



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

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK DAYANIMLI BETON KALİTESİNİN İNCELENMESİ
VE YENİ BİR MALZEME KATSAYISI ÖNERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nasibe ESER

**TEZ DANIŞMANI
Yrd. Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT**

AKSARAY, 2015

AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ ONAY BELGESİ

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 092303005 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi, Nasibe ESER'in, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **“YÜKSEK DAYANIMLI BETON KALİTESİNİN İNCELENMESİ VE YENİ BİR MALZEME KATSAYISI ÖNERİLMESİ”** başlıklı tezini, aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

İmza

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT
(Aksaray Üniversitesi)

Jüri Üye: Doç. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN
(Selçuk Üniversitesi)

Jüri Üye: Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS
(Aksaray Üniversitesi)

Teslim Tarihi : 1 Temmuz 2015
Savunma Tarihi: 29 Temmuz 2015

DOĞRULUK BEYANI

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışmayı, bilimsel etik, ahlâk ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın yazdığımı, yararlandığım eserlerin kaynakçada gösterilenlerden oluştuğunu ve bu eserleri her kullanışında alıntı yaparak yararlandığımı belirtir; bunu şerefimle doğrularım.

Enstitü tarafından belli bir zamana bağlı olmaksızın, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlâki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildiririm.

Nasibe ESER

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince bilgi, görüş ve önerilerinden yararlandığım ayrıca tez danışmanlığım haricinde her konuda destek olan, yol gösteren sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT'a şükranlarımı sunarım.

Tez çalışmamda bilgi ve deneyimiyle yardımını esirgeyemeyen Doç.Dr. Mehmet Ali HINIS'a, İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan tüm hocalarıma, İnşaat Mühendisi Derya KOÇ'a ve Bahar ÖZÇELİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmam boyunca bana destek olan canım eşim ve canım oğlum Ahmet'e, eğitim hayatım boyunca, desteklerini hep arkamda hissettiğim, canım annem, babam ve kardeşlerime, tüm kalbimle teşekkür ederim.

Nasibe ESER

Aksaray, Haziran 2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
DOĞRULUK BEYANI.....	i
TEŞEKKÜR	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÖZET.....	v
ABSTRACT	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER DİZİNİ	ix
KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	6
2. BETON.....	8
2.1 Taze Beton ve Özellikleri.....	12
2.2 Beton Basınç Dayanımı	14
2.3 Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler	15
2.4 Betonda Nitelik ve Denetim Koşulları	17
3. YÜKSEK DAYANIMLI BETONLAR	25
3.1 Yüksek Dayanımlı Betonun Tarihsel Gelişimi	27
3.2 Yüksek Dayanımlı Betonun Uygulama Alanları	32
3.3 Agregası	33
3.4 Çimento	35
3.5 Su	35
3.6 Mineral Katkılar	36
3.6.1 Silis dumanı.....	37
3.6.2 Uçucu kül	38
3.7 Kimyasal Katkılar	38
3.7.1 Hiper akışkanlaştırıcı	40
4. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	41
4.1 Bir Rastgele Değişkenin İstatistiksel Momentleri.....	41
4.1.1 Ortalama	41
4.1.2 Varyans	42
4.1.3 Standart sapma	42
4.1.4 Değişkenlik (Varyasyon) katsayısı	42
4.2 Parametre Tahmin Yöntemleri	43
4.3 Olasılık Dağılım Fonksiyonları	43
4.3.1 Normal dağılım	43
4.3.2 Log-normal dağılım	44
4.3.3 Gamma dağılımı.....	45
4.3.4 Gumbel dağılımı	45
4.4 Olasılık Dağılımı İle İlgili Uygunluk Testleri.....	46
4.4.1 Kolmogorov-Smirnov testi	46
4.4.2 Ki-Kare testi	47

5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	48
5.1 Giriş.....	48
5.2 Belirsizlik Analizi	66
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	72
KAYNAKLAR	74
ÖZGEÇMİŞ.....	81

ÖZET

YÜKSEK DAYANIMLI BETON KALİTESİNİN İNCELENMESİ VE YENİ BİR MALZEME KATSAYISI ÖNERİLMESİ

Bu çalışmada, ülkemizde üretilen yüksek dayanımlı betonların kalitesi hakkında fikir edinilmesi amaçlanmıştır. Betonun kalitesini belirleyen en önemli özellik betonun basınç dayanımıdır. Bu nedenle hesaplarda 7 ve 28 günlük beton basınç dayanım sonuçları kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan veriler İstanbul, İzmir, Adana, Bursa ve Kahramanmaraş illerinde faaliyet gösteren beton santrallerinden ve beton yapı laboratuvarlarından temin edilmiştir. Elde edilen veriler C40, C50, C60, C70 ve C80 sınıfındaki betonlar olup beton sınıflarına göre bina bina ayrılmıştır. Toplam 24 adet bina incelenmiştir. Her bir binaya ait basınç dayanım sonuçları kullanılarak ortalama değerler, standart sapmalar ve değişkenlik katsayıları hesaplanmıştır. Beton basınç dayanım verilerinin hangi dağılıma uyduğunu belirlemek için; Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare dağılım testleri Easyfit programında uygulanmıştır. Çıkan sonuçlara göre bir belirsizlik analizi yapılarak yüksek dayanımlı beton için 1.55 malzeme katsayısı önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Yüksek dayanımlı beton, Beton basınç dayanımı, Yapı güvenliği, Normal dağılım, Belirsizlik analizi

ABSTRACT

INVESTIGATION OF HIGH STRENGTH CONCRETE QUALITY AND PROPOSAL OF A NEW MATERIAL COEFFICIENT

This study aims to gain insight into the quality of the high strength concrete manufactured in Turkey. The most important feature that determines the quality of the concrete is the its' compressive strength. For this reason, 7 and 28-day concrete compressive strength results were used. The data used in the study were obtained from structural materials laboratories and concrete plants operating in the cities of Istanbul, Izmir, Adana, Bursa and Kahramanmaraş. The data belonging to C40, C50, C60, C70 and C80 concrete classes were categorized in terms of concrete classes. Total of 24 buildings were examined. The average values, standard deviations and coefficient of variations were calculated using the compressive strength results of each building. In order to determine which distribution fits the data of concrete compressive strength; Kolmogorov-Smirnov and Chi-square distribution tests were applied by using the software named as EasyFit. Making an uncertainty analysis, a new material factor (1.55) for high strength concrete was proposed.

Keywords: Concrete, High strength concrete, Concrete compressive strength, Building security, Normal distribution, Uncertainty analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1: Yüksek ve normal dayanımlı beton için kırılma yüzeyleri (Fırat ve Ağca 2012).....	34
Şekil 5.1: Beton sınıflarına göre 7 ve 28 günlük beton numune sayıları.....	52
Şekil 5.2: C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarına ait 7 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları (MPa).....	54
Şekil 5.3: C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarına ait 28 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları (MPa)	56
Şekil 5.4: Binaların ortalama dayanım değerleri ile değişkenlik katsayıları arasındaki ilişki (C40).....	59
Şekil 5.5: Binaların ortalama dayanım değerleri ile değişkenlik katsayıları arasındaki ilişki (C50).....	59

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1: 2011-2012 Tarihleri arası Türkiye coğrafi bölgelere göre hazır beton üretimi ve değişimi (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2013)	11
Çizelge 2.2: Türkiye’de 1996’dan 2014’e kadar kullanılan beton sınıfının yüzde olarak değişimi	12
Çizelge 2.3: Türk Standartlarındaki beton sınıfları ve karakteristik dayanım değerleri.	19
Çizelge 2.4: TS 500’e göre beton basınç dayanım sınıfları.....	20
Çizelge 2.5: Beton basınç dayanım sınıfları (TS EN 206)	21
Çizelge 2.6: Beton basınç dayanımı için uygunluk kriteri (TS EN 206).....	22
Çizelge 2.7: Beton basınç dayanım sınıfları (TS 11222).....	23
Çizelge 3.1: Avrupa hazır beton birliğine üye ülkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları yüzdeleri	27
Çizelge 3.2: Yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı yapılar	28
Çizelge 3.3: Yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı köprüler.....	29
Çizelge 3.4: Yeni Galata Köprüsü inşaatında kullanılan betonun özellikleri.....	30
Çizelge 3.5: Gerede-Ankara otoyol inşaatında kullanılan betonun özellikleri.....	30
Çizelge 3.6: Bazı yönetmeliklere göre yüksek dayanımlı beton dayanım sınırları	32
Çizelge 4.1: K-S testinin Δ_α kritik değerleri	47
Çizelge 5.1: Bina tipine göre 28 günlük C40 beton örneklerinin istatistiksel sonuçları.	50
Çizelge 5.2: Bina tipine göre 28 günlük C50 beton örneklerinin istatistiksel sonuçları	51
Çizelge 5.3: Her beton sınıfı için 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının frekansları	52
Çizelge 5.4: 7 ve 28 günlük beton numunelerinin istatistiksel sonuçları	58
Çizelge 5.5: Bina tipine göre 28 günlük numunelere ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçları ve kritik değerler	61
Çizelge 5.6: Bina tipine göre 28 günlük numunelere ait χ^2 test sonuçları ve kritik değerler	62
Çizelge 5.7: 28 günlük C40 beton numunelerine ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçları ile olasılık dağılım fonksiyonları kritik değerleri	63
Çizelge 5.8: 28 günlük C50, C60, C70 ve C80 beton numunelerine ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçları ile olasılık dağılım fonksiyonları kritik değerleri .	64
Çizelge 5.9: 28 günlük numunelere ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçlarına göre olasılık dağılımları	65

SİMGELER DİZİNİ

C_{vx}	Değişkenlik katsayısı
E_c	Betonun 28 günlük elastisite modülü
$F(x_i)$	Eklenik dağılım fonksiyonu
f_c	Ortalama beton basınç dayanımı
$\overline{f_c}$	Ortalama “gerçek” beton basınç dayanımı
f_{ck}	Betonun 28 günlük karakteristik basınç dayanımı
$f_{ck,küp}$	Beton küp numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı
$f_{ck,sil}$	Beton silindir numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı
f_{cm}	En az üç numunenin ortalama beton basınç dayanımı
f_{cmin}	En düşük beton basınç dayanımı
f_{ctk}	Betonun karakteristik eksenel çekme dayanımı
N_i	Gözlenen değer
N_i	Rassal düzeltme katsayısı
$\bar{N}_i$	Düzeltilme katsayısının değeri
N_{pi}	Beklenen değer
R	Yükleme hızı
$Q(x_i)$	Teorik dağılımın eklenik olasılık fonksiyonu
s_x	Standart sapma
$Var(x)$	Varyans
X	Rastgele değişken
X_i	Ana değişkenin gerçek değeri
$\hat{X}_i$	X_i 'yi tahmin etmek için kullanılan model
$\bar{x}$	Aritmetik ortalama
z	Standart normal değişken
$\Gamma(\alpha)$	Gamma fonksiyonu
α	Gamma dağılımın biçim parametresi
β	Gamma dağılımının ölçek parametresi

γ_c	Beton malzeme katsayısı
Δ_{xi}	Epistemik belirsizlik için değişkenlik katsayısı
δ_x	Aleatory belirsizlik için değişkenlik katsayısı
μ_x	Ortalama değer
σ_x	Standart sapma
Ω_{xi}	Toplam belirsizlik için değişkenlik katsayısı

KISALTMALAR DİZİNİ

DSİ	Devlet Su İşleri
FRP	Lif Takviyeli Polimer
GAP	Güneydoğu Anadolu Projesi
N	Normal Dağılım
EV I	Gumbel Dağılımı
İSKİ	İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
KGM	Karayolları Genel Müdürlüğü
K-S	Kolmogorov-Smirnov dağılım testi
LN	Log-normal Dağılım
N	Normal Dağılım
PPCC	Olasılık Çizgisi Korelasyon Testi
YDB	Yüksek Dayanımlı Beton
X²	Ki-Kare dağılım testi

1. GİRİŞ

Günümüzde bilimin ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte birçok alanda değişimler olmuştur. Bu değişimlerden en çok etkilenen alanlardan biri de inşaat sektörüdür. Nüfusun artmasıyla birlikte yeni ve farklı yapılara ihtiyaç duyulmakta olup yüksek katlı yapıların, barajların, köprülerin, viyadüklerin vb. yapıların arttığı görülmektedir. Bu yapılarda aranan en önemli özelliklerden biri güvenli bir yapı olmasıdır. Güvenli yapının oluşmasında ise en önemli unsurlardan biri kullanılan malzemenin kalitesidir.

Yapılarda kullanılan temel malzemelerden biri olan beton üretiminde zamanla değişiklikler meydana gelmiştir. Bu değişim şantiye ortamında elle karılan beton harcı ile başlamış olup beton santrallerinde üretilen ilgili standart ve yönetmeliklere uygun beton üretimi ile devam etmektedir. Bununla birlikte, bilim ve teknolojinin gelişmesi ile yeni yapı malzemelerinin bulunması, nüfusun artmasına bağlı olarak toplumun ihtiyacının artması, çağın gereksinimleri ve Türkiye'nin deprem kuşağında yer alması, bu değişimlerin hızlı ve sürekli olmasına neden olmaktadır.

Türkiye dünyanın önemli deprem kuşaklarından biri olan Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almaktadır. Türkiye'yi boydan boya kuşatan Kuzey Anadolu ve Doğu Anadolu Fay Hattı bulunmaktadır. Türkiye'de; Doğu Anadolu, Marmara ve Ege bölgeleri deprem riskinin en fazla olduğu bölgelerdir. 1939 yılındaki Erzincan depremi, 1942 Erbaa-Niksar Depremi, 1992 Erzincan Depremi, 1998 Adana- Ceyhan depremi, 1999 İzmit Depremi, 2011'de yaşanan Van depremi ve 2011 Kütahya-Simav depremleri sonucunda maddi ve manevi birçok kayıpların yaşanması yapılarda kullanılan betonun dayanımını ve dayanıklılığının artırılmasına yönelik çalışmaları beraberinde getirmiştir. Özellikle hazır beton sektörü, betonarme yapılarda kullanılan betonun kalitesini arttırmak için birçok yenilikleri ve teknolojiyi yakından takip etmektedir. Yüksek dayanımlı beton üretmek için; yüksek performanslı çimentolar, yüksek dayanımlı agregalar, üstün özelliklere sahip katkı malzemeleri kullanmaya başlamış ve kullanılan makinelerdeki teknolojiyi üst

seviyeye çıkarmışlardır. Bu nedenlerden dolayı ileriki yıllarda daha yüksek dayanımlı beton kullanılacağı bir gerçektir.

Yüksek dayanımlı betonlar; agreg, su, çimento, kimyasal ve mineral katkıların belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen yapay bir taştır. Normal dayanımlı beton ile yüksek dayanımlı beton içerisinde benzer malzemeler bulunur, fakat kullanılan malzemelerin tipleri ve karışım oranları farklılık gösterir. Ülkemizde özellikle 80’li yıllarda yüksek katlı binaların yapılmasına hız verilmesiyle birlikte kullanımı geçmişe oranla daha artan yüksek dayanımlı betonlar; barajlar, köprüler ve viyadükler gibi birçok alanlarda tercih edilmeye başlanmıştır. Yüksek dayanımlı betonlar, normal dayanımlı betonlara göre bazı avantajlara sahiptir. Bunlar;

- Yüksek katlı yapılarda kullanılarak kolon boyutlarındaki azalmalar nedeniyle kullanım alanı geniş mekânlar meydana gelmektedir.
- Köprülerde ve viyadüklerde kullanılarak daha geniş açıklıklar geçilmekte ve daha az yapısal eleman kullanılmaktadır.
- Çevresel etkilere karşı dayanıklılığı fazla olduğundan, yapının bakım masrafı azalmakta ve ömrü uzamaktadır.

Yüksek dayanımlı betonların geçmişe oranla çok daha fazla kullanılmasına rağmen Türkiye’deki standart ve yönetmeliklerde bu betonlar için yaşanan büyük depremlerden sonra değişen tasarım ve uygulama kriterlerine dayalı yeni bir malzeme katsayısı hala önerilmemiştir. Geçmişte elle döküm gibi geleneksel yöntemlerle dökülen ve ciddi denetleme problemleri olan beton için kullanılan beton malzeme katsayı ($\gamma_c=1,5$) hala değiştirilmemiştir. Bu tür standartlarda hâlihazırdaki önerilen beton malzeme katsayısı ise bütün beton sınıfları için genelde aynıdır. Bununla beraber TS 500-2000 (Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları) gibi bazı standartlar C50 sınıfına kadar olan betonları kapsamaktadır. Bu nedenle yüksek dayanımlı betonlar için yeni bir malzeme katsayısına ihtiyaç duyulmaktadır.

1.1 Literatür Özeti

Son yıllarda beton kalitesinin belirlenmesi konusunda genellikle beton karot numunelerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır (Akçay, 2014; Pucinotti, 2013; Unanwa ve Mahan, 2014; Chen vd., 2014a). Karot

numunesi alınan binalar genellikle taşıma gücünde şüpheler bulunan dolayısıyla beton kalitesinden endişe edilen binalar olduğunu unutmamak gerekir.

Türkiye’de, beton kalitesi ve niteliği ile ilgili ilk çalışmalardan birini Akyüz ve Uyan (1989) yapmıştır. Akyüz ve Uyan, 1989 yılında yaptığı çalışma ile TS 500’e göre 1986, 1987, 1988 yıllarına ait İstanbul ve çevresinden elde edilen beton basınç dayanımlarının sonuçlarını istatistiksel olarak değerlendirip çıkan sonuçlara göre, üretilen betonun niteliğini ve kalitesini belirlemişlerdir. Çalışmalarında 2737 adet küp ve silindirik şeklindeki numuneleri 4 gruba ayırarak laboratuvarında 7 ve 28 günlük frekans ve eklenik frekans eğrilerini oluşturup Normal dağılımına uygunluğunu irdemişlerdir. Kullanılan numunelerin %24’ünün kalitesinin TS 500’ün en küçük beton sınıfı olan C14 ‘den daha düşük olduğunu, %10’unun ise TS 500’deki yüksek dayanımlı beton sınıfında olduğunu bulmuşlardır. Akyüz ve Uyan (1989) yaptığı çalışmayı, Postacıoğlu’nun (1978) aynı konu üzerinde yaptığı çalışma ile karşılaştırmışlardır. Postacıoğlu (1978) ile benzer sonuçları bulan Akyüz ve Uyan (1989), geçen süre zarfında betonun kalitesi hakkında herhangi bir yol kat edilemediği kanaatine varmışlardır.

Gürsu vd., (1991), Türkiye’de otoyol şantiyelerinde üretilen yüksek dayanımlı betonların üretim ve kalite sorunları hakkında bir istatistiksel çalışma yaparak değerlendirmede bulunmuşlardır. Çalışmada, şantiye ortamında 45-52,5 MPa dayanıma sahip yüksek dayanımlı betonların karakteristik özelliklerini incelemişlerdir. Ayrıca, Türkiye’de prefabrikasyon ve otoyollarda üretilen ve kullanılan, karakteristik dayanımı 45-52,5 MPa olan betonlarla ilgili 1987 yılından beri 12500 adet numunenin 28 günlük basınç dayanım değerleri kullanılarak istatistiksel bir değerlendirmede yapmışlardır. Bu çalışmada betonun kalitesini ve dayanımını; kullanılan katkıları, agrega çapı, yapı elemanı türü, şantiye ortamındaki farklılıklar, beton karışımındaki malzemelerin oranları ve iklim özellikleri gibi etkenler ile istatistiksel parametrelerin değiştiğini irdemişlerdir. Gürsu vd., (1991) yaptığı bu çalışmada, yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımının fazla olduğunu, gerilme-deformasyon ilişkisi incelendiğinde ise yüksek dayanımlı betonların normal dayanımlı betonlara göre daha gevrek kırılma gösterdiğini, yüksek dayanımlı beton karışımında kullanılan silis dumanı ve akışkanlaştırıcı katkıların özgül yüzeylerinin çimentodan daha fazla olmasından dolayı, normal dayanımlı betonlara göre daha ince mikroskobik yapıya ve daha düşük su-çimento oranına sahip olduğunu, bu nedenle

yüksek dayanımlı betonlarda hidrasyon sonucunda meydana gelen büzülmenin, su-çimento oranı fazla olan normal dayanımlı betonlara göre daha fazla olduğunu belirtmişlerdir. Gürsu vd., (1991) bu çalışmalarında, TS 500'ün C35 ve daha yüksek dayanımlı betonlar için öngördüğü $\Delta f=8$ MPa'a karşılık gelen yaklaşık 6.3 MPa'lık bir standart sapma ve değişim katsayısı %15'i geçmeyen bir üretimin otoyol üretim koşullarında zor olmadığı sonucuna da varmıştır.

Topçu vd., (2005), Eskişehir'de bir beton firmasından alınan değişik sınıflardaki beton verileri kullanarak istatistiksel bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada, 2003 yılına ait C20 ve C30 beton sınıfına ait 7 ve 28 günlük küp numunelerinin basınç dayanım değerlerini kullanmışlardır. Kullanılan numunelerin frekans, eklenik frekans ve grafiklerini çizmişler ve Normal dağılımına uygunluğunu araştırmışlardır. Numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarının ortalama değeri, standart sapması ve varyasyon katsayısı hesaplanarak beton kalitesini belirlemişlerdir. Yapılan istatistiksel sonuçlar yorumlanarak TS500-2000'e (Betonarme yapıların hesap ve yapım kuralları) ve TDY-1998'ye (Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik) göre betonun kalitesinin derecelendirmesini de yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, Eskişehir'de faaliyet gösteren beton firmasında üretilen betonların kalitesinin istenilen düzeyde olduğu ve 2003 yılında üretilen betonların %96.31'inin C20 sınıf dayanımından daha yüksek dayanıma sahip olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Fırat (2005), yaptığı çalışma ile Antalya yöresinde kullanılan betonun niteliği ile ilgili istatistiksel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, İnşaat Mühendisleri Odası Antalya şubesi ve Armada beton yapı malzemesinden getirilen 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarına ait küp numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerini kullanmıştır. Fırat (2005), çalışmada kullandığı verileri; farklı firmalardan ve şantiyelerden elde etmiş, toplam 66 bina ve 2055 numune incelemiştir. Her bina için değişkenlik katsayılarını hesaplayarak TS 500'e göre betonun kalitesinin ne oranda olduğunu tespit etmiştir. Ayrıca, TS 500/1969, TS 500/1984 ve TS 500/2000'deki değişiklikler de incelenmiş ve hazır beton standardı olan TS 11222 beton standardının yerine geçen TS EN 206-1'de bulunan farklılıklar ifade edilmiştir. Fırat (2005) yaptığı bu çalışmada, Antalya yöresinde 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarında üretilen betonun basınç dayanımında artış olduğu sonucuna varmıştır.

Fırat (2006), başka bir çalışmasında farklı sınıflarda üretilen 150x150x150 mm küp numunelerin, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerini hesaba katarak Türkiye’de kullanılan beton kalitesi hakkında istatistiksel bir değerlendirme yapmıştır. Bu çalışmada, toplam 17320 numune değerlendirmiş olup bunların 6235 adedi 7 günlük, 11085 adedi de 28 günlüktür. Çalışmada Ankara, İstanbul, Konya, Çorlu, Trabzon, Erzurum, Kayseri, Samsun, Bursa, İzmir, Gaziantep, Denizli, Antalya ve Malatya illerinden toplanan 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarındaki verileri değerlendirmeye almıştır. Ayrıca Fırat (2006), bu çalışmasında Türk Standartlarındaki bazı değişiklikleri de incelemiştir. Türkiye’de üretilen betonların zamanla kalitesinde artışlar olduğunu tespit etmiştir.

Yılmaz ve Mertol (2011), 2011 yılında yaptığı çalışmasında Türkiye’de tasarımda ve yapımda kullanılan betonun dayanımının oldukça düşük olduğunu, düşük dayanımlı beton kullanım sebebinin de baz alınacak bir standardın oluşturulmamış olmasına bağlı olduğunu tespit etmiştir. Çalışmasında yaptığı anketin sonucuna göre, Türkiye’de 40 MPa’dan yüksek betonun isteğe bağlı üretildiğini, projenin niteliğine göre isteğin belirlendiğini ifade etmiştir. Yüksek dayanımlı betonun Türkiye’de kullanılmamasının birçok nedeni olduğunu, bu nedenlerin başında yüksek dayanımlı betonun faydalarının bilinmemesi, maliyetinin yüksek olması, Türkiye’deki malzemelerin yetersizliği ve tasarım için belli bir standardın olmamasından kaynaklandığını belirtmiştir. Ayrıca yüksek dayanımlı betonun kullanımının yaygınlaştırılması için, yüksek dayanımlı beton tasarım standardı oluşturulmalı, beton tasarımcıları, beton üreticileri ve tüketicileri bilgilendirilmeli, eğitilmeli ve yüksek dayanımlı agrega üretimi, mineral ve kimyasal beton katkı malzemeleri üretimi devlet tarafından desteklenmeli sonucuna varmıştır.

Atahan vd. (2011), yüksek dayanımlı beton özellikleri arasındaki korelasyonu etkileyen faktörleri incelemişlerdir.

Fırat ve Ağca (2012), yüksek dayanımlı betonlarda kalite deneyimi ile ilgili yaptıkları çalışmada, Marmaray Projesi’nde kullanılan C40 betonun kalitesini, betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerini kullanarak incelemişlerdir. Normal ve yüksek dayanımlı betonları kıyaslamışlar ve Türkiye’de uygulanan standartları değerlendirmişlerdir. Toplamda 1804 numune incelemişlerdir. Marmaray Projesi için C40 betonun ortalama değerinin ve değişkenliklerinin yüksek olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Buna göre, Türkiye standartlarında C40 betonun yüksek dayanımlı beton olarak kabul edilebileceğini tespit etmişlerdir.

Fırat (2007), Fırat ve Yüçemen (2007), Fırat ve Yüçemen (2008) ve Fırat ve Yüçemen (2014) Türkiye için yeni yük ve dayanım katsayılarının hesaplanması konusunda yaptıkları çalışmalarda, Türkiye’de kullanılan betonun kalitesini de dolaylı olarak incelemişlerdir.

Bartlett ve Macgregor (1996), Alberta, Kanada’da 1988 ve 1993 yılları arasında üretilmiş betonlardan alınan silindir numuneleri istatistiksel olarak incelemişlerdir.

Tabsh ve Aswad (1997), Amerika Birleşik Devletlerinde üretim yapan firmalardan elde ettiği yüksek dayanımlı beton silindir numunelerin, deney sonucu bulunan gerçek değerlerinin karakteristik değerlerine oranlarını, değişkenlik katsayılarını ve olasılık dağılımlarını irdelenmişlerdir. Chmielewski ve Konopka (1999), Baden-Württemberg, Almanya’da üretilmiş C35 ve C45 sınıflarındaki numuneleri yüksek dayanımlı beton olarak isimlendirerek, bu betonların normal dağılıma uygunluğunu ve beton basınç dayanımı değişkenliklerini incelemişlerdir. Graybeal ve Davis (2008), 80 MPa ile 200 MPa arasındaki beton numunelerin dayanımlarının doğru olarak belirlenebilmesi için standart bir boyut ve silindir numune ucu düzenlemesi önermişlerdir. Caspele vd. (2014), Bayes teoremini kullanarak, yapı güvenirliliği üzerinde beton kalite kontrolünün etkisini incelemişlerdir.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde, yüksek dayanımlı betondaki belirsizlik kaynaklarının sayısallaştırılması, belirsizlik analizi ve değişen tasarım ve üretim koşullarına dayalı yeni bir malzeme katsayısı önerilmesi ile ilgili herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada, yüksek dayanımlı beton olarak nitelendirilebilecek betonlardan elde edilen küp ve silindir numunelerin basınç dayanımı testine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlere dayalı olarak, yüksek dayanımlı betonun kalitesi incelenecektir.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Teknoloji ve bilimin gelişmesi ile yeni malzemelerin bulunması, ihtiyaçların farklılık göstermesi, yapılaşmanın artması ve son yıllarda yaşanan büyük depremler yapı kalitesinin önemini arttırmaktadır. Bu çalışmada, Türkiye’de betonarme yapılarda kullanılan yüksek dayanımlı betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri sonuçlarına göre, ortalama değerleri, standart sapmaları ve değişkenlik katsayıları hesaplanacaktır. Yüksek dayanımlı beton birçok belirsizliği içinde barındıran bir yapı

malzemesidir. Özellikle üretilen betonun üretim, yerleştirme ve bakım aşamasında ne oranda ilgili standartların sağlanabildiği, denetimin ne ölçüde yapıldığı bilinmediğinden yüksek dayanımlı beton kalitesi belirlenirken var olan belirsizlikler uygun bir şekilde ele alınacaktır. Ayrıca, yüksek dayanımlı betonda görülebilecek değişik belirsizlik kaynakları, gerek yapılan kalite incelemesi sonucu bulunan değerlere gerekse literatürden elde edilen veri ve bilgilere dayalı olarak sayısallaştırılacak ve bunun sonucunda bir belirsizlik analizi yapılacaktır. Çalışmanın sonunda ise yüksek dayanımlı betonlar için bir malzeme katsayısı önerilecektir. Çalışmada İstanbul, İzmir, Adana, Bursa ve Kahramanmaraş illerinde bulunan beton santralleri ile beton yapı laboratuvarlarından elde edilen ve kamu binaları, konut, yol, otel, rezidans ve baraj inşaatlarında kullanılan farklı sınıflardaki betonların, 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri ile ilgili veriler kullanılmış, yapı laboratuvarlarından ve beton santrallerinden elde edilen 15x15x15 cm küp ve 15x30 cm silindir beton numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerlerinin ortalama değerleri, standart sapmaları, değişkenlik katsayıları ve ilgili standartlara uygunluğu dikkate alınarak betonun kalitesi incelenip, beton kalitesini etkileyen faktörler irdelenmiştir. Çalışmada kullanılan numune sonuçları, yetkili beton yapı laboratuvarları ve beton santrallerinde kırılan numunelerden elde edilmiştir.

Farklı beton sınıflarına ait veriler Easyfit programında bina bina incelenmiş olup Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare testine göre Δ ve χ^2 değerleri hesaplanmıştır. Bulunan sonuçlar çizelge halinde Δ kritik ve χ^2 kritik değerleri ile kıyaslanıp Normal dağılıma uygunluğu irdelenmiştir. Ayrıca Kolmogorov-Smirnov testine göre binalara ait verilerin Normal, Log-normal, Gamma ve Gumbel dağılımlarından hangilerine uydukları belirlenmiştir. Çıkan bu sonuçlara göre, bir belirsizlik analizi yapılarak yüksek dayanımlı betonlar için değişen tasarım ve uygulamaya dayalı yeni bir malzeme katsayısı önerilmiştir.

2. BETON

Agrega, çimento, su, kimyasal ve mineral katkıların belirli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen betonun, kullanım amaçlarına ve özelliklerine göre birçok çeşidi vardır. Beton; çimento, kum, su ve diğer katkı maddelerinin bir karışımını temsil eder. Geçmişten günümüze kadar yaşamış bütün medeniyetlere bakıldığında, betonun önemli bir yere sahip olduğu görülür. Beton; toplumların yaşayış tarzları, inançları ve kültürleri hakkında günümüze ışık tutmaktadır. Dünyanın bir mühendislik harikası olarak gördüğü Mısır Piramitlerinin yapımında kireç bazlı bağlayıcıların, İtalya’da bulunan Pantheon ve Colloseum tapınaklarında doğal hidrolik bağlayıcı olan puzolanların ve Türklerin ilk yurdu olan Orta Asya ile Anadolu’da da “Horasan Harcı” adı verilen bir bağlayıcının kullanılması beton özelliği taşıyan malzemelerin tarihinin çok eskilere dayandığını göstermektedir. İlk yapay çimento, 1800’lü yılların başında Louis Vicat’ın üretmesi ve Joseph Aspdin’in 1824’de Portland Çimentosunun patentini almasıyla başlar. Ayrıca, betonarme yapı sistemlerinin bulunması ile beton yaygın bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır.

Günümüzde beton kullanımının fazla olmasının birçok sebepleri vardır. Bunlar;

- Betonun çekme dayanımındaki yetersizliğinin çelik donatı kullanımıyla giderilmesi ve buna bağlı olarak betonarme yapıların uygulanma alanlarının (yüksek katlı binalar, köprüler, viyadükler, barajlar, istinat duvarları ve benzeri) genişlemesi,
- Bilgisayar kontrollü santraller, transmikserler, pompalar ile üretim, taşıma ve yerleştirme aşamalarında büyük gelişmelerin meydana gelmesi,
- Dayanımı arttıracak yeni malzemelerin bulunması ile yüksek basınç dayanımına ulaşılması.
- Üretiminin kolay olması ve kalifiye işçilik gerektirmemesi,
- İstenilen şekli verebilme kolaylığı,
- Ahşap ve çelik gibi sürekli tamir ve bakım gerektirmemesi,
- Yangına, yorulmaya ve titreşim gibi dış etkilere karşı, diğer yapı sistemlerine göre daha dayanıklı olması,
- Maliyet açısından çeliğe göre daha ekonomik olması şeklinde sıralanabilir.

Günümüzde en çok yapı malzemesi olarak tercih edilen beton harcı karışımı, başlangıçta yumuşak bir kıvamda olan, kolayca istenilen kalıbın şeklini alan, zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle sertleşip katılaştan, doğal olmayan bir taştır. Beton karışımı içinde kullanılan agregalar boyutlarına göre isimlendirilir. Agregalar, 0-7 mm arasında ise kum, 7-70 mm arasında ise çakıl olarak adlandırılır. Beton karışımı içindeki bir diğer malzeme olan çimento, cüruf ve alkaliler arasındaki bir dizi kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşur ve beton içindeki malzemelerin birbirine tutunmasını sağlar. Çimento, yeryüzünde en yaygın kullanılan temel yapı malzemelerinden biri olup dünyada yılda kişi başına 1 m³'den daha fazla üretilip kullanılır (Moradpour vd., 2013). Çimentonun bağlayıcı özelliği, su ile bir araya gelip karıştırıldığı zaman ortaya çıkar. Çimento ve suyun bir araya gelerek oluşturduğu karışıma “çimento hamuru” denir. Çimento hamuru, beton içindeki agregaların yüzeyini kaplayarak agrega taneleri arasındaki boşlukları kapatır ve agrega tanelerini bir arada tutacak şekilde bağlayıcılık özelliği gösterir.

Betonarme yapıların temel malzemesinden biri olan betonun bazı özelliklere sahip olması istenir. İstenen bu özelliklerden en önemlileri, fiziksel ve kimyasal dış etkilere karşı dayanıklılık ve yüksek bir mekanik dayanımdır. Dayanım, betonun diğer bütün özelliklerini az çok belirleyen bir değişken olarak dikkate alınır. Bu nedenle betonlar, standartlarda basınç dayanımları esas alınarak sınıflandırılır. Yapıların tasarım hesaplarında da beton basınç dayanım değeri kullanılmaktadır. Yüksek basınç dayanıma sahip bir betonda, su geçirimsizliğinin az olduğu ve dayanıklılığın yüksek olduğu söylenebilir. Bu durumda, basınç dayanımı yüksek bir beton elde edildiğinde, diğer mekanik dayanımları da yüksek olan beton elde edildiği kabul edilebilir. Pratikte de basınç dayanımı, beton kalitesini belirleyen ölçü olarak kullanılır.

Mekanik dayanım bakımından betonun diğer bir özelliği ise çekme dayanımıdır. Çekme dayanımı, betonda çekme etkisi oluşturacak güçlerin sebep olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterdiği maksimum direnç olarak tanımlanmaktadır. Yol, köprü, baraj, bina vb yapılar, basınçtan başka çekme ve eğilme gerilmelerine maruz kalmaktadırlar. Bu tür yapılarda kullanılan betonların, çekme ve eğilme dayanımlarının olabildiği kadar yüksek olması, darbe ve aşınmalara karşı daha dayanıklı olması istenir. Betonun basınç dayanımının belirlenmesiyle çekme, eğilme, aşınma gibi mekanik dayanımları hakkında bir fikir elde edilebilmektedir.

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımının %9 - %10'u kadardır. Yapıların yaşlarına göre bu oran değişmektedir. Mühendislik hesaplarında büyük önem taşıyan betonun çekme dayanım özelliği, betonarme yapılarda donatı kullanılarak giderilmeye çalışılır. Betonun gevrek bir malzeme olması ve çekmeye karşı gösterdiği direncin çok düşük olması beton içindeki çatlakların oluşmasına ve betonun kırılmasına neden olur. Betonda oluşan çatlaklar, beton içerisine su ve su ile birlikte sülfat, asit, klor gibi maddelerin girmesine ve kimyasal reaksiyonların gerçekleşmesine neden olur. Ayrıca, bu çatlaklardan demir donatı etkilenecek korozyona uğramakta ve betonun dayanımını ciddi oranda azaltmaktadır. Bu tür etkiler zaman içerisinde beton dayanımındaki belirsizlikleri artırır.

Türkiye Hazır Beton Birliği'nin 2011-2012 yıllarında, hazır beton üreticileri ile yapmış olduğu anket ve mülakat sonucunda, hazır beton kullanımında artış olduğu görülmektedir. 2011-2012 tarihleri arasında Türkiye'nin coğrafi bölgelere göre hazır beton üretimindeki değişimler Çizelge 2.1'de, Türkiye'de 1996'dan 2013 yılına kadar beton sınıfındaki artışlar Çizelge 2.2'de verilmektedir. Çizelge 2.1 ve Çizelge 2.2'den de görüldüğü gibi Türkiye'de hazır beton üretiminin ve C30 ve üstü beton üretiminin arttığı görülmüştür. Bu artışların sebepleri;

- Bilgisayar kontrollü santrallerde üretilmesi, pompalarla taşınması gibi beton yapım aşamasında önemli gelişmelerin sağlanmış olması,
- Türkiye'nin deprem kuşağında olması ve deprem sonrasında yaşanan ciddi maddi ve manevi kayıplar,
- Toplumun, sağlam ve dayanıklı yapı hakkında daha fazla bilinçlenmesi,
- Toplumun, yaşadığı çağa göre isteklerinin değişmesi ve farklı türden yapılara ihtiyaç duyması,
- Teknolojinin ilerlemesine paralel olarak dayanımı arttıran yeni malzemelerin bulunması olarak sıralanabilir.

Çizelge 2.1: 2011-2012 Tarihleri arası Türkiye coğrafi bölgelere göre hazır beton üretimi ve değişimi (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2013).

Coğrafi Bölgeler	2011		2012		2011-2012 Değişim
	Hazır Beton Üretimi	Bölgesel Oran	Hazır Beton Üretimi	Bölgesel Oran	
	(m ³)	(%)	(m ³)	(%)	
Marmara	34.300.000	37,9	33.500.000	36	-2
Ege	9.050.000	10	9.550.000	10	6
Akdeniz	11.920.000	13	12.400.000	13	4
İç Anadolu	15.250.000	17	16.200.000	18	6
Karadeniz	9.980.000	11	9.800.000	11	-1
Doğu Anadolu	4.440.000	4,9	4.800.000	5	9
Güneydoğu Anadolu	5.600.000	6,2	6.800.000	7	21
Toplam	90.540.000	100%	93.050.000	100%	2.9

Çizelge 2.2: Türkiye’de 1996’dan 2014’e kadar kullanılan beton sınıfının yüzde olarak değişimi (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2014).

Kullanılan Beton Sınıfları	% C14	% C16-18	% C20	% C25	% C30 +
1996	37,5	52,30	6,40	3,40	0,60
1997	27,00	51,10	12,00	7,60	2,30
1998	24,40	45,40	18,00	8,10	4,10
1999	22,70	35,90	27,60	10,30	3,30
2000	11,50	25,10	41,30	13,20	4,90
2001	7,00	21,30	47,90	18,00	5,80
2002	5,90	21,10	46,90	19,20	6,90
2003	4,60	14,70	39,60	25,40	15,70
2004	3,30	10,30	40,60	30,70	15,10
2005	3,20	8,40	31,20	42,10	15,10
2006	2,92	7,66	35,09	36,56	17,77
2007	2,85	5,58	26,95	35,25	29,37
2008	2,76	5,51	22,13	38,76	30,84
2009	2,44	3,44	23,90	36,10	34,12
2010	1,99	2,39	14,62	38,45	39,33
2011	2,2	2,0	14,6	43,7	37,1
2012	1,6	2,2	14,2	43,1	38,4
2013	1,3	1,7	10,3	44,2	42,5

2.1 Taze Beton ve Özellikleri

Beton; agrega, çimento, su ve gerektiğinde kimyasal ve mineral katkıların belirli oranlarda homojen karıştırılmasıyla oluşan bir yapı malzemesidir. Beton ilk başta, su ve çimentonun kimyasal reaksiyona girmesiyle (su ve çimentonun bir araya gelmesiyle oluşan kimyasal reaksiyona hidrasyon denir) plastik bir kıvama ulaşarak şekil verilebilir haldedir. Su ve çimentonun hidrasyonu devam ettikçe beton karışımı katılaşmaya ve başlangıçtaki plastik kıvamını kaybetmeye başlar. Taze beton, beton malzemelerinin karıştırılmasıyla elde edilen plastik kıvamın yani şekil verilebilir durumun, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar nedeniyle giderek azalıp, katılaşmanın başladığı ana kadarki haline denir. Beton karışımı

katılaşmadan (prizini almadan) yani beton plastik kıvamdayken, kalıplara taşınır, yerleştirilir, sıkıştırılır ve yzeyi dzyeltirir. Betonun katılaştıktan sonra istenilen dayanıklılığa, dayanıma ve hacimsel değişikliğe sahip olması için ilgili standart ve yznetmelikler dikkate alınarak beton üretimi yapılmalıdır. Taze betonun üretilmesi, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işlemleri yapılırken standartlar doğrultusunda aşağıdaki hususlara dikkat edilmesi gerekir.

- Beton karışımı için gerekli olan malzemeler kolay bir şekilde karılabilmelidir.
- Beton karıldıktan sonra kalıplara taşınması ve yerleştirilmesi esnasında malzemeler arasında segregasyon olmaması gerekir.
- Kalıplara yerleştirilme sırasında taze beton kalıbın her noktasına kolayca ulaşmalıdır.
- Kalıplara yerleştirilen taze betonun vibrasyonla sıkıştırma işlemi her noktada kolayca yapılabilmelidir.
- Yerine yerleştirilip sıkıştırılan betonun içerisindeki su hidrasyon için gereklidir. Bu yzden su olabildiğince beton içerisinde kalmalı ve yzeye çıkararak kaybolmamalıdır.
- Pürüzsüz bir beton elde edebilmek için kalıplara yerleştirilen ve sıkıştırılan taze betonun yzeyi kolayca dzyeltilebilmelidir.

Taze betonun, işlenebilirlik, kıvam, segregasyon, terleme ve priz süresi gibi basınç dayanımını etkileyecek zellikleri vardır. Kısa sürede daha az enerji kullanarak kolayca karılması, kalıbına yerleştirilirken segregasyona uğramaması, homojenlik zelliğini kaybetmemesi, kalıbını boşluksuz olarak doldurması ve yzeyinin kolay bir şekilde dzyeltilebilmesi işlenebilirlik olarak tanımlanır. İşlenebilirlik, taze betonun katılaşma göstermeden znceki durumudur. Betonun akışkanlığı, pompalanabilirliği ve sıkışabilirliği aşamaları, işlenebilirlik zelliğine bağlıdır. Bu nedenle işlenebilirlik, taze betonda aranan en zneliklerden biridir. Fakat bazı durumlarda, şantiye ortamında taze betonun işlenebilirliğini arttırmak için su kullanılmaktadır. Kullanılan bu su, tasarlanan betonun dayanım değerini azalttığı için betonda belirsizliğe neden olmaktadır. Taze beton karışımının, ıslaklık derecesi olarak tanımlanan kıvam, betonun hangi oranda ıslak veya kuru olduğunu ifade etmektedir. Kıvam, betonun işlenebilme zelliği ile doğrudan ilgilidir. Kıvamı yüksek bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha kolay karılabilir,

pompalanabilir ve yerleştirilebilir. Ancak beton kıvamının çok yüksek olması, betonun işlenebilirliğinin iyi olduğu anlamına gelmemektedir. Çünkü aşırı derecede sulu taze beton karışımının kalıplara yerleştirilmesi ve sıkıştırılması işleminde, imento hamuru ile agregalar arasında segregasyon, yani kullanılan malzemeler arasında ayrışma olabilir. Betonun kıvamı, standartlarda belirtilen değerlere göre belirlenir. Beton retiminde kullanılan malzemelerin; yeterince homojen bir şekilde karılmaması, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırma işlemlerinin uygun bir şekilde yapılmaması betonda segregasyona neden olmaktadır.

Taze betonda terleme, beton içindeki suyun yzeeye çıkması olarak tanımlanır. Betonun terlemesi sonucu, betonun st bölgesi çok sulu bir hal alarak gözenekli ve zayıf bir beton elde edilmiş olur. Bu durumda sertleşmiş betonun geçirimsizlik özelliği azalarak beton içerisine su sızabilir. Bu durum betonun dayanımını ve dayanıklılığını ciddi oranda azaltmaktadır. Taze betonun katılaşmasına priz denir. Priz süresi betonun işlenebilirliği açısından önemlidir. Betonun taşınabilmesi, kalıplara yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve yüzeyinin düzeltilmesi priz sresinde gerçekleştirilmelidir. Taze betondan alınan numunelerin kırım tarihlerinin hafta sonuna gelmesi veya gözden kaçması gibi bazı sebeplerden dolayı 7 ve 28 gün haricinde bir günde kırılması betonda belirsizliğe neden olmaktadır. Mühendislikte olması istenmeyen bu durumların gerçekleşmemesi için itinalı bir şekilde, standartlar göz önünde bulundurularak beton üretimi yapılmalıdır. Eğer taze beton, kolay karılamıyorsa, segregasyona uğruyorsa, homojen bir şekilde yerleştirme ve sıkıştırma işlemi gerçekleşmiyorsa kısacası yeterli işlenebilme özelliği göstermiyorsa; taze beton, sertleştiğinde gerekli dayanımı ve dayanıklılığı gösteremez. Üretilen beton sınıfı standartlarda belirtilen beton sınıfından daha düşük dayanıma sahip olur. Bunun sonucunda, yapılarda aranan emniyet ve güvenilirliği sağlayamaz. Taze betonun; üretim, taşıma ve bakım aşamasında meydana gelen olumsuz durumlar belirsizliği oluşturan ana değişkenlerdendir. Güvenli tarafta kalmak için betonda meydana gelen değişkenlikler belirlenip sayısallaştırılarak bir belirsizlik analizi yapılmalı ve malzeme katsayısı da irdelenmelidir.

2.2 Beton Basınç Dayanımı

Birçok alanlarda ve yapılarda tercih edilen beton, zamanla i ve dış etkenlerden dolayı şekil değişikliklerine uğrar. Bu şekil değişikliklerinin sebepleri arasında, farklı

yönlerden etki eden statik ve dinamik yük ve kuvvetler gösterilebilir. Statik ve dinamik yük ve kuvvetlere karşı beton belirli bir direnç gösterir. Betonun, bu yüklere karşı gösterdiği direnç dayanım olarak adlandırılır. Betonda meydana gelen şekil değişikliği ve direnç betona etki eden yük ve kuvvetlerin miktarı ile artar. Eğer bu dış etkenlerden gelen yük ve kuvvet miktarı, betonun gösterdiği dirençten büyükse, beton bu yükleri taşıyamaz ve kırılır.

Türkiye’de uygulanan standartlar doğrultusunda beton numuneleri, bu standartlarda belirtilen koşullarda üretilir, saklanır ve eksenel yük uygulanır. Beton numunesinin uygulanan yüke gösterdiği direnç beton basınç dayanımı denir. Taze betonun basınç dayanımını belirlemek için farklı yöntemler uygulanmaktadır. Bu yöntemlerin en önemlilerinden biri standart deney yöntemidir.

Standart deney yöntemi; taze betondan elde edilen standart boyutlu numuneleri uygun kalıplara yerleştirip standartlarda belirtilen süre ve koşullarda saklandıktan sonra kırılmaya tabi tutan deney yöntemidir. Günümüzde en fazla tercih edilmesinde; laboratuvar ortamında istenilen özellikte, dayanımda beton üretimi yapılması ve istenen basınç dayanımının olması için betonu oluşturacak malzemelerin hangi oranlarda karılmaları gerektiğinin bulunmasıdır.

Diğer bir yöntem ise taze betondan elde edilen numunelerin; yüksek sıcaklıkta ve nemli ortamda bir-iki gün bekletildikten sonra kırılmaları, hızlandırılmış kür’e tabi tutulan basınç dayanım yöntemidir. Bu yöntemin standart deney yönteminden tek farkı, numunelerin kırılma işlemi öncesi farklı koşullarda ve şekillerde kür edilmiş olmasıdır. Bu yöntemin en önemli yararı ise beton dayanımının çok kısa bir sürede belirlenebilmesidir.

2.3 Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler

Betonun bileşiminde kullanılan agreganın, çimentonun ve katkı malzemelerinin özellikleri, su/çimento oranı, betonun; karılma, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırılma işlemleri, kür koşulları, betonun yaşı, deneylerde uygulanan yükleme hızı, betonun nem miktarı, deney ortamındaki sıcaklık, deneye tabi tutulan numunelerin boyutu gibi farklı etkenler beton basınç dayanımını etkileyen faktörlerdir.

Beton karışımında bulunan çimentonun kimyasal özellikleri ve inceliği de betonun basınç dayanımını etkileyen bir faktördür. Çimento, su ile reaksiyona girerek agregaları birbirine bağlar. Agregaların birbirine bağlayan çimento hamurunun

dayanımının azalması beton dayanımının da azalmasına neden olur. Beton karışımındaki çimento miktarı arttıkça betonun da dayanımı artar. Fakat karışım içindeki fazla çimento miktarı betonda rötire ve rötire çatlaklarına neden olur. Çimentonun dayanımının yüksek olması, karışımında oluşan çimento hamurunun büyük gerilmeleri parçalanmadan karşılayabilmesini sağlar, böylece betonun da dayanımı artmış olur (Postacıoğlu, 1987).

Beton basınç dayanımını etkileyen bir diğer faktör; agreganın gradasyonu, tane boyutu, şekli, dayanımı ve içerisinde bulunabilecek zararlı maddelerdir. Agregaların yüzey pürüzlülüğünün fazla olması agrega ile çimento arasındaki aderansı artırır. Bunun sonucunda betonun basınç dayanımını da arttırmış olur. Agrega içerisindeki yabancı maddeler betonun boşluklu olmasına neden olur ve beton dayanımını azaltır. Beton dayanım ve dayanıklılığını etkileyen önemli bir etken de su/çimento oranıdır. Standartlarda belirtilen şekillerde sıkıştırılan bir betondaki boşluk miktarı su/çimento oranı ile ilgilidir. Su/çimento miktarı azaltılarak yüksek dayanıma sahip beton üretilir. Fakat düşük miktardaki su oranı betonun işlenebilirliğini azaltacağı için betonu yerleştirme ve sıkıştırma işlemi istenilen düzeyde yapılamaz. Eğer su miktarı arttırılırsa betonda istenilen sıkıştırma yapılamayarak boşluklu bir beton olmasına neden olur ve betonun dayanımını azaltır (Ersoy, 2000).

Beton içindeki boşlukların fazla olması betonun dayanımının ciddi oranda azalmasına neden olur. İyi sıkıştırılmış, boşluklar ve gözenekler minimum seviyede olan betonun dayanımı iyi sıkıştırılmamış betonlara göre daha yüksektir. Daha çok boşluklar çimento hamuru ile agrega arasında meydana gelmektedir. Bu boşlukları azaltmak için de çok ince taneciklere sahip mineral katkıları kullanılmalıdır.

Beton dayanımı, standartlarda belirtilen sıcaklık ve nem ortamlarında beton yaşı ile birlikte artar. Betonun ilk başlarda kazandığı dayanım hızı sonraki zamanlarda kazandığı dayanım hızından daha büyüktür. Beton alması gereken dayanımın, %70'ini 28 gün sonunda kazanmaktadır. Daha sonraki zamanlarda dayanım kazanma hızı azalır.

Betonda meydana gelen deformasyonlar zamanla oluştuğundan yükleme hızı beton dayanımını etkileyen önemli bir faktördür. Yapılan deneysel çalışmaların birçoğunda, numuneye uygulanan yükleme hızının yavaş olması, hızlı yüklenen bir numuneye göre dayanımının daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan çalışmalarda tamamen suya doygun bir numunenin kuru bir ortamda kür edilen numuneye göre dayanımının daha düşük olduğu sonucuna varılmıştır. Beton basınç deneyi yapılacak numunelerin kuru olması dayanım değerinin daha yüksek çıkmasını sağlar. Fakat beton standartlarında numune deneye tabi tutulmadan önce suda bekletilmesi koşulu vardır. Sonuç olarak, standartlarda belirtilen şekilde suda bekletilen numunelerin, suya doygunluktan kaynaklanan nemlilik derecesi basınç dayanım değerini düşürmektedir (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005).

Numune boyutu ve biçimi, beton basınç dayanımını etkileyen diğer bir etkindir. Bu konu ile ilgili yapılan çalışmalarda küçük boyutlu numunelerin daha yüksek dayanıma sahip olduğu görüşü hkimdir (Türkel, 2006).

2.4 Betonda Nitelik ve Denetim Koşulları

Betonun kalitesi değişen teknolojik gelişmelere bağlı olarak değişim göstermiştir. Geçmişte beton elle karılarak üretilirken, günümüzde ise beton santrallerinde standartlara ve yönetmeliklere göre üretilmektedir.

Ülkemizin deprem kuşağında yer alması nedeniyle, 1998’de Adana-Ceyhan, 1999’da Marmara ve son olarak 2011’de Van depremlerinin yaşanması, büyük oranda can ve mal kayıplarının olması beton kalitesinin önemini bir kez daha gündeme getirmiştir. Bu da, yapıların kalitesinin, betonun standartlara ve yönetmeliklere uygunluğunun araştırılmasını gerekli kılmaktadır.

Beton kalitesini belirleyen, betonarme yapı tasarımında ve hesaplamalarında esas alınan temel faktörlerden en önemlisi basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı, betonun üzerine etki eden yüklere karşı gösterdiği maksimum direnme özelliğidir. Beton karakteristik dayanımı, beton sınıfını tanımlamada kullanılan değerdir.

Türk standartları içinde betonun nitelik denetimi ve kabul ile ilgili dört farklı standart mevcuttur. Bu standartlar; TS 500, TS EN 206, TS 11222 ve TS 10465’dir. TS 500 betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarını, TS EN 206 ise beton tasarım standartlarını içermektedir. TS 11222 hazır beton standardı olup TS EN 206’nın yürürlüğe girmesiyle bu standart yürürlükten kaldırılmıştır. TS 10465 beton deney metotları standardı olup döküm sırasında kontrol amacıyla alınan numunelerde veya daha sonra yapı betonu kontrolü zorunluluğunun (yeniden denetim, performans, vs) ortaya çıkması durumunda, yapıdaki betonun basınç dayanımını belirlemek ve değerlendirmek amacıyla hazırlanmış karot değerlendirmesi ile ilgili standarttır.

TS 500, TS EN 206, TS 11222 ve TS 10465'e göre yapılarda kullanılacak betonlar, karakteristik basınç dayanım değerlerine göre sınıflandırılmıştır. Çizelge 2.3'te Türk Standartlarındaki beton sınıfları ve karakteristik dayanım değerleri küp ve silindir numune değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.3: Türk Standartlarındaki beton sınıfları ve karakteristik dayanım değerleri.

Beton Dayanım Sınıfı				Karakteristik Dayanım f_{ck} , MPa							
TS EN 206	TS 11222	TS 500	TS 10465	Silindir Numune 15x 30 cm				Küp Numune (15x15x15) (20x20x20)			
				TS EN 206	TS 11222	TS 500	TS 10465	TS EN 206	TS 11222	TS 500	TS 10465
C8/10				8				10			
C12/15				12				15			
-	C14		BS 14		14		14	-	16		16
C16/20	C16	C16	BS 16	16	16	16	16	20	20	20	20
-	C18	C18	-	-	18	18	-	-	22	22	-
C20/25	C20	C20	BS 20	20	20	20	20	25	25	25	25
C25/30	C25	C25	BS 25	25	25	25	25	30	30	30	30
C30/37	C30	C30	BS 30	30	30	30	30	37	37	37	35
C35/45	C35	C35	BS 35	35	35	35	35	45	45	45	40
C40/50	C40	C40	BS 40	40	40	40	40	50	50	50	45
C45/55	C45	C45	BS 45	45	45	45	45	55	55	55	50
C50/60	C50	C50	BS 50	50	50	50	50	60	60	60	55
C55/67	C55			55	55			67	67		
C60/75	C60			60	60			75	75		
C70/85	C70			70	70			85	85		
C80/95	C80			80	80			95	95		
C90/105	C90			90	90			105	105		
C100/115	C100			100	100			115	100		

TS 500 Şubat 2000 yılında tekrar düzenlenerek betonarme yapıların tasarım ve yapım kurallarını kapsamaktadır. Bu standarda göre Çizelge 2.4'te C16 ile C50 arasında tanımlanan 9 beton sınıfı için karakteristik basınç dayanım değerleri verilmiştir. Verilen değerler 15 cm çapında 30 cm yüksekliğinde silindir numunelerden elde edilen değerlerdir. TS 500'e göre teste tabi tutulan silindir veya küp numunelerin basınç dayanım değerlerinin, belli bir değerden düşük olma ihtimali %10'dur.

Çizelge 2.4: TS 500'e göre beton basınç dayanım sınıfları.

Beton Sınıfı	28 Günlük Standart Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$), N/mm ²	28 Günlük Eşdeğer Küp (200 mm) Basınç Dayanımı N/mm ²	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk} N/mm ²	28 Günlük Elastisite Modülü, E_c N/mm ²
C 16	16	20	1,4	27000
C 18	18	22	1,5	27500
C 20	20	25	1,6	28000
C 25	25	30	1,8	30000
C 30	30	37	1,9	32000
C 35	35	45	2,1	33000
C 40	40	50	2,2	34000
C 45	45	55	2,3	36000
C 50	50	60	2,5	37000

TS 500'de nitelik denetimi için, dökülen her 100 m³ betondan en az bir grup yani 3 numune alınacağı belirtilmiştir. Her üretim gününde numune alınacağı ve alınan numunelerin her biri farklı betoniye dökümünden veya transmikserden olacağı koşulu vardır. Bir işte en az 3 grup (9 adet) numune alınması öngörülmüştür.

TS 500'e göre, numuneler 3'er adet küp veya silindir gruplara ayrılmakta ve her grubun ortalama basınç dayanım değeri hesaplanmaktadır. Birbiri ardından gelen 3'er grupluk her bir parti, $P_1 (G_1, G_2, G_3)$, $P_2(G_2, G_3, G_4)$, $P_3(G_3, G_4, G_5)$, P_{n-1} aşağıda belirtilen iki koşulu birden sağlaması gerekmektedir.

Her bir parti ortalaması için $f_{cm} \geq f_{ck} + 1 \text{ MPa}$

Her partide en küçük grup ortalaması için $f_{cmin} \geq f_{ck} - 3 \text{ MPa}$

f_{cm} : En az 3 numunenin ortalama basınç dayanımı

f_{ck} : Karakteristik dayanım

f_{cmin} : Numunelerden elde edilen en düşük basınç dayanımı

TS EN 206, yerinde döküm ve ön yapımlı (prefabrik) yapılar ile binaların ve inşaat mühendisliği alanına giren yapıların ön yapımlı yapısal elemanlarında kullanılan betonları kapsar. Ayrıca Avrupa standartları kapsamında kullanılan beton karışım malzemelerinin özelliklerini içerir.

Çizelge 2.5'te ise TS EN 206'ya göre beton basınç sınıfları C8'den başlayarak C100'e kadar verilmiştir. Basınç dayanımlarını gösteren ilk rakam 15x30 silindir dayanımı, ikinci rakam ise 15x15x15 küp dayanımını göstermektedir.

Çizelge 2.5: Beton basınç dayanım sınıfları (TS EN 206).

Beton Basınç Sınıfı	28 Günlük Standart Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$), N/mm ²	28 Günlük Standart Basınç Dayanımı ($f_{ck,küp}$), N/mm ²
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Bu standarda göre uygunluk değerlendirmesi için gerekli en az numune alma sıklığı, 35 deney elde edilinceye kadar başlangıç imalatı, imalatın ilk 50 m³ için üç numune olarak belirtilmiştir. İlk 50 m³'den sonraki imalat için ise imalat kontrol belgesi olan betonlarda 200 m³'de bir veya bir haftalık imalatın iki numunesidir. Basınç dayanımı için uygunluk kriteri Çizelge 2.6'da verilmektedir.

Çizelge 2.6: Beton basınç dayanımı için uygunluk kriteri (TS EN 206).

İmalat	Grupta elde Edilen basınç dayanımı Deney sonucu adedi “n”	1.Kriter	2.Kriter
		“n” adet deney Sonucunun ortalaması F_{cm}	Herhangi tek deney Sonucu (f_{ci})
Başlangıç	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Sürekli	15	$\geq f_{ck} + 1.48 \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Başlangıçta uygunluğu kontrol edilecek imalat süresinin hemen öncesinde, en az üç aylık sürede elde edilen en az 35 deney sonucundan standart sapma hesaplanmalıdır. Bu değer tüm imalat için tahmini standart sapma olarak alınır. Başlangıçta belirlenen standart sapmanın geçerli olduğu durum, uygunluk kontrolü yapılacak daha sonraki imalat süresince de, bu sürede elde edilen son 15 sonuç arasında tespit edilen standart sapmanın (S_{15}) başlangıçtaki standart sapmadan $0.63 \sigma \leq S_{15} \leq 1.37 \sigma$ şartını sağlaması halinde kabul edilir. S_{15} ' in bu sınır değerler dışında olması durumunda sürekli imalattan en son elde edilen 35 deney sonucu kullanılarak yeni σ değeri hesaplanır.

TS 11222, hazır beton standardı olup 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. TS EN 206'ın yürürlüğe girmesiyle bu standart yürürlükten kaldırılmıştır. Çizelge 2.7'de görüldüğü üzere TS 11222'de C14'den C100'e kadar beton sınıfı tanımlanmıştır.

Çizelge 2.7: Beton basınç dayanım sınıfları (TS 11222).

Beton Basınç Sınıfı	28 Günlük Standart Basınç Dayanımı ($f_{ck,sil}$), N/mm ²	28 Günlük Standart Basınç Dayanımı ($f_{ck,küp}$), N/mm ²
C 14	14	16
C 16	16	20
C 18	18	22
C 20	20	25
C 25	25	30
C 30	30	37
C 35	35	45
C 40	40	50
C 45	45	55
C 50	50	60
C 55	55	67
C 60	60	75
C 70	70	85
C 80	80	95
C 90	90	105
C 100	100	115

TS 11222'ye göre uygunluk denetimi, C35 ve daha düşük dayanımlı beton sınıfı için günlük üretimin 300 m³ bir parti olarak dikkate alınarak en az 2 silindir veya küp numunelerden oluşan bir takım oluşturulmalıdır. C40 ve daha yüksek dayanımlı beton sınıfı için ise her 150 m³'te bir takım oluşturulmasını öngörür. Deney sonuçlarının değerlendirilmesinde betonun uygun kabul edilebilmesi için aşağıdaki koşulları sağlaması gerekir:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.28 \sigma \text{ (MPa)}$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4 \text{ (MPa)}$$

f_{ck} : Karakteristik basınç dayanımı, N/mm²

f_{cm} : Ardışık en az 15 örnek takımın basınç dayanımlarının aritmetik ortalaması, N/mm²

f_{cmin} : Numune takım ortalamasının en düşük basınç dayanım değeri, N/mm²

σ : Standart sapma değerini gösterir.

Standart sapma değeri, üretim tesisinden elde edilen son 3 aylık numunelerin en az 35 deney sonucundan hesaplanmaktadır. Son 15 deney üzerinden hesaplanan standart sapma (S_{15}), uygunluk kontrolünde kullanılan değerden önemli derecede sapma göstermemesi ve aşağıdaki sınırları aşmaması durumunda uygunluk kontrolündeki standart sapma değeri kullanılır.

$$0.63 \sigma \leq S_{15} \leq 1.37 \sigma$$

S_{15} : Son 15 adet deney sonucundan hesaplanan standart sapma değeri

S_{15} 'in yukarıdaki sınır değerleri sağlamaması durumunda, mevcut son 35 adet deney sonucu kullanılarak yeni standart sapma değeri hesaplanır. Üretim başlarında, standart sapma hesabı için yeterli veri toplanıncaya kadar geçen sürede, f_{cm} ardışık 3 örnek takımın ortalaması olmak üzere aşağıdaki iki koşulu sağlaması gerekmektedir.

$$f_{cm} = f_{ck} + 4 \text{ MPa}$$

$$f_{cmin} = f_{ck} - 4 \text{ MPa}$$

Yukarıdaki eşitlikle belirlenen karakteristik basınç dayanımlar en az Çizelge 2.7'deki değerleri sağlamalıdır.

3. YÜKSEK DAYANIMLI BETONLAR

Geçmişten günümüze kadar geçen zaman zarfında ihtiyaçlar doğrultusunda birçok alanda gelişmeler ve değişimler meydana gelmektedir. Bu değişimlerden en fazla etkilenen alanlardan biri hiç kuşkusuz inşaat sektörüdür. Ülkemizin deprem kuşağında yer alması ve nüfusun artması gibi sebepler, yüksek kalitedeki binalar, barajlar, köprüler gibi yapıların artmasına neden olmuştur. Fakat son yıllarda yaşanan büyük depremlerde hasar görmüş yapılar incelenmiş ve bu yapılarda yüksek dayanımlı olarak nitelendirilebilecek beton kullanılmadığı tespit edilmiştir (Celep vd., 2011; Binici, 2007; Doğançın vd., 2013). Ayrıca, bu depremler sonrasında betonarme yapıların deprem dayanımını göstermediği tespit edilmiş, standart ve yönetmeliklerde bir takım değişikliklere gidilmiştir (İnel vd., 2008; Dikmen ve Özek, 2011). Deprem riskinin fazla olduğu ülkemizde yapılarla ilgili akla ilk gelen yapının dayanımı ve dayanıklılığın en üst seviyede olmasıdır. Bu da yüksek dayanımlı beton üretiminin önemini arttırmaktadır. Ayrıca, minare gibi rüzgar yükünden dolayı problem yaşayabilecek yapı elemanlarında da dayanımı artırmak gereklidir (Ural ve Fırat, 2015) .

Yüksek dayanımlı beton, taze veya sertleşmiş normal dayanımlı betonlara göre daha üstün içyapı ve mekanik özelliklere; düşük geçirgenliğe, yüksek işlenebilirliğe, dayanıma, dayanıklılığa ve pompalanabilirliğe sahip özel bir beton türüdür (Neville and Brooks, 2008; Dorum ve Yıldız, 2011). Yüksek kalitede agrega, çimento ve silis dumanı gibi puzolanik özelliği olan maddeler kullanılıp, su/çimento oranı minimum seviyeye düşürülerek süper akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile işlenebilirliğini ve pompalanabilirliğini koruyan yüksek basınç dayanımına sahip betonlar yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanabilir.

Yüksek dayanımlı betonların normal dayanımlı betonlardan farkı, kullanılan malzemelerin kalitesi ve oranındaki değişimlerdir (Kocataşkın, 1991). Yüksek dayanımlı beton elde etmek için, betonun boşluksuz olması gerekir. Yapılan birçok deneyler ile çimento hamurundaki kılcal boşlukları en aza indirerek yani su/çimento oranını mümkün olduğunca azaltarak yüksek dayanım sağlanmaya çalışılmıştır.

Su/çimento oranının azalması için ya karışım içindeki suyun azaltılması ya da karışımındaki çimento miktarının arttırılması gerekir. Karışım içindeki çimento miktarının arttırılması, çimentonun hidratasyonu sırasında oluşan sıcaklığın da artmasına neden olur. Bu durum betonda sıcaklık artışına bağlı olarak birçok problemi de beraberinde getirir. Ayrıca çimento miktarını arttırmak, betonun maliyetini de arttırır. Beton karışımındaki su miktarını azaltmak betonun hem işlenebilirliğini azaltır hem de çimento parçacıklarının hidratasyonu tam olarak sağlanmayabilir. Bundan dolayı, yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için su/çimento oranını azaltmak yeterli değildir. Betonun işlenebilirliğini arttıran hiper akışkanlaştırıcıların bulunmasıyla ve aynı zamanda beton karışımının içine silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıları eklenerek su/çimento oranı azaltılıp yüksek dayanımlı beton elde etmek mümkündür.

Amerikan Beton Enstitüsünün (ACI, 2010) 363R-2 yüksek dayanımlı beton raporuna göre, 1950'li yıllarda karakteristik basınç dayanımı 34 MPa olan betonlar yüksek dayanımlı kabul edilirken 1960'lı dönemlerde ise 41 MPa ile 52 MPa arasında basınç dayanımına sahip betonlar yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmış ve üretilmiştir. Bu rapor, yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımının hangi dayanımlar arasında olacağını tanımlarken beton üretiminin gerçekleştirildiği coğrafi bölgeden bölgeye farklılıklar gösterebileceğini ifade etmiştir. Örnek olarak 34 MPa'lık betonun ticari olarak kullanıldığı bölgelerde 62 MPa'lık betonun yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanabileceği ifade edilmektedir. Bu nedenle yüksek dayanımlı betonun tanımı ülkeden ülkeye değişebilmektedir.

Ersoy ve Tankut (1991) çalışmalarında, 50 MPa'dan yüksek dayanıma sahip betonu yüksek dayanımlı olarak ifade etmişlerdir. Song ve diğ. (2005), basınç dayanımı 42 MPa'dan yüksek olan betonları yüksek dayanımlı beton olarak tanımlamışlardır. Üzümeri ve Özden (1991), 41 MPa'dan fazla dayanıma sahip betonları kendi çalışmalarında yüksek dayanımlı beton olarak kabul etmişlerdir. Fırat ve Ağca (2012) ise C40 betonu yüksek dayanımlı beton olarak tanımlamışlardır. Bu çalışmada da C40 betonu yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmaktadır.

Türkiye Hazır Beton Birliği'nin, 2011 beton verilerine bakıldığında da, yüksek dayanımlı beton üretiminde artış olmuştur. Çizelge 3.1'de Türkiye'de 2012 yılında kullanılan beton sınıfının yarısından fazlasının C30 ve C45 arasında olduğu görülmektedir.

Çizelge 3.1: Avrupa hazır beton birliğine üye ülkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları yüzdeleri (Türkiye Hazır Beton Birliği, 2013).

Beton Sınıfları (Mpa) Ülkeler	< C16/20	≥C16/20– <C25/30	≥C25/30– <C35/45	≥C35/45
İsveç	0	10	50	40
Belçika	0	10	58	32
Almanya	9	20	56	15
Polonya	12	26	36	27
Birleşik Krallık (UK)	11	25	54	10
Norveç	0	7	82	11
İtalya	8	21	68	3
Portekiz	10	40	40	10
Fransa	2	43	49	6
Hollanda	9	11	25	55
İspanya	5	5	80	10
İrlanda	5	20	40	35
Türkiye (2012)	2	16	68	14
Avrupa Ortalaması	6	32	52	10

3.1 Yüksek Dayanımlı Betonun Tarihsel Gelişimi

Yüksek dayanımlı beton üretiminin, 1930’larda başladığı fakat maliyetinin çok fazla olmasından dolayı o yıllarda üretime geçilmediği bilinmektedir. 1960-1970 yıllarında, Almanya ve Japonya’nın süper akışkanlaştırıcılar, silis dumanı ve uçucu kül gibi katkı maddelerini beton karışımında kullanmasıyla, betondan beklenen performans artmıştır. Ayrıca bu yıllarda buna bağlı olarak, bazı Avrupa ülkeleri ile Kanada, Avustralya ve ABD’de yüksek dayanımlı beton üretilmiş ve uygulamada hayata geçirilmiştir (Mertol, 2010).

Dünyada yüksek dayanımlı betonun, yüksek katlı yapılarda kullanılmasına 1979 yılında başlanmıştır. ACI 363R-10 raporuna göre, Amerika Birleşik Devletleri’nin Chicago kentinde yapılan, 260 metre yüksekliğindeki Water Tower Place isimli yapıda ilk yüksek dayanımlı beton kullanılmıştır. Bu yapının taşıyıcı betonarme elemanlarında kullanılan betonun basınç dayanımı 63 MPa’a denk gelmektedir. Chicago’da bulunan, 1990 yılında yapımı tamamlanan, 293 metre yüksekliğindeki 311 South Wacker adlı yapıda da bu beton türü kullanılmıştır. Bu yapının kolonlarında kullanılan betonun basınç dayanımı ise 83 MPa’dır. 131 MPa beton

basınç dayanımıyla, uygulamada kullanılan en yüksek dayanımlı beton özelliğine sahip olan, inşası 1989'da bitirilen Seattle'daki Two Union Square isimli yapıdır.

Günümüzde Amerika ve Avrupa ülkelerinin yanında Birleşik Arap Emirliklerinde, Orta Asya ülkelerindeki uygulamalarda yüksek dayanımlı beton kullanılmakta ve kullanım alanı da gün geçtikçe artmaktadır. Aşağıdaki Çizelge 3.2.'de dünyada yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı yapılar ve özellikleri verilmiştir (ACI 363R-10,2010; Mertol, 2010).

Çizelge 3.2: Yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı yapılar.

Bina Adı	Bulunduğu Ülke	Yapım Yılı	Yüksekliği (m)	Kullanılan Betonun Basınç Dayanımı (MPa)
Two Union Square	ABD, Seattle	1989	230	131
Brillia Kulesi	Japonya	2004	159	130
Herriot's	Almanya	2002	72	125
111 George Street	Avustralya	1993	110	100
Burj Khalife	Dubai, Birleşik Arap Emirlikleri	2009	828	80
Taipei 101	Tayvan	2004	509	69
Petronas Kuleleri	Kuala Lumpur, Malezya	1998	452	80
Trump World Tower	New York City, ABD	2001	262	83

Yüksek dayanımlı betonun, köprü kiriş ve kolonlarında kullanımı 1990'lı yıllardan itibaren başlamıştır. Özellikle öngermeli kirişlerin büyük açıklıklarla geçilebilmesi ve kullanılan kirişlerin yüksekliğinin azalmasına olanak sağladığından köprü elemanlarının üretiminde tercih edilmiştir. Bu alanda yapılan çalışmalardan birini gerçekleştiren Fiorato (1989), öngermeli köprü kirişlerinde kullanılan beton basınç dayanımının 35 MPa'dan 48 MPa'a çıkarmanın, köprü kirişlerinin geçebileceği açıklığın %15 oranında arttığı sonucuna ulaşmıştır (Mertol, 2010).

Öngermeli kirişlerle ilgili bir diğer çalışma ise Russell (1999) tarafından yapılmıştır. Russell (1999) çalışmasında, öngermeli köprü kirişlerinin beton basınç dayanımının arttırılması ile kirişin geçtiği açıklıkların arttığını ve kiriş yüksekliğinin azaldığı

sonucuna ulaşmıştır. Bu çalışmada, 41.5 MPa beton basınç dayanımına sahip kirişlerin beton basınç dayanımı 83 MPa'a çıkarılması, 137 cm yüksekliğindeki kirişin geçtiği açıklığı 26 metreden 31 metreye, 160 cm yüksekliğe sahip kirişlerin geçtiği açıklığı 30 metreden 39 metreye, 183 cm yüksekliğindeki kirişlerin geçtiği açıklığı 32 metreden 42 metreye çıkardığı sonucuna varmıştır. Kirişin geçtiği açıklıkta artış olmakla beraber kiriş yüksekliğinde de azalmalar meydana gelmiştir. Russell (1999) yaptığı bu çalışmada, beton basınç dayanımı 41.5 MPa olan kirişin 30 metrelik açıklığı 183 cm kiriş yüksekliğiyle geçildiğini, 55 MPa basınç dayanımına sahip kirişlerle geçildiğinde kiriş yüksekliğinin 152 cm ile geçildiğini, 69 MPa olduğunda ise bu yüksekliğin 123 cm olacağını belirtmiştir. Mertol (2010), tarafından verilen aşağıdaki Çizelge 3.3.'de beton basınç dayanımları, köprü kirişlerinin geçtiği maksimum açıklıklar gösterilmektedir (ACI Committee, 2010; Mertol, 2010).

Çizelge 3.3: Yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı köprüler.

Köprü Adı	Bulunduğu Ülke	Yapım Yılı	Kullanılan Betonun Basınç Dayanımı (MPa)	Maksimum Açıklık
CNT Süper Köprüsü	Japonya	1993	102	40
Kuzey Concho Nehri	ABD, Texas	1998	101	48
Louetta Yolu Geçidi	ABD, Texas	1998	90	41
Iwahana Köprüsü	Japonya	1973	89	45
120. Cadde ve Giles Yolu	ABD, Nebraska	1996	83	23

Ülkemizde ise yüksek dayanımlı beton üretiminin, 1980'li yılların başında olduğu bilinmektedir. Bu dönemde, Devlet Su İşleri'ne, İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi'ne ve Türkiye Cumhuriyeti Karayollarına ait betonarme projelerinde, karakteristik basınç dayanımları C40 ve C45 olan beton sınıfı tercih edilmiştir. Bunların üretimi de STFA İnşaat Anonim Şirketi tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu şirketin yaptığı Tohma Müşterek Karayolu-Demiryolu Köprü, İSKİ Kuzey ve Güney Haliç Kollektör ve Yeni Galata Köprüsü'nde kullanılan betonların basınç dayanımlarının 35-50 MPa arasında değişim gösterdiği bilinmektedir. Zamandan tasarruf etmek için, Yeni Galata Köprü İnşaatının betonarme projesinde basınç

dayanımı C35 olarak belirlenmesine rağmen uygulamada C45 beton sınıfı kullanılmıştır. Bu değişim sonucunda yeterli dayanım üç haftada sağlanacakken bir haftada sağlanmıştır. Yeni Galata Köprü İnşaatında kullanılan betonun özellikleri Çizelge 3.4.'te görülmektedir (Cilason vd., 1991).

Çizelge 3.4: Yeni Galata Köprüsü inşaatında kullanılan betonun özellikleri (Cilason vd., 1991).

Betonun yeri	Miktar m ³	Su/Çim	Çökme Mm	Numune Seri	Ort.Day. MPa	S.Standart Sapma	Değişim Katsayısı%
Tabliye	20000	0.34	130-150	300	52.2	23.5	4.5
Keson	9000	0.34	150-180	33	46.3	33.5	7.2

Prefabrik sektöründe faaliyet gösteren firma, 1980 ve 1990'lı yıllarda C40 betonunu üretmiştir. Buna göre, maksimum tane büyüklüğü 16 mm olan dere agregası, çimento olarak PÇ 400 ve akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanmıştır. Üretilen betonun su/çimento oranı 0.42, çökmesi 6 cm, ortalama dayanımı 49.4 MPa, standart sapması 1.4 MPa, değişkenlik katsayısı %2.9'dur (Öztekin vd., 1991).

Öztekin vd., (1991) çalışmalarında, Enka-Bechtel ortaklığındaki yüklenici firmanın Gerede-Ankara otoyol projesinde C45 betonunu kullandığını belirtmiştir. Bu proje Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) denetiminde gerçekleşmiştir. KGM tarafından 1989-1991 yılları arasında 2283 numune alınmıştır. Bu numunelerin ortalama dayanımı, standart sapması ve değişkenlik katsayısı Çizelge 3.5'te verilmektedir.

Çizelge 3.5: Gerede-Ankara Otoyol İnşaatında Kullanılan Betonun Özellikleri.

Su/Çim	Çökme Mm	Numune Sayısı	Ort.Day. MPa	S.Standart Sapma	Değişim Katsayısı%
0.45	<180	2283	66.6	5.6	8.4

Yüksek dayanımlı betonların kullanıldığı bir diğer yapı türü ise barajlardır. Güneydoğu Anadolu Projesi (GAP) içerisinde yer alan Atatürk barajının yüksek su hızlarına maruz kaldığı alanlarda betonun aşınmasını önlemek için nispeten yüksek

dayanımlı beton kullanılmıştır. Yapımına 1983 yılında başlanan barajda yüksek dayanımlı beton olarak C36 ve C38 beton sınıfı tercih edilmiştir.

1980'li yılların sonuna doğru otel ve iş merkezi yapılarda beton sınıfı C25-C30 arasında değişmektedir. Fakat bazı yapılarda beton sınıfı olarak C35 kullanıldığı bilinmektedir. Bu yapılardan biri de Ali Üstay A.Ş.'i tarafından yapılmış olan Mersin Metropol Gökdelenidir.

Prefabrik eleman üretimi üzerine çalışan MESA, laboratuvar ortamında yaptığı çalışmalarda, dayanımı 85 MPa olan beton üretmiştir. Beton karışımında, 25 cm tane büyüklüğünde kırmataş agregası, doğal kum, PÇ 400, KPÇ 500 çimento ve süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmıştır. Bu karışım sonucunda 0.28-0.32 aralığında su/çimento oranına, 12-15 cm aralığında da çökme değerleri bulunmuştur.

Yapılan bir diğer çalışmada Baradan ve Şimşek (1991), 94 MPa dayanıma sahip beton üretmişlerdir. 500 kg/ m³ PÇ 400 çimento, 150 kg/m³ silis dumanı, kalker kırma taş ve Turgutlu kumu, %2.5-3 oranında süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanmışlardır. Bazalt agregası ve yüksek oranda süper akışkanlaştırıcı kullanıldığında dayanım 120 MPa'a ulaşmıştır (Öztekin vd., 1991).

1991 yılında İnşaat Mühendisleri Odası'nın düzenlemiş olduğu geleneksel 2. Beton Kongresinde yüksek dayanımlı beton konusuna geniş yer verilmiştir. Yüksek dayanımlı beton tanımının, betonun kullanıldığı coğrafik bölgeye, bölgenin zemin özelliklerine, fiziksel özelliklerine ve üretim teknolojisine göre sürekli olarak değişim gösterdiği ifade edilmiştir. Avrupa'da 28 günlük basınç dayanımı 60 MPa'dan fazla veya su/çimento oranı minimum seviyede olan betonlar, yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanırken Türkiye'de 28 günlük basınç dayanımı 40 MPa ve 40 MPa'dan fazla olan betonlar yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanmaktadır. Çizelge 3.6.'da bazı ülkelerin yönetmeliklerine göre yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımı sınırları verilmektedir (Yüce, 2011).

Çizelge 3.6: Bazı yönetmeliklere göre yüksek dayanımlı beton dayanım sınırları.

Yönetmelik	En Küçük Basınç Dayanımı (MPa)	En Büyük Basınç Dayanımı (MPa)	Numune Tipi
TS 500	50	-	Silindir Ø=150 mm H=300 mm
ACI 318-89 ve CAN-A23.3 M84	62-69	100	Silindir Ø=150 mm H=300 mm
CEP-FIB (MC90)	60	80	Silindir Ø=150 mm H=300 mm
DIN 1045	55	115	Küp a=150 mm
BS 8110	60	110	Küp a=150 mm
NS 3473	65	105	Küp a=150 mm
Rak-MK4	60	100	Küp a=150 mm

3.2 Yüksek Dayanımlı Betonun Uygulama Alanları

Yüksek dayanımlı betonlar üzerindeki çalışmalar yapıldıkça uygulama alanları da artmaktadır. Artık günümüzde yüksek dayanımlı betonlar, yüksek katlı binalarda, köprülerde, viyadüklerde, nükleer santrallerde, yollarda, uçak pistlerinde, tünellerde, açık deniz platformlarında, arıtma tesislerinde ve prefabrik yapılar gibi özel mühendislik yapılarında kullanılmaya başlanmıştır.

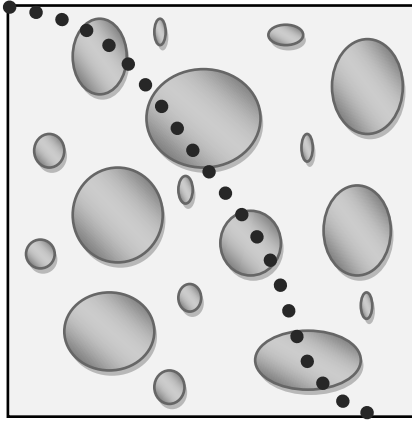
Bina yüksekliğinin mimari kısıtlama olmaksızın artırılması, eleman boyutlarını azaltarak ek alan ve rahat hareket imkânının kazanılması ve daha estetik tasarımlı güzel binaların üretilebilmesi yüksek dayanımlı beton kullanımındaki temel nedenlerdendir. Ayrıca, köprülerde yüksek dayanımlı beton kullanımı kiriş sayısının azalmasına, kiriş yüksekliğinin kısılmasına ve geçilen açıklığın artmasına olanak sağlamakta, daha uzun açıklıkların geçilmesi, köprü ayaklarının azalmasına neden olabilmekte ve projenin karmaşıklığını, inşa süresini ve maliyetini azaltabilmektedir.

3.3 Agrega

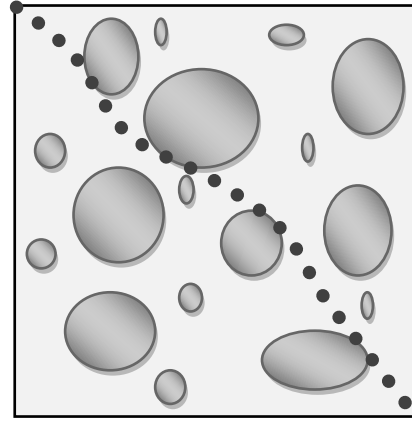
Yüksek dayanımlı beton içerisindeki malzemelerle normal dayanımlı betonlarda kullanılan malzemeler arasındaki fark, içlerindeki malzeme oranları ve kullanılan malzemelerin fiziksel ve mekanik özellikleridir. Beton karışımında kullanılan malzemelerin bölgeden bölgeye değişiklik göstermesi, yüksek dayanımlı beton özelliğinin de bölgeden bölgeye değişiklik göstermesine neden olur.

Yüksek dayanımlı betonu oluşturan temel malzemelerden biri olan agregası, yaklaşık beton hacminin %75'ini oluşturur. Beton karışımında kullanılacak iyi nitelikli, sert ve dayanıklı agregası seçimi beton dayanımı için önemlidir. Çünkü agreganın beton içerisindeki en önemli fonksiyonu betonda meydana gelen hacim değişikliklerini minimum seviyede olmasını sağlamaktır. Beton içindeki iyi nitelikteki agregası, betonun mekanik dayanımını artırır ve oluşabilecek hacim değişikliklerini azaltır. İstenilen özellikte yüksek dayanımlı beton elde edebilmek agregası granülometresine (agregası tanelerinin büyüklüklerine) bağlıdır. Beton karışımında kullanılan agregası özellikleri; dayanımı, büzülme (rötre), sünme ve geçirimsizliği doğrudan etkilemektedir. Ayrıca agregası seçiminde, agregaların jeolojik yapısı, su emme özelliği, porozite, don karşı dayanıklılığı, basınç dayanımı, elastik modülü, sertlik ve genleşme katsayısı gibi fiziksel özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Betonun kırılmasında, hidratasyona uğramış çimento, agregası ve ikisi arasında kalan yüzey değişiklikleri etkili olmaktadır. Bu değişiklikler beton dayanımını önemli derecede etkilemektedir. Normal dayanımlı betonun kırılması ile yüksek dayanımlı betonun kırılma şekli birbirinden farklıdır. Şekil 3.1b'de normal dayanımlı betonlarda meydana gelen kırılma, hidratasyona uğramış çimento hamuru ve bu hamur ile agregası arasındaki yüzeyden geçerek oluşmaktadır. Fakat yüksek dayanımlı betondaki kırılma ise Şekil 3.1a'da görüldüğü üzere, agregayı keserek oluşmaktadır. Çünkü çimento hamuru ile agregası arasında kalan kısmın dayanımı agreganın dayanımından yüksektir. Bu nedenle agreganın dayanımı yüksek dayanımlı betonun mekanik özelliklerini belirleyen ana faktördür. Beton karışımında seçilen agreganın dayanımı ne kadar yüksekse elde edilen betonun dayanımı da o derece yükselir.



a)Yüksek Dayanımlı Beton



b)Normal Dayanımlı Beton

Şekil 3.1: Yüksek ve normal dayanımlı beton için kırılma yüzeyleri
(Fırat ve Ağca, 2012).

Yüksek dayanımlı betonda kullanılacak agreg a aşağıda verilen özelliklere sahip olmalıdır.

- Yüksek dayanımlı betonda agreg a kalitesi, kullanılan diğer malzemelerin kalitesi kadar önemli olduğu için seçilen agreganın kalite yönünden en üst seviyede olması gerekir.
- Deniz kabuğu, odun, kömür gibi zayıf taneler olmamalıdır.
- İçerisinde silt ve kil gibi maddelerin olması, çimento-agrega bağ dayanımını azalttığından ve olması gereken karışım suyu miktarını arttırmasından dolayı silt ve kil içermemelidir.
- Beton karışımında süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmayacaksa, agreg a tane çapı maksimum 10-16 mm seçilmelidir.
- Malzemelerin birbirine sıkı bir şekilde bağlanması için kırma (köşeli) agreg a kullanılmalıdır.
- Özellikle düşük su/çimento oranlı karışımlarda bir miktar su emen agreg a tercih edilmelidir. Çünkü, agreg a yakınında hidratasyon oluşabilmesi için gerekli suyu agreganın kendisi depolamış olur. Böylece zamanla hamur ve agreg a arasındaki bağ güçlenerek beton dayanımı artar.
- Betonda kullanılacak agreg a, TS 706 EN 12620 Beton Agregaları standardına uygun olmalıdır.

3.4 Çimento

Çimento su ile reaksiyona girdiğinde bağlayıcı özelliği bulunan bir yapı malzemesidir. Beton karışımında hacimce fazla olmamasına rağmen beton dayanımı için önemlidir. Kalker ve kil çimentonun ana maddesidir. Çimento üretimi yapılırken, kalker ve kil, gerektiğinde demir cevheri veya kum karıştırılarak öğütülüp toz haline getirilir. Toz haline getirilen bu malzeme yüksek sıcaklıklarda (1350-1450°C) pişirilir. Oluşan bu malzemeye klinker denir. Klinkere %3 - %6 oranında alçıtaşı katılır. Daha sonra bu malzemenin öğütülmesiyle “Portland Çimentosu” elde edilir. Elde edilen çimentonun tanecikleri çok küçük olup tanecik boyutu 1-200 µm arasındadır (Erdoğan, 2010). Çimento üretiminde doğal puzolanlar olan klinker ve alçı taşı dışında, yapay puzolan sınıfında olan tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı vb. maddeler çimentonun tipine göre karışıma ilave edilir. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Cürufllu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento’dur (Günindi, 2005).

Yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan çimento, işlenebilirliği maksimum derecede sağlaması açısından önemlidir. Her şeyden önce tercih edilen çimento, mekanik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından iyi nitelikli olmalıdır.

3.5 Su

Normal ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan su, kuru halde olan agrega ve çimento ile birlikte karılarak, bu karışımın plastik kıvamda olmasını sağlamaktadır. Agrega ve çimento karışımının içindeki su, karışım suyu olarak tanımlanır. Karışım suyu, agreganın ve çimentonun yüzeyinin ıslak kalmasını ve betondaki işlenebilmeyi sağlar. Ayrıca beton karışımını oluşturan malzemelerde herhangi bir segregasyon olmadan kolayca karılabilmesini, yerleştirilebilmesini ve sıkıştırılabilmesini sağlar. Karışım suyu, çimento ile hidratasyona girerek zamanla taze betonun sertleşmesine neden olur.

Betonun dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden biri su/çimento oranıdır. Taze betonda, işlenebilirliği arttırmak için fazladan kullanılan su miktarı beton dayanımını büyük oranda azaltmakta ve yapının ömrünü kısaltmaktadır. Ayrıca, düşük pH’lı sular kullanıldığında çimento bileşimindeki kalsiyumda birtakım kimyasal bozulmalar meydana gelebilir (Wana vd., 2013).

Betona olumsuz yönde etki edebilecek, betonun prizine, dayanımına, dayanıklılığına ve görünümüne zarar verecek türde ve oranda yabancı madde içermeyen su, beton karışımı için uygun iyi kalitedeki sudur. TS EN 1008 (Beton, karma suyu, numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dâhil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları) Türk Standardına göre içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur tanımı yapılmış olup, bu tür sularda deney yapmaya gerek duyulmaz ifadesi kullanılmaktadır. Ancak, içerisinde fazla miktarda şeker ve gaz içeren sular içilebilmekte olup beton karışımı için uygun olmayabilir. Diğer bir yandan bazı sular içilemeyecek özellikte olmasına rağmen beton karışımında kullanılmaktadır. Birtakım deneyler yapılarak suyun uygun kalitede olup olmadığı belirlenmektedir.

3.6 Mineral Katkılar

Mineral katkıları, tek başlarına kullanıldıklarında bağlayıcı özelliği olmayan, çimento gibi öğütülmüş, toz halinde bulunan maddelere denir. Mineral katkıları; doğal malzemelerden, bir endüstri kolundan elde edilen yan ürünlerden ve ısıtılardan geçerek elde edilirler. Volkanik tüfler, traslar, diatomlu topraklar ve taş unu doğada bulunan doğal malzemelerdir. Uçucu küller, silis dumanı, yüksek fırın cürufu endüstrinin yan ürünü olarak elde edilir. Pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyil ise birtakım ısıtılarda işlemlere maruz kalan malzemelerdir.

Katkı malzemesi olarak bilinen malzemeler mutlaka çok ince taneli olması gerekir. Yukarıdaki malzemelerden uçucu kül ve silis dumanı gibi malzemeler yan ürün olarak elde edildiklerinde çok ince taneli olduğu için herhangi bir inceltme işlemi yapılmaz. Fakat doğada bulunan volkanik tuf, pişirilmiş kil gibi malzemeler ise öğütme işlemine tabi tutulup en az çimento tanelerinin inceliğine getirilmelidir. Beton karışımında kullanılan ince taneli mineral katkıları doğrudan karışıma ilave edilir. Karışımda olması gereken mineral katkı oranı betonda kullanılan çimento miktarının %5'ini geçmemelidir. Mineral katkıları istenilen özellikte beton üretimi yapılması açısından önemlidir. Özellikle beton içindeki boşlukları doldurarak dayanımı ve işlenebilirliği artırması, terleme, segregasyon, alkali-silika reaksiyonu nedeniyle oluşabilecek hacim değişikliğini ve su geçirgenliğinin azaltılması sağlanabilir. Ayrıca, çimento miktarı azaltılarak maliyet düşürülmektedir. Uçucu küller, silis dumanı, yüksek fırın cürufu gibi endüstrinin yan ürününden elde edilen

bu malzemelerle geri dönüşüm sağlanarak ülke ekonomisine katkı sağlanmakta olup çevre kirliliğini de azaltmaktadır.

3.6.1 Silis dumanı

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların ergime yöntemi ile elde edilmesi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı bir şekilde soğutularak yoğunlaştırılması sonucunda oluşan ve %85-%98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye silis dumanı adı verilir. Silis dumanı, yapısal olarak düzenli şekle sahip olmayan, ultra ince taneli ve yüksek miktarda camsı silis içeren bir yan üründür. Ayrıca bu özelliklerinden dolayı puzolonik malzemedir (Erdoğan, 2010).

Silis dumanı, yüksek dayanımlı beton elde etmek için kullanılan önemli bir katkı malzemesidir. Özellikle beton içindeki boşlukları doldurması, agrega-çimento hamuru arasındaki bağı kuvvetlendirmesi ve buna bağlı olarak betonun basınç dayanımını arttırması yapılan mekanik incelemeler sonucunda kanıtlanmıştır (Taşdemir, 1996).

Silis dumanının beton için olumlu etkilerinin yanında olumsuz etkileri de vardır. Silis dumanı kullanıldığında beton karışımının su ihtiyacı da artmaktadır. Su miktarının artması beton basınç dayanımını azaltmaktadır. Bu nedenle silis dumanı kullanımında su-çimento oranının azaltılması için akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kullanılmalıdır.

Beton karışımı için gerekli silis dumanı miktarı, kullanılan çimentonun, agreganın ve akışkanlaştırıcı katkı maddesinin tipine, miktarına ve bakım koşullarına bağlıdır (Jahren, 1993).

Silis dumanının yüksek dayanımlı beton üzerinde olumlu ve olumsuz etkileri vardır. Bunlar;

- Beton içindeki boşlukları doldurarak kısa zamanda betonun dayanımı arttırır.
- Taze betonda meydana gelen terlemeyi ve segregasyonu azaltır.
- Taze betonun hidratasyon ısını azaltır.
- Boşluksuz bir beton elde edildiği için sertleşen betonun su geçirimsizliğini azaltır.
- Sertleşmiş betonda oluşacak kimyasal reaksiyonları (alkali-silika reaksiyonu) azaltır.

- Beton karışımında silis dumanı kullanılması taze betonun su ihtiyacını arttırmaktadır. Bu nedenle su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmalıdır.

3.6.2 Uçucu kül

Elektrik üretimi yapılan termik santrallerde yakıt olarak öğütülmüş kömür kullanılmaktadır. Bunun sonucunda farklı yapılarda atık malzemeler ortaya çıkmaktadır. Kömürün yanması sonucu ortaya çıkan atık malzemelerin %75-%80'i gazlarla birlikte bacadan çıkmaktadır. Dolayısıyla gazların atmosfere bırakılmadan önce gazların içinde bulunan atık malzemeler toz toplama sistemi ile elde edilir (Erdoğan, 2010). Elde edilen ince taneli malzemelere uçucu kül denir. Uçucu küller küresel bir yapıda olup çapları 1-150 µm arasındadır. Yüksek dayanımlı beton üretiminde çimento yerine uçucu kül tercih edilmesinde uçucu küllerin, çok ince taneli ve puzolonik özellikte olması etkilidir. Uçucu küller tanelerinin küresel olması sayesinde taze betonun homojenliğini, kolay yerleşmesini ve sıkıştırılmasını sağlar. Ayrıca beton karışımında çimento miktarının azaltılması sonucu taze betonda oluşan hidratasyon ısını da düşürür. 2 tip uçucu kül vardır. Bunlar F ve C tipi olarak adlandırılır. Kütle betonlarında, silindirle sıkıştırılabilen betonlarda ve hafif beton üretiminde yüksek oranda uçucu kül kullanılmaktadır.

3.7 Kimyasal Katkılar

Yüksek dayanımlı beton elde etmek için agrega, çimento ve su dışında bazı malzemeler kullanılmaktadır. Özellikle taze betonun fiziksel özelliklerini değiştirmek için, karılma esnasında çimento kütlesine oranla az miktarda eklenen bu malzemeler kimyasal katkıları olarak adlandırılmaktadır. Kimyasal katkıların kullanılmasındaki amaçlar arasında;

- Taze betonun karılma ve kalıplara yerleştirme aşamasında işlenebilirliğini ve kolay bir şekilde sıkıştırılmasını sağlamak.
- Sertleşmiş betonun geçirgenlik özelliğini azaltarak dış etkilere karşı hem betonun hem de beton içindeki donatıyı korozyona karşı korumak.
- Betonda çok soğuk veya çok sıcak hava şartlarında oluşabilecek donma ve çözölmeye karşı dayanımını arttırmak.
- Betonarme yapıların servis ömrünü uzatarak zamana karşı dayanımı ve dayanıklılığı arttırmak gösterilebilir.

Farklı işlevi olan birçok kimyasal katkı çeşidi bulunmaktadır. Bunlardan ilki, su azaltıcı olarak kullanılan akışkanlaştırıcı katkı maddeleridir. Yüksek dayanımlı beton elde etmek için taze betondaki su miktarı azaltılarak dayanım arttırılırken betonda daha az su kullanılması betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ilave edilerek betonun istenilen özellikte işlenebilirliği ve kıvamının oluşması sağlanır. Akışkanlaştırıcılar, kendi içerisinde azalttığı su miktarına göre normal ve süper akışkanlaştırıcılar olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Bir diğer kimyasal katkı çeşidi priz geciktiricilerdir. Priz geciktiriciler, olumsuz hava şartlarında (sıcak havalarda, rüzgâr hızının yüksek ve havadaki nem miktarının düşük olduğu durumlarda) tercih edilir. Çünkü taze betonun, sertleşmeden önce kalıplara taşınıp yerleştirilmesi ve üzerinin düzeltilmesi gerekir. Priz geciktiricilerde, betonda hızlı sertleşmeden dolayı meydana gelebilecek olumsuz etkileri minimuma indirir. Priz geciktiriciler, taze betonun sertleşme süresini uzatırken priz hızlandırıcılar ise taze betonun sertleşme süresini kısaltır. Beton dökümü soğuk havalarda yapılıyorsa betonun priz alma süresi daha uzun ve ilk dayanımı düşüktür. Priz hızlandırıcılar, soğuk havalarda dökülen beton üzerinde meydana gelebilecek olumsuz etkileri engeller. Ayrıca bu katkı malzemesi, betonda meydana gelen hidratasyonun daha hızlı gerçekleşmesini ve betonun hızlı dayanım kazanmasını sağlar.

Hava sürükleyici katkı maddeleri, betonun dona karşı dayanıklılığını ve işlenebilirliğini artırmak için kullanılan katkı maddeleridir. Soğuk havalarda beton içindeki boşluklarda bulunan suyun donarak genişmesi beton içinde gerilmelere neden olur. Bu gerilmeler sonucunda betonda istenmeyen kılcal çatlaklar oluşur. Hava sıcaklığının artması ile beton içindeki buzlar çözünür ve genişleme sona erer. Bu donma-çözünme olayı hava sıcaklığı değiştikçe devir daim eder ve yeni çatlaklar oluşur eski çatlaklar büyür. Bu da beton dayanım ve dayanıklılığını azaltır. Bu katkılar bu tür olayların oluşmasını engelleyerek beton dayanımını ve işlenebilirliğini arttırmaktadır. Ayrıca, betonda oluşacak terlemeyi ve segregasyonu da azaltmaktadır.

Eğer beton üretiminde birden fazla katkı maddesi bir arada kullanılacaksa, bu katkıların birbirine olumsuz etkiler yapmamasına dikkat edilmelidir. TS EN 206'nın 5.2.6 maddesinde, kimyasal katkıların kullanım miktarlarına sınırlama getirilmiş olup 1 kg çimento için kullanılacak katkı malzemesi miktarı 50 gramı geçmemelidir.

3.7.1 Hiper akışkanlaştırıcı

Yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için öncelikle beton boşluksuz ve geçirimsiz olmalıdır. Bunun için çimento hamurunda oluşan kılcal boşluklar en aza indirilerek su/çimento oranı azaltılmalıdır. Taze betonda su/çimento oranının azaltılması dayanımı arttırır fakat işlenebilirliği azaltır. İşlenebilirliği arttırmak için hiper akışkanlaştırıcı malzemeler kullanılmaktadır. Böylece su/çimento oranı düşük, işlenebilirliği fazla ve daha yüksek dayanımlı beton elde edilmektedir. Seçilen kimyasal katkı malzemelerinin karışımdaki miktarlarına dikkat edilmelidir. Katkı maddeleri uygun miktarlarda kullanılmazsa betona zarar verebilir. Akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin kullanılmasının beton için yararlı ve zararlı etkileri vardır. Beton için zararlı etkisi betonda rötre çatlaklarının oluşmasını sağlaması olarak ifade edilebilirken birçok faydalı etkisi aşağıda sıralanmıştır.

- Yüksek dayanımlı beton elde edilir.
- Betonun basınç dayanımını %10' dan fazla arttırabilir, daha sıkı bir beton elde edilerek donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı artar, geçirimsizliliği sağlanır ve yüzey görünümü düzgün bir şekil alır (Yazıcı, 2002).
- Betonun kıvamı akıcı olduğu için işlenebilirliği artar böylece betonun karılmasını kolaylaştırır ve betoniye çeperine yapışmasını azaltır.
- Beton karışımındaki malzemelerin ayrışmasını önler.
- Beton kolay pompalanabilir, bu da işçiliği kolaylaştırır.
- Karışım içindeki çimento oranı azaldığı için maliyet azalır.
- Betonun priz süresi uzayabilir ve betonda rötre artabilir.

4. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

Çeşitli gözlemlerde farklı değerler alabilen rastgele bir değişkenin, aldığı değerlere bağlı olarak olasılık dağılımları tanımlanabilir. Olasılık dağılımlarının başlıca istatistik özelliklerini yansıtan büyüklüklere parametre denir. Gerçekleşen olayların tümünü gözlemlemenin mümkün olmamasından dolayı parametrelerin gerçek değerleri bilinmemektedir. Bu nedenle eldeki verilerden, tahmin yapılarak gerçeğe en yakın sonuca ulaşılmaktadır. Tahmin sonucu elde edilen bu değerlere istatistikler denir. En çok kullanılan tahmin yöntemleri; istatistiksel momentler, maksimum olabilirlik ve L momentler yöntemidir (Bayazıt ve Oğuz, 2013).

4.1 Bir Rastgele Değişkenin İstatistiksel Momentleri

4.1.1 Ortalama

Bir rastgele değişkenin, dağılımını etkileyen en önemli özelliği dağılımın merkez değeridir. Değişkenin alabileceği bütün değerlerin etrafında kümелendiği değer dağılımın merkez değerini gösterir. Ortalama dağılım merkez değeri olup 1.dereceden istatistik momenttir. Sürekli değişkenler için denklem 4.1'deki gibi gösterilir. Denklemdaki μ_x rastgele değişkenin ortalama değerini ifade eder.

$$\mu_x = E(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x)dx \quad (4.1)$$

Kesikli değişkenler için ise;

X rastgele değişkenin topluluğundan alınan N elemanlı $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ bir örneğin μ_x ortalama değerini gösteren istatistik değeri:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (4.2)$$

formülüyle hesaplanır.

4.1.2 Varyans

Ortalama değeri, rastgele değişkenin merkez değerini vermekle birlikte merkez etrafındaki yayılma ile ilgili herhangi bir bilgi vermemektedir. Merkez etrafındaki yayılmayı ölçmek için kullanılan parametre varyanstır. Ayrıca 2. mertebeden merkezsiz moment olarak da ifade edilir.

Varyans, elde edilen gözlem verilerinin, hesaplanan ortalama değerden çıkarılarak karelerinin toplamının ortalaması alınarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Var}(x) = \sigma_x^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu)^2 f(x) dx \quad (4.3)$$

Rastgele değişken olan x 'in topluluğundan alınan N elemanlı $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ bir örnek için varyansını gösteren istatistik değeri:

$$\text{Var}(x) = s_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.4)$$

formülüyle hesaplanır. Eğer örnekteki eleman sayısı 30'dan küçük ise formülde N yerine $N-1$ bölünmesi gerekir.

4.1.3 Standart sapma

Standart sapma, varyansın karekökü olarak ifade edilir ve aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(x)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.5)$$

Standart sapma ile yayılımın büyüklüğü arasında her zaman doğru orantı vardır. Standart sapma değeri arttıkça dağılımın ortalama değer etrafındaki yayılımı da artar.

4.1.4 Değişkenlik (Varyasyon) katsayısı

Ortalama değeri farklı olan rastgele iki değişkenin yayılım değerlerini hesaplamak için değişkenlerin standart sapma değerlerini kıyaslamak sonuca ulaştırmayabilir. Bu durumda değişkenlik (varyasyon) katsayısı kullanılmalıdır. Değişkenlik katsayısı boyutsuz bir büyüklük olup standart sapmanın ortalamaya oranı olarak tanımlanmaktadır. Değişkenlik katsayısının büyük olması, rastgele ortalama değer etrafındaki değişimin büyük olması anlamına gelmekte olup aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$C_{vx} = \frac{\sigma_x}{\mu_x} \quad (4.6)$$

Rastgele değişken olan x 'in topluluğundan alınan N elemanlı $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ bir örnek için C_{vx} değişkenlik katsayısını gösteren istatistik değeri:

$$C_{vx} = \frac{s_x}{\bar{x}} \quad (4.7)$$

formülüyle bulunur.

4.2 Parametre Tahmin Yöntemleri

Kullanılacak olan dağılım fonksiyonunu uygulanacak örneğe uydurmak için fonksiyonun parametrelerinin değerlerini mevcut veriler göz önünde bulundurularak tahmin edilmelidir. Parametrelerin tahmini için kullanılan çeşitli yöntemler vardır. Bu yöntemler; momentler, maksimum olabilirlik ve L momentler yöntemleridir. Momentler yöntemine göre dağılımın parametreleri, rastgele değişkenin istatistik momentlerinin tahmin edilen değeri kullanılarak hesaplanır. Bu yöntemde elde edilen parametre tahmin değerleri normal dağılım dışında diğer dağılımlar için etkin tahmin sonucu vermemektedir. Fakat hesaplarda kullanımı kolay olduğu için en çok tercih edilen yöntemdir. Maksimum olabilirlik yönteminde ise kullanılacak dağılım fonksiyonuna göre gözlemlenen olayların gerçekleşme olasılıklarını maksimuma çıkaran parametre değerleri hesaplanır. Bu yöntem etkin tahminler vermesine rağmen uygulanması zor olduğundan kullanımı azdır. L momentler yöntemi momentler yöntemine göre daha az hata verir ve uygulanması kolay bir yöntemdir. L momentler yöntemi olasılık ağırlıklı momentlerin lineer fonksiyonu olduğu için olasılık ağırlıklı momentler cinsinden hesapları yapılabilir. (Bayazıt, 1981).

4.3 Olasılık Dağılım Fonksiyonları

4.3.1 Normal dağılım

Normal veya Gauss dağılımı şeklinde ifade edilen bu dağılım en önemli olasılık dağılımlarından biridir. Çevremizde görülen doğa ve toplumsal olaylardan elde edilen rastgele değişkenlerin birçoğunun normal dağılıma uyması merkez limit teoremi ile açıklanabilir. Merkez limit teoremine göre; n adet bağımsız değişkenin toplamı, rastgele bir değişken olan X 'e eşit oluyorsa ve n büyüdükçe X 'i oluşturan

değişkenlerin dağılımı ne şekilde olursa olsun hızla normal dağılıma yaklaşır. Normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu;

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right] \quad \sigma > 0, \quad -\infty < x < +\infty \quad (4.8)$$

Yukarıda; normal dağılımın μ_x ve σ^2 olan iki parametresi vardır. μ_x , rastgele x değişkenin ortalama değerini, σ^2 ise dağılımın varyansıdır.

Normal dağılım olasılık yoğunluk fonksiyonu, ortalamaya göre simetriktr. Simetrik bir dağılıma sahip olduğu için mod ve medyan değerleri de ortalamaya eşittir.

Normal dağılımın eklenik dağılım fonksiyonu analitik olarak hesaplanamayacağı için sayısal integrasyon yoluyla hesaplanıp tablo haline getirilmiştir. Tek bir tablo oluşturabilmek için rastgele değişken aşağıdaki şekilde standart değişken haline getirilmiştir.

$$z = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x} \quad (4.9)$$

standart değişken boyutsuz bir büyüklük olup ortalaması 0 (sıfır) ve standart sapması 1'e eşittir.

4.3.2 Log-normal dağılım

Log-normal dağılım, normal dağılıma uymayan değişkenlerin, logaritmaları alınarak normal dağılıma dönüştürülmesidir. X rastgele değişkenine, $y=\ln x$ şeklinde logaritmik dönüşüm uygulandığında dönüştürülmüş y değişkeninin dağılımı normal dağılıma uyuyorsa x 'in dağılımına log-normal dağılım denir. Bu dağılım pozitif çarpık bir dağılım olup pozitif değerlerin logaritması hesaba katıldığı için x sadece pozitif değerler alabilir.

Log-normal dağılımında μ aritmetik ortalama ve σ standart sapma aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$\mu_x = \exp\left(\mu_y + \frac{\sigma_y^2}{2}\right) \quad (4.10)$$

$$\sigma_x^2 = \mu_x^2 [\exp(\sigma_y^2) - 1] \quad (4.11)$$

Log-normal dağılımda x 'in olasılık yoğunluk fonksiyonu aşağıda gösterilen eşitlikle bulunur:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\ln x - \mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right] \quad x > 0 \quad (4.12)$$

4.3.3 Gamma dağılımı

Birçok alanda uygulama alanı bulan gamma dağılımı çarpık bir dağılımdır. Gamma dağılımının olasılık yoğunluk fonksiyonu:

$$f(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x} \quad x > 0 \quad (4.13)$$

Şeklinde tanımlanmakta olup $\Gamma(\alpha)$ gamma fonksiyonudur. Gamma dağılımı α biçim parametresi ile değişmektedir. α parametresinin değeri attıkça gamma dağılımı normal dağılıma yaklaşmaktadır.

Log-normal dağılımda olduğu gibi gamma dağılımı da sadece değişkenin pozitif değerleri için ifade edilmiştir. Fakat bu dağılımın bir parametreye sahip olması gözlenen frekans dağılımlarına uydurulamadığı için iki ve üç parametrelili gamma dağılımı tanımlanmasına neden olmuştur.

İki parametrelili gamma dağılımı oluşturmak için x yerine ölçek parametresi olan x/β yazılır:

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0, \quad \beta > 0 \quad (4.14)$$

İki parametrelili gamma dağılımının parametreleri aritmetik ortalama $\mu_x = \alpha\beta$ ve $\text{Var}(X) = \alpha\beta^2$ dir.

4.3.4 Gumbel dağılımı

Ekstrem değer dağılımına göre, çok sayıda rastgele değişkenin en büyük ve en küçük gözlemleri dikkate alınmaktadır. Günümüzde ekstrem dağılımlardan en çok tercih edilen olasılık dağılımı Gumbel dağılımıdır. Gumbel dağılımı log-normal bir dağılım olup sabit bir çarpıklığa sahiptir.

Bu dağılımın eklenik dağılım fonksiyonu:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \{ -\exp[-\alpha(x - \beta)] \} \quad (4.15)$$

Şeklinde tanımlanır. Momentler yöntemine göre;

$$\mu_x = \beta + \frac{0.577}{\alpha}, \quad \sigma_x = \frac{1.282}{\alpha} \quad (4.16)$$

gumbel katsayıları hesaplanır.

4.4 Olasılık Dağılımı İle İlgili Uygunluk Testleri

Elde edilen gözlem sonuçlarının hangi olasılık dağılım fonksiyonuna uyduğu istatistik metotlarla belirlenir. Olasılık dağılım fonksiyonlarının gözlenmiş verilere uygunluğunu test etmek için birçok test yöntemleri vardır. Bu test yöntemlerinden bazıları; Ki-Kare (χ^2) testi, Kolmogorov-Smirnov (K-S) testi, Anderson-Darling ve olasılık çizgisi korelasyon (PPCC) testidir. Bu çalışmada Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare testi kullanılacaktır.

4.4.1 Kolmogorov-Smirnov testi

K-S testi olarak da adlandırılan bu test Kolmogorov-Smirnov tarafından geliştirilmiştir. Kolmogorov-Smirnov, gözlenmiş eklenik frekans dağılımının teorik bir dağılıma uygunluğunun kontrolünde kullanılmaktadır. Bu teste göre kullanılan istatistik:

$$\Delta = \max_i |F(x_i) - Q(x_i)| \quad (4.16)$$

Şeklinde ifade edilmiştir. Burada eklenik olasılık fonksiyonu $F(x_i)$, teorik dağılımın eklenik olasılık fonksiyonu $Q(x_i)$ ile gösterilmekte olup $Q(x_i) = i/N$ ($i=1,2,3,...,N$) formülüyle hesaplanmaktadır. Δ istatistiği, gözlenen ve teorik eklenik dağılımları arasındaki maksimum farktır. Rastgele değişkenin dağılımından bağımsız olan Δ istatistiğinin dağılımı örnekteki N eleman sayısına bağlıdır. Bulunan Δ değeri kritik değerden küçükse dağılımın uygunluğu kabul edilir; aksi durumda dağılımın uygunluğu reddedilir. Çizelge 4.1’de Kolmogorov-Smirnov testinin Δ_α kritik değerleri verilmiştir.

Çizelge 4.1: K-S testinin Δ_α kritik değerleri.

N	A			
	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
>50	$\frac{1.07}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1.63}{\sqrt{N}}$

4.4.2 Ki-kare testi

Ki-kare testinin temeli, gözlenen değer ile beklenen değer arasındaki farkın istatistiksel açıdan ne anlama geldiğine dayanır. Ki- kare testini hesaplamak için rastgele bir değişkenin N elemanlı örneği m gruba bölünür ve her bir gruptaki N_i ($i=1,2,3,\dots,m$) eleman sayısı hesaplanır. Aynı grupta bulunma olasılıkları p_i ile ifade edilirse, ki-kare denklemi:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - N_{pi})^2}{N_{pi}} \quad (4.17)$$

Şeklinde hesaplanır. χ^2 dağılımının serbestlik derecesi $m-1$ 'dir. Burada N_i = gözlenen değeri, N_{pi} = teorik dağılıma göre beklenen değeri göstermektedir. Eğer gözlenen değer sayısı ile beklenen teorik sayı birbirine eşit olursa $\chi^2=0$ olurken aradaki farkın artmasıyla birlikte χ^2 değeri de artar. Hesaplanan χ^2 değeri, $m-1$ serbestlik derecesine göre aşılma olasılığı α olan χ^2_α değerinden küçükse dağılımın seçilen dağılıma uygunluğu kabul edilir, aksi durumda reddedilir.

5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Giriş

Bu çalışmada, Türkiye’de üretilen ve uygulamada kullanılan yüksek dayanımlı betonların kalitesini incelemek için farklı illerden temin edilen 7 ve 28 günlük toplam 11354 adet beton numunelerinin basınç dayanım sonuçları kullanılmıştır. Elde edilen veriler İstanbul, İzmir, Adana, Bursa ve Kahramanmaraş illerinde faaliyet gösteren yapı laboratuvarlarından ve beton santrallerinden elde edilmiştir. Elde edilen numune sonuçları C40 ve C80 arasında değişen beton sınıflarında olup hazır beton fabrikalarında üretilmiştir. Yetkili kişiler tarafından beton numuneleri, şantiyede standart 150x150x150 mm küp veya 15x30 mm silindir kalıplara alınarak laboratuvar da deneye tabi tutularak basınç dayanım değerleri bulunmaktadır. Bu numuneler, yetkili kişiler tarafından laboratuvara getirilip kür havuzlarında belli sıcaklıklarda bekletildikten sonra, pres makinelerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri ölçülmüştür. İlgili standart ve yönetmeliklere, beton üretiminden laboratuvar ortamındaki bütün aşamalara kadar olan süreçte uymak, ortaya çıkacak belirsizlikleri en alt seviyeye çekmede önemli bir kriterdir.

Çizelge 5.1’te farklı illerden ve firmalardan elde edilen C40 beton sınıfına ait 28 günlük küp ve silindir numuneler bina bina ayrılarak ortalama dayanım değerleri, standart sapmaları ve değişkenlik katsayıları verilmiş olup değişkenlik katsayısı, standart sapmanın ortalama dayanım değere bölünmesiyle elde edilmiştir. Yüksek katlı bina (YKB1), 33 katlı; YKB2, 32 katlı bir bina olup numuneler döşemeden, asansör perdesinden ve kolonlardan alınmıştır. Bu yapılara ait basınç dayanım değerleri T5 yapı laboratuvarında hesaplanmıştır. YKB3, Zemin+20 katlı; YKB4 ve YKB5 iki bloklu 33’er katlı; Konut4, 6 katlı bir yapı olup İstanbul’da inşa edilmişlerdir. T5 yapı laboratuvarında 7 ve 28 günlük eksenel basınç dayanım deneyleri yapılmıştır. Bursa’da otel olarak yapılan binada C40 betonu kullanılmış olup 28 günlük 244 adet küp numune sonuçları değerlendirilmiştir. İzmir’de yapılmış olan Konut1 binasında ve İzmir metrosunda C40 betonu kullanılmış olup 28 günlük 24’er adet küp numune sonucu temin edilmiştir. Konut2, 23 katlı bir bina olup

İstanbul Beylikdüzü'nde inşa edilmiştir. Bu binadan alınan 28 günlük küp numuneler 168 adet olup C40 beton sınıfı tercih edilmiştir. Adana Oyak firmasından alınan veriler Konut3 binasına ait olup C40 beton sınıfı kullanılmıştır.

Batı Karadeniz'de yapılan 4 katlı alışveriş merkezi inşaatına ait deney sonuçları Betonsa firmasından temin edilmiş olup 28 günlük 112 adet küp numune sonucu değerlendirilmiştir. Yüzyılın projesi olarak adlandırılan, Avrupa ve Asya Kıtasını birbirine demiryolu ile bağlayan, Marmaray Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi inşasında kullanılan C40 betonundan 902 adet silindir numune hesaplara dâhil edilmiştir.

Çizelge 5.1'te C40 beton sınıfına ait bütün yapılara ait istatistiksel sonuçları verilmiştir. Buna göre, numuneleri küp olan yapıların ortalama dayanım değeri 50 MPa'nın, numuneleri silindir olan yapıların da ortalama dayanım değeri 40 MPa'nın üstünde çıkmıştır. Sadece Konut4 yapısının ortalama basınç dayanım değeri 39.20 MPa olduğu ve numunelerin %45.25'inin sınır değerin altında kaldığı görülmektedir. Konut1, Konut3, Metro, Avm ve Marmaray yapılarından elde edilen numune sonuçlarına göre 40 Mpa'nın altında basınç dayanım değeri bulunmamaktadır. C40 beton sınıfında en düşük değişkenlik katsayısı Avm inşaatına aittir. Yüksek katlı binalarda kullanılan betonun, değişkenlik katsayısı konutlara göre daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 5.1: Bina tipine göre 28 günlük C40 beton örneklerinin istatistiksel sonuçları.

Bina tipi	Numune sayısı	Silindir/Küp dayanımı (N/mm ²)	Ortalama dayanım (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Değişkenlik katsayısı	Sınır altındaki numune sayısı	Sınır altındaki numunelerin oranı (%)
Konut1	24**	50	54.44	2.559	0.047	0	0
Konut2	168**	50	55.09	3.986	0.072	8	4.76
Konut3	22**	50	55.31	2.573	0.047	0	0
Konut4	179***	40	39.20	2.167	0.055	81	45.25
YKB1*	1116**	50	51.17	4.890	0.095	430	38.53
YKB2*	403**	50	51.87	4.530	0.087	109	27.05
YKB3*	41***	40	45.44	6.094	0.134	7	17.07
YKB4*	67***	40	47.39	6.030	0.127	5	7.46
YKB5*	68***	40	45.50	5.380	0.118	9	13.23
Otel	244**	50	54.44	5.159	0.095	29	11.88
Metro	24**	50	60.31	4.512	0.075	0	0
Avm	56**	50	54.93	2.010	0.037	0	0
Marmaray	902***	40	59.90	6.729	0.112	0	0

*Yüksek katlı bina, **Küp numune sonuçları, ***Silindir numune sonuçları

Çizelge 5.2’de C50 beton sınıfına ait 8 bina incelenmiştir. Elde edilen veriler silindir numune sonuçlarıdır. Konut1, Adana’da yapılmış olup deney sonuçları Adana Oyak betondan; Konut2, İstanbul’da inşa edilmiş olup 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleri İstanbul yapı laboratuvarından; Konut3 binasına ait veriler İstanbul Nuh Beton firmasından; YKB1, İstanbul’da inşa edilmiş olup deney sonuçları Betonsa firmasından alınmıştır. YKB1, 430 adet rezidans daire ve ofisten oluşmaktadır. YKB2, İstanbul’da 227 metre yüksekliğindeki Spine Tower inşaatından temin edilen 28 günlük 55 adet numune sonuçları değerlendirilmiştir. YKB3, İstanbul’da çok katlı bir yapı olarak inşa edilmiştir. Bu binaya ait eksenel basınç deneyleri T5 yapı laboratuvarında yapılmıştır. Kahramanmaraş’ta baraj inşaatında kullanılan C50 beton sınıfına ait 36 adet 28 günlük numune sonuçları Çimsa beton firmasından temin edilmiştir. Marmaray Demiryolu Boğaz Tüp Geçiş inşaatında, istasyonlar ve tüplerde kalıcı beton olarak C50 betonu tercih edilmiştir.

Çizelge 5.2’te de C50 beton sınıfına ait yapıların istatistiksel sonuçları verilmiştir. Her bir binanın ortalama basınç dayanım değerleri, standart sapmaları ve değişkenlik

katsayıları hesaplanmış olup değişkenlik katsayısı, standart sapmanın ortalama dayanım değere bölünmesiyle elde edilmiştir. Bu yapılardan alınan numuneler silindir kalıplara alınmış olup 7 adet (Konut1, Konut2, Konut3, YKB1, YKB2, Baraj ve Marmaray) binanın ortalama basınç dayanım değeri 50 Mpa'ın üstündedir. Sadece YKB3'ün ortalama basınç dayanım değeri 50.02 Mpa olduğu ve numunelerin %48.17'sinin sınır değerinin altında kaldığı görülmektedir. Ayrıca YKB3'ün değişkenlik katsayısı en fazladır. Konut1, Konut2, Konut3, YKB2 ve Baraj yapılarından elde edilen numune sonuçlarına göre 50 Mpa'ın sınır altında basınç dayanım değeri bulunmamaktadır. C50 beton sınıfında en düşük değişkenlik katsayısı Baraj inşaatına aittir.

Çizelge 5.2: Bina tipine göre 28 günlük C50 beton örneklerinin istatistiksel sonuçları.

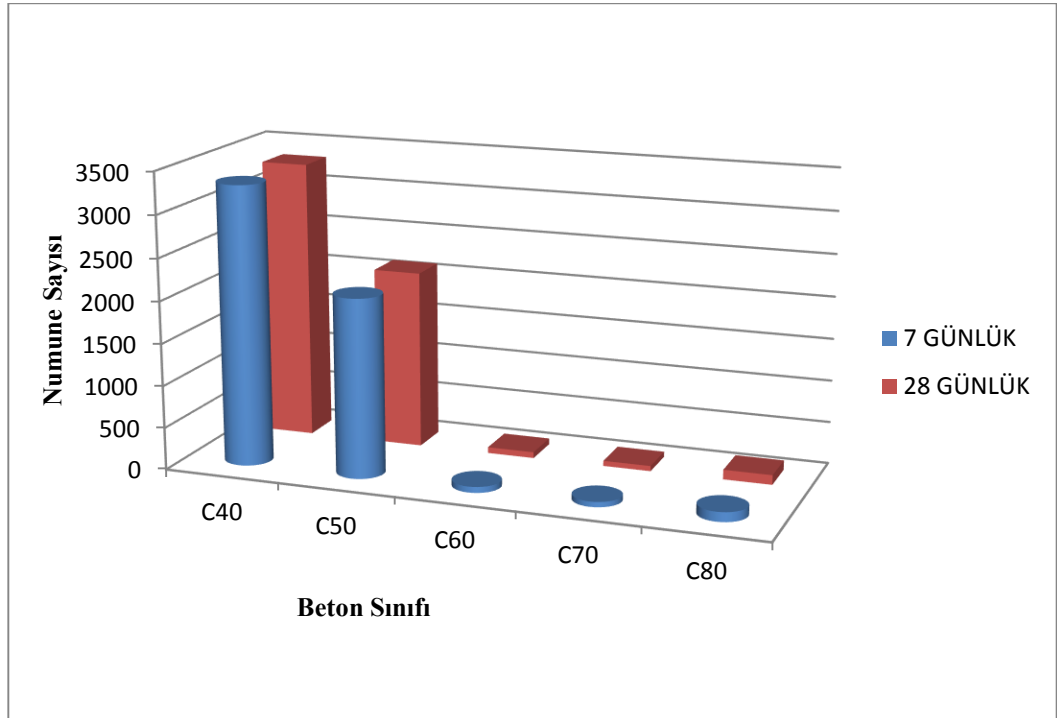
Bina tipi	Numune sayısı	Silindir dayanımı (N/mm ²)	Ortalama değer (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Değişkenlik katsayısı	Sınır altındaki numune sayısı	Sınır altındaki numunelerin oranı (%)
Konut1	24	50	64.13	2.050	0.031	0	0
Konut2	132	50	62.76	4.250	0.067	0	0
Konut3	143	50	59.20	6.350	0.107	0	0
YKB1*	135	50	55.99	4.520	0.081	2	1.48
YKB2*	55	50	71.10	4.030	0.056	0	0
YKB3*	984	50	50.02	8.010	0.160	474	48.17
Baraj	36	50	65.50	1.970	0.030	0	0
Marmaray	602	50	58.70	5.850	0.099	18	2.99
*Yüksek katlı bina							

C60, C70 ve C80 beton sınıfına ait veriler sadece bir binadan yani Spine Tower'dan elde edilen sonuçlardır. Numunelerin laboratuarda kırılması sonucu elde edilen veriler beton sınıflarına göre ayrılarak 7 ve 28 günlük numune sayıları, yüzdelik oranları Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. 7 ve 28 günlük en fazla numune C40 beton sınıfına ait olup tüm numunelerin yaklaşık %58'ni oluşturmaktadır.

Çizelge 5.3: Her beton sınıfı için 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarının frekansları.

Beton sınıfı	Numune Sayısı		Frekans		Eklenik Frekans	
	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
C40	3314	3314	0.5842	0.5833	0.5842	0.5833
C50	2119	2111	0.3721	0.3730	0.9563	0.9563
C60	71	71	0.0125	0.0125	0.9688	0.9688
C70	62	62	0.0109	0.0109	0.9797	0.9797
C80	115	115	0.0203	0.0203	1.0000	1.0000

Şekil 5.1'de her bir beton sınıfına ait numunelerin 7 ve 28 günlük beton numune sayıları verilmiştir. En fazla numune sayısı C40, en az numune sayısı ise C70 betonuna aittir.



Şekil 5.1: Beton sınıflarına göre 7 ve 28 günlük beton numune sayıları.

Şekil 5.2'de her bir beton sınıfına (C40, C50, C60, C70 ve C80) ait 7 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Değerlendirmede tüm binalardan elde edilen sonuçlar dikkate alınarak basınç dayanım aralıkları oluşturulmuştur.

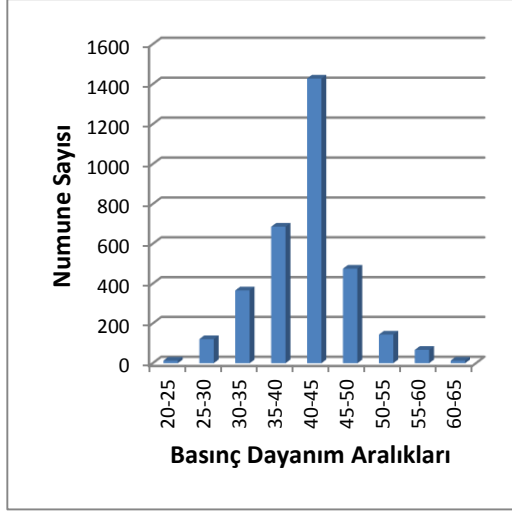
Şekil 5.2a'da C40 beton sınıfına ait 7 günlük 3314 adet numunenin değerlendirilmesi sonucunda; 1187 adet numunenin 40 MPa altında, 2127 adet numunenin ise 40 MPa ve üstünde bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca Şekil 5.2b'de C50 beton sınıfına ait 7 günlük 2119 adet numunenin değerlendirilmesi sonucunda; 15-20 MPa aralığında 5, 20-25 MPa aralığında 23, 25-30 MPa aralığında 90, 30-35 MPa aralığında 176, 35-40 MPa aralığında 361, 40-45 MPa aralığında 577, 45-50 MPa aralığında 501, 50-55 MPa aralığında 195, 55-60 MPa aralığında 115 ve 60-65 MPa aralığında ise 76 adet numune olduğu tespit edilmiştir. Kullanılan verilerin 35-55 MPa aralığında yoğunlaştığı görülmektedir. Burada C50 betonun kazanacağı dayanımın önemli bir kısmını 7 gün içerisinde aldığı sonucuna ulaşılmaktadır. Bunun nedeni beton üretiminde kullanılan çeşitli katkı maddelerinin beton priz süresini kısaltmasıdır.

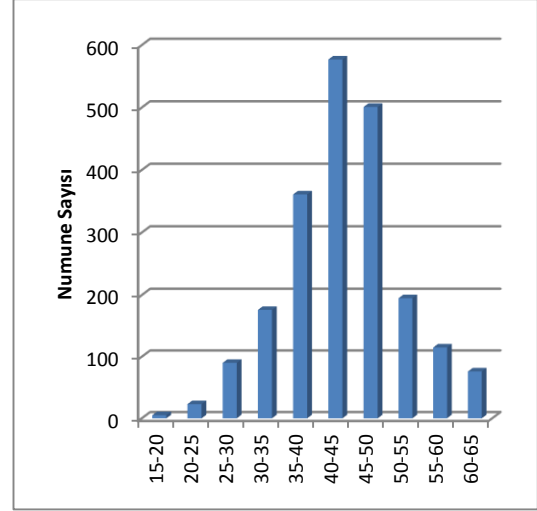
Şekil 5.2c'de C60 beton sınıfına ait toplam 71 adet numunenin 7 gün sonunda kazandıkları basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Deneye tabi tutulan numunelerin kazandığı en düşük dayanım 40-45 MPa aralığında, en yüksek dayanım değeri ise 65-70 MPa aralığındadır. Numunelerin %43.66'sının 50-55 MPa aralığında dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir.

Şekil 5.2d'de C70 beton sınıfına ait toplam 62 adet 7 günlük numune deney sonuçlarının belli aralıklara göre dağılımı gösterilmiştir. Deney sonucunda, 40-45 MPa aralığında 4, 45-50 MPa aralığında 5, 50-55 MPa aralığında 24, 55-60 MPa aralığında 20 ve 60-65 aralığında ise 9 adet olduğu görülmektedir.

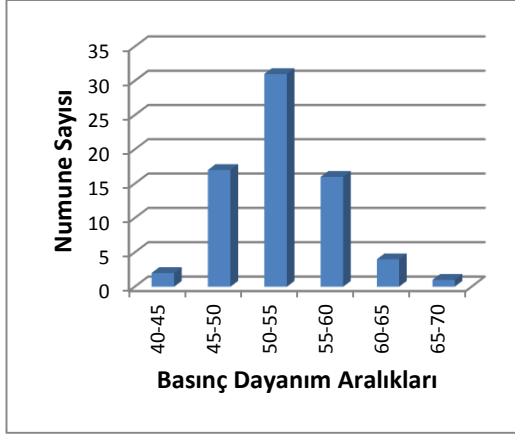
Şekil 5.2e'de C80 beton sınıfına ait toplam 115 adet numunenin 7 gün sonunda kazandıkları basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Deneye tabi tutulan numunelerin kazandığı en düşük dayanım 55-60 MPa aralığında, en yüksek dayanım değeri ise 75-80 MPa aralığındadır. Numunelerin %93.9'unun 65-80 bandı arasında kaldığı tespit edilmiştir.



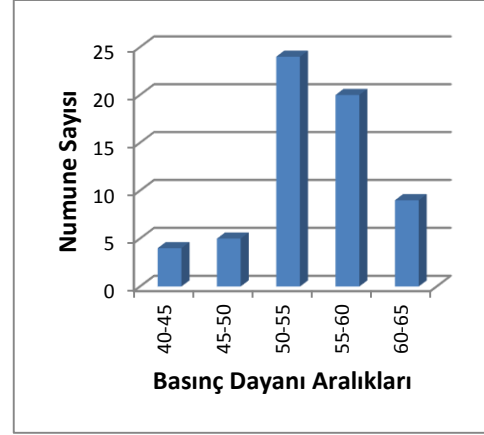
a) C40 Beton Sınıfı



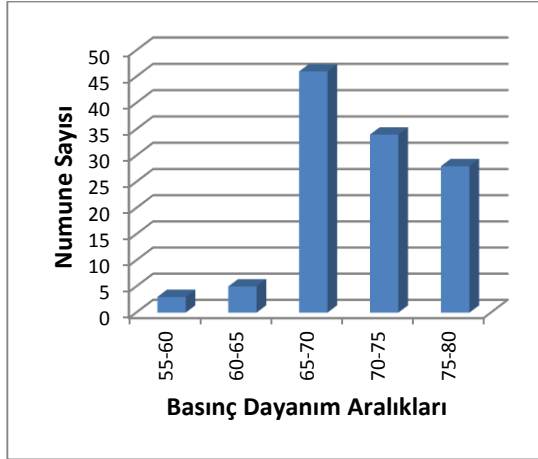
b) C50 Beton Sınıfı



c) C60 beton sınıfı



d) C70 beton sınıfı



e) C80 beton sınıfı

Şekil 5.2: C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarına ait 7 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları (MPa).

Şekil 5.3'de C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarının 28 gün sonunda kazandıkları basınç dayanım değerlerinin sonuçları verilmiştir. Grafiklerdeki beton basınç dayanım aralıkları, beton sınıflarına ait tüm binalardan elde edilen sonuçlardır.

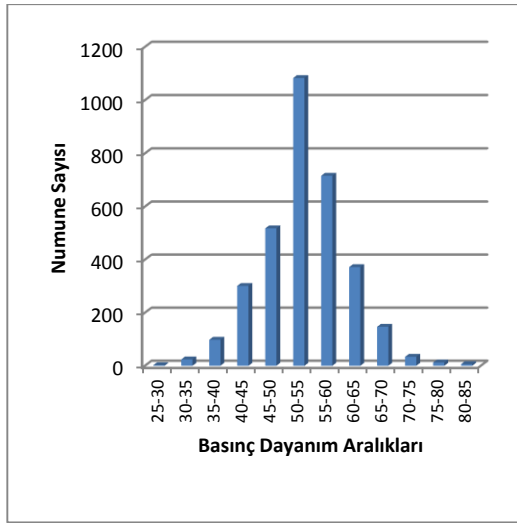
Şekil 5.3a'da C40 beton sınıfına ait 28 günlük 3314 adet numunenin değerlendirilmesi sonucunda; 124 adet numunenin 40 MPa altında, 3190 adet numunenin ise 40 MPa ve üstünde bir dayanıma sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5.3b'de C50 beton sınıfına ait 28 günlük 2111 adet numune basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Bunun sonucunda, 494 adet numune 50 MPa altında, 1617 adet numune ise 50 MPa ve üstünde bir dayanım kazanmıştır. Elde edilen C50 beton sınıfına ait verilerin %76.5'i standartlarda belirtilen dayanımı sağlamıştır.

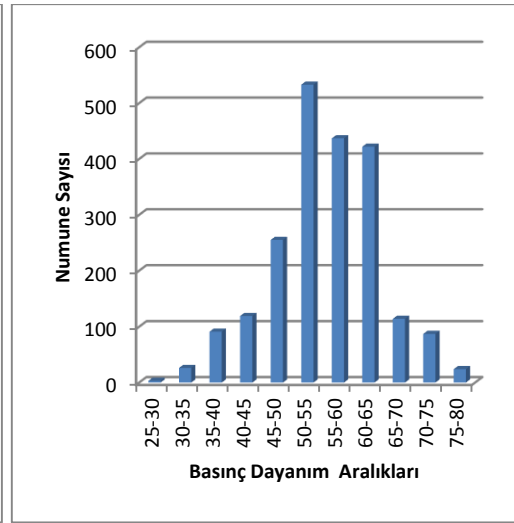
Şekil 5.3c'de C60 beton sınıfına ait toplam 71 adet numunenin 7 gün sonunda kazandıkları basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Deneye tabi tutulan numunelerin kazandığı en düşük dayanım 60-65 MPa aralığında, en yüksek dayanım değeri ise 75-80 MPa aralığındadır. Numunelerin hepsi sınır değer olan 60 MPa ve üzerinde dayanım değerine sahiptir.

Şekil 5.3d'de C70 beton sınıfına ait toplam 62 adet 28 günlük numune basınç dayanım deneyine tabi tutulmuştur. Deney sonucunda, numunelerin kazandığı en düşük dayanım 45-50 MPa aralığında, en yüksek dayanım değeri ise 80-85 MPa aralığındadır. Numunelerin %37.09'u 28 gün sonunda 75-80 MPa aralığında dayanım kazanmıştır.

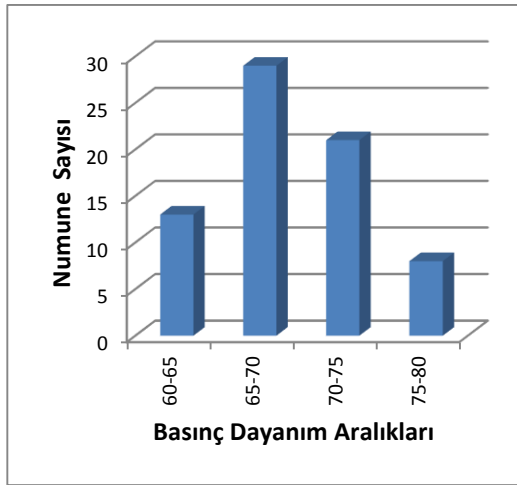
Şekil 5.3e'de C80 beton sınıfına ait toplam 115 adet numunenin 28 gün sonunda kazandıkları basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Deneye tabi tutulan numunelerin kazandığı en düşük dayanım 75-85 MPa aralığında, en yüksek dayanım değeri ise 95-100 MPa aralığındadır. Numunelerin 113 tanesi 85-100 bandı arasındadır.



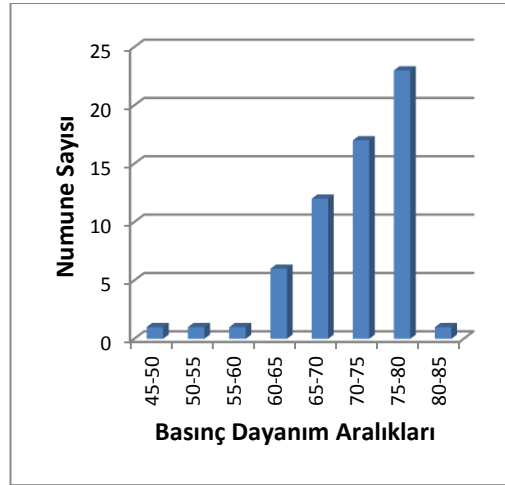
a) C40 Beton Sınıfı



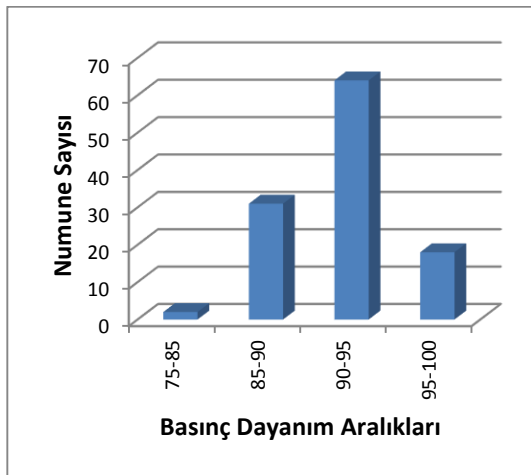
b) C50 Beton Sınıfı



c) C60 Beton Sınıfı



d) C70 Beton Sınıfı



e) C80 Beton Sınıfı

Şekil 5.3: C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarına ait 28 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları (MPa).

Şekil 5.2 ve 5.3’de kullanılan C40 beton sınıfına ait numunelerin 7 günlük olanları 30-50 bandı, 28 günlük olanları 40-65 bandı; C50 beton sınıfına ait numunelerin 7 günlük olanları 35-55 bandı, 28 günlük olanları 45-65 bandı; C60 beton sınıfındaki numunelerin 7 günlük olanları 45-60 bandı, 28 günlük olanları 65-75 bandı; C70 beton sınıfına ait numunelerin 7 günlük olanları 50-60 bandı, 28 günlük olanları 60-80 bandı; C80 beton sınıfındaki numunelerin 7 günlük olanları 65-80 bandı, 28 günlük olanları 85-100 bandı arasında yoğunlaştığı görülmektedir. C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarına ait numunelerin kazanacağı dayanımın önemli bir kısmını 7 gün sonunda kazandığı ama tam dayanımın 28 gün sonunda aldığı söylenebilir.

Tasarlanan betonların C40, C50, C60, C70 ve C80 olmasına rağmen Şekil 5.3’te dayanım değerlerinin sınır değer üzerinde olduğu görülmektedir. Bunun nedenleri arasında, beton karışımında kullanılan farklı özellikteki mineral ve kimyasal katkıların etkisi olduğu söylenebilir. Betonda kullanılan mineral katkıları çok ince bir yapıya sahip oldukları için beton içindeki boşlukları doldurarak dayanımı arttırmaktadır. Yüksek dayanımlı beton üretiminde, su\çimento oranı düşürülür. Su\çimento oranı düşük olan betonlarda, kimyasal katkıları kullanılarak betonun işlenebilirliği artırılmaktadır. Birçok amaçla kullanılan kimyasal katkıları (soğuk havalarda, sıcak havalarda, erken dayanım alması istenen betonlarda vb.) istenilen dayanımda beton üretilmesini sağlar.

C40 beton sınıfına ait 28 günlük 2057 adet 15x15 cm küp numunenin 576 adedi 50 Mpa’dan (sınır değer olarak dikkate alındı), 1257 adet 15x30 cm silindir numunenin ise 102 adedi 40 Mpa’dan (sınır değer olarak dikkate alındı) daha küçük bir değerde kırılmıştır. Aynı şekilde C50 olarak üretilen 15x30 cm silindir numunelere yapılan basınç dayanım deneyinde, 2111 numunenin 494 adedi 50 Mpa sınır değer şartını sağlamamaktadır. C60 beton sınıfına ait numunelerin hepsi 60 Mpa sınır değerini sağlamaktadır. C70 beton sınıfına ait 62 numuneden 21 tanesi 70 Mpa’dan; C80 olarak tanımlanan 115 adet numuneden ise 2 tanesi 80 Mpa’dan daha düşük basınç dayanım değerine sahip olmuşlardır.

Elde edilen 9556 adet veri farklı yapılara ait olup, her bir yapı kendi içerisinde değerlendirilmiş ve her bir yapı için ortalama değer ve değişkenlik katsayısı hesaplanmıştır. Toplanan bu verilere ait ortalama değer ve değişkenlik katsayısı, 7 ve 28 günlük numuneler için Çizelge 5.4 verilmiştir. Çizelge 5.4’de C40 beton sınıfına

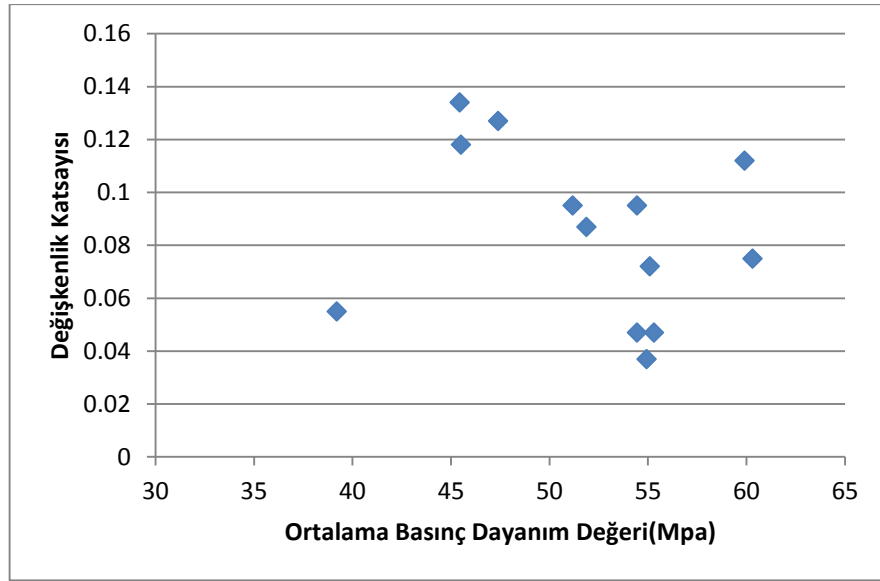
ait küp numunelerin ortalama dayanım değerleri silindir dayanım değerine çevrilmiştir. Her bir bina için elde edilen sonuçların; ağırlıklı, aritmetik ve genel ortalama değerleri hesaplanmıştır. Belirsizlik analizinde değişkenlik katsayıları ile genel ortalama Çizelge 5.4’den alınmıştır.

Çizelge 5.4: 7 ve 28 günlük beton numunelerinin istatistiksel sonuçları.

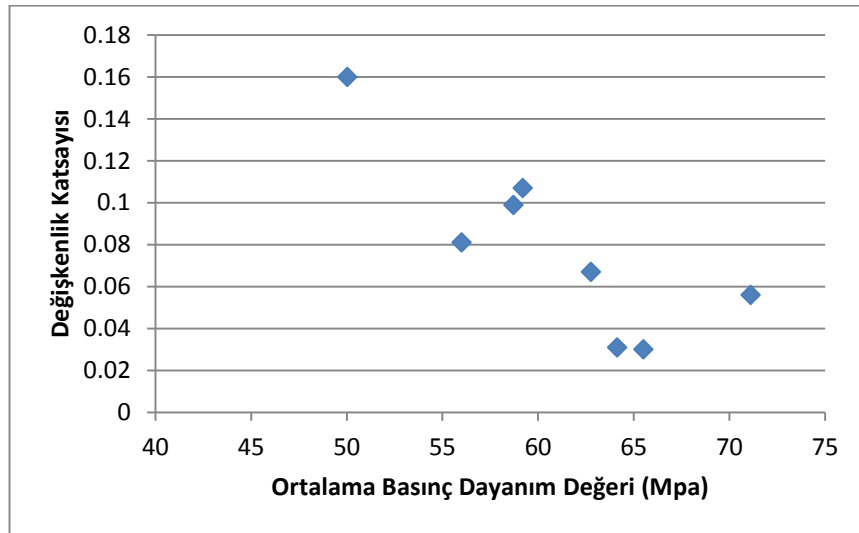
Beton sınıfı	Bina Sayısı	Numune Sayısı	fck (MPa)	Ortalama Değer		Değişkenlik Katsayısı	
				7 günlük	28 günlük	7 günlük	28 günlük
C40*	13	3314	40	35.10	47.15	0.117	0.095
C40**	13	3314	40	35.55	46.08	0.114	0.089
C40***	13	3314	40	35.33	46.62	0.116	0.092
C50*	8	2119	50	42.59	55.27	0.144	0.122
C50**	8	2119	50	48.00	60.93	0.097	0.079
C50***	8	2119	50	45.30	58.10	0.121	0.101
C60	1	71	60	53.06	68.96	0.085	0.060
C70	1	64	70	54.6	71.5	0.095	0.094
C80	1	116	80	71.00	91.60	0.066	0.038
*Ağırlıklı ortalama göre **Aritmetik ortalama göre ***Genel Ortalamaya göre							

Çizelge 5.4’ye göre C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarının 7 günlük ortalama dayanım değerinin, 28 gün sonunda alması gereken dayanımın %85’ini kazandığı, 28 günlük ortalama dayanım değerlerinin de sınır değer üstünde olduğu görülmektedir. Çizelge 5.4’de 7 günlük numunelerin değişkenlik katsayılarının 28 günlük numunelere göre daha fazla olduğu görülmektedir. Değişkenlik katsayısındaki bu farklılığın sebebi, çeşitli kimyasal ve mineral katkı maddelerinin üretim aşamasında kullanılması ve kür koşullarındaki değişkenliklerdir.

Şekil 5.4 ve 5.5’te C40, C50 beton sınıflarına ait yapıların ortalama basınç dayanım değeri ile değişkenlik katsayısı arasındaki değişim verilmektedir. Her iki grafikte de ortalama basınç dayanım değeri arttıkça değişkenlik katsayısının azaldığı görülmektedir.



Şekil 5.4: Binaların ortalama dayanım değerleri ile değişkenlik katsayıları arasındaki ilişki (C40).



Şekil 5.5: Binaların ortalama dayanım değerleri ile değişkenlik katsayıları arasındaki ilişki (C50).

Her bir beton sınıfına ait binaların basınç dayanım değerlerine göre istatistiksel analizi yapılmıştır. Easyfit 5.5 programında her bina için ayrı ayrı ortalama değerler, standart sapmalar, değişkenlik katsayıları bulunup, Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare testleri uygulanmıştır. Kolmogorov-Smirnov testine göre hangi dağılıma uydukları belirlenmiştir.

Çizelge 5.5’de farklı beton sınıfındaki yapılara, Easyfit programında olasılık uygunluk testlerinden Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmıştır. Her bir yapıya ait beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerleri kullanılarak en büyük Δ ve

Δ kritik değerleri bulunmuştur. Δ kritik değeri bulunurken $\alpha = 0.10$ değeri kullanılmıştır. Bulunan değerler karşılaştırılarak normal dağılıma uygunluğu incelenmiştir. Buna göre, C40 beton sınıfına ait 13 binadan 4 tanesinin (Konut2, YKB2, otel ve Marmaray); hesaplanan Δ değerinin, kritik Δ değerden büyük çıkması sonucu normal dağılıma uymadığı görölmektedir. C50 beton sınıfında 8 yapı türü incelenmiştir. Bu yapılardan 3 tanesinin (Konut2, YKB3 ve Marmaray) hesaplanan Δ değeri, kritik değeri aştığı için normal dağılıma uymadığı sonucuna ulaşılmıştır. C60, C70 ve C80 sınıfına ait yapıların normal dağılıma uyduğu Çizelge 5.5’de görölmektedir.

Çizelge 5.5: Bina tipine göre 28 günlük numunelere ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçları ve kritik değerler.

Beton Sınıfı	Yapı İsmi	Numune sayısı	Hesaplanan Δ değeri	Kritik değer Δ_α $\alpha = 0.10$	Δ ve Δ_α değerlerinin karşılaştırılması
C40	Konut1	24	0.229	0.242	0.229 < 0.242
	Konut2*	168	0.119	0.094	0.119 > 0.094
	Konut3	22	0.203	0.253	0.203 < 0.253
	Konut4	179	0.088	0.091	0.088 < 0.091
	YKB1	1116	0.025	0.036	0.025 < 0.036
	YKB2*	403	0.091	0.061	0.091 > 0.061
	YKB3	41	0.142	0.188	0.142 < 0.188
	YKB4	67	0.089	0.149	0.089 < 0.149
	YKB5	68	0.103	0.148	0.103 < 0.148
	Otel*	244	0.135	0.078	0.135 > 0.078
	Metro	24	0.087	0.242	0.087 < 0.242
	Avm	56	0.078	0.163	0.078 < 0.163
	Marmry*	902	0.053	0.040	0.053 > 0.040
C50	Konut1	24	0.149	0.242	0.149 < 0.242
	Konut2*	132	0.236	0.106	0.236 > 0.106
	Konut3	143	0.093	0.102	0.093 < 0.102
	YKB1	135	0.094	0.105	0.094 < 0.105
	YKB2	55	0.081	0.162	0.081 < 0.164
	YKB3*	984	0.043	0.038	0.043 > 0.038
	Baraj	36	0.126	0.199	0.126 < 0.199
	Mamaray*	602	0.103	0.049	0.103 > 0.049
C60	YKB1	71	0.056	0.153	0.056 < 0.153
C70	YKB1	62	0.151	0.153	0.151 < 0.153
C80	YKB1	115	0.109	0.113	0.109 < 0.113
*Normal dağılıma uymayan yapılar					

Çizelge 5.6’de farklı beton sınıfındaki yapılara olasılık uygunluk testlerinden χ^2 testi uygulanmıştır. Her bir beton sınıfına ait binalar Easyfit programında ayrı ayrı incelenmiştir. 28 günlük beton numunelerinin basınç dayanım değerleri kullanılarak χ^2 ve χ^2 kritik değerleri bulunmuştur. χ^2 kritik değerinin aşılma olasılığı 0.10 alınmıştır. Bulunan değerler karşılaştırılarak χ^2 testine göre normal dağılıma uygunluğu incelenmiştir. Buna göre, C40 beton sınıfına ait 13 yapıdan 6 tanesinin

(Konut1, Konut2, Konut4, YKB2, Otel ve Marmaray); hesaplanan χ^2 değerinin, kritik χ^2 değerden büyük çıkması sonucu normal dağılıma uymadığı görülmektedir. C50 beton sınıfında 8 yapı türü incelenmiştir. Bu yapılardan 4 tanesinin (Konut2, Konut3, YKB3 ve Marmaray) hesaplanan χ^2 değeri, kritik değeri aştığı için normal dağılıma uymadığı sonucuna ulaşılmıştır. C60, C70 ve C80 sınıfına ait yapılardan da sadece C70 beton sınıfındaki yapının normal dağılıma uymadığı çizelgede görülmektedir.

Çizelge 5.6: Bina tipine göre 28 günlük numunelere ait χ^2 test sonuçları ve kritik değerleri.

Beton Sınıfı	Bina İsmi	Numune sayısı	Hesaplanan χ^2 değeri	Kritik χ^2 değeri $\alpha = 0.10$	χ^2 ve χ^2 kritik değerlerinin karşılaştırılması
C40	Konut1*	24	5.890	4.605	5.809 > 4.605
	Konut2**	168	36.131	12.017	36.131 > 12.017
	Konut3	22	0.178	4.605	0.178 < 4.605
	Konut4*	179	18.986	12.017	18.986 > 12.017
	YKB1	1116	13.830	15.987	13.830 < 15.987
	YKB2**	403	26.903	13.362	26.903 > 13.362
	YKB3	41	2.061	7.779	2.061 < 7.779
	YKB4	67	8.318	10.64	8.318 < 10.64
	YKB5	68	4.591	9.236	4.591 < 9.236
	Otel**	244	44.47	12.01	44.47 > 12.01
	Metro	24	0.574	6.251	0.574 < 6.251
	Avm	56	1.242	9.236	1.242 < 9.236
	Marmry**	902	38.49	14.68	38.49 > 14.68
C50	Konut1	24	0.831	4.605	0.831 < 4.605
	Konut2**	132	58.82	10.64	58.82 > 10.64
	Konut3*	143	14.31	12.02	14.31 > 12.02
	YKB1	135	7.79	12.02	7.79 < 12.02
	YKB2	55	3.582	9.236	3.582 < 9.236
	YKB3**	984	25.74	14.68	25.74 > 14.68
	Baraj	36	1.489	6.251	1.489 < 6.251
	Mamaray**	602	86.52	14.68	86.52 > 14.68
C60	YKB1	71	5.82	10.65	5.82 < 10.65
C70	YKB1*	62	13.727	7.779	13.727 > 7.779
C80	YKB1	115	8.614	10.64	8.614 < 10.64
* Ki-Kare testine uymayan yapılar **Hem K-S hem de Ki-Kare testini uymayan yapılar					

Çizelge 5.7 ve 5.8’de her bir bina, beton sınıfına ayrılarak Easyfit programında, Kolmogorov-Smirnov testi uygulanıp Normal, Log-Normal, Gamma ve Gumbel (EV I) olasılık dağılımına göre en büyük Δ değerleri hesaplanmıştır. Δ kritik değeri ise aşılma olasılığı $\alpha = 0.10$ alınarak Δ kritik değerleri bulunmuştur. Bulunan değerler karşılaştırılarak hangi dağılıma uydukları Çizelge 5.9’da verilmektedir.

Çizelge 5.7: 28 günlük C40 beton numunelerine ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçları ile olasılık dağılım fonksiyonları kritik değerleri.

Beton Sınıfı	Bina İsmi	Numune sayısı		Normal	Lognormal	Gamma	EV I
C40	Konut1	24	Hesaplanan Δ	0.229	0.221	0.223	0.160
			Kritik Δ	0.242	0.242	0.242	0.242
	Konut2	168	Hesaplanan Δ	0.118	0.142	0.117	0.176
			Kritik Δ	0.094	0.094	0.094	0.094
	Konut3	22	Hesaplanan Δ	0.203	0.191	0.199	0.153
			Kritik Δ	0.253	0.253	0.253	0.253
	Konut4	179	Hesaplanan Δ	0.088	0.106	0.100	0.158
			Kritik Δ	0.091	0.091	0.091	0.091
	YKB 1	1116	Hesaplanan Δ	0.025	0.042	0.035	0.087
			Kritik Δ	0.036	0.036	0.036	0.036
	YKB 2	403	Hesaplanan Δ	0.091	0.109	0.098	0.138
			Kritik Δ	0.061	0.061	0.061	0.060
	YKB3	41	Hesaplanan Δ	0.142	0.165	0.158	0.211
			Kritik Δ	0.188	0.188	0.188	0.186
	YKB4	67	Hesaplanan Δ	0.089	0.069	0.073	0.093
			Kritik Δ	0.149	0.149	0.149	0.149
	YKB5	68	Hesaplanan Δ	0.103	0.080	0.087	0.073
			Kritik Δ	0.148	0.148	0.148	0.148
	Otel	244	Hesaplanan Δ	0.135	0.158	0.146	0.195
			Kritik Δ	0.078	0.078	0.078	0.078
	Metro	24	Hesaplanan Δ	0.087	0.100	0.094	0.144
			Kritik Δ	0.242	0.242	0.242	0.242
	Avm	56	Hesaplanan Δ	0.078	0.079	0.080	0.108
			Kritik Δ	0.163	0.163	0.163	0.160
	Marmry	902	Hesaplanan Δ	0.053	0.075	0.068	0.124
			Kritik Δ	0.040	0.040	0.040	0.041

Çizelge 5.8: 28 günlük C50, C60, C70 ve C80 beton numunelerine ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçları ile olasılık dağılım fonksiyonları kritik değerleri.

Beton Sınıfı	Bina İsmi	Numune Sayısı		Normal	Lognormal	Gamma	EV I
C50	Konut1	24	Hesaplanan Δ	0.149	0.157	0.153	0.215
			Kritik Δ	0.242	0.242	0.242	0.242
	Konut2	132	Hesaplanan Δ	0.236	0.225	0.227	0.213
			Kritik Δ	0.106	0.106	0.106	0.106
	Konut3	143	Hesaplanan Δ	0.093	0.074	0.079	0.064
			Kritik Δ	0.102	0.102	0.102	0.102
	YKB1	135	Hesaplanan Δ	0.094	0.102	0.095	0.126
			Kritik Δ	0.105	0.105	0.105	0.105
	YKB2	55	Hesaplanan Δ	0.081	0.084	0.082	0.121
			Kritik Δ	0.162	0.162	0.162	0.162
	YKB3	984	Hesaplanan Δ	0.043	0.063	0.051	0.096
			Kritik Δ	0.038	0.038	0.038	0.038
	Baraj	36	Hesaplanan Δ	0.126	0.125	0.123	0.120
			Kritik Δ	0.199	0.199	0.199	0.199
	Mamary	602	Hesaplanan Δ	0.103	0.093	0.101	0.084
			Kritik Δ	0.049	0.049	0.049	0.049
C60	YKB1	71	Hesaplanan Δ	0.056	0.047	0.049	0.079
			Kritik Δ	0.153	0.153	0.153	0.153
C70	YKB1	62	Hesaplanan Δ	0.151	0.160	0.161	0.214
			Kritik Δ	0.153	0.153	0.153	0.153
C80	YKB3	115	Hesaplanan Δ	0.072	0.078	0.073	0.114
			Kritik Δ	0.114	0.114	0.114	0.114

Normal, Log-Normal, Gamma ve Gumbel dağılımlarına en uygun olanı en küçük Δ 'ya sahip olandır. Çizelge 5.7 ve 5.8'de koyu renkle gösterilen hücreler en uygun dağılımı göstermektedir.

Çizelge 5.9’da “+” işareti ile gösterilen hücreler hesaplanan Δ değerinin, kritik Δ değerinden küçük olduğunu ve normal dağılıma uyduğunu; “-” işareti ile gösterilen hücreler ise hesaplanan Δ değerinin, kritik Δ değerinden büyük olduğunu ve normal dağılıma uymadığını ifade etmektedir. Buna göre, C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıfına ait toplam 24 bina incelenmiştir. Normal dağılıma 24 binadan 17, log-normal dağılıma 10, gamma dağılımına 11, ve gumbel (EV I) dağılımına 8 adet yapı uygundur. C40 beton sınıfına ait Konut2, YKB2, Otel ve Marmaray, C50 beton sınıfına ait Konut2, YKB3 ve Marmaray yapıları normal, log-normal, gamma ve gumbel dağılımlarına uymamaktadır.

Çizelge 5.9: 28 günlük numunelere ait Kolmogorov-Smirnov test sonuçlarına olasılık dağılımları.

Beton Sınıfı	Yapı İsmi	Numune sayısı	N	LN	GAMMA	GUMBEL
C40	Konut1	24	+	+	+	+
	Konut2	168	-	-	-	-
	Konut3	22	+	+	+	+
	Konut4	179	+	-	-	-
	YKB1	1116	+	-	+	-
	YKB2	403	-	-	-	-
	YKB3	41	+	+	+	-
	YKB4	67	+	+	+	+
	YKB5	68	+	+	+	+
	Otel	244	-	-	-	-
	Metro	24	+	+	+	+
	Avm	56	+	+	+	+
	Marmry	902	-	-	-	-
C50	Konut1	24	+	+	+	+
	Konut2	132	-	-	-	-
	Konut3	143	+	-	-	-
	YKB1	135	+	+	+	-
	YKB2	55	+	+	+	+
	YKB3	984	-	-	-	-
	Baraj	36	+	+	+	+
	Mamary	602	-	-	-	-
C60	YKB1	71	+	+	+	+
C70	YKB1	62	+	-	-	-
C80	YKB1	115	+	+	+	-

5.2 Belirsizlik Analizi

Mühendislik problemlerinde her bir limit durumu modellenirken, malzemeye ait özellikler, ilgili elemanın geometrik özellikleri, sabit, hareketli ve çevresel yükler gibi bazı ana değişkenler dikkate alınmaktadır. Bu ana değişkenlerle ilintili olan belirsizliklerin, güvenilirlik tayininde limit durum modellenirken ortaya çıkan belirsizliklerle birlikte hesaplarda uygun şekilde kullanılması gerekmektedir. Olasılıksal yaklaşımda emniyet ve güvenilirliğin belirlenmesi için ilk önce ana değişkenlere ait belirsizliklerin, değişkenlik katsayılarının uygun şekilde kullanılmasıyla sayısallaştırılması gerekmektedir. Yapı güvenilirliğinin belirlenmesinde belirsizliklerin mümkün olduğu kadar gerçekçi bir biçimde bulunması çok önemlidir.

İnşaat mühendisliği problemlerinde belirsizlikler; Aleatory belirsizlikler ve Epistemik belirsizlikler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Aleatory belirsizlikler ana değişkenin doğasında olan belirsizlikler olup bu tür belirsizlikler azaltılamaz ve kontrol edilemez. Epistemik belirsizlikler ise bilgi eksikliğinden kaynaklanmakta olup bu tür belirsizlikler ilave bilgi ve veri ile azaltılabilmektedir. Bir problem için yapılan tahminlerden ve kullanılan modellemeden kaynaklanan değişkenlikler epistemik belirsizliklerin ana kaynağıdır. Bunun yanında gözlem sayısının az olmasından kaynaklanan istatistiksel değişkenlikler de epistemik belirsizlik olarak sınıflandırılabilir. Mühendislik önsezisi epistemik belirsizliklerin azaltılması ve kontrol altında tutulmasında önemli bir rol oynamaktadır. Kapsamlı ve geniş bir belirsizlik analizi deneye, gözleme ve tecrübeye dayalı mühendislik önsezisinden gelen verilere her zaman ihtiyaç duymaktadır.

Bir ana değişken için, modelleme ve istatistiksel değişkenlikler gibi farklı nedenlerden kaynaklanan belirsizlikler aşağıdaki denklemle modellenebilir (Ang ve Tang, 1984).

$$X_i = N_i \hat{X}_i \quad (5.1)$$

Burada: X_i : i'nci ana değişkeninin gerçek fakat bilinmeyen değeri, N_i : epistemik belirsizlikleri hesaba katmak için kullanılacak rassal düzeltme katsayısı, $\hat{X}_i$: X_i 'yi tahmin etmek için kullanılacak model.

Düzeltilme katsayısı, N_i 'nin ortalama değeri $\bar{N}_i$ ile değişkenlik katsayısı cinsinden epistemik belirsizlik ise Δ_{X_i} ile gösterilmektedir. $\bar{X}$ Sembolü X_i 'nin ortalama değerini göstermekte olup bu parametreye ait değişkenlik katsayısı ise aleatory belirsizlik olarak sınıflandırılarak δ_{X_i} ile ölçülmektedir. Değişkenlik katsayısı cinsinden toplam belirsizlik, aleatory belirsizlik ve epistemik belirsizliklerin aşağıda verilen formülle birleştirilmesiyle bulunmaktadır (Yang, 2007).

$$\Omega_{X_i} = \sqrt{\delta_{X_i}^2 + \Delta_{X_i}^2} \quad (5.2)$$

Düzeltilme katsayısı, N_i , bileşen düzeltme katsayılarının çarpımı sonucu bulunmaktadır. Her bileşen düzeltme katsayısının da bir belirsizlik içereceği bilinmektedir. Eğer N_i , $N_i = N_{i1}N_{i2},..., N_{in}$ gibi bileşen düzeltme katsayılarının çarpımı olarak ifade edilirse, ortalama düzeltme katsayısı $\bar{N}_i$ ve toplam epistemik belirsizlik, Δ_{X_i} aşağıda verilen formüller kullanılarak bulunabilmektedir (Yang, 2007).

$$\bar{N}_i = \bar{N}_{i1}\bar{N}_{i2},..., \bar{N}_{in} \quad (5.3)$$

$$\Delta_{X_i} = \sqrt{\Delta_{X_{i1}}^2 + \Delta_{X_{i2}}^2 + ..., + \Delta_{X_{in}}^2} \quad (5.4)$$

Toplanan verilerden sadece C40'a ait 3314 adet numuneden 2057'si küp numune olup küp numunelerdeki ortalama dayanımlar silindir dayanıma çevrilmiştir. C40 beton sınıfına ait 13; C50 beton sınıfına ait 8; C60, C70 ve C80 beton sınıfına ait 1'er binadan elde edilen verilerin, ağırlıklı ve aritmetik ortalama değerleri hesaplanmıştır. Ağırlıklı ve aritmetik ortalamasının ortalaması alınarak genel ortalama değerleri bulunmuştur. Buna göre; genel ortalama silindir basınç dayanımı C40 betonu için 46.62 MPa, C50 betonu için 58.10 Mpa, C60 için 68.96 Mpa, C70 için 71.5 Mpa ve C80 için 91.50 Mpa olarak elde edilmiştir. Yine beton sınıflarına göre değişkenlik katsayısı; C40, C50, C 60, C70 ve C80 beton sınıfları için sırasıyla % 9.2, %10.1, %6, %9.4 ve %3.8 olarak bulunmuştur. Burada $\bar{f}_c$ ortalama beton basınç dayanımını, δ_{fc} ise değişkenlik katsayısı f_c 'yi göstermektedir. δ_{fc} beton basınç dayanımı içerisindeki Aleatory belirsizliğin büyüklüğüdür.

Bir yapıda kullanılan yüksek dayanımlı betonun gerçek değeri ile tasarımda kullanılan değeri birbirinden farklıdır. Bu farklılığın temel sebepleri Aleatory ve

Epistemik belirsizliğe yol açan faktörlerdir. Bu faktörler arasında yüksek dayanımlı betonu oluşturan malzemelerdeki değişkenlikler, beton karışım oranları, betonun karışım, taşıma, yerleştirme ve bakım aşamasındaki değişkenlikleri gösterilebilir (Mirza vd., 1979).

Yukarıda sayılan etkenler hem aleatory belirsizliğe hem de epistemik belirsizliğe neden olmaktadır. Bu çalışmada, epistemik belirsizliği meydana getiren kaynaklar dikkate alınacaktır. Ayrıca yerel kaynaklarda yeterince veri olmadığı durumlarda, epistemik belirsizlik kaynakları uluslararası literatür kullanılarak sayısallaştırılmıştır. Bir yapıdaki yüksek dayanımlı betonun dayanım değeri ile aynı betondan alınan silindir numunenin dayanımı birbirinden farklıdır. Farklı olmasındaki sebepler, yapıdaki beton ile silindir numunedeki betonun yerleştirme ve bakım koşulları, sıkıştırılması, yapıdaki elemanda oluşan segregasyon, kür koşulları, silindir numunenin boyutu ile yapıdaki elemanın boyutunun farklı olması ve buna bağlı olarak yapıdaki gerilme durumları olarak gösterilebilir. Bundan dolayı gerçek beton dayanımı, laboratuarda ölçülen beton dayanımından daha düşüktür. Mirza ve diğerleri (1979) çalışmalarında, gerçek beton dayanımının standart silindir dayanımına oranını 0,74 ile 0,96 arasında olduğunu ve ortalaması olan 0.87'yi kullanmışlardır. Ellingwood and Ang (1972) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise bu oranın 0.83 ile 0.92 arasında değiştiği ifade edilmektedir. Gerçek dayanımla silindir numunelerden elde edilen dayanım arasındaki farkı gidermek için N_1 düzeltme faktörü tanımlanmaktadır. Yukarıda verilen değerlere dayalı olarak $\bar{N}_1$ düzeltme faktörü tüm değerlerin ortalaması olan 0.86'dır. Düzeltme faktörü N_1 'deki değişkenlik katsayısı, Δ_1 ile gösterilmektedir. Ellingwood and Ang (1972) Δ_1 değerini 0.1, Mirza ve diğerleri (1979) ise 0.16 olarak önermiştir. Bu çalışmada ise verilen bu değerlerin ortalaması olan 0.13 kullanılacaktır.

Yüksek dayanımlı betonların hesaplanan dayanımı yükleme hızı arttıkça artmaktadır. Beton içerisinde zamanla meydana gelen mikro çatlaklar ve sünmeden dolayı oluşan şekil değiştirmeler beton dayanımının azalmasına yol açmaktadır. Belirsizlik analizinde bu faktörleri hesaba katmak için düzeltme faktörü N_2 ile epistemik belirsizlik Δ_2 hesaplarda kullanılacaktır. Mirza ve diğerleri (1979), çalışmalarında N_2 'yi aşağıda belirtilen ampirik formülü kullanmışlardır.

$$\bar{N}_2 = 0.89(1 + 0.08 \log(R)) \quad (5.5)$$

Burada R yükleme hızı olup ampirik formüldeki birimi psi/sec olarak dikkate alınmaktadır. Eğer yükleme hızı saniyede 1 psi (6.895 kN/m²) olarak kullanılırsa $\bar{N}_2$ 0.89 olarak bulunur. Kömürcü (1995), Fırat ve Yüçemen (2008) kendi çalışmalarında düzeltme faktörü $\bar{N}_2$ için 0.88 ve epistemik belirsizlik için Δ_2 'yi 0 kullanmışlardır. Beton, silindir numunelerde basınç dayanım testine tabi tutulduğunda yükleme hızı 234.43 kN/m² 'den 1 saniyede 6.895 kN/m² azaltılırsa beton dayanımında ortalama %12 oranında azalma olduğu görülmektedir (Mirza, 1979).

Basınç dayanım testine girecek olan numuneler, farklı mikserlerden alınması daha gerçeğe yakın sonuç vereceği bilinmesine karşın genellikle bir beton mikserinden alınmaktadır. Ayrıca alınan numuneler için gerekli standartlarda belirtilen nem ve sıcaklık gibi kür koşulları sağlanamayabilir. Bu numuneler kırım tarihinin hafta sonuna gelmesi veya gözden kaçması gibi bazı sebeplerden dolayı 7 ve 28 gün haricinde bir günde kırılabilir. Bunlara ek olarak basınç dayanım testinin yapıldığı makine ölçümlerde hata verebilir. Bu faktörler, epistemik belirsizlik hesabında göz önünde bulundurulmalıdır. Kömürcü (1995), Fırat ve Yüçemen (2008), çalışmalarında düzeltme faktörü $\bar{N}_3=0,95$ ve Δ_3 'ü 0.05 olarak kullanmışlardır. Bu çalışmada da güvenli tarafta kalabilmek için bu değerler kullanılacaktır.

Ortalama düzeltme katsayısını elde edebilmek için yukarıda özetlenen belirsizlik kaynakları için önerilmiş düzeltme katsayılarını formül 5.3'te yerine koyarsak, $\bar{N}_{fc} = \bar{N}_1 \cdot \bar{N}_2 \cdot \bar{N}_3 = 0.86 \times 0.88 \times 0.95 = 0.72$ olarak bulunur. Bulunan bu değere dayalı olarak bu çalışmada dikkate alınan beton sınıfları için “gerçek” dayanımlar:

$$\bar{f}_c = 0.72 \times 46.62 = 33.57 \text{ MPa C40 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0.72 \times 58.10 = 41.83 \text{ MPa C50 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0.72 \times 68,96 = 49.65 \text{ MPa C60 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0.72 \times 71,50 = 51.48 \text{ MPa C70 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0.72 \times 91,60 = 65.95 \text{ MPa C80 için bulunur.}$$

Diğer taraftan, C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıfları için, nominal basınç dayanımları sırasıyla $40/1,5=26.67$ MPa; $50/1,5=33.33$ MPa; $60/1,5=40,00$ MPa; $70/1,5=46.67$ MPa; $80/1,5=53.33$ bulunur. Böylece, istatistiksel analiz sonucu bulunan ortalama basınç dayanımı değerlerin standart ve yönetmeliklerde önerilen nominal değerlere oranları sırasıyla:

$$\begin{aligned} \text{C40 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} &= \frac{33.57}{26.67} = 1.26; \text{ C50 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{41.83}{33.33} = 1.26; \text{ C60 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{49.65}{40.00} = 1.24; \\ \text{C70 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} &= \frac{51.48}{46.67} = 1.10 \text{ ve C80 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{65.95}{53.33} = 1.24 \text{ olarak elde edilir.} \end{aligned}$$

Böylece toplam epistemik belirsizlik $\Delta_{f_c} = \sqrt{0.13^2 + 0^2 + 0.05^2} = 0.14$ olarak bulunur. Her bir beton sınıfı için bulunan değişkenlik katsayıları (aleatorik belirsizlik) ile toplam epistemik belirsizlik Denklem 5.2 kullanılarak aşağıdaki gibi bulunur:

$$\text{C40 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0.092^2 + 0.14^2} = 0.168$$

$$\text{C50 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0.101^2 + 0.14^2} = 0.173$$

$$\text{C60 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0.06^2 + 0.14^2} = 0.152$$

$$\text{C70 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0.094^2 + 0.14^2} = 0.169$$

$$\text{C80 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0.038^2 + 0.14^2} = 0.145$$

Benzer bir çalışmada, Real ve diğ. (2003) üç farklı toplam belirsizlik değeri (0.10, 0.15 ve 0.20) kullanmışlardır. Kömürcü ve Yüçemen (1996) ise 0.21 değerini kullanmışlardır. Bu çalışmada bulunan değer diğer çalışmalarda kullanılan değerlerle tutarlıdır. Beton basınç dayanımı verilerinin çoğunluğu normal dağılımı sağlamaktadır. Yüçemen ve Gülkan (1989), Kömürcü (1995), Nowak and Szerszen (2003) gibi araştırmacıların çoğunluğu beton basınç dayanımı için normal dağılımı kullanmışlardır. Bu çalışmada da normal dağılım kullanılmıştır.

Yapılan bu çalışmada gelişen teknolojinin üretim tekniklerini etkilemesi ve yeni malzemelerin kullanılması sonucu yüksek dayanımlı beton üretiminde artış olduğu tespit edilmiştir. Beton malzeme katsayısı (γ_{mc}), belirsizlikler dikkate alınmadan sadece karakteristik basınç dayanımının ortalama basınç dayanımına oranı olarak ifade edilirse, C40 için $f_{ck}/\bar{f}_c = 26.67/46.62=0.57$ bulunmaktadır. Beton malzeme katsayısının bulunması için beton basınç dayanımındaki toplam belirsizlikler dikkate alınırsa dayanımdaki değişimin normal dağıldığı kabulüne dayanarak, aşağıdaki formülden “gerçek” basınç dayanımı, f_{ck} bulunabilir.

$$f_{ck} = \bar{f}_c (1 - u \cdot \Omega) \quad (5.6)$$

Beton basınç dayanımının karakteristik dayanım değerinden düşük olma olasılığı bazı yönetmeliklerde %5 veya %10 olarak verilmiştir. Türk Standardı TS 500’de bu değer %10 olarak gösterilmiştir. Denklem 5.6’de verilen u değeri normal dağılım tablosundan %5 olasılık için $u=1.645$, %10 olasılık için $u=1.282$ olarak alınır. Denklem 5.6’e göre değerler yerine yazılırsa;

$$\text{C40 için } f_{ck}=[33.57 \times (1-1.282 \times 0.168)]=26.34 \text{ MPa}$$

$$\text{C50 için } f_{ck}=[41.83 \times (1-1.282 \times 0.173)]=32.55 \text{ MPa}$$

$$\text{C60 için } f_{ck}=[49.65 \times (1-1.282 \times 0.152)]=39.98 \text{ MPa}$$

$$\text{C70 için } f_{ck}=[51.48 \times (1-1.282 \times 0.169)]=40.33 \text{ MPa}$$

$$\text{C80 için } f_{ck}=[65.95 \times (1-1.282 \times 0.145)]=53.69 \text{ MPa}$$

Betonun gerçek basınç dayanım değerleri denklem 5.6’e göre ve toplam değişkenlikler de denklem 5.2’ye göre bulunmuştur. Buna göre her beton sınıfı için malzeme katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\text{C40 için } \gamma_c=40/26.34=1.52$$

$$\text{C50 için } \gamma_c=50/32.55=1.54$$

$$\text{C60 için } \gamma_c=60/39.98=1.50$$

$$\text{C70 için } \gamma_c=70/40.33=1.74$$

$$\text{C80 için } \gamma_c=80/53.69=1.49$$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Türkiye’de yüksek dayanımlı olarak nitelendirilen küp ve silindir beton numunelerin basınç dayanım testine tabi tutulduktan sonra elde edilen değerlere dayalı olarak, yüksek dayanımlı beton kalitesi incelenmiştir. Elde edilen verilerin normal dağılıma uygunluğu Easyfit programında Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare uygunluk testlerine göre irdelenmiştir. Yüksek dayanımlı betonda görülebilecek değişik belirsizlik kaynakları, gerek yapılan kalite incelemesi sonucu bulunan değerlere gerekse literatürden elde edilen veri ve bilgilere dayalı olarak sayısallaştırılmış ve bir belirsizlik analizi yapılarak yüksek dayanımlı betonlar için yeni bir malzeme katsayısı önerilmiştir.

Buna göre; C40 beton sınıfına ait 4 adet Konut, 5 adet Yüksek katlı bina, Otel, Metro, Avm ve Marmaray; C50 beton sınıfına ait 3 adet konut, 3 adet Yüksek katlı bina, Baraj ve Marmaray; C60, C70 ve C80 beton sınıflarına ait birer bina olmak üzere toplam 24 bina incelenmiştir. Elde edilen verilerden sadece C40 beton sınıfına ait 3314 adet numuneden 2057 adedi 15x15x15 cm küp, 1257 adedi 15x30 cm silindir numune olup ortalama silindir basınç dayanım değeri 46.62 MPa’dır. C50 beton sınıfına ait 2111; C60 beton sınıfına ait 71; C70 beton sınıfına ait 61 ve C80 beton sınıfına ait 115 adet 15x30 cm silindir numune sonucu kullanılmıştır. Sırasıyla, bu beton sınıflarındaki verilerin ortalama basınç dayanım değeri sırasıyla 58.10 MPa, 68.96 MPa, 71.5 MPa ve 91.6 MPa olarak bulunmuştur.

C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıflarının 7 günlük ortalama dayanım değerinin, 28 gün sonundaki dayanımının %85’ini kazandığı, 28 günlük ortalama dayanım değerlerinin de sınır değer üstünde olduğu görülmüştür. Numunelerin 28 gün sonunda tabi tutuldukları basınç dayanım testi sonuçlarına göre değişkenlik katsayıları C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıfları için sırasıyla, %9.2, %10.1, %6, %9.4 ve %3.8 olarak bulunmuştur. Ortalama basınç dayanım değeri arttıkça değişkenlik katsayısı azalmaktadır.

Her bir binaya ait verilere Easyfit programında, Kolmogorov-Smirnov testi

uygulanıp Normal, Log-Normal, Gamma ve Gumbel olasılık dağılımına göre en büyük Δ değerleri hesaplanmıştır. Buna göre; Normal dağılıma 24 binadan 17, Log-Normal dağılıma 10, Gamma dağılımına 11 ve Gumbel dağılımına 8 adet yapı uygundur.

Epistemik belirsizlikler başka çalışmalarda önerilen değerler de dikkate alınarak sayısallaştırılmış ve bir belirsizlik analizi yapılmıştır. Yapılan bu belirsizlik analizi sonuçlarına göre C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıfları için toplam belirsizlik sırasıyla 0.168, 0.173, 0.152, 0.169 ve 0.145 olarak sayısallaştırılmıştır.

Yapılan istatistiksel çalışma sonucunda, taze betondan alınan her bir binaya ait numunelerin çoğunluğunun karakteristik dayanım değerlerini sağladığı görülmektedir. Buna göre; 2009-2014 yılları arasında üretilen C40, C50, C60 C70 ve C80 beton sınıfının 28 günlük ortalama basınç değerleri sırasıyla; 46.62, 58.10, 68.96, 71.5 ve 91.6 MPa olarak bulunmuştur. Buna göre; Türkiye’de üretilen ve kullanılan beton sınıfının yükseldiği anlaşılmaktadır. Fakat yüksek dayanımlı betonların tasarım ve yapım kurallarına ilişkin herhangi bir standart bulunmamaktadır. Bu nedenle, yüksek dayanımlı betonun nitelik ve denetim koşullarını kapsayan bir Standard oluşturulmalıdır.

Yapılan çalışmada, 7 günlük numunelere ait değişkenlik katsayılarının 28 günlük numunelerin değişkenlik katsayılarından daha fazla olduğu görülmüştür. Bu sonuç özellikle beton kabul kriterleri açısından dikkate alınmalıdır.

Günümüzde teknolojinin gelişmesi, yeni katkı malzemelerinin kullanılması ve buna paralel olarak değişen tasarım ve uygulama koşullarından dolayı normal dayanımlı betonlar için kullanılan malzeme katsayısının (1,5) düşürülmesi yönünde bir eğilim vardır. Hesaplanan ortalama ve toplam belirsizlik değerlerine dayalı olarak C40, C50, C60, C70 ve C80 beton sınıfları için malzeme katsayıları sırasıyla 1.52, 1.54, 1.50, 1.74 ve 1.49 olarak hesaplanmıştır. Genelde standartlarda tek bir malzeme katsayı verildiğinden bu çalışmanın sonucunda yukarıdaki değerlerin ortalaması olan 1,55 değeri yüksek dayanımlı betonlar için kullanılacak malzeme katsayısı olarak önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Aka, İ., Keskinel F. ve Arda, T. S., 2001. Betonarmeye giriş, Birinci Baskı, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Akakın, T., 2005. Betonun mühendislik özellikleri, İMO İstanbul Bülten Dergisi, 79, 19-21.

Akçay, B., 2014. Variation of in-place concrete core strength in structures from Istanbul Area: Statistical analysis of concrete core data, Journal of Materials in Civil Engineering ASCE, 16, 5, 507-510.

Akyüz, S. ve Uyan, M., 1989. İstanbul ve çevresindeki betonların niteliği üzerine bir inceleme, 1. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 63-64.

Ang, A. H. S. ve Tang, W.H., 1984. Probability concepts in engineering planning and design, John Wiley and Sons Inc., New York, Volume II.

Arbin, K., Palomo, A. ve Fernández-Jiménez, A., 2013. Alkali-activated blends of calciumaluminate cement and slag/diatomite, Ceramics International, 39, 9237–9245.

Arioğlu, E. ve Arioğlu, N., 2005. Üst ve alt yapılarda beton karot deneyleri ve değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.

Atahan, H., Oktar, O. ve Taşdemir, M., 2011. Factors determining the correlations between high strength concrete properties, Construction and Building Materials, 25, 5, 2214-2222.

Aydoğan, D., 2008. L momentleri yöntemiyle Çoruh havzasının bölgesel frekans analizinin yapılması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Balta, İ., 1991. Yüksek mukavemetli beton ve bileşenleri, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 246-255.

Baradan, B., ve Şimşek, M., 1991. Silika tozlu yüksek dayanımlı beton, İMO Haber Bülteni, 33, 23-26.

Barlett, M. ve Macgregor, J., 1996. Statistical analysis of the compressive strength of concrete in structures, ACI Materials Journal, 2, 93-M18.

Bayazıt M., 1981. Hidrolojide istatistik yöntemler, Birinci Baskı, İTÜ İnşaat fakültesi matbaası, İstanbul.

Bayazıt M. ve Yeğen Oğuz E.B., 2013. Mühendisler için istatistik, Birsan Yayınevi İstanbul.

Binici, H., 2007. March 12 and June 6, 2005 Bingol–Karlioiva earthquakes and the damages caused by the material quality and low workmanship in the recent earthquakes, Engineering Failure Analysis, 14, 233–238.

Caspeele, R., Sykora, M. ve Taerwe, L., 2014. Influence of quality control of concrete on structural reliability : assessment using a Bayesian approach, *Materials and Structures*, 47, 105-116.

Castelli, M., Vanneschi, L. ve Silva, S., 2013. Prediction of high performance concrete strength using genetic programming with geometric semantic genetic operators, *Expert Systems with Applications*, 40, 6856–6862.

Celep, Z., Erken, A., Taşkın, B. ve İlki, A., 2011. Failures of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancılar and Palu (Elazığ) earthquakes in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 18, 868–889.

Chen, X., Wu, S., ve Zhou, J., 2014a. Variability of compressive strength of concrete cores, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, 28, 4, 06014001.

Chen, X., Wu, S., ve Zhou, J., 2014b. Compressive strength of concrete cores with different lengths, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26, 7 , 04014027.

Chen, X., Wu, S., ve Zhou, J., 2015. Compressive strength of concrete cores under high strain rates, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 29, 1, 06014005.

Chin, M. S., Mansur, M. A. ve Wee, T. H., 1997. Effects of shape, size, and casting direction of specimens on stress-strain curves of high-strength concrete, *ACI Materials Journal*, 3, 94-M24.

Cilason, N., Balta, İ. ve Aksoy, N., 1991. Yüksek mukavemetli beton:Türkiye’de uygulama, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 407-426.

Chmielewski, T. ve Konopka, E., 1999. Statistical evaluations of field concrete strength, *Magazine of Concrete Research*, 51, 1, 45-52.

Dikmen, S. Ü. ve Özek, S., 2011. Deprem bölgelerinde zemin sınıfının sanayi yapılarının maliyetine etkisi, *İMO Teknik Dergi*, 357, 5543-5558.

Dorum, A. ve Yıldız, K., 2011. Yüksek dayanımlı betonlarda pomza ve zeolitin kullanılabilirliği, *İMO Teknik Dergi*, 345, 5335.

Doğangün, A., Ural, A., Sezen, H., Güney Y., ve Fırat, F. K., 2013. The 2011 earthquake in Simav, Turkey and seismic to reinforced concrete buildings, *Buildings*, 3, 173-190.

Ellingwood, B. ve Ang. A. H. S., 1972. Probabilistic study of Safety criteria for design, *Structural Research Series No. 387*, Department of Civil Engineering, University of Illinois, Urbana.

Ersoy, U. ve Özcebe, G., 2012. Betonarme temel ilkeler TS-500-2000 ve Türk deprem yönetmeliğine göre hesap, Evrim Yayınevi ve Bilgisayar San. Tic. Ltd. Şti., İstanbul.

Ersoy, U., 2000. Betonarme temel ilkeler ve taşıma gücü hesabı, ODTÜ, Evrim Yayınları, Ankara.

Ersoy, U., ve Tankut, T., 1991. Yüksek dayanımlı betonun yapısal davranışı ile ilgili bir irdeleme, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 122-139.

Erdoğan, T., Y., 2010. Beton, Üçüncü baskı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş.Yayını, Ankara.

Fırat, F. K., 2005. Antalya yöresindeki kullanılan betonun niteliğinin istatistiksel olarak incelenmesi, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, Kongre Sempozyum Bildiriler Kitabı, 217-224, Antalya, Türkiye.

Fırat, F. K., 2006. Statistical evaluation of the quality of concrete used in Turkey, 7th International Congress on Advances in Civil Engineering, Yıldız Technical University, İstanbul, Türkiye.

Fırat F. K., 2007. Development of load and resistance factors for reinforced concrete structures in Turkey, Doctorate Thesis, Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Ankara.

Fırat, F. K., ve Yüçemen M. S., 2007. Assessment of different sources of uncertainties involved in reinforced concrete members, International Conference on Concrete Technology in Developing Countries, 8th ICCTDC, Tunis.

Fırat, F. K., ve Yüçemen M. S., 2008. Uncertainty analysis for reinforced concrete members constructed in Turkey, International Conference on Construction and Building Technology, ICCBT, Kuala Lumpur, Malaysia.

Fırat, F. K. ve Ağca, R. 2012. Yüksek dayanımlı betonda kalite denetimi, Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Dergisi, 25, 1, 75-89.

Fırat, F. K., ve Yüçemen M. S., 2014. Determination of new load and resistance factors for reinforced concrete structural member, Teknik Dergi Digest, 1787-1810.

Fiorato, A. E., 1989. PCA Research on high-strength concrete, Concrete International, 11, 4, 44-50.

Graybeal, B., ve Davis, M., 2008. Cylinder or cube : strength testing of 80 to 200 Mpa ultra-high-performance fiber-reinforced concrete, ACI Materials Journal, 6, 105-M68.

Günindi, İ., 2005. Yumurtalık sugözü uçucu külü içeren betonların basınç, eğilme ve aşınma dayanımlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Gürlek, O. ve Özturan, T., 1991. Kolonlarda yüksek mukavemetli beton kullanımının maliyet mukayeseli incelenmesi, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 183-194.

Gürsu, Y., Kalmış, M., Akdağ, Ü. ve Parla, B., 1991. Türkiye’de otoyol şantiyelerinde üretilen yüksek dayanımlı betonlarla ilgili bir istatistiksel çalışma ve üretim-kalite sorunları, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 427-443.

Hınıs, M. A., 2008. Standart yağış indeksi ile Konya’nın geçmişten günümüze kuraklık değerlendirilmesi, Konya Kapalı Havzası Yeraltı Suyu ve Kuraklık Konferansı, Konya, Bildiriler Kitabı, 238-245.

İnel, M., Bilgin H. ve Özmen, H. B., 2008. Orta yükseklikli betonarme binaların Türkiye’de yaşanan son depremlerdeki performansı, İMO Teknik Dergi, 284, 4319-4331.

Jahren, P., 1993. Use of silica fume in concrete, ACI Sp Publication SP-79, Detroit, 625-645.

Khaloo, A. R., Mohamad R., Mohamad, S. ve Sharam M. A., 2009. Size influence of specimens and maximum aggregate on dam concrete: compressive strength, Journal of Materials in Civil Engineering, 21, 8, 349-355.

Kocataşkın, F., 1991. Yüksek dayanımlı betonun bileşimi, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 211-226.

Kömürcü, A. M., 1995. A probabilistic assessment of load and resistance factors for reinforced concrete structures considering the design practice in Turkey, M. Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, METU, Ankara.

Kömürcü, A. M., ve Yüçemen, M. S., 1996. Load and resistance factors for reinforced concrete beams considering the design practice in Turkey, Concrete Technology for Developing Countries, Fourth International Conference, Eastern Mediterranean University, Gazi Magusa, North Cyprus.

Li, Q. ve Ansari, F., 2000. High-strength concrete in triaxial compression by different sizes of specimens, ACI Materials Journal, 6, 97-M77.

Mertol, H. C., 2010. Normal ve yüksek dayanımlı beton kullanılan tasarımların karşılaştırılması, 5. Ulusal Yapı Kongresi ve Sergisi Bildirileri, İstanbul, 99-108.

Mirza, S. A., Hatzinikolas, M. ve MacGregor, J. G., 1979. Statistical description of the strength of concrete, Journal of the Structural Division, ASCE, 105, ST6, 1021-1037.

Moradpour, R., Taheri-Nassaj, E., Parhizkar, T. ve Ghodsian, M., 2013. The effects of nanoscale expansive agents on the mechanical properties of non-shrink cement-

based composites: The influence of nano-MgO addition, Composites: Part B, 55, 193–202.

Navarro-Blasco, Í., Fernández, J. M., Duran, A., Sirera, R. ve Álvarez, J. I., 2013. A novel use of calcium aluminate cements for recycling waste foundry sand (WFS), Construction and Building Materials, 48, 218–228.

Neville, A. M. ve Brooks, J. J., 2008. Concrete technology, Pearson Education.

Nowak, A. S., ve Szerszen, M. N., 2003. Calibration of design code for buildings (ACI 318) : part 1- statistical modals for resistance, ACI Structural Journal, 377-382.

Öztekin, E., İşözen, H., ve Suvakçı, A., 1991. Türkiye’de yüksek dayanımlı beton üretiminde uygulamanın ve araştırmanın mevcut durumu, 2. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, Bildiriler Kitabı, 350-367.

Postacıoğlu, B., 1978. Betonun basınç mukavemetinin dağılması, İTÜ Dergisi, 36, 1.

Postacıoğlu, B., 1987. Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

Pucinotti, R., 2013. Assessment of in situ characteristic concrete strength, Construction and Building Materials, 44, 63-73.

Real, M. V., Filho, A. C., ve Sergio, R. M., 2003. Response variability in reinforced concrete frames –role of aleatoric and epistemic uncertainties, Structural Safety, 32, 1-12.

Russell, H. G., 1999. Why use high-performance concrete?, Concrete Products, 121-122.

Song, P. S., Wu, J. C., ve Hwang, B. C., 2005. Assessment of statistical variations in impact resistance of high-strength concrete and high-strength steel fiber-reinforced concrete, Cement and Concrete Research, 35, 2, 393–399.

Soroka, I. ve Baum, H., 1994. Influence of specimen size on effect of curing regime on concrete compressive strength, Journal of Materials in Civil Engineering, 6, 1, 15-22.

Sungur, S., 2006. Kendiliğinden yerleşen mimari betonlarda pigment katkısının etkileri, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Şengül, Ö., Taşdemir, M., A. ve Sönmez R., 2005. Yüksek oranda uçucu kül içeren normal ve yüksek dayanımlı betonların klor geçirimsizliği, İMO Teknik Dergi, 77, 10-12.

Tabsh, S. W. ve Aswad, A., 1997. Statistics of high-strength concrete cylinders, ACI Materials Journal, 94, 5, 361- 364.

Taghaddos, H., Soleymani, H. ve Robson, J., 2010. Precision of compressive strength testing of concrete with different cylinder specimen sizes, *ACI Materials Journal*, 5, 107-M52.

Taşdemir, M., A., Şahin, R., Gül, R. ve Çelik, C., 2007. Taze beton özelliklerinin optimizasyonu, *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 38, 127-135.

Taşdemir, C., 1996. Mikrofiller malzemelerin betonun mekanik özelliklerine etkisi, 4. Ulusal Beton Kongresi, *Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkıları Bildiri Kitabı*, İstanbul, 175-187.

Topçu, İ. B., Ünverdi, A. ve Karakurt, C., 2005. Eskişehir’de bir hazır beton firmasının beton kalitesinin istatistiksel değerlendirilmesi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 18, 2.

Türkel, A., 2006. Betonun basınç dayanımına numune boyutunun etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Unanwa, C., ve Mahan, M., 2014. Statistical analysis of concrete compressive strengths for California Highway Bridges, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, ASCE, 28, 1, 157-167.

Ural, A., ve Fırat, F. K., 2015. Evaluation of masonry minarets collapsed by a strong wind under Uncertainty, *Natural Hazards*, 76, 2, 999-1018.

Üzümeri, Ş. M., ve Özden, Ş., 1991. Yüksek dayanımlı betonun inşaatı kullanımı konusunda standartlar ve yönetmeliklerdeki gelişmeler”, 2.Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, *Bildiriler Kitabı*, 159-182.

Vincent, T. ve Ozbakkaloglu, T., 2015. Compressive behavior of prestressed high-strength concrete-filled aramid FRP tube columns: experimental observations, *Journal of Composites for Construction*.

Wana, K., Xu, Q., Li, L. ve Sun, W., 2013. 3D porosity distribution of partly calcium leached cement paste, *Construction and Building Materials*, 48, 11–15.

Yalçın, H. ve Gürü, M., 2007. Çimento ve beton, Birinci Baskı, Palme Yayıncılık, Ankara.

Yang, I. H., 2007. Uncertainty and sensitivity analysis of time-dependent effects in concrete structures, *Engineering Structures*, 29, 1366-1374.

Yazıcı, M., 2006. Rize-İyidere deresindeki agregaların hazır beton üretiminde kullanılabilirliği, *Yüksek Lisans Tezi*, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Yazıcı, Ş., 2002. Değişik akışkanlaştırıcıların betondaki performansları, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 4, 2, 41-52.

Yılmaz, F. ve Mertol, H. C., 2011. Türkiye’de yüksek dayanımlı betonun kullanımı-standartlar, tasarım ve yapım, 2.Köprü ve Viyadükler Sempozyumu, Eskişehir.

Yoo, D., Lee, J. ve Yoon, Y., 2013. Effect of fiber content on mechanical and fracture properties of ultra high performance fiber reinforced cementations composites, Composite Structures, 106, 742–753.

Yücemen, M. S., ve Gülkan, P., 1989. Assessment of load and resistance factors for reinforced concrete structures, proceedings, 10th Technical Congress, Turkish Chamber of Civil Engineers, 2, 637-651.

Yüce, O., 2011.Yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen betonlar, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.

TS 500, 2000. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 11222, 2001. Beton, hazır beton-sınıflandırma, özellik, performans, üretim ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 206-1, 2002. Beton-Bölüm 1 : özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 706 EN 12620, 2003. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 197-1, 2002. Genel çimentolar, bileşim özellikleri ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1008, 2003. Beton, karma suyu, numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TSE 498, 1998. Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ACI 363-10, (2010), State-of-the-Art Report on High-Strength Concrete (ACI 363R-10). American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, USA, 65 p.
<http://www.concrete.org/pubs/newpubs/363R-10web.pdf> Mart2010,
alındığı tarih:25.06.2015

URL< <http://www.thbb.org/sector/istatistikler/> >, alındığı tarih:25.06.2015

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Nasibe ESER

Doğum Tarihi ve Yeri: 01.07.1983 MERSİN

E-posta adresi : ne_si_be33@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği,
2007.

Yüksek Lisans: Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği,
2015.

