

KATKILARIN BETON PERFORMANSINA ETKİSİ

Ishil IBRAHİM ANWAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2010

ANKARA

KATKILARIN BETON PERFORMANSINA ETKİSİ

Ishil IBRAHİM ANWAR

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

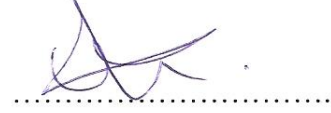
HAZİRAN 2010

ANKARA

Ishil İBRAHİM ANWAR tarafından hazırlanan KATKILARIN BETON PERFORMANSINA ETKİSİ adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

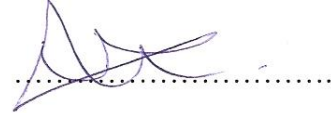
Prof. Dr. Hüsnü CAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi



Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet Halis GÜNEL

Mimarlık Anabilim Dalı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi



Tarih: 10/06/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

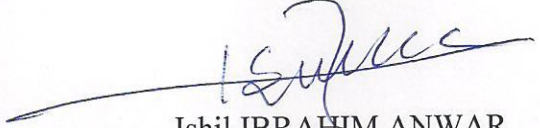
Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Ishil İBRAHİM ANWAR

KATKILARIN BETON PERFORMANSINA ETKİSİ**(Yüksek Lisans Tezi)****İshil İBRAHİM ANWAR****GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ****Mayıs 2010****ÖZET**

Bu deneysel çalışmada silis dumanı ve uçucu kül akışkanlaştırıcı katkılarla beraber kullanarak yüksek dayanımlı, uygun işlenebilirlikli ve güvenilir olan bir betonu hazır beton santrallerinde üretmek amaçlanmıştır. Toplam 9 set deney yapılmıştır. Küpler 15x15x15 cm boyutlarındadır. Slump 15 - 18 cm aralığında sabit tutulmuştur. Bu amaçla kimyasal katkı olarak % 1,25 oranında süper ve hiper akışkanlaştırıcı, mineral katkı olarak % 5, % 7,5, % 10 oranında silis dumanı ve % 20, % 30, % 40 oranlarında uçucu külün çimento ile yer değiştirmeli olarak ikame edilmesi durumunda 9 seri beton üretilip, her seri 1., 3., 7., 28., 56. ve 90. günlerde test edilip basınç dayanımları bulunmuştur. Ayrıca bu serilerin basınç dayanımı kazanımları kıyaslanmıştır. Deney sonuçları, uçucu külün taze betonun işlenebilmesinde iyileştirici etki yaptığını ve mukavemet özellikleri bakımından uzun vadede olumlu sonuçlar verebileceğini göstermiştir. Silis dumanı taze betonun işlenebilirliğini olumsuz yönde etkilemiştir fakat mukavemet özellikleri bakımından kısa vadede iyi sonuçlar vermiştir.

Bilim Kodu : 911.1.143
Anahtar Kelimeler : Yüksek dayanımlı betonlar, basınç dayanımı, silis dumanı, uçucu kül.
Sayfa Adedi : 84
Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. Meral BEGİMGİL

EFFECT OF THE ADMIXTURE ON THE CONCRETE PERFORMANCE**(M. Sc. Thesis)****Ishil IBRAHIM ANWAR****GAZI UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****May 2010****ABSTRACT**

In this experimental study, the silica fume, fly ash as mineral admixture and the plasticizers as chemical admixture are used in aim to produce the high performance concrete with a good workability which is produced and tested in reliable concrete batching plants. 9 series of concrete are produced in all. The cubes have 15x15x15 cm dimensions. The slumps are kept constant between 15 - 18 cm. In this aim, % 1,25 rate of the super plasticizer and hyper plasticizer as chemical admixtures with % 5, % 7,5, % 10 rate of silica fume and % 20, % 30, % 40 rate of fly ash are used instead of the cement. All series are tested in the 1st, 3rd, 7th, 28th, 56th and 90th days and their compressive strength is found. Additionally, the compressive strength gains of these series are compared. As a result, the fly ash has a positive effect on the workability of the fresh concrete and it can be given good results in a long term, and the silica fume has a negative effect on the workability of the fresh concrete but it gains the concrete a good compressive strength in a short term.

Science Code	: 911.1.143
Key Words	: High performance concrete, compressive strength, silica fume, fly ash.
Page Number	: 84
Adviser	: Assist. Prof. Dr. Meral BEĞİMGİL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardımlarıyla beni yönlendiren danışman hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Meral BEĞİMGİL'e minnet ve şükranlarımı sunarım.

Çalışmalarım boyunca kullandığım laboratuarlarda bana yardım eden tüm personele, devamlı bilgi alışverişinde bulunduğum Şanver Derin Bey'e, varlıklarıyla bana güven duygusu veren eşime minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xi
RESİMLERİN LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. BETON.....	6
2.1.Taze Beton Özellikleri	7
2.1.1. İşlenebilme	8
2.1.2. Kıvam	9
2.2.Sertleşmiş Beton Özellikleri	10
2.2.1. Su emme.....	10
2.2.2. Geçirimsizlik	11
2.2.3. Büzülme (Rötre).....	12
2.2.4. Sünme.....	12
2.2.5. Dayanım	12
2.2.6. Durabilite.....	15
3. BETON KARIŞIMINDA KULLANILAN MALZEMELER	27

3.1. Agrega	27
3.2. Çimento	27
3.3. Su.....	28
3.4. Mineral Katkılar	29
3.4.1. Silis dumanı.....	29
3.4.2. Uçucu kül	39
3.5. Kimyasal katkılar	48
3.5.1. Normal ve süper akışkanlaştırıcı kullanım amaçları.....	48
3.5.2. Akışkanlaştırıcıların türleri	49
3.5.3. Akışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması	49
3.5.4. Katkı maddesinin tercihi	50
3.5.5. Süper akışkanlaştırıcı dozajının uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlarda işlenebilme ve dayanıma etkisi	51
4. DENEYSEL ÇALIŞMA	53
4.1. Deneysel Çalışmanın Kapsamı	53
4.2. Deneyde Kullanılan Laboratuar Cihazları	53
4.3. Karışımlarda Kullanılan Malzemeler	55
4.3.1. Çimento	55
4.3.2. Agrega ve kırma taş tozu.....	55
4.3.3. Kimyasal katkılar	56
4.3.4. Mineral Katkılar	57
4.4. Karışımların Hazırlanması	57
5. DENEYSEL ÇALIŞMA GRAFİK VE VERİ DEĞERLENDİRİLMESİ	66

Sayfa

5.1. Taze Beton Deney Sonuçları.....	66
5.2. Beton Basınç Deney Sonuçları.....	68
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	79
6.1. Sonuçlar.....	79
6.2. Öneriler	80
KAYNAKLAR	81
ÖZGEÇMİŞ	84

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.1 Silis dumanındaki sio2 miktarı	30
Çizelge 3.2 Silis dumanlarının kimyasal bileşimi ve bazı fiziksel özellikleri [%]	31
Çizelge 3.3 Silis dumanın özgül ağırlıkları	32
Çizelge 3.4 Blaine ile bet metodlarına dayanarak bağlayıcı maddelerin özgül yüzeyleri.....	33
Çizelge 3.5 Uçucu kül kimyasal bileşimi sınıflandırılması [30].....	43
Çizelge 4.1 Karışımlarda kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri	55
Çizelge 4.2 Karışımlarda kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.....	55
Çizelge 4.3 Karışım da kullanılan malzemelerin bazı karakteristik özellikleri	56
Çizelge 4.4 Kimyasal katkıların bazı karakteristik özellikleri	57
Çizelge 4.5 Mineral katkıların bazı karakteristik özellikleri.....	57
Çizelge 4.6 Karışım dizaynları.....	62
Çizelge 4.7 Malzeme, ortam ve beton sıcaklıkları	64
Çizelge 5.1 Taze beton deney sonuçları.....	67
Çizelge 5.2 Dayanım/yaş çizelgesi	68

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 3.1 Silis dumanının mikroskopla çekilmiş resmi	33
Şekil 3.2 Silis dumanı katkısının ara yüzeye etkisi.....	35
Şekil 3.3 Silis dumanının beton dayanımına etkisi	37
Şekil 3.4 Silis dumanı katkısının beton basınç dayanımına etkisi	38
Şekil 3.5 Uçucu kül tanelerinin taramalı elektron mikroskobu altında tipik görüntüsüne ait resim	41
Şekil 3.6 Çimento aralarındaki boşlukları dolduran uçucu kül.....	44
Şekil 3.7 Uçucu küllü ve külsüz betonda basınç dayanımın zamanla değişimi	46
Şekil 4.1 Agrega karışım granülometre eğrisi.....	56
Şekil 4.2 Karışım hazırlama aşamaları.....	59
Şekil 5.1 B1-kontrol, B2-HP ve B3-SP basınç dayanımları ile zaman ilişkisi.	69
Şekil 5.2 1. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi	70
Şekil 5.3 3. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi	71
Şekil 5.4 7. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi	72
Şekil 5.5 28. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi.....	73
Şekil 5.6 56. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi	73
Şekil 5.7 90.gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi	74
Şekil 5.8 Beton kodu ve yaşına bağlı olarak beton dayanımında artış	75
Şekil 5.9 FA ikameli betonların basınç dayanımı ile ilişkisi	77
Şekil 5.10 SF ikameli betonların basınç dayanımı ile ilişkisi	77
Şekil 5.11 SF ile FA ikameli betonların basınç dayanımların karşılaştırılması.....	78

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 4.1 Kullanılan mikser.....	54
Resim 4.2 Hava Ölçer	54
Resim 4.3 200 ton yükleme kapasitesine sahip test presi	54
Resim 4.4 Çimento sıcaklık ölçümü	58
Resim 4.5 Su tartılması	58
Resim 4.6 Hedeflenen karışımın hazırlanması.....	58
Resim 4.7 Karışıma su ilavesi.....	60
Resim 4.8 Betonun sıcaklık ölçümü	60
Resim 4.9 Bazı numunelerin görünümü	60
Resim 4.10 Kırılmış numunenin görünümü.....	61
Resim 5.1 Slump ölçümü	66

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
b	Bağlayıcı
B	Beton
Ç	Çimento
FA	Uçucu Kül
HP	Hiper akışkanlaştırıcı
S	Su
SF	Silis dumanı
SP	Süper akışkanlaştırıcı

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing Materials
TS	Türk standartları

1. GİRİŞ

Günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Hangi amaçla üretilirse üretilsin, kesinlikle üç ana niteliğe sahip olması gerekmektedir.

- İşlenebilirlik
- Mukavemet
- Dış etkilere dayanıklılık

Bu üç ana özellik beton bileşimini yönlendiren unsurlar olarak görülmektedir. 150 yıldır, üretilen betonlarda bağlayıcı madde olarak çimento kullanılmaktadır. Bununla birlikte alternatif bağlayıcılar yada çimentoyla yer değiştirebilecek malzemelere yönelik araştırmalarda devam etmektedir. Pozzolanik özelliklere sahip bir çok doğal ve yapay madde çok eski zamanlardan günümüze değin yapım alanında ve beton üretiminde çeşitli amaçlarla kullanılmışlardır.

Beton temel bileşenlerinden olmayan bu maddeler, betonlara çok düşük miktarda katılan organik ve inorganik kimyasal maddelerdir. Çimentonun sahip olduğu özellikleri, iyi yönde ve belirli bir ölçüde değiştirmek amacı ile beton üretilirken veya üretildikten sonra katılarak taze ve sertleşmiş betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve durabilite özelliklerini geliştirirler. Dolayısıyla her bileşenin sahip olması gereken özellikler vardır. İyi bir beton üretimi için bileşenleri iyi tanımak gereklidir.

Türkiye'ye ve dünyaya genel olarak bakarsak, beton üretimi betonyerlerden çıkıp hemen hemen tamamen yerini hazır beton sektörüne bırakmıştır. Türkiye'de son on sene içinde C18 ve alt dayanımlardaki beton üretimi % 90'lardan % 5'lere kadar gerilerken, 2006 yılında bazı şehir belediyelerince C25 dayanım sınıfının altında proje uygulanması tamamen yasaklanmıştır .

Dünyada hazır betonun, yüksek dayanımlı beton üretimine doğru gitmesi;

- Toplum bilincinin ve gelişen teknoloji ile kullanıcı isteklerinin artması,
- Yapıların projelendirilme aşamalarında ‘dayanıklılık’ (durabilite) kavramının daha çok düşünülmesi,
- Dayanım sınıfları arasında çok fazla maliyet farklılığı olmaması,
- Deprem ve doğal afet gerçeklerinin ciddi hasarlara yol açması olarak düşünülebilmektedir [1].

Ekonomik, Teknolojik ve Ekolojik açıdan değerlendirildiğinde beton içerisinde çimento ile yer değiştirebilecek katkı maddelerinin önemi büyüktür. Son yıllarda yüksek dayanımlı betonların yaygınlaşması ile birlikte yüksek yapılarda betonarme kullanımı çelik kullanımı ile yarışabilecek düzeye ulaşmıştır. Bu katkılar iki ana gruba ayrılabilir:

- Kimyasal Katkılar
- Mineral Katkılar

Begimgil, M., Doğan, yaptıkları deneysel çalışmada silis dumanının ekonomiye kazandırılması amaçlanmış ve bu amaçla PC 42,5 kullanılarak, çökme değeri yaklaşık 10 - 11 cm olan 300 dozlu BS 35 betonu normal akışkanlaştırıcı kullanılarak dökülmüş ve bu referans betonu olarak seçilmiştir. İkinci adımda seçilen referans betonun karışım oranına süper akışkanlaştırıcı ilave edilip, yine çökme değeri sabit 10 - 11 cm olan 2. seri beton numuneler üretilmiştir. Üçüncü adımda % 5, % 10 gibi değişik oranlarda silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı karışma ilave edilip 3. ve 4. seri beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen bu dört serinin 3., 7. ve 28. günlük basınç dayanım testleri yapılarak kıyaslanmıştır. Bu çalışmada silis dumanının beton performansını olumlu yönde nasıl etkilediği ve optimum kullanılma oranı gösterilmeye çalışılmıştır [2].

Yazıcı çalışmasında kimyasal esasları aynı olan altı değişik ticari firmaya ait akışkanlaştırıcıların betondaki performansları incelenmiştir. Üretilen betonlar üzerinde taze beton deneyleri ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Elde edilen

veriler şartnamelerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak akışkanlaştırıcılar aynı esaslı olmasına rağmen aynı agrega, aynı dozaj ve aynı çimento ile farklı işlenebilme ve dayanım açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun haricinde akışkanlaştırıcı katkılı betonlarda üretimden sonraki saatlerde işlenebilme problemleri ile karşılaşılabilceği ileri sürülmüştür [3].

Uyan, M. ve Yıldırım, H. süper akışkanlaştırıcıların taze betonun işlenebilmesi ile sertleşmiş betonun eğilme ve basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Farklı firmalardan temin edilen neftalin kökenli 3 adet katkıyı iki ayrı dozajlı betonda denemişlerdir. Kullanılan katkıların etkisiyle eğilme ve basınç mukavemetlerinde ilk yaşlarda sağlanan artışların ileriki artış oranlarına göre daha büyük olduğunu ileri sürmüştür. Kullanılan katkıların aynı esaslı olmalarına rağmen istenilen mukavemet artışını ve işlenebilme yönünden aynı etkinliği farklı katkı yüzdelerinde vermeleri çalışmadan çıkan en önemli sonuç olduğu ileri sürülmüştür [4].

Rıza Dinçer ve İsmail H. Çağatay, çalışmalarında çimentonun yerine ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 20, % 30, % 40 oranlarında uçucu kül kullanılmıştır. Karışımların mekanik özelliklerini belirlemek için de 7., 14., 28., 90., 180. Ve 365 günlük beton numuneler üretilmiştir. Bu araştırma, çimentonun yerine uçucu kül ikamesinin, betonun mekanik özelliklerindeki etkisinin % 20 uçucu kül ikamesine kadar çok iyi olduğunu ve % 30 oranına kadar kullanılabilir olduğunu göstermiştir [5].

Özturan, T. yaptığı çalışmada soma termik santralinde elde edilen uçucu külün beton üretiminde ağırlıkça % 25 ile % 50 oranlarında çimento ile ikame edilmesi durumlarında taze betonun işlenebilmesinde iyileştirici etki yapmadığını, ancak mukavemet özellikleri açısından bilhassa uzun vadede olumlu sonuçlar verebileceğini göstermiştir [6].

Volkan Nergiz, çalışmasında 28 günlük standart küp basınç dayanımları 60 Mpa ve üzerinde olan yüksek dayanımlı betonu farklı özellikte kimyasal katkı kullanarak

üretip, bu betonları farklı kür sürelerinden sonra maruz kaldıkları donma çözülme, sıcaklık etkisi ve su geçirimsizliğine karşı durabilite özellikleri incelenmiştir. Belirli zamanlarda beton basınç dayanım testleri yapılarak, bu durabiliteyi etkileyici faktörlerin dayanıma olan azaltıcı etkisi incelenmiştir [7].

Ravina, D. ve Mehtan, yaptıkları deneysel çalışmada uçucu kül ile çimentonun % 35 - 50 yer değişiminin zayıf beton karışımlarının basınç dayanımı üzerindeki etkisini, iki ASTM sınıf F ve iki ASTM sınıf C uçucu küllerini kullanmak suretiyle incelediler. Analiz sonuçları, özellikle zayıf betondan, uçucu külün taze ve sertleşmiş beton özellikleri üzerinde önemli etkisi olduğu gösterilmiştir [8].

Kemalettin Yılmaz, Mansür Sümer ve Müctaba Uysal “Farklı Tür Akışkanlaştırıcı Katkıların Yüksek Dayanımlı Betonlar Üzerine Etkisi” isimli çalışmalarda, farklı türde akışkanlaştırıcı katkı malzemelerin siyah ve beyaz çimento kullanılarak üretilen yüksek dayanımlı betonlar üzerine etkilerini araştırılmıştır. Aynı kıvamda hazırlanan karışımların erken ve geç dayanımları ölçülerek analizi yapılmıştır. Sonuç olarak yüksek dayanımlı beton yapımında çimento türü ve dozajının etkili olduğu, çimento dozajının belli bir miktarın üzerine çıkması erken mukavemetleri etkilediği, beyaz çimentolu karışımlarda beton 28. günden sonra siyah çimentolu karışımlara oranla daha hızlı bir mukavemet artış sağladığı, kırılan numuneler incelendiğinde kırılmaların agregalardan olduğu gözlenmiş ve yüksek mukavemetli agrega kullanılmasıyla daha yüksek dayanımlı beton üretiminin yapılabileceği gözlenmiştir [9].

Saraswathy ve Ark çalışmalarında, çimento – uçucu kül karışımının hidratasyonunu hızlandırmak için uçucu külü fiziksel, kimyasal ve termik yöntemler kullanarak daha etkin hale getirmişlerdir. Çeşitli yöntemler kullanarak daha aktif hale getirdikleri uçucu külü, çimentonun yerine % 10, % 20, % 30, % 40 oranlarında kullanarak elde ettikleri karışımların 7., 14., 28. ve 90. günlük basınç dayanımlarını incelemişler ve % 30 oranına kadar uçucu kül katkılı betonların basınç dayanımlarını geliştirildiğini ortaya koymuşlardır [10].

Bu araştırmanın amacı, kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı ve hiper akışkanlaştırıcı, mineral katkı olarak uçucu kül ve silis dumanı kullanarak, betonun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine etkilerini araştırma konusu olmuştur. Dolayısıyla artan teknoloji ve gelişen toplum bilinci ile betonarme yapıların güvenliğinin beton kalitesinin yükseltilmesi ve daha durabil hale getirilmesi için mühendislik şartlarında optimum maliyet ile maksimum performans ve kalitenin sağlanabilirlik analizidir.

Bu amaçla betonda mineral katkı ve kimyasal katkı maddeleri kullanılmış 1., 3., 7., 28., 56. ve 90. gündeki betonun basınç dayanımları kıyaslanarak sonuçlar çıkarılmıştır. Toplam 9 set deney yapılmış olup Küpler 15x15x15 cm boyutlarındadır. Slump 15-18 cm aralığında sabit tutulmuştur. Araştırmada kimyasal katkı olarak % 1,25 oranında polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcı ve naftalin esaslı süper akışkanlaştırıcı, mineral katkı olarak % 5, % 7,5 ve % 10 oranında silis dumanı ve % 20, % 30 ve % 40 oranında uçucu kül kullanılmıştır.

2. BETON

Beton, çimento, su, agrega ve kimyasal veya mineral katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılmasından oluşan, başlangıçta plastik kıvamda olup, şekil verilebilen, zamanla katılaşp sertleşerek mukavemet kazanan bir yapı malzemesidir. TS'ye göre 4 mm elek açıklığından geçen agrega'ya ince agrega bu elek üzerinde kalan agregaya kalın agrega denilmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu malzeme, "çimento hamuru" olarak adlandırılmaktadır. Beton içerisindeki agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak agrega taneleri arasında bağlayıcılık işlevi görür. Çimento, su ve ince agreganın karışımından oluşan malzemeye harç denilmektedir [11].

Çimentolu suyun oluşturduğu çimento hamuru başlangıçta plastik bir malzeme iken çimento ve su arasında hemen başlayan kimyasal reaksiyonların etkisi ile çimento hamurunun başlangıçtaki plastik özelliği zamanla azalmaktadır. Bir veya birkaç saat sonra içerisindeki çimento hamuru katılaşmakta ve daha sonra tamamen sertleşmiş duruma gelmektedir. Başlangıçtaki plastik kıvamlı beton istenilen şekildeki kalıplara yerleştirilir istenilen boyutta sert yapı malzemesi elde edilir [11].

Beton, çağımızda irili ufaklı birçok yapıda kullanılmakta olan en önemli ve popüler yapı malzemesidir, insanlar yaşadıkları evleri, çalıştıkları işyerlerinin, eğitim gördükleri okulların, spor yaptıkları tesislerin, arabalarını park ettikleri park yerlerinin ve garajların büyük bir bölümünün yapımında beton kullanılmaktadır, üzerinde yürünülen kaldırımlar, seyahat edilen veya insanların ihtiyacı olan malların getirilip gönderdiği karayollarının, demiryollarının, havaalanlarının ve limanların yapımında da beton kullanılmaktadır, içme suyunun veya atık suların depolandığı tanklar ve bu suların taşındığı borular betondan yapılmaktadır, enerji üretimi için kurulan barajların ve atom reaktörlerinin bir bölümünde, ve enerji nakli için kullanılan direklerin yapımında, yine, beton kullanılmaktadır. Çağdaş günlük yaşamda betonla karşılaşılmayan veya betondan yapılmış yapılardan yararlanılmayan tek bir gün dahi yoktur. İnşaat mühendislerinin, bilim adamlarının, işadamlarının, ve

betonla ilgili herkesin betonun özelliklerini yeterince tanımaları, karşılaşılan sorunların neler olduklarını ve nerden, nasıl kaynaklandığını çok iyi bilmeleri gerekmektedir.

Beton günümüzde en yaygın taşıyıcı yapı malzemesi yapan özellikleri şöyle sıralamak mümkündür:

- Ucuzluğu,
- Şekil verme kolaylığı,
- Yüksek basınç dayanımlarına ulaşılması,
- Fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılığı (uzun ömür, bakım kolaylığı),
- Hafif agrega ile hafifletilmesi.

2.1. Taze Beton Özellikleri

Çimentonun, suyun, agreganın (ve gerektiğinde, katkı maddelerinin) birlikte karılması sonucunda elde edilen beton karışımı, şekil verilebilir, yumuşak bir karışımdır. Ancak, çimento ve suyun birleştiği anda başlayan hidrasyon devam ettikçe, çimento hamuru giderek daha katı bir durum almakta ve bir süre sonra şekil verilmez olmaktadır [11].

Taze beton, henüz tamamen katılaşmamış, şekil verilebilir durumdaki betondur. Betonun taşınıp Kalıplarındaki yerine yerleştirilmesi, sıkıştırılması, yüzeyinin düzeltilmesi gibi işlemler, beton şekil verilebilir durumdayken yapılabilir. Sertleşmiş durumdaki betondan istenilen büyüklükteki dayanımın, dayanıklılığın ve hacim sabitliliği elde edilmesi için, taze beton aşağıda sıralanan özellikleri göstermesi gerekmektedir:

- Beton üretimi için bir araya getirilen malzemeler, betonun içerisinde üniform bir dağılım gösterecek tarzda, “kolayca karılabilir” olmalıdır,
- Taze beton, üniformitesi bozulmadan, “kolayca taşınabilir” olmalıdır,

- Kalıplardaki yerine yerleştirilecek taze beton, üniformitesi bozulmadan, kalıp içerisindeki her noktaya ulaşabilecek tarzda, “kolayca yerleştirilebilir” olmalıdır,
- Yerine yerleştirilen taze beton, üniformitesi bozulmadan, “kolayca sıkıştırılabilir” olmalıdır,
- Yerine yerleştirilip sıkıştırılan taze betonun içerisinde bulunan su, hidrasyonun devam edilmesi için, mümkün olabildiği kadar betonun içerisinde kalmalı, yüzeye çıkarak kaybolmamalıdır. (suyun beton yüzeyine çıkma eğilimi, terleme olarak adlandırılmaktadır). taze beton, mümkün olabildiği kadar az terleme göstermelidir,
- Kalıbına yerleştirilen ve sıkıştırma işlemi yapılan taze betonun “yüzeyi kolayca düzeltilebilir” olmalıdır,
- Taze betonun “piriz süresi, kullanılacağı ortama uygun uzunlukta olmalıdır” [11]. (malzemelerin karılmasıyla şekil verilebilir bir durum kazanan taze betonun, karıldığı andan katılaşmaya başladığı ana kadar geçen süre priz süresi olarak adlandırılmakta).

2.1.1. İşlenebilme

Taze betonun “kolayca karılabilmesi, segregasyon yapmadan taşınabilmesi, yerleştirilebilmesi, sıkıştırılabilmesi, ve yüzeyinin düzeltilmesi”, betonun ne ölçüde işlenebilir olduğunu göstermektedir. O nedenle, bu özelliklerin tümü, “işlenebilme” adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir.

İşlenebilme, taze betonun katılaşma göstermeden önceki durumuyla ilgili bir özellik olduğundan, betonun karılma işleminden itibaren ne kadar süre içerisinde katılaşma göstereceği (yani, priz süresi), betonun kullanılacağı yapı tipi için oldukça önemli olmaktadır. Çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonların yer alma hızı (hidrasyon hızı), priz süresinin kısalığı veya uzunluğu etkileyen önemli bir faktördür [11]. İşlenebilme, taze betonun en önemli özeliğidir. Yeterli işlenebilmeye sahip olmayan taze beton, sertleştiğinde, yeterli dayanımı ve dayanıklılığı göstermez.

Beton karışımının sahip olduğu ıslaklık, taze betonun taşınabilirliği, pompalanabilirliği, yerleştirilebilirliği, segregasyonu, sıkıştırılabilirliği, ve yüzeyinin düzeltilebilirliği gibi kavramların tümü, betonun işlenebilme özeliği içerisinde yer alan kavramlardır. Bütün bu özellikler tek bir isim altında ve tek bir özellik olarak yeterince hassas bir şekilde ifade edilebilmesi mümkün değildir. Bir başka deyişle, işlenebilme özeliği rölatif bir özelliktir [11].

2.1.2. Kıvam

“Kıvam”, “taze beton karışımının ıslaklık derecesi” anlamına gelmektedir. (kıvam teriminin taze betondaki su miktarı olarak tanımlanması yanlıştır. kıvam, betonun ne ölçüde ıslak veya kuru olduğunu tanımlamaktadır).

Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte. Daha rahat pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak, beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir. Zira, aşırı derecede sulu bir beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemlerinde betondaki çimento harcı ile iri agregalar kolayca segregasyon gösterebilmektedir; yani, bu tür betonlar yeterli işlenebilmeye sahip olamamaktadırlar.

Beton kıvamı, sadece taze beton kütleindeki kayma kuvvetleri tarafından etkilenmektedir. Taze beton kütleinin akıcılığı ve kohezyonu, kıvam kavramı içerisinde yer almamaktadır.

Betonun kıvamı, işlenebilme özeliğini tam olarak ifade edilmemekle birlikte, yine de, betonun işlenebilirliğine dair önemli bilgi sağlamaktadır. O nedenle, deneysel olarak kolayca ölçülebilen beton kıvamı, çoğu zaman betonun işlenebilmesini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır [11].

2.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

2.2.1. Su emme

Sertleşmiş betonun içerisindeki boşlukların tümü suyla dolu durumda değil ise, ıslak ortamda, betonun içerisindeki boşluklara dışarıdan su girebilmektedir. Bu işlem, betonun suya doymun duruma gelmesine kadar devam edebilmektedir. Beton tarafından içerisindeki boşluklara fiziksel olarak su çekilmesi işlemine su emme denilir.

Sertleşmiş betonun su emme işleminde, önce büyük boyutlu kapiler boşluklar ve daha sonra da küçük boyutlu kapiler boşluklar suyla dolu duruma gelmektedir. O nedenle, betondaki “su emme”, ilk zamanlarda büyük bir hızla, zaman ilerledikçe ise, giderek daha düşük bir hızla yer almaktadır. Su emme hızı ve emilen suyun miktarı, betonun ne ölçüde kuru olmasıyla da ilgilidir [11].

Betonun emebileceği su miktarı, betonun içerisindeki boşlukların toplam hacmi ile ilgilidir. Betondaki toplam boşluk hacmi ise, betonda kullanılan su / çimento oranı, agrega cinsi, kür koşulları, kür süresi, karbonatlaşma, beton elemanın boyutu gibi birçok faktör tarafından etkilenmektedir. Su emme kapasitesi yüksek olan betonların dayanımları daha düşük olmaktadır. Sülfat, asit, klor, ve benzeri zararlı maddeleri içeren suların beton tarafından emilmesi, betonda hasar yaratacak kimyasal olayların başlamasına neden olmaktadır. Betonun geçirimliliği beton içerisinde su akışın gösterdiği için, geçirimlilik ve su emme farklı özelliklerdir . Ancak, su emme, betonun geçirimliliğini de etkileyen önemli bir özellik durumundadır.

Sertleşmiş beton numunesi, önce, 100 °C sıcaklıktaki ortamda bırakılarak kuru duruma getirilmekte, ve numunenin bu durumdaki ağırlığı ölçülmektedir. Daha sonra da, kuru numune, su dolu bir kap içerisinde 24 saat tutulmakta, ve bu sürenin sonunda, numunenin suya doymun durumdaki ağırlığı ölçülmektedir. Numunenin

sudan çıkardıktan sonra suya doygun durumdaki ağırlığı ile, kuru ağırlığı arasındaki fark, beton tarafından emilen suyun miktarını göstermektedir.

2.2.2. Geçirimsizlik

Sertleşmiş betonun yüzeyi ile temas edilen sıvılar ve gazlar, betonun içerisine girerek akış gösterebilmektedirler. Betonun içerisindeki sıvıların akış göstermeleri değişik nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bunlar, (a) hava veya su basıncının yarattığı farklılıklar, (b) nemlilik farklılıkları, (c) betonun içerisindeki sıvıların farklı konsantrasyonlarında doğan osmosis olayıdır.

“geçirimsizlik” , sıvıların ve gazların, betonun içerisinde akış gösterebilmelerine imkan tanıyan bir özelliktir. Sıvıların ve gazların betonun içerisinde akış gösterebilmeleri betonda yer alan boşlukların birbiriyle bağlantılı olması nedeniyle gerçekleşebilmektedir. Geçirimsiz betonların içerisine sızan sular ve bu sulardaki yabancı maddeler, betonda bazı kimyasal ve fiziksel olaylara yol açmaktadır:

Çimentonun hidratasyonu sonucunda oluşmuş olan ve sertleşmiş çimento hamurunun yapısında bulunan kalsiyum hidroksit, dışarıdan sızan suların etkisiyle çözünerek yüzeye çıkmaktadır; böylece, betondaki boşluk miktarı artmaktadır. Yüzeye çıkan kalsiyum hidroksitli ve tuzlu suyun buharlaşmasıyla, beton yüzeyinde beyaz lekeler halinde kalsiyum karbonat ve tuz birikintileri yer almaktadır.

Betonun içerisine sızan sularda bulunan sülfatlar ve asitler, betonun içerisinde genleşme yaratan ürünlerin oluşmasına yol açmaktadır. Beton ortamına sızan su , oksijen ve klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonuna neden olmaktadır. Korozyon sonucunda demir donatıların kesitleri küçülmektedir. Ayrıca, donatıların üzerinde yer alan korozyon ürünleri, betonun içerisinde genleşme yaratmaktadır.

Kapiler boşlukları suyla dolu duruma gelen betonlarda, boşluklardaki suyun donması sonucunda çok büyük genleşmeler oluşmaktadır. Kısacası, betonun boşluklu olması, sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan su girmesine, bu suyun akış gösterecek daha iç bölgelere ulaşmasına, ve sonuç olarak, betonun yıpranıp hasar görmesine neden olmaktadır.

Beton depolar ve barajların yapımında kullanılan betonlar başta olmak üzere , içerisinde su veya başka bir sıvı bulunduran bütün betonların , mümkün olabildiği kadar “geçirimsiz” olmaları gerekmektedir [11].

2.2.3. Büzülme (Rötre)

Beton içerisindeki suyun fiziksel ve kimyasal nedenlerle azalması (kaybolması) sonucunda betonun boyunda ve hacminde yer alan küçülmeye " büzülme " denilir. Bu olay rötre olarak da anılmaktadır.

Sertleşmiş betondaki su kaybı, hem fiziksel hem de kimyasal nedenlerle gerçekleşebilmektedir.

2.2.4. Sünme

Malzemelerin üzerine uygulanan sabit gerilmelerin etkisiyle, zaman geçtikçe malzemenin gösterdiği deformasyona sünme denir. Betondaki sünme olayı düşük gerilmeler altında ve normal sıcaklık ortamında da meydana gelebilmektedir. Yük altında belirli bir deformasyon göstermiş olan beton, yük kaldırıldıktan sonra, hiçbir zaman ilk boyutlarına dönememektedir.

2.2.5. Dayanım

Beton teknolojisinde betonun dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak

tanımlanmaktadır. Beton üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği dirençtir.

Sertleşmiş betonun belirli dayanımda olmasının yanı sıra, yeterli dayanıklılığı göstermesi, su geçirimsizliğinin az olması gibi diğer bazı özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Bu özelliklerin her biri çok önemli olmakla beraber, beton özellikleri arasında en çok aranan ve kullanılanı; "Dayanım özelliğidir". Sertleşmiş betonda aranan hacim sabitliği, dayanıklılık, su geçirimsizlik ve dayanım gibi birçok özellik arasında deneysel olarak en kolay tespit edileni, betonun dayanım özelliğidir.

Betonun dayanım özelliği ile diğer özellikleri arasında bir korelasyon kurabilmek ve niteleyici olarak diğer özelliklerin ne büyüklükte olduğunu değerlendirebilmek mümkündür. Örneğin dayanımı yüksek olan bir betonda, su geçirimsizlik ve dayanım da daha iyi olacaktır [11].

Beton dayanımını oluşturan unsurlar :

- Çimento hamurunun dayanımı,
- Agreganın dayanımı,
- Çimento hamuru ile agrega arasındaki aderans.

Beton dayanımını etkileyen nedenler :

1. Su / Çimento oranı,
2. Karma suyunun kalitesi,
3. Çimento özellikleri,
4. Agreganın özellikleri,
5. Betona uygulanan üretim, taşıma ve sıkıştırma işlemleri,
6. Kür koşulları ve betonun yaşı.

Beton basınç dayanımı

Betonun basınç dayanımı, “eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyeti (eksenel basınç yükü etkisiyle, betonda oluşan maksimum gerilme)” olarak tanımlanmaktadır. Beton basınç dayanımını ölçebilmek için değişik deney yöntemleri kullanılmaktadır. Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri arasında en çok kullanılanlar şunlardır:

- Sertleşmiş betondan kesilerek çıkartılan karot numunelerin kırılmaya tabi tutuldukları “karot numunelere uygulanan basınç dayanımı yöntemi”.
- Beton test çekici denilen bir alet yardımıyla sertleşmiş betonun yüzey sertliğini hasarsız olarak ölçerek betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği “beton test çekici uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi”.
- Ultrasonik test cihazı olarak adlandırılan bir cihaz vasıtasıyla sertleşmiş betonun içerisinden hasarsız olarak geçirilen ses dalgalarının hızının ölçüldüğü ve betonun basınç dayanımı hakkında yaklaşık bir bilgi elde edildiği “ultrasonik test cihazı uygulayarak basınç dayanımının bulunduğu deney yöntemi”.

Betonda araştırılan değişik dayanım türleri arasında mühendislik uygulamalarında en çok kullanılanı, ve en popüler olanı, “basınç dayanımı’dır”. Bunun nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir [11].

- Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri, diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.
- Hemen hemen tüm yapıların tasarımında, betonun basınç dayanımı değeri esas alınmaktadır. Bir çok yapıda, betonun önemli miktarda çekme, eğilme gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta, ve betonun üzerine gelen en önemli yükleri oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.

- Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında, yaklaşık da olsa, bir korelasyon bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilebilmektedir.
- Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin, basınç dayanımının yüksek olması, betondaki su geçirimsizliğin az olduğunu ve dayanıklılığın yüksek olduğunu işaret etmektedir.

Beton çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımı, “betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır. Genellikle, yapıdaki betona doğrudan çekme kuvveti uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerlerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır [11].

2.2.6. Durabilite

Çeşitli türdeki yapılarda kullanılmakta olan beton, hizmet süresi boyunca, bünyesinde yıpranmaya yol açabilecek birçok kimyasal ve/veya fiziksel etkenlerle karşılaşmaktadır. Bu etkenler, doğa koşullarında, ve/veya betonun kullanıldığı ortamdan, ve/veya betondaki alkalilerle reaktif agregalar arasındaki reaksiyonlardan kaynaklanmaktadır.

Betonun içerisine sızan su, karbon dioksit, oksijen, sülfat, asit ve klor gibi maddeler, betonda değişik türdeki kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Betonun içerisindeki alkalilerle reaktif agregalar arasında gelişen ve sertleşmiş betonun genişerek yıpranmasına yol açan reaksiyonlar da kimyasal olaylar sonucunda yer almaktadır. Islanma - kuruma, donma - çözülme, ısınma - soğuma, ve

aşınma gibi olaylar betonun yıpranmasına yol açacak nitelikteki fiziksel olaylardır.

Betonda yer alan kimyasal ve fiziksel olaylar sonucunda, beton daha boşluklu bir malzeme durumuna gelebilmekte, içerisindeki demir donatılar korozyona uğramakta, beton aşınabilmekte ve betonun içerisinde çok büyük gerilmeler oluşabilmektedir. Bütün bu olaylar betonun hasar görmesine, hizmet edemez duruma gelmesine yol açmaktadır.

Bilindiği gibi, yapıların tasarımında, betonun hedeflenen dayanımından daha düşük dayanıma sahip olmaması istenmektedir. Ancak, betonun, hizmet gördüğü süre boyunca karşılaştığı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında yeterli direnci gösterebilmesi, yani, yeterince dayanıklı olması, en az, betonun dayanımı kadar, hatta çoğu zaman beton dayanımından daha da önemlidir.

Beton dayanıklılığı, “hava koşullarından, sülfatlı veya asitli sulardan, ve/veya betonun kullanıldığı ortam koşullarından kaynaklanan yıpratıcı kimyasal ve fiziksel olaylar karşısında, betonun hizmet süresi boyunca gösterebileceği direnme kabiliyeti” olarak tanımlanmaktadır. Dayanıklılık, “durabilite” veya “kalıcılık” olarak da adlandırılmaktadır. Beton tasarımında, betonun hedeflenen dayanımdan daha düşük dayanıma sahip olmaması gerekmektedir [11].

Betonun dayanıklılığını olumsuz olarak etkileyen önemli kimyasal ve fiziksel olaylar:

- Betondaki kalsiyum hidroksitin çözünmesi ve beton yüzeyinde “çiçeklenme” olması,
- Sülfat etkisi,
- Deniz suyu etkisi,
- Asit etkisi
- Karbonatlaşma,
- Alkali - agrega reaksiyonu,

- Betonun içerisine yerleştirilen çelik donatının korozyonu,
- Donma - çözülme etkisi,
- Beton yüzeyinin pullanması,
- Aşınma.

Betondaki kalsiyum hidroksitin çözülmesi ve beton yüzeyinde “çiçeklenme” oluşması

Bilindiği gibi, çimentodaki kalsiyum silikatlı ana bileşenlerin su ile reaksiyonları sonucunda, çimento hamuruna bağlayıcılık sağlayan kalsiyum-silika-hidrat jellerinin yanı sıra kalsiyum hidroksit kristalleri $\text{Ca}(\text{OH})_2$ oluşmaktadır. Kalsiyum hidroksit, sertleşmiş çimento hamurunun yapısında yer alan bir üründür. kalsiyum hidroksit, suya karşı dayanıklı değildir. Dışarıdan herhangi bir yolla betonun içerisine sızmış olan sular, kalsiyum hidroksitin çözülmesine yol açmaktadır. Betonun içerisine yağmur suyu, kar suyu, yüzey suları, yeraltı suları, ve endüstri atıklarının suları gibi değişik kaynaklı sular sızabilmektedir:

Yağmur suyu, kar suyu ve yüzey suları, beton yüzeyindeki gözeneklerden, betonda bulunan boşluklardan ve derz aralıklarından içeriye sızılmaktadırlar. Yeraltı suları, daha ziyade beton temellerde, betonun toprakla temas eden yüzeyinden içeri girmekte ve betonun içerisinde yükselme göstermektedir.

Betonun içerisinde az miktarda bazı tuzlar da yer alabilmektedir. Bu tuzlar, betonun içerisine sızan sularla girip yerleşmiş olan, ve/veya beton üretiminde kullanılmış olan agrega tarafından daha önce emilmiş ve agreganın boşluklarından çökelmiş olan tuzlardır. Sertleşmiş betonun içerisine su sızması ile, betonun içerisinde mevcut olan tuzlar da eriyik duruma dönüşmektedir.

Betonun içerisine sızan suların etkisiyle çözünen kalsiyum hidroksiti ve tuzları içeren su, kapiler boşluklarda yer alan fiziksel olayla (kapiler hareketle) betonun yüzeyine doğru hareket etmektedirler. Beton yüzeyine çıkan suyun buharlaşması sonucunda

da, suyun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit ve tuzlar, beton yüzeyinde ince bir çökelti tabakası oluşturmaktadır. Kalsiyum hidroksit, havadaki karbon dioksitle temas ederek, CaCO_3 (kalsiyum karbonat) haline dönüşmektedir. Betonun içerisindeki kalsiyum hidroksitin ve tuzların çözülmesi ve beton yüzeyine çıkması sonucunda, beton yüzeyinde kristaller halinde ince bir beyaz tabaka oluşturmaya "çiçeklenme" denilmektedir.

Bazen, içerisinde çözülmüş kalsiyum hidroksit ve çeşitli tuzlar bulunan su, betonun yüzeyine tamamen çıkamadan (beton yüzeyine yakın bir bölgede) buharlaşmaktadır. Bu durumda, yüzeye yakın bir bölgeye yerleşen tuzlar, gereken nemlilik ortamını daha sonraları buldukları takdirde, yüzeye çıkarak çiçeklenme yaratmaktadır.

Nemli ortamın çiçeklenme olayına büyük etkisi olmaktadır. Çiçeklenme, yağışlı kış sezonunda daha çok olmakta, ilkbaharda azalmakta, ve yazın hemen hemen hiç yer almamaktadır. Ancak, kuru ve sıcak mevsimi takip eden bir başka soğuk ve yağışlı ortamda çiçeklenme tekrar yer almaktadır. Beton yerleştirilmesi takip eden ilk aylarda büyük hızla yer alan çiçeklenme olayı, zamanla azalmakta, ve genellikle üç-dört yıl sonra, hemen hemen sona ermektedir.

Sülfat etkisi (Sülfat hücumu)

Yeraltı sularında, bazı killi topraklarda ve cüruf doldurulmuş arazilerde oldukça yüksek miktarda sodyum sülfat, kalsiyum sülfat, magnezyum sülfat ve potasyum sülfat gibi tuzlar bulunabilmektedir. (deniz suyunda da önemli miktarda sülfat yer almaktadır).

Sertleşmiş betonun içerisine dışarıdan sularla birlikte giren sülfatları betonun genişip çatlamasına yol açan kimyasal olayların gelişmesine neden olmaktadır. Sülfatların beton da yarattığı yıpratıcı etki, "sülfat hücumu" olarak adlandırılmaktadır.

Sülfat hücumuna maruz kalan betonların yüzeyi, karakteristik olarak, beyazımsı bir görünüm almaktadır. Sülfatların yıpratıcı etkisi, genel olarak, beton blokların kenarından ve köşelerinden başlamaktadır. Daha sonra, bu etki, betonun iç kısımlarına doğru yoğunlaşarak, beton yüzeyinin tabaka tabaka büyük parçalar halinde parçalanmasına neden olmaktadır. Yapıların temel betonları, istinat duvarı betonları, ve beton borular, sülfat hücumunun çok sık rastladığı betonlardır.

Deniz suyunun etkisi

Deniz sularında değişik türlerde ve miktarlarda tuzlar yer almaktadır. Deniz sularının içerisindeki sülfatların betonda yarattığı yıpratıcı etki, topraktaki ve yeraltı sularının içerisindeki sülfatların etkisi kadar şiddetli olmamaktadır. Deniz sularının içerisinde klorür iyonunun bulunuyor olması, sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olmaktadır. Zira, klorür, sülfat hücumu sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek, betonun yüzeyine çıkmasına yol açmaktadırlar. Böylece, alçıtaşının ve etrenjitin, sertleşmiş betonun içerisinde genleşme-yaratıcı etkileri birazcık azalmış olmaktadır.

Deniz suyu etkisine maruz kalan betonlar, sülfat hücumunun yanı sıra, gözeneklerinde çökelen (biriken) tuz kristallerinin yarattığı basınç nedeniyle de genleşip, yıpranabilmektedirler. Sertleşmiş betonun gözeneklerinde tuz birikmesi, betonun içerisine giren deniz suyunun kapiler hareketle yukarı çıkması ve buharlaşması sonucunda oluşmaktadır. Bu olay, betonun, su seviyesi üzerinde kalan bölgelerinde gelişmektedir. Deniz sularının gel-git hareketiyle yükselip alçalması sonucunda beton yüzeyinin bir bölümü, ıslanma-kuruma devirlerinin etkisinde kalmaktadır. Bu tür ıslanma-kuruma durumu ile karşı karşıya kalan beton devamlı olarak su içerisinde bulunan betona göre daha çok hasar görmektedir. Öte yandan, deniz suyunun içerisinde bulunan magnezyum sülfat, betondaki bağlayıcı özellikteki kalsiyum-silika-hidrat jelinin çözülmesine neden olmakla birlikte, bu çözülme oldukça yavaş tempoda yer almaktadır.

Deniz sularının beton yapılara esas zararı, bu tür sularda bulunan klordan kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu (paslanmasını) hızlandırmakta betonun parçalanmasına yol açabilmektedir.

Asit etkisi (Asit hücumu)

Sertleşmiş betonun içerisine sızan sularda bulunan asitler, betonun genleşip hasar görmesine yol açan kimyasal olayların yer almasına neden olmaktadır. Asitlerin betonda yarattığı yıpratıcı etki, “asit hücumu” olarak adlandırılmaktadır. Setleşmiş betonun içerisine giren sularda yer alan asitler, değişik kaynaklı olabilmektedirler.

Havadaki karbon dioksit (CO_2), suyun içerisinde çözünerek, zayıf bir karbonik asit (H_2CO_3) oluşturmaktadır. Kırlardaki akarsular, ve kar suları, bu tür bir asit içerebilmektedir.

Organik atık maddelerin taşıdığı kanalizasyon sistemlerinde, atık maddelerin içerdiği kükürtlü bileşenler, anaerobik bakterilerle (serbest oksijene ihtiyaç olmadan yaşayabilen bakterilerle) birleşerek, nemli ortamda önce hidrojen sülfid (H_2S) ve daha sonra da sülfürik asit (H_2SO_4) oluşturmaktadırlar. Aslında, hidrojen sülfid gazının betonda yıpratıcı etkisi yoktur. Ancak, bu gazın, beton yüzeyindeki nemli tabakanın içerisine girmesi ve anaerobik bakteriler tarafından sülfürik aside dönüştürülmesiyle, bu asidin betona zararlı etkileri olmaktadır. Kanalizasyon sistemindeki pis su seviyesinin hemen üstündeki bölgede yer alan betonun bu tür asitli sularla karşılaşmasına çok sık rastlanmaktadır. Kömür veya çürümüş nebatların bulunduğu bölgelerdeki yeraltı suları, bir miktar asit içerebilmektedir.

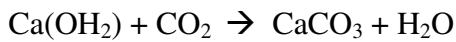
Yakıtlardan atmosfere salınan kükürt dioksit (SO_2), su içerisinde çözündüğünde, sülfüroz asit (H_2SO_3) ve sülfürik asit oluşturmaktadır. Havadaki kükürt dioksitin, beton yüzeyindeki ıslaklıkla birleşerek sülfüroz asit veya sülfürik asit oluşturması da çok sık rastlanan bir olaydır. Döşemelerde, bacalarda, buharlı trenlerin geçtiği

tünellerde kullanılan betonlar, bu tür asitli sularla karşı karşıya gelebilmektedirler. Asit hücumu sonucunda, sertleşmiş betonun içerisindeki kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jellerinde çözülme yer almaktadır. Beton yüzeyinde yumuşak (çamur gibi) ince bir tabaka oluşmaktadır. Beton daha gözenekli duruma gelmekte, dayanımı ve dayanıklılığı daha az olmaktadır. Betondaki karbonatlaşmanın daha az olabilmesini sağlayabilmek amacıyla yapılması gereken en önemli işlem, betonun mümkün olabildiği kadar geçirimsiz bir beton olarak üretilmesidir.

Karbonatlaşma

Kırlardaki temiz havada %0,03 kadar CO₂ bulunmaktadır. Büyük şehirlerdeki havada genel olarak %0,3'e varan miktarda karbon dioksit yer almaktadır. Yeraltı suları da karbon dioksit içermektedir. Bunun nedeni, havadaki karbon dioksitin yağmur ve kar suları tarafından emilerek toprağın içerisine zayıf bir karbonik asit olarak girmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Betonun yüzeyi ile temas eden ve betonun içerisine giren karbon dioksit, betonun içerisinde bulunan kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek karbonatlaşmaya yol açmaktadır:



Karbonatlaşma, havadaki karbon dioksit miktarının çok az olduğu durumlarda dahi yer alabilmektedir. Ancak, böyle bir durumda reaksiyonun oluşması çok yavaş seyretmektedir. Karbonatlaşma, beton yüzeyinde başlayarak, içeriye doğru ilerlemektedir. O nedenle, yüzeye yakın bölgeler (yüzeyden 2,5 – 3,0 cm kadar içerisindeki beton) karbonatlaşmanın etkisi altındadır. Daha önce de anlatıldığı gibi, karbonatlaşmanın gerçekleşebilme hızı, havadaki karbon dioksit miktarının ve nem miktarının yanı sıra, betonun geçirimsizliğine bağlıdır.

Betondaki karbonatlaşmanın daha az olabilmesini sağlayabilmek amacıyla yapılması gereken en önemli işlem, betonun mümkün olabildiği kadar geçirimsiz bir beton olarak üretilmesidir.

Alkali-agrega reaksiyonu

Alkali-agrega reaksiyonu, sertleşmiş betonun içerisindeki alkalilerle reaktif silika içeren agregalar arasında oluşan bir reaksiyondur. Portland çimentosunun içerisinde bir miktar Na_2O ve K_2O gibi alkaliler bulunmaktadır. Betonun içerisine yer alan alkaliler, genellikle, çimentonun içerisinde bulunan alkalilerden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, beton üretiminde kullanılan bazı agregalarda bir miktar reaktif silika bulunabilmektedir. Reaktif silika mineralleri agrega tanelerinin bünyesinde gelişigüzel bir dağılımla yer almaktadırlar. O nedenle, bu minerallerle alkaliler arasındaki reaksiyonlar, sadece, agrega tanesinin yüzeyinden başlayarak içeriye doğru uzanmamaktadır; agrega tanesinin değişik bölgelerinde bulunan silika, alkalilerle reaksiyona girebilmekte, böylece, agrega tanesinin bütünlüğü zedelenmiş olmaktadır.

Alkaliler, reaktif silika mineralleri arasındaki reaksiyonların etkisiyle, önce, reaktif silika minerali çözülme göstermekte, ve ortamdan bir miktar su da alarak, sodyum-silika-hidrat (N-S-H) ve potasyum-silika hidrat (K-S-H) gibi alkali-silika jelleri oluşmaktadır.

Alkali-silika jellerinin çok büyük miktarda (sınırsız) su emebilme özeliği bulunmaktadır. O nedenle, alkali-silika jelleri, bünyelerine çok miktarda su alarak oluşmuş olmaları sonucunda, sertleşmiş betonun içerisinde çok büyük genleşmeler yer alabilmektedir. Alkali-silika jellerinin içindeki su miktarının artması devam ettikçe, ortaya çıkan ürün, koloidal parçacıkları içeren bir sıvı şekline dönüşmektedir. Çimento hamurundaki kalsiyum hidroksitle de reaksiyona girerek, kalsiyumlu alkali-silika içeren bu sıvı, agreganın ve betonun çatlaklarının içerisine yerleşmekte, agrega tanesinin çevresini tamamen saran bir konuma gelmektedir. Böylece, gerek agrega

tanelerinin silika minerali içeren bölgelerinde, gerek agrega tanelerinin yüzeyinde, ve gerekse betondaki çatlakların içerisinde, çok büyük genleşmeler meydana gelmektedir. Alkali-silika reaksiyonu çok yavaş bir reaksiyondur. Bu reaksiyonun oluşması, aylar, hatta yıllar almaktadır. Alkali-silika reaksiyonunun yer aldığı betonların yüzeyinde coğrafya haritasındaki il sınırlarını gösteren çizgilerin gelişigüzel şekillerine benzeyen tipik çatlak ağı oluşmaktadır. Bazen, beton yüzeyindeki bu çatlaklarda, yüzeye kadar çıkmış olan ve kalsiyumlu alkali-silika sıvısından oluşan beyaz lekeler de görülebilmektedir. Alkali-silika reaksiyonun devam etmesiyle, beton yüzeyinde parçalanmalar, kopmalar meydana gelmektedir.

Betondaki çelik donatının korozyonu (Paslanma)

Beton elemanın çekme ve eğilme gerilmeleri karşısında çatlayıp kırılmasını önleyebilmek için, çekme gerilmelerine maruz kalacak bölgelerine (örneğin, beton kirişlerin tabanına yakın bir konuma) çelik çubuklar yerleştirilmektedir. Çelik ve beton arasında iyi bir aderans olduğu takdirde, bu iki malzeme tek bir malzeme gibi davranış göstermektedir. Çekme dayanımı yüksek olan çelik çubuklar çekme dayanımı düşük olan betonu takviye etmektedir. Yapılarda yaygın olarak kullanılan ve çok önemli görevi olan çelik donatı, zamanla, “paslanma” da denilen “korozyon” olayı ile karşı karşıya kalabilmektedir. Betonun içerisindeki çelik çubuğun korozyonu, galvanik pildeki gibi elektro kimyasal bir olayla gerçekleşmektedir. Fe^{++} (demir iyonu) ile OH^- (betondaki hidroksil iyonu) arasındaki reaksiyonlar sonucunda, $Fe(OH)_2$ (ferros hidroksit), ve $Fe(OH)_3$ (ferrik hidroksit) gibi korozyon ürünleri oluşmaktadır. Korozyon ürünleri, “pass” olarak da adlandırılmaktadır [11].

Donma ve çözülme etkisi

Beton sıcaklığı yeterince düşük olduğundan, kapiler boşluklarda bulunan su donmaktadır. Betonun içerisindeki suların tümü, açığıdaki su gibi 0 °C sıcaklıkta donmamaktadır. Betondaki sularda eriyik olarak yer alabilen değişik tuzların etkisiyle, bu sular, 0 °C sıcaklıktan biraz daha düşük sıcaklıklarda donmaktadırlar.

Ayrıca, suların bulunduğu boşluk çapı, donma sıcaklığını etkileyen önemli bir faktör durumundadır. Büyük kapiler boşluklarda yer alan su, 0 °C veya biraz daha düşük sıcaklıkta donarken, çok küçük kapiler boşluklarda su, -15 °C veya -20 °C gibi sıcaklıklarda donmaktadır. Jel boşlukları çok küçük olduğu için, bu boşluklardaki sular çok daha düşük sıcaklıkta (-78 °C'ta) donmaktadır. Kısacası, betonun içerisindeki suların donma noktası olarak belirtilebilecek tek bir değer yoktur.

Buza dönüşen suyun hacmi %9 kadar artmaktadır. Düşük sıcaklıklarda, betonun içerisindeki su yavaş yavaş donmaya başlamaktadır; yani, donma olayı aniden yer almamaktadır.

Kapiler boşluklar tamamen veya %91'den daha çok suyla dolu durumda olduklarında, donmanın başlaması ve suyun bir miktarının buz haline dönüşmesiyle, ortaya çıkan hacim genleşmesi, boşluklardaki henüz donmamış durumdaki su üzerinde hidrolik basınç yaratmaktadır; henüz donmamış durumdaki su, boşluklardan dışarıya itilmektedir. Boşluklardan dışarıya çıkmaya zorlanan su, boşlukların etrafındaki çimento hamurunun çatlamasına yol açacak büyüklükte gerilmeler yaratmaktadır.

Betondaki sıcaklığın artması ile, beton soğuktan oluşmuş olan buzlar çözülmekte, böylece, betonun içerisindeki gerilme ortadan kalkmış olmaktadır. Ancak, bir başka zamanda yer alan soğuma karşısında aynı olaylar tekrar etmektedir. Kapiler boşluklarda henüz tamamen donmamış durumdaki suyun gösterdiği hidrolik basıncın artmasına katkısı olan iki olay daha bulunmaktadır:

- Jel boşluklarındaki su ile buz arasındaki termodinamik dengesizlik, jel suyunun bir miktarının kapiler boşluklara yönelerek donmasına, böylece, hidrolik basıncın artmasına neden olmaktadır;
- Kapiler boşluklardaki saf suyun dışarı çıkması sonucunda, geriye kalan sudaki tuz ve benzeri maddelerin konsantrasyonu, osmotik basınç artmaktadır.

Donma-çözülme olayı, fiziksel bir etkidir. Islanarak doygun duruma gelen ve donma-çözülme devirlerine maruz kalan bütün betonlar kısa sürede hasar görmektedirler. Park alanlarında, hava alanlarında, kaldırımlarda, yollarda kullanılan betonlar, bu tür hasara maruz kalabilecek betonlardır. Tekrar tekrar yer alan donma-çözülme olayları karşısında, betondaki iç gerilmeler nedeniyle, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta, ve bu çatlaklar giderek daha büyük çatlaklar haline gelmektedirler. Şiddetli ortamda çok sayıda donma-çözülme olaylarına maruz kalan en iyi betonlar dahi en çok bir-iki yıl içerisinde büyük hasar görebilmektedir.

Beton yüzeyinin pullanması

Beton yolların, kaldırımların, park yerlerdeki ve hava alanı pistlerindeki betonların üzerinde kışın oluşmakta olan buz tabakasından kurtulabilmek için, beton yüzeyine “buz-çözücü” tuzlar serilmektedir. Kalsiyum klorür ve sodyum klorür, en yaygın olarak kullanılmakta olan buz-çözücü tuzlardır. (Amonyum sülfat ve amonyum nitrat gibi gübreler de buz çözebilmekte ise de, betona zararlı olabilecek bu tür kimyasal maddeler kullanılmamalıdır).

Beton yüzeyine serilen buz-çözücü tuzlar, zamanla, beton yüzeyindeki rasgele noktalarda, kum ve çakılın gevşeyip çıkmasına (lokal boşluklar, patlaklar oluşmasına), ve beton yüzeyinden ince bir tabakanın balık pulu gibi sıyrılıp kalkmasına neden olabilmektedirler. Beton yüzeyinin ince tabakalar halinde gevşeyip kopma göstermesine “pullanma” denilmektedir. Beton yüzeyine serilen tuzlar, yüzeyde pullanma yarattığı gibi, ayrıca, betonun içerisindeki demirin korozyonunu da artırmaktadır.

Aşınma

Beton yüzeyine sürtünme veya çarpma şeklinde gelen kuvvetler, betonun yüzeyini adeta törpülercesine etki yaratmakta, yüzeyin aşınmasına yol açmaktadırlar. Aşınma

yavaş tempoda yer alan fiziksel ve mekanik bir olaydır. Aşınmanın yer aldığı başlıca beton yapılar şunlardır.

- Üzerinde insan trafiği (ayakların yarattığı sürtünme), hafif trafik, veya kayarak sürtünmenin olabileceği kaldırım ve döşeme betonları
- Üzerinde ağır trafik bulunan, özellikle zincirli tekerlekleri olan kamyonların veya çivili lastikli otoların hareket ettiği beton yollar.
- Akar sular tarafından taşınmakta olan kum, çakıl veya sert parçacıkların sürtünme yaratarak ve çarparak aşındırıldığı baraj, tünel, boru, köprü ayağı gibi yapılardaki betonlar.

Yukarda sıralanan yapılardaki aşınmanın dışında, barajlarda, dolu savaklarda. Tünellerde,ve bazı su taşıyan sistemlerdeki betonlarda oluşan kavitasyon hasarı da, aşınma konusu ile ilgili bir olaydır.

Betondaki kavitasyon, hızlı akan sular (sıvıların) akış yönlerindeki ani değişiklikten kaynaklanmaktadır. Bu durum, değişikliğin yer aldığı bölgenin hemen altındaki bir bölgedeki suda düşük basınç yaratmakta ve bu bölgedeki suda buhar cepleri oluşmasına yol açmaktadır. Buhar cepleri içeren suyun akmaya devam edip biraz ileride yüksek basınçlı bir bölgeye gelmesiyle, buhar patlaması yer almakta ve buradaki betonun yüzeyinde çok büyük bir gerilme yaratmaktadır. Beton yüzeyinde oyulma, aşınma olmaktadır. En iyi kalitedeki betonlar dahi, kavitasyon olayı ile büyük hasar görebilmektedir. Kavitasyonu önlemenin birinci koşulu. Su taşıyan sistemlerin tasarımının ani değişikliklere yol açmayacak tarzda doğru yapılmasıdır.

Beton yüzeyinde sürtünme ve çarpma yaratarak, yüzeyin erozyonuna neden olacak etkenler karşısında. Betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti “aşınma dayanıklılığı” olarak adlandırılmaktadır.

3. BETON KARIŞIMINDA KULLANILAN MALZEMELER

3.1. Agregas

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregadır. Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agregas önemli bir bileşendir. Agregalar tane boyutlarına göre ince (kum, kırma kum.. gibi) ve kaba (çakıl, kırma taş... gibi) agregalar olarak ikiye ayrılır. Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi),
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
- Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.
- Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz,...) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da artırmaktadır.

Betonu oluşturan malzemeler içersinde en büyük orana (yaklaşık % 75) sahip olan agregas (kum, çakıl, kırma taş ..), doğal kaynakları giderek tükenen ve standartlara uygun, temiz, kaliteli örneklerinin bulunması güç bir malzeme olarak, hazır beton sektöründeki stratejik önemini her geçen gün artırmakta. Bu alanda ciddi planlamalar yapıp, önlemler alınmazsa, yakın gelecekte, agregas ithali bile söz konusu olacak gibi [11].

3.2. Çimento

Beton oluşumunda en büyük rolü üstlenen ve maliyeti yüksek olan elemanlardan birisi çimentodur. Çimento, ana hammaddeleri kalkerle kil olan ve mineral parçalarını (kum, çakıl,tuğla, briket..vs.) yapıştırma da kullanılan bir malzemedir. Çimentonun bu yapıştırma özelliğini yerine getirebilmesi için mutlaka suya ihtiyaç

vardır. Çimento, su ile reaksiyona girerek sertleşen bir bağlayıcıdır. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve / veya kum katılarak öğütölüp toz haline getirilir [11].

Bu malzeme 1400 – 1500 °C’de döner fırınlarda pişirilir. Meydana gelen ürüne “klinker” denir. Daha sonra klinkere bir miktar alçı taşı eklenip (%4-5 oranında) çok ince toz halinde öğütölerek portland çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında, çimento tipine göre tek veya birkaçı bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. Katılır. Çimento bir çok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir [11].

Çimento miktarının minimum değeri, agrega içindeki bütün boşlukları doldurmaya olanak sağlamalıdır. Karışımında kullanılacak çimento miktarının fazla ya da az olması bazı teknik olumsuzlukları meydana getirir. Beton karışımındaki fazla çimento miktarı rötreye, sünmeye, yüzeysel ve kılcal çatlamalara neden olmaktadır. Karışımında kullanılacak çimento taneleri ne kadar ince ise betonun mukavemeti ve su geçirimsizliği o kadar yüksek olmaktadır. Çimentonun piriz süresi, 1 saatten az ve 10 saatten fazla olmamalıdır.

En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, katkılı çimento, Cürüflü Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento’dur, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır. Normal betonda agrega taneleri en sağlam unsur olduğundan, diğer iki unsur (çimento hamuru ve aderans) mukavemeti belirlemektedir. Çimento hamurunun mukavemeti önemli ölçüde su/çimento oranına bağlıdır [11].

3.3. Su

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır:

- Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek.
- Çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlemin sertleşmesini sağlamak.

Kıvam m^3 'e giren su miktarına bağlıdır. Hatırlanacağı üzere beton mukavemeti, su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple şantiyeye teslimi yapılan taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini yok eder.

Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit, yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb.) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır.

3.4. Mineral Katkılar

Çimento gibi öğütölmüş toz halde silolarda depolanan cüruf , uçucu kül , silis dumanı, taş unu... vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar, fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılardan yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanılır.

3.4.1. Silis dumanı

Mikrofiller malzemeler içinde en etkili olanı silis dumanıdır. Silis dumanı başta Norveç olmak üzere Avrupa'da yaygın biçimde kullanılmakta olup iki işleve sahiptir; birincisi betondaki boşlukları doldurma, diğeri ise puzolonik etkidir. Bu etkilere hangisinin belirleyici olduğu yönünde çeşitli görüşler vardır. Ancak silis

dumanının puzolonik etkisinin betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-çimento hamuru temas yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu mikro yapısal ve mekanik incelemelerle kanıtlanmıştır. Puzolonik etkinin hamur veya harca göre betonda daha belirgin olduğu, özellikle en büyük agrega boyutu arttıkça etkinin daha da arttığı gösterilmiştir.

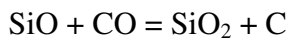
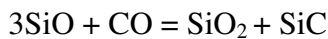
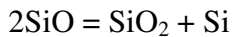
Silis dumanı elde edilişi

Silis dumanı silisyum metali veya ferrosilisyum (FeSi) alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Fırınların düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO₂ olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin hemen tamamını oluşturur. Alaşımdaki silisyum içeriğine bağlı olarak silis dumanındaki SiO₂ miktarı da artar. Bu miktar silisyum metalinde %98'e ulaşır [12].

Çizelge 3.1 Silis dumanındaki SiO₂ miktarı

Alaşım türü	Silis dumanındaki SiO ₂ [%]
%50 ferrosilisyum	61 – 84
%75 ferrosilisyum	84 – 91
Metal silisyum	87 – 98

Araştırmalarda ve pratikte kullanılan silis dumanları genellikle %75 ve yukarı oranlarda ferrosilisyum içeren alaşımlardan elde edilmiştir. Daha düşük oranlı silis dumanlarının kullanımı konusunda fazla bilgi yoktur. Fırın gazı soğutulduğu zaman;



Kimyasal bileşim

dumanlarının bileşiminde SiO₂ miktarı %85'i geçmekte, genellikle %90 civarında olmaktadır. Bazı tipik ortalama değerler Çizelge 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.2 Silis dumanlarının kimyasal bileşimi ve bazı fiziksel özellikleri [%]

Kimyasal Bileşimi		Alaşım Türü		
		Si	Fe-Si(%75)	SiFeCr
SiO ₂		93,65	93,22	70-85
Al ₂ O ₃		0,28	0,31	2-5
Fe ₂ O ₃		0,58	1,12	1-2,5
CaO		0,27	0,44	1-2
MgO		0,25	1,08	4-8
Na ₂ O		0,02	0,01	-
K ₂ O		0,49	1,37	-
Cr ₂ O ₃		-	-	1-4
S		0,20	0,22	0,5-1,3
C		3,62	1,92	1-1,5
Kızdırma Kaybı		4,36	3,10	1-3,5
45µm elekten kalan%		5,4	1,8	-
Özgül yüzey BET (m ² /kg)		20,000	17,200	-
Pozolonik Aktivite	Çimento ile %	102	96,5	-
	Kireç ile (Mpa)	8,9	-	-
Su gereksinimi%		138,8	139,2	-

Silis dumanında asitte çözünen klor miktarı ağırlıkça %0,016-0,025 arasında değişmektedir [12].

Renk

Silis dumanı çoğunlukla değişik tonlarda gri renktedir. SiO₂ renksiz olduğuna göre rengin koyuluğu karbon miktarına bağlı olarak artar. Demir oksit fazlalığı ise renge hafifi kahverengi bir ton verir.

Özgöl ağırlık

Silis dumanı özgöl ağırlığı ortalama 2,20 civarındadır. Bu değer alaşım türüne ve kaynağına göre biraz değişebilmektedir [12].

Çizelge 3.3 Silis dumanın özgöl ağırlıkları

Si Alaşım Türü	Özgöl Ağırlık [gr/cm ³]
Si	2,23
Si + FeSi (%75)	2,26 - 2,27
FeSi (%50)	2,30
FeSi (%75)	2,21 - 2,23

Birim ağırlık

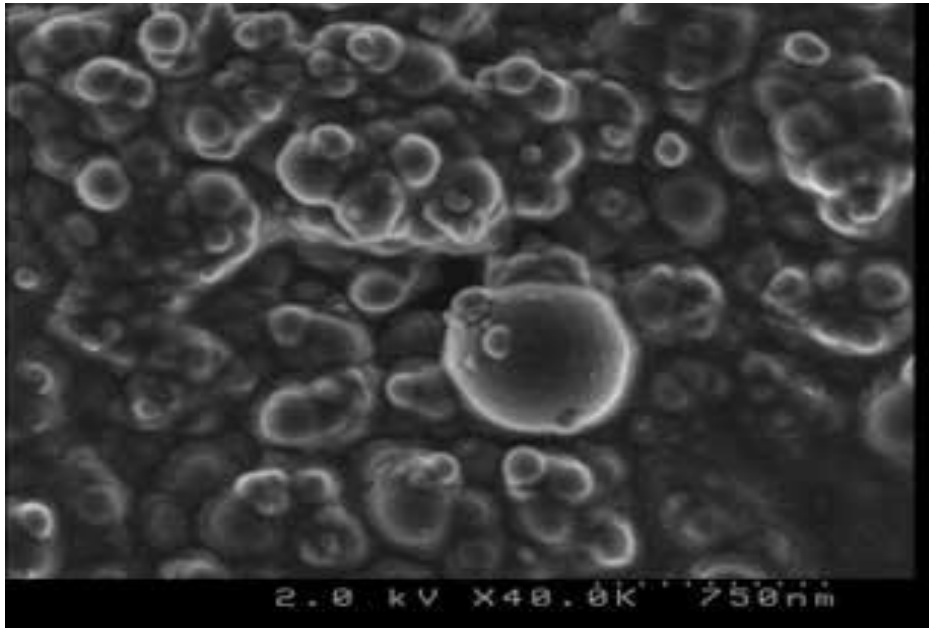
Silis dumanının gevşek birim ağırlığı 130 -140 kg/m³ arasında değişir.genellikle %50 silis dumanı içeren sulandırılmış (bulamaç) halinde bu değer 1300 – 1400 kg/m³ düzeyine kadar yükselebilir. Piyasaya sıkıştırılmış olarak sevk edilen silis dumanında ise birim ağırlık ortalama 500 kg/m³ civarındadır.

Tane özellikleri

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden meydana gelir. Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgöl yüzey bazında inceliği Blaine Metodu ile tayin edilmemektedir. Çok ince taneli cisimlerde özgöl yüzey Azot Adsorpsiyon (BET) metodu ile tayin edilebilmektedir. Burada özgöl yüzey tanelerin dış yüzeyleri ile içlerindeki açık boşlukların iç yüzeylerinden oluşan alan 1 molekül kalınlığında bir tabaka ile kaplayacak azot gazı miktarından hesaplanmaktadır. Bu yöntem, taneler arasında geçiş hızını esas alan Blaine metodundan farklı olduğundan iki metotla elde edilen sayısal sonuçların doğrudan karıştırılması mümkün değildir. Ancak, aşağıdaki değerler yine de silis dumanının inceliği konusunda bir fikir vermektedir [12].

Çizelge 3.4 Blaine ile BET metodlarına dayanarak bağlayıcı maddelerin özgül yüzeyleri

Bağlayıcı	Metod	Özgöl Yüzey [m^2/kg]
Portland Çimento	Blaine	300 – 400
Uçucu Kül	Blaine	400 – 700
Granüle Y.F. Cürüfı	Blaine	350 – 600
Silis Dumanı	BET	13000 – 20000



Şekil 3.1 Silis dumanının mikroskopla çekilmiş resmi [12]

Silis dumanı katkısının çimento hamuru üzerindeki etkileri

Çok ince taneli silis dumanı taneleri daha iri çimento taneleri arasında girerek burada sıkışan suyu dışarıya iterler ve taze hamurun kıvamı üzerinde etkili hale gelirler. Bu olumlu etkiye karşın silis dumanı tanelerinin oluşturduğu büyük yüzey alanı su ihtiyacını arttıracak ve kıvamı olumsuz yönde etkileyecektir. Araştırmalara göre çimentonun %5'i kadar katılan silis dumanı su ihtiyacını fazla değiştirmemekte, daha büyük miktarlarda ise su ihtiyacını arttırmaktadır [13].

Özellikle genç yaşlardaki betonlarda iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki ara yüzey bölgesi hamurun diğer bölgelerinde daha zayıftır. Bunun nedenlerini şöyle sıralayabiliriz:

- Taze betonun terlemesi sırasında iri agrega taneleri altında toplanan su ara yüzey bölgesinde s/ç oranısı yükselir ve boşluk yüzdesi artar.
- Gene aynı nedenle çimento ana bileşenlerinden kalsiyum silikatların (C_2S , C_3S) hidratasyonu sonucu ortaya çıkan kalsiyum hidroksit (CH) kristalleri bu bölgede daha büyüktür ve miktarca daha fazladır. Hidratasyonun başlıca ürünü ve hamurdaki esas bağlayıcı madde olan kalsiyum silikat hidrat (C-S-H) jellerine oranla CH'nin bağlayıcılık değeri çok daha azdır. Ayrıca kristallerin boyu büyüdükçe toplam yüzey alanı ve dolayısı ile Van Der Waals kuvvetleri daha da zayıflar.
- İri agrega yüzeyi boyunca katı taneler etkisi nedeni ile daha gevşek bir düzen içinde yer alırlar. Burada hamur boşluk oranı daha da artar.

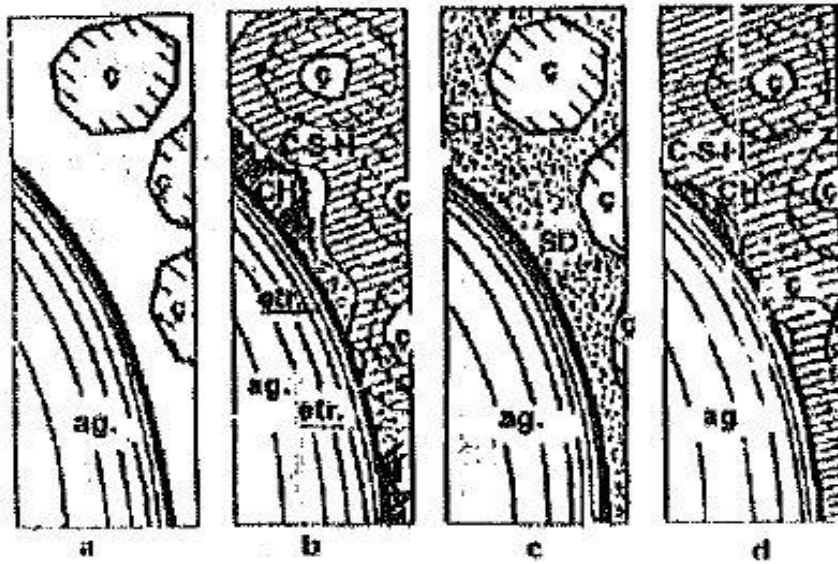
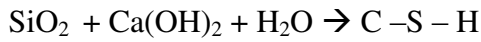
Araştırmacılar silis dumanı katkısının beton dayanımı üzerindeki olumlu etkisini daha ziyade agrega – hamur ara yüzeyini kuvvetlendirmesine bağlamaktadırlar. Bazılarına göre çimentonun %15'i yerine katıldığında ortalama her çimento tanesine karşın iki milyon silis dumanı tanesi girmektedirler [14].

İnce silis dumanı taneleri ara yüzeydeki boşlukları doldurmakta, terleme azaldığı için agrega taneleri altında daha az su toplanmakta ve daha yapışkan hale gelen hamur ile agrega taneleri arasında fiziksel aderans artmaktadır.

Sellevoid'a göre çok ince taneli mineral katkıları, çimentonun ilk yaşlardaki hidratasyonunu hızlandırılmaktadır [15]. Ayrıca bu tür ince taneler CH kristalleri için de daha fazla sayıda çekirdeklenme noktası sağladıklarından ara yüzeydeki iri CH kristalleri yerine daha küçükleri oluşmaktadır.

Şekil 3.2 'de katkısız ve silis dumanı katkılı hamurların agrega ile olan ara yüzeyleri gösterilmiştir [13] (a) katkısız tane hamurdaki ara yüzeyi belirtmektedir. Çimento taneleri (ç) arasında su ile dolu boşluklar görülmektedir, (b) de aynı ara yüzey sertleştikten sonra resmedilmiştir.

C – S – H ve CH kristalleri, kısmen etrenjit (etr.) içeren boşluklar görülmektedir. Şeklin (c) ve (d) bölümlerinde ise silis dumanı katkılı taze ve sertleşmiş hamurlardaki durum gösterilmiştir. Silis dumanı taneleri boşlukları doldurmakta, CH kristalleri küçülmektedir. Ayrıca ilave pozolonik C – S – H jeli de meydana gelerek boşlukları azaltmakta, dayanımı arttırmaktadır.



Şekil 3.2 Silis dumanı katkısının ara yüzeye etkisi [13]

Silis dumanının diğer mineral katkılarıyla ilişkisi

Silis dumanı uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi diğer mineral katkılarıyla ilişkisi araştırılmıştır. Silis dumanı diğer pozolonların neden olduğu düşük ilk dayanımları yükseltmekte yararlı olabilmektedir. Çimento hidrasyonu sırasında başlangıçta

oluşan CH silis dumanı tarafından bağlanmakta, diğer puzolanlar da geriye kalan CH ile reaksiyona girmektedir.

Bu şekilde uygun oranlar kullanıldığında silis dumanı ve mineral katkıları ile hem erken hem de ileri yaşlardaki dayanımlar olumlu etkilenebilmektedir [16,17,18]. Uçucu kül katkılı hamurlarda uzayan priz süreleri %8 oranında katılan silis dumanı ile bir miktar kısaltılabilmektedir [19].

Kimyasal katkıları ile ilişki

Klor içermeyen priz hızlandırıcı katkıları ile kalsiyum nitrat gibi korozyon önleyiciler, silis dumanı içeren hamur ve betonlarda normal şekilde kullanılabilmekte, etkilerinde farklılık görülmemektedir.

Silis dumanı genellikle süper akışkanlaştırıcı katkıları ile birlikte kullanılır. Bu katkı maddelerinin içerdiği polimer molekül zincirleri çimento tanelerinin yüzeyinde adsorbe olurlar. çimento tanelerinin birbirlerini iterek hamur içinde kolayca dağılmalarını sağlarlar ve aynı kıvam içinde gerekli karışım suyunu azaltırlar. Ortamda silis dumanı taneleri bulunması halinde de bu etkinin başlıca nitelikleri değişmemektedir [12].

Silis dumanının sertleşmiş betonun özelliklerine etkileri

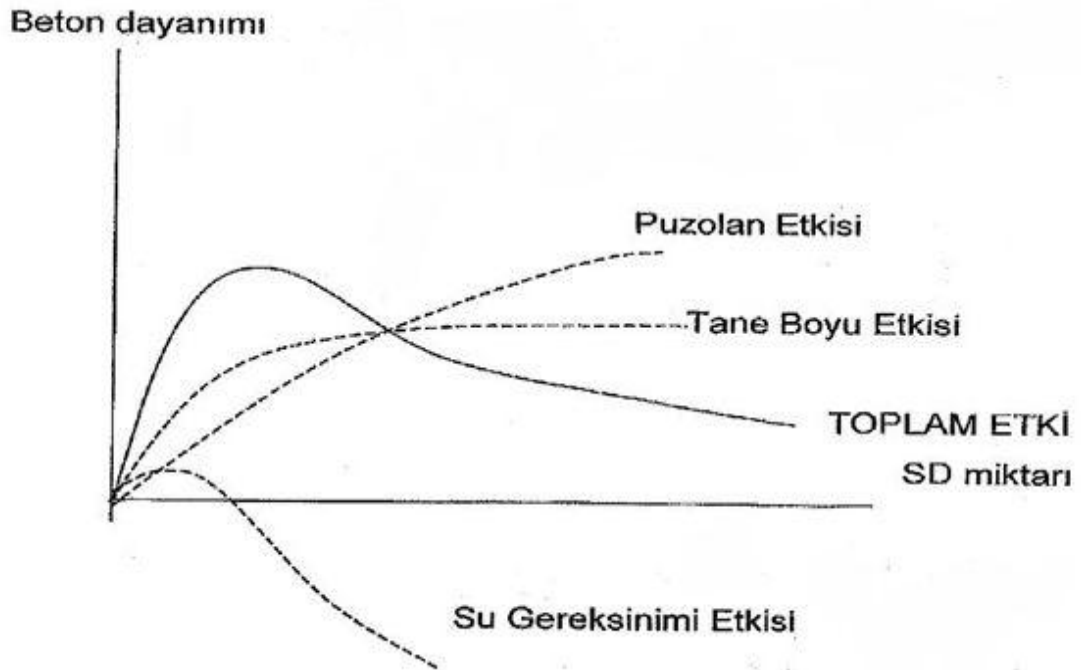
Agrega – hamur ara yüzeyi

Sertleşmiş çimento hamuru ile agrega arasında yaklaşık 50 µm kalınlığındaki ara yüzey bölgesinin hidrasyon başlangıcından itibaren hamurun diğer bölgelerinden daha farklı bir yapı ile oluştuğu belirtilmişti. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve özellikle silis dumanı katkıları bu bölgenin morfolojisini olumlu yönde değiştirerek beton dayanımının artmasına katkıda bulunurlar. Silis dumanı katkısı ile bölgenin

kalınlığı azalır ve buradaki hamurun iç yapısı zamanla diğer bölgelerdekine benzemeye başlar.

Basınç dayanımı

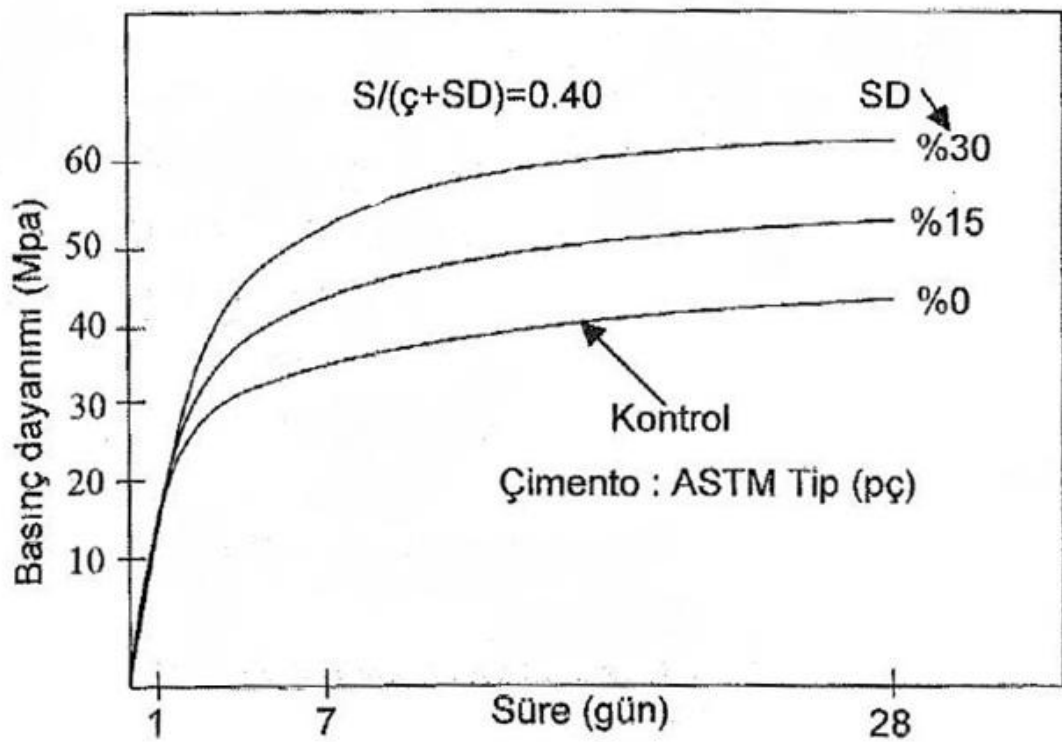
Silis dumanı katkısının beton dayanımına olan etkisi şekil 3.3'deki gibi açıklanabilir. Diğer puzolanlar gibi yeni C – S – H jelleri oluşmasını sağlamaları yanı sıra ince silis dumanı taneleri agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını arttıırırlar. Buna karşın belirli bir işlenebilirlik için su ihtiyacını artırmaları gibi olumsuz etkileri de vardır. Dolayısı ile betondaki optimum silis dumanı miktarı bu etkilerin göreceli değerlerine bağlı olacak ve çimento, agrega, akışkanlaştırıcı katkı tip ve miktarları ile bakım koşulları gibi klasik faktörlerden de etkilenecektir [20]. Bazı araştırmacılara göre silis dumanı katkısının beton dayanımına olan olumlu etkisi agrega-hamur ara yüzeyinin kuvvetlenmesinden dolayıdır [21].



Şekil 3.3 Silis dumanının beton dayanımına etkisi [20]

Silis dumanının beton basınç dayanımına olumlu etkisi erken yaşlarda daha belirgindir. Normal bakım koşullarında bu etki 3 – 28 gün arası kendini gösterir. Ancak s/b orantısını 0,40 civarına indirerek bir günlük dayanımları dahi yükseltmek mümkündür [13]. Şekil 3.4 ‘de görüldüğü gibi süper akışkanlaştırıcı kullanıp s/b orantısını 0,40’de sabit tutarak dökülen betonlarda çimentonun ağırlığınca %30’una kadar varan miktarlarda katılan silis dumanı ilk birkaç günden itibaren dayanımları artırmaktadır [22].

İleri yaşlarda olumlu etki azalmakta olup bazı araştırmacılara göre silis dumanlı betonlarda dayanım 90. günden sonra düşebilmektedir [23]. Diğer taraftan, 4 – 6 yıl sonra dahi dayanımlarda azalma olmadığını bildirenler de vardır [24].



Şekil 3.4 Silis dumanı katkısının beton basınç dayanımına etkisi [22]

Diğer puzolanlarda olduğu gibi silis dumanının olumlu etkileri iyi bakım koşulları ile geliştirilebilmektedir. Tüm silis dumanlı betonlar için geçerliliği tartışmalı olan bu davranışa diğer puzolan katkılı betonlarda rastlanılmaktadır. Puzolan katkılı çimento

ve betonların yavaş dayanım kazanmaları silis dumanı katkısı ile dengelenebilmektedir [25].

Betonun 28 günlük dayanımını arttırmayı amaçlayan çalışmalarda silis dumanının genellikle çimentonun %5 - %20'si oranlarında betona katıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için %1'dan yukarı miktarların süper akışkanlaştırıcı katkılarla birlikte kullanıldığı görülmektedir. Yüksek dayanımlı betonlarda silis dumanı çimentonun ağırlıkça yaklaşık %15'i yerine katılmaktadır. Bu betonlarda çimento dozajını 400 -500 kg/m³ sınırının üstüne çıkarmak veya s/b orantısını 0.30'un altına indirmek gibi zorlamalar fazla yarar sağlamamaktadır [26].

3.4.2. Uçucu kül

Bu terim elektrik enerjisi endüstrisinde 1930'lu yıllarda ortaya çıktı. 1930'larda kömür ile çalışan elektrik santrallerinde çok miktarda uçucu kül elde etmek mümkün hale geldi. Uçucu külün portland çimentosu içinde kullanımını yine bu tarihlerde başladı. Son zamanlarda uçucu kül tüketimin artmasına rağmen, halen uçucu kül kullanımı olması gerekenden daha azdır. Bunun sebeplerini şöyle sıralayabiliriz;

- Sektörün nispeten tutucu karakterinden kaynaklanan yeni yöntem ve malzemelere duyulan şüphe,
- Türkiye uçucu küllerinin özellikleri ve yapı malzemesi olarak kullanılabilirlikleri hakkında yeterli birikimin bulunmaması,
- Uçucu küllerin sabit özellikleri sahip olmaması,
- Çimento sektörünün kazanç kaygısı.

Uçucu külün kaynağı

Toz haline getirilmiş kömürün elektrik santrallerinde artan kullanımından dolayı, uçucu kül elde edilmesi kolay bir malzemedir. Uçucu kül, normal olarak 200 No'lu elekten (75 µm) %70 – 80 oranında geçecek şekilde parçalanmış ve öğütülmüş

kömürün yanması ile ortaya çıkar. F sınıfı küller genellikle antrasit veya taş kömürü yakılması suretiyle meydana gelir. C sınıfı külleri ise bitümlü şist veya linyit kömürünün yakılması ile meydana gelir [27].

Taş kömürü ve antrasit kömürü nadiren önemli oranda yüksek kalsiyumlu mineral maddeler içerir. Bitümlü şist ve linyit kömürleri yüksek oranda kalsiyum içerebilir veya bazen de içermeyebilir [27]. Uçucu külün iki sınıfa ayrılması bağlayıcılık ve puzolonik özellikleri etkileyen kimyasal bileşimlerini yansıtır. C sınıfı küller puzolonik özelliklere ek olarak bağlayıcılık özelliğine de sahiptir. F sınıfı küller ise tek başına su ile karıştırıldığında nadiren bağlayıcılık gösterir [27].

Uçucu külün fiziksel özellikleri

Uçucu kül taneciklerinin boyut dağılımı özgül ağırlığı ve bileşimi taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini etkilediği gibi sertleşmiş betonun dayanım gelişimini etkiler. Değişik santrallerden elde edilmiş veya aynı santralden farklı kömür kaynaklarından sağlanmış uçucu küller farklı renklere sahip olabilir.

Uçucu kül rengi ve uçucu kül miktarı çimento veya ince agregadaki renk değişimlerini etkilediği gibi betonun rengini de etkileyebilir. Uçucu kül rengi, belli bir kaynaktan elde edilen uçucu kül renginin değişmesinin kömür kaynağının, kızdırma kaybının, demir içeriğinin ve yakma şartlarının değişmesinin göstergesi olması dışında genellikle bir mühendislik verisi değildir [27].

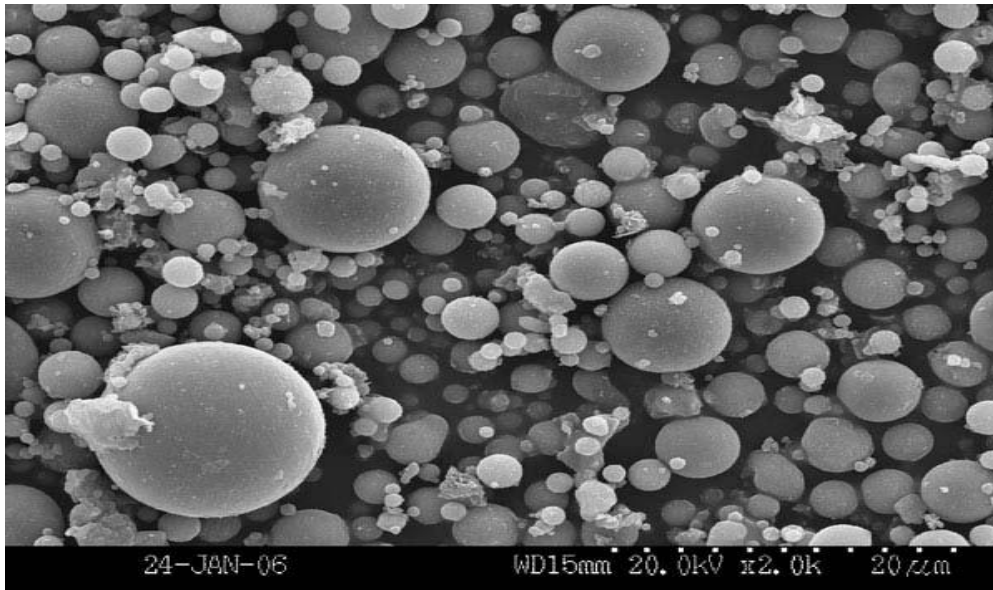
Tanecik şekli

Bir uçucu külün tanecik şekli ve şekil özellikleri kömürün kaynak ve üniform ruhuna yanmadan önceki toz haline getirilme derecesine yanma ortamına (sıcaklık düzeyi ve oksijen temini) yanmanın üniformluğuna ve kullanılan toplama sisteminin mekanik ayırıcılığı, filtreli veya elektrostatik çökelticili olup olmadığına, yani toplama sisteminin tipine bağlıdır. Uçucu kül taneciklerinin çoğunluğu camsı katı veya içi boş

ve küresel şekillidir. İçi boş ve kürelere senosfer denir. Ufak kül tanecikleri içeren küllere ise plerosfer olarak bilinir. Kalan uçucu kül tanecikleri, yarı saydamlık, ışık geçirmezlik, az boşluluk, çok boşluluk aralığında yer alır ve şekilleri de yuvarlak ile uzun arasında değişir [27].

İncelik

Uçucu küldeki tanelerin boyutu $1\mu\text{m}$. - 1mm. arası değişir. Mekanik ayırıcıların kullandığı eski santrallerden elde edilen uçucu kül, elektrostatik çökelticilerin veya biriktirici filtrelerin kullanıldığı yeni santrallerden elde edilen uçucu küllerden daha kalındır. Betonda puzolan olarak kullanılması uygun olan uçucu küllerdeki tanelerin çoğu, 325 No.lu ($45\mu\text{m}$) elekten geçerler. Belli bir kaynaktan elde edilen uçucu küllerin tanecik dağılımı, kömür kaynağında, kömür öğütülmesinde, proseste ve santral yükünde büyük bir değişiklik olmazsa genellikle sabit kalır [27].



Şekil 3.5 Uçucu kül tanelerinin taramalı elektron mikroskobu altında tipik görüntüsüne ait resim [28]

Uçucu kül inceliğinin uçucu külün betondaki performansı üzerinde önemli etkisi vardır. Uçucu külün irileştikçe su ihtiyacının arttırmasının ana sebebi tanelerin fiziksel yapısından kaynaklanmaktadır. Taramalı elektron mikroskobundan elde

edilen görüntülere göre ince uçucu kül tanesi bilinen küresel ve dolu yapıya sahiptir. Uçucu kül tanesi irileştikçe bu küresel ve dolu yapısını kaybetmekte ve buna bağlı olarak tanelerin birbiri üzerindeki kayganlaştırıcı etkisi de azalmaktadır. Şekilsiz, gelişigüzel ve süngersi bir yapıya sahip olduğu iri taneli uçucu külün taze betonda iç sürtünmeyi ve su ihtiyacını arttırıcı özelliğe sahip olması doğaldır [28].

Özgül ağırlık

Katı uçucu kül taneciklerinin özgül ağırlığı 1.97 ile 3.02 arasında değişmektedir. Fakat genelde 2.2 ile 2.8 arasında bir değer almaktadır. Bazı uçucu kül tanecikleri (örneğin senosferler) su üzerinde kalabilirler ki bu onların 1'den küçük özgül ağırlığa sahip olduğunu göstermektedir. Camsı uçucu kül taneciklerinin içindeki hava kabarcıkları ve yığılmış tanecikler arasındaki boşluklar özgül ağırlıkta büyük değişikliklere sebep olabilmektedir. Özellikle demir ve karbon içeriğindeki oynamalar da özgül ağırlıkta değişikliklere yol açabilmektedir.

100 μm veya daha büyük ortalama dane çapına sahip uçucu küller maksimum 1.5 - 2.0 g/cm^3 arasında özgül ağırlığa sahiptir. 50 μm ve daha küçük ortalama dane çapına sahip uçucu küller 2.0 – 2.5 g/cm^3 özgül ağırlığa sahiptirler [29]. Yani yüksek özgül ağırlık çoğu zaman ince taneciklerin göstergesidir.

C sınıfı küllerin F sınıfı küllere göre daha büyük özgül ağırlığa sahip olma eğiliminde olduğu belirtilmektedir. C sınıfı küller daha ince taneciklere ve daha az senosfere sahiptirler. Böylece C sınıfı küller 2.4 ile 2.8 arasında değişen yüksek özgül ağırlıklara sahip olabilmektedir.

Uçucu küllerin kimyasal özellikleri

Uçucu küller kimyasal ve faz bileşimi dizilişinde karmaşıktır. Camsı ve billursu fazlardan heterojen terkipten ibarettirler. Tipik bileşenler oksit şeklinde bulunmasalar da, kimyasal analizlerin sonuçları silika (SiO_2), alümina (Al_2O_3), ferrik

oksit (Fe_2O_3), kalsiyum oksit (CaO), magnezyum oksit (MgO) ve sülfür oksit (SO_3) şeklinde elementlerin oksitleri olarak açıklamak alışkanlık olmuştur [27].

Üç temel bileşende büyük değişiklikler olur. SiO_2 % 25 – 60, Al_2O_3 % 10 – 30 ve Fe_2O_3 % 5 – 25 miktarlarında bulunabilir. Eğer bu üç bileşenin % toplamaları %70 veya daha fazla ise uçucu kül teknik olarak F sınıfı kül olarak adlandırılır. C sınıfı küller genellikle önemli oranda CaO denilen kalsiyum bileşikleri ihtiva ettiğinden biraz önce bahsedilen üç bileşenin toplamının %50'den büyük olması gerekmektedir.

MgO içeriği genellikle %5'i aşmaz. Na_2O denilen alkali oksitlerin yüzey C sınıfı küllerde genellikle %5'den azdır, fakat bazen bu küllerde %10'a kadar çıkabilir. F sınıfı küllerin esas aktif bileşeni silisli veya alümino silikatlı camdır. C sınıfı küllerde ise kalsiyum alümino – silikattır [27]. Uçucu küllerin elde edildiği kömürün orijinin bağlı olarak değişik miktarlarda bulunacak 2. Derecede elementler titanyum, demir, magnezyum, fosfor, sülfür, oksijen, potasyum, sodyum, karbon ve çok az miktarda diğer bazı elementlerdir. Ayrıca bazı uçucu küller, yanmamış kömürden başka çok az miktarda organik bileşikler içerirler. Kömürün yakılışında ve külün toplanması aşamalarında kullanılan bazı malzemeler uçucu külün özelliklerini etkileyebilir.

Karbon içeriği doğrudan belirlenemese de çoğu zaman kızdırma kaybı miktarına eşit olduğu kabul edilir. Bununla birlikte yanma kaybı ayrıca birleşik su ve ortaya çıkabilecek hidrat ve karbonatların ayrışmasıyla kaybolan bir miktar CO_2 içerir.

Çizelge 3.5 Uçucu kül kimyasal bileşimi sınıflandırılması [30]

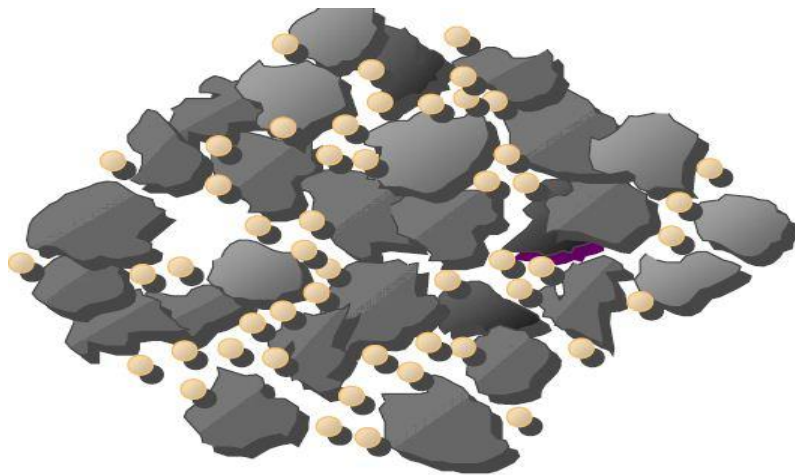
Kimyasal Bileşen	Oranı [%]
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (%)	>70.0
MgO (%)	<5.0
SO_3	<5.0
Rutubet (%)	<3.0
Kızdırma kaybı (%)	<10.0

Uçucu kül ve beton

Uçucu kül dünyanın pek çok yerinde doğal olarak bulunan özellikle tortul veya volkanik kökenli puzolonik malzemelere benzer puzolonik özelliklere sahiptir. Uçucu kül gibi puzonlar portland çimentosunun bir bileşeni olarak kullanılır. Uçucu kül, ekonomi, taze betonda sıcaklık yükselişini düşürmesi, işlenebilirlik ve sertleşmiş betonda dayanım ve durabiliteye olumlu katkılarından dolayı kullanılmaktadır [27].

Uçucu kül betonu gereği gibi kür edilirse, betonun çimento hamuru kısmındaki hidrate olmuş partiküller arası boşlukların doldurulmasına yardım eder. Böylece su geçirimsizliği azalır. Kimyasal zararlara dayanım artar. Birçok uçucu külün yavaş reaksiyon hızlı kütle betonlarındaki zararlı ilk sıcaklık yükselişini ve erken ısı üretimi miktarının sınırlandırılması imkan verir. Betonda uçucu kül kullanımı, arzu edilen beton özelliklerini elde etmek için gerekli olan üretiminde yoğun enerji harcanan portland çimentosu miktarının azaltılması ile enerji tasarrufu sağlanmasına imkan verir. Atık bir malzeme olan uçucu külün kullanımı ile çevre kirliliği azalır.

Uçucu kül, beton ve harç üretiminde büyük çoğunlukla ikincil bağlayıcı madde şeklinde, portland çimentosunun ağırlık yüzdesi oranında çimentonun bir kısmı yerine veya ilave olarak, bazen de çimentoya önceden karıştırılarak katkı çimento şeklinde kullanılır [31].



Şekil 3.6 Çimento aralarındaki boşlukları dolduran uçucu kül [31]

Basınç dayanımı ve dayanım kazanım hızı

Uçucu küllü betonda dayanım gelişimini pek çok değişken etkiler. Bu değişkenler:

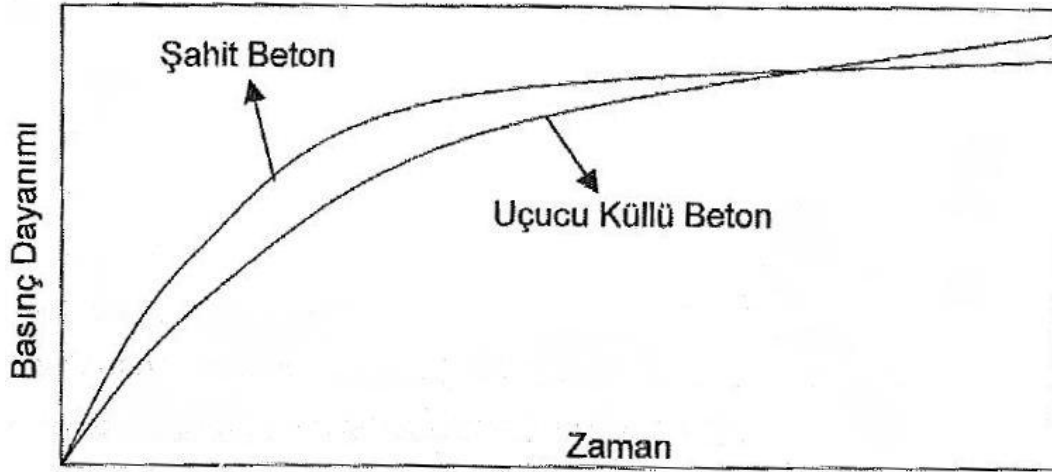
- Uçucu külün özellikleri
- Kimyasal bileşim
- Tanecik boyutu
- Reaktivite
- Sıcaklık ve diğer kür koşulları[32].

28 günlük eşit basınç dayanımı için hesaplanmış uçucu külsüz beton ile kıyaslandığında, tipik F sınıfı kül ihtiva eden beton oda sıcaklığında 7. gün ve öncesinde daha az dayanım gösterir. Bununla birlikte, eğer uçucu külsüz betonla eşit 3 veya 7 günlük basınç dayanımı isteniyorsa, piriz hızlandırıcı katkı veya karışım değiştirme yoluyla da bu sağlanabilir. Test sonuçları erken yaş dayanımını arttırmak için silis dumanı kullanılabileceğini göstermiştir. Silis dumanı ile uçucu külün aynı anda kullanımı, hem silis dumanı reaksiyonunun hem de uçucu kül reaksiyonunun uzun süre devam etmesi için yeterli olan kalsiyum hidroksit varlığını gösteren 56 ve 91 günlük devam eden dayanım artışları ile sonuçlanmıştır[27].

Portland çimentosunun dayanım kazandırma hızı yavaşladıktan sonra, uçucu külün devam eden pozolonik reaksiyonu, eğer beton rutubette korunursa, daha sonraki yaşlarda dayanım artışına katkıda bulunur. Şekil 3.7’de bu olay gösterilmektedir. Referans olarak 28 günlük dayanımların kullanıldığı bir çalışmada, 1 yıllık bir sürede uçucu külün beton için %50’lik bir dayanım artışı, uçucu külsüz beton için ise %30’luk bir dayanım artışı elde edilmiştir.

C sınıfı küller çoğu zaman erken yaşlarda F sınıfı küllerden daha yüksek reaksiyon hızı gösterirler. F sınıfı küller ile yapılan bir çalışmada, pek çok durumda, 45 µm elekten geçen malzeme yüzdesi ile orantılı olarak tüm yaşlarda pozolonik aktivitenin

arttığı neticesi çıkmıştır. Diğer bir çalışmada eşit ağırlık esasına göre C sınıfı bazı uçucu küllerin portland çimentosu kadar etkili olduğu ortaya çıkmıştır[27].



Şekil 3.7 Uçucu küllü ve külsüz betonda basınç dayanımının zamanla değişimi [32]

Tanecik boyutunun dayanım kazanımına olan etkisinin doğrudan deneysel ispatı çelişkilidir. Tanecik boyutu ile bir münasebet kurabilmek için ya diğer tüm değişkenleri minimum bir değerde sınırlamak ya da çok değişkenli deneyler gerçekleştirmek gereklidir.

Uçucu kül çok kademeli elektro statik çökticilerde toplandığında, tanecik boyutuna göre araştırma meydana gelir. İnce boyuttaki tanecikler fırından en uzak bölmede toplanır. Her bölmeden kül alınarak, farklı tanecik boyut dağılımları aynı kaynaktan aynı anda elde edilir.

Ne var ki, bölmeler arasında sadece boyut faktörü değişmez. Kimyasal özellikler yoğunluk ve taneciklerin morfolojisi de değişmektedir. Kimyasal olarak karbon büyük tanecikler ile ayrılma eğilimindedir. Alkali sülfatlar kloritler ise çökticilerin soğuk bölmelerinde ince taneciklerin yüzeylerinde toplama eğilimindedir. Düşük yoğunluklu tanecikler çökticide farklı şekilde dağılır. Senosferler ve düzensiz şekilli tanecikler ilk bölmedeki gazdan çökelme eğilimindedir ve böylece ortalama yoğunluk ölçümlerini etkilerler. Bununla birlikte tek bir kaynaktan farklı boyuttaki

küllerin incelenmesi tanecik boyutunun dayanım üzerindeki etkisinin belirlenmesi, bazı faktörlerin sınırlandırılması ile görülmektedir [32].

Mineral katkı maddelerinin harç ve betonların mukavemetlerine olan etkileri bunların çimentonun bir kısmı yerine veya çimentoya ilaveten kullanılması Puzolonik aktiviteleri, kimyasal ve fiziksel özellikleri ile kullanım miktarları gibi faktörlere bağlı olmaktadır [31].

Yapılan bir çalışmada, yüksek bir miktarda uçucu kül içeren betonların basınç mukavemetlerinde 28 günden sonra önemli gelişmeler gözlemlendiği ve bunun da uçucu külün betonun uzun süreli mukavemetine olan olumlu katkısını gösterdiği belirtilmektedir. Diğer bir çalışmada, C tipi uçucu külün %20.3 ve 35 kullanım oranlarında 7 günde kontrol betonundan daha düşük mukavemetler elde edilmiş. %20 ve 35 oranlarında 28 günde kontrol betonun mukavemetine erişilirken 80 günde %20 kül içeren karışımın mukavemeti kontrol betonunu geçmekte, %50 kül içeren beton ise daha düşük dayanımda kalmaktadır [31].

F tipi uçucu küle üretilen betonlarda ilk dayanımların kür şartlarından çok etkilendiği yapılan bir çalışmada gözlemlenmiştir. Çeşitli yöntemlerle uçucu külün inceliği artırılarak, beton dayanım gelişimi etkilenebilmektedir. Tozawa ve arkadaşları ince uçucu küller ile yapılan harçlarda dayanımın ileri yaşlarda çok hızlı arttığını gözlemişlerdir. Normal kür metotları uygulandığında yüksek incelik ve düşük karbon miktarı taşıyan uçucu kül eşit ağırlıkta çimento yerine kullanılmışsa 90 güne kadar basınç dayanımının düşük olmasına, ancak bu süreden sonra yükselmesine sebep olmaktadır.

Azaltılan çimento miktarlarından daha fazla kül kullanıldığı zaman basınç dayanımı katkısız betonunkine eşit ve hatta daha yüksek bir seviyeye getirilebilmektedir. Bu sonuçlar beton karışımının tipine, kullanılan malzeme cinsine ve fazladan katılan kül miktarına göre değişmektedir [33]. Düşük dozajla betonlarda kullanıldığında uçucu kül, basınç dayanımını daha olumlu şekilde etkilemektedir. Yüksek ısı altında kür

edildiğinde, uçucu küllü beton dayanımları erken yaşlarda dahi eşit olabilmekte hatta daha yüksek olabilmektedir. Yoğurma suyunu azaltacak kimyasal katkıları kullanıldığında da benzer sonuçlar elde edilmektedir [33].

3.5. Kimyasal katkıları

Akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanım amaçları, türleri, etki mekanizmaları aşağıda belirtilmektedir. Genel anlamda harç ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren maddeler olarak tanımlanan katkı maddeleri, son yıllarda Türkiye’de yoğun bir şekilde kullanılmaktadır [34]. Çeşitli çalışmalarda katkı maddeleri kullanım amaçlarına göre gruplandırılmaktadır. ACI Committee 212 raporunda beton katkı maddelerini hava sürükleyen, priz hızlandırıcı, su azaltıcı ve priz süresini ayarlayan, akıcı beton katkıları ve diğer muhtelif katkıları olmak üzere sınıflandırılmıştır.

3.5.1. Normal ve süper akışkanlaştırıcı kullanım amaçları

Normal akışkanlaştırıcılar uygulamada genelde üç amaçla kullanılmaktadır.

- Katkısız betonla aynı işlenebilmede olmak şartıyla su/çimento oranını azaltarak daha yüksek mukavemet sağlamak,
- Kütle betonlarında hidrasyon ısını düşürmek için çimento miktarının azaltılması durumunda aynı işlenebilmeyi kazanmak. Katkının bu şekilde kullanılması aynı zamanda daha ekonomik bir beton üretimi sağlanması anlamına gelmektedir.
- Ulaşılamayan yerlere kolay yerleşmeyi sağlamak için işlenebilmeyi arttırmak [34].

Yukarıda normal akışkanlaştırıcılar için belirtilen kullanım amaçları süper akışkanlaştırıcıların kullanım amaçlarını da kapsamaktadır. Ancak süper akışkanlaştırıcılar daha çok bunlardan 3. Maddedeki amaçla kullanılmakta, yani

“akıcı beton” üretiminde özellikle bu katkılardan yararlandırılmaktadır. Süper akışkanlaştırıcıların ikinci bir kullanım amacı ise yüksek mukavemetli beton üretiminde olmakta, bu katkılar sayesinde çok düşük su/çimento oranlarında normal işlenebilmeler elde edilebilmektedir.

Süper akışkanlaştırıcıların olumlu etkileri olduğu gibi olumsuz yanları da vardır. Süper akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilen yüksek işlenebilme özelliği, 30 dakika içinde çökme kaybıyla azalmakta ve zamanla devam etmektedir. Bu özellikteki kayıp, oldukça küçük yüzdelerde katkı ilavesiyle, iki saatten sonraya uzatılabilmektedir [35].

3.5.2. Akışkanlaştırıcıların türleri

Normal akışkanlaştırıcıların kimyasal esasları bakımından çeşitli türleri vardır. Ancak bu katkıların çoğunluğu Lignosülfonik asit ve bu asidin tuzları ve bunların değişime uğramış türleriyle üretilmektedir. Süper akışkanlaştırıcılar kimyasal bileşimlerine göre esas olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir:

- Melamin formaldehit sülfonatlar
- Naftalin formaldehit sülfonatlar
- Modifiye edilmiş lignosülfonatlar
- Yukarıdakilere çökme kaybını önleyici maddeler (örneğin fonksiyonel sülfonik grup ve karboksil grup ile oluşturulmuş kopolimer) [35].

3.5.3. Akışkanlaştırıcı katkıların etki mekanizması

Normal akışkanlaştırıcılar beton içine hava sürükleyerek ve çimento tanelerinin birbirlerine yapışmasını, topaklaşmasını önleyerek etki gösterirler. Akışkanlaştırıcı madde çimento taneleri tarafından adsorbe edilmeleri sonucu tane yüzeyine çöker. Tane yüzeyi çökelen bu maddelerin oluşturduğu film negatif elektrik yüklüdür. Bu şekilde negatif elektrik yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden bu maddelerin

dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbirleri üzerinde kaymalarını kolaylaştırdıklarında yağlayıcı etki göstermeleri, betonun iç sürtünmesi azaltır, bu da betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olur [36].

Süper akışkanlaştırıcıların etkisi de normal akışkanlaştırıcılarınkine benzemektedir. Ancak bu katkılar suyun yüzey gerilimini normal akışkanlaştırıcılara göre daha az düşürdüklerinden aşırı miktarda hava sürüklemeyiz. Süper akışkanlaştırıcılar bu nedenle normal akışkanlaştırıcılara göre daha fazla yüksek oranlarda kullanılabilirler.

Çeşitli araştırmacılar tarafından normal akışkanlaştırıcılar genelde çimento ağırlığının %0.2 ile %0.6 arasında, süper akışkanlaştırıcılar ise çimento ağırlığının %0.7 ile %2.0'si arasında kullanılarak denenmişlerdir.

3.5.4. Katkı maddesinin tercihi

Değişik amaçlara hizmet amacıyla farklı kimyasal bileşimlere sahip olacak şekilde üretilmiş olan katkı maddelerinin, kullanım yerlerinin de ayrı olacağı tabiidir. Örneğin, beton santralinin hemen yanında ve 20 saate 30 MPa dayanım istenilen bir prekast kiriş üretim sahasında geciktirici özelliği olmayan süper akışkanlaştırıcı yerine geciktiricili süper akışkanlaştırıcının tercih edildiğine şahit olunmaktadır. Bu durumda, kiriş dışarıdan buhar kürü ile ısıtılıp sertleşirken, katılan geciktiricili katkı maddesi tarafından ise, içeriden sertleşmesi geciktirilmeye çalışılmakta ve kirişin dış kısmı çabucak sertleşirken iç kısmı buna paralel seyretnemekte ve sonuçta uygun bir imalat olmamaktadır [35].

Benzer bir örnek da tersi durumlar için söz konusu olmaktadır. Hava sıcaklığının yaz aylarında 35 – 40 °C olduğu güney kesimlerinde süper akışkanlaştırıcı katkılar ile hazır beton üretilmesi de sakıncalar doğurmaktadır. Bu durumda da 1–2 saatlik beton kullanım süresi içinde, üretilen betonun çökmesi 15 cm'den 5 cm'ye düşmekte ve su ilavesi veya betonun iptali, yoluna gidilmektedir. Oysa geciktiricili süper

akışkanlaştırıcı tip katkı kullanılması halinde anormal çökme kayıpları olmayacağı için ekonomik yönden daha avantajlı hale gelecek ve işler aksamayacaktır.

Ayrıca, düşük dayanımlı betonlar için normal akışkanlaştırıcı katkıları yeterli iken, aşırı bir emniyet fikri veya bilinçsiz bir seçim neticesi süper akışkanlaştırıcı kullanıldığında da şahit olmakta olup, netice olarak konu ekonomiyeye dayanmaktadır. Bu durumda, katkının beton içindeki maliyeti %2'lerden %10'lara çıkmaktadır. Ziyana olması veya katkının beton içindeki maliyetinin artması sonucu, betonun ekonomisi kaybolmakta olduğu gibi, aynı özelliklere sahip katkı maddelerinin farklı performansı göstermesi de beton ekonomisi açısından önem taşımaktadır.

3.5.5. Süper akışkanlaştırıcı dozajının uçucu kül ve silis dumanı katkılı betonlarda işlenebilme ve dayanıma etkisi

Uçucu kül ve silis dumanı, temel bileşenlerden olmasalar da betonun çeşitli fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton üretiminde giderek artan oranda kullanılmaktadırlar. Kendi başlarına bağlayıcılık özelliği göstermeyen bu mineral katkı maddeleri puzolonik aktiviteleri ve boşluk doldurucu etkileriyle beton özelliklerinde iyileştirme yapabilmektedirler [36].

Termik santrallerin atığı olan uçucu küllerin portland çimentosuna yakın inceliği ve çoğunlukla küresel tane yapısıyla taze betonda su ihtiyacını arttırmadıkları belirtilmektedir. Ancak uçucu külün inceliğinin artması veya morfoljisinin değişmesi, ya da yanmamış karbon miktarının fazla olması betonda su ihtiyacının artmasına neden olabilir.

Silisyum ve ferrosilisyum alaşımları üretiminin atık maddesi olan silis dumanı ortalama 0.1 mikron boyutunda küresel parçacıklar içermekte olup, portland çimentosundan iki mertebe daha yüksek inceliğe sahiptir. Bu nedenle, betonda silis dumanı kullanımı genelde kohezyonu oldukça artırırken, taze betonda su ihtiyacını da yükselmektedir [36].

Uçucu kül ve silis dumanı çimentonun bir kısmı yerine veya çimentoya ilaveten betonda, özellikle yüksek katılma oranlarında ve düşük su – çimento oranlarında, kullanıldığında akışkanlaştırıcı veya çoğunlukla süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanmak zorunlu olmaktadır. Uçucu kül ve silis dumanının betonda birlikte kullanılması durumunda ise, beton basınç dayanımının gelişimi üzerindeki etki mekanizmaları farklı olan bu iki mineral katkı maddesinin birbirlerinin eksikliklerini giderecekleri ve hem erken dayanımların hem de 28. gün ve sonrası dayanımların yüksek olduğu betonlar üretmenin mümkün olduğu gösterilmiştir. Son zamanlardaki çalışmalar uçucu kül ve silis dumanının birlikte kullanılmasıyla betonun bazı dayanıklılık özelliklerinin de iyileştirilebildiğini göstermektedir [36].

4. DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. DeneySEL Çalışmanın Kapsamı

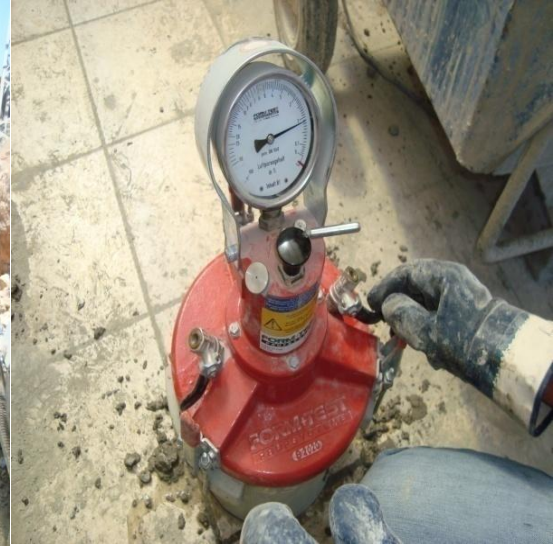
Bu çalışma, İzmir ilinde TSE tarafından uygunluğu kabul edilmiş bir hazır beton laboratuvarında yapılmıştır. Deneyde, çimento, su ve agregadan oluşan normal dayanımlı (kimyasal ve mineral katkı kullanmadan) bir beton üretilerek diğer karışımlarla kontrol etmesi ve karşılaştırılması planlandı. Silikat esaslı mineral katkı olan Silis Dumanı ile Uçucu Kül, çimento yerine betonda kullanarak, işlenebilirlik ve mukavemet özellikleri açısından karşılaştırılması planlanmıştır. Bu çalışmada toplam 9 karışım yapılmıştır. Bu karışımlardaki, çimento, agrega ve kimyasal katkı miktarı ve cinsi sabit tutulmuştur. Kontrol betondaki % 45,6 su yerine, % 1,25 oranında 5,63 kg polikarboksilat esaslı HP kimyasal katkı kullanarak ikinci karışım yapılmıştır, ikinci karışıma benzer olan üçüncü karışım, aynı oranlarda sadece kimyasal katkı polikarboksilat esaslı HP'den naftalin esaslı SP' ye değiştirmeye planlanmıştır. Dördüncü, beşinci, altıncı karışımlarda, ikinci karışımdaki sırasıyla % 5, % 7,5 ve % 10 oranlarında SF mineral katkısı kullanılmaya planlanmıştır. Yedinci, sekizinci ve dokuzuncu karışımlarda ise, ikinci karışımdaki sırasıyla % 20, % 30 ve % 40 oranlarında FA mineral katkısı kullanılmaya amaçlanmıştır. Bu karışımlar kendi aralarında beton basınç dayanımları 1., 3., 7., 28., 56. ve 90. günlerde kıyaslanmaları planlanmıştır.

4.2. Deneyde Kullanılan Laboratuvar Cihazları

Çalışma laboratuvar ortamında yapılmış olup, bu çalışmada (0,25 – 32) mm elek analiz seti, slump seti, 100 dm³ kapasiteli karıştırıcı betonyer, 100 kg kapasiteli tartı ve 3 kg kapasiteli hassas tartı, (15 x 15) cm plastik küp numune kapları ve 200 ton yükleme kapasitesine sahip (UTEST) markalı test presi kullanılmıştır.



Resim 4.1 Kullanılan mikser



Resim 4.2 Hava ölçer



Resim 4.3 200 ton yükleme kapasitesine sahip test presi

4.3. Karışımlarda Kullanılan Malzemeler

4.3.1. Çimento

Çalışmada, İzmir İlinde bir çimento fabrikasında TS-EN 197-1 standartlarına uygun olarak üretilip silobaslarda direk fabrikadan beton firmasına getirilen CEM I 42,5 R sınıfında hızlı prizlenme özelliğine sahip portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait bazı teknik veriler çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Karışımlarda kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal bileşen	Oran %	Kimyasal bileşen	Oran %
MgO	1,01	Na ₂ O	0,32
K ₂ O	0,75	SO ₃	2,72
Kızdırma Kaybı	3,63	Cl	0,006
Çözülme Kalıntı	0,18	C3S	70,07
C2S	0,14	C3A	7,32
C4AF	10,38		

Çizelge 4.2 Karışımlarda kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri

Dayanımlar [N/mm ²]	2	27,8	Özgül ağırlık [gr/cm ³]		3,12
	7	42,8	Hacim sabitliği [mm]		0,5
	28	49,9	Priz Süresi	Başlangıç [dk]	135
İncelik [%]	Özgül Yüzey [cm ² /gr]	3770		Son [dk]	235
	0,090 mm elek üstü	0,4			
	0,032 mm elek üstü	18,8			

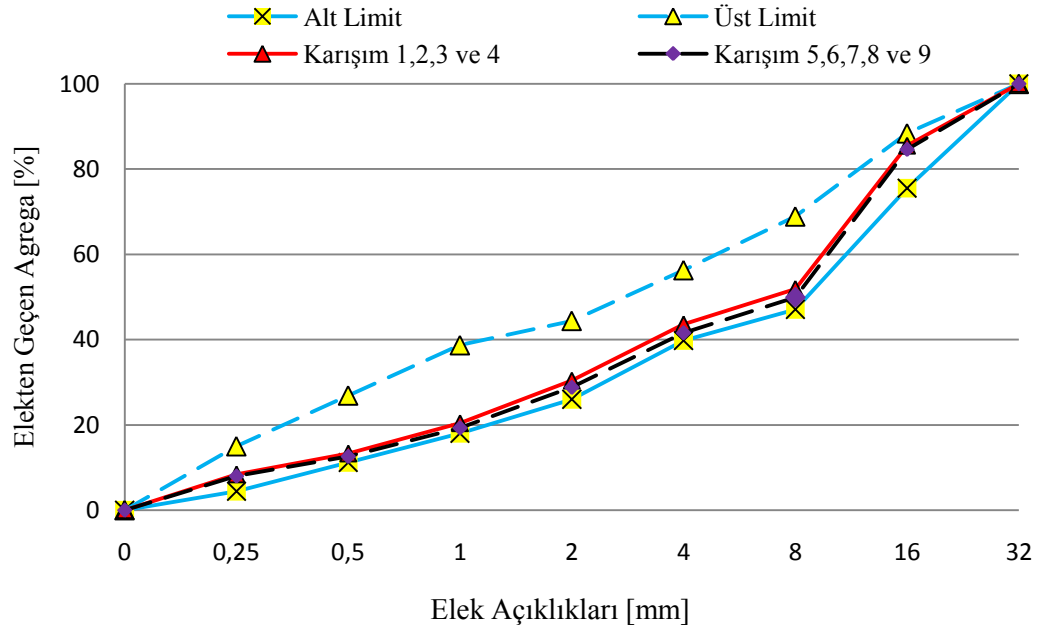
4.3.2. Agrega ve kırma taş tozu

İzmir İlinde bir taş ocağından TS706 EN 12620 standartlarına uygun olarak kırımı yapılarak uygun boyutlara getirilen (0 - 3) mm taş tozu ve (4 – 16) mm ile (11,2 – 22) mm dane çapına sahip agregalar kullanılmıştır.

Çizelge 4.3 Karışımda Kullanılan malzemelerin bazı karakteristik özellikleri

	0 – 3 mm Taş Tozu	4 – 16 mm agrega	11,2 – 22 mm agrega
Su Emme %	2,6	0,47	0,28
Birim Ağırlık (ton/m ³)	1,67	1,54	1,52
Özgül Ağırlık (ton/m ³)	2,66	2,7	2,3
İncelik Modülü	2,09	5,35	6,45

Bu malzemelere ait elek analizi grafikleri şekil 4.1. verilmiştir.



Şekil 4.1 Agrega karışım granülometri eğrisi

4.3.3. Kimyasal katkılar

Çalışmada, kimyasal katkı olarak naftalin esaslı SP ve polikarboksilat esaslı HP akışkanlaştırıcı karışımdaki çimento miktarının % 1,25'ü civarında kullanılmıştır. Bu katkı malzemeleri % 1,5 üzerinde kullanıldığında betonda priz gecikmesine neden olduğu gözlenmiştir.

Çizelge 4.4 Kimyasal katkıların bazı karakteristik özellikleri

Katkı Adı	Özgöl Ağırlık [g/cm ³]	Renk	PH	% Suda Çözünür Klorür (Cl)	% Alkaliler Na ₂ O
SP	1,05	Açık Yeşil	8 ± 2	≤ 0,1	≤ 1,5
HP	1,16	Kahve	7	≤ 0,1	≤ 1

4.3.4. Mineral Katkılar

Mineral katkı olarak Tunçbilek termik santralinden gelen FA ve özel firmadan silikoferrokrom baca tozu tesislerinden temin edilen SF kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 Mineral katkıların bazı karakteristik özellikleri

Mineral Katkı	Özgöl Ağırlık [g/cm ³]	Özgöl Yüzey [cm ² /g]	Kızdırma Kaybı	% Puzzolanik Aktivite	45 mikron elekten kalan % miktar
FA	1,99	3324	1,00	70,66	21,9
SF	2,5	144000	1,84	85	7

4.4. Karışımların Hazırlanması

Çalışmada, bir beton firmasında TS-EN 206 – 1 standartlarına uygun olarak rutin üretilen karışımlar laboratuvar ortamında gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada amaç beton üretiminde kimyasal katkı malzemesinden oluşan SP ve HP, mineral katkı malzemesinden oluşan FA ve SF kullanarak, betonun işlenebilirliği ve basınç dayanımları nasıl etkileyeceği araştırılmıştır. Bu karışımlarda maksimum dane çapı 22 mm. Çalışmada karışım için laboratuvar mikseri kullanılmıştır karışım süresi TS'ye uygun olarak belirlenerek üretilen betonlar el arabasına alınarak önce sıcaklık ölçümü yapılarak daha sonra beton slump miktarları ölçülerek, hava tayini hava ölçerle yapılarak beton 15 x 15 lik standart küp numune kaplarına yerleştirilerek, 20 ± 2 °C sıcaklıkta bulunan laboratuvar ortamında muhafaza edilerek 24 saat kalıpta bekletilmiştir. Numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra 20 ± 2 °C sıcaklıkta bulunan kür havuzuna yerleştirilmiştir.



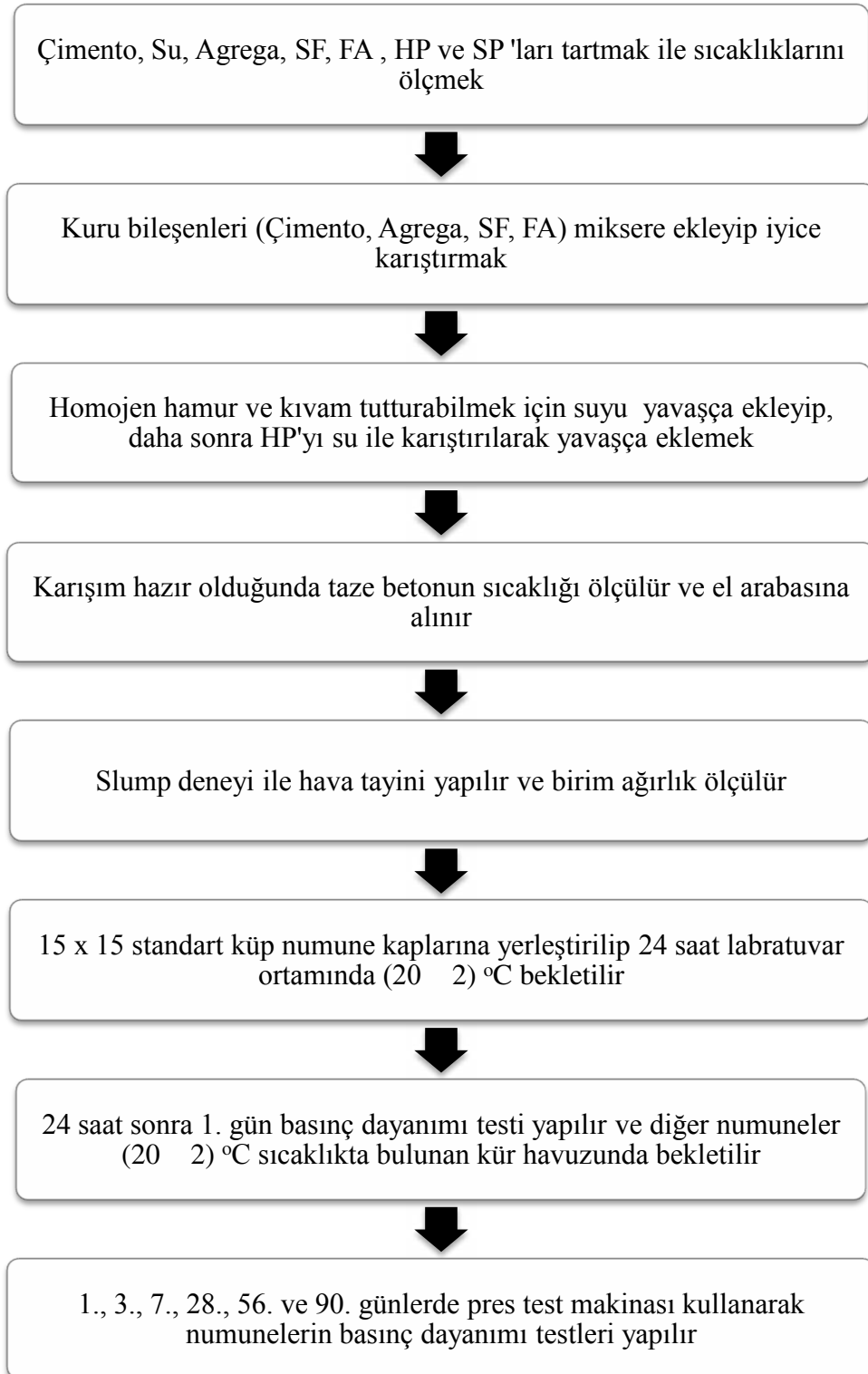
Resim 4.4 imento sıcaklık lümü



Resim 4.5 Su tartılması



Resim 4.6 Hedeflenen karışımın hazırlanması



Şekil 4.2 Karışım hazırlama aşamaları



Resim 4.7 Karşıma su ilavesi



Resim 4.8 Betonun sıcaklık ölçümü



Resim 4.9 Bazı numunelerin görünümü

Çalışmada 9 farklı karışım üretildi. Karışımlardan birincisi çimento, su ve agregadan oluşan normal dayanımlı (kimyasal ve mineral katkı kullanmadan) bir beton üretilerek diğer 8 karışımlara kontrol etmesi ve karşılaştırılması üretilmiştir. Bu karışımlardaki, çimento, agrega ve kimyasal katkı miktarı ve cinsi sabit tutulmuştur. Kontrol betondaki % 46,3 su yerine (132 lt su çıkartılarak), % 1,25 oranında 5,63 kg HP kimyasal katkı kullanarak 16 cm slump kıvama sahip olan ikinci karışım üretilmiştir, kontrol numunede ise 15 cm slump gözlenmiştir.



Resim 4.10 Kırılmış numunenin görünümü

İkinci karışıma benzer olan üçüncü karışım, % 45,6 su yerine (130 lt su çıkartılarak), aynı oranda sadece kimyasal katkı HP'den SP' ye değiştirilmiştir ve 15 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir . Dördüncü karışımında 121 lt su azaltarak % 5 oranında silis dumanı mineral katkı eklemesiyle 17 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir. Beşinci karışımında 119 lt su azaltarak % 7,5 oranında silis dumanı mineral katkı eklemesiyle 16 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir . Altıncı karışımında 116 lt su azaltarak % 10 oranında silis dumanı mineral katkı eklemesiyle 15 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir .

Yedinci karışımda 141 lt su azaltarak % 20 oranında uçucu kül mineral katkı eklemesiyle 16 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir . Sekizinci karışımda 128 lt su azaltarak % 30 oranında uçucu kül mineral katkı eklemesiyle 17 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir . Dokuzuncu karışımda 128 lt su azaltarak % 40 oranında uçucu kül mineral katkı eklemesiyle 18 cm slump kıvamına sahip beton üretilmiştir. Hazırlanan karışım oranları Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 Karışım Dizaynları

KARIŞIM 1		
Kontrol Numune		
Malzeme Tipi	1 m³ Beton İçin [Kg]	33 dm³ Beton İçin [Kg]
Çimento	450	14,85
(0-3) Agreg	667	22,01
(4-16) Agreg	574	18,94
(11,2-22) Agreg	652	21,51
Su	285	9,40

KARIŞIM 2		
% 1,25 HP		
Malzeme Tipi	1 m³ Beton İçin [Kg]	33 dm³ Beton İçin [Kg]
Çimento	450	14,85
(0-3) Agreg	667	22,01
(4-16) Agreg	574	18,94
(11,2-22) Agreg	652	21,51
Su	153	5,04
HP	5,63	0.185

KARIŞIM 3		
% 1,25 SP		
Malzeme Tipi	1 m³ Beton İçin [Kg]	33 dm³ Beton İçin [Kg]
Çimento	450	14,85
(0-3) Agreg	667	22,01
(4-16) Agreg	574	18,94
(11,2-22) Agreg	652	21,51
Su	155	5,11
SP	5,63	0.185

Çizelge 4.6. (Devam) Karışım Dizaynları

KARIŞIM 4		
%5 SF		
Malzeme Tipi	1 m ³ Beton İçin [Kg]	33 dm ³ Beton İçin [Kg]
Çimento	427,5	14,10
(0-3) Agregası	667	22,01
(4-16) Agregası	574	18,94
(11,2-22) Agregası	652	21,51
Su	164	5,41
HP	5,63	0.185
SF	22,5	0,74

KARIŞIM 5		
%7.5 SF		
Malzeme Tipi	1 m ³ Beton İçin [Kg]	33 dm ³ Beton İçin [Kg]
Çimento	416,25	13,73
(0-3) Agregası	667	22,01
(4-16) Agregası	574	18,94
(11,2-22) Agregası	652	21,51
Su	166	5,47
HP	5,63	0.185
SF	33,7	1,11

KARIŞIM 6		
%10 SF		
Malzeme Tipi	1 m ³ Beton İçin [Kg]	33 dm ³ Beton İçin [Kg]
Çimento	405	13,36
(0-3) Agregası	667	22,01
(4-16) Agregası	574	18,94
(11,2-22) Agregası	652	21,51
Su	169	5,57
HP	5,63	0.185
SF	45	1,48

KARIŞIM 7		
%20 FA		
Malzeme Tipi	1 m ³ Beton İçin [Kg]	33 dm ³ Beton İçin [Kg]
Çimento	360	11,88
(0-3) Agregası	667	22,01
(4-16) Agregası	574	18,94
(11,2-22) Agregası	652	21,51
Su	144	4,75
HP	5,63	0.185
FA	90	2,97

Çizelge 4.6. (Devam) Karışım Dizaynları

KARIŞIM 8		
%30 FA		
Malzeme Tipi	1 m³ Beton İçin [Kg]	33 dm³ Beton İçin [Kg]
Çimento	315	10,39
(0-3) Agregası	667	22,01
(4-16) Agregası	574	18,94
(11,2-22) Agregası	652	21,51
Su	157	5,18
HP	5,63	0.185
FA	135	4,45

KARIŞIM 9		
%40 FA		
Malzeme Tipi	1 m³ Beton İçin [Kg]	33 dm³ Beton İçin [Kg]
Çimento	270	8,91
(0-3) Agregası	667	22,01
(4-16) Agregası	574	18,94
(11,2-22) Agregası	652	21,51
Su	157	5,18
HP	5,63	0.185
FA	180	5,94

Bu karışımlar için malzeme, ortam ve beton sıcaklıkları ölçülmüş ve taze beton üzerine etkileri araştırılmıştır.

Çizelge 4.7 Malzeme, ortam ve beton sıcaklıkları

Beton Çeşidi	Çimento Sıcaklığı [°C]	Su Sıcaklığı [°C]	Beton Sıcaklığı [°C]	Ortam Sıcaklığı [°C]
B1-Kontrol	50	21.2	26.5	27.8
B2-HP	45	29	33.8	37
B3-SP	50	29.2	33.3	36
B4-%5 SF	50	29	37	38
B5-%7.5 SF	50	29	37.7	39
B6-%10 SF	50	29	38.1	37
B7-%20 FA	50	29	37	37
B8-%30 FA	50	29	31.2	27
B9-%40 FA	50	29	32.6	32

Kimyasal katkı olarak SP ile HP ve değişik oranlarda mineral katkı olarak SF ile FA kontrol numunesine ekleyerek başlangıç aşamasında řu sonuçlar çıkarılmıştır.

- Çimentonun aşırı sıcaklığı beton sıcaklığını etkileyip dolaylı olarak da prizi hızlandırıyor.
- Bütün FA ikameli betonlarda suyu en fazla azaltmamıza rağmen ve hiç su kesmeden en fazla slump bu karışımlarda gözlendi en fazla priz ötelenmesine sebep olan karışımlar bunlardır.
- Genellikle tüm SF ikameli betonlarda ve özellikle altıncı karışımda (% 10 SF), suyu en az azaltmamıza % 41,4 rağmen ve en çok suyu kesen karışım olmasına rağmen priz süresi kısılması gözlenmiştir.
- Daha az suya ihtiyaç duyan HP ikameli beton (ikinci karışım), SP ikameli betona (üçüncü karışım) göre daha çok slump göstermiştir. Bu da HP katkısının taze betona daha fazla etkilediğini gösteriyor.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

5.1. Taze Beton Deney Sonuçları

Taze beton deneylerinde beton çökme değeri (slump) SF ikame oranı arttıkça düşmüştür. Bunun nedeni çok ince taneli silis dumanı taneleri daha iri çimento taneleri arasında girerek burada sıkışan suyu dışarıya iterler ve taze hamurun kıvamı üzerinde etkili hale gelirler. Bu olumlu etkiye karşın silis dumanı tanelerinin oluşturduğu büyük yüzey alanı su ihtiyacını arttıracak ve kıvamı olumsuz yönde etkileyecektir. Dolayısıyla beton su ihtiyacının artması ile açıklanabilir. Ters durum FA ikameli betonlarda oran arttıkça çökme değeri yükselmiştir. Bunun nedeni FA taneciklerinin küçük ve yuvarlak olması belli bir çökme değerinde betonun kohezyonunu ve işlenebilirliğini artırır. Hedef çökme miktarını elde etmek için gerekli olan karma suyu miktarı genellikle FA kullanımı ile azalmakta ve SF kullanımı ile artmaktadır.



Resim 5.1 Slump Ölçümü

Taze betonda hava miktarının tayini basınç metodu ile yapılmıştır. Taze beton karışımı ölçme kabına 3 tabaka halinde 25 kez şişlenerek doldurulmuştur. Her tabakanın şişlenmesinden sonra kabın kenarlarına 10 – 15 kez vurularak beton içinde kalan hava kabarcıkları giderilmiştir. Kabın üzerindeki fazla kısım sıyrılarak

alınmıştır. Kapak oturma yeri iyice temizlenerek kapak yerine yerleştirilmiş ve kilitlenmiştir. Hava hücresi ile ölçme kabı arasındaki ana hava musluğu kapatılarak kapaktaki boşaltma musluğu açılarak cihaza su ilave edilmiştir bu işlem diğer musluktan su çıkıncaya kadar devam etmiştir. Hava boşaltma musluğu kapatılarak, manometre göstergesi ile basınç çizgisine gelinceye kadar hava pompalanmıştır. 3 – 5 saniye sonra göstergenin durumunu sabitleştirmek için tekrar hava pompalanmış bazen de boşaltılmıştır. Sonra kapaktaki boşaltma muslukları kapatılmış ve hücre ile kap arasındaki ana hava musluğu açılmıştır. Göstergenin sabitleşmesi sağlandıktan sonra ibrenin gösterdiği hava miktarı okunup % olarak kaydedilmiştir.

Taze birim ağırlık deneyi. Deneye başlamadan önce agrega tane büyüklüğüne uygun ölçme kabının boş ağırlığı tartılmış ve kaydedilmiştir. Taze beton karışımı kap içine üç tabaka halinde 25 kez şişlenerek doldurulur. Kabın kenarlarına 10 – 15 kez vurularak boşluk ve hava varsa giderilir. Betonun yüzeyi sıyrırma çubuğu ile sıyrılarak temizlenir. Kap ve sıyrılmış taze beton tartılır. Kabın ağırlığı düşülerek betonun net ağırlığı hesaplanır. Deney sonucu olarak Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1 Taze beton deney sonuçları

Beton Çeşidi	Çökme [cm]	Birim Ağırlık [kg/m ³]	Hava Miktarı [%]
B1-Kontrol	15	2373	1,3
B2-HP	16	2459	0,9
B3-SP	15	2489	1,3
B4-%5 SF	17	2475	1,0
B5-%7,5 SF	16	2463	0,9
B6-%10 SF	15	2454	0,8
B7-%20 FA	16	2475	1,2
B8-%30 FA	17	2438	0,8
B9-%40 FA	18	2421	1,0

Taze betonların tamamının hava miktarı değerlerinin %0,8 ile %1,3 arasında olduğu ve SP, HP, SF ve FA ikamesi ile önemli bir değişikliğin olmadığı çizelge 5.1'de görülebilir. Benzer şekilde taze betonlarda birim ağırlık SF ve FA oranının artması ile çok az oranda azalmıştır.

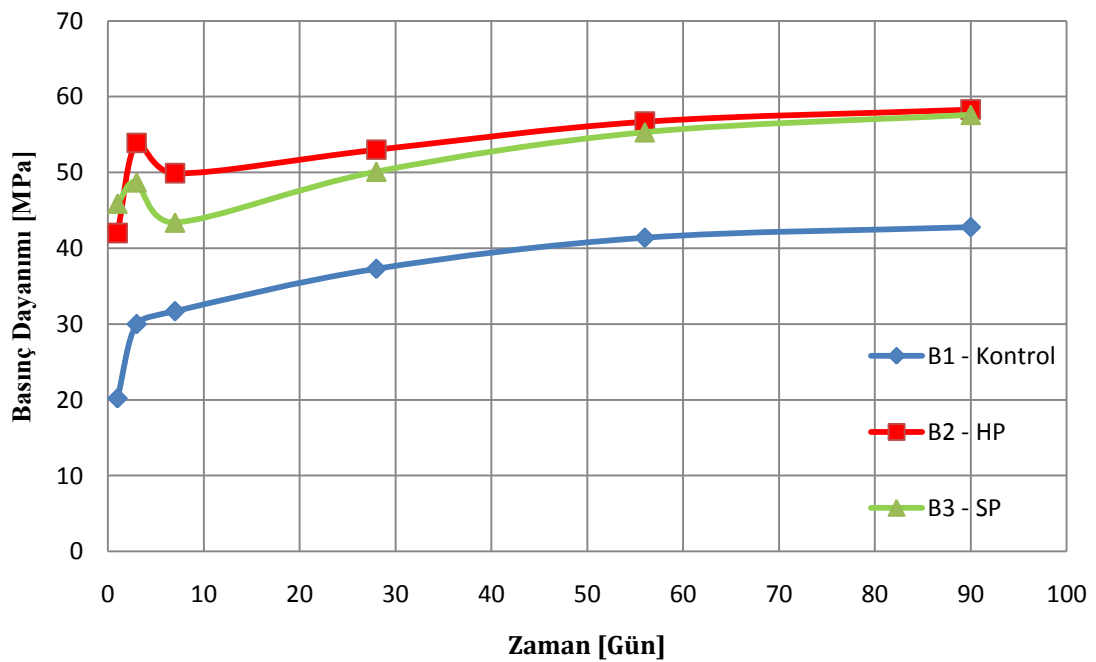
5.2. Beton Basınç Deney Sonuçları

Üretilen beton numunelerinin 1., 3., 7., 28., 56. ve 90. Günlük basınç dayanımları çizelge 5.2’de verildiği gibidir.

Çizelge 5.2 Dayanım/Yaş çizelgesi

Numune \ Gün	1	3	7	28	56	90
	Basınç Dayanımları [MPa]					
B1-Kontrol % 0 SP, HP % 0 SF % 0 FA	20,2	30	31,7	37,3	41,4	42,8
B2 % 1.25 HP % 0 SF % 0 FA	42	53,9	49,9	53	56,7	58,3
B3 % 1.25 SP % 0 SF % 0 FA	45,9	48,7	43,4	50,1	55,3	57,6
B4 % 1.25 HP % 5 SF % 0 FA	36,4	44,1	50,8	57,8	63,4	61,7
B5 % 1.25 HP % 7.5 SF % 0 FA	37,8	45,5	50,5	57	64	60,6
B6 % 1.25 HP % 10 SF % 0 FA	38	47,4	55,8	60,6	66,3	61,6
B7 % 1.25 HP % 0 SF % 20 FA	40,2	47,4	53,8	62,5	71,3	67,5
B8 % 1.25 HP % 0 SF % 30 FA	38,9	45,8	47,5	59,2	72,4	69,6
B9 % 1.25 HP % 0 SF % 40 FA	33,4	42	45,8	60,1	73,7	71,8

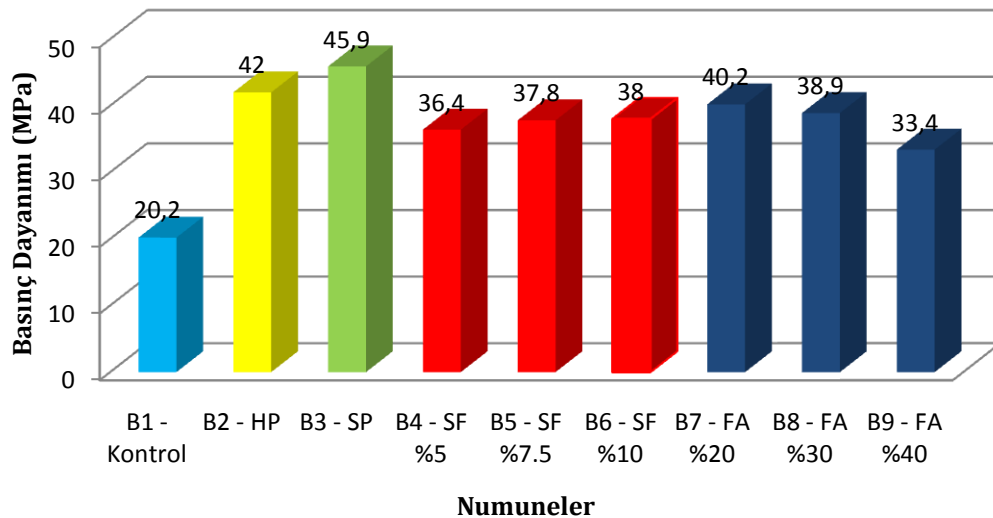
Çalışma kapsamında üretilen kontrol, SP ve HP katkılı betonlar üzerinde 1., 3., 7., 28., 56. ve 90. günlerde yapılan tek eksenli basınç deneyi çizelge 5.2’de verilmiştir. Çizelgede sunulan sonuçlar incelendiğinde; SP ve HP katkılı betondaki basınç dayanımı değerlerinin (şekil 5.1’de görüldüğü gibi) kontrol betonlardan daha yüksek olduğu ve HP katkılı betonlar SP katkılı betonlardan daha iyi sonuçlar göstermiştir. Bunun sebebi akışkanlaştırıcı madde çimento taneleri tarafından adsorbe edilmeleri sonucu tane yüzeyine çökeler. Tane yüzeyi çökelen bu maddelerin oluşturduğu film negatif elektrik yüklüdür. Bu şekilde negatif elektrik yüklenen taneler birbirlerini ittiklerinden bu maddelerin dağıtıcı etkisi ortaya çıkar. Bu maddelerin topaklaşmayı önlemeleri ve aynı zamanda tanelerin birbirleri üzerinde kaymalarını kolaylaştırdıklarında yağlayıcı etki göstermeleri, betonun iç sürtünmesi azaltır, bu da betonun işlenebilme yeteneğinin artmasına neden olur ve aynı kıvam içinde gerekli karışım suyunu azaltırlar, dolayısıyla mukavemet, su/çimento oranının fonksiyonu olduğuna göre katkı kullanıldığında karışım suyunun azalması su/çimento oranını düşüreceğinden daha yüksek, erken ve nihai mukavemetler elde edilecek ve daha az boşluklu, daha iyi yüzey görünümlü ve daha az geçirimli beton elde edilmiştir.



Şekil 5.1 B1-Kontrol, B2-HP ve B3-SP basınç dayanımları ile zaman ilişkisi.

Çizelge 5.2 ve şekil 5.2’de görüldüğü gibi 1. günlük basınç dayanımları incelendiğinde; SF ikameli betonlar FA ikameli betonlardan daha yüksek dayanım göstermesi bekleniyor çünkü SF yüksek oranda SiO_2 içermesinden puzzolanik reaksiyonları çok erken yaşlarda başlanması, yani yeni C–S–H jelleri oluşmasının sağlanması bekleniyor ve çok ince taneli olması agrega-hamur ara yüzey bölgesini sıkılayıp kuvvetlendirerek beton dayanımını artırır. Ama bu grupta SF ve FA ikameli betonların sonuçları hemen hemen aynı sayılabilir, bu da SF ikameli betonların Puzolanik reaksiyonları çimentonun hidratasyonunun başlangıcından 1 gün sonra başladığını, 3. günden sonra belirgin hale geldiğini ve 28. günde büyük ölçüde tamamlandığını araştırmalar da göstermiştir [37].

1. gün



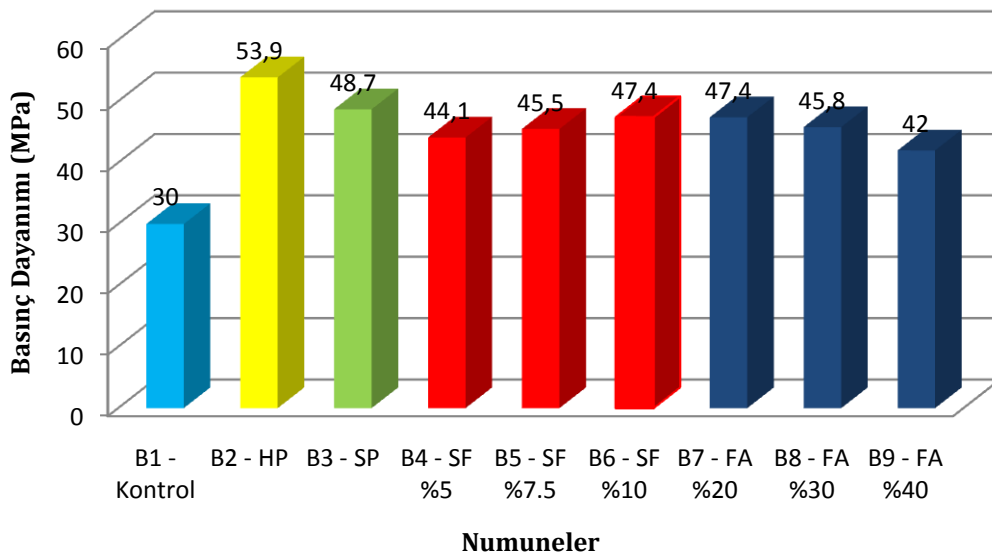
Şekil 5.2 1. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi

En yüksek basınç dayanımı B3-SP beton numunesi 45,9 MPa vermiştir. Bu durumun en iyi açıklaması mukavemet, su/çimento oranının fonksiyonu olduğuna göre katkı kullanıldığında karışım suyunun azalması su/çimento oranını düşüreceğinden daha yüksek, erken ve nihai mukavemetler elde edilmiştir ve SF ile FA’lı ikameli betonların ilk yaşlarda daha belirgin hale gelmediğinden açıklanabilir. Aynı zamanda SF oranı arttıkça basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir. Fakat FA’lı betonlarda

tam tersine FA oranı arttıkça basınç dayanımlarının azaldığı görülmektedir. En düşük basınç dayanımları ise 33,4 MPa değeri B9 (%40 FA ikameli beton) vermiştir. Bu da FA'ın tanesinin küçük, dolu ve küresel yapısı sebebiyle daha az su adsorbe ederek prizi ötelediğinden açıklanabilir. Burada, FA tanesi fiziksel yapısının betonu nasıl etkilediği, bölüm 3'te incelik kısmında özetlenmiştir.

Çizelge 5.2 ve şekil 5.3'te görüldüğü gibi 3. günlük basınç dayanımları incelendiğinde; en yüksek basınç dayanımlarını B2-HP betonda 53.9 MPa göstermiştir. En düşük basınç dayanımları ise 42 Mpa değeri B9 (%40 FA ikameli beton) vermiştir, bunun sebebi de betonda FA oranı artması ile dayanımın zamana yayılması da orantılı olarak artmaktadır. Burada da aynı durum görülmektedir ve 1. günün aynı nedenlerinden açıklanabilir. SF oranı arttıkça dayanım artmakta, FA oranı arttıkça dayanım düşmektedir.

3. gün

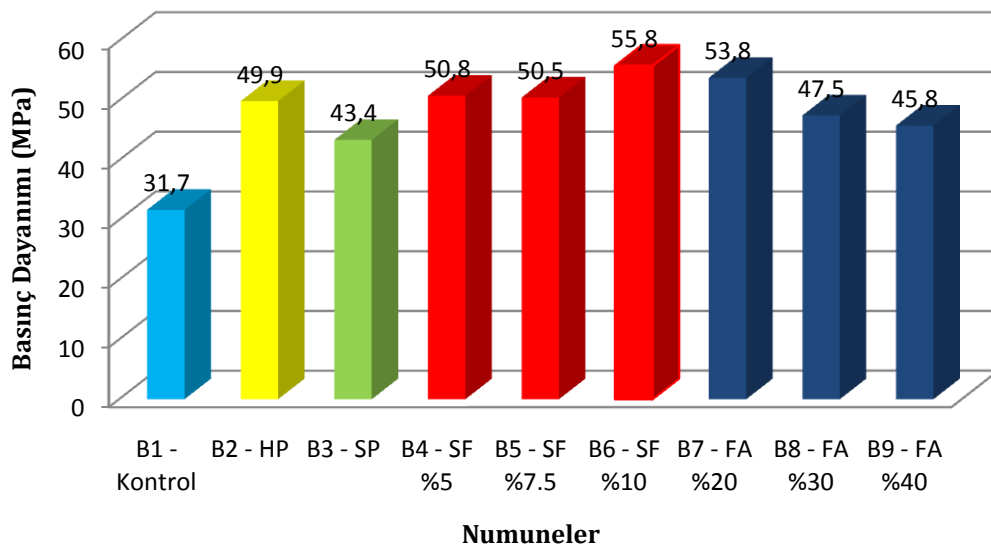


Şekil 5.3 3. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi

Çizelge 5.2 ve şekil 5.4'te görüldüğü gibi 7. günlük basınç dayanımları incelendiğinde SF oranı arttıkça basınç dayanımı artmaktadır. FA artınca dayanım

azalmaktadır. Bu grupta en yüksek basınç dayanımı B6 (%10 SF ikameli beton) 55,8 MPa beton numunesi vermiştir, bu da SF ikameli betonların Puzolanik reaksiyonları çimentonun hidrasyonunun başlangıcından 3. günden sonra belirgin hale geldiğini kanıtlıyor. En düşük basınç dayanımı ise B-SP 43,4 MPa beton numunesi vermiştir, bu da SF ve FA katkılı betonların zaman ilerledikçe belirgin hale gelmelerini göstermiştir.

7. gün



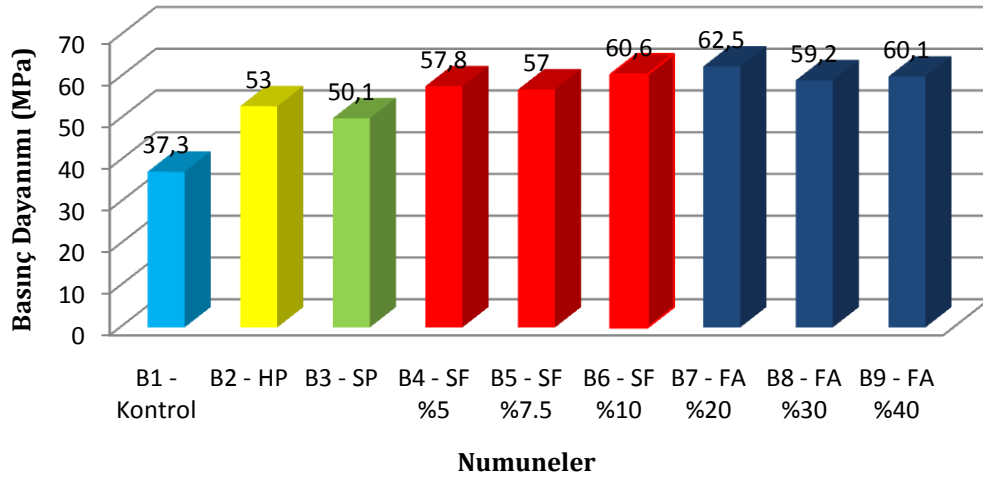
Şekil 5.4 7. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi

Çizelge 5.2 ve şekil 5.5'te görüldüğü gibi 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde; FA'lı betonlar SF'lı betonlara göre daha çok dayanım artışında bulunmaktadır.

En yüksek basınç dayanım değerini B7 (%20 FA ikameli beton) 62,5 MPa göstermiştir, FA ikameli betonların basınç dayanımının erken yaşta düşük olması, ileri yaşlarda yüksek olması literatür ile benzerlik göstermektedir [31], 7. gündeki %20 ile %40 FA ikameli betonların arasındaki farka nazaran 28. günde bu farkın azaldığını görülmüştür. Bunun sebebi de FA katkısının oranı daha çok olduğundan

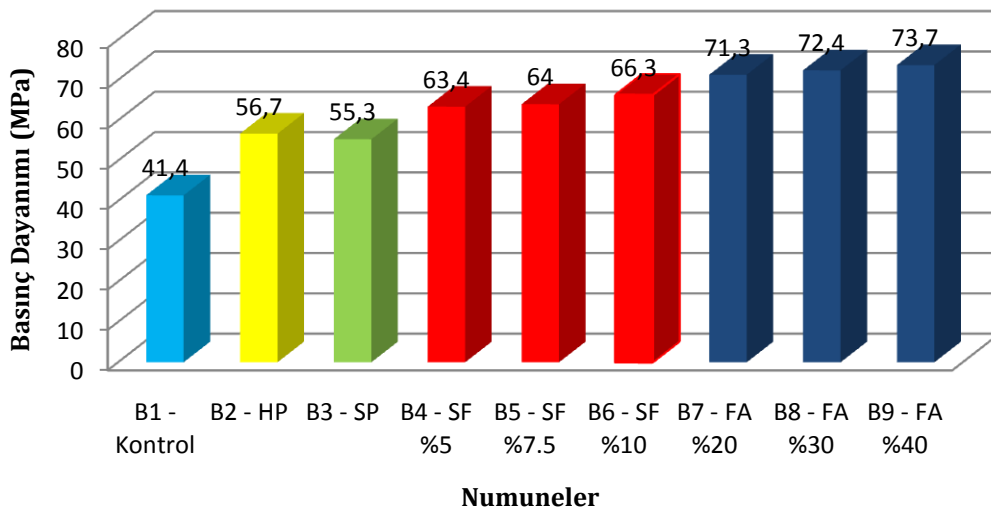
dolayı daha çok etki gösterdiğinden açıklanabilir. En düşük basınç dayanımı ise B3-SP 50,1 MPa beton numunesi vermiştir.

28. gün



Şekil 5.5 28. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi

56. gün

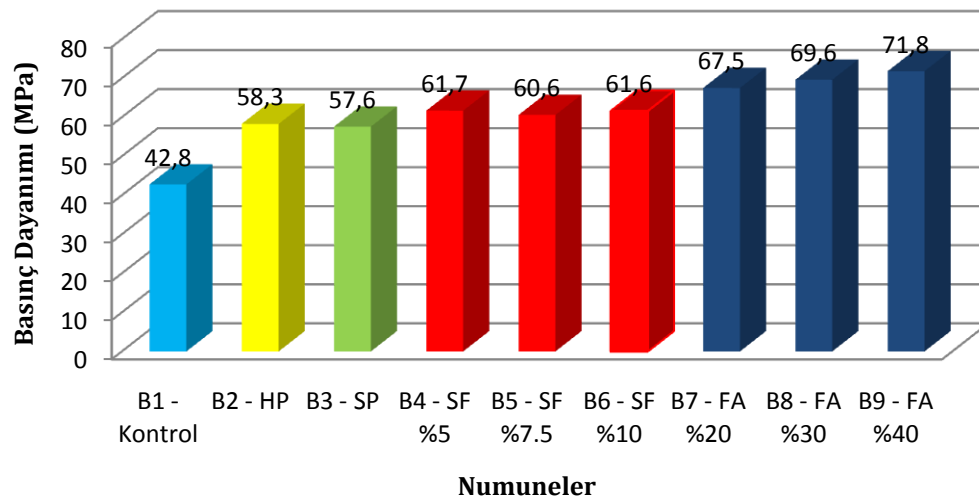


Şekil 5.6 56. gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi

Çizelge 5.2 ve şekil 5.6'da görüldüğü gibi 56. günlük basınç dayanımları incelendiğinde; FA'lı betonlar SF'lı betonlara göre daha yüksektir, bunun sebebi FA'lı betonlarda betonun yaşı arttıkça pozolanik aktivite de artmaktadır. En yüksek basınç dayanımı değerini B9 (%40 FA ikameli beton) 73,7 MPa beton numunesi göstermiştir, burada da yukarıda açıklandığı gibi FA katkı oranı arttıkça dayanımın arttığını görülmüştür. Aynı zamanda SF oranları arttıkça daha çok dayanım göstermektedir. En düşük basınç dayanımı ise B3-SP 55.3 MPa beton numunesi vermiştir.

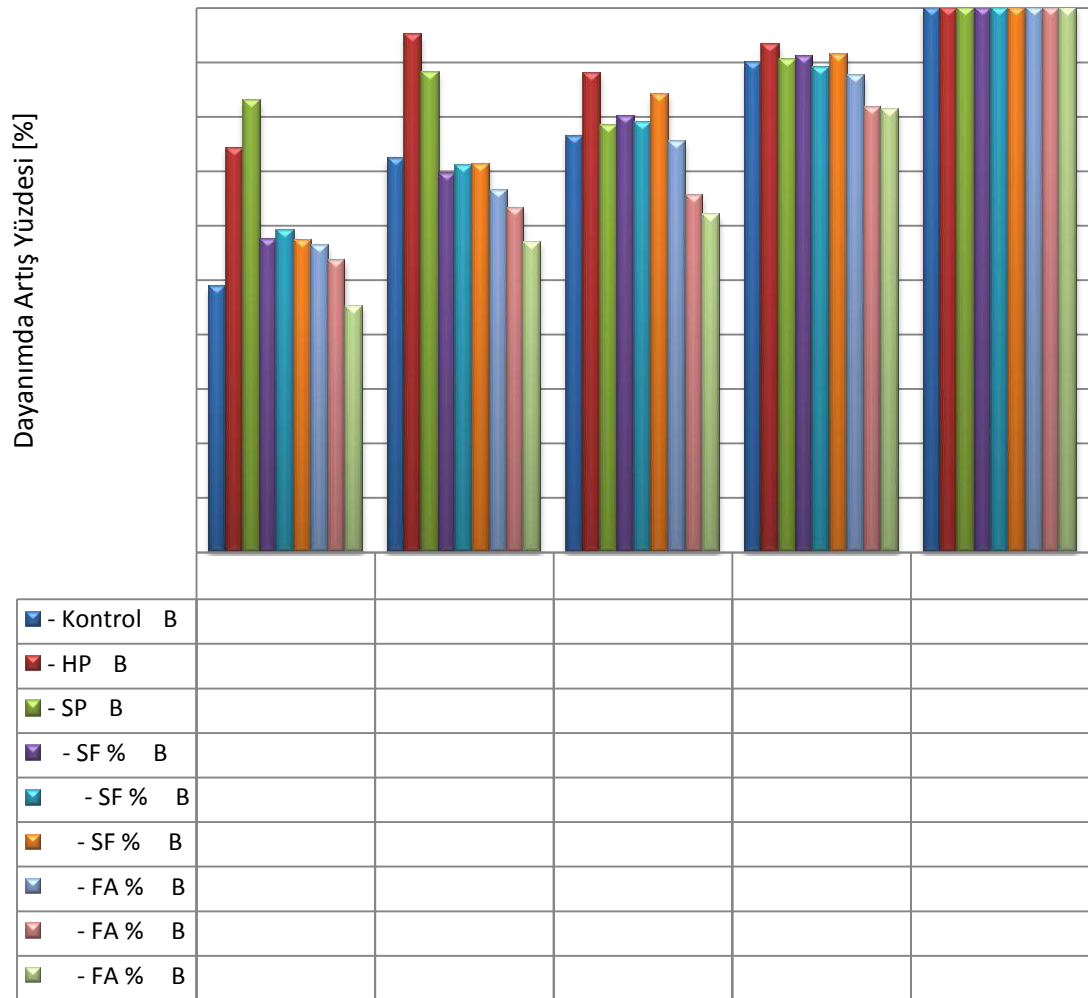
Çizelge 5.2 ve şekil 5.7'de görüldüğü gibi 90. günlük basınç dayanımları incelendiğinde; FA'lı betonlar SF'lı betonlara göre daha yüksektir, ama 56. günün dayanımlarına nazaran daha düşüktür, bu da birer numune olduğundan dolayı açıklanabilir. 90. günün FA ve SF'lı ikameli betonların sonuçları şüpheli olduğundan değerlendirilmesi uygun görülmemiştir. En düşük basınç dayanımı ise B3-SP 57.6 MPa beton numunesi vermiştir.

90. gün



Şekil 5.7 90.Gün için basınç dayanım ile karışımların ilişkisi

Şekil 5.8’de görüldüğü üzere 56. günlük referans beton alınarak SP, HP, SF ve FA ikameli betonların artışı incelendiğinde; 1. gün için % 5, % 7.5 ve % 10 SF ikameli betonlar sırasıyla % 57,4, % 59,1 ve % 57,3 dayanım artışı göstermiştir. % 20, % 30 ve % 40 FA ikameli betonlar ise sırasıyla % 55,3, % 53,7 ve % 45,3 dayanım artışı göstermiştir, bu artış FA oranı arttıkça düşmektedir ve % 40 FA ikameli beton en düşük dayanım artışı göstermiştir. % 74,1 oranında artış dayanımı gösteren HP katkılı betonlar en yüksek % 83 oranında artış dayanımı gösteren SP katkılı betonlara göre daha yavaş dayanım artışı göstermiştir. Kontrol beton ise % 48,7 dayanım artışı vermiştir.



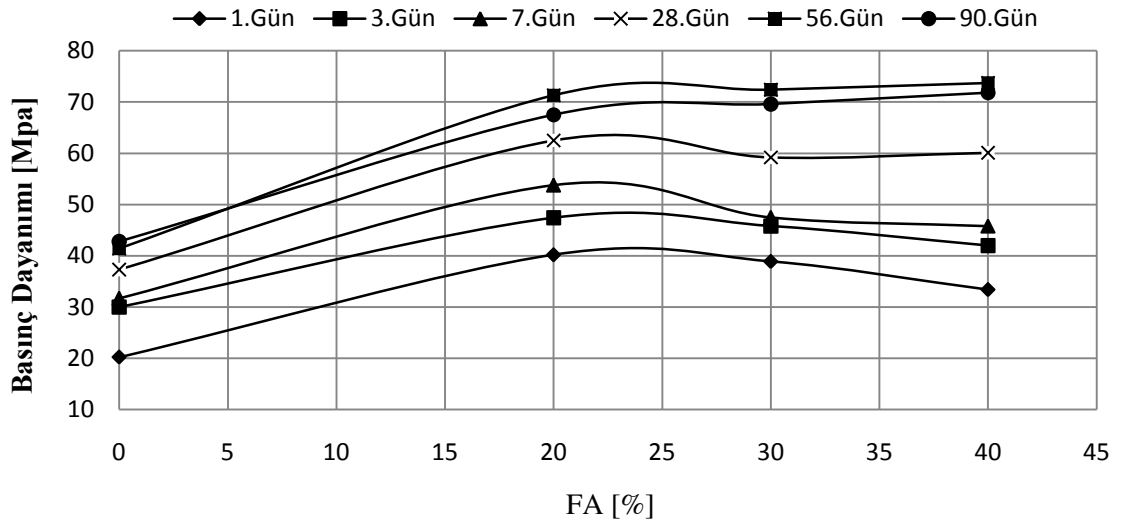
Şekil 5.8 Beton kodu ve yaşına bağlı olarak beton dayanımında artış

3. gün incelediğimizde; % 5, % 7.5 ve % 10 SF ikameli betonlar sırasıyla % 69,5, % 71,1 ve % 71,4 dayanım artışı göstermiştir, ve SF oranı arttıkça dayanım artışın artmasında sebep olduğunu görülebilir. % 20, % 30 ve % 40 FA ikameli betonlar ise sırasıyla % 66,4, % 63,3 ve % 56,9 en düşük dayanım artışları göstermiştir, bu artış FA oranı arttıkça düşmektedir ve % 40 FA ikameli beton en düşük dayanım artışı göstermiştir. En yüksek % 95,1 artış dayanımı gösteren HP katkılı betonlar % 88,1 oranında artış dayanımı gösteren SP katkılı betonlara göre daha hızlı dayanım artışı göstermiştir. Kontrol beton ise % 72,4 dayanım artışı vermiştir. Burada FA katkısının beton dayanım artışını nasıl tersle etkilediğini görülebilir.

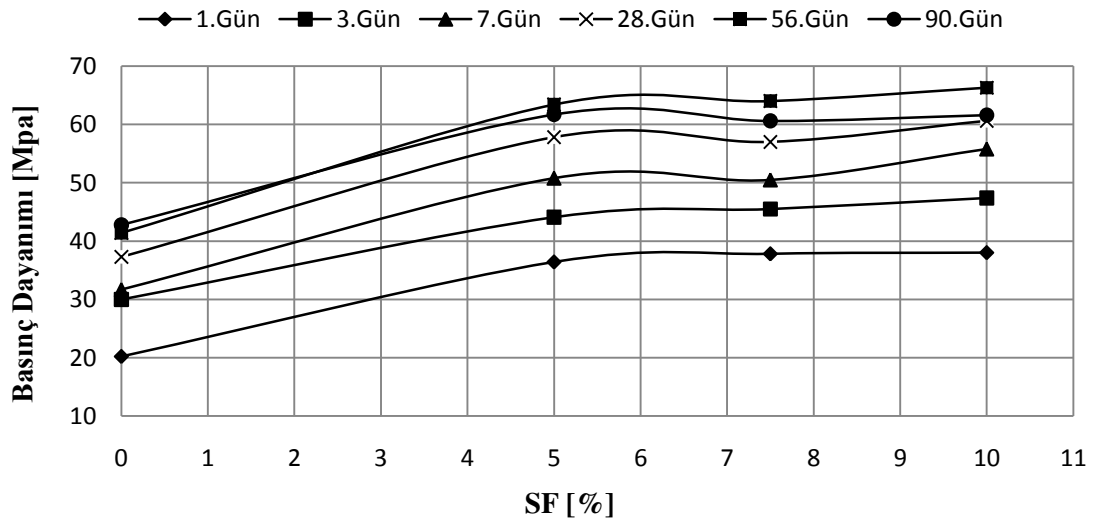
7. gün incelediğimizde; % 5, % 7.5 ve % 10 SF ikameli betonlar sırasıyla % 80,1, % 78,9 ve % 84,1 dayanım artışı göstermiştir, burada SF ikameli betonlar ilk yaşlarda nasıl hızla belirgin hale geldiğini açıkça gösteriyor. % 20, % 30 ve % 40 FA ikameli betonlar ise sırasıyla % 75,4, % 65,6 ve % 62,1 yine de en düşük dayanım artışları göstermiştir, bu artış FA oranı arttıkça düşmektedir ve % 40 FA ikameli beton en düşük dayanım artışı göstermiştir. En yüksek % 88 artış dayanımı gösteren HP katkılı betonlar % 78,4 oranında artış dayanımı gösteren SP katkılı betonlara göre daha hızlı dayanım artışı göstermiştir. Kontrol beton ise % 76,5 dayanım artışı vermiştir.

28. gün incelediğimizde; % 5, % 7.5 ve % 10 SF ikameli betonlar sırasıyla % 91,1, % 89,1 ve % 91,4 dayanım artışı göstermiştir, burada SF ikameli betonlar bu yaşlarda nasıl pozolanik reaksiyonları çimentonun hidratasyonunun büyük ölçüde tamamlandığını gösteriyor. % 20, % 30 ve % 40 FA ikameli betonlar ise sırasıyla % 87,6, % 81,7 ve % 81,4 yine de en düşük dayanım artışları göstermiştir, bu artış FA oranı arttıkça düşmektedir ve % 40 FA ikameli beton en düşük dayanım artışı göstermiştir, bu da FA ikameli betonlar 7. günden sonra belirgin hale gelme çabasını gösteriyor. Bu artış FA oranı arttıkça düşmektedir. En yüksek % 93,4 artış dayanımı gösteren HP katkılı betonlar % 90,5 oranında artış dayanımı gösteren SP katkılı betonlara göre daha hızlı dayanım artışı göstermiştir. Kontrol beton ise % 90,1 dayanım artışı vermiştir.

Şekil 5.9 görüldüğü üzere FA ikameli betonlar incelendiğinde; %40 FA ikameli beton ilk yaşlarda en az dayanım göstermesine rağmen 56. günde en yüksek dayanım göstermektedir ve FA oranının artması ile basınç dayanımının artması görülmektedir.



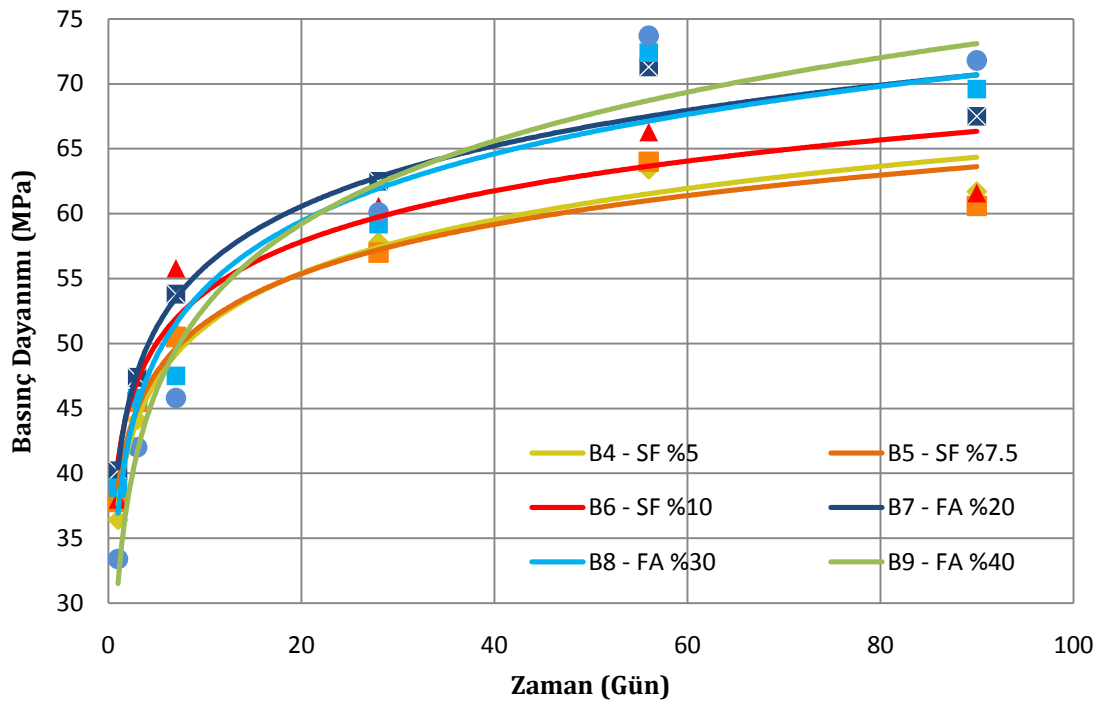
Şekil 5.9 FA ikameli betonların basınç dayanımı ile ilişkisi



Şekil 5.10 SF ikameli betonların basınç dayanımı ile ilişkisi

Şekil 5.10 görüldüğü üzere SF ikameli betonlar incelendiğinde; SF oranının artması ile basınç dayanımının artması görülmektedir ve % 10 SF ikameli beton en yüksek dayanım vermiştir.

SF ile FA ikameli betonların basınç dayanımları (şekil 5.11’de görüldüğü gibi) karşılaştırıldığında bu oranlardan alınan sonuçlara göre bütün FA ikameli betonlar SF ikameli betonlardan daha yüksek dayanım göstermektedir.



Şekil 5.11 SF ile FA ikameli betonların basınç dayanımlarının karşılaştırılması

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

- SF ve FA yüksek performanslı beton ve harç elde etmede olumlu sonuçlar veren mineral katkılarıdır.
- SF spesifik yüzeyinin büyük olması su ihtiyacını arttıracığından, HP veya SP ile birlikte kullanılması yerinde olacaktır.
- SF kullanılan betonlarda ilk birkaç günlük basınç dayanımı kazanma hızı hızlı olmakla birlikte bu hız ilerdeki yaşlarda azalmaktadır. FA ikameli betonlar ise ilk günlerde basınç dayanım kazanma hızı yavaş olmakla birlikte bu hız ilerdeki yaşlarda hızlanmaktadır.
- Dayanım kazanma hızı FA oranı ile ters orantılıdır, yani FA oranı arttıkça dayanım kazanma hızı düşmektedir. Tam tersine SF oranı arttıkça dayanım kazanma hızı yükselmektedir.
- HP ikameli beton SP ikameli betona göre daha hızlı dayanım kazanma artışını göstermiştir.
- Eşit işlenebilmeye sahip betonlarda silis dumanı SF kullanılmasının basınç dayanımlarda belirgin bir artış sağlaması beklenmelidir. 56. gün baz alındığında % 5 SF ikameli beton, kontrol betona göre % 53,1, HP ikameli betona göre % 11,8 oranlarında dayanım artışı, % 7.5 SF ikameli beton, kontrol betona göre % 54,6, HP ikameli betona göre % 12,8 oranlarında dayanım artışı, % 10 SF ikameli beton ise, kontrol betona göre % 60,1, HP ikameli betona göre % 16,9 oranlarında dayanım artışı göstermiştir.

- Eşit işlenebilmeye sahip betonlarda uçucu kül FA kullanılmasının basınç dayanımlarda belirgin bir artış sağlaması beklenmelidir. 56. gün baz alındığında % 20 FA ikameli beton, kontrol betona göre %72,2, HP ikameli betona göre % 25,7 oranlarında dayanım artışı, % 30 FA ikameli beton, kontrol betona göre % 74,8 HP ikameli betona göre % 27,7 oranlarında dayanım artışı, % 40 FA ikameli beton ise, kontrol betona göre % 78, HP ikameli betona göre % 30 oranlarında dayanım artışı göstermiştir.
- Bütün FA ikameli betonlarda suyu en fazla azaltmamıza rağmen ve hiç su kesmeden, FA oranı arttıkça slumpın arttığını gözlenmiştir, aksi takdirde durum SF ikameli betonlar için suyu en az azaltmamıza rağmen ve en çok suyu kesen karışımlar olduğuna rağmen SF oranı arttıkça slumpın düştüğü gözlenmiştir.

6.2. Öneriler

Deneylerde elde edilen sonuçlara göre ileride konu ile ilgili olarak yapılacak çalışmalara ışık tutabilecek ve malzemenin piyasada kullanılması ile ilgili önerilere bu kısımda yer verilecektir.

- En yüksek dayanım elde etmek ve ona en uygun FA ve SF oranı bulmak amacıyla % 35 ile % 50 oranında FA ve % 15 ile % 20 oranında SF ikameli karışımlar üretilmesi ve sonuçlara varılması önerilir. Bu sonuçlara varıldıktan sonra en uygun FA ve SF oranı bulunabilir.
- Şüphesiz sonuçlara varmamak amacıyla beton dayanım testlerinde minimum üçer numune kullanılması önerilir.
- Deneylerde yüksek sıcaklık çimento kullanılması ile taze betonun işlenebilirliğini ters yönde etkilediğini görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Karakule, F., Akakın, T., “Hazır Beton Sektörü’nün Gelişimi ve Özel Beton Uygulamasının Türkiye’deki Durumu”, **6. Ulusal Beton Kongresi**, Yüksek Performanslı Betonlar, İstanbul, 113 – 123 (2005).
2. Begimgil, M., Doğan, A., “Silis Dumanının Beton Performansına Katkısı”, **Hazır Beton Dergisi**, 26: 40 – 43 (1998).
3. Yazıcı, Ş., “Değişik Akışkanlaştırıcıların Betondaki performansları” **Fen ve Mühendislik Dergisi**, 4: 2, 41 – 52 (2002).
4. Uyan, M., Yıldırım, H., “Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği” **TMMOB. İMO. 2. Ulusal Beton Kongresi**, Yüksek Dayanımlı Beton, İstanbul, 262 – 279 (1991).
5. R. Dinçer, İsmail H. Çağatay, “Uçucu Kül Katkılı Betonların Mekanik Özellikleri” **Ç.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 2: 1019-1011 (2004).
6. Özturan, T., “Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerin Etkinliği”, **2. Ulusal Beton Kongresi**, TMMOB, İstanbul (1991).
7. Volkan Nergiz, “Yüksek Dayanımlı Betonlarda Durabilite ve işlenebilirlik”, Yüksek Lisans, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü**, Ankara (2007).
8. Ravina, D., Mehtan, P.K, “Düşük Çimento, Yüksek Uçucu Kül İçeren Betonun Basınç Dayanımı”, **T.Ç.M.B. Cement and Concrete Research** 18: 571 – 583 (1988).
9. Yılmaz K., Sümer M. ve Uysal M., “ Farklı Tür Akışkanlaştırıcı Katkıların Yüksek Dayanımlı Betonlar Üzerine Etkisi” **6. Ulusal Beton Kongresi**, Yüksek Performanslı Betonlar, İstanbul, 209 – 217 (2005).
10. Saraswathy, V., Muralidharan, S., Thangavel, K., Srinivasan,S., “Influence of Activated Flay Ash on Corrosion – Resistance and Strength of Concrete”, **Cement and Concrete Research**, 673-680 (2003).
11. Erdoğan, T. Y., “Beton”, **ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.**, Ankara (2002).
12. ACI Committee “ Guide for the Use of Silica Fume in Concrete”, **American Concrete Institute**, Detroit, 234 (1992).
13. Khayat, K.H. ve Aitein, P.C., “Silica Fume in Concrete”, an Overview, **American Concrete Institute**, Detroit, 835 – 865 (1992).

14. Mindess, S., "Bonding in Cementitious Composites: How Important is it?", **Symp. On Bonding in Cementitious Composites**, Pittsburgh (1988).
15. Sellevold, E.J., "The Function of Condensed Silica Fume in High Strength Concrete", 39 – 49, Norway (1987).
16. BEĞİMGİL, M., "Silica Fume, Fly Ash in High Performance Concrete and their Microstructural Overview", **Proceedings of the International Congress of Challenges of Concrete Construction**, Volume of Innovations and Developments in Concrete Materials and Construction, 879 - 888 (2002).
17. Malhotra, V.M., ve Carrette, G.G., "Silica Fume Concrete Properties, Application and Limitations", **Concrete International: Design and Construction**, 5: 40 – 46 (1983).
18. Brickely J.A., ve Diğerleri, "Some Charactereristic of High Strength Concrete", **Canadian Journal of Civil Engineering**, 18: 885 – 889 (1991).
19. Temiz, H. ve Yeğınobalı, A., "Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Çimento Hamur ve Harçların Bazı Özellikleri", **Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu**, Bildiriler Kitabı, 213 – 226, İMO, Ankara (1995).
20. Jahren, P., "Use of Silica Fume in Concrete", **American Concrete Institute**, Detroit, 625 – 645 (1983).
21. Bentur. A., Goldman A. ve Chen, M.D., "The Contributions of the Trastion Zone to the Strength of High Quality Silica Fume Concrete", **Symp. On Bonding in Cementitious Composites**, 114, 97 – 103 (1988).
22. Malhotra, V.M. ve Diğerleri, "Condensed Silica Fume in Concrete", **CRS Press Inc.**, Florida (1987).
23. Malhotra, V.M., ve Carrette G.G., ve Aitcin, P.C., "Preliminary Data on Long Term Strength Development of Condensed Silica Fume Concrete", **CANMET Int. Workshop on Condensed Silica Fume in Concrete**, Montreal (1987).
24. Aitcin, P.C., ve Laplante, P., "Long Term Compressive Strength of Silica Fume Concrete", **J. Materalsin Civil Engineering**, 3: 164 – 170 (1990).
25. Arette, G.G. ve Malhotra, V.M., "Early-age Strength Development of Concrete Incorporating Fly Ash and Condensed Silica Fume", **American Concrete Institute**, Detroit, 2: 765 – 784 (1983).
26. Yogendran, V. ve Diğerleri, "Silica Fume in High Strength Concrete, **ACI Materials Journal**, 84: 124 – 129 (1987).

27. ACI Committee, “Use of Fly Ash in Concrete”, *ACI Materials Journal*, 381 – 409 (1987).
28. Gökçe, A., Uyan, M., ve Öztekin E., “İnceliğe Bağlı Olarak Uçucu Külün Betonların Su İhtiyacındaki Değişimi”, **4. Ulusal Beton Kongresi**, TMMBO, Maya Basın Yayın, İstanbul (1996).
29. Helmuth, R., “Fly Ash in Cement and Concrete”, *Portland Cement Association*, Chicago, 203 (1987).
30. TSE, “Uçucu Küller”, *TSE* (1975).
31. Özturan, T., “Uluslar arası 4. CANMET – ACI Betonda İçucu Kül, Silis Dumanı, Cüruf ve Doğal Puzolanların Kullanımı Konferansının Değerlendirilmesi”, *Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*, 57 – 78 (1993).
32. Berry E.E., Malhotra, V.M., “Fly Ash in Concrete”, *Supplementary Cementing Materials for Concrete*, CANMET, 37 – 163 (1987).
33. Yeğinobalı, A., “Uçucu Kül, Tras ve Yüksek Fırın Cürfunun Betonda Katkı Maddeleri Olarak Kullanılması ve Optimum Uçucu Kül Karışım Oranlarının Tayini”, *TÜBİTAK*, Proje No. Mag-157/A, Ankara (1971).
34. Çubuk, M.K., “Katkı Maddesi Olarak Diatomit’in Bitümlü Sıcak Karışımların Davranışları Üzerine Etkileri”, *Gazi Üniv. F.B.E.*, Ankara (1998).
35. Yıldırım, H., “Süper ve Normal Akışkanlaştırıcı Katkıların Çimento ile Uyuşumu”, **4. Ulusal Beton Kongresi**, TMMBO, İstanbul (1996).
36. Özturan, T., Özel, M., Şigaher, N., “Süper Akışkanlaştırıcı Dozajının Uçucu Kül ve Silis Dumanı Katkılı Betonlara İşlenebilme ve Dayanım etkisi”, **4. Ulusal Beton Kongresi**, TMMBO, İstanbul (1996).
37. Çark A.İ. ve Sümer M. “Değişik Kür Şartlarında Silis Dumanının Kullanımının Betonun Mukavemetine Etkisi” Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar. **4. Ulusal Beton Kongresi**, İstanbul, 267 -277 (1996).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : İBRAHİM ANWAR, İshil
Uyruğu : Irak
Doğum Tarihi ve Yeri : 19/01/1984, Kerkük
Medeni Hali : Evli
Telefon : 0 (312) 247 61 67
E-mail : sabahbeyatli@gmail.com

Eğitim

<u>Derece</u>	<u>Eğitim Birimi</u>	<u>Mezuniyet Tarihi</u>
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enst. İnşaat Mühendisliği Bölümü	2010
Lisans	Technological Üniversitesi Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü	2006
Lise	Albesale Lisesi, Bağdat	2002

Yabancı Dil

İngilizce, Arapça

Hobiler

Seyahat etmek, Kitap okumak