' yı fiziksel, kimyasal ve termik yöntemler kullanarak daha etkin hale getirmişlerdir. Çeşitli yöntemler kullanarak daha aktif hale getirdikleri UK' yı, çimentonun yerine %10, %20, %30, %40 oranlarında kullanarak elde ettikleri karışımların 7, 14, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarını incelemişler ve %30 oranına kadar UK katkılı betonların basınç dayanımlarının arttığını ortaya koymuşlardır [Saraswathy ve ark, 2003].

Aruntaş yapmış olduğu araştırma sonucunda UK' ların inşaat sektöründe çok büyük kullanım potansiyelinin bulunduğunu belirtmiştir. UK kullanımının özellikle çimento, beton ve yapı malzemelerinin üretiminde daha yaygın olmakla birlikte; yol

inşaatında ve geoteknik uygulamalarında kullanıldığı da bu çalışmanın sonuçları arasında yer almaktadır. Türkiye’de ve Dünyada bu atığın değerlendirilmesi durumunda, enerji tasarrufu sağlanması, daha ucuz ve kaliteli malzeme üretilmesi, atık malzemenin geri dönüştürülmesiyle ülke ekonomisine katkı sağlanmasının yanı sıra hem doğal hammadde ile ekolojik dengenin korunması hem de çevre kirliliğinin önlenmesi mümkün olabilecektir [Aruntaş, 2006].

Yiğiter ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, standart kür yapılan beton örneklerinin bir günlük basınç dayanımının, UK oranının artması ile önemli oranda azaldığını, sonraki yaşlarda (3. günden sonra) bu farkın kaybolduğunu ve UK’ nın artması ile basınç dayanımının arttığını tespit etmişlerdir. Havada kür yapılan örneklerin basınç dayanımının ve elastisite modülünün su içerisinde standart kür yapılan numunelere kıyasla önemli oranda düşük çıktığını belirlemişlerdir. Bu durum UK içeren karışımların kür hassasiyetinin daha fazla olduğunun bir göstergesidir [Yiğiter ve Ark., 2004].

Tokyay ve Çetin, UK-kireç karışımlarından üretilen preslenmiş duvar blok elemanlarının basınç dayanımını ve su emme özelliklerini araştırmışlardır. Bu amaçla, Soma-B ve Tunçbilek termik santralleri külleri değişik oranlarda kireç ve toplam katı ağırlığın % 10’u kadar su ile karıştırılıp preslenerek tuğla boyutlarında elemanlar üretmişlerdir. Elde edilen sonuçlar her iki UK’ nın duvar blok elemanı üretiminde kullanılabileceğini ortaya koymuştur [Tokyay ve Çetin, 1991].

Satapathy, çalışmasında zirkonya ve UK katkıları ile tuğla üreterek, kompozit malzemenin mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Çalışmasının sonucunda artan katkı oranıyla su emme azalmış ve sertlik dayanımı artmıştır [Satapathy, 2000].

UK’ nın PÇ’ den çok daha ucuz bir malzeme olduğu bilinmektedir. Bu nedenle PÇ’ nin bir kısmı için bir değişim olarak bu ince puzolanik malzemenin kullanımının önemli derecede ekonomiklik kazandıracağı ve bunun yanında UK’ nın kullanımıyla islenebilirlikte gelişme, betonun konsolidasyonu, yerleştirilmesi ve karışımında kolaylık sağlanacağı bildirilmiştir [Erdoğan, 1997].

Ünal ve Uygunoğlu çalışmalarında Soma Termik Santrali'ne ait UK, agrega ve PKÇ32.5 çimentosu kullanılarak üretilen betonların özelliklerine UK katkısının etkisini araştırmışlardır. Beton numunelerde, su/çimento oranı 0.65, maksimum agrega tane çapı 31.5mm ve 300 kg/m^3 çimento dozajı esas alınmıştır. Karışımlardaki çimento miktarı ağırlıkça % 10, %20 ve %30 ve %40 oranlarında UK ikame edilmiştir. Çalışmanın sonucu % 10-20 oranında UK ile ikamesinin beton özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisinin olmadığı görülmüştür. [Ünal ve Uygunoğlu, 2004].

Dinçer ve Çağatay çalışmalarında, çimentonun yerine ağırlıkça % 0, 5, 10, 20, 30, 40 oranlarında UK kullanmışlardır. Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek için de 7, 14, 28, 90, 180 ve 365 günlük beton numuneler üretmişlerdir. Sonuç olarak çimentonun yerine UK ikamesinin, betonun mekanik özelliklerindeki etkisinin %20 UK ikamesine kadar çok iyi olduğunu ve %30'luk orana kadar kullanılabilir olduğunu sonucuna ulaşmışlardır [Dinçer ve Çağatay, 2004].

2.5. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR)

Alkali-agrega reaksiyonu agreganın reaktif silis bileşenleri ile çimentonun alkalileri (Na_2O , K_2O) arasında oluşan kimyasal bir olaydır. Bu olay son yıllarda alkali-silis reaksiyonu olarak da adlandırılır [Erdoğan, 1995]. Alkali-agrega reaksiyonu sonucu oluşan reaksiyonlar, beton yapımında bazen aylar, hatta yıllar sonra oluşur. Sertleşmiş beton içerisinde yer alacak bu tür reaksiyonlar sonucunda oluşan büyük genleşmeler sertleşmiş betonun çatlamasına ve kırılmasına neden olur [Binici ve Ark, 2009].

Alkali agrega reaksiyonu, betonda kullanılan çimentodan veya dış kaynaklardan gelen alkali hidroksitlerle, beton içindeki agregaların içerdiği reaktif bileşenler arasında meydana gelen bir kimyasal reaksiyondur [Swamy, 1992].

ASR PC' deki alkali hidroksitlerle agregada mevcut bazı mineraller (opal, çört, kalsedon, trimit, kristobalit ve kuartz gibi) arasında oluşan bir reaksiyondur [Malvar

ve Ark, 2002; Erdoğan, 2003]. Reaksiyon sonucu oluşan alkali-silika jeli bünyesinde fazla miktarda su absorbe ederek genişler ve bu suretle betonun şişmesine ve çatlamasına yol açar [DSİ, 1974].

ASR'nin oluşumu için, agrega bünyesinde reaktif silis, alkalitesi yüksek por çözeltisi ve ortamda yeterli rutubet bulunmalıdır. Bu koşullardan herhangi biri olmazsa ASR nedeniyle bir genleşme de olmayacaktır. Betonda oluşan yumuşak dokunun (jel) miktarı; silikanın türü, miktarı ve alkali hidroksit konsantrasyonuna bağlıdır. ASR'nin oluşturduğu reaksiyon iki aşamada gerçekleşir.

- Alkali + Reaktif Silika → Alkali Silika Jel Ürünleri
- Alkali Silika Jel Ürünleri + Rutubet → Genleşme

Betonda içsel çekme gerilmelerinin oluşumu 1.aşamadaki jel oluşumu ile eş zamanlı değildir. Bu nedenle jelin varlığı mutlaka ciddi boyutta ASR tahribatı oluşacağı anlamını taşımayabilir.

Rutubet, alkali iyonlarının yayılmasına, bu yayılma reaksiyon zonlarında jel oluşumuna, oluşan jel de su emerek şişip genleşmeye ve betonda içsel çekme gerilmelerinin doğmasına neden olur. Servis ömrü boyunca kuru kalan bir betonda ASR ciddi bir tehlike olmayabilir. Araştırmalar bağıl nem oranı % 80'in üstünde olan betonlarda ASR'nin oluştuğunu göstermektedir. Düşük su/çimento oranlı beton, ilave çimento, mineral katkı veya herhangi bir yolla beton geçirimsizliği azalırsa, rutubetin betona girişi ve beton içinde dolaşımı azalır. Dolayısıyla içinde alkalilerin yayılması da azalmış olur.

Sıcaklık artışı reaksiyon hızını arttırmaktadır. Agregaların büyük çoğunluğu daha yüksek sıcaklıklarda daha fazla reaktivite göstermektedir. Ayrıca sık kuruma-ıslanma tekrarı betonda alkali taşınmasını kolaylaştırmakta ve alkalilerin kuruma bölgelerinde yoğunlaşmasına neden olmaktadır [Neville, 1995].

Alkali silika reaksiyonunun ürünü, yüksek oranda su tutabilen alkali silika jeldir [Taylor, 1991]. Alkali silika jelinin çevrenin nemini içine alması ile betonda, hacimce %2-3 seviyesine kadar genleşme meydana gelebilmektedir. Genleşme sonucu, donatısız kütle betonlarında, kaplama betonlarında çekme dayanımının aşılması sonucu beton içinde ve yüzeyinde kırıklar ve çatlaklar gelişebilmektedir. ASR, beton bünyesinde oluşan ve genleşmeye neden olan bir reaksiyon olması nedeniyle, ASR'nin görünür dış belirtisi haritaya benzer çatlaklardır [Wen, 1998].

Betonda ASR'yi ortaya çıkarmak için kullanılan deney yöntemleri agregalar ve harç örneklerinde yapılabilen deneyler olmak üzere ikiye ayrılabilir. Harçlarda yapılan deneylerden olan ASTM C 227 deney yönteminin uzun zaman alması ve uygulamasının zor olmasından dolayı hızlı yöntemler daha kullanışlı olmaktadır [Davraz ve Gündüz, 2004].

2.5.1. Alkali Silika Reaksiyonu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalar

Binici ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada Afşin-Elbistan UK' sı ile Kahramanmaraş tekstil fabrikalarından elde edilen atık küllerin beton katkı maddesi olarak kullanılması araştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına göre UK ve tekstil külleri ile desteklenmiş betonlar alkali-agrega reaksiyonlarını önemli ölçüde azaltmış olup ayrıca söz konusu küllerin hazır beton üretiminde direk olarak betona mineral katkı olarak katılabileceği belirlenmiştir [Binici ve Ark, 2009].

Binal yapmış olduğu çalışmada, harçta en fazla genleşmeye neden olan ve literatürde pesimum oranı olarak adlandırılan tüm agregada içindeki reaktif agregada oranını araştırmak için çeşitli deneyler yapmış ve bunların sonuçlarını birbirleriyle karşılaştırmıştır. Reaktif agregalar farklı oranlarda tüm agregada içine katılarak harç çubukları hazırlanmış ve hızlandırılmış harç çubuğu deneyleri gerçekleştirilmiştir. En fazla boyca uzamanın meydana geldiği pesimum reaktif agregada oranı belirlenmiştir. Çalışma kapsamı içinde yapılan deneylerde diğerlerine göre daha yüksek alkali reaktivitesi gösteren opal yumrusu, tüm agregada içinde %20 oranında bulunduğunda en fazla genleşme meydana geldiği görülmüştür. Çört, kalsedon yumrusu, andezit ve

bazaltın pesimum oranları ise sırasıyla %40, %50, %80 ve %100 olarak belirlenmiştir [Binal, 2004].

Topçu ve arkadaşları yapmış oldukları bu çalışmada daha hızlı olmasından dolayı ASTM C 1260 deney yöntemini seçmişlerdir. Bu çalışmada prefabrik direkler üzerinde oluşan ve deniz ikliminin hakim olduğu bir bölgemizde kullanılan direklerde görülen çatlakların ASR'den kaynaklanıp kaynaklanmadığı araştırılmıştır. Direkt üretiminde kullanılan iki farklı çimento ve kum kullanılarak ASTM C 1260 Hızlı harç çubuk deneyine göre harç çubukları üretilmiş ve genleşmeler ölçülmüştür. Oluşan genleşmelerin sınır değeri aştığı belirlenmiş ve ASR'yi önlemek için çimento yerine % 10, 20 ve 30 oranlarında UK katılarak genleşmeler azaltılmaya çalışılmıştır. Sonuç olarak UK' nın ve bu cinsten ASR inhibitörlerinin kullanılması ASR reaksiyonlarının önlenmesinde çok yararlı olacağı görülmüştür [Topçu ve Ark, 2005].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Bu çalışmada Kırşehir ili Kaman ilçesi tuğla fabrikası atıklarından elde edilen atık tuğla tozu (ATT), Muğla ilinde bulunan Yatağan termik santralinden elde edilen Yatağan uçucu külü (UK) kullanılmıştır. Harç numune üretiminde TS EN 196-1 standardına uygun CEN standart kumu ve CEM I 42,5R çimentosu ve içme suyu (İS) kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Harç numunesi üretiminde kullanılan YİBİTAŞ çimento fabrikasından temin edilen çimentonun kimyasal kompozisyonu, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1’ de verilmiştir.

Çizelge 3.1. CEM I 42,5R özellikleri [YİBİTAŞ, 2010]

Nitelik	Değerler
Kimyasal Özellikler	
Silisyum Oksit	% 18,85
Alüminyum Oksit	% 5,58
Demir Oksit	% 2,50
Kalsiyum Oksit	% 63,27
Serbest CaO	% 0,75
Magnezyum Oksit	% 2,60
Kükürt Oksit	% 3,02
Sodyum Oksit	% 0,19
Potasyum Oksit	% 1,04
Çözünmeyen Kalıntı	% 0,24
Kızdırma Kaybı	% 2,44
Fiziksel Özellikler	
Yoğunluk	g/cm ³ 3,06
Özgül Yüzey	cm ² /g 3660

Çizelge 3.1. (Devamı) CEM I 42,5 R özellikleri

Su / Çimento Oranı		30,5
Priz Başlangıcı	Dakika	180
Priz Sonu	Dakika	225
Hacim Genleşmesi	mm	0,5
Mekanik Özellikler		
2 Günlük Basınç Dayanımı	N/mm ²	31,9
7 Günlük Basınç Dayanımı	N/mm ²	44,0
28 Günlük Basınç Dayanımı	N/mm ²	53,9

3.1.2. Standart kum

CEN Standart Kum Set Çimento Pınarhisar Tesislerinden temin edilmiştir. Standart kumun tane büyüklüğü Çizelge 3.2’ de verilen limitler arasındadır.

Çizelge 3.2. CEN Referans kumu tane büyüklüğü dağılımı [TS EN 196-1, 2002]

Kare Göz Açıklığı (mm)	Kümülatif Elekte Kalan (%)
2,00	0
1,60	7 ± 5
1,00	33 ± 5
0,50	67 ± 5
0,16	87 ± 5
0,08	99 ± 1

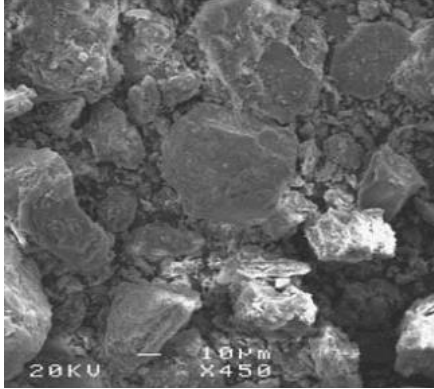
3.1.3. Atık tuğla tozu

Kaman tuğla fabrikasından alınan tuğla atıkları çekiç yardımı ile kırılmış; küçük parçalar haline getirilmiştir. Bu küçük parçalar bilyeli değirmende yaklaşık üç saat süre ile öğütülmüştür. Öğütme işlemi tamamlandıktan sonra 75 µm (0,075 mm)’lik elekten elenerek; elekten geçen kısım araştırmada kullanılmıştır. ATT ve UK’ nın özellikleri Çizelge 3.3’ de verilmiştir.

Çizelge 3.3. Atık tuğla tozu ve uçucu kül özellikleri

Özellik		Atık Tuğla Tozu (ATT)	Uçucu Kül (UK)
Silisyum Oksit	%	40,12	45,38
Alüminyum Oksit	%	14,91	19,74
Demir Oksit	%	16,05	7,47
Kalsiyum Oksit	%	13,75	1,22
Magnezyum Oksit	%	3,19	2,79
Potasyum Oksit	%	1,84	2,24
Sodyum Oksit	%	0,00	0,57
Titanyum Oksit	%	0,00	1,04
Kükürt Oksit	%	0,56	5,63
Kızdırma Kaybı	%	9,58	1,87
Özgül Yüzey (Blaine)	cm ² /g	5894	3392
Yoğunluk	g/cm ³	2,14	1,94

Atık tuğla tozunun SEM mikroskobu ile çekilmiş görüntüsü Resim 3.1’ de görülmektedir.

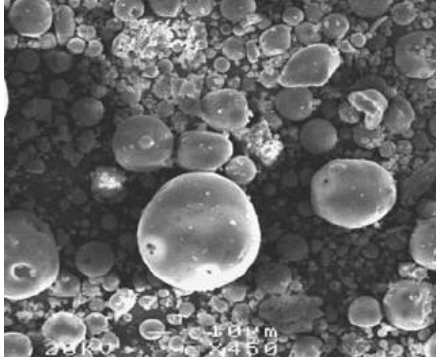


Resim 3.1. Atık tuğla tozunun mikro yapısı

3.1.4. Uçucu kül

Yatağan UK’ sının bu çalışmada tercih ediliş nedeni ATT özelliklerine yakın oluşu ve silisyum oksit, alüminyum oksit ve demir oksit değerlerinin %70’in üzerinde oluşudur.

Resim 3.2 uçucu külün SEM mikroskobu görüntüsünü içermektedir.



Resim 3.2. Uçucu külün mikro yapısı

3.1.5. Su

Numuneler hazırlanırken Ankara Büyükşehir Belediyesi içme suyu şebekesinden faydalanılmıştır. Kullanılan suyun kalite kontrol sonuçları ise Çizelge 3.4’ de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ankara şebeke suyu analiz sonuçları [ASKİ, 2010; TS 266, 2005]

PARAMETRELER	İVEDİK ARITMA ÇIKIŞI	WHO	TS 266	T.C. Sağlık Bakanlığı İnsani Tüketim Amaçlı Sular Yönetmelik Değerleri
Renk (Pt-Co Birimi)	< 5	15	20	Yok
Bulanıklık (NTU Birimi)	0,70	5	5	1,0
Koku	Yok	Yok	Yok	Yok
Tat	Normal		Normal	Normal
Bakiye Klor (mg/l)	1,0	5		Uç noktada 0,5
pH	7,44	6,5-8,5	6,5 < pH < 9,5	< 6,5 ve < 9,5
Elektriksel İletkenlik (Y = 25 °C, mS/m)	19,2		250,0	250,0
Nitrat (mg/l)	1,23	50	50	50
Sodyum (mg/l)	7,5	200	200	200
Klorür (mg/l)	8,21	250	250	250
Sülfat (mg/l)	22,0	250	250	250

Çizelge 3.4. (Devamı) Ankara şebeke suyu analiz sonuçları

Alüminyum (mg/l)	132	200	200
Demir (mg/l)	11	200	200
Escherichia Coli E. Coli (100 ml.)	0	0	0
Koliform Bakteri (100 ml.)	0	0	0

3.1.6. Deniz suyu

DS Muğla ili Fethiye ilçesi kıyısından yaklaşık 1 kilometre içerden alınmıştır. Getirilen DS' ye ait başlıca tuzlar; sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO₄), kalsiyum sülfat (CaSO₄), potasyum klorür (KCl), Potasyum sülfat (K₂SO₄) değerleri Çizelge 3,5' de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Akdeniz deniz suyu kimyasal analiz değerleri

Deniz	Yöre	Toplam Tuzluluk (%)	Mg ²⁺ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Na ⁺ (mg/l)	Ca ⁺ (mg/l)
Akdeniz	Fethiye	3,7	1440	2920	19248	12142	574

3.2. Metot

%5, %10, %15 ve %20 oranlarında çimento yerine ikameli olarak ATT, UK ayrıca ATT ve UK eşit oranlarda karıştırılarak beraber (ATT+UK) kullanılmıştır. Bu katkıların her bir ikame oranıyla 40x40x160 mm boyutlarında harç prizmaları üretilmiştir. Harç prizmaları test gününe kadar şehir şebeke ve deniz suyunda (DS) olgunlaştırılmıştır.

ATT ve UK ikameli 25x25x285 mm boyutlarında numuneler üretilerek bu katkıların ASR üzerine etkileri incelenmiştir.

3.2.1. Priz süresi ve hacim genleşmesi özelliklerinin belirlenmesi

Çimentonun, ATT, UK ve ATT+UK ikameli priz süresi ve hacim genleşmesi özelliklerinin belirlenmesinde TS EN 196-3 standardı esas alınmıştır [TS EN 196-3, 2002].

3.2.2. Çimento harçlarının hazırlanması ve dayanımının belirlenmesi

ATT, UK ve ATT+UK ikameli çimento harçlarının basınç dayanımı tayini deneyleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak 40x40x160 mm boyutlarında üçlü çelik harç kalıpları kullanılarak yapılmıştır [TS EN 196-1, 2002; Şimşek, 2007]. Deney numunelerinin hazırlanmasında 450 gr çimento, 1350 gr standart kum, 225 gr su kullanılmıştır. Karıştırma işlemi Resim 3.3’ de görülen ELE markalı otomatik harç karıştırma mikseri ile yapılmıştır.



Resim 3.3. ELE marka otomatik harç karıştırma mikseri

Basınç dayanımının belirlenmesinde ELE marka 250 kN’ luk çimento presi kullanılmıştır.

Basınç dayanımının bulunmasında kullanılan pres Resim 3.4’ de gösterilmektedir.



Resim 3.4. Basınç dayanımı cihazı

Numuneler İS kürü ve DS kürü olmak üzere iki farklı kür ortamı için aşağıdaki Çizelge 3.6' daki gibi hazırlanmıştır.

Çizelge 3.6. Numune üretim planı

Harç Örnekleri	Karışım Oranları (Bağlayıcı %)		Kür Özellikleri					
	ATT	UK	İçme Suyu Kürü (İS)			Deniz Suyu Kürü (DS)		
			7	28	90	7	28	90
Kontrol (K)	-	-	6	6	6	6	6	6
ATT5	5	-	6	6	6	6	6	6
ATT10	10	-	6	6	6	6	6	6
ATT15	15	-	6	6	6	6	6	6
ATT20	20	-	6	6	6	6	6	6
UK5	-	5	6	6	6	6	6	6
UK10	-	10	6	6	6	6	6	6
UK15	-	15	6	6	6	6	6	6
UK20	-	20	6	6	6	6	6	6
ATT+UK5	2,5	2,5	6	6	6	6	6	6
ATT+UK 10	5	5	6	6	6	6	6	6
ATT+UK 15	7,5	7,5	6	6	6	6	6	6
ATT+UK 20	10	10	6	6	6	6	6	6

Üretilen bu numuneler İS kürü ve DS küründe 7, 28, 90 gün bekletildikten sonra basınç dayanımı değeri R_c , aşağıdaki eşitlikten hesaplanır;

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Burada;

R_c : Basınç dayanımı (N/mm^2)

F_c : Kırılmadaki en büyük yük (N)

1600 : Plakaların (40 mm x 40 mm) alanı (mm^2)'dır.

[TS EN 196-1, 2002].

3.2.3. Alkali Silika Reaksiyonu numunelerinin hazırlanışı ve boy değişim ölçümleri

ATT ve UK' nın ASR üzerindeki etkisini araştırmak için çimento harcına %0, %5, %10, %15 ve %20 oranlarında ATT ve UK katılarak ASTM C 1260 standardına göre her bir oran ile 25 x 25 x 285 mm boyutlarında harç çubukları üretilmiştir. Hazırlanan harç çubuklarının 3, 7, 10, 14, 21 ve 28 gün sonra harç çubuklarının boy değişimleri ölçülmüştür. Çalışmada ATT ve UK ikamesinin ASR reaksiyonunun belirlenebilmesi amacıyla ön deneylerde standart sınır değerin üzerinde bir boy değişimi gösteren Çubuk/Ankara/Türkiye'den alınan agrega kullanılmıştır.

Numune üretiminde çimento ağırlık olarak %0, 5, 10, 15 ve 20 oranlarında azaltılıp, yerine T ve U ikame edilmiştir. Karışımlarda su-bağlayıcı oranı 0.47 tutulmuştur. Ancak ikame oranı artan karışımlarda işlenebilirliği sağlayacak minimum su ilave edilmiştir.

Kalıplara harç iki eşit tabaka halinde olacak şekilde yerleştirilmiş ve her tabaka sarsma tablasında 1 dakika (60 sarsma) sıkıştırılmıştır. Kalıplar %90 nispi nem bulunan kür odasında 23 ± 1.7 °C' de 24 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan harç çubukları saf su içerisine konarak 80 ± 2.0 °C sabit ısıdaki kür tankında 24 saat bekletilip ilk boy ölçümleri alınmıştır.

Numuneler 80°C’ de sabit ısıdaki 1 M NaOH çözeltisi bulunan kür tankına konulmuştur. Harç çubukları bu çözelti kür tankı içerisinde ölçüm yapılacağı güne kadar tutulmuş; boy değişim değerleri 3, 7, 10, 14, 21 ve 28. günlerde kompansatörle ölçülmüştür.

Her harç örneği için 3 adet numune hazırlanmıştır ve her harç örneği karışımı için okumalar bu üç numune üzerinden yapılmıştır.

Çizelge 3.7’ de boy uzama harç örneklerinin karışım oranları ve boy değişimlerinin ölçüldüğü günler verilmiştir.

Çizelge 3.7. Boy uzama harçlarının karışım oranları ve okuma günleri

Harç Örnekleri	Karışım Oranları (Bağlayıcı %)		ASTM C 1260’a Göre Üretilen Numunelerin Boy Değişimlerinin Okunduğu Zaman Aralıkları (Gün)					
	ATT	UK						
			3	7	10	14	21	28
Kontrol (K)	-	-	√	√	√	√	√	√
ATT5	5	-	√	√	√	√	√	√
ATT10	10	-	√	√	√	√	√	√
ATT15	15	-	√	√	√	√	√	√
ATT20	20	-	√	√	√	√	√	√
UK5	-	5	√	√	√	√	√	√
UK10	-	10	√	√	√	√	√	√
UK15	-	15	√	√	√	√	√	√
UK20	-	20	√	√	√	√	√	√

4. DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

4.1. Yapay Puzolanların Priz Süresi ve Hacim Genleşmesi Özelliklerine Etkileri

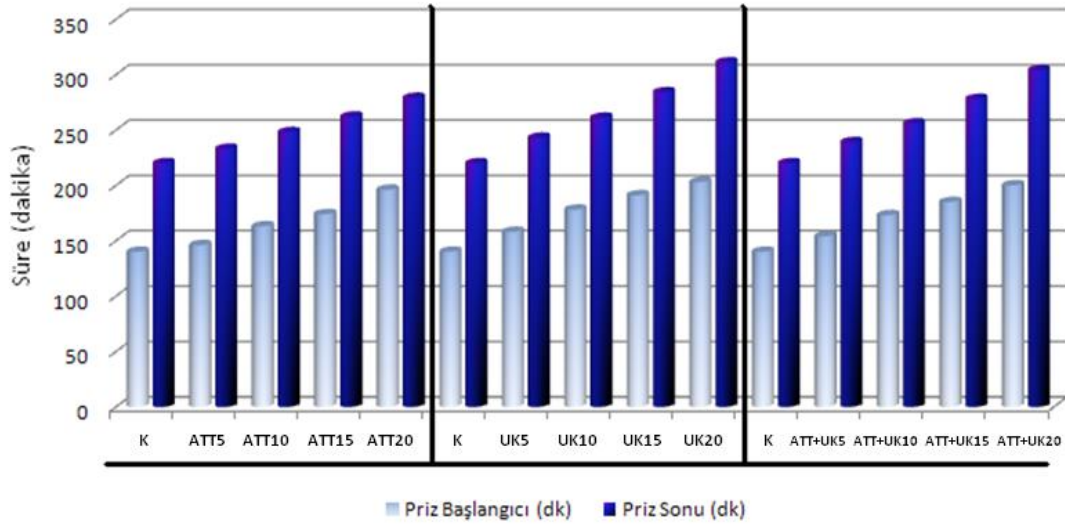
TS EN 196-3 standardına göre yapılan priz başlama, priz sonu ve hacim genleşmesi deneyleri sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.1’ de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Çimento ve ikame katkıların priz başlangıcı, priz sonu ve hacimsel genleşme değerleri

Karışımlar	Priz Başlangıcı (dk)	Priz Sonu (dk)	Kıvam Suyu (cc)	Hacim Genleşmesi (mm)
Kontrol	140	220	142	1
ATT5	146	233	145	1
ATT10	163	248	148	1
ATT15	174	262	152	2
ATT20	196	279	156	3
UK5	158	243	147	1
UK10	178	261	151	2
UK15	191	284	155	2
UK20	203	311	158	3
ATT+UK5	154	239	146	1
ATT+UK510	173	256	150	2
ATT+UK515	185	278	153	2
ATT+UK520	200	304	157	3

Çizelge 4.1 incelendiğinde katkı oranı arttıkça priz başlama ve priz sona erme süreleri artmaktadır. Bu artış katkı maddesi cinsine göre değişiklik göstermektedir. Karışım suyu da priz süresi ile paralellik göstermektedir. Hacimsel genleşme değerleri arasında önemli bir farklılık görülmemektedir. Elde edilen bulgular literatüre uygundur.

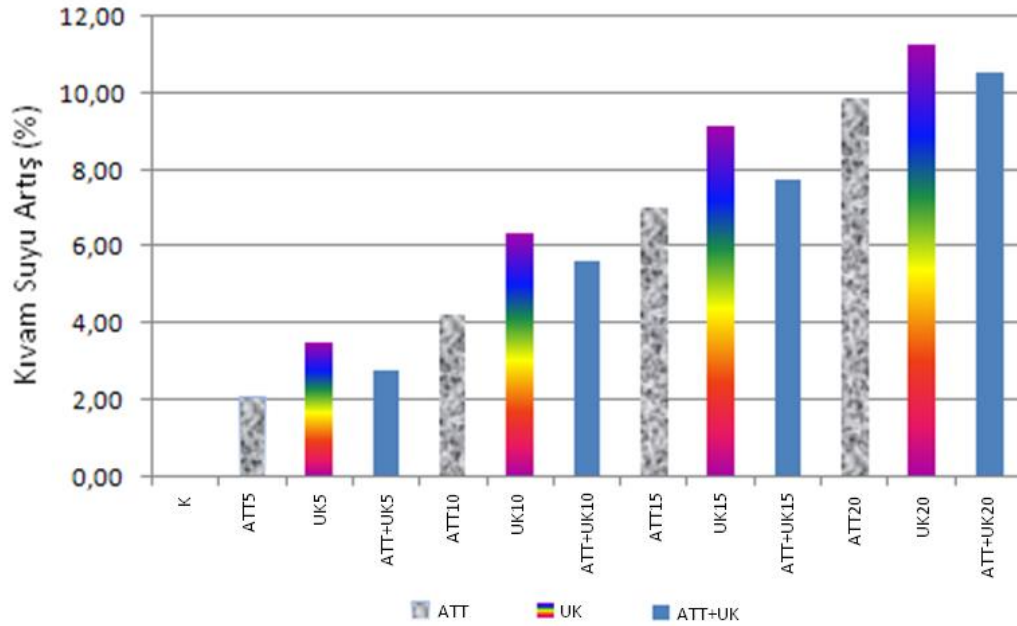
Priz başlangıç ve priz sonu sürelerine ait değerler Şekil 4.1’ de görülmektedir.



Şekil 4.1. Karışım türlerinin priz başlangıcı ve priz sonu süreleri

Şekil 4.1’ de görüldüğü gibi araştırmada kullanılan katkı maddelerinde en uzun priz başlangıç süresi UK20 karışımına aittir. Priz sonu değerinde de en uzun süre yine UK20 karışımında görülmüştür. Bütün karışımlardaki priz başlangıcı ve priz sonu süreleri kontrol sürelerinden uzundur. Bu sonuçlara göre ikame edilen katkı maddeleri ATT, UK ve ATT+UK oranları arttıkça priz başlangıç ve bitiş süreleri de uzamıştır.

Kontrol numunesine göre ATT oranı arttıkça priz başlama ve priz sonu süreleri artmaktadır. Bu artış UK ve ATT+UK karışımlarında da görülmektedir. Bu artışlar katkı maddelerinin cinsine göre farklılık göstermektedir. Şekil 4.1’ de UK’ lı karışımlarda UK’ nın etkisi açıkça görülmektedir. Bunun nedeni olarak ise ATT ve UK’ nın kimyasal yapılarından kaynaklandığı söylenebilir.



Şekil 4.2. Karışım türlerinin kıvam suyu artış yüzdeleri

Kıvam suyu karşılaştırıldığında katkı oranı arttıkça karışım suyunun da arttığı görülmektedir. Karışım suyu artış oranlarına bakıldığında ve Şekil 4.2 incelendiğinde en çok kıvam suyu artışının UK karışımlarında olduğu görülmektedir. Bu karışımı ATT+UK ve ATT karışımlarının kıvam suyu artış değerleri izlemektedir. Bunun nedeni için hacim olarak yoğunluğu daha küçük olan UK' nın karışımda daha fazla olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Artış oranı katkı maddesi cinsine göre değişmektedir. Ayrıca katkı maddesinin ikame oranları bir arada verilerek katkı maddesinin cinsinin kıvam suyuna etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Bütün oranlarda UK ikamesi su gereksinimini artırmıştır. Bu artışın nedeni olarak malzemelerin inceliği yani özgül yüzeylerinden kaynaklandığı akla ilk gelen unsurdur. Malzemelerin özgül yüzeyleri ile ilgili tablolarda çimento $3660 \text{ cm}^2/\text{gr}$ iken uçucu kül $3392 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ve atık tuğla tozu $5894 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olduğu görülmektedir. Burada en ince "ATT" dir. ATT' nin kıvam suyu ise UK' dan daha azdır. Fakat yoğunlukları incelendiğinde UK $1,94 \text{ gr}/\text{cm}^3$ ile en düşük yoğunluğa sahiptir. ATT' nin yoğunluğu $2,14 \text{ gr}/\text{cm}^3$, çimentonun ise $3,06 \text{ gr}/\text{cm}^3$ olduğu görülmektedir. Katkı maddeleri ağırlıkça ikame edilmiştir. Ağırlıkça ikame edilmesi hacimce farklılık yaratmıştır. Yoğunluğu düşük olan ikame malzemesinin karışım içinde hacimce daha fazla bulunmasını kıvam suyu miktarında artışa neden olduğu söylenebilir. Bu artışların

literatüre uygun olduğu da görülmektedir [Çiftçi, 2004; Şimşek ve Çiftçi, 2006; Yaprak ve ark., 2010; Çelik ve Ark., 2001].

4.2. Basınç Dayanımı

Üretilen prizmalar İS ve DS kürü ortamlarında test gününe kadar bekletilmiştir.

4.2.1. Atık tuğla tozu, uçucu kül ve atık tuğla tozu+uçucu kül ikameli harç numunelerinin basınç dayanımına etkileri

ATT, UK ve ATT+UK ikameli harç numunelerinin basınç dayanımlarının ortalamaları Çizelge 4.2’ de verilmiştir.

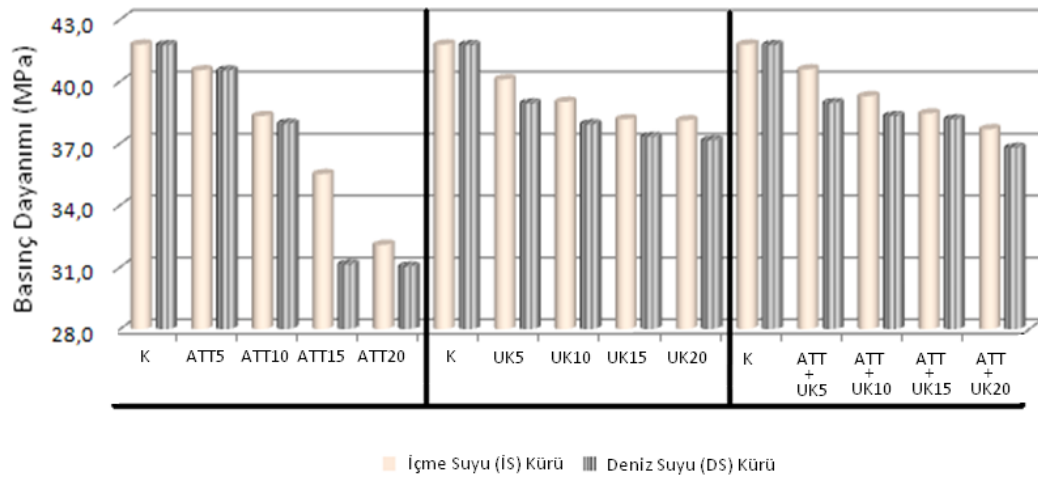
Çizelge 4.2. K, ATT, UK ve ATT+UK harçlarının basınç dayanımları

Numune	İçme Suyu Kürü (MPa)			Deniz Suyu Kürü (MPa)		
	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	90 Günlük
K	41,8	51,1	54,1	41,7	50,0	52,2
ATT5	40,5	52,3	55,3	40,5	48,9	49,2
ATT10	38,3	52,2	57,2	37,9	44,0	53,0
ATT15	35,5	50,3	52,6	31,1	42,7	49,1
ATT20	32,1	46,5	51,1	31,0	41,9	46,5
UK5	40,1	52,5	54,9	38,9	49,9	51,7
UK10	39,0	51,8	56,4	37,9	45,6	54,3
UK15	38,2	49,9	58,4	37,3	45,2	55,1
UK20	38,1	45,7	55,6	37,1	44,8	53,9
ATT+UK5	40,6	52,4	55,5	38,9	49,0	48,6
ATT+UK 10	39,3	52,2	56,3	38,3	48,4	52,3
ATT+UK 15	38,4	51,9	54,3	38,2	45,8	51,0
ATT+UK 20	37,7	49,5	52,1	36,8	45,4	50,2

Çizelge 4.2 incelendiğinde bütün ikame malzemelerin oranı arttıkça 7 günlük basınç dayanımları kontrol numunesine göre düşüktür. 28 ve 90 günlerde ise bazı ikame oranlarında kontrol numunesine göre artış görülmektedir. Bu ilişkiler iki ortamda da (içme suyu, deniz suyu) geçerlidir. Genel olarak DS’ de olgunlaşan numuneler İS küründe oluşan numunelerden düşük çıkmıştır. Bütün karışımlarda olgunlaşma

süresindeki (test yaşı) atışa bağlı olarak basınç dayanımı değerinin de arttığı görülmektedir.

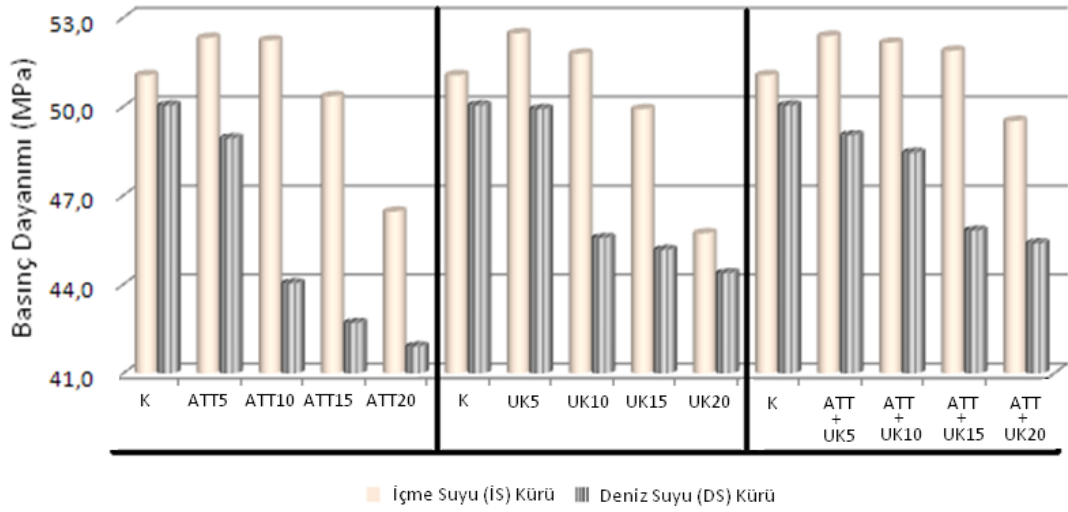
İS kürü ve DS küründe 7 gün bekletilen harç numunelerine ait basınç dayanımları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.3’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Farklı kür şartlarında 7 günlük numunelerin basınç dayanımları

Şekil 4.3 incelendiğinde K, ATT, UK ve ATT+UK numunelerinin İS kürü ve DS küründe 7 gün bekletildikten sonraki basınç dayanımları görülmektedir. 7 günlük basınç dayanımlarında ATT, UK ve ATT+UK katkı oranları arttıkça basınç dayanımlarının her iki kür ortamında da azaldığı görülmektedir. 7 günlük numunelerde en yüksek basınç dayanımı her iki kür ortamında kontrol (K) numunelerinde; en düşük dayanım ise yine her iki kür ortamında %20 ATT ikameli numunelerde görülmektedir. Bu sonuç ikame malzemelerin 7 günlük basınç dayanımı değerlerini azalttığını göstermektedir. En yüksek basınç dayanımı bağlayıcı miktarı en çok olan K numunelerinde saptanmıştır. Ayrıca karışımlardaki bağlayıcı miktarı azaldıkça basınç dayanımlarının da azaldığı Şekil 4.3’ de görülebilmektedir.

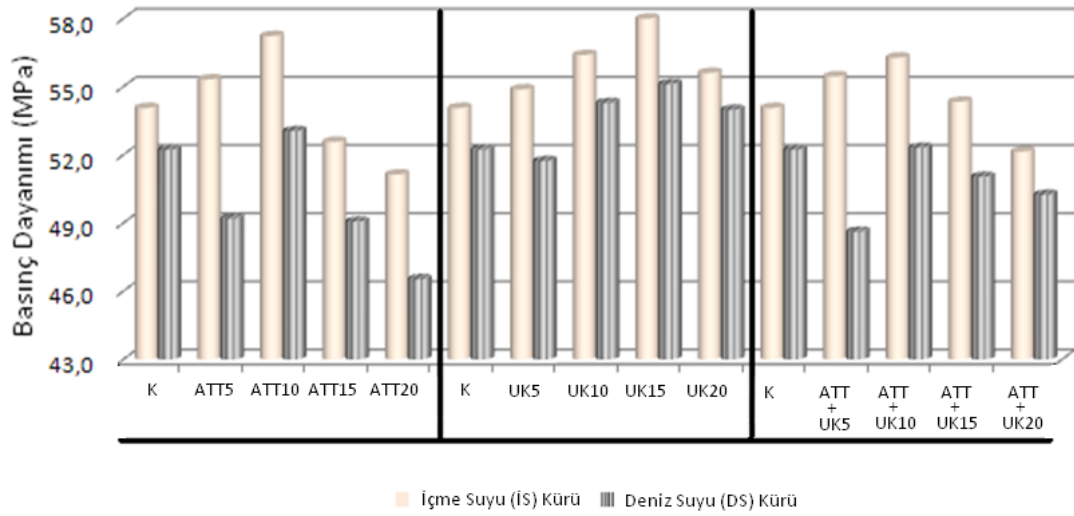
İS kürü ve DS küründe 28 gün bekletilen harç numunelerine ait basınç dayanımları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.4’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Farklı kür şartlarında 28 günlük numunelerin basınç dayanımları

28 günlük basınç dayanımında deniz küründe bekletilen numuneler K dayanımını geçemezken; İS küründe bekletilen numunelerden ATT5, ATT10, UK5, UK10, ATT+UK5, ATT+UK10 ve ATT+UK15 kontrol numunesinin basınç dayanımından daha yüksektir. En yüksek basınç dayanımını İS küründe UK5 verirken; DS küründe K numunesi vermiştir. En düşük basınç dayanımını ise İS küründe UK20; DS küründe ATT20 vermiştir. Sonuçlar incelendiğinde DS' nin dayanıma olumsuz etki ettiği görülebilmektedir. İS kürü küründeki numunelere bakıldığında ise %5, %10 ATT ve UK, %5, %10 ve %15 ATT+UK ikamesinin dayanıma olumlu etki ettiği görülmektedir. Bu durum ikame malzemelerin ilerleyen yaşlarda dayanıma olumlu etki ettiğini göstermektedir.

İS kürü ve DS küründe 90 gün bekletilen harç numunelerine ait basınç dayanımları karşılaştırılmalı olarak Şekil 4.5' de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Farklı kür şartlarında 90 günlük numunelerin basınç dayanımları

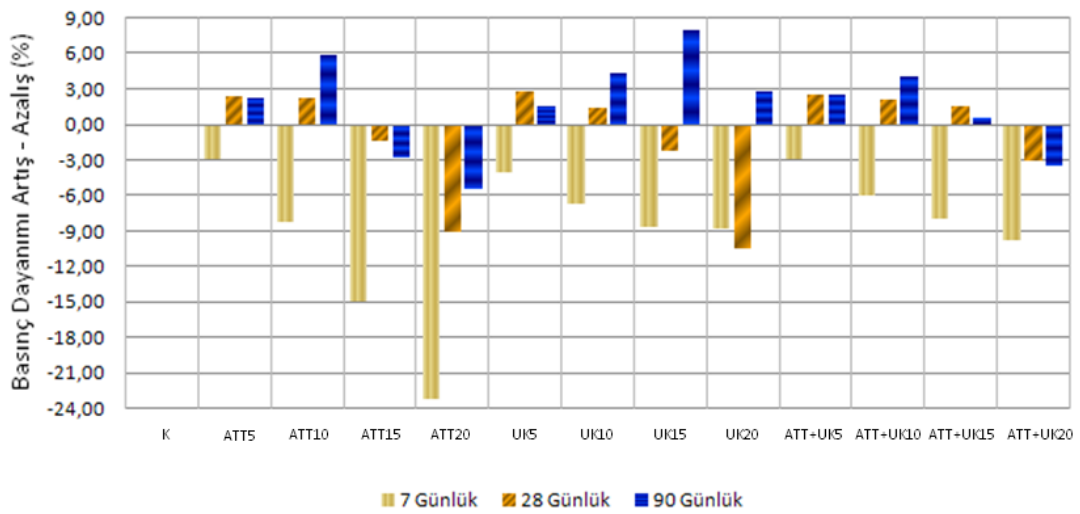
90 günlük basınç dayanımında tüm karışımlarda en yüksek dayanımı her iki kür koşulu içinde UK15' in sağladığı görülmektedir. En düşük basınç dayanımı değerleri ise her iki kür koşulunda da ATT20 numunesinden elde edilmiştir. Şekil 4.5 incelendiğinde ATT, UK ve ATT+UK karışımlarının basınç dayanımları parabolik bir eğri vermektedir. Yani ikame oranı arttıkça belli bir noktaya kadar basınç dayanımı artmış; daha sonra da düşüşe geçmiştir. Bu durum literatüre bakıldığında yapılan çalışmalarla da uyumluluk göstermektedir [Çullu ve Ark., 2008; Özgan ve Yıldız, 2009; Binici ve Ark., 2009; Şimşek ve Arkadaşları, 2001]

T ikameli karışımlarda en yüksek basınç dayanımı değerleri her iki kür koşulu dikkate alındığında ATT10 karışımında; UK ikameli karışımlarda UK15 karışımında; ATT+UK ikameli karışımlarda ATT+UK10 karışımında görülmektedir.

İkame malzemelerinin puzolanik özellik gösterdiği Şekil 4.5 incelendiğinde görülmektedir. İS küründe ATT5, ATT10, UK5, UK10, UK15, UK20, ATT+UK5, ATT+UK10 ve ATT+UK15 karışımları kontrol numune basınç dayanımını geçmiştir. 28 günlük DS kürü basınç dayanımı değerlerinde hatırlanacağı gibi hiçbir ikameli karışımda K referans numunesi basınç dayanımı üzerinde değer bulunamamıştı. Ancak 90 günlük DS kürü basınç dayanımı değerleri incelendiğinde ATT10, UK10, UK15, UK20 ve ATT+UK10 karışımları kontrol numune basınç

dayanımı değerinin üzerine çıkmıştır. Buradan ATT, UK ve ATT+UK katkısının %10-%20 arasında ikame edildiğinde DS etkilerine karşı dayanıklı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Şekil 4.6’ da İS kürüne tabi tutulan numunelerin referans numuneye (K) göre basınç dayanımı artış-azalışı yüzdesel değerleri ile verilmiştir.

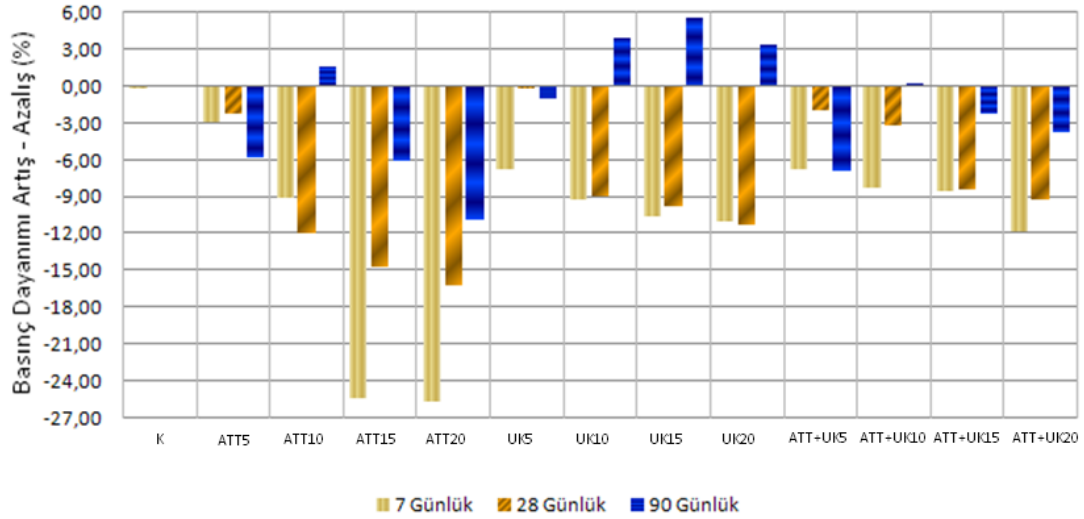


Şekil 4.6. İçme suyu kürüne tabi tutulan numunelerin kontrol numunelere göre basınç dayanımı artış-azalışı (%)

Şekil 4.6 incelendiğinde İS küründe K numunesine göre diğer numunelerin 7, 28 ve 90 günlük dayanım değerleri karşılaştırılması görülebilmektedir. Basınç dayanımında en çok yüzdesel artış 90 günlük numunelerde meydana gelmiştir. Bu durum hem literatürde yapılan çalışmalara paraleldir; hem de ATT, UK ve ATT+UK katkısının pozitif özellik gösterdiğinin kanıtıdır.

7 günlük numunelerin basınç dayanımı değerlerinin diğer yaşlara göre az olmasının nedeni pozitif malzemelerin erken yaşlardaki dayanıma katkı göstermemesi olarak söylenebilir. İleriki yaşlarda 28 günlük ve özellikle 90 günlük basınç dayanımı değerlerinde ise ATT, UK ve ATT+UK basınç dayanımına olumlu yönde katkı yapmıştır. Bu durumu malzemelerin pozitif katkı maddesi olarak kullanılabilirliğini göstermektedir.

Şekil 4.7’de DS kürüne tabi tutulan numunelerin kontrol numuneye (K) göre basınç dayanımı artış-azalışı yüzdesel değerleri ile verilmiştir.

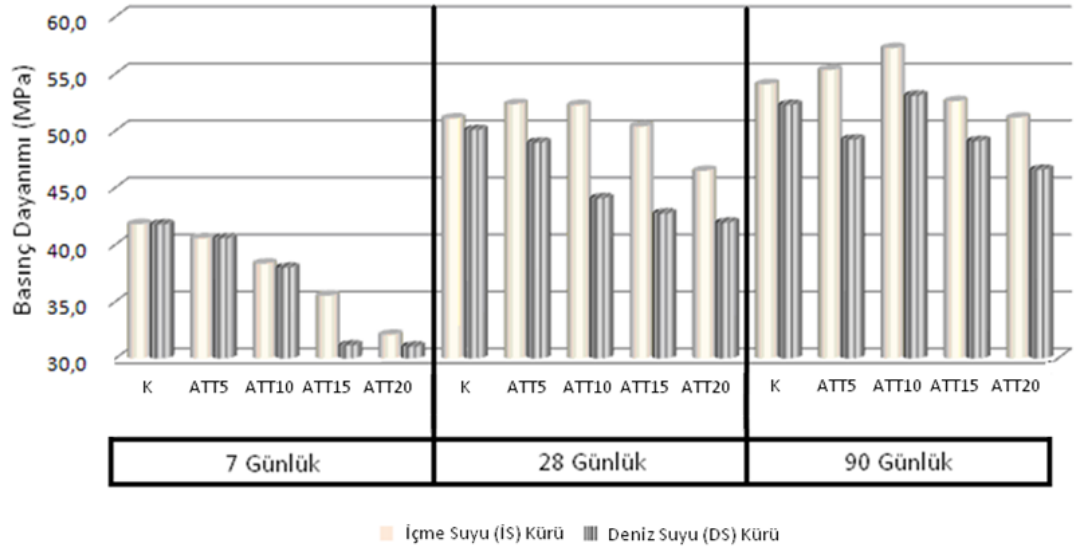


Şekil 4.7. Deniz suyu kürüne tabi tutulan numunelerin referans numunelere göre basınç dayanımı artış-azalışı (%)

Şekil 4.7 incelendiğinde DS’ nin basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği görülebilmektedir. Sadece 90 günlük yaşlarda toplamda 5 karışım türünde basınç dayanımı değerleri K numunesini geçerken; diğer hiçbir karışım türünün basınç dayanımı değeri K numunesini geçememiştir. Özellikle ATT ikameli numunelerde basınç dayanımının diğer ikameli numunelere oranla daha az oluşunun nedeni olarak kimyasal özelliklerinin farklı oluşu ve hammaddesinin toprak kökenli oluşu gösterilebilir. Numune yaşı arttıkça DS etkisinin de azaldığı görülmektedir. Bu durum da malzemelerinin puzolanik özelliğinin bir göstergesi olarak söylenebilir.

4.2.2. Atık tuğla tozu ikameli harç numunelerinin basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi

ATT ikameli numunelerin İS kürü ve DS küründe 7, 28 ve 90 gün bekletildikten sonra elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 4.8’ de verilmiştir.



Şekil 4.8. Farklı kür şartlarında 7, 28 ve 90 günlük atık tuğla tozu karışımlarının basınç dayanımları

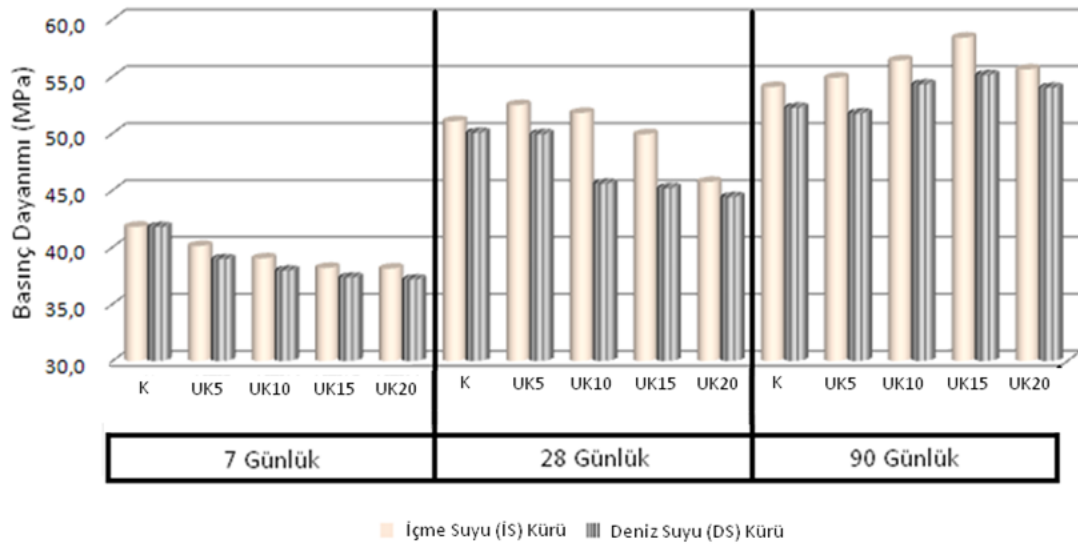
ATT ikameli numunelerin 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ATT ikamesi arttıkça basınç dayanımı değerlerinin de azaldığı görülmektedir. Her iki kür koşulunda da en yüksek dayanım K numunesinde; en düşük dayanım ise ATT20 numunesinde meydana gelmiştir. Bu sonuç bağlayıcı miktarı azaldıkça dayanımın düştüğünü göstermektedir.

ATT ikameli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ATT ikamesinin İS küründe bekletilen numunelerin ikisinde ATT5 ve ATT10'da basınç dayanımlarını K' ya göre arttırdığı görülmektedir [Özgan ve Yıldız, 2009]. DS küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı değerlerine bakıldığında ise ATT miktarı arttıkça dayanım azalmasının olduğu görülmektedir. DS' nin ATT ikameli karışımların basınç dayanımına olumsuz yönde etkisi olmuştur. Bunun nedeni olarak DS içerisindeki minerallerin sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO₄), kalsiyum sülfat (CaSO₄), potasyum klorür (KCl), Potasyum sülfat (K₂SO₄) dayanıma olumsuz etki ettiği söylenebilir. DS' de bekletilen numunelerin İS' de bekletilen numunelerin basınç dayanımlarına göre az oluşu literatüre paralel oluşan bir sonuçtur.

ATT ikameli numunelerin 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ATT ikameli numunelerde parabolik bir artış-azalışın olduğu görülmektedir. Her iki kür koşulunda da ATT10 karışımı en yüksek dayanımı vermektedir. Bu sonuç ATT' nin erken yaşlardaki dayanıma etkisi olmadığını ancak ilerleyen yaşlardaki dayanıma olumlu etki yaptığını göstermektedir. ATT10 sonrasındaki karışımlarda ATT ikamesi arttıkça dayanımın düştüğü görülmektedir.

4.2.3. Uçucu kül ikameli harç numunelerinin basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi

UK ikameli numunelerin İS kürü ve DS küründe 7, 28 ve 90 gün bekletildikten sonra elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 4.9' da verilmiştir.



Şekil 4.9. Farklı kür şartlarında 7, 28 ve 90 günlük uçucu kül karışımlarının basınç dayanımları

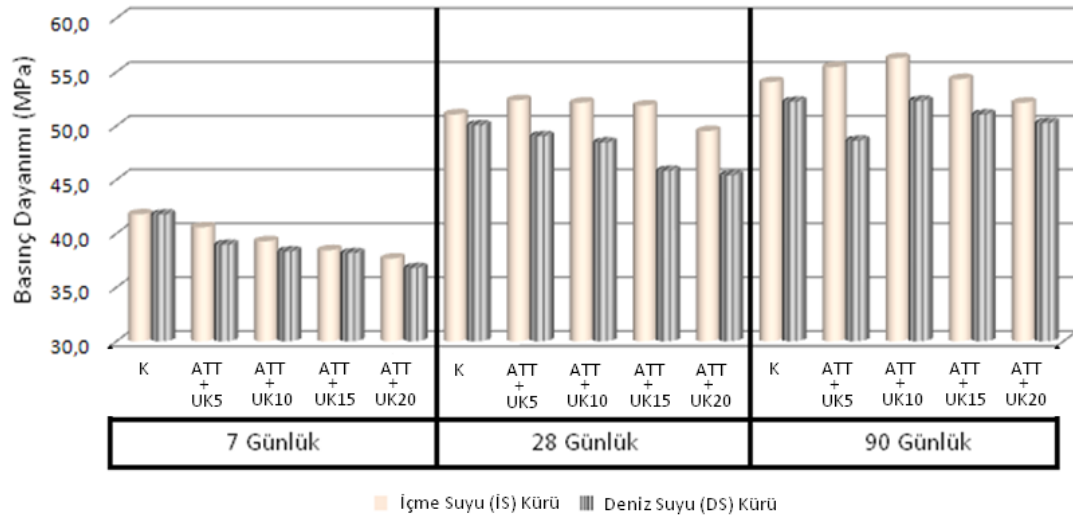
UK ikameli numunelerin 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde UK ikamesi arttıkça basınç dayanımı değerlerinin de azaldığı görülmektedir. Her iki kür koşulunda da en yüksek dayanım K numunesinde; en düşük dayanım ise UK20 numunesinde meydana gelmiştir. Bu sonuç bağlayıcı miktarı azaldıkça dayanımın düştüğünü göstermektedir.

UK ikameli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde UK ikamesinin İS küründe bekletilen numunelerin ikisinde UK5 ve UK10'da basınç dayanımlarını K' ya göre arttırdığı görülmektedir. DS küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı değerlerine bakıldığında ise UK5 numunesi basınç dayanımı K basınç dayanımı değerine yakın görülmektedir. Diğer numunelerde UK miktarı arttıkça dayanım azalmasının olduğu görülmektedir [Yiğiter ve Ark., 2009; Ünal ve Uygunoğlu, 2004]. DS' nin UK ikameli karışımların basınç dayanımına olumsuz yönde etkisi olmuştur. Sadece UK5 numunesi basınç dayanımı değeri K basınç dayanımı değerine yakındır. Bunun nedeni olarak DS içerisindeki minerallerin sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO₄), kalsiyum sülfat (CaSO₄), potasyum klorür (KCl), Potasyum sülfat (K₂SO₄) dayanıma olumsuz etki ettiği söylenebilir. DS' de bekletilen numunelerin İS' de bekletilen numunelerin basınç dayanımlarına göre az oluşu literatüre paralel oluşan bir sonuçtur.

UK ikameli numunelerin 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde UK ikameli numunelerde parabolik bir artış-azalışın olduğu görülmektedir. İS küründe her UK karışımı basınç dayanımı K numunesi basınç dayanımı değerini geçmiştir. Her iki kür koşulunda da UK15 karışımı en yüksek dayanımı vermektedir. Bu sonuç UK' nın erken yaşlardaki dayanıma etkisi olmadığını ancak ilerleyen yaşlardaki dayanıma olumlu etki yaptığını göstermektedir. UK15 sonrasında ise UK ikamesi arttıkça dayanımın düştüğü görülmektedir.

4.2.4. Atık tuğla tozu-uçucu kül birlikte ikameli harç numunelerinin basınç dayanımı-numune yaşı ilişkisi

ATT+UK ikameli numunelerin İS kürü ve DS küründe 7, 28 ve 90 gün bekletildikten sonra elde edilen basınç dayanımı değerleri Şekil 4.10' da verilmiştir.



Şekil 4.10. Farklı kür şartlarında 7, 28 ve 90 günlük atık tuğla tozu+uçucu kül karışımlarının basınç dayanımları

ATT+UK ikameli numunelerin 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ATT+U ikamesi arttıkça basınç dayanımı değerlerinin de azaldığı görülmektedir. Her iki kür koşulunda da en yüksek dayanım K numunesinde; en düşük dayanım ise ATT+UK20 numunesinde meydana gelmiştir. Bu sonuç bağlayıcı miktarı azaldıkça dayanımın düştüğünü göstermektedir.

ATT+UK ikameli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ATT+UK ikamesinin İS küründe bekletilen numunelerin üçünde ATT+UK5, ATT+UK10 ve ATT+UK15’de basınç dayanımlarını K’ ya göre arttırdığı görülmektedir. DS küründe bekletilen numunelerin basınç dayanımı değerlerine bakıldığında tüm ikameli numunelerin basınç dayanımlarının K basınç dayanımı değerinden düşük olduğu görülmektedir. DS’ nin ATT+UK ikameli karışımların basınç dayanımına olumsuz yönde etkisi olmuştur. Bunun nedeni olarak DS içerisindeki minerallerin sodyum klorür (NaCl), magnezyum klorür (MgCl), magnezyum sülfat (MgSO₄), kalsiyum sülfat (CaSO₄), potasyum klorür (KCl), Potasyum sülfat (K₂SO₄) dayanıma olumsuz etki ettiği söylenebilir. DS’ de bekletilen numunelerin İS’ de bekletilen numunelerin basınç dayanımlarına göre az oluşu literatüre paralel oluşan bir sonuçtur.

ATT+UK ikameli numunelerin 90 günlük basınç dayanımları incelendiğinde ATT+UK ikameli numunelerde parabolik bir artış-azalışın olduğu görülmektedir. İS küründe ATT+UK20 numunesi hariç tüm ATT+UK numunelerinin basınç dayanımı K numunesi basınç dayanımı değerini geçmiştir. Her iki kür koşulunda da ATT+UK10 karışımı en yüksek dayanımı vermektedir. Bu sonuç ATT+UK' nın erken yaşlardaki dayanıma etkisi olmadığını ancak ilerleyen yaşlardaki dayanıma olumlu etki yaptığını göstermektedir. ATT+UK10 sonrasında ise ATT+UK ikamesi arttıkça dayanımın düştüğü görülmektedir.

4.3. Atık tuğla tozu ve uçucu kül ikamesinin alkali silika reaksiyonuna etkisi

ASR boy değişimlerinin belirlenmesi için harç prizmalarının hazırlanması, kürü, ölçümleri ve hesaplanması ASTM C-1260'a göre yapılmıştır [ASTM C-1260, 2007].

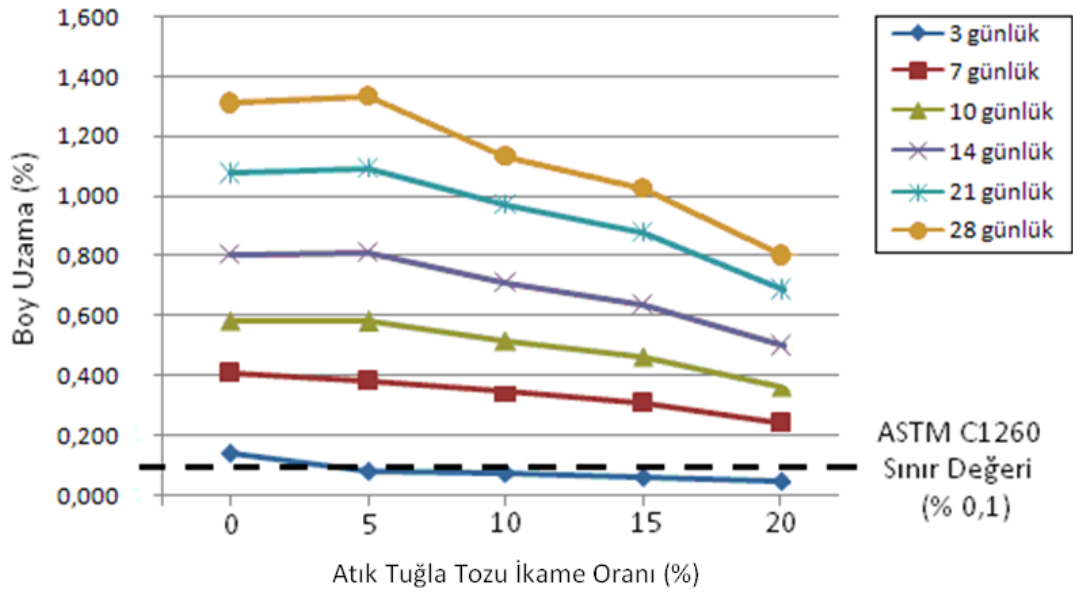
Çalışmadaki boy değişimleri ASTM C 1260'da verilen 14 ve 28 günlük sınır değerlere göre değerlendirilmiştir. Bu sınır değerler Çizelge 4.3' de verilmiştir.

Çizelge 4.3. ASTM C1260 sınır değerleri

Boy değişimi (%)	< 0.1	0.1-0.2	>0.2
14 gün sonra ölçülen boy değişimi yöntemi ile alkali-silika reaksiyonu	Zararsız	Zararlı olma ihtimali var (28. gün sonunda tekrar okuma yapılmalıdır)	Potansiyel olarak zararlı

4.3.1. Atık tuğla tozu ikamesinin alkali silika reaksiyonuna etkisi

Şekil 4.11'de ATT karışımına ait 3, 7, 10, 14, 21 ve 28 günlük boy uzama değerleri gösterilmiştir.

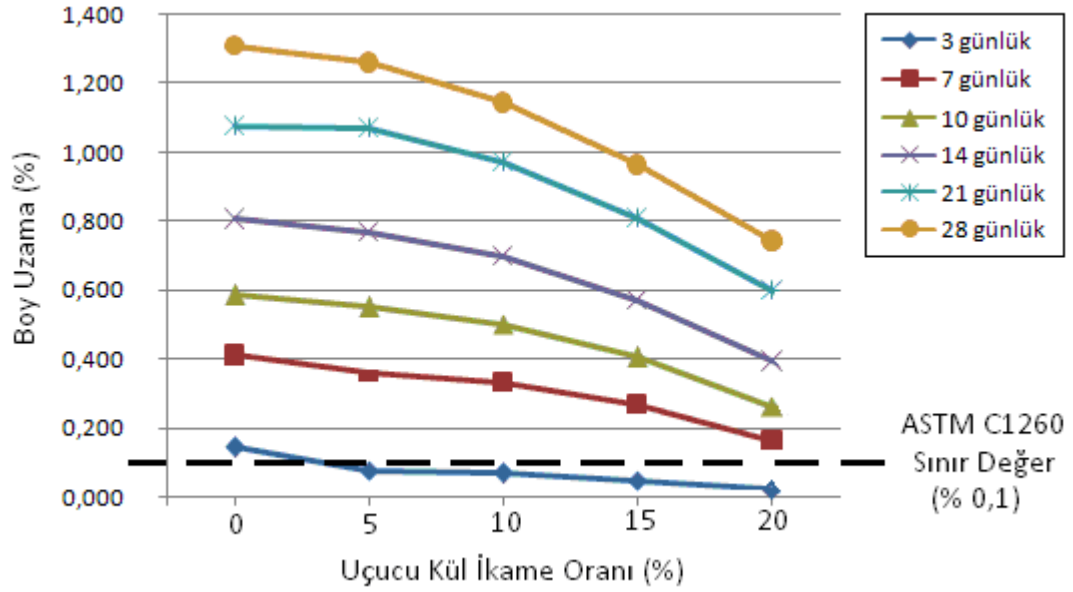


Şekil 4.11. ATT ikameli numunelerde günlere göre boy değişimi

Şekil 4.11 incelendiğinde ATT ikamesi arttıkça boy uzamanın azaldığı görülmektedir. ASTM C-1260 standardına göre inceleme yapıldığında hiçbir numunenin zararsız sınıfında bulunmadığı görülmektedir. Bu sonuç ASR reaksiyonunu önlemek için ikame oranının %20'den daha fazla olması gerektiğini göstermektedir. ATT0 referans numunesine göre boy uzamanın en çok azaldığı durum ATT20 karışımının 28 günlük ölçümüdür. ATT oranının reaktif agregaların ASR boy değişiminde önemli ölçüde etkili olduğu görülmektedir [Yaprak ve ark^a., 2010].

4.3.2. Uçucu kül ikamesinin alkali silika reaksiyonuna etkisi

Şekil 4.12' de UK karışımına ait 3, 7, 10, 14, 21 ve 28 günlük boy uzama değerleri gösterilmiştir.



Şekil 4.12. U ikameli numunelerde günlere göre boy değişimi

Şekil 4.12 incelendiğinde UK ikamesi arttıkça boy uzamanın azaldığı görülmektedir. ASTM C-1260 standardına göre inceleme yapıldığında hiçbir numunenin zararsız sınıfında bulunmadığı görülmektedir. Bu sonuç ASR reaksiyonunu önlemek için ikame oranının %20'den daha fazla olması gerektiğini göstermektedir. U0 referans numunesine göre boy uzamanın en çok azaldığı durum UK20 karışımının 28 günlük ölçümüdür.

ATT ve UK karışımlarının boy uzamalarına ait şekiller incelendiğinde UK karışımının ASR etkilerine daha çok direnç gösterdiği fark edilmektedir. ASR etkilerini önleyebilmek için %20 ve üzeri karışımlarda yeniden bir araştırma yapılması daha uygun olacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kırşehir-Kaman Tuğla Fabrikası ATT ve Muğla Yatağan Termik Santrali UK' sının çimento harcında puzolanik katkı maddesi olarak kullanılabilirliğinin, ASR'ye yaptığı etkilerin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıdaki gibi sıralanmıştır.

5.1. Sonuçlar

Bu araştırma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

- ATT, UK ve ATT+UK ikame oranı arttıkça priz başlangıç ve priz sona erme sürelerinde uzama meydana gelmiştir.
- ATT, UK ve ATT+UK ikameli numunelerin hacim genleşmesi değerleri standartlarda belirlenmiş sınır değerlere uygunluk göstermektedir.
- ATT, UK ve ATT+UK ikame oranı arttıkça kıvam suyu ihtiyacı da artmaktadır. En çok kıvam suyu ihtiyacı UK katkısında meydana gelmiştir.
- 7 günlük İS ve DS kürlerine tabi tutulan numunelerin basınç dayanımları kontrol karışım (K) dayanımını geçememiştir.
- 28 günlük numunelerde en yüksek dayanımı İS küründe UK5 verirken; DS küründe K numunesi vermiştir. En düşük dayanımı ise İS küründe UK20; DS küründe ATT20 vermiştir.
- 90 günlük basınç dayanımında tüm karışımlarda en yüksek dayanımı her iki kür koşulu içinde UK15 numunesi vermiştir. En düşük basınç dayanımı değerleri ise her iki kür koşulunda da ATT20 numunesinden elde edilmiştir. İkame oranı arttıkça belli bir noktaya kadar basınç dayanımı artmış; daha sonra da düşüşe geçmiştir.
- İkameli numunelerde numune yaşı ilerledikçe basınç dayanımında artışlar meydana gelmiştir.
- UK' nın basınç dayanımına etkileri diğer karışımlara göre daha yüksektir.

- DS basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir. Ancak 90 günlük ATT10, UK10, UK15, UK20 ve ATT+UK10 kodlu numunelerin basınç dayanımları K numunesi basınç dayanımından yüksek çıkmıştır.
- ATT ve UK' nın ASR'ye etkisi incelendiğinde ikame oranı arttıkça ASR etkilerinin azaldığı görülmüştür. ATT ve UK ikamesi ile ASR etkilerini azaltmışsa da elde edilen değerler ASTM C-1260'da verilen sınır değerlerin üzerinde oluşmudur.
- ATT ve UK' nın ASR' ye etkisi karşılaştırıldığında UK ikameli numunelerin ATT ikameli numunelere göre daha iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

Bu çalışmada yapılan deneyler ve bulgulara istinaden eksik olarak görülen ve yapılmasında yarar olduğu düşünülen öneriler şu şekilde verilebilir;

- Bu araştırma sonucunda İS kürü ve DS kürüne tabi tutulan ATT, UK, ATT+UK ikameli numunelerin basınç dayanımlarına olumlu etkileri olduğu görülmüştür. ATT ve UK' nın puzolanik özelliklerinden dolayı çimento yerine katkı maddesi olarak kullanılabilir olduğu söylenebilir.
- Üretilen karışımların 120, 180 ve daha uzun günlerdeki kür koşullarının basınç dayanımı özelliklerine etkileri araştırılmalıdır.
- ATT ve UK kullanılarak %5, %10, %15 ve %20 oranlarında dökülen karışımların ASR etkilerini sınır değerlerin altına düşürmediği görülmüştür. Ancak ikame oranı arttıkça ASR etkileri azaldığından bu karışım değerleri artırılarak yeni bir çalışma yapılması önerilebilir. Ayrıca ATT+UK bileşiminin de ASR etkilerine karşı göstereceği davranışlar araştırılabilir.

KAYNAKLAR

Ağar, E., “Seyitömer Termik Santral Uçucu Küllerinin Yapı Sektöründe Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Bölümü Yüksek Lisans Tezi*, İzmir, 1-82, Şubat (2007).

Anöz, Ö., Ay, N., “Utilization Of Waste Clay Bricks As Aggregate In Concrete Production”, *III. International Terra Cotta Symposium*, Eskişehir, Turkey, 374-379, June (2003).

Aruntaş, H, Y., Tokyay, M., “Katkılı Çimento Üretiminde Diatomitin Puzolanik Malzeme Olarak Kullanılabilirliği”, *Çimento ve Beton Dünyası*, Ankara, 17-22 (1996).

Aruntaş, H, Y., “Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli” *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21, (1): 193-203 (2006).

ASKİ, “01-30 / Nisan 2010 Tarihleri Arasında Ankara Halkına Sunulan İçme Suyunun Düzenli Olarak Yürütülmekte Olan Kalite Kontrollerinin Sonuçları”, *Ankara Büyükşehir Belediye Başkanlığı ASKİ Genel Müdürlüğü Arıtma Tesisleri Dairesi Başkanlığı Nisan Raporu*, Ankara, 1-2 (2010).

ASTM C-1260-07, “Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)”, Annual Book of ASTM Standards, Concrete and Mineral Aggregates, *American Society for Testing and Materials*, Philadelphia, USA, 1-5 (2007).

ASTM C 618, “Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete, *Annual Book of ASTM Standard*, No. 04.02 (2000).

ASTM C 618–78, “Specification For Fly Ash & Raw Or Calcined Natural Pozzolan For Use As A Mineral Admixture In Portland Cement Concrete, *American Society For Testing and Materials*, USA, 78 (1978).

Barry, E. S., Russel, E., “Utilazition of Fly Ash”, *Solid State & Material Science*, USA (1998).

Bayat, O., Toraman, O.Y., “Utilisation of Coal Fly Ash in Concrete (BS18)” *1st International Symposium on Mine Environmental Engineering*, Kütahya Dumlupınar University (Turkey) – Brunel University (UK), 29-31 July, Kütahya, 222-228 (1996).

Beycioğlu, A., Başığit, C., Subaşı, S., “Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı İle Geri Kazanılması Ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması”, *Çevre Sorunları Sempozyumu*, 14-17 Mayıs 2008, Kocaeli, 1386-1394 (2008).

Binal, A., “Pesimum Reaktif Agregası İçeriğinin Alkali-Silika Reaksiyonuna Etkisinin Deneyisel Yöntemlerle Araştırılması”, **İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yerbilimleri Dergisi**, 17 (2): 119-128 (2004).

Binici, H., Görür, E.B., Durgun, M.Y., “Afşin-Elbilistan Uçucu Kül ve Tekstil Fabrikaları Atık Küllerinin Betonda Puzolanik Katkı Olarak Kullanılması”, **Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi**, 12(1), (2009).

Biricik, H., Berktaş, İ., Aköz, F., Tulgar, A.N., “Buğday Sapı Külünün Puzolanik Özelliklerinin Araştırılması”, **4. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul, (1996).

Çelik, A., “Kütahya Yöresi Tuğla Fabrikası Atıklarının Tuğla Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**, Yüksek Lisans Tezi, 1-76 (2005).

Çelik, H. M., Şimşek, O., Sancak, E., “Silis Dumanı Kullanımının Çimentonun Priz Başlama ve Bitiş Sürelerine Etkisi”, **Politeknik Dergisi**, 4(4): 55-60 (2001).

Çiftçi, M., M., “Samsun-Kavak Tuğla Ununun Çimento Harcında Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği”, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**, Yüksek Lisans Tezi, 1-55 (2004).

Çil, İ., “Uçucu Küllerin Beton Yapımında Kullanımı”, **56. Türkiye Jeoloji Kurultayı**, Ankara, 216-219, (2003).

Çullu, M., Bolat, H., Subaşı S., ve Tekin, İ., “Yatağan ve Soma Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Çimento Genleşmesine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi”, **Uluslararası Hazır Beton Kongresi**, 428-438, İstanbul/Türkiye, (2008).

Davraz, M., Gündüz, L., “Doğal Amorf Silikanın Alkali Silika Reaksiyonu Gelişimine Etkisi”, **Beton 2004 Hazır Beton Kongresi**, İstanbul, 664-673 (2004).

Dinçer, R., Çağatay, İ.H., “Uçucu Kül Katkılı Betonların Mekanik Özellikleri”, **Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 19(2): 235-246 (2004).

Doğan, Ö., “Afşin/Elbistan Termik Santrali Uçucu Küllerinden Çöktürülmüş Kalsiyum Karbonat (CaCO₃) Kazanım Koşullarının Araştırılması”, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı**, Yüksek Lisans Tezi, Adana (2007).

DPT (Devlet Planlama Teşkilatı), “Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu Çimento Hammaddeleri Ve Yapı Malzemeleri Çalışma Grubu Raporu: Çimento Hammaddeleri ve Yapı Malzemeleri”, **DPT:234, ÖİK:491, VII. Beş Yıllık Kalkınma Planı**, Ankara, Cilt 2, 1-183 (1996).

D.S.İ, “Betonlarda Alkali-Agrega Reaksiyonu ve Türkiye Çimentolarının Alkalinite Değerleri”, **Y.N.Kİ**, Ankara, 551 (1974).

Erdoğan T., “Betonu Oluşturan Malzemeler Çimentolar”, **Türkiye Hazır Beton Birliği - Ortadoğu Teknik Üniversitesi Basımevi**, Ankara, 121 (1995).

Erdoğan, T.Y., “Admixtures for Concrete”, **Middle East Technical University Press**, Ankara, 188 (1997).

Erdoğan, T.Y., “Beton”, **ODTÜ Geliştirme Vakfı**, Ankara, 728 (2003).

Gülen, Ş., Yalap, H., “Çimento Sektöründe Bir Bakış”, **Türkiye Kömür İşletmeleri Raporu**, Haziran (2003).

Güler, G., Güler, E., İpekoğlu, Ü., Mordoğan, H., “Uçucu Küllerin Özellikleri ve Kullanım Alanları”, **Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı IMCET2005**, 09-12 Haziran 2005, İzmir (2005).

Hyncar, J., “Reducing Harmful Influence of Power Stations on the Natural Enviromental by the Utilization of Fly Ashes and slags”, **USSR** (2003).

İnternet: TCMB, “Türkiye’deki Çimento Üretimi, İthalat Ve İhracat Değerleri”, <http://www.tcmb.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=42> (05.07.2010)

Kefelioğlu, S., “Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanma İmkanları”, **Teknoloji**, Ankara (1998).

Kılınçkale, M.F., “Uçucu Küllü Çimento Üretiminde Uçucu Külün Öğütme Şeklinin Çimento Üzerinde Etkisi”, **Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Bildiriler Kitabı TMMOB Yayını**, 172 s, Ankara (1995).

Kırgız, M. S., “Mermer ve Tuğla Endüstrisi Atıklarının Çimento Üretiminde Minerolojik Katkı Olarak Kullanılması”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı**, Ankara, 1-228 (2007).

Kocataşkın, F., “Beton Teknolojisi”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Kütüphanesi**, Sayı. 400, 58-60 (1959).

Kolukısa, S., “Uçucu Kül İçeren Alüminyum Matrisli Kompozit Üretim, Özellikleri ve Mikroyapı Karakterizasyonu”, **Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul (1999).

Kroschwitz, J. I., “Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology”, **Wiley Press, 4th Edition, ISBN: 0-471-41961-3**, 1-2240 Pages, January (2001)

Lea, F.M., “The Chemistry of Cement and Concrete”, **Edward Arnold Ltd**, 3rd ed, London, 442 (1970).

Malvar, L.J., Cline G.D., Burke D.F., Rollings R., Sherman T.W., Greene J.L., “Alkali- Silica Reaction Mitigation: State of the Art and Recommendations”, **ACI Materials Journal**, 99: 480-489 (2002).

Massaza, F., “Puzolanlı Çimentolar ve Kullanım Alanları”, **Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Semineri**, Ankara, 81-88 (1989).

Mazlum, F., “Pirinç Kabuğu Külünün Puzolanik Özellikleri ve Külün Çimento Harcının Dayanıklılığına Etkisi”, Doktora Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Aralık (1989).

Mehta, P.K., “Puzzolanic and Cementitious by Products as Mineral Admixtures for Concrete, **A Critical Review Detroit: American Concrete Institute In: Proceedings Of The Canmet/ACI First International Conference On The Use Of Fly Ash, Silica Fume, Slag And Other Mineral By-Products In Concrete**, 1: ACI SP 79, 1-46 (1983).

Morrison, R.E., “A Review of Ash Specifications”, **Symposium on Fly Ash Utilization**, pp. 24-31. Pittsburgh (1970).

Neville, A.M., “Properties of Concrete”, **Longman Scientific & Technical**, 77-80 (1995).

Okucu, A., “Bigadiç ve Turnatepe (Balıkesir) Yörelerindeki Zeolitik ve Perlitik Tüflerin Puzolanik Özellikleri”, Doktora Tezi, **Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Balıkesir, 1-44 (1998).

Özcan, M., “Tunçbilek Ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerine Etkisi Ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 1-119 (1997).

Özgan, E., Yıldız, K., “Krom Magnezit Tuğla Tozunun Portland Çimentosunun Priz Başlama ve Bitiş Sürelerine Etkisinin Bulanık Mantıkla Tahmini”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 24(2): 257-264 (2009).

Özkul, H., Karagüler, E.M., “Yüksek Yapılarda Yüksek Dayanımlı Beton”, **İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları**, İstanbul, 256-261 (23.05.2010).

Özturan, T., “Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerinin Etkinliği”, **2.Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul, 280-291 (1991).

Saraswathy, V., Muralidharan, S., Thangavel, K., Srinivasan, S., “Influence of Activated Fly Ash on Corrosion-Resistance and Strength of Concrete”, **Cement and Concrete Research**, 25: 673-680 (2003).

Satapathy, L. N., “Study on the Mechanical Abrasion and Micro structural Properties of Zirconia-Fly ash Materials”, **Ceramics International**, 26: 39-45 (2000).

Swamy, R.N., “Alkali-Aggregate Reactions in Concrete: Material and Structural Implications”, *Sciences in Concrete Technology, Malhotra, V.M. (eds.)*, Ottawa, Canada, 533-581 (1992).

Şengül, Ü., “Kangal Termik Santrali Uçucu Küllerinin Analitik ve Çevresel Olarak İncelenmesi ve Değerlendirilmesi”, *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sivas (1999).

Şimşek, O., “Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri”, *Seçkin Yayıncılık*, 2. Baskı, 1-334, Ankara (2007).

Şimşek, O., Aruntaş, H.Y., Fırat, S., “Çayırhan ve Soma-B Termik Santralleri Uçucu Küllerinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi”, *Türkiye İnş. Müh. XVI. Teknik Kongresi*, Ankara, s.199-205, 1-3 Kasım (2001).

Şimşek, O., Çiftçi, M. M., “Tuğla Ununun Çimentoda Puzolanik Katkı Maddesi Olarak Kullanılabilirliği”, *Politeknik Dergisi*, 325: 329 (2006).

Taylor, G.D., “Construction Materials”, *Longman Scientific & Technical Publications*, London, Great Britain, 527 (1991).

Temiz, H., “Uçucu Kül ve Silis Dumanının Beton Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi”, *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı*, Doktora Tezi, Elazığ, (1997).

Tokyay, M., Çetin, B., “Preslenmiş, Buhar Kürü Uygulanmış Uçucu Kül-Kireç Tuğlalarının Dayanım ve Su Emme Özellikleri”, *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergi*, 385-394 (1991).

Tokyay, M., Erdoğan, K., “Uçucu Küllerin Karakterizasyonu”, *Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği*, AR-GE/Y98.3, Ağustos (1998).

Topçu, İ. B., Boğa, A. R., Demir, A., “Prefabrik Elemanlarda Alkali-Silika Reaksiyonunun İncelenmesi”, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, Antalya, 2: 279-289 (2005).

Topçu, İ.B., Canbaz, M., “Atık Kiremitlerin Altyapılarda Kullanımı”, *4. Kentsel Altyapı Ulusal Sempozyumu Bildiriler Kitabı*, 15-16 Aralık, Eskişehir, 353-364 (2005).

Toraman, Y., Bayat, O., “Afşin Elbistan Termik Santral Uçucu Külünden Liç Yöntemiyle Metal Oksitler Kazanımı”, *Mühendislikte 20. Yıl Sempozyumu MAD 16*, Zonguldak, 11 (1995).

TS 266, “Sular-İnsani Tüketim Amaçlı Sular”, *Türk Standartları Enstitüsü Kimya İhtisas Grubu*, Ankara, 1-20 (2005).

TS EN 196-1, “Çimento Deney Metotları-Bölüm 1: Dayanım, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-19 (2002).

TS EN 196-3, “Çimento Deney Metotları-Bölüm 3: Priz Süresi ve Genleşme Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-8 (2002).

TS EN 197-1, “Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-21 (2002).

TS EN 450-2, “Uçucu Kül – Betonda Kullanılan-Bölüm 2”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, 1-22 (2008).

Ural, S., “Comparison of Fly Ash Properties from Afşin–Elbistan Coal Basin”, *Journal of Hazardous Materials*, B119, 85-92 (2005).

Ünal, O., Uyguoğlu, T., “Soma Termik Santral Atığı Uçucu Külün İnşaat Sektöründe Değerlendirilmesi”, *Türkiye 14. Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı*, 2-4 Haziran, Zonguldak, 311-321 (2004)

Wen, H.X., “Alkali Aggregate Reaction in Concrete”, *Civil Engineering*, Hong Kong University, 20 (1998).

Yaprak, H., Demir, İ., Şimşek, O., “Tuğla Atıklarının Agresif Ortam Etkisindeki Çimento Harçlarına Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)*, Chapter 1, 26-28 Mayıs, Ankara, 122-125 (2010).

Yaprak, H., Demir, İ., Kurt, D.,^a “Atık Tuğlaların Alkali Silika Reaksiyonu Üzerine Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)*, Chapter 1, 26-28 Mayıs, Ankara, 126-128 (2010).

Yeğinobalı, A., “Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 426(4): 56-61 (2003).

YİBİTAŞ, “24 Mayıs-30 Mayıs 2010 Dönemi Çimento Raporu”, *Yozgat Çimento Fabrikası Kalite ve Geliştirme Müdürlüğü*, 1 (2010).

Yiğiter, H., Aydın, S., Yazıcı, H., Baradan, B., “C Tipi Uçucu Kül Katkılı Betonların Bazı Fiziksel, Mekanik ve Durabilite Özelliklerinin Araştırılması”, *Beton 2004 Kongresi Bildirileri*, 10-12 Haziran, İstanbul, 58-66 (2004).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : KORKMAZ, Serdar
 Uyuğu : T.C.
 Doğum Tarihi ve Yeri : 25.11.1984
 Medeni Hali : Bekâr
 Telefon : 0 (506) 781 33 18
 Belgegeçer : 0 (386) 712 64 50
 e-mail : serdarkorkmaz1984@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Lisans	Abant İzzet Baysal Üniversitesi-Düzce Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği Bölümü	2006

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Makaleler

- 1.Uğur, L.O., Yüksel, E., Bekem, İ., **Korkmaz, S.**, “İnşaat Teknikerliği Eğitimi Üzerine Bir Alan Araştırması”, Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Teknik-Online Dergi, Cilt 7,Sayı:3, (2008).
- 2.Uğur, L.O., **Korkmaz, S.**, “İnşaat Teknikerliği Eğitiminde Mesleki, Sosyal ve Kültürel Gelişim Sağlanmasında Seminer ve Konferansların Katkısı”, E-Journal Of New World Science Academy, Cilt:4, Sayı:4, (2009). (Uluslar arası Hakemli E-Dergi).
- 3.Uğur, L.O., **Korkmaz, S.**, “İnşaat Teknikerliği İstihdamında İnşaat Firmalarının Önem Verdiği Kriterlerin Belirlenmesi”, E-Journal Of New World Science Academy, Cilt:5, Sayı:1,2010 (Uluslar arası Hakemli E-Dergi).
- 4.**Korkmaz, S.**, “Meslek Yüksekokulu İnşaat Programı Öğrencilerinin Alanları İle İlgili Dersleri, Uygulamaları Değerlendirmesi İle Okul Yönetimi ve Yüksek Öğretim Kurulu’ndan Beklentileri: Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Meslek

Yüksekokulu Örneği”, Akademik Dizayn Dergisi (Hakem Değerlendirme Aşamasında)

5. Uğur, L.O., Baykan, U.N., **Korkmaz, S.**, “Yığma Konutların Maliyet Tahmininde Yapay Sinir Ağları (YSA)’nın Kullanılması”, *(Hakem Değerlendirme Aşamasında)*
6. **Korkmaz, S.**, Özünlü, P., “Meslek Yüksekokulu Öğrencilerinin Özguvenlerinin Gelişimine Sosyal ve Kültürel Faaliyetlerin Etkisi: Kaman Meslek Yüksekokulu Örneği”, *(Hakem Değerlendirme Aşamasında)*

Uluslararası Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

7. Uğur, L.O., Bekem, İ., **Korkmaz, S.**, “*Evaluation of Vocational Education Construction Technician by Lecturers*”, ISSD 2010, Second International Symposium On Sustainable Development, Social Sciences, 8-9 June 2010, Sarajevo-Bosnia Herzegovina, 134-145, (2010).
8. Uğur, L.O., **Korkmaz, S.**, “*Stance of Undergraduates of Department of Construction at Vocational High Schools Upon Technician Training and Expectations from Both Higher Education Institutions and Governments: Sample of Vocational High School University of Düzce*”, ISSD 2010, Second International Symposium On Sustainable Development, Science and Technology, 8-9 June 2010, Sarajevo-Bosnia Herzegovina, (2010).
9. **Korkmaz, S.**, “*Teknik Gezilerin Eğitime Ve Öğrenci Gelişimine Etkileri: Ahi Evran Üniversitesi Kaman Meslek Yüksekokulu Örneği*”, E-Journal Of New World Science Academy, Volume 5, Number 4, p.p. 359-373, (2010).

Araştırma Raporları

10. Uğur, L.O., Yüksel, E., Bekem, İ., **Korkmaz, S.**, “*Güncel Mevzuat Değişiklikleri İle Uygulamalar Ekseninde İnşaat Teknikeri ve İnşaat Teknikerliği Eğitimi*”, Teknikerler Birliği ve Kültür Yayınları, (2008).

Ödüller

Abant İzzet Baysal Üniversitesi-Düzce Teknik Eğitim Fakültesi İkincisi (2006)

“Güncel Mevzuat Değişiklikleri İle Uygulamalar Ekseninde İnşaat Teknikeri ve İnşaat Teknikerliği Eğitimi” Çalışmasına İstinaden Teşekkür Belgesi- Ertan KILIÇ- Teknikerler Birliği Genel Başkanı (2010)

Hobiler

Tasarım ve Modelleme, Seyahat, Bilgisayar Teknolojileri, Futbol, Bilgisayar Oyunları, Kitap, Fotoğraf