

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİS DUMANI KATKILI AĞIR BETONLARIN
FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ**

Serap ESEN

Danışman

Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
YAPI EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ISPARTA - 2013**

©2013 [Serap ESEN]

TEZ ONAYI

Serap ESEN tarafından hazırlanan "SİLİS DUMANI KATKILI AĞIR BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Doç. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Yrd. Doç. Dr. Melda ALKAN ÇAKIROĞLU
Süleyman Demirel Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Ahmet ŞAHİNER

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Serap ESEN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Silis Dumanı İle İlgili Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Ağır Beton İle İlgili Yapılan Çalışmalar	10
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Materyal.....	12
3.1.1. Beton ve özellikleri	12
3.1.2. Beton bileşenleri	14
3.1.2.1. Çimento	14
3.1.2.2. Agrega.....	15
3.1.2.3. Beton karma suyu.....	16
3.1.2.4. Kimyasal ve mineral katkı malzemeleri.....	16
3.1.3. Puzolanlar	17
3.1.3.1. Doğal puzolanlar	18
3.1.3.2. Yapay puzolanlar	18
3.1.4. Silis dumanı	19
3.1.4.1. Silis dumanının yapısı ve fiziksel özellikleri	20
3.1.4.2. Silis dumanının taze beton üzerine etkileri	20
3.1.4.3. Silis dumanının sertleşmiş beton üzerine etkileri.....	21
3.1.5. Ağır betonlar	22
3.1.5.1. Ağır betonun kullanıldığı yerler.....	23
3.1.5.2. Barit.....	23
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Beton karışım hesapları	24
3.2.2. Granülometri.....	25
3.2.3. Baritin birim ağırlığı	27
3.2.4. Baritin özgül ağırlığı.....	28
3.2.5. Beton üretimi	28
3.2.6. Beton deneyleri	30
3.2.6.1. Su emme miktarlarının tayini.....	30
3.2.6.2. Basınç dayanımı	31
3.2.6.3. Eğilme dayanımı	32

3.2.6.4. Ultrases deneyi	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	35
4.1. Slump Deneyi Sonuçları	35
4.2. Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Sonuçları	35
4.3. Su Emme Miktarı Tayini Sonuçları	36
4.4. Basınç Deneyi Sonuçları	36
4.4.1. Numunelerin 7 günlük basınç deneyi sonuçları	36
4.4.2. Numunelerin 28 günlük basınç deneyi sonuçları	37
4.4.3. Numunelerin 90 günlük basınç deneyi sonuçları	38
4.5. Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları	39
4.6. Eğilme Dayanımı Sonuçları	40
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	42
KAYNAKLAR	45
ÖZGEÇMİŞ	49

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SİLİS DUMANI KATKILI AĞIR BETONLARIN FİZİKSEL VE MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Serap ESEN

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

Bu tez çalışmasında, Antalya Eti Elektrometalurji İşletmesinden alınan silis dumanı ile Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesinde bulunan Başer Madencilik işletmesinden temin edilen barit agrega ile ağır beton üretimi yapılmıştır. Çalışmada, basınç dayanımı, ultrasonik ses geçirgenlik, eğilme dayanımı, su emme miktarı, kuru ve doymuş birim hacim ağırlık deneylerinin sonuçları elde edilmiştir. Numunelerin hazırlanmasında ince agrega olarak 0-4 mm'lik elekler arasında kalan %40 ince barit ile 4-16 mm'lik elekler arasında kalan %60 iri barit, agrega olarak kullanılmıştır. Sabit su/bağlayıcı oranı (0,50) ile hazırlanan ağır beton numunelerine silis dumanı, ağırlıkça portland çimentonun (PÇ 42.5 R) %10, %20 ve %30 (SDAB10, SDAB20, SDAB30) oranlarında karışımlara ilave edilmiştir. Bu numunelerin uygun yaşlardaki deney sonuçları araştırılıp, silis dumanı oranına bağlı değişimleri incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda numune içerisindeki silis dumanı miktarı arttıkça, işlenebilirliğin de oldukça azaldığı gözlenmiştir. Basınç dayanımı testi 7. 28. ve 90. gün yaşlardaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç dayanımının en fazla olduğu değer 90. gün yaştaki numunelerden elde edilmiştir fakat dayanım artışı 7. gün ile 28. gün arasında hızlı olmuştur.

Anahtar Kelimeler: Silis dumanı, ağır beton, barit, beton mukavemeti, radyasyon

2013, 49 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF HEAVILY ADMIXTURE SILICA FUME CONCRETE

Serap ESEN

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Construction Education**

Supervisor: Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

In this study, heavy weight concrete was produced with silica fume that obtained Antalya Eti Elektrometalurji firm and Başer mining operations in the district of Isparta şarkikaraağaç heavy concrete with aggregate production of barite were obtained. In study, compressive strength, ultrasonic sound permeability, flexural strength, water absorption, dry and saturated unit weight were obtained from the results of experiments. Screens as fine aggregate in the preparation of the samples of 0-4 mm 4-16 mm sieves with the remaining 40% of fine barite large remaining 60% of the aggregate used. Constant water/binder ratio (0.50) of heavy concrete samples prepared with silica fume by weight of portland cement (PC 42.5 R) 10%, 20% and 30% (SDAB10, SDAB20, SDAB30) was added to mixtures rates. Age appropriate test results of these samples was explored, examined the changes due to rate of silica fume. As a result of the experiments, the amount of silica fume in the sample increases, the observed decrease in workability quite. Compressive strength test were made on samples 7th, 28th and 90th days aged. Compressive strength is the maximum value were obtained samples 90th days aged but the increase in strength have been faster to 28th with 7th days.

Keywords: Silica fume, heavy concrete, barite, concrete strength, radiation

2013,49 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan, çalışmamda ilgi ve teşviklerini esirgemeyen değerli danışman hocam Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT'e teşekkürlerimi sunarım. Literatür araştırmalarımda yardımcı olan değerli hocalarım Doç. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN'a, Yrd. Doç. Dr. Melda ALKAN ÇAKIROĞLU'na, Arş. Gör. Dr. Ayşe AKKAŞ'a teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bilgi ve yardımlarını esirgemeyen Yapı Eğitimi Bölümü hocalarıma teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarımda laboratuvar ortamında makinelerin kullanımında yardımcı olan ve benimle tecrübelerini paylaşan Yapı Eğitimi Bölümü teknisyenlerine teşekkür ederim.

2401-YL-10 No'lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tezimde kullanmış olduğum materyal temini konusunda desteklerinden dolayı Antalya ETİ Elektrometalurji A.Ş. çalışanlarına, Başer Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş. çalışanlarına teşekkür ederim.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Serap ESEN
ISPARTA, 2013

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Beton bileşenlerinin taze ve sertleşmiş beton performansı ile ilişkisi	14
Şekil 3.2. Elektrik-ark fırınında silis dumanı oluşumu	19
Şekil 3.3. Silis dumanı içermeyen betonun elektron mikroskopunda görünümü	21
Şekil 3.4. Silis dumanı ihtiva eden beton	22
Şekil 3.5. En büyük tane çapına bağlı olarak agrega granülometri sınır eğrileri	26
Şekil 3.6. Elek analizi deneylerinde kullanılan standart elekler	29
Şekil 3.7. Düz eksenli beton karışım mikseri	29
Şekil 3.8. Sarsma tablası	30
Şekil 3.9. 300 ton kapasiteli tek eksenli basınç presini	31
Şekil 4.1. 7 Günlük basınç mukavemetleri ortalaması	37
Şekil 4.2. 28 Günlük basınç mukavemetleri ortalaması	38
Şekil 4.3. 90 Günlük basınç mukavemetleri ortalaması	39
Şekil 4.4. Numunelerin 28 günlük ugs değerleri	40
Şekil 4.5. Eğilme dayanım değerleri	41

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Kimyasal katkı tiplerinin beton üzerindeki yararlı etkileri	17
Çizelge 3.2. Bazı agregaların özgül ağırlık değerleri.....	24
Çizelge 3.3. 1m ³ beton bileşimindeki malzeme miktarları	25
Çizelge 3.4. Karışım için kullanılacak agrega miktarları.....	27
Çizelge 3.5. Barit birim ağırlıkları	27
Çizelge 3.6. Agregaların özgül ağırlık değerleri	28
Çizelge 4.1. Slump deneyi sonuçlarına göre çökme miktarları	35
Çizelge 4.2. Doygun birim ağırlık ve kuru birim ağırlık değerleri	36
Çizelge 4.3. Su emme miktarları.....	36
Çizelge 4.4. 7 Günlük kür basınç mukavemetleri ortalaması	37
Çizelge 4.5. 28 Günlük kür basınç mukavemetleri ortalaması	38
Çizelge 4.6. 90 Günlük kür basınç mukavemetleri ortalaması	39
Çizelge 4.7. Numunelerin 28 günlük ugs değerleri.....	40
Çizelge 4.8. Eğilme dayanımlarının ortalaması	41

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Numunenin yük doğrultusundaki kesit alan
b	Numunenin eni
Ç	Karışımındaki çimento miktarı
h	Numunenin boyu
H	Karışımındaki toplam hava miktarı
L	Numunenin genişliği
m	Su emme miktarı
P	Kırılma yükü
S	Dalgalar arasındaki mesafe
T	Dalgalar arasındaki zaman
V	Ses üstü dalga hızı
A ₁	Karışımındaki ince malzeme miktarı
A ₂	Karışımındaki kaba malzeme miktarı
m ₀	Etüv kurusu numune
m _s	Doygun kuru yüzey numune
SDAB	Silis dumanı katkılı ağır beton
SDAB10	%10 silis dumanı katkılı beton
SDAB20	%20 silis dumanı katkılı beton
SDAB30	%30 silis dumanı katkılı beton
δ	Eğilme dayanımı
σ	Basınç dayanımı
ρ _Ç	Çimentonun yoğunluğu
ρ _A	Agreganın yoğunluğu

1. GİRİŞ

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde bazı mineral ve kimyasal katkı maddelerinin birlikte karılmasıyla elde edilen, başlangıçta akışkan olduğu için istenilen kalıbın şeklini kolayca alan, sertleştikten sonra ise yüksek bir dayanıklılık ile belirli bir taşıma gücü için gerekli dayanımı sağlayabilen yapay bir yapı malzemesidir (Topçu, 2006).

Betonun tarihçesi kesin olarak bilinmemekle beraber, beton teknolojisinin tarihi yaklaşık olarak 1850 yıllarına dayanmaktadır. Beton hakkında ayrıntılı açıklamalar ve karışım hesaplarının araştırılması 1950 ve 1960 tarihleri arasında olmuştur. 1960'lı yıllardan sonra zor şartlarda beton yapıların inşa edilmesi, yeni katkı maddeleri, beton üzerindeki davranışlar, döküm teknikleri, kalite kontrol ve ekonomik verimlilik konularında önemli gelişmeler olmuştur.

Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirilmesi 1950-1960 yılları arasına rastlamaktadır. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomiyi artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, iş programlaması yöntemi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur. Yalnız, gelişen teknoloji ile kullanılabilen özel beton tipleri getirilmiştir (Cilason, 1982).

Özel beton tiplerinden biri ağır betondur. Barit agregalı ağır betonlar; kayma ve devrilmeye karşı emniyette olmayan yapılarda ağırlığından dolayı kullanılmakla beraber, radyoaktif maddelerin yaydığı nükleer ışıklardan özellikle cisimlerin içine girebilen öldürücü nötron ve γ ışınlarına karşı korunmak için gerçekleştirilen yapılarda kullanılır (Kılınçarslan, 2004).

Ağır betonları geleneksel betonlardan ayıran özelliklerin başında, kullanılan agrega çeşidinin ağır agrega olması gelir. Geleneksel betonlarda kullanılan agrega özkütlelerinin ortalama değeri 2000 ile 2800 kg/m³ arasında değişirken, ağır agregaların özkütlesi 2800 ve 3000 kg/m³ arasındadır. Birim kütlesi normal agregaya göre daha fazla olan ağır agrega kullanılarak üretilen betonların birim

kütlesi de daha fazla olmaktadır. Bu nedenledir ki; birim kütleleri 2300 kg/m^3 - 2400 kg/m^3 arasında değişen geleneksel betonlarla radyasyona karşı aynı derecede korunabilmek için koruyucu beton perde kalınlığının daha büyük olması gerekmektedir (Gürsoy, 1997).

Nötron ışınlarının zararlı etkilerine karşı kurşun gibi zırh tabakaları yetersiz olmaktadır. Nötron hareketlerini hidrojen atomu bakımından zengin olan ortamlar durdurur ve bu ancak yoğunluğu yüksek olan agregalar ile sağlanır. Bu agregalar barit, limonit, magnetit, ilmenit, hematit ve demir parçaları gibi yoğunluğu yüksek olan agregalardır. Limonitin özgül ağırlığı $3,4-4,0 \text{ gr/cm}^3$, baritin özgül ağırlığı $4,0-4,6 \text{ gr/cm}^3$, ilmenitin özgül ağırlığı $4,3-4,8 \text{ gr/cm}^3$, hematitin özgül ağırlığı $4,9 - 5,3 \text{ gr/cm}^3$, çelik saçma ve parçalarının özgül ağırlığı $6,2 - 7,8 \text{ gr/cm}^3$ değerleri arasındadır.

En çok kullanılan ağır agrega barittir. Barit minerali doğal bir baryum sülfat bileşimine sahiptir. Baritli ağır betonun gama ışınlarını yutma kapasitesi, barit agrega yüzdesine ve betonun birim ağırlığına göre değişir (Akman, 1987).

Barit ilk olarak 1845 yılında boya sanayinde kullanılmak üzere üretilmiştir. Renginin beyaz olması ve özgül ağırlığı nedeniyle kağıt ve boya endüstrilerinde kullanılmıştır. Ayrıca baritin sarı, yeşil gibi renklerine de rastlanılabilmektedir.

Kimyasal bileşimi BaSO_4 olan barit en çok bilinen baryum mineralidir. Sertliği $2,5-3,5 \text{ gr/cm}^3$, özgül ağırlığı ise $4,3-4,6 \text{ gr/cm}^3$ arasında değişmektedir. Baritin erime noktası ise $1580 \text{ }^\circ\text{C}$ ' dir. Barit (BaSO_4) % 65,70 BaO ve % 34,30 SO_3 içermektedir.

Silis dumanı, silisyum veya demir silisyum alaşımlarının ergime yöntemi ile üretimi sırasında elde edilen, ana bileşeni $1 \text{ } \mu\text{m}$ ' den küçük, küresel, amorf, camsı silis (SiO_2) partiküllerinden oluşan, yüksek düzeyde puzolanik aktiviteye sahip bir yan üründür (Koca, 1996). Silikonlu metal alaşımlarının üretimi sırasında ortaya çıkan gazın hızlı bir şekilde soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen %85- %98 oranında silis içeren amorf yapıya sahip, çok ince katı taneciklerden oluşan malzemeye silis dumanı denilmektedir. Bu malzeme mikrosilis veya silika füme olarak adlandırılmaktadır. Silis dumanı, amorf yapıda ve çok ince taneli malzeme

olmasından dolayı ve yüksek miktarda SiO₂ içermesi sebebiyle, mükemmel bir puzolanik malzemedir (Erdoğan, 2003).

Silis dumanının rengi genellikle gridir. İçeriğindeki karbon oranı arttıkça rengi de gittikçe koyulaşmaktadır. Silis dumanı su ile karıştırıldığında rengi koyulaşmakta hatta siyaha dönüşmektedir (Malhotra, 1997).

Silis dumanı çok ince öğütülmüş parçalardır. Bu malzeme parçalarının boyutları 0.1-0.2 µm arasında değişmektedir. Silis dumanlarının özgül ağırlıkları 2.2-2.3 gr/cm³ arasındadır. Gevşek haldeki birim ağırlıkları ise 200~300 kg/m³ arasındadır.

Silis dumanının puzolanik etkisinin yüksek olmasının nedeni çok ince parçacıklara sahip olması ve yüksek silis içeriği bulundurmasıdır. Silis dumanı çimento ile birlikte kullanıldığında; C₂S ve C₃S hidrasyonları sonucunda oluşan Ca(OH)₂ 'i bağlar ve CSH jelini meydana getirirler. Silis dumanı ile oluşan CSH jelinin, normal olarak oluşan CSH jellerinden farkı yoğunluğunun daha az olması ve bu durumda geçirimsizliği fazla olmasıdır. Geçirimsizliği artıran silis dumanı taneleri çok sayıda daha küçük ve daha sağlam Ca(OH)₂ kristallerinin oluşmasına yardımcı olmaktadır. Küçük kürecikler halindeki silis dumanı tanecikleri, uygun oranda akışkanlaştırıcı katkı kullanılması halinde, çimento taneleri arasındaki boşluklarda suyun yerini alarak daha yoğun bir çimento hamuru meydana getirebilmektedirler (Yeğınobalı, 1993).

Bu tez çalışmasının ana konusu, puzolanik katkı maddesi olan silis dumanı ile üretilen ağır betonun fiziksel ve mekanik özelliklerinin incelenmesidir.

Bu bağlamda ilk olarak çalışmanın amacı ve önemi hakkında bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde ağır beton ve silis dumanı ile ilgili literatürde yer alan çalışmalara değinilmiş ve yapılan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, numunelerin hazırlanması, yapılan deney yöntemleri hakkında bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde numunelere uygulanan taze ve sertleşmiş beton deneylerinin sonuç ve yorumları sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Silis Dumanı İle İlgili Yapılan Çalışmalar

Cohen vd. (1990), çalışmalarında, portland çimentosu ve silis dumanı katkılı karışımların magnezyum sülfat ve sodyum sülfat dayanıklılığını incelemişlerdir. Silis dumanı ilavesinin geçirgenliği azalttığını ve puzolanik aktivitesi nedeniyle sertleşmiş çimento hamurunun sodyum sülfat tesirine dayanıklılığını artırdığını, magnezyum sülfat tesirine karşı ise bir değişikliğin olmadığını bildirmişlerdir.

Tachibana vd. (1990), çalışmalarında, 120 sn boyunca sarsma tablasında sarstıkları betonlardan, 230 mm slampa ve 0.25 su/ (çimento+silis dumanı) oranındaki yüksek mukavemetli betonlarla, 85 mm slamp ve 0.55 su/çimento oranındaki silis dumanı içermeyen betonların segregasyona karşı benzer davranış sergilediklerini, uzun süreli vibrasyon sonucunda silis dumanı katılan betonların özellikle yüksek slamp değerlerinde segregasyon eğilimi gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Laplante vd. (1991), çalışmalarında, su/bağlayıcı oranını 0.48 aldıkları karışımlara %8 oranında silis dumanı ilave etmişler ve hem silis dumanlı hem de kontrol betonlarının aşınma mukavemetlerini ölçmüşlerdir. Granit ve kireçtaşı kullandıkları karışımlarda silis dumanının aşınma mukavemeti üzerinde etkili olduğunu ve bunun da kireçtaşı kullanılan karışımlarda daha belirgin olduğunu bildirmişlerdir. Ayrıca düşük su/çimento oranının ve kullanılan agrega kalitesinin aşınma mukavemeti üzerinde %8 silis dumanı ikamesinden daha fazla etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Temiz ve Yeğınobalı (1995), çalışmalarında, çimentoya %40 oranına kadar katılan uçucu küllerin priz sürelerini uzatırken, %8 oranına kadar kül yerine silis dumanı katılması ile priz sürelerinde 25-30 dakikalık kısaltmaların sağlanabildiğini, uçucu kül katkısının hamurlarda hacim genişmesini biraz artırmakta, ancak silis dumanı ilavesi ile bu artışın biraz önlenebileceğini uçucu kül ve silis dumanı katkılı çimento hamur ve harçlar üzerine yaptıkları çalışmada belirtmişlerdir.

Turanlı (1995), çalışmasında, mikrosilisin çimento üretiminde kullanılabilmesine yönelik yaptığı çalışmada, portland çimentosu klinkerine kütlece 5, 10, 15 ve 20

kısım mikrosilis ve %4 alçıtaşı ile çimento üreterek, mekanik ve fiziksel özelliklerini araştırmıştır. Mikrosilisin öğütülme aşamasında katılmasıyla elde edilen mikrosilisi çimentoların, mikrosilisin kullanım sırasında portland çimentosuna katılmasına göre daha düşük sonuçlar verdiğini bildirmiştir.

Taşdemir (1996), çalışmasında, mikrofiller malzemelerin betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Kalker unu, karbon siyahı, silis unu, silis dumanı ve uçucu kül gibi beş ayrı mikrofiller malzeme kullanmıştır. Su-bağlayıcı oranını 0.40 olarak almıştır ve silis dumanı katkılı betonlarda basınç dayanımının normal betonlara göre belirgin bir artış gösterdiğini, diğer mikrofiller malzemelerin basınç dayanımında belirgin bir değişiklik sağlamadığını bildirmiştir.

Erdoğan vd. (1996), çalışmalarında, silis dumanının katkılı çimento ile kullanımının 28 günlük oranlarına bakmışlardır. Katkılı çimentonun dayanım oranlarının silis dumanının artışı ile lineere çok yakın bir artış gösterdiğini, portland çimentosunda ise %9 oranında silis dumanı katkısı ile yüksek dayanım oranı artışının sağlanmakta olduğunu, oranın %18'e çıkması durumunda dayanım oranındaki artışın çok düşük olduğunu hatta 400 dozda dayanım oranının artış göstermediğini belirtmişlerdir.

Duval ve Kadri (1998), çalışmalarında, silis dumanının betonun işlenebilirliğine ve basınç mukavemetine etkisini iki değişik çimento kullanarak incelemişlerdir. Su/bağlayıcı oranını 0.25~0.45 arasında değiştirdikleri çalışmalarında, %10 ve daha düşük oranlarda silis dumanı kullanımının işlenebilirliğe olumlu etkisinin olduğunu, su/bağlayıcı oranının düşmesiyle silis dumanının işlenebilirlik üzerindeki bu etkisinin daha da belirgin hale geldiğini bildirmişlerdir. Karışımlarda kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarının ise çimentonun C_3A ve alkali-sülfat içeriğine bağlı olarak değiştiğini bildirmişlerdir.

Rols vd. (1999), çalışmalarında, kendiliğinden yerleşen beton özelliklerinin farklı viskozite ajanlarıyla etkileşimini incelemişlerdir. Bu tür betonların maliyetinin yüksek olduğunu bu yüzden çökeltmiş silika ve nişasta gibi viskozite ajanlarının maliyeti düşürebileceğini, kullandıkları bu ajanların 5 saat sonra sınırlı kanama geliştirdiklerini ve segregasyona direnç göstererek mekanik performanslarının da,

düşük çimento miktarı ve yüksek su-bağlayıcı oranına rağmen, oldukça yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Topçu ve Kaval (2001), çalışmalarında, yüksek performanslı beton elde etmek için mineral katkı olarak silis dumanı kullanımının gerekliliğini vurgulayıp, uygun oranda silis dumanı katılması ve süper akışkanlaştırıcı ile birlikte kullanılması sonucu yüksek kaliteli ve ekonomik beton elde edilebildiğini göz önüne alarak, bu çalışmada PKÇ/B 32.5R ve KÇ 32.5 olarak iki tip çimento ile 0.50 su/bağlayıcı oranında % 1.6 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanmışlardır. 300, 350 ve 400 kg/m³ dozajlı silis dumanı ilavesiz kontrol betonları ve 200, 250, 300, 350 ve 400 kg/m³ dozajlı % 5, 10 ve 15 oranında çimento yerine silis dumanı ilave edilmiş betonlar üretmişlerdir. Üretilen betonlarda 28 günlük basınç dayanımlarına göre maliyet hesaplarını yapmışlardır. Her iki çimento türünde de yapılan deneylerle % 10 oranında silis dumanı 350 ve 400 dozajlı betonlar için uygun sonucu bulmuşlardır. Bu araştırmacılara göre 300 dozajlı betonlar için % 15 oranında silis dumanı ilavesini daha uygun görmüşlerdir.

Rao (2001), çalışmasında, harçlarda uzun dönem kuruma rötresi üzerine silis dumanının ve agrega çapının etkisini araştırmıştır. Silis dumanın çok yüksek puzolanik aktivitesi ve incelik mekanizması nedeniyle 28 günlük erken dönemdeki kuruma rötresinde etkili olduğunu ve silis dumanı ilavesi ile bu dönemdeki kuruma rötresinin arttığını bildirmiştir. Ancak 365 günden sonra bu etkinin önemli olmadığını, harç numunelerin yaşlarıyla birlikte kuruma rötresindeki artışın düştüğünü, agrega çapının kuruma rötresi üzerinde oldukça önemli rol oynadığını agrega çapındaki artışın kuruma rötresini azalttığını ifade etmiştir.

Çelik vd. (2001), çalışmalarında, genel olarak beton dayanımını arttırmak amacıyla kullanılan, mineral katılardan biri olan silis dumanının, priz başlama ve bitiş sürelerine etkisi araştırmış ve sonuçlarını istatistiksel metotlarla incelenmişlerdir. Çalışmada, çimento ağırlığının, %5 - %10 - %15'i oranlarında silis dumanı, karışım içerisindeki çimento ile yer değiştirilerek, dört değişik karışım elde etmişlerdir. Bulgulara göre, % 5 oranında silis dumanı-çimento yer değiştirilmesi işleminin priz başlama ve bitiş sürelerine etkisinin olmadığı görülmüştür. Bununla beraber; %10-%

15 oranlarındaki silis dumanı kullanımlarında, priz başlama ve bitiş sürelerinin belirgin olarak geciktiğini gözlemlemişlerdir.

Topçu ve Canbaz (2002), çalışmalarında, endüstriyel atık olan silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanarak PKÇ/B 32.5/R ve KÇ 32.5 cinsi iki farklı çimento ile üretilen betonların yapılan deneylerle mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemişlerdir. Betonun dayanım ve dayanıklılığının arttırdığı görülmüştür. Bu artışın mikro yapıda meydana getirdiği değişimleri incelemişlerdir. X-Işınları Difraktometresi (XRD) ve Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) kullanılarak mikro yapı fotoğrafları çekilmiştir, kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda mikro yapı fotoğrafları ve kimyasal analizler incelendiğinde; SD betonda mikro düzeyde doluluk sağladığı, CH bağlayarak CSH' ları oluşturması nedeni ile iri agregaların etrafında düzenli bir harç yapısının oluşması, ara yüzeylerde aderansın sağlanması gibi mikro yapıda olumlu etkileri görülmüştür.

Atiş vd. (2003), çalışmalarında, çimento katkısı olarak silis dumanı kullanımının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisini göstermişlerdir. Laboratuvar çalışmasında dört farklı su çimento oranı (0.3, 0.4, 0.5, 0.6), üç farklı çimento dozajı (350, 400, 450 kg/m³) ve üç farklı silis dumanı ikame oranıyla (%10, %15, %20), kontrol betonu dahil olmak üzere toplam 48 farklı beton üretmişlerdir. Çeşitli miktarlarda hiper akışkanlaştırıcı betonların işlenebilirliğini belli bir düzeyde tutmak üzere kullanmışlardır. Elde edilen betonların 3 ve 28 günlük küp numune basınç dayanımlarını ölçmüşlerdir. Sonuçların incelenmesinden, ilk üç günde silis dumanının basınç dayanımını arttırmada fazla etkili olmadığı anlaşılmış olup, 28 günde ise silis dumanının dayanımda %50 mertebelerine varan artışlar sağladığı görülmüştür. Su-çimento oranının optimum bir değerinde silis dumanının en yüksek artışı sağladığı görülmüştür. Yüksek su-çimento oranlarında silis dumanının düşük su-çimento oranlarına göre daha az etkili olduğunu tespit etmişlerdir. Silis dumanı ikame oranında bir optimum değeri olduğu, bunun üzerindeki ikame oranları için dayanımda görülen artışın durduğu gözlemlemişlerdir. Silis dumanı, hiper akışkanlaştırıcı ve düşük su-çimento oranının kombinasyonu 100 MPa mertebesinde yüksek basınç dayanımının elde edilmesinin kolaylıkla mümkün olacağını vurgulamışlardır.

Boddy vd. (2003), çalışmalarında, iki farklı SiO₂ içerikli silis dumanı ile “hızlandırılmış harç çubukları” yöntemi ile alkali-silika reaksiyonunu kontrol etmek için standart silis içeriğinden düşük silis dumanlarının (%68 ve %88 SiO₂) yetersiz kaldığını belirtmişlerdir.

Mazloom vd. (2004), çalışmalarında, yüksek mukavemetli betonların kısa ve uzun vadedeki mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Sabit slamp (100±10 mm) değeri için yüksek oranlarda silis dumanı katılması durumunda betonun işlenebilirliğinin düştüğünü ve daha fazla süper akışkanlaştırıcı gerektiğini belirtmişlerdir.

Şimşek vd. (2004), çalışmalarında, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkılı çimento harçlarının özelliklerini araştırmışlardır. Ağırlıkça çimento ile %0, %7,5, %10, %12,5 ve %15 oranında silis dumanı ikame edilerek hazırlanan beş grup çimento harcına, melamin, naftalin ve modifiye lignosülfonat kökenli süper akışkanlaştırıcı ilave edilmiştir. Üretilen harçların normal kıvam, priz süresi, 7, 28 ve 90 günlük basınç ve eğilme dayanımları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. %10 silis dumanı ikame edilmiş ve bağlayıcı ağırlığının % 1,05’i oranında melamin kökenli süper akışkanlaştırıcı ve %0,71’i oranında modifiye lignosülfonat kökenli süper akışkanlaştırıcı ilave edilmiş karışımların en uygun sonuçları verdiğini vurgulamışlardır.

Özcan (2005), çalışmasında, Antalya Etibank Elektrometalurji İşletmesinden alınan silis dumanının harç ve beton özelliklerine olan etkileri araştırmıştır. Değişen su bağlayıcı ve silis dumanı oranlarıyla hazırlanan harç ve betonların özelliklerini, sadece Normal Portland Çimentosu ile üretilen kontrol harç ve beton karışımları ile karşılaştırmıştır. Yürütülen deneyler sonucunda, %10, 15 ve 20 silis dumanı ilavesi ile harç numunelerin basınç, eğilme ve aşınma dayanımlarında artış, boşluk oranı ve kapiler su emme katsayılarında şahit numuneye göre önemli oranlarda düşüş gözlemiştir. Beton karışımlarda kullanılan silis dumanının, kontrol betonlarına göre basınç mukavemetinde %50’ ye varan artış gerçekleştirdiğini vurgulamıştır. Silis dumanı ile üretilen harç ve betonların basınç mukavemetlerinin, kuru kür şartlarından kontrol betonlarına göre daha fazla etkilendiği gözlemiştir.

Beycioğlu vd. (2010), çalışmalarında, betona optimum miktarda silis dumanı eklenmesi hidrasyon ısısını düşürmesi, yüksek hedef dayanımı ve düşük permeabilite sağlanması, alkali silika reaksiyonunu ve sülfat etkisini kontrol altına alması gibi yararlarını vurgulamışlardır. Silis dumanı katkısı agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılaştırarak daha boşluksuz ve daha mukavemeti yüksek betonlar elde edildiğini belirtmişlerdir. Buna karşın silis dumanının işlenebilirliği düşürmesi gibi olumsuz etkilerini de vurgulamışlardır. Betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olarak belirlendiğini ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi faktörlerden de etkilendiğini belirtmişlerdir. Endüstriyel bir atık malzeme olan silis dumanının taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerine etkilerini incelemişlerdir ve betonda silis dumanı miktarının optimum kullanımı ile ilgili öneriler sunmuşlardır.

2.2. Ağır Beton ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Durmuş ve Gürsoy (2000), çalışmalarında, Doğu Karadeniz Bölgesi doğal ağır agregalarından biri olan barit agregasıyla üretilen ağır betonu, agrega petrografik yapısını da dikkate alarak, geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelemişlerdir. Bu amaçla ilk aşamada farklı su/çimento oranlarıyla (0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,55 ve 0,60) beton üretmişlerdir. Birim kütleleri 3500 kg/m^3 civarında olan ağır betonların kullanımıyla hazırlanan standart silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen fiziksel ve mekanik özellikler geleneksel betonunkilerle karşılaştırılarak, bu suretle betonun kırılma mekanizmalarını incelemişlerdir. Ağır ve geleneksel betonların kırılma mekanizmalarının incelenmesinin, kırılmaların agrega petrografik yapısından bağımsız olmadığını ve kırılmaların agrega dayanım yetersizliğinden ileri geldiğini gözlemlemişlerdir. Yapı emniyeti için dayanım kadar sünekliğin de gerekli olduğu dikkate alındığında ağır betonların radyasyona karşı koruyucu beton perde ve ağırlık gerektiren özel yapılar hariç diğer yapılarda kullanılmasının pek uygun olmadığını vurgulamışlardır.

Osma (2002), çalışmasında, barit ile elde edilen ağır betonun fiziksel ve mekanik özellikleri incelemiştir. Atabey ve barit agregalarından ayrı ayrı 250, 300 ve 350 dozaj çimento kullanılarak altı seri beton numuneler üretmiştir. Ayrıca 250, 300 ve

350 dozaj çimento miktarlarında Atabey ve barit agregalarından % 50 oranlarında farklı karışımlar oluşturularak dokuz seri beton numuneler üretilmiş 28 gün deneylere tabi tutmuştur. Deneyler sonucunda 300 doz ve altındaki çimento miktarlarında taze betonun işlenebilirliğinin düşük çıktığını saptamıştır ve 350 dozun altındaki baritli betonun tercih edilmemesini vurgulamıştır. 250 ve 300 dozda yapılan beton deneylerinde baritli betonun mukavemeti Atabey betonuna göre yüksek çıktıysa da 350 doz betonda bunun tam tersi olduğunu belirtmiştir.

Akgün vd. (2007), barit agregasıyla üretilen ağır bir betonun özellikleri incelenmesi. Bu çalışmanın temel amacı; Doğu Karadeniz Bölgesi doğal ağır agregalarından biri olan barit agregasıyla üretilen ağır betonu, agrega petrografik yapısını dikkate alarak, geleneksel bir betonla karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bu amaçla ilk aşamada laboratuarda farklı su/çimento oranlarıyla (0,30; 0,35; 0,40; 0,50; 0,55 ve 0,60) üretilen birim kütleleri 3500 kg/m³ civarında olan ağır betonların kullanımıyla silindir numuneler hazırlamışlardır. Bu numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneysel çalışmalardan elde edilen fiziksel ve mekanik özellikler geleneksel betonunkilerle karşılaştırılarak irdelenmekte ve bu suretle betonun kırılma mekanizmalarının açıklanmasına çalışılmaktadır.

Coşkun (2010), çalışmasında, ağır betonlarda barit agregası kullanılarak üretilen betonların özellikleri ve betonun radyasyon zırhlanmasındaki etkisini incelemiştir. Beton elamanlarda radyasyonun etkileri ve radyasyon zırhlanması önemli bir konu olduğunu vurgulamış ve bu amaçla genellikle radyasyona maruz kalan yerlerde ağır betonların kullanılması ile betonların soğurma özelliklerinin iyileştirilebildiğinden bahsetmiştir. Bu amaçla üretilen ağır beton karışımlarında ağır agrega olarak barit agregası seçerek farklı tane boyutlarında karışıma katmıştır. Karışımlarda tane boyutu 5-22 mm. grubu sabit tutarak 0-5 mm ve taşunu miktarlarını değiştirmiştir. Su/çimento oranı 0.46 ve 0.50 olarak belirlenen karışımlarda çimento miktarını 270 kg/m³ seçmiştir. Betonların yüksek işlenebilirliğini sağlamak amacıyla da %1.5 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanmıştır. Hazırlanan karışımlarından başta radyasyon soğurma katsayısı tespiti olmak üzere slump, ultrases hızı, schmidt çekici, basınç dayanımları, su emme ve birim ağırlık deneyleri yapmıştır. Deneylerden elde edilen sonuçlara göre iki farklı su/çimento oranlarında üretilen numunelerde taşunu miktarının azalmasıyla karışımların yoğunluklarında artış eğilimi görülmüştür.

Ayrıca boşluk miktarlarındaki azalmalarında betonun soğurma miktarlarını arttırdığını gözlemlemiştir. Bunun yanında barit kullanarak istenilen basınç dayanımları da sağlanmıştır.

Kılınçarslan vd. (2010), çalışmalarında, barit agregası ile mineral ve kimyasal katkı malzemeleri kullanarak yüksek dayanımlı betonlar üretmişlerdir. Üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin yanı sıra durabilitesini de incelemişlerdir. Durabilite açısından ağır betonların servis ömrü boyunca karşılaşılabileceği düşünülen sülfat etkilerine karşı dayanımı araştırmışlardır. Sülfat etkisine maruz bırakılmış beton numunelerin basınç dayanım değişimlerini, kimyasal ve mikro yapı değişimlerini incelenmişlerdir. Bu çalışma kapsamında yapılan araştırmalar neticesinde yüksek basınç dayanıma sahip ağır betonların sülfata karşı basınç dayanımlarında azalma görülmüştür. Magnezyum sülfat etkisinin daha tahrip edici bir özelliğe sahip olduğu görülmüştür. Sülfat etkisinden oran olarak en fazla barit agregalı betonlar etkilenmiş olmasına rağmen sayısal olarak basınç dayanım değeri en yüksek beton olarak kalmaya devam ettiğini gözlemlemiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Beton ve özellikleri

Dünya nüfusu sürekli arttıkça, insanların barınma, sağlık, eğitim ve kentsel altyapı gereksinimleri de artmakta, tüm bu gereksinimlerin karşılanması için konut, işyeri, okul, hastane, yol, vb yapıların sürekli olarak üretilmesi gerekmektedir. Bu üretimden de kalite beklenmektedir. Üretimin olduğu bu süreçte en çok başvurulan ve en önemli yapı malzemesi betondur.

Beton değişik bileşimler halinde yaklaşık 5000 yıldır kullanılmaktadır ancak beton teknolojisinin tarihi 1850 yıllarına, betonda ilk teçhizatın kullanılmasına kadar dayanmaktadır. Bu tarih, çimento patentinin alınmasından 25 yıl kadar sonrasına rastlar. Betonarme yapıların önem kazanması 19. yüzyıl başında olmuştur. Beton malzemeleri ve sertleşmiş beton özellikleri hakkında en ayrıntılı araştırmaların

yapılması ve karışım hesapları için esasların getirilmesi, 1950–1960 yılları arasına rastlar. Daha sonraki yıllarda betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, ekipman, kalitesinin devamlılığı, kalite kontrolü deneyleri, betonda ekonomiyi artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri, is programlaması, yönetimi ve ekonomisi konularında büyük gelişmeler olmuştur.

Beton, agrega (kum, çakıl, kırmataş), çimento, su ve katkı malzemesinin (kimyasal ve mineral) homojen olarak karıştırılmasında oluşan ve başlangıçta plastik kıvamda olup, zamanla katılaşıp sertleşen bir yapı malzemesidir.

Taze bir betonda olması istenen özellikler;

- Kolay karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılmasıdır.
- Agrega ve çimento harcı ayrışmaya sebep olmamalıdır.
- Homojen yapıda olması beklenir.
- Plastik durumdaki taze betonun plastikliğini kaybedene kadar geçen sürenin uzunluğu, yani priz süresi gereken süreden uzun veya kısa olmamalıdır.

Beton üretiminde uygun sıcaklık ve nem ortamında kür edilmiş bir betonun dayanımını etkileyen en önemli iki faktör su/çimento oranı ve taze betonun sıkıştırılma kalitesidir. Beton içerisinde boşluk miktarı ne kadar fazla ise dayanımı o kadar düşmektedir.

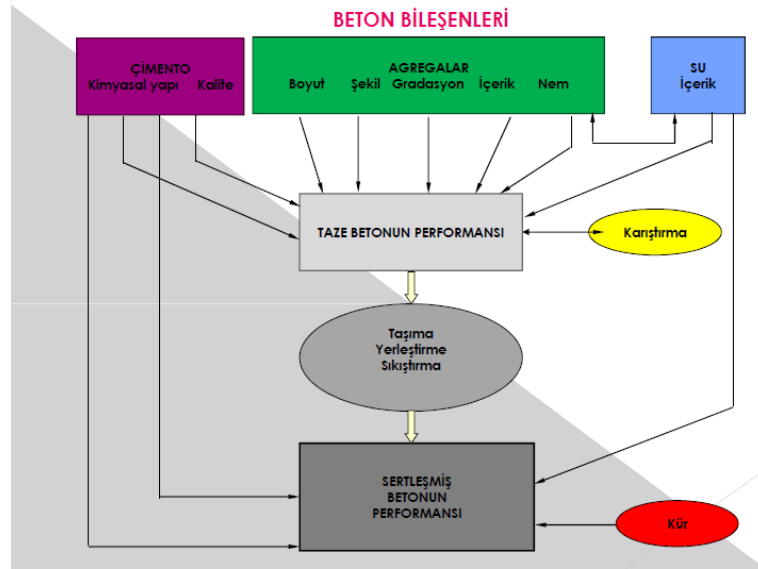
Sertleşmiş betonda olması gereken özellikler;

- 7, 28 ve 90 günlük yaşında hedeflenen minimum beton dayanımının altında bir dayanım göstermemelidir.
- Beton yeterince geçirimsiz olmalıdır. Zaman içerisinde çevreden maruz kalabileceği etkenlere karşı dayanıklı (durabilite) olmalıdır.

3.1.2. Beton bileşenleri

Beton, su, çimento agrega ve gerekirse katkı maddelerinin kullanıldığı bir yapı malzemesidir. Sadece çimento ve sudan ibaret karışım ise çimento hamuru olarak tabir edilmektedir (Erdoğan, 2003).

Kaliteli bir beton; içeriğinde bulunan çimentonun kalitesine, karma suyu miktarına, agreganın boyutuna ve nemine bağlı olmakla birlikte; taze ve sertleşmiş betonun kalitesi de betonun taşınma, kalıba yerleştirme, sıkıştırma işlemine ve kür durumuna bağlı olarak değişmektedir. Şekil 3.1.'de beton bileşenlerinin taze ve sertleşmiş beton performansı ile ilişkisi gösterilmektedir (Bedirhanoglu, 2011).



Şekil 3.1. Beton bileşenlerinin taze ve sertleşmiş beton performansı ile ilişkisi (Bedirhanoglu, 2011)

3.1.2.1. Çimento

Çimento; silisyum, alüminyum, kalsiyum ve demir oksitlerini içeren hammaddelerin belirli miktarda karıştırılarak elde edilen ve su ile birleştiğinde hidrolik özelliğe sahip olan bağlayıcı malzemedir. Kırılmış kalker, kil veya demir cevherinin kum katılarak öğütülmesi sonucunda oluşan toz malzemenin 1400-1500°C'de döner fırınlarda pişirilmesiyle klinker oluşur. Oluşan klinkere yaklaşık %5 oranında alçı taşı eklenip toz haline getirilmesiyle oluşan çimentoya ise portland çimento denilmektedir. Bir

bağlayıcı malzemenin niteliğini hidrolik öğelerin oranı ve alkalin belirlemektedir. Klinker ve alçı taşı dışında üretilecek çimentonun tipine bağlı olarak uçucu kül, yüksek fırın cürufu v.b. gibi katkıların ilave edilmesi sonucunda katkılı çimentolar üretilir.

Betonda kullanılan çimento tipleri ve uygunluk değerlendirmesi TS EN 197 serilerinde standartlaştırılmıştır. Çimentolar bu standarda göre CEM I'den CEM V' e kadar 5 tipte işaretlendirilmektedir. İşaretleme sırası; çimento tipi, Portland çimento klinkeri oranı, ikinci ana bileşen, standart (örn. 7. gün) dayanım sınıfı ve erken dayanım kazanma hızı şeklindedir. CEM I çimento tipi %95 - %100 klinker içeren portland çimentosudur.

Çimentonun miktarı ve kalitesi basınç dayanımını etkileyen faktörlerden biridir. Yüksek dayanımlı bir çimento yüksek dayanımlı beton oluşması için önemlidir.

3.1.2.2. Agregas

Agregalar betonun mutlak hacminin %75'ini oluştururlar. Mineral kökenli olup farklı tane ve büyüklükteki kırılmış veya kırılmamış tanelerin yığındır.

Agregalar kaynaklarına göre doğal ve yapay agregalar olmak üzere iki gruba ayrılır. Doğal agregalar taş ocakları, nehir ve göllerden elde edilen yoğun yapıda agregalardır. Yapay agrega ise sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregalardır. İstenen agrega boyutlarının elde edilebilmesi için ise büyük taş kütleleri konkasörde kırılırlar. Kırılan bu pürüzlü malzemelere mıcır adı verilmektedir.

Agregalar birim ağırlıklarına göre normal, hafif ve ağır ağırlıklı olmak üzere üç çeşittir. Yoğunluğu 2000-2600 kg/m³ arasında olan agregalar normal ağırlıklı; yoğunluğu 2000 kg/m³'den küçük olanlar hafif ağırlıklı; yoğunluğu 2000-2600 kg/m³'den büyük olan agregalar ise ağır ağırlıklı agregalardır.

Tane büyüklüklerine göre ise iri ve ince agregalar olmak üzere iki gruba ayrılır. Tane büyüklüğü 4 mm' den az olan agregalar ince, 4 mm' den büyük olan agregalar ise iri agrega olarak gruplandırılır.

3.1.2.3. Beton karma suyu

Beton karma suyu, betondaki işlenebilirliği sağlamak ve çimentonun hidratasyonunu gerçekleştirmek amacıyla kullanılan önemli bir hammaddedir. Su miktarı hem taze hem de sertleşmiş betonun tüm özelliklerini etkilemektedir. Betonda kullanılacak su özelliği içilebilir olmalıdır. Çünkü beton karma suyunda bulunabilecek eriyik ve maddeler çimentonun priz süresini, betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkiler ve donatının korozyonuna yol açarlar.

Betonun mukavemetinin yüksek veya düşük olması betonda kullanılacak olan karma suyunun çok fazla veya çok az olmasına bağlıdır. Betonda kullanılan suyun önemi hidratasyonu sağlamaktır. Fazla olan su, beton içinde buharlaşır ve kılcal boşlukların oluşmasına sebep olur. Su/çimento oranı olabildiğince düşük beton, geçirimsiz beton, kılcal boşlukları azaltılmış betondur (Erdoğan, 2003).

3.1.2.4. Kimyasal ve mineral katkı malzemeleri

Betonda kullanılan katkıları, kimyasal ve mineral katkıları olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Katkı malzemeleri taze veya sertleşmiş betonun özelliklerini istenen düzeyde değiştirmek için kullanılır. Katkı maddesini, betonun geleneksel bileşenleri olan su, çimento ve agrega dışında hemen karıştırma öncesi veya karıştırma sırasında beton harmanına ilave edilen maddeler olarak tanımlamaktadır (ASTM C 125). Katkı maddelerinin betonda kullanımı genellikle taze ve sertleşmiş haldeki betonun bir ya da birden fazla özelliğini iyileştirme amacına yöneliktir.

Kimyasal katkıları su azaltıcıları (akışkanlaştırıcıları), priz geciktiriciler, priz hızlandırıcıları ve su geçirimsizlik katkılarıdır. Türk standartlarında beton içerisinde kullanılan kimyasal katkıları TS EN 934-2 standardında açıklanmaktadır. Genel anlamda, kimyasal katkıların beton özellikleri üzerinde yararlı etkileri, kimyasal katkı tipleri ve kategorileri Çizelge 3.1'de verilmiştir (ASTM C 494).

Çizelge 3.1. Kimyasal katkı tiplerinin beton üzerindeki yararlı etkileri
(ASTM C 494)

Beton Özelliği	Kimyasal Katkı Tipi
İşlenebilirlik	Su azaltıcılar
	Hava sürükleyiciler
Priz kontrolü	Priz hızlandırıcılar
	Priz geciktiriciler
Dayanım	Su azaltıcılar
	Priz geciktiriciler
Dayanıklılık	Hava sürükleyiciler
	Su azaltıcılar
	Su itici kimyasal katkılar

Mineral katkılar çimento ile birleştiğinde bağlayıcılık özelliği kazanan curüf, uçucu kül, silis dumanı ve taş unu vb. çeşitli maddelerdir. Yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılırlar. Taşunu dışında, hepsi puzolan olarak da adlandırılmaktadır.

3.1.3. Puzolanlar

Mineral katkı maddeleri olan puzolanlar, beton yapımında kullanılan çimentonun, suyun, agreganın ve fiber donatının dışında, beton karışımının içerisine karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında katılan ince taneli mineral katkı parçacıklarıdır.

Puzolanların kullanımı binlerce yıl öncesine dayanmaktadır. Puzolanlar, “kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık değeri olan, fakat ince taneli durumdayken, sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleştiğinde, hidrolik bağlayıcılık gösterebilme özeliği kazanan silikalı ve alüminalı malzemeler” olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2003).

Puzolanik malzemenin yeterli bağlayıcılığı gösterebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlamış olması gerekmektedir (Erdoğan, 2007).

- İçerdiği silika ve alümina miktarı yüksek olmalıdır. (Çimento ve beton endüstrisinde kullanılacak puzolanlardaki “ $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ” miktarının en az %70 olması istenmektedir).

- Amorf yapıya sahip olmalıdır.
- Doğal haliyle çok ince taneli durumda veya öğütülerek en az çimento inceliği kadar ince taneli duruma getirilmiş olmalıdır.

Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılırlar.

3.1.3.1. Doğal puzolanlar

Doğal puzolanlar; volkanik kökenli (volkanik camlar, volkanik tüfler ve tras) ve ısıtım işlem görmüş (killer ve diatomit) puzolanlardır.

3.1.3.2. Yapay puzolanlar

Yapay puzolanlar ise uçucu kül, granüle yüksek fırın cürufu, silis dumanı ve pirinç kabuğu külü gibi çeşitleri bulunmaktadır. Bunlar, endüstriyel bir üretim esnasında ortaya çıkan yan ürünlerdir.

Uçucu kül, elektrik enerjisi üretimi için termik santrallerde yakıt olarak kullanılan pulverize kömürün yakılması sonucunda oluşan bir yan üründür.

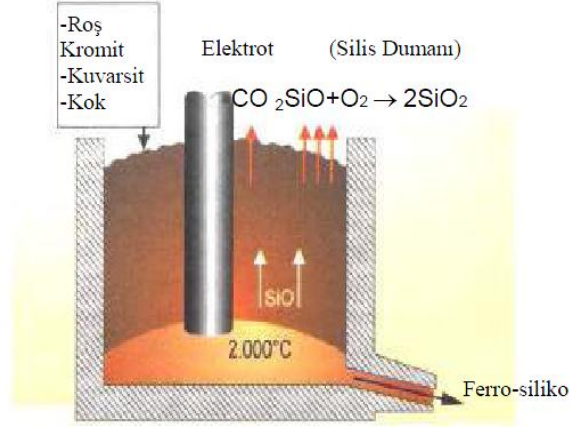
Granüle yüksek fırın cürufu; kalker taşı, kok kömürü ve demir cevherinin yüksek fırın adı ile adlandırılan fırın içerisine yerleştirilip, 1600°C'dekok kömürün yakılmasıyla elde edilen yan üründür. Kok kömürünün karbonu ile demir oksitte bulunan oksijen birleşerek karbonmonoksit gazı halinde ortamı terk eder ve geride eriyik durumda bulunan yabancı madde topluluğu bırakmaktadır. Bu yabancı madde topluluğuna cüruf denilmektedir.

Silis dumanı; silikon metalinin yüksek saflıktaki kuvarsın yaklaşık 2000°C sıcaklıkta indirgenmesiyle elde edilen puzolanik bir yan üründür.

Pirinç kabuğu külü; çeltikten elde edilen kabuklu ürünün çeltik fabrikalarında işlenerek, pirinç tanelerinin üzerindeki çeltik sapının ve kabuğundan ayrılması sonucunda elde edilmektedir. Pirinç üretiminin bu işlemler sonunda ortaya çıkardığı kül pirinç kabuğu külüdür.

3.1.4. Silis dumanı

Silis dumanı, ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının oluşumu esnasında, kömür ile yüksek saflıktaki kuvarsitin indirgenmesi sonucu 2000°C sıcaklıktaki (elektrik ark fırınlarında elde edilen bir puzolonik maddedir. Silikon metalinin sıcaklıkla indirgenmesi esnasında SiO'dan oluşan gazlar açığa çıkmaktadır. Bu gaz fırın içerisindeki soğuk bölgelerle temas ederek yoğunlaşır ve gazın içerisindeki SiO, amorf yapılı SiO₂ durumuna geçer. Oluşan SiO₂ tanecikleri 0.1 µm - 0.2 µm olan malzeme elde edilmiş olmaktadır. Bu malzeme, “mikrosilika” veya “silika tozu”, veya “silika füme” gibi isimlerle de anılmaktadır (Erdoğan, 2003). Şekil 3.2’de elektrik-ark fırınında silis dumanı oluşumu gösterilmiştir (Azevedo, 2002).



Şekil 3.2. Elektrik-ark fırınında silis dumanı oluşumu (Azevedo, 2001)

Silis dumanı ilk kez 1960 yılında Norveç’ de çimentoya katkı olarak denenmiştir. Kuzey Amerika’da silis dumanı ile ilgili ilk araştırmalar 1971 yılında Kanada’daki Sherbrooke Üniversitesinde P. C. Aitcin ve 1980 yılında ABD-Berkeley’deki Kaliforniya Üniversitesinde P. K. Mehta tarafından başlatılmıştır (Erdoğan, 2003).

Silis dumanı ülkemizde Antalya’da bulunan Eti Elektrometalurji A.Ş. tesislerinde elde edilmektedir. Buradan elde edilen silis dumanı 80x80x140 cm ebatlarda bez torbalar içinde piyasa arzında kullanılmaktadır. Çok ince taneli olmasından dolayı, ağırlığından kayıplara yer vermemek üzere, varillerde veya içerisinde ağırlığının %50 oranında su eklenerek taşınması sağlanmaktadır.

3.1.4.1. Silis dumanının yapısı ve fiziksel özellikleri

Silis dumanı gri, koyu gri ve siyah renk tonundadır. Su ile temas ettiğinde rengi oldukça koyulaşır, hatta siyaha dönüşmektedir. Silis dumanı ince yapılı olması nedeniyle betonun geçirgenliğini oldukça azaltmaktadır. Çimento ile birlikte kullanıldığında çimento hamuru homojen ve amorf görümlü oluşur. Silis dumanının özgül ağırlıkları 2.2 ile 2.3 gr/cm³ arasında değişmektedir. Silis dumanı taneleri, çimento tanelerinden daha ince ve yuvarlak olmasından dolayı, çimento taneleri arasına girdiğinde burada sıkışan suyu dışarıya iterler. Bu sebeple silis dumanı taneleri, oluşan yüzey alanını artırır ve daha fazla su ihtiyacı gerektirir. Buradaki sonuç hamurdaki çimento ve silis dumanı miktarı ile su/bağlayıcı malzeme oranısı gibi faktörlere bağlı olarak değişebilecektir.

3.1.4.2. Silis dumanının taze beton üzerine etkileri

Silis dumanı taze betona katıldığı durumda betonun su ihtiyacını artırmaktadır. Birlikte kullanıldığı portland çimentosuna göre daha yapışkan özellik göstermektedir.

Silis dumanı betona katıldığı durumda, karışımdaki toplam özgül yüzey miktarı arttığı için katı maddeler arasındaki sürtünmeyi de beraberinde artırarak, beton karışımının segregasyona karşı direncini artırmaktadır.

Portland çimentosuna göre daha fazla yapışkan özellik gösteren silis dumanı ile oluşturulan betonun işlenebilirliğini daha çabuk kaybeder. Bu sebeple portland çimentosuna göre slumpı daha fazla olması istenmektedir. Ayrıca silis dumanı miktarının artması, betonun aderansını da artırmaktadır.

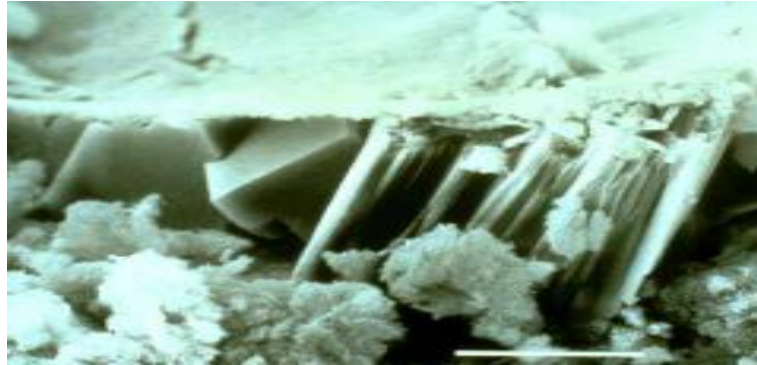
Silis dumanı katkılı betonların sıcaklık üzerindeki etkisi diğer betonlara göre aynıdır. Çimento miktarının 250~300 kg/m³ olan betonlarda %10 kadar silis dumanının kullanımının priz süresini fazla etkilememesiyle birlikte, silis dumanı oranı arttıkça priz zamanında gecikmeler oluşur.

Puzolanlar çimentonun belli miktarı kadar kullanıldığında açığa çıkan hidratasyon ısını azaltırlar. Silis dumanı kullanıldığında durum farklı olmaktadır. İlk 72 saat içerisinde normal betona göre daha fazla hidratasyon ısı açığa çıkarmaktadır.

3.1.4.3. Silis dumanının sertleşmiş beton üzerine etkileri

Silis dumanı katkılı betonlar basınç dayanımı yüksek betonlardır. Basınç dayanımını artırmaya yardımcı olan silis dumanının, boşluk oranını azaltması ve puzolanik aktiviteyi artırması bu katkının önemini de ortaya koymaktadır.

Silis dumanlı betonlar normal betonlara göre daha az terleme gösterir. Buna bağlı olarak iri agrega ve donatılar arasındaki bağlayıcı hamur ile daha iyi yapışma gösterip, aderansı sağlamaktadır. Şekil 3.3'de silis dumanı içermeyen 1 günlük betonun elektron mikroskobunda büyütülmüş hali gösterilmektedir (Okuyan, 2007).



Şekil 3.3. Silis dumanı içermeyen betonun elektron mikroskobunda görünümü (Okuyan, 2007)

Silis dumanı içeren bir betondaki boşluk oranı, silis dumanı içermeyen normal betona göre daha da azdır. Şekil 3.4'de 28 günlük yaştaki silis dumanı içeren betonun elektron mikroskobunda büyütülmüş hali gösterilmektedir (Okuyan, 2007).



Şekil 3.4. Silis dumanı ihtiva eden beton (Okuyan, 2007)

Silis dumanı kullanımının beton mukavemetini artırması silis dumanı miktarına, su-bağlayıcı oranına, çimento miktarına ve tipine, kür durumu ve zamanına bağlıdır.

Silis dumanı katkılı betonun basınç dayanımının kür sıcaklığı açısından önemi oldukça büyüktür. Portland çimentosunun puzolanik reaksiyon ile kıyaslandığında, silis dumanının puzolanik reaksiyonu daha hassastır. Kür sıcaklığına bağlı olarak silis dumanlı betonun dayanımı hızlanır. Amorf yapıda ve ultra ince boyutta olması nedeniyle silis dumanı, puzolanik reaksiyonunu erken yaşlarda oluşturmaktadır.

3.1.5. Ağır betonlar

Ağır betonlar yoğunlukları 2800 kg/m^3 'den büyük olan ağır agregalar ile üretilen özel beton tipidir. Özellikle zararlı ışınlar karşı radyasyon kalkanı bir zırh oluşturmak amacıyla üretilir. Ağır betonların birim ağırlıkları $2,800- 5000 \text{ kg/m}^3$ arasındadır. Ağır betonun üretim özellikleri normal betonların üretiminden çok farklı değildir. Ağır beton üretiminde en çok barit (BaSO_4), magnetit (Fe_3O_4), limonit ($2\text{Fe}_2\text{O}_3\text{H}_2\text{O}$) gibi demir cevherine sahip olan agregalar kullanılmaktadır. Ayrıca sanayi atıkları olan demir ve kurşun parçacıkları gibi yapay agregalar kullanılmaktadır.

Doğal veya yapay ağır agrega kullanılarak üretilen bu betonların teknik özellikleri incelendiğinde; birim hacim kütleleri $2600 \text{ kg/m}^3 - 4000 \text{ kg/m}^3$ arasında olan betonların özgül kütleleri $7400 \text{ kg/m}^3 - 7700 \text{ kg/m}^3$ arasında değişirken, demir parçacıkları ya da yukarıda adı geçen ağır agregalar kullanılarak üretilen betonların

birim hacim kütleleri 6500 kg/m^3 ve özgül kütleleri 11300 kg/m^3 iken kurşun parçacıkları ile üretilen betonların birim hacim kütleleri $8000 \text{ kg/m}^3 - 9000 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar çıkabilmektedir. Ağır betonların geleneksel betonlardan en önemli farkı birim hacim kütlelerinin, ağır agrega içerdiklerinden dolayı, geleneksel betonlara göre daha büyük olmasıdır (Durmuş ve Gürsoy, 2000).

Radyasyon zırhı olarak kullanılan ağır beton agregasında ağır elementler bulunmaktadır. En çok kullanılan ağır agrega ise barittir. Yapılarda kullanılacak olan betonun yönetmeliklerde belirtilen fiziksel ve mekanik standartlarda olması beklenir. Baritli ağır betonun gama ışınlarını yutma kapasitesi, barit agrega yüzdesine ve betonun birim ağırlığına göre değişir (Akman, 1987).

3.1.5.1. Ağır betonun kullanıldığı yerler

Ağır betonlar nükleer reaktörler yani atom santralleri başta olmak üzere hastanelerin röntgen odalarının olduğu bölümlerde kullanılır.

Hastanelerin ışın tedavi ve radyografi tesisleri, nükleer enerji santrallerinin koruyucu perdeleri, radyoaktif maddelerin saklandığı ön gerilmeli beton reaktör siloları, elektron depolama devreleri, köprü ayakları, beton ağırlık baraj gövdeleri, askeri mühimmat depo duvarları, askeri sığınaklar, istinat duvarları, su altı petrol boru hatları ve petrol sondaj kuyusu çeperleri ağır betonların kullanım alanlarındandır (Yılmaz, 2009).

3.1.5.2. Barit

Ağır betonların agrega yoğunlukları ağırdır. Bu agregaların bir kısmı veya tamamı metal agregalardır. Bu agregalar barit (BaSO_4), limonit, magnetit vb. demirli minerallerdir.

Hidrojen atomu bakımından zengin olan ortamlar nötron hareketini durdurur. Yoğunluğu yüksek olan ağır betonlar bu görevi yerine getirir. Bu amaçla yoğunluğu 3200 kg/m^3 'ün üzerinde olan ağır agregalar kullanılır.

Beton üretiminde kullanılan bazı agregaların özgül ağırlıkları Çizelge 3.2.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Bazı agregaların özgül ağırlık değerleri (ASTM C 128)

Agrega	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)
Limonit	3,4 - 4,0
Barit	4,0 - 4,6
İlmenit	4,3 - 4,8
Hematit	4,9 - 4,8
Çelik Saçma Parçaları	6,2 - 7,8

Ağır beton üretiminde en çok kullanılan agregalardan biri olan barit agrega metalik olmayan minerallerin en ağırıdır. Özgül ağırlığı 4,5 gr/cm³, sertliği 2,5-3,5 arasındadır.

Kimyasal bileşimi BaSO₄ barit en çok bilinen baryum mineralidir. Beyaz, opak görünümlüdür. İçerisinde bulunan demirden dolayı kırmızı ve kahverengi, karbonlu maddelerden dolayı siyah, sarı, kırmızı ve mavi renklere görülebilir.

3.2. Yöntem

3.2.1. Beton karışım hesapları

Silis dumanı katkılı betonlarda (SDAB) kullanılan barit Isparta Şarkikaraağaç bölgesindeki Başer Maden'den temin edilmiştir. Agreganın karışım oranları % 40 ince (0-4 mm) ve % 60 kalın (4-16 mm) olacak şekilde alınmıştır. SDAB üretiminde maksimum dane çapı 16 mm. seçilmiştir. Karışım hesapları, üretilecek betonun kuru plastik kıvamda olacak şekilde hesaplanmıştır. Çalışmalarda kullanılan agreganın boyutu 4 mm'den küçük olanlara ince malzeme ve 4 mm'den büyük olanlara kalın malzeme denilmiştir.

TS 802’de belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınarak 1m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak beton bileşenlerinin miktarı aşağıdaki denklemde yerine konularak hesaplanmıştır.

$$\frac{C}{\rho_C} + S + \frac{A}{\rho_A} + H = 1 \text{ m}^3 \quad (3.1)$$

Ç : Karışımındaki çimento miktarı (kg)

ρ_C : Çimentonun yoğunluğu (kg / m³)

S: Karışımındaki suyun miktarı (kg)

A: Karışımındaki agreganın miktarı (kg)

ρ_A : Agreganın yoğunluğu (kg / m³)

H: Betondaki toplam hava miktarı (m³)

Karışımında 1m³ için kullanılan miktarlar Çizelge 3.3’de verilmiştir.

Çizelge 3.3. 1m³ beton bileşimindeki malzeme miktarları

Numune Adı	Su (kg)	Çimento (kg)	Silis Dumanı (kg)	S/Ç	İnce Barit (kg)	Kaba Barit (kg)
SDAB10	184	362	36,2	0,50	1114	1701
SDAB20	184	362	72,4	0,50	1013	1691
SDAB30	184	362	108,6	0,50	1002	1682

Üretilen beton numunelerde, içerisinde çimentonun ağırlığınca %10 silis dumanı bulunan beton kodu SDAB10, %20 bulunan silis dumanlı betonun kodu SDAB20, %30 silis dumanı bulunan beton kodu SDAB30 olarak kodlanmıştır.

3.2.2. Granülometri

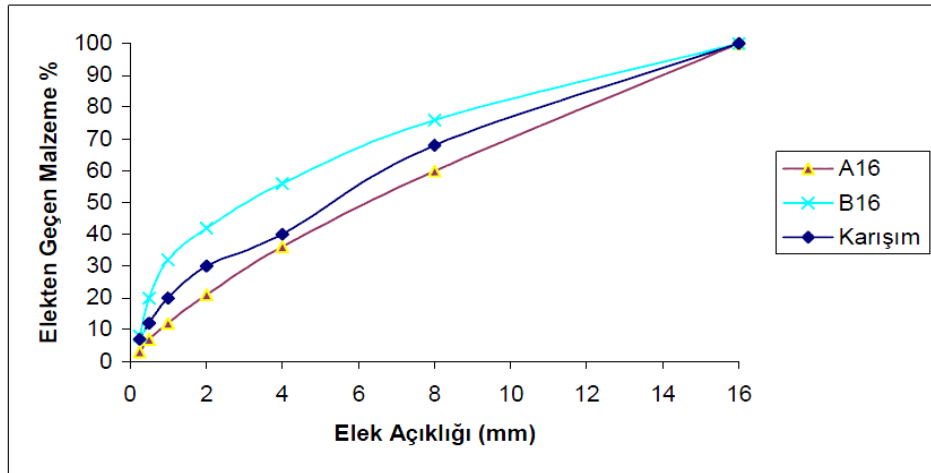
X ekseninde elek açıklıklarının, Y ekseninde yüzdelerin (%) belirtildiği, farklı beton türlerine göre ideal ve ideal olmayan agregaya karışım yüzdelerinin gösterildiği eğriye

granülometrik eğri denilmektedir. TS 706 EN 12620'deki kare elek açıklıkları büyükten küçüğe doğru 31,5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm.dir.

Agrega karışımının boşluğunun en az veya kompasitenin en fazla olması istenir. Böylelikle betonda hem sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşması, hem de boşlukları dolduracak çimento hamurunun azalması gerçekleştirilebilir (Arıoğlu vd, 1999).

Beton yapımında kullanılacak agregaların tane büyüklüğü dağılımı, tane sınıfları ve incelik modülü elek analizi ile belirlenir. Elek analizi TS 3530 EN 933-1 ve TS 130'daki standarda göre yapılır.

TS 706 EN 12620'e göre en büyük tane çapına bağlı olarak granülometrik eğrinin Şekil 3.5'deki A16 ve B16 eğrileri arasında bulunması gerekmektedir. D_{max} 16 mm için ideal kabul edilen B16 eğrisi dikkate alınmışve buna göre gerekli agrega sınıfları ve miktarları bulunmuştur. Çizelge 3.4'de karışım için kullanılacak olan agrega miktarları verilmiştir.



Şekil 3.5. En büyük tane çapına bağlı olarak agrega granülometri sınır eğrileri (Kılınçarslan, 2004)

Çizelge 3.4. Karışım için kullanılacak agrega miktarları (Kılınçarslan, 2004)

Elek Boyutu (mm)	Elek Üstünde Kalan Malzeme (gram)	Elekten Geçen Malzeme Miktarı (gram)	Elek Üstünde Kalan Malzeme Miktarı (%)	Elekten Geçen Malzeme Miktarı(%)
16	0,00	6155	0	100
8	1580	4575	31,37	68,63
4	3538	2617	57,48	42,52
2	4638	1507	75,51	24,49
1	5178	977	84,12	15,88
0,5	5540	615	90,00	10,00
0,25	5702	453	92,64	7,36
Tava	6155	0	0	0

3.2.3. Baritin birim ağırlığı

Birim ağırlık deneyleri barit agregasının gevşek ve sıkı birim ağırlık olmak üzere yapılmıştır. Deney sonucunda bulunan baritin gevşek ve sıkı birim ağırlıkları Çizelge 3.5’de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Barit birim ağırlıkları (gr /cm³)

4 mm alt	Gevşek	2.55
	Sıkı	2,90
4 mm üst	Gevşek	2.19
	Sıkı	2.85

3.2.4. Baritin özgül ağırlığı

Yapılan deney sonucunda baritin 4 gr/cm^3 özgül ağırlığı ağır agregaya için yüksek bir değerdir. Normal agregaya ve barit için yapılan özgül ağırlık deney değerleri kullanılarak elde edilen doygun kuru yüzey özgül ağırlık değerleri Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Agregaların özgül ağırlık değerleri

Elek Aralığı	Barit (gr/cm^3)
4 mm altı	4.00
4 mm üstü	4.00

3.2.5. Beton üretimi

Karışımında TS 802' ye göre C 30 betonu hedef alınarak hesaplamalar yapılmıştır. S/Ç oranı 0,50 olarak sabit tutulmuş olup çimentonun ağırlığının %10, %20 ve %30 oranında silis dumanı betona katılarak 3 seri karışım hesabı yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyi ve su emme deneyi için her seri beton numunelerinden 7, 28 ve 90 günlük yaşlarda deneye tabi tutulmak üzere $20 \times 20 \times 20 \text{ cm}$ 'lik küp numunelerden 36 adet numune üretilmiştir. Eğilme dayanımı deneyinde her seri için 28 günlük deneye tabi tutulmak üzere $10 \times 10 \times 50 \text{ cm}$ 'lik prizmatik numunelerden 9 adet dökülerek ortalamaları alınmıştır. Numuneler deneyin yapılacağı güne kadar sıcaklığı $22 \text{ }^\circ\text{C}$ olan kür odasında saklanmıştır.

Karışım hesaplaması yapıldıktan sonra hacmine eşdeğer barit kullanılarak SDAB10, SDAB20, SDAB30 serisi betonlar ise silis dumanının, çimentonun ağırlığınca %10, %20 ve %30'u oranlarında ilave edilerek üretilen beton serilerini göstermektedir.

Karışıma giren agregaya, barit, çimento, silis dumanı ve su üretilen betonun koduna göre önceden tartılıp hazırlanmıştır.

Karışımlarda kullanılan baritin boyutları Şekil 3.6'daki elekler kullanılarak belirlenmiştir.



Şekil 3.6. Elek analizi deneylerinde kullanılan standart elekler

Beton harcı üretiminde kullanılan düz eksenli mikser Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Düz eksenli mikser öncelikle su yardımı ile nemlendirilmiştir. Öncelikle agregalar mikserde katıldıktan sonra 5 dakika boyunca iyice karıştırılmıştır. Daha sonra mikserdeki karışmış agregalara çimento ve silis dumanı katılıp 3-4 dakika tekrar karıştırılmıştır. Harç içerisine önceden miktarı belirlenen su, harç mikseri çalışırken yavaş yavaş eklenmiştir. Son olarak ağzı kapatılan mikserde malzemeler 3 dakika daha karıştırılmıştır.



Şekil 3.7. Düz eksenli beton karışım mikseri

Hazırlanan harç önceden yağlandırılmış kalıplara üç aşamada konmuş ve her aşamada 10 sn. Şekil 3.8'deki sarsma tablası aleti ile sarsılmıştır.



Şekil 3.8. Sarsma tablası

3.2.6. Beton deneyleri

Üretilen betonların kuru ve birim hacim ağırlıkları, su emme miktarları, basınç dayanımları, eğilme dayanımları, ultrases geçirgenlik değerleri hesaplanmıştır.

3.2.6.1. Su emme miktarlarının tayini

Su emme miktarlarını tayin etmek amacıyla 28 gün sonunda kür havuzundan her seri beton için 3'er adet numune çıkartılmıştır. Numunelerin yüzeylerinde hiç su kalmayacak şekilde kurutulup, 0,001 kg hassasiyetli terazide tartılmıştır. Numuneler etüvde sabit ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur. Kurutulan numuneler 0,001 kg hassasiyetli terazide tartılmıştır. Su emme miktarı denklemi kullanılarak ağırlıkça su emme oranı (%):

$$m = 100 (m_s - m_o)/m_s \quad (3.2)$$

Burada;

m : Su emme miktarı(%)

m_o : Etüv kurusu numune (gr)

m_s : Doygun kuru yüzey numune (gr)

hesaplanmıştır.

3.2.6.2. Basınç dayanımı

S.D.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi beton teknolojisi laboratuvarında basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Tahribatlı test yönteminde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Şekil 3.9'daki 300 ton kapasiteye sahip tek eksenli basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 3.9. 300 ton kapasiteli tek eksenli basınç presi

Yükleme hızı 0,35 MPa olarak sabit tutulan basınç deneylerinde, numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki denklemde yerine konularak hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.3)$$

Burada;

σ : Basınç dayanımını (MPa)

P : Kırılma yükünü (KN)

A : Numunenin yük doğrultusundaki kesit alanını (cm²)

ifade etmektedir.

3.2.6.3. Eğilme dayanımı

Eğilme deneyi için simetrik iki tekil yük etkisinde basit kiriş üzerinde yapılmıştır. Bu deney için S.D.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi Laboratuvarında bulunan Şekil 3.10'daki 15 ton kapasiteli yükleme hızı ayarlanabilen test cihazı kullanılmıştır.



Şekil 3.10. 15 ton kapasiteli eğilme deneyi test cihazı

Eğilme deneyi için kirişlere simetrik 2 noktadan yükleme uygulanmıştır. Numunelerin eğilme dayanımları aşağıdaki denklemde yerine konularak hesaplanmıştır.

$$\delta = \frac{PL}{bh^2} \quad (3.4)$$

Burada;

δ : Eğilme dayanımını (KN/cm²)

P : Kırılma yükünü(KN)

L : Numunenin genişliğini (cm)

b : Numunenin enini (cm)

h : Numunenin boyunu (cm)

ifade etmektedir.

3.2.6.4. Ultrases deneyi

Beton numunelerinin kırılmasıyla yapılan deneylere alternatif olarak hasarsız beton deneyleri geliştirilmiştir. Bu deneylerden birisi olan ve aynı zamanda pundit adı da verilen ultrasonik test cihazı ile numunelerin içerisindeki boşluk miktarı ölçme işlemi yapılır. Ultrases cihazının önce sıfır ayarı yapılmış olup kalibre edilmiştir. Beton numunelerin karşılıklı her iki tarafına gres yağı sürülüp yapılan deneyler ile ses geçirme süreleri (mikrosaniye) ölçülmüştür. Silis dumanı katkılı beton numunelerin 28 günlük ıslak küre tabii tutulması sonucunda basınç deneyi yapılmadan önce her numunenin ultrasonik ses hızları (USG) ölçülmüştür. Numunelerin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3 \quad (3.5)$$

Burada; V : Ses üstü dalga hızı (km/sn),
 S : Numunenin ses üstü dalga gönderilen yüzeyi ile dalganın
 alındığı yüzeyi arasındaki mesafe (metre),
 t : Ses üstü dalganın gönderilmiş olduğu beton yüzeyinden,
 alındığı diğer yüzeye kadar geçen zaman(mikro saniye)

ifade etmektedir.

4.ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Slump Deneyi Sonuçları

Betonda kullanılan imento oranının %10 , % 20 ve % 30 ‘u kadar betona katılan silis dumanı puzolanik aktivitesinin yüksek olmasından dolayı beton içerisindeki malzemelerin birbirleriyle olan aderansını arttırmıŐtır. Silis dumanının çok ince taneli yapıda olması sebebiyle betondaki boşluklara girerek betonun boşluksuz yapıda olmasını ve imento ile agreganın birbirlerine temas yüzeylerini arttırmaktadır. Uygulanan slump deneyinde silis dumanı yüzdesi arttıkça çökme miktarlarının azaldığı izelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Slump deneyi sonuçlarına göre çökme miktarları

Beton Sınıfı	ökme (mm)
SDAB10	25
SDAB20	16
SDAB30	10

TS EN 206’da beton kıvamı çökme sınıflarına göre, SDAB10, SDAB20 ve SDAB30 beton harçlarına uygulanan deneyde, kıvam sınıfı S1 olarak deęerlendirilmiŐtir.

4.2.Doygun ve Kuru Birim Hacim Ağırlık Sonuçları

Çalışma kapsamında üretilen beton serilerinin doygun ve kuru birim hacim ağırlıklarına bakıldığında baritin birim ağırlığının fazla olmasından kaynaklanan farkın betona yansıdığı görülmektedir. Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Doygun birim ağırlık ve kuru birim ağırlık değerleri

Beton Serisi	Doygun Birim Ağırlığı (kg/m³)	Kuru Birim Ağırlığı (kg/m³)
SDAB10	3,431	3,400
SDAB20	3,435	3,432
SDAB30	3,503	3,475

4.3. Su Emme Miktarı Tayini Sonuçları

Sabit su/çimento oranında silis dumanlı betonların su emme miktarları tayininde, silis dumanı oranının artması su emme miktarındaki artışa neden olmaktadır. Boşluk oranı azaltılmasında silis dumanının etkisi görülmüştür. Su emme deneyi sonucunda bulunan su emme miktarları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Su emme miktarları

Beton Kodu	Silis Dumanı Oranı	Su Emme (%)
SDAB10	%10	7,59
SDAB20	%20	7,02
SDAB30	%30	6,25

4.4. Basınç Deneyi Sonuçları

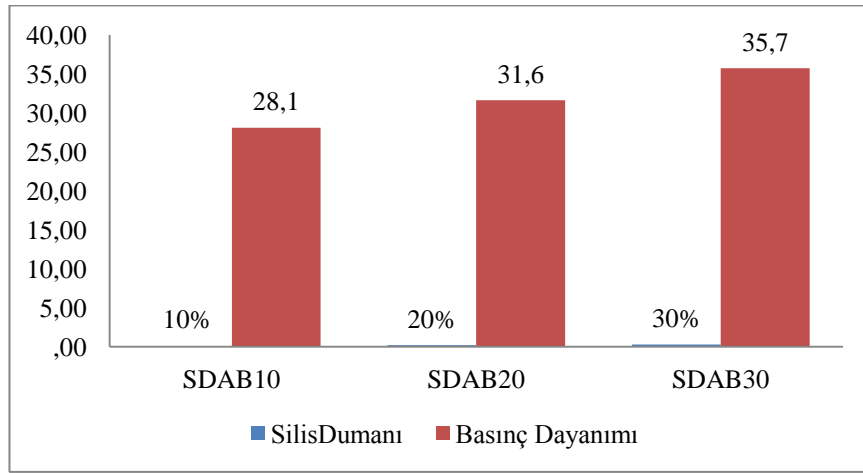
Silis dumanının beton içerisine ilave edildiği durumda, yüksek beton basınç dayanımı elde edilmektedir. Basınç deneyi sonuçları incelendiğinde silis dumanı yüzdesi arttıkça basınç dayanımında artışlar gözlenmiştir.

4.4.1. Numunelerin 7 günlük basınç deneyi sonuçları

%10, %20 ve %30 silis dumanı katkılı ağır beton numunelerin 7 günlük suda kürü sonucunda basınç cihazından elde edilen değerler Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. 7 günlük basınç mukavemetleri ortalaması

Seri No	Silis Dumanı	Basınç Dayanımı (MPa)
SDAB10	%10	28.1
SDAB20	%20	31.6
SDAB30	%30	35.7



Şekil 4.1. 7 günlük basınç mukavemetleri ortalaması

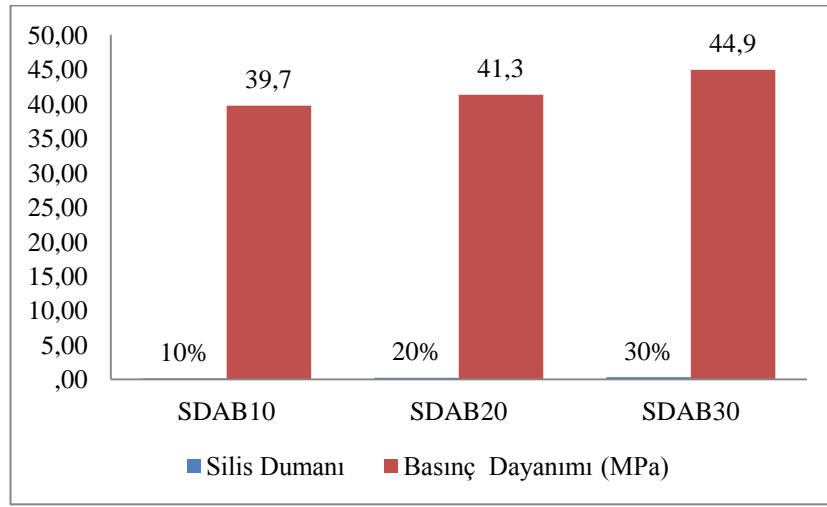
4.4.2. Numunelerin 28 günlük basınç deneyi sonuçları

Silis dumanı katkılı üretilen küp numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları 7. Gün yapılan basınç dayanımlarından oldukça yüksek çıkmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda, silis dumanı oranının artmasıyla dayanım belirli bir seviyeye kadar artmaktadır. Yüksek çıkan basınç dayanımlarının nedenini puzolanların tanımına bakıldığında açıklık gösterecektir. Puzolanlar, “kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli veya silisli ve alüminli malzemeler” olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan, 2003).

28 günlük kür basınç mukavemetleri Çizelge 4.5 ve Şekil 4.2’ de verilmiştir.

Çizelge 4.5. 28 günlük basınç mukavemetleri ortalaması

Seri No	Silis Dumanı	Basınç Dayanımı (MPa)
SDAB10	%10	39,7
SDAB20	%20	41,3
SDAB30	%30	44,9



Şekil 4.2. 28 günlük basınç mukavemetleri ortalaması

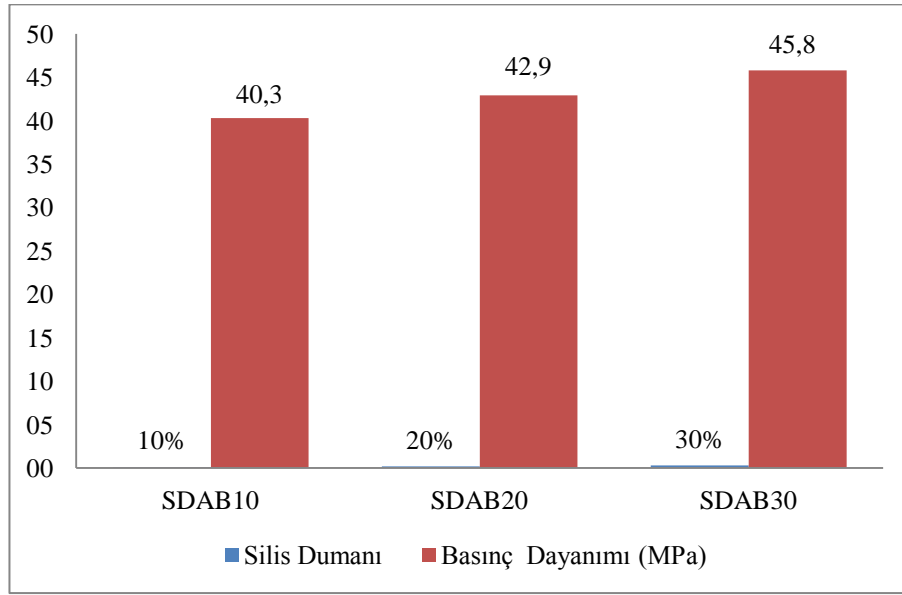
4.4.3. Numunelerin 90 günlük basınç deneyi sonuçları

90 gün boyunca kür havuzunda bekletilen numuneler üzerinde yapılan basınç deneyinde 28. günden sonra dayanımda görülen artış çok hızlı olmamakla beraber artmıştır.

90 günlük kür basınç mukavemetleri Çizelge 4.6 ve Şekil 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.6. 90 günlük basınç mukavemetleri ortalaması (MPa)

Seri No	Silis Dumanı	Basınç Dayanımı
SDAB10	% 10	40,3
SDAB20	% 20	42,9
SDAB30	% 30	45,8



Şekil 4.3. 90 günlük basınç mukavemetleri ortalaması

4.5. Ultrases Geçiş Hızı Sonuçları

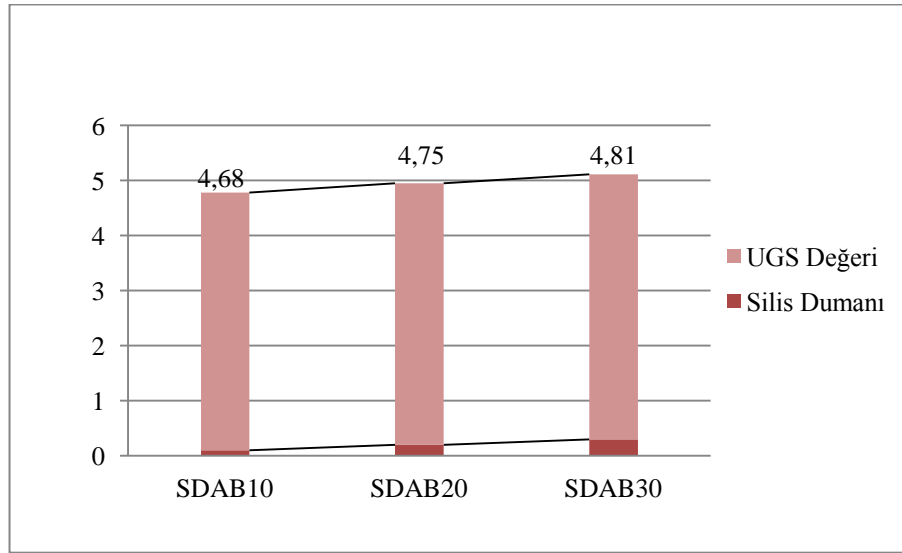
Silis dumanı oranının betonun ultrases geçirgenlik değerlerini arttırdığı görülmüştür. Silis dumanı ince taneli yapısından dolayı betonun arasındaki boşlukları doldurarak boşluk oranı daha düşük beton elde edilmesini sağlamıştır.

Ultrases geçiş hızı (ugs) ölçüm deneyine başlamadan metal başlıklara gres yağı sürülerek birbirine yapıştırılır ve test ölçümü yapılır. Alet sıfırlandıktan sonra ölçüm yapılan beton donatısız beton olmalıdır. Cihaz açılarak metal başlıklardan biri dalga gönderici olarak numunenin bir yüzüne tamamen temas edecek şekilde elle bastırılır. Numunenin diğer yüzüne de, diğer metal başlık dalga alıcı olarak elle bastırılır. Ultrasonik test cihazı, ses üstü dalgaların, dalga gönderici ve alıcı başlıklar

arasındaki bir mesafeyi ne kadar zamanda geçtiğini mikro saniye birimiyle otomatik olarak belirlemekte ve cihazın üzerindeki ekranda göstermektedir. Okunan bu değerler Çizelge 4.7 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Numunelerin 28 günlük ugs değerleri

Seri No	Silis Dumanı	Ugs Değerleri (km/sn)
SDAB10	% 10	4.68
SDAB20	% 20	4.75
SDAB30	% 30	4.81



Şekil 4.4. Numunelerin 28 günlük ugs değerleri

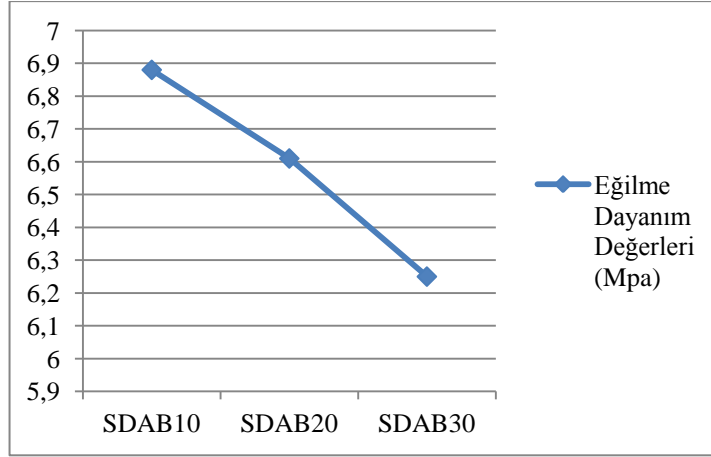
4.6. Eğilme Dayanımı Sonuçları

Silis dumanı katkısının basınç dayanımını arttırdığı görülürken eğilme dayanımı üzerinde aynı etkiyi göstermediği gözlemlenmiştir. Karışımlardaki silis dumanı oranı arttıkça betonun eğilme dayanımında azalış gözlenmiştir.

28 gün kür havuzunda bekletilen beton numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları (MPa) cinsinden Çizelge 4.8’de ve Şekil 4.5’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.8. Eğilme dayanımlarının ortalaması

Seri No	Eğilme Dayanım Değerleri (Mpa)
SDAB10	6,88
SDAB20	6,61
SDAB30	6,25



Şekil 4.5. Eğilme dayanım değerleri

Eğilme dayanımı testi için deneye tabii tutulan 10*10*50 cm ebatlarındaki 9 adet kiriş numunelerin eğilme mukavemeti, silis dumanı oranı arttıkça azalmaktadır. Silis dumanının eğilme dayanımı üzerindeki olumsuz etkileri gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, endüstriyel atık malzemesi olan silis dumanının ağır beton numuneleri üzerindeki olumlu etkileri görülmüş olup, yüksek dayanım kazandırma özelliği ile silis dumanının katkı malzemesi olarak kullanımı önerilmektedir. Antalya Eti Elektrometalurji İşletmesi'nden temin edilen silis dumanı ile Isparta ilinin Şarkikaraağaç ilçesinden temin edilen barit agregası ile üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Silis dumanı katkılı üretilen ağır betonların deneylerdeki sonuçları araştırılmıştır. Bu amaçla yapılan deneylerin sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

1. Silis dumanı kullanımı halinde taze betonda işlenebilirlik düşmektedir. Bu işlenebilirliği belirli bir seviyede tutmak için akışkanlaştırıcı katkı kullanılması önerilebilir.
2. Su/çimento oranı sabit tutulduğunda (0,50) ve silis dumanının ağırlığı arttıkça çökme miktarının yok denecek kadar az olduğu gözlenmiştir.
3. %10, %20 ve %30 silis dumanı kullanımı boşluk oranının düşürülmesinde oldukça etkili olurken, 0.50 su-bağlayıcı oranında silis dumanı oranının arttıkça boşluk oranındaki etkisi olumlu gözlenmiştir.
4. Silis dumanı kullanılarak üretilen ağır beton küp numunelerinin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarındaki artış göz önüne alındığında; 28. gün sonunda elde edilen basınç dayanımının, 7 günlük numunenin basınç dayanımındakine kıyasla artışı en fazla olmuştur. 90. gün sonunda yapılan deneylerde basınç dayanımı değerleri 28. güne nazaran artış göstermiştir, fakat en büyük artış miktarı 28. gün sonunda elde edilmiştir.
5. Silis dumanı katkılı küp numunelerin basınç dayanımları kendi aralarında kıyaslandığında numunelerin birbirlerine en yakın değerleri 28 ve 90 gün sonunda yapılan deneylerde elde edilmiştir.

6. Su/çimento oranı sabit tutularak, çimentonun ağırlığına %10, %20 ve %30 oranında kullanılan silis dumanı ile üretilen numunelerin basınç dayanımları silis dumanı yüzdesi arttıkça 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları da orantılı artış göstermiştir. Deney sonuçlarında silis dumanının basınç dayanımı üzerindeki olumlu etkileri görülmüştür. Dolayısıyla silis dumanı ile üretilen betonların basınç mukavemetinin tahmininde kullanılacak denklemlerin, silis dumanının oranına ve zamana bağlı olduğu bulgusuna varılmıştır.
7. Eğilme dayanımı deneylerinin sonuçlarına bakıldığında; 28. gün sonunda yapılan kiriş numunelerin eğilme dayanımının silis dumanı miktarı arttıkça azaldığı görülmektedir.
8. Ultrasonik ses dalgası ölçümleri, gerçek basınç mukavemeti değerlerine karşı pek fazla hassas olmasa da genel olarak basınç mukavemeti-ultrases dalga hızları arasında lineer bir ilişki ortaya çıkmıştır. Betondaki silis dumanının artışı ile ultrases geçiş hızının da arttığı görülmektedir.
9. Nükleer enerjinin gelişmesi ile birlikte, nükleer santrallerde çekirdek parçalanması sonucunda ortaya çıkan zararlı ışınların etkilerini azaltmak amacıyla ağır beton üretimi önemlidir.
10. Ülkemizde silis dumanının kullanımına yönelik bilgilendirici tanıtımlarla uygulamalar desteklenerek, bazı yapılardaki düşük kalitedeki betonlar sebebiyle ülkemizin uğramış olduğu kayıplar telafi edilebilir.
11. Silis dumanının birlikte kullanıldığı karışımların hem harç hem de beton özelliklerini ne ölçüde etkilediği araştırılabilir.
12. Yüksek kalitede beton üretimi için ülkemizde inşaat sektörünün içindeki elemanlar bu konuda bilgilendirilerek, ülke kaynakları maksimum verimle kullanılmalıdır.

13. Silis dumanı kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı betonların maliyet verim tablosu çıkarılarak, bazı uygulamalarda kullanılması teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Akgün, Y, Durmuş, A, Durmuş, A, Barit Agregasıyla Üretilen Ağır Bir Betonun Özellikleri., Proje Kod No: 96.112.001.5.
- Akman, M.S., 1987. Yapı Malzemeleri. 1. Baskı. İTÜ Matbaası, 211s, İstanbul.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A., O., 1999. Çözümlü Beton Agregaları Problemleri. Evrim Yayınevi, 238, 149–178. İstanbul.
- ASTM C 597, 1994. Standard Test Method For Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM Designation. C637-90. 1994. Aggregates for Radiation-Shielding Concrete
- ASTM Designation: C 638-92. 1995 Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete.
- ASTM C 125. 1994. Standard Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates. Annual Book of ASTM Standards
- ASTM C128-88. 1989. Standard Test Method For Density, Relative Density, and Absorption of Fine Aggregate, Annual Book of ASTM Standards.
- ASTM C 494 “Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete”
- Atış C. D., Özcan, F., Karahan, O., Bilim, C., Sevim, U. K., Demir, A. , 2003. Silis Dumanı Kullanımının Beton Dayanım Üzerindeki Etkisi, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri. 426. (3), 3. Ankara
- Azevedo, C.S., 2002. Contribuicao das Adicoes Mineraias Para a Resistencia a Corrosao da Armadura do Concreto. Goiania Dissertation, Goias Federal University. Brazil. 241. (4), 103. Brazil
- Bedirhanoğlu, İ., 2011. Yapı Malzemesi. Erişim Tarihi: 10.10.2012. <http://www.dicle.edu.tr/a/idrisb>
- Beycioğlu, A., Doğan, D., Çakır, C., Subaşı, S., Başyigit, C., 2010. Silis Dumanının Beton Teknolojisinde Kullanımı, MYO – OS, Ulusal Meslek Yüksekokulları Öğrenci Sempozyumu, Düzce.
- Boddy, A. M., Hooton, R. D., Thomas, M. D. A., 2003. The Effect of Silica Content of Silica Fume on Its Ability to Control Alkali-Silica Reaction. Cement and Concrete Research, 1263-1268.
- Cilason, N., 1982, Beton, Sezai Türkeş-Fevzi Akkaya İnşaat A.Ş. Yayınları. S.21. İstanbul.

- Cohen, M.D., Olek, J., Dolch, W.L., 1990, Mechanism of Plastic Shrinkage Cracking in Portland Cement and Portland Cement-Silica Fume Paste and Mortar. Cement and Concrete Research, 103-119. ABD.
- Coşkun, A., 2010, Ağır Betonlarda Barit Agregasının Kullanımı ve Beton Özelliklerinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi. 86s, Afyon.
- Çelik, M.H., Şimşek O., Sancak E., 2001. Silis Dumanı Kullanımının Çimentonun Priz Başlama ve Bitiş Sürelerine Etkisi, Politeknik Dergisi, 4s, Isparta.
- Durmuş, A., Gürsoy, Y., 2000. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Hazır Beton Sektörü Yayın Organı, 5s.
- Duval, R., Kadri, E.H., 1998. Influence of Silica Fume on the Workability and the Compressive Strength of High-Performance Concretes. Cement and Concrete Research, 533-547.
- Erdoğan, T.Y. 2003. Beton. ODTU Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık. 741s, Ankara
- Erdoğan, T. Y., 2007, Beton. ODTÜ Yayıncılık, 618s, Ankara.
- Erdoğdu, Ş., Kurbetçi, Ş., Doğan, A. 1996. Silis Dumanının Katkılı Çimento ile Kullanımı, 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası.257-265. İstanbul
- Gürsoy, Y., 1997. Doğu Karadeniz Bölgesi Doğal Ağır Agregalarından Biriyle Üretilen Ağır Betonun Geleneksel Bir Betonla Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.112s, Trabzon.
- Kılınçarslan, Ş., 2004. Barit Agregalı Ağır Betonların Radyasyon Zırhlamasındaki Özellikleri ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, D. Tezi, 125s, Isparta.
- Kılınçarslan Ş., Başyigit C., Uzun İ., 2010. Ağır Betonların Sülfat Etkisinde Mekanik Özellikleri. SDU International Technologic Sciences. 60-71. Isparta
- Koca, C., 1996. Yüksek Performanslı Beton Üretiminde Mikrosilis, Cüruf, Klinker Karışımı Çimento Kullanımı. 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, 381-394. İstanbul
- Laplante, P., Aitcin, P. C., Vezina, D., 1991. Abrasion Resistance of Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering. 43 (7), 100-115.
- Malhotra, V. M., 1997. Mineral Admixtures. Concrete Construction Engineering Handbook. Nawy Edward G. CRC Press. 27-36. New York.

- Mazloom, M., Ramezaniyanpour, A. A., Brooks J. J., 2004. Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete. Cement and Concrete Composites, 347-357.
- Osma Y., 2002. Barit İle Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.
- Okuyan, M.N., 2007. Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Betonların Basınç Dayanımlarının Hasarsız Olarak Bulunması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi.103s, Şanlıurfa
- Özcan, F., Silis Dumanı İçeren Harç ve Betonların Özellikleri ve Hızlandırılmış Kür ile Dayanım Tahmini. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, 191s, Adana
- Rao, G. A., 2001. Long-Term Drying Shrinkage of Mortar-Influence of Silica Fume and Size of Fine Aggregate. Cement and Concrete Research, 171-175.
- Rols, S., Ambrose, J., Pera, J., 1999. Effects of Different Viscosity Agents on the Properties of Self-Leveling Concrete. Cement and Concrete Research. 261-266.
- Şimşek, O., Dur , A., Yaprak, H., 2004. Silis Dumanı ve Süper Akışkanlaştırıcı Katkılı Harçların Özellikleri. Politeknik Dergisi, 7(8), 4.
- Tachibana, D., Imai, M., Yamazaki, N., Kawai, T., Inada, Y., 1990. High-Strength Concrete Incorporating Several Admixtures. Proceedings Second International Symposium on High-Strength Concrete. 309-330. Berkeley
- Taşdemir, C., 1996. Mikrofiller Malzemelerin Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi, 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkıları Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s.199-208.İstanbul
- Temiz, H., Yeğinoğlu, A., 1995. Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Hamur ve Harçlarının Bazı Özellikleri, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, s.213-225. Ankara
- Topçu, İ.B., Kaval, M., 2001. Hazır Betonda Silis Dumanı Kullanımının Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi, Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi 6s, Eskişehir
- Topçu, İ.B., Cambaz M., 2002. Silis Dumanının Mekanik Çatlak Oluşumlarına Etkisi, Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi. 4s, Eskişehir
- Topçu, İ.B., 2006. Beton Teknolojisi. Uğur Ofset. 570 s. Eskişehir.
- TS 130, 1978. Agrega Karışımlarının Elek Analizi İçin Metot, I. Baskı, Ankara.

- TS 2871, 1977. Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu İle), I. Baskı, Ankara.
- TS 3529, 1980. Beton Birim Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini. I Baskı, Ankara.
- TS 3530, 1980. Beton Agregalarının Tane Büyüklük Dayanımının Tayini (Granülometrik Bileşim Tayini), I Baskı, Ankara.
- TS 706, 1980. Beton Agregaları, I. Baskı, Ankara.
- TS 802, 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Turanlı, L., 1995. Mikrosilisin Çimento Yapımında Kullanılması, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası. s.201-211. Ankara,
- Yeğınobalı A., 1993, Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, s.149-167. Ankara
- Yılmazer, B., 2009, Muş Yöresinden Temin Edilen Baritin kullanımı ile Elde Edilen Ağır Betonun Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 96s, Elazığ.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serap ESEN

Doğum Yeri ve Yılı : Samsun, 1984

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : serapesen-@hotmail.com

Eğitim Durumu

Lise : Samsun 19 Mayıs Lisesi, 2001

Lisans : SDÜ, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmenliği

Yüksek Lisans : SDÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Mesleki Deneyim

Samsun Borkonut İnşaat Sanayi ve Ticaret Limited Şirketi 2010