

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KALORİFER KÜLÜ İLE HAFİF YAPI BLOĞU ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Ali YİĞİT

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İsmail DEMİR

Günümüzde endüstriyel katı atıkların değerlendirilerek geri dönüşümünün sağlanması önemli bir araştırma alanı olmuştur. Konutların ısıtılması için Türkiye’de halen çoğunlukla kömür kullanılmaktadır. Kaloriferler kazanlarında yakılan kömürlerin külleri genel olarak şehirlerin katı atık depolama alanlarında toplanmaktadır. Bunun için geniş depolama alanları gerekmektedir.

Ülkemizde bu atığın kullanım alanı oldukça sınırlı olup atık depolama alanları değişik çevre sorunlarına yol açmaktadır. Bu çalışmada KK’ nün hafif beton blok üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Çalışmada ana hammadde olarak öğütülmüş kalorifer külü kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak kireç kullanılmış, belirli oranlarda; silis dumanı, perlit ve piriz hızlandırıcı kimyasal katkı, karışımlara ilave edilerek hafif beton numuneler üretilmiştir. Deney örneklerine, 7–28–90 günlük su kürü ve 8 saat basınçlı buhar kürü (otoklav) uygulanmıştır. Örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir.

2008, 60 sayfa

Anahtar kelimeler: Hafif beton blok, Kalorifer külü, Kireç, Perlit, Puzolan, Silis dumanı

ABSTRACT

Ms. Sc

THE INVESTIGATION OF PRODUCTION OF LIGHTWEIGHT CONSTRUCTION BLOCK USING COAL ASH

ALİ YİĞİT

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Construction Education

Supervisor: Associate Prof. Dr. İsmail DEMİR

Today investigation of the recycling of industrial solid waste is becoming important investigation field. Coal is still most important energy source in house heating in Turkey. Generally ashes are land filled in the cities and large areas are needed for the land filling.

Reuse potential of these wastes in Turkey is very limited and this creates an important environmental problems. In this study, usability of coal ash in light weight construction block was investigated.

In the study, milled coal ash used as raw material. Lime has been used as binder. Light concrete examples have been produced by adding silica fume, perlite, accelerator, chemical additives into the mixtures. Into the experiment samples, 7–28–90 days water cure and 8 hours pressurized vapour cure (autoclave) have been implemented. The physical and mechanic properties have been defined.

2008, 60 pages

Key Words: Light concrete block, Radiator ash, Lime, Perlite, Puzzolan, Silica fume

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans çalışmam boyunca her türlü konuda bana destek ve yardımcı olan danışman hocam sayın Doç. Dr. İsmail DEMİR'e,

Tez çalışmamın başından sonuna kadar gerek teori, gerekse uygulama sırasında yardım ve desteğini esirgemeyen sayın Arş. Gör. Gökhan GÖRHAN hocama,

Laboratuar çalışmalarımnda bana yardımcı olan değerli arkadaşım Musa ŞAHİN'e ve her türlü desteğini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Ali YİĞİT

Afyonkarahisar, Eylül 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
RESİMLER DİZİNİ	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1 Kömür	6
2.1.1 Kömürlerin Tanım ve Sınıflandırılması	6
2.1.2 Kömürlerin Fiziksel Özellikleri	8
2.1.2.1 Gözeneklilik (Porozite)	8
2.1.2.2 Gaz Emme (Absorpsiyon)	9
2.1.2.3 Özgül Ağırlık	9
2.1.2.4 Mikro Sertlik	10
2.1.2.5 Yansıtma (Refleksiyon)	10
2.1.3 Kömürlerin Kimyasal Özellikleri	10
2.1.3.1 Oksidasyon	10
2.1.3.2 Çözücülerde Erime	11
2.1.3.3 Hidrojenasyon	11
2.1.3.4 Koklaşma	12
2.1.4 Kömür Petrografisi	13
2.1.4.1 Maserallerin Tanımı	13
2.1.4.2 Mikrolitotipler	14
2.1.4.3 Litotipler	14

2.1.5 Kömürde Bulunan Mineraller ve Eser Elementler	15
2.1.6 Kömürün Yakılması	16
2.2 Silis Dumanı	188
2.2.1 Silis Dumanı Elde Edilişi	18
2.2.2 Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri	19
2.3 Genleştirilmiş Perlit	20
2.3.1 Genleştirilmiş Perlitin Kimyasal Bileşimi	21
2.3.2 Fiziksel Özellikleri	22
2.4 Kireç	23
2.4.1 Kirecin Sınıflandırılması	26
2.5 Kimyasal Katkı	27
2.6 Puzolanlar	29
2.7 Beton ve Beton Sınıfları	29
2.7.1 Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar	32
2.7.1.1 Hafif Beton	32
2.7.1.2 Normal Beton	34
2.7.1.3 Ağır Beton	35
2.8 Tuğla	35
2.9 Gaz Beton	38
3. MATERYAL VE METOT	40
3.1 Kullanılan Malzemeler	40
3.1.1 Kalorifer Külü	40
3.1.2 Silis Dumanı	42
3.1.3 Genleştirilmiş Perlit	43
3.1.3.1 Etiper	43
3.1.4 Söndürülmüş Toz Kireç	43
3.1.5 Chryso plast PR2 (Kimyasal Katkı)	44
3.2 Metot	44
3.2.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi	47

3.2.1.1 Porozite	48
3.2.1.2 Su Emme	48
3.2.1.3 Bulk Yoğunluk	48
3.2.1.4 Görünür Yoğunluk	49
3.2.2 Basınç Mukavemet Testi	49
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	50
5. SONUÇLAR	59
6. KAYNAKLAR	61
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
Bd	Bulk Yoğunluk
Dh	Birim Hacim Ağırlık
Fb	Basınç Mukavemeti
Gr.Y.	Görünür Yoğunluk
k	Isı İletim Katsayısı
P	Porozite
Sa	Ağırlıkça Su Emme

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
AAC	Autoclaved Aerated Concrete
ASTM	American Society Testing for Materials
CK	Kalsiyum Kireci
DK	Dolomit Kireci
ISO	Uluslararası Standartlar Örgütü
KAK	Kazan Altı Külü
KK	Kalorifer Külü
KT	Kireç Taşı
SD	Silis Dumanı
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)

ŞEKİLLER DİZİNİ

		<u>Sayfa</u>
Şekil 3.1	Kalorifer külüne ait XRD difraktogramı	41
Şekil 3.2	Kalorifer külü ve silis dumanına ait tane boyut analizleri	42

RESİMLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Resim 2.1 Silis dumanı	17
Resim 2.2 Genleştirilmiş mikronize Perlit	22
Resim 3.1 Yanmış kalorifer külü	40
Resim 3.2 Seramik tipi değirmen	40
Resim 3.3 Öğütülmüş kalorifer külü	40
Resim 3.4 Betoniyer (karıştırıcı)	46
Resim 3.5 Numune kalıbı	46
Resim 3.6 Numunenin kalıba yerleştirilmesi	46
Resim 3.7 Numune serileri	46
Resim 3.8 Otoklav	47
Resim 3.9 Dijital göstergeli etüv	47
Resim 4.1 Örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin ölçüldüğü Shotherm QTM-D2 cihazı.	54
Resim 4.2 A serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü	57
Resim 4.3 B serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü.	57
Resim 4.4 C serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü	58
Resim 4.5 D serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1 Kül yapıcı mineraller ve yanma sonucu oluşan reaksiyonlar	4
Çizelge 2.2 Uluslararası genel kömür sınıflaması	7
Çizelge 2.3 Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri	7
Çizelge 2.4 Kömür maseral grubu	13
Çizelge 2.5 Kömürde bulunan minerallerin sınıflandırılması	16
Çizelge 2.6 Alaşım türüne göre silis dumanındaki SiO ₂ miktarı	19
Çizelge 2.7 Silis dumanının kimyasal özellikleri	19
Çizelge 2.8 Genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşimi	21
Çizelge 2.9 Söndürülmemiş kirecin özellikleri	24
Çizelge 2.10 Sönmüş kirecin özellikleri	25
Çizelge 2.11 Kimyasal katkı tipleri	28
Çizelge 2.12 Puzolanların çeşitleri	30
Çizelge 2.13 TS 500-2000'e göre beton sınıfları ve dayanımları	32
Çizelge 2.14 Hafif beton türleri, kullanım alanları ve özellikleri	34
Çizelge 2.15 Tuğla killeri için ortalama kimyasal değerler	36
Çizelge 2.16 Düşey delikli tuğlaların birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri	37
Çizelge 2.17 Harman tuğlaların biçim ve basınç dayanım sınıfları	37
Çizelge 2.18 Gaz beton sınıflarına göre basınç dayanımları ve yoğunluk değerleri	39
Çizelge 3.1 Kalorifer külüne ait kimyasal analiz değerleri	41
Çizelge 3.2 Silis dumanına ait kimyasal analiz değerleri	42
Çizelge 3.3 Genleştirilmiş perlit kimyasal bileşimi	43
Çizelge 3.4 Çalışmada kullanılan malzemeler ve karışım oranları	45
Çizelge 4.1 Üretilen karışımların fiziksel özellikleri	50
Çizelge 4.2 Basınç mukavemeti test sonuçları	53
Çizelge 4.3 Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayıları (W/mK).	55
Çizelge 4.4 Bazı malzemelerin birim hacim ağırlık ve ısı iletim katsayıları .	56

1. GİRİŞ

Atıkların hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmesine geri dönüşüm denir. Geri kazanım ise atıkların yeniden kullanılarak, enerji elde etmek (yakma vb) veya fiziksel ya da kimyasal işlemlerden geçirilerek yeni bir ürün elde etmek amaçları ile toplanmasıdır. Ekonomik zorluklarla karşı karşıya bulunan ve kalkınmakta olan ülkelerin de tabii kaynaklarından uzun vadede ve maksimum bir şekilde faydalanabilmeleri için atık israfına son vermeleri, ekonomik değeri olan maddeleri geri kazanma ve tekrar kullanma yöntemlerini araştırmaları gerekmektedir.

Ülkemizde de nüfus artışına paralel olarak atık miktarı ve ambalajlı ürün kullanımı da artmış, geri kazanımı ekonomik bir değer haline getirmiştir. Çevre Bakanlığı tarafından 1991 yılında yayınlanan “Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği” ile geri kazanım yasal zorunluluk haline dönüşmüştür (ÇEVKO 1991).

Geri dönüşümü bu kadar önemli duruma getiren sebepleri şu şekilde sıralayabiliriz; geri dönüşüm ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanır. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün azalmaktadır.

Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynaklarımızı verimli kullanmak zorundayız. Dolayısıyla geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunması ve verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir. Örneğin; kâğıdın geri dönüşümü ile ormanlarda ağaçların daha az kesilmesini sağlamış oluruz. Benzer şekilde plastik atıklarının geri dönüşümü ile petrolden tasarruf sağlanabilir. Ülkemizde 150–200 bin ton civarında atık plastik geri kazanılmaktadır, atık kâğıt geri kazanım oranı ise % 32'dir. 2002 yılında ülkemizdeki bazı yerel yönetimler tarafından geri kazanım projeleri kapsamında düzenli olarak toplanan malzeme miktarı 15795 tona ulaşmıştır (ÇEVKO 1991).

Hammaddenin en çok tüketildiği sektörlerden birisi de inşaat sektörüdür. İnşaat sektörü, imalat süreçlerindeki girdileri asgari düzeye indirmeye, hammaddelerin kullanılmasını, enerji tüketimini, emisyonları ve mekân kullanımını mümkün olduğu kadar azaltmaya çalışmaktadır. Bu sektörde tüketilen malzemelerin başında beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler gelmektedir. Bu tür malzemeler geri dönüşümde çok yaygın olarak kullanılan diğer önemli malzemelerdir (Akbulut ve Güner 2003).

Bu çalışmada kalorifer kazanlarında yakılan kömürlerden ortaya çıkan kül, atık ana malzeme olarak kullanılmıştır. Kalorifer külü, kireç bağlayıcı kullanılarak farklı oranlarda karışımlar hazırlanmış ve hafif beton blok örnekler üretilmiştir. Örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenerek incelenmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

Yapı malzemesi üretiminde endüstriyel katı atıkların değerlendirilmesi sayesinde hammadde ve enerji maliyetlerinde azalma sağlanmakta, yüksek dayanımlı inşaat malzemesi üretimi gerçekleştirilmekte ve çevresel kirlilikle mücadeleye katkıda bulunmaktadır. Dünyada sürdürülebilir bir gelecek için geliştirilen endüstriyel ekoloji kavramına göre bir endüstrinin yan ürünü bir başka endüstride hammadde olarak kullanılabilir. Böylece iki endüstrinin çevreye olan zararları azaltılabilir (Metha 2001).

Kalorifer külü, diğer bir adıyla; Kazan Altı Külü (KAK) ise termik santrallerde, kalorifer kazanlarında yanan kömürden geriye kalan kül olup bir tür endüstriyel katı atıktır. Yakılan kömür miktarının yaklaşık % 20- 25'i kadar kül ortaya çıkmaktadır. Bu külün halen belirli bir kullanım alanı olmayıp depo alanlarında depolanmakta veya bulamaç halinde denize boşaltılmaktadır. Her iki durumda da çevre kirliliği yaratmaktadır. Yalnızca ABD'de termik santrallerde yılda yaklaşık 130 milyon ton kül (KAK ve uçucu kül) ortaya çıkmaktadır. Bunun dörtte biri kullanılmakta kalan kısmı atık olarak kalmaktadır.

Türkiye'den bir örnek vermek gerekirse yalnızca Çatalağzı Termik Santrali'nde yaklaşık 57400 ton/yıl KAK ortaya çıkmaktadır. Türkiye'de halen faal olarak çalışan ve ülke geneline yayılmış 10'dan fazla termik santral mevcuttur. Dolayısıyla her yıl termik santrallerde kömürün yanmasıyla çok büyük miktarlarda KAK atık olarak ortaya çıkmaktadır. Bu atığın depolanmasının da bir maliyeti vardır ve depolama nihai bir çözüm olarak gözükmemektedir.

Bu nedenle endüstriyel ekoloji kavramı içerisinde bu atığa yeni kullanım alanları geliştirilmesi gereklidir. Ülkemizde ve dünyada, bu ve benzer atıkların çeşitli yapı malzemeleri ve yapı elemanları üretiminde kullanılarak değerlendirilebileceğine ilişkin çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla araştırmacılar, uçucu kül ve kazan altı külünün beton üretiminde mineral katkı ya da agrega olarak kullanarak beton üzerindeki etkilerini ve hafif bloklar üretiminde kullanılmasını incelemişlerdir (Kula vd. 2001).

Poon vd. tarafından yapılan bir çalışmada inşaat ve yıkık bina artıklarının ince ve kaba agrega yerine kullanılarak uçucu kül katkılı ve katkısız olmak üzere iki kategoride beton briket üretimi yapılmıştır. Buna göre, % 50 yer değiştirme oranına kadar basınç dayanımının kontrol numunelerine göre fazla etkilenmediği, uçucu kül katkılı ve % 100 yer değiştirmeli numunelerde 49 MPa basınç dayanımına ulaşıldığı bildirilmiştir (Poon et al. 2002). Won vd. tarafından yapılan bir çalışmada da kazan altı külü ve uçucu kül karışımları üzerinde geçirgenlik, ıslanma-kuruma, donma-çözülme deneyleri yapmışlar ve bu karışımların düşük dayanımlı elemanlar üretimine uygun olduğu rapor edilmiştir (Won et al. 2004).

Kazan altı külünün beton özellikleri üzerine etkisini araştıran Bai vd. % 30 dan, % 100'e kadar çeşitli oranlarda kazan altı külünü doğal kumla yer değiştirmişlerdir. Erken dönemde basınç dayanımının düşük olduğunu, uzun vadede normal olduğunu, işlenebilirliğin arttığını, karbonatlaşma ve su emmenin arttığını, klorür geçirgenliğinin azaldığını bildirmişlerdir (Bai et al. 2005). Benzer şekilde Bertolini vd. çöp yakma fırını küllerini betonda mineral katkı olarak kullanmışlar ve puzolanik özelliklerinin iyi olduğunu, dayanım artışı sağladığını ve geçirimsizliği azalttığını belirtmişlerdir (Bertolini et al. 2004).

Kömür bünyesinde bulunan organik maddeler yanmam sırasında oksitlenerek ve parçalanarak geride genellikle oksitlerden oluşan bir atık bırakır. Bu atık, kömürün mineral kökenli bileşiklerinden kaynaklanır. Kül yapıcı mineraller ve yanma sonucu oluşan reaksiyonlar Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Kül Yapıcı Mineraller ve Yanma Sonucu Oluşan Reaksiyonlar (DPT 1996).

Mineral Maddeler (X)	Yanma Sonucu Oluşan Oksitler (Y)	Oran (%) (X/Y)
CaCO_3	$\text{CaO} + \text{CO}_2$	1,79
MgCO_3	$\text{MgO} + \text{CO}_2$	2,09
$\text{CaSO}_4\text{H}_2\text{O}$	$\text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	1,27
FeS_2	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{SO}_2$	1,50

Çizelge 2.1 (Devam) Kül Yapıcı Mineraller ve Yanma Sonucu Oluşan Reaksiyonlar (DPT 1996).

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{SiO}_2\text{2H}_2\text{O}$ (Kaolinit)	$\text{Al}_2\text{O}_3\text{2SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$	1,16
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	$\text{CaO} + \text{MgO} + 2\text{CO}_2$	1,42
$\text{Fe}_2\text{3/2H}_2\text{O}$	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3/2\text{H}_2\text{O}$	1,17

Türkiye’de; %79’u görünür, %15’i muhtemel, %6’sı mümkün sınıfa dahil 8,4 milyar ton linyit rezervinin olduğu bildirilmektedir (DPT 1996).

Kül kömürlerde istenmeyen içeriklerden biri olmakla beraber, kömürlerin kalori değerlerini düşürmektedir. Kömürün yanmasını ve işlemleri zorlaştıran kül, kullanım alanlarında kullanım alanlarını da kısıtlamaktadır. Linyit içindeki kül, iki ayrı kaynaktan gelmektedir.

1. **Bitkilerin Bünyesinden Gelen Kül:** % 0,2–1,2 arasında ve bitkinin bünyesinde vardır.
2. **Yabancı Kül (Seconder Kül):** Bu kömürleşme sırasında ve kömürleşme sonrasında kömüre karışan mineral maddeler sebebiyle oluşur.

Kömürün orijinal külü % 2–40 arasında değişmektedir. Çok küllü kömür parçaları dış kısımdan yanmaktadır. İçte ise yanmamış kısım kalmaktadır. Bunun nedeni ise, kül yanmamış kömürün çevresini sararak kömürün hava ile temasını kesmekte, bunun sonucunda kömür yanmamaktadır (DPT 1996).

2.1 Kömür

2.1.1 Kömürlerin Tanım ve Sınıflandırılması

Kömür; çoğunlukla karbon, hidrojen ve oksijenden oluşan az miktarda kükürt ve nitrojen içeren, kimyasal ve fiziksel olarak farklı yapıya sahip maden ve kayadır. Diğer içerikleri ise kül teşkil eden inorganik bileşikler ve mineral maddelerdir. Bazı kömürler ısıtılınca ergir ve plastik hale gelirler. İşlemler sonucunda katran, likör ve çeşitli gazlar elde edilebilmektedir (Kemal 1982; DPT 1996).

Enerji hammaddeleri içinde önemli bir yere sahip olan kömür dünyada geniş rezervlere ve yaygın tüketim alanlarına sahiptir. Kömürleşme süreci, nem içeriği, kül ve uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, kükürt ve mineral madde içeriklerinin yanı sıra jeolojik, petrografik, fiziksel, kimyasal ve termik özellikler yönünden kömürler çok çeşitlilik gösterirler. Bu durum birçok ülkede kömürlerin birbirine benzer özellikler ve yakın değerler temelinde sınıflandırılmasını zorunlu kılmıştır. Kömür üretimi, kullanımı ve teknolojisinde ileri ülkeler öncelikle kendi kömürlerinin özelliklerine göre bir sınıflama yaptıkları gibi uluslararası genel bir sınıflama için ortak standartlar da geliştirmişlerdir (Kemal 1982; DPT 1996).

Değişik tipte kömürlerin kullanım amaçlarına göre uluslararası sınıflandırılmasında; ilk olarak 1957 yılında çeşitli ülkelerden üyelerin oluşturduğu Uluslararası Kömür Kurulunca birçok ülkeden temin edilen numuneler üzerinde yapılan çalışmalar, Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO) tarafından da desteklenerek genel bir sınıflama yapılmıştır. Bu sınıflamada, kalorifik değer, uçucu madde içeriği, sabit karbon miktarı, koklaşma ve kekleşme özellikleri temel alınarak sert ve kahverengi kömürler olarak iki ayrı sınıfa ayrılmıştır (Kemal 1982; DPT 1996).

- **Sert kömürler;** ıslak ve külsüz bazda 5700 KCal/Kg'ın üzerinde kalorifik değerdedir. Uçucu madde içeriği, kalorifik değer ve koklaşma özelliklerine göre alt sınıflara ayrılırlar.
- **Kahverengi kömürler;** ıslak ve külsüz bazda 5700KCal/Kg'ın altında kalorifik değerdedir. Toplam nem içeriği ve kalorifik değere göre alt sınıflara ayrılırlar.

Uluslararası Genel Kömür Sınıflaması Çizelge 2.2'de, genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.2 Uluslararası genel kömür sınıflaması (Coal Information Report 1983).

Sert Kömürler	Kahverengi Kömürler
1.Koklaşabilir Kömürler (Yüksek fırınlarda kullanıma uygun kok üretimine izin veren kalitede)	1.Alt Bitümlü Kömürler (4165–5700) KCal/Kg arasında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)
2.Koklaşmayan Kömürler <ul style="list-style-type: none"> • Bitümlü Kömürler • B)Antrasit 	2. Linyit (4165 Kcal/Kg'ın altında kalorifik değerde olup topaklaşma özelliği göstermez)

Çizelge 2.3 Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (Mervit 2000).

Linyit	Alt Bitümlü Kömürler	Bitümlü Kömürler	Antrasit
Renk ve Özellikler			
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Kırılgan, çabuk toz halinde ufalanma	Oksidasyonla veya kurutma sonucunda ince parçalar ve toz halinde ufalanma	Bloksu kırılma	Merceksi kırılma
Masif, odunsu veya üniform kilsli doku	Masif	Bantlı ve kompakt	Sert ve dayanıklı

Çizelge 2.3 (Devamı) Genel sınıflandırmada yer alan kömürlerin tanıtıcı özellikleri (Mervit 2000).

Linyit	Alt Bitümlü Kömürler	Bitümlü Kömürler	Antrasit
Renk ve Özellikler			
Kahverengi	Siyah	Koyu siyah	Parlak siyah
Isıl değer; 4610 KCal/Kg'ın altında	Isıl değer; 4610–6390 KCal/Kg arasında	Isıl değer; 5390–7700 KCal/Kg arasında	Isıl değer; 7000 KCal/Kg'ın üzerinde
Uçucu madde miktarı ve nem içeriği yüksek	Uçucu madde ve nem içerikleri bitümlü kömürlerden daha yüksek	Uçucu madde miktarı ve nem içeriği düşük	Uçucu madde ve nem içerikleri düşük
Düşük sabit karbon içeriği	Sabit karbon içeriği Bitümlü kömürden düşük	Sabit karbon içeriği yüksek	Sabit karbon içeriği yüksek

2.1.2 Kömürlerin Fiziksel Özellikleri

Kömürlerin fiziksel özelliklerine kabaca bakılırsa; Yoğunlukları, içerdikleri inorganik madde ve nem oranına bakarak artmasına rağmen 1,1 ile 2,2 gr/cm³ arasında değişmektedir. Poroziteleri, kömürleşme derecelerine bağlı olarak %3 (antrasit) ile %25 arasında değişmektedir. Sertlikleri (Vickers), 30 (liniyit)–120 (antrasit) kg/mm² arasında değişmektedir (Nakoman 1971).

2.1.2.1 Gözeneklilik (Porozite)

Jeolojik devirlerde meydana gelmiş olan kömürler, tamamen masif bir yapıya sahip olmayıp, boyutları birkaç mikron ile birkaç milimetre arasında değişen boşluklar içerirler. Bu mikroskobik boşluklar, kılcal kanallar halinde olabildikleri gibi küresel veya gayet

düzensiz şekillerde de olabilir. Kömürün gözenekliliğinin fazla olması halinde atmosferik oksijenle temas yüzeyi artacağından depolandığında oksitlenmelere yol açar. Bu sebeple gözenekliliğin tetkik ve tayini ekonomik ve emniyet bakımından önemlidir. Ayrıca gaz emme kapasitesi, buharda-sıvılarda şişme özelliği ve yoğunluk, gözenekliliğin bir fonksiyonudur (Nakoman 1971).

2.1.2.2 Gaz Emme (Absorpsiyon)

Oda sıcaklığında bir kömür; su, alkol, benzen, hegzan gibi sıvıların buharlarını emer. Emme olayı, kömürün gözenekliliği, uçucu madde ve karbon miktarıyla deney sırasındaki basınç ve buharın cinsiyle yakından ilgilidir. Kömürleşme derecesi arttıkça emilen gaz miktarı artmaktadır.

2.1.2.3 Özgül Ağırlık

Bir kömürün özgül ağırlığı kömürleşme derecesinin (karbon ve uçucu madde miktarı), nemliliğinin ve kül miktarının bir fonksiyonudur. Genellikle karbon miktarı %60'dan %96'ya kadar artarken, özgül ağırlıkta 1,2'den 1,7'ye kadar yükselir.

Linyitlerin özgül ağırlığı 1–1,3 arasındadır. Turbaların özgül ağırlığı genel olarak 1,0 kabul edilir. Kül miktarı arttıkça özgül ağırlıkta artar. Dolayısıyla bir kömür havzasının ekonomik potansiyelinin tespit edilmesinde kömürlerin külsüz olarak özgül ağırlıklarının bilinmesi gerekebilir.

2.1.2.4 Mikro Sertlik

Mikro sertlik, kömürlerin kömürleşme derecelerini belirlemek için temel kabul edilen faktörlerden biridir. Kömürlerin sertliği, Mohs ölçeğinden ziyade belirli yük altında bir iz bırakacağı kömür üzerinde meydana getirdiği izin alanının ölçülmesi ile hesaplanmaktadır.

2.1.2.5 Yansıtma (Refleksiyon)

Kömürlerin ışığı yansıtma özellikleri doğrudan doğruya kömürleşme derecesine bağlıdır. Yansıtma indeksi, kömürleşme derecesiyle doğru orantılıdır. Son zamanlarda yansıtma değeri, kömürleşme derecesini belirlemek için en çok kullanılan parametredir.

Yansıtma değerleri; kömür havzalarında jeolojik problemlerin çözümünde, kömür damarlarının korelasyonunda ve bu damarların teknolojik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Ayrıca, sedimanter kayalar içinde bulunan organik kökenli maddelerin (özellikle hüminit/vitrinit) yansıtma miktarları, bölgede petrol olup olmadığı hakkında önemli bilgiler verebilmektedir.

2.1.3 Kömürlerin Kimyasal Özellikleri

Kömürlerin kalitesi ve özelliklerini ortaya koyan kalori (ısısal), kısa ve elementel analizleridir. Bunun yanında kömürlerde iz element analizleri de yapılabilmektedir.

2.1.3.1 Oksidasyon

Kömürler, havanın oksijeni etkisinde oldukça yavaş gelişen bir oksitlenmeye uğrarlar. Gözenekliliği fazla olan ve büyük oranlarda kükürt ihtiva eden kömürler kolayca

oksitlenirler. Kömürleşme derecesi arttıkça, kömürlerin oksitlenmeye karşı dirençleri de artar. Büyük kömür yığınlarının uzun müddet depolanması gerektiğinde oksitlenmeden doğabilecek yangın tehlikesine karşı önceden her türlü tedbirlerin alınması gerekir.

2.1.3.2 Çözücülerde Erime

Kömürler, bazı organik çözücülerde eriyerek değişik kimyasal özellikler gösteren bileşiklere ayrılırlar. Bu özelliklerinden kömürleri meydana getiren maddelerin incelenmesinde çok yararlanılmaktadır. Çözücü olarak en çok piridin kullanılmaktadır. Ekstraksiyon sonunda katı parafinler ($C_{21}H_{44} \dots C_{27}H_{56}$ gibi), doymuş hidrokarbonlar (C_nH_{2n-2}) elde edilmektedir.

2.1.3.3 Hidrojenasyon

19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren yapılan çeşitli deneylerde araştırmacılar, hidrojenasyon yolu ile kömürleri sıvı hale getirmeyi başarmışlardır. Hidrojenasyon olayının mekanizmasını araştıran yazarlar, bunun kömürün termik olarak reaktif parçalara ayrılmasından ibaret olduğunu, bu ayırma işleminde de halojen oksitler gibi katalizörlerin işlemi kolaylaştırdığını öne sürmektedirler. Schumacher ve arkadaşlarının son zamanlarda %86,5 karbon içeren kömürlerin üzerinde 325 derece sıcaklıkta 400 atmosfer basınç altında tetralin ve kalay-klorür tipi katalizörlerin varlığında yaptıkları hidrojenasyon deneyinde aşağıdaki ürünleri elde etmişlerdir.

- 100 gram kömürün hidrojenasyonu ile 40 gram hekzan, 18 gram etan ve 45 gram kalıntı
- Kalıntının tekrar hidrojenasyona tabi tutulması ile 14 gram hekzan, 5,5 gram eter, 11 gram benzen ve 18 gram kalıntı.

Hidrojenasyon yolu ile kömürün sıvılaştırılabilmesi petrol sıkıntısı çekilen zamanlarda akaryakıt için iyi bir alternatif olarak ortaya konulabilecek bir niteliklidir.

2.1.3.4 Koklaşma

Kömürleşmesi belirli bir düzeye erişmiş olan kömürler ısıtılınca önce yumuşarlar sonra şişerek gaz çıkartırlar ve daha sonra tekrar sertleşirler. Sertleşme sonucunda oluşan çok gözenekli, oldukça hafif ve gri renkli kütleyle “kok” kömürü; kömürün kok haline geçmesi olayına da “koklaşma” denilmektedir. Her kömür cinsi koklaşmaya elverişli değildir. Genellikle taşkömürleri seviyesinde olgunlaşmış ve deneye dayalı olarak H/O oranı 0.59’a eşit veya bu değerden büyük kömürler ısı tesiriyle şişer ve koklaşırlar. Genellikle koklaşma olayında şu safhalardan geçirilir;

- 200 dereceye kadar hidroskopik su ve emilmiş CO₂, O₂, N₂ ve CH₄ gibi fazlar elemine olur,
- 200 derecenin üstünde kömürün bünye suyu uçar,
- 300 derece civarında çeşitli ürünlerin atılmasıyla birlikte yumuşama başlar,
- 350 derece dolaylarında yumuşama son safhaya varır,
- 425–550 derece arasında ısıtma hızına bağlı olarak malzeme tekrar katı hale dönüşür.

Sıcaklığın 500 derece civarına kadar artırılması ile gerçekleştirilen bir koklaşmada, 1 ton taşkömüründen yaklaşık olarak 400 metreküp gaz, 350 kg kok, 45 kg katran, 2,5 kg amonyak ve 10 kg benzol elde edilmektedir. Koklaşma sırasında çıkan gazdan havagazı elde edilir (Coal İnförmatıon Report 1983, National Lime Association 1990, Oates 1998).

2.1.4 Kömür Petrografisi

2.1.4.1 Maserallerin Tanımı

Bilindiği gibi kömür, homojen bir madde değildir ve değişik bileşenlerden oluşur. İnorganik kayalar nasıl minerallerden (örneğin; granit; kuvars feldispat ve mikadan) olmuşsa kömürler de maserallerden meydana gelmişlerdir. Mineraller ve maseraller arasında belirgin farklılıklar vardır. Mineraller kristal yapıda olup kimyasal bileşimleri belirlidir. Maserallerin kimyasal yapıları ve fiziksel özellikleri büyük değişiklikler gösterir. Aynı zamanda maseraller bir kristal yapıya da sahip değildirler. Kömür maseral grubuna giren malzemeler Çizelge 2.4'te verilmiştir.

Hâlbuki inorganik kayaları oluşturan mineraller kristal yapıda ve kimyasal bileşimleri de belirlidir. Maseralleri çıplak gözle görmek imkânsızdır, ancak mikroskop yardımıyla ayrıntılı olarak incelenebilirler. Mikroskopta maseralleri ayırt edebilmek için; renk, ışığı yansıtma, şekil ve rölyef gibi bazı parametrelerden faydalanılır. Maseraller bu özelliklere göre üç ana gruba ayrılırlar (Coal Information Report 1983, National Lime Association 1990, Oates 1998).

Çizelge 2.4 Kömür maseral grubu (Oates 1998).

Maseral Grubu	Maseral
Vitrini	Telinit , Kollinit , Vitrodetrinit
Eksinit / Liptinit	Sporinit, Kütinit, Resinit, Alginit, Liptodetrinit
İnertinit	Füsinit Semifüsinit Mikrinit Makrinit Sklerotinit İnertodetrinit

2.1.4.2 Mikrolitotipler

Kömürlerde ekseriya aynı veya iki farklı maseral grubu toplanmış olarak bulunur. Mikroskopta gözlenen böyle bantlara mikrolitotip adı verilir. Bütün mikrolitotipler isimlendirilirken sonlarına “-it” eki alırlar, ör. vitrit, klarit, dürit, vb. Mikroskopta gözlenen bir bandın mikrolitotip olarak değerlendirilebilmesi için bant genişliğinin 50 mikrondan daha fazla olması gerekir. Mikrolitotiplerin çeşitleri, özellikleri ve sınıflamaları konu kapsamına alınmamıştır (Coal Information Report 1983, National Lime Association 1990, Oates 1998).

2.1.4.3 Litotipler

Litotip terimi kömür damarlarının farklı makroskopik tanınabilir bantlarını açıklamak için kullanılır. Tanımlamada litotipler sonlarına “-en” eki alırlar. Aşağıda kömürlerin (hümik kömürlerin) litotipleri ve litotiplerin özellikleri verilmiştir.

Vitren: Kömürlerin en parlak bandıdır. Tabakalanma yönüne dik açıda sayısız çatlakları bulunan ve bu nedenle küp şeklinde kırılan banttır. Bantların kalınlığı, 3 mm veya 10 mm'den daha büyüktür (bazı ülkelerde minimum bant kalınlığı 3 mm, bazı ülkelerde ise minimum bant kalınlığı 10 mm olarak kabul edilmektedir). Daha ince bantlar ise klaren olarak belirlenir.

Klaren: Parlaklığı vitren ile düren arasında olan ipeğimsi görünüşteki banttır. Kalınlıkları 3 mm. veya 10 mm'yi geçmez. Klaren bantları, hümik kömürlerin en yaygın makroskopik üyesidir. Klaren içinde genellikle tabakalanmaya dik çok sayıda fakat devamsız ince çatlaklar vardır.

Düren: Bu terim mat görünümlü olan kömür bantları için kullanılır. Bantların yüzeyleri pürüzlü olup genellikle gri veya kahverengimsi siyah renkte ve yağlı

görünüştür. Kalınlıkları 3 mm veya 10 mm'den büyüktür. Daha ince olan bantlar ise klaren olarak kaydedilir.

Füsen: Siyah, ipeğimsi ve lifsi dokulu, kolayca ufalanabilen parlak bantlardır. Değdiği cisimleri boyayan tek kömür bantıdır. Füsen içerisinde yüksek miktarda minerallerde bulunabilir. Ekseriya füsen, kömür damarlarında mercekler şeklinde bulunur. Bu merceklerin kalınlığı birkaç milimetre, uzunluğu ise birkaç santimetre civarındadır (Coal Information Report 1983, National Lime Association 1990, Oates 1998).

2.1.5 Kömürde Bulunan Mineraller ve Eser Elementler

Kömürler değişik miktarlarda inorganik maddeler içerir. Kömürler içinde 50–60 tür mineral gözlenmiştir. En önemli mineral gurupları; killer, karbonatlar ve demir mineralleridir. Diğerlerinin büyük çoğunluğu % 1'in altında gözlenir. Kömürlerdeki inorganik maddeler, kökenlerine göre;

- Orijinal bitkide bulunanlar,
- Turba oluşumu sırasında meydana gelenler,
- Kömürün oluşmasından sonra meydana gelen inorganik maddeler olmak üzere üç ana grupta sınıflandırılırlar (Boynton 1980, Stach et al. 1982).

Kömürde bulunan minerallerin sınıflandırılması Çizelge 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.5 Kömürde bulunan minerallerin sınıflandırılması (Stach et al. 1982).

Mineraller	Senjenetik (Kömürün bünyesinde)		Epijenetik (Kırık ve Çatlaklarda)
	Su ve hava akımları ile taşınanlar	Oluşumu kömürle aynı anda olanlar	
Killer	İllit, serisit, kaolinit, leverrierit, montmorillonit, vb.	- -	- -
Spatik Karbonatlar	- -	Siderit konkresyonları,dolomit (ankerit),kalsit	Kalsit, Ankerit
Sülfürler	- -	Pirit,FeS ₂ - CuFeS ₂ -ZnS Konkresyonları,melnikovit	Pirit, markasit blend kalkopirir, galen
Oksitler	-	Limonit, hematit	Götit
Kuvars	Kuvars taneleri	Kalseduan ve kuvars	Kalseduan ve kuvars
Klorür ve Sülfatlar	- -	Kaya tuzu,tenardit,jips	- -

2.1.6 Kömürün Yakılması

Her ne kadar kömür üretilmesiyle doğrudan ilgili olmasa da, kömürün kullanılması sırasında ortaya çıkan çevre sorunları açısından, kömür üretimi her geçen gün kısıtlanmaktadır. Özellikle, kömürün yakılarak elektrik enerjisi elde edildiği termik santrallerin, olumsuz çevresel etkilerinin ortaya çıkmasıyla, kömür üretimi oldukça etkilenmiştir. Son yıllarda termik santrallerin olumsuz çevre etkilerinin azaltılması yönünde çalışmalara hız verilmiş ve bazı termik santrallerde hava kirletici özelliği fazla olan kükürtoksitleri (SO₂) gidermek amacıyla, Desülfirizasyon Üniteleri kurulmasına yönelik çalışmalar başlatılmıştır.

Yine kömürün; sanayi ve konut ısıtılmasında kullanılmasıyla ortaya çıkan hava kirliliğinin tek sorumlusu olarak gösterildiği günümüzde, hava kirliliğinde en az kömür kadar etkili olan taşıtlardan kaynaklanan hava kirleticiler ve kaloriferlerde kullanılan yüksek kükürtlü fuel-oillerden kaynaklanan etkiler hep göz ardı edilmiş ve haksız yere kömür kullanımı engellenmektedir. Dolayısıyla bu durum kömür üretimini de olumsuz yönde etkilemektedir. Her boyutta ve kalitedeki yerli kömürlerimizin çevre ve hava kirliliğine olan etkisini en aza indirmek amacıyla dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de sanayide (tekstil, boya vb.) ve toplu konut alanlarının ısıtılmasında “Akışkan Yataklı Yakma Sistemleri” tesis edilmektedir (DPT 1996).

2.2 Silis Dumanı

Silisyum metalinin veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında, yüksek saflıktaki kuvarsitin, kömür ve odun parçacıklarıyla indirgenmesi sonucu, bir yan ürün olarak elde edilen çok ince taneli, toz halindeki endüstriyel atık maddeye silis dumanı adı verilir (Resim 2.1).



Resim 2.1 Silis dumanı

Silikon metali veya ferrosilikon üretiminin bir yan ürünü olan silis dumanı portland çimentosundan 100 kat daha ince, küresel şekilli, kristal olmayan tanelerden oluşan oldukça

ince yapıya sahip bir puzolandır. Silis içeriği %85-%98 arasında değişen silis dumanı, yanmamış kömür kalıntısı olarak karbon, Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO ve alkalileri de (Na_2O ve K_2O) kimyasal yapısında içermektedir. Silis dumanı, yoğunlaştırılmış silika dumanı veya mikrosilika veya mikrosilis olarak da adlandırılır. “Silika tozu”, “silika pudrası” ve “silika füme” terimleri de ayrıca kullanılır.

Türkiye’de silis dumanı, Antalya Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerinde elde edilmektedir. Ferrosilisyum ve silikoferrokrom baca tozları olarak yıllık üretim miktarları toplam 1000–2000 ton arasında değişmektedir (Ün 2007).

2.2.1 Silis Dumanı Elde Edilişi

Silis dumanı, silisyum metali veya ferrosilisyum alaşımlarının elektrik arkı fırınlarında yaklaşık 2000 °C sıcaklığındaki imalatından ortaya çıkan bir üründür. Üretim süresince %95 civarında SiO_2 içeren kuvarsit, demir-çelik hurdası veya demir cevheri ile metalurjik koktan oluşan hammaddeler belirli oranlarda tartılıp karıştırıldıktan sonra 600 kVA gücündeki elektrik ark-direnç fırınına sevk edilirler. Bu fırınlarda elektrot malzemesi olarak antresit veya ziftten oluşan söderberg hamuru kullanılır. Demir ve silisyum oksitler karbon ile indirgenerek ferrosilisyum alaşımı oluştururlar. Fırın tabanında biriken alaşım uygun aralıklarla oluklardan alınarak kalıplarda soğutulur.

Elektrik arkı fırınında yükseltile sıcaklıkta silisyum dioksit (SiO_2) indirgendiği zaman, bir kısmı silikon monoksit (SiO) olarak buharlaşır. Bu SiO ’nun kapalı bir çevirimini gösterirse de, fırın açık bir yüzeye sahip olduğundan, SiO ’nun belirli bir kısmı kaybolacaktır. Gaz fazındaki SiO havayla temas etiğinde tekrar reaksiyona uğrar ve havanın oksijenini alarak amorf mikro küresel yapıya sahip SiO_2 olarak yoğunlaşır. Alaşımdaki silisyum içeriğine bağlı olarak silis dumanındaki SiO_2 miktarı da artmaktadır. Bu miktar silisyum metalinde %98’e ulaşır. Alaşım türüne göre silis dumanındaki SiO_2 miktarı Çizelge 2.6’da verilmiştir.

Çizelge 2.6 Alaşım türüne göre silis dumanındaki SiO₂ miktarı (Ün 2007).

Alaşım Türü	Silisyum Dumanındaki SiO₂ (%)
%50 Ferrosilisyum	61–84
%75 Ferrosilisyum	84–91
Metal Silisyum	87–98

Silis dumanı;

- Gri renklidir,
- Düzgün yüzeyli, küresel,
- Tane çapı, 0,1–0,2µm,
- Yoğunluğu ~2,2 g/cm³,
- Özgül yüzeyi 130000–280000 g/cm² (Ün 2007).

2.2.2 Silis Dumanın Kimyasal Özellikleri

Çizelge 2.7 Silis dumanın kimyasal özellikleri (Ün 2007).

Kimyasal Bileşen	İçerik (%)
SiO ₂	93,0–95,0
C	0,8–1,0
Fe ₂ O ₃	0,4–1,0
Al ₂ O ₃	0,4–1,4
MgO	1,0–0,4
CaO	0,5–1,0
Na ₂ O	0,1–0,3
K ₂ O	0,5–1,0
S	0,1–0,3
Kızdırma Kaybı	0,5–1,0

2.3 Genleştirilmiş Perlit

Perlit; inci parlaklığında, amorf yapılı, açık gri renkli, küçük, yuvarlak camsı taneciklerden oluşmuş volkanik bir kayadır (Chestermen 1975, Doğan 2001). Bu tanecikler içinde % 2-6 oranında sıkışmış olarak su bulunur. Genleşmemiş perlit öğütölüp, hızlı ve kontrollü bir şekilde özel fırınlarda yumuşama noktasına kadar (760 °C–1100 °C) ısı işleme tabi tutulursa bu tanecikler, içlerindeki suyun buharlaşması sonucu, ilk hacminin 10 ile 20 katı kadar genişebilir (Harben 1990). Genleşme sırasında sıcak, yumuşamış, camsı parçacıklar halinde çok sayıda ufak tanecikler oluşur. Genleşmiş perlitin çok hafif, düşük termal iletkenlikli, ateşe dayanıklı bir malzeme oluşunun sebebi bu camsı taneciklerdir (Doğan 1997).

Perlitler, zamanla camlaşma eğiliminde olduklarından ticari olarak tersiyer ve kuaterner volkanik aktiviteli bölgelerde bulunmaktadır (Yılmaz ve yücel 2001). 1999 yılında Dünya perlit üretiminin 2,2 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir. En önemli perlit üretimi yapan ülkeler Türkiye, ABD ve Yunanistan'dır. Perlitin gözenekliliği, hafifliği, ısı ve ses yalıtıcılığı, kimyasal inertlik ve yanmazlığı gibi teknik özellikleri nedeniyle birçok kullanım alanı bulmuştur. Perlit günümüzde daha çok inşaat sektöründe tüketilmekte, bu nedenle de perlit hakkındaki araştırmalar inşaat malzemelerinin üretimi ve bu malzemelerin özelliklerinin incelenmesi konularında yoğunlaşmıştır (Akın ve Tinçer 1994, Erdem 1997).

Ham perlite nazaran genişmiş perlitin uygulama alanları çok daha geniştir. Bunun sebebi geliştirildikten sonra perlitin teknik, fiziksel ve kimyasal özelliklerinin daha da iyileştirilmiş olmasıdır. Genleşmiş perlit, çok hafif bir malzeme olup ısıya dayanıklı ve ses geçirmeyen bir izolatördür. Genleşmiş perlitin düşük termal iletkenliği ve bulk yoğunluğu, ateşe dayanıklılığı ve yüksek ses absorpsiyonundan dolayı, geleneksel sıvalara göre birçok avantajlara sahiptir. Üretilen perlitin yarısından fazlası yapı endüstrisinde, özellikle yalıtım döşemeleri, sıvaları ve betonlarında agrega olarak kullanılmaktadır.

Genleşmiş perlit bitki öldürücü ilaç, böcek öldürücü ve kimyasal gübreler için bir taşıyıcı olarak da kullanılmaktadır. Perlit genellikle % 70'den fazla silika içerdiğinden, adsorpsiyon özelliği gösterir; kimyasal açıdan inert olduğu için birçok süreçte mükemmel bir süzme yardımcı maddesi olarak kullanılmaktadır. Genleşmiş perlit boyada, cilalamada, plastiklerde, reçinelerde ve kauçuklarda dolgu maddesi olarak ve kimyasal reaksiyonlarda katalizör olarak kullanılmaktadır (Aklan ve Doğan 2002).

2.3.1 Genleştirilmiş Perlitin Kimyasal Bileşimi

Kimyasal bakımdan perlit, bünyesinde bağlı su içeren bir alüminyum silika bileşimidir. Bileşim olarak perlitin %90-97'si volkanik camdır. Geri kalan kısmı kristalleşmiş feldspat ve biyotittir. Az miktarda kuvars, apatit ve manyetit içerir. Genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşimi Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8 Genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşimi (Doğan 2001).

Formülü	Bileşimindeki Oran (%)
SiO ₂	73,8
Al ₂ O ₃	13,9
Na ₂ O	4,7
K ₂ O	4,3
Fe ₂ O ₃	0,9
CaO	0,9
MgO	0,3
H ₂ O	0,5

2.3.2 Fiziksel Özellikleri

- Tanım: Konkoidal, sferidal kırıklı camsı volkanik kayaç
- Renk: Beyaz, gri ve tonları, genişince tümüyle beyaz
- Sertlik (Mohs): 5–6
- Özgül ağırlığı: 2200–2400 kg/m³
- Gevşek yoğunluk: 32–400 kg/m³
- Yumuşama noktası: 871–1093 °C
- Ergime noktası: 1260–1343 °C
- Özgül ısı: 0,2 cal/g °C
- Isı iletkenliği: 0,04 W/Mk
- Refraktif indeks:1,5
- PH: 6,5–8
- Serbest nem (%): Maksimum 0,5
- Asitte erime özelliği: Konsantre sıcak alkali ve hidrolik asitte erir.
- Konsantre mineral asitlerinde az erir. (%2)
- Seyreltik mineral veya konsantre zayıf asitlerde çok az erir (%0,1) (Doğan 2001).

Genleştirilmiş mikronize perlit Resim 2.2’de verilmiştir.



Resim 2.2 Genleştirilmiş mikronize perlit (Doğan 2001).

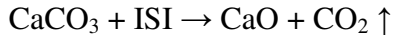
2.4 Kireç

Kireç; antik çağlardan beri bilinen ve çok yönlü kullanımı olan bir maddedir. Kireç üretiminin hammaddesi kireçtaşıdır. Kireçtaşları yüksek kalsiyum içeren kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı olmak üzere kabaca iki sınıfa ayrılabilir. Yüksek kalsiyumlu kireçtaşları %97–99 CaCO₃ içermektedir. Dolomitik kireçtaşlarında MgCO₃ oranı %43'e kadar yükselebilmektedir. Oluştığı yere, içerdiği safsızlıkların cinsi ve miktarına, kullanım alanlarına göre 40 kadar kireçtaşı cinsi bulunmaktadır (Boynton 1980, Erol vd. 1998).

Kirecin kullanımı, çok eski zamanlardan beri öncelikli olarak inşaat sektöründe, ardından ise kimya sektöründe (dezenfektan olarak) olmuştur. 20. yüzyılın başında hızla gelişen kimya ve demir çelik endüstrisi ile çok büyük miktarlarda kireç kullanılmaya başlanmıştır. Kirecin endüstri, tarım ve çevre sektörlerindeki gün geçtikçe artan kullanımı, kireç üretim yerlerinin yaygınlığının, kullanım yerlerine yakınlığının, üretim teknolojisinin geliştirilmesinin ve bu sayede fiyatının diğer rakip kimyasallara oranla oldukça ucuz olmasının bir sonucudur. Birçok kimyasal prosesin (nötralizasyon, absorpsiyon, kostikleştirme gibi) ana girdisi olması, kimyasallarla çabuk reaksiyona girerek istenmeyen maddeleri bünyeden uzaklaştırması, pahalı kimyasalların geri kazanılmasındaki rolü, organik canlılar için besi maddesi olması, ucuzluğu ve kolay bulunması gibi nedenler bu malzemenin yaygın biçimde kullanılmasında önemli rol oynamaktadır.

Kireç, portland çimento ve beton yapımında hammadde bileşeni, inşaat harç ve sıvalarında bağlayıcı, demir-çelik endüstrisinde safsızlaştırıcı, gaz beton endüstrisinde bağlayıcı, çevre denetiminde arıtma kimyasalı, asitli toprakların rehabilitasyonunda pH dengeleyicisi, çeşitli kimyasal maddelerin elde edilmesinde ara reaksiyon kimyasalı veya nihai ürün bileşeni, yol zemin inşaatlarında ve asfalt yapımında aşınmaya karşı katkı maddesi olarak pek çok alanda kullanılmaktadır (Anıl ve Kılıç 2001, Anıl vd 2001, Çiçek 1999, Harben 1990).

Kireç, kireçtaşının fırınlarda 900 °C civarındaki sıcaklıklarda kalsine edilmesi ile elde edilmektedir.



Kireç üretiminde, kireçtaşı veya dolomitik kireçtaşı, iri bloklar halinde özel fırınlarda 900-1000 °C sıcaklıkta kızdırılarak (kalsine edilerek), sönmemiş kirece (CaO veya CaO+MgO) dönüştürülmektedir. Sönmemiş kireç suya karşı oldukça aktiftir ve özellikleri tablo 5'te ayrıntılı olarak verilmiştir. Ticari olarak kireç olarak anılan ürün sönmemiş kireç (CaO) ve sönmüş kireç (Ca(OH)₂) şeklinde üretilmektedir. Söndürülmemiş kirecin özellikleri Çizelge 2.9'da verilmiştir (Lokman 2000).

Çizelge 2.9 Söndürülmemiş kirecin özellikleri (Lokman 2000).

Bileşim ve oranlar (ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci			Dolomit Kireci	
	KK 90	KK 80	KK70	DK 85	DK 80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	≤5	≤5	≤5	≥30	>5
CO ₂ , en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler, SiO ₂ dahil, en çok	2	2	2	2	2
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , metaloksitleri, en çok	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
SO ₃ , en çok	2	2	2	2	2

Reaksiyon ürünü kalsiyum oksit veya diğer ismi ile sönmemiş kireç (CaO) bu haliyle kullanıldığı gibi, suyla reaksiyona sokularak sönmüş toz kireç (Ca(OH)₂) şeklinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

CaO veya CaO+MgO suyla karıştırılarak söndürülünce (Ca(OH)₂ veya CaMg(OH)₄ ortaya çıkmaktadır; bunlar sönmüş kireçtir ve kireç olarak kullanılmaktadır, açığa çıkmakta ve önceleri çok hızlı yükselen sıcaklık sönmenin sonlarına doğru sabitleşmektedir. Bu ısı, kireç taneciklerinde büyük termal iç gerilimlere neden olarak sönmemiş kirecin tozlaşınca kadar parçalanmasına yol açmaktadır. Sönme işlemi devam ederken su buharı

oluşmakta ve hafif bir ses meydana gelmektedir. Sönme olayı CaO'nun pişme biçimine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sönmemiş kireç fırın üretim şartlarına, fırın sıcaklığına ve fırında kalma süresine bağlı olarak yumuşak pişmiş, sert pişmiş ve çok sert pişmiş olarak isimler almaktadır.

Kirecin aktivitesini belirlemede kullanılan T60 adı verilen deneyde yumuşak pişmiş, gözenek sayısı fazla ve aktivitesi yüksek kireçlerin 3–4 dakika içinde çok şiddetli reaksiyon göstererek 60–80 °C sıcaklığa çıktığı; sert pişmiş gözenek sayısı az, aktivitesi düşük kireçlerin ise daha uzun sürede bu sıcaklığa çıkabildiği belirlenmiştir. Çok sert pişmiş kireçlerin ise 60–80 °C sıcaklığa hiçbir zaman çıkamadığı gözlenmiştir (Boynton 1980, Lokman 2000, Song et al. kim 1990). Sönmüş kirecin özellikleri Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelge 2.10 Sönmüş kirecin özellikleri (TS 30 1993).

Bileşim ve oranlar (ağırlıkça %)	Kalsiyum Kireci		Dolomit Kireci		
	KK 90	KK 80	KK70	DK 85	DK 80
CaO, en az	90	80	70	85	80
MgO	≤5	≤5	≤5	≥30	>5
CO ₂ , en çok	4	7	12	7	7
Asitte çözünmeyen maddeler, SiO ₂ dahil, en çok	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ , metal oksitleri, en çok	1	1	1	1	1
SO ₃ , en çok	2	2	2	2	2

2.4.1 Kirecin Sınıflandırılması

Kirecin hammaddesi olan kireçtaşı veya kalker, genellikle kalsiyum karbonattan (CaCO_3) oluşur. İçindeki kalsiyum karbonat oranını baz olarak yapılan kalsifikasyona göre kireçtaşı cinsleri şöyle sıralanır;

1. Çok yüksek kalsiyumlu KT: CaCO_3 : min. % 97
2. Yüksek kalsiyumlu KT: CaCO_3 : min. % 95
3. Yüksek karbonatlı KT: ($\text{CaCO}_3+\text{MgCO}_3$): min. % 95
4. Kalsitik KT: MgCO_3 : % 5
5. Magnezyumlu KT: MgCO_3 : % 5–20
6. Dolomitik KT (Dolomit): MgCO_3 : % 20–40
7. Yüksek magnezyumlu dolomit: MgCO_3 : % 40–46 (DPT 2001).

Kireç, en az % 90 CaCO_3 içeren kireçtaşının kireç fırınlarında 900–1000 °C'nin üzerinde kalsinasyonu sonucunda kalsiyum oksite dönüşmesiyle elde edilir. Kalsiyum oksidin ticari adı sönmemiş kireçtir (bazen piyasada parça veya kelle kireç tabiri de kullanılmaktadır). Kalsiyum oksit, suyla reaksiyona sokulması sonucunda kalsiyum hidroksite veya ticari adıyla sönmüş kirece dönüşür. Kireçtaşı, sönmemiş kireç ve sönmüş kireçten oluşan ürün grubuna “kireç ürünleri” adı verilir. Kirecin hammaddesi olan ve doğada bol miktarda bulunan kireçtaşı, karbonatlı tortul kayaç ve fosiller için kullanılan genel bir deyim olup, yapısında prensip olarak kalsiyum karbonat veya kalsiyum karbonat/magnezyum karbonat bileşikleri ($\text{CaCO}_3/\text{MgCO}_3$) kombine halde bulunur.

Bunun yanı sıra içinde değişik oranlarda demir, alüminyum, silisyum, kükürt gibi safsızlıklara da rastlanabilir. Dünya’da çok çeşitli formasyon ve tiplerde kireçtaşı mevcuttur. Bunlar orijin, jeolojik formasyon, mineralojik yapı, kristal yapısı, kimyasal bileşim, renk ve sertlik özelliklerine göre gruplandırılır (örneğin; tebeşir, marn, traverten gibi) (DPT 2001).

2.5 Kimyasal Katkı

İnsanın yapı teknolojisinde bağlayıcı madde kullanmasıyla kimyasal katkı araştırması hemen hemen eş zamanlıdır. Kimyasal katkılar üzerinde tarayabildiğimiz ilk yayın 1924 yılında ASTM karışım dergilerinde çıkan Abrams'ın bir çalışması ve önerisidir. Beton teknolojisinin ünlü kurucularından olan Abrams, Kalsiyum Klorür'ün priz ve sertleşmeyi hızlandıran bir kimyasal katkı olduğunu yazmıştır. İlginç bir yaklaşım olarak, günümüzde bu katkıdan öylesine korkuluyor ki, her üretici firma, ürünlerini takdim ederken klor içermez deyimini muhakkak kullanmaktadır.

20. yüzyıl başlarında beton teknisyenleri betonun iki ana işlevinin islenebilme ve dayanım dayanımı etkileyen faktörün su/çimento olduğunun bilincindeydiler. Diğer üçüncü ana işlev olan dayanıklılık yani durabilite pek dikkate alınmıyordu. Su/çimento faktörü, islenebilme ve dayanım özellikleri arasındaki can sıkıcı çelişkili durumu yaratıyordu. Suyu artırınca beton kolay islenebilir, ancak dayanım düşer, dayanımın düşmemesi için çimentoyu arttırmak da şarttır. Böylece çözüm ekonomik olmaktan çıkar. İşte bu yüzden suyu arttırmadan islenebilmeyi düzelteren bir katkı bulunmalıdır. Su azalınca, su/çimento oranı da dayanım açısından sabit tutulunca, beton daha az çimento sarf ederek üretilebilir ve ekonomi sağlar. Bu mantık akışkanlaştırıcı katkıların bulunmasının, icat edilmesinin ana nedeni olmuştur (Akman ve Akçay 2005).

Kimyasal katkılar, çimento tanelerinin zeta potansiyel değerinin negatifliğini arttırarak çimento tanelerinin daha iyi dağılmasını sağlar. Bu artışın çimentonun kimyasal kompozisyonuna da bağlı olduğu yapılan çalışmalarla doğrulanmıştır. Katkının adsorblanma miktarı ve hızı, katkının moleküler ağırlığı ile artmaktadır. Ancak, yapılan bazı araştırmalar molekül ağırlığındaki artışın bir noktaya kadar islenebilirliği arttırdığını, daha sonra etkilemediğini hatta azalttığını göstermiştir (Aydın vd. 2005).

Karışımlar hazırlanırken kimyasal katkı olarak "Chryso Plast PR2" kullanılmıştır (Chryso.com). Diğer bazı kimyasal katkı tipleri Çizelge 2.11'de verilmiştir.

Çizelge 2.11 Kimyasal katkı tipleri (Yılmaz ve yücel 2001).

Kimyasal Katkı	Tipi Performans Şartı	TS EN 934-2'deki değeri
Su azaltıcı / akışkanlaştırıcı katkıları.	Eşit kıvamda su azalması	Azalma \geq %5
Yüksek oranda su azaltıcı / süper akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması, Eşit su/çimento oranında kıvam artışı	Azalma \geq %12 Çökme artışı \geq 120mm
Su tutucu katkı	Kusmada azalma.	Azalma \geq %50
Su geçirimsizlik katkısı	Kapiler emmede azalma.	Kütlece azalma \geq %50
Hava sürükleyici katkı	Sertleşmiş betonda hava boşluğu özellikleri.	Açıklık faktörü \leq 0.200 μ m
Priz hızlandırıcı katkı	İlk priz süresinde azalma.	Azalma \geq %40, 5°C'de
Sertleşmeyi hızlandırıcı katkı	1. gündeki basınç dayanımı, 2. gündeki basınç dayanımı.	Artış \geq %20, 20°C'de Artış \geq %30, 5°C'de
Priz geciktirici katkı	İlk priz alma ve priz bitiş sürelerinde artış.	Priz alma artış 90 dakika Priz bitiş artış 360 dakika
Priz geciktirici / su azaltıcı /akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması, İlk priz alma ve priz bitiş sürelerinde artış.	Azalma \geq %5 Priz alma artış \geq 90 dakika Priz bitiş artış \leq 360 dakika
Priz geciktirici/ yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması, Eşit su/çimento oranında kıvam artışı, İlk priz alma ve priz bitiş sürelerinde artış.	Azalma \geq %12 Çökme artışı \geq 120mm Priz alma artış \geq 90 dakika Priz bitiş artış \leq 360 dakika
Priz hızlandırıcı/ su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkıları	Eşit kıvamda su azalması, İlk priz alma süresinde azalma.	Azalma \geq %5 Azalma \geq 30 dakika, 20°C 'de ve \geq %40 5 °C 'de

2.6 Puzolanlar

Puzolanik maddeler, silisli veya alüminyum silikatlı veya bunların bileşiminden oluşan doğal maddelerdir. Puzolanik maddeler su ile karıştırıldığında kendi kendine sertleşmezler fakat ince öğütüldüğünde ve suyun mevcudiyetinde normal çevre sıcaklığında çözülmüş kalsiyum hidroksitle ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), dayanımı geliştiren kalsiyum silikat ve kalsiyum alüminat bileşikleri oluşturmak üzere reaksiyona girerler. Bu bileşikler, hidrolik maddelerin sertleşmesinde oluşan bileşiklerle benzerdir. Puzolanlar esasen reaktif silisyum dioksit (SiO_2) ve alüminyum oksit (Al_2O_3)'den oluşmuştur. Geri kalan kısım demir oksit (Fe_2O_3) ve diğer oksitleri ihtiva eder. Sertleşme için reaktif kalsiyum oksit oranı ihmal edilebilir. Reaktif silisyum dioksit miktarı kütlece % 25'ten az olmamalıdır (Aydın 2006).

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

Avrupa'da Romalılar İtalya'daki Roma ve Napoli arasında yer alan puzzuoli kasabası toprağından yararlandılar. Bu toprak camlaşmış volkan dağıydı ve puzolan sözcüğü bu kullanımdan kaynaklanmaktadır. Almanlar puzolana tras derler, ülkemizde de bu deyim yaygındır. Portland çimentosuna puzolan katıldığı zaman çimentonun hidrasyonu sonucu ortaya çıkan $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (kireç) ile SiO_2 ve Al_2O_3 arasında meydana gelen reaksiyon sonunda puzolan bağlayıcılık özelliğini gösterebilir. Reaksiyonlar sonunda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tespit edilir, başka bir deyimle çözülmez bir duruma getirilir. Bir puzolan tespit ettiği kireç miktarı ne kadar fazla ise puzolanik özelliği o kadar yüksektir. Puzolanik özellik kullanılan puzolanın özgül alanına bağlıdır.

Demek ki bir malzemenin puzolanik özelliğini arttırmak için onu çok ince öğütmek gerekmektedir. Puzolanlar (traslar) kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda Al_2O_3 'den oluşan maddelerdir. Su ile karıştırıldıklarında çamur haline gelir. Kurutulduktan sonra tekrar eski hallerine geri dönerler. Bunlar (puzolanlar) kireçle karıştırılırsa suda çözünmeyen bir

kalsiyum silikat tuzuna dönüşürler. SiO_2 içeren her toprağın puzolan olmayacağı açıktır. Hangi toprağın bu özellikte olduğu aktivite testi yapılarak belirlenir. ASTM C 618–72 numaralı standarda göre bir puzolan da $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 0,70$ şartı gerçekleşmelidir. Diğer taraftan CaO miktarı da % 4'ü geçmemelidir. Amorf olması ve aktif olması gerekir. Bu nedenle kimyasal analiz sonuçları ile beraber mekanik deneylerle de maddenin puzolanik olup olmadığı kanıtlanmalıdır. Puzolanlar kirece katıldıkları gibi üretim sırasında çimentoya da katılırlar. Böylece katkıli portland çimentosu, traslı çimento dediğimiz türde çimentolar elde edilir. Puzolanların çeşitleri Çizelge 2.12'de gösterilmiştir (Aydın 2006).

Çizelge 2.12 Puzolanların çeşitleri (Aydın 2006).

Doğal Puzolanlar	Yapay Puzolanlar
Volkanik Küller	Pişmiş Kil
Killi Şist	Tuğla veya Kiremit Tozu
Diatomit Toprağı	Uçucu Kül
Pomza Taşı	Yüksek Fırın Cürufu
-	Silis Dumanı

TS 25 (1975)'e göre doğal puzolanlar da aranan kimyasal özellikler.

- $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ en az % 70 ve $\text{CaO} < \% 4$
- MgO en çok % 5
- SO_3 en çok % 3
- Rutubet en çok %10 olmalıdır (Aydın 2006).

Beton ve harç dayanımlarına yaptıkları katkıdan dolayı, portland çimentosunun icadından çok önce puzolanlar sönmüş kireç ile karıştırılarak beton imalinde kullanılmıştır. Sadece dayanıma katkıda bulunmak amacıyla değil, ekonomik oldukları ve betonun özelliklerine

faydalı değişiklikler sağladıkları için de, günümüzde puzolanlar mineral katkı olarak portland çimentosu ile birlikte kullanılmaktadır.

İlk doğal puzolanın, MÖ 1500'ler civarında Yunanistan'da Santorin adasındaki yanardağ patlamasında ortaya çıkan volkanik kül olduğu ve eski yunanlıların bu külü MÖ 600'ler civarında sönmüş kireç ile karıştırarak inşaat harcında kullanmaya başladıkları bilinmektedir.

Yunanistan, İtalya, Fransa, Almanya, Türkiye, İspanya, ABD, Rusya, Çin, Meksika, Japonya, ve Hindistan, doğal puzolan kaynaklarının bulunduğu ülkelerdir. Rusya ve Japonya'da 1930'lardan beri doğal puzolanlar portland çimentosu ile karıştırılarak kullanılmaktadır ve Çin, Hindistan, Türkiye, Brezilya ve Meksika, önemli miktarlarda doğal puzolan katkı-çimento kullanan ülkelerdir. ABD.'de ilk puzolanlı portland çimentosu 1912'de Los Angeles Akedükü inşaatında kullanılmıştır. O yıllardan günümüze kadar, özellikle su ile irtibatlı yapılarda ve kütleli yapılarda puzolan-katkılı portland çimentosu ABD'de yaygınlıkla kullanıla gelmiştir. Doğal kaynaklı puzolanların bu tür kullanımları Avrupa'da Amerika'da olduğundan daha yaygındır (Karaman vd. 2005).

2.7 Beton ve Beton Sınıfları

Beton; çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katlaşıp, istenilen kalıbın şeklini alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir (Ünal 2004).

Betonun oluşturan malzemelerin karışım oranları istenilen beton kalitesine, işlenebilirliğe, dayanıma ve dayanıklılığa göre hesaplanmalıdır (Erdoğan 2003).

Betonda dayanım önemlidir ve en az üç standart numune ile belirlenebilir. Yapılan proje hesaplamaları ortalamam beton basınç dayanımına göre yapılır. Çizelge 2.13'te TS 500-2000'e göre beton sınıfları ve dayanımları verilmiştir.

Çizelge 2.13 TS 500-2000'e göre beton sınıfları ve dayanımları (TS 500).

Beton Sınıfı	F_{ck} karakteristik Sil. Bas. Day. (Mpa)	Eşdeğer küp (15cm) Bas. Day. (Mpa)	F_{ck} karakteristik Eksenel Çekme Day. (Mpa)
C16	16	20	1.4
C18	18	22	1.5
C20	20	25	1.6
C25	25	30	1.8
C30	30	37	1.9
C35	35	45	2.1
C40	40	50	2.2
C45	45	55	2.3
C50	50	60	2.5

2.7.1 Birim Ağırlıklarına Göre Betonlar

2.7.1.1 Hafif Beton

Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu) $0,70-2,00 \text{ kg/dm}^3$ arasında olan betonlara hafif beton denir. Genellikle bu betonlar atık maddeleri değerlendirmek veya yapı elemanından ses, ısı ve hafiflik özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan betonlardır. Hafif beton kullanılmasıyla;

- Yapı elemanının öz ağırlığının azalmasıyla kesitlerde küçülme nedeniyle hacim genişmesi ve donatı ekonomisi sağlanacaktır.

- Yapının ölü (zati ağırlık) yükünün azalması yanı sıra ses ve ısı özelliğinde önemli ölçüde yararlar sağlamaktadır.
- Yoğunluğun azalmasından dolayı depremlerden daha az etkilenecek can ve mal kaybı daha az olacaktır.
- İzolasyon için ikinci bir malzeme kullanılmayacağından dolayı ekonomi sağlayacaktır.
- Yangına ve donma-çözölmeye karşı dayanımı daha fazladır. Çünkü, beton içindeki birbirinden bağımsız boşluklar su ile tamamen dolmadığından dondan dolayı meydana gelecek içsel gerilmeden çok az etkilenecektir (muhendisevi.com).

Mekanik özellikleri normal betona göre düşüktür, kalifiye insan gücü gerektirir. Kalıp sökme süresi, normal betona göre daha uzun zaman ister. Hafif betonlar çeşitli metotlarla üretilmektedirler; hafif agregalarla, kimyasal köpüklerle, kum kullanılmadan yalnız iri agrega ile ve kimyasal metotlarla gaz oluşturmak gibi. Bunların içinde en yaygın ve ekonomik olanı hafif agregalarla beton üretimidir ve üretildikleri hafif agrega cinsine göre isim alırlar; bina betonu, uçucu kül betonu, genişletilmiş kil betonu ve odun talaşı betonu gibi (muhendisevi.com).

Hafif betonu birim ağırlıkları ve mukavemetlerine göre üç grup altında toplamak mümkündür.

- 1- **Yalıtım betonları:** Birim ağırlıkları $0,700 - 1,400 \text{ kg/dm}^3$, basınç dayanımları 100 kgf/cm^2 'den küçüktür (10 N/mm^2).
- 2- **Yarı taşıyıcı hafif betonlar:** Birim ağırlıkları $1,400- 1,600 \text{ kg/dm}^3$, basınç dayanımları 150 kgf/cm^2 civarındadır (15 N/mm^2).
- 3- **Taşıyıcı hafif betonlar:** Genel olarak birim ağırlıkları $1,850 \text{ kg/dm}^3$ ve basınç dayanımları 170 kgf/cm^2 'den fazladır (17 N/mm^2) (muhendisevi.com).

Hafif beton türleri, kullanım alanları ve özellikleri Çizelge 2.14'te verilmiştir.

Çizelge 2.14 Hafif beton türleri, kullanım alanları ve özellikleri (Topçu 1998).

Hafif Beton Türü (Kullanım Alanı)	Malzemesi	Özellikleri		
		Birim Hacim Ağırlığı (kg/dm ³)	Basınç Dayanımı (MPa)	Isı İletkenlik (kcal/mh)
Yalıtım Betonu (Çatı, vb.)	Genleştirilmiş perlit, Plastik köpüğü, Talaş betonu, Gaz beton	0,2-0,6	0,2-2,5	0,05-0,20
Hem yalıtım, Hem taşıyıcı Beton (Dış duvar)	Bims betonu, Genleşmiş kil, Cüruf betonu, Gaz beton	0,6-1,2	2,5-1,0	0,2-0,45
Taşıyıcı Hafif Betonarme, Öngerilmeli Beton	Genleşmiş kil, Yüksek fırın cürufu, Sinterleşmiş uçucu kül	1,2-2,0	15-60	0,45-1

2.7.1.2 Normal Beton

Normal doğal taneli agrega ile üretilen ve birim ağırlığı 1.800-2,800 kg/dm³ arasında değişen betonlardır. Bu betonlar önemli bir ayrıcalık özelliği istenmeyen bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Normal yoğun agrega ile üretilmektedir. Maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır.

Ancak bu betondan inşa edilen yapı elemanlarının birim ağırlıklarının fazla olması istenmeyen bir durumdur. Bu elemanlar kendi öz ağırlıklarını taşıya bilmeleri için oldukça fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadırlar (muhendisevi.com).

2.7.1.3 Ağır Beton

Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlarla karşı bir perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları $2.800-5.000 \text{ kg/dm}^3$ arasında olan betonlardır. Kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler yani atom santralleri, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümleri gösterilebilir.

Ağır betonların agregaları ağırdır. Bu agregalar barit (baryum sülfat BaSO_4), limonit, magnetit vb. demirli minerallerdir. Yoğunlukları 3.200 kg/dm^3 'ün üstündedir. Bunlarla üretilen betonların yoğunlukları 2.800 kg/dm^3 'den yüksek olmaktadır.

Nükleer çalışma gereği betonların içine bor tuzları katılır. Bunlar geciktirici etki yapar. Ağır agregalar mukavemet yönünden normal agregalara eşdeğerdir. Ancak aşınmaları biraz fazladır (muhendisevi.com).

2.8 Tuğla

Tuğla; kum içeren killi toprakların su ile iyice karıştırılarak hamur haline getirildikten sonra kalıplanıp, özel fırınlarda pişirilmesiyle elde edilen yapı malzemesidir (Tekinel vd., 1989). Tuğla uygun toprakların bol olması, bu malzemenin ucuz ve kolay üretilmesine olanak vermesi nedeniyle kentlerde olduğu gibi kırsal alanlarda tarımsal yapılarda yaygın olarak kullanılmakta ve üretimi yapılmaktadır. Ülkemizde hayvan barınakları, tarımsal ürün depoları gibi yapılar genellikle tek katlı ve prefabrik yapı malzemeleri ile yapılmaktadır. Bunlar içerisinde önemli yeri bulunan tuğlalar, yaygın olarak kullanılan yapı malzemeleridir (Akman, 1990).

Tuğla toprakları düşük sıcaklıklarda eriyen, diğer seramik ürünlerin yapımında kullanılan killere göre daha az saf olan ve genellikle pişme rengi kırmızı olan killerdir. Geçmişten günümüze farklı alanlarda değişik amaçlar için kullanılan killerin kimyasal bileşimleri ve pişme koşulları, renk oluşumunu etkilemektedir (Somayaji, 1995, Özbek vd., 2001).

Normal fırın atmosferinde killerin çoğunluğu pişme sonucu kırmızı renge ulaşır Son yıllarda tuğla üretim sektöründe tuğlalara parlaklık, dekoratif ve estetik bir görüntü kazandırmak ve mekanik dayanımları atmosfer koşullarına karşı artırabilmek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır (Alamut, 2001).

İnşaatlarda kullanılan tuğlaların pişirme ısıları 950-1200 °C civarındadır. Tuğla üretimi önemli ölçüde yakıt gerektirir. Adi tuğlalar, harman tuğlası, 800 °C pişirilirken sert tuğla için pişirme ısısının 900-1000 °C'nin üzerinde olması gerekir. Tuğlaların pişirilmesi sırasında, içinde sonsuz sayıda mikrokosmik çatlak, boşluk ve geçitler oluşur. Bunlar “boşluk” olarak adlandırılır. Bu boşluklar tuğlanın bütün önemli özelliklerini etkilerler.

Porozite; boşluk hacminin tuğlanın dış hacmine oranıdır ve yüzde olarak belirtilir. Bunun için tuğla önce kuru olarak tartılır, daha sonra suyun içinde tutularak bütün deliklerin su ile dolması sağlanır. Tekrar tartılır aradaki ağırlık farkı suyun özgül ağırlığına bölünerek boşluk hacmi bulunur. Ancak tuğladaki boşluklar içinde bulunan hava, suyun boşluğa girmesini engelleyebilir. Bunun için tuğlaların su içinde kaynatılması ve soğuduktan sonra bu boşluklara suyun dolması beklenir. Genellikle tuğlanın porozitesi %25'den fazla ise giderek basınç dayanımı azalır (insaatoфизи.com).

Tuğla killerinde bulunması gereken ortalama kimyasal yapı Çizelge 2.15'te verilmiştir.

Çizelge 2.15 Tuğla killeri için ortalama kimyasal değerler (Demir vd. 2003)

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	Kızd. Kay.	Toplam
	42,7-64,5	16,3-20,6	2,8-7	0,8-6,2	0,7-9,5	0,1-0,8	1,7-3,6	0,3	6,3-11,5	100

Düşey delikli tuğlaların birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri Çizelge 2.16'da, harman tuğlaların biçim ve basınç dayanım sınıfları Çizelge 2.17'de verilmiştir.

Çizelge 2.16 Düşey delikli tuğlaların birim hacim ağırlık ve basınç dayanım değerleri (TS EN 771-1).

Tuğla tipi	Basınç dayanımı		Birim hacim ağırlığı kg/m ³	
	Aritmetik Ortalama N/mm ² (kgf/cm ²)	En küçük değer N/mm ² (kgf/cm ²)	En büyük	En küçük
2000 kg/m ³	24,0 (240)	19,0 (190)	2000	1801
	18,0 (180)	14,5 (145)		
	12,0 (120)	9,5 (95)		
1800 kg/m ³	22,0 (220)	17,5 (175)	1800	1601
	18,0 (180)	12,0 (120)		
	10,0 (100)	8,0 (80)		
1600 kg/m ³	22,0 (220)	17,5 (175)	1600	1401
	15,0 (150)	12,0 (120)		
	10,0 (100)	8,0 (80)		
1400 kg/m ³	20,0 (200)	16,0 (160)	1400	1201
	12,0 (120)	9,5 (95)		
	8,0 (80)	6,5 (65)		
1200 kg/m ³	15,0 (150)	12,0 (120)	1200	1001
	10,0 (100)	8,0 (80)		
	6,0 (60)	4,5 (45)		

Çizelge 2.17 Harman tuğlaların biçim ve basınç dayanım sınıfları (TS EN 771-1).

Sınıflar		Ortalama hacim kütlesi (en fazla) kg/dm ³	Ortalama basınç dayanımı (en az) N/mm ² (kgf/cm ²)	Basınç dayanımı (en az) N/mm ² (kgf/cm ²)
Dolu harman tuğlası	Orta dayanımlı		5,0 (50)	4,0 (40)
	Az dayanımlı		3,0 (30)	2,5 (25)
Delikli harman tuğlası	Orta dayanımlı	1,40	5,0 (50)	4,0 (40)
	Az dayanımlı	1,40	3,0 (30)	2,5 (25)

2.9 Gaz Beton

Gaz beton; kuvars, alçıtaşı, kireç, çimento ve sudan oluşan karışımın (Tober-Morit) otoklavlarda buharla sertleştirilmesiyle elde edilen gözenekli, hafif beton grubuna giren bir yapı malzemesidir. Dünya literatüründe gaz beton, Autoclaved Aerated Concrete (AAC) olarak tanımlanmaktadır (Short and Kinniburgh, 1963, 1978).

Gaz betonun temel bileşimini kuvars, kuvarsit veya kuvars kumu oluşturur. Gaz betonunun dayanımlılığını arttıran bu hammaddelerin SiO_2 miktarı $> \% 80$, alkali miktarı ise $< \% 2$ olmalıdır. Diğer taraftan basınç dayanımını olumsuz etkilemesi nedeniyle organik bileşikler ile otoklavlarda aşınmaya neden olan klorun varlığı da istenmez (Çimentaş-Gaz beton, 1995).

Alçıtaşı (Jips), gaz betonun basınç dayanımını yükseltir, karışım içindeki kirecin sönme hızını düzenler, rötre özelliğini iyileştirir ve dona karşı dayanıklılığı artırır. Kireç ise sönmemiş halde kullanılır. Gaz beton üretiminde kullanılan kirecin CaO miktarı $> \% 80$ olmalıdır. Kireç, kür işlemi sırasında karışım suyu ile reaksiyona girerek Ca(OH)_2 oluşturur. Kirecin sönmesi sırasında açığa çıkan ısı da sertleşmeyi hızlandırır. Ca(OH)_2 de SiO_2 ile reaksiyona girerek, Gaz betonun temel iskeletini oluşturan hidrate silikat bileşiklerini oluşturur (Short and Kinniburgh, 1963, 1978).

Ülkemizde gaz beton TSE 453 ile tanımlanan basınç dayanımlarına göre G1, G2, G3, G4 ve G6 olmak üzere beş sınıfta üretilmektedir (Çizelge 2.18). Üretim sınıflarına göre (ort) değeri $2.5 - 7.5 \text{ N/mm}^2$, ve ortalama yoğunluk (5ort) ise $0.3 - 0.8 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişmektedir.

Çizelge 2.18 Gaz beton sınıflarına göre basınç dayanımları ve yoğunluk değerleri (TSE 453).

Sınıfı	Basınç dayanım değerleri (N/mm²)	Yoğunluk değerleri (kg/dm³)
G1.G2	2.50	0.310-0.400
		0.410-0.500
G3	3.50	0.410-0.500
		0.510-0.600
G4	5.00	0.510-0.600
		0.610-0.700
G6	7.50	0.610-0.700
		0.710-0.800

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Kalorifer Külü

Bu çalışmada ana hammadde olarak kullanılan kalorifer külü Afyonkarahisar ilinde bir kazan dairesinden alınmış (Resim 3.1) ve örneklerin üretiminde kullanılmak amacıyla seramik tipteki bilyalı değirmende (Resim 3.2) öğütülerek ince tane boyutuna getirilmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.1 Yanmış kalorifer külü

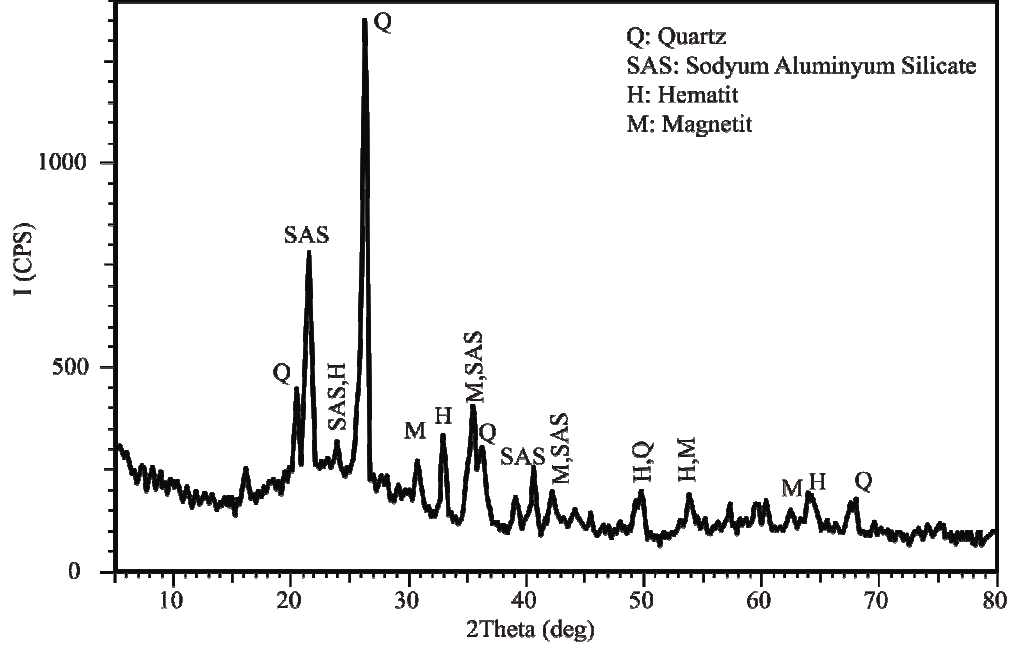


Resim 3.2 Seramik tipi değirmen



Resim 3.3 Öğütülmüş kalorifer külü

Kalorifer külünün özgül ağırlığı $2,40 \text{ gr/cm}^3$ tür. Yapılan XRD analizinde kalorifer külü içerisinde; Kuvars, hematit, magnetit ve sodyum alüminyum silikat mineralleri belirlenmiştir (Şekil 3.1). Tane boyut analizinde ise, “Master Sizer X Ver. 1.2b” marka, lazer tane boyut analiz cihazı kullanılmıştır. Kalorifer külünün tane boyutu $d_{50}=4,14 \text{ } \mu\text{m}$ olup, % 94,66’sı $100 \text{ } \mu\text{m}$ ’den geçmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.1 Kalorifer külüne ait XRD difraktogramı

Kalorifer külüne ait kimyasal analiz değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. Çizelgede de görüldüğü üzere kalorifer külünde bulunan minerallerden, $\text{SiO}_2+\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3$ oksitlerinin toplamı % 77,48’dir. TS 25’de puzolanlar için belirtilen % 70 sınırını geçmesi sebebiyle kalorifer külü puzolan sınıfına girmektedir.

Çizelge 3.1 Kalorifer külüne ait kimyasal analiz değerleri

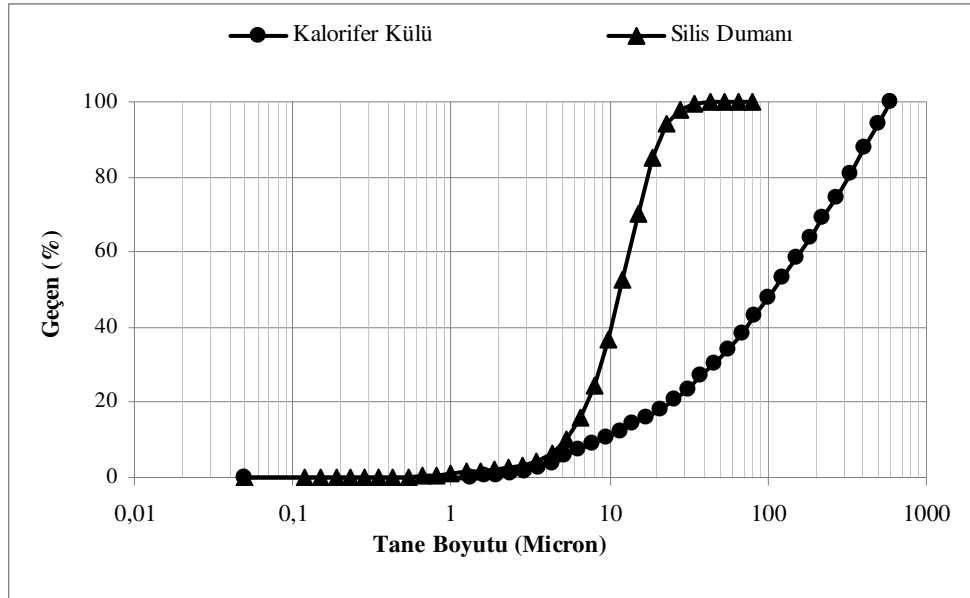
Oksit (%)	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	TiO_2	SO_3	LOI	Toplam
	51,90	18,18	7,40	1,75	1,17	0,72	1,32	0,4	2,35	9,55	94,74

3.1.2 Silis Dumanı

Çalışmada kullanılan silis dumanı, Antalya Etibank Elektrometalurji işletmesinden temin edilmiş olup silis dumanının özgül ağılığı 2.50 gr/cm^3 'tür. Yapılan kimyasal analiz sonucunda silis dumanı içerisinde bulunan oksitler ve yüzde cinsinden oranları Çizelge 3.2'de, tane boyut analiz değerleri ise kalorifer külüne ait değerler ile birlikte Şekil 3.2'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Silis dumanına ait kimyasal analiz değerleri

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	LOI	Toplam
	87,66	0,42	0,64	3,77	0,89	0,29	0,31	<0,01	3,70	97,68



Şekil 3.2 Kalorifer külü ve silis dumanına ait tane boyut analizleri.

3.1.3 Genleştirilmiş Perlit

Örneklerin üretiminde, İzmir ilinden ve Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğünden getirilen Etiper marka ince 200 dm³'lük perlit kullanılmış olup bu perlite ait özellikler aşağıda belirtilmiştir.

3.1.3.1 Etiper

Tasnif edilmiş perlitin 850–1150 °C'deki alev şokunda bünye suyunu kaybederek, patlaması sonucunda tane hacminin 35 misline kadar büyümesi haline genleştirilmiş perlit denir. Genleştirilmiş perlit ve bundan elde edilen ürünlerin ticari ismi “Eti Holding” adına “Etiper” olarak tescil edilmiştir.

Kimyasal bakımdan perlit, bünyesinde bağlı su içeren bir alüminyum silika bileşimidir. Bileşim olarak perlitin %90-97'si volkanik camdır. Geri kalan kısmı kristalleşmiş feldspat ve biyotittir. Az miktarda kuvars, apatit ve manyetit içerir. Genleştirilmiş perlitin kimyasal bileşim değerleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.

Çizelge 3.3 Genleştirilmiş perlit kimyasal bileşimi

Oksit (%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	Toplam
	73,8	13,9	0,9	0,3	0,9	4,7	4,3	0,5	99,3

3.1.4 Söndürülmüş Toz Kireç

Bağlayıcı olarak, S-KK 80 T, Afyon Adaçal söndürülmüş kalsiyum toz kireci kullanılmıştır.

3.1.5 Chryso plast PR2 (Kimyasal Katkı)

Chryso plast PR2; akışkanlaştırıcı, hava sürükleyici ve piriz hızlandırıcı özelliklere sahip klorür bazlı bir katkı maddesidir.

Özellikle kuru beton imalatları için geliştirilmiştir. Chryso plast PR2, çimento tanelerini çimento pastası içerisinde daha homojen dağıttığı için birim hacimde kullanılan çimento miktarında optimizasyon sağlar, nihai mukavemetlerde önemli artışlar olur. Chryso plast

PR2'nin teknik özellikleri ise şöyledir;

- Görünüm: Sıvı
- Yoğunluk: $1.305 \pm 0.03 \text{ gr/cm}^3$
- Renk: Açık Kahverengi
- pH: $4,50 \pm 1$
- Klorür içeriği : $< \%0,1$

3.2 Metot

Bu çalışmada; kalorifer külü, kireç, silis dumanı, genleştirilmiş perlit, kimyasal katkı ve su çeşitli oranlarda karıştırılarak farklı karışım serileri hazırlanmıştır. Bu karışım oranları belirlenirken hammaddelerin (kalorifer külü ve kireç) kimyasal analiz değerleri esas alınarak oluşturulacak karışımlarda, üretilecek örneklerin bünyesinde en iyi bağ yapma kapasitesi olarak, C-S-H jelini oluşturacak CaO/SiO₂ oranı baz alınarak (1,5-2,0), hesaplamaların yapılması planlanmıştır.

Buna göre karışım oranları belirlenirken CaO/SiO₂ oranı 1,6 olacak şekilde hesaplamalar yapılmıştır. Kirecin analiz değerleri olarak CaO oranı % 100 alınırken, SiO₂ kireçte hiç

bulunmadığı kabulü yapılmıştır. Hesaplamalar sonucunda ortaya çıkan karışım oranları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4 Çalışmada kullanılan malzemeler ve karışım oranları

Malzeme	Karışım Serileri Oranı (Ağırlıkça %)					
	A	B	C	D	E	F
Kalorifer Külü	55	55	51,92	49,97	50	50
Kireç	45	45	46,11	46,28	45	47,5
Silis Dumanı	-	-	2,56	2,5	2,5	-
Genleştirilmiş Perlit	-	-	-	1,25	2,5	2,5
Su/Bağlayıcı	0,80	0,79	0,77	0,75	0,75	0,75
Kimyasal Katkı	0,007	-	0,007	0,007	0,007	0,007
Su Miktarı	36	35,55	35,50	37,47	33,75	35,62
CaO/SiO₂	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6

Öncelikle; kalorifer külü ve kireç hammaddesi kuru halde homojen bir şekilde seramik bilyalı değirmende karıştırılmıştır. Karışımların hazırlanması sırasında kalorifer külü ve kireçten oluşan karışımlara; silis dumanı ve genleştirilmiş perlit katkıları yapılarak kuru karışımlar hazırlanmıştır. Daha sonra hazırlanan bu kuru karışımlara, plastikliği sağlamak ve örnekleri şekillendirmek amacıyla kimyasal katkı maddesi ilaveli karışım suyu eklenmiştir. Karışım suyuna eklenen kimyasal katkı, karışımlarda bulunan bağlayıcı (kireç) miktarının ağırlıkça % 0,7'si alınarak eklenmiştir.

Hazırlanan bu karışımlar; 56 lt kapasiteli betoniyerde plastik kıvama gelinceye kadar karıştırılmıştır (Resim 3.4). Taze beton; 10x10x10 ebadında metal kalıplara (Resim 3.5) masalı vibrasyon yöntemi kullanılarak yerleştirilip, yüzeyi mala ve cetvel yardımı ile

düzeltilmiştir (Resim 3.6). 24 saat laboratuvar ortamında bekletildikten sonra kalıplardan çıkarılmıştır (Resim 3.7).



Resim 3.4 Betonyer (karıştırıcı)



Resim 3.5 Numune kalıbı



Resim 3.6 Numunenin kalıba yerleştirilmesi



Resim 3.7 Numune serileri

A, B, C ve D serilerine ait 6'şar örnek; 7, 28 ve 90 günlük su kürü için su tankına yerleştirilmiştir. Bu serilerden yine 6'şar örnek hızlandırılmış buhar kürü uygulaması için Resim 3.8'de gösterilen otoklavda 8 saat süreyle 0,15 Mpa (1,5 Bar) basınç ve 121 °C sıcaklıkta buhar kürüne tabi tutularak buhar kürü gerçekleştirilmiştir.

Kür işlemleri tamamlanan örnekler, kaynamakta olan su içinde 2 saat bekletildikten sonra TS EN 772-3'e göre tartılarak; su emme, porozite, birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri belirlenmiştir. Örneklerin kurutulması sırasında Nüve 500 marka dijital göstergeli etüv kullanılmıştır (Resim 3.9).



Resim 3.8 Otoklav



Resim 3.9 Dijital göstergeli etüv

3.2.1 Fiziksel Özelliklerin Belirlenmesi

7, 28 ve 90 günlük su kürüne maruz bırakılan numunelerin, su içindeki asılı ağırlıkları, yüzeyi kuru suya doymuş ağırlıkları ve etüv kurusu ağırlıkları belirlenerek numunelerin; porozite, bulk yoğunluk, görünür yoğunluk ve su emme gibi fiziksel özellikleri aşağıda belirtilen formüller yardımıyla belirlenmiştir.

3.2.1.1 Porozite

Malzeme bünyesindeki boşluk oranına porozite adı verilir. Bir malzemenin porozitesini bulabilmek için aşağıdaki formülden yararlanılabilir.

$$P = \frac{(W_3 - W_1)}{(W_3 - W_2)} \times 100 \quad (3.1)$$

P: Görünür Porozite,

W₁: Numunenin etüv kuru ağırlığı (gr),

W₂: Kaynatma ile suya doymuş hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),

W₃: Kaynatma ile suya doymuş hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

3.2.1.2 Su Emme

Malzemenin birim ağırlık ve hacminin emmiş olduğu su yüzdesi olarak belirtilir. Aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$Sa = \frac{P_2 - P_1}{P_1} \times 100 \quad (3.2)$$

Sa: Ağırlık olarak su emme

P₁: Etüv kuru ağırlık (gr)

P₂: Suya doymuş haldeki numunenin havadaki asılı ağırlığı (gr)

3.2.1.3 Bulk Yoğunluk

Malzemenin birim hacim ağırlığı olarak da adlandırılır. Aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$Bd = \frac{W_1}{(W_3 - W_2)} \quad (3.3)$$

Bd: Birim Hacim ağırlığı (Bulk yoğunluk),

W₁: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr),

W₂: Doygun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),

W₃: Doygun hale getirilmiş numunenin havadaki ağırlığı (gr)

3.2.1.4 Görünür Yoğunluk

Maddenin kütesinin görünür katı hacmine oranıdır, görünür katı hacim katı kısım ve kapalı gözenekliliği içermektedir ve aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$Gr.Y. = \frac{W_1}{(W_1 - W_2)} \quad (3.4)$$

W₁: Numunenin etüv kurusu ağırlığı (gr),

W₂: Doygun hale getirilmiş numunenin su içindeki asılı ağırlığı (gr),

Bu formüller yardımıyla üretilen numunelerin porozite, su emme, bulk yoğunluk ve görünür yoğunluk değerleri hesaplanarak sonuçlar, Çizelge 4.1'de verilmiştir.

3.2.2 Basınç Mukavemet Testi

Örneklerin basınç dayanımlarının belirlenmesi amacıyla Yüksel Kaya Makine şirketi tarafından dizayn edilip üretilen 200 kN kapasiteli ve yükleme hızı 500 g/sn olan bilgisayar kontrollü otomatik basınç presi kullanılmıştır. Örneklerin basınç dayanım değerleri TS EN 772-1'e göre belirlenmiştir.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Toplam 6 karışımda hazırlanan örneklere su kürü ve otoklav kürü uygulanarak örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Örneklerden elde edilen fiziksel sonuçlar (porozite, su emme, bulk yoğunluk ve görünür yoğunluk) Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Üretilen karışımların fiziksel özellikleri

Seri	Gün	Porozite (%)	Su Emme (%)	Bulk Yoğ. (gr/cm ³)	Gör.Yoğ. (gr/cm ³)
A	7	43,18	33,17	1,303	2,293
	28	44,24	34,03	1,300	2,332
	90	43,73	33,39	1,309	2,327
B	7	42,28	32,33	1,308	2,266
	28	43,17	32,87	1,314	2,311
	90	43,44	32,83	1,323	2,339
C	7	42,51	33,14	1,283	2,231
	28	43,24	33,83	1,278	2,252
	90	43,73	30,96	1,314	2,214
D	7	34,79	25,33	1,375	2,109
	28	42,29	32,36	1,307	2,265
	90	37,77	27,95	1,352	2,172
E	28	41,92	32,44	1,292	2,225
F	28	43,12	32,99	1,307	2,298

Her bir fiziksel özellik ayrı ayrı tartışılacak. Örneğin; birim hacim ağırlık değerleri en küçük 1,278 gr/cm³ ile C28 serisinde gerçekleşirken, en yüksek birim hacim ağırlık değeri D7 serisinde gerçekleşmiştir. Normal betonun birim hacim ağırlık değeri 2,4 T/m³ olarak dikkate alındığında elde edilen değerlerin oldukça düşük olduğu görülmektedir. Hafif beton

sınıfı için birim hacim ağırlık değerleri $\leq 1800 \text{ T/m}^3$ olarak dikkate alındığında karışım serilerinin tamamı hafif beton blok sınıfına girmektedir.

Su emme değerleri % 25,33 ile % 34,03 arasında değişmektedir. Hafif beton bloklar doğrudan su ile temas etmeyecek biçimde duvarda kullanılacağı için problem oluşturmayacağı düşünülmüştür.

Porozite değerleri % 34,79 ile % 43,73 arasında değişmektedir. Açık gözenek oranının yüksek olması ısı yalıtım değerini olumlu yönde etkileyeceğinden olumlu katkı olarak değerlendirilmektedir.

Karışım örneklerinin fiziksel özellikleri belirlendikten sonra, bu örneklerin mekanik özelliklerinden olan basınç mukavemeti testi, 20 ton (200 kN) kapasiteli bilgisayar destekli basınç presinde gerçekleştirilmiş ve bu testin sonuçları Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Örneklerin basınç dayanım değerleri ise kür işlemi ve kür süresine bağlı olarak değişmektedir. Otoklav kürü uygulanan örneklerin basınç dayanım değerleri, 7 ve 28 günlük su kürü uygulanan örneklerden daha olumlu sonuçlar vermiştir. Otoklavda kür edilen örnekler içerisinde, A serisine ait örneklerin daha yüksek basınç dayanım değerleri vermesi, karışım sırasında bünyeye katılan piriz hızlandırıcı kimyasal katkıdan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Nitekim piriz hızlandırıcı katkı bulunmayan B serisi örneklerinin basınç dayanım değerleri, A serisi örneklerine nazaran otoklav küründe daha düşük değerler vermiştir. Bunun yanında su kürü uygulanan örneklerde ise durum tersine dönmüş ve B serisi örnekleri 7, 28 ve 90 günlük su kürü uygulamaları sonunda A serisi örneklerine nazaran daha iyi basınç dayanım değerlerini sağlamıştır (Çizelge 4.2).

Fiziksel özellikler ve basınç dayanım testinin sonuçlarına göre akışkanlaştırıcı, piriz hızlandırıcı ve hava sürükleyici kimyasal katkının sadece hızlandırılmış buhar kürü

(otoklav kürü) uygulanan örneklerde olumlu sonuç verdiği gözlenmiştir. Ayrıca su kürü işlemleri ve sürelerinde ise örneklerin özelliklerine herhangi bir olumlu katkı yapmadığı da görülmüştür.

Karışımların hazırlanması sırasında bünyeye katılan su oranları farklılık arz etmektedir. C karışımında kalorifer külü miktarının daha fazla olması ve gerekli plastikliğin sağlanması amacıyla, D karışımına oranla daha fazla su eklenmiş ve bunun neticesinde su/bağlayıcı oranı 0,77 olarak tespit edilmiştir. C ve D serilerine ait fiziksel değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Örneklerin fiziksel özelliklerinden elde edilen bulgulara göre perlit katkılı D serisi örneklerinde porozite ve su emme oranları azalmıştır. Buna paralel olarak da bulk yoğunluk değerlerinde artışlar gerçekleşmiştir (Çizelge 4.1).

E ve F serilerinin karışım oranları belirlenirken daha önce metot kısmında bahsedilen hesaplama yapılmamıştır. Bu serilerin karışım oranları C ve D serileri referans alınarak belirlenmiştir. E ve F serisi örneklerin sadece otoklav kürü ve 28 günlük su kürü işlemleri gerçekleştirilmiş, fiziksel özellikleri (Çizelge 4.1) ve basınç dayanım test sonuçları belirlenmiştir (Çizelge 4.2).

Karışım serilerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri; gaz beton ve tuğla malzemelerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleriyle karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma yapılırken malzemelerin birim hacim ağırlık değerleri göz önüne alınmıştır.

Çizelge 4.2 Basınç mukavemeti test sonuçları

Basınç Dayanımı (MPa)				
Seri	Otoklav (8saat)	7 gün	28 gün	90 gün
A	9,676	3,719	5,118	9,814
B	6,104	5,060	5,472	11,616
C	6,818	8,918	8,319	12,884
D	10,307	8,452	12,041	13,708
E	15,067	-	12,516	-
F	15,076	-	8,501	-
Gaz beton			1,5-7,5*	-
Düşey Delikli Tuğla			8-20**	
Harman tuğlaları			5***	

*Çizelge 2.18’de verilmiştir

** Çizelge 2.16’de verilmiştir

*** Çizelge 2.17’de verilmiştir

Elde edilen değerler sonucunda, A ve B serisine ait numuneler harman tuğlaların basınç dayanım değerinden daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. C ve F serisi örnekleri ise gaz betondan daha yüksek basınç dayanım değerine ulaşmıştır. D ve E serisi örnekleri de düşey delikli tuğla malzemesinin basınç dayanım değerleri arasında kalarak benzer değerde özellikler göstermiştir.

Örneklerin fiziksel ve mekanik testleri tamamlandıktan sonra ısı iletkenlik değerleri belirlenmiş ve elde edilen bulgular Çizelge 4.3’de verilmiştir. Deney örneklerinin ısı iletim katsayılarının ölçülmesinde Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Müh. Laboratuvarında bulunan “Shotherm QTM-D2” cihazı kullanılmıştır (Resim 4.1).



Resim 4.1 Örneklerin ısı iletkenlik katsayısı değerlerinin ölçüldüğü Shotherm QTM-D2 cihazı.

Numuneler, ısı iletim katsayısını ölçen cihazın probuna uygun olarak 100 mm uzunluğunda, 50 mm genişliğinde ve 17 mm kalınlığında hazırlanır. Hazırlanan numunelerin ısı iletim katsayılarının ölçümü, "Hot Wire" yönteminden yararlanılarak geliştirilmiş olan "Shotherm QTM-D2" cihazı ile yapılmıştır. Shotherm QTM-D2 cihazının ölçme yönteminde ısıtıcı tel, ısı iletim katsayısı bilinen yalıtkan bir malzemeyle, ısı iletim katsayısı ölçülmek istenen malzeme arasına yerleştirilir. Bu durumda ısı iletim katsayısı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$k = F \frac{Q \ln(t_2 / t_1)}{T_2 - T_1} - H \quad (4.1)$$

k: Isı İletim Katsayısı (W/m·K)
F , H : Ölçme cihazına ait sabitler
Q: Isıtıcı tele verilen ısı akısı
 t_1 , t_2 : Ölçüm zamanları (saniye)
 T_1 : t_1 zamanındaki sıcaklık
 T_2 : t_2 zamanındaki sıcaklık

Her standart QTM probunun farklı F ve H sabitleri vardır. Bu sabitler bilindiğinde yukarıdaki formülden ısı iletim katsayısı cihaz içindeki bir mikrokomputer ile hesaplanır. 60 saniye içinde malzemenin belli bir sıcaklık değeri için ısı iletim katsayısı dijital olarak ekranda verilir. Bu cihazın en önemli avantajlarından birisi, ölçüm esnasındaki ısı kayıplarının, ölçümün kısa sürede yapılmasından dolayı çok az miktarda olmasıdır. Cihaz 0.020-10 W/mK aralığında ısı iletim katsayısını $\pm\%5$ hassasiyet ile ölçebilmektedir.

Yapılan ölçümler sonrasında elde edilen değerler, gaz beton, düşey delikli ve harman tuğlalarına ait ısı iletkenlik ve birim hacim ağırlık değerleri ile karşılaştırma yapılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3 Birim hacim ağırlık ve ısı iletkenlik katsayıları (W/mK).

Malzeme		Birim hacim ağırlık (ort.) (gr/cm ³)	Isı iletkenlik katsayısı (W/mK).
Karışım serileri	A	1,304	0.550
	B	1,315	0.520
	C	1,291	0.557
	D	1,345	0.579
	E	1,292	0.565
	F	1,307	0.586
Gaz beton		0,310-0,800	0,200-0,290
Düşey delikli tuğlalar		1,200-2,000	0,350-0,450
Harman tuğlalar		1,400	0,600-0,900

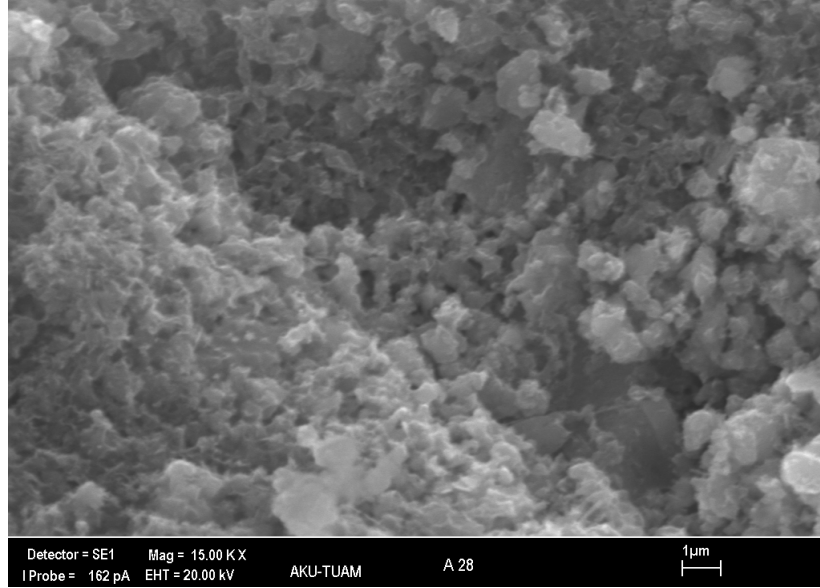
Bu sonuçlara göre ısı iletkenlik değeri bakımından karışım serileri, gaz beton ve düşey delikli tuğlaların ısı iletkenlik değerlerinden yüksek değerler vermiş ve harman tuğlası değerlerinden daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Bunun neticesinde karışım serilerinden B karışımı örnekleri en düşük ısı iletkenliği (0.520 W/mK) sağlarken, en yüksek ısı iletkenlik değerini ise F karışıma ait örnekler, 0.586 W/mK olarak vermiştir.

Bazı malzemelerin birim hacim ağırlık ve ısı iletim katsayıları Çizelge 4.4'te verilmiştir. Karışım serilerinde elde edilen değerler bazı malzemelerle karşılaştırıldığında; pomza, perlit kullanılan malzemelerden daha yüksek, kireç-çimentolu vb. kullanılan malzemelerden daha düşük ısı iletken değeri elde edilmiştir.

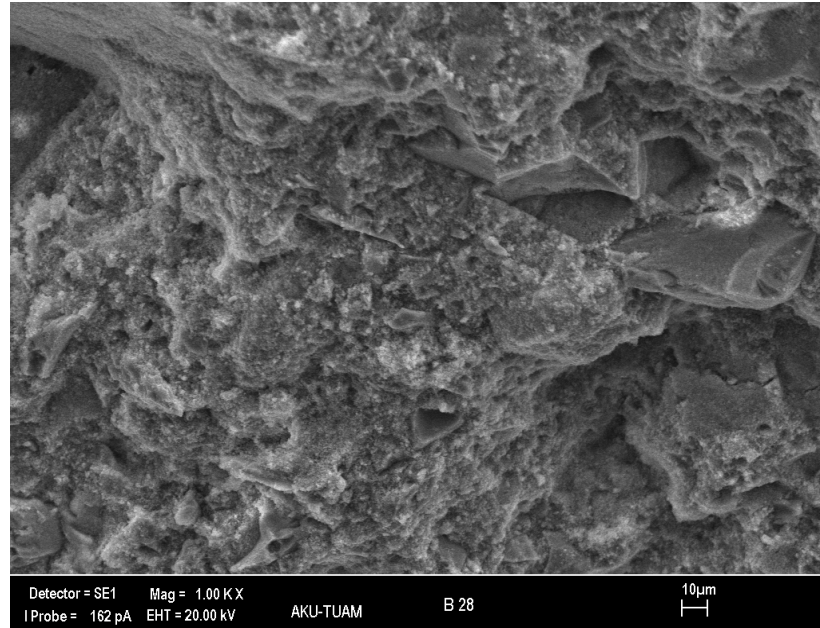
Çizelge 4.4 Bazı malzemelerin birim hacim ağırlık ve ısı iletim katsayıları (TS 825).

Malzeme veya bileşenin çeşidi	Hacim kütlesi. (kg/m³)	Isı ilet. (λ);(W/mK)
Kum, kum-çakıl	1800	1,4
Granit, bazalt, mermer,	2800	3,5
Bims (Pomza) (TS 3234)	1000	0,19
Pomza blok	500-800	0,20–0,39
Gaz beton bloklar	400-800	0,20–0,29
TS 704, 705 tuğlalar	1600-2000	0,68–0,90
Yatay delikli tuğlalar	700-1000	0,35–0,45
Genleştirilmiş perlit (TS 3681)	50-200	0,046–0,81
Genleştirilmiş perlit betonu	300	0,10
Perlitli Sıvalar	400-800	0,14–0,29
Kireç, Kireç-çimento sıva harcı	1800	0,87
Çimentolu sıva harcı	2000	1,40
Kömür cürufu	1000	0,23
Polistiren, sert köpük	15-30	0,030–0,045
Cam yünü	1000	0,030–0,045
Normal beton (donatılı)	2400	2,1
Donatısız beton	2200	1,74

28 günlük su kuru uygulanan örneklere ait SEM görüntüleri Resim 4.2 (A Karışımı) ve Resim 4.3'te (B Karışımı) gösterilmiştir. SEM görüntüleri incelendiğinde mikro yapı içinde gelişen C-S-H fazları görülmektedir.

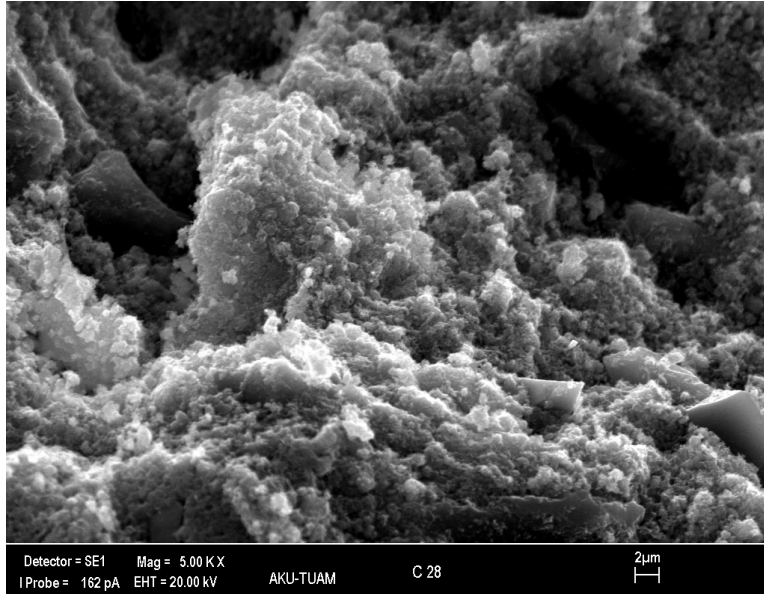


Resim 4.2 A serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü.

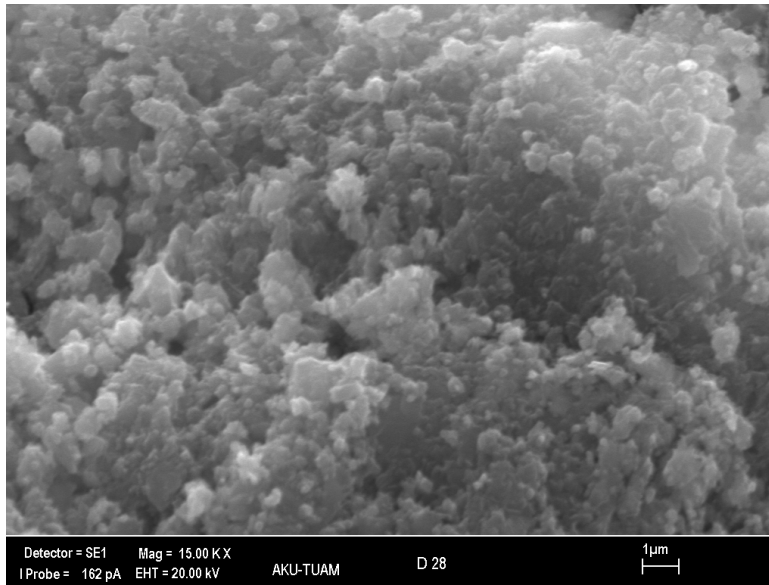


Resim 4.3 B serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü.

28 günlük su kürü uygulanan örneklerden C karışımı örneklerine ait SEM görüntüleri Resim 4.4'te, D karışımı örneklerine ait görüntü ise Resim 4.5'te verilmiştir. SEM görüntülerine göre C örneklerinde gözenekli bir oluşum gözlenirken, D örneklerinde daha yoğun bir jel yapısı gözlenmiştir.



Resim 4.4 C serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü.



Resim 4.5 D serisi 28 günlük örneğin SEM görüntüsü

5. SONUÇLAR

- Kalorifer külü ve kireç malzemelerinin bulunduğu karışımlarda (A, B) , kimyasal katkı kullanılan A serisinde otoklav kürünün daha yüksek basınç dayanımı verdiği, buna karşılık 90 günlük su kürü sonucunda ise B serisinin daha yüksek basınç dayanımına ulaştığı belirlenmiştir.
- Benzer reçeteye sahip C ve D karışımlarından, perlit katkısı bulunan D serisinde su kürü uygulanan örneklerde daha düşük su emme ve porozite değerleri elde edilmiştir. D serisi örneklerinde, bünye içerisinde kalorifer külü oranının C serisine göre daha az olması ve az bir miktarda da olsa kireç miktarının fazla olmasından dolayı bünye içerisinde daha yoğun C-S-H jel yapısının oluşmasından kaynaklanmıştır. D serisi örneklerinin basınç dayanım değerlerinin C serisi örneklerine oranla daha yüksek olması bünyede oluşan daha yoğun C-S-H jel yapısından kaynaklanmıştır.
- Hızlandırılmış buhar kürü uygulanan örnekler içerisinde en yüksek basınç dayanımını E (15,06 MPa) ve F (15,07 MPa) serisi örnekleri verirken, en zayıf dayanım gelişimi B (6,1 MPa) serisi örneklerinde elde edilmiştir.
- 28 gün su kürü uygulanan örneklerde ise E (12,51 MPa) serisine ait örnekler en yüksek basınç dayanım değerlerini sağlarken, en düşük değerleri A (5,11 MPa) serisine ait örnekler vermiştir.
- Fiziksel özellikler bakımından D serisi örneklerinde; en düşük porozite, su emme ve görünür yoğunluk değerleri sırasıyla % 34.79, % 25.33 ve 2,109 gr/cm³ olarak elde edilirken en yüksek bulk yoğunluk değeri olarak yine D serisi örneklerinde 1,375 gr/cm³ olarak elde edilmiştir.

- Hafif beton ve blokların birim ağırlıkları $0,7-2 \text{ g/cm}^3$ arasında değişmektedir. Birim ağırlık değerleri göz önüne alındığında karışım örnekleri birim ağırlık değeri 2 g/cm^3 'ten daha düşük değerler aldığından dolayı hafif beton blok sınıfına girdiği görülmektedir.
- Basınç dayanımı değerleri sonucunda, A ve B serisine ait numuneler harman tuğlaların basınç dayanım değerinden daha iyi sonuçlar verdiği, C ve F serisi örnekleri ise gaz betondan daha yüksek basınç dayanım değerine ulaşmıştır. D ve E serisi örnekleri de düşey delikli tuğla malzemesinin basınç dayanım değerleri arasında kalarak benzer değerde özellikler göstermiştir.
- Isı iletkenlik testi sonucunda karışım serileri; gaz beton, düşey delikli ve harman tuğlalarına ait ısı iletkenlik ve birim hacim ağırlık değerleri göz önüne alınarak karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu sonuçlara göre ısı iletkenlik değeri bakımından karışım serileri, gaz beton ve düşey delikli tuğlaların ısı iletkenlik değerlerinden yüksek değerler vermiş ve harman tuğlası değerlerinden daha düşük sonuçlar elde edilmiştir. Sonuçlara göre en düşük iletkenlik değerini B karışımı örnekleri (0.520 W/mK) sağlarken, en yüksek ısı iletkenlik değerini F karışıma ait örnekler (0.586 W/mK) sağlamış ve yalıtım değerleri açısından B karışımı örnekleri en iyi sonuçları vermiştir.
- Sonuç olarak kalorifer külünün kireç bağlayıcı ile yada silis dumanı ve perlit katkılarıyla karışım yapılarak fiziksel mekanik özellikleri uygun yapı blokları üretiminde değerlendirilebileceği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akbulut, H. & Gürer, C, 2003, Mermer Atıklarının Çevresel Etkileri ve Yol Katmanlarında Tekrar Kullanım imkânları, Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı, Afyonkarahisar.
- Akman, M. S., Akçay, B., 2005, “Kimyasal Beton Katkılarının Gelişimi ve Çimentolara Uyumu”, Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harç Katkılar) Sempozyum ve Sergisi, 24- 25 Mart, Milli Kütüphane-Ankara.
- Akman, M.,1990. Yapı Malzemeleri. İstanbul Teknik Üniv. İnşaat Fak. Matbaası, Sayı 1408, İstanbul, 162s.
- Akın-Öktem, G., Tinçer, T., J., 1994, Materials Science, 28, 6313-6317.
- Alamut, H.Ö., 2001. Tuğla ve Duvarlarda Kalite ve Standardizasyon. Trakya Üniv. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 201s.
- Alkan, M., Doğan, M., 2002, Perlite surfaces, in “Encyclopedia of Surface and Colloid Science”, Ed. Arthur T. Hubbard, Marcel Dekker, Inc., 3945-3958, New York.
- Anıl, M., Kılıç, Ö., 2000, “İnşaat ve Sanayi Hammaddesi Olarak Kireç ve Önemi”, Ç.Ü. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 15, (1-2), 201-216.
- Anıl, M., Kılıç, Ö. ve Güvenç, S., 2001, “İnşaat ve Sanayi Hammaddesi Olarak Kireç”, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Adana Bölge Şubesi Bülteni, 2, 4-9.

Aydın, S., Aytaç, A. H., Ramyar, K., 2005, “Çimento Kompozisyonunun ve Kimyasal Katkı Kökeninin Beton Özelliklerine Etkisi”, Yapılarda Kimyasal Katkılar (Beton ve Harç Katkıları) Sempozyum ve Sergisi, 24-25 Mart, Milli Kütüphane-Ankara.

Aydın, A. C., 2006, “Yapı Malzemeleri ve İleri Beton Teknolojisi”, (<http://muhendislik/atauni/insaat/dersler/acaydin/yapimalz.pdf> 18.01.2006).

Bai, Y., Darcy, F., Basheer, P.A.M., 2005, Strength and Drying Shrinkage Properties of Concrete Containing Furnace Bottom Ash as Fine Aggregate, Construction and Building Materials, Vol.19, No. 9, 691-697.

Basheer, P.A.M., Gillece, P.R.V., Long, A.E., and Mc Carter, W. J., 2002, “Monitoring Electrical Resistance of Concretes Containing Alternative Cementitious Materials to Assess Their Resistance to Chloride Penetration”, Cement & Concrete Composites, Cilt 24, No 5, 437-449.

Bertolini, L., Carsana, M., Cassago, D., Curzio, A. Q., 2004, Collepardi, M., MSWI Ashes as Mineral Additions in Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, No. 10, 1899–1906.

Boynton, R., S., 1980, “Chemistry and Technology of Lime and Limestone”, 2nd Edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.

Chestermen, C. W., Industrial minerals and rocks, 4th Ed., AIME and Pet. Eng., New York, p. 927-934.,1975.

Coal Information Report., 1983, OECD/IEA, Paris.

ÇEVKO., 1991, Kadıköy İstanbul, Entegre Atık Yönetimi Ve Gen Kazanım, Çevre Koruma ve Ambalaj Atıkları Değerlendirme Vakfı, Cenap Sahabettin Sokak No 94 Koşuyolu,

Çiçek, T., 1999, “Kireç ve Kullanımı”, 3.Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 184–194.

Çimentoş-Gaz Beton., 1995, “Tasarım ve Uygulama El Kitabı.,” 85 s. İzmir.

Demir, İ., Akbulut, H., Ünal, O., İçağa, Y., Zorluer, İ., Ergün, A., 2003, “İnşaat Laboratuar Deneyleri.,” A.K.Ü., T.E.F., 46 s., Afyonkarahisar.

Doğan, M., 1997, Cumaovası perlit’inin bazı fizikokimyasal özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Doğan, M., 2001, Sulu ortamda perlit’in yüzey yükünün ve adsorpsiyon özelliklerinin incelenmesi, Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

DPT., 1996, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Enerji Hammaddeleri Alt Komisyonu Kömür Çalışma Grubu Raporu Mayıs.

Erdem, E., 1997, Tr. J. Chemistry, 21, 209–214.

Erol, B., Kayı, A., Bayraktaroğlu, Ş.Ş., 1998, “Kireç ve Kireçtaşı”, Kireç Üreticileri Birliği Yayını.

Harben, P. W., and Bates, R. L., 1990, Metal Bulletin Plc. 184–189, London.

Karaman, O., Arı, K., Haktanır, T., Atis, C. D., 2005, “İki Farlı Portland Çimentolu Betonların Dayanımına Zaman ve Kür Etkisinin Araştırılması”, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, Sayı: 21, 62-68.

Kemal, M., 1982, Kömür Teknolojisi., “D.E.Ü., M.M.F. Yayınları”.

Kılıç, Ö., 2005, “Klasik Eberhart Tipi Kireç Fırınları ile Paralel Akışlı Maerz Fırınlarındaki Kalsinasyon Parametrelerinin Karşılaştırılması ve Çukurova Bölgesi Kireçtaşları Üzerine Uygulamalar”, Ç.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Doktora Tezi, 171, Adana.

Kılıç, Ö., Anıl, M., 2006, “The Effects of Limestone Characteristic Properties and Calcination Temperature to the Lime Quality”, Asian Journal of Chemistry, 18, (1), 655-666.

Kula, I., Olgun, A., Erdoğan, Y., Sevinç, V., 2001, “Effects of Colemanite Waste, Cool Bottom Ash and Fly Ash on the Properties of Cement”, Cement and Concrete Research, Cilt 31, No 3, 491-492.

Lokman L., 2000, “Kireç”, KÜB Yayınları.

Mehta, P. K., 2001, “Reducing the Environmental Impact of Concrete”, Concrete International, Cilt 23, No 10, 61-65.

Mervit, R. D., 2000, Coal Exploration, Mine Planning and Development International Energy Annual.

Nakoman, E., 1971, Kömür, Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü Yayını Eğitim Serisi No: 8, 348 pp.

- National Lime Association., 1990, "Lime Handling, Application and Storage". Bulletin 213 (7 th edn.), Arlington, USA, 53–66.
- Oates, J.A.H., 1998, "Lime and Limestone Chemistry and Technology", Production and Uses, Wiley-VCH Verlag GmbH, Germany, 169.
- Özbek, K., Çakı, M ve Ay, N., 2001. Pişmiş Toprak Bünyelerde CaO ve Fe₂O₃ 'in Etkileri. I.Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu. Eskişehir, 145-151.
- Poon, C.,S., 2002, Kou, S.,C., Lam, L., "Use of Recycled Aggregates in Molded Concrete Bricks and Blocks", Construction and Building Materials, Cilt 16, No 2, 281–289.
- Short, A., Kinniburgh, W., 1963. Lightweight Concrete. John Wiley & Sons Inc. 365 pp. New York.
- Short, A., Kinniburgh, W., 1978. Lightweight Concrete. Elsevier Science, 464 pp. 3d. Ed.
- Somayaji, S., 1995. Civil Engineering Materials. Prentice-Hall,Inc., New Jersey, 351p.
- Song, H. S., Kim, C. H., 1990, "The Effect of Surface Carbonation on the Hydration of the CaO", Cement and Concrete Research, 20, 815-823.
- Stach, E., Mackowsky, M. T., Teichmüller, M., Taylor, G. H., Chandra, D., and Teichmüller, R., 1982, Stach's Textbook of Coal Petrology, Gebruder Borntraeger, 535 pp., Berlin.
- T.C. Başbakanlık Devlet Planlama Teşkilatı Müsteşarlığı., 2001, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Endüstriyel Hammaddeler Alt Komisyonu, Yapı Malzemeleri-I, DPT: 2615 – ÖİK: 626.

Topçu, İ. B., 1998, “Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi Ders Notları,” OGÜ, Müh.-Mim. Fak., İnşaat Müh. Böl., Eskişehir, ss. 90-120.

TS 30., 1993, “Kireçler-Söndürülmemiş-Yapılarda Kullanılan”, TSE, Ankara.

TS EN 197-1., 2002, Çimento - Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 453., 1988, “Gaz ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 500., 2000, “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 771-1., 2005, Kâgir birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Birimler (Tuğlalar).

TS EN 772-1., 2002, Kâgir birimler - Deney metotları - Bölüm 1: Basınç Dayanımının Tayini.

TS EN 772-3., 2000, “Kâgir Birimler, deney metotları- Bölüm 3: Kil kâgir birimlerin net hacmi ve boşluk yüzdesinin su içerisinde tartma metoduyla tayini”, TSE, Ankara.

Türk Standartları Enstitüsü., 1975, “ TS 25 Tras”, Ankara.

Erdoğan, T. Y.,2003, “Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, ss. 18-23.

Ün H., 2007, “Yapı Malzemeleri Kitabı,Yapay Puzolanlar”, Pamukkale Üniversitesi.

Yılmaz, S., 2001, Yücel, H., Minerals Engineering, 14, No. 11, 1545-1548.

Won, J. P., 2004, Lee, Y. S., Park, C. G.Park, H. G., “Durability Characteristics of Controlled Low- Strength Materials Containing Recycled Bottom Ash”, Magazine of Concrete Research, Cilt 64, No 7 429–436.

1-<http://www.chryso.com.tr>., 21.07.2008

2-<http://www.muhendisevi.com.tr>., 09.09.2008

3- <http://www.insaatofisi.com>., 09.09.2008

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı :Ali YİĞİT
Doğum Yeri :Hakkâri
Doğum Tarihi :15.02.1981
Medeni Hali :Bekâr
Yabancı Dili :İngilizce

Eğitim Durumu

Lise : Hakkâri Teknik ve Endüstri Meslek Lisesi Yapı Bölümü (1997)
Ön lisans : Yüzüncü Yıl Üniversitesi Hakkâri Meslek Yüksek Okulu İnşaat Bölümü (2001)
Lisans : Afyon Kocatepe Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Öğretmenliği Bölümü (2006)
Yüksek Lisans: Afyon Kocatepe Üniversitesi fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalı (2008)