

Seyitömer Uçucu Külünün Farklı Yapı Malzemeleri Olarak Değerlendirilmesi

[İlkay Kara]

YÜKSEK LİSANS TEZİ

[İnşaat Mühendisliği] Anabilim Dalı

[Temmuz 2008]

Evaluation of Seyitömer Fly Ash in Different Construction Materials

İlkay KARA

MASTER OF SCIENCE THESIS

Department of Civil Engineering

Temmuz 2008

Seyitömer Uçucu Külünün Farklı Yapı Malzemeleri Olarak Değerlendirilmesi

İlkay Kara

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Lisansüstü Yönetmeliği Uyarınca
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Bilim Dalında
YÜKSEK LİSANS TEZİ
Olarak Hazırlanmıştır

Danışman: Prof. Dr. İlker Bekir Topçu

Temmuz 2008

ONAY

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans öğrencisi İlkay Kara'nın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı "Seyitömer uçucu külünün farklı yapı malzemeleri olarak değerlendirilmesi" başlıklı bu çalışma, jürimizce lisansüstü yönetmeliğin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

Danışman : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

İkinci Danışman : -

Yüksek Lisans Tez Savunma Jürisi:

Üye : Prof. Dr. İlker Bekir TOPÇU

Üye : Yrd. Doç. Dr. Ömer Fatih ESER

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hasan Selim ŞENGEL

Üye : Doç. Dr. Haldun KURAMA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Bedri BAKSAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun tarih ve
..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Nimetullah BURNAK

Enstitü Müdürü

Seyitömer Uçucu Külünün Farklı Yapı Malzemeleri Olarak Değerlendirilmesi

İlkay Kara

ÖZET

Bu çalışmada Seyitömer Termik Santralinde pulverize kömürün yanması sonucunda açığa çıkan uçucu küllerin ve taban küllerinin yapı malzemeleri üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Seyitömer uçucu külleri iki gruba ayrılmaktadır. Bunlar elektro filtrelerle baca çıkışında tutulan ve tane boyutları 0-200 µm arasında değişen ham kül ve ham külün elenerek yaklaşık % 98'inin 90 µm altına indirilmesiyle elde edilen sepere küllerdir. Ayrıca tane boyutu daha iri, özgül ağırlığı biraz daha fazla olan ve bu nedenle kazana çöken küllere ise taban külleri olarak adlandırılmaktadırlar.

Yapılan bu çalışmada uçucu kül ve taban küllerinin inşaat sektöründe kullanılabilirliğini araştırmak amacıyla 7 farklı yapı malzemesi üretilmiştir. Elde edilen en iyi sonuçlara göre betonda sepere külün % 20 oranında kullanılması ile C25/30 betonu, öğütülmüş taban külünün % 10 oranında çimentoda kullanılması ile CEM II/ A-V Portland uçucu küllü çimento üretimi sağlanmıştır. Gazbetonda kuvars kumu yerine % 75 oranında taban külü ile TS 453'e göre G4/0.7 sınıfı gazbeton üretilmiştir.

Taban külü ve taban cürufu kullanılarak üretilen flyblok ve gazblokların ısı yalıtımlarının yüksek, işçiliklerinin kolay ve maliyetlerinin düşük olması nedeniyle alternatif duvar elemanları olarak kullanılacakları görülmüştür. Alkalilerle beton ve harç numune üretiminde, uçucu küllerin bağlayıcılık özeliğini daha hızlı arttırması nedeniyle buharda kür uygulamasında daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Seramik yapıştırıcısında en ideal sonuçlara uçucu külün % 10 oranında kullanımı ile ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Uçucu kül, taban külü, alkali aktivasyon, gazbeton, seramik yapıştırıcısı.

Evaluation of Seyitömer Fly Ash in Different Construction Materials

İlkay Kara

SUMMARY

In this study usage of Seyitömer Thermic Plants fly ashes and bottom ash which occurs firing pulverizing coal, in production of construction materials were researched. Seyitömer fly ashes are separated to two groups. One of them is unseparated which has particle size between 0-200 μm , conserved of chimney outlet by electrofilters and the other one is separated ash which is separated from unseparated ash that the 98% of it falls down under 90 μm . Ashes which deposits to the bottom of the furnace because of more specific gravity and large particle size are called bottom ash.

In this study producing 7 different construction materials by usage of bottom ash and fly ashes in construction sector. According to the best results are C25/30 concrete 20% substituted cement and separated ash, Portland cement CEM II/A-V is produced by 10% ground bottom ash. According to TS 453 G4/0.7 aerated concrete was produced by 75% substituted quartz sand and bottom ash.

Light weight concrete block and aerated blocks are usable alternative wall members because of their high heat insulation, workability and low cost. The best results were obtained by vapor cure in alkaline activated mortar and concretes because of rapidly increase the puzzolonic property of fly ashes. The best results are obtained with 10% fly ash addition in ceramic mortars.

Keywords: Fly ash, bottom ash, alkaline activation, aerated concrete, ceramic mortar.

TEŞEKKÜR

Seyitömer uçucu külünün farklı yapı malzemeleri olarak değerlendirilmesi çalışmalarında, gerek derslerimde ve gerekse tez çalışmalarında, bana danışmanlık ederek, beni yönlendiren ve her türlü olanağı sağlayan danışmanım Sayın Prof. Dr. İlker Bekir Topçu'ya, Araş. Gör. Mehmet Uğur Toprak'a, uçucu kül ve taban külü sağlamada yardımcı olan Kütahya Çimento A.Ş. yetkililerine, taban cürufu sağlamasında yardımcı Azot Fabrikası yetkililerine, Eskişehir Çimento yetkililerine, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen, her zaman yanımda olan aileme en içten dileklerle teşekkürlerimi sunarım.

İlkay KARA
Temmuz 2008

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. UÇUCU KÜLLER	3
2.1 Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli	4
2.2 Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri	6
2.2.1 Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri	7
2.2.2 Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri	7
2.2.3 Uçucu Küllerin Mineralojik Özellikleri	9
2.2.4 Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikleri	10
3. TABAN KÜLLERİ	12
3.1 Taban Küllerinin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli	12
3.2 Taban Küllerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri	14
4. UÇUCU KÜL ve TABAN KÜLÜNÜN YAPI MALZEMESİNDE KULLANILMASI	15
4.1 Uçucu Kül ve Taban Külünün Betonda Kullanılması	16
4.2 Uçucu Kül ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu	17
4.3 Uçucu Kül ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu	18
4.4 Uçucu Kül ve Taban Külünün Çimentoda Üretiminde Kullanılması	18
4.5 Uçucu Kül ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması	19

İÇİNDEKİLER (devam)

Sayfa

5. SEYİTÖMER UÇUCU KÜLÜ VE TABAN KÜLÜ DENEYSEL ÇALIŞMALARI	20
5.1 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması	21
5.2 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu	23
5.3 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu	25
5.4 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Çimento Üretiminde Kullanılması	28
5.5 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması	29
5.6 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda Kullanılması	33
5.7 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanılması	35
6. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	39
6.1 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması	40
6.2 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu	49
6.3 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu	54
6.4 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Çimento Üretiminde Kullanılması	61
6.5 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması	66
6.6 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda Kullanılması	68
6.7 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanılması	69
7. DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ	77
7.1 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması	77
7.2 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu	80
7.3 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu	82
7.4 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Çimento Üretiminde Kullanılması	84
7.5 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması	86
7.6 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda Kullanılması	87
7.7 Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanılması	88
SONUÇ VE ÖNERİLER	90
KAYNAKLAR DİZİNİ	94

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
1.1 Seyitömer taban külü dağları ve barajı	2
2.1.2 İngiltere’de elde edilen UK’ların kullanım alanları.....	5
2.2.4.1 Seyitömer UK’sının SEM analizi	11
3.1 ÖTK’nın SEM görüntüsü.....	14
5.5.1 Karışımın kalıplara dökülmesi	30
5.5.2 Kalıplara dökülmüş karışım	30
5.5.3 Etüvde, kireç-alüminyumun reaksiyonu sonucu numunelerin kabarması	30
5.5.4 Deneyde kullanılan otoklav.....	31
5.5.5 Üretilen gazbeton numunesi.....	32
5.6.1 Üretilen flyblok elemanı.....	34
5.6.2 Üretilen gazblok elemanı.....	34
5.6.3 Azot fabrikası taban cürufunun elek analizi	34
5.7.1 Standart ve etüv ortamı.....	36
5.7.2 Alt başlıkların hazırlanışı.....	36
5.7.3 Alt başlıkların kesilmesi.....	36
5.7.4 Alt ve üst başlıklar.....	37
5.7.5 Numunelerin deneye hazır hale getirilmesi.....	37
5.7.6 Seramiklerin alt başlıklara yapıştırılması.....	38
5.7.7 Çekme yapışma deneyi.....	38
6.1.1. Sepere küllü betonların çökme deneyi sonuçları	41
6.1.2 Ham küllü betonların çökme deneyi sonuçları	41
6.1.3 Taban küllü betonların çökme değerleri.....	42
6.1.4 Sepere küllü betonların birim ağırlık deney sonuçları.....	44
6.1.5 Ham küllü betonların birim ağırlık deney sonuçları.....	44
6.1.6 Taban küllü betonların birim ağırlık deney sonuçları.....	45
6.1.7 Sepere küllü betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	45
6.1.8 Ham küllü betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	46
6.1.9 Taban küllü betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	46
6.1.10 Sepere küllü betonların basınç dayanımı deney sonuçları.....	47

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.1.11 Ham küllü betonların basınç dayanımı deney sonuçları.....	48
6.1.12 Taban küllü betonların basınç dayanım deney sonuçları.....	48
6.2.1 Sepere küllü harç numunelerinin birim ağır deney sonuçları.....	49
6.2.2 Ham küllü harç numunelerin birim ağır deney sonuçları.....	50
6.2.3 Taban küllü harç numunelerinin birim ağır deney sonuçları.....	50
6.2.4 Sepere küllü harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	51
6.2.5 Ham küllü harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	51
6.2.6 Taban küllü harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	52
6.2.7 Sepere küllü harç numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları.....	52
6.2.8 Ham küllü harç numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları.....	53
6.2.9 Taban küllü harç numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları.....	53
6.3.1 SK numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları (Etüvde).....	54
6.3.2 SK numuneleri birim ağırlık deney sonuçları (Buharda).....	55
6.3.3 HK numuneleri birim ağırlık deney sonuçları (Etüvde).....	55
6.3.4 TK numuneleri birim ağırlık deney sonuçları (Etüvde).....	56
6.3.5 SK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Etüvde).....	56
6.3.6 SK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Buharda).....	57
6.3.7 HK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Etüvde).....	57
6.3.8 TK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Etüvde).....	58
6.3.9 SK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Etüvde).....	58
6.3.10 SK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Buharda).....	59
6.3.11 HK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Etüvde).....	59
6.3.12 TK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Etüvde).....	60
6.4.1 Çimento numunelerinin özgül ağırlık deney sonuçları.....	61
6.4.2 Çimento numunelerinin priz başlangıç ve bitiş süreleri.....	62
6.4.3 Çimento numunelerinin blain deneyi sonuçları.....	62
6.4.4 Çimento numunelerinin ultrases geçiş hızının zamanla değişimi.....	63
6.4.5 Çimento numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları.....	63

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.4.6	Çimento numunelerinin 28 ve 56 günlük eğilme dayanımları..... 64
6.4.7	Çimento numunelerinin 2 ve 56 günlük eğilme dayanımları..... 64
6.4.8	Çimento numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları..... 65
6.4.9	Çimento numunelerinin 28 ve 56 günlük basınç dayanımları 65
6.5.1	TK ve SK katkılı gazbetonların birim ağırlıkları 66
6.5.2	TK ve SK katkılı gazbetonların ultrases hızları 67
6.5.3	TK ve SK katkılı gazbetonların basınç dayanımları..... 67
6.6.1	Üretilen hafif blok elemanların birim ağırlık deney sonuçları..... 68
6.6.2	Üretilen hafif blok elemanların basınç dayanımı deney sonuçları..... 68
6.7.1	UK numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları 69
6.7.2	KK numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları 70
6.7.3	Referans numunelerin birim ağırlık deney sonuçları 70
6.7.4	UK numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları..... 71
6.7.5	KK numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları..... 71
6.7.6	Referans numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları..... 72
6.7.7	UK numunelerinin eğilme dayanımı deney sonuçları..... 72
6.7.8	KK numunelerinin eğilme dayanımı deney sonuçları..... 73
6.7.9	Referans numunelerinin eğilme dayanımı deney sonuçları..... 73
6.7.10	UK numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları..... 74
6.7.11	KK numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları..... 74
6.7.12	Referans numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları 75
6.7.13	Referans numunelerin çekme yapışma deney sonuçları..... 75
6.7.14	UK ve KK numunelerinin çekme yapışma deney sonuçları..... 76
7.1.1	SK, HK ve TK'lı betonların çökme değerleri 77
7.1.2	SK, HK ve TK'lı betonların 28 günlük birim ağırlık değerleri 78
7.1.3	SK, HK ve TK'lı betonların 7-28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri 78
7.1.4	SK, HK ve TK'lı betonların basınç dayanımı değerleri..... 79
7.2.1	SK, HK ve TK'lı harç numunelerinin birim ağırlık değerleri..... 80

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
7.2.2 SK, HK ve TK'lı harçların basınç dayanımı deney sonuçları.....	81
7.3.1 Buharda ve etüvde SK'lı betonların basınç dayanımı deney sonuçları.....	82
7.3.2 Etüvde kür uygulanan betonların birim ağırlık deneyi sonuçları.....	83
7.3.3 Etüvde kür uygulanan betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	83
7.4.1 Çimento numunelerinin 2, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları.....	84
7.4.2 Çimento numunelerinin 2, 7, 28 ve 56 günlük eğilme dayanımları.....	85
7.4.3 Çimento numunelerinin 2, 7, 28 ve 56 günlük ultrases geçiş hızları.....	85
7.5.1 UK katkılı gazbetonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları.....	86
7.7.1 UK, KK ve referans numunelerinin basınç dayanımları.....	88
7.7.2 UK, KK ve referans numunelerinin eğilme dayanımları.....	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Cizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1.1 UK'ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar	4
2.2.2.1 Türkiye'de ki uçucu kül kimyasal kompozisyonları	8
5.1.1 Beton numunelerinin karışım oranları	21
5.1.2 Uçucu kül ve çimentonun kimyasal kompozisyonu	22
5.2.1 Harç numunelerinin ultrases geçiş hızları ve birim ağırlıkları	23
5.2.2 Harç numunelerinin basınç dayanımları	24
5.3.1 Yapılan deneylerde kullanılan karışım oranları	25
5.3.2 Ultrases ses geçiş hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi	26
5.4.1 Çimentoların kodları, birleşim oranları ve adlandırılması	28
5.5.1 Kullanılan malzemelerin karışım oranları	29
5.5.2 TS 453'e göre gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları	32
5.6.1 Blok elemanların karışım oranları ve kodları	33
5.7.1 Kullanılan malzemeler ve kodları	35
6.1 Seyitömer uçucu külünün kimyasal özellikleri	39
6.1.1 Seyitömer SK, HK ve TK'ları ile üretilen betonların çökme değerleri	40
6.1.2 SK, HK ve TK'lı betonların birim ağırlık ve ultrases geçiş hızları	43

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
ÖTK	Öğütülmüş Taban Külü
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu (Scanning Electron Microscope)
C ₃ A	Trikalsiyum Alüminat
Ca	Kalsiyum
CaO	Kalsiyum Oksit
Fe ₂ O ₃	Demir Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na ₂ O	Sodyum Oksit
K ₂ O	Potasyum Oksit
O	Oksijen
S	Kükürt
Al ₂ O ₃	Alümina
C-S-H	Kalsiyum Silika Hidrat
TS	Türk Standartları
TSE	Türk Standartları Enstitüsü

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişmekte olan ülkelerde artan sanayileşme ve kentleşme enerji gereksinimlerinin de beraberinde getirmiştir. Gerekli olan enerji gereksinimlerini karşılamak amacıyla hidroelektrik ve termik santraller kurulmuştur. Türkiye’de de bu amaçla kurulmuş kömürle çalışan 15 adet termik santral bulunmaktadır. Ancak E.Ü.A.Ş ve TÇMB’nin verilerine göre 11 tanesi faaliyet göstermektedir. Bunlar; Afşin-Elbistan, Çatalağzı, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Orhaneli, Seyitömer, Soma, Tunçbilek, Yatağan ve Yeniköy santralleridir. Kömürle çalışan bu termik santrallerle ülkemizin elektrik ihtiyacının büyük bir bölümü karşılanmakta yeterli olmaktadır.

Elektrik üretimi sırasında yan ürün olarak uçucu küller (UK) açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan UK’ların standartlara uygun olan kısmı yapı malzemeleri sektöründe kullanılmakta, uygun olmayan büyük bir kısmı ise kül dağlarında ve kül barajlarında biriktirilmektedir. UK ve TK’ların kullanım alanlarının başında Portland uçucu küllü çimentoların üretimi ve betonda puzolanik katkı maddesi olarak kullanılmaları gelmektedir. Uçucu küller silindirle sıkıştırılmış betonlarda, beton blok ve boruların yapımında kullanılmaktadır. Diğer kullanım alanları arasında beton ve asfalt yollar, yol temel tabakaları ve zemin stabilizasyonu gelmektedir. Ayrıca UK’lar kireç-kumtaşı bloklarının, endüstriyel ve seramik refrakterlerin üretiminde de kullanılmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Seyitömer Termik santralinden elde edilen uçucu kül ve taban küllerinin çeşitli yapı malzemelerinde kullanılarak değerlendirilmesidir. Uçucu kül ve taban küllerinin, betonda çimentoyla yer değiştirerek kullanımı, harçta ve betonda uçucu külün çeşitli kimyasallar ile aktivasyonu sonucu çimentosuz beton üretimi, Portland uçucu küllü çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanılabilirliği, gazbeton üretiminde agrega olarak kullanımı ve hafif beton blok üretimi ile seramik yapıştırma harcı üretiminde kullanılabilirliği ana konu başlıklarını oluşturmaktadır.

Seyitömer uçucu külü ve taban külünün farklı yapı malzemelerinde kullanılabilirliği araştırılırken, özellikle bazı zararlı bileşen miktarlarının fazla olduğu bilinen ve 45 mikron elek altı miktarının düşük olması nedeniyle standart dışı kabul edilen Seyitömer taban külü kullanımı üzerinde çalışılmıştır. İçeriğindeki zararlı bileşenler uzaklaştırılmamış fakat bazı çalışmalarda öğütülmüş, bazılarında ise olduğu gibi kullanılması halinde gösterebileceği tepkiler incelenmiştir. Şekil 1.1’de çalışmada kullanılan Seyitömer Termik Santrali taban külü ve dağları gösterilmektedir. Şekildende anlaşılacağı gibi taban küllerinin kullanılabilir hale gelmesi ile birlikte hem çevresel kirlilik azaltılacağı hemde enerjiden tasarruf sağlanacağı düşünülmektedir.



Şekil 1.1. Seyitömer taban külü dağları ve barajı

BÖLÜM 2

UÇUCU KÜLLER

Termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucu yan ürün olarak açığa çıkan UK ve TK'lar yaygın olarak kullanılan puzolanlardır. UK'lar baca gazlarının elektrostatik toz toplama sistemi tarafından toplanmasıyla elde edilmektedir. TK'lar ise kazan altına düşen özgül ağırlığı ve tane boyutu UK'lara göre daha büyük olan küllerdir. UK'lar yanma bölgesinden hızlı uzaklaştığı için ani olarak soğurlar ve puzolanik aktivite kazanırlar. Uçucu külün özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine göre değişmektedir. Linyit kömürünün yakılması ile elde edilen küllerde kireç oranı yüksek olup bu tür küller çimento gibi bağlayıcılık özeliği gösterirler. Antrasit kömüründen veya iyi yakılmayan diğer kömürlerden elde edilen uçucu küllerde karbon miktarı yüksek olmaktadır. Bu tür küller çimento ve betonda su ihtiyacını artırmakta, puzolanik özeliği, kaliteyi olumsuz etkilemektedirler (TÇMB/ARGE, 2007).

Uçucu küller genellikle silisli ve alüminli olan bileşimi dolayısıyla puzolanik özellik göstererek çimento ve betonda katkı maddesi olarak yararlı olurlar. İnce ve küresel taneleri dolayısıyla taze betonda işlenebilmeyi artırır. Ayrıca hidrasyon ısını azaltırlar. UK'lar çimentonun hidrasyonu sonucu oluşan kireçle (Ca(OH)_2) reaksiyona girerek ilave bağlayıcı jel oluşturur, çimento hamurundaki boşlukları doldurur ve betona dayanıklılık kazandırır. Uçucu küllerin değerlendirildiği sektörlerin başında ağırlıklı olarak inşaat sektörü gelmektedir (Türker vd., 2007). Avrupa'dan uyarlanan yeni çimento ve beton standartları çimento ve beton endüstrisinde uçucu küle ilgiyi artırmıştır (TS EN 197-1, 2002; TS EN 206-1, 2002). Diğer yandan UK'ların değerlendirilemeyip biriktirilmesi veya atılması, önemli oranda çevre kirliliğine yol açmaktadır. Uçucu küllerin bilinçli olarak çeşitli alanlarda kullanımı hem kullanıcı, hem de küle üreten için ekonomik avantaj sağlamaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1998; Gray, 1997; E.İ.E., 1979; Aruntaş, 2006).

2.1. Uçucu Küllerin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli

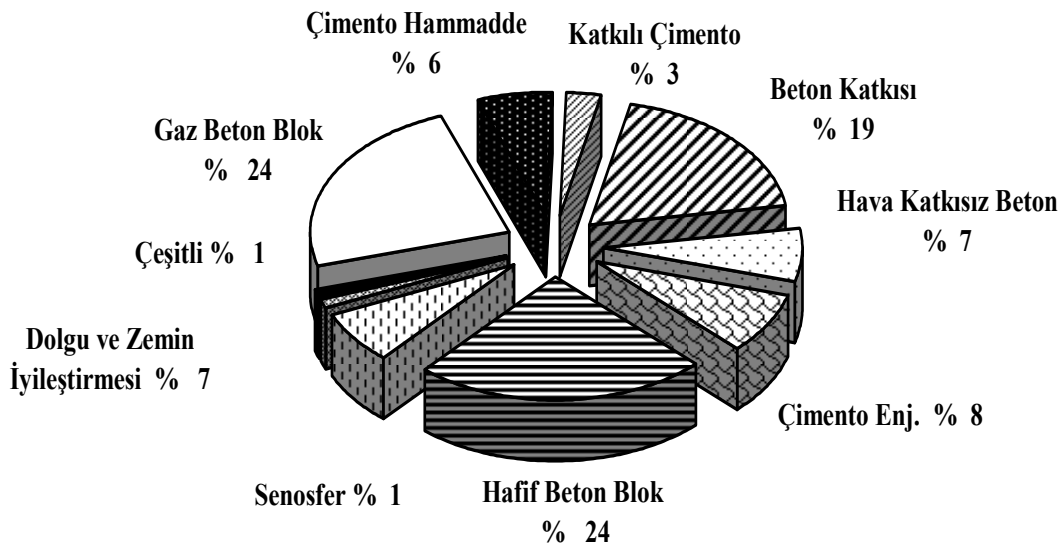
Türkiye’de elektrik enerjisinin yaklaşık yarısının üretildiği termik santrallerde 55 milyon ton/yıl düşük kalorili linyit kömürü yakılmakta ve bunun sonucundada bacalardan 1998 yılı verilerine göre yaklaşık 13.5 milyon ton/yıl uçucu kül (UK) elde edilmektedir. Baca gazları ile sürüklenen ve elektrofiltreler yardımı ile toplanan mikron boyutundaki bu UK’ların bir bölümü sepere edilerek, TS EN 450’ye uygun olanları çimento üretiminde TS EN 197-1 ve betonda TS EN 206-1’e göre kullanılmaktadır.

Standart dışı UK’lar ise geri dönüşüm kül olarak adlandırılmakta ve taban külleri ile beraber kül dağları veya barajlarında depolanmaktadır. Dünya’da ortaya çıkan UK miktarı yılda 600 milyon ton civarındadır. Her endüstriyel atık gibi UK’dan da yararlanılmıştır. Türkiye ve dünyada UK’ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar Çizelge 2.1.1’de özetlenmiştir (Aruntaş, 2006; TS EN 450, 1998; TS EN 197-1, 2002).

Çizelge 2.1.1. UK’ların inşaat sektöründe kullanıldığı alanlar (Aruntaş, 2006)

Malzeme	Kullanım Amacı/Yeri
Çimento	Hammadde, katkı ve ikame malzemesi olarak
Agrega	İnce agrega, iri agrega ve hafif agrega olarak
Beton	Katkı ve ikame malzemesi olarak
Tuğla	Katkı malzemesi olarak
Kerpiç	Bağlayıcı malzeme olarak
Yapı malzemeleri	Blok, panel, duvar, gazbeton, beton boru, cam, boya, seramik, plastik, harç
Yapı ve uygulamaları	Baraj, otoyol, nükleer santral

UK'ların kullanım alanlarının başında çimento ve betonda katkı maddesi olarak kullanılmaları gelmektedir. Beton blok ve boruların üretiminde de UK'dan yararlanılmaktadır. Ayrıca özel işlemlerle UK'dan dayanıklı hafif agrega elde edilebilmektedir. Diğer uygulama alanları sırasıyla, beton ve asfalt yollarda, yol temel tabakalarında filler olarak, zemin stabilizasyonunda, kireç-kumtaşı blokların üretiminde, katı atıkların stabilizasyonunda ve bitki yetiştirilmesinde kullanılmaları sayılabilir.



Şekil 2.1.1. İngiltere’de elde edilen UK’ların kullanım alanları (Aruntaş, 2006)

Dünyada üretilen toplam UK'nın % 25'inden daha azı değerlendirilebilmektedir. Ülkelere göre değerlendirme oranları farklılıklar sergilemektedir. Almanya, Hollanda ve Belçika'da üretilen toplam UK'nın % 95'ten fazlası, İngiltere'de ise yaklaşık % 50'si kullanılmaktadır. Büyük miktarlarda UK üreten ABD'de % 32, Çin'de % 40 oranında UK kullanılmaktadır. Şekil 2.1.1'de İngiltere'de elde edilen UK'ların kullanım alanları gösterilmektedir. Şekil 2.1.1'den anlaşılacağı gibi UK'lar en çok gazbeton blok ve hafif beton blok üretiminde kullanılmaktadırlar. Bu sırayı beton katkıları, çimento enjeksiyonu ve çimento ham maddesi olarak kullanımını takip etmektedir (Bhattacharjee and Kandpal, 2002; McCarthy and Dhir, 1999; Aruntaş, 2006).

2.2. Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Kendi başına bağlayıcı olmayan ancak öğütülmüş halde, normal sıcaklıkta ve nemli ortamlarda kalsiyum hidroksitle (sönmüş kireç) reaksiyona girerek bağlayıcı bileşikler oluşturan silisli veya silisli-alüminli malzemelere puzolan adı verilmektedir (Aruntaş, 1996; Aruntaş, 2006). Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. UK'lar yapay puzolan sınıfına giren atık malzemelerdir. Modern termik santrallerde en önemli atık malzeme; toz kömürün yanmasıyla oluşan, baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklarıdır. UK'lar elektrofiltrelerde yakalanmakta ve atmosfere çıkışları önlenmektedir (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

Silisli ve alüminli amorf yapıya sahip oldukları ve çok ince taneli olarak elde edildikleri için, uçucu küller de, aynı ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler; kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılığa sahip olmaktadır. Genellikle, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılmaktadırlar. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının % 15-% 50'si civarında değişebilmektedir (Erdoğan, 2003).

Uçucu küllerin özellikleri kömürün özelliklerine ve yakılma yöntemine bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Uçucu küllerin sınıflandırılmasında ASTM C 618 ve TS EN 197-1 standartları kullanılmaktadır. Bu standartlar sınıflandırmada UK'nın kimyasal bileşen yüzdelerini dikkate almaktadır. ASTM C 618 standardına göre UK'lar F ve C sınıflarına ayrılırlar. Bitümlü kömürlerden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ yüzdesi % 70'ten fazla olan UK'lar F sınıfına girmektedir. Ayrıca bu küllerde CaO yüzdesi % 10'un altında olduğu için düşük kireçli olarak da adlandırılırlar ve puzolanik özeliğe sahiptirler. Linyit ve yarı-bitümlü kömürlerden üretilen ve toplam $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ miktarı % 50'den fazla olan UK'lar ise C sınıfı olarak adlandırılmaktadırlar. Ayrıca C sınıfı uçucu küller CaO miktarlarının % 10'dan büyük olması nedeniyle yüksek kireçli UK'lar olarak da adlandırılmaktadırlar. Yüksek kireçli UK'lar, puzolanik özeliğin yanı sıra bağlayıcı özeliğe de sahiptirler. Ana bileşenleri SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup, yapılarında çok az miktarlarda SO_3 ve alkalilerde bulunmaktadır (ASTM C 618, 1998; TS EN 197-1, 2002).

2.2.1. Uçucu Küllerin Fiziksel Özellikleri

Uçucu kül tanecikleri genellikle küresel yapıda olup büyüklükleri 1-200 µm arasında değişmektedir. Uçucu küllerin tane boyutları termik santraldeki kül toplama yöntem ve elemanlarına bağlıdır. Siklonlarda toplanan küller, elektrofiltrelerde toplananlardan daha iri tanelidirler. Uçucu küllerin renkleri açık bejden kahverengiye, griden siyaha kadar değişik tonlarda olabilir. İçindeki yanmamış karbon miktarı artıkça uçucu küllerin rengi koyulaşmaktadır (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

Bir termik santralden elde edilen uçucu küllerin tane dağılımı eğrileri zaman içinde kömür kaynağında kömür öğütme yönteminde termik santral projesinde büyük değişiklikler olmadığı sürece sabit kabul edilmektedir. İnceliğin özgül yüzey cinsinden ölçülmesi, Portland çimentoları ve UK'lar için pratik ve anlamlı bir yöntemdir. Çeşitli araştırmalarda uçucu küllerin özgül yüzeylerinin 1800-5000 cm²/gr arasında değiştiği görülmüştür. Pratik oluşu nedeniyle sıkça kullanılan bir başka yöntem ise ASTM No 325 eleğinin üzerinde kalan miktarın bulunmasıdır. Ayrıca hidrometre analizi, azot adsorpsiyonu ve X ışınları sedimantasyonu gibi yöntemlerde uçucu küllerin inceliğin bulunmasında kullanılmaktadır (Tokyay ve Erdoğan, 1998; Aruntaş, 2007).

2.2.2. Uçucu Küllerin Kimyasal Özellikleri

Ülkemizde açığa çıkan uçucu küllerin büyük bölümü yüksek kireç içeriklidir ve uçucu kül özellikleri santralden santrale, hatta aynı santralde zamana bağlı olarak büyük değişiklikler gösterebilmektedir (Yazıcı vd., 2006; Aruntaş, 2007). Kimyasal bileşimi, kullanılan kömürün yapısı, jeolojik orijini ve proses koşullarına (kömür hazırlama, yanma toz toplama, desülfirizasyon gibi) bağlıdır. Çizelge 2.2.2.1'de Türkiye'deki UK'larda bulunan başlıca bileşenlerin SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, ve CaO olduğu, SO₃, MgO ve alkali oksitlerini içerdiği gösterilmektedir. Ayrıca yanmış karbon, Ti, P, Be, Mn ve Mb'de UK'ların eser bileşenleri olmaktadır (Aruntaş, 2006; TÇMB/ARGE, 2007).

Hewlett (1998), temel oksitler olan SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO miktarları, UK'nın düşük veya yüksek kireçli yapıda olmasına göre değiştiğini belirtmiştir. UK'da reaktif silis ve reaktif kireç, çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan ve dayanım gelişiminde önemli rolü olan CSH jeli oluşturan Si ve CaO bileşenlerinden oluşmaktadır. Özellikle reaktif silis, UK'nın aktif bileşeni olup puzolanik reaksiyonlara girmek üzere, alkali ortamda çözünen silistir. Bu bileşik, amorf veya camsı faz halinde bulunurken; mullit ve kuvarz gibi diğer silisli bileşenler inert olup kristalize halde bulunurlar. Reaktif silis miktarının, UK'nın tipine bağlı olmaksızın en az % 25 olması gerekmektedir. Reaktif kireç ise düşük kireçli UK'larda % 10'un altında yüksek kireçlilerde % 10-15 arasındadır.

Çizelge 2.2.2.1. Türkiye'de ki uçucu kül kimyasal kompozisyonları (Aruntaş, 2006)

Mineral, %	Uçucu Kül					
	Afşin-Elbistan	Çatalağzı	Seyitömer	Soma B	Tunçbilek	Yatağan
Mullit	1.0	18.1	1.2	4.3	8.8	6.0
Kuvarz	4.5	10.9	5.6	5.1	13.9	22.4
Manyetit	0.8	0.2	2.5	0.6	4.1	2.9
Hematit	4.0	0.1	6.0	2.0	3.0	7.0
Anhidrit	12.2	-	9.3	7.4	-	-
Serbest	18.6	0.7	5.5	9.8	0.9	1.0
Plajiyoklaz	28.0	-	15	20	-	25
Amorf Faz	30.0	70	50	50	70	35

TS EN 450'ye göre UK'ların SO_3 ve serbest kireç miktarlarının sırası ile % 5 ve % 1'den küçük olması gerekmektedir. Bunlardan SO_3 fazlalığı ileri yaşlarda betonda sülfat genleşmesi (aktif alümina ve SO_3 'den etrenjit oluşumu) serbest kireç ise hidratasyon sırasında kalsiyum hidroksit (portlandit) oluşturarak betonda genleşme ve çatlaklara neden olabilmektedir. Uçucu küllerde kızdırma kaybı esas olarak kömürdeki yanmamış karbona karşılık gelmekle birlikte, kömürdeki hidratlar veya karbonatların bozunması ile ortaya çıkan bağlanmamış su veya CO_2 kaybını da içine almaktadır. İyi yakılmayan kömürlerden elde edilen uçucu küllerde karbon miktarı yüksek olmaktadır.

2.2.3. Uçucu Küllerin Mineralojik Özellikleri

Uçucu külün mineralojik bileşimi, kömürde bulunan minerallere (kil, kuvars, pirit, alçıtaşı, karbonatlar (Ca, Mg, Fe) ve kömür işleme koşullarına (kömür hazırlama ve yanma gibi) bağlıdır. Uçucu külün mineralojik yapısı, külün tipine göre değişen dağılımda olmak üzere, camsı (kristalize) ve kristal yapılu bileşenlerden oluşmaktadır.

Genellikle, düşük CaO içeren küller başta camsı faz ve minör olarak kuvars (SiO_2), mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$), manyetit (Fe_3O_4), hematit (Fe_2O_3) içermekte; yüksek CaO'lu uçucu küller kuvars, hematit, anhidrit (CaSO_4), serbest kireç, C_3A ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), CS (CaOSiO_2), C_2S ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), gehlenit ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), mellilit ($\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Al})(\text{AlSi})_2\text{O}_7$), mervinit ($\text{Ca}(\text{Mg})(\text{SiO}_4)_2$), gibi mineraller ve camsı faz içermektedir. Bu bileşenlerin yanı sıra yüksek kireçli küllerde kalsit, portlandit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), trisülfoalüminat ($4\text{CaO} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) ve mullitde bulunmaktadır. İki UK'da alkali feldispat görülmektedir (Hubbard et al, 1985; Enders, 1996; TÇMB/ARGE, 2007).

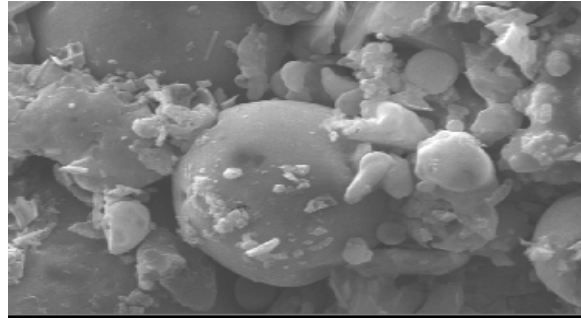
Düşük ve yüksek kireçli uçucu küllerin camsı fazı karakterize eden X ışınları difraksiyon piklerinin en yüksek değerleri birbirlerinden farklıdır. Camsı fazın difraksiyon pikinin en yüksek olduğu bölge, düşük kireçli uçucu külde $22-27^\circ 2\theta$ ($\text{CuK}\alpha$) bölgesinde yer almaktadır. Silisli camsı fazın $22-34^\circ 2\theta$ arasında değişmesi, silisyum dioksit kristal örgü ağının (siliko tetrahedral), Al, Ca, Na gibi çeşitli katyonlar ile modifiye edilmesinden kaynaklanmaktadır. Uçucu külün mineralojik bileşimi (camsı fazın durumu, kristal yapıları), külün puzolanik özelliklerini etkilemektedir. Özellikle camsı fazın durumu uçucu külün reaktivitesinde etkin olmaktadır. Düşük kireçli uçucu küldeki camsı fazın yapısı, SiO_2 açısından zengin, oldukça polimerize silissi veya alüminyumda içeren alüminosilikat bileşimindedir. Silissi veya alümino silikat camsı fazı, düşük kireçli külün reaktif bileşeni olup, su ve kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek, küle puzolanik özellik kazandırmaktadır. Yüksek kireçli külde ise, aktif bileşen içinde silisyum da içeren kalsiyum alüminat camsı fazının yanısıra aktif kristalize fazdır (serbest kireç, anhidrit, kalsiyum alüminat gibi). Burada saf silika camı, Ca ve Al iyonları ile bağlanmıştır. Bu faz bir bakıma curuftaki yapıya da benzemektedir (Enders, 1996; Mehta, 1985; TÇMB/ARGE, 2007).

UK'larda CaO içeriği % 20'nin üzerinde ise kalsiyum alüminat camısı fazı $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ bileşimindedir. Yüksek kireçli külün camısı ve kristalize fazları, külün puzolanik özeliğinin yanı sıra, kısmen kendiliğinden bağlayıcı özeliğe de sahip olmasını sağlar. Düşük kireçli uçucu küldeki yüksek silisli camısı faz genellikle kalsiyum, alkali ve hidroksit ilavesi halinde, yavaş olarak reaksiyona girerken; yüksek kireçli küldeki kalsiyum alümina silikat camısı fazı su ile reaksiyona girerek bağlayıcı fazları oluşturur. Bu nedenle yüksek kireçli uçucu külün camısı fazının düşük kireçliden daha az, ancak daha reaktif olduğu bilinmektedir. Yüksek kireçli küllerdeki kristalize fazlar (anhidrit, serbest kireç gibi), külün kendiliğinden bağlayıcı olmasına katkıda bulunmakla birlikte, standarttaki sınırlar (SO_3 en fazla % 3 ve % 5, sırasıyla ASTM C618, TS EN 450), serbest kireç TS EN 450'de % 1 aşıldığı takdirde SO_3 fazlalığı ileriki yaşlarda betonda sülfat genişmesi (aktif alümina ve SO_3 'ten etrenjit oluşumu), serbest kireç ise hidrasyon sırasında kalsiyum hidroksit (portlandit) oluşturarak betonda genişleme çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Yine yüksek kireçli uçucu külde bulunan alüminat bileşiminde olduğu gehlenit de külde yüksek SO_3 olduğunda reaksiyona girmekte, buna karşılık düşük kireçli küldeki kristalize faz olan mullit, alüminat bileşiminde olduğu halde inert bileşen olarak kalmakta; dolayısıyla sülfat genişmesine yol açmaktadır (Mehta, 1985; Tikalsky and Carraquillo, 1992; TÇMB/ARGE, 2007).

2.2.4. Uçucu Küllerin Morfolojik Özellikleri

Tanecik morfolojisi ve büyüklük dağılımında, kömürün orijini ve homojen olması, kömürün pulverizasyon durumu yanma koşulları, yanmanın homojen ve toz toplama sistemi tipi gibi prosese bağlı faktörler etkili olmaktadır (ACI Committee 226, 1987; TÇMB/ARGE, 2007). Uçucu külde, büyüklükleri $0.5 \mu\text{m}$ - $150 \mu\text{m}$ arasında değişen hem camısı küresel hem de düzensiz şekilli tanecikler bulunmaktadır. Bu taneciklerin şekli ve büyük açısından farklılıkları, uçucu külün tipinden (düşük veya yüksek kireçli) kaynaklanmaktadır. Camısı küresel şekilli tanecikler, boşluklu küreler; büyük bir küre içinde, küçük küreler kümesi içeren yapılar; yüzeyi düzensiz dağılmış şekilsiz boşluklar içeren yapılar, yüzeyinde sıvı damlacıkları buluna yapılar, yüzeyi kristal ile kaplanmış ve yüzeyinde şekilsiz birikimler olan yapılar olarak bulunmaktadır.

Küresel olmayan tanecikler, kömürden gelen ve yanma reaksiyonlarına katılmamış mineraller (kuvars, feldispat gibi), düzensiz şekilli ve gözenekli yapılarda (kil kalıntıları, yanmamış karbon gibi) oluşmaktadır (Tikalsky and Carraquillo, 1992; TÇMB/ARGE, 2007). Düşük kireç içerikli küllerde, çoğunlukla camsı faza karşılık gelen, içi boşluksuz tam küresel tanecikler ve bunun yanısıra senosfer ve plerosferler bulunmakta olup; bu küller şekil dağılımı açısından genellikle homojen olan mikro yapıya sahiptir. Ayrıca küresel taneciklerin yüzeyi de, düşük kireçli küller kadar düzgün değildir. Şekil 2.2.4.1’de Seyitömer UK’sının SEM analizi görülmektedir. Demir (2005), düşük kireç içerikli Seyitömer UK’sı görüldüğü gibi çoğunluğu küresel boyutlarda, bazıları düzensiz şekilli farklı taneciklerden oluşmaktadır.



Şekil 2.2.4.1. Seyitömer UK’sının SEM analizi (Demir, 2005)

Taneciklerin şekil ve büyüklük dağılımları, taze betonun su ihtiyacı ve işlenebilirlik gibi reolojik özelliklerine etki etmektedir (Cabrera and Hassan, 1998; TÇMB/ARGE, 2007). Bu etki özellikle küresel taneciklerin kayganlaştırıcı nitelik taşıması ve dolgu maddesi özeliğine sahip olma; şekilsiz, pürüzlü yüzeye sahip olanların ise su ihtiyacını arttırmaları şeklinde olmaktadır. UK’nın granülometrik bileşiminin çoğunun $40\ \mu\text{m}$ ’nin altında olması ($10\text{-}20\ \mu\text{m}$) ve şeklinin de genelde küresel olması puzolanik aktiviteye olumlu etki etmektedir. Özellikle yüzeyi pürüzsüz ince küresel tanecikler, büyük yüzey alanına sahip olduğu için kireç-silikat reaksiyonlarına daha hızlı girmektedirler. Yüksek kireçli külün aktivitesinde kristalize aktif fazlar ve az camsı fazı rol oynarken, düşük kireçlide ise taneciklerin şekli, büyüklük dağılımı, camsı fazın önemlidir (Mora et al., 1993; TÇMB ARGE, 2007).

BÖLÜM 3

TABAN KÜLLERİ

Termik santrallerde pulverize kömürün yanması sonucunda uçucu kül (UK) ile kazan altı külü (cürufu) veya taban külü (TK) adı verilen atık ürünler oluşmaktadır. TK'lar üzerinde yapılan çeşitli incelmeler sonucunda TK'ların standart dışı oldukları kabul edilmektedir. TK'nın standart dışı olmasının nedenlerinden en önemlisi TS EN 450'ye göre 45 µm elek altı miktarlarının % 60'tan küçük olmasıdır. Diğer nedenler ise SO₃, serbest kireç miktarları ve kızdırma kaybının sırası ile % 5, % 1 ve % 5'ten büyük olmasıdır (TS EN 450, 1998). Yüksek silikalı külün çimento sanayinde kullanılabilmesi için ASTM standartlarına göre % 6'dan az olması yeterlidir fakat % 4'ten az karbon içeriğine sahip olması gereklidir (ASTM C 618, 1998).

3.1. Taban Küllerinin İnşaat Sektöründe Kullanım Potansiyeli

TK'lar yanmamış karbon oranının yüksek olması nedeniyle çoğunlukla yapı malzemelerinde kullanılmamaktadırlar. Bunun nedeni yanmamış karbon miktarının fazla olması çimento ve betonda su gereksinimini artırmakta, puzolanik özellik ve kaliteyi olumsuz etkilemesidir. Bununla birlikte uygun karbon uzaklaştırma yöntemleri ile TK'nın yanmamış karbon oranı azaltılmakta ayrıca kazanılan karbonun termik santrallerde yeniden değerlendirilmesini sağlanmaktadır. Araştırmacılar TK'nın karbon miktarının; düşük sıcaklıkta yakma, parçacık boyutu sınıflandırılması, gravite, elektrostatik ayırma ve flotasyon yöntemleri ile azaltılabileceğini belirtmişlerdir (Hurst et al., US Patent No: 4.121.94; Bittner et al., US Patent No: 6.074.458). Kurama'ya (2007) göre TK'nın değerlendirilmesinde diğer bir yöntem önce serbest kireç (CaO) miktarı aşırı yüksek (CaO>% 12) veya çok yüksek kükürt içeren küller iki saat ara ile yapılacak kimyasal analizlerle belirlenerek reddedilmelidir. TK aynı anda öğütülerek ıslatılması ile incelik artmakta serbest kireç miktarı % 3'ün altına indirilebilmektedir.

Son yıllarda ülkemizde ve dünyada standart dışı taban külünün değerlendirilmesiyle ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Yapılan çalışmaların başında öğütülerek çimentoda katkı maddesi olarak kullanımı, betonda çimento yerine kullanımı, gazbetonda ve hafif beton bloklarda kullanımı gelmektedir. Jaturapitakkul ve arkadaşlarına göre çimento yerine % 15'ten % 50'ye kadar değişen oranlarda öğütülmüş taban külü (TK) kullanılarak ürettikleri betonların dayanımlarının kontrol betonu dayanımdan daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Jaturapitakkul et al., 2004).

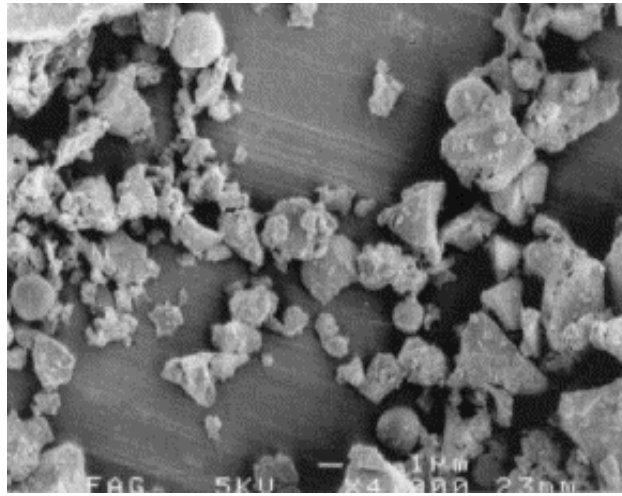
Kurama'ya (2007) göre gazbeton üretiminde kuvars kumu yerine TK kullanılan numunelerde ultrases geçiş hızları azalmakta dolayısıyla istenilen boşluklu yapı elde edilmektedir. Basınç dayanımlarında da artan taban külü katkı oranları için 18 saatlik otoklav kür işlemi sonrası hafif beton örnekleri için elde edilen basınç ve eğilme dayanım değerlerinde, referans örnek dikkate alınarak incelendiğinde % 50 katkı oranına kadar taban külünün gazbeton karışımında kullanılabileceğini belirtmektedir.

Araştırmacılara göre yapı malzemelerinde, mekanik özellikler kadar ısı termal özeliğide etkilidir. Betonun ısı iletkenliği karışımda kullanılan çimento miktarı, mineral katkı tipi ve agreganın ısı iletkenlik özelliklerine göre değiştiğini belirtmişlerdir (Demirboğa ve Gül, 2003). Topçu ve arkadaşlarıda öğütme ve yüzdürme yöntemleri ile kızdırma kaybı değerini 8.9'dan 4.6'ya düşürdükleri TK'yı kuvars yerine % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında kullanılarak üretilen gazbetonların ısı iletkenlik katsayılarının (W/Mk) sırasıyla 36, 30, 28, 25 ve 22 olarak bulmuşlardır. Aynı zamanda % 50'ye kadar kuvars yerine kullanılan TK'nın gazbeton dayanımlarını yaklaşık % 10 arttırdığını gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlardan yapı malzemelerinde TK'nın kullanım ömrü boyunca önemli enerji tasarrufu sağlayacağını belirtmişlerdir (Topçu vd., 2007).

Dünya çapında taban külünün inşaat sektöründe kullanım oranları incelenmiştir. Amerikan kömür külü birliğine göre (ACAA) beton ve beton ürünlerinde taban külü kullanımı 2002 yılı rakamlarına göre toplam 19.8 M ton'luk TK'nın % 5.28'i oranında kalmıştır. Bu miktarın 7.6 M tonluk kısmı değişik inşaat uygulamalarında toprak dolgu ve setlerde (% 26.61), yol üst temellerinde ve alt yapılarda (% 19.15) ve madencilik uygulamalarında kullanılmaktadır (Barnes and Sear, 2004; Topçu vd., 2007).

3.2. Taban Küllerinin Sınıflandırılması ve Özellikleri

Taban külü içinde yüksek oranda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren bir alümina silikat mineralidir ve çimentolu karışımlarda $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ile reaksiyonuna girerek çimentonun bağlayıcılık özeliğini artırmaktadır (Topçu vd., 2007). TK'nın özellikleri elde edildiği termik santral UK'sına benzer olmakta, ancak bazı zararlı bileşen miktarlarının yüksek olması ve 45 μm elek altı değerinin düşük olmasından dolayı standart dışı kabul edilmektedir. TK'nın öğütülmesi sonucu kimyasal özelliklerinde değişiklik görülmemektedir (Jaturapitakkul et al., 2004). TK'nın XRD analiz sonucu incelendiğinde, temel olarak alümina, camsı faz ve kuvars, hematit/magnetit ve kalsit kristal fazlarından oluşan gelen nispeten basit bir mineralojik yapı göstermektedir.



Şekil 3.1. ÖTK'nın SEM görüntüsü (Antiohos et al., 2002)

SEM analizlerinden öğütülmüş taban külünün (ÖTK) düzensiz şekillerde ve parçalanmış olduğu görülmektedir. Antiohos ve Tsimas, çalışmalarında TK'nın UK'ya göre daha fazla reaktif silis içerdiğini, UK ile aynı boyutlarda öğütüldüğünde betonda puzolanik etkisinin daha yüksek olduğunu belirtmişlerdir (Antiohos and Tsimas, 2002).

BÖLÜM 4

UÇUCU KÜL VE TABAN KÜLÜNÜN YAPI MALZEMESİNDE KULLANILMASI

Gelişen sanayileşme ile artan enerji gereksinimleri termik santrallere gereksinim duyulmasına neden olmuştur. Termik santrallerden açığa çıkan uçucu küllerin (UK) taban küllerinin (TK) değerlendirilmesi için araştırmalar yapılmıştır. Bu araştırmalar sonucunda uçucu küller ve taban külleri çeşitli yapı malzemelerinin üretiminde kullanılmaya çalışılmıştır. UK ve TK'ların betonda çimento yerine kullanılmasından, alkaliler yardımı ile çimentosuz beton üretimi ve hafif beton blok üretimine kadar çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Günümüzde de konu ile ilgili araştırmalar devam etmektedir.

Kimyasal bileşimi sayesinde yapay puzolan olarak elde edilen en modern malzeme olarak bilinen uçucu küller, başta inşaat sektörü olmak üzere seramik, plastik, atık su arıtımı, çimento, beton, tuğla, hafif agrega, gaz beton ve karayolları gibi bir çok alanda kullanılabilir (Alkaya vd., 2002; Bentli vd., 2005). Ayrıca UK'lar taşkın önlenmesinde, döküm kumu olarak, duvar harçlarında, metal yüzeylerinin püskürtme ile temizlenmesinde, asfalt yol yüzeylerinde kaymayı önleyici olarak, cam üretiminde, petrol kuyuları sondajlarında, dolgu ve enjeksiyon işlemlerinde, seramik karo üretiminde, plastik ve bitümlü malzemelerde katkı maddesi olarak kullanılmıştır.

Taban küllerinin (TK) standart dışı kabul edilmektedir. TK'ların yüksek oranda karbon içermesi ve tane boyutunun uçucu küllere göre daha iri olması kullanılmama nedenlerinin başında gelmektedir. Kullanılabilirliği için ön zenginleştirilme işlemlerinin uygulanması gerekmektedir. Bu yöntemlerden bir kaç mekanik ayrıştırma, tane boyutu sınıflandırılması, ağırlık ayrıştırması, elektrostatik ayrıştırma ile karbon uzaklaştırılmaktadır (Kurama vd., 2007). Araştırmacılar bu yöntemler haricinde yakma ve köpük flotasyonunda kullanıldığını belirtmişlerdir. Yakma sırasında sadece serbest karbonlar ayrıldığı için iyi bir ayrışma yapılamadığına dikkat çekmişlerdir (Hurst et al., US Patent No: 4.121.94; Bittner et al., US Patent No: 6.074.458).

4.1. Uçucu Kül ve Taban Külünün Betonda Kullanılması

Uçucu külün çimentoya katılması ile betonda veya çimento hamurunda hacim genişmesi artmakta rötre ise azalmaktadır. İncelik değeri yüksek ve karbon miktarı düşük uçucu kül kullanılan betonlarda ilk 90 günde betonun basınç dayanımının külsüz betona göre düşük olduğu fakat bu süreden sonra külsüz betondan daha yüksek dayanım aldığı belirtilmektedir. Betonda kullanılacak en ideal UK miktarı özellikle UK ve çimento türüne göre değişmektedir (E.I.E., 1982; Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

Sümer, (1998) uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımları karışımdaki uçucu kül miktarına bağlı olarak azalma eğilimi gösterdiğini belirtmiştir. Çimento yerine ağırlıkça % 10 ve % 20 oranlarında uçucu kül kullanımı ile elde edilen betonların basınç dayanımları incelendiğinde, şahit betona yakın değerler elde edilmektedir. Ayrıca kılcal geçirimsizlik katsayısı dayanıklılığın bir göstergesi olarak kabul edilirse uçucu külün etkisi kesinlikle olumlu görülmüştür. Uçucu kül kullanılması kılcal geçirimsizliği azaltmaktadır. Diğer taraftan uçucu kül ilavesi erken dayanımları olumsuz etkilemektedir. Uçucu kül miktarının % 10 ve % 20 oranlarında kullanılması sonucunda erken dayanımlar normalde çıkması gereken değerlere göre çok düşük değildir, ancak uçucu kül oranları arttırıldıkça dayanımlarda düşüşler görülmektedir.

Ünal ve Uygunoğlu (2004), özellikle kütle betonlarında çimentonun ağırlıkça % 20-25 oranında uçucu küle değiştirilebileceğini ve uçucu külün ince agrega yerine kullanıldığı karışımlarda ise % 25 katkı oranının uygun olacağını düşünmüşlerdir. Ayrıca araştırmalarda uçucu külün yüksek oranda kullanılması halinde betonda alkali-agrega reaksiyonlarına yol açabileceği belirtilmiştir. Betonda kısmen çimento yerine kullanıldığı zaman UK'nın, çimentonun ancak yarısı kadar hidrasyon ısı yaydığı belirlenmiştir. Fransa'da ki araştırmalarda klinker ile öğütülmüş UK'nın hidrasyon ısısında değişiklik görülmemiştir (Gül ve Yıldız, 1997; Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

4.2. Uçucu Kül ve Taban külünün Harçta Aktivasyonu

Çoğu araştırmacı uçucu külün puzolanik özeliğinin, içerdiği amorf silis ve hidrate kirecin reaksiyonu sonucunda CSH jellerini oluşturması ile ortaya çıktığını ve uçucu küllerin alkaliler ile reaksiyonu sonucunda içerisindeki sülfat konsantrasyonunun, dolayısı ile etrenjit oluşumunu arttırdığını belirtmişlerdir. Puzolanik reaksiyon ve etrenjit oluşumu erken dayanımı önemli ölçüde artırmaktadır. Bu reaksiyon aktif silikanın UK küreciklerinin çekirdeğe yakın tarafında toplanmasından ve çimento pastası ortamında oldukça yavaş bozunması nedeniyle yavaş ilerlemektedir. Çimentonun % 20-30 kimyasal olarak aktive edilmiş UK ile yer değiştirilmesinin dayanımı ve korozyon dayanımını artırdığı belirlenmiştir. Uçucu kül; öğütme ile yüksek sıcaklıkta kür uygulanarak, alkalilerle aktive edilebilmektedir. Araştırmacılar, alkali aktivasyonunun alkalinin pH derecesi, UK ve su oranına bağlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Alkaliler ortamın pH'ını yükseltip, sönmüş kireç ve UK arasındaki puzolanik reaksiyonu hızlandırmaktadırlar (Barbosa et al., 2000; Davidovits, 1994).

Serbest silis ve alümin içeren malzemelerin alkalilerle aktivasyonunun; alüminosilikatların kuvvetli alkali çözeltilerde çözünmesi, serbest iyon gruplarının dağılması ve polikondensasyon olmak üzere üç aşamada oluştuğunu, bu oluşumun hızlı ve karışık reaksiyonlar sonucu tamamlandığını belirtmiştir (Barbosa et al., 2000; Davidovits, 1989; Li et al., 2004; Palomo et al., 1992). Uçucu külün aktivasyonu Si-O-Si ve Al-O-Al kovalant bağlarının kırılmasıyla oluşan ekzotermik bir reaksiyondur. Bu reaksiyonun sonunda bağlayıcı malzemeler çok az görülmektedir. Uygulanan sıcaklığın derecesi ve solüsyon tipi aktivasyonu ve reaksiyonun hızını değiştirdiği görülmektedir.

Araştırmacılar öğütülmüş ve öğütülmemiş kül, kireç ve alkaliler kullanılarak dökülen harçların dayanım gelişimlerini incelemişler; alkalilerin kullanılmasının dayanım gelişimini öğütmeye göre çok daha fazla artırdığını, çok daha ucuz ve kolay bir işlem olduğunu belirtmişlerdir. Jueshi ve arkadaşları karışımında % 84 uçucu kül, % 13 kireç ve % 3 Na₂SO₄ bulunan ve 20 MPa basınçla preslenen ve 20 °C'de kür edilen harçların 28 günlük dayanımı 13 MPa olarak bulmuşlardır (Jueshi et al., 2001).

4.3. Uçucu Kül ve Taban külünün Betonda Aktivasyonu

Alkali aktivasyonu ile UK'lardan bağlayıcı üretilmesinde en düşük kür sıcaklığını 60 °C olarak verilmiştir. UK'nın değerlendirilmesi hakkında yapılan çalışmalardan alkali çimentosu olarak da adlandırılan, UK'nın alkalilerle aktive edilmesi ile elde edilen yeni bir bağlayıcı elde edilmiştir. Bu bağlayıcı ile üretilen betonların kuru büzülme değerleri standart betona göre düşük, donatı ile aderanslarına ve çevre koşullarına karşı oldukça dayanıklı olduğu gözlemlenmiştir (Glukhovsky et al., 1980).

Bir günlük basınç dayanımı 70-80 MPa olan F tipi UK'lar, 8 M NaOH veya (% 85 12.5 M NaOH + % 15 NaSiO₂) çözeltileri ile aktive edilmiş ve 20 saat 85 °C'de etüvde kür uygulanmıştır (Fernandes et al., 2005). UK'nın alkali aktivasyonu sonucu uçucu külün bağlayıcı özeliğinin artırılması ile üretilen betonların kuru büzülme değerleri normal betonlara göre düşüktür. Bununla birlikte donatı aderansları, çevre koşullarına dayanıklılıkları ise oldukça yüksektir (Glukhovsky et al., 1980; Krivenko, 1994; Malek and Roy, 1995; Van Jaarsveld and Van Deventer, 1999; Zhaohui and Yunping, 2001). Ayrıca alkali aktivasyonu toksik atık ve nükleer kalıntıların, ağır metal iyonlarının stabilizasyonunda başarıyla kullanılmıştır (Davidovits, 1993; Cioffi et al., 2003).

4.4. Uçucu Kül ve Taban külünün Çimento Üretiminde Kullanılması

Çimentoda uçucu külün katkı olarak kullanımı birçok avantaj sağlamaktadır. UK'ların kullanımı sonucunda elde edilebilecek yararlar yalnızca çevre kirliliğinden korunma ve enerji tasarrufu ile sınırlı değildir. Çimento üretiminde standart değerleri sağlayan uçucu kül kullanılması çimentonun çok daha ekonomik ve daha uzun ömürlü performans göstermesine neden olmaktadır. UK katkılı çimento harçlarının donma ve çözülme çevrimleri sonucunda dayanıklılığını belirlemek amacıyla elastisite modüllerindeki değişimler incelendiğinde, UK'lı çimento harcı numunelerinde donmadan önceki numune değerlerine göre elastisite modüllerinde bir artış oluşmaktadır. Ancak çözülmeden sonra bazı uçucu küllü numunelerin elastisite modüllerinde artış bazılarında azalma görülmüştür (Ünal ve Uygunoğlu, 2004).

4.5. Uçucu Kül ve Taban külünün Gazbetonda Kullanılması

Gazbeton ısı yalıtımında ve üretim sürecinde enerjinin tasarruf edilmesine katkı sağlayan özgün bir malzemedir. Gazbeton hem yük taşıyıcıdır hemde iyi ısı yalıtım özeliğine sahiptir. gazbeton üretiminde kuvars kumundan daha hafif olması nedeniyle kuvars kumu yerine UK ve TK kullanılması ile ilgili araştırmalar devam etmektedir.

Kurama (2007), beton deneyleri için doğal zeolit ve ön zenginleştirilmiş kömür taban külünü farklı katkı oranlarda (% 25, 50, 75 ve 100) kuvars kumu yerine kullanmıştır. Hafif beton üretimi için kullanılan bu malzemeler diğer katkı malzemeleri ve çimento ile karıştırılarak kalıplamıştır. Elde edilen numuneler daha sonra otoklavda 12 atm buhar basıncı altında 180-190 °C'de 5, 12 ve 18 saat süreyle kür uygulanarak en uygun üretim koşulları belirlenmiştir. Deney sonuçları otoklav kür süresindeki artışın üretilen betonun ultrases geçiş hızı (UGH) değerleri üzerinde olumlu etki yaptığını göstermiştir. Kür süresinin artışına bağlı olarak UGH değerlerinin arttığını belirtmiştir.

Kurama ve arkadaşları doğal zeolit ve termik santral taban cürufunun hafif beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması konulu laboratuvar çalışmalarında ön zenginleştirme işlemleri sonrası yüksek yanmamış karbon içeriği standart değerler altına indirilen taban külü ve klinoptilolit farklı katkı oranlarında standart bünye içinde kullanımın hafif yapı malzemesinin fiziksel-termal ve mekanik özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yapılan analiz sonuçları değerlendirildiğinde gerek Termik Santral taban küllerinin gerekse doğal zeolit in hafif beton üretiminde silis kumu yerine belirli katkı oranlarında kullanılabileceği belirlemişlerdir. (Kurama vd., 2007)

Narayanan ve arkadaşları taban külü ile üretilen gazbeton numunelerinin mikro yapılarını incelemişlerdir. Malzeme yapısı olarak gazbeton katı mikro boşluklu matrisi ve makro boşluklarla karakterize edildiğini belirtmişlerdir (Narayanan et al., 2000; Topçu vd., 2007). Otoklav kürü öncesi ve sonrası makro boşlukların boyut ve çapları değişmezken hidrotermal reaksiyon ile mikro boşluklar hassas yapı göstermiştir.

BÖLÜM 5

SEYİTÖMER UÇUCU KÜLÜ VE TABAN KÜLÜ DENEYSEL ÇALIŞMALARI

Seyitömer uçucu külünün (UK) ve taban külünün (TK) harçta-betonda aktivasyonu, betonda çimento ile kullanımı, gaz beton ve hafif beton blok üretiminde kullanılması, Portland uçucu küllü çimento üretiminde katkı maddesi olarak kullanımı ve seramik yapıştırıcısı üretiminde kullanılması araştırılmıştır. Bu amaçla üretilen beton ve harç numuneleri üzerinde çeşitli deneyler uygulanmış sonuçlar incelenmiştir.

Beton ve harç numuneler üzerinde uygulanan deneyler;

- Basınç Dayanımı Deneyi,
- Eğilme Dayanımı Deneyi,
- Birim Ağırlık Deneyi,
- Ultrases Geçiş Hızı Deneyi,
- Çekme Yapışma Deneyi,
- Çökme Deneyidir.

Ham maddeler üzerinde uygulanan deneyler;

- Blaine deneyi (Özgül Yüzey Deneyi),
- Priz Başlangıç-Bitiş Süresi,
- Özgül Ağırlık deneyleri uygulanmıştır.

Yapılan her çalışmada kullanılan malzemeler ve ilgili deney aletleri tanıtılmaktadır. Genel anlamda amaç dayanım sağlamaktır. Bunun yanı sıra ultrases geçiş hızı deneyi ile üretilen malzemenin boşluklu olup olmadığına bakılmaktadır. Deney gruplarında üç farklı çeşit uçucu kül kullanılmıştır. Bunlar taban külü, ham kül ve sepere küldür. Ham kül baca gazları ile yukarı çıkan ve elektrostatik filtrelerde toplanan 0-250 µm tane boyutlarındadır. Sepere kül ise ham külün seperasyonu ile elde edilen ve % 98'i 0-90 µm tane boyutundaki uçucu küldür. Taban külü, kazan altına düşen ve özellikleri nedeniyle standart dışı kabul edilen uçucu kül çeşitlerinden biridir.

5.1. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması

Seyitömer uçucu külü ve taban külünün betonda kullanılabilirliğinin araştırılması amacıyla sepere kül (SK), ham kül (HK) ve taban külü (TK) % 20, 40 ve 60 oranlarında ağırlıkça çimento ile yer değiştirerek 15x15x15 cm beton numuneler üretilmiştir. Ayrıca kül kullanılmadan kontrol betonu üretilmiştir ve % 0 olarak gösterilmiştir. SK, HK ve TK'nın betona kattığı özelliklerin incelenmesinde çökme, birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Çizelge 5.1.1'de farklı oranlarda uçucu kül içeren serilerde 1 m³ beton için kullanılan malzeme miktarlar verilmektedir.

Çizelge 5.1.1. Beton numunelerinin karışım oranları

Malzeme (kg)	Beton Serileri			
	% 0	% 20	% 40	% 60
Çimento	300	240	180	120
Su	180	180	180	180
Kum	900	900	900	900
Kırma taş (8-16)	400	400	400	400
Kırma taş (16-32)	600	600	600	600
Uçucu Kül	-	60	120	180

Deneyleerde su miktarı sabit tutulmuştur. Beton sektöründe genellikle lignin sülfonat ve naftalin sülfonat esaslı su azaltıcı, kıvam koruyucu kimyasal katkıları kullanılarak su/çimento oranı azaltılabilmekte ve böylece beton dayanımlarda artış sağlanabilmektedir. Yapılan deneysel çalışmalarda Kütahya Çimento A.Ş'den alınan Seyitömer uçucu külü ve Eskişehir Çimento Fabrikasından alınan CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır. Çizelge 5.1.2'de kullanılan uçucu külün ve çimentonun kimyasal kompozisyonları verilmektedir. Ayrıca denemelerde TS EN 196-1'e uygun 1350±5 gr'lık plastik torbalar içinde Rilem standart kumu kullanılmıştır. Karışım suyu olarak TS EN 1008'e göre uygunluğu bilinen Eskişehir şebeke suyu kullanılmaktadır.

Çizelge 5.1.2. Uçucu kül ve çimentonun kimyasal kompozisyonu (% ağırlıkça)

Oksit, %	CEM I 42.5 R	UK
SiO ₂	20.55	59.00
Al ₂ O ₃	4.78	19.53
Fe ₂ O ₃	3.64	7.23
CaO	63.94	0.54
MgO	1.50	4.64
SO ₃	2.77	0.69
Na ₂ O	0.25	0.48
K ₂ O	0.77	5.95
Cl ⁻	0.035	0.0114
Kızdırma Kaybı	1.24	0.49
Çözünmeyen Kalıntı	-	-

Üretilen numunelere taze beton birim ağırlık ve çökme deneyleri uygulanmıştır. Sertleşmiş betonlara basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve birim ağırlık deneyleri uygulanmıştır. Çökme deneyinde taze betonun 0 dk, 15 dk ve 30 dk sonraki çökme değerleri dikkate alınmıştır. Çökme değeri işlenebilmenin tanımlanmasındaki tek değer olmadığından, değişik agregalara özellikle farklı ince agrega içeriğine sahip ve iri agreganın yuvarlak veya köşeli oluşuna göre aynı çökme değeri farklı işlenebilmeleri gösterebilmektedir. Ancak betonun sıkıştırılabilirliği hakkında fikir verememektedir.

Çökme deneyi agrega nemlerinde oluşabilecek kısmi artışların gözlemlenmesinde kullanılan katkının su kesme özelliğinin test edilmesinde ve beton karışımının homojenliğinin takibinde oldukça kullanışlı bir yöntemdir. Üretilen numuneler bir kenarı 150 mm olan küp kalıplara yerleştirilmiştir. Bir gün sonra kalıptan alınan numuneler kirece doymun (20±1) °C sıcaklıktaki kür havuzunda 7, 28 ve 60 gün bekletilmiştir ve numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri uygulanmıştır.

5.2. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu

Seyitömer sepere kül (SK), ham kül (HK) ve taban külünün (TK) harçta aktivasyonu incelenirken üç farklı alkali kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla sodyum hidroksit (NaOH), cam suyu olarak ta bilinen sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) alkalileridir. Sodyum hidroksit ve sodyum silikat (camsuyu) birlikte denenmiştir. Kum: kül: çözelti oranı 3:1:0.5 alınmıştır. Ayrıca 120 gr söndürülmüş kireç kullanılmıştır. Üretilen 4x4x16 cm boyutlarındaki standart harç numunelere 2, 7 ve 28 günde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç deneyi uygulanmıştır. Hazırlanan harç numuneler 20 saat 85°C 'de etüvde bekletilmiştir. Daha sonra 2, 7 ve 28 gün kür havuzunda saklanmıştır. Kür havuzundan çıkartılan numunelerin birim ağırlığına bakılmıştır. Alkali aktivasyonu ile üretilen SK, HK ve TK'lı harçların birim ağırlık sonuçları alkali türüne ve kullanılan UK tipine göre değiştiği görülmektedir.

Çizelge 5.2.1. Harç numunelerinin ultrases geçiş hızları ve birim ağırlıkları

Numune Adı	Ultrases geçiş hızı, km/s	Birim ağırlık, gr/cm^3
SK-(SH+CS)	1.75	1.53
SK-(SS)	2.10	1.55
SK-(SH)	1.98	1.56
HK-(SH+CS)	1.90	1.50
HK-(SS)	2.15	1.45
HK-(SH)	1.60	1.42
TK-(SH+CS)	1.70	1.55
TK-(SS)	1.70	1.55
TK-(SH)	2.20	1.54

Çizelge 5.2.1'de 28 günlük birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı değerleri verilmektedir. Çizelgede baştaki ilk harf (SK, HK, TK) kullanılan UK tipini, daha sonra gelen harfler ise aktivasyonda kullanılan alkalileri simgelemektedir. Bunlarda SH: sodyum hidroksit, CS: cam suyu olarak bilinen sodyum silikat ve SS: sodyum sülfattır. Sodyum hidroksit ve cam suyu (sodyum silikat) birlikte kullanıldığında çözelti karışım oranları % 85 12 M'lık sodyum hidroksit ve % 15 sodyum silikatı içermektedir.

Ultras ses geçiş hızı deneyinde, hız ile beton dayanımı arasında doğrusal bir ilişki vardır. Hızın düşük olması demek dalgaların numune içindeki boşluklarda yavaş ilerlediğini göstermektedir. Bu boşlukların nedeni numuneler hazırlanırken iyi yerleştirilememesi, numunenin homojen olmaması veya agrega granölometrisinin uygun olmamasıdır. Aşağıda izelge 5.2.2’de farklı kül tipi ve alkaliler ile hazırlanan harç numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları verilmektedir. Çizelge 5.2.2’de görüldüğü gibi kullanılan uçucu kül tipi ve alkali türü dayanımları etkilemektedir.

Çizelge 5.2.2. Harç numunelerinin basınç dayanımları, MPa

Numune Adı	7 gün	28 gün
SK-(SH+CS)	3.1	4.9
SK-(SS)	4.5	5.0
SK-(SH)	2.7	7.0
HK-(SH+CS)	8.0	9.0
HK-(SS)	4.5	5.0
HK-(SH)	2.5	3.0
TK-(SH+CS)	2.5	3.0
TK-(SS)	2.0	2.5
TK-(SH)	2.25	3.0

Belirli bir işlenebilirlik değeri için uçucu küllü harçlar için gerekli olan karışım suyu harçlara göre farklılık göstermektedir. Uçucu külün içindeki küresel tanecikler harcın akışkanlığını kolaylaştırmaktadır. İncelik, karbon miktarı ve uçucu kül camısı fazının karakteri gerekli olan karışımında su miktarını etkileyen önemli faktörlerdir. Uçucu küllerin ince ve küresel taneciklerden oluşması kuma ve ayrışmayı azaltan bir faktördür. Uçucu küllerin prizi hızlandırıcı etkisi olduğunu ileri süren bazı çalışmalar bulunmakla birlikte harçta uçucu kül kullanımı genellikle priz süresini uzatır. Bu etki, kullanılan külün miktarına, kimyasal kompozisyona, çimento ve külün inceliğine ve karışım oranına bağlı olarak değişir. Uçucu küller girdikleri reaksiyonlar sonucunda kimyasal olarak doldurmaktadır. Oluşturduğu bu yapılar nedeniyle harcın geçirimliliğini azaltmakta ve dayanıklılığını arttırarak olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

5.3. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu

Çalışmanın amacı, aynı oranlarda farklı alkaliler kullanarak çimentosuz beton üretimi sağlamaktır. Çimentonun betona sağladığı yararlar Seyitömer uçucu külü (UK), ham külü (HK) ve taban külü (TK) kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Böylece hem atık madde olarak bilinen uçucu küller değerlendirilmiş olacak hem de daha ekonomik beton üretilecektir. Denemelerde aktivatör olarak sodyum hidroksit (NaOH) ve sodyum silikat (Na_2SiO_3) kullanılmıştır. Ayrıca % 85 12 M'lık sodyum hidroksit (NaOH) ve % 15 oranında sodyum silikat (Na_2SiO_3) birlikte kullanılmıştır. Çizelge 5.3.1'de kullanılan malzemeler ve miktarları gösterilmektedir. Çizelgede SH: sodyum hidroksit, CS ise cam suyunu simgelemektedir. Bütün denemelerde alkali/uçucu kül oranı 0.35 olarak alınmıştır. Karışım suyu alkalilerle çözelti oluşturularak eklenmiştir.

Çizelge 5.3.1. Yapılan deneylerde kullanılan karışım oranları

Malzeme	Karışımındaki miktar, kg
Kireç	1.50
Uçucu Kül (UK, SK, HK)	6.00
Alkali (SH, (SH+CS), CS)	2.16
Kum	18.50
Kırmataş I	12.00
Kırmataş II	17.00
Çözelti	4.50

Kullanılan Seyitömer uçucu külünün F tipi olması nedeniyle karışıma söndürülmüş kireç ilave edilerek külün bağlayıcılık özeliği arttırılmaya çalışılmıştır. Üretilen beton numunelere bir kenarı 150 mm olan küp kalıplardan çıkartılmadan ilk 24 saat içinde farklı kür koşulları uygulanmıştır. Bir grup beton numunesi 105 °C'lik buharda bekletilmiş diğer grup ise 85 °C'de etüvde bekletilerek hızlı kür uygulanmıştır.

Hızlandırılmış kür uygulanmasının nedeni alkalilerin kullanılan SK, HK ve TK'ların çimento gibi davranış göstermelerini sağlamaktır. Kalıplardan çıkartılan numuneler sertleşmiş beton deneyleri için 20 ± 2 °C'deki kür havuzunda bekletilmiştir. Numunelere birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Çizelge 5.3.2. Ultrases geçiş hızı ile betonun kalitesinin tahmin edilmesi (Topçu, 2006)

Ultrases Hızı (V), km/s	Beton Kalitesi
>4.5	Mükemmel
3.5 – 4.5	İyi
3.0 – 3.5	Şüpheli
2.0 – 3.0	Zayıf
<2.0	Çok zayıf

Ultrases geçiş hızı deneyin temeli ultrases dalgalarının katı bir madde içinde yayılmasına dayanır. Sesin duyulabilen titreşimi 16-16000 Hz arasındadır. Frekansın 16000 Hz'nin üzerine çıkması durumunda kulakla duyulamayan ve ultrases denilen ses dalgaları ortaya çıkmaktadır. Ultrases geçiş hızı ultrases dalgasının beton numunenin bir yüzünden diğerine geçiş süresi (t) ve iki yüz arasındaki uzaklığın (l) hassas olarak ölçülmesi ve aşağıdaki eşitlik ile hızın (v) hesaplanması sonucu bulunur (Topçu, 2006).

$$v = l / t \text{ (km/sn)} \quad (1)$$

Ultrases geçiş hızı deneyi bize betonun iç yapısı hakkında fikir vermekte yardımcı olmaktadır. Betonun bir yüzünden gönderilen ses dalgaları beton içinde ilerlerken boşluklarla karşılaşır. Ultrases geçiş hızının düşük olması betonun boşluklu bir yapıya sahip olduğunu ve beton kalitesinin düşük olduğunu göstermektedir. Çizelge 5.3.2'de Ultrases geçiş hızı değerleri ve beton kalitesi arasındaki ilişki verilmektedir.

Beton numunelerinin 2, 7 ve 28. günde sertleşmiş beton birim ağırlıklarına bakılmıştır. Aşağıdaki 2 numaralı eşitlikteki gibi numune ağırlıkları hacimlerine bölünerek birim ağırlık değerleri kg/cm^3 cinsinden hesaplanmıştır.

$$D=m/V \text{ (kg/cm}^3\text{)} \quad (2)$$

Şimşek (2004), sertleşmiş betonda birim ağırlık hesaplanırken numunenin bulunabileceği üç durum kabul edilir. Kalıptan çıkarıldıktan sonraki numune kütlesi; numune kütlesinin % 0.1'i doğrulukla teslim alındığı durumda tartılır. Eğer numune suya doygun durumda ise; 20 °C sıcaklıktaki su içerisine, 24 saat aralıkla yapılan tartımda kütle değişimi % 0.2'den az hale gelinceye kadar batırılır. Deneyden önce, en az 72 saat süreyle su içerisinde tutularak küre tabii tutulan numunenin, sabit doygun kütleye ulaştığı kabul edilir. Bu tartımlarda numune yüzeyindeki serbest su silinerek temizlenir. Suya doygun numune kütlesi kilogram (kg) olarak kaydedilir. Etüv kurusu durumundaki numune kütlesi hesaplanırken numune 80 °C sıcaklıkta etüvde, 24 saat aralıkla yapılan tartımdaki kütle değişimi % 0.2'den az oluncaya kadar tutulmuştur.

Betonun dayanımı, betonun taşıyabileceği en büyük gerilme olarak tanımlanabilir. Dayanım beton sektöründe gerek kalite kontrolü gerekse kullanılacak betonun tanımlanması için en çok kullanılan özeliştir. Ayrıca betonun basınç dayanımı, eksenel yük etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir (Topçu, 2006; Erdoğan, 2003).

$$\sigma=P/A \text{ (MPa)} \quad (3)$$

Kesit alanı önceden bulunmuş numuneye uygulanan yükleme işlemi numune kırılıncaya kadar sürdürülmekte ve kırılma sırasında durdurulmaktadır. Basınç dayanımı yukarıdaki 3 numaralı eşitlikteki gibi numunenin kırılmasını sağlayan kuvvetin, numunenin kesit alanına bölünmesi sonucunda bulunmaktadır.

5.4. Seyitömer Uçucu Küllü ve Taban Küllünün Çimento Üretiminde Kullanılması

Bu çalışmada Seyitömer Termik Santralinden sağlanan taban küllünün (TK) Portland uçucu küllü çimento üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla Eskişehir çimento fabrikasından CEM I 42.5 R Portland çimentosu ve Seyitömer TK'sı kullanılmıştır. Bu amaçla taban külleri 110 °C'de fırınlanıp soğuması için bir süre bekletilmiş, daha sonra bir saat bilyalı değirmende öğütülmüştür. Öğütülmeden önce taban küllünün 125 µm elek altı inceliğinin 1445 cm²/gr, 125-250 µm elek altı inceliğinin 271 cm²/gr ve 250 µm boyutundan daha iri olan kısımlarının ise inceliğinin ise ölçülemeyecek kadar iri olduğu görülmüş. Öğütme sonrası TK'da 5167 cm²/gr incelik elde edilmiştir. Öğütülmüş karışım laboratuvar koşullarında üretilen CEM I 42.5 R çimentosu ile ağırlıkça % 5, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında yer değiştirilerek Portland uçucu küllü çimento numuneleri oluşturulmuştur. Ayrıca bir grupta kontrol amacı ile TK kullanılmamış sadece CEM I 42.5 R çimentosu kullanılmıştır ve K ile gösterilmiştir. Çizelge 5.4.1'de çimentoların kodları ve bileşim oranları gösterilmiştir.

Çizelge 5.4.1. Çimentoların kodları, birleşim oranları ve adlandırılması

	ÖTK Oranı (%)	CEM I	Toplam	
Referans CEM I 42.5 R	-	100	100	K
CEM II/A-V	5	95	100	ETK 5
CEM II/A-V	10	90	100	ETK 10
CEM II/A-V	15	85	100	ETK 15
CEM II/A-V	20	80	100	ETK 20
CEM II/B-V	30	70	100	ETK 30

Üretilen çimentolar ile TS EN 196-1 standardına uygun şekilde 4x4x16 cm boyutlarında prizmatik harç numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan harç numuneleri 2, 7, 28 ve 56 gün süreyle 20±2 °C sıcaklıkta kirece doymun kür havuzunda bekletilmiştir. Üretimi gerçekleştirilen Portland uçucu küllü çimentolarla üretilen çimento hamurlarının özgül ağırlığı, özgül yüzeyi, priz başlangıç-bitiş sürelerine bakılmış, çimento harçlarının ultrases geçiş hızları, eğilme ve basınç dayanımları incelenmiştir.

5.5. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması

Kütahya Seyitömer Termik Santralinden alınan sepe kül (SK) ve taban külünün (TK) gazbeton üretiminde agrega yerine kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton karışım suyu olarak Eskişehir şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun sülfat içeriği 5.8 mg/lt, sertliği 3.9 mg/lt ve pH 6.3'tür. Çalışmada çimento Eskişehir çimento fabrikasından alınan CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Ayrıca karışımlarda kuvars kumu ve alüminyum tozu kullanılmıştır. İnce toz halindeki alüminyum, çimento karışımı ile reaksiyona girerek hidrojen gazı ortaya çıkartmaktadır. Bu gaz çıkışı hafif beton döküm hamurunun kabarmasını ve mikro gözenekli bir yapıyı oluşmasını sağlamaktadır. Çizelge 5.5.1'de gazbetonların karışım oranları ve kodları gösterilmiştir.

Çizelge. 5.5.1. Kullanılan malzemelerin karışım oranları

Numune Tipi	Çimento (gr)	Su (gr)	Kireç (gr)	Al Tozu (gr)	Kuvars (gr)	Taban külü (gr)
% 25 TKG	300	350	78	0.65	412	138
% 50 TKG	300	450	78	0.65	275	275
% 75 TKG	300	430	78	0.65	138	414
% 100 SKG	300	500	78	0.65	-	550
% 50 TSKG	300	500	78	0.65	-	550

Öncelikle 1 m³ hacimde gerekli olan çimento, kuvars, taban külü, kireç, su ve alüminyum tozu miktarları belirlenmiştir. Denemeler sırasında TK'lar % 25, % 50 ve % 75 oranlarında ağırlıkça kuvars kumu ile yer değiştirilerek kullanılmaktadır. Üretilen gazbeton numunelerinden bir grupta % 50 TK ve % 50 SK ve diğer grupta ise % 100 SK kullanılmıştır. Malzemeler hassas olarak tartıldıktan sonra mikserde önce 1 dakika kuru ve 30 sn yaş olarak karıştırılmıştır. Su ile sönmemiş kirecin reaksiyonu sonucunda ısı artışı gerçekleşen karışıma süspansiyon halindeki alüminyum tozu eklenmektedir.



Şekil 5.5.1. Karışımın kalıplara dökülmesi **Şekil 5.5.2.** Kalıplara dökülmüş karışım

Çamur halindeki karışım etüvde 50 °C'de ısıtılmış olan 70x70x70 mm boyutlarındaki çelik kalıplara hacimce % 75 seviyesinde dolacak şekilde dökülmüştür. Şekil 5.5.1 ve Şekil 5.5.2'de numunelerin kalıplara doldurulduğu ve Şekil 5.5.3'te ise numunelerin ısı nedeniyle kabarması gösterilmektedir. Etüvde, numunelerin bileşimindeki kireç ve alüminyumun reaksiyona girmesi ile gaz çıkışı gözlenmiş ve sonucunda gazbeton numunelerinde hacim artışı olmuştur. Döküm sonrası yaklaşık 2 saat süreyle etüvde 50 °C'de kür edilen gazbeton numuneleri kalıplarından alınmıştır. Üretilen gazbeton numunelerinin gaz çıkışı nedeniyle oluşan kabarmış kısmı kesilmiştir.



Şekil 5.5.3. Etüvde, kireç-alüminyumun reaksiyonu sonucu numunelerin kabarması

Etüv sonrası numuneler dikkatle kalıplarından çıkarılarak otoklav cihazına yerleştirilmiştir. Bu cihaz sabit hacimde ve yüksek basınç altında gazbeton numunelerin son dayanıma ulaşmalarını sağlamaktadır. Numunelerin otoklavda sabit basınç ve sıcaklıkta kalması gereklidir bu nedenle cihaz dikkatli ve iyi bir şekilde kapatılmalıdır. İlk kür sonrası gazbeton numuneleri Şekil 5.5.4'te gösterilen otoklavda 14 saat süreyle sabit hacimde 13 bar buhar basıncı altında 100 °C'de bekletilmektedir.



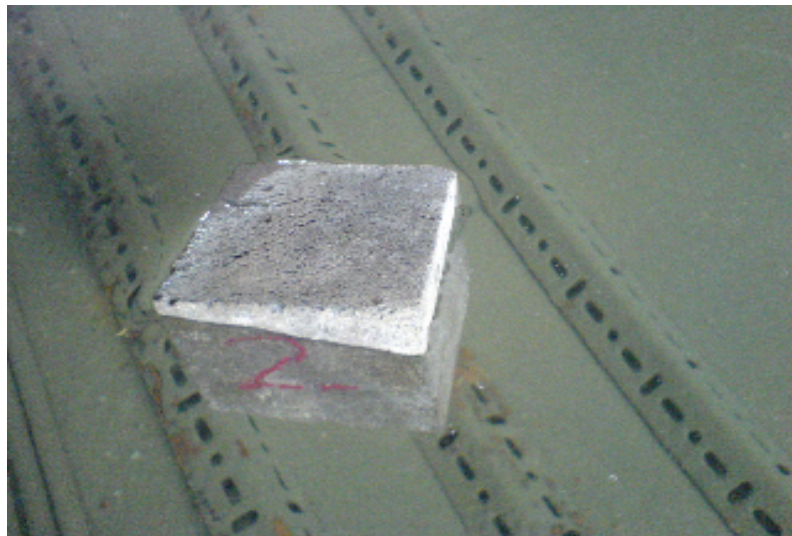
Şekil 5.5.4. Deneyde kullanılan otoklav

Otoklav içerisinde kür uygulanan numuneler bu sürede son dayanım ve hacim sabitliğine ulaşmışlardır. Otoklavdan çıkarılan numuneler üzerlerinde sırasıyla birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Otoklavdan çıkarılan gazbeton numunelerinin boyutları kumpas yardımıyla ölçülerek hacimleri hesaplanmıştır. Hacmi hesaplanan gazbeton numuneleri sırayla tartılarak kütleleri bulunmuş ve hacimlerine oranlanmasıyla birim ağırlık değerleri bulunmuştur.

Çizelge 5.5.2. TS 453'e göre gözenekli beton yapı malzeme ve elemanlarının sınıfları

Sınıfı	En Büyük Basınç Dayanımı kgf/cm ² (MPa)	En Küçük Basınç Dayanımı kgf/cm ² (MPa)	Birim Hacim Ağırlığı	Ortalama Birim Hacim Ağırlığı	Sınıf İşareti
G1	15 (1.5)	10 (1.0)	0.4	0.31 ile 0.40	G1/0.4
			0.5	0.41 ile 0.50	G1/0.5
G2	25 (2.5)	20 (2.0)	0.4	0.31 ile 0.40	G2/0.4
			0.5	0.41 ile 0.50	G2/0.5
G3	35 (3.5)	30 (3.0)	0.5	0.41 ile 0.50	G3/0.5
			0.6	0.51 ile 0.60	G3/0.6
G4	50 (5.0)	40 (4.0)	0.6	0.51 ile 0.60	G4/0.6
			0.7	0.61 ile 0.70	G4/0.7
G6	75 (7.5)	60 (6.0)	0.7	0.61 ile 0.70	G6/0.7
			0.8	0.71 ile 0.80	G6/0.8

Günü gelen gazbeton numunelerine ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Daha sonra elde edilen basınç dayanımı sonuçlarının TS 453'te yer alan Çizelge 5.5.2'deki gazbeton sınıflarından hangisine ulaştığı belirlenmiştir. Gazbeton numunelerinin birim ağırlıklarının suyun birim ağırlığından daha küçük olması nedeniyle Şekil 5.5.5'te olduğu gibi su üzerinde yüzmektedirler.



Şekil 5.5.5. Üretilen gazbeton numunesi

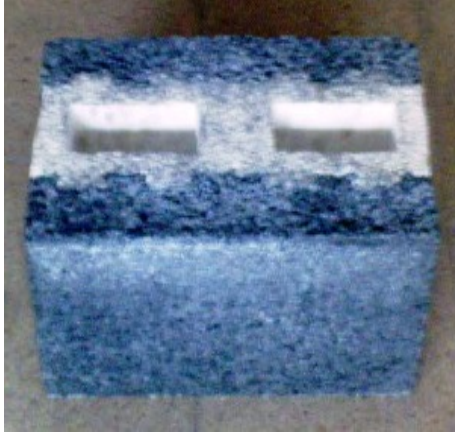
5.6. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda Kullanılması

Seyitömer uçucu külü, Seyitömer taban külü, Azot fabrikası taban cürufu ve polystren strafor dolgusu kullanılarak hafif duvar bloğu üretimi yapılmıştır. Çizelge 5.6.1’de üretilen hafif blokların kodları ve karışım oranları gösterilmektedir. Kullanılan Seyitömer uçucu kül (UK) miktarı 1 birim olarak kabul edilmiş ve UK’ya göre ağırlıkça karışım oranları belirlenmiştir. Gazblokların üretimi sırasında boşluk oluşturmak amacı ile alüminyum tozu kullanılmıştır. Çizelgede dikkat çekilecek diğer bir nokta ise flyblok II’de Uçucu kül miktarı azaltılarak taban külü eklenmiştir. Gazblok ile flyblok I’in çimento dozajları mekanik özellikleri karşılaştırabilmek amacıyla sabit alınmaktadır.

Çizelge 5.6.1. Blok elemanların karışım oranları ve kodları

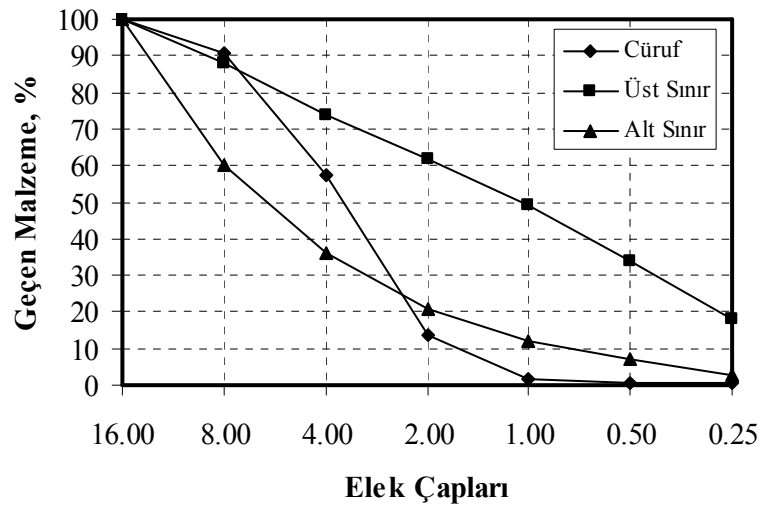
Malzeme	Flyblok I (kg)	Flyblok II (kg)	Gazblok (kg)
Çimento	2.5	3	2.5
Uçucu Kül	1	0.35	1
Taban Külü (0-600 µm)	0	0.65	4
Azot Fab. Cüruf (1-10)	9	9	0
Al Tozu	0	0	0.005
Kireç	0	0	0.5
Strafor	1	1	1

Flyblok elemanı üretiminde blok ağırlığını düşürerek işçilik ve nakliyat masraflarını düşürmek, atık değerlendirmek ve ısı yalıtımı yapmak amacı ile Azot fabrikasından alınan taban cürufu agrega olarak oldukça yüksek miktarlarda kullanılmaya çalışılmıştır. Gazblok elemanında ise Azot fabrikası taban cürufu kullanılmamıştır. Gazblokta boşluk oluşturmak için alüminyum tozu kullanılmıştır. Ayrıca gazbeton üretim sırasında otoklav kullanılmamıştır. Üretilen 7 günlük hafif beton bloklar üzerinde birim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır.



Şekil 5.6.1. Üretilen flyblok elemanı Şekil 5.6.2. Üretilen gazblok elemanı

Şekil 5.6.1 ve Şekil 5.6.2’de üretimi yapılan flyblok ve gazblok gösterilmektedir. Üretim aşamasında taban cürufu (TC) elenmiş ve malzemenin 0-10 mm elek aralığında olduğu görülmüştür. Şekil 5.6.3’te verilen Azot Fabrikası taban cürufunun elek analizinden görüleceği gibi malzemenin 2 mm elek altı yüzdeleri oldukça düşüktür. Çalışmada 0-2 mm elek altı değerleri Seyitömer TK’sı ile artırılmaya çalışılmıştır.



Şekil 5.6.3. Azot fabrikası taban cürufunun elek analizi

5.7. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanılması

Bu çalışmada Seyitömer uçucu külü (UK) kullanılarak seramik yapıştırıcısı üretilmeye çalışılmaktadır. Üretilen seramik yapıştırıcılarında CEM I 42.5 R Portland çimentosu ve standart rılem kumu kullanılmıştır. Karışımlarda Seyitömer UK'sı rılem kum ve çimento ile ağırlıkça % 0, % 10, % 20 ve % 30 oranlarında yer değiştirilerek kullanılmıştır. Kontrol serisinde de uçucu kül kullanılmamış ve K0 olarak adlandırılmıştır. Çizelge 5.7.1'de üretilen seramik yapıştırıcılarının kodları ve bileşim oranları gösterilmektedir. Ayrıca yapılan bu deneysel çalışmada günümüzde en çok kullanılan seramik yapıştırıcıları ile harç malzemesinin ağırlıkça % 25'i oranında su kullanılarak numuneler üretilmiş ve referans kabul edilerek karşılaştırmalar yapılmıştır. Referans alınan seramik yapıştırıcıları ise A, D, M ve K harfleri ile simgelenmektedir.

Çizelge 5.7.1. Kullanılan malzemeler ve kodları

Kodlar	Su (gr)	Çimento (gr)	Kum (gr)	Uçucu Kül (gr)
K0	225	450	1350	-
UK1	225	405	1350	45
UK2	300	360	1350	90
UK3	315	315	1350	135
KK1	300	450	1215	135
KK2	315	450	1080	270
KK3	350	450	945	405

Üretilen numuneler TS EN 1348'de belirtilen kür koşullarına uygun şekilde saklanmıştır ve ilgili deneyler uygulanmıştır. Üretilen numuneler 3 farklı kür ortamında tutulmuştur. Bunlar sırasıyla; numuneler 28 gün boyunca laboratuvar ortamında bekletilmiştir, 7 gün laboratuvar ortamında bekletilip daha sonraki 21 gün kür havuzunda tutulmuştur ve diğer kür koşulu ise ilk 14 gün laboratuvar ortamında sonraki 14 gün ise hava dolaşımli 70°C sıcaklıklılı hava dolaşımli etüvde tutulmuştur. Şekil 5.7.1'de numunelerin bekletildiği laboratuvar ortamı ve etüv ortamı gösterilmektedir.



Şekil 5.7.1. Standart ve etüv ortamı

Hazırlanan numuneler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme ve basınç deneyleri yapılmıştır. Ayrıca tüm seriler için harçlar hazırlanarak çekme yapışma deneyi yapılmıştır. Çekme yapışma deneyinin yapılabilmesi için gerekli olan alt ve üst başlıklar laboratuvarında üretilmiştir. Alt başlıklar için CEM I 42.5 R çimentosu kullanılarak hazırlanan betonlar Şekil 5.7.2’de görüldüğü gibi kalıplara dökülmüş ve 420a Φ 14 mm yapı çeliği filiz olarak ekilmiştir. Kalıplardan çıkartılan kesilmemiş alt başlıklar, Şekil 5.7.3’te gösterildiği gibi bir kenarı 10 cm olacak şekilde kesilmiştir.



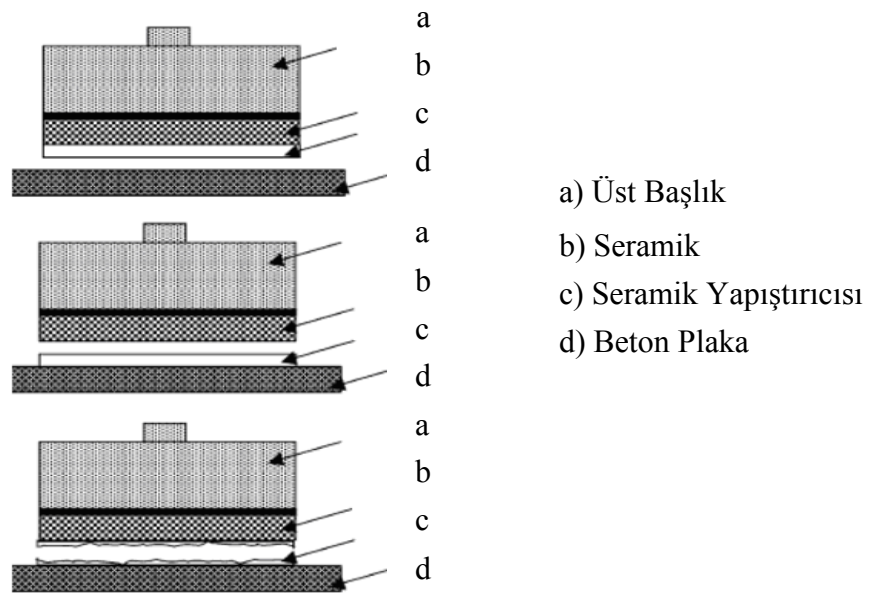
Şekil 5.7.2. Alt başlıkların hazırlanışı

Şekil 5.7.3. Alt başlıkların kesilmesi



Şekil 5.7.4. Alt ve üst başlıklar

Şekil 5.7.4'te çekme yapışma deneyi için yapılan alt başlık ve üst başlıklar gösterilmiştir. Çekme yapışma deneyi için, Şekil 5.7.5'te b ile gösterilen 50x50 mm seramikler a ile gösterilen üst başlıklara yüksek dayanımlı bir yapıştırıcı (epoksi) ile yapıştırılmıştır. Oluşturulan bu sistem d'de gösterilen alt başlığa c ile ifade edilen seramik yapıştırıcısıyla yapıştırılarak çekme yapışma deney numuneleri hazırlanmıştır.



Şekil 5.7.5. Numunelerin deneye hazır hale getirilmesi



Şekil 5.7.6. Seramiklerin alt başlıklara yapıştırılması

Seramiklerin, alt başlıklara KK, UK, kontrol ve referans yapıştırma harçları ile yapıştırılması sonrasında, deneyler için TS EN 1348'de belirtilen kür ortamlarında saklanmıştır. Bir grup laboratuvar ortamında 28 gün bekletilmiş ve diğer grup ise 7 gün laboratuvar ortamında bekletilip daha sonra kür havuzunda bekletilmiştir. Kür süreleri tamamlanan numuneler üzerinde Şekil 5.7.7'de gösterilmiş olan çekme aleti ile çekme yapışma deneyi uygulanmıştır. Alt ve üst başlıklar Şekil 5.7.7'deki gibi çekme çenelerine tutturulmuştur. Sabit hızla 250 N/s'lik çekme kuvveti uygulanarak alt ve üst başlıkların birbirinden ayrılması sağlanmıştır. Seramik ile alt başlığı ayıran kuvvet ölçülmüş beton alanına bölünerek çekme yapışma dayanım değerleri belirlenmiştir.



Şekil 5.7.7. Çekme yapışma deneyi

BÖLÜM 6

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Kütahya Seyitömer Termik Santralinden elde edilen uçucu küllerin analiz çalışmalarında Seyitömer uçucu külünün üç farklı tipte olduğu görülmüştür. Bunlar sepere kül, ham kül ve taban külüdür. İncelenen dört farklı standarda göre Seyitömer uçucu külünün çimento ve beton sektöründe kullanımının uygun olduğu Çizelge 6.1’de görülmektedir. Ayrıca TS EN 197-1 ve ASTM C 618’e göre düşük kireç içerikli ve silissi olması nedeniyle F ve V tipi uçucu kül sınıfına girdiği görülmektedir (Türker vd., 2007). Seyitömer TK’sı 45 µm elek altı miktarının düşük olması nedeniyle standart dışı kabul edilmektedir. Seyitömer taban külü ve uçucu külünün benzer kimyasal özellikler taşımaktadır ancak taban külünün kızdırma kaybının yani yanmamış karbon oranının 10.85 değeri ile çimento ve beton standartların istediği değerlerin üstünde olması inşaat alanında kullanımını sınırlandırmaktadır (Erdoğan vd., 2004; Türker vd., 2007).

Çizelge 6.1. Seyitömer uçucu külünün kimyasal özellikleri (Erdoğan vd., 2004)

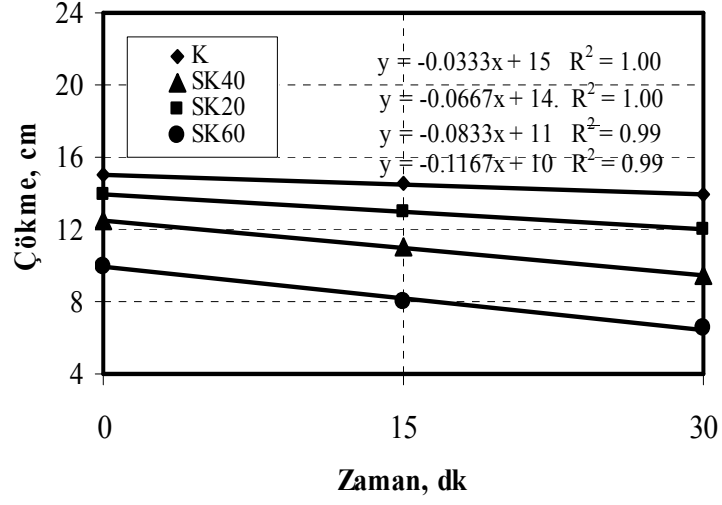
Oksit	Uçucu Kül	Taban Külü	TS EN 450	TS EN 197-1	TS 639	ASTM C 618
SiO ₂	54.49	51.51				
Al ₂ O ₃	20.58	18.76				
Fe ₂ O ₃	9.27	9.57				
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	84.34	79.84			>70.00	>70.00
CaO	4.26	5.02				
MgO	4.48	0.93		<5.00		
K ₂ O	2.01	2.56			<5.00	
Na ₂ O	0.65	0.52				
SO ₃	0.52	-	<3.00		<5.00	<5.00
KK	3.01	10.85	<5.00		<10.00	<6.00
Serbest CaO	0.26	-	<1.00			
Reaktif SiO ₂	39.01	-	>25.00	>25.00		
Reaktif CaO	2.49	-		>10.00		

6.1. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması

Uçucu küllerin betondaki etkilerini incelemek amacıyla Seyitömer uçucu külü ve taban külü kullanılmıştır. Seyitömer uçucu külleri 2 gruba ayrılmaktadır, bunlar elektrofiltrelerle baca çıkışında tutulan ve tane boyutları 0-200 µm arasında olan ham kül (HK) ve ham külün elenerek yaklaşık % 98'inin 90 µm altına indirilmesiyle elde edilen küllere sepere kül (SK) denilmektedir. Bunların dışında tane boyutu daha iri, özgül ağırlığı biraz daha fazla olan ve bu nedenle kazana çöken küllere ise taban külleri (TK) adı verilmektedir. SK, HK ve TK'ların % 20, % 40 ve % 60 oranlarında ağırlıkça çimento ile yer değiştirilerek beton numuneler oluşturulmuştur. Ayrıca külsüz kontrol betonu (K) üretilmiştir. Üretilen betonlara çökme, ultrases geçiş hızı, birim ağırlık ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Çizelge 6.1.1'de SK, HK ve TK ile üretilen numunelerin çökme değerleri verilmiştir. Üretilen beton numuneler ile kontrol betonu (K) karşılaştırıldığında çökme değerlerinin zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

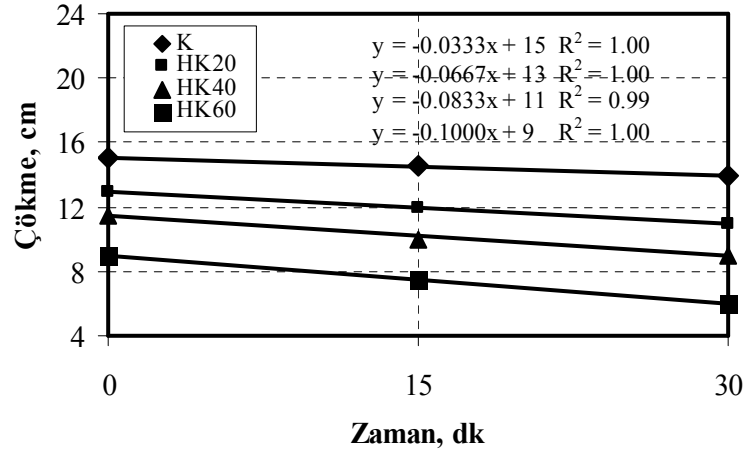
Çizelge 6.1.1. Seyitömer SK, HK ve TK'ları ile üretilen betonların çökme değerleri

Zamana Göre Taban Külü Çökme Değerleri, cm			
Kodlar	0 dk	15 dk	30 dk
K	15	14.5	14
SK 20	14	13	12
SK 40	12.5	11	9.5
SK 60	10	8	6.5
Zamana Göre Ham Kül Çökme Değerleri, cm			
HK20	13	12	11
HK40	11.5	10	9
HK60	9	7.5	6
Zamana Göre Sepere Kül Çökme Değerleri, cm			
TK 20	13.5	13	11
TK 40	10.5	9	8
TK 60	8.5	7.5	6



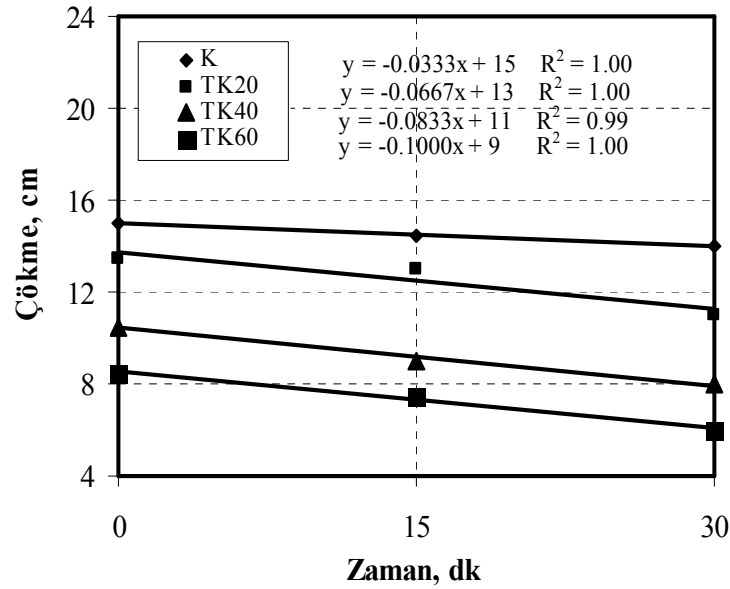
Şekil 6.1.1. Sepere küllü betonların çökme deneyi sonuçları

Şekil 6.1.1, Şekil 6.1.2 ve Şekil 6.1.3'te SK, HK ve TK betonlarının zamana bağlı çökme değerleri görülmektedir. Üretilen betonlarda SK, HK ve TK miktarlarının artması ile çökme değerleri azalmaktadır. SK kullanılan betonların ilk çökme değerleri ile K kontrol betonunun çökme değeri karşılaştırıldığında SK miktarına bağlı olarak % 7, % 17 ve % 33 oranlarında çökme kayıpları gözlemlenmiştir. Zamanın ilerlemesi ile bu oranlar % 14, % 32 ve % 54'e çıkmaktadır. HK kullanılan betonlarda ilk çökme değerlerinin K betonuna göre % 13, % 23 ve % 40 oranlarında azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.1.2. Ham küllü betonların çökme deneyi sonuçları

Şekil 6.1.3'te TK kullanılan betonların çökme değerleri gösterilmektedir. TK kullanılan taze beton numuneleri ile K kontrol betonu karşılaştırıldığında ilk çökme değerleri arasında % 10, % 30 ve % 43 oranlarında azalmalar görülmektedir. Bu oranların SK ve HK kullanılan betonlara göre daha fazla olmasının nedeni TK'larda yanmamış karbon miktarının fazla olması ve suya gereksiniminin daha yüksek olmasıdır. Yarım saatin sonunda yapılan ölçümler sonucunda kullanılan TK oranının artması sonucunda sırasıyla % 21, % 43 ve % 57 oranlarında çökme kayıpları olmuştur.



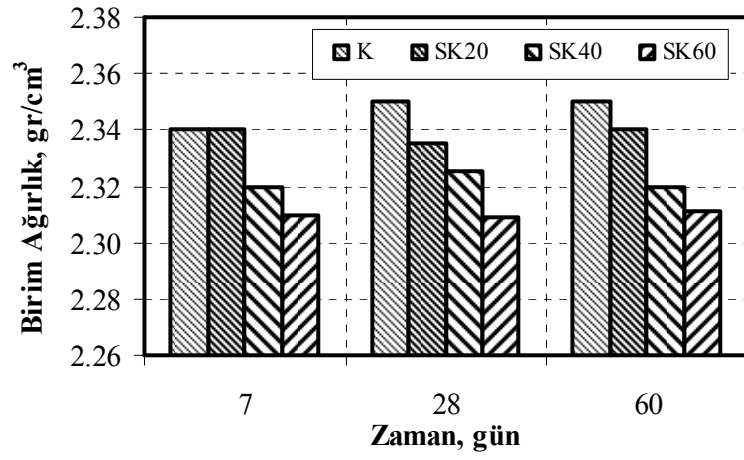
Şekil 6.1.3. Taban küllü betonların çökme deney sonuçları

Yapılan deneme betonlarının ilk çökme değerleri incelendiğinde, TS EN 206-1 standardına göre S3 sınıfında oldukları fakat 30 dk'nın sonunda çökme kayıpları nedeniyle S2 sınıfı değer aralığını sağladıkları görülmüştür. Şahit olarak kabul edilen K beton numunesinde ilk çökme değeri diğerlerine göre yüksek çıkmıştır bunun nedeni su emmesi yüksek olan SK, HK ve TK'lardan herhangi birinin olmamasıdır. K kontrol betonunun çökme kayıplarının diğer beton numunelerine göre az olduğu görülmektedir.

Sertleşmiş beton numuneler üzerinde birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı deneyleri uygulanmıştır. Betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine ve beton içerisinde yer alan boşluk miktarına bağlı olduğu bilinmektedir. Çizelge 6.1.2’de SK, HK ve TK’lı üretilen beton numunelerinin birim ağırlığın azalmasıyla birlikte ultrases geçiş hızı değerlerinin de azaldığı görülmektedir.

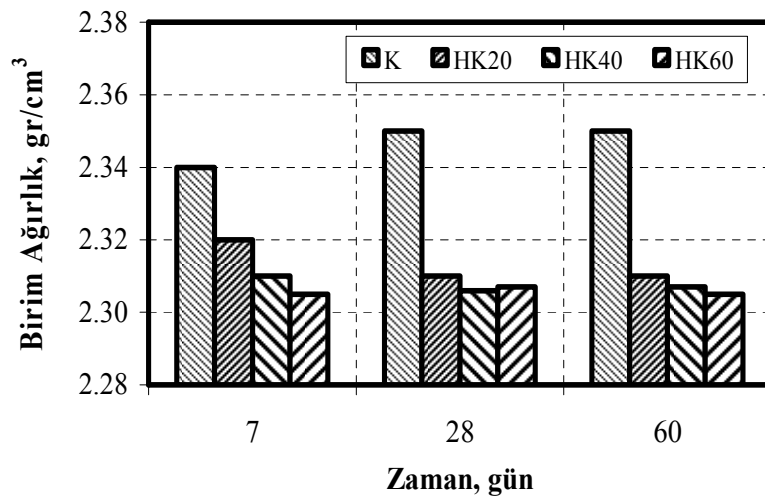
Çizelge 6.1.2. SK, HK ve TK’lı betonların birim ağırlık ve ultrases geçiş hızları

Kod	Zaman, gün	Birim Ağırlık, gr/cm³	Ultrases Geçiş Hızı, km/s
K	7	2.340	3.400
	28	2.350	3.450
	60	2.350	3.500
SK20	7	2.340	3.150
	28	2.335	3.200
	60	2.340	3.220
SK40	7	2.320	3.080
	28	2.325	3.120
	60	2.320	3.150
SK60	7	2.310	3.020
	28	2.309	3.050
	60	2.311	3.100
HK20	7	2.320	3.050
	28	2.310	3.100
	60	2.310	3.150
HK40	7	2.310	3.000
	28	2.306	3.080
	60	2.307	3.100
HK60	7	2.305	2.900
	28	2.307	3.000
	60	2.305	3.040
TK20	7	2.312	2.930
	28	2.310	2.980
	60	2.308	3.050
TK40	7	2.305	2.840
	28	2.306	2.900
	60	2.305	3.000
TK60	7	2.301	2.790
	28	2.300	2.850
	60	2.302	2.900

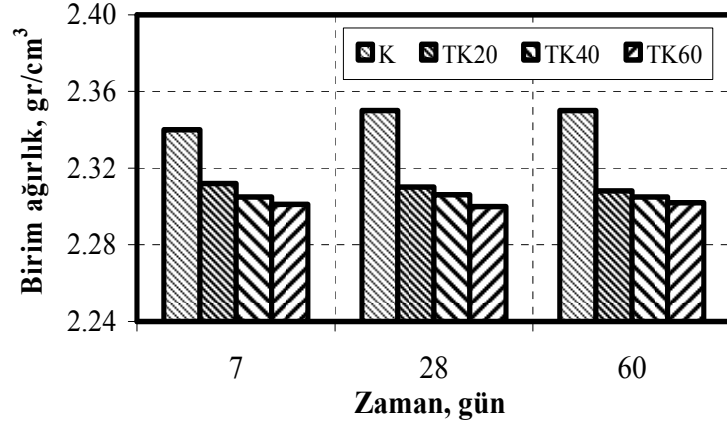


Şekil 6.1.4. Sepere küllü betonların birim ağırlık deney sonuçları

Şekil 6.1.4 ve Şekil 6.1.5'te gösterildiği gibi SK, HK oranının artması ile birim ağırlık değerleri azalmaktadır. K kontrol betonunun 28. gündeki birim ağırlık değeri 2.35 gr/cm^3 'e göre bu azalma yüzdelerinin SK20, SK40, SK60'ta % 0.6, % 1 ve % 1.7 oranlarında olduğu görülmüştür. HK ile üretilen betonlarda ise K kontrol betonuna göre azalma yüzdeleri HK20, HK40, HK60'ta % 1.7, % 1.7 ve % 1.8 oranında değişmiştir.

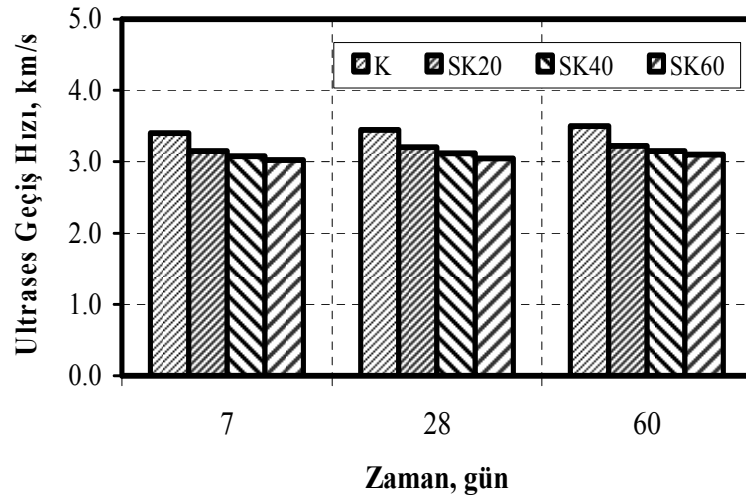


Şekil 6.1.5. Ham küllü betonların birim ağırlık deney sonuçları

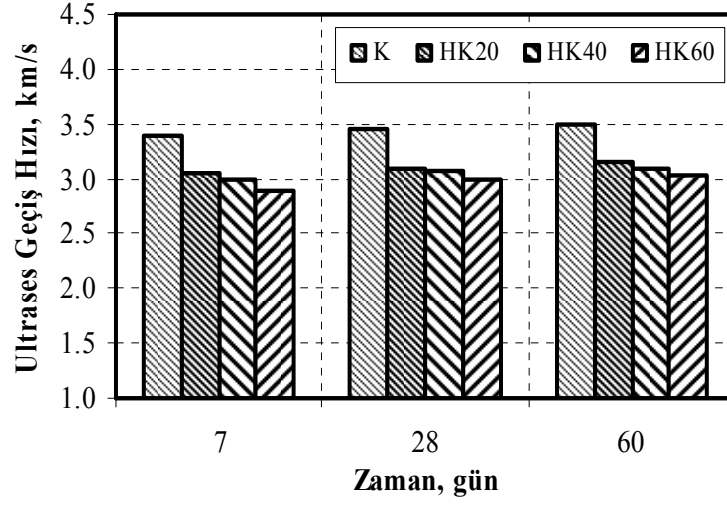


Şekil 6.1.6. Taban küllü betonların birim ağırlık deney sonuçları

Şekil 6.1.6’da K beton serisinin birim ağırlığının diğerlerine göre daha fazla olduğu ve zamana bağlı olarak arttığı görülmektedir. TK oranının artması ile birim ağırlık değerleri azalmaktadır. K kontrol betonuna göre azalma yüzdeleri TK20, TK40, TK60’ta % 1.7, % 1.9 ve % 2.1 oranlarında değişmektedir. Şekil 6.1.7’de görüldüğü gibi SK oranının artması ile 7, 28 ve 60 günlerde ultrases geçiş hızları azalmaktadır. K kontrol betonunun 28. gündeki ultrases geçiş hızına göre azalma yüzdeleri SK20’de % 7, SK40’ta % 10 ve SK30 betonunda % 12 oranlarında olduğu görülmektedir.

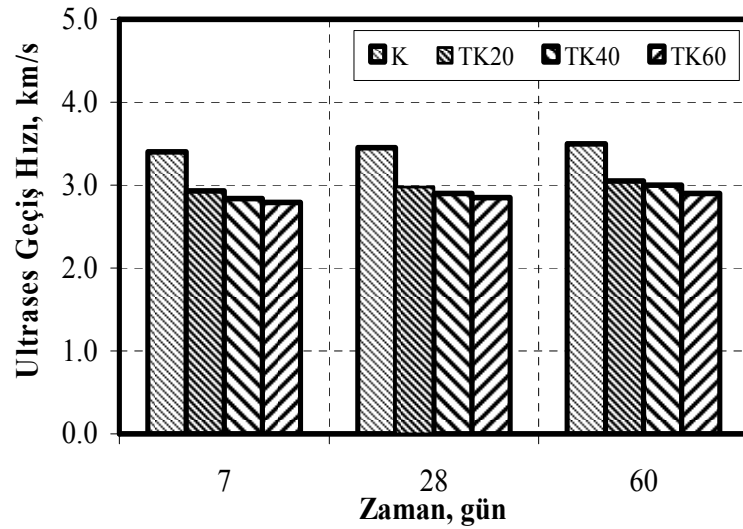


Şekil 6.1.7. Sepere küllü betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları



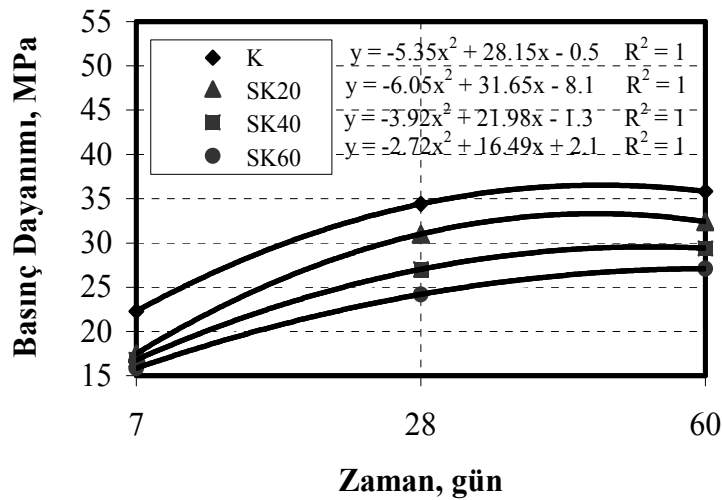
Şekil 6.1.8. Ham küllü betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Şekil 6.1.8 ve Şekil 6.1.9’da gösterildiği gibi HK, TK oranının artması ile ultrases geçiş hızı değerleri azalmaktadır. K kontrol betonunun 28. gündeki ultrases geçiş 3.45 km/s’ye göre bu azalma yüzdelerinin HK20, HK40, HK60’ta % 10, % 11 ve % 13 oranlarında olduğu görülmüştür. TK ile üretilen betonlarda K kontrol betonuna göre azalma yüzdeleri TK20, TK40, TK60’ta % 14, % 16 ve % 17 oranlarında değişmiştir.



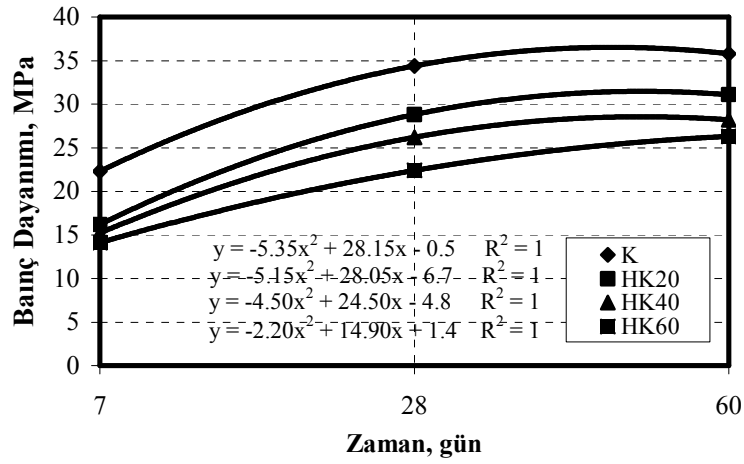
Şekil 6.1.9. Taban küllü betonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Seyitömer uçucu ve taban küllerinin tane boyutlarına bağlı olarak basınç dayanımlarında değişimler görülmektedir. En düşük dayanımlar TK numunelerinde elde edilmiştir. Tane boyutu ince olan sepere küllü numunelerle karşılaştırıldığında dayanımlarda yaklaşık olarak % 15 oranında kayıplar dikkat çekmektedir. Uygulanan kür süresiyle birlikte üretilen beton numunelerinin dayanımlarında arttığı görülmektedir.



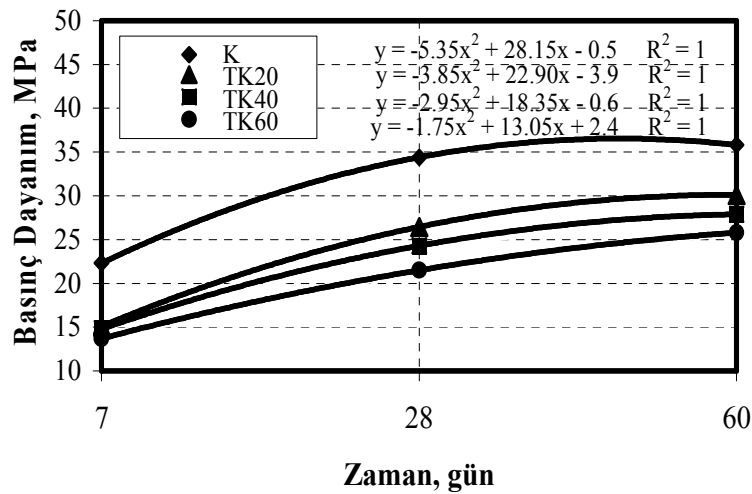
Şekil 6.1.10. Sepere küllü betonların basınç dayanımı deney sonuçları

Şekil 6.1.10'da SK kullanılan beton numunelerinin basınç dayanım sonuçları görülmektedir. SK miktarına bağlı olarak 7 günlük erken dayanımlarında K kontrol betonu ile % 22, % 25 ve % 29 oranında farklar gözlemlenmektedir. Bu oranlar 28 günlük basınç dayanımlarında sırasıyla % 10, % 22 ve % 30 olarak değişmektedir. SK60 beton serisinin basınç dayanımlarındaki artışlar 7 ve 28 günlük zaman diliminde % 53, 28 ve 60 günlük zaman diliminde ise % 12 oranlarında değişmektedir. K kontrol betonunda bu oranların % 54 ve % 4 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlar dikkate alındığında SK kullanılması ile 28 güne kadar alınan dayanımların yavaş olmaktadır ancak zamanın ilerlemesi ile dayanımlar K serisine göre hızlı artmaktadır. Bu durum SK oranının artırılmasının dayanıklılığı olumlu yönde etkilediğini göstermektedir.



Şekil 6.1.11. Ham küllü betonların basınç dayanımı deney sonuçları

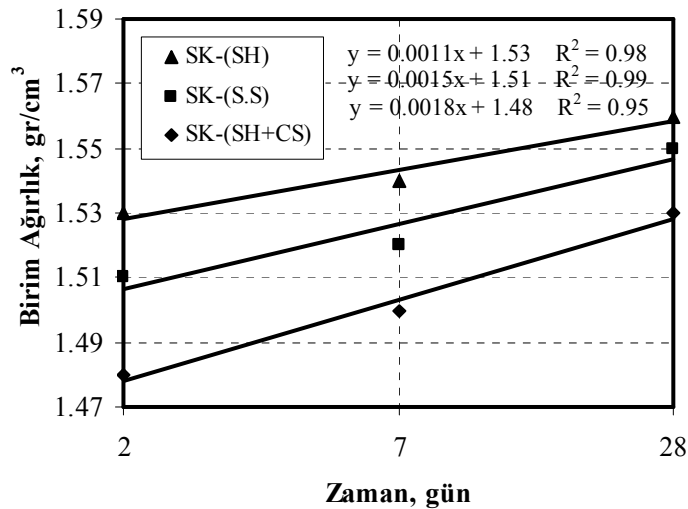
Şekil 6.1.11 ve Şekil 6.1.12’de HK ve TK’lı betonların basınç dayanım sonuçları gösterilmektedir. Üretilen bütün numunelerin 28 günlük dayanımlar incelendiğinde en düşük dayanım 21.5 MPa sonucu ile TK60 numunesinde elde edilmiştir. Bu değer TS EN 206-1 standardında C 16/20 beton dayanım sınıfına girmektedir. Şekil 6.1.12’de 28 günlük dayanımlara bakıldığında Seyitömer TK’sı ve 240 dozaj çimento ile C 20/25, 140 dozaj çimento ile C 16/20 dayanım sınıfında beton üretilebildiği görülmektedir.



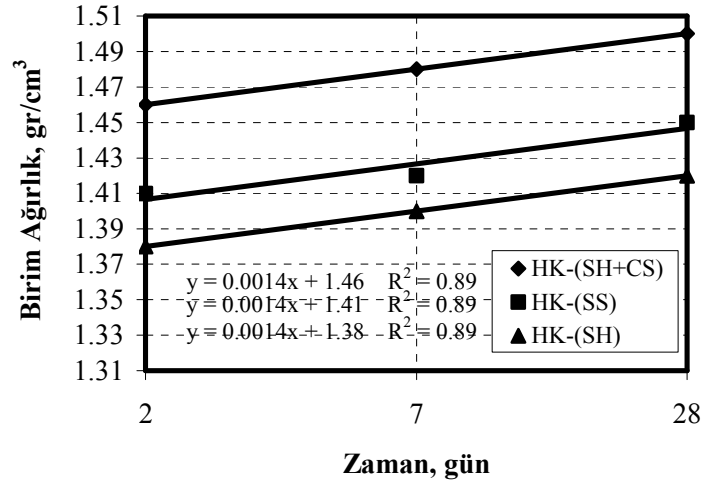
Şekil 6.1.12. Taban küllü betonların basınç dayanımı deney sonuçları

6.2. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu

Alkalilerle aktive edilmiş Seyitömer sepere külü (SK), ham külü (HK) ve taban külünün (TK) harçlarla değerlendirilmesine yönelik çalışmada sodyum hidroksit (NaOH), cam suyu olarak bilinen sodyum silikat (Na_2SiO_3) ve sodyum sülfat (Na_2SO_4) alkalileri kullanılmıştır. Üretilen numunelere 2, 7 ve 28. günlerde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı, eğilme deneyi ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Şekil 6.2.1'de alkali aktive edilmiş sepere küllü (SK) harç numunelerinin birim ağırlıkları değerleri gösterilmektedir. Şekil 6.2.1'de gösterilen SH: sodyum hidroksit, CS: cam suyu olarak bilinen sodyum silikat ve SS: sodyum sülfattır. SH ve CS birlikte kullanıldığında çözelti karışım oranları % 85 12 M'lık SH ve % 15 CS'yi içermektedir. En yüksek birim ağırlık değeri SK'larda SH kullanımı ile elde edilmiştir. SH kullanılan harç numuneleri ile SH+CS kullanılan numunelerin birim ağırlıklarında yaklaşık % 3 oranında farklılık görülmektedir. SK-(SH) numunelerinde 2. günden 28. güne kadar birim ağırlıklarda yaklaşık olarak % 2 oranında artış görülmektedir. SK-(SH) harç numunelerinin 2 günlük birim ağırlığına SK-(SH+CS) numunelerinin ancak 28. günde ulaşabildiği görülmektedir. SK'lar SH aktivatörü ile daha iyi bir yapı oluşturmaktadır. Üretilen harçların 28 günlük birim ağırlık değerleri incelendiğinde, SH+CS ve SS kullanılan harçların SH kullanılanlara göre birim ağırlıkları % 2 ve % 0.7 azalmaktadır.

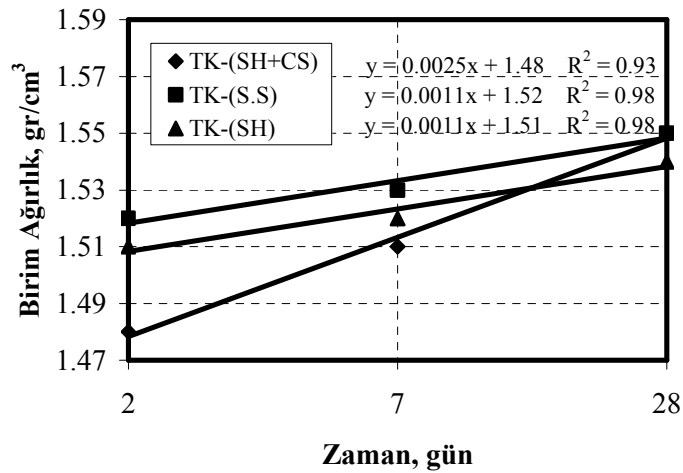


Şekil 6.2.1. Sepere küllü harç numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları

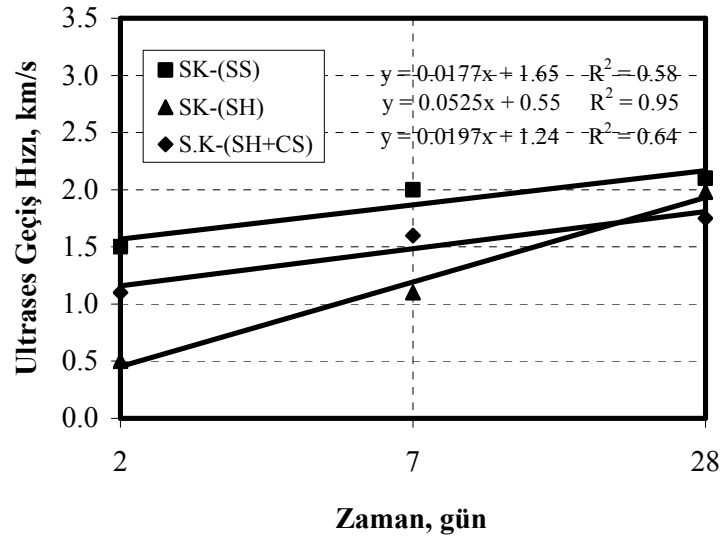


Şekil 6.2.2. Ham küllü harç numunelerin birim ağırlık deney sonuçları

HK numunelerinin birim ağırlık sonuçları incelendiğinde en yüksek değer SH+CS aktivatörlerinin kombinasyonu ile elde edildiği görülmektedir. TK'lı harçların 7-28 günlük zaman diliminde birim ağırlıklarındaki artışlar incelendiğinde (SH+CS) kullanılan harç numunelerinin diğerlerine göre daha fazla olduğu dikkat çekmektedir. Bu oranlar SH+CS aktivatöründe % 3, SS ve SH kullanımında % 1'dir. Şekil 6.2.2 ve Şekil 6.2.3 incelendiğinde SH+CS alkali çözeltisinin tane boyutu iri olan TK ve HK'ların puzolanik özeliğini ve dolayısıyla birim ağırlıklarını arttırdığı görülmektedir.

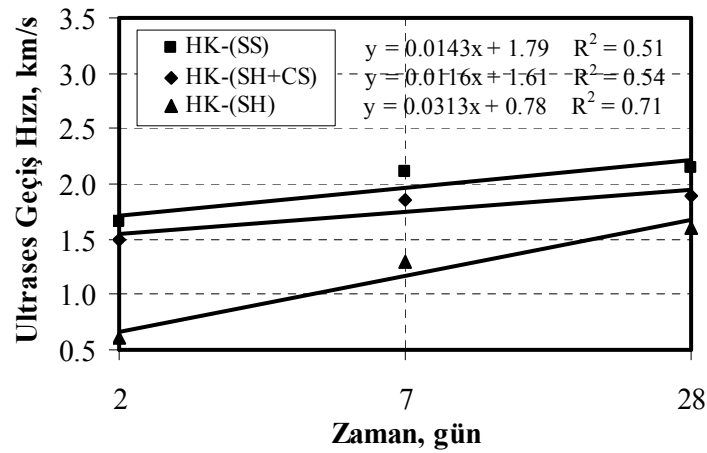


Şekil 6.2.3. Taban küllü harç numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları

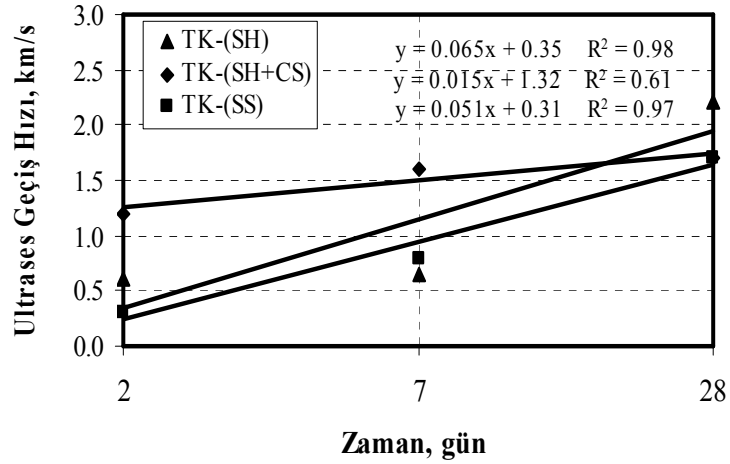


Şekil 6.2.4. Sepere küllü harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Şekil 6.2.4'te ve Şekil 6.2.5'te sırasıyla SK ve HK'lı harç numunelerinin ultrases geçiş hızları gösterilmektedir. SK ve HK harç numunelerinin SS aktivatörü ile aktive edilmesiyle 28. günde daha yüksek ultrases geçiş hızına ulaştıkları görülmektedir. SH ile aktive edilen SK'lı harç numunelerin 7. günden 28. güne kadar ultrases geçiş hızlarının % 80 oranında artması dikkat çekmektedir. HK'lı harçlarda 7-28 günlük ultrases geçiş hızında en büyük artış % 23 oranıyla SH aktivatörü ile elde edilmiştir.

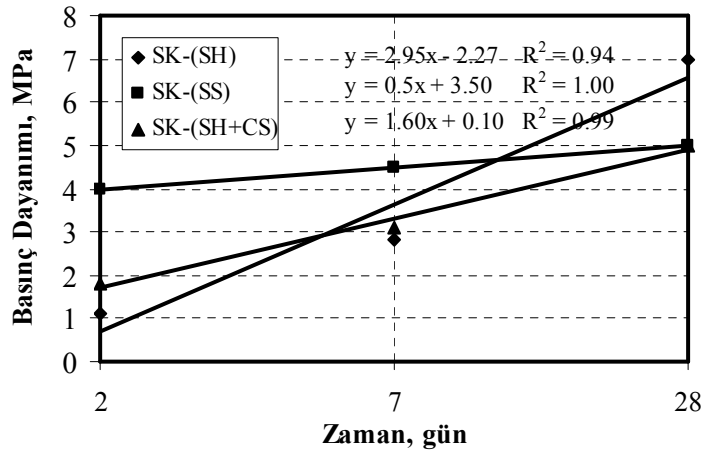


Şekil 6.2.5. Ham küllü harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları

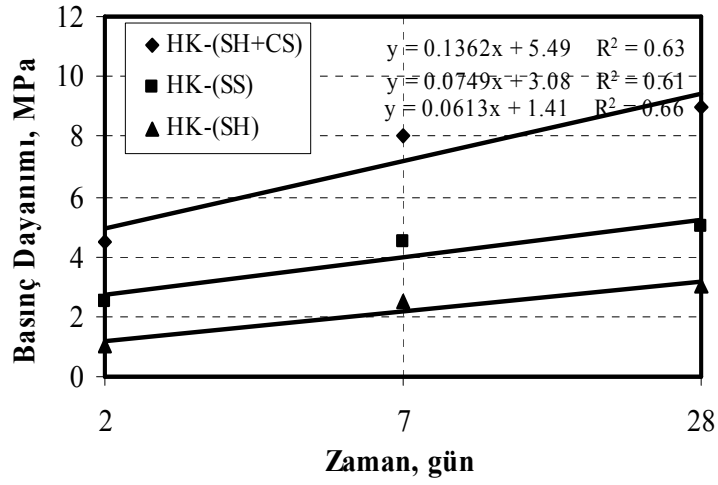


Şekil 6.2.6. Taban küllü harç numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları

TK'lı harçların ultrases geçiş hızları Şekil 6.2.6'da gösterilmiştir. Alkalilerin 28 günlük ultrases geçiş hızlarına olan etkileri incelendiğinde TK-(SH) harcının 2.2 km/s hızıyla en yüksek ultrases geçiş hızı değerini aldığı görülmektedir. SH alkali ile 7 günlük değerinin 3.4 katına (% 239) ulaşmıştır. Bu oranlar SS, SH+CS'lerde % 113 ve % 6 olarak değişmektedir. SH alkalisinin tane boyutu iri olan taban külleri ile daha homojen bir yapı oluşturduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.2.7'de gösterildiği gibi en yüksek basınç dayanımı 28 günde 7 MPa değeri ile SK-(SH)'da elde edilmektedir.

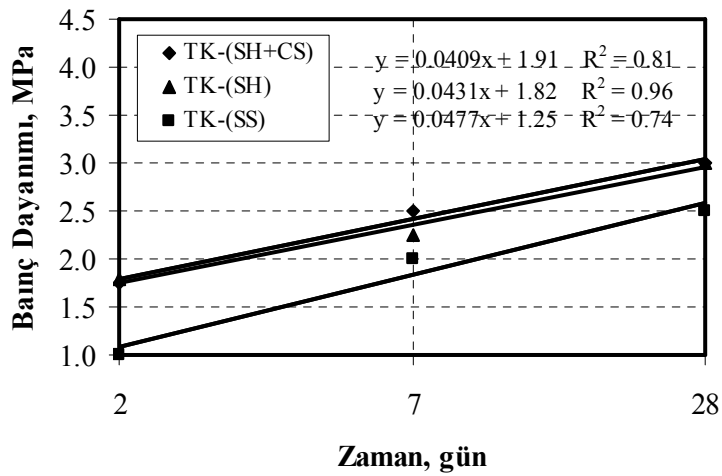


Şekil.6.2.7. Sepere küllü harç numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları



Şekil.6.2.8. Ham küllü harç numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları

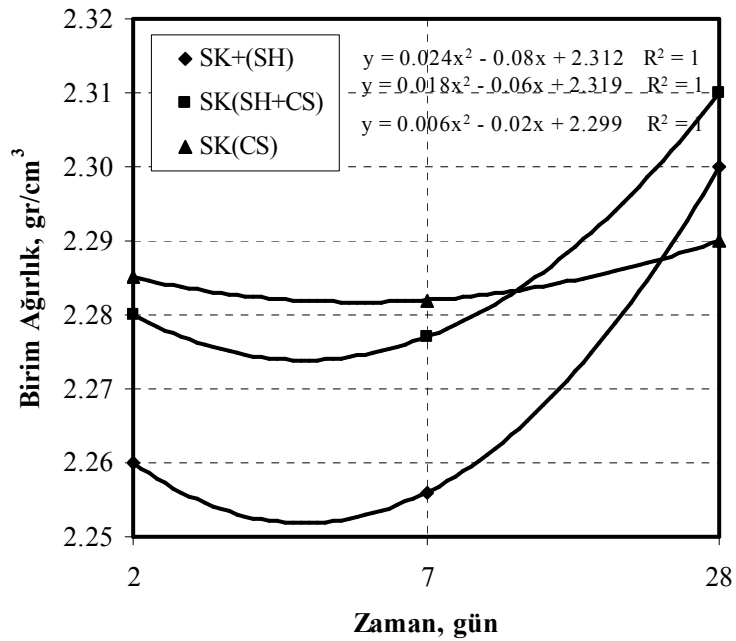
Şekil 6.2.8 ve Şekil 6.2.9’da sırasıyla alkaliler ile aktive edilen HK ve TK numunelerinin basınç dayanımları gösterilmektedir. Seyitömer UK ve TK’larının basınç dayanımları genel olarak incelendiğinde en yüksek basınç dayanımının 9 MPa değeri ile HK-(SH+CS) numunesinde elde edilmiştir. HK-(SH+CS) numunesinde 2-28 günlük zaman diliminde basınç dayanımında % 100 oranında artış gözlemlenmiştir. TK serilerinde 28 günde en iyi basınç dayanımı SH+CS ve SH aktivatörleri ile sağlanmıştır.



Şekil 6.2.9. Taban küllü harç numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları

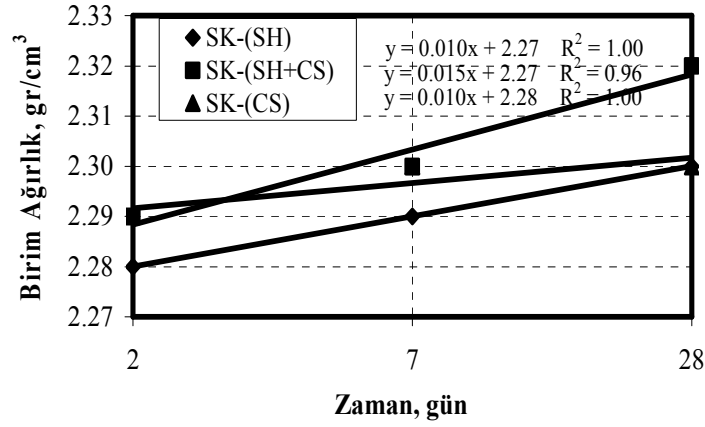
6.3. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu

Alkalilerle aktive edilmiş Seyitömer separe külü (SK), ham külü (HK) ve taban külü (TK) kullanılarak çimentosuz beton üretimi denenmiştir. Bu amaçla sodyum hidroksit (SH) ve sodyum silikat diğeri adıyla cam suyu (CS) ayrı ayrı ve birlikte (% 85 12 M'lık SH ve % 15 CS) kullanılmıştır. Ayrıca uygulanan kür koşullarının alkali aktivasyona etkisinde araştırılmıştır. Üretilen numuneler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş ve basınç dayanımları uygulanmıştır. Şekil 6.3.1 ve Şekil 6.3.2'de sırasıyla etüvde ve buharda kür uygulanan SK'lı betonların birim ağırlık değerleri gösterilmiştir.



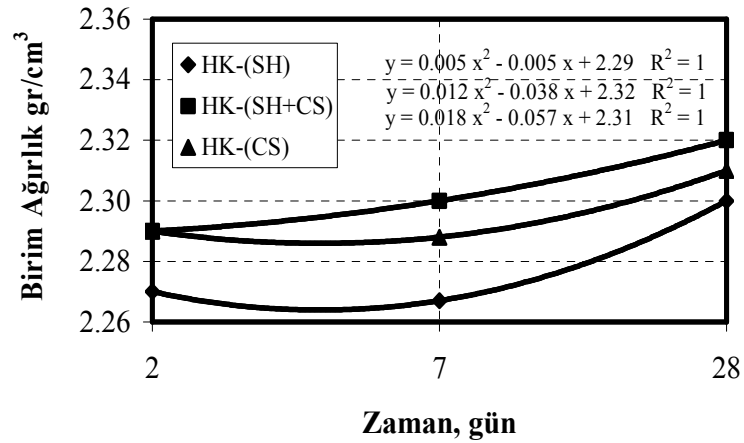
Şekil 6.3.1. SK numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları (Etüvde)

Etüvde kür uygulanan SK'lı beton numunelerinin 2, 7, 28 günlük birim ağırlık deneyleri sonuçları incelendiğinde SH+CS kullanılması ile 28. günde en yüksek birim ağırlık değerine ulaşılmıştır. SK-(SH+CS) betonunun birim ağırlık değerine göre SH, CS kullanılması ile değerlerinin % 0.4 ve % 0.9 oranlarında düştüğü görülmektedir.

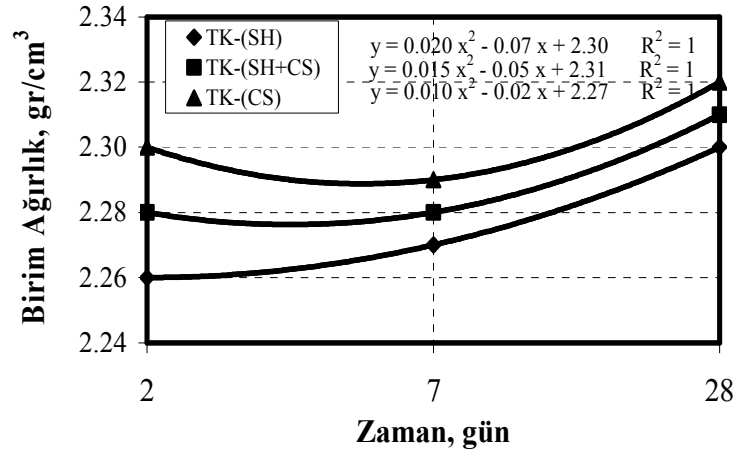


Şekil 6.3.2. SK numuneleri birim ağırlık deney sonuçları (Buharda)

Şekil 6.3.2’de buharda kür uygulanmış SK numunelerinin birim ağırlık sonuçları gösterilmektedir. En yüksek birim ağırlık değeri SH+CS aktivatörünün kullanılması sonucunda elde edilmiştir. Buharda kür uygulanan numunelerin birim ağırlık değerleri düzenli şekilde artış gösterirken, etüvde kür uygulanan numunelerde ise 7. günde birim ağırlık değerlerinde azalmalar gözlenmektedir. Etüvde hızlandırılmış kür uygulanan HK’lı harçlarda en yüksek birim ağırlık değeri SH+CS aktivatörü ile elde edilmiştir. HK-(SH+CS) betonunun 28 günlük birim ağırlık değerine göre SH, CS alkalilerinin kullanılması ile değerlerinin % 0.9 ve % 0.4 oranlarında düştüğü görülmektedir.

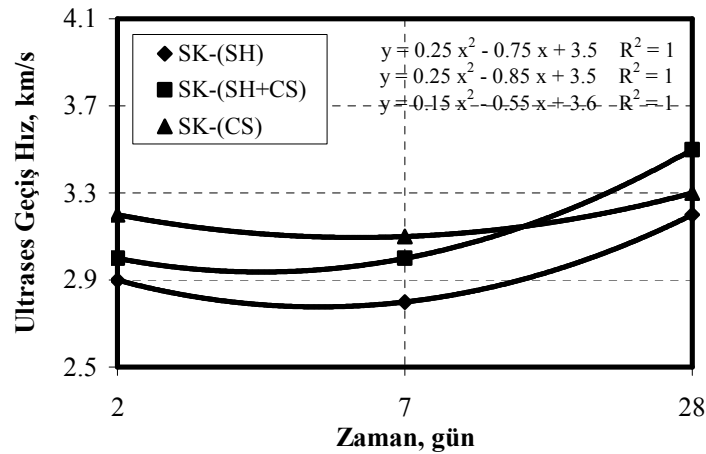


Şekil 6.3.3. HK numuneleri birim ağırlık deney sonuçları (Etüvde)

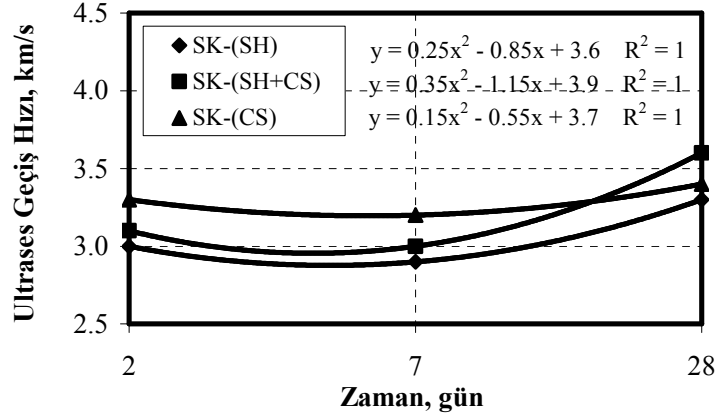


Şekil 6.3.4. TK numuneleri birim ağırlık deney sonuçları (Etüvde)

Şekil 6.3.4'te etüvde kür uygulanmış TK'lı betonlarda en yüksek birim ağırlığa SH+CS aktivatörü ile ulaşıldığı görülmektedir. Bu sonuçlar dikkate alındığında kür koşullarına bağlı kalmaksızın SH+CS aktivatörlerinin birlikte kullanılması SK, HK ve TK'ların bağlayıcılık özeliğini arttırmaktadır. Şekil 6.3.5'te etüvde kür uygulanan SK'lı betonlarda en yüksek ultrases geçiş hızının 28. günde SH+CS kullanılması ile elde edildiği görülmektedir. SK-(SH+CS) betonunun ultrases geçiş hızı değerine göre SH, CS kullanılması ile % 8.3 ve % 5.7 oranlarında düşük değerler alındığı görülmektedir.

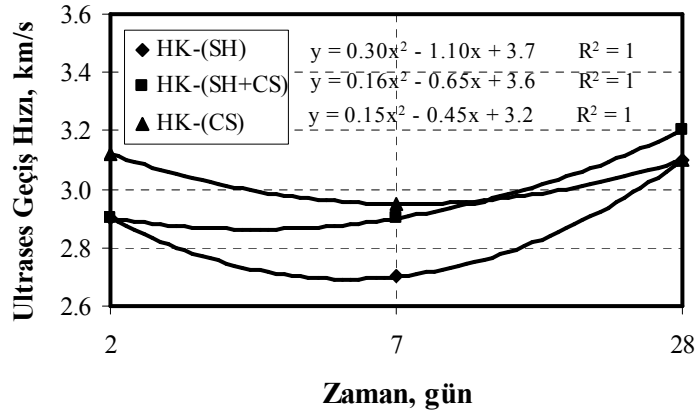


Şekil 6.3.5. SK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Etüvde)

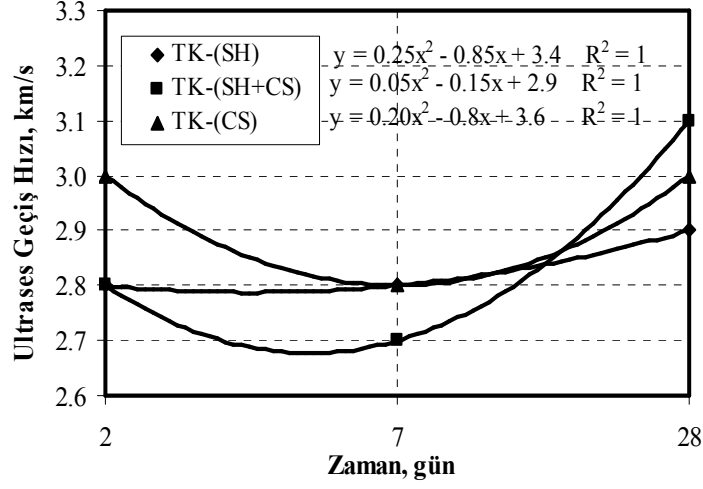


Şekil 6.3.6. SK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Buharda)

Şekil 6.3.6’da buharda kür uygulanan SK’lı betonların ultrases geçiş hızı sonuçları gösterilmektedir. En yüksek ultrases geçiş hızı etüvde kür uygulanan SK’larda olduğu gibi SH+CS kullanımı ile elde edilmiştir. Buharda kür uygulanması sonucunda 7 günlük değerlerde azalma görülmemiştir. HK’lı betonların etüvde kür uygulanması sonucunda ultrases geçiş hızı değerleri Şekil 6.3.7’de görüldüğü gibi 7. günde değerler azalmıştır. Bu azalmalar SH, CS alkalileri ile sırasıyla % 7, % 3’tür. SH+CS alkalisi ile aktive edilen çimentosuz betonlarda 2 ve 7. günlerdeki değerler eşit çıkmıştır.

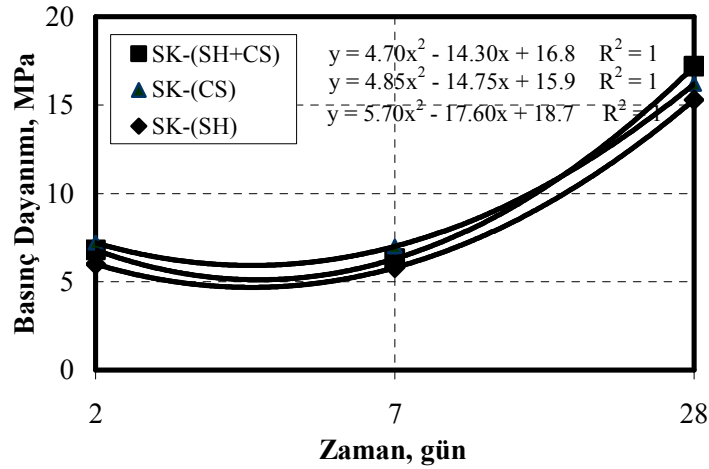


Şekil 6.3.7. HK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Etüvde)

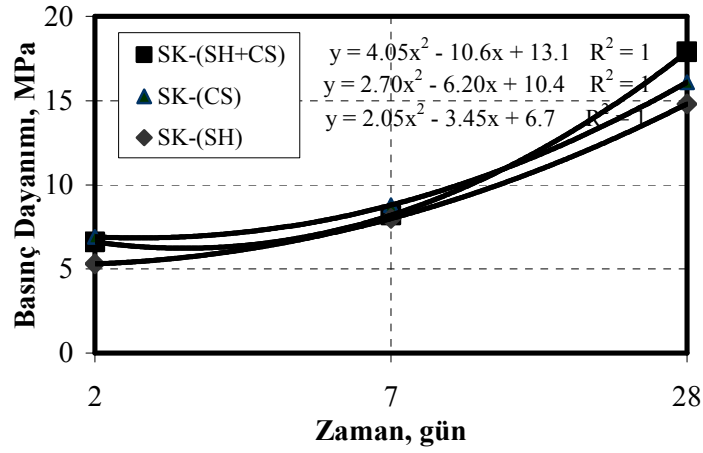


Şekil 6.3.8. TK numuneleri ultrases geçiş hızı deney sonuçları (Etüvde)

Şekil 6.3.8’de TK kullanılan alkali aktive edilmiş betonların ultrases geçiş hızları görülmektedir. TK serisinde 7 ve 28 günlük farklar alkali türüne göre sırasıyla % 4, % 15 ve % 7’dir. SH+CS’nin boşluklu yapıyı daha hızlı doldurduğu anlaşılmaktadır. Şekil 6.3.9’da görüldüğü gibi Seyitömer SK’larının etüvde hızlı kür uygulanması halinde 7. günde basınç dayanımları düşmektedir. En iyi dayanımın alındığı SK-(SH+CS) beton numunelerinde etüvde hızlı kür uygulanması nedeniyle 7. günde % 7 dayanım kayıpları görülmekle birlikte 28. güne kadar dayanımlarında % 173 artmıştır.

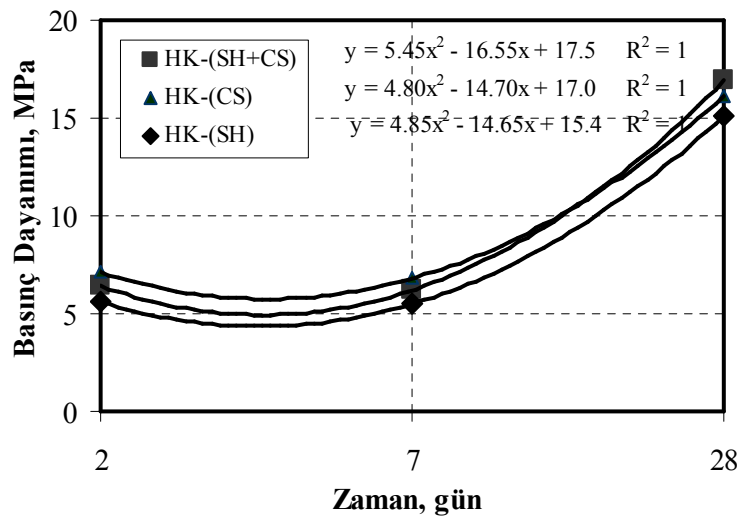


Şekil 6.3.9. SK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Etüvde)



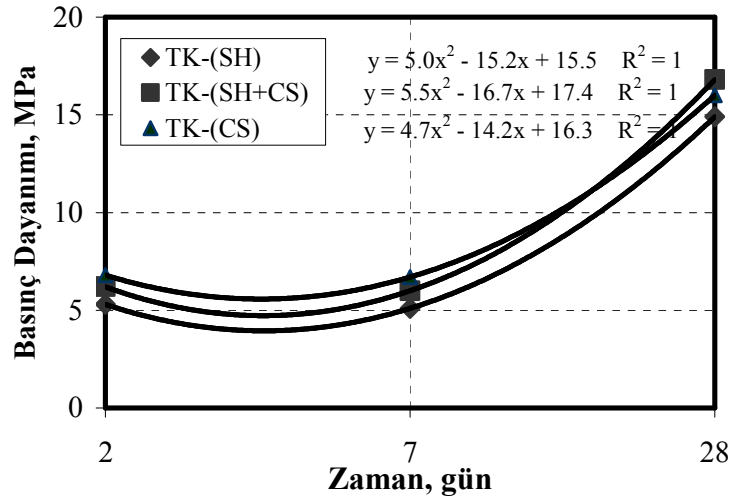
Şekil 6.3.10. SK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Buharda)

Şekil 6.3.10'da buharda kür uygulanan numunelerin dayanımların düzenli olarak arttığı görülmektedir. SK-(SH+CS) betonu 7. güne kadar % 20, 28. güne kadar ise % 171 oranında dayanım kazanmıştır. Burada sıcaklığın aktivasyona olan olumlu etkisi görülmektedir. HK'lerin basınç dayanımı değerleri incelendiğinde Şekil 6.3.11'de görüldüğü gibi SH ve SH+CS kullanılan betonların 7/28 günlük dayanım artışları yakın çıkmaktadır. En yüksek dayanım 16.9 MPa ile HK-(SH+CS)'de elde edilmiştir.



Şekil 6.3.11. HK numuneleri basınç dayanımı deneyi sonuçları (Etüvde)

Seyitömer taban külü ile üretilen beton numunelerinde diğerleri gibi en yüksek basınç dayanımları (SH+CS) kullanılması ile elde edilmiştir. SH+CS aktivatörünün SK'ların diğer aktivatörlere göre hidrolik bağlayıcılık özeliğini arttırdığı görülmüştür. Etüvde kür nedeniyle 7 günlük dayanımlarda % 3 kayıplar gözlemlenmiştir. Şekil 6.3.12'de görüldüğü gibi etüvde hızlandırılmış kür uygulanan betonların 2 günlük erken dayanımlar incelendiğinde ise en iyi dayanımı 6.8 MPa TK-(CS)'de elde edilmiştir. Bunun nedeni CS'nin betona ilk günlerde sertlik ve dayanım vermesidir. Üretilen betonlarda 2 ve 7 günlük basınç dayanımları karşılaştırıldığında CS kullanılması sonucunda % 2, SH kullanılması ile % 4 dayanım kayıplar görülmektedir.

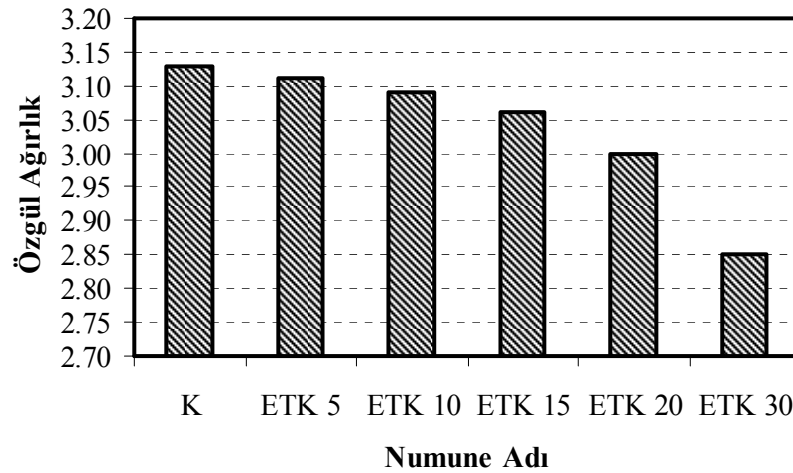


Şekil 6.3.12. TK numuneleri basınç dayanımı deney sonuçları (Etüvde)

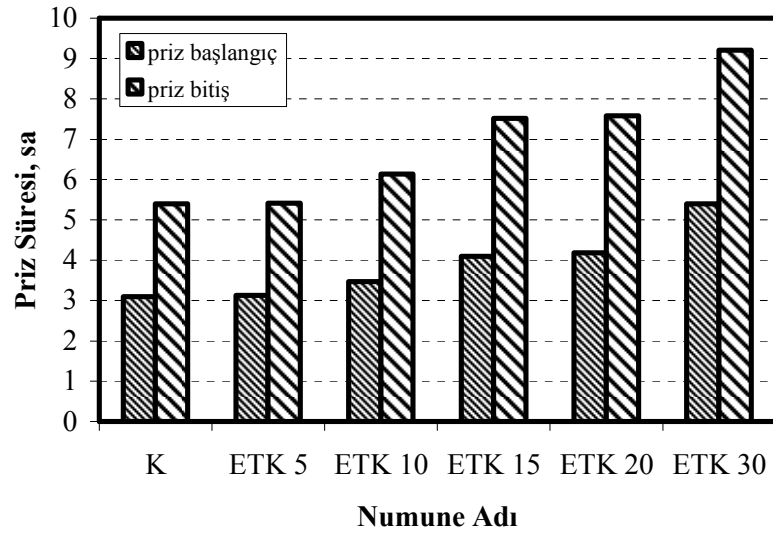
Sodyum sülfatlı numunelerin suya karşı daha dayanıklı olduğu, oluşan içyapının bozulmadığı anlaşılmaktadır. Silikat içerikli numunelerin mekanik dayanımları sadece hidroksit içerenlere göre daha yüksek mekanik dayanım vermiştir. Bu nedenle OH⁻ miktarı arttıkça dayanımın düştüğü sonucuna ulaşılmaktadır. Üretilen numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımları sonuçları incelendiğinde C 14/16 sınıfında beton elde edilebildiği görülmüştür. Uçucu kül miktarının artırılması yada kullanılan alkali oranlarının değiştirilmesi ile daha farklı sonuçlar elde edilebileceği düşünülmektedir.

6.4. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Çimento Üretiminde Kullanılması

Seyitömer TK'sının Portland uçucu küllü çimento üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Eskişehir çimento fabrikasından alınan Portland CEM I 42.5 R çimentosu ile öğütülmüş TK'lar belirli oranlarda yer değiştirilerek Portland uçucu küllü çimento üretimi sağlanmıştır. Öğütülmüş TK'lar % 5, % 10, % 15, % 20 ve % 30 oranlarında eklenmiştir. CEM I 42.5 çimentosuda karşılaştırmak amacıyla referans kabul edilmiş ve K ile gösterilmiştir. Çimento üretiminin hedeflenen değerlerde olup olmadığını anlamak amacı ile çimento harçları yapılmıştır. Standart çimento hamurlarında kıvam suyu ve priz süresi deneyleri, harç çubuk numunelerinde ise ultrases geçiş hızı, eğilme deneyi ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Ayrıca çimentoların özgül ağırlığına bakılmış ve çimentonun inceliğini öğrenmek amacı ile blain deneyi uygulanmıştır. Şekil 6.4.1'de üretilen Portland uçucu küllü çimentoların özgül ağırlık deney sonuçları görülmektedir. Şekilde anlaşılacağı gibi öğütülmüş TK miktarı arttırıldıkça özgül ağırlıklar azalmaktadır. Bunun nedeni öğütülmüş TK'nın özgül ağırlığının çimentodan az olmasıdır. CEM I 42.5 çimentosuna göre öğütülmüş TK'nın % 5 oranında kullanılması özgül ağırlığı % 0.7 oranında düşürmektedir. ÖTK'nın % 30 oranında kullanılması aradaki farkı % 9'a çıkmasına neden olmuştur.

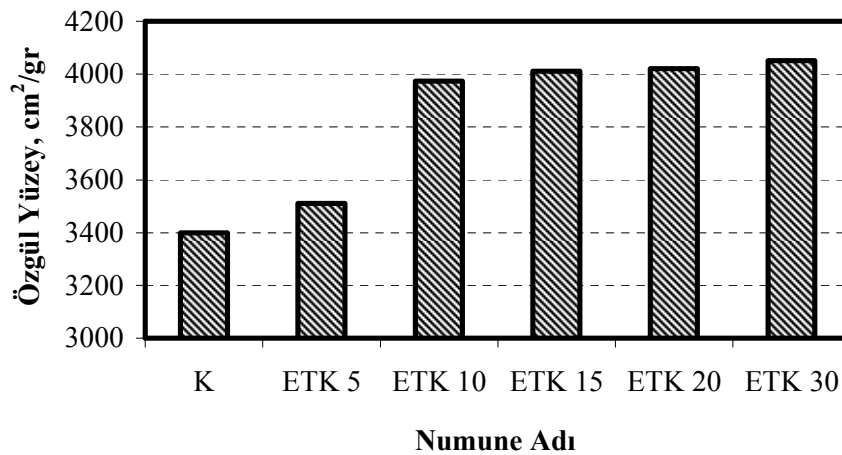


Şekil 6.4.1. Çimento numunelerinin özgül ağırlık deney sonuçları

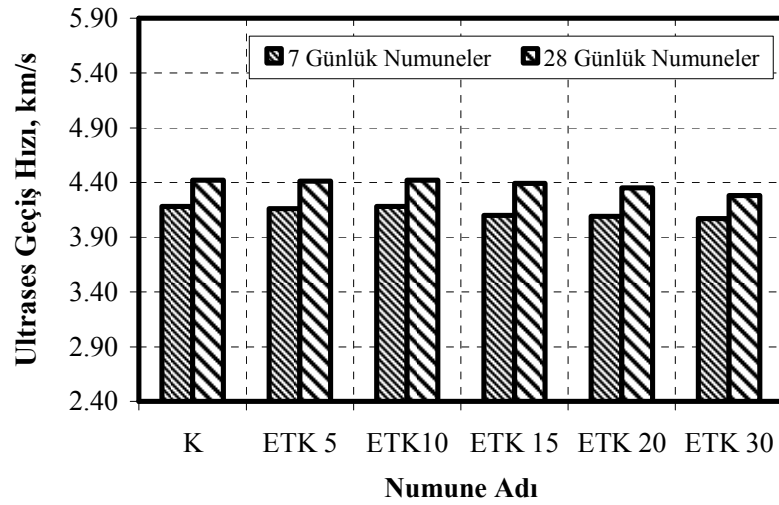


Şekil 6.4.2. Çimento numunelerinin priz başlangıç ve bitiş süreleri

Şekil 6.4.2’de priz başlangıç ve bitiş süreleri gösterilmiştir. TK’ların priz geciktirici özeliği nedeniyle priz başlangıç ve bitiş süreleri TK miktarına bağlı olarak artmaktadır. Şekil 6.4.3’te ETK30 çimentosunun en büyük özgül yüzey alanına sahip olduğu görülmektedir. Özgül yüzey incelikle aynı anlama gelmektedir. İnceliğin yüksek olması çimentoların su gereksinimlerini arttırmaktadır. TK oranına göre çimentoların özgül yüzeylerinin 3511-4051 cm^2/gr arasında değiştiği görülmektedir.

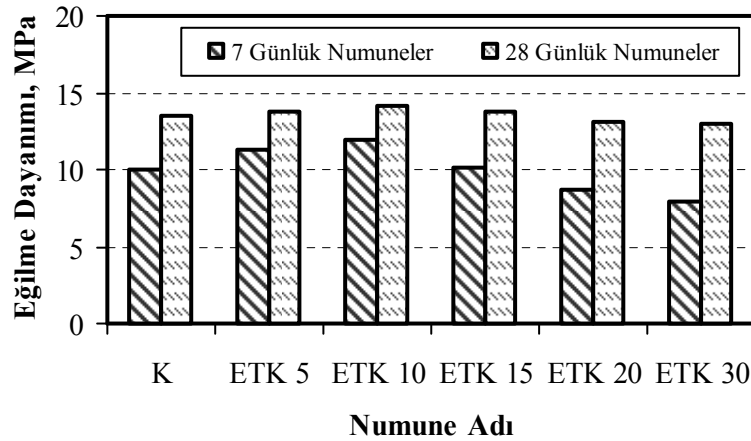


Şekil 6.4.3. Çimento numunelerinin blain deney sonuçları

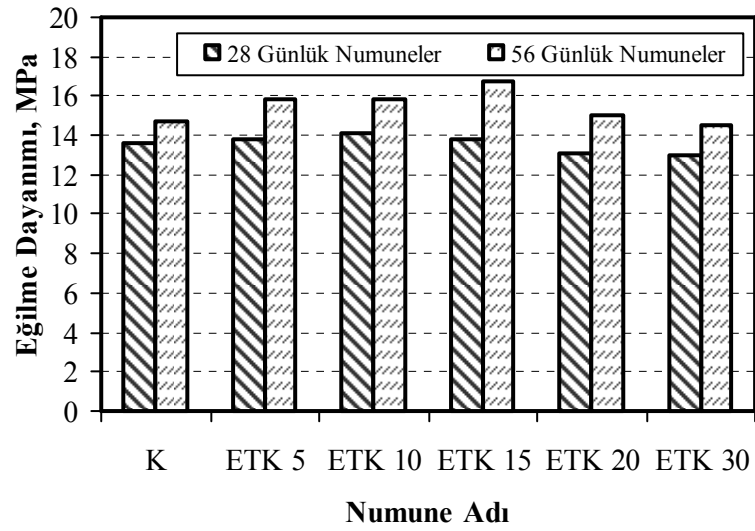


Şekil 6.4.4. Çimento numunelerinin ultrases geçiş hızının zamanla değişimi

Seyitömer TK'sı ile üretilen çimentoların ultrases geçiş hızlarının zamana bağlı değişimleri Şekil 6.4.4'te gösterilmiştir. ETK10 numunesi ile TK kullanılmayan K kontrol numunesinin 28 günlük ultrases geçiş hızı değerlerinin aynı olduğu görülmektedir. TK oranının artırılması ultrases geçiş hızlarını olumsuz yönde etkilenmiştir. Şekil 6.4.5'te ETK10'un 7 ve 28. günde en yüksek eğilme dayanımı sağladığı görülmektedir. TK'nın artırılması veya azaltılması dayanımları düşürmüştür. ETK10'un eğilme dayanımı K numunesine göre 28. günde % 4 oranında artmıştır.

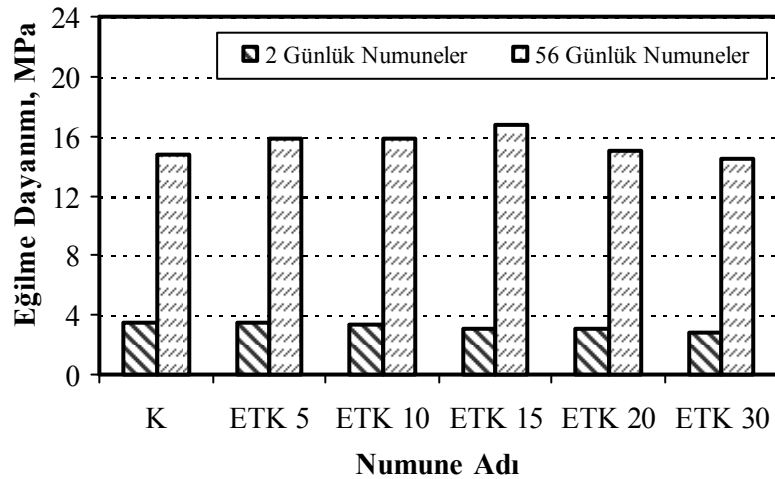


Şekil 6.4.5. Çimento numunelerinin 7 ve 28 günlük eğilme dayanımları

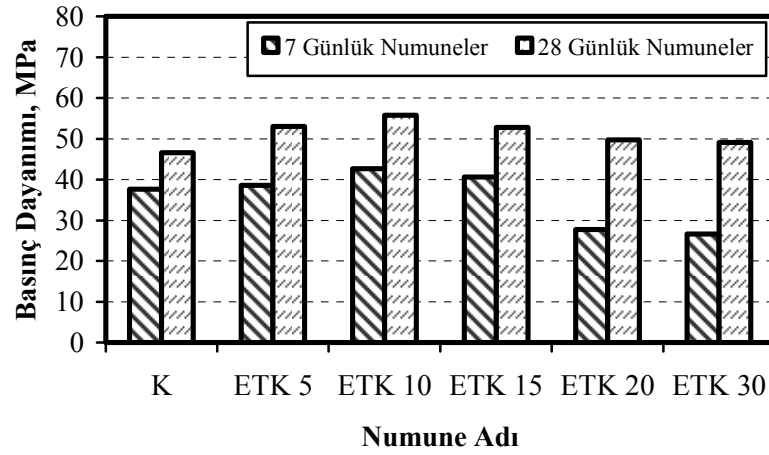


Şekil 6.4.6. Çimento numunelerinin 28 ve 56 günlük eğilme dayanımları

Çimento numunelerinin 28 günlük eğilme dayanım değerleri Şekil 6.4.6'da görüldüğü gibi birbirlerine yakın çıkmıştır. Üretilen Portland uçucu küllü çimentoların 56 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde en yüksek değer ETK15'te elde edilmiştir. ETK15 numunesinin 2 günlük dayanımı, 56 günlük dayanımının yaklaşık % 18'idir. Şekil 6.4.7'de 56 günlük eğilme dayanımlarına bakıldığında ETK15'in referans K çimentosuna göre % 14 oranında daha fazla dayanım kazandığı görülmektedir.

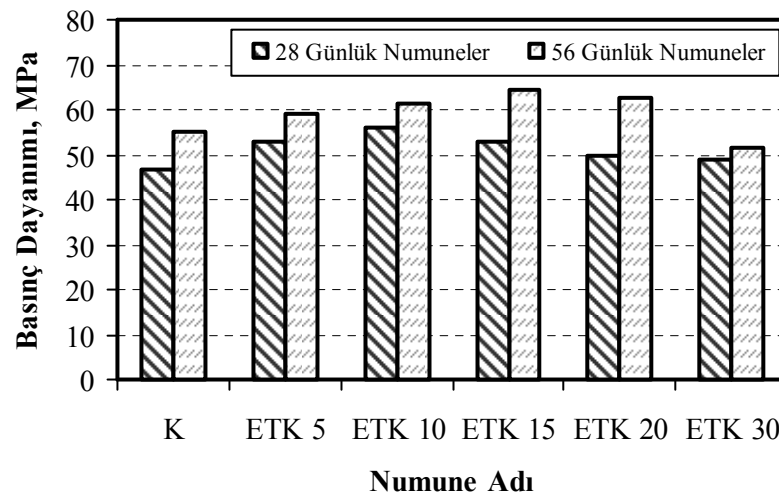


Şekil 6.4.7. Çimento numunelerinin 2 ve 56 günlük eğilme dayanımları



Şekil 6.4.8. Çimento numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

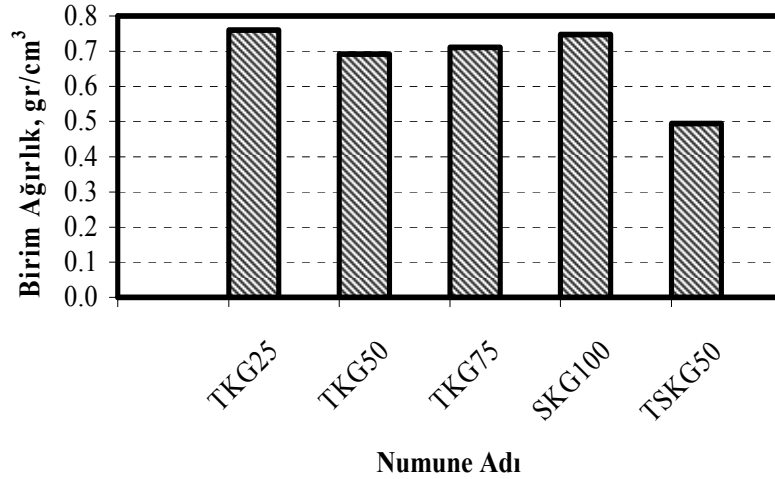
Şekil 6.4.8 ve Şekil 6.4.9’da sırasıyla çimento numunelerin 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanım deneyi sonuçları verilmiştir. Öğütülmüş TK’ların % 10 oranında kullanılması sonucunda CEM II 42.5 R çimentosunun üretildiği görülmektedir. K kontrol çimentosuna göre TK miktarlarının artması ile 56 günlük dayanımlar % 7, % 12 % 17 artmıştır. TK’ların % 15’ten fazla kullanılması ile dayanımlar azalmaktadır.



Şekil 6.4.9. Çimento numunelerinin 28 ve 56 günlük basınç dayanımları

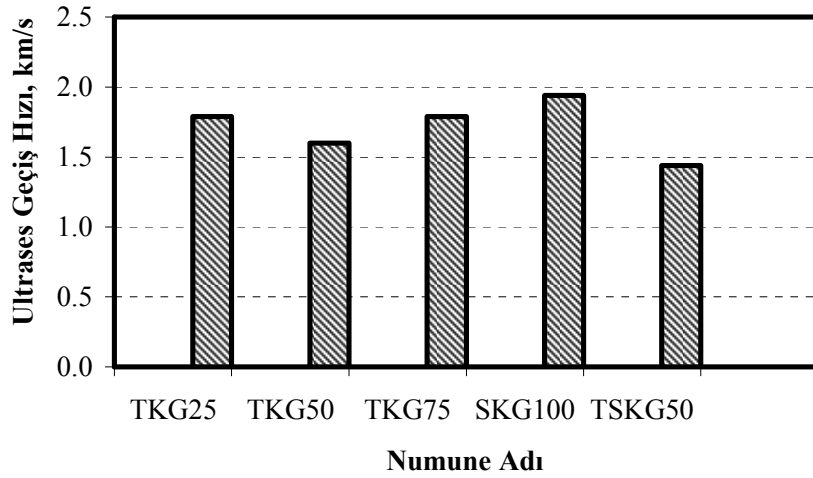
6.5. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması

Seyitömer uçucu külünün (UK) ve taban külünün (TK) gazbeton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla Seyitömer Termik santralinden alınan sepere kül (SK) ve taban külleri (TK) ağırlıkça standart kumla belirli oranlarda yer değiştirilerek kullanılmıştır. Üretilen gazbeton bloklara birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Şekil 6.5.1’de farklı oranlarda TK ve SK kullanılması sonucunda elde edilen birim ağırlık değerleri gösterilmektedir. SKG 100 ve TSKG50 gazbetonlarının üretiminde kum çıkartılarak SK ve TK’lar kullanılmıştır. SKG100’de tamamen SK, TSKG50 numunesinde ise % 50 SK, % 50 TK kullanılmıştır.



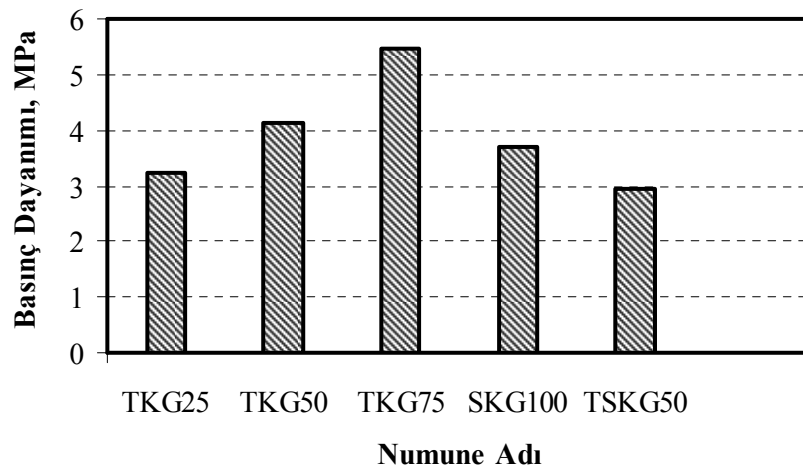
Şekil 6.5.1. TK ve SK katkılı gazbetonların birim ağırlıkları

En düşük birim ağırlık değeri kum kullanılmadan üretilmesi nedeniyle TSKG50 gazbetonunda görülmüştür. SKG100 gazbetonunda kum kullanılmamasına rağmen birim ağırlık değerinin yüksek çıkmasının nedeni, SK’ların yüzey alanlarının ince olması ve içerdiği amorf silisin daha çabuk reaksiyona girerek C-S-H jellerini oluşturmasıdır. TK’nın artması ile birim ağırlık değerleri azalmaktadır fakat TKG75 numunesinde birim ağırlık değerleri beklenenin aksine artmıştır. Bu durumun TK’ların özgül ağırlıklarının yüksek olması nedeniyle olduğu düşünülmektedir. TKG25’e göre TK’ların artması ile TKG50’de % 9, TKG75’te % 6 oranında birim ağırlıklar azalmıştır.



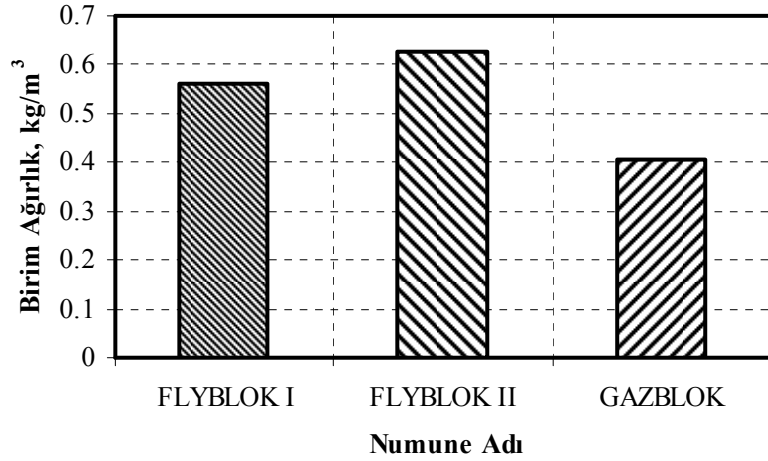
Şekil 6.5.2. TK ve SK katkılı gazbetonların ultras es geçiş hızları

Şekil 6.5.2’de TSKG50 gazbetonunun ultras es geçiş hızı değerinin diğerlerine göre düşük çıktığı görülmektedir. Boşluklu bir yapı oluşması amaçlanan gazbeton üretiminde, TSKG50’nin birim ağırlığının ve ultras es geçiş hızının düşük olması nedeniyle istenilene yakın bir tasarım olduğu düşünülmektedir. TKG75 gazbetonun basınç dayanımı Şekil 6.5.3’te görüldüğü gibi diğerlerine göre yüksek çıkmıştır.



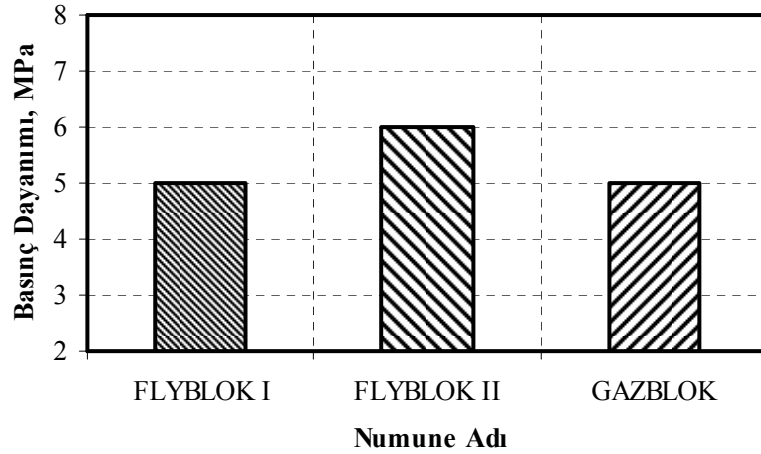
Şekil 6.5.3. TK ve SK katkılı gazbetonların basınç dayanımları

6.6. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda Kullanılması



Şekil 6.6.1. Üretilen hafif blok elemanların birim ağırlık deney sonuçları

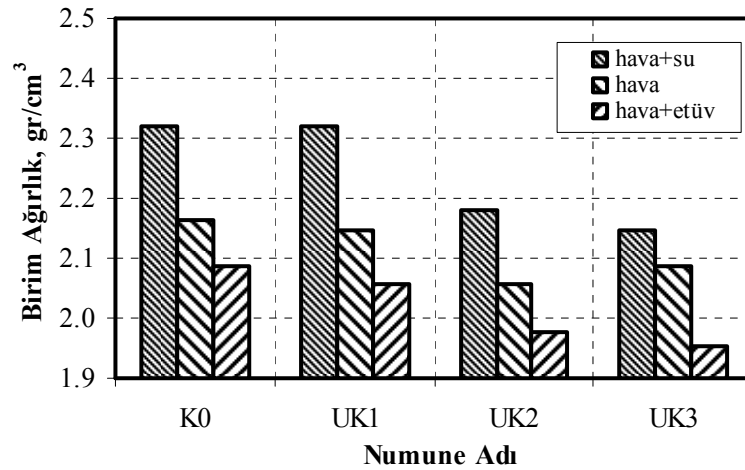
Seyitömer UK'sı ve TK'sı kullanılarak yapılan gazblok ve flybloklara 7 günün sonunda birim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Şekil 6.6.1'de birim ağırlık deney sonuçları, Şekil 6.6.2'de üretilen hafif beton bloklarının basınç dayanımı deney sonuçları gösterilmektedir. Üretilen gazblokların basınç dayanımlarının ve birim ağırlıklarının flyblok I ve flyblok II'ye göre daha düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 6.6.2. Üretilen hafif blok elemanların basınç dayanımı deney sonuçları

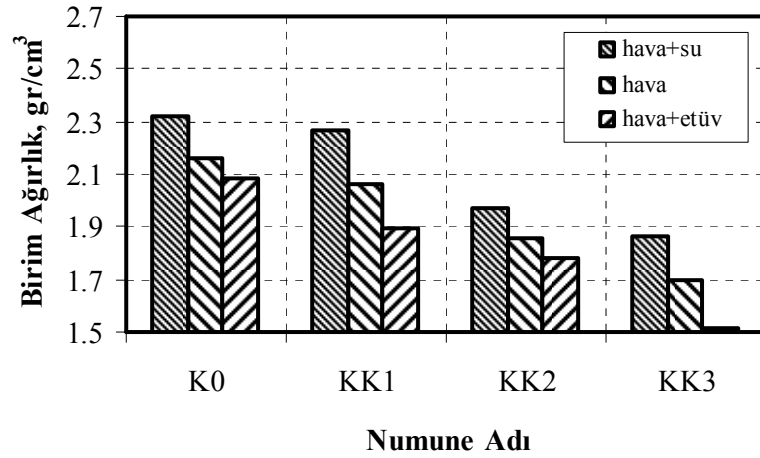
6.7. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanımı

Seyitömer uçucu külünün (UK) seramik yapıştırıcısı olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi amacıyla üretilen harçlarda UK'lar ağırlıkça rılem kumuyla ve çimento ile yer değiştirmiştir. Ayrıca uygulamalarda en çok kullanılan dört farklı seramik yapıştırıcısı referans olarak değerlendirilmiş, üretilen numunelerle karşılaştırılmıştır. Üretilen seramik yapıştırıcıları hava, hava-su ve hava+etüv kür koşullarında bekletilmiştir. Numuneler üzerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hız, çekme yapışma deneyi, eğilme deneyi ve basınç deneyleri uygulanmıştır. Şekil 6.7.1, Şekil 6.7.2 ve Şekil 6.7.3'te UK, KK ve referans harç numunelerinin birim ağırlıkları gösterilmiştir.



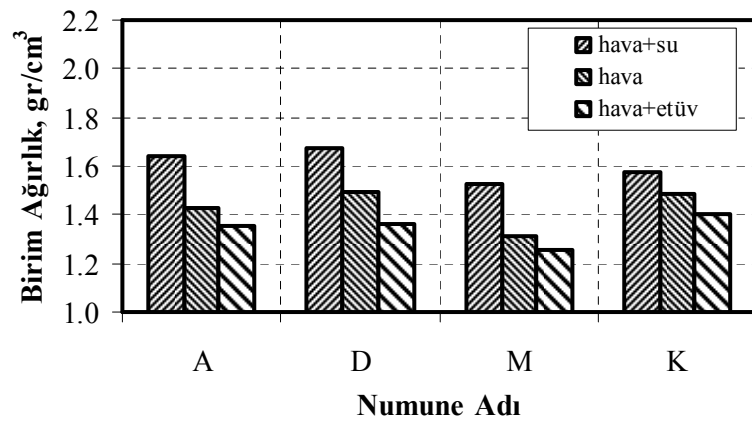
Şekil 6.7.1. UK numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları

Şekil 6.7.1'de kür koşullarına bağlı olarak değişen UK numunelerine ait birim ağırlık değerleri verilmektedir. Hava+su kürü uygulanan harçların hava+etüv ve sadece hava kürü uygulanmış harçlara oranla daha yüksek birim ağırlık değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Ancak UK miktarının artması ile birim ağırlıklar azalmaktadır. K0 kontrol numunesinin birim ağırlığı 2.32 gr/cm³'e göre bu azalma yüzdelerinin % 20, % 30 UK miktarına göre % 6, % 7 oranlarında olduğu görülmüştür. K0 betonu ile % 10 oranında UK kullanılan UK1 betonunun birim ağırlıklarının eşit olduğu görülmüştür.

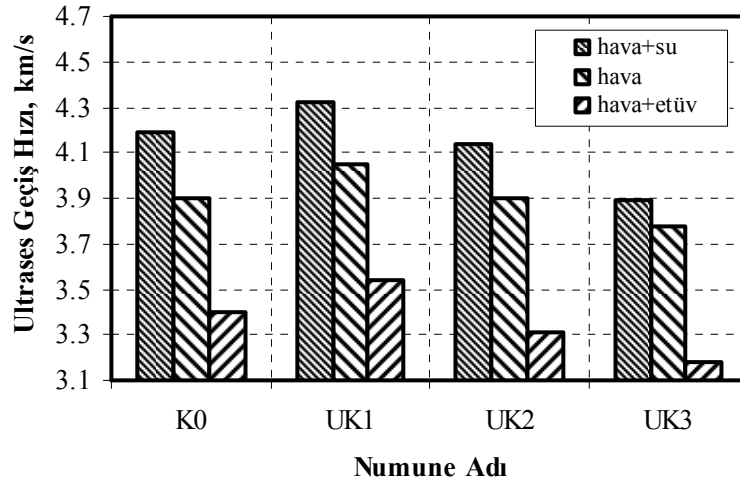


Şekil 6.7.2. KK numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları

Şekil 6.7.2’de KK numunelerinin birim ağırlıklarının hava+su kür koşulunda daha iyi değerler verdiği fakat UK oranının artması ile azaldığı görülmektedir. K0 kontrol harç numunesinin birim ağırlığına göre bu azalma yüzdeleri UK1, UK2 ve UK3’te % 2, % 15, % 20 oranlarında değişmektedir. Şekil 6.7.3’te referans numunelerinin hava+su kür uygulamasında daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. En yüksek birim ağırlık hava+su kür koşulunda bekletilen D numunesinde görülmüştür. Elde edilen bu değer hava+etüvde % 18, hava küründe ise % 11 oranında düşmektedir.

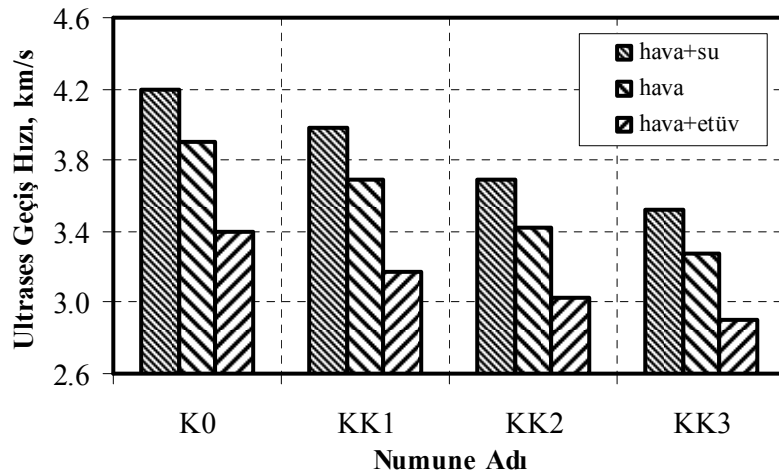


Şekil 6.7.3. Referans numunelerinin birim ağırlık deney sonuçları

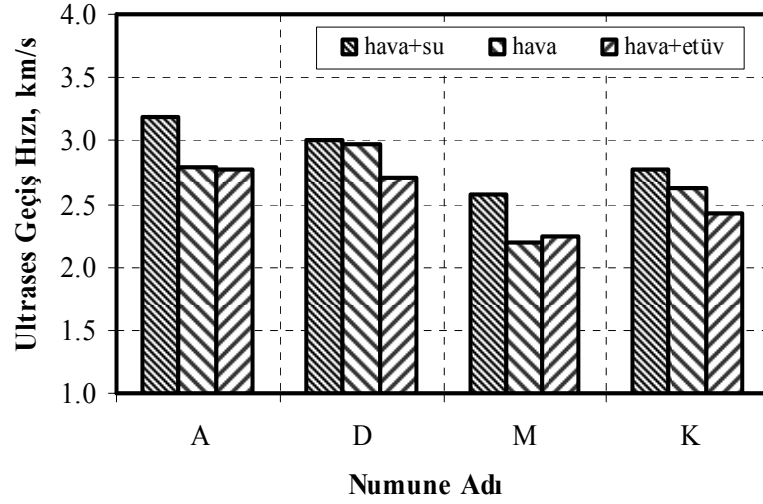


Şekil 6.7.4. UK numunelerinin ultras ses geçiş hızı deney sonuçları

Şekil 6.7.4'te görüldüğü gibi UK harç numunelerinde en yüksek ultras ses geçiş hızı hava+su kürü uygulaması ile elde edilmiştir. Kullanılan UK oranının artması ile ultras ses geçiş hızlarında azalmalar gözlenmektedir. K0 kontrol numunesinin ultras ses geçiş hızı 4.19 km/s'ye göre bu azalma yüzdelerinin UK2'de % 1 ve UK3'te % 7 oranlarında olduğu görülmüştür. UK'nın % 10 oranında kullanılması sonucu kontrol numunesine göre ultras ses geçiş hızı % 3 oranında artmıştır. Şekil 6.7.5'te KK'ların hava+su küründe ultras ses geçiş hızlarının daha yüksek olduğu görülmektedir. UK'nın artırılması ile K0'a göre % 5, % 12 ve % 16 oranlarında ultras ses geçiş hızı azalmıştır.

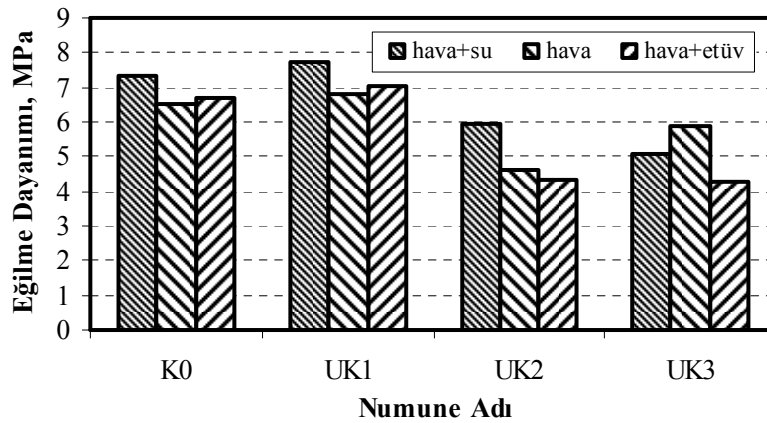


Şekil 6.7.5. KK numunelerinin ultras ses geçiş hızı deney sonuçları

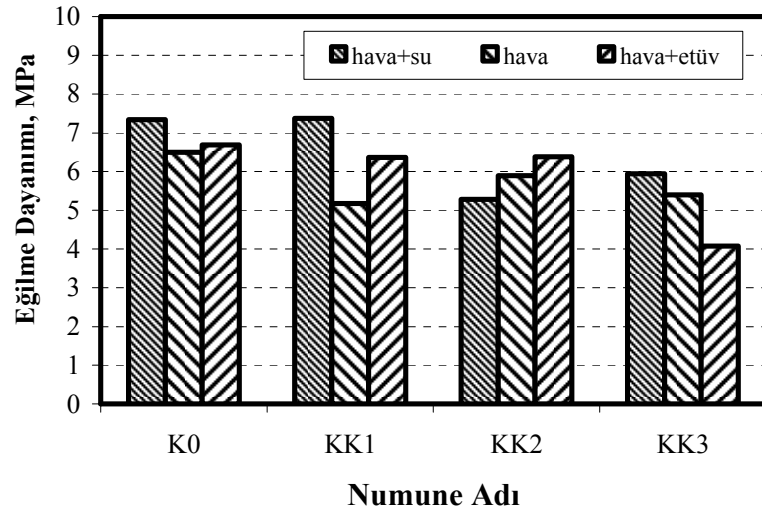


Şekil 6.7.6. Referans numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Referans numunelerinde en yüksek ultrases geçiş hızı değeri hava+su kür uygulaması ile A numunesinde görülmüştür. Hava ve hava+etüv ortamında yaklaşık değerler alınmış ancak hava+su kür koşulunda diğerlerine göre % 12 daha iyi sonuca ulaşılmıştır. Şekil 6.7.2’de UK harç numunelerinin birim ağırlıklarının hava+su kür koşulunda daha iyi değerler verdiği fakat UK oranının artması ile azaldığı görülmektedir. K0 kontrol numunesinin eğilme dayanımına göre bu azalma yüzdeleri UK2 ve UK3’te % 19, % 31 oranlarında değişmektedir. UK’nın % 10 oranında kullanılması sonucu K0 numunesine göre eğilme dayanımları % 5 oranında artmıştır.

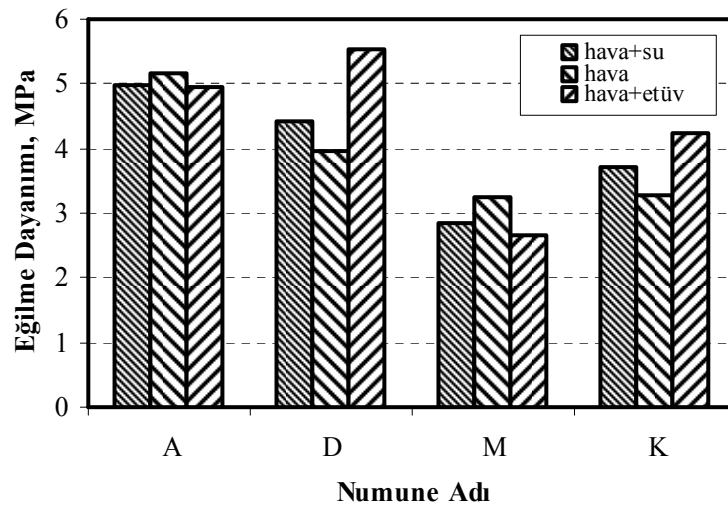


Şekil 6.7.7. UK numunelerinin eğilme dayanımı deney sonuçları

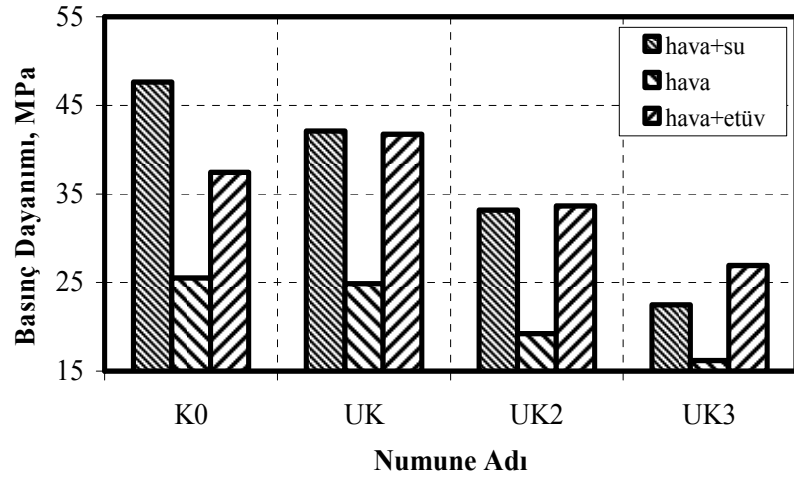


Şekil 6.7.8. KK numunelerinin eğilme dayanımı deney sonuçları

Şekil 6.7.8’de görüldüğü gibi KK numunelerinde en yüksek eğilme dayanımı değerleri hava+su kürü sonunda elde edilmiştir. K0 kontrol numunesine göre UK artışı ile UK2’de ve UK3’te % 28, % 19 oranlarında dayanımlar azalmıştır. UK’nın % 10 oranında kullanılması ile eğilme dayanımları % 0.5 oranında artış göstermiştir. Şekil 6.7.9’da D numunesinin hava+etiv kürü sonucunda en yüksek dayanımı aldığı, hava+su küründe % 20, hava küründe ise % 29 oranında dayanımların azaldığı görülmektedir.

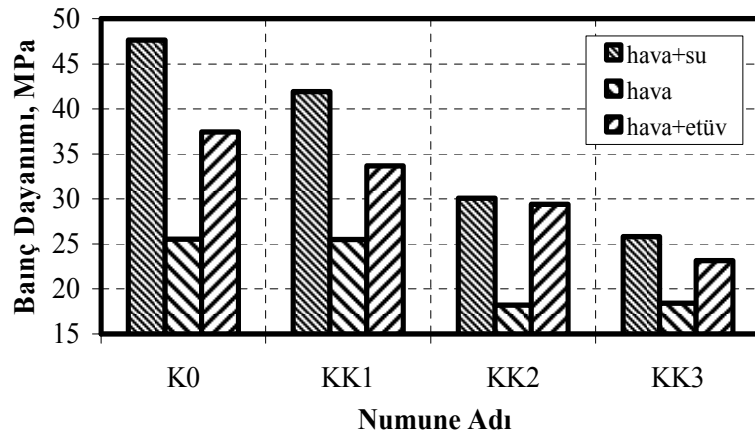


Şekil 6.7.9. Referans numunelerinin eğilme dayanımı deney sonuçları

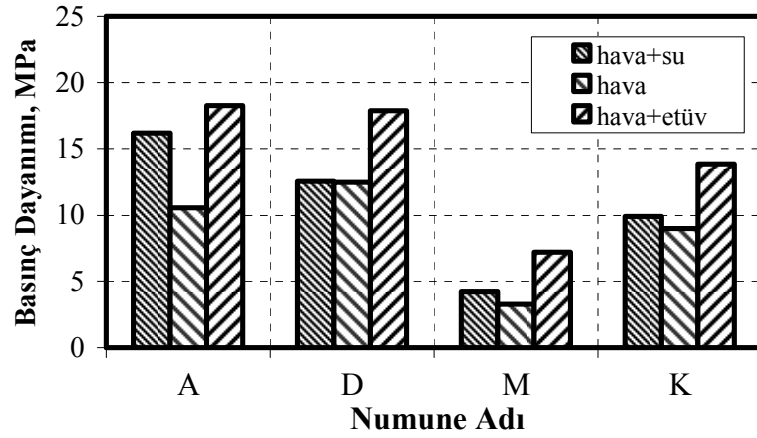


Şekil 6.7.10. UK numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları

Şekil 6.7.10'da UK numunelerinin basınç dayanımlarının hava+etüv kür koşulunda daha yüksek olduğu görülmektedir. UK oranının artırılması ile basınç dayanımları azalmıştır. K0 kontrol numunesinin basınç dayanımı 37 MPa'a göre bu azalma yüzdelere UK2 ve UK3'te % 10, % 28 oranlarında olduğu görülmüştür. UK'nın % 10 oranında kullanılması sonucu kontrol numunesine göre dayanımı % 11 oranında artmıştır. Şekil 6.7.11'de UK'nın ağırlıkça kumla yer değiştirilmesi sonucunda elde edilen KK numunelerinin basınç dayanımları gösterilmektedir. Hava+su kür koşulu ile daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmektedir.

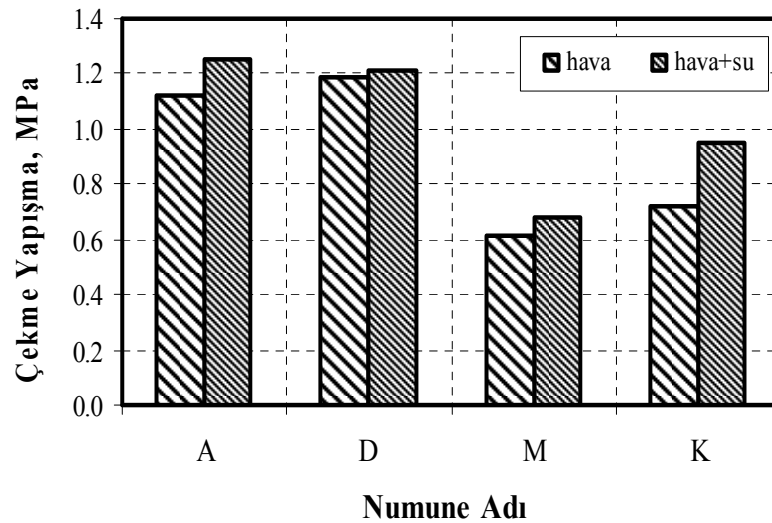


Şekil 6.7.11. KK numunelerinin basınç dayanımı deney sonuçları



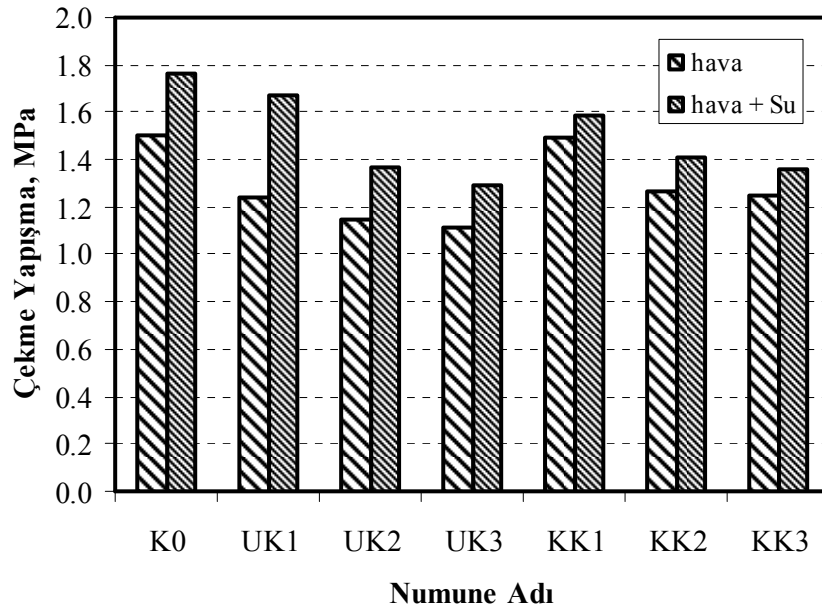
Şekil.6.7.12. Referans numunelerin basınç dayanımı deney sonuçları

Şekil 6.7.12 ve Şekil 6.7.13'te referans harç numunelerine ait basınç dayanım değerleri ve çekme yapışma dayanımı değerleri gösterilmiştir. Referans harçların basınç dayanım sonuçları incelendiğinde hava+etüv kürü uygulanan harç numunelerinde hava ve hava+su kürü uygulanmış numunelere oranla daha yüksek değerler aldığı görülmektedir. Çekme yapışma deneylerinde hava+su kürü uygulanan A numunesinden 1.25 MPa ile en yüksek dayanımı elde edilmiştir. M ve K numunelerinin çekme dayanımı sonuçlarının A ve D numunelerine göre daha az olduğu görülmektedir.



Şekil 6.7.13. Referans numunelerin çekme yapışma deneyi sonuçları

Şekil 6.7.14'te UK ve KK serilerinin çekme yapışma dayanımları gösterilmektedir. Uçucu kül oranının ağırlıkça çimento ile yer değiştirildiği UK serilerinde en yüksek dayanımlar hava+su kürü sonucunda elde edilmiştir. UK oranının arttırılması ile dayanımların azaldığı görülmektedir. K0 kontrol numunesinin çekme yapışma dayanımı 1.76 MPa'a göre bu azalma yüzdelerinin % 10, % 20, % 30 UK miktarına göre % 5, % 22, % 27 oranlarında olduğu görülmüştür. En yüksek dayanım her iki kür koşulunda da UK1 numunesinde elde edilmiştir. Havada kür uygulanan UK1 numunesinin çekme yapışma değeri hava+su kür koşulunda bekletilmesi sonucunda alınan değere göre dayanımının % 26 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 6.7.14. UK ve KK numunelerinin çekme yapışma deneyi sonuçları

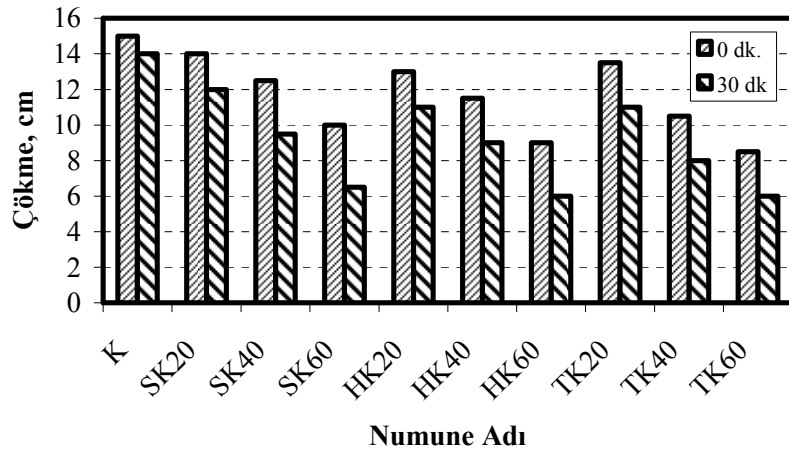
Uçucu kül oranının ağırlıkça standart kum ile yer değiştirildiği KK serilerinde en yüksek dayanımlar hava+su kürü sonucunda elde edilmiştir. UK oranının arttırılması ile dayanımların azaldığı görülmektedir. K0 kontrol numunesine göre bu azalma yüzdeleri KK1'de % 10, KK2'de % 20 ve KK3'te % 23 olduğu görülmüştür.

BÖLÜM 7

DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ

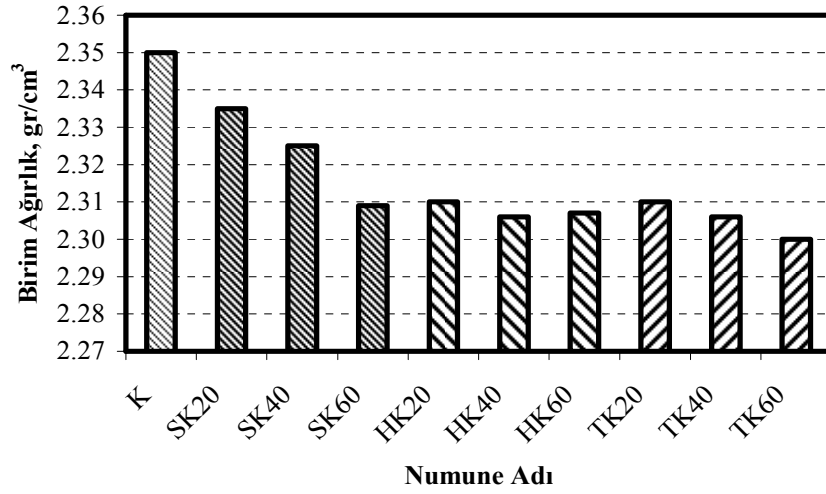
7.1. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması

Seyitömer sepere külü (SK), ham külü (HK) ve taban küllerinin (TK) betonda kullanımı çeşitli deneylerle incelenmiştir. Üretilen taze beton numunelerine çökme deneyi uygulanmıştır. Elde edilen çökme değerleri incelenmiş ve SK numunelerinde daha fazla çökme kayıpları görülmüştür. Bunun nedeni SK'ların tane boyutlarının ince olması ve su emme özelliklerinin artmasıdır. TK60 ve HK60 betonlarının çökme değerlerinin aynı olduğu ancak 30 dk sonunda çökme değerleri sırasıyla % 29 ve % 33 oranlarında azaldığı görülmüştür. Şekil 7.1.1'de görüldüğü gibi 30 dk'nın sonunda en büyük çökme kaybı % 35 değeri ile SK60 betonunda görülmektedir. SK20'ye göre SK miktarı arttıkça çökme değerleri sırasıyla % 12 ve % 40 oranlarında düşmektedir.



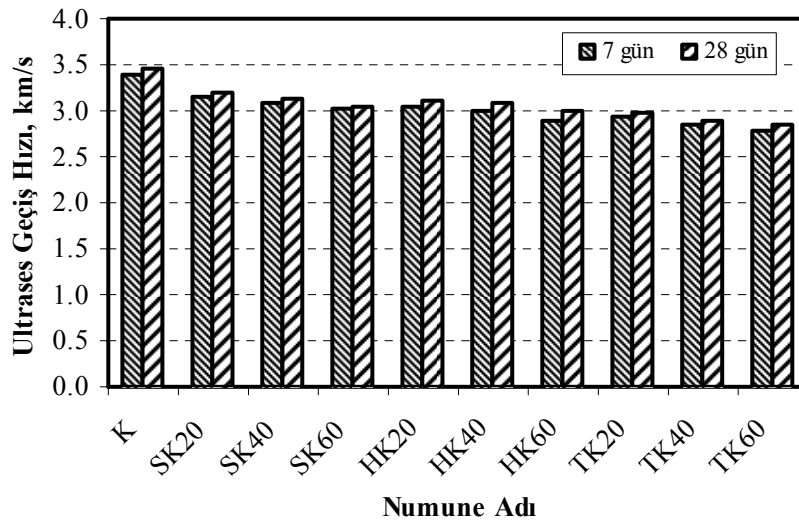
Şekil 7.1.1. SK, HK ve TK'lı betonların çökme değerleri

Üretilen beton numunelerinin birim ağırlık değerleri incelendiğinde SK20'ye göre HK20 ve TK20'nin birim ağırlıkları % 1 oranında düşük değerler aldığı görülmüştür. Uçucu ve taban küllerinin % 60 oranında kullanıldığı betonlarda SK60 betonuna göre % 0.1, % 0.4 oranında birim ağırlık değerleri azalmaktadır.



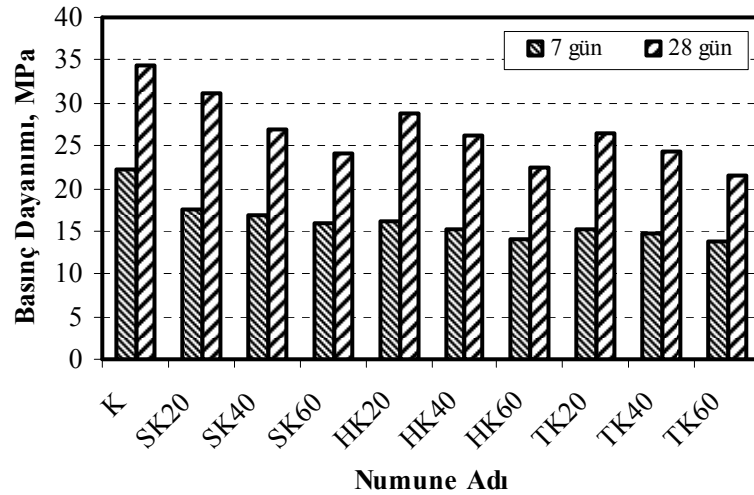
Şekil 7.1.2. SK, HK ve TK'lı betonların 28 günlük birim ağırlık değerleri

Şekil 7.1.2'de SK kullanılan beton numuneleri kendi aralarında birim ağırlık değerleri incelendiğinde SK20'ye göre SK oranının % 20 ve % 40 oranında artması ile sırasıyla % 0.4 ve % 1.1 oranında azalmıştır. Şekil 7.1.3'te beton numunelerinin ultrases geçiş hızı deney sonuçları gösterilmektedir. Şekil 7.1.3'te görüldüğü gibi 28 günlük en yüksek ultrases geçiş hızı 3.20 km/s ile SK20 beton numunesinde elde edilmektedir.



Şekil 7.1.3. SK, UK ve TK'lı betonların 7-28 günlük ultrases geçiş hızı değerleri

Şekil 7.1.3'e bakıldığında SK kullanılan betonların 7-28 günlük ultrases geçiş hızlarındaki artış oranları SK20, SK40 ve SK60'da sırasıyla % 1.6, % 1.3, % 0.9 olarak değişmektedir. Bu değerler HK'lı betonlarda % 1.6, % 2.7, % 3.4 ve TK'lı betonlarda % 1.7, % 2.1 ve % 2.2 olarak değişmektedir. Bu sonuçlar dikkate alındığında SK'lı betonların boşluklu yapılarını HK ve TK'lardan daha hızlı doldurduğu anlaşılmaktadır. Bütün beton serileri içinde 28 güne kadar ultrases geçiş hızı artışı değeri % 3.4 farkla HK60'da görülmektedir. Genel olarak bakıldığında birim ağırlık değerlerinde olduğu gibi UK'ların tane boyutu inceldikçe ultrases geçiş hızı değerleri artmıştır. Bu nedenle betonların birim ağırlıkları ile ultrases geçiş hızı değerleri paralellik göstermektedir.

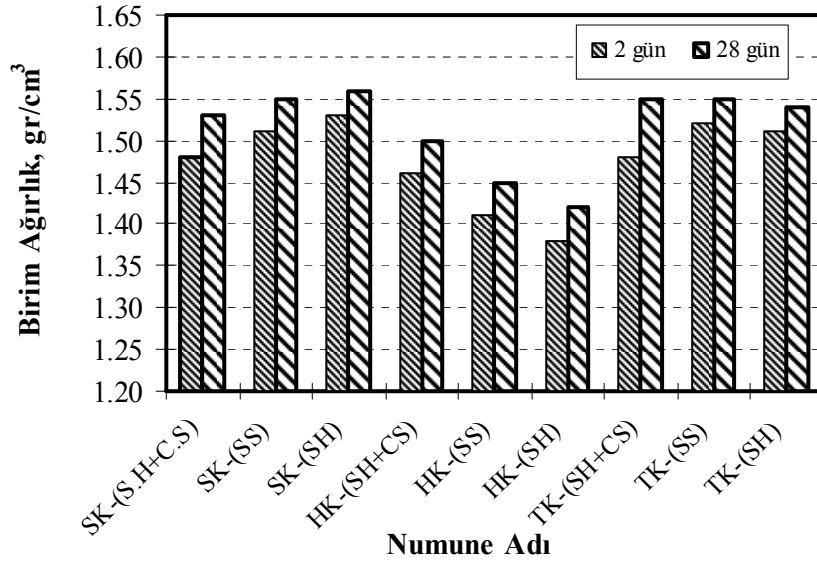


Şekil 7.1.4. SK, UK ve TK'lı betonların basınç dayanımı değerleri

Şekil 7.1.4'te üretilen betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları görülmektedir. K kontrol betonuna göre HK20, HK40 ve HK60 numuneleri karşılaştırıldığında dayanımlarda sırasıyla % 16, % 24 ve % 35 oranlarında dayanım kayıpları görülmektedir. UK kullanılan beton numuneleri içinde SK20 betonu 28 günde 31 MPa değeriyle C 25/30 beton sınıfına ulaşmıştır. Ayrıca 7-28 günlük zaman diliminde % 20 oranında uçucu kül kullanılan SK20, HK20 ve TK20 betonları 7 günlük dayanımlarının % 77'sini aldığı görülmektedir. SK60 referans betonu olarak kabul edilirse HK60'ta % 7, TK60 beton numunesinde % 11 oranında dayanım azalmaktadır.

7.2. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu

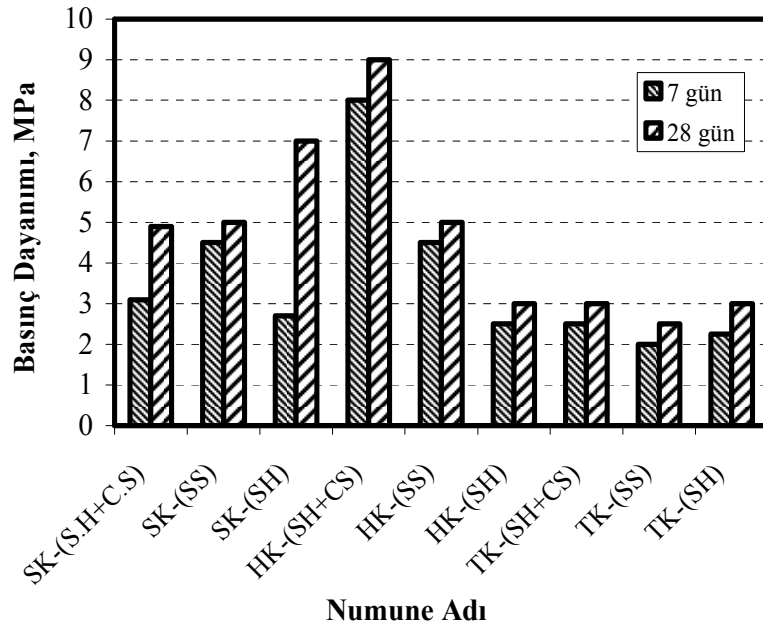
Seyitömer uçucu külü (UK) ve taban külü (TK) çeşitli alkalilerle aktive edilerek harçta aktivasyon denenmiştir. Üretilen harç numunelerinde birim ağırlık, ultrases geçiş hızı ve basınç dayanımı deneyleri yapılmıştır. Şekil 7.2.1’de üretilen harç çubuk numunelerinin 2 ve 28 günlük birim ağırlık sonuçları gösterilmektedir. TK-(SH+CS) harç numunelerinin birim ağırlık değeri 28 güne kadar % 5 oranında artmıştır. Bu artışların SS ve SH alkalileri kullanılan TK’lı harçlarda % 2 olduğu görülmektedir.



Şekil 7.2.1. SK, HK ve TK’lı harç numunelerinin birim ağırlık değerleri

SK’lı numunelerin birim ağırlık deneyi sonuçları incelendiğinde en yüksek birim ağırlık değeri SH alkalisi ile elde edilmiştir. SK-(SH) harç numunelerinin 28. güne kadar % 2 oranında artış göstermesi nedeniyle SH’in bağlayıcılık özeliğini daha çabuk ortaya çıkardığı ve homojen bir yapının oluşmasını sağladığı düşünülmektedir. Bu oranlar SS ve SH+CS kullanılan SK’lı harç numunelerinde % 2.7 ve % 3.4’tür. Şekil 7.2.1’de görüldüğü gibi HK’lı harçlarda TK’larda olduğu gibi SH+CS alkalilerinin birlikte kullanımı sonucunda birim ağırlık sonuçları diğerlerine göre daha yüksektir.

Harç numunelerinin ultrases geçiş hızı değerleri incelendiğinde en yüksek ultrases geçiş hızı sonuçlarının SK ve HK'lı harçlarda SS alkali ile TK'lı harçlarda ise SH kullanımı ile elde edildiği görülmüştür. Bu durum tane boyutu ince uçucu küllerde SS alkalisinin daha homojen bir yapı oluşturabildiğini, puzolanik özeliği arttırdığını kanıtlamaktadır. Şekil 7.2.2'de gösterilen basınç dayanım sonuçları incelendiğinde 2-28 günlük dayanımlardaki artışlar SK'lı numunelerde SH alkali ile, HK'larda SH+CS, TK'larda ise SS alkali ile elde edilmiştir. En yüksek 28 günlük basınç dayanımları ise SK'larda SH, HK'larda SH+CS, TK'larda ise SH ve SH+CS alkali kullanımı sonucunda görülmüştür. Genel olarak bakıldığında en yüksek 28 günlük basınç dayanımı 9 MPa ile HK'lı harçlarda SH+CS alkali kombinasyonunda elde edilmiştir.

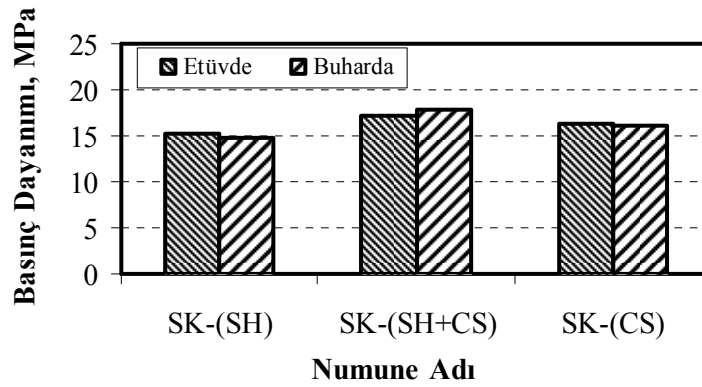


Şekil 7.2.2. SK, HK ve TK'lı harçların basınç dayanımı değerleri

TK kullanılan harç numunelerinin 28 günlük dayanım sonuçları incelendiğinde TK-(SH) ve TK-(SH+CS) numunelerinin basınç dayanımı değerleri eşit çıktığı görülmüştür fakat 7 ve 28 arasındaki dayanım artışları % 33 ve % 20 oranlarında değişmektedir. Benzer durum SK-(SH+CS) ve SK-(SS) numunelerinde görülmektedir. Basınç dayanımları eşit fakat dayanım artış oranları SH+CS de daha yüksek çıkmıştır.

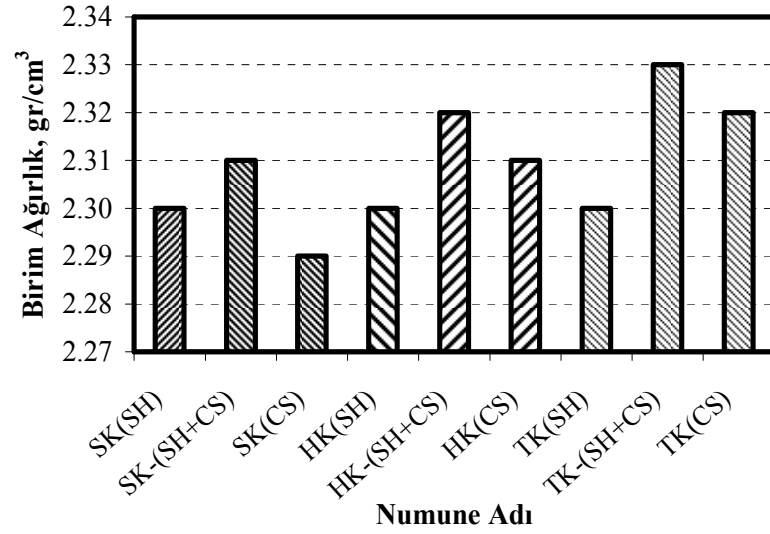
7.3. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu

Çimentosuz beton üretimi için çeşitli alkaliler kullanılarak betonda aktivasyon incelenmiştir. Değişen kür koşulları, kullanılan kül tane boyutu ve alkali çeşitlerine göre ortaya çıkan sonuçlar irdelenmiştir. Üç farklı değişken ile en iyi çimentosuz beton üretilmeye çalışılmıştır. Bu numuneler üzerinde basınç dayanımı en önemli özelliktir.



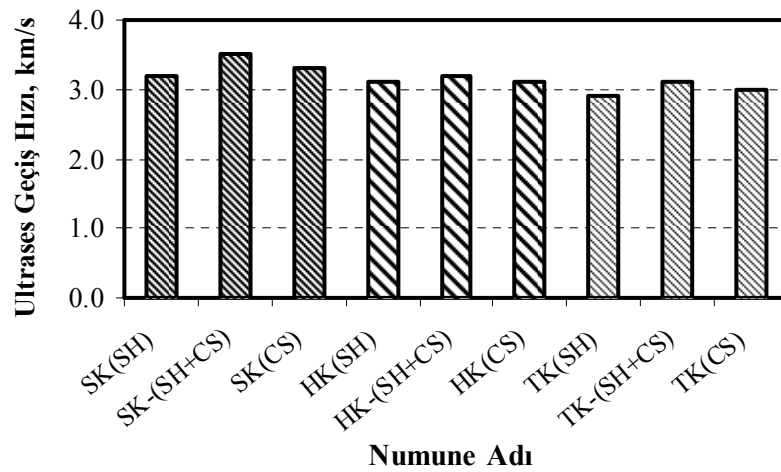
Şekil 7.3.1. Buharda ve etüvde SK'lı betonların basınç dayanımı deneyi sonuçları

Alkali aktivasyon denenen betonlarda basınç dayanımlarına bakıldığında alkalilerin SK'lara daha fazla bağlayıcılık özeliği kattığı görülmüştür. Şekil 7.3.1'de SK'lı alkali aktive edilmiş betonların 28. günde 2 farklı kür koşullarında elde edilen basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Etüvde hızlandırılmış kür uygulanan numunelere bakıldığında SK-(SH+CS) SK(SH)'a göre % 11, SK(CS)'ye göre % 6 oranında dayanımlar azalmıştır. Benzer durumda buharda hızlandırılmış kür uygulananlarda görülmektedir. Buharda hızlandırılmış kür uygulanan betonlarda ise SK-(SH+CS) betonu referans alındığında SK(SH)'a göre % 21 ve SK(CS)'ye göre % 11 oranında dayanım artışı gözlemlenmektedir. SK-(SH+CS) betonları kendi aralarında incelendiğinde buharda kür uygulanan alkali aktive edilmiş betonların etüvde kür uygulananlara göre basınç dayanımının % 4 oranında arttığı görülmektedir. Etüvde kür uygulanan betonlarda 7. günde dayanımda azalma daha sonra artma görülmüştür. SK-(SH+CS) beton numunesinin 2 günlük basınç dayanımı % 7 oranında azalmaktadır.



Şekil 7.3.2. Etüde kür uygulanan betonların birim ağırlık deneyi sonuçları

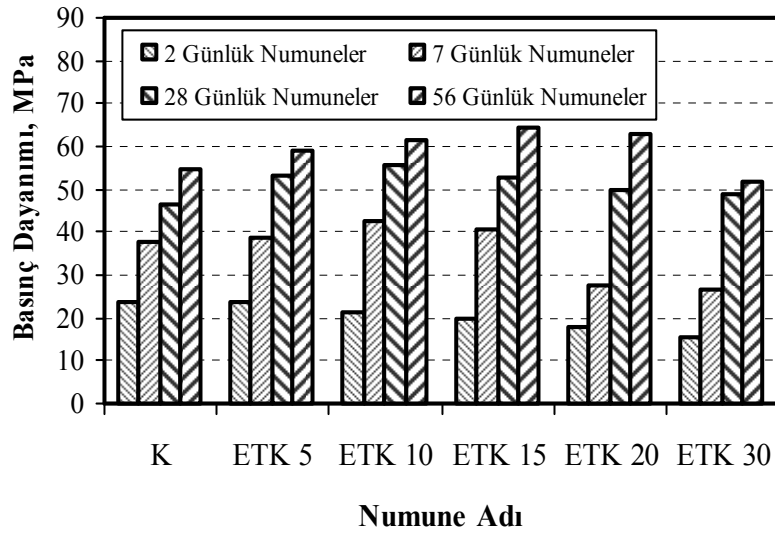
Şekil 7.3.2 ve Şekil 7.3.3'te etüde hızlandırılmış kür uygulanan betonların birim ağırlık ve ultrases geçiş deney sonuçları gösterilmektedir. Birim ağırlıkta 2.33 gr/cm³ sonucuyla TK-(SH+CS) betonu en yüksek değeri almıştır. Uçucu kül tane boyutuna bağlı olarak % 0.4 ve % 0.9 oranlarında birim ağırlık kaybı görülmektedir. Ultrases geçiş hızlarında ise 3.5 km/s değeriyle SK-(SH+CS) betonunda “iyi” sonucu alınmıştır. SK-(SH+CS)'ye göre (SH+CS) kullanılan beton numuneler arasında uçucu kül tane boyutu arttıkça ultrases geçiş hızı değeri sırasıyla % 9 ve % 11 azalmaktadır.



Şekil 7.3.3. Etüde kür uygulanan betonların ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları

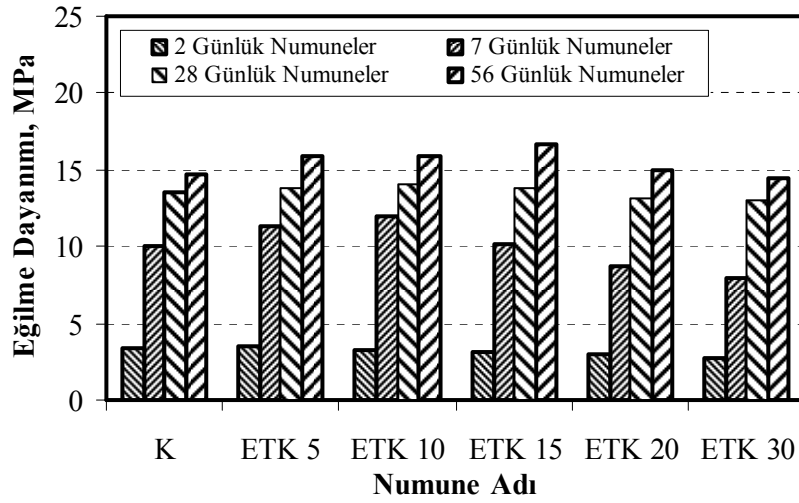
7.4. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Çimento Üretiminde Kullanılması

Seyitömer uçucu kül (UK) ve taban külleri (TK) ile CEM II Portland uçucu küllü çimento üretilmeye çalışılmıştır. Şekil 7.4.1'de üretilen çimento numuneleri zamanla değişen basınç dayanımı değerleri gösterilmektedir. Öğütülmüş TK oranına göre en yüksek basınç dayanımları 28. günde ETK10 numunesinden, 56. günde ise ETK15 numunesinden elde edilmiştir. K kontrol numunesinin 28 günlük basınç dayanımına göre TK'ların % 5, % 10, % 15, % 20, % 30 kullanılması ile dayanımların % 14, % 20, % 13, % 7, % 5 oranlarında arttığı görülmüştür. Bu sonuçlar 56 günlük basınç dayanımlarında TK'ların % 5, % 10, % 15, % 20 kullanılması ile % 7, % 12, % 17, % 14 değerleri arasında değişmektedir. ETK30 harç numunesinin 56 günlük basınç dayanımı değerinin K kontrol numunesine göre % 2 oranında az olduğu görülmektedir.



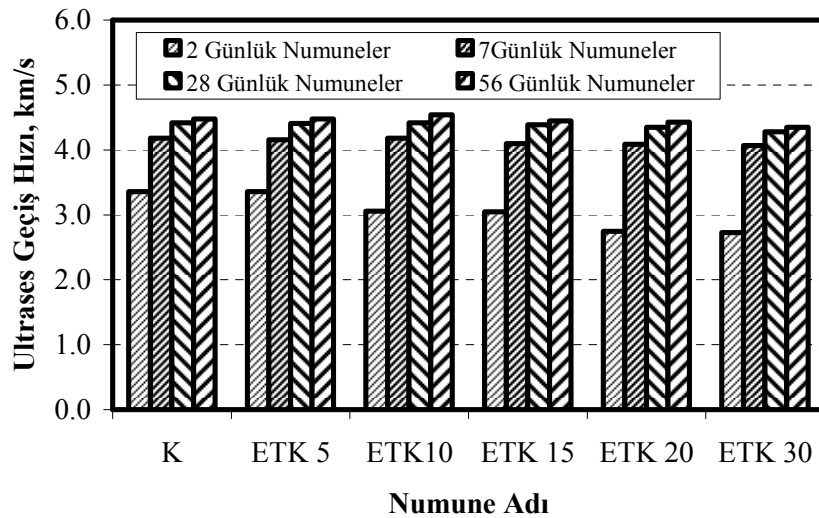
Şekil 7.4.1. Çimento numunelerinin 2, 7, 28 ve 56 günlük basınç dayanımları

Harç numunelerinin 2 günlük erken dayanımları incelendiğinde ETK5 çimentosundan sonra TK'nın artırılması dayanımları olumsuz yönde etkilemiştir. Öğütülmüş TK oranının artması erken dayanımları yavaşlatmaktadır. Bu nedenle ETK30 harç numunesinin 7/28 günlük dayanım artışının diğerlerinden fazla çıkmıştır.



Şekil 7.4.2. Çimento numunelerinin 2, 7, 28 ve 56 günlük eğilme dayanımları

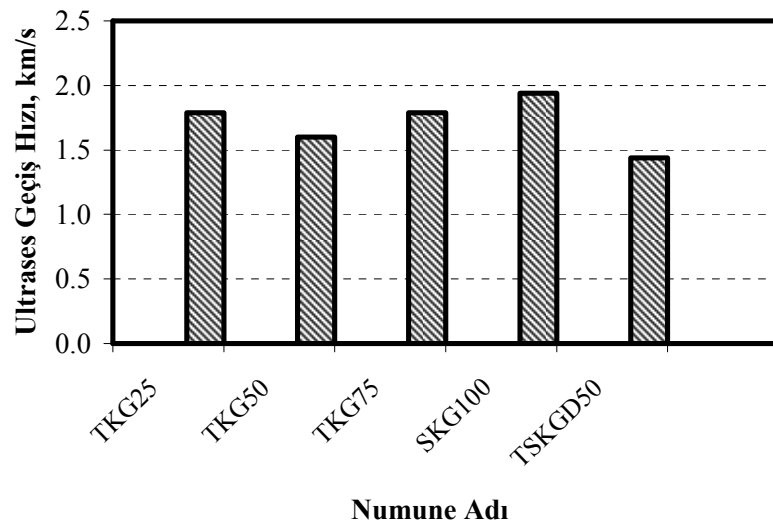
Şekil 7.4.2’de K kontrol numunesinin 28 günlük eğilme dayanımına göre TK’ların % 5, % 10, % 15 kullanılması ile dayanımları % 2, % 4, % 2 oranlarında artmakta ve % 20, % 30 kullanılması ile % 3, % 4 oranlarında azalmaktadır. Şekil 7.4.3’te çimento numunelerinin 7 ve 28 günlük ultrases geçiş hızlarının K kontrol numunesine göre daha az değerlerde çıktığı görülmüştür. ETK10 numunesinin ultrases geçiş hızı değeri 56. günde K numunesine göre % 2 oranında daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 7.4.3. Çimento numunelerinin 2, 7, 28 ve 56 günlük ultrases dayanımları

7.5. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Gazbetonda Kullanılması

Gaz beton üretiminde TK ve SK agrega yerine kullanılmıştır. Yapılan karışımlarda TK kullanılmıştır sadece TSKG50 gaz betonunda % 50 SK, % 50 TK kullanılmıştır. Bu nedenle TSKG50'nin birim ağırlığı tamamen SK kullanılan SKG100'e göre % 34 oranında daha düşük çıkmıştır. En yüksek birim ağırlık ise TKG25'te elde edilmiştir. Bunun nedeni kuvars kumunun özgül ağırlığının TK'dan daha fazla olmasıdır. Şekil 7.5.1'de ultrases geçiş hızı deney sonuçları görülmektedir. Sonuçlara bakıldığında 1.940 km/s değeri ile SKG100 gazbetonun yapısının diğerlerine göre boşluklu olmadığı anlaşılmaktadır. İstenilen boşluklu yapı TSKG50'de görülmüştür. Bunun nedeni kuvars kumu yerine % 50 SK ve % 50 TK kullanılmasıdır.



Şekil 7.5.1. UK katkılı gazbetonların ultrases geçiş hızı deney sonuçları

Gazbeton blokların basınç dayanımlarında en iyi sonuç TKG75 gazbetonunda alınmıştır. Birim hacim ağırlığının 0.711 ve basınç dayanımının 5.47 MPa olması nedeniyle TS 453'e göre G4/07 sınıfına girmektedir. TK'nın azaltılması ile basınç dayanımlarında % 25 ve % 41 oranında dayanım düşük çıkmaktadır. TSGD50'de 2.59 MPa ile en düşük dayanımı almıştır ancak TS 453'te G2/0.5 sınıfına girmektedir.

7.6. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda kullanılması

Seyitömer uçucu külü ve taban külünün kullanılması ile üretilen gazblok ve flybloklar üzerinde birim ağırlık ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır. Elde edilen deneysel sonuçlar dikkate alındığında kullanılan UK ve TK nedeni ile blokların birim ağırlıklarının normal betonlara göre daha düşük olduğu görülmektedir.

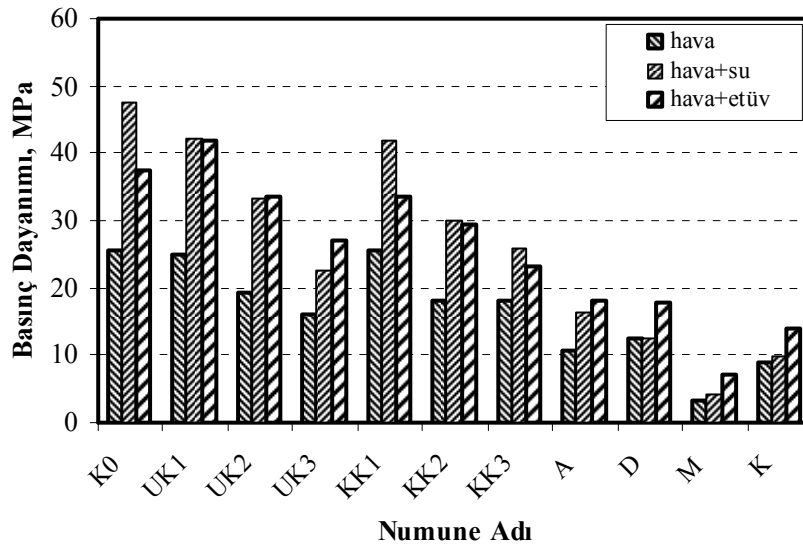
Üretilen serilerin kendi aralarında karşılaştırılması yapıldığında Gazblok elemanının birim ağırlığının flyblok I'e göre % 28, flyblok II'ye göre % 35 oranında daha az olduğu görülmektedir. Gazblok elemanının birim ağırlığının flybloklardan düşük çıkmasının nedeni gazbloklarda farklı olarak boşluk oluşturma özeliğinin fazla olan alüminyum tozu kullanılmadığıdır. Flyblokların kendi aralarında incelemesi yapıldığında ise flyblok I'in birim ağırlık değerinin % 10 oranında flyblok I'e göre daha fazla olduğu görülmektedir. Kullanılan çimento dozajlarının farklı olması, çimentonun özgül ağırlığının UK'dan fazla olması üretilen blokların birim ağırlıklarını azaltmaktadır.

Gazblok ve flyblokların 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanımın 6 MPa değeri ile flyblok II'de elde edildiği görülmektedir. Bunun nedenini kullanılan çimento miktarının fazla olmasıdır. İlerleyen günlerdeki dayanımının da diğer hafif bloklardan daha yüksek çıkacağı düşünülmektedir. Gazblok ve flyblok I elemanlarının basınç dayanımları eşit çıkmıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında üretilen flyblok ve gazblokların basınç dayanımları incelendiğinde standartlara göre briket veya gazbeton olarak duvarlarda kullanılmalarının uygun olacağı görülmektedir.

Yapılan maliyet araştırmasında ise flyblok II, gazbloğa göre % 30 kar oranı sağlamaktadır. Bu durumda flyblokların tercih edileceği düşünülmektedir. Maliyet hesabında gazblokların diğer üretilen flybloklara göre pahalı çıkmasının nedeni kullanılan alüminyum tozunun kg fiyatının fazla olmasıdır. Görülen bu fiyat farkı flyblok I' göre % 50 oranında daha fazla çıkmasına neden olmuştur.

7.7. Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanılması

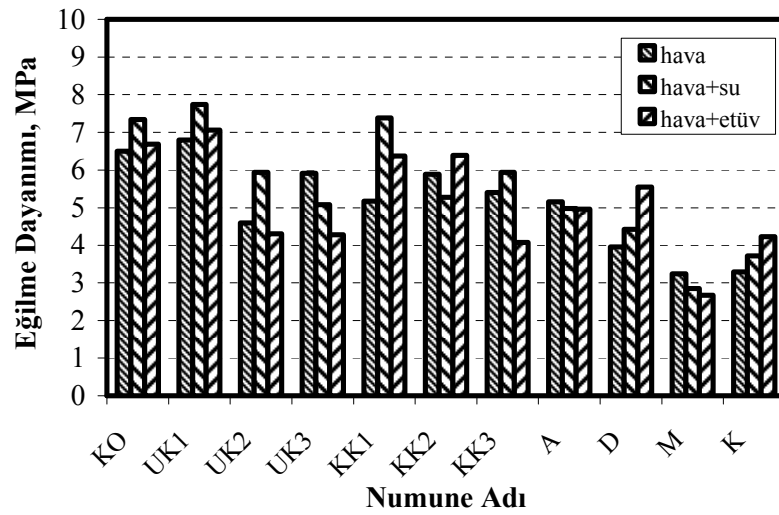
Seyitömer uçucu küllerinin % 10, % 20 ve % 30 oranlarında ağırlıkça çimento ve kumla yer değiştirilmesi sonucu iki farklı seramik yapıştırıcısı üretilmeye çalışılmıştır. Ayrıca uygulamalarda kullanılan seramik yapıştırıcılarında referans olarak kullanılmıştır.



Şekil 7.7.1. UK, KK ve referans serilerinin basınç dayanımları

Şekil 7.7.1’de görüldüğü gibi UK serilerinde genel olarak en yüksek dayanımlar hava+etüv kür koşulunda ve KK numunelerinde ise hava+su kür koşulunda elde edilmiştir. Ancak UK numunelerinde UK1 en yüksek dayanımına hava+su kürü ile ulaşmıştır. UK miktarının artması ile basınç dayanımları da azalmaktadır. Her iki seriden alınan en yüksek basınç dayanım değerleri karşılaştırıldığında UK1’in KK1’e göre % 10 oranında dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir. Referans serilerinde hava + etüv kür koşulunda diğer kür koşullarına göre daha yüksek dayanımlar elde edilmiştir. Üretilen numunelerin birim ağırlık değerleri incelendiğinde UK1’in 2.32 gr/cm^3 değeriyle K0 kontrol numunesiyle aynı değeri alması dikkat çekmektedir. Bu durum % 10 oranında kullanılan UK’nın birim ağırlığı etkilemediğini göstermektedir. UK’nın artırılması ile UK ve KK’ların birim ağırlıklarının azalmıştır.

Şekil 7.7.2’de tüm kür koşulları için çimento yerine % 10 kül kullanılmasıyla eğilme dayanımların kontrol serisine oranla arttığı görülmektedir. Artış oranları UK’larda havada kür için % 5, hava+su kürü ve hava+etüv kürü için % 6’dır. Çimento yerine UK’nın % 20 ve % 30 kullanılmasıyla eğilme dayanım değerleri kontrol serisine oranla sırasıyla hava kürü uygulanmış serilerde % 29, % 9, hava+su kürü uygulanmış serilerde % 19, % 31, hava+etüv kürü uygulanmış serilerde % 36 azalmıştır. Referans yapııştırıcı harç numunelerinin eğilme dayanımları diğerlerinden daha düşüktür. UK’nın % 10 oranından fazla kullanılması eğilme dayanımını basınç dayanımı ve birim ağırlık değerlerini, oluşturdukları boşluklu yapı nedeniyle olumsuz etkilediği görülmüştür.



Şekil 7.7.2. UK, KK ve referans serilerinin eğilme dayanımları

Çekme yapışma dayanımları incelendiğinde karışımdaki uçucu kül miktarının artmasıyla dayanımların düştüğü görülmüştür. Fakat numunelerde elde edilen en düşük çekme yapışma dayanımı, referans alınan seramik yapııştırıcılarının dayanımlarından yüksektir. UK serisi, kontrol serisi ile karşılaştırıldığında kül miktarının % 10, 20 ve 30 olması halinde çekme yapışma dayanımlarının hava küründe % 17, % 23, % 26, hava+su küründe % 5, % 22, % 27 oranında azalmıştır. Yine aynı şekilde KK serisi için hava küründe % 1, % 15, % 17, hava+su küründe % 10, % 20 ve % 23 oranında azalmıştır. Referans seriler incelendiğinde en yüksek dayanımı A’da görülmüştür.

BÖLÜM 8

SONUÇ VE ÖNERİLER

Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Betonda Kullanılması:

- Seyitömer UK ve TK'larının betonda kullanılması ile ilgili çalışmada Seyitömer sepere külü (SK), ham külü (HK) ve taban külü (TK) belirli oranlarda ağırlıkça çimento ile yer değiştirilerek beton numuneler üretilmiştir.
- TK'nın standart dışı özelliklerinden biri olan kızdırma kaybı değerinin yani yanmamış karbon oranının fazla olması betonun su ihtiyacını arttırmaktadır. Bu durumda betonun işlenebilirliğini olumsuz etkilemektedir. Yapılan deneylerde SK, HK, TK artışı ile çökme kaybının arttığı görülmüştür. Çökme kaybının en çok yanmamış karbon oranı yüksek olan TK'larda olduğu görülmüştür.
- Beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı deney sonuçlarında 28 günlük en yüksek basınç dayanımı 31 MPa değeri ile SK20 betonundan görülmüştür. TS EN 206-1'e göre SK20 betonu C 25/30 beton sınıfına girmektedir. Üretilen en alt beton sınıfının TK serisi ile C 16/20 olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre hazır beton tesislerinde % 20 oranında SK kullanımının daha uygun olduğu ancak mecbur kalınması halinde kullanılabilir TK oranının % 10 olduğu düşünülmektedir.

Seyitömer Uçucu külü ve Taban Külünün Harçta Aktivasyonu:

- Seyitömer SK, HK ve TK'ları sodyum silikat (Na_2SO_3), sodyum sülfat (NaSO_4) ve sodyum hidroksit (NaOH) kullanılarak aktive edilmişlerdir. Birim ağırlık değerleri incelendiğinde 28. günde HK ve TK'larda SH+CS'nin, SK'larda ise SH alkalisinin uçucu küllerin çimento gibi davranış göstermesine neden olduğu görülmektedir.

- Yapılan basınç dayanımlarının incelenmesi sonucunda en yüksek basınç dayanımı değeri HK-(SH+CS) numunesinde görülmüştür. Alkalilerin tane boyutu 1-200 µm elek arasındaki küllerde daha etkili olduğu düşünülmektedir. TK'ların alkali aktivasyonlarında SK ve HK'lara göre yeterli basınç dayanımları alınamamıştır.
- Basınç dayanımı diğerlerine göre yüksek HK-(SH+CS) numunesinin birim ağırlığı beklenenin aksine düşük çıkmıştır. Bu değerlere göre CS'nin numunelere sadece sertlik verdiği ancak içyapısındaki boşlukları dolduramadığı düşünülmektedir
- Ultrases geçiş hızları incelendiğinde 2 günlük sonuçlarda SK ve HK'lı harçlarda SS alkali ile boşluklu yapının daha hızlı dolduğu bu durumun TK'lı harçlarda SH+CS kombinasyonu ile oluştuğu görülmektedir. SH kullanılan harçlarda kullanılan uçucu kül türü dikkate alınmaksızın 2 günlük sonuçların düşük olduğu fakat 2-28 günlük ultrases geçiş hızı artışlarının diğerlerine göre daha yüksek olduğu görülmüştür.

Seyitömer Uçucu külü ve Taban Külünün Betonda Aktivasyonu:

- Çimentosuz beton üretimi amacıyla SK, HK ve TK'lar sodyum hidroksit (SH), sodyum silikat (CS) ve her iki alkalinin kombinasyonu denenmiştir. Etüvde ve buharda kür koşulları uygulanmıştır. Bu koşullar incelendiğinde etüvde 2 günlük hızlı kürden sonra kür havuzunda bekletilen numunelerin hepsinde 7 günde dayanım kayıpları görülmüştür. Ancak buharda kür uygulanan numunelerde bu şekilde bir dayanım kaybı görülmemiştir. Erken dayanımlarında kayıpların görülmemesi için rölatif nemli ortamda kür uygulanmasının daha uygun olduğu düşünülmektedir.
- Çimentosuz beton numunelerinde basınç dayanımlarında, birim ağırlıkta ve ultrases geçiş hızı deneylerinde en iyi sonuçlar SH+CS alkali kombinasyonundan alınmıştır. Kullanılan UK boyutunun azalması ile basınç dayanımlarında artışlar görülmektedir. SK-(SH+CS) betonu ile HK-(SH+CS) ve TK-(SH+CS) betonları karşılaştırıldığında dayanımlarda her iki beton numunesinde dayanımlar % 2 oranında azalmıştır.

Seyitömer Uçucu Külü ve Taban Külünün Çimento üretiminde Kullanılması:

- ÖTK ile üretilen Portland uçucu küllü çimento numunelerin basınç dayanımı sonuçlarına bakıldığında 28 günde ETK10 numunesinden, 56. günde ise ETK15 numunesinde başarılı sonuçlar alınmıştır. Benzer şekilde eğilme dayanımlarında da 28. günde ETK10 ve ETK15 numunelerinden daha iyi sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçlar dikkate alındığında Portland uçucu küllü çimento üretiminde en ideal ÖTK oranının %10-15 arasında olduğu düşünülmektedir.
- TK'nın kızdırma kaybı yani kısmen yanmamış karbon oranı olarak adlandırılan miktarı 10.85'tir. Bu oran çimento üretiminde kullanılan UK'lar için oldukça yüksek bir değerdir. Bu değer fazla olması betonun yada üretilen harcı su ihtiyacını arttırmakta ve puzolanik özeliği bozmaktadır. Ancak TK'nın öğütülmesi ile birlikte portland uçucu küllü çimento üretiminde olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Yapılan öğütme işlemi sonucunda kızdırma kaybı değerinin çimento sanayinde kullanılabilecek uçucu kül değerlerine indiği düşünülmektedir.

Seyitömer Uçucu külü ve Taban Külünün Gaz betonda Kullanılması:

- Gaz beton üretiminde Seyitömer TK'ları agrega yerine kullanılmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda 14 saatlik otoklav küründen sonra numuneler üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylere göre TK kullanımının en ideal oldu karışım % 75 UK içeriğine sahip olan TKG75'tir. TS 453'e göre G4/07 gazbeton sınıfına girmektedir. G4 sınıfının asmolen yada döşeme bloğu olarak uygun olduğu düşünülmüştür.
- Üretilen gazbeton numunelerinden en düşük basınç dayanımı % 50 oranında SK ve % 50 oranında TK kullanılan gazbeton numunesinden alınmıştır. Elde edilen en düşük dayanım değeri ile TS 453'e göre G2/0.5 gazbeton sınıfında beton üretildiği anlaşılmaktadır. G2 sınıfı üretilen gaz betonun yalıtım malzemesi duvar elemanı olarak kullanılmasının uygun olduğu düşünülmektedir.

Seyitömer Uçucu külü ve Taban Külünün Hafif Beton Bloklarda Kullanılması:

- Hafif beton blok üretiminde istenilen özellikler, basınç dayanımlarının yüksek ve birim ağırlıklarının düşük olmasıdır. Üretilen hafif beton blok serilerinde en yüksek basınç dayanımı ve düşük birim ağırlık değerleri flyblok II serisinde elde edilmiştir. Bu sonuçlar dikkate alındığında üretilen flyblok ve gazblokların standartlara göre briket veya gazbeton olarak duvarlarda kullanılmasının uygun olduğu görülmüştür.
- Yapılan maliyet araştırmasında ise flyblok II, gazbloğa göre % 30 kar oranı sağlamaktadır. Bu durumda flyblokların tercih edileceği düşünülmektedir.

Seyitömer Uçucu külü ve Taban Külünün Seramik Yapıştırıcısında Kullanılması:

- Seyitömer UK'sının ağırlıkça çimento ve kum ile yer değiştirilmesi sonucunda seramik yapıştırıcıları üretilmeye çalışılmıştır. Farklı kür koşullarında bekletilen numuneler uygulamalarda kullanılan referans yapıştırıcılar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan deneylerde alınan sonuçlar referans yapıştırıcılara göre daha yüksektir.
- Numuneler üzerinde yapılan çekme yapışma, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, birim ağırlık ve ultrases geçiş hızı deneyleri uygulanmıştır. Sonuçlar incelendiğinde en ideal saklama koşunun hava+su kürü olduğu ve en ideal seramik yapıştırıcısının % 10 uçucu kül kullanılarak üretilen UK1 harç numunesi olduğu görülmüştür.
- Birim maliyetler açısından üretilen numuneler ve uygulamalarda kullanılan referans yapıştırıcılar karşılaştırıldığında, UK ile üretilen numunelerin maliyetlerinin yüksek olduğu hesaplanmıştır. Ancak elde edilen dayanım değerlerinin referans yapıştırıcılara yaklaştırılması ile bu farkın azalacağı düşünülmektedir.
- UK'lar ile üretilen seramik yapıştırma harçlarının uygulanacağı yerlere ve amaçlarına dikkate edilerek kullanılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- ACI Committee 226, 1987, Use of fly ash in concrete, ACI Materials Journal, 84, 5, 381-409.
- Alkaya, D., Erken, A., Alyanak, T. ve İmançlı, G., 2002, Uçucu küllerin toprak sanayinde kullanılabilirliği, II. Uluslararası Pişmiş Toprak Sempozyumu, Tepebaşı Belediyesi, Eskişehir, 287-295.
- Antiohos, S.K. and Tsimas, S., 2002, Reactive silica of fly ashes in relation to the burning condition of lignites, Proceedings of the International Conference Challenges of Concrete Construction, Dundee, Scotland, 71-80.
- Aruntaş, H.Y., 1996, Diatomitlerin çimentolu sistemlerde pozolanik malzeme olarak kullanılabilirliği, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 95 s.
- Aruntaş, H.Y., 2006, Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanım potansiyeli, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 21, 1, 193-203.
- ASTM C 618, 1998, Standart specification for coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete, Annual Book of ASTM Standards, 4 p.
- Barnes, I., and Sear, L., 2004, Ash utilisation from coal-based power plants, Report COAL R274DTI/PUBURN04, 1915.
- Barbosa, V.F.F., MacKenzie, K.J.D. and Thaumaturgo, C., 2000, Synthesis and characterization of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers, International Journal of Inorganic Materials, 2, 309-317.
- Bentli, İ., Uyanık, A.O., Demir, U., Şahbaz, O. ve Çelik, M.S., 2005, Seyitömer Termik Santrali uçucu küllerinin tuğla katkı hammaddesi olarak kullanımı, Türkiye 19. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Fuarı, İzmir, Türkiye, 385-389.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Bhattacharjee, U. and Kandpal, T.C., 2002, Potential of fly ash utilisation in India, *Energy*, 27, 2, 151-166.
- Bittner, J.D., Dunn, T.M., Hrach, J. and Frank J., Method and apparatus for separating of unburned carbon from fly ash, US Patent No: 6.074.458.
- Cabrera, J.G. and Hassan, K.E., 1998, The use of classified fly ash to produce high performance concrete, 6th Canmet/ACI International Conference on Fly Ash, Silica Fume, Slag and Pozzolans in Concrete, Bangkok, 1, 21-26.
- Cioffi, R., Maffucci, L. and Santoro, L., 2003, Optimization of geopolymer synthesis by calcination and polycondensation of a kaolinitic residue, *Resources Conservation and Recycling*, 40, 27-38.
- Davidovits, J., 1989, Geopolymers and geopolymeric materials, *Journal of Thermal Analysis*, 35, 429-441.
- Davidovits, J., 1993, Geopolymers cement to minimize carbon dioxide greenhouse warming, *Ceramic Transactions*, 37, 165-182.
- Davidovits, J., 1994, Geopolymers: inorganic polymeric new materials, *Journal of Materials Education*, 16, 91-139.
- Demir, İ., 2005, Uçucu külün hafif yapı malzemesi üretiminde kullanılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 21-24.
- Demirboğa, R. and Gül, R., 2003, The Effects of expanded perlite aggregate, silica fume and fly ash on the thermal conductivity of light weight concrete, *Cement and Concrete Research*, 33, 723-727.
- E.İ.E., 1982, Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve kullanım alanları, *Elektrik İşleri Etüt Dairesi Genel Müdürlüğü*, Ankara, 82-81.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Enders, M., 1996, The CaO distribution to mineral phases in a high calcium fly ash from eastern Germany, *Cement and Concrete Research*, 26, 2, 243-250.
- Erdoğan, T.Y., 2003, *Beton*, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, 741 s.
- Erdoğan, Y., Olgun, A., Özmal, F. and Zeybek, B., 2004, Utilization of boron industry waste, fly ash, bottom ash and alunitemineral in cement production as an additive material, II. Uluslararası Bor Sempozyumu, Eskişehir, 455-461.
- Fernandez-Jimenez, A. and Palomo, A., 2005, Composition and microstructure of alkali activated fly ash binder: effect of the activator, *Cement and Concrete Research*, 35, 1984-1992.
- Glukhovskiy, V.D., Rostovskaja, G.S. and Rumyna, G.V., 1980, High strength slag-alkaline cements, 7th International Congress on the Chemistry of Cement, Paris, 3, 164-168.
- Gray, D.H., 1977, Handling, Placement, and storage of ash to maximize utility and minimize environmental impact, *A Short Course on Technology and Utilization of Power Plant Ash*, 48 p.
- Gül, R. ve Yıldız, İ., 1997, Uçucu küllerin inşaat sektöründe kullanılması, *Teknik Bülteni*, Ankara, 57 s.
- Hewlett, P.C., 1998, *Lea's Chemistry of Concrete*, Fourth Edition, Arnold.
- Hubbard, F.H., 1985, Pulverize fly ash for concrete: compositional characterization of UK PFA, *Cement and Concrete Research*, 15, 1, 185-198.
- Hurst, J.V. and Styron, W.R., Fly ash beneficiation process, US Patent No: 4.121.94.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Jaturapitakkul, C., Kraiwood, K., Vanchai, S. and Teerarach, L., 2004, Use of ground coarse fly ash as a replacement of condensed silica fume in producing high-strength concrete, *Cement and Concrete Research*, 34, 4, 549-555.
- Jueshi, Q., Caijun, S. and Zhi, W., 2001, Activation of blended cements containing fly ash, *Cement and Concrete Research*, 31, 1121-1127.
- Krivenko, P.V., 1994, Alkali cements, 1st International Conference of Alkaline Cements and Concretes, Ukraine, Kiev, 12-129.
- Kurama H. and Kaya, M., 2007, Usage of coal combustion bottom ash in concrete mixture, *Construction Building Materials* (submitted)
- Li, Z., Ding, Z. and Zhang, Y., 2004, Development of sustainable cementitious materials, International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, Beijing, China, 55-76.
- Malek, R.I.A. and Roy, D.M., 1995, Structure and properties of alkaline activated cementitious materials, 97th Annual Meeting of The American Ceramic Society, Cincinnati, OH.
- McCharty, M.J. and Dhir, R.K., 1999, Towards maximising the use of fly ash as a binder, *Fuel*, 78, 2, 121-132.
- Mehta., K., 1985, Influence of fly ash characteristics on the strength of portland-fly ash mixtures, *Cement and Concrete Research*, 15, 1, 669-674.
- Mora, E.P, 1993, Influence of different sized fractions of a fly ash on workability of mortars, *Cement and Concrete Research*, 23, 4, 917-924.
- Narayanan, N. and Ramamurthy, K., 2000, Structure and properties of aerated concrete: a review, *Cement Concrete Composites*, 22, 321-329.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

- Palomo, A., Macias, A., Blanco, M.T. and Puertas, F., 1992, Physical, chemical and mechanical characterization of geopolymers, Proceedings of the 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, India, 5, 505-511.
- Sümer, M., 1998, F-tipi uçucu külün beton dayanımına ve kılcal su emmesine etkileri, Sakarya Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya.
- Tikalsky, P.J. and Carraquillo, R.L., 1992, Influence of fly ash on sulphate resistance of concrete, ACI Materials Journal, 89, 1, 69-75.
- Tokyay, M. ve Erdoğan, K., 1998, Türkiye termik santrallerinden elde edilen uçucu küllerin karakterizasyonu, TÇMB, Ankara.
- Topçu, İ.B., 2006, Yapı Malzemeleri ve Beton, Eskişehir, Türkiye, 502 s.
- Topçu, İ.B., Kurama, H. ve Karakurt, C., 2007, Gazbeton üretiminde taban külünün kullanımı, Çimento ve Beton Dünyası, 68, 56-65.
- Topçu, İ.B., 2007, Çimentolar ve çimento teknolojisindeki yenilikler, ÇİMSA Çimento Fabrikası Semineri, Eskişehir.
- Topçu, İ.B., 2007, Determination of optimum fly ash usage amount in concretes, The 22nd International Conference on Solid Waste Technology and Management, Philadelphia, PA, USA.
- Topçu, İ.B. ve Canbaz, M., Uçucu kül kullanımının betondaki etkileri, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 14, 2, 11-24.
- TS EN 197-1, Çimento-Bölüm 1, Mart 2002, Genel çimentolar-bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, 21 s.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam ediyor)

TS EN 206-1, Beton-Bölüm 1, Nisan 2002, Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, 63 s.

TS EN 450, Nisan 1998, Uçucu kül-betonda kullanılan-tarifler, özellikler ve kalite kontrolü, Türk Standartları Enstitüsü, 8 s.

TS 453, Temmuz 2006, Önyapımlı (prefabrike), donatılı gazbeton yapı elemanları, Ankara, 18 s.

TS EN 1348, Nisan 2006, Karo yapıştırıcıları-çimentolu yapıştırıcılarda çekme yapışma, Ankara, 6s.

TS EN 1008, Nisan 2003, Beton-karma suyu-numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Ankara, 14 s.

Türker, P., Erdoğan, B., Katnas, F. ve Yeğınobalı, A., 2007, Türkiye'deki uçucu küllerin sınıflandırılması ve özellikleri, TCMB, AR-GE, Y03.03, 102s.

Ünal, O. ve Uygunoğlu, T., 2004, Soma termik santral atığı uçucu külün inşaat sektöründe değerlendirilmesi, Türkiye 14 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, Türkiye, 321-331.

Van Jaarsveld, J.G.S. and Van Deventer, J.S.J., 1999, Effect of the alkali metal activator on the properties of fly ash based geopolymers, Indian Engineering of Chemistry Research, 38, 10, 3932-3941.

Yazıcı, H., Yiğiter, H., Aydın, S. and Baradan, B., 2006, Autoclaved SIFCON with high volume class C fly ash binder phase, Cement and Concrete Research, 36, 7, 481-486.

Zhaohui, X. and Yunping, X., 2001, Hardening mechanisms of an alkaline activated class f fly ash, Cement and Concrete Research, 31, 1245-1249.