

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**ORTAM SICAKLIĞI VE KARIŞTIRMA SÜRESİNİN BETON
BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

Serhan CEYLAN

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bilim Dalı Kodu: 624.05.00

Sunuş Tarihi: 23/03/2009

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

Sayın **Serhan CEYLAN** tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak sunulan **“Ortam Sıcaklığı ve Karıştırma Süresinin Beton Basınç Dayanımına Etkisi”** adlı bu çalışma, “Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği”nin 12 inci madde (c) ve (d) bentleri ve Enstitü yönergesinin ilgili hükümleri dikkate alınarak tarafımızdan değerlendirilmiş olup yapılan sözlü savunma sınavında aday oy ile başarılı bulunmuştur. Bu nedenle Serhan CEYLAN’nın sunduğu metnin yüksek lisans tezi olarak kabulüne oy ile karar verilmiştir.

Tarih

Juri başkanı ; Prof. Dr. Kambiz RAMYAR İmza

Üye ; Doç Dr. Halit YAZICI İmza

Raportör ; Yrd. Doç. Dr. Özge A. ÇAKIR İmza

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun
..../..../..... gün ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

ÖZET**ORTAM SICAKLIĞI VE KARIŞTIRMA SÜRESİNİN BETON BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

CEYLAN, Serhan

Yüksek Lisans Tezi. İnşaat Mühendisliği Bölümü

Tez Yöneticisi: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

Mart 2009, 75 sayfa

Tez kapsamında, ortam sıcaklığının ve karıştırma süresinin beton basınç dayanımına etkileri incelenmiştir. Bu etkiler tespit edilirken İzmir bölgesinden elde edilen kırma kireçtaşı agregası, bir tip CEM I çimentosu ve Soma Termik Santralinden temin edilen bir tip C sınıfı uçucu kül kullanılmıştır. Deneysel çalışma kapsamında, üç farklı su/bağlayıcı oranında (0.45, 0.55 ve 0.65), iki farklı çökme değerinde (13 ± 1 cm ve 6 ± 1 cm) ve üç farklı uçucu kül oranında (çimento ağırlığının %0, %15 ve %30'u kadar) karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlar üç farklı sürede (1, 2 ve 5 dakika) karıştırılmış, yaz ve kış olmak üzere iki farklı mevsimde döküm yapılmıştır. Numuneler, su içinde yazın $27\pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta, kışın ise $10\pm 3^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta bekletilmiştir. Karışımların taze haldeyken çökme değeri ve birim hacim ağırlığı, sertleştikten sonra ise 7 ve 28 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir.

Tezin birinci bölümünde beton hakkında genel bilgi verildikten sonra çalışmanın amacı ve kapsamı anlatılmıştır. İkinci bölümde, beton basınç dayanımı ve basınç dayanımını etkileyen faktörler incelenmiştir. Üçüncü bölüm yapılan deneysel çalışmalara ayrılmıştır. Dördüncü bölümde deneysel çalışmaların sonuçları gösterilmiştir. Beşinci bölümde elde edilen deneysel çalışma sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ve öneriler, altıncı bölümde sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Ortam Sıcaklığı, Karıştırma Süresi, Uçucu Kül, Beton Basınç Dayanımı

ABSTRACT**EFFECT OF AMBIENT TEMPERATURE AND MIXING TIME ON
COMPRESSIVE STRENGTH OF CONCRETE**

CEYLAN, Serhan

MSc in Civil Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

March 2009, 75 pages

In this thesis, the effects of ambient temperature and mixing time on compressive strength of concrete were investigated. In order to investigate these effects, crushed limestone aggregate obtained from Izmir region, a CEM I type cement and a class C fly ash obtained from Soma Thermal Power Plant were used. In the experimental study, concrete specimens having three different water/binder ratios (0.45, 0.55 and 0.65), two different slump values (13 ± 1 cm and 6 ± 1 cm) and three different fly ash replacement levels (0%, 15% and 30% by weight of cement) were prepared. Mixtures were prepared in two different seasons as summer and winter and by mixing for three different durations as 1, 2 and 5 minutes. Samples were cured in water at a temperature of $10\pm 3^{\circ}\text{C}$ in winter and $27\pm 3^{\circ}\text{C}$ in summer. The slump and unit weight of fresh mixtures as well as 7 and 28 days compressive strength of hardened concrete were determined.

In the first part of the thesis, aim and scope of the study as well as a brief information about concrete are given. In the second part, the compressive strength of concrete and factors affecting compressive strength are investigated. In the third part, the experimental study is explained. In the fourth part, the results of experimental study are presented. In the fifth part, test results are evaluated. The sixth part is devoted to the conclusions and recommendations.

Keywords: Ambient Temperature, Mixing Time, Fly Ash, Concrete Compressive Strength

TEŞEKKÜR

Bu çalışma süresince gerekli malzemelerin sağlanmasında ve özelliklerinin belirlenmesinde kolaylık gösteren Çimentaş İzmir Çimento Fabrikası T.A.Ş. ve BATIÇİM Batı Anadolu Çimento Sanayi A.Ş. yetkililerine teşekkürü borç bilirim. Tez çalışmam sırasında değerli katkılarını ve görüşlerini esirgemeyen başta tez danışmanım Prof Dr. Kambiz RAMYAR’a, Sayın Yrd. Doç. Dr. Özge ANDİÇ’e, Araş. Gör. Cihat YÜKSEL’e ve E.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü’nün tüm öğretim elemanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmanın tamamlanması sırasında, manevi desteklerini esirgemeyen tüm aileme, iş yükümü paylaşarak büyük yardımları olan çalışma arkadaşlarıma ve HİBRİT MÜHENDİSLİK LTD ŞTİ. genel müdürü İnş Müh. Şerif GÜNER’e teşekkür ederim.

Çalışma süresince, yorulup düştüğümde beni ayağa kaldıran anne ve babama, cesaretlendiren kardeşime teşekkürü bir borç bilirim.

Benimle laboratuarda gece geç saatlere kadar beton döken nişanlım Elif’e... Uzaklardan bizi izleyen dedeme ve tüm aile büyüklerime...

X

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	V
ABSTRACT	VII
1 GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsam	2
2 BETON BASINÇ DAYANIMI	3
2.1 Giriş	3
2.2 Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme	5
2.2.1 Çimento	5
2.2.2 Su	5
2.2.3 Agregası	6
2.2.4 Katkı maddeleri	7
2.3 Beton Basınç Dayanımı Etkileyen Faktörler	8
2.3.1 Beton oluşturulan malzemelerin basınç dayanımına etkisi	8
2.3.1.1 Çimento tipinin beton basınç dayanımına etkisi	8
2.3.1.2 Agreganın beton basınç dayanımına etkisi	10
2.3.1.3 Mineral katkıların beton basınç dayanımına etkisi ..	13
2.3.1.4 Kimyasal katkıların beton basınç dayanımına etkisi	17
2.3.2 Beton karışım oranlarının basınç dayanımına etkisi	18
2.3.2.1 Su/çimento oranının beton basınç dayanımına etkisi	19

XII

2.3.2.2	Agrega gradasyonunun beton basınç dayanımına etkisi	19
2.3.3	Kür koşullarının beton basınç dayanımına etkisi.....	21
2.3.3.1	Sıcaklık etkisi	21
2.3.3.2	Kür çeşidinin etkisi.....	23
2.3.3.3	Kür süresinin etkisi.....	23
2.3.4	Beton yerleştirme işleminin basınç dayanımına etkisi	24
2.3.4.1	Karıştırma süresinin basınç dayanımına etkisi.....	24
2.3.4.2	Yerleştirme ve sıkıştırmanın dayanıma etkisi	25
3	DENEYSEL ÇALIŞMA	27
3.1	Giriş	27
3.2	Kullanılan Malzeme.....	27
3.2.1	Agrega	27
3.2.2	Çimento ve uçucu kül	28
3.2.3	Su	30
3.3	Beton Karışım Oranları.....	31
3.4	Uygulanan Deneyler	32
3.4.1	Taze beton deneyleri	32
3.4.2	Sertleşmiş beton deneyi	34
4	DENEY SONUÇLARI.....	35
4.1	Taze Beton Deney Sonuçları	35

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	36
5 DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	51
5.1 Karışımdaki Uçucu Kül Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi....	55
5.2 Ortam Sıcaklığı Değişiminin Basınç Dayanımına Etkisi	59
5.3 Çökme Değeri Değişiminin Basınç Dayanımına Etkisi	62
5.4 Su/Bağlayıcı Oranının Basınç Dayanımına Etkisi	65
6 SONUÇLAR VE ÖNERİLER	69
KAYNAK DİZİNİ	71
ÖZGEÇMİŞ	75

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1 Farklı tipte 335 kg/m ³ çimento içeren karışımların basınç dayanım gelişimi	9
Şekil 2.2 Farklı çimentolarla hazırlanan beton karışımların dayanım gelişimi	10
Şekil 2.3 Kalsiyum hidroksit miktarı değişiminin dayanıma etkisi	14
Şekil 2.4 Dayanım ve su/çimento oranının hiperbolik değişimi	19
Şekil 2.5 Kaba agrega gradasyonu ile basınç dayanımı arası ilişki	20
Şekil 2.6 İnce agrega gradasyonu ile basınç dayanımı arası ilişki	20
Şekil 2.7 Çimento miktarınca zengin numunelerde kür sıcaklığının basınç dayanımına etkisi	21
Şekil 3.1 Deneyde kullanılan agrega gradasyonu ve TS 802 sınırları	28
Şekil 3.2 Taze betonun karıştırılması, kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması işlemleri	33
Şekil 3.3 200 ton kapasiteli hidrolik deney presi	34
Şekil 5.1 Kış mevsiminde elde edilen ortalama basınç dayanımları.....	54
Şekil 5.2 Yaz mevsiminde elde edilen ortalama basınç dayanımları.....	55
Şekil 5.3 Kış mevsiminde %15 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı	56
Şekil 5.4 Kış mevsiminde %30 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı	56
Şekil 5.5 Yaz mevsiminde %15 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı	57
Şekil 5.6 Yaz mevsiminde %30 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı	58

Şekil 5.7 Kontrol karışımları 7 günlük dayanım sonuçları	59
Şekil 5.8 Kontrol karışımları 28 günlük dayanım sonuçları	59
Şekil 5.9 Düşük çökme değerli karışımların 7 günlük dayanım sonuçları	60
Şekil 5.10 Düşük çökme değerli karışımların 28 günlük dayanım sonuçları	60
Şekil 5.11 Yüksek çökme değerli karışımların 7 günlük dayanım sonuçları	61
Şekil 5.12 Yüksek çökme değerli karışımların 28 günlük dayanım sonuçları	61
Şekil 5.13 Kış mevsiminde 7 günlük bağıl dayanım değerleri	63
Şekil 5.14 Kış mevsiminde 28 günlük bağıl dayanım değerleri	63
Şekil 5.15 Yaz mevsiminde 7 günlük bağıl dayanım değerleri	64
Şekil 5.16 Yaz mevsiminde 28 günlük bağıl dayanım değerleri	64

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 2.1 Beton basınç dayanım değerleri.....	11
Tablo 2.2 ACI 308-89 şartnamesinde önerilen minimum karıştırma süreleri	24
Tablo 3.1 Agreganın elek analizi sonuçları.....	27
Tablo 3.2 Agreganın özgül ağırlık, su emme ve birim ağırlık değerleri	28
Tablo 3.3 Çimento ve uçucu külün kimyasal özellikleri ve ilgili standart sınırları..	29
Tablo 3.4 Çimento ve uçucu külün fiziksel ve mekanik özellikleri ve ilgili standart sınırları	30
Tablo 3.5 Karışımında değiştirilen etkenler	31
Tablo 3.6 Kontrol numuneleri karışım oranı.....	31
Tablo 3.7 %15 uçucu kül içeren betonların karışım oranı	32
Tablo 3.8 %30 uçucu kül içeren betonların karışım oranı	32
Tablo 4.1 Yaz mevsiminde elde edilen çökme değerleri	35
Tablo 4.2 Kış mevsiminde elde edilen çökme değerleri	35
Tablo 4.3 Birim hacim ağırlık değerleri.....	36
Tablo 4.4 Kış mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı.....	37
Tablo 4.5 Kış mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı.....	38
Tablo 4.6 Kış mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı.....	39
Tablo 4.7 Kış mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı.....	40

Tablo 4.8 Kış mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı.....	41
Tablo 4.9 Kış mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı.....	42
Tablo 4.10 Yaz mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı.....	43
Tablo 4.11 Yaz mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı.....	44
Tablo 4.12 Yaz mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı.....	45
Tablo 4.13 Yaz mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı.....	46
Tablo 4.14 Yaz mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı.....	47
Tablo 4.15 Yaz mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı.....	48
Tablo 4.16 Kış mevsiminde dökülen karışımların ortalama basınç dayanım değerleri	49
Tablo 4.17 Yaz mevsiminde dökülen karışımların ortalama basınç dayanım değerleri	49
Tablo 5.1 Karıştırma süresi ve mevsimin beton basınç dayanımına etkisi	51
Tablo 5.2 Karıştırma süresi ve çökme değerinin beton basınç dayanımına etkisi	52
Tablo 5.3 Karıştırma süresi ve beton yaşının basınç dayanımına etkisi	53
Tablo 5.4 Karıştırma süresi ve bağlayıcı madde oranının beton basınç dayanımına etkisi.....	53
Tablo 5.5 Karıştırma süresi ve su/bağlayıcı oranının beton basınç dayanımına etkisi.....	54

XVIII

Tablo 5.6 Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.55'e çıktığında dayanımda oluşan azalma.....	66
Tablo 5.7 Su/bağlayıcı oranı 0.55'ten 0.65'e çıktığında dayanımda oluşan azalma.....	66
Tablo 5.8 Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.65'e çıktığında dayanımda oluşan azalma.....	67

1. GİRİŞ

Günümüzde inşa edilen yapıların büyük çoğunluğu betonarme karkas yapı sistemine sahiptir. Betonun, ekonomik, şekil verilebilir ve geniş kullanım alanına sahip olması popülerliğini artırmaktadır. İyi bir beton, aynı zamanda dayanıklı bir yapı malzemesidir. Uygun bir şekilde yerleştirilip, sıkıştırılan ve kürlen beton, uzun yıllar bakım ve onarım gerektirmeden hizmetini sürdürebilir (Celep, 2005).

Kompozit bir yapı malzemesi olan beton, çimento, su ve agreganın belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilir. Bununla birlikte günümüzde, katkı maddeleri de beton karışımının içerisine konmaktadır. Betonun birim ağırlığı, içine giren bileşenlerin birim hacim ağırlığı ile yerleştirme ve sıkıştırma derecesine bağlı olarak değişmektedir. Atom reaktörlerinin inşasında, birim ağırlığı 3.2 t/m^3 değerini aşan beton kullanılır. Isı yalıtım amacı ile de birim ağırlığı $0.4 - 0.8 \text{ t/m}^3$ olan hafif beton kullanılmaktadır. Genel olarak beton birim hacim ağırlığı, $2,5 \text{ t/m}^3$ değeri civarındadır (Erdoğan, 2003).

Beton bileşenlerinden çimento, su ile kimyasal reaksiyona girerek agregatanelerini bağlar. Farklı yapılarda kullanılmak üzere, değişik kimyasal özelliklerde olan çimento türleri geliştirilmiştir. Betonun en pahalı bileşeni olan çimento, beton fiyatında da belirleyici rol oynamaktadır (Erdoğan, 2003).

Agrega, betonun yaklaşık % 75'ini meydana getirmektedir. Agregalar tane boyutuna bağlı olarak, iri ve ince diye isimlendirilir. Agregalar çoğu zaman taş ocaklarından kırmak sureti ile elde edilebildiği gibi, (dere yataklarından alınan kum ve çakıl gibi) doğal olarak da bulunabilir (Powers, 1959).

Beton bileşenlerinden bir diğeri de sudur. Suyun zararlı madde içermemesi gerekmektedir. Genellikle içilebilen musluk suyu beton kullanımı için ideal şartları taşımaktadır (Erdoğan, 2003).

Betona; çimento, agrega ve sudan başka bazı katkı maddeleri de karıştırılabilir. Katkı maddeleri, betonun işlenebilme özelliğini, dayanıklılığını ve dayanımını artırabileceği gibi, priz süresini kısaltabilir veya uzatabilir (Erdoğan, 2003).

Betonu oluşturan malzemelerin uygun oranda karıştırılması ise, betonda ekonomi, dayanım ve dayanıklılık gibi özelliklerin dengeli elde edilmesini sağlar. Farklı standartlarda, agreganın durumuna ve çimento cinsine göre farklı karışım oranı hesap metotları mevcuttur (Erdoğan, 2002).

Beton basınç dayanımı, yapıların hemen hemen tümünde hayati bir öneme sahiptir. Beton dayanımını belirleyen iki ana etkenden biri, karışım suyunun çimento miktarına oranı, diğeri beton içerisindeki hava miktarıdır. İyi sıkıştırılmış normal bir beton yaklaşık olarak %0.3-3 arasında hava içerebilir (Neville, 1996). Ayrıca karışımın, homojen olarak elde edilmesinde su/çimento oranı ve hava içeriği yine belirleyicidir. Karışım homojen bir şekilde elde edildikten sonra, kalıplara yerleştirmeye hazır hale gelir. Kalıplara dökülen karışımın içerisinde bulunan hava boşlukları, titreştirici kullanılarak çıkarılabilir. Fakat gereğinden fazla titreşim uygulamak, büyük çaplı agregaları karışımından ayırarak, ayrılmaya sebep olur ki, bu da istenen bir durum değildir (Neville, 1996).

Betonun elde edilmesindeki en son adım ise, dökülmüş betonun bakımudur. Hidratasyonun sağlıklı bir şekilde ilerleyip, sertleşmenin tamamlanabilmesi için, özellikle ilk günler düzenli kür rejimleri uygulanmalıdır. Bu sebeple literatürde ilk 7 günlük sürede kür uygulanması tavsiye edilir (Newman, 2003).

1.1 Amaç ve Kapsam

Tez kapsamında betonun karışım oranı, çökme değeri, içerdiği uçucu kül miktarı, karışım süresi ve kür suyu sıcaklığı gibi faktörlerin basınç dayanımına etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla, 0,45 ile 0,65 arasında değişen 3 farklı su/bağlayıcı oranına sahip beton karışımları hazırlanmıştır. Karışımların çökme değeri 6 ± 1 ve 13 ± 1 cm olarak ayarlanmıştır. Uçucu kül içermeyen kontrol karışımı dışında, çimentonun %15 ve %30'u yerine uçucu kül kullanılarak hazırlanan beton numuneleri, ortalama 10°C ve 30°C 'de dökülmüştür. Yazın ortalama 10°C , kışın 27°C sıcaklığa sahip kür havuzunda kür edilmiştir. 1 ile 5 dakika arasında değişen 3 farklı karışım süresi incelenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında hazırlanan 648 adet 15 cm ayrıtlı küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları kıyaslanmıştır.

2. BETON BASINÇ DAYANIMI

2.1 Giriş

Beton dayanımı, beton kalitesi hakkında geniş kapsamlı bir fikir verebilen bir parametredir. Çünkü dayanım, çimento hamurunun yapısı ile direkt olarak ilişkilidir (Neville, 1997).

Beton standart basınç dayanımı, 28 gün suda saklanmış, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin, eksensel basınç altındaki dayanımı olarak tanımlanır. Gerilme cinsinden ifade edilen dayanım, silindirin kırılma yükünün, alana bölünmesi ile bulunur (Ersoy, 1985).

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine zaman zaman 200 mm veya 150 mm ayrıtlı küp numuneler de kullanılmaktadır. Küp numunelerden elde edilen dayanım değerleri ile, silindir numunelerden elde edilenler birbirlerinden farklıdır. Bu konu hakkında yapılan birçok araştırmada, silindir numunelerden elde edilen dayanımın, küp numunelerden elde edilen dayanımına oranının, genelde 0.80 ile 0.85 arasında değiştiği tespit edilmiştir. Fakat kesin bir oran verilememektedir (Celep, 2005).

Silindir veya küp numunelerin, hangisinin daha iyi olduğuna dair, herhangi bir öneride bulunmak zordur. Fakat, küp numunelerin standart olarak kabul edildiği ülkelerde dahi, en azından deneysel araştırmalarda, silindir numunelerin kullanılma eğilimi daha fazladır. RILEM tarafından deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere silindir numuneler standart olarak kabul edilmiştir. Silindir numunelerin standart olarak kabul edilmesinin sebepleri arasında, numune ile kırım makinesi arasında oluşan uç etkisinin (end effect) silindir numunelerde daha az görülmesi, silindir numune dayanımlarının, karışımda kullanılan kaba agrega özelliklerinden daha az etkilenmesi, silindir numunelerin dolum yönü ile, şantiyede hazırlanan kalıpların dolum yönünün aynı olması, özellikle kolonlara gelen eksenel yük ile, silindir numunelere uygulanan yükün doğrultusunun benzer olması, gösterilebilir. Silindir numuneler gerçeğe en yakın sonuçlar sunduğundan, standart olarak kabul edilmiştir (Neville, 1997).

Sertleşmiş betonun dayanımı, numune geometrisi ve boyutları, yükleme hızı, deney sırasında numunenin nem içeriği ve pres makinesinin özellikleri gibi etkenlerle farklılık gösterir (Erdoğan, 2003).

Taze betonun özellikleri, sertleşmiş betonun dayanımını direkt olarak ve çok etkin bir şekilde kontrol etmektedir. Su/çimento oranı, karışımdaki etkin su miktarı, Jel/boşluk oranı, porozite, kaba agreganın dayanımı ve karışım içindeki miktarı, agrega/çimento oranı, agrega çimento arası geçiş bölgesinin dayanımı, mikroçatlaklar, yaş ve olgunluk gibi birçok karmaşık faktör beton basınç dayanımını kontrol etmektedir (Neville,1997).

Beton dayanımını etkileyen birincil faktör porozite olarak gösterilmektedir. Porozite, çimento hamuru yapısında bulunan boşluk oranını ifade eder. Porozite ve basınç dayanımı arasındaki ilişki incelenirken, boşlukların birbiri ile bağlantısının oluşma sebebi ve boşlukların çapı gibi faktörlerin etkileri araştırılmalıdır. Dayanımı etkileyen bir olumsuz etken de, agrega ile çimento hamuru arasındaki bölgede oluşan mikroçatlaklardır. Bu iki sebep incelendiğinde, sorunun kaynağı olarak su/çimento oranı karşımıza çıkar. Karışımın su/çimento oranı yüksek ise porozite de yüksek olmaktadır. Yüksek dayanım için düşük su/çimento oranı oluşturularak porozite sorunu çözülebilir. Fakat agrega etrafındaki su/çimento oranı kontrol edilebilir bir parametre değildir. Agrega etrafını ince bir tabaka halinde saran su, bu bölgedeki su/çimento oranını yükseltir. Su/çimento oranı ne kadar düşürülse de, agrega etrafını saran bu ince film halindeki su, agrega etrafındaki su/çimento oranını yükselterek yük altında mikroçatlakların oluşumuna sebep olur. Bu sebeple mikroçatlaklar, dayanımı, poroziteye göre daha etkin bir şekilde kontrol eder. Ancak her iki faktörde de sorunun kaynağı su/çimento oranıdır (Neville, 1996).

Beton davranışı konusunda daha net fikir edinmek için, kendisini meydana getiren malzemelerin özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir.

2.2 Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme

2.2.1 Çimento

Çimento esas olarak toz şeklinde kalsiyum ve alüminyum silikatlardan oluşmaktadır. Suyun eklenmesi ile bu mineraller hamur oluşturur ve daha sonra sertleşerek dayanım kazanır. Torbalanmış durumda çimentonun özgül ağırlığı 15 t/m^3 civarındadır. Çimento yapımında esas olarak belirli oranlarda kireç taşı (CaCO_3) ve kil (SiO_2 ve Al_2O_3) ile bazı diğer mineraller, 1400°C sıcaklıkta döner fırında pişirilir. Elde edilen klinker soğutulduktan sonra öğütülür. Bu işlem sırasında klinker yapısına %5 oranında alçıtaşı eklenir. Alçıtaşı çimento hidrasyonunun hızını kontrol etme amaçlı eklenmektedir (Erdoğan, 2003).

Öte yandan bazı mineral katkı maddeleri eklenerek, katkılı çimento üretimi de yapılmaktadır. Tras gibi doğal puzolanlar, uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi yapay puzolanlar da çimento içerisine eklenebilir. Bunların büyük çoğunluğu tek başına bağlayıcılık özelliğine sahip değildir. Ancak ince daneli olacak şekilde öğütüldüklerinde, ortamda bulunan kalsiyum hidroksit sayesinde hidrolik bağlayıcılık özelliği kazanırlar. Ülkemizde üç farklı dayanım seviyesinde (32,5 MPa, 42,5 MPa, 52,5 MPa) katkısız CEM I çimentosu üretilmektedir. Buna ilaveten farklı oranlarda çeşitli mineral katkı içeren portland kompoze çimento (CEM II), yüksek fırın cürufu çimento (CEM III) puzolanik çimento (CEM IV) ve kompoze çimento (CEMV) standartlaştırılmıştır (TS EN 197-1, 2002).

İstenilen beton özelliklerini yakalamanın yanı sıra ekonomik bir beton imal etmenin yolu yeterli çimento kullanımından geçer (Celep, 2005).

2.2.2 Su

Beton karışım suyu, çimentoda kimyasal reaksiyonları başlatan, agregaların yüzeyini ıslatan, karışıma işlenebilirlik kazandıran bir bileşendir. Beton içerisinde kullanılan su şebeke suyu kalitesinde olabilir. Silt, yağ, şeker veya beton yapısına zarar verebilecek organik maddeler

içeren su, hem dayanım, hem yerleştirme, hem de dayanıklılık özelliklerine olumsuz etkileri olabilir. Beton dayanımını belirleyen jel, çimentonun su ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu olduğu için, çimento miktarının suya oranı, dayanım açısından önemlidir (Newman, 2003).

Suyun gereğinden az olması kimyasal reaksiyonların tamamlanamamasıyla birlikte, işlenebilirlik kayıplarına yol açar. Fazla olması ise su/bağlayıcı oranının artışı sebeptir. Bu durum daha önce belirtildiği gibi, beton yapısındaki boşluk oranını artırır. Bu boşluklar beton dayanımı ve dayanıklılığını olumsuz yönde etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

2.2.3. Agregalar

Beton üretiminde kullanılan agregalar doğal ve yapay agregalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Beton içerisinde yaklaşık olarak %60-%80 oranlarında agrega kullanılır.

Agregalar, çimento ile bağlanarak yoğun ve sert bir kütle meydana getirir. Beton içerisinde yoğun olarak bulunan agrega, beton özelliklerini çok etkin bir şekilde kontrol eder. Agregalar tek başına beton dayanımı için limit değildir, fakat agrega özellikleri beton dayanıklılığını, dayanımını ve yapı içinde betonun performansını belirlemede etkin rolü vardır. Agregalar beton içerisinde sadece duran, çimentonun etrafını sardığı, büyük beton kütleleri elde etmek için fazlaca kullanılan ucuz bir malzeme gibi görülemez. Agregaların fiziksel, termal, bazen de kimyasal özellikleri betonda önemli sorunları meydana getirebilir. Agregalar, betonun hacim sabitliği, geçirimsizliği ve dayanıklılığını kontrol eden önemli bir bileşendir. Ekonomik açıdan bakıldığında, maksimum agrega kullanımı ve minimum çimento kullanımı tercih edilmektedir. Taze ve sertleşmiş betondan istenen performans alabilmek için optimum agrega, optimum çimento miktarı ile birleştirilmelidir (Newman, 2003).

Beton içerisinde kullanılan iri agregalar genel olarak, 10mm ile 50mm büyüklüğünde olan agregalardır. Fakat tipik maksimum dane büyüklüğü 25mm dir. Agregalar dane büyüklüğü dağılımı ise, gradasyon olarak

tanımlanmaktadır. Gradasyon, beton içerisinde kullanılan agrega çaplarının büyükten küçüğe doğru, belirli oranlarda karıştırılmasını ifade eder (Erdoğan, 2003).

Agregalar doğada aşınma ve iklim etkileri ile kendiliğinden, yapay olarak ise kırım tesislerinde büyük kayaların parçalanması ile elde edilir. Bu sebeple yapay olarak elde edilen agregaların, mineralojik yapısı, petrografik sınıfı, özgül ağırlığı, sertliği, dayanımı, fiziksel ve kimyasal özellikleri, boşluk yapısı, rengi gibi özellikleri, elde edildiği ana kayalara bağlı olmaktadır. Ana kayaca bağlı olmayan, yapay agregaların kırım şekline bağlı olarak gelişen özellikler ise, yüzey yapısı, şekli, büyüklüğü ve su emme kapasitesidir. Tüm bu agrega özellikleri, beton özelliklerini belirlemede oldukça önemli bir rol oynamaktadır. Bahsedilen tüm agrega özellikleri bilinse dahi, beton içerisinde kullanılacak iyi agreganın tanımını yapabilmek oldukça güçtür. Agreganın tüm özellikleri tatmin edici derecede olsa bile, beton ile agrega arasındaki ikincil öneme sahip olan ilişkiler, iyi beton üretiminde bir kıstas olabilir (Newman, 2003).

Agrega yüzey yapısı ve şekli ise taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini etkileyen diğer faktörlerdir. Doğal agregalar, genel olarak, fiziksel ve kimyasal etkiler sebebi ile keskin hatlarını ve köşelerini kaybederler. Bu sebeple daha yuvarlak şekildedirler. Yapay yollardan elde edilen agregalar ise, kırılarak elde edildiğinden daha köşelidir. Bu sebeple yüzey alanları doğal agregalara göre daha fazladır. Bu durum sabit işlenebilirlik için, kırma agregalarla hazırlanan karışımların su ihtiyacını artırır (Powers, 1959).

Beton basınç dayanımının, agrega basınç dayanımından yüksek olduğu nadir görülen bir durumdur. Çünkü beton dayanımı, genelde çimento hamuru veya çimento hamuru – agrega arasındaki geçiş bölgesinin dayanımı tarafından kontrol edilir (Newman, 2003).

2.2.4. Katkı maddeleri

Beton karakterini değiştirmek için, farklı özellikte çimento kullanmak yerine, beton özelliklerini bozmayacak, fakat istenilen performansta beton üretimine yardımcı olacak maddeler kullanılır.

Kullanılan bu maddeler katkı maddeleri olarak isimlendirilir (Neville, 1996).

Katkı maddeleri mineral ve kimyasal olmak üzere, iki ana başlık altında toplanmaktadır. Mineral katkı maddeleri, elde edildikleri kaynağa göre; doğal malzeme (volkanik kül, tras, taşunu), herhangi bir endüstri kolundan yan ürün olarak elde edilen malzeme (uçucu kül, silis dumanı, granüle yüksek fırın cürufu) ve ısıtım işlem uygulanmış malzeme (pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyl), olmak üzere üç ana grupta toplanır (Erdoğan, 2003).

Kimyasal katkı maddeleri ise, betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için, karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlesinin %5'ini geçmemek üzere, eklenen madde olarak tanımlanmaktadır (TS EN 934-2). Su azaltıcı, su tutucu, priz geciktirici, priz hızlandırıcı, hava sürükleyici gibi kimyasal katkı türleri mevcuttur (Erdoğan, 2003).

Bunların dışında, betona renk vermek, permeabiliteyi azaltmak, terlemeyi önlemek gibi amaçlarla da katkı kullanılır. Bu katkı türleri, sertleşmiş betonun özelliklerine herhangi bir etkide bulunmaz (Erdoğan, 1997).

2.3 Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler

Bu bölümde çimento tipinin, agreganın, mineral ve kimyasal katkının, beton dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca, son yıllarda araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalarda elde edilen sonuçlara da yer verilmiştir.

2.3.1 Betonu oluşturan malzemelerin basınç dayanımına etkisi

2.3.1.1 Çimento tipinin beton basınç dayanımına etkisi

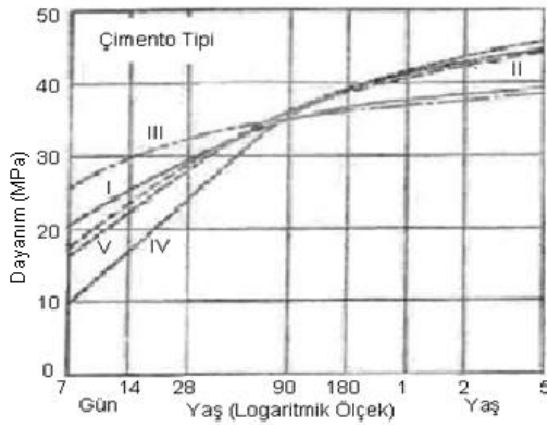
Çimentolar, kimyasal kompozisyonuna ve çimento tanelerinin inceliğine bağlı olarak beton dayanımını etkilerler. Çimento kompozisyonu değiştirilerek farklı özelliklerde çimento üretimi mümkün olmaktadır.

Dayanıklı bir beton üretimi için, farklı kompozisyona sahip çimentolar üretilmektedir. Ancak beton dayanıklılığı sorununu tam olarak çözebilecek kompozisyona sahip çimento bulabilmek mümkün olmaz. Örneğin, sertleşmiş betonun mekanik özellikleri (dayanım, büzülme, permeabilite, iklim koşullarına direnç, sünme v.s.), çimento kompozisyonundan farklı faktörlerden de etkilenir. Ancak çimento kompozisyonunun dayanım kazanma hızına etkisi daha çarpıcıdır (Neville, 1997).

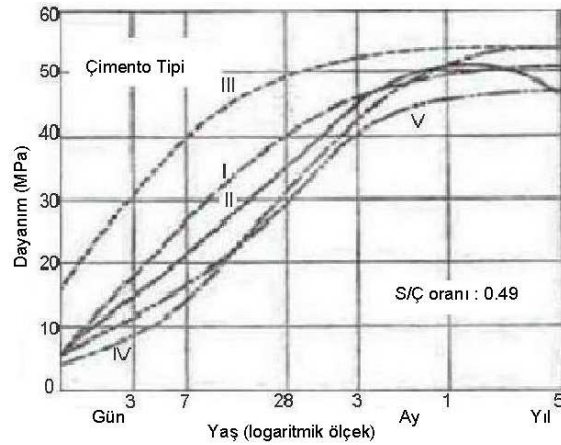
Şekil 2.1’de birbirinden farklı tipte, 335 kg/m^3 çimento kullanılarak hazırlanan karışımların dayanımları incelenmiştir. Buna göre 90 günlük dayanımlar birbirine çok yakın sonuçlar vermesine rağmen, 180 günlük dayanımlarda farklılıklar söz konusudur (Neville, 1996).

Şekil 2.2’de ise, 0.49 su/bağlayıcı oranına sahip, farklı çimento tipleri ile hazırlanan karışımlardan elde edilen dayanımlar görülmektedir. Buna göre, sertleşme hızı düşük olan çimentolarda genel eğilimin, ileri yaş dayanımının yüksek olması yönünde olduğu söylenebilir. Bu çimentolarda, hidrasyon ürünlerinin yavaş oluşması bu sonucu doğuran etki olarak öne sürülebilir. Yavaş oluşan hidrasyon ürünleri daha yoğun bir jel oluşumuna, dolayısıyla, daha yüksek dayanıma sebep olur.

Öte yandan, Şekil 2.1 ve 2.2 incelendiğinde, farklı tipteki çimentoların, fiziksel özelliklerinin, özellikle hidrasyonun ilk evrelerine etkisinin olduğu söylenebilir (Neville, 1996).



Şekil 2.1 Farklı tipte, 335 kg/m^3 çimento içeren karışımların basınç dayanım gelişimi (Neville, 1996)



Şekil 2.2 Farklı çimentolarla hazırlanan beton karışımlarının dayanım gelişimi (Neville, 1996)

2.3.1.2 Agreganın beton basınç dayanımına etkisi

Dayanım, genel olarak su/çimento oranı ile ilişkilendirilmesine rağmen, diğer faktörlerden bağımsız tutulamaz. Bu faktörlerden biri de beton içerisinde en fazla bulunan bileşen olan agregadır.

Betonda kullanılan agregalar kaba ve ince olmak üzere ikiye ayrılır. TS 706 EN 12620 “Beton Agregaları” standardına göre 4mm. lik elek üzeri malzeme kaba agregası olarak nitelendirilirken, bu eleğin altında kalan malzeme ise ince agregası olarak tanımlanır. ASTM standardında ise 4.75 mm elek üzeri malzeme kaba, altında kalan malzeme ince agregası olarak adlandırılmıştır.

Agreganın beton basınç dayanımına olan etkileri, agregası gradasyonuna, maksimum dane büyüklüğüne, minerolojik yapısına, şekline, yüzey yapısına ve mekanik özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Agregası minerolojik yapısının, beton basınç dayanımına olan etkisinin araştırıldığı çalışma aşağıda sunulmuştur:

Kılıç vd tarafından 2007 yılında yapılan çalışma kapsamında, 5 farklı agregası tipi (gabro, bazalt, kuvars, kireçtaşı, kumtaşı) ile hazırlanan karışımların basınç ve çekme dayanımları, aşınma dirençleri ve agregası-

harç arası geçiş bölgesi dayanımı incelenmiştir. ASTM Tip-I Portland çimentosu ve çimentonun %15'i kadar silis dumanı kullanılarak hazırlanan karışımların 3, 7, 28 ve 90 günlük dayanımları belirlenmiştir. Deney sonuçları Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1 Beton basınç dayanım değerleri, MPa (Kılıç vd, 2007)

Kür süresi (Gün)	Gabro (247)*	Bazalt (132)	Kuvars (160)	Kireçtaşı (110)	Kumtaşı (52)
3	63,8	76,2	58,1	57,4	43,4
7	79,9	90,5	63,5	64,2	44,4
28	119,4	121,2	97,4	96,3	50,3
90	136,4	134,6	103,0	107,7	53,0

* Parantez içerisinde verilen değerler agrega basınç dayanımıdır.

Bu sonuçlara incelendiğinde, agrega dayanımı ile beton basınç dayanımının doğru orantılı olarak değiştiği görülmüştür. Çalışma kapsamında hamur dayanımı ayrı olarak ölçülmemiştir. Ancak hamur dayanımı gabro agregası ile hazırlanan karışımların 3 aylık beton basınç dayanımı değerleri dikkate alınarak, 136,4 MPa olarak tahmin edilmiştir.

Bazalt agregası ile hazırlanan karışımlar 90 gün sonunda 134.6 MPa dayanım değerine ulaşmıştır. Bu değer agrega basınç dayanım değerine (132 MPa) neredeyse eşittir. Bazalt agregası ile hazırlanan numunelere uygulanan dayanım testleri sırasında, kırılmaların ve çatlakların sadece hamur fazında değil agrega yüzeyinde de meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Kireçtaşı ve kumtaşı ile hazırlanan numunelerin kırılma sebebi ise, agrega basınç dayanımı değerlerinin düşük olmasıdır. Bu agregaların basınç dayanımları, tahmin edilen hamur dayanımından daha düşüktür. Bu yargı, daha önce tespit edilmiş ve ceiling effect (tavan etkisi) olarak isimlendirilmiştir (Larrard, 1997). Dayanım testi esnasında kumtaşı ve kireçtaşı ile hazırlanan numuneler incelendiğinde, kırılmanın tamamıyla

agregada gerçekleştiği ve harç fazında herhangi çatlak veya kırılma oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Gabro tipi agregada limit, hamur dayanımı iken, kumtaşı ve kireçtaşı numunelerinde limit agrega dayanımı olmuştur. Gabro agregalarında, agrega dayanımı; kumtaşı ve kireçtaşı numunelerinde ise hamur dayanımı tam olarak beton dayanım performansına katkıda bulunamamıştır.

Kuvars agrega ile hazırlanan numunelerde ise ne agrega ne de harç dayanımı limit olmuştur. Bu agrega ile hazırlanmış karışımlarda, agrega yüzey yapısı belirleyici olmuştur. Kuvars agregası düzgün yüzey yapısı sebebi ile harç ile arasında kuvvetli bir aderans oluşturamadığından, agrega-harç arası geçiş bölgesi dayanımı azalmıştır. Bu sebeple kırılma bu bölgeden başlamıştır. Beton basıncı dayanım testi esnasında kuvars agrega ile hazırlanan numuneler incelendiğinde çatlakların tamamının agrega ile harç arasındaki bölgede oluştuğu gözlemlenmiştir (Kılıç vd, 2007).

Beton dayanımını kontrol eden başka bir faktör de agregaimento oranıdır. Aslında pek de beklenmeyen bir şekilde, sabit suimento oranında, daha az çimentolu karışım daha yüksek dayanım vermektedir. Bunun sebebi olarak, yüksek agrega oranının daha fazla su emerek, efektif suimento oranını azaltması gösterilebilir.

Yüksek agrega oranı daha fazla su emerek, terlemeyi de azaltmaktadır. Bu durumun, agrega imento arası geçiş bölgesinin dayanımını olumlu etkilediği tezi de savunulabilir.

Görüşlerin içerisinde en akla yatkını, daha az imento ile hazırlanan karışımın metrekpnde daha az su bulunduğu ve bu sebeple daha küçük çapta boşluklar oluştuğu, böylelikle dayanımın arttığı şeklindedir (Neville,1996).

Sabit suimento oranında agreganın beton dayanımına katkısını incelemek için yapılan çalışmalar göstermektedir ki; agrega hacmi (toplam hacmin yüzdesi olarak) 0'dan 20'ye çıktığında aşamalı olarak dayanımda azalma gözlemlenir. Fakat %40'tan %80'e çıkarken artış gözlemlenir. Bu etkiyi tam olarak açıklamak mümkün değildir (Neville,1996).

Agreganın beton dayanımına olan etkilerinden diğeri de agrega mekanik özellikleridir. Agregada mekanik özellikleri arasında, aşınma

direnci, basınç dayanımı, tokluk ve sertlik beton özelliklerini en fazla etkilemektedir. Bunlara ilaveten, elastik modülü ve Poisson oranı da agrega mekanik özelliklerindendir. Agreganın mekanik özellikleri bazı özel betonlarda aranabilir (Erdoğan, 2004).

Wu vd (2000), tarafından yapılan çalışmada agreganın mekanik özelliklerinin, beton mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla betonun çekme ve basınç dayanımı, kırılma enerjisi, elastik modülü ve numunenin karakteristik boyunun tespiti için farklı basınç dayanımında ve farklı minerolojik yapıya sahip kırma agregalarla (kuvars, granit, kireçtaşı, mermer) deneyler yapılmıştır. Çalışmada ASTM Tip I çimentosu, 600 m²/kg Blaine inceliğinde cüruf, 2.85 incelik modülünde nehir kumu, en büyük dane boyutu 20 mm olan iri agrega, ve bağlayıcı maddenin %1'i oranında akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Üç farklı su/çimento oranında, (0.26 ve 674 kg/m³ bağlayıcı, 0.44 ve 382 kg/m³ bağlayıcı, 0.55 ve 340 kg/m³ bağlayıcı) hazırlanan karışımlar 100 mm ayrıtlı küp numunelere yerleştirilmiş ve 28 günlük dayanımları kıyaslanmıştır.

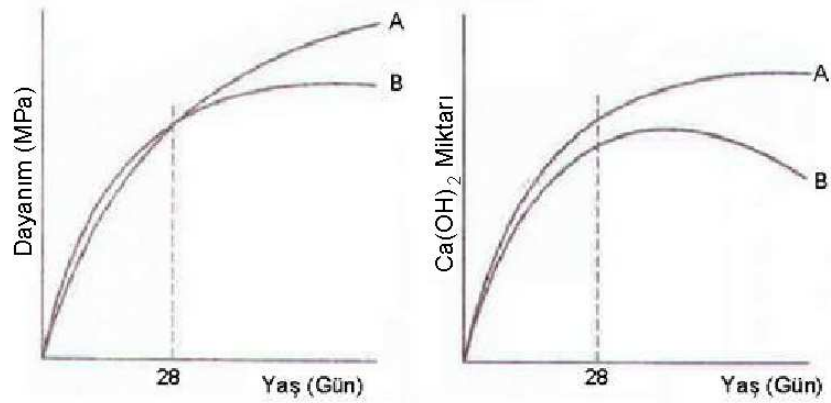
Sonuçta, su/çimento oranı 0.26 iken kırma kuvars agregası maksimum elastik modülü, kırılma enerjisi ve karakteristik boy değerlerini vermiştir. Su/çimento oranı, 0.44 ve 0.55 olduğunda yine kırma kuvars en büyük dayanımı vermesine ilaveten, su/çimento oranı arttıkça elastik modülü, kırılma enerjisi, karakteristik boy gibi değerlerde azalmalar görülmüştür. Yüksek performanslı betonlarda, agreganın beton mekanik özelliklerine etkili olduğu, normal ve düşük dayanımlı betonlarda ise, kayda değer bir etkisi olmadığı belirtilmiştir. Agreganın yüksek performanslı betonların çekme dayanımına çarpıcı etkisi olmasına rağmen, normal ve düşük dayanımlı betonların, çekme dayanımına belirgin etkisi olmadığı saptanmıştır (Wu vd., 2000).

2.3.1.3 Mineral katkıların beton basınç dayanımına etkisi

Sadece çimento kullanılarak hazırlanan karışım ile mineral katkı kullanılarak hazırlanan karışım arasında, işlenebilirlik, belirli yaşlardaki dayanım, toplam bağlayıcı madde miktarı ve su/çimento oranı gibi nicelikler arasında farklılıklar mevcuttur. Mineral katkıların, hidratasyona

olan etkisi, katkının kaynağına, reaktivitesine, tanelerinin inceliğine ve şekline bağlı olarak değişir (Neville, 1996).

Puzolan içeren karışımlarda, sabit bağlayıcı madde miktarı için, su ihtiyacı azalır, işlenebilirlik artar, daha geçirimsiz ve dayanıklı bir beton elde edilir. Puzolanlar, çimento hidratasyonu sırasında oluşan kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek daha geçirimsiz bir yapı meydana getirir. Şekil 2.3'te uçucu kül karıştırılarak hazırlanan (A) karışım ile, sadece çimento kullanılarak hazırlanan (B) karışımın dayanım gelişimi ve kalsiyum hidroksit miktarının zamanla değişimi görülmektedir.



Şekil 2.3 Kalsiyum hidroksit miktarı değişiminin dayanıma etkisi (Newman, 2003)

Yapay puzolanların betonda kullanımı, ekonomi ve çevrenin korunması açısından da, fayda sağlar. Sabit bağlayıcı malzeme oranı için, karışıma uçucu kül veya cüruf ilavesi, genelde su ihtiyacını azaltır ve işlenebilirliğe katkıda bulunur. Cürufun işlenebilirliğe olan katkısı çökme değeri ölçümü sırasında gözlemlenmese de, vibrasyon uygulaması başladığında, cüruf içeren karışımların daha kolay sıkıştığı görülür. Silis dumanı ise terlemeyi büyük oranda azaltır hatta tamamiyle engeller. Uçucu külün işlenebilirliğe olan katkısı ise parçacıklarının küre şeklinde olmasına bağlanır. Karışıma uçucu kül veya daha az miktarda cüruf ilavesi, çimento topaklanmasını engeller ve sonuçta su ihtiyacı azalır. Çimento tanelerindeki dağılma, çimento hamurunun mikro yapısını etkiler. Başlıca etki, tane çapı dağılımına olur. Topaklaşma nedeniyle

oluşan orta çaplı çimento taneleri, dağılmanın etkisiyle daha küçük çaplı tanelere dönüşür ve sonuçta az boşuklu bir yapı oluşur (Neville, 1996).

Uçucu külün beton özelliklerine etkisi genel olarak, su ihtiyacını azaltması, karışım içindeki bağlayıcı madde miktarını artırması ve ileri yaş dayanımına katkıda bulunması şeklinde belirtilir. Yapılan çalışmalar sonucunda, uçucu külün hidratasyon hızını düşürdüğü, bu sebeple erken dayanıma olumsuz etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, bağlayıcı hacmi sabit tutularak, uçucu kül ilave edildiğinde de geçerliliğini korur. Çimento ağırlığının 2-3 katı kadar uçucu kül ikame edilip, karışımın kum oranı belirli bir verim için azaltılırsa, betonun üç günlük dayanımı kontrol numunesinin altında olsa da, 28 günlük dayanım kontrol numunesininkine eşdeğer olabilir (Erdoğan, 1997).

İri uçucu kül taneleri beton içerisinde, mikro agrega olarak nitelendirilmektedir. Bu özelliği sayesinde, hamurun yoğunluğunu artırmaktadırlar. Böylelikle, beton dayanımına katkıda bulunduğu gibi, beton içerisindeki boşluk miktarını da azaltırlar (Neville, 1996).

Uçucu külün dayanıma katkısı, kullanılan çimentonun miktarı, inceliği ve kimyasal kompozisyonuna bağlı olarak değişir. Kimyasal etkiye ilaveten, uçucu kül, hidrate olmuş çimento hamurunun fiziksel yapısına da etkide bulunur. Bu fiziksel etki kaba agregaların etrafını doldurmaktır. Fakat dayanım aktivite indeksini ölçmek amacı ile kullanılan ASTM C311 yönteminde hazırlanan numuneler, harç numunesi olduğu için bu etki gözlemlenemez. Bu sebeple dayanım aktivite değeri, uçucu külün beton karışımlarında, dayanıma sağlayacağı katkıyı tam olarak göstermez. Uçucu külün boşluk doldurma etkisi, hem uçucu kül hem de çimento özelliklerine bağlıdır. İri çimento ve ince uçucu kül taneleri ile daha etkin bir doluluk sağlanabilir (Neville, 1996).

Genel olarak, uçucu külün dayanım performansı kürlenmeden etkilenir. Uçucu külün tüm özelliklerini yansıtabilmesi için, kontrol karışımlarına göre daha uzun süre kürlenmesi gerekmektedir (Erdoğan, 1997).

Silis dumanının beton karışımına ilavesi ise, dayanımı olumlu etkiler. Bunun en önemli sebebi olarak, silis dumanı taneciklerinin çapıdır. Oldukça küçük olan silis dumanı partikülleri, karışım içerisinde filler etkisi gösterir. Karışıma herhangi bir su azaltıcı katkı ilave edilmeden silis

dumanı eklenirse, karışımın su ihtiyacı artar. Dolayısı ile istenen işlenebilirliği sağlamak için su ihtiyacı doğar. Karışıma su ilavesi, dayanımı olumsuz etkiler. Sabit dayanım değeri için, su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmalıdır. Silis dumanının beton dayanımına olan etkisini bir çok faktör etkiler. Karışımında bulunan silis dumanı yüzdesi, su/bağlayıcı madde oranı, çimento tipi, su azaltıcı katkı tipi ve miktarı, sıcaklık, kür koşulları ve yaş bu faktörler arasındadır (Erdoğan, 1997).

Önemli yapay puzolanlardan cüruf ise, erken dayanımı olumsuz etkiler. İleri yaşlarda ise, kontrol numuneleri dayanımlarını yakalar, hatta geçer. Diğer yapay puzolanların dayanıma verdiği katkının bağlı olduğu değişkenler (çimentonun tipi, cürufun kimyasal kompozisyonu ve inceliği, karışımındaki miktarı vs.) cüruf için de geçerlidir. Genel olarak cüruf, karışım içerisinde %40-50 arasındaki miktarlarda çimento ile ikame edilerek kullanılır. Cürufun aktivite enerjisi, çimentonunkinden fazla olduğu için, cüruf ile hazırlanmış karışımlar kür sıcaklığına daha hassastır. Bu sebeple soğuk havada genel olarak cüruf içeriği, çimento ağırlığının %25-30'u ile sınırlandırılır (Erdoğan, 1997).

Yapay puzolanların dışında, doğal olarak elde edilen puzolanlar da mevcuttur. Volkanik tüfler, tras, pişirilmiş kil ve şeyl doğal puzolanların belli başlı örnekleridir. Doğal puzolanların dayanıma verdiği katkı, yapay puzolanlarınkine ile aynıdır.

Optimum puzolan kullanımı konusunda yapılan bir deneysel çalışmada, 300, 350 ve 400 kg/m³ ağırlığında çimento kullanılarak kontrol karışımları hazırlanmış ve 40, 50, 75 ve 100 kg/m³ uçucu kül ilave edilerek kıyaslamalar yapılmıştır. Puzolanik aktivite tespit edilirken, Bolomey formülü kullanılmıştır. 0.40 ve 0.50 su/bağlayıcı madde oranı ile karışımlar hazırlanmış, 100x200 mm lik silindir numunelerin 28 günlük dayanım değerleri kıyaslanmıştır.

Sonuçta, optimum puzolan/çimento oranı yaklaşık %28 olarak belirlenmiştir. Bunun dışında puzolan/çimento oranının artışı puzolan etkinliğini azalttığı tespit edilmiştir. Çimento miktarı karışım içerisinde azaldıkça veya çimento miktarı sabit kalmasına rağmen, puzolan miktarı arttıkça, aktivite azalmıştır (Pekmezci, Akyüz, 2002).

2.3.1.4 Kimyasal katkıların beton basınç dayanımına etkisi

Beton teknolojisinde kimyasal katkı maddeleri denildiğinde, su içerisinde çözünme gösteren beton katkı maddeleri anlaşılmaktadır. Günümüzde beton içerisinde kimyasal katkı kullanımı oldukça artmıştır.

Kimyasal katkıların beton içerisinde kullanımının artması, sağladığı fiziksel ve ekonomik katkılarla açıklanabilir. Birçok zorlu fiziksel ve kimyasal etkilere maruz dayanıklı beton üretiminde kimyasal katkılar önemli rol oynar. Kimyasal katkılar her zaman ucuz değildir, fakat beton ile birlikte kullanıldıklarında betonu ucuzlatabilir. İlave çimento kullanmadan beton dayanımını arttırabilir, ekstra işçilik gerektirmeden uygun bir yerleştirme ve sıkıştırmayı sağlayabilir. Kimyasal katkılar, kötü dizayn edilmiş bir betonu, iyileştiremez, ancak, iyi dizayn edilmiş bir karışıma fayda sağlar. TS EN 934-2' ye göre, kimyasal katkılar, su azaltıcı katkı, yüksek oranda su azaltıcı katkı, su tutucu katkı, hava sürükleyici katkı, priz hızlandırıcı katkı, sertleşmeyi hızlandırıcı katkı, priz geciktirici katkı, su geçirimsizlik katkısı, priz geciktirici-su azaltıcı katkı, priz geciktirici-yüksek oranda su azaltıcı katkı ve priz hızlandırıcı-su azaltıcı katkı olarak 12 başlık altında toplanmıştır (Erdoğan, 2004).

Sabit kıvam için, su ihtiyacını azaltan katkılar “su azaltıcı katkılar” olarak isimlendirilir (ASTM C494, 1994). Bu katkılar azalttığı su miktarına göre su azaltıcı (%5-12 arası su azaltır) ve yüksek oranda su azaltıcı (%12'den fazla su azaltır) katkı olarak isimlendirilir. Su azaltıcı katkıların beton içerisinde kullanma amacı, dayanımı artırmak, işlenebilirliği artırmak, sabit su/çimento oranında daha az su ve çimento kullanımını sağlayarak, ekonomi yaratmak olarak sıralanır (Erdoğan, 1997).

Su azaltıcı katkıların bir kısmı priz gecikmesine yol açabilir. Fakat zamanla işlenebilirlik kaybı oranını her zaman azaltmaz. Dikkat edilmesi gereken başka bir konu ise betonun ayrışma riski veya terlemesidir. (Neville,1997).

Yüksek oranda su azaltıcı katkılar ise, yüksek işlenebilir (kendiliğinden yerleşen) veya yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılır. Bu katkılar ile, 0.2 su/çimento oranına ve 150 MPa dayanıma sahip beton üretimi yapılabilir. Süperakışkanlaştırıcılar, %25-35 civarında

su azaltır ve 1 günlük dayanımı %50-75 mertebesinde artırır (Neville, 1997).

Priz geciktiriciler, genel olarak, çimento hamurunun katılaşmasını yavaşlatır. Priz geciktirici katkı ve kontrol karışımlarının 3 günden sonraki dayanımları kıyaslandığında, kontrol karışımları dayanımının %10 mertebesinde daha fazla olduğu saptanmıştır (Neville, 1997). Priz hızlandırıcı katkılar ise, erken dayanımı artırmak ve priz süresini kısaltmak amacı ile kullanılmaktadır. Bu katkıların, soğuk havada beton dökümünde, prekast betonlarda, süre kısıtlaması olan işlerde ve acil tamir işlerinde kullanım yeri vardır.

Hızlandırıcı katkılar betonun 1 ve 3 günlük basınç ve çekme dayanımını artırır. Dayanımdaki artış katkının tipine ve dozajına bağlı olarak değişir. İleri yaş dayanımı ise, etkilenmez veya çok az miktarda düşüş gösterebilir. Erken yaş dayanımına olan etki arttıkça, ileri yaş dayanımında azalmalar da o kadar artar. Kalsiyum klorid en etkili hızlandırıcı olmasına rağmen (çimento miktarının %2'si oranında kalsiyum klorid, 1 günlük dayanımı 2 katına çıkarır) donatı korozyonuna yol açtığından kalsiyum nitrit, kalsiyum nitrat, sodyum format bazlı bir takım katkılar geliştirilmiştir. (Erdoğan, 1997).

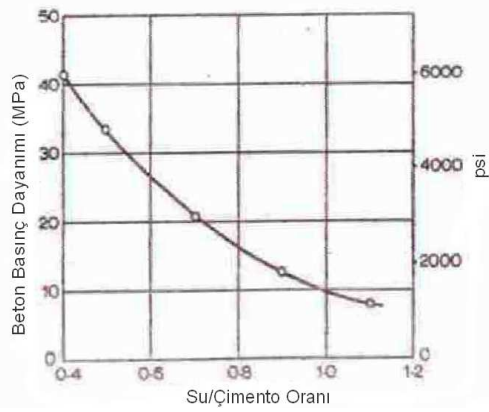
Hava sürükleyici katkılar literatürde genel olarak kimyasal katkılar içerisinde değerlendirilmez. Kendi başına bir başlık altında incelenir. Fakat TS EN 934-2'de hava sürükleyici katkılar kimyasal katkı türleri arasında verilmiştir. Bu katkının betonda kullanım amacı, donma çözünme direnci sağlamaktır. Fakat bu katkılar beton dayanımını olumsuz etkileyebilir.

2.3.2 Beton karışım oranlarının basınç dayanımına etkisi

Beton dayanımı, yalnızca betonu meydana getiren maddelerin özelliklerinden etkilenmez. Bunun yanı sıra, malzemelerin beton içerisinde bulunma miktarı da beton dayanımını kontrol eder. Su/çimento oranı, agrega gradasyonu, agrega/çimento oranı, taze beton kıvamı ve yaş gibi parametreler dayanımı kontrol eder.

2.3.2.1 Su/Çimento oranının beton basınç dayanımına etkisi

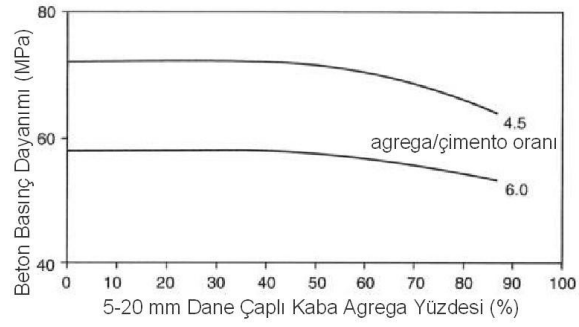
Su/çimento oranı, sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boşluk miktarını kontrol eder. Oluşan boşluklar ise beton dayanımını etkiler. Fakat günümüze yapılan araştırmalar sonucunda, beton dayanımını kontrol eden parametrenin, yalnızca su/çimento oranı olduğu tanımı yetersiz kalmıştır. İyi sıkıştırılmış bir betonun dayanımındaki değişimler yalnızca su/çimento oranına bağlanamaz. Beton dayanımı; harç dayanımı, harç-kaba agrega arası geçiş bölgesi dayanımı ve kaba agrega basınç dayanımının bir bileşkesidir. Şekil 2.4, erken dayanımı yüksek portland çimentosu ile hazırlanan karışımlarının 7 günlük dayanım değerlerinin s/ç oranı ile ilişkisini göstermektedir. Şekil 2.4'den görüldüğü gibi, su/çimento oranı 1.2 ye doğru yaklaştıkça neredeyse doğrusal bir hal almaktadır (Neville, 1996).



Şekil 2.4 Dayanım ve su/çimento oranının hiperbolik değişimi (Neville, 1996)

2.3.2.2 Agrega gradasyonunun beton basınç dayanımına etkisi

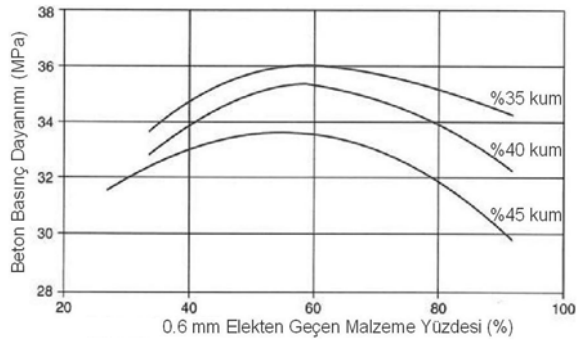
Gradasyon, dane büyüklüğü dağılımı anlamına gelir. Gradasyonda meydana gelen değişiklikler, sertleşmiş beton özelliklerine az miktarda etkide bulunur. Sabit işlenebilirlik altında kaba agrega gradasyonu değişiminin, beton basınç dayanımına etkisi, Şekil 2.5' de görülmektedir. Tüm numuneler 50mm çökme değerindedir (Newman, 2003).



Şekil 2.5 Kaba agrega gradasyonu ile basınç dayanımı arası ilişki (Newman, 2003)

Şekil 2.5'e bakıldığında, karışımdaki 5 - 20mm büyüklüğündeki agrega oranı, %50'den az olduğunda, basınç dayanımında herhangi bir değişiklik olmamaktadır. %50 ve üzeri oranlarda ise, dayanım olumsuz etkilenmektedir (Newman, 2003).

Şekil 2.6' da ise sabit işlenebilirlikte, ince agrega gradasyonundaki değişimin, beton basınç dayanımına olan etkisi görülmektedir.



Şekil 2.6 İnce agrega gradasyonu ile basınç dayanımı arası ilişki (Newman, 2003)

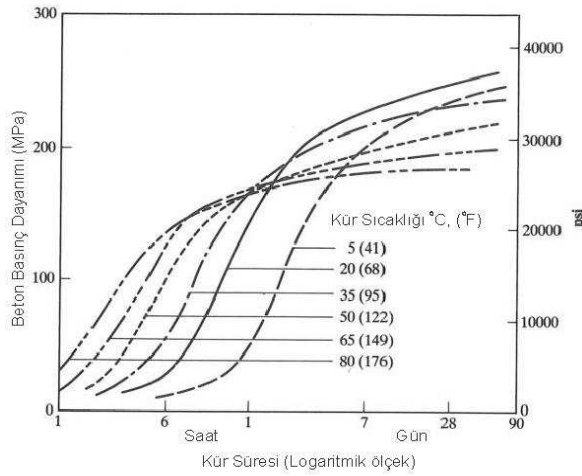
Buna göre, ince agregada bulunması gereken 0.6 mm altındaki ince malzeme oranı optimum %60 seviyesindedir.

İnce agregada dağılımındaki değişimin, taze beton özelliklerine etkisi büyüktür. İşlenebilirlik, sıkıştırma, yerleştirme, terleme, gibi özellikler ince agregada gradasyonundan etkilenir (Newman, 2003).

2.3.3 Kür koşullarının beton basınç dayanıma etkisi

2.3.3.1 Sıcaklık etkisi

Yüksek ve düşük sıcaklığın beton özelliklerine etkisi değişkenlik göstermektedir. Genel olarak, yüksek sıcaklık erken yaştaki beton basınç dayanımını arttırırken, ileri yaş dayanımını olumsuz etkiler. Bu sebeple sıcak havada dökülecek betonda önlemler alınır. Kür sıcaklığının beton basınç dayanımına etkisi Şekil 2.7’ de gösterilmiştir. Tip I çimentosu ile hazırlanan karışımlar, karıştırma ve test süresince sabit sıcaklıkta tutulmuştur. Ancak, 65°C’nin üzerinde hazırlanan karışımlar teste tabi tutulmadan önce, sıcaklık 20°C’ ye düşürülmüştür. Bu sıcaklık değişiminin numune dayanımları üzerinde olumsuz etkileri gözlemlenmiştir. Bu sebeple dayanım testi esnasındaki sıcaklığın da beton basınç dayanımını etkilediği kanısına varılmıştır (Neville, 1997).



Şekil 2.7 Çimento miktarınca zengin numunelerde kür sıcaklığının basınç dayanımına etkisi (Neville, 1997)

Öte yandan, laboratuvar koşullarında hazırlanan karışımlar ile, sıcaklığın beton basınç dayanımına olan etkisinin doğru bir şekilde gözlemlenmesi zordur. Şantiye ortamında havanın nemi, rüzgar, dökülecek elemanın boyutu gibi faktörler, sıcaklığın beton dayanımına olan etkisini değiştirebilir. Genel olarak, sıcak havada dökülen beton dayanımının, soğuk havada dökülen beton dayanımından düşük olması beklenir (Neville, 1997)

-10 °C sıcaklığa kadar çimento hidratasyonu reaksiyonları devam etse de bu sıcaklık seviyesinde karışım suyu donar. Bu sebeple betondan herhangi bir performans beklenmez. Sıcaklık 5°C civarında olduğunda ise erken dayanım oldukça düşer. TS EN 206'ya göre taze betonun sıcaklığı 5°C'den az olamaz. Özellikle ince elemanlarda ve katkılı çimentolarla hazırlanmış karışımlarda düşük sıcaklığın olumsuz etkisi daha çarpıcıdır. Beton yaklaşık olarak 3.5 MPa seviyesinde dayanım kazanmadan, donmanın zararlı etkilerine karşı koyamaz. Hava sürüklenmiş betonlar ise, 25 MPa dayanım değerine ulaşmadan donma çözünme direncine sahip olamaz (ACI 308, 1992)

Ortam sıcaklığının ve yaşın, beton mekanik özelliklerine olan etkilerinin araştırıldığı çalışmada, 0.40 ve 0.50 su/çimento oranlarında karışımlar hazırlanmıştır. Tip I çimentosu ve TipV çimentosu ile uçucu külün birlikte kullanılmasıyla hazırlanan karışımlara, 10, 23, 35 ve 50°C de kür rejimleri izotermal koşullarda uygulanmış, 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri incelenmiştir (Keun vd 2001).

Tip I çimentosu ile hazırlanmış karışımlara uygulanan basınç deneyi sonucunda, 1 ve 3 günlük dayanımların kür sıcaklığının artışı ile doğru orantılı değiştiği görülmüştür. 28 günlük basınç dayanımları incelenen 0.40 su/çimento oranı ile hazırlanmış karışımlarda ise 10 °C de kürlenmiş numunelerin 50 °C'de kürlenenlerden daha fazla dayanım değeri verdiği bildirilmiştir. Beton yaşı ilerledikçe kür sıcaklığının artması, beton dayanımını olumsuz etkilemiştir. Kür sıcaklığının artışı erken yaşta beton basınç dayanımını artırırken, ileri yaşlardaki dayanımı azaltmaktadır. Bu etkiye literatürde ters etki denir (Alexander ve Taplin, 1962).

Tip V çimentosu numunelerinde ise 1 ve 7 günlük basınç dayanımları ile elastik modülleri kıyaslandığında sıcaklık ile doğru orantılı olarak

değiştii bildirilmiştir. Fakat 28 günlük numunelerde ise sıcaklık ile beton basınç dayanımı ters orantılı olarak değişmiştir. Ters etki Tip V çimentosunda da gözlemlenmiştir. Fakat Tip I çimentosundaki etki daha çarpıcıdır. Bunun sebebi olarak Tip V çimentosunda hidrasyon hızının daha yavaş olması gösterilmiştir (Keun vd, 2001).

2.3.3.2 Kür çeşidinin etkisi

Kür rejimleri, şantiye koşullarına, eleman boyutlarına ve hava sıcaklığına göre değişkenlik göstermektedir. Sıcak havada beton yüzeyini ıslatmak, nemli çuval ile sarmak, su geçirmez malzemeler ile beton yüzeyini sarmak veya boya yapmak gibi önlemler alınır. Soğuk havada ise buhar kürü, radyoaktif ışınlarla kür, elektrik kürü gibi yöntemler kullanılır.

Eksik veya yanlış kürden ötürü buharlaşma sebebiyle beton karışım suyunda azalma olur. Bu sebeple oluşan dayanım kaybı, ince elemanlarda ve çimento miktarı yüksek karışımlarda, daha çarpıcı olurken; hafif agregalarla üretilen betonlarda daha azdır. Kür rejiminin hava sürüklenmiş betonun dayanımı üzerindeki etkisi, hava sürüklenmeyene göre daha azdır (Newman, 2003).

2.3.3.3 Kür süresinin etkisi

Kür süresi; dökülen elemanın boyutu, beton sınıfı, kütleme sırasındaki ortam koşulları ve standartta belirtilen sürelerle göre tespit edilmektedir. Katkılı çimentolar veya mineral katkılı beton karışımlarının priz süresi uzar. Özellikle soğuk havada katkılı çimentolarla hazırlanmış karışımların hidrasyon reaksiyonlarının hızı oldukça yavaşlar. Bu sebeple beton sınıfı ve bağlayıcı tipi, priz süresi tespitinde önemlidir. Priz süresi uzadıkça, kür süresi de uzatılmalıdır (Newman, 2003).

ACI 308-92'ye göre 10°C üzerindeki sıcaklıkta hazırlanan karışımlarda, Tip III çimentosu kullanılmış ise 3 günden az, Tip I çimentosu kullanılmış ise 7 günden az, Tip IV çimentosu kullanılmış ise, 14 günden az kürlenemez. Fakat kür süreleri, ortam sıcaklığına göre değiştirilmektedir (Newman, 2003).

2.3.4 Beton yerleştirme işlemlerinin basınç dayanımına etkisi

Taze beton oluşturulduktan sonra, son olarak betonun kalıplara yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması işlemleri yapılır. Betonun oluşturan malzemelerin özellikleri bilinerek karışımlar hazırlansa da, uygun bir yerleştirme ve sıkıştırma uygulanmaz ise, istenilen sertleşmiş beton özelliklerini elde etmek zorlaşır (Neville, 1997).

2.3.4.1 Karıştırma süresinin basınç dayanımına etkisi

Şantiye ortamında beton çoğu kez, en kısa sürede karıştırılıp yerleştirilmek zorunluluğundadır. Fakat üniform bir dağılım için optimum sürede karıştırma işlemi uygulanmalıdır. Optimum bir karışım süresi, mikserin tipi ve kapasitesine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Türk standardında, beton karıştırma işlemine, üniform bir hal alınca kadar devam edilmesi tavsiye edilmektedir. Transmikserde esas karıştırma işleminden sonraki yeniden karıştırma süresi $1\text{dk}/\text{m}^3$ olarak belirlenmiştir. Kimyasal katkı ilave edildikten sonra, en az 5 dakika karıştırmaya devam edilmelidir (TS EN 206, 2002). Amerikan standardında ise, mikser kapasitesine bağlı olarak karıştırma süreleri tespit edilmiştir. Bu süreler Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2 ACI 304-89 şartnamesinde önerilen minimum karıştırma süreleri

Mikser Kapasitesi (m^3)	Karıştırma Süresi (dakika)
0.8	1
1.5	1 ¼
2.3	1 ½
3.1	1 ¾

Tablo 2.2 (devam) ACI 304-89 standardında önerilen minimum karıştırma süreleri

Mikser Kapasitesi (m ³)	Karıştırma Süresi (dakika)
3.8	2
4.6	2 ¼
7.6	3 ¼

Genel olarak 1 m³ karışım için, 1 ¼ dakikadan az karıştırma süresi, üniform olmayan bir karışım meydana getirir ve dayanımı olumsuz etkiler. 2 dakika boyunca karışım ise dayanımda kayda değer bir değişim meydana getirmez (Neville, 1997).

Hafif agregalarla hazırlanan karışımlarda ise, karıştırma süresi 5 dakikadan az olmamalı, bazı durumlarda 2 dakika agrega ve su karıştırılmalı, çimento ilavesinden sonra ise 3 dakika daha karıştırmaya devam edilmelidir. Böylece hafif agrega gözeneklerindeki havanın sertleşmiş beton özelliklerine olan olumsuz etkilerinin önüne geçilmiş olur. Hava sürüklenmiş betonlarda ise 2-3 dakikadan az karıştırma süresi, düzgün bir hava sürüklenmesini engeller (Erdoğan, 2003).

Şantiye ortamında, gereğinden fazla karıştırılan karışımlarda buharlaşma problemi ile karşılaşılır. Bu durum işlenebilirlik kayıplarına yol açar. Oluşabilecek bir diğer sorun ise, agrega kaynaklıdır. Özellikle yumuşak agrega taneleri, fazla karıştırmadan ötürü, kırılarak daha küçük ve ince hale gelir. Fazla karıştırma ile oluşan sürtünmeden ötürü, beton sıcaklığı yükselir. Bu durum, soğuk havalarda beton yüzeyinde termal çatlakların oluşumuna öncülük eder (Erdoğan, 2003).

2.3.4.2 Yerleştirme ve sıkıştırmanın dayanıma etkisi

Yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri birbirinden bağımsız olsalar da, neredeyse aynı anda uygulanır. Bu işlemler, geçirimsiz, dayanıklı ve beklenen dayanım değerine sahip bir beton üretimi için çok önemlidir.

Yerleřtirme işlemi, en kısa sũrede, ayrırşma olmadan, tam sıkırşma ile yapılmalıdır. Sıkırştırma işlemi ise, beton iēerisinde hapsolan havayı dırşarıya ēıkarmak iēin uygulanır. Bu sayede sertleşmiş beton en az bořluēa sahip olur. Bũylelikle, gũēlũ, dayanıklı, dũřũk boşluklu bir beton ūretilir. Dũřũk ēũkme deēerine sahip betonlar daha fazla hava bořluēu iēerir. Bu sebeple yeterli sıkırştırma iēin daha etkin ve uzun sũreli sıkırştırma işlemi yapılması gereklidir. şantiye ortamında sıkırştırmanın en pratik yolu titreştirici kullanmaktır. Daldırılarak uygulanan iē titreştiricilerin yanı sıra, ūnyapımlı elemanların ūretiminde titreşim masaları ve kalıp titreştiriciler (dırş titreştiriciler) kullanılır (Neville, 1997).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Giriş

Deneyisel çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerinin tanımlanması, karışım hesaplarının yapılabilmesi ve deney sonuçlarının yorumlanması açısından önemlidir. Çalışmanın bu bölümünde; kullanılan agrega, su, çimento ve mineral katkı (uçucu kül) tanıtılmıştır. Bununla birlikte karışım oranları verilmiş, uygulanan taze ve sertleşmiş beton deneyleri de anlatılmıştır.

3.2 Kullanılan Malzeme

3.2.1 Agrega

Tez kapsamında kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregalar, 0-5mm, 5-15mm, 15-25mm olmak üzere 3 ayrı elek aralığındadır. Kullanılan en büyük dane boyutu 25mm dir. Deneyde kullanılan agregaların elek analizleri Tablo 3.1’de ve fiziksel özellikleri Tablo 3.2’de verilmiştir.

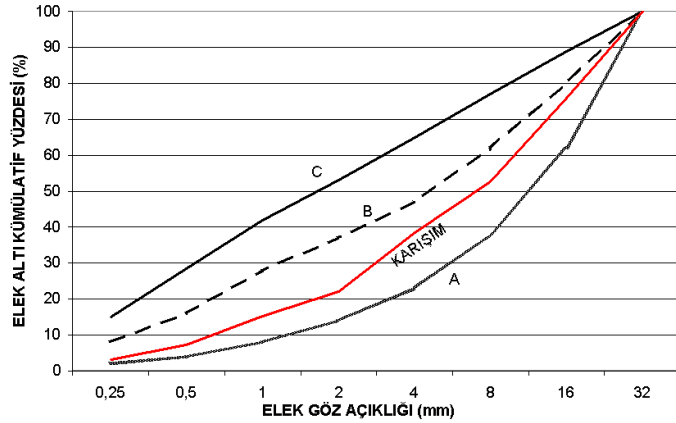
Tablo 3.1 Agreganın elek analizi sonuçları

Elek Boyutu (mm)	Geçen (%)		
	0/5 mm	5/15 mm	15/25 mm
31.5	-	-	100
16	-	100	20
8	100	42	-
4	95	2	-
2	55	-	-
1	38	-	-
0.5	18	-	-
0.25	8	-	-

Tablo 3.2 Agreganın, özgül ağırlık, su emme ve birim ağırlık değerleri

	0/5 mm	5/15 mm	15/25 mm
DYK Özgül Ağırlığı	2.62	2.65	2.67
Su Emme Kapasitesi (%)	1.14	0.73	0.40
Toplam Nem İçeriği (%)	0.14	0.04	0.43
İncelik Modülü	3.31	-	-
Sıkışmış Birim Hacim Ağırlığı (kg/m³)	-	1626	1668

Deneyssel çalışmada kullanılan agreganın gradasyonu, TS 802 “Beton Karışımı Hesap Esasları” standardında belirtilen sınırlara göre ayarlanmıştır. Buna göre 0/5 mm agreganın kütleye %40, 5/15 mm agreganın %30 ve 15/25 mm agreganın ise %30 oranında karışımda bulunacak şekilde kullanılmıştır. Kullanılan agreganın gradasyonunun TS 802 standardına göre değerlendirilmesi, Şekil 3.1’de verilmiştir.



Şekil 3.1 Deneyde kullanılan agreganın gradasyonu ve TS 802 sınırları

3.2.2 Çimento ve uçucu kül

Bu çalışmada, Batıçim A.Ş tarafından üretilmiş CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Soma Termik Santrali mamülü olan uçucu kül ise

Çimbeton'dan temin edilmiştir. Üreticisi tarafından verilen, çimento ve uçucu külün, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te belirtilmiştir.

Tablo 3.3 Çimento ve uçucu külün kimyasal özellikleri ve ilgili standart sınırları

İçerik (%)	CEM I 42.5R	TS EN 197-1 Sınır Değerleri (%)	Uçucu kül	TS EN 450 Sınır Değerler (%)
SiO ₂	18.65	-	25.13	-
Al ₂ O ₃	5.30	-	14.55	-
Fe ₂ O ₃	2.34	-	3.91	-
CaO	63.15	-	43.01	-
MgO	1.18	≤5.0	0.53	-
Na ₂ O	0.58	-	0.35	-
K ₂ O	0.84	-	0.53	-
SO ₃	2.69	≤4.0	6.39	<3.0
Kızdırma Kaybı	2.60	<5.0	4.78	<5.0
Klorür Muhtevası	0.01	≤0.1	0	<0.1
Çözünemeyen Kalıntı	0.82	<5.0	-	-
Σ TOPLAM (%)	98.16		99.18	
C ₃ S	64.98	-	-	-
C ₂ S	4.45	-	-	-
C ₃ A	10.10	-	-	-
C ₄ AF	7.11	-	-	-

Tablo 3.4 Çimento ve uçucu külün fiziksel ve mekanik özellikleri ve ilgili standart sınırları

Özellik	CEM I 42.5R	TS EN 197-1 Sınır Değerleri (%)	Uçucu kül	TS EN 450 Sınır Değerler (%)
Priz Başlama Süresi (dk)	185	≥60	-	-
Priz Bitiş Süresi (dk)	245	-	-	-
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3378	-	-	-
Hacim Genleşmesi (mm)	1	≤10	-	-
Çimento ile 28 Günlük Dayanım Aktivite Endeksi (%)	-	-	76	75
Basınç Dayanımı (MPa)				
2 Günlük	23.4	≥20.0	-	-
28 Günlük	48.3	≥42.5	-	-

Tablo 3.7’de görüldüğü gibi uçucu külün SiO₂ + AlO₃ + Fe₂O₃ içeriği ASTM C 618 “Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Portland Cement Concrete” standardında öngörülen en az %50 sınırının altındadır. Buna rağmen, uçucu kül 28 günlük pozolanik aktivite endeksi sınırını sağladığından deneysel çalışmada kullanılmıştır.

3.2.3 Su

Beton karışımlarında Yapı Malzemesi Laboratuvarındaki, şebeke suyu kullanılmıştır.

3.3 Beton Karışım Oranları

Beton karışım oranlarının hesabı, ACI 211 şartnamesine göre yapılmıştır. Karışımlarda değiştirilen etkenler ve değişkenleri Tablo 3.5’de gösterilmiştir.

Tablo 3.5 Karışımda değiştirilen etkenler

Etken	Değişken
Su/Bağlayıcı Oranı	0.45, 0.55, 0.65
Çökme Değeri	Düşük : 6±1 cm, Yüksek : 13±1cm
Sıcaklık	Yaz : 30 ± 2 °C, Kış : 8 ± 2 °C
Uçucu Kül Muhtevası (Çimento Yerine Küttelece)	Kontrol (%0), %15, %30
Karıştırma Süresi	1dak, 2 dak, 5 dak

Her karışım, 15cm ayrıtlı, TS 12390-1 “Beton -Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm-1: Deney numunesi ve kalıplarının şekil boyut ve diğer özellikleri” standardına uygun kalıplara yerleştirmiştir. Belirtilen değişkenler dikkate alındığında, çalışmada 18 farklı karışım hazırlanmıştır. Taze beton deneyleri sırasında ölçülen birim hacim ağırlıkları kullanılarak düzeltilen malzeme oranları Tablo 3.6, 3.7 ve 3.8’de verilmiştir.

Tablo 3.6 Kontrol numuneleri karışım oranı (kg/m³)

	Su/Bağlayıcı Oranı	Su (kg)	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	DYK Agregası (kg)		
					0/5	5/15	15/25
Düşük Çökme Değerli Karışımlar	0.45	189	420	-	715	538	541
	0.55	190	345	-	746	563	561
	0.65	185	285	-	744	560	563
Yüksek Çökme Değerli Karışımlar	0.45	192	426	-	667	502	503
	0.55	198	359	-	713	534	539
	0.65	199	307	-	734	552	555

Tablo 3.7 %15 uçucu kül içeren betonların karışım oranı (kg/m³)

	Su/Bağlayıcı Oranı	Su (kg)	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	DYK Agregası (kg)		
					0/5	5/15	15/25
Düşük Çökme	0.45	180	341	59	683	514	517
Değerli	0.55	185	286	51	729	550	548
Karışımlar	0.65	186	243	44	749	563	566
Yüksek Çökme	0.45	191	361	63	662	498	500
Değerli	0.55	196	303	54	706	530	534
Karışımlar	0.65	202	264	46	745	560	563

Tablo 3.8 %30 uçucu kül içeren betonların karışım oranı (kg/m³)

	Su/Bağlayıcı Oranı	Su (kg)	Çimento (kg)	Uçucu Kül (kg)	DYK Agregası (kg)		
					0/5	5/15	15/25
Düşük Çökme	0.45	179	278	119	676	509	512
Değerli	0.55	183	233	100	720	543	541
Karışımlar	0.65	187	202	86	753	566	569
Yüksek Çökme	0.45	190	295	126	659	496	497
Değerli	0.55	196	250	106	707	530	534
Karışımlar	0.65	199	215	92	735	554	556

3.4 Uygulanan Deneyler

Bu bölümde, tez kapsamında bulunan taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılırken kullanılan cihaz ve standartlardan söz edilmiştir.

3.4.1 Taze beton deneyleri

Taze beton hazırlanışı TS EN 12390-2 “Beton –Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm-2 : Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin yapımı ve küre tabi tutulması ” standardına uygun olarak aşağıda anlatıldığı gibi yapılmıştır.

Deney dökümleri 35 dm³ kapasiteli düşey eksenli bir beton mikserinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.2). Dökümden hemen önce mikser yüzeyi nemlendirilmiş, daha sonra malzemeler mikser konmuştur. Mikser içerisine öncelikle agregalar eklenerek karıştırılmıştır. Agregaların karışmasının ardından karışıma toz maddeler (çimento, uçucu kül)

eklenmiştir. Su ise, agrega ve toz maddelerin birlikte karıştırılması esnasında eklenmiştir. Tüm malzeme karıştırıcıya yerleştirildikten sonra, karıştırma işlemi 1, 2 ve 5 dakika olmak üzere üç farklı sürede gerçekleştirilmiştir. Tez kapsamında 2 dakika optimum karıştırma süresi olarak belirlenmiştir. 1 dakika az karıştırmanın, 5 dakika ise fazla karıştırmanın etkilerini tespit etmek amacı ile seçilmiştir. Yapılması tasarlanan benzer çalışmalarda, bu değerler mikser kapasitesine ve bileşen sayısına göre değişkenlik gösterebilir.

Taze beton deneyleri tamamlandıktan sonra karışım, kalıplara 2 katman halinde yerleştirilmiştir. Her katman, yerleştirildikten sonra 25 kez şişlenerek sıkıştırılmıştır (Şekil 3.2). Tüm numuneler, döküm yapıldıktan 1 gün sonra kalıptan alınmıştır. 7 ve 28 gün boyunca kür havuzunda (yazın 27 ± 3 °C, kışın 7 ± 3 °C’de) bekletilen numuneler, havuzdan çıkarıldıktan 1 gün sonra basınç dayanım testine tabi tutulmuştur.



Şekil 3.2 Taze betonun karıştırılması, kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması işlemleri

Taze beton deneyleri kapsamında, çökme değeri tespiti ve birim hacim ağırlık ölçümü yapılmıştır. Çökme değeri tespiti, TS EN 12350-2 “Beton-Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2 : Çökme (Slamp) Deneyi” standardına uygun olarak yapılmıştır. Birim hacim ağırlık tespiti ise TS EN 12350-6 “Beton –Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6 : Yoğunluk” standardına göre yapılmıştır.

3.4.2 Sertleşmiş beton deneyi

Her bir karışım için hazırlanan 6 adet numuneden 3 tanesi 7 gün kürlendikten sonra, 3 tanesi ise 28 gün sonunda tek eksenli basınç dayanım testine tabi tutulmuştur. Serbest basınç deneyleri için, 200 ton kapasiteli, numune boyutuna göre ayarlanabilir, hidrolik beton presi kullanılmıştır. TS EN 12390-4 “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç Dayanımı- Deney Makinalarının Özellikleri” standardına uygun hidrolik deney presi Şekil 3.3’de görülmektedir. Sertleşmiş beton deneyleri TS EN 12390-3 “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3 : Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini” standardı referans alınarak yapılmıştır.



Şekil 3.3 200 ton kapasiteli hidrolik deney presi

4. DENEY SONUÇLARI

4.1 Taze Beton Deney Sonuçları

Çökme değeri tespiti, karışım hesapları sırasında hedeflenen çökmeyi kontrol etmek amacı ile yapılmıştır. Yapılan deney sonucu, yazın hazırlanan karışımların çökme değeri, kışın hazırlanan karışımların çökme değerine kıyasla 0 ile 2.5cm arasında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu fark, karışım oranlarında herhangi bir değişim yapılmadığından ve ortam sıcaklığı farkından kaynaklanmaktadır.

Beton karışım hesapları yapılırken, çökme değeri 6 ± 1 ve 13 ± 1 cm olarak belirlenmiştir. Fakat yaz ve kış mevsiminde elde edilen çökme değerleri birbirinden farklı olduğundan, hedeflenen değerlerde sapmalar olmuştur. Bu sebeple karışımlar düşük ve yüksek çökme değerli olmak üzere iki grup altında sınıflandırılmıştır. Karışımların yaz ve kış mevsimlerinde elde edilen çökme değerleri, sırasıyla Tablo 4.1 ve 4.2’de gösterilmiştir. Tablo 4.1’de verilen KS kısaltması, karıştırma süresi anlamındadır.

Tablo 4.1 Yaz mevsiminde elde edilen çökme değerleri

Karışımlar		Çökme Değerleri (cm)								
		1 dakika KS			2 dakika KS			5 dakika KS		
		Su/bağlayıcı oranları								
		0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65
Düşük	K	7	6	6	7	6	7	6	6	6
Çökme	%15 UK	6	5	6	6	5	5	6	6	6
Değerli	%30 UK	6	6	6	6	6	6	6	6	6
Yüksek	K	12,5	12,5	12,5	12,5	13	13	13	12,5	13
Çökme	%15 UK	12,5	12	12	12,5	12	12,5	12,5	13	13
Değerli	%30 UK	12,5	12	12	12	12	12	12,5	12,5	12,5

Tablo 4.2 Kış mevsiminde elde edilen çökme değerleri

Karışımlar		Çökme Değerleri (cm)								
		1 dakika KS			2 dakika KS			5 dakika KS		
		Su/bağlayıcı oranları								
		0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65
Düşük Çökme Değerli	K	8	8,5	8	8	7,5	8	8	8	8
	%15 UK	7,5	7,5	8	7,5	8	8	7,5	7,5	8
	%30 UK	7,5	7,5	8	7,5	7,5	8,5	8	8	8

Tablo 4.2 (devam) Kış mevsiminde elde edilen çökme değerleri

Karışımlar		Çökme Değerleri (cm)								
		1 dakika KS			2 dakika KS			5 dakika KS		
		Su/bağlayıcı oranları								
		0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65	0.45	0.55	0.65
Yüksek Çökme Değerli	K	14	13,5	14	14	13,5	13	14	13,5	13
	%15 UK	14	14	13	14,5	14	13,5	14,5	14	13,5
	%30 UK	13	14,5	14	14,5	14	14	14	14	14

Taze beton deneyleri kapsamında iki mevsimde yapılan birim hacim ağırlık deneyi sonucunda ise, tüm karıştırma süreleri için birbirine oldukça yakın değerler elde edilmiştir. Bu sebeple karışımın birim hacim ağırlık değeri olarak, tüm karıştırma süreleri için iki mevsimde elde edilen değerlerin ortalaması kullanılmıştır. Taze beton üzerinde elde edilen birim hacim ağırlık değerleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Birim hacim ağırlık değerleri

Karışımlar		BİRİM HACİM AĞIRLIKLARI (kg/m ³)		
		Su/Bağlayıcı Oranları		
		0,45	0,55	0,65
Düşük	K	2403	2405	2337
Çökme	%15 UK	2295	2350	2352
Değerli	%30 UK	2273	2320	2363
Yüksek	K	2290	2343	2347
Çökme	%15 UK	2275	2323	2382
Değerli	%30 UK	2263	2323	2352

4.2 Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

Hazırlanan 648 adet numunenin basınç dayanımı değerleri bu değerlerin standart sapması, varyasyonu ve ortalamaları Tablo 4.4 – 4.15’de verilmiştir. Tablolarda verilen simgelerden; "S/B", su/bağlayıcı oranı, "KS", karıştırma süresi, "ÇD", çökme değeri, "UK", uçucu kül, "D", dayanım "V", varyasyon, "SS", standart sapma, "Ort." ise, ortalama anlamındadır.

Tablo 4.4 Kış mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRELERİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	36,80				40,90				40,10			
		38,00	2,31	0,87	37,77	39,50	2,10	0,84	39,93	40,60	1,01	0,40	40,17
		38,50				39,40				39,80			
	%15 UK	29,40				31,80				32,50			
		29,00	1,89	0,56	29,50	30,10	3,24	1,01	31,27	32,90	3,12	1,00	32,13
		30,10				31,90				31,00			
	%30 UK	26,10				26,10				27,20			
		26,80	3,49	0,91	25,97	25,70	2,53	0,67	26,27	27,90	2,21	0,60	27,27
		25,00				27,00				26,70			
	Kontrol	42,20				44,20				44,70			
		43,40	1,76	0,76	43,07	43,70	1,50	0,66	43,60	44,40	3,52	1,54	43,67
		43,60				42,90				41,90			
28 gün	%15 UK	35,40				34,50				36,40			
		34,90	1,03	0,36	35,00	35,90	2,77	0,98	35,60	37,20	1,65	0,61	37,07
		34,70				36,40				37,60			
	%30 UK	29,70				32,00				33,60			
		31,20	2,54	0,78	30,57	32,50	2,40	0,76	31,83	33,80	0,60	0,20	33,60
		30,80				31,00				33,40			

Tablo 4.5 Kış mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	30,10				32,10				33,10			
		31,00	2,35	0,71	30,23	32,60	1,38	0,45	32,57	33,40	1,06	0,35	33,07
		29,60				33,00				32,70			
	%15 UK	25,60				25,10				26,60			
		24,10	3,08	0,76	24,77	25,30	2,08	0,53	25,50	26,90	1,52	0,40	26,53
		24,60				26,10				26,10			
	%30 UK	23,40				22,80				24,90			
		22,10	6,12	1,35	22,07	22,40	1,54	0,35	22,77	24,10	2,83	0,70	24,83
		20,70				23,10				25,50			
28 gün	Kontrol	37,70				39,10				38,40			
		36,50	1,62	0,60	37,10	38,10	2,31	0,90	39,03	39,10	1,33	0,51	38,53
		37,10				39,90				38,10			
	%15 UK	30,30				31,10				32,60			
		28,90	3,70	1,11	30,10	30,50	2,76	0,86	31,27	32,80	1,11	0,36	32,50
		31,10				32,20				32,10			
	%30 UK	27,30				28,40				30,10			
		27,70	1,27	0,35	27,67	29,20	1,44	0,42	28,87	31,10	1,79	0,55	30,73
		28,00				29,00				31,00			

Tablo 4.6 Kış mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	25,30				26,70				28,30			
		26,80	2,94	0,76	25,97	26,70	3,98	1,04	26,10	25,00	7,32	2,00	27,30
		25,80				24,90				28,60			
	%15 UK	21,00				21,50				21,50			
		21,60	1,79	0,38	21,17	20,90	1,52	0,32	21,13	22,10	3,17	0,70	22,17
		20,90				21,00				22,90			
	%30 UK	19,50				18,60				20,00			
		19,00	1,31	0,25	19,23	20,00	3,63	0,70	19,33	20,10	1,31	0,26	20,20
		19,20				19,40				20,50			
28 gün	Kontrol	32,10				33,50				30,10			
		32,70	1,87	0,60	32,10	32,60	1,88	0,62	33,30	33,80	6,08	1,97	32,33
		31,50				33,80				33,10			
	%15 UK	25,20				28,50				27,50			
		24,70	1,98	0,50	25,20	28,30	0,99	0,28	28,25	25,60	6,74	1,85	27,47
		25,70				27,95				29,30			
	%30 UK	23,00				27,40				26,30			
		25,10	5,12	1,21	23,70	25,80	6,61	1,70	25,73	26,20	1,43	0,38	26,47
		23,00				24,00				26,90			

Tablo 4.7 Kış mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	32,20				34,80				34,50			
		32,30	1,34	0,44	32,50	33,90	3,60	1,21	33,70	34,10	1,31	0,45	34,53
		33,00				32,40				35,00			
	%15 UK	26,00				26,60				27,40			
		25,00	1,96	0,50	25,50	26,20	1,00	0,26	26,50	28,60	2,15	0,60	28,03
		25,50				26,70				28,10			
	%30 UK	16,50				18,10				19,10			
		16,50	1,77	0,29	16,33	18,30	1,96	0,36	18,40	19,80	3,94	0,75	19,07
		16,00				18,80				18,30			
	28 gün	40,10				39,10				39,40			
		38,60	2,29	0,90	39,07	39,90	1,10	0,44	39,60	39,60	0,64	0,25	39,37
		38,50				39,80				39,10			
		32,90				32,60				33,10			
		31,50	3,23	1,03	31,77	32,00	1,41	0,46	32,50	33,30	1,41	0,47	33,47
		30,90				32,90				34,00			
		25,90				26,50				27,50			
	%30 UK	25,10	3,19	0,80	25,10	26,50	2,65	0,69	26,10	27,00	1,67	0,45	27,03
		24,30				25,30				26,60			

Tablo 4.8 Kış mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	32,10				32,50				35,20			
		30,00	3,43	1,07	31,17	32,10	1,39	0,45	32,53	30,30	8,07	2,70	33,40
		31,40				33,00				34,70			
	%15 UK	21,80				21,90				25,40			
		21,30	5,80	1,21	20,87	22,00	1,74	0,38	21,73	23,40	4,18	1,03	24,53
		19,50				21,30				24,80			
	%30 UK	17,90				16,10				17,80			
		14,10	13,66	2,11	15,47	16,70	4,05	0,65	16,07	18,00	3,21	0,59	18,23
		14,40				15,40				18,90			
	28 gün	Kontrol	35,00				36,10				38,10		
36,10			1,88	0,67	35,33	36,50	0,97	0,35	36,13	36,10	3,06	1,13	36,80
34,90						35,80				36,20			
%15 UK		25,70				27,10				28,10			
		24,10	3,24	0,81	24,97	27,70	2,21	0,60	27,10	27,80	1,82	0,51	28,23
		25,10				26,50				28,80			
%30 UK		21,00				22,50				23,50			
		21,60	3,48	0,75	21,70	22,90	0,92	0,21	22,67	23,90	4,58	1,06	23,10
		22,50				22,60				21,90			

Tablo 4.9 Kış mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	24,10				22,10				24,40			
		22,20	4,11	0,95	23,13	21,70	1,40	0,31	21,77	23,50	1,91	0,46	24,00
		23,10				21,50				24,10			
	%15 UK	15,70				16,80				19,70			
		15,90	1,26	0,20	15,90	16,80	5,65	0,98	17,37	20,30	7,85	1,64	20,93
		16,10				18,50				22,80			
	%30 UK	13,80				14,60				15,10			
		13,40	2,27	0,31	13,47	14,90	1,40	0,21	14,83	16,50	5,62	0,91	16,13
		13,20				15,00				16,80			
28 gün	Kontrol	28,10				30,40				29,90			
		28,60	1,58	0,45	28,57	28,10	4,01	1,18	29,40	29,10	1,68	0,49	29,33
		29,00				29,70				29,00			
	%15 UK	20,50				21,40				23,50			
		21,10	2,45	0,50	20,57	22,00	1,41	0,31	21,73	23,80	3,92	0,91	23,13
		20,10				21,80				22,10			
	%30 UK	18,80				18,60				19,80			
		17,90	2,46	0,45	18,37	18,80	0,53	0,10	18,70	19,30	2,53	0,50	19,80
		18,40				18,70				20,30			

Tablo 4.10 Yaz mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	38,80				39,10				39,50			
		37,90	1,43	0,55	38,53	39,30	0,92	0,36	39,40	37,50	3,38	1,29	38,03
		38,90				39,80				37,10			
	%15 UK	34,10				34,10				35,90			
		34,90	1,17	0,40	34,53	34,70	1,20	0,42	34,57	36,50	1,96	0,70	35,83
		34,60				34,90				35,10			
	%30 UK	30,50				30,90				31,70			
		29,80	2,14	0,65	30,47	30,80	1,04	0,32	31,03	30,90	1,33	0,42	31,37
		31,10				31,40				31,50			
	28 gün	Kontrol	44,90				45,40				42,90		
45,40			1,58	0,71	44,77	45,10	0,56	0,25	45,13	40,60	2,97	1,25	42,03
44,00						44,90				42,60			
%15 UK		41,10				42,80				42,50			
		42,00	1,10	0,46	41,60	42,10	1,12	0,47	42,27	40,50	2,43	1,01	41,43
		41,70				41,90				41,30			
%30 UK		38,10				40,90				40,00			
		38,80	1,23	0,47	38,27	39,70	8,09	3,12	38,53	40,90	1,53	0,62	40,70
		37,90				35,00				41,20			

Tablo 4.11 Yaz mevsiminde 0.55 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	33,70				33,80				32,50			
		34,10	0,68	0,23	33,83	34,50	1,78	0,60	33,87	32,80	1,08	0,35	32,47
		33,70				33,30				32,10			
	%15 UK	29,80				30,50				29,10			
		30,00	3,16	0,93	29,37	31,00	1,48	0,45	30,53	29,50	1,19	0,35	29,47
		28,30				30,10				29,80			
	%30 UK	25,10				25,10				27,10			
		25,80	1,42	0,36	25,40	27,40	4,99	1,33	26,63	27,10	1,48	0,40	27,33
		25,30				27,40				27,80			
	Kontrol	39,40				39,80				38,80			
		38,50	1,92	0,75	39,30	40,70	2,26	0,90	39,80	38,10	1,22	0,47	38,63
		40,00				38,90				39,00			
28 gün	%15 UK	36,70				36,20				35,50			
		36,20	1,78	0,66	36,80	37,50	2,19	0,81	37,13	36,90	1,96	0,71	36,13
		37,50				37,70				36,00			
	%30 UK	33,30				34,30				35,10			
		33,80	1,81	0,60	33,23	34,80	1,04	0,36	34,70	35,20	0,44	0,15	35,07
		32,60				35,00				34,90			

Tablo 4.12 Yaz mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve düşük çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	26,80				26,50				25,90			
		27,50	2,07	0,56	26,90	25,80	2,46	0,65	26,47	25,50	1,54	0,40	25,90
		26,40				27,10				26,30			
	%15 UK	22,50				24,10				23,00			
		22,90	1,78	0,40	22,50	21,90	5,61	1,27	22,63	22,90	1,39	0,32	23,13
		22,10				21,90				23,50			
	%30 UK	19,80				20,30				21,10			
		20,50	3,54	0,70	19,80	20,50	1,75	0,36	20,60	21,50	1,64	0,35	21,47
		19,10				21,00				21,80			
28 gün	Kontrol	33,80				33,50				32,50			
		32,50	2,01	0,67	33,07	33,10	1,34	0,45	33,53	33,00	1,39	0,45	32,53
		32,90				34,00				32,10			
	%15 UK	30,70				31,50				29,30			
		31,10	0,99	0,31	30,77	31,80	3,29	1,02	31,07	30,00	1,48	0,44	29,50
		30,50				29,90				29,20			
	%30 UK	27,70				29,00				29,10			
		27,20	4,30	1,21	28,13	29,30	1,56	0,46	29,40	29,50	1,73	0,50	29,03
		29,50				29,90				28,50			

Tablo 4.13 Yaz mevsiminde 0.45 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	28,40				28,80				28,80			
		25,10	8,28	2,29	27,67	28,10	1,52	0,44	28,60	29,00	1,65	0,47	28,63
		29,50				28,90				28,10			
	%15 UK	23,30				23,50				24,90			
		24,10	2,80	0,66	23,40	24,00	1,92	0,45	23,53	24,10	1,65	0,40	24,47
		22,80				23,10				24,40			
	%30 UK	20,10				21,10				22,80			
		19,90	3,16	0,64	20,37	21,40	1,88	0,40	21,47	22,00	2,22	0,49	22,23
		21,10				21,90				21,90			
28 gün	Kontrol	38,80				38,70				38,70			
		39,00	1,22	0,47	38,63	39,00	1,48	0,57	38,53	38,50	1,09	0,42	38,37
		38,10				37,90				37,90			
	%15 UK	36,50				34,60				38,50			
		37,40	1,68	0,62	37,20	38,70	6,57	2,46	37,43	38,10	0,69	0,26	38,40
		37,70				39,00				38,60			
	%30 UK	31,10				32,10				33,50			
		31,70	2,26	0,70	31,03	31,90	1,46	0,47	32,27	33,10	0,91	0,31	33,43
		30,30				32,80				33,70			

Tablo 4.15 Yaz mevsiminde 0.65 su/bağlayıcı oranlı ve yüksek çökme değerli karışımların dayanımı

KARIŞIM		KARIŞTIRMA SÜRESİ											
		1 dakika				2 dakika				5 dakika			
		D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)	D (MPa)	V (%)	SS (MPa)	Ort. (MPa)
7 gün	Kontrol	20,60				20,00				20,50			
		16,70	10,53	1,99	18,87	21,10	4,28	0,86	20,17	20,10	1,51	0,31	20,17
		19,30				19,40				19,90			
	%15 UK	16,60				17,70				18,10			
		16,10	2,72	0,45	16,57	17,10	2,42	0,42	17,23	18,80	2,81	0,51	18,23
		17,00				16,90				17,80			
	%30 UK	14,70				15,50				15,10			
		14,90	2,86	0,42	14,57	15,90	1,32	0,21	15,73	15,90	3,61	0,57	15,73
		14,10				15,80				16,20			
	Kontrol	29,70				31,60				30,50			
		30,00	0,85	0,25	29,73	30,90	1,50	0,47	31,43	30,30	1,18	0,36	30,60
		29,50				31,80				31,00			
28 gün	%15 UK	26,50				26,90				27,50			
		26,10	1,89	0,50	26,57	26,60	0,65	0,17	26,80	28,00	2,01	0,55	27,47
		27,10				26,90				26,90			
	%30 UK	23,30				23,10				24,80			
		23,80	4,03	0,93	23,03	23,90	1,98	0,46	23,37	24,40	1,25	0,31	24,47
		22,00				23,10				24,20			

Uçucu kül ile hazırlanan karışımlarda karıştırma süresi artışı dayanımı olumlu etkilemiştir. Bununla birlikte Tablo 4.4 - 4.15’de görüldüğü gibi genelde karıştırma süresi arttıkça varyasyon değerlerinde azalma, ortalama dayanım değerlerinde ise az da olsa yükselmeler görülmektedir. Daha kolay bir kıyaslama yapılabilmesi için hazırlanan karışımların ortalama basınç dayanımı değerleri Tablo 4.16 ve 4.17’de özetlenmiştir.

Tablo 4.16 Kış mevsiminde dökülen karışımların ortalama basınç dayanım değerleri

KARIŞIMLAR			Su/Bağlayıcı Oranları ve Karıştırma Süreleri								
			1 dk			2 dk			5 dk		
			0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
7 gün	Düşük Ç.D	K	37,77	30,23	25,97	39,93	32,57	26,10	40,17	33,07	27,30
		%15 UK	29,50	24,77	21,17	31,27	25,50	21,13	32,13	26,53	22,17
		%30 UK	25,97	22,07	19,23	26,27	22,77	19,33	27,27	24,83	20,20
	Yüksek Ç.D	K	32,50	31,17	23,13	33,70	32,53	21,77	34,53	33,40	24,00
		%15 UK	25,50	20,87	15,90	26,50	21,73	17,37	28,03	24,53	20,93
		%30 UK	16,33	15,47	13,47	18,40	16,07	14,83	19,07	18,23	16,13
28 gün	Düşük Ç.D	K	43,07	37,10	32,10	43,60	39,03	33,30	43,67	38,53	32,33
		%15 UK	35,00	30,10	25,20	35,60	31,27	28,25	37,07	32,50	27,47
		%30 UK	30,57	27,67	23,70	31,83	28,87	25,73	33,60	30,73	26,47
	Yüksek Ç.D	K	39,07	35,33	28,57	39,60	36,13	29,40	39,37	36,80	29,33
		%15 UK	31,77	24,97	20,57	32,50	27,10	21,73	33,47	28,23	23,13
		%30 UK	25,10	21,70	18,37	26,10	22,67	18,70	27,03	23,10	19,80

Tablo 4.17 Yaz mevsiminde dökülen karışımların ortalama basınç dayanım değerleri

KARIŞIMLAR			Su/Bağlayıcı Oranları ve Karıştırma Süreleri								
			1 dk			2 dk			5 dk		
			0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
7 gün	Düşük Ç.D	K	38,53	33,83	26,90	39,40	33,87	26,47	38,03	32,47	25,90
		%15 UK	34,53	29,37	22,50	34,57	30,53	22,63	35,83	29,47	23,13
		%30 UK	30,47	25,40	19,80	31,03	26,63	20,60	31,37	27,33	21,47
	Yüksek Ç.D	K	27,67	24,97	18,87	28,60	26,07	20,17	28,63	27,53	20,17
		%15 UK	23,40	20,27	16,57	23,53	21,80	17,23	24,47	21,50	18,23
		%30 UK	20,37	17,93	14,57	21,47	17,60	15,73	22,23	18,77	15,73

Tablo 4.17 (devam) Yaz mevsiminde dökülen karışımların ortalama basınç dayanım değerleri

KARIŞIMLAR			Su/Bağlayıcı Oranları ve Karıştırma Süreleri								
			1 dk			2 dk			5 dk		
			0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65	0,45	0,55	0,65
28 gün	Düşük Ç.D	K	44,77	39,30	33,07	45,13	39,80	33,53	42,03	38,63	32,53
		%15 UK	41,60	36,80	30,77	42,27	37,13	31,07	41,43	36,13	29,50
		%30 UK	38,27	33,23	28,13	38,53	34,70	29,40	40,70	35,07	29,03
	Yüksek Ç.D	K	38,63	33,77	29,73	38,53	34,43	31,43	38,37	33,93	30,60
		%15 UK	37,20	30,53	26,57	37,43	31,13	26,80	38,40	32,47	27,47
		%30 UK	31,03	26,90	23,03	32,27	27,77	23,37	33,43	28,63	24,47

5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Basınç dayanım deneyi sonuçlarının ortalamarını içeren Tablo 4.19 ve 4.20 incelendiğinde, karıştırma süresinin göreceli olarak kayda değer bir etkisi olmadığı göze çarpmaktadır. Bu parametrenin (karıştırma süresi) etkisinin tespiti için iki faktörlü varyans analizi (ANOVA) adı verilen istatistiksel kıyaslama yöntemi kullanılmıştır. Varyans analizi; üç veya daha fazla örnek ortalaması arasındaki farkların önemli mertebede olup olmadığını ortaya koyan, Fisher tarafından geliştirilmiş bir istatistiksel kavramdır. Anova tabloları sonuçları, belirli bir anlamlılık düzeyine göre kıyaslanır. Örneğin, değişken değerleri arası farklar, %5 anlamlılık düzeyine göre kıyaslanıyor ise fark anlamlılık düzeyinden uzaklaştıkça kabul edilebilirliği artar. Çalışma kapsamında değiştirilen parametreler, %5 anlamlılık düzeyine göre kıyaslanmıştır.

Değiştirilen parametrelerin, basınç dayanımına olan etkilerinin araştırıldığı varyans analizi, Tablo 5.1-5.5'te gösterilmiştir. Verilen tablolarda kareler toplamı, işlem ortalamalarının (dayanım değerleri ortalaması) genel ortalamadan (tüm dayanım değerleri ortalaması) farklarının karelerinin toplamına, her bir işlem elemanının o işlem ortalamasından (3 adet dayanım sonucu ortalaması) farklarının kareleri toplamının ilave edilmesi ile hesaplanır. Örnek olarak Tablo 5.1'de incelenen karıştırma süresi değişkenleri a, mevsim değişkenleri ise b olarak ifade edilirse, serbestlik dereceleri a-1 ve b-1 formülleri ile hesaplanır. Toplamın serbestlik derecesi, n-1 formülü ile bulunur. Burada n toplam örnek sayısını ifade eder. Çalışma kapsamında 648 adet numune hazırlandığından n=648'dir. Artan parametresinin serbestlik derecesi ise, $(n-1)-((a-1)+(b-1))$ ifadesi ile bulunur. Ortalama kareler, kareler toplamının serbestlik derecesine bölümüdür. P ise, iki veri kümesi için olasılık dağılımını gösterir.

Tablo 5.1 Karıştırma süresi ve mevsimin beton basınç dayanımına etkisi (ANOVA Tablosu)

DEĞİŞKENLER	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	P
Mevsimler	565,32	1	565,320	0,0010

Tablo 5.1 (devam) Karıştırma süresi ve mevsimin beton basınç dayanımına etkisi (ANOVA Tablosu)

DEĞİŞKENLER	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	P
K.Süreleri	212,36	2	106,180	0,1285
Artan	33224,91	644	51,591	
TOPLAM	34002,59	647		

Tablodan okunduğu üzere, p değeri (0.001) anlamlılık düzeyi olarak seçilen 0.05 değerinden küçük olduğundan, mevsim etkeninin beton basınç dayanımına olan etkisi ihmal edilemez. Fakat karıştırma süreleri için hesaplanan p değeri (0.1285) anlamlılık düzeyi olarak seçilen 0.05 değerinden büyük olduğu için, beton basınç dayanımına olan etkisi ihmal edilebilir. Karıştırma süresi ile çökme değeri arasında oluşturulan varyans analizi (ANOVA) sonucu Tablo 5.2’de sunulmuştur.

Tablo 5.2 Karıştırma süresi ve çökme değerinin beton basınç dayanımına etkisi (ANOVA tablosu)

PARAMETRELER	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	P
Çökme Değeri	4933,8315	1	4933,831	<0.0001
Karıştırma Süresi	212,23154	2	106,116	0,0945
Artan	28857,015	644	44,809	
TOPLAM	34003,078	647		

Tablo 5.2’den okunan, çökme değerinin beton basınç dayanımı üzerinde etkili olma olasılığı (p) değeri, belirlenen anlamlılık değerinden (0.05) küçük olduğundan ihmal edilemez. Ancak karıştırma süresinin beton basınç dayanımına etkili olma olasılığı ise, anlamlılık düzeyinden (0.05) büyük olduğu için, bu etki ihmal edilebilir.

Tablo 5.3’ te beton yaşının beton basınç dayanımına olan etkisi ile, yine karıştırma süresinin etkisi test edilmiştir.

Tablo 5.3 Karıştırma süresi ve beton yaşının basınç dayanımına etkisi (ANOVA tablosu)

PARAMETRELER	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	p
Beton Yaşı	7968,479	1	7968,479	<0.0001
Karıştırma Süresi	212,360	2	106,180	0,0716
Artan	25821,756	644	40,096	
TOPLAM	34002,594	647		

Yukarıdaki tabloda da benzer durum söz konusudur. Belirlenen anlamlılık düzeyine göre, beton yaşının dayanıma olan etkisi ihmal edilemezken, karıştırma süresinin etkisi, kıyaslanan anlamlılık düzeyinden büyük çıktığından ihmal edilebilir.

Diğer bir parametre olan bağlayıcı madde (%15 ve %30 uçucu kül ile hazırlanmış numuneler) oranı ile, karıştırma süresinin beton basınç dayanımına etkisinin test edildiği Tablo 5.4 aşağıda verilmiştir.

Tablo 5.4 Karıştırma süresi ve bağlayıcı madde oranının beton basınç dayanımına etkisi (ANOVA tablosu)

PARAMETRELER	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	p
Bağlayıcı Oranı	8057,4	2	4028,7	<0.0001
Karıştırma Süresi	212,4	2	106,2	0,0712
Artan	25732,8	643	40,0	
TOPLAM	34002,6	647		

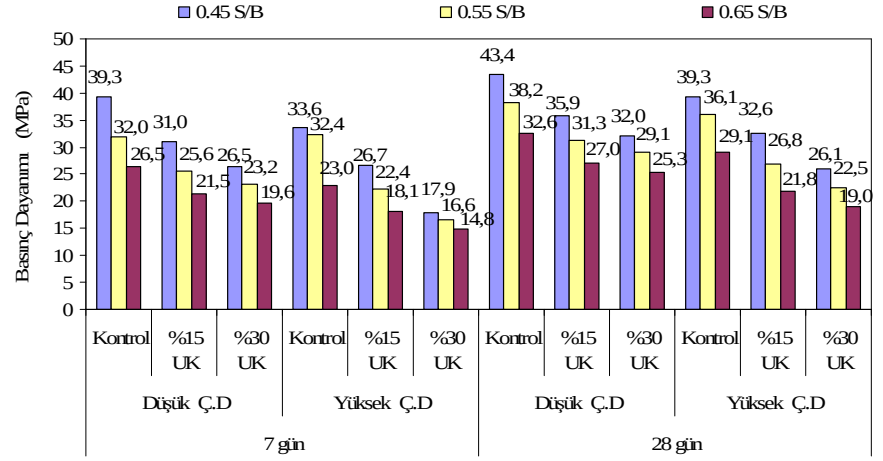
Benzer durum bu parametrelerin beton basınç dayanımına olan etkilerinde de mevcuttur. Bağlayıcı madde oranı ihmal edilmez. Fakat karıştırma süresinin beton basınç dayanımına olan etkisi, belirlenen anlamlılık düzeyinden büyük olduğu için ihmal edilebilir.

Test edilen son parametre su/bağlayıcı oranı ve karıştırma süreleridir. Su/bağlayıcı oranı ve karıştırma süresinin basınç dayanımına etkisi Tablo 5.5’ te görülmektedir.

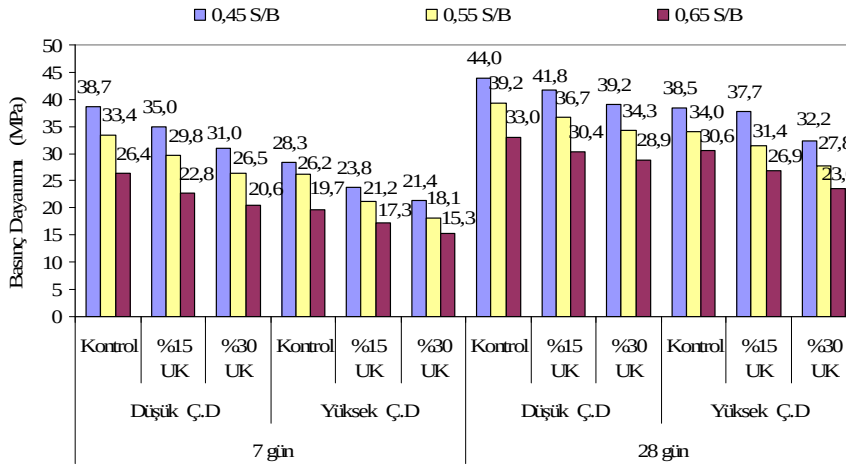
Tablo 5.5 Karıştırma süresi ve su/bağlayıcı oranının beton basınç dayanımına etkisi (ANOVA tablosu)

PARAMETRELER	Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Ortalama Kareler	p
Bağlayıcı Oranı	9252,673	2	4626,337	<0.0001
K. Süreleri	212,360	2	106,180	0,0626
Artan	24537,562	643	38,161	
TOPLAM	34002,594	647		

Yapılan tüm istatistiksel kıyaslar sonucunda, tez kapsamında incelenen karıştırma süresinin beton basınç dayanımı üzerinde kayda değer bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Bu sebeple karıştırma süresinin basınç dayanımına olan etkisi ihmal edilmiştir. Sonuçların değerlendirilmesinde, tüm karıştırma süreleri için hazırlanan numunelerin dayanımlarının ortalaması kullanılmıştır. Şekil 5.1 ve 5.2’de bu değerler gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Kış mevsiminde elde edilen ortalama basınç dayanımları

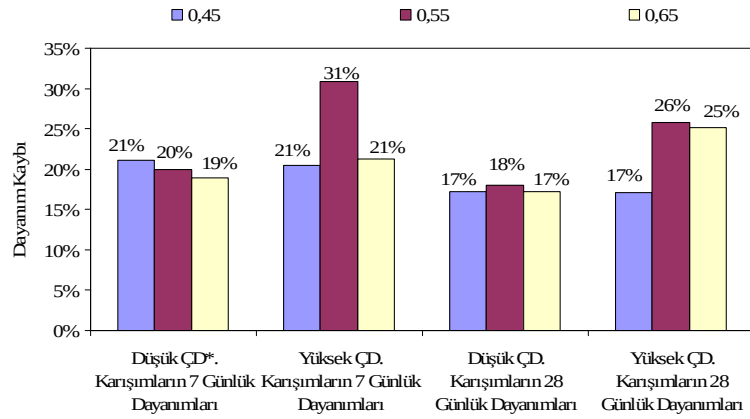


Şekil 5.2 Yaz mevsiminde elde edilen ortalama basınç dayanımları

5.1 Karışımdaki Uçucu Kül Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi

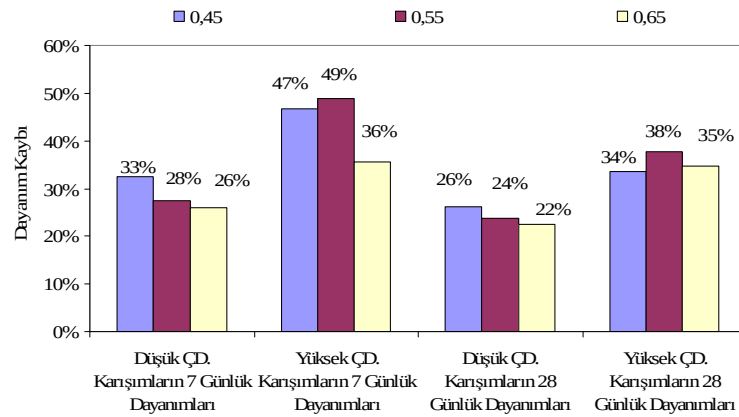
Bu bölümde, uçucu kül ikamesinin beton basınç dayanımına olan etkileri incelenmiştir. Uçucu kül ilavesi ile dayanımda oluşan azalma, uçucu kül içeren karışımların dayanımlarının, kontrol dayanımlarına bölünmesiyle elde edilen yüzdenin, 1'den çıkarılmasıyla hesaplanmıştır.

Şekil 5.3'te kış mevsiminde, %15 uçucu kül içeren karışımlarda oluşan dayanım kayıpları gösterilmiştir. Buna göre, düşük çökme değerli karışımların 7 günlük dayanımları incelendiğinde, %19 - 21 aralığında bir azalma olmuştur. Yüksek çökme değerli karışımların 7 günlük dayanımlarındaki azalma ise, %21 - %31 aralığındadır. 28 günlük dayanımlar incelendiğinde, düşük çökme değerindeki karışımlarda, %17 - %18 aralığında, yüksek çökme değerli karışımlarda, ortalama %17 ile %26 aralığında değişen oranlarda azalma tespit edilmiştir.



Şekil 5.3 Kış mevsiminde, %15 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı (*ÇD : Çökme Değeri)

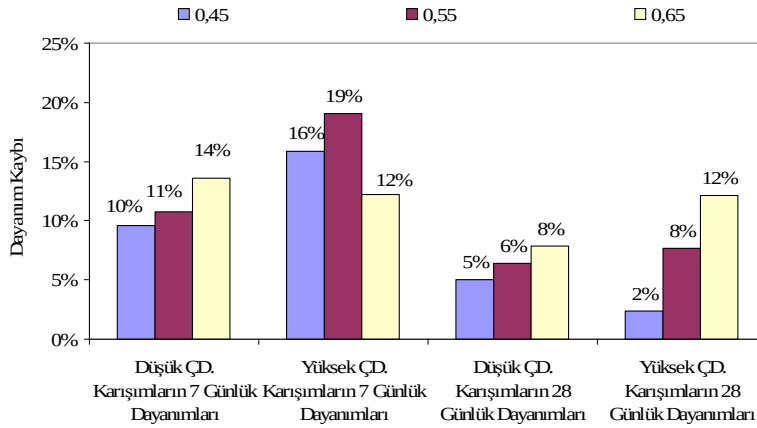
Kış mevsiminde, %30 uçucu kül içeren karışımlarda, gözlenen dayanım kaybı ise, Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Düşük çökme değerindeki karışımların 7 günlük dayanımlarında azalma, %26 ile %33 oranında değişmektedir. Bu karışımların 28 günlük dayanımlarında ise, %22 - %26 aralığında değişen oranlarda azalma tespit edilmiştir. Yüksek çökme değerindeki karışımların, 7 günlük dayanımlarına bakıldığında, %36 - %49 aralığında değişen oranlarda azalma olmuştur. 28 günlük dayanımlarda ise, azalma %34 - %38 seviyesindedir.



Şekil 5.4 Kış mevsiminde, %30 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı

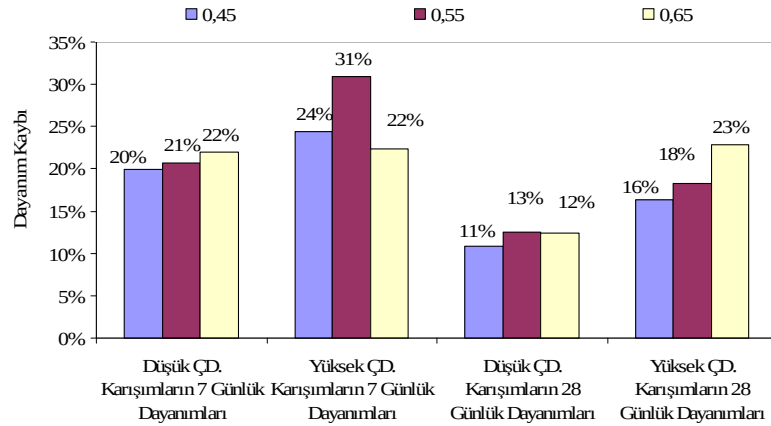
%15 ve %30 uçucu kül içeren karışımlarda yaz mevsiminde oluşan dayanım kaybı değerleri, sırasıyla Şekil 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

Şekil 5.5 incelendiğinde, %15 uçucu küllü ve düşük çökme değerindeki karışımların 7 günlük dayanımlarında, %10 - %14 seviyelerinde azalma görülmüştür. Bu karışımların 28 günlük dayanımlarında ise %5 - %8 mertebelerinde azalma bulunmaktadır. Yüksek çökme değerli karışımların 7 günlük dayanımlarında oluşan azalma, %12 - %19 aralığında değişmektedir. 28 günlük dayanımlarında oluşan azalma ise, %2 - %12 aralığındadır.



Şekil 5.5 Yaz mevsiminde, %15 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı

Şekil 5.6'da verilen, %30 uçucu kül içeren karışımlarda oluşan dayanım kayıpları incelenirse, düşük çökme değerli karışımların 7 günlük dayanımlarında %20 ile %22, 28 günlük dayanımlarda ise, %11 - %13 aralığında azalma olmuştur. Yüksek çökme değerli karışımların, 7 günlük dayanımlarında, %22 - %31; 28 günlük dayanımlarda ise, %16 - %23 aralığında azalma olmuştur.



Şekil 5.6 Yaz mevsiminde, %30 uçucu küllü numunelerde gözlenen dayanım kaybı

Bu sonuçlara göre, beton yaşı ilerledikçe, numunelerde oluşan dayanım kayıplarının azaldığı söylenebilir. Bu etki yaz mevsiminde ve uçucu kül içeriği az olan karışımlarda daha da belirgindir.

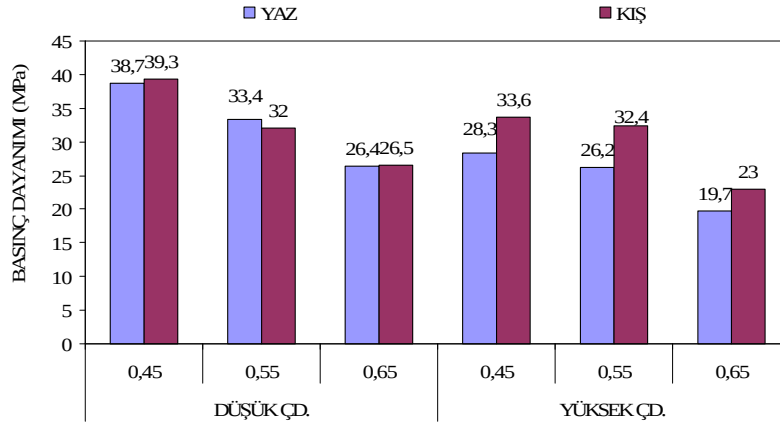
Tez kapsamında hazırlanan uçucu küllü karışımların, dayanımlarında oluşan azalma, yaz mevsiminde daha az olmuştur. Kış mevsiminde uçucu küllü karışımların dayanımlarındaki azalma daha fazladır. Sıcaklığın uçucu kül performansına olan olumlu etkileri, 28 günlük dayanımlardaki kaybı da azaltmış, bazı numunelerde kontrol dayanımlarına çok yakın sonuçlar elde edilmiştir.

Öte yandan, uçucu kül içeren numunelerde, çökme değeri arttıkça, dayanımlarda gözlenen kaybın da arttığı görülmektedir. Bu durum, su miktarındaki artıştan kaynaklanan terlemenin, agrega-hamur arası geçiş bölgesi dayanımını azaltmasına bağlanabilir. Su/bağlayıcı oranı artışı ile dayanımda oluşan kayıp yaz mevsiminde daha çarpıcıdır.

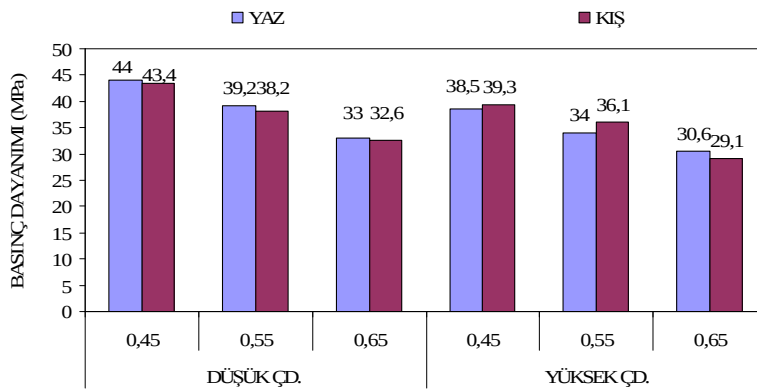
Hazırlanan karışımlarda en fazla dayanım kaybı, kış mevsiminde dökülen, yüksek çökme değerine sahip, %30 oranında uçucu kül içeren numunelerde gözlemlenmiştir.

5.2 Ortam Sıcaklığı (Mevsim) Değişiminin Basınç Dayanımına Etkisi

Mevsimin beton basınç dayanımına etkileri incelenirken, farklı mevsimlerde dökülen aynı karışımın, dayanım değerleri kıyaslanmıştır. Bu kapsamda verilen kontrol karışımları dayanımlarının mevsimlere göre değişimi Şekil 5.7 ve Şekil 5.8’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7 Kontrol karışımları 7 günlük dayanım sonuçları

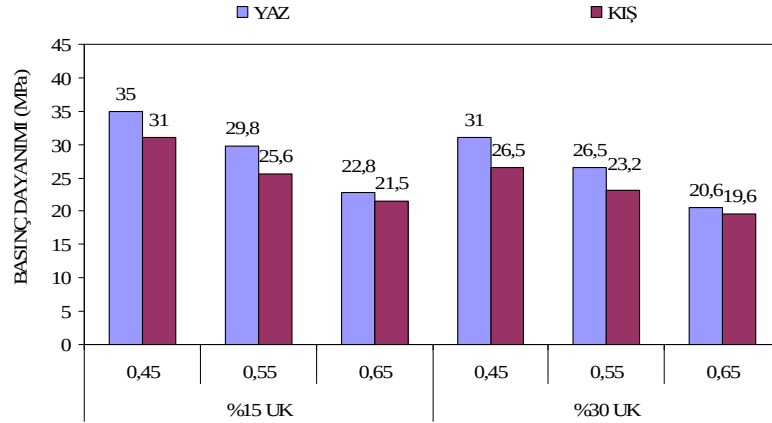


Şekil 5.8 Kontrol karışımları 28 günlük dayanım sonuçları

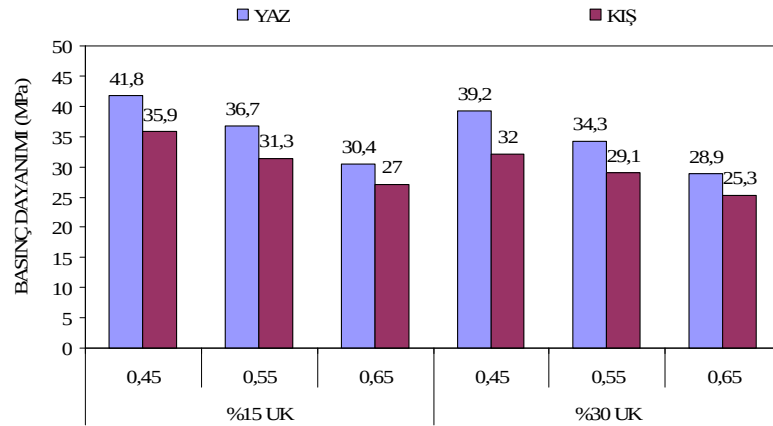
İki mevsimde elde edilen dayanımlar incelendiğinde, yüksek çökme değerine sahip karışımların, 7 günlük dayanım sonuçları kış mevsiminde

daha yüksek dayanım gösterdiği görülür. Bu karışımların, yaz ve kış mevsiminde elde edilen 28 günlük dayanım değerleri arası fark, aynı karışımların 7 günlük dayanımları arası farka kıyasla oldukça azalmıştır. Düşük çökme değerli karışımların iki mevsimde elde edilen 7 ve 28 günlük dayanım değerleri ise, birbirine oldukça yakındır.

Uçucu küllü numunelerin sıcaklık ile dayanım değişimi ise Şekil 5.9- 5.12’de gösterilmiştir.



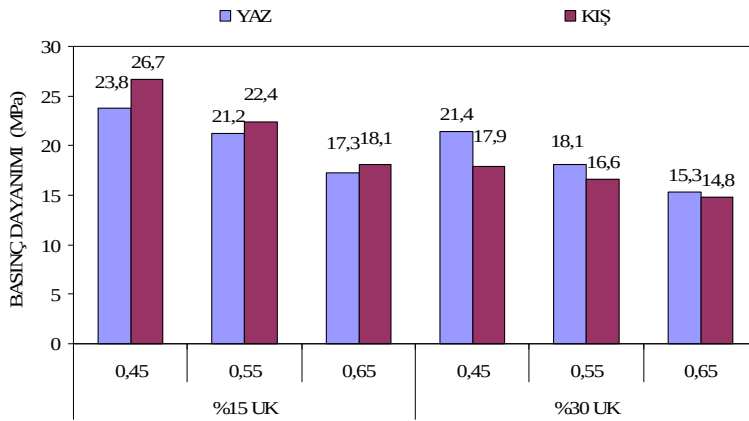
Şekil 5.9 Düşük çökme değerli karışımların 7 günlük dayanım sonuçları



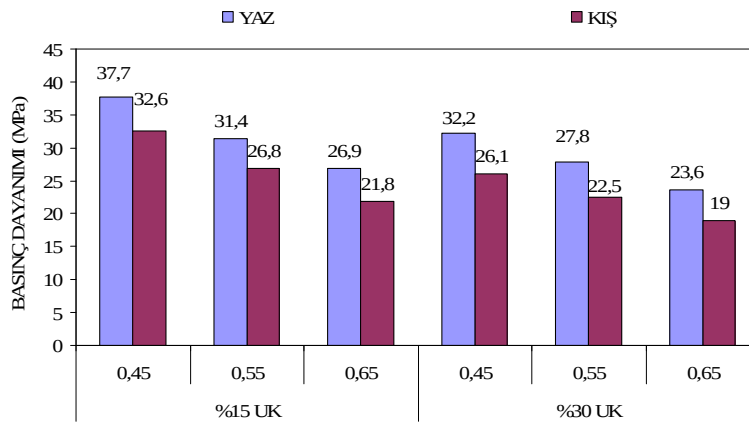
Şekil 5.10 Düşük çökme değerli karışımların 28 günlük dayanım sonuçları

Düşük çökme değerine sahip karışımlar incelendiğinde (Şekil 5.9 ve 5.10), yaz ve kış mevsimlerinde elde edilen dayanımlar arası farkın, 0,45 su/bağlayıcı oranlı karışımlarda en fazla olduğu söylenebilir. Su/bağlayıcı oranı arttıkça, iki mevsimde elde edilen dayanım değerleri arasındaki farklar azalmıştır. Bu durum numunenin test edildiği yaştan bağımsızdır.

Şekil 5.11 ve Şekil 5.12’de ise, yüksek çökme değerli karışımların sırasıyla, 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları görülmektedir.



Şekil 5.11 Yüksek çökme değerli karışımların 7 günlük dayanım sonuçları



Şekil 5.12 Yüksek çökme değerli karışımların 28 günlük dayanım sonuçları

Bu sonuçlara göre sadece, yüksek çökme değerine sahip %15 uçucu küllü numunelerin 7 günlük dayanım sonuçları, kış mevsiminde daha yüksektir. 28 günlük dayanımlar incelendiğinde, yaz mevsimindeki değerlerin öne çıktığı görülmektedir. %30 uçucu küllü numunelerde ise, yaz mevsiminde elde edilen 7 ve 28 günlük dayanımlar daha yüksektir.

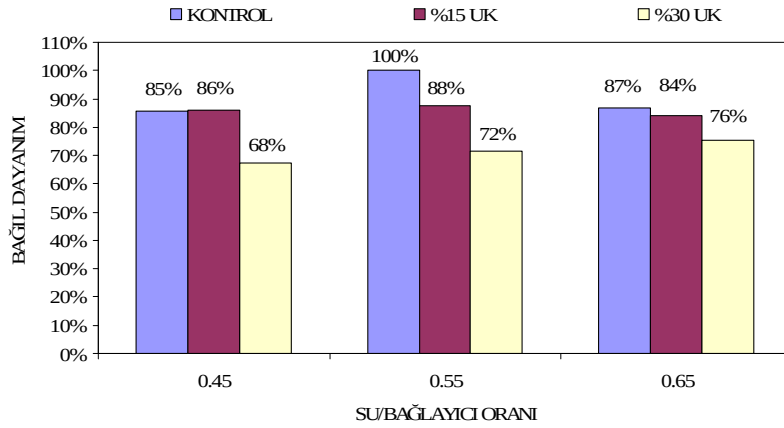
Tüm bu sonuçlar göstermektedir ki, uçucu kül kullanılan numunelerde en iyi performans, yaz mevsiminde %15 oranında uçucu kül içeren, düşük çökme değerindeki ve yüksek su/bağlayıcı oranına sahip karışımda gözlemlenmiştir. Optimum uçucu kül kullanımı, yüksek sıcaklığın uçucu kül performansına olan olumlu etkileri, bu sonucu doğuran sebepler olarak sayılabilir. Yüksek çökme değerine sahip kontrol karışımlarının 7 günlük dayanım değerleri dışında, sıcaklığın beton dayanımı üzerinde belirleyici bir etkisi tespit edilememiştir.

5.3 Çökme Değeri Değişiminin Basınç Dayanımına Etkisi

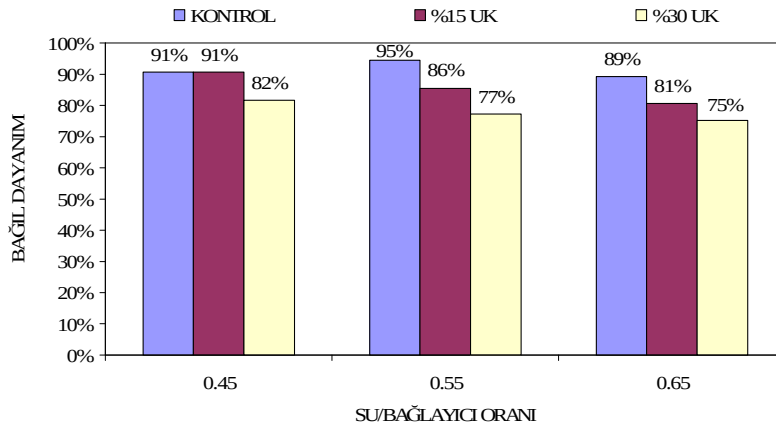
Tez kapsamında değiştirilen parametrelerden biri de çökme değeridir. Şekil 5.1 ve 5.2 incelendiğinde, çökme değeri değişiminin dayanıma önemli mertebelerde etkisi olduğu görülmektedir.

Çökme değerinin beton basınç dayanımına olan etkisi incelenirken, bağıl dayanım değeri kullanılmıştır. Bağıl dayanım, yüksek çökme değerindeki karışımlardan elde edilen dayanımların, düşük çökme değerindekilerden elde edilenlere bölünmesiyle bulunan değerlerin yüzde olarak ifadesidir.

Şekil 5.13 ve 5.14'te sırasıyla, kış mevsiminde elde edilen 7 ve 28 günlük bağıl dayanım değerleri gösterilmektedir.

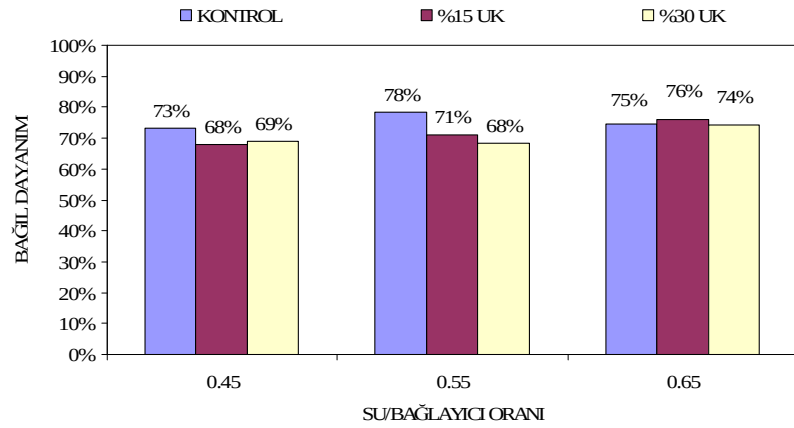


Şekil 5.13 Kış mevsiminde 7 günlük bağıl dayanım değerleri

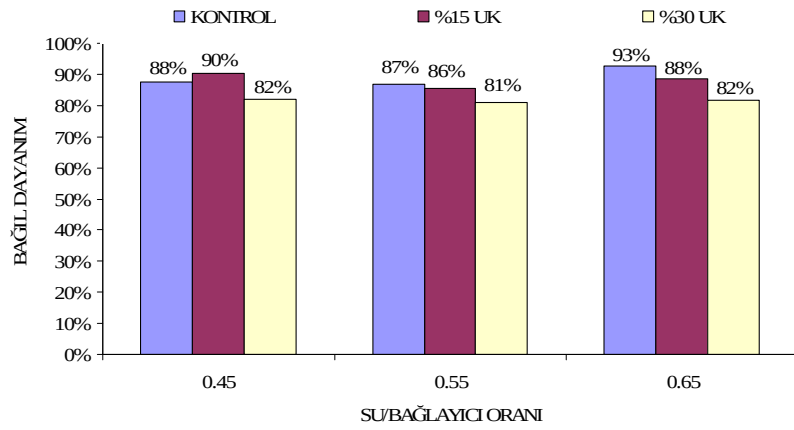


Şekil 5.14 Kış mevsiminde 28 günlük bağıl dayanım değerleri

Şekil 5.13 ve 5.14'teki değerler incelendiğinde, 7 ve 28 günlük bağıl dayanım değerleri arasında kayda değer bir fark olmadığı söylenebilir. Dolayısıyla, kış mevsiminde hesaplanan bağıl dayanımların, beton yaşından bağımsız olduğu sonucuna varılabilir. Öte yandan, karışımda uçucu kül miktarının artması, bağıl dayanımı olumsuz etkilemiştir. Kış mevsimindeki bağıl dayanımlar, su/bağlayıcı oranıyla önemli bir değişiklik göstermemiştir. Yaz mevsiminde elde edilen 7 ve 28 günlük bağıl dayanım değerleri ise Şekil 5.15 ve 5.16'da gösterilmiştir.



Şekil 5.15 Yaz mevsiminde 7 günlük bağıl dayanım değerleri



Şekil 5.16 Yaz mevsiminde 28 günlük bağıl dayanım değerleri

Şekil 5.13 ve 5.15 kıyaslandığında, yaz mevsimindeki 7 günlük bağıl dayanım değerlerinin, kış mevsiminde elde edilen değerlerden daha düşük olduğu görülmektedir. 28 günlük bağıl dayanımlarda ise, 7 günlüklere göre bir artış söz konusudur.

Elde edilen tüm sonuçlar incelendiğinde, sabit su/bağlayıcı oranında, yüksek çökme değerli örneklerin dayanımı, düşük çökme değerli örneklerden daha düşük olduğu görülür (Bknz Şekil 5.1 ve 5.2). Dayanımdaki azalma terlemeye bağlanabilir. Su kullanılarak artırılan

çökme değerinin, terlemeyi arttırdığı, dolayısı ile agregâ harç arası dayanımı azalttığı düşünülmektedir. Öte yandan uçucu kül artışı ile, çökme değeri artışı sonucu dayanımda oluşan azalma daha fazla gerçekleşmektedir.

Yaz mevsiminde 7 günlük bağıl dayanım değerlerinde görülen azalmanın nedeni, Şekil 5.1 ve 5.2’de verilen kış ve yaz mevsimindeki dayanım sonuçları incelenerek tespit edilmeye çalışılmıştır. Buna göre, düşük çökme değerli karışımların yaz mevsimindeki dayanımları, kış mevsimindekilere göre artarken, yüksek çökme değerlilerinki azalmıştır. Dolayısıyla, yaz mevsiminde elde edilen 7 günlük bağıl dayanım değerleri de azalmıştır. Şekil 5.1 ve 5.2’den yaz mevsimindeki 28 günlük dayanım sonuçları incelendiğinde, hem düşük hem de yüksek çökme değerli karışımların dayanımlarının, kış mevsimindekilere göre arttığı görülmüştür.

Yüksek çökme değerli karışımların 7 günlük dayanımları, iki mevsimde birbirine yakın olmasına rağmen, 28 günlük dayanımların yaz mevsimde daha fazla olması, bu numunelerin 7 günden sonraki dayanım kazanma hızının yüksek olduğunu göstermektedir.

Yaz mevsiminde elde edilen bağıl dayanım değerlerinin de, kış mevsiminde olduğu gibi su/bağlayıcı oranından bağımsız olduğu söylenebilir. Bununla birlikte, karışımdaki uçucu kül artışı, kış mevsiminde olduğu gibi bağıl dayanım değerlerini düşürmüştür.

5.4 Su/Bağlayıcı Oranının Basınç Dayanımına Etkisi

Tez kapsamında, su/bağlayıcı oranı değişiminin, beton basınç dayanımına olan etkileri incelenirken, su/bağlayıcı oranı artışı ile dayanımlarda oluşan azalma hesaplanmıştır. Yüksek su/bağlayıcı oranına sahip karışımın dayanımı, düşük su/bağlayıcı oranına sahip karışımın dayanımına bölünerek bağıl dayanım değeri hesaplanmıştır. Bu değer 1’den çıkarılarak, azalma yüzdesi tespit edilmiştir.

Su/bağlayıcı oranı, 0.45’ten 0.55’e çıktığında yaz ve kış mevsiminde dayanımda oluşan azalmalar Tablo 5.6’ da gösterilmiştir.

Tablo 5.6 Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.55'e çıktığında dayanımda oluşan azalma

			Dayanımda Azalma (%)	
			KIŞ	YAZ
7 gün	Düşük Ç.D	K	19	14
		%15 UK	17	15
		%30 UK	12	15
	Yüksek Ç.D	K	4	7
		%15 UK	16	11
		%30 UK	7	15
28 gün	Düşük Ç.D	K	12	11
		%15 UK	13	12
		%30 UK	9	12
	Yüksek Ç.D	K	8	12
		%15 UK	18	17
		%30 UK	14	14

Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten, 0.55'e çıktığında, kış mevsiminde %4 ile %19 arasında değişen oranlarda, azalmalar olmuştur. Yaz mevsiminde oluşan azalma ise, %7 ile %17 arasında değişmektedir.

Tablo 5.6'da görüldüğü gibi mevsimden bağımsız olarak, düşük çökme değerli karışımların dayanım azalmaları, yaş 7'den 28'e yükseldiğinde azalma göstermiştir. Yüksek çökme değerli karışımlar da bu davranışın tersi görülmüştür.

Su/bağlayıcı oranı, 0.55'ten 0.65'e çıktığında dayanımda oluşan azalmalar ise, Tablo 5.7'de gösterilmiştir.

Tablo 5.7 Su/bağlayıcı oranı 0.55'den, 0.65'e çıktığında dayanımda oluşan azalma

			Dayanımda Azalma (%)	
			KIŞ	YAZ
7 gün	Düşük Ç.D	K	17	21
		%15 UK	16	24
		%30 UK	16	22
	Yüksek Ç.D	K	29	25
		%15 UK	19	18
		%30 UK	11	15

Tablo 5.7 (devam) Su/bağlayıcı oranı 0.55'den, 0.65'e çıktığında dayanımda oluşan azalma

Dayanımda Azalma (%)			KIŞ	YAZ
28 gün	Düşük Ç.D	K	15	16
		%15 UK	14	17
		%30 UK	13	16
	Yüksek Ç.D	K	19	10
		%15 UK	19	14
		%30 UK	16	15

Su/bağlayıcı oranı 0.55'ten, 0.65'e çıktığında, yaz ve kış mevsiminde oluşan azalmalar, sırasıyla, %10 - %25 ve %11- %29 değerinde olmuştur. Tablo 5.7'de görüldüğü gibi su/bağlayıcı oranı 0.55'den, 0.65'e çıktığında mevsimden ve çökme değerinden bağımsız olarak 7 günlük dayanımlardaki azalma 28 günlük dayanımlara göre daha yüksektir. Tablo 5.8'de ise su/bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.65'e çıktığında oluşan azalmalar görülmektedir.

Tablo 5.8 Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten, 0.65'e çıktığında dayanımda oluşan azalma

Dayanımda Azalma (%)			0,45/0,65	0,45/0,65
7 gün	Düşük Ç.D	K	33	32
		%15 UK	31	35
		%30 UK	26	33
	Yüksek Ç.D	K	32	30
		%15 UK	32	27
		%30 UK	17	28
28 gün	Düşük Ç.D	K	25	25
		%15 UK	25	27
		%30 UK	21	26
	Yüksek Ç.D	K	26	21
		%15 UK	33	28
		%30 UK	27	27

Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.65'e çıktığında oluşan azalma ise çok daha fazladır. Kış mevsiminde, %17 ve % 33 arasında değişen oranlarda azalma olmuştur. Yaz mevsiminde ise bu değerler, %21 ve %35 arasında değişmektedir. Tablo 5.5'te görüldüğü gibi su/bağlayıcı oranı 0.45'den, 0.65'e çıktığında mevsimden ve çökme değerinden bağımsız olarak 7 günlük dayanımlardaki azalma 28 günlük dayanımlara göre daha yüksektir.

Ayrıca su/bağlayıcı oranı artışı ile dayanımda oluşan kayıp, 7 günlük değerlerde daha fazla iken, 28 günlük değerlerde azalma görülmüştür.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deneysel çalışmada kullanılan malzeme ve uygulanan deneylere göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

1. Karıştırma süresinin beton basınç dayanımına belirgin bir etkisi tespit edilememiştir. Ancak 6. bileşen olarak karışıma uçucu kül eklendiğinde, karıştırma süresi arttıkça, dayanımda az da olsa artışlar görülmüştür. Uzun karıştırma süresiyle, oluşan homojen dağılım bu sonucu doğuran sebep olarak gösterilebilir.
2. Karışımlarda, uçucu kül artışı ile oluşan dayanım kaybının beton yaşı ilerledikçe azaldığı söylenebilir. Öte yandan, uçucu küllü karışımların, dayanımlarında oluşan azalma, sıcaklık ile ters orantılı olarak değişmiştir. Uçucu küllü numunelerde, çökme değeri arttıkça, dayanımlarda gözlenen kayıp da artmıştır.
3. Uçucu küllü karışımlarda en fazla dayanım kaybı, kış mevsiminde hazırlanan, %30 ikame oranına sahip, yüksek çökme değerli numunelerin 7 günlük dayanımlarında gözlemlenmiştir. Uçucu kül kullanılan numunelerde en iyi performans ise, yaz mevsiminde %15 oranında uçucu kül içeren, düşük çökme değerindeki ve yüksek su/bağlayıcı oranına sahip karışımların 28 günlük dayanımlarında elde edilmiştir.
4. Yaz ve kış mevsimlerinde elde edilen dayanımlar arası fark, 0.45 su/bağlayıcı oranlı karışımlarda en büyüktür. Su/bağlayıcı oranı arttıkça, iki mevsimde elde edilen dayanımlarda oluşan farklar azalmıştır. Bu durum, numunenin test edildiği yaştan bağımsızdır.
5. Yüksek çökme değerine sahip karışım dayanımlarının, düşük çökme değerli karışım dayanımlarına bölünmesi ile elde edilen bağıl dayanımlar, uçucu kül artışı ile azalmaktadır.
6. Tez kapsamında hazırlanan karışımların, su/bağlayıcı oranı 0.45'ten, 0.55'e çıktığında, kış mevsiminde %4 ile %19 arasında değişen oranlarda, azalmalar olmuştur. Yaz mevsiminde oluşan azalma ise, %7 ile %17 arasında değişmektedir. Su/bağlayıcı oranı 0.55'ten, 0.65'e çıktığında, yaz ve kış mevsiminde oluşan azalmalar, sırasıyla, %10 - %25 ve %11- %29 değerinde olmuştur. Su/bağlayıcı oranı 0.45'ten 0.65'e çıktığında oluşan

azalma, kış mevsiminde, %17 ve % 33 arasında, yaz mevsiminde %21 ve %35 oranları arasında değişmektedir.

7. Çalışmada kullanılan mikser kapasitesi ve karıştırma süreleri dışında değerler kullanılarak, karıştırma süresinin beton basınç dayanımına etkisi üzerinde daha hassas bir çalışma yapmak yararlı olabilir.
8. Daha fazla sayıda numune hazırlanarak, karıştırma süresinin beton basınç dayanımına etkileri hakkında daha gerçekçi yorumlar yapılabilir.
9. Kimyasal katkı kullanılarak hazırlanan karışımlarda, karıştırma süresinin ve ortam sıcaklığının beton basınç dayanımına olan etkilerinin nasıl değiştiği incelenebilir.
10. Beton bileşenleri değiştirilerek benzer bir çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- ACI 304**, 1989, Guide for Measuring, Mixing, Transporting, and Placing Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills.
- ACI 308**, 1992, Standard Practice for Curing Concrete, American Concrete Institute, Farmington Hills.
- Aitcin P.C., Miao B., Cook W.D., Mitchell D.**, 1994, Effect of Size and Curing on Cylinder Compressive Strength of Normal and High Strength Concrete, *ACI Materials Journal* 91 (4) 349-354.
- Aitcin P.C.**, 2003, The Durability Characteristics of High Performance Concrete, *Cement and Concrete Composites* 25 (4-5) 409-420.
- Aitcin P.C., Mehta P.K.**, 1990, Effect of Coarse Aggregate Characteristics on Mechanical Properties of High Strength Concrete, *Cement and Concrete Research* 87 (2) 103-107.
- Al Amoudi O.S.B., Maslehuddin M., Abriola T.O.**, 2004, Effect of Type and Dosage of Silica Fume on Plastic Shrinkage in Concrete Exposed to Hot Weather, *Construction and Building Materials* 18 (10) 734-743.
- Alexander K.M., Taplin J.H.**, 1962, Concrete Strength, Cement Hydration and Maturity Rule, *Australian Journal of Applied Science* (13) 277-284.
- Almussalam A.A.**, 2001, Effect of Environmental Conditions on the Properties of Fresh and Hardened Concrete, *Cement and Concrete Composites* 23 (4) 353-361.
- Alsayed S.H.**, 1998, Influence of Superplasticizer, Plasticizer and Silica Fume, on the Drying Shrinkage of High Strength Concrete Subjected to Hot-Dry Field Conditions, *Cement and Concrete Research* 30 (5) 835-836.
- ASTM C 494**, 1994, Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International.
- ASTM C 94**, 2004, Standard Specification for Ready Mixed Concrete, ASTM International.

- Beshr H., Almussalam A.A, M. Maslehuddin,** 2003, Effect of Coarse Aggregate Quality on the Mechanical Properties of High Strength Concrete, *Construction and Building Materials* 17 (2) 97-103.
- Celep Z., Kumbasar V.,** 2005, *Betonarme Yapılar*, Beta Yayın Dağıtım.
- Erdoğan T.,** 1997, *Admixtures for Concrete*, ODTÜ Yayınları-Ankara
- Erdoğan T.,** 2002, *Materials of Construction*, ODTÜ Yayınları-Ankara
- Erdoğan T.,** 2003, *Beton*, ODTÜ Yayınları-Ankara
- Erdoğan T.,** 2004, *Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri* THBB-İstanbul
- Ersoy U.,** 1985, *Betonarme*, Evrim Yayınevi 3. baskı
- Haque M.N., Gopalan M.K., Ho D.W.S.,** 1991, Estimization of In-situ Strength of Concrete, *Cement and Concrete Research* 21 (6) 1103-1110.
- Kim J.K., Han S.H., Song Y.C.,** 2002, Effect of Temperature and Aging on the Mechanical Properties of Concrete: Part I. Experimental Results, *Cement and Concrete Reserach* 32 (7) 1087-1094.
- Kılıç A., Atiş C.D., Teymen A., Karahan O., Özcan F., Bilim C.,** 2008, The Influence of Aggregate Type on the Strength and Abrasion Resistance of High Strength Concrete, *Cement and Concrete Composites* 30 (4) 290-296.
- Kockal N.U., Turker F.,** 2007, Effect of Enviromental Conditions on the Properties of Concretes with Different Cement Types, *Construction and Building Materials* 21 (3) 634-645.
- Larrard, Beloc F.,** 1997, The Influence of Aggregate on the Compressive Strength of Normal and High Strength Concrete, *ACI Materials Journal* 94(5) 417-425.
- Neville A.M.** 1996, *Properties of Concrete*, Fourth and Final Edition, Longman Group Limited.
- Neville A.M., Brooks J.J.,** 1997, *Concrete Technology*, Longman Group Limited.
- Newman P., Choo S.,** 2003, *Advanced Concrete Technology Volume: 1-2-3-4*, Holder General Publishing.

- Özer B., Özkul M.H.**, 2004, The Influence of Initial Water Curing on the Strength Development of Ordinary Portland and Pozzolanic Cement Concretes, *Cement and Concrete Research* 34 (1) 13-18.
- Özkul M.H.**, 2001, Efficiency of Accelerated Curing in Concrete, *Cement and Concrete Research* 31 (9) 1351-1357.
- Pekmezci B.Y, Akyüz S.**, 2002, Optimum Usage of a Natural Pozzolan for the Maximum Compressive Strength of Concrete, *Cement and Concrete Research* 34 (12) 2175-2179.
- Persson B.**, 2000, Experimental Studies on Shrinkage of High Performance Concrete, *Cement and Concrete Research* 28 (7) 1023-1036.
- Powers T.C.**, 1959, Etude de L'Hydratation du Ciment en Fonction de la Conservation du Beton. Bulletin 25 du Laboratoire de Recherche et Developpement de L'a Association des Ciments Portland, Traduction, 19.
- Ramezaniapour A.A., Malhorta V.M.**, 1995, Effect of Curing on the Compressive Strength, Resistance to Chloride Ion, Penetration and Porosity of Concretes Incorporating Slag, Fly Ash, or Silica Fume, *Cement and Concrete Composites* 17 (2), 125-133.
- RILEM Committee FMC 50**, 1985, Determination, of the Fracture Energy of Mortar and Concrete by Means of the Three Point Bend Tests on Notched Beams 18, 285-290.
- Rixom M.R.**, 1977, *Concrete Admixtures and Applications*, The Construction Press.
- Su N., Miao B., Liu F.**, 2002, Effect of Wash Water and Underground Water on Properties of Concrete, *Cement and Concrete Research* 32 (5) 777-782.
- TS-802**, 1985, Beton Karışımı Hesap Esasları, TSE-Ankara.
- TS EN 197-1**, 2002, Çimento -Bölüm-1 :Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE Ankara
- TS EN 206**, 2002, Beton – Bölüm1: Özellik Performans İmalat ve Uygunluk, TSE-Ankara.
- TS EN 450**, 2002, Uçucu Kül, -Betonda Kullanılan- Tarifler Özellikler ve Kalite Kontrolü, TSE Ankara

- TS EN 934**, 2002, Kimyasal Katkılar –Beton, Harç ve Şerbet İçin- Bölüm 2: Beton Katkıları- Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, TSE-Ankara.
- TS EN 12350-1**, 2002, Taze Beton Deneyleri Bölüm-2: Çökme (Slamp) Deneyi TSE-Ankara
- TS EN 12390-2**, 2002, Beton –Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm-3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE-Ankara
- TS EN 12390-3**, 2002, Beton –Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm-2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Yapımı ve Küre Tabi Tutulması, TSE-Ankara
- TS EN 12620**, 2002, Beton Agregaları, TSE Ankara
- Wood S.L.**, 1991, Evaluation of the Long Term Properties of Concrete, ACI Materials Journal 88 (6) 630-643.
- Wu K., Chen B., Yao W., Zhang Y.**, 2001, Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of High Performance Concrete, Cement and Concrete Research 31 (10) 1421-1425.
- Zhou F.P., Lydon F.D., Barr BIG**, 1995, Effect of Coarse Aggregate on Elastic Modulus and Compressive Stregnth of High Performance Concrete, Cement and Concrete Research 25 (1) 177-186.

ÖZGEÇMİŞ

Serhan Ceylan, 1982 yılında Malatya’da doğdu. İlköğretimini 1994 yılında Salihli Altınordu İlkokulu’nda tamamladı. Orta ve lise öğrenimine başladığı Salihli Lisesi’nden 2000 yılında mezun oldu.

2000 yılında girdiği Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nü 2004 yılında tamamladı. 2005 yılında Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans eğitimine başladı.