

**T.C.
ADYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**MERMER ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI**

ABDURRAHMAN ÜNSAL

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

T.C.
ADİYAMAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MERMER ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK
KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdurrahman ÜNSAL

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez 25/08/2017 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

.....
Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN
BAŞKAN (DANIŞMAN)

.....
Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN
ÜYE

.....
Yrd. Doç. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ
ÜYE

Prof. Dr. Ramazan GÜRBÜZ
Enstitü Müdür V.

Bu çalışma Adıyaman Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

Proje No: -

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MERMER ATIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Abdurrahman ÜNSAL

Adıyaman Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN
Yıl: 2017, Sayfa sayısı: 72

Jüri : Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN
: Doç. Dr. Metin Hakan SEVERCAN
: Yrd. Doç. Mehmet SÖYLEMEZ

Beton basınç dayanımını incelemek amacıyla 2 farklı boyutta küp numuneler hazırlanmış olup numuneler tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle testlere tabi tutulmuştur.

Öncelikle mermer kırmataş agregası ve doğal dere agregalarından 15x15x15 cm boyutlarında beton küp numuneler hazırlanmış ve bu numunelerin 7, 28 ve 90 günlük ultrases hız değerleri, Schmidt çekici yüzey sertliği değerleri ile basınç dayanım değerleri ölçülmüştür. İkinci olarak ise 7x7x7 cm boyutlarında 27'şer adet numune mermer kırmataş agregalar ile silis dumanı (SD), uçucu kül (UK) ve yüksek fırın cürufu (YFC) %10, %20 ve %30 oranlarında ikameli beton numunelerin 7, 28 ve 90 günlük birim hacim ağırlık, ultrases hız ve beton basınç dayanım değerleri ölçülmüştür. Amaçlanan hedef dayanıma (C25/30) tüm beton numunelerinde 28 gün sonunda ulaşılmıştır. 7x7x7 cm boyutlu SD, UK ve YFC katkılı betonlarda 7, 28 ve 90 günün sonundaki birim hacim ağırlık değerlerinde en yoğun değere (2.360 gr/cm³) %30 UK'de, ultrases hız değerlerinde en yüksek hız değerine %20 YFC'da (4.70 km/sn), Basınç dayanımında ise en yüksek değere %30 SD'li numunelerde (40 MPa) ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mermer, agrega, silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın cürufu, ultrases hız, Schmidt çekici, dayanım.

ABSTRACT
Master's Thesis

**INVESTIGATION ON THE UTILITY OF MARBLE REMNANTS AS
CONCRETE AGGREGATES**

Abdurrahman ÜNSAL

Adiyaman University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Year: 2017 Page: 72

Jury: Assoc. Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN
Assoc. Prof. Dr. Metin Hakan SEVERCAN
Asst. Prof. Dr. Mehmet SÖYLEMEZ

In this study, 2 different sizes of cube samples were prepared and the samples were subjected to destructive and non-destructive test methods in order to investigate the concrete compressive strength.

First of all, concrete cube samples were prepared from marble angular aggregates and natural stream aggregates in sizes of 15x15x15 cm and ultrasonic velocity values of 7, 28 and 90 days, Schmidt hammer surface hardness and compressive strength values were measured. Secondly, 27 samples of marble angular aggregates in dimensions of 7x7x7 cm with 10%, 20% and 30% silica fume (SF), Fly Ash (FA) and Blast Furnace Slag (BFS) substituted concrete samples' specific bulk density, ultrasound velocity and concrete compressive strength values were measured with intervals of 7, 28 and 90 days. The desired strength (C25/30) was reached in all concrete samples after 28 days. At the end of the 7, 28 and 90 days, the highest density value (2.296 gr/cm³), the maximum velocity value in ultrasonic velocity value (4.70 km/sn) and the highest value in pressure strength (40 MPa) was found in samples with 30% FA, 20% BFS and 30% SF respectively.

Keywords: Marble, aggregate, silica fume, fly ash, blast furnace slag, ultrasonic speed, Schmidt hammer, strength.

TEŞEKKÜR

Mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırılması çalışmasına ilişkin yürütülen bu çalışmanın planlanmasından yazımına kadar geçen her aşamasında önerileri ile beni yönlendiren, her türlü yardımını esirgemeyen hocam Doç. Dr. Osman GÜNAYDIN'a teşekkür ederim.

Çalışmada Adıyaman Üniversitesi MYO İnşaat Bölümü laboratuvarını kullanmamıza izin veren Yüksekokul yöneticilerine, deneylerimizde bize yardımcı olan Öğr. Gör. Kadir GÜÇLÜER hocamıza, mermer atıklarının kırım ve eleme işlemleri için Ufuker İnşaat'a bağlı Derviş Çalı Taş Ocağına ve 2017 yılı içerisinde Hakkın rahmetine kavuşan çok kıymetli, rahmetle andığımız Öğr. Gör. Ali Fuat KÖROĞLU hocama teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca çalışmamda desteklerini gördüğüm eşim ve çocuklarıma çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER	SAYFA
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
1.GİRİŞ	1
1.1. Beton	3
1.1.1. Betonun tanımı ve özellikleri.....	3
1.1.1.1. Taze beton özellikleri.....	4
1.1.1.2. Sertleşmiş betonun özellikleri.....	5
1.1.2. Betonda basınç dayanımının etkenleri	7
1.1.3. Betonu oluşturan malzemeler.....	8
1.1.3.1. Çimento	8
1.1.3.2. Agregalar.....	10
1.1.3.2.1. Agregaların sınıflandırılması	11
1.2. Mermer.....	11
1.2.1. Mermer atığı.....	13
1.2.1.1. Adıyaman emprador mermer ihracat ve atık Miktarları	14
1.3. Silis Dumanı.....	15
1.3.1. Türkiye’de silis dumanı üretimi.....	16
1.3.2. Kimyasal bileşimi	17
1.3.3. Renk	18
1.3.4. Özgül ağırlık	18
1.3.5. Birim ağırlık.....	19
1.3.6. Tane özellikleri	19
1.4. Yüksek Fırın Cürufu	20

1.5. Uçucu Kül	21
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	24
2.1. Silis Katkılı Beton Üretimi Çalışmaları	24
2.2. Yüksek Fırın Cürufllu Beton Üretimi Çalışmaları.....	26
2.3. Uçucu Kül Katkılı Beton Üretimi Çalışmaları	27
2.4. Mermer Atıklarının Beton Agregası olarak kullanılabilirliği ile ilgili çalışmalar	32
3. MATERYAL METOD	37
3.1. Materyal	37
3.1.1. Çimento	37
3.1.2. Su	37
3.1.3. Agregası	38
3.1.4. Silis dumanı.....	40
3.1.5. Yüksek fırın cürufu	40
3.1.6. Uçucu kül	41
3.2. Metod	42
3.2.1. Beton karışımlarının hazırlanması	43
3.2.2. Taze betonda birim ağırlık deneyi	46
3.2.3. Numunelere uygulanan kür	47
3.2.4. Ultrases hız ölçümleri	47
3.2.5. Schmidt çekici ile beton yüzeyi sertliğinin bulunması	49
3.2.6. Basınç deneyi	49
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	51
4.1. Beton Birim Ağırlıkları	51
4.2. Ultrases Hız Değerleri.....	53
4.3. Beton Schmidt çekici ile beton yüzeyi sertliği değerleri	56
4.4. Betonda basınç deneyi değerleri	57
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	64
KAYNAKLAR	65
ÖZGEÇMİŞ	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1. Türk standartlarındaki beton sınıfları ve basınç dayanımları	6
Çizelge 1.2. Dayanım sınıfı ve priz süreleri.....	8
Çizelge 1.3. Adıyaman ili yıllık mermer üretim miktarları	14
Çizelge 1.4. Adıyaman ili yıllık mermer ihracat miktarları	15
Çizelge 1.5. Adıyaman ili yıllık mermer atık miktarları	15
Çizelge 1.6. Silisyum ve Ferrosilisyum silis dumanındaki etkisi	16
Çizelge 1.7. Silis dumanlarının kimyasal bileşimi (%).....	18
Çizelge 1.8. Alaşım türü.....	18
Çizelge 1.9. Özgül yüzey tablosu.....	19
Çizelge 1.10.Uçucu küllerin tipik kimyasal bileşimleri.....	23
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi	37
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	37
Çizelge 3.3. YFC nin kimyasal özellikleri	40
Çizelge 3.4. 1 m ³ beton için 15x15x15 cm kenarlı küp malzeme miktarı	42
Çizelge 3.5. 1 m ³ SD+%1 SA katkılı beton bileşimindeki malzeme miktarı.....	43
Çizelge 3.6. 1 m ³ UK katkılı beton bileşimindeki malzeme miktarı.....	43
Çizelge 3.7. 1 m ³ YFC katkılı beton bileşimindeki malzeme miktarı	43
Çizelge 3.8. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri.....	43
Çizelge 3.9. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi	44
Çizelge 3.10.Kullanılan agregaların % kimyasal bileşimi	44
Çizelge 3.11.Çökme sınıfları.....	46
Çizelge 4.1. %10, %20 ve %30 oranında SD,UK ve YFC katkılı betona ait birim hacim ağırlıklar	52
Çizelge 4.2. Ultrases geçiş hızı yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi.....	53
Çizelge 4.3. DDA ve MKA'ya ait dalga hızı (Vp)değerleri	54
Çizelge 4.4. SD,UK ve YFC'ye ait dalga hızı (Vp)değerleri.....	55
Çizelge 4.5. DDA ve MKA'ya ait yüzey sertliği değerleri	56
Çizelge 4.6. DDA ve MKA 'ya ait basınç dayanım değerleri	57
Çizelge 4.7. %10, %20 ve %30 oranında SD katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri.....	59
Çizelge 4.8. %10,%20 ve %30 oranında UK katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç	

dayanım değerleri.....	60
Çizelge 4.9. %10, %20 ve %30 oranında YFC katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanım değerleri.....	62

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1. Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması	17
Şekil 3.1. Doğal dere agregası ve mermer atığı.	38
Şekil 3.2. DDA'ya ait granülometri eğrisi	39
Şekil 3.3. MKA'ya ait granülometri eğrisi	39
Şekil 3.4. Silis Dumanı.	40
Şekil 3.5. Yüksek Fırın Cürufu	41
Şekil 3.6. Uçucu Kül	41
Şekil 3.7. Beton döküm aşamaları.....	44
Şekil 3.8. SD,UK ve YFC katkılı 7x7x7 cm boyutlarında küp numuneler.....	45
Şekil 3.9. Slump Deneyi	45
Şekil 3.10. Beton birim hacim ağırlıklarının belirlenmesi.....	46
Şekil 3.11. Beton numunelerin kalıptan çıkarılması ve kür havuzuna konulması.....	47
Şekil 3.12. Sertleşmiş betonda ultrases hız ölçümü	48
Şekil 3.13. Sertleşmiş betonda Schmidt Çekici ile yüzey sertliği ölçümü	49
Şekil 3.14. Sertleşmiş betonun basınç dayanım değerleri ölçümü.....	50
Şekil 4.1. %10, %20 ve %30 oranında SD, UK ve YFC katkılı betona ait birim hacim ağırlık değerleri.	53
Şekil 4.2. DDA ve MKA ya ait ortalama ultrases hız (Vp) değerleri.....	54
Şekil 4.3. SD, UK ve YFC ye ait ultrases hız (Vp) değerleri	56
Şekil 4.4. DDA ve MKA ya ait yüzey sertliği değerleri	57
Şekil 4.5. DDA ve MKA ya ait basınç dayanım değerleri.....	58
Şekil 4.6. %10,%20 ve %30 oranında silis dumanı katkılı betona ait basınç dayanım değerleri.....	59
Şekil 4.7. %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül katkılı betona ait basınç dayanım değerleri.....	61
Şekil 4.8. %10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu katkılı betona ait basınç dayanım değerleri.....	62
Şekil 4.9. Şahit numunenin %10,%20 ve %30 katkılı SD, UK ve YFC ye göre 7, 28 ve 90 günlük dayanımları	63

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
C	: Concrete, Beton
°C	: Santigrat derece
Ca	: Kalsiyum
cm	: Santimetre
C-S-H	: Kalsiyum Silikat Hidrat
DDA	: Doğal Dere Agregası
km	: Kilometre
kN	: Kilo Newton
kwat	: Kilowat
m	: Metre
mm	: Milimetre
MKA	: Mermer Kırmataş Agregası
MPa	: Megapascal
PÇ	: Portland Çimentosu
SA	: Süper Akışkanlaştırıcı
SD	: Silis Dumanı
sn	: Saniye
TS	: Türk Standartları
Ugh	: Ultrases Geçiş Hızı
UK	: Uçucu Kül
Ugs	: Ultrases Geçiş Süresi
YFC	: Yüksek Fırın Cürufu
%	: Yüzde
γ	: Birim Hacim Ağırlık

1.GİRİŞ

İnsanlar var oluşlarından bu yana doğa olaylarından, tehlikelerden korunmak ve hayatlarını sürdürebilmek için güvenli bir barınağa ihtiyaç duymuşlardır.. İlk çağlarda malzemeler doğada oldukları şekilleriyle kullanılmaktaydı. Daha sonraki zamanlarda, malzeme bilimine eşdeğer olarak insanlardaki düşüncenin gelişimi ile doğadaki malzemeler işlenip şekillendirilerek kullanılmaya başlandı (Ucuzcu 2010).

Beton, çimento, doğal veya yapay iri agrega, su ve gerektiğinde kimyasal ve/veya mineral katkının karıştırılması ile yapılan ve çimentonun hidrasyonu ile dayanım kazanan malzemedir (TS 11222 2001, TS EN 206-1 2002).

Günlük yaşantıda da sık sık kullanılan beton insanoğlu hayatında büyük bir yer kaplamaktadır. Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en önemli ve popüler yapı malzemesidir (Erdoğan 2013). Bu yüzden ki inşaat mühendislerinin betonun özelliklerini yeterince tanımaları gerekmektedir. Ancak tekniğine uygun olarak hazırlanmayan betonda istenilen hiçbir özellik elde edilemez. Çok ilginç olan bir şey vardır ki iyi veya kötü beton üretmek için kullanılan malzemenin aynı olmasıdır (Güner 1999). Bu nedenle kullanılacak malzemenin özellikleri iyi kavranmalı ve tekniğine uygun yerlerde kullanılmalıdır.

Uzun yıllardan beri en önemli yapı malzemesi olma özelliğini koruyan ve güncelliğini kaybetmeyen beton, inşaat uygulamalarında, özellikle mühendislik yapılarında bu önemini daha da artırmıştır. Bu yapılar arasında; yollar, sulama kanalları, köprüler, barajlar ve konutlar sayılabilir. Betonun tercih edilme nedeni; şekil verilebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal kaynaklı dış etkilere karşı dayanıklılığı, ekonomik oluşu, üretimi ve yerine yerleştirmedeki kolaylık olarak sıralanabilir (Şimşek 2009). Betonun yapı malzemesi olarak bu kadar geniş bir uygulama alanının bulunması diğer yapı malzemelerine kıyasla son derece ekonomik oluşundan kaynaklanır (Yalçın ve Gürü 2006).

Standartlara uygun bir beton elde edebilmek için, beton hamuruna giren çimento, agrega, su ve gerekli görüldüğü durumda kullanılacak katkı malzemesi oranlarını iyi ayarlamak, homojen bir duruma gelinceye kadar karıştırmak ve standartlara uygun olarak kalıplara yerleştirmek gerekir.

Beton, insanlık tarihinin gelişiminde ve eski medeniyetlerin günümüze kadar gelebilen eserlerinde önemli bir yere sahiptir. M.Ö. 3000 yılından itibaren kalsiyum esaslı bağlayıcı maddeler, insanoğlu tarafından kullanılmaktadır. Piramitlerin yapımında kireç bazlı bağlayıcılar kullanılmış, Pantheon ve Colloseum gibi yapılar doğal hidrolik bağlayıcı özelliği olan puzolanlarla yapılmış ve Orta Asya ile Anadolu da Horasan Harcı adı verilen bir bağlayıcının kullanılmış olması beton olarak nitelendirilebilecek malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. Modern portland çimentosunun ilk kez 1824 yılında üretilmesine rağmen ilk betonarme yapı ancak 1857 yılında yapılmıştır (Demiryürek 2007).

Hazır beton üretimi ise dünyada ilk kez 20. Yüzyıl başında (1903) Almanya'da ortaya çıkmış, sonraki birkaç yıl içerisinde de ABD'de görülmeye başlanmıştır. 1914'de beton taşıma amaçlı ilk transmiksör Amerika'da geliştirilmiştir. Transmikserin hemen ardından Alman mühendisler betonun mikserden kullanım alanına pompalanması amacıyla 1927'de beton harç iletme pompası aracının patentini almışlardır. Özellikle savaş yıllarından sonra, bazıları bugünde faaliyette olan pek çok hazır beton firması kurulmuştur.

Sonraki yıllarda hazır betonun yapıların temel inşaat malzemesi olarak benimsenip yaygınlaşması uzun sürmemiş, kısa zamanda pek çok ülkede hazır beton üretilip kullanılmaya başlanmıştır.

Özellikle 20. Yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanan kentleşme ve alt yapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip kolayca yaygınlaşmasını sağlamıştır. Dolayısıyla bu alanda pek çok teknolojik gelişme kaydedilmiştir (Topçu 2006).

Bilimin her dalında olduğu gibi İnşaat Mühendisliği'nde de yeni teknolojik gelişmeler yaşanmakta ve uygulamadaki yerini almaktadır (Koluçolak 2012). Gelişen bu teknolojiyle birlikte iyi bir beton elde edebilmek kullanılan beton bileşenleri dışında çeşitli katkı malzemeleri kullanılmıştır. 1960'a dek betonda katkı maddelerinin kullanılması gereksiz görünmüş, sonrasında beton kimyasal katkı maddeleri betonun vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Beton konusunda ilerlemiş ülkelerde üretilen betonların yüzde 50sinde katkı maddesi kullandığı gözlemlenmektedir (Güner 1999). Çünkü bahsi geçen katkı maddelerinin beton üzerinde birçok olumlu etkileri vardır.

Örneğin taze betonun işlenebilirliğini, geçirimsizliğini, ekonomikliğini, dayanımını, dayanıklılığını vb. birçok özelliğine olumlu yönde etki etmektedir.

Bu çalışmada Adıyaman ilinde üretim tesislerinin fazlaca olduğu Mermer Üretim tesislerinden çıkan mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca katkı maddesi olarak betona Silis dumanı, Uçucu kül ve Yüksek fırın cürufu %10, %20 ve %30 oranlarında eklenerek 7, 28 ve 90 gün bekletilerek Şahit numunelerle dayanım yönünden karşılaştırılması yapılmıştır.

1.1. Beton

Beton, yapı malzemesi olarak kullanılmasının artması ile doğanın ve yaşamın bir parçası hâline gelmiştir. Bu sebeple beton üzerine yapılan çalışmalarda özenli, güvenilir ve kaliteli betonlar elde edilmelidir.

1.1.1. Betonun tanımı ve özellikleri

Beton agregası, çimento, su ve kimyasal beton katkıları maddelerinin belirli ölçülerde karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda, zaman içerisinde sertleşip dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (Erdoğan 2004).

Betonu oluşturan malzemeler hacimsel olarak yaklaşık % 70–85 oranında agregası (kum, çakıl), % 10–15 oranında çimento, % 5–10 oranında su, çimento ağırlığının % 5'inden fazla olmamak şartıyla beton kimyasal katkıları ve gerektiğinde çimentonun maksimum %30 oranında uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu kullanılmaktadır.

Beton dayanım yönünden taş ile oldukça benzerlik gösterir. Basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı düşük olan bir malzemedir. Beton, kolay taşınabilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmelidir ve bu işlemler sonrasında ayrışma olmamalıdır. Katılaşp sertleştikten sonra betonun dayanımı yüksek olmalıdır. Dış etkenlere karşı dayanıklılık ve ekonomiklik ön planda olmalıdır.

Beton günümüzün vazgeçilmez yapı malzemelerinden biri olmuştur. Dünyada yapı malzemesi olarak kullanılan malzemelerde ilk sırayı alarak, kişi başına yılda yaklaşık 0,5 m³, ülkemizde ise 1,2 m³ beton tüketimi gerçekleşmektedir.

Betonarmenin kabul görme nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek basınç dayanımına sahip oluşu,
- Şekil verilebilişi,
- Yapısını oluşturan çimento, agrega, demir ve suyun yerel temin edilebilirliği,
- Fazla eleman gereksiniminin olmayışı
- Üretim safhasında fazla enerji gereksinimine ihtiyaç duymaması,
- Ekonomik yönden avantajlı olması,
- Bakım gereksiniminin çok az olması
- Ömrünün uzun oluşu

1.1.1.1.Taze beton özellikleri

Betonu oluşturan malzemelerden olan agrega ve çimento su ile karıştırıldıktan sonraki ilk birkaç saatte beton, kolayca işlenebilir; beton malzemelerinin karılma işlemlerinin sonlandığı andan, betonun sertleştiği zamana kadarki betona istenen şeklin verilebildiği evredeki betona taze beton denilir. Taze betonun özellikleri şu şekilde sıralanabilir;

- **Kıvam ve işlenebilme:** Betonun oluşturan malzemeler kolaylıkla karıştırılabilir, beton dökülecek yere basitçe yerleşebilir ve betonun sıkıştırılabilir olması gereklidir.
- **Taze betonda sıcaklık:** Taze beton sıcaklığının + 33 °C'den fazla +5 °C' den az olmaması istenmektedir.
- **Ayrışma ve terleme:** Taze beton içerisindeki malzemelerin homojen olarak dağılmamasına ayrışma denilir. Betonun, sıkıştırılması ve yerleştirilmesi işlemlerinde beton içerisindeki agrega tanecikleri ve çimento harcı ayrı ayrı bölgelerde birleşmemelidir. Betonun yerleştirilmesi esnasında iri agrega taneleri aşağıya doğru çökme istemindedir. Kıvamı yüksek betonlarda da su beton içinde yükselerek yüzey çıkma isteğindedir.
- **Hava miktarı:** Beton içerisindeki hava ile dayanım, dayanıklılık, yoğunluk özellikleri arasında direkt bir bağlantı vardır. Taze betonun içerisinde, hacimsel olarak yüzde 0.5-8 hava bulunmaktadır. İstenildiğinde donma-çözülme direncini arttırmak için beton içerisine hava sürüklene bilinmektedir.

- **Birim ağırlık:** Birim ağırlık, taze betonun birim hacminin içerisinde yer alan t ağırlığına denir. Özgül ağırlığı yüksek olan agregaların meydana getirmiş olduğu betonun birim ağırlığı da yüksek sonuç vermektedir. Betonun birim ağırlığı çoğunlukla ton/m³ ya da kg/m³ olarak ifade edilmektedir. İçerisinde hava boşluk oranı çok olan betonun birim ağırlığı daha düşüktür (Gönen 2012).

1.1.1.2.Sertleşmiş betonun özellikleri

Sertleşmiş beton, taze betonun şekil verilebilme işleminin sonlandığı, katılaşmanın başladığı zaman dilimidir. Bu evrede, beton istenilen zaman içerisinde yeterli mukavemeti gösterebilmeli, yeterli mukavemete ve hacim sabitliğine sahip olmalıdır. Sertleşmiş betonun aşağıda maddeler halinde belirtilen temel özelliklere sahip olması beklenir:

- **Dayanım:** Beton dayanımı, üzerine gelen statik veya dinamik yüklerin sebep olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnç olarak tarif edilir. Malzeme kesitinde bir birim alanının taşıyabileceği en fazla yük, maksimum gerilme olarak isimlendirilmekte, birim olarak da kgf/cm² veya MPa olarak ifade edilir. Maksimum gerilme miktarı, bize betonun dayanım miktarını göstermektedir. Yapılan çalışmalar neticesinde, uygun sıcaklık ve nem ortamı dizayn edildiğinde betonun dayanımının yaşla beraber arttığı tespit edilmiş olup, hesaplamalarda genellikle betonun 28 günlük basınç dayanımını baz alınmaktadır. Bunun sebebi, betonun zaman içinde ulaşabileceği en yüksek dayanımının yaklaşık % 70'ini ilk 28 gün içinde kavuşmasıdır. Betonun 7, 28 veya daha sonraki günler için hedeflenen dayanımdan daha az bir dayanım göstermemesi hedeflenmelidir (Erdoğan 2004). Çizelge 1.1'de TS EN 206'ya ve TS 500/2000 göre çeşitli beton sınıflarına göre basınç dayanımları verilmiştir.

Çizelge 1.1 Türk standartlarındaki beton Sınıfları ve basınç dayanımları

TS 500	TS EN 206	Silindir Numune (15x30) cm		Küp Numune (15x15x15) cm	
		TS 500	TS EN 206	TS 500	TS EN 206
	C 8/10		8		10
	C 12/15		12		15
	-		-		-
C 16	C 16/20	16	16	20	20
C 18	-	18	-	22	-
C 20	C 20/25	20	20	25	25
C 25	C 25/30	25	25	30	30
C 30	C 30/37	30	30	37	37
C 35	C 35/45	35	35	45	45
C 40	C 40/50	40	40	50	50
C 45	C 45/55	45	45	55	55
C 50	C 50/60	50	50	60	60
	C 55/67		55		67
	C 60/75		60		75
	C 70/85		70		85
	C 80/95		80		95
	C 90/105		90		105
	C 100/115		100		115

TS EN 206-1/2010 beton yönetmeliğidir. Bu yönetmelikte tanımlanan betonlar herhangi bir amaç için kullanılabilen betonlardır, betonarme betonu değildirler.

Sadece TS 500/2000 de tanımlı betonlar betonarme betondur, herhangi bir özel izne gerek kalmaksızın betonarme yapılarda kullanılabilirler.

- **Dayanıklılık (Durabilite):** Dayanıklılık, "kalıcılık" ve ya "durabilite" olarak da isimlendirilir. Kullanılmakta olan beton yapılar, hizmet süresince, yıpranmaya yol açabilecek birçok etkenle karşılaşmaktadır. Hava koşullarından, kimyasal sulardan sulardan ve betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı fiziksel ve kimyasal olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyetine dayanıklılık denilmektedir. Sertleşmiş betonun içerisine sızan sularda bulunan sülfatlar veya asitler birtakım kimyasal olaylara neden olmakta ve betonun çatlayıp kırılmasına sebep olmaktadır. Suyu doygun durumdaki sertleşmiş betonun boşluklarındaki suyun soğuk havada buz haline dönüşerek genişmesi ve sonradan çözünmesi ile "donma çözülme"

olarak adlandırılan olayın çok sayıda yer alması sonucunda, beton çatlayıp kırılabilmektedir (Erdoğan 2004).

1.1.2. Betonda basınç dayanımının etkenleri

Üretilen betonun niteliğinin tüm dünya ülkelerinde olduğu gibi Türkiye’de özenle denetlenmesi gerekmektedir. Betonun projelerde öngörülen dayanıma sahip olması betonarme yapılarda aranan en önemli özelliktir. Bu hedefe ulaşmak için ilk başta beton bileşenlerinin doğru bir şekilde tespiti gerekmektedir. Betondaki basınç dayanımı, çok bileşenli etkenlerin altında ve oldukça geniş sayılabilecek parametrelere sahip bir dağılım göstererek meydana çıkmaktadır.

Betonlar basınç dayanım özelliklerine göre üç sınıfa ayrılırlar;

- Dayanımı düşük olan betonlar: Basınç dayanımları 20 N/mm^2 ’ den az olan betonlardır.
- Dayanımı normal olan betonlar: Basınç dayanımları $20\text{--}40 \text{ N/mm}^2$ arası olan betonlardır.
- Dayanımı yüksek olan betonlar: Basınç dayanımları 40 N/mm^2 ’ den fazla olan betonlardır.

Çimento ve agrega olarak aynı malzemeler kullanıldığında ve bileşimi ile üretim metotlarında bir oynama yapılmamasına rağmen betonların dayanımının birbirinden farklı olduğu gözlemlenebilmekte ve oldukça geniş bir yelpazede değişebilmektedir. Betondaki basınç dayanımı başta su/çimento oranı olmak üzere, agreganın cinsi ve oranları, beton döküm ve kür koşulları, çimentonun nevi ve oranı, deney uygulaması gibi etkenlerden etkilendiği görülmektedir.. Numune boyutu etkenin farklı numune boyutları üzerindeki etkisi tam olarak tespit edilmemesine rağmen bu konu üzerinde yapılan çalışmalarda farklı sonuçların söz konusu olduğu ortaya çıkarılmıştır (Türkel 2006).

1.1.2. Betonun oluşturan malzemeler

1.1.3.1. Çimento

Su ile karıştırıldığında imento hidrolik bağlayıcı özelliğine sahip, kil ve kalkerin belirli oranlarda karıştırılması, pişirilmesi ve ğütölmesi sonucunda meydana gelen bir malzemedir. Çimento su ile karıştırıldığında hidrasyona uğrar. Kullanıldığı yer, mevsim ve karşılaştığı kimyasal ortamın durumuna göre imento tipleri farklılık gösterir (Yardımcı 2005). Çimentoların standart dayanımı, TS EN197-1/2012'e göre 28 günlük basınç dayanımı olarak gösterilir ve N/mm² veya MPa olarak gösterilir. Sınıflarına göre imento dayanımları farklı özellikler gösterirler (Özkul vd. 1999).

28 günlük basınç dayanımlarına göre üç farklı sınıfta üretilen çimentoların en az 32,5 N/mm², 42,5 N/mm² ve 52,5 N/mm² olması beklenmelidir. Aynı dayanıma sahip çimentoların 2. gün sonunda dayanımları farklı sonuçlar verebilir. Dayanımı normal olan imentolar N harfi ile Dayanımı yüksek çimentolar ise dayanım kazanımı R harfi ile ifade edilen imentolardır.

Çizelge 1.2 Dayanım sınıfı ve priz süreleri (Topçu 2014)

Dayanım sınıfı	Dayanım (N/mm ²)			Priz başlama süresi (dakika)	Yaklaşık Priz sonu(saatt)
	2 günlük	7 günlük	28 günlük		
32,5N	-	> 16,0	> 32,5	> 75	10
32,5 R	> 10,0	-			
42,5N	> 10,0	-	> 42,5	> 60	10
42,5 R	> 20,0	-			
52,5N	> 20,0	-	> 52,5	> 45	6
52,5 R	> 30,0	-			

Çizelge 1.2'ye göre priz (katılaşma) başlamadan önce (45-75 dakika içinde) beton yerine konup sıkıştırılmalıdır.

6-10 saat sonra betondaki priz süresinin sona ermesi betonun katılaştığı anlamındadır. Ama henüz tam olarak sertleşmemiştir. Hava sıcak ise bir an önce kür

uygulaması yapılmalıdır.

52.5 R çimentosunun 2 günde ulaştığı dayanıma 32.5 N çimento 28 gün sonra ulaşabilmektedir. Kalıp hızlıca alınmak isteniyorsa 52.5 R tipi çimento kullanımı uygun hale gelecektir..

Priz süresini kısa tutulduğu zaman açığa çıkan ısı da kısa sürede olacaktır anlamı taşımaktadır. Betonun kalıp içerisindeyken bile çatlama riski vardır.

Buna göre örnek bir çimento tipi aşağıdaki gibi işaretlenebilmektedir:

Beton içerisindeki çimento miktarı belirli ölçüler içerisinde arttıkça beton basınç dayanımı da artmaktadır. Fakat bu artış belirli bir noktaya kadar olacaktır. Bu noktadan sonra beton içerisindeki çimento dozajı arttırıldığında, dayanımdaki artmada yavaşlamaktadır.

Çimento dozajı çok az olduğu takdirde, betonun karılabilmesi, ayrışma yapmadan yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi zor bir hale gelecektir. Diğer yandan, beton üretiminde çimento fazla kullanıldığı zaman, betonda karılabilme, yerleştirilme ve sıkıştırabilme işlemleri kolay yapılabilmesiyle beraber, bu tarz betonlar çok yapışkan olmakta, betonun yüzeyinin mala ile masterlanması daha zor olmakta ve beton yüzeyinde zaman içerisinde rötne başlangıcına sebep olmaktadır (Gök 2010).

Beton içerisindeki çimento miktarı belirli ölçüler içerisinde arttıkça beton basınç dayanımında artmalar görülmektedir. Çimento miktarının granülometrisi ile de bağlantısı vardır. Agreganın en büyük boyutu çoğaldıkça çimento dozajında azalma görülür. Dayanımı yüksek olan çimentolarla üretilen betonların mukavemetinin de yüksek olduğu görülmüştür (Postacıoğlu 1986).

Çimento hamuru bağlayıcı özelliğe sahiptir; agregaların tüm alanını sarmakta, agreganın taneleri arasındaki boşlukları doldurmakta, agreganın taneleri ile aderans ilişkisi kurarak betonun tek bir malzeme haline dönüştürmektedir. Sertleşmiş çimento hamurunun mukavemeti yüksek olmadığı zaman, betona uygulanan yükler karşısında, çatlama ve kırılmalar meydana gelecektir.

Çimento hamurunun mukavemetini etkileyen sebepler, çimento hamuru ile agreganın daneleri arasındaki bağı da etkilediği görülmektedir. Örnek olarak; su/çimento miktarı fazla olan betonlarda elde edilen dayanım ve aderansın da daha az olduğu

görülmektedir. İri agrega daneleri ile çimento hamuru arasında aderansı etkileyen bir diğer sebep te, agrega danelerinin su emme kapasitelerinden kaynaklanmaktadır. Gözenekli agregalar kurutulduğunda, agrega daneleri ile çimento hamuru daha iyi temas sağlayarak oldukça iyi aderansa yol açtığı görülmektedir (Erdoğan 2003).

1 m³ betonda kullanılan çimento miktarı yani çimentonun dozajı başta dayanım olmak üzere beton özelliklerine tesir eden en önemli sebeptir. Çimento dozajının hem mukavemet artırıcı, hem de boşluk yüzdesini azaltan bir faktörü mevcuttur. Fakat yaklaşık 400 kg/m³'den sonra beton dozajının artırılması durumunda rötre sebebiyle çeşitli problemlerin ortaya çıktığı görülmüştür. Öbür yandan ekonomik sebeplerle çimentonun dozajı çok fazla artırılması istenilmez (Yalçın ve Gürü 2006).

1.1.3.2. Agrega

Beton üretiminde kullanılan doğal kum çakıl ve kırma taş gibi malzemeler agrega olarak isimlendirilip, beton içerisinde hacimsel olarak % 70-75 civarında yer tutmaktadır.

Beton üretilirken agrega kullanımının tek sebebi daha ekonomik beton üretmek değildir. Agrega, betonun teknik verilerine de önemli katkılar sunmaktadır.

Hamur kıvamında olan çimento, zaman içerisinde kuruyarak büzölmeye başlar. Çimento hamurunun gösterdiği hacimsel değışikliği, beton içerisindeki agrega taneleri belirli ölçülerde engellediği görölmektedir.

Beton üretiminde, sert ve mukavemeti yüksek olan agrega taneleri kullanmak gerekir.

Çimento hamuru ile agrega arasındaki bağlantı fiziksel ve mekanik özellik aderans olarak isimlendirilir.

- Kum + çakıl > Agrega
- Kum + kırmataş > Agrega
- Kum + çakıl+kırmataş >Agrega
- Kırmataş > Agrega (hazır betonda tercih edilen)
- Çakıl: 8-70 mm, Kalın kum: 4-8 mm, İnce kum: 0-4 mm

1.1.3.2.1 Agregaların sınıflandırılması

Agregalar genelde kaynaklarına, yüzey dokularına, birim ağırlıklarına, elde edilmiş şekillerine, tane şekillerine, boyutlarına, jeolojik ve mineralojik yapılarına göre sınıflandırılabilir.

Birim Ağırlıklarına Göre Agregalar

- Hafif Agregalar (Birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den küçük ponza, bims volkan tüfleri, diyatomit, yüksek fırın curufu, hızar talaşı, rende talaşı ve genişletilmiş kil, perlit, şist vb)
- Ağır Agregalar: (Birim ağırlıkları 3200 kg/m^3 ' den büyük barit, manyetit, hematit, limonit, çelik ve demir hurdası vb).

Elde Ediliş Şekillerine Göre Agregalar:

- Doğal Agregalar (Akarsu yatağı, deniz, buzul ve teras agregaları)
- Yapay Agregalar (Yüksek fırın curufu, uçucu kül veya yüksek fırın curuf kumu sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalar)
- Tane Boyutlarına Göre Agregalar [ince agrega (kum), iri agrega (çakıl) ve Tüvenan (karışık)]
- Tane Şekline Göre Agregalar (yuvarlak, yassı, uzun ve keskin köşeli)
- Yüzey Dokusuna Göre Agregalar (düzgün, granüler, prüzlü, kristalli ve petekli)
- Jeolojik Orijinlerine Göre Agregalar (volkanik, tortul ve metamorfik)
- Mineralojik Yapısına Göre Agregalar (silis mineralli, karbonat mineralli ve mika mineralli)

1.2. Mermer

Mermer kullanımı antik çağlara dayanan çok eski bir yapı ve sanat malzemesidir. Anadolu'daki zengin mermer yatakları bu bölgeyi yerleşim edinen tüm medeniyetler tarafından kullanılmıştır. Anadolu'da, Hititler dönemine ait kabartma ve heykeller, Eski Yunan ve Roma devrine ait amfiler ve diğer Milattan önceki devirlerde inşa edilmiş birçok eserde mermer kullanımına sıklıkla rastlanmaktadır. Özellikle M.Ö. 6 ve M.S. 7. yüzyıllar arasındaki dönem Anadolu'da mermerin altın çağını yaşamıştır.

Bunlardan Adıyaman ili sınırları içerisinde bulunan Nemrut Dağı'ndaki Kommagene Krallığı dönemine ait heykeller taş işlemeciliğinin en güzel örneğidir.

Selçuklu ve Osmanlı dönemlerinde de mermer oldukça yaygın kullanılan bir malzemedir. Selçuklular devrine ait saray, hamam, kervansaray, cami ve medreseler, Osmanlı devrine ait cami, minare, hamam ve çeşmeler bu dönem mermerciliğinden numuneler barındırmaktadır. Osmanlı döneminde Marmara Adası, Afyon-İscehisar ve Ege adalarındaki ocaklar başta olmak üzere çıkarılan mermerler Mimar Sinan'ın eserleri ve diğer dönem eserlerinde birçok başyapıtın yapımında kullanılmıştır. Bunlardan özellikle Süleymaniye Camii ve Edirne'deki Selimiye Camii ve Külliyesi Osmanlı'daki mermer-taş işleme sanatının en güzel numunelerini teşkil etmektedir.

Mermer tarihin eski zamanlarından bu yana Anadolu'da çıkartılan ve oldukça fazla kullanılan bir üründür. Anadolu topraklarında yaşamış birçok eski medeniyet mermerden faydalanarak çok önemli eserlere hayat vermişlerdir.

Mermerin jeolojik tanımına göre, başkalaşım süreci geçiren ve yüksek sıcaklık ve basınç altında ortaya çıkan başkalaşımın izlerini taşıyan kalker dolomit gibi karbonat bileşimli kayalara mermer adı verilmektedir. Bu haliyle mermer, yüksek oranda kalsiyum içerirken, daha az oranda da karbonat ve farklı metal oksitler içerisinde barındırmakta saf olduğunda, yarı saydam ve beyaz renkli olan mermerler bir takım fiziksel ve kimyasal çözülme süreçleri sonucunda ilginç renkler kazanmaktadır. Ayrıca yer hareketleri ile mermer bloğunun kırılması ve bu kırıkların kalsitle dolması sonucunda damarlar ortaya çıkabilir ve bunlar oldukça hoş görünümler ortaya çıkartabilirler. Mermer sertlik derecesi orta olan bir taş türüdür.

Mermerin endüstriyel tanımı ise, ticari standartlara uygun boyutlarda blok verebilen, kesilip parlatılan ve taş özellikleri kaplama taşları normlarına uygun olan her türlü taştır. Bu nedenle kolaylıkla cilalanabilen parlatılabilen, ticari bir değeri olan taşlara mermer denilmektedir.

Mermerin başlıca tüketim alanları; inşaat sektörü, güzel sanatlar alanı ve dekorasyondur. Bunlardan en geniş kullanım alanı ise inşaat sektörüdür. Binaların iç ve

dış kaplamaları, merdiven basamakları, sütunlar, şömine, mutfak tezgahları ve banyolar inşaat sektörünün başlıca kullanım alanlarını oluşturmaktadır. İç dekorasyon malzemesi olarak da; vazo, masa sehpa olarak hediyelik eşya ve el sanatları dalında satranç taşları, şekerlik, kalemlik, kulluk, abajur, isimlik, çakmak heykel vb. yapımında mermer kullanılmaktadır. İç kaplamada kullanılacak mermerlerdeki en önemli özellik dekoratif görünüş sağlamakta ve bu amaçla beyaz ve güzel renkli olan her çeşit mermer kaplama olarak kullanılmaktadır. Mezar taşları da mermerin bir diğer kullanım alanıdır.

Reşik mermerler, serpantinler ve travertenler duvar kolon ve giriş kaplamaları için uygun iken merdivenlerde, basamaklarda ve döşemelerde aşınmaya karşı dayanıklı ve kristalleşme derecesi yüksek olan diyabaz ve sağlam kalkerler kullanılır. Mermerin kullanımında belirleyici olan özellikler sertlik, su emme, birim hacim ağırlığı, porozite, aşınma kaybı, basınç dayanımı, renk, saydamlık ve cila tutma gibi özelliklerdir. Öte yandan, aşınmaya daha az dirençli olması ve yumuşak olması dolayısıyla cilasını uzun süre koruyamaması nedeniyle dış kaplamada traverten ve granit mermere kıyasla daha yaygındır. Bu özelliklerinden dolayı mermer hızlı yıpranacağı dış mekanlarda daha az tercih edilmektedir.

Adıyaman 1.001.300 ton tahmini rezerviyle Türkiye'deki en önemli doğaltaş potansiyeline sahip illerden biridir. Adıyaman'ın bir diğer özelliği ise bu rezervlerin çoğunun modası geçmeyen her türlü ekonomik konjoktürde ve tasarım trendlerine göre talebi değişmeyen koyu ve açık emprador cinsinde olmasıdır. Bu büyük potansiyeline karşın Adıyaman da mermer işleme endüstrisinin yetersiz olması nedeniyle ilin sektörden elde edilebileceği gelir ve istihdam artışı kısıtlı bir düzeyde gerçekleşmektedir (Sevsay 2013).

1.2.1. Mermer atığı

Endüstriyel ürünlere olan talep artışı, doğal kaynak olan hammadde tüketimini hızlı bir şekilde arttırmaktadır. Bu durum, doğal kaynakların sürdürülebilirliğini de tehlikeye düşürmektedir. Bu nedenle atıl durumda kalan atık malzemelerin kullanılması ve ekonomiye kazandırılması çalışmaları hız kazanmıştır. Bu bağlamda, inşaat

sektöründe önemli oranda talep gören mermerin işlenmesine bağlı oluşan atıkların değerlendirilmesi, akademik alanda çalışmaların başlamasına yol açmıştır.

Adıyaman yöresinde ilk mermer ocağı Tercih Mermer ismiyle yılda ortalama 4000 ton ihracat yaparak 2005 yılında üretime başladı. 2007 yılında ikinci mermer ocağı Dimer Mermer Ocağı kurularak faaliyete geçmiş oldu. 2009 yılına kadar yörede sadece 2 firmaya ait ocak bulunmaktaydı. Bu yıla kadar üretim miktarı da stabil bir şekilde devam etmiştir. Emrador'a Çin'den talep çoğaldıkça 2010 yılında emprador mermer ocağı sayısı 16'yı bulmuştur.

1.2.1.1. Adıyaman emprador mermer üretim ihracat ve atık miktarları:

Çizelge 1.3, 1.4 ve 1.5'te Adıyaman Mermer üreticileri ile yüz yüze yapılan görüşmelerde Adıyaman ili sınırları içerisindeki yıllık üretim miktarlarını, ihracat miktarlarını ve buna bağlı olarak atık miktarlarını vermektedir. Toplam üretimin %15 i ihracat miktarlarını %5'i ise iç piyasa miktarlarını vermektedir. Toplam üretimin %80 i ise atık miktarlarını vermektedir.

Çizelge 1.3 Adıyaman ili yıllık mermer üretim miktarları

<u>Üretim Yılı</u>	<u>Üretim Miktarları (Ort Ton/Yıl)</u>
2010	833.000 ton
2011	2.000.000 ton
2012	1.333.000 ton
2013	2.333.000 ton
2014	3.000.000 ton
2015	3.666.000 ton
2016	2.166.000 ton

Çizelge 1.4 Adıyaman ili yıllık mermer ihracat miktarları

<u>Üretim Yılı</u>	<u>İhracat Miktarları (Ort Ton/Yıl)</u>
2010	125.000 ton
2011	300.000 ton
2012	200.000 ton
2013	350.000 ton
2014	450.000 ton
2015	550.000 ton
2016	325.000 ton

Çizelge 1.5 Adıyaman ili yıllık mermer atık miktarları

<u>Üretim Yılı</u>	<u>Atık Miktarları (Ort Ton/Yıl)</u>
2010	666.250 ton
2011	1.599.000 ton
2012	1.066.000 ton
2013	1.865.500 ton
2014	2.398.500 ton
2015	2.931.500 ton
2016	1.732.250 ton

1.3. Silis Dumanı (SD)

Silis dumanı, silisyum ve ferrosilisyum üretiminde elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilmiş çok ince taneli tozdur.

SiO gazı fırınların düşük sıcaklıktaki üst kısımlarında hava ile temas ederek hızla okside olur ve SiO₂ olarak yoğunlaşarak silis dumanı birleşiminin tümünü meydana getirir.

Karbon içeriğinden dolayı olarak açık gri veya gri renk taşımaktadır.

Silis dumanlarının kimyasal birleşim, fırında üretilen alaşım veya metalin tipine göre değişkenlik göstermekte, hammaddenin saf olması halinde ise sabit bir değer taşıyabildiği görülmektedir (Yeğinoğlu 2002).

Çizelge 1.6 Silisyum ve Ferrosilisyum silis dumanındaki etkisi (Yeğınobalı 2002).

Alaşım türü	Silis dumanındaki SiO ₂ (%)
%50 Ferrosilisyum	61-84
%75 Ferrosilisyum	84-91
Metal silisyum	87-98

1.3.1. Türkiye’de silis dumanı üretimi

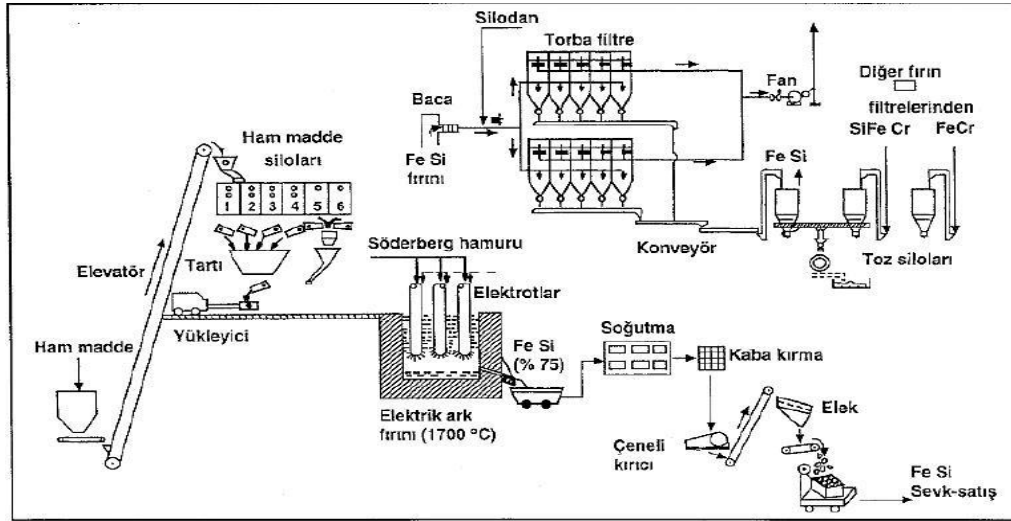
Ülkemizde silis dumanı Antalya’daki Etibank Elektrometalurji işletmesinden elde edilmektedir. Silis dumanı fabrikanın ferrosilisyum (FeSi) ve silikoferrokrom (SiFeCr) fırınlarında özel filtreli toz tutucularla elde edilmektedir.

Antalya’da elde edilen silis dumanları doğal puzolan veya uçucu kül ile karşılaştırıldığında, yüksek SiO₂ içeriği, sabite yakın kimyasal bileşimi, çok düşük safsızlık içeriği, camsı faz ve oldukça yüksek inceliği nedeniyle beton üretimine uygun bir katkı maddesi olduğu ortaya çıkar.

Ferrosilisyum tesisi ve üretim yöntemi; Ferrosilisyum tesisinin kuruluş tarihi 1978-1981 yılları arasında olup, kuruluş kapasitesi 5000 ton/yıl’dır.

İşletme tesislerinde %78 Si ihtiva eden ferrosilisyum üretimi 6000 kWA gücündeki ark-direnç fırınına kuvarsit (%95 SiO₂), demir-çelik hurdası veya demir cevheri ile metalürjik kok belirli oranlarda tartılarak karıştırıldıktan sonra fırına beslenir.

Şekil 1.1.’deki üretim aşamasının üst kısmında görüldüğu gibi, fırın bacasından çıkan ve torba filtrelerde toplanan dumanlar, silolarda birikir. Ferrosilisyum, demir-çelik endüstrisinde oksit giderici, korozyon direnci ve dayanım sağlayan alaşım elemanı olarak, silisyum saç ile yay çeliklerinin üretiminde kullanılır.



Şekil 1.1 Ferrosilisyum üretim şeması ve baca tozlarının toplanması (Yeğınobalı ve Kıyıcı 2000)

Silikoferrokrom tesisi ve üretim yöntemi

Silikoferrokrom tesisinin kuruluş tarihi 1960~1963 yılları arasında olup, kuruluş kapasitesi 6.400 ton/yıl'dır.

7500 kVA'lık bir ark-direnç fırınına, % 46,5 Cr_2O_3 ihtiva eden krom cevheri (roş kromit), kuvarsit, metalurjik kok hammadde silolarından tartılarak alınır ve bir karışım halinde boksit gibi katkı maddelerinin ilavesi de gerekebilir. Bu fırın içerisinde demir oksitler, Cr_2O_3 ve SiO_2 indirgenerek oluşan SiFeCr alaşımı fırın tabanında birikir. İndirgenemeyen oksitler ile bir kısım SiO_2 metal yüzeyinde sıvı bir cüruf tabakası oluşturur. Metal ve cüruf uygun aralıklarla mal alma oluklarından alınarak birbirinden ayrılırlar. Cüruf kalıplara dökülerek soğutulur ve atılır. Metal ise SiC parçacıklarının yüzeye çıkabilmesi için bir süre bekletilir veya dekarbürizasyon işlemine tabi tutulduktan sonra zengin cüruf ile potalara aktarılarak siliko-termik reaksiyon sonucu elde edilecek ferrokrom için hazır hale getirilir.

1.3.2 Kimyasal bileşim

Silisyum metali ile %75 ferrosilisyum alaşımları veya bunların karışımlarından elde edilen silis dumanlarının bileşimlerinde SiO_2 miktarı %85'i geçmekte, genellikle %90 civarında olmaktadır. Bazı tipik ortalama değerler Çizelge 1.7.'de verilmiştir.

Çizelge 1.7 Silis dumanlarının kimyasal bileşimi (%) (Uysal ve Hagan 1993)

	Alaşım Türü			
	Si	Fe-Si(%75)	Fe-Si(%75)	SiFeCr
SiO ₂	93,65	93,22	94,50	70-85
AIA	0,28	0,31	0,88	2-5
FeO ₃	0,58	1,12	0,70	1-2,5
CaO	0,27	0,44	0,80	1-2
MgO	0,25	1,08	1,25	4-8
Na ₂ O	0,02	0,10	-	-
K ₂ O	0,49	1,37	-	-
Cr ₂ O ₃	-	-	-	1-4
S	0,20	0,22	0,23	0,5-1,3
C	3,62	1,92	0,90	1-1,5
Kızdırma Kaybı	4,36	3,10	0,75	1-3,5
45 fım elekte kalan (%)	5,40	1,80	-	-
Özgül Yüzey	20.0	17.20	-	-
BET (mVkg)				
Puzolanik Aktivite				
-Çimento ile (%)	102	96,50	-	-
-Kireç ile (MPa)	8,90	-	-	-
Su Gereksinimi (%)	138,8	139,2	-	-
Gevşek Hacim	-	-	330	150-
Ağırlığı (kg/m ³)				250

1.3.3. Renk

Silis dumanı grinin değişik tonlarındadır. SiO₂ renksiz olduğuna göre renginin koyuluğunu karbon miktarından alır. Kahverengi renge doğru dönerse bu rengi demir oksit fazlalığından alır.

1.3.4 Özgül ağırlık

Silis dumanının özgül ağırlığı 2,0~2,5 gr/cm³ aralığında değişmektedir. Bu değer kaynağa ve alaşım türüne göre farklılık göstermektedir (Yeğınobalı 2002).

Çizelge 1.8 Alaşım türü (ACI 2000)

Si Alaşım türü	Özgül Ağırlık
Si	2,23
Si+FeSi (%75)	2,26-2,27
FeSi (%50)	2,30
FeSi (%75)	2,21-2,23

1.3.5 Birim ağırlığı

Silis dumanının gevşek birim ağırlığı 130~430 kg/m³ aralığında değişmektedir. %50 silis dumanı içeren sulandırılmış numunelerde bu değer genellikle 1300~1400 kg/m³ aralığında değişmektedir.

1.3.6 Tane özellikleri

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden meydana gelir. Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgül yüzey bazında inceliği Blaine metodu ile tayin edilememektedir (%50 boşluk oranı ile cihaza sıkıştırılmadığı için). Çok ince taneli cisimlerde özgül yüzey Azot Adsorpsiyon (BET) metodu ile tayin edilebilmektedir. Burada özgül yüzey, tanelerin dış yüzeyleri ile içlerindeki açık boşlukların iç yüzeylerinden oluşan alanı 1 molekül kalınlığında bir tabaka ile kaplayacak azot gazı miktarından hesaplanmaktadır. Bu yöntem, taneler arasından hava geçiş hızını esas alan Blaine metodundan farklı olduğundan iki metodla elde edilen sayısal sonuçların doğrudan karşılaştırılması mümkün değildir. Ancak, aşağıdaki değerler gene de silis dumanının inceliği konusunda bir fikir vermektedir (Çizelge 1.9). (ACI Committee 2000).

Çizelge 1.9 Özgül yüzey tablosu (ACI Committee 234, 2000)

	Metod	Özgül Yüzey (m ² /kg)
Portland Çimentosu	Blaine	300-400
Uçucu Kül	Blaine	400-700
Granüle Y.F. Cürufu	Blaine	350-600
Silis Dumanı	Azot (BET)	13000-20000

Silis dumanı içerisindeki karbon miktarı büyük yüzey alanından dolayı sonucu değiştirmektedir. Bundan dolayı sonuçlar verilirken kızdırma kaybının veya karışım miktarında özgül yüzey değerleri ile verilmesi önerilir (Yeğinobalı 2002).

Silis dumanının tane boyutlarının neredeyse tamamı 1µm 'den küçük olup ortalama tane boyutu 0,1µm civarındadır. Çimento tanesinin ortalama çapının 10µm olduğunu kabul edersek silis dumanının çimentodan yaklaşık 100 kat daha ince olduğu sonucuna varılabilir (Yeğinobalı 2002).

Silis dumanının tane boyu dağılımı silis dumanının kaynağına ve türüne bağlı olarak değişmektedir.

1.4. Yüksek Fırın Cürufu (YFC)

YFC demir üretimi esnasında meydana gelmektedir. Demir cevherleri, kalker taşı ile birlikte kok kömürü kullanılarak yüksek fırınlarda 1400-1600 °C'ye kadar ısıtılarak demir, oksijen ve diğer yabancı maddelerden arındırılmaktadır. Demirin yoğunluğu yüksek olduğundan dolayı diğer maddeler eriyik halindeki demirin üzerinde yüzmektedir. Demir eriği ve üzerindeki maddeler ayrı çıkıştan ayrılır. Yabancı maddelerin ismi YFC diye ayrılır. Sıcaklığı oldukça yüksek olan YFC su içerisine dökülerek veya basınçlı su püskürtülme gibi çeşitli metodlarla çok hızlı soğutulursa amorf yapıda granüle halde ince bir malzeme haline dönüşecektir. Bu hali ile betonda ince malzeme olarak kullanılabilmesi gibi öğütülmesi durumunda da çimento üretiminde ve beton katkı maddesi olarak faydalanılabilecektir (Tokyay ve Erdoğan 2011).

Öğütülmüş haldeki granüle YFC'nin hidratasyon hızını ve terlemeyi azalttığı, taze betondaki islenebilmeyi arttırdığı, sertleşmiş betonda ise su geçirimsizliğini azaltıp, sülfat dayanıklılığını attırdığı, sertleşen betonda ise priz süresini uzattığı bilinmektedir.

Yüksek Fırın Cürufu, öğütülmesi diğer mineral katkılara göre daha zordur. Daha fazla enerji ve süre kullanımı gerektirir. Öğütme süresi arttıkça özgül yüzey artar ve hidratasyon reaksiyonları daha hızlı ortaya çıkar (Tokyay ve Erdoğan 2011).

Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun terlemeyi ve hidratasyon hızını azalttığı, taze betonda işlenebilmeyi arttırdığı, sertleşen betonda priz süresini uzattığı, sertleşmiş betonda ise su geçirimsizliğini azaltıp, sülfat dayanıklılığını attırdığı bilinmektedir.

YFC yavaş soğutulduğu takdirde kristalimsi bir yapıya dönüşür. Bu haliyle bazalta benzer mekanik özelliklere sahip hale gelerek beton agregası olarak kullanılabilir duruma gelir. Diğer taraftan, hızlı soğutma uygulanması sonucunda ise camsı yapıda cüruf meydana gelir.

Yapısında CaO, SiO₂ ve Al₂O₃ oranları oldukça fazladır. Çimento inceliğinde öğütüldüğü zaman bağlayıcı özellik kimliği kazanır. Çimentonun su ile reaksiyona

girdiğinde kalsiyum silika hidrat jelleri (C-S-H) ile kalsiyum hidroksit (CH) oluşmaktadır. C-S-H oldukça kuvvetli bağlayıcılık özelliği gösterirken CH zayıf yapıda ve suda çözünebilir hale gelecektir. YFC, çimento içindeki alkalilerin oluşturduğu alkali hidroksitlerle, CH ile ve yapısındaki CaO ile reaksiyona girerek sağlam yapıları meydana getirmektedir. YFC'nin inceliği, kimyasal yapısı, amorf olan miktarı, ortamdaki alkali oranı bağlayıcılığını etkileyen en mühim sebeplerdir. YFC ne kadar ince öğütülürse o kadar fazla yüzey alanına sahip olacağı için daha kolay tepkimeye girerek bağlayıcılık özelliğini arttırmaktadır. YFC üretilirken hızlı bir şekilde soğutulması gerekmektedir. Yavaş soğutulduğu durumda kristal yapı oluşmakta ve bağlayıcılık özeliğini yitirmektedir. YFC'nin % 90-95'i SiO₂, CaO, Al₂O₃ ve Fe₂O₃ bileşiklerinden oluşmaktadır. YFC, yüksek CaO içeriği sebebiyle kendi başına da bir miktar bağlayıcılık özeliğine sahip hale gelmektedir. Öğütülmüş YFC'nin terlemeyi ve hidrasyon hızını azaltarak taze betonda işlenebilmeyi arttırdığı, sertleşen betonda priz süresini arttırdığını, sertleşmiş betonda ise su geçirimsizliğini azaltıp, sülfat dayanıklılığını arttırdığı bilinmektedir.

1.5. Uçucu Kül (UK)

Elektrik enerjisinin üretildiği termik santrallerde üretim atığı olarak meydana gelen uçucu küller, silisli ve alüminli amorf yapıya sahip olduklarından ve çok ince taneli olarak üretildikleri için, aynen ince taneli doğal puzolanlarda olduğu gibi, puzolanik özelliğe sahiptirler. Kalsiyum hidroksitle beraber sulu ortamda birleştiklerinde, hidrolik bağlayıcılık özelliği göstermektedirler. Bundan dolayı, hem portland-puzolan tipi çimento üretiminde, hem de beton katkı maddesi olarak direkt kullanılabilirler. Genelde, beton katkı maddesi olarak çok büyük miktarlarda kullanılabilirler. Beton karışımının içerisinde yer alan uçucu kül miktarı, çimento ağırlığının yaklaşık %15 - %50'si civarında değişkenlik gösterebilmektedir (Özcan 1997).

Uçucu küllerin fiziksel özellikleri tane şekli, tane dağılımı, incelik ve yoğunluktur. Bu özellikler taze ya da katılaşmış betonun özelliklerine tesir eder. Taze betonun performansı üzerinde Uçucu külün fiziksel özellikleri kimyasal özelliklerine göre daha fazla etkili olduğu görülür. Çimentoya nazaran Uçucu kül daha koyu

renklidir, yumuşak bir biçimde boşluklu veya boşluksuz çeşitli ebatlarda genelde küresel yapıda taneciklerden meydana gelir. Uçucu külün rengi ve kullanılacağı miktar elde edilecek betonun rengine tesir edebilir. Uçucu küllerin tane boyutları 1 ile 150 μ arasında değişkenlik gösterir. Uçucu küllerin %75'ten büyük kısmı 45 μ elekten geçer. Uçucu küller tane büyüklüklerine göre, iri, orta ve ince olarak üç sınıfa ayrılır. Elektrostatik yöntemlerle tutulan uçucu küllerin inceliği 4000-7000 cm^2/g arasında değiştiği görülür. Çimento üretiminde kullanılmaya daha uygundur. Genelde bir termik santralin uçucu kül tane dağılımı, kömür kaynağı, kömür öğütme yöntemi ve termik santralin çalışma prensipleri değişmediği zaman aynı kabul edilir. Uçucu küllerin incelikleri Blaine ve Wager yüzey deney metodu ile yapılabildiği gibi 45 μm eleğin üstünde kalan miktarın tespiti ile de belirlenir. Uçucu küller yoğunlukları mineralojik yapılarına ve inceliklerine bağlıdır. Genelde uçucu küllerin yoğunlukları 1.9-2.4 gr/cm^3 arasında değişkenlik gösterir. Yoğunluğun yüksekliği incelik hakkında bilgi verir. İnce küllerin kaba küllere nazaran daha fazla oranda yoğunluk verdiği sonucuna varılır (EIE 1982).

Uçucu küllerin kimyasal bileşimleri, kullanılan kömürlerin yapıları, kömürlerin hazırlanması, yanması ve toz toplanması gibi nedenlerle doğrudan bir bağ içerisinde. Uçucu küllerin kimyasal yapılarında ana elementler olarak Al, Si, Ca, S ve Fe yer alır. Bu elementler yanma şekillerine bağlı olarak oluşan önemli bileşenler, SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO ve SO_3 olup, öbür elementler ise, Na_2O , MgO, K_2O , TiO_2 vb. oksitler yer alabilir. Uçucu küllerin barındırdığı karbon oranı termik santrallerin verimine bağlı olup yaklaşık %3 civarındadır. Diğer oksitlerden en fazla %5 oranında MgO, alkali oksitler ise ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) %5 seviyesinin altında bulunmaktadır. SO_3 genellikle %0.2-%2.5 arasında değişkenlik göstermekle beraber %10'a kadar yükseldiği görülmektedir. TS EN 450 (1998) SO_3 değerini maksimum %3 sınırında tutmaktadır. 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 bünyesine almaktadır. Kızdırma kaybının %1-%10 arasında olduğu görülür. Çizelge 4.1'de C ve F sınıfı uçucu küllerin kimyasal bileşimlerinin hangi sınırlar içerisinde olabileceği gösterilmiştir. Uçucu küllerin çimento ve beton endüstrisinde kullanılma sebeplerinden en mühim olanlardan birisi puzolanik özellikleri kimyasal kompozisyonlarından ziyade mineralojik yapılarına bağlı olduğu görülür. Kireç oranı

düşük olan uçucu küllerin içerisindeki aktif bileşen alümina ve silikadan oluşan amorf veya camsı fazdır. Bu tür uçucu küller rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliklere sahip bileşenler oluşturdukları görülür. Yani, düşük kireçli uçucu küller puzolanik özelliğe sahiptir de denilebilir. Kireç oranı yüksek olan uçucu küller ise diğer taraftan puzolanik özellik gösterirken, içermiş oldukları serbest kireç, anhidrit, trikalsiyum aluminat, amorf silika ve amorf alumina vb nedeniyle de kendi başlarına bir miktar bağlayıcı niteliğe sahip oldukları görülebilir. Kireç oranı düşük olan uçucu küllerin camsı faz miktarı kireç oranı yüksek olanlara oranla daha yüksektir (Bayazıt 1980).

Çizelge 1.10 Uçucu küllerin tipik kimyasal bileşimleri (EİE 1979).

Oksit F sınıfı C sınıfı	Oksit F sınıfı C sınıfı	Oksit F sınıfı C sınıfı
SiO ₂	43.6 - 64.4	23.1 - 50.5
Al ₂ O ₃	19.6 - 30.1	13.3 - 21.8
Fe ₂ O ₃	3.8 - 23.9	3.7 - 22.5
CaO	0.7 - 6.7	11.5 - 29.0
MgO	0.9 - 1.7	1.5 - 7.5
Na ₂ O	0.0 - 2.8	0.4 - 1.9
KK	0.4 - 7.2	0.3 - 1.9

Kalsiyum oranı düşük olan uçucu küllerde görülen mineral fazlar camsı faz, mullit (A₁₆Si₂O₁₃), hematit (Fe₂O₃), manyetit (Fe₃O₄), kuvarz (SiO₂) vb iken kalsiyumu yüksek olan uçucu küllerde bunlara ilave olarak, zaman zaman daha fazla oranlarda, anhidrit (CaSO₄), serbest kireç (CaO), ve trikalsiyum aluminat (Ca₃A₁₂O₆) gibi çeşitli kalsiyum silikatlar olduğu görülmüştür (Çizelge 1.9) (EİE 1979).

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Silis Katkılı Beton Üretimi Çalışmaları

Öztok ve Yeğınobalı (1997), silis dumanının genel olarak betonun su ihtiyacını artırdığını, yüksek dayanımlı betonlarda işlenebilirliği artırmak için curuf ve uçucu kül gibi bağlayıcıların ve süper akışkanlaştırıcılarının kullanılmasının uygun olacağını belirtmişlerdir.

Burge (1983), silis dumanı tanelerinin büyük yüzey alanının taze beton içindeki serbest suyun bir kısmını bağladığını ve silis dumanı katkı miktarı ile orantılı olarak betonda meydana gelen terlemenin önemli miktarda azaldığını belirtmiştir.

Jahren (1993), silis dumanı katılmış taze betonların, hamur vizkozitesi ve yoğunluklarının artması nedeniyle yapışkanlıklarını arttırdığını, bu nedenle silis dumanı katılmış betonlarda daha az ayrışmanın görüldüğünü ve oturma çatlaklarında da azalma görüldüğünü söylemiştir. İnceliği yüksek olan mineral katkılar taze betonda meydana gelen terlemeyi tamamen önlediğini ya da oldukça azalttığını söylemiştir.. Silis dumanı çok yüksek özgül yüzeyi sayesinde serbest suyun bir kısmını absorbe ettiği için terleme azaldığını tespit etmiştir.

Khayat ve Aitcin (1992), silis dumanı kullanımı betonun priz süresini arttırdığını söylemişlerdir. Katkı miktarı çimento ağırlığının %10'unu geçmediği sürece bu etkinin önemsenmeyebileceğini söylemişlerdir. Kullanılan süperakışkanlaştırıcıların da priz geciktirici etkileri olabileceğini belirtmişlerdir.

Meland (1983), yaptığı araştırmalar sonucunda çimento yerine %10 ve %20 oranlarında katılan silis dumanının ilk iki günde toplam hidrasyon ısısını azalttığını gözlemiştir. Ancak, %10 oranındaki silis dumanı ilavesi ile ilk saatlerdeki ısı oluşma hızı arttırdığını tespit etmiştir. Linyosülfonat katkısının başlangıçtaki yavaşlatıcı etkisi de bu şekilde dengelenebildiğini kaydetmiştir.

Huang ve Feldman (1985) silis dumanı ilk 8 saat içerisinde hidrasyonu hızlandırıp daha fazla CH açığa çıkarmasına rağmen sonraları CH'nin etkin bir şekilde bağlanmasını sağlamaktadır demişlerdir. Silis dumanlarında düşük alkali ve yüksek silika miktarları puzolanik aktiviteyi arttırdığını belirtmişlerdir.

Holland vd. (1986), yaptıkları bir araştırmada, kontrol betonu 28. gün sonunda 39,4 MPa olurken, çimentonun yerine ve çimentonun %17,6 hacmi oranında silis dumanının katılmasıyla 28. gün sonunda 49,5 MPa'lık basınç dayanımı elde etmişlerdir.

Carette ve Malhotra (1992), silis dumanının betonun uzun süreli dayanım kazanımı konusunda yaptıkları araştırmada, %10 silis dumanı içeren 0.25 S/B oranındaki beton 3.5 yıl sonunda, 100 MPa civarında dayanıma eriştiğini gözlemişlerdir

Kondo vd. (1974), yüksek sıcaklıklarda kr edilen silis dumanlı betonların 7 günlük dayanımlarının daha yüksek olduğunu, ancak 4. hafta sonunda en yüksek dayanımların 20°C sıcaklıkta kr edilen betonlarda elde edildiğini gözlemişlerdir

Johnston (1992), %10 silis dumanı içeren betonlarda 65°C'de hızlandırılmış kr uygulamasıyla, 16. saatte 28 MPa ve 28. günde 35-42 MPa basınç dayanımın sağlandığını gözlemiştir

Sandvick ve Gjørva (1992) ise, dozajın 185 ile 482 kg/m³, S/B oranının 0.45 ile 1.00, silis dumanının %0 ile %20 arasında değiştiği betonlarda silis dumanı ikame oranının artmasıyla dayanım gelişiminin farklılık gösterdiğini bu nedenle de halen kullanılan dayanım tahmin denklemlerinin silis dumanı içeren betonlar için baştan düzenlenmesi gerektiğini ileri sürmektedirler.

Baalbaki vd. (1992), silis dumanı, yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve portland çimentosunun değişik karışım oranlarının denendiği düşük S/B oranlı betonlarda, bir günde sadece silis dumanı betonlarının kontrol betonu dayanımını yakalarken bir yılsonunda tüm mineral katkılı betonların kontrol betonuna oranla daha yüksek dayanımlar (124-136 MPa) verdiğini gözlemişlerdir.

Khayat ve Aitcin (1992) ve Burge (1983)'nin yaptıkları araştırmalarda, agrega-imento hamurunun arayüzey bölgesindeki olumlu etkisi nedeniyle SD katkısının betonda elastisite modülünün, basınç dayanımı kadar olmamakla beraber biraz arttığı gözlemişlerdir.

Bentur ve Goldman (1989), S/B oranıtısı 0.33 olan, çimentonun %13' yerine silis dumanı katılmış ve 28 gün suda kür edilmiş betonlarda rötrenin katkısız betona göre büyük olde azaldığını bildirmişlerdir. Ancak araştırmacılaraya göre eşit buharlaşan su miktarı bazında kıyaslandığında daha küçük gözeneklerden su kaybının silis dumanlı betonlarda daha büyük rötre gerilme ve deformasyonlarına yol aması beklenebilir demişlerdir.

Khayat ve Aitcın'e (1992), silis dumanı katkılı betonlarda çekme eğilme dayanımları basınç dayanımına oranları katkısız betonlarınkine benzediğini belirtmişlerdir. Silis dumanı katkı miktarının artması veya süper akışkanlaştırıcı kullanılmaması eğilme-basınç dayanım oranının katkısız betonlarınkinden daha küçük olmasına yol açacağını tespit etmişlerdir.

2.2. Yüksek Fırın Cürüflü Beton Üretimi Çalışmalar

Li ve Roy (1986), Öğütülmüş yüksek fırın cürufu (ÖYFC) gibi bağlayıcı malzemeler betonda kullanıldığında sadece boşlukları azaltmakla kalmadığını ayrıca boşlukların daha da incelendiğini ve hidrata olmuş çimentonun mineralojisindeki değişimin klorür iyonlarının hareketinin azalmasını sağladığını söylemişlerdir. % 50 ÖYFC betonunda klorür iyonu geçirimsizliği direncinin yaklaşık olarak % 10 silis dumanlı betonunkiyle aynı olduğunu rapor etmiştir.

Luo vd. (2003), tarafından YFC katkılı betonların klorür bağlama özelliği ve difüzyonunu araştırmak amacı ile yapılan deneysel çalışmada cüruf kullanılarak üretilen harçlarda 0-10 mm, 10-20 mm, 20-30 mm, 30-40 mm ve 40-50 mm gibi 5 değişik derinlikte toplam ve serbest klorür miktarları araştırılmış ve toplam klorür difüzyon katsayısı ve serbest klorür difüzyon katsayısı belirlenmiştir. Portland çimentolu betonlarda YFC kullanılması ile boşluk yapısında iyileşmeler olduğu görülmüştür ve klorür difüzyon katsayısının büyük oranda düştüğü, YFC'nin klorür bağlama kapasitesinin arttığı belirtilmiştir.

Yeau ve Kim (2005), % 0'dan 50'ye kadar ÖYFC ile karıştırılmış iki tip Portland çimentosunun korozyon direncini değerlendirmiştir ve geçirimsizlik, difüzyon, gömülü çelik donatının yüzey alanının korozyonu ve potansiyel ölçümleri deneylerini yapmışlar ve Tip I çimentolu betonun geçirimsizlik katsayısının Tip V çimentolu betonunkinden daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Tip V çimentolu betondaki çelik çubuğun korozyon olasılığının Tip I çimentolu betonundaki çelik donatının korozyon olasılığından daha fazla olduğunu bulmuşlardır. Sonuçlar göstermiştir ki korozyona uğramış yüzey alanı (%), beton pas payının kalınlığına bağlı olduğu kadar içeriğindeki ÖYFC oranına da bağlıdır. ÖYFC miktarı yüksek, Tip I çimentosunun içindeki, çelik çubuğun korozyon direnci daha iyidir.

Cheng vd. (2005), Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürüflü betonların dayanıklılığını ve çeşitli yük oranları altındaki betonarme kirişlerin korozyon davranışlarını araştırmışlardır. 150x150x900 mm boyutlarındaki prizmatik kirişlere sürekli yük uygulanmış ve numuneler % 3,5'lük NaCl çözeltisine maruz bırakılmışlardır. Donatı korozyonunu değerlendirmek için açık devre potansiyeli ve lineer polarizasyon dirençleri belirlenmiştir. Deneyle sonunda kirişlerin şekil değiştirmeleri ölçülmüştür. Ek olarak cürüflü beton numunelerinin üzerinde hızlı klorür geçirimsizliği ve geçirimsizlik deneyleri yapılmıştır. Yüksek fırın cürufunun çimento yerine belli oranlarda katılması ile üretilen betonlarda hem geçirimsizliğinin hem de klorür iyon geçirimsizliğinin azaldığı görülmüştür. Betonlara cüruf katılmasının korozyon hızları üzerinde oldukça önemli olduğunu sonucuna varmışlardır.

2.3. Uçucu Kül Katkılı Beton Üretimi Çalışmalar

Ramyar (1993), araştırmasında Türkiye'de üretilen ve linyitin yakılmasından sonucu meydana gelen dört farklı uçucu külün, portland çimentosu-uçucu kül sistemlerinin özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Uçucu küllerden birisi düşük kireçli Tunçbilek ve diğer üçü yüksek kireçli Afşin-Elbistan, Seyitömer ve Soma-B olduğunu belirterek araştırmalarına başlamıştır. Yapmış olduğu karışımlarda çimento ağırlığının %10, %20 ve %40'ı kadar uçucu kül kullanmıştır. Karışımlara uçucu külün eklenmesi, karışımdan alınan çimentonun ağırlığına eşit ve ondan fazla olmak kaydıyla iki farklı yöntemle yapmıştır. Taze karışımların normal kıvam, priz süresi, su ihtiyacı, akma, çökme, hava içeriği ve sertleştikten sonra dayanım, puzolanik aktivite indeksi, elastisite modülü, sülfat direnci büzülme ve karbonatlaşma özelliklerini araştırmıştır. Yapmış olduğu deneylerin neticesinde, Tunçbilek ve Soma-B küllerinin, çimentonun %40 oranında kullanıldıklarında dahi, portland çimentosu uçucu kül sistemlerinin birçok özelliğini iyi yönde etkiledikleri bulgusuna ulaşmıştır. Bununla beraber, Afşin-Elbistan ve Seyitömer külleri yüksek dozda kullanıldığı zaman portland çimentosu-uçucu kül sistemlerinin birçok özelliğini olumsuz yönde etkilediği sonucuna varmıştır.

Başığit (1993), Yüksek oranda, yüksek kalsiyumlu uçucu kül katılmasının beton özellikleri üzerine etkilerini incelemiştir. Çimento dozajı 300 kg/m³ olan ve uçucu külü %10, %30, %50 ve %70 oranlarında çimentonun yerine kullanmıştır. Taze beton

deneylerinde uçucu kül oranının arttırılması ile betonun işlenebilmesinde bir artış oluşturduğu ve böylece uçucu kül katkısının suya olan ihtiyacı azalttığı ve dayanım artışına olumlu katkısının olacağını belirtmiştir. Basınç dayanımları bakımından en iyi uçucu kül katılış oranının %10-%30 arasında değiştiğini ve uçucu külün çimentoya katıldığı katkı oranında hidrasyon ısısını düşürdüğünü belirtmiştir.

Yazıcı ve Baradan (1995), uçucu kül katkılı dayanımı yüksek olan beton üretilmesi kapsamında 75 MPa basınç dayanımına sahip bağlayıcı malzeme içeriği %100 PÇ-42.5 çimentosu olan yüksek dayanımlı beton (YDB) ve aynı malzemelerle çimento yerine %25 oranında uçucu kül katılan uçucu küllü yüksek dayanımlı betonlar imal etmişlerdir. Dayanımı yüksek olan betonlarda fiziksel, mekanik ve durabilite deneyleri yapmışlardır. %25 oranında uçucu kül ikame edilen beton 28. günde 68.4 MPa'lık basınç dayanımına ulaşmış, YDB'dan %9.4 oranında düşük olduğu sonucuna varmışlardır. YDB'da %25 oranında uçucu kül katkısının geçirimsizliği önemli miktarda azalttığını ve kimyasal etkilere karşı iki aylık zaman içinde sülfürik asit dışında beton mukavemetinin arttığını belirlemişlerdir.

Erdoğan (1995), yapmış olduğu çalışmada Orhaneli uçucu külünün beton üzerinde dayanım ve klor geçirimsizliğini araştırmıştır. Araştırmasının sonucunda, harçlarda ve betonlarda uçucu kül kullanımı erken yaşlarda dayanımını bir miktar azaltabildiği fakat devam eden puzolanik etki ile ilerleyen zamanlarda bu etkinin azaldığını hatta ortadan kalktığını söylemiştir. Bütün yaşlarda uçucu kül kullanımıyla salt çimentolu betonlara kıyasla düşük klor geçirimsizliği meydana getirmişlerdir. Salt çimentolu betonlarda yaşa ve karışıma bakılmaksızın basınç dayanımındaki artış ile klor geçirimsizliği azalmıştır. Uçucu küllü betonlarda ise basınç dayanımlarından ziyade bağımsız olarak düşük klor geçirimsizliği elde edilmiş ve uçucu küllü betonlarda klor geçirimsizliği uçucu külün ilave oranı ve çimento dozajına karşı daha hassas olduğu sonucuna varmışlardır. Uçucu kül içeren yüksek hacimli betonlarında güvenle kullanılabileceğini, minimum çimento dozajına uyma ve külün özelliklerini ve kullanılabilecek karışım oranını tespit etme zorunluluğu ve uçucu külün ekonomik ve teknolojik sebeplerle hazır beton sektöründe değerlendirilmesi gerektiğini önemle belirtmişlerdir.

Gökçe ve Özturan (1996), uçucu kül puzolanik aktivitesinin tayini ile ilgili mevcut bazı standartları ele almışlar, bu standartlardan elde edilen test sonuçlarını birbirleri ile kıyas etmişler ve her standardın uygun olup olmadığını tartışmışlardır.

Söz konusu standartlar TS 639, Amerikan ASTM C311 ve İngiliz BS 3892 olmakla birlikte, TS 639 ayrıca modifiye edilmiş, böylece dört farklı test yöntemini içine alan bir araştırma yapmışlardır. Araştırmalarında Seyitömer ve Soma termik santrallerinden aldıkları uçucu külleri kullanmışlardır. Sonuçta, TS 639'un öngördüğü test metodunun özellikle Seyitömer uçucu külü gibi harcın su ihtiyacını önemli derecede arttıran küller için uygun ve geçerli bir yöntem olmadığı sonucunu elde etmişlerdir. TS 639, eşit S/(Ç+UK) oranı yerine ASTM ve BS standartlarında olduğu gibi eşit işlenebilirlik dikkate alınarak yeniden dizayn edildiğinde daha yüksek puzolanik aktivite sonuçlarına kavuşmuşlar, fakat yine de BS ve ASTM standartlarından elde edilen seviyeye ulaşamamışlardır. Standartlarda öngörülen farklı bağlayıcı malzeme miktarlarının puzolanik aktivite değerlerinin değişik düzeylerde olmasının esas sebeplerinden biri olduğunu söylemişlerdir.

Özcan (1997), çalışmasında Seyitömer ve Tunçbilek santrallerinden sağladığı uçucu külleri %10, %20 ve %30 oranlarında çimento ile yer değiştirerek betonların mekanik ve durabilite özelliklerine olan etkileri üzerinde araştırma yapmıştır.. Maksimum tane çapı 16 mm ve çimento dozajı 320 kg/m³ olan 19 adet beton numune üretmiştir. Yapmış olduğu deneyler neticesinde, uçucu küllerin betonda işlenebilirliği iyileştirdiğini ve betonda suya olan azalttığını tespit etmiştir. Uçucu külün puzolanik aktivite deneyinin ASTM C-311'e göre yapılmasının ihtiyaç duyulan su miktarının belirlenmesi açısından daha kontrollü olduğu ve daha iyi sonuç verdiğini belirtmiştir. Eğilme ve basınç dayanımlarında erken yaşlarda uçucu küllü betonlar şahit numunelerin altında kalırken, ileriki yaşlarda şahit numunenin üstünde dayanım değerlerine ulaştığı sonucuna varmıştır. Çimento dozajının %10 ve %20 azaltıldığı uçucu küllü betonlarda gerek mekanik gerekse durabilite bakımından iyi neticelere ulaşıldığını, fakat çimento miktarı %30 azaltıldığında ise üretilen uçucu küllü betonlar her açıdan iyi olmayan sonuçlara ulaşıldığını belirtmiştir. Seyitömer'deki etkinlik katsayısının Tunçbilek'e göre daha yüksek sonuç verdiğini, bu sonucunda puzolanik aktivitesinin daha iyi olmasının sonucu olduğunu ifade etmiştir.

Tunçbilek (1998) araştırmasında, bazı Türkiye uçucu küllerinin (Afşin- Elbistan, Çatalağzı, Kangal, Orhaneli, Yatağan) portland çimentosu-uçucu kül sistemleri üzerindeki etkilerini karşılaştırmalı olarak incelemiştir. Her termik santralden, elektrostatik filtrenin birinci ve ikinci kademelerinden olmak üzere iki farklı numune

almış ve aradaki farkları incelemiştir. Karışımlarda, çimentonun ağırlığının %0, %10, %20 ve %30'u kadar uçucu kül kullanmıştır. Portland çimentosu-uçucu kül hamurları üzerinde normal kıvam, priz süresi ve hacim genişlemesi; portland çimentosu-uçucu kül harçları üzerinde su ihtiyacı, dayanım aktivite endeksi, basınç dayanımı, büzülme ve sülfat direnci deneyleri yapmıştır. Test edilen uçucu küllerin standartlara bütünüyle uymasa da bazılarının beton bileşiği olarak kullanılabilmesini belirtmiştir. Yüksek oranda katılmadığı takdirde tatmin edici geç dayanımlar elde etmenin mümkün olmakla birlikte nispeten düşük erken dayanımlar beklenilmesi gerektiğini belirtmiştir. Yüksek oranda kireç ve sülfat içeren C sınıfı uçucu küllerinin dışında kalan küllerin kullanımıyla dayanıklılığın geliştirilebilmesinin mümkün olduğunu belirtmiştir.

Bilim (2001), Kalsiyum oranı yüksek olan standart dışı bir uçucu külün beton içinde kullanılabilişini ve hızlandırılmış kür karşısındaki davranışını araştırmıştır.. Üç farklı oranda, su/çimento oranları 0.40 ve 0.87 arasında değişen, toplam 48 adet beton numune hazırlamıştır. Uçucu külün normal portland çimentosunu %0, %15, %30 ve %45 oranlarında ikamesiyle üretilmiş olan ve nemli ortamda kür edilmiş olan betonların 28 günlük ve 3 aylık basınç dayanımlarını ölçmüştür. ASTM ve Türk standartlarında göre ılık su metodu ve kaynar su metodu ile hızlandırılmış betonların basınç dayanımlarını da ölçmüştür. Uçucu külün standart dışı olması gerçeğine rağmen, uçucu kül içeren betonların sadece portland çimentosu ile üretilen betonlara yakın ya da daha yüksek dayanım göstermesinden dolayı uçucu külün %15 ve %30 yer değiştirme oranları arasında ağırlıkça çimentoyu ikame ederek betonda kullanılabilmesi sonucuna varmıştır. Uçucu kül miktarının dayanım tahmininde, kullanılmasının önemsiz olduğunu bulmuştur.

Atiş vd. (2002), çalışmalarında standartlara uygun olmayan Afşin- Elbistan termik santrali uçucu külünü beton içerisinde mineral katkı olarak kullanılabilirliğini basınç ve çekme dayanımı ve hidratasyon sonucu oluşan sıcaklık yükselmesi açısından değerlendirmişlerdir. Çimento dozajı 300 kg/m^3 , 400 kg/m^3 , 500 kg/m^3 ile su-çimento oranında 0.35, 0.45, 0.55 ve uçucu kül yer değiştirme oranları da ağırlıkça %0, %10, %20, %30 olan otuz altı beton karışımı hazırlamışlardır. Su içinde kür edilen beton numunelerin 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları ile 7 günlük yarılmaya çekme dayanımları tespit etmişlerdir. Beton içinde oluşan sıcaklık yükselmesini termometre ile birer saat ara ile 24 saat ölçmüşlerdir. Deneyler sonucunda, Afşin-Elbistan uçucu külü

ağırlıkça %10- %20 oranında beton içine mineral katkı olarak kullanılabilmesi ancak, beton sıcaklığını düşme yönünde etkilemediğinden, hidrasyon ısısını azaltmada kullanılamayacağını belirtmişlerdir.

Atiş (2003a), yüksek dayanımlı ve düşük kuruma rötrelili yüksek hacimli uçucu kül katkılı betonlar üzerinde çalışmıştır. F sınıfı uçucu kül ile yaptığı çalışmalarda %50 ve %70 uçucu kül ikame oranlarına sahip betonların optimum su/çimento oranında, portland çimentosu betonu ile kıyaslandığında önemli derecede düşük rötre değerlerine sahip oldukları sonucunu elde etmiştir. Kullanılan akışkanlaştırıcının rötreyi arttırdığını ancak uçucu kül kullanımı sonucunda portland çimentosu betonuna kıyasla rötrede %40'a varan düşme gözlemiştir.

Sevim (2003), çalışmasında Afşin-Elbistan termik santralinden elde edilen uçucu külün çimento ve beton katkısı olarak kullanılabilirliği harç ve çimento hamuru numuneleri üzerinde yürütülen deneylerle araştırmıştır. Afşin Elbistan uçucu küllerini %10 ve %20 oranında içeren harç numunelerin büyük bir kısmı şahit harç numunelerine eşdeğer ya da karşılaştırılabilir mertebede basınç, çekme, aşınma dayanımı karbonatlaşma, boşluk oranı ve kapiler su emme katsayısı gerçekleştirdiğini belirtmiştir. Afşin-Elbistan küllerinin %10-%20 oranında çimento ve beton katkısı olarak kullanılabilmesi kanaatine varmıştır. Mevcut küllerin %10 oranında daha iyi sonuçlar verdiği gözlemiştir.

Dinçer (2013), çalışmasında çimento yerine ağırlıkça Çatalağzı termik santralinden elde edilmiş uçucu külü %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında kullanmıştır. Uçucu külü çimentonun yerine kullanıldığında, betonun mekanik özelliklerine etkisinin %20 uçucu kül ikamesine kadar çok iyi olduğunu, hatta şahit betondan bile iyi davranış gösterdiğini tespit etmiş, ancak uçucu külün basınç dayanımına etkisi %20 oranından sonra düşüş gösterdiğini belirtmiştir.

Günindi (2005), çalışmasında yüksek oranda yumurtalık Sugözü uçucu külü içeren betonun basınç, eğilme ve aşınmaya karşı direncini deneysel olarak incelemiştir. Su/çimento oranı 0.45, toplam bağlayıcı miktarı ise yaklaşık 350 kg/m³ almıştır. Çimentonun ağırlıkça %10, %20, %30 ve %40'ı uçucu kül ile yer değiştirerek uçucu kül içeren betonlar hazırlamıştır. Uçucu kül kullanımı ile ağırlıkça %10 yer değiştirme oranında normal betonun dayanımına eşdeğer dayanım elde etmiştir. Laboratuvar

sonuçlarına dayanarak mevcut uçucu külün çimentoya %10-%40 oranında ikame edilebileceği, beton yol kaplaması olarak kullanılabilirliğini belirtmiştir.

Atiş (2005), yüksek hacimli uçucu küllü silindir ile sıkıştırılmış ve süper plastik işlenebilir betonu ıslak ve kuru kür şartlarında dayanım özelliklerini araştırmıştır. Beton karışımları su/bağlayıcı oranı 0.28 ile 0.43 olan ve %0, %50 ve %70 Portland çimentosu ile yer değişim oranlarında iki farklı düşük kireçli F sınıfı iyi ve düşük kaliteli küller ile hazırlamıştır. Basınç, eğilmede çekme ve yarmada çekme dayanımlarını ölçmüştür. Eğilme ile basınç arasındaki ilişkisini, kür koşullarının etkisini ve kızdırma kaybının uçucu küllerin su ihtiyacı ve dayanımı üzerindeki etkilerini tartışmıştır. Çalışması sonucunda yüksek dayanımlı betonun yüksek hacimli betonlar ile mümkün olabileceğini ve kızdırma kaybının artışının taze betonun su ihtiyacını artırdığını belirtmiştir. Yüksek hacimli uçucu küllü betonların normal portland çimentolu betonlardan kuru kür şartlarına karşı daha hassas ve zayıf olduğunu ancak yine de yüksek hacimli uçucu küllü betonların hem yapılarda hem de yol ve kaldırım uygulamaları için yeterli bir malzeme olduğunu sonucunu çıkarmıştır.

2.4.Mermer Atıklarının Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği ile İlgili çalışmalar

Ceylan ve Mança (2013), Çalışmalarında mermer üretim atığı olarak ortaya çıkan iri parçalı mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğini incelemiştir. Bu amaçla parça mermer atıkları ve geleneksel olarak betonda kullanılan kırmataş agregaları üzerinde agrega deneyleri yapmışlardır. Daha sonra mermer parça atık agregası ve kontrol grubu kırmataş agregası ile TS 802 standardına göre beton üretimi gerçekleştirmişlerdir. Elde ettikleri bulgulara göre mermer atık agregalarının değerlerinin kontrol grubu ile çok yakın olduğu görülmüştür. Her iki grup agregadan elde edilen beton numuneleri üzerinde yapılan basınç dayanımı, Schmidt yüzey sertliği ve ultrasonik ses geçirgenliği değerleri mukayese edilmiştir. Sonuç olarak parça mermer atıklı betonların değerleri kontrol grubuna çok yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre parça mermer atıklarının beton agregası olarak kullanımının uygun olacağını düşünmüşlerdir.

Akbulut ve Gürer (2003), Agregaya kaynağı olarak ülkemizin belirli bölgelerinde özellikle Afyon'da önemli miktarlarda agregaya kaynağı mevcut olduğunu belirtmişlerdir. Mermer ocaklarından çıkarılan mermer bloklarının yaklaşık % 50'ye yakın bir oranı atık malzeme olarak açığa çıktığını söylemişlerdir. Çıkarılan bu malzemeler çok az bir maliyet ile kullanılabilir agregaya dönüştürülebileceğini açıklamışlardır. Afyon bölgesinde çıkarılan atık mermer parçalarından meydana gelen agregalar Afyon belediyesinin yol yapımında kullandığı yıllık agregaya miktarını rahatlıkla ve ekonomik bir şekilde karşılayacağını düşünmüşlerdir. Dikkat edilmesi gereken noktanın üretilen bu agregaların (Kireçtaşı) standartlara ne kadar uygun olduğunun belirlenmesi olduğunu söylemişlerdir. Standartı çok yüksek olmayan şehir içi yollarda bu tür agregaların kullanımı herhangi bir soruna yol açmayacağını tespit etmişlerdir.

Öntürk vd. (2014), Çalışmalarında uçucu kül ve mermer tozu isimli atık malzemelerin temel tabakalarına stabilizasyonundaki serbest basınç dayanımı ve rijitlikleri üzerine etkisi incelenmişlerdir. Bu atık malzemeler muhtemel bir otoyol alt temel yapısında değerlendirilmesi için doğal zemine %5, %10 ve % 15 gibi farklı oranlarda ilave etmişler. Hazırlanan numuneleri 7 ve 14 gün boyunca küre tabii tutmuşlardır. Kür süresi tamamlanan tüm karışım numunelerinin hem standart kompaksiyon değerleri hemde kaliforniya taşıma oranı (CBR) değerlerini belirlemişlerdir. Zemine ilave edilen atık malzemeler (örnek:uçucu kül ve mermer tozu) sonucunda CBR değerlerinde artış olduğunu tespit etmişlerdir.

Çavuş (2015), Çalışmalarında mermer parça atıklarının taşkın koruma ve akarsu taşkın sürüklenme gücünü önleme yapılarında kullanılabilirlikleri hususu incelenmiş ve tartışılmıştır. Mermer parça atıkları taşkın koruma duvarları ile diğer taşkın yapılarında teknik ve ekonomik açıdan kullanılabilir olduğunu tespit etmişlerdir.

Ülkemizde pek çok yerde mermer ocakları ve işletmeleri bulunduğunu ve bunlardan çok fazla miktarda atık malzeme ortaya çıktığını söylemişlerdir. Ocak verimlilikleri %10 alındığında, 10 ton mermer çıkarma esnasında 90 ton kadar malzeme atık olarak depolanacağını belirtmişlerdir. Bununla birlikte, her taşkın yapısının tipine ve uygulanacak bölgenin ve akarsu yatağının ve taşkın boyutunun özelliğine bağlı olarak ve ayrıca kullanılması planlanan mermer parça atıklarının özelliklerine göre kullanılacak malzeme için numune alınarak laboratuvar dayanım, yoğunluk, donma-çözülme ve aşınma testlerinin yapılması ayrıca tavsiye etmiştir. Ayrıca parça atık

malzemenin çok küçük evsafa veya ince yassı ebatlarda olmamasına dikkat edilmesi gerektiğini vurgulamışlardır.

Ural ve Yakşe (2015), Son yıllarda inşaatlarda mermer kullanımının giderek arttığını ve mermere olan talebin karşılaması amacıyla, mermer işleme tesislerinin sayısının hızla arttığı gözlemlenmiştir. Çalışmalarında mermer ocağı sayısı çok fazla olan Bilecik ilindeki mermer atıklarının, yol temel malzemesi olarak değerlendirilmesini araştırmışlardır. Bu amaçla, çalışmaları kapsamında; hava tesirlerine ve donmaya karşı dayanıklılık deneyini, Los Angeles deneyini, yassılık indeksi deneyini, NaOH ile yapılan organik madde tespiti deneyini, su emme deneyini, Atterberg kıvam limitleri deneyini ve son olarak metilen mavisi deneylerini yapmışlardır. Deneylerde kullandıkları mermer atıkları, Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen temel malzemesi gradasyonu aralıklarında hazırlayarak, şartnamede belirtilen fiziksel özellikleri taşıyıp taşımadıklarını kontrol etmişlerdir. Yapmış oldukları çalışmanın sonucunda, Bilecik ilinin 3 farklı bölgesinden almış oldukları mermer atıklarının Karayolları Teknik şartnamesinde belirtilen alt temel/temel malzemesi fiziksel özelliklerini sağladığını tespit etmişlerdir.

Çetin (1997) otomobil lastiği, plastik (polietilen), kül, petrolü sondaj atığı ve mermer tozu gibi endüstriyel atıkların asfalt beton karışımlarındaki etkilerini araştırmıştır. Çalışmada kullanılan asfalt çimentosu ve agrega Türk Standartlarına göre tercih edilmiş, kül, sondaj atığı ve mermer tozu atıkları farklı oranlarda karışıma ilave edilerek elde edilen numunelere Marshal stabilite deneyleri yapılmıştır. Lastik ve plastik ilave edilen asfalt betonu kaplama karışımlarının tokluk ve elastik özelliklerinin iyileştiği ve çatlamların azaldığı anlaşılmıştır.

Okagbue ve Onyeobi (1999) Yol yapımı için kırmızı tropik zeminin mermer tozu karıştırılarak stabilize edilebilme durumunu araştırmışlardır. Çalışmalarında üç farklı kırmızı tropik toprağın doğal haldeki geoteknik özellikleri ile değişik oranlarda mermer tozu ile karıştırılmış haldeki durumlarını karşılaştırmışlardır. Çalışmada elek analizi, özgül ağırlık, Atterberg kıvam limitleri, standart sıkışma özellikleri, basınç dayanımları ve CBR gibi parametreler ölçülmüştür. Kırmızı tropik toprağın geoteknik özelliklerinin incelenmesi sonucunda yüksek tonajlardaki trafiğe maruz esnek kaplamalara temel tabakalarında kullanım için uygun olmadığı fakat bununla birlikte geliştirilen malzemenin hafif trafiğe maruz yollarda temel malzemesi olarak ve yüksek

tonajlardaki trafiğe maruz yollarda alt temel malzemesi olarak kullanılabilceği sonuçlarına varılmıştır.

Terzi ve Karşahin (2003) mermerlerin düzgün geometrik şekillere getirilebilmesi için kesilmesi sırasında meydana gelen mermer toz atıklarının asfalt betonu imalatında filler malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada aynı granülometri eğrisine sahip taş tozu ve mermer tozu fillerini içeren numunenin Marshall stabilite deney sonuçlarından yararlanarak optimum bitüm değeri belirlenmiştir. Sonrasında, belirlenen bitüm yüzdesi kullanılarak filler/bitüm yüzdesi oranına göre ve filler oranlarına bağlı olarak Marshall numuneleri hazırlanmış ve hazırlanan numuneler asfalt tester deney aleti kullanılarak dinamik plastik deformasyon deneyine maruz bırakılmış ve meydana gelen deformasyonlar ölçülmüştür. Ortaya çıkan deformasyonlar karşılaştırılmış ve mermer atıkları kullanılarak hazırlanan karışımlarda öğütülen mermer parçaları ile hazırlanan karışımlara göre birim deformasyonların alt ve üst sınırlar içerisinde olduğu görülmüştür.

De Rezende ve De Carvalho (2003) Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek yol üst yapılarının temel tabakalarında kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Atık malzemenin yapılan deneyler ile özellikleri belirlenerek, kullanılabilirliği değerlendirilmiştir. Yapılan çalışmada numunelere; Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR), Dinamik Koni Penetrasyon, Tabaka Yükleme, Kalem Basınç Ölçme, Benkelman Kirişi ve Düşen Ağırlık Ölçer deneyleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda Pedreira Contagem Bölgesi taş ocağı atıklarının esnek kaplamaların temel tabakaları içinde potansiyel bir kullanım özelliklerine sahip olduğu, bu malzemenin düşük trafik yoğunluğuna sahip yollarda temel malzemesi olarak kullanılabilceği görülmüştür.

Gürer (2004) Afyon bölgesinde bulunan 4 farklı kayaç numunesi üzerinde agrega fiziksel özelliklerini inceleyerek atık mermer parçalarının bitümlü yol kaplamalarında kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada öncelikle mermer numuneleri ile agrega özelliklerinin tayinini yapmak maksadı ile özgül ağırlık deneyi, Los Angeles aşınma deneyi, yassılık indeksi, agrega darbelene deneyi ve donma etkisi deneyleri yapılmıştır. Daha sonrasında mermer atık parçaları ile elde edilen bitümlü sıcak karışım numuneleri üzerine penetrasyon deneyi, asfalt çimentosu özgül ağırlık deneyleri yapılmıştır. Çalışma sonucunda mermer atıklarından elde edilen bitümlü yol kaplamalarının orta trafik hacimli yollarda kullanılabilceği görülmüştür.

Yıldız (2008) mermer tozu atıklarının yol inşaatlarında değerlendirilmesi ve yol stabilizasyonuna katkısı konusunda incelemelerde bulunarak bunun yol inşaat maliyetleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Çalışma için Afyon İlinin farklı bölgelerinden temin edilen mermer tozu atıkları, yine yörenin farklı bölgelerinden alınmış kil oranları birbirinden farklı toprak parçaları ile homojen karıştırılmıştır. Numuneler üzerinde Atterberg kıvam limit deneyleri, özgül ağırlık deneyleri, standart sıkıştırma deneyi, kesme kutusu deneyi ve Kaliforniya taşıma gücü deneyleri yapılarak numunelerin özellikleri ölçülmüştür. Çalışma sonucunda mermer tozu atıklarının zemin stabilizasyonunda kullanılmasının uygun olduğu görülmüş olup, bu durumun nakliye mesafeleri de göz önünde bulundurulması halinde yol inşaat maliyetlerini düşürebileceği görülmüştür. Yukarıda görüldüğü gibi mermer atıkları agrega veya toz olarak değerlendirilebilmektedir.

Ünal ve Kibici (2001), Çalışmalarında mermer atıklarının (havuz çökeltisi) beton karışımı içerisinde ince malzeme olarak kullanılması durumunda beton basınç dayanımına etkisini araştırmışlardır. Mermer işleme fabrikalarında imalat sonrası önemli miktarda mermer atıkları adı verilen havuz çökeltileri (mermer tozu) oluştuğunu tespit etmişlerdir. Bu amaçla, atık malzemelerin inşaat sektöründe değerlendirilmesi amacıyla deneysel bir çalışma yapmışlardır. Deneysel çalışmalarında, üretilen beton karışımlarında ince malzeme olarak kumun yanında hacim olarak % 0, % 10, % 15 ve % 20 oranlarında mermer tozu katmışlardır. Maksimum agrega tane çapı 16 mm. ve su/çimento oranı 0.65 olarak seçilen karışımlarda çimento dozajı 300 ve 350 kg olmak üzere toplam 8 sen beton üretmişlerdir. Üretilmiş olan mermer tozu katkılı beton numuneleri üzerinde basınç, ultra ses hızı ve su emme deneylerini yapmışlardır. Sonuçları normal beton değerleri ile karşılaştırmışlardır. Elde etmiş oldukları sonuçlara göre mermer tozunun belirli oranda karışıma katılması beton üzerine olumlu etki yapacağını gözlemlemişlerdir.

3. MATERYAL METOD

3.1 Materyal

3.1.1. Çimento

Çalışmada kullanılan çimento, TS EN 197-1 ile uyumlu normal Portland çimentosu (PÇ 42,5R) olup, Adıyaman Çimsa Çimento Sanayi ve Ticaret A.Ş. tarafından üretilmiştir. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özen gösterilip, nem alarak topaklaşma göstermemesi için de çimento, özel koruyucu kaplar içerisinde muhafaza edilmiştir. Kullanılan PÇ 42,5 R çimentosuna ait kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.1 ve 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Oksit	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	KK
Çimento	19,29	3,88	4,25	62,63	3,42	2,58	0,34	2,86

Çizelge 3.2 Kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

	Fiziksel Özellikler	Sonuçlar
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3.09
	İlk (dakika)	125
Priz Süresi	Son (dakika)	190
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3420

3.1.2. Su

Deneylerde kullanılan karışım ve bakım suyu Adıyaman Üniversitesi kampüs alanı şebekesinden alınan içme suyudur. Beton karışım ve bakım suyunun kalitesi ile ilgili özel bir Türk Standardı yoktur. Kaynaklarda karma suyu, genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir.

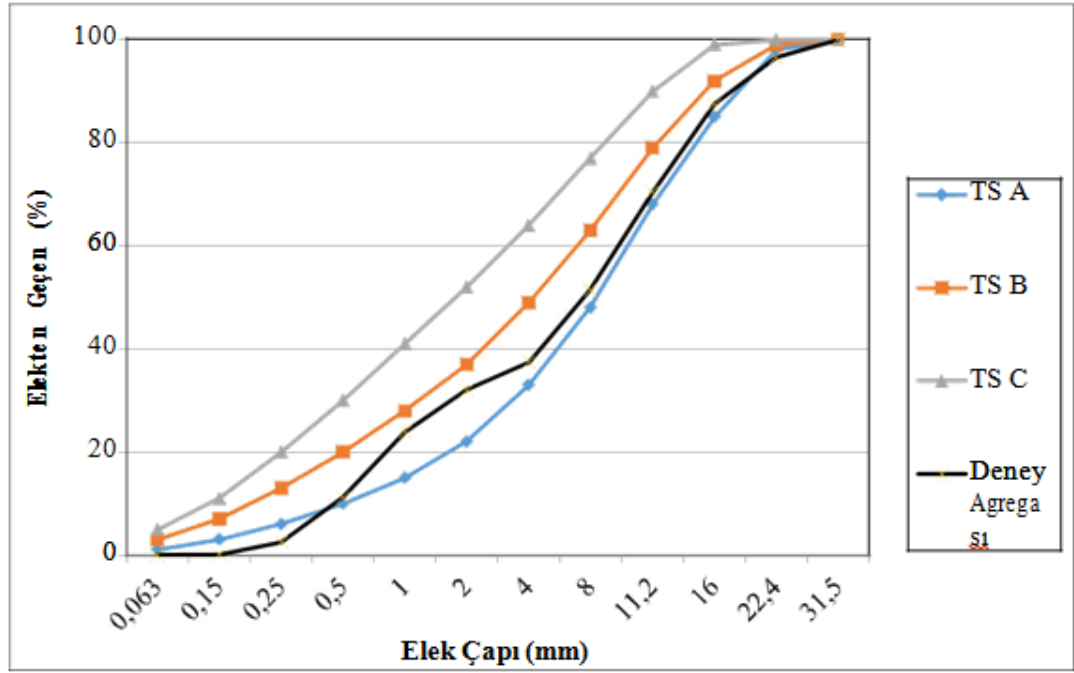
3.1.3. Agregas

Çalışmada mermer atıkları ve doğal dere malzemesi agregas olarak kullanılmıştır. Bu agregalardan beton üretimleri sonunda mermer kırmataş agregaların performanslarının artırılması amacıyla katkı (silis dumanı, uçucu kül ve granüle yüksek fırın cürufu) beton üretimleri yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda doğal dere agregaları (DDA) Adıyaman Göksu deresi tesislerinden temin edilmiştir. Mermer kırmataş agregalar (MKA) Adıyaman Tercih Mermer Emprador ocağından temin edilerek Adıyaman Ufuker İnşaat'ın taş ocağında eleklerden geçirilip 3 farklı boyutta kırılarak (ince, orta ve iri olmak üzere) ayıklanmıştır (Şekil 3.1).

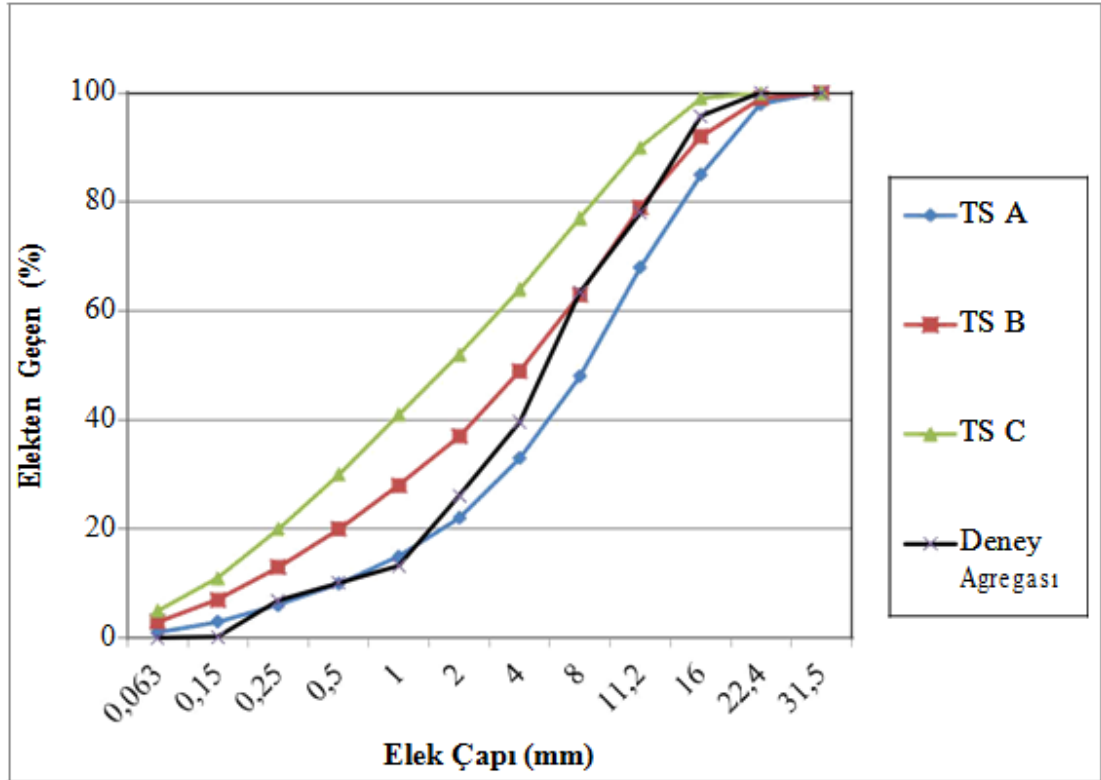


Şekil 3.1 Doğal dere agregası ve mermer ocağı görüntüleri

Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 22 mm olup, agregas granülometrisi TS 706 pr EN 12620'ye göre belirlenmiş Şekil 3.2-3.3'de DDA ve MKA agregalarının granülometri eğrileri verilmiştir.



Şekil 3.2. DDA'ya ait granülometri eğrisi



Şekil 3.3. MKA'ya ait granülometri eğrisi

3.1.4. Silis dumanı (SD)

Bu çalışmada SD kullanarak normal betonlardaki dayanımın değişimi ekonomikliği araştırılmıştır (Şekil 3.4). Bu amaçla çimentoyla 432,69 kg dozajında silis dumanlı ve silis dumansız beton karışımları hazırlanmıştır. Ülkemizde de mineral katkı olarak henüz yeterince değerlendirilemeyen Antalya ferrokrom tesislerinden sağlanan ve kullanımı gittikçe yaygınlaşan SD'nin kullanımı ile basınca dayanıklı beton üretimleri yapılabilecektir.



Şekil 3.4 Silis dumanı

3.1.5. Yüksek fırın cürufu (YFC)

Çalışmada kullanılan yüksek fırın cürufu katkıları OYAK Çimento tesislerinden elde edilmiştir (Şekil 3.5). YFC'ye ait kimyasal özellikler Çizelge 3.3'de verilmiştir. YFC'nin özgül ağırlığı 2,80 gr/cm³ olup özgül yüzey alanı 1,02 m²/gr'dır. Yapılan lazer tane boyut analizine göre malzemenin dane çapı dağılımı d₁₀=3,985 µm, d₅₀=17,635 µm and d₉₀=42,623 µm olarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 YFC'nin kimyasal özellikleri

Bileşen (%)	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
YFC	40,1	39,6	7,8	0,9	4,2	1,2	0,05



Şekil 3.5 Yüksek fırın cürufu

3.1.6. Uçucu kül (UK)

Elektrik enerjisinin üretildiği termik santralarda atık olarak ortaya çıkan uçucu küller, alüminli ve silisli bir yapıya sahip olup çok ince taneli olarak elde üretildikleri için, aynen ince taneli doğal puzolanlar gibi, puzolanik özellik göstermektedirler. Kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştiğinde, hidrolik bağlayıcılık kazanmaktadırlar (Şekil 3.6). Çalışmada 432,69 kg çimentoyla dozajlı uçucu küllü ve uçucu külsüz beton karışımları hazırlanmıştır. Uçucu kül katkısı olmayan kontrol (şahit) betonunun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları ile çimento ve uçucu külün kütlegece %10 , %20 ve %30 ikame oranlarında yer değiştirilmiş betonun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları karşılaştırılarak optimum uçucu kül miktarı ve bunun dayanıma etkisi belirlenmeye çalışılmıştır.



Şekil 3.6 Uçucu kül

3.2. Metod

3.2.1. Beton karışımlarının hazırlanması

Çalışmada beton üretimleri 2 aşamada gerçekleştirilmiştir. Öncelikle Doğal Dere Agregası (DDA) ve Mermer Kırmataşlar Agregaları (MKA) ile 2 tip 15x15x15 boyutlarında 7, 28 ve 90 günlük olmak üzere 18 (9'ar) adet beton üretimi TS 802'ye göre tasarlanmış olup (Şekil 3.7) karışımda kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.4'de verilmiştir. Beton karışımlarında kullanılan agreganın maksimum tane çapı 31.5 mm'dir. Kullanılan çimento ve agregaların kimyasal analizleri Çizelge 4 ve 5'de verilmiştir.

Sonraki aşamada MKA ile üretilen betonların performansını artırmak için yapay puzolanlar (SD, UK ve YFC) çimento dozajına ikame edilerek küp örneklerden 7x7x7 cm ebatlarında 7, 28 ve 90 günlük yaşlarda 81 (27'şer) adet beton üretimi TS 802'ye göre tasarlanmış ayrıca yine 7,28 ve 90 günlük olmak üzere 9 (3'er) adet ŞHT numune hazırlanmış olup (Şekil 3.8) karışımda kullanılan malzeme miktarları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Tasarlanan betonun hedef basınç dayanımı C25/30 ve buna bağlı olarak su/çimento oranı 0.46 olarak alınmıştır. Gerekli kıvamın elde edilmesi için su miktarı 204 kg alınmıştır. Hesaplar 1 m³ beton için yapılmış ve 18 adet küp numune için orantı kurularak deneylerde kullanılacak miktarda numuneler dökülmüştür. Çizelge 3.5'te 7x7x7 cm boyutlarında %10, %20 ve %30 oranlarında hazırlanmış SD ve %1 oranında SA katılmış 1 m³ beton için malzeme miktarları, Çizelge 3.6'da 7x7x7 cm boyutlarında hazırlanmış %10, %20 ve %30 oranlarında UK katılmış 1 m³ beton için malzeme miktarları ve Çizelge 3.7'de ise yine 7x7x7 cm boyutlarında hazırlanmış %10, %20 ve %30 oranlarında YFC katılmış 1 m³ beton için malzeme miktarları hesaplanmıştır.

Çizelge 3.4 1 m³ MKA ve DDA ile hazırlanmış beton için malzeme miktarları (gr)

Agrega	İnce Agregası	Orta Agregası	İri Agregası	Çimento	Su	Hava
	(0-5 mm)	(5-12 mm)	(12-22 mm)			
MKA	722	555	538	371	204	20
DDA	748	863	279	356	185	20

Çizelge 3.5 1 m³ SD + %1 SA katkılı beton bileşimindeki malzeme miktarları

Seri	İnce Agrega(gr)	İri Agrega(gr)	Su (gr)	Çimento (gr)	SD (gr)	SA (%1) (gr)
ŞHT	4465	1583	1280	1780	-	
SD %10	4465	1583	1280	1584.20	178	17,8
SD %20	4465	1583	1280	1406.20	356	17,8
SD%30	4465	1583	1280	1228.20	534	17,8

Çizelge 3.6 1 m³ UK katkılı beton bileşimindeki malzeme miktarları

Seri	İnce Agrega(gr)	İri Agrega(gr)	Su (gr)	Çimento (gr)	Uçucu Kül (gr)
ŞHT	1084.68	384.64	225	432,70	-
UK %10	1084.68	384.64	225	389.43	43.27
UK %20	1084.68	384.64	225	346.16	86.54
UK%30	1084.68	384.64	225	302.89	129.81

Çizelge 3.7 1 m³ YFC katkılı beton bileşimindeki malzeme miktarları

Seri	İnce Agrega(gr)	İri Agrega(gr)	Su (gr)	Çimento (gr)	Yüksek Fırın Cürufu (gr)
ŞHT	1084.68	384.64	225	432,70	-
YFC%10	1084.68	384.64	225	389.43	43.27
YFC%20	1084.68	384.64	225	346.16	86.54
YFC%30	1084.68	384.64	225	302.89	129.81

Çizelge 3.8 Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Agrega	MKA	DDA
İnce (0-5 mm)	2.41	2.51
Özgül Ağırlık Orta (5-12 mm)	2.52	2.53
İri (12-22 mm)	2.58	2.54
Su emme (%)	5.00	3.00
Su İçeriği (%)	0.10	1.00

Çizelge 3.9 Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Oksit	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	KK
Çimento	62,63	19,29	4,25	3,88	3,42	2,58	0,34	2,86

Çizelge 3.10 Kullanılan agregaların % kimyasal bileşimleri

Agrega	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	KK
MKA	43.31	8.739	0.27	0.694	2.15	0.0048	0.05	0.0379	44.93
DDA	31.41	7.206	5.19	2.622	22.4	0.234	0.048	0.1848	30.55

Kullanılan agregaların kimyasal bileşiminde DDA'da SiO₂ miktarının (% 22.4) fazlalığı silisçe zengin minerallerden oluştuğunu, MKA'da ise CaO miktarının fazla olması (%2.15) karbonat (kalker) kökenli kayalardan olduğunu göstermektedir. Agregaların kızdırma kayıplarına bakıldığında Mermer agregaların doğal agregadan daha fazla kızdırma kaybının (KK) olduğu görülmektedir (Çizelge3.10).



Şekil 3.7 Beton döküm aşamaları.



Şekil 3.8 SD,UK ve YFC Katkılı 7x7x7 cm küp numuneler

Taze betonun işlenebilirliğini belirlemek amacıyla TS EN 12350-2'ye göre abraham hunisi metodu yardımıyla kıvamı saptanmıştır. Slump deneyin de taze betonun kesik huni şeklindeki kaba konup, ardından da yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra taze betonda oluşan çökme mesafesi betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılmıştır (Şekil 3.9)



Şekil 3.9. **a:**Huniye malzeme yerleştirilmesi; **b:**Malzemenin yavaşça çekilmesi; **c ve d:**Çökme miktarının ölçülmesi

Deney tamamladıktan sonra DDA'da çökme 80 mm (S2 sınıfı) ve MKA'da 60 mm (S2 sınıfı) kıvam değerleri TS EN 206-1'e göre belirlenmiştir (Çizelge 3.11).

Çizelge 3.11 Çökme sınıfları (TS EN 206-1)

Sınıf	Çökme (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	>220

3.2.2. Taze betonda birim ağırlık deneyi

Taze betonun birim ağırlığının tespiti amacıyla elde edilen beton TS EN 12350-6'ya göre silindirik ölçme kabına üç katman halinde yerleştirilmiş, yerleştirilen katmanlar sırasıyla 25'er kez şişlenmiş ve Şekil 3.10'da gösterildiği gibi beton yüzeyinin düzeltilip ölçme kabının silinmesiyle beton dolu kap tartılmıştır. Brüt ağırlıktan kabın tara ağırlığının çıkarılması sonucu kaptaki betonun net ağırlığı (W_n) tayin edilmiş, silindirik kabın hacmine bölünmesiyle de betonun birim ağırlığı bulunmuştur.



Şekil 3.10 Beton birim ağırlığının belirlenmesi

Taze betonun birim ağırlığı (B) aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$B=W_n/V_k$$

Burda;

B=Taze betonun birim ağırlığı, kg/m^3

W_n =Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı, kg

V_k =Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmidir, m^3

DDA'da taze betonun birim ağırlığı $2552 kg/m^3$ ve MKA'da taze betonun birim ağırlığı ise $2450 kg/m^3$ hesaplanmıştır.

3.2.3. Numunelere uygulan kür

Betonda istenilen hedef dayanıma hidratasyonun devamı ile ulaşmak için betona kür işlemi uygulanmıştır. Hazırlanan küp numuneler kalıplarından alınarak, deney anına kadar (7, 28, 90 gün) $23 \pm 1.7 ^\circ C$ sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 Beton numunenin kalıptan çıkarılması ve kür havuzuna konması

3.2.4. Ultrases hız ölçümleri

Ultrases cihazının önce sıfır ayarı yapılarak kalibre edilmiş ve beton numunelerin karşılıklı her iki tarafına gres yağı sürülüp ses geçirme süreleri mikrosaniye olarak ölçülmüştür (Şekil 3.12).

Numunelerin bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın diğer yüzeyine ne kadar sürede geçtiği ölçüldükten sonra, dalga hızı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$V = \frac{S}{t} \times 10^3$$

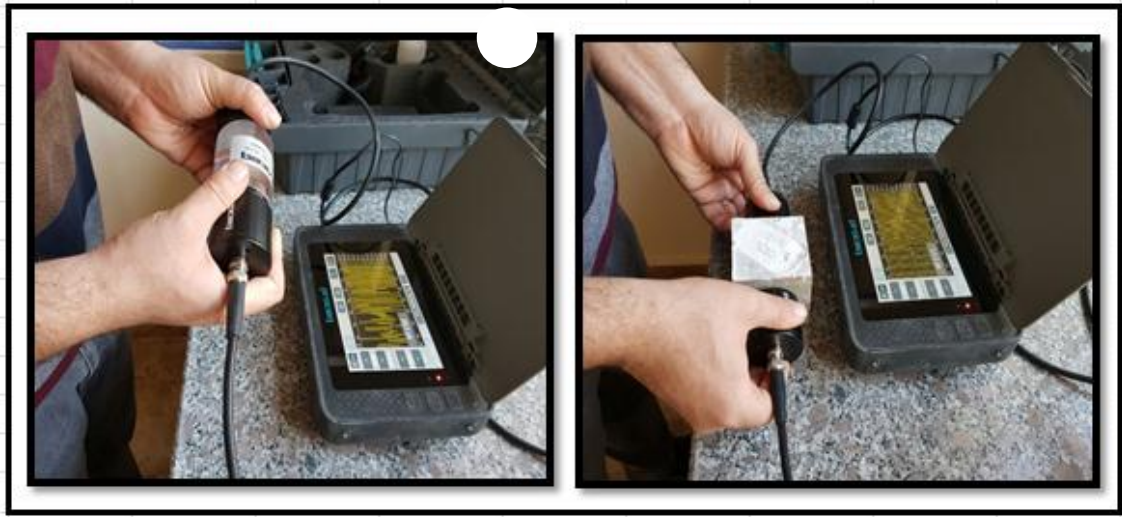
Burada;

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.

Ultras ses ölçümlerinde ilk olarak 15x15x15 cm boyutlarındaki DDA ve MKA ile hazırlanmış örneklerin her birinden 9 adet olmak üzere toplam 18 adet numunenin 7, 28 ve 90 gün sonundaki ultras ses ölçümleri kıyaslanmıştır (Çizelge 4.3 ve Şekil 4.2). Sonraki aşamada ise 7x7x7 cm boyutlarında şahit numune ile %10,%20 ve %30 katkı SD, UK ve YFC katkı her birinden 27 şer adet olmak üzere toplam 90 adet küp numunenin 7,28 ve 90 gün sonundaki ultras ses hız ölçümleri karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3).



Şekil 3.12 Sertleşmiş betonda ultras ses hız ölçümü

3.2.5.Schmidt çekici ile beton yüzeyin sertliğinin bulunması

Schmidt çekici ile beton yüzey sertliği ölçümleri TS 3260 Standardına göre yapılmıştır. Deneyde N tipi Schmidt çekici kullanılmıştır (Şekil 3.13). 28 ve 90 gün süre ile kür edilen MKA ve DDA ile üretilmiş 15x15x15 cm boyutlarındaki küp numunelerden her yaş için 3'er adet toplamda 12 adet numuneye kür uygulaması sonrasında yüzey sertliği ölçümleri yapılmıştır. Her bir numune kuru yüzey doygun (KYD) halde iken 10 farklı noktadan okumalar gerçekleştirilmiş ve bu değerlerin ortalaması alınmıştır (Çizelge 4.5 ve Şekil 4.4).



Şekil 3.13 Sertleşmiş betonda Schmidt çekici ile beton yüzey sertliği ölçümü

3.2.6. Basınç deneyi

Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici değerleri belirlenen 18 adet beton örneği Şekil 3.14'deki gibi önce kırım esnasında 200 tonluk basınç presinde TS EN 12390-uygun olarak 6 kgf/cm².sn'lik sabit bir yükleme hızında yükleme işlemine tabi tutulmuş ve bilgisayar üzerinden okunan en yüksek gerilme değeri okunmuştur. Okunan değer P (N), basınç kuvvetinin uygulandığı alan A (mm²) olmak suretiyle basınç dayanım değerleri f_c (MPa) olarak $f_c = P/A$ bağıntısından hesaplanmıştır.



Şekil 3.14 Sertleşmiş betonun basınç dayanım değerleri ölçümü

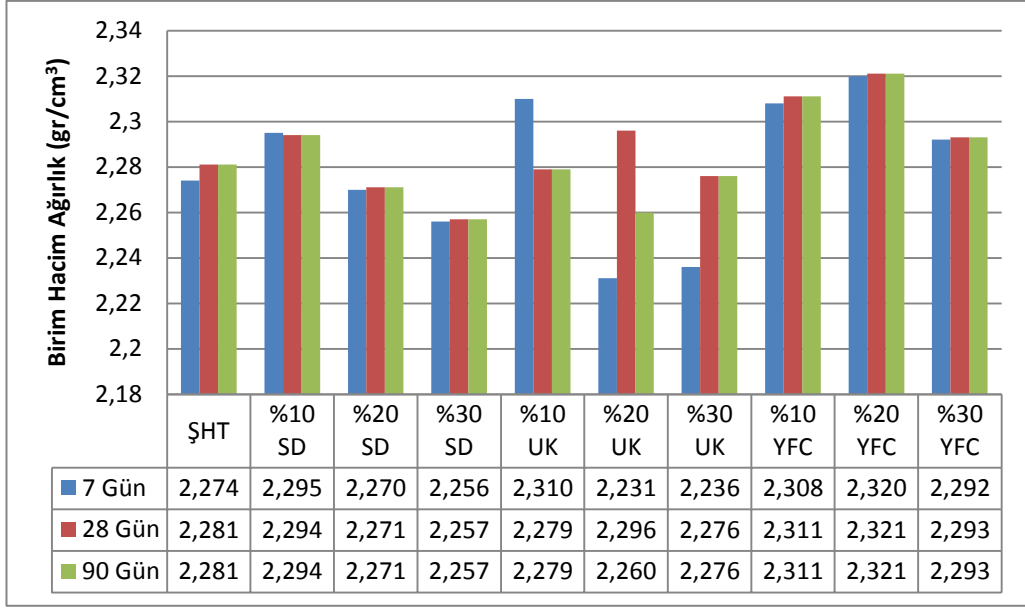
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Beton Birim Ağırlıkları

Katkılı mermer kırmataş agregaları ile üretilen betonların deney başında ağırlıkları tartılarak belirlenmiş ve belirlenen ağırlıkların örnek hacmine bölünmesi ile birim ağırlıklar belirlenmiştir (Çizelge 4.1). 7, 28 ve 90 günlük şahit beton numunelerin ortalama beton birim ağırlıkları sırasıyla 2.274 gr/cm^3 , 2.281 gr/cm^3 ve 2.274 gr/cm^3 bulunmuştur. Beton numunelerin ortalama beton birim hacim ağırlığı %10 SD katkılı beton için 7 günlük 2.295 gr/cm^3 , 28 günlük 2.294 gr/cm^3 , 90 günlük 2.294 gr/cm^3 . %20 SD katkılı beton için 7 günlük 2.270 gr/cm^3 , 28 günlük 2.271 gr/cm^3 , 90 günlük 2.271 gr/cm^3 , %30 SD katkılı beton için 7 günlük 2.256 gr/cm^3 , 28 günlük 2.257 gr/cm^3 , 90 günlük 2.257 gr/cm^3 bulunmuştur. %10 UK katkılı beton için 7 günlük 2.310 gr/cm^3 , 28 günlük 2.279 gr/cm^3 , 90 günlük 2.279 gr/cm^3 %20 UK katkılı beton için 7 günlük 2.231 gr/cm^3 , 28 günlük 2.296 gr/cm^3 , 90 günlük 2.296 gr/cm^3 . %30 UK katkılı beton numune için ortalama 7 günlük 2.236 gr/cm^3 , 28 günlük 2.276 gr/cm^3 , 90 günlük 2.276 gr/cm^3 bulunmuştur. %10 YFC katkılı beton için 7 günlük 2.308 gr/cm^3 , 28 günlük 2.311 gr/cm^3 90 günlük 2.310 gr/cm^3 , %20 YFC katkılı beton için 7 günlük 2.320 gr/cm^3 , 28 günlük 2.321 gr/cm^3 , 90 günlük 2.321 gr/cm^3 %30 YFC katkılı için 7 günlük 2.292 gr/cm^3 , 28 günlük 2.293 gr/cm^3 , 90 günlük ise 2.293 gr/cm^3 bulunmuştur. Sonuçlar topluca Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. %10, %20 ve %30 oranında SD, UK ve YFC katkılı betona ait birim hacim ağırlık değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort.	Değer	Ort.	Değer	Ort.
ŞHT	2.322		2.309		2.322	
	2.256	2.274	2.269	2.281	2.256	2.274
	2.244		2.266		2.244	
SD %10	2.288		2.282		2.288	
	2.255	2.295	2.258	2.294	2.255	2.296
	2.343		2.343		2.346	
SD %20	2.264		2.267		2.264	
	2.259	2.270	2.265	2.271	2.262	2.270
	2.287		2.283		2.296	
SD %30	2.249		2.252		2.248	
	2.267	2.256	2.267	2.257	2.267	2.257
	2.253		2.253		2.256	
UK %10	2.342		2.264		2.339	
	2.325	2.310	2.337	2.279	2.327	2.312
	2.264		2.237		2.270	
UK %20	2.289		2.281		2.288	
	2.196	2.231	2.321	2.296	2.193	2.229
	2.208		2.287		2.205	
UK %30	2.197		2.340		2.197	
	2.199	2.360	2.147	2.276	2.199	2.236
	2.312		2.342		2.312	
YFC %10	2.290		2.292		2.296	
	2.338	2.308	2.338	2.311	2.335	2.310
	2.296		2.301		2.299	
YFC %20	2.306		2.303		2.306	
	2.338	2.320	2.338	2.321	2.335	2.320
	2.315		2.322		2.319	
YFC %30	2.309		2.312		2.315	
	2.307	2.292	2.307	2.293	2.310	2.296
	2.260		2.260		2.264	



Şekil 4.1. %10, %20 ve %30 oranında SD, UK ve YFC katkıli betona ait birim hacim ağırlık değerleri

4.2. Ultrases Hız Değerleri

Çalışmada 2 farklı boyutta üretilen betonlarda tahribatsız yöntemlerden ultrases boyuna dalga hızı ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İlk olarak 15x15x15 cm boyutlarında MKA ve DDA ile yapılan betonlarda sonrasında 7x7x7 cm boyutlarında SD, UK ve YFC katkıli betonlar üzerinde ultrases hız (V_p) ölçümleri bulunmuştur (Çizelge 4.3).

MKA için V_p değeri 7 günlük ortalama 4,45 km/sn, 28 günlük 4,36 km/sn ve 90 günlük için 4,31 km/sn olarak, DDA için ise 7 günlük ortalama 4,17 km/sn, 28 günlük 4,44 km/sn ve 90 günlük için 4,56 km/sn olarak ölçülmüştür (Şekil 4.2).

Whitehurst (1951) tarafından ultrases geçiş hızları ile beton kalitesinin değerlendirilmesi Çizelge 4.2’de yapılmıştır.

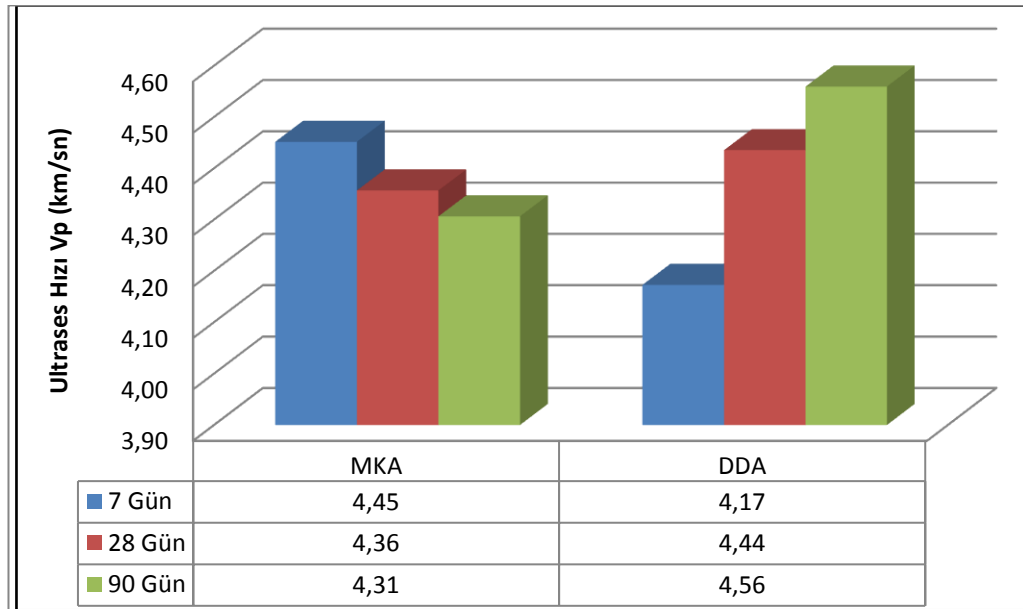
Çizelge 4.2 Ultrases geçiş hızı yöntemiyle beton kalitesinin değerlendirilmesi (Whitehurst 1951)

Çok İyi	>4,5km/s
İyi	3,5–4,5 km/s
Şüpheli	3–3,5 km/s
Zayıf	2–3 km/s
Çok Zayıf	<2 km/s

Çizelge 4.3. DDA ve MKA ya ait ultrases hız (Vp) değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort	Değer	Ort	Değer	Ort
MKA	4,47		4,31		4,28	
	4,38	4,45	4,39	4,36	4,31	4,31
	4,49		4,36		4,32	
DDA	4,18		4,34		4,55	
	4,27	4,17	4,55	4,44	4,54	4,56
	4,05		4,40		4,57	

Whitehurst (1951)'e göre DDA ve MKA ya ait ultrases hız değerleri genellikle 3.5-4.5 km/sn aralığı ile “iyi” beton kalitesinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.2. DDA ve MKA ya ait ortalama ultrases hız (Vp) değerleri

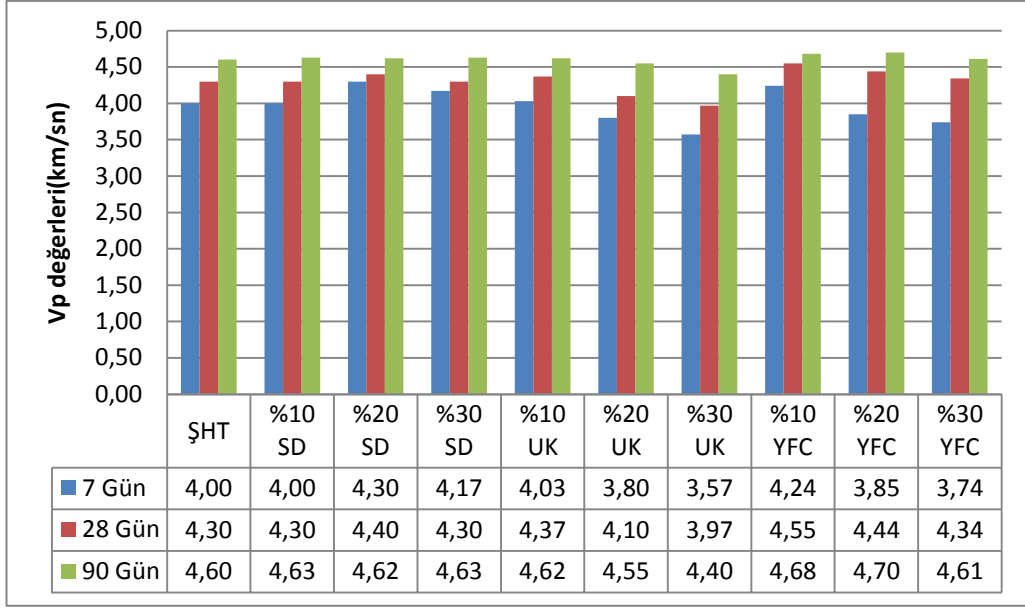
ŞHT numune için ortalama Vp değerleri 7 günlük 4,00 km/sn, 28 günlük 4,30 km/sn, 90 günlük ise 4,60 olarak bulunmuştur. %10 SD katkılı için 7 günlük 4,00 km/sn, 28 günlük 4,30 km/sn, 90 günlük ise 4,60 km/sn, %20 SD katkılı için 7 günlük 4,20 km/sn, 28 günlük 4,30 km/sn, 90 günlük ise 4,62 km/sn, %30 SD katkılı için 7 günlük 4,17 km/sn, 28 günlük 4,30 km/sn, 90 günlük ise 4,63 km/sn, %10 UK katkılı için 7 günlük 4,03 km/sn, 28 günlük 4,37 km/sn, 90 günlük ise 4,62 km/sn, %20 UK katkılı için 7 günlük 3,80 km/sn, 28 günlük 4,10 km/sn, 90 günlük ise 4,55 km/sn, %30 UK katkılı için 7 günlük 3,57 km/sn, 28 günlük 3,97 km/sn, 90 günlük ise 4,40 km/sn, %10 YFC katkılı için 7 günlük 4,24 km/sn, 28 günlük 4,55 km/sn, 90 günlük ise 4,68

km/sn, %20 YFC katkılı için 7 günlük 3,85 km/sn, 28 günlük 4,44 km/sn, 90 günlük ise 4,70 km/sn, %30 YFC katkılı için 7 günlük 3,74 km/sn, 28 günlük 4,34 km/sn, 90 günlük ise 4,61 km/sn olarak ölçülmüştür (Çizelge 4.4 ve Şekil 4.3).

Whitehurst (1951)'e göre DDA ve MKA ya ait ultrases hız değerleri genellikle 3.5-4.5 km/sn aralığı ile “iyi” beton kalitesinde olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.4. SD, UK ve YFC ye ait ultrases hız (Vp) değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort	Değer	Ort	Değer	Ort
ŞHT	4,00		4,30		4,67	
	4,00	4,00	4,30	4,30	4,59	4,60
	4,00		4,30		4,53	
SD %10	4,30		4,40		4,61	
	4,20	4,20	4,30	4,30	4,61	4,63
	4,10		4,20		4,67	
SD %20	4,30		4,40		4,61	
	4,30	4,30	4,40	4,40	4,62	4,62
	4,30		4,40		4,62	
SD %30	4,20		4,30		4,67	
	4,20	4,17	4,30	4,30	4,61	4,63
	4,10		4,30		4,62	
UK %10	4,10		4,40		4,64	
	4,00	4,03	4,30	4,37	4,62	4,62
	4,00		4,40		4,59	
UK %20	3,80		4,20		4,64	
	3,80	3,80	4,00	4,10	4,50	4,55
	3,80		4,10		4,52	
UK %30	3,50		3,90		4,40	
	3,60	3,57	3,90	3,97	4,44	4,40
	3,60		4,10		4,35	
YFC %10	4,32		4,46		4,65	
	4,28	4,24	4,67	4,55	4,71	4,68
	4,12		4,52		4,68	
YFC %20	3,85		4,43		4,79	
	4,07	3,85	4,49	4,44	4,53	4,70
	3,63		4,39		4,78	
YFC %30	3,83		4,28		4,58	
	3,66	3,74	4,38	4,34	4,61	4,61
	3,74		4,38		4,65	



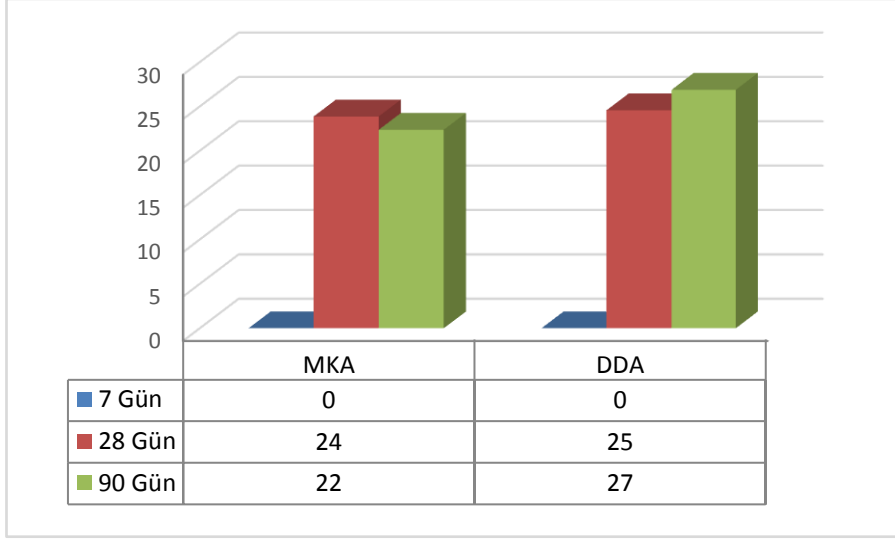
Şekil 4.3. SD, UK ve YFC ye ait ultrases hız (Vp) değerleri

4.3. Beton Schmidt Çekici Yüzey Sertliği Değerleri

Çalışmada 15x15x15 boyutlarında üretilen betonlarda yüzey sertliği değerleri ölçülmüştür (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5. DDA ve MKA ya ait yüzey sertliği değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort.	Değer	Ort.	Değer	Ort.
MKA	--		24		22	
	--	--	24	24	22	22
	--		23		23	
DDA	--		25		26	
	--	--	24	25	28	27
	--		25		26	



Şekil 4.4. DDA ve MKA ya ait yüzey sertliği değerleri

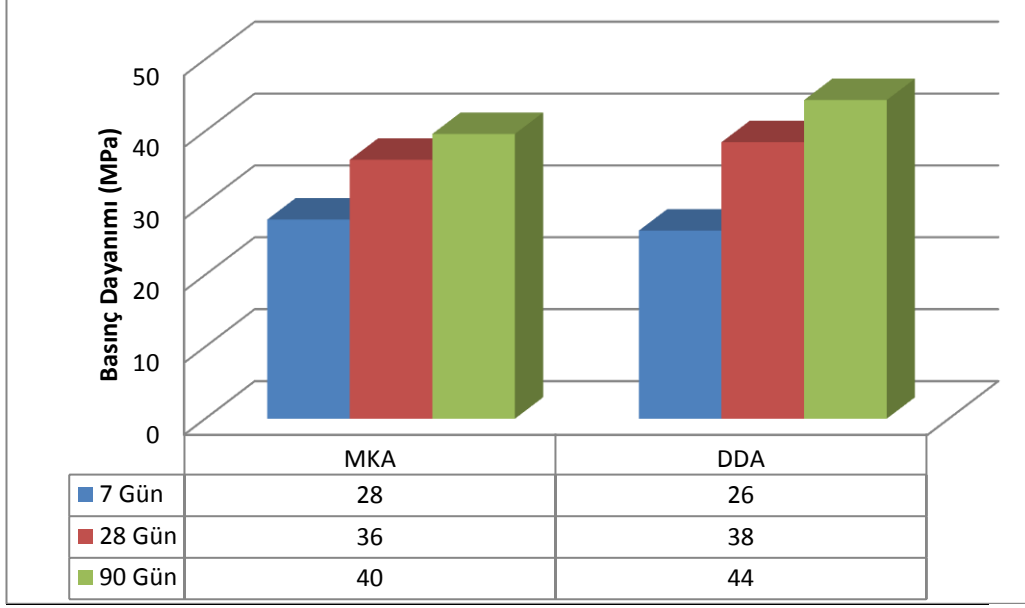
Yüzey sertliği değeri olarak en yüksek değere 90 gün sonunda DDA ile üretilmiş betonda ulaşılmıştır (Şekil 4.4).

4.4. Beton Basınç Deneyi Değerleri

2 farklı boyutta üretilen betonlardan öncelikle 15x15x15 cm boyutlarında MKA ve DDA ile yapılan betonlarda basınç dayanım deneyi yapılmış (Çizelge 4.6), sonrasında 7x7x7 cm boyutlarında SD, UK ve YFC katkılı betonlar üzerinde basınç dayanım deneyleri yapılmıştır (Çizelge 4.7-4.9).

Çizelge 4.6 DDA ve MKA'ya basınç dayanım değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort	Değer	Ort	Değer	Ort
MKA	29,60		32,53		41,33	
	25,76	28	39,11	36	36,19	40
	27,67		36,40		41,30	
DDA	29,86		37,79		39,80	
	27,85	26	36,81	39	48,99	44
	20,73		40,76		44,14	

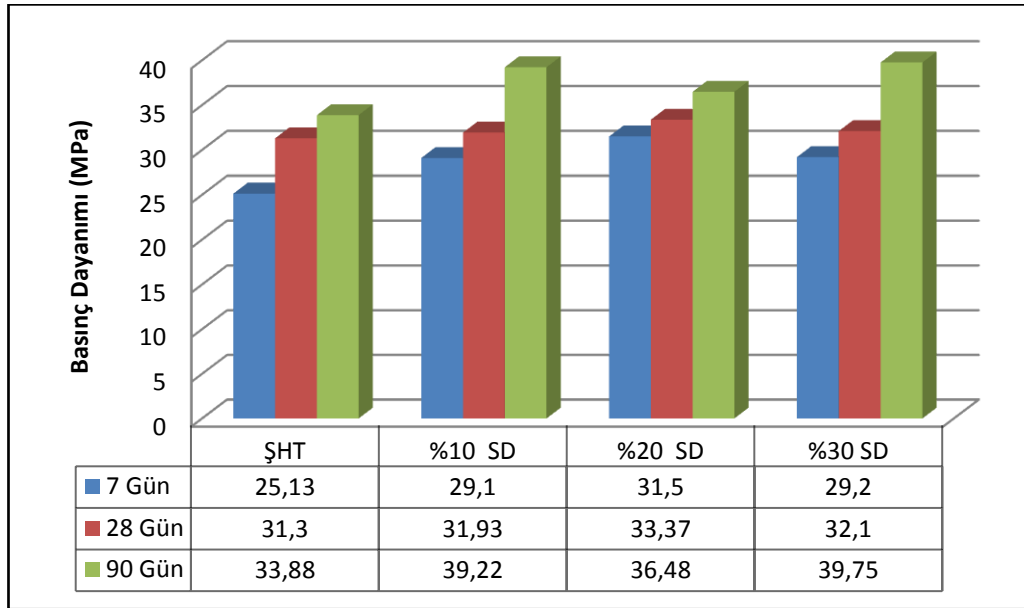


Şekil 4.5. DDA ve MKA ya ait basınç dayanım değerleri

Doğal dere agregası ve mermer kırmataş agregalar ile üretilen betonlarda basınç dayanım değerleri doğal dere agregasında mermer kırmataş agregalı betondan daha yüksek çıkmıştır. Doğal dere agregası çoğunlukla silisli agregalardan oluştuğundan agregaların yoğunluk ve dayanım değerleri mermer kırmataş (kalker kökenli) agregalardan daha yüksek olduğundan beton dayanım değerleri de bu paralellikte çıkmıştır. Silis kökenli agregalarda aktif silisin bulunması durumunda çimento alkalileri ile reaksiyona girmesi durumunda Alkali Silis Reaksiyonu (ASR) oluşma ihtimali söz konusudur. Bu nedenle doğal dere agregalarının bu ASR riskinin olup olmadığı ayrıca belirlenmelidir. Bu riskin mevcudiyeti nedeniyle mermer kırmataş (kalker kökenli) agregalar tercih edilmiş ve bu agregalara katkı kullanılarak farklı beton üretimleri gerçekleştirilmiştir. Hedeflenen basınç dayanımları hem DDA ve hem de MKA' da sağlanmıştır (Şekil 4.5).

Çizelge 4.7 %10,%20 ve %30 oranında silis dumanı katkılı betona ait basınç dayanım değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort	Değer	Ort	Değer	Ort
ŞHT	24,8		30,5		34,3	
	25,3	25,13	31,7	31,30	33,9	33,88
	25,3		31,7		33,4	
SD %10	32,3		33,6		39,5	
	28,8	29,10	32,3	31,93	38,4	39,22
	26,2		29,9		39,7	
SD %20	30,5		33,6		37,2	
	31,7	31,5	33,6	33,37	35,9	36,48
	32,3		32,9		36,3	
SD %30	29,9		31,7		40,4	
	29,9	29,2	32,3	32,10	39,0	39,75
	27,8		32,3		39,8	



Şekil 4.6. %10,%20 ve %30 oranında silis dumanı katkılı betona ait basınç dayanım değerleri

Öncelikle MKA ile üretilen silis dumanı katkılı betonların özelliklerini incelenmiştir. Bu amaçla 432,69 kg çimento dozajı olan silis dumanlı ve şahit beton karışımları hazırlanmıştır. Şahit betonunun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları belirlendikten sonra silis dumanı katkılı kütlece %10 , %20 ve %30 ikame oranlarında hazırlanan SD katkılı betonun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları bulunmuş

(Çizelge 4.7) ve uygun miktarda silis dumanı miktarı ile dayanım etkisi araştırılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilen bulgular aşağıda özetlenmiştir.

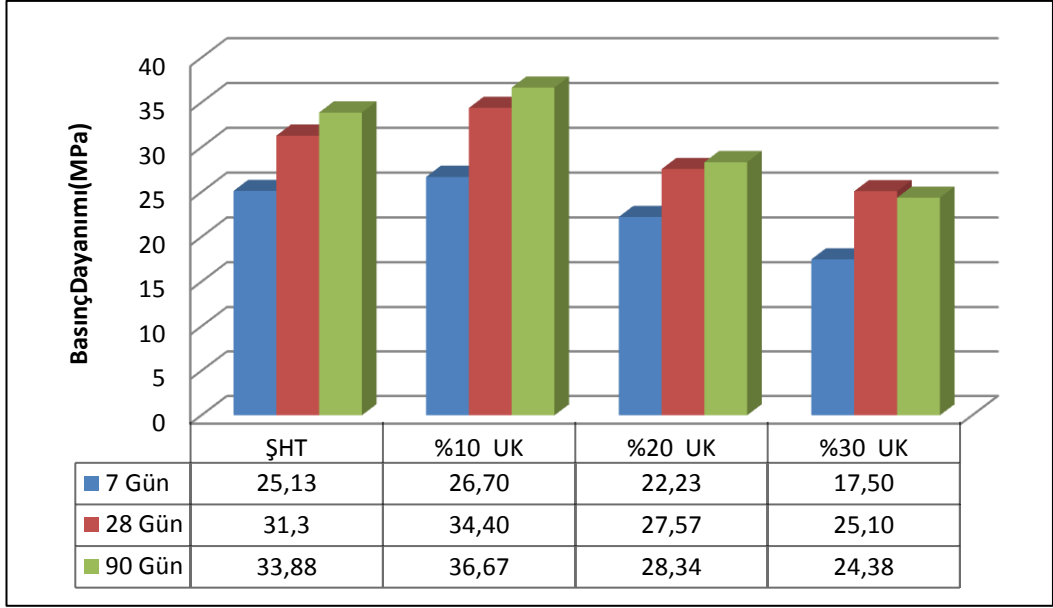
Şahit numuneye göre; Betonda çimento yerine kullanılan Silis Dumanı katkısının 7 günlük beton numune için dayanım olarak en iyi sonuç verdiği aralık %20 silis dumanı katkılı beton olduğu, 28 günlük beton numune için dayanım olarak en iyi sonuç verdiği aralık yine %20 silis dumanı katkılı beton olduğu, 90 günlük beton numune için dayanım olarak en iyi sonuç verdiği aralık %30 silis dumanı katkılı beton olduğu gözlemlenmiştir.

Neticede çimento yerine kullanılan silis dumanı katkısının en iyi 90 gün sonundaki %30 oranında olduğu yapılan deneysel çalışmalar sonucunda gözlenmiştir. %30'a kadar kütlece çimento ile yer değiştirilmiş silis dumanı katkılı betonun katkısız betona göre daha yüksek basınç dayanımına ulaştığı saptanmıştır.(Şekil 4.6) Silis dumanı katkılı betonun, ekonomik ve ekolojik faydaların elde edilebileceği kanaati oluşmuştur.

Çizelge 4.8 ve şekil 4.7'de %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül katkılı betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç değerleri verilmiştir (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül katkılı betona ait basınç dayanım değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort	Değer	Ort	Değer	Ort
ŞHT	24,8		30,5		34,3	
	25,3	25,13	31,7	31,30	33,9	33,88
	25,3		31,7		33,4	
UK %10	28,2		35,5		38,1	
	25,2	26,7	32,9	34,40	36,9	36,67
	26,7		34,8		35,0	
UK %20	22,1		29,3		28,0	
	22,1	22,23	26,2	27,57	28,1	28,34
	22,5		27,2		28,9	
UK %30	16,4		24,3		23,7	
	18,4	17,50	23,8	25,10	25,5	24,38
	17,7		27,2		23,9	



Şekil 4.7. %10, %20 ve %30 oranında uçucu kül katkılı betona ait basınç dayanım değerleri

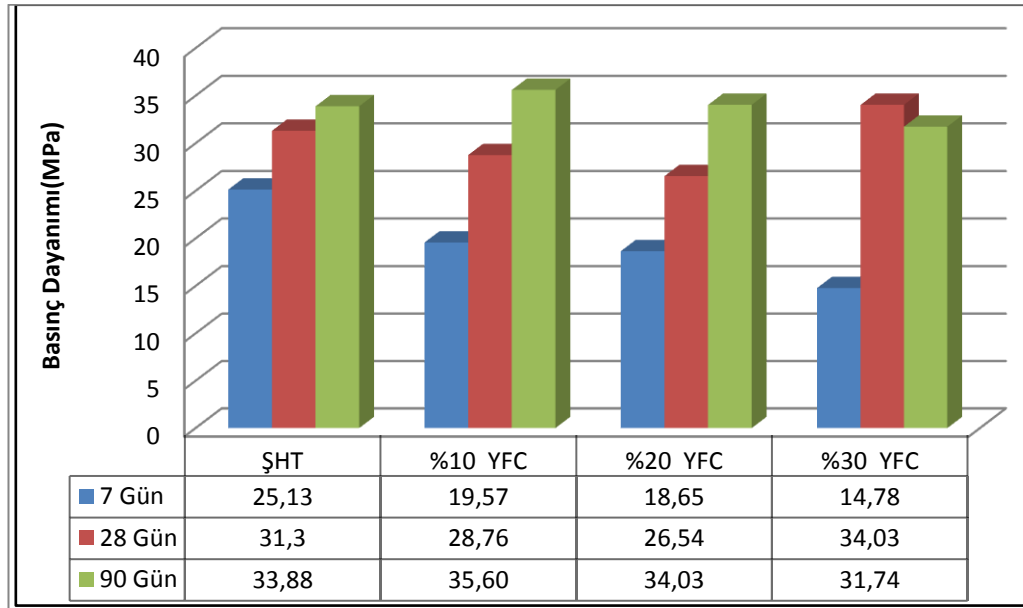
Araştırmada 432,69 kg çimento dozajlı uçucu küllü ve uçucu külsüz beton karışımları hazırlanmıştır. Uçucu kül katkısı olmayan kontrol betonunun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları ile çimento ve uçucu külün kütlece %10 , %20 ve %30 ikame oranlarında yer değiştirilmiş betonun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları karşılaştırılarak optimum uçucu kül miktarı ve bunun dayanıma etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Betonda çimento yerine kullanılan uçucu külün en iyi sonucu %0-%10 aralığında verdiği yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. %10 a kadar kütlece çimento ile yer değiştirilmiş uçucu kül katkılı betonun katkısız betona göre daha yüksek basınç dayanımına ulaşabileceği bulunmuş olup, uçucu kül katkılı betonların kullanılabilmesi ve bu sayede ekonomik ve ekolojik faydaların elde edilebileceği kanaati oluşmuştur (Çizelge 4.8 ve Şekil 4.7).

%10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu katkıli betonların 7, 28 ve 90 günlük basınç değerleri Çizelge 4.9 ve Şekil 4.8’de verilmiştir.

Çizelge 4.9. %10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu katkıli betona ait basınç dayanım değerleri

Örnek No	7 Gün		28 Gün		90 Gün	
	Değer	Ort	Değer	Ort	Değer	Ort
ŞHT	24,8		30,5		34,3	
	25,3	25,13	31,7	31,30	33,9	33,88
	25,3		31,7		33,4	
YFC %10	21,06		29,08		35,4	
	17,22	19,57	28,45	28,76	36,0	35,6
	20,43		28,76		35,3	
YFC %20	17,27		25,63		35,9	
	20,43	18,65	27,02	26,54	29,8	34,03
	18,24		26,98		36,5	
YFC %30	15,14		22,45		32,6	
	14,67	14,78	22,31	22,54	31,2	31,74
	14,53		22,86		31,4	

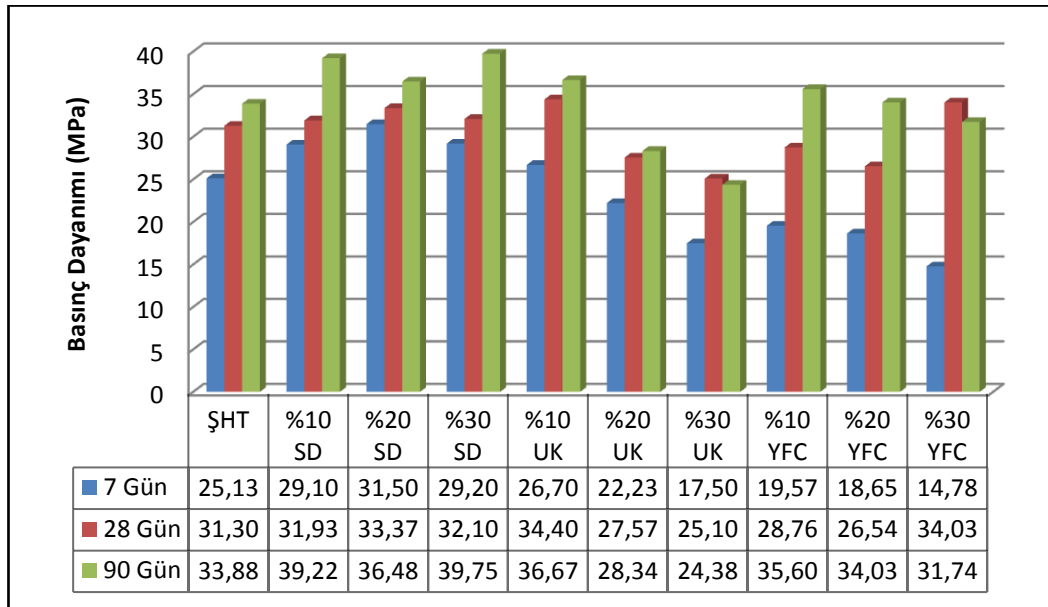


Şekil 4.8. %10, %20 ve %30 oranında yüksek fırın cürufu katkıli betona ait basınç dayanım değerleri

Çalışmada çimentoyla 432,69 kg dozajında YFC katkıli ve katkısiz beton karışımları hazırlanmıştır. YFC katkısı olmayan kontrol betonunun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları ile çimento ve YFC nin kütlece %10 , %20 ve %30 ikame

oranlarında yer değiştirilmiş betonun 7, 28 ve 90 günlük küp basınç dayanımları karşılaştırılarak optimum YFC miktarları ve bunun dayanıma etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Betonda çimento yerine kullanılan yüksek fırın cürufunun 7 ve 90 gün için en iyi sonucu %0-%10 aralığında verdiği, 28 gün için ise en iyi sonucu %20-%30 aralığında verdiği yapılan deneysel çalışmalar sonucunda elde edilmiştir. 7 ve 28 gün için %10 a kadar 90 gün için ise %30 a kadar kütlece çimento ile yer değiştirilmiş Yüksek Fırın Cürufu katkılı betonun katkısız betona göre daha yüksek basınç dayanımına ulaşabileceği bulunmuş olup, Yüksek Fırın Cürufu katkılı betonların kullanılabilmesi ve bu sayede ekonomik ve ekolojik faydaların elde edilebileceği kanaati oluşmuştur.



Şekil 4.9. Şahit numunenin %10,%20 ve %30 katkılı SD, UK ve YFC ye göre 7,28 ve 90 günlük dayanımları

Sonuç olarak %10,%20 ve %30 katkılı SD, UK ve YFC katkılı betonlar şahit numuneye göre 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları tek grafik altında incelenmiş (Şekil 4.9) ve aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır;

Katkılı betonların katkısız betonlara göre dayanımlarının genellikle yüksek olduğu görülmüş SD, UK ve YFC içinde dayanım olarak en iyi sonuçlara SD katkılı betonlarda ulaşıldığı sonucuna varılmıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Mermer atıklarının beton agregası olarak kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada öncelikle mermer kırmataş agregalı betonlar ile doğal dere agregalı betonların tahribatlı ve tahribatsız deneyleri karşılaştırılmıştır. Sonrasında mermer kırmataş agregalı betonlar SD, UK ve YFC katkıları ile karşılaştırmalar yapılmıştır.

Mermer kırmataş agregalı betonlar (MKA) ile doğal dere agregalı (DDA) betonlardan elde edilen bulgular;

- Ultrases hız değerlerine göre beton kalitesi DDA ve MKA için genellikle 3.5-4.5 km/sn aralığı ile “iyi” beton kalitesinde olduğu,
- MKA ve DDA ile yapılan betonlara Schmidt çekici yüzey sertliği değerleri 28 günlük örneklerde MKA’da 24, DDA’da 25 olarak oldukça yakın değerler olduğu,
- DDA ve MKA’da 28 günlük basınç dayanım değerleri hedeflenen dayanımına (C25/30) her iki agregadan oluşan betonlarda ulaşılmış (MKA’da 36 MPa, DDA’da 39 MPa),
- Mermer kırmataş agregalı (MKA) betonlar ile doğal dere agregalı (DDA) betonların dayanım hedeflerine ulaşılmış olmasına rağmen doğal agrega ile üretilen betonlarda agregalarda yüksek oranda silis (%22.4) bulunmasından dolayı alkali silis reaksiyonu oluşturup oluşturmayacağı test edilerek araştırılmalıdır.

Mermer kırmataş agregalı betonlara ikame edilen SD, UK ve YFC katkılarından üretilen örneklerden 7, 28 ve 90 gün sonunda elde edilen bulgular;

- Birim hacim ağırlıklar, şahit numuneler ile kıyaslanmış, SD, UK ve YFC katkılı betonda en yoğun aralığa ($2,360 \text{ gr/cm}^3$) %30 oranında ikame edilmiş UK katkılı betonda olduğu,
- Ultrases hız değerlerinde en yüksek hız değerine %20 YFC’ de (4,70 km/sn) ulaşıldığı,
- SD, UK ve YFC katkılı betonlarda basınç dayanım değerlerine hedef dayanımına (C25/30) neredeyse tüm katkılı betonlarda ulaşılmış olup en iyi sonuç verdiği aralık ise 40 MPa basınç dayanımı ile %30 SD ikameli betonda olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- ACI Committee 226, (1987). "Guide For the Use of Silica Fume in Concrete", American Concrete Institute, Farmington Hills.
- ACI Committee 234, (2000). "Guide For the Use of Silica Fume in Concrete", American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Akbulut, H., Güner, C., (2003). "Mermer atıklarının Çevresel etkileri ve Yol Katmanlarında kullanarak faydalanma ve atık azaltma imkanları" Türkiye IV. Mermer Sempozyumu Bildiriler Kitabı 18-19 Aralık 2003.
- Atış, C. D., (2000). Yüksek Oranda Uçucu Kül Kullanımı İle Üretilen Betonun Aşınma Direnci. İMO Teknik Dergi, 11(45):2217-2230.
- Atış, C. D., (2003a). "Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Çimento Tabanlı Malzemeler İçinde Kullanılabilirliğinin Rötire ve Dayanım Ölçümleri ile Araştırılması", Çukurova Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, 18.
- Atış, C. D., (2005). "Strength properties of high-volume fly ash roller compacted and workable concrete, and influence of curing condition", Cement And Concrete Research, vol.35, pp.1112-1121
- Atış, C. D., Kılıç, A., Sevim, U. K., (2004). Strength and Shrinkage Properties of Mortar Containing a Nonstandard High Calcium Fly Ash Cement and Concrete Research.
- Atış, C. D., Tartıcı, H., Sevim, U.K., Özcan, F., Akçaözoğlu, K., Yüzgeç, C., (2002). Afşin Elbistan Uçucu Külünün Beton Katkısı Olarak Kullanılabilirliği. Beşinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, s.161-168.
- Baalbaki, M. Sarker, S.L., Aıtcın, P.C., ve Isabelle, H., (1992). Properties and Microstructure of High Performance Concretes Containing Silica Fume, Slag and Fly Ash. ACI SP-132. 2, 921-942.
- Başığit, C., (1993). Yüksek Oranda, Yüksek Kalsiyumlu Uçucu Kül katılmasının beton özelliklerine etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta, 230 s.
- Bayazıt, Ö. L., (1980). Tunçbilek Uçucu Küllerinin Betonun Fiziko Kimyasal ve Mekanik Özelliklerine Etkileri, Doktora Tezi, ADMMA.

- Bentur, A ve Goldman, A., (1989). "Curing Effects, Strength and Physical Properties of High Strength Silica Fume Concretes", J. Materials in Civil Engineering, V.1, N.11, 46-58.
- Bilim, C., (2001). Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton İçinde Kullanılabilirliği ve Hızlandırılmış Kür Uygulaması. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antakya, 128s.
- Burge, T. A., (1983) . High Strength Lightweight Concrete with Condensed Silica Eume. ACI SP-79. 1, 731-745.
- Burge, T. A., (1983) . High Strength Lightweight Concrete with Condensed Silica Eume. ACI SP-79. 1, 731-745.
- Carette G. G. ve Malhotra, V. M., (1992). Long-Term Strength Development of Silica Fume Concrete. ACI SP-132. 2, 1017-1044.
- Ceylan, H., Mança, S., (2013). "Mermer Parça Atıklarının Beton Agregası olarak Değerlendirilmesi" Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Bilimler Dergisi Cilt:3 Sayı:2 Sayfa:21-25.
- Cheng, A., Huang, R., Wu, J. K., Chen, C. H., (2005). Influence of Ground Granulated Blast Furnace Slag on Durability and Corrosion Behavior of Reinforced Concrete. Materials Chemistry and Physics, Vol. 93, pp. 404–411.
- Çavuş, U. Ş., (2015). "Mermer Parça Atıklarının Taşkın Koruma ve Akarsu Yatakları İslah Yapılarında Kullanımı" Araştırma Makalesi-AKÜ FEMÜBİD 15(2015) 025603(19-28).
- Çetin, A., (1997). "Endüstriyel Atıkların Asfalt Beton Kaplama Karışımında Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Eskişehir.
- De Rezende, R. L., and De Carvalho, (2003). The Use of Quarry Waste in Pavement Construction, Resources, Conservation and Recycling, Vol.39, pp.91-105,
- Demiryürek, B. E., (2007). Türkiye’de Hazır Beton Sektörü ve Sektördeki Büyüme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Diñcer, A., (2013). Pomza, silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılı betonun durabilite özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Sütçü İmam Üniversitesi, Kahramanmaraş.

- EİE, (1982). "Türkiye uçucu küllerinin özellikleri" EİE Yayını. 82. 21-28. Ankara.
- EİE, (1979). "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma Olanakları". Ankara.
- Erdoğan, M., (1995). Uçucu Küllü Betonlarda Dayanım ve Klor Geçirimsizliği. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 143s
- Erdoğan, T. Y., (2013). Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Erdoğan, T., (2003). Beton, ODTÜ Yayınları, Ankara
- Erdoğan, T., (2004). Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayınları, İstanbul.
- Gök, G., (2010). Değişik Geometrideki Betonların Basınç Dayanımlarının Çeşitli Su/Çimento Oranlarına Ve Çimento Miktarlarına Göre İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Gökçe, A., Özturan, T., (1996). Uçucu Kül Puzolanik Aktivitesi İle İlgili Bazı Mevcut Standartların Değerlendirilmesi. 4. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İTÜ Maçka Kampüsü, İstanbul, s.223-244.
- Gönen, B. C., (2012). Hazır Beton Üretiminde Kaliteyi Etkileyen Parametrelerin Spss Yöntemiyle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, N.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Güner, M. S., (1999). Malzeme Bilimi, Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Güner, M. S., (1999). Malzeme Bilimi, Yapı Malzemesi ve Beton Teknolojisi, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- Günindi, İ., (2005). Yumurtalık Sugözü Uçucu Külü İçeren Betonların Basınç, Eğilme Ve Aşınma Dayanımlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.
- Gürer, C., (2004). "Atık Mermer Parçalarının Bitümlü Yol Kaplamalarında Kullanılması" Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon Kocatepe Üniversitesi
- Holland, T.C., Krysa, A., Luthet, M.D., and Liu, T.C., (1986). Use of Silica-Fume Concrete to Repair Abrasion-Erosion Damage in the Kinzua Dam Stilling Basin. ACI SP-91. 2, 841-863.
- Huang, C. ve Feldman, R.F., (1985). "Hydration Reactions İn Portland CementSilica

- Huang, C., ve Feldman, R.F., (1985). "Hydration Reactions İn Portland Cement-Silica Fume Blends", Cement And Concrete Research, V. 15, N.4, 585-592.
- Jahren, P., (1993). Use of Silica Fume in Concrete. ACI SP-79. 1, 625-642.
- Johnston, C. D., (1992). Durability of High Early Strength Silica Fume Concretes Subjected to Accelerated and Normal Curing. Acı Sp-132. 2, 1167-1187.
- Kakızakı, M., Edahiro, H., Tochıgı, T., ve Nıkı, T., (1992). Effect of Mixing Method on Mechanical Properties and Pore Structure of Ultra High-Strength Concrete. ACI SP 132 .2 ,997-1015.
- Khayat, K. H., Aıtcın, P.C., (1992). Silica Fume in Concrete: An Overview. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. Proceedings Fourth International Conference (V. M. Malhotra editör). ACI-SP-132, İstanbul, Turkey. pp. 835-872.
- Khayat, K. H., Aıtcın, P.C., (1992). Silica Fume in Concrete: An Overview. Fly Ash, Silica Fume, Slag and Natural Pozzolans in Concrete. Proceedings Fourth International Conference (V. M. Malhotra editör). ACI-SP-132, İstanbul, Turkey. pp. 835-872.
- Koluçolak, M., (2012). Yüksek Fırın Cürufu ve Bazaltık Pomza Katkılı Beton Boruların Tepe Yüğü Dayanımları ve Durabilite Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kahramanmaraş.
- Kondo, R., Satake. M., and Ushiyama. H., (1974). Diffusion of Vaous Ions in Hardened Portland Cement. Rev. 28Th. Gen. Meeting Cem. Assoc. Japan, 41-43.
- Li, S. and Roy, D.M., (1986). "Investigations of Relations Between Porosity, Pore Structure, and Cl Diffusion of Fly Ash and Blended Cement Pastes", C&CR, 16 (5), 749-759.
- Luo, R., Cai, Y., Wang, C., Huang, X., (2003). Study of Chloride Binding and Diffusion in Ground Granulated Blast Furnace Slag Concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 33, pp. 1-7.
- Meland, L., (1983). "Influence Of Condensed Silica Fume and Fly Ash on The Heat Meland.

- Okagbue, C.O., Onyeobi, T.U.S., (1999). " Potansiyel of marble dust to Stabilise Red Tropical Soils For Road Construction", Engineering Geology, Elsevier Science, Vol:53.
- Öntürk, K., Fırat, S., Vural,I., ve Khatib, J.M., (2014). "Uçucu Kül ve Mermer Tozu kullanarak Yol Altyapısının İyileştirilmesi" Politeknik Dergisi Cilt:17,Sayı:1(Özel Sayı),s.35-42
- Özcan, M., (1997). Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 135s.
- Özcan, M., (1997). Tunçbilek ve Seyitömer Uçucu Küllerinin Beton Özelliklerine Etkisi ve Etkinlik Katsayılarının Belirlenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 135s.
- Özkul, M.H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M. ve Uyan, M., (1999). Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği, İstanbul.
- Öztok, İ., Yeğınobalı, A., (1997). Silis Dumanı ve Uçucu Kül İçeren Taşıyıcı Bimsbetonları, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması 3 Bildiriler Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Eskişehir, s.73-93.
- Postacıoğlu, B., (1986). Beton, Cilt I-II, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- Ramyar, K., (1993). Uçucu Küllerin Çimento Harcının Büzülmesine ve Betonun Karbonatlaşmasına Sebep Olan Etkileri, End Atıkların inşaat Sektöründe Kullanılması, Ankara.
- Rezende, R. I., and Carvalho, J. C., (2003). " The Use of Quarry Waste in Pavement Constructioné, Resources Conversion & Reycling, Elsevier Sience."
- Sandvick, M., ve Gjorv, O.V.F., (1992). Prediction of Strength Develeoment for Silica Fume Concrete. ACI SP-132. 2, 987-996.
- Sevim, U.K., (2003). Afşin-Elbistan Uçucu Külünün Beton ve Çimento Katkısı Olarak Kullanılabilirliğinin Çimento Hamuru ve Harçları Üzerinde Yapılacak Deneylerle Araştırılması, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- Sevsay, H., (2013). Adıyaman Mermer Endüstrisi Rekabetçilik Analizi ve Stratejik yol haritası,S.M.A.R.T.Danışmanlık tarafından Adıyaman Ticaret ve Sanayi Odası için İpekyolu Kalkınma Ajansı destekli proje.
- Şimşek, O., (2009). Beton ve Beton Teknolojisi, Seçkin Yayınevi, Ankara.

- Terzi, S., Karaşahin, M., (2003). "Mermer Toz Atıklarının Asfalt Betonu Karşımlarında Filler Malzemesi Olarak Kullanımı", TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi, Cilt 14, S.2
- Tokyay, M., ve Erdoğan, K., (2011). 'Cüruflar ve Cürüflü Çimentolar' , TÇMB Yayınları.
- Topçu, A., (2014). Betonarme I Ders Notları, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, <http://mmf2.ogu.edu.tr/atopcu>, Erişim Tarihi: 02.09.2014.
- Topçu, İ. B., (2006). Beton Teknolojisi, Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Eskişehir.
- TS 11222, (2001). Beton- Hazır Beton- Sınıflandırma, Özellikler Performans Üretim ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 500, (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Ankara.
- TS EN 206-1, (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tunçbilek, B., (1998). Effects of Turkish Fly Ashes on the Properties of Portland Cement-Fly Ash Pastes and Mortars, Y. Lisans Tezi, ODTÜ.
- Türkel, A., (2006). Betonun Basınç Dayanımına Numune Boyutunun Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Ucuşcu, T., (2010). Kendiliğinden Yerleşen Beton Dökümündeki Gecikmelerin Beton Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi Yapı Eğitimi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Ural, N., Yakşec, G.,(2015). "Atık Mermer Parçalarının Yol Temel Malzemesi Olarak Değerlendirilmesi" Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt:2, Sayı:2, 2015 ISSN: 2458-7575 (<http://edergi.bilecik.edu.tr/index.php/fbd>).
- Uysal, M., Hagan, I. A. (1993). Motivations of Pleasure Travel and Tourism. In M. Khan, M. Olsen & T. Car (Eds.), VNR's Encyclopedia of Hospitality and Tourism (pp. 798-810). New York: Van Nostrand Reinhold.
- Ünal, O., Kibici, A., (2001). "Mermer tozu atıklarının Beton Üretiminde kullanılmasının araştırılması" Türkiye III. Mermer Sempozyumu(Mersem '2001) bildiriler kitabı 3-5 Mayıs 2001 /Afyon.
- Whitehurst, E.A., (1951). Use of sonoscope for measuring setting time of concrete, Proc. ASTM, 51, 1166.

- Yalçın, H., Gürü, M., (2006). Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Yalçın, H., Gürü, M., (2006). Çimento ve Beton, Palme Yayıncılık, Ankara.
- Yardımcı, A., (2005). Santral çıkışı ile şantiye şartlarında C 20/25 ve C 25/30 hazır beton mukavemetinin karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yazıcı, Ş., Baradan, B., (1995). Uçucu Kül Katkılı Yüksek Dayanımlı Beton. Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması, Bildiriler Kitabı, Ankara, s.59-71.
- Yeau, K. Y., Kim, E. K., (2005). An Experimental Study on Corrosion Resistance of Concrete with Ground Granulated Blast-Furnace Slag. Cement and Concrete Research, Vol. 35, pp. 1391–1399.
- Yeğınobalı, A., (2002). Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği. Ankara, 64s.
- Yeğınobalı, A., Kıyıcı, B., (2000). Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği. Ankara, 64s.
- Yıldız, A. H., (2008). "Mermer Toz Atıklarının Yol İnşaatında Değerlendirilmesi Doktora Tezi", Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Abdurrahman ÜNSAL
Doğum Yeri : Adıyaman
Doğum Tarihi : 20.07.1983
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Adıyaman Lisesi/2007
Lisans : Mustafa Kemal Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., Hatay/2014
Yüksek Lisans : Adıyaman Üniversitesi, FBE, İnşaat Müh., Adıyaman/2017

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Adıyaman Belediyesi/2008-2012
Adıyaman Üniversitesi/2012-2017

Yayımları (SCI ve diğer)