



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

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**PREFABRİK YAPILARDA KULLANILAN BETONUN
KALİTESİNİN İNCELENMESİ VE YENİ BETON MALZEME
KATSAYISI ÖNERİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HATİCE KÜBRA ALTUNOK

TEZ DANIŞMANI

Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

AKSARAY, 2019

Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 162303404 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Hatice Kübra ALTUNOK tarafından hazırlanan "PREFABRİK YAPILARDA KULLANILAN BETONUN KALİTESİNİN İNCELENMESİ VE YENİ BETON MALZEME KATSAYISI ÖNERİLMESİ" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir

Danışman: Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye: Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS

Aksaray Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Üye: Prof. Dr. Mahmud Sami DÖNDÜREN

Konya Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum



Tez Savunma Tarihi: 09/08/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.



Doç. Dr. Mehmet Ali HINIS
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Hatice Kübra Altunok

TEŞEKKÜR

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

Çalışmam boyunca ve tüm eğitim hayatımda sonsuz destek olan canım anneme, babama ve kardeşlerime tüm kalbimle teşekkür ederim.

Hatice Kübra Altunok

AKSARAY, 2019



İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
ŞEKİLLER DİZİNİ	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	viii
1. GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Çalışmanın Amacı	6
2. BETON.....	8
2.1 Dünya'da ve Türkiye'de Hazır Beton Sektörü	12
2.2 Taze Beton.....	14
2.3 Betonun Basınç Dayanımı.....	16
2.4 Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler.....	17
2.5 Betondaki Nitelik ve Denetim Şartları	19
3. PREFABRİK YAPILAR VE KULLANILAN BETON	24
3.1 Prefabrikasyonun Tarihi Gelişimi	24
3.2 Prefabrikasyonun Kullanım Alanları.....	29
3.3 Prefabrik Yapılarda Kullanılan Beton	29
3.3.1 Agrega.....	29
3.3.2 Çimento.....	31
3.3.3 Su	31
3.3.4 Mineral katkıları	32
3.3.4.1 Uçucu küller	33
3.3.4.2 Silis dumanı	33
3.3.5 Kimyasal katkıları.....	34
4. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ	36
4.1 Bir Rastgele Değişkenin İstatistiksel Momentleri	36
4.1.1 Ortalama	36
4.1.2 Varyans	37
4.1.3 Standart sapma.....	37
4.1.4 Değişkenlik katsayısı	37
4.2 Parametre Tahmin Yöntemi	38
4.3 Olasılık Dağılım Fonksiyonları	39
4.3.1 Normal dağılım.....	39
4.3.2 Log-normal dağılım	39
4.3.3 Gamma dağılımı	40
4.3.4 Gumbel dağılımı	41
4.4 Olasılık Dağılımla İlgili Uygunluk Testleri	41
4.4.1 Kolmogorov-Smirnov testi	41
4.4.2 Ki-Kare testi.....	42
4.5 Merkezi Limit Teoremi	43
5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ	44
5.1 Belirsizlik Analizi.....	58

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	65
KAYNAKLAR	67
ÖZGEÇMİŞ.....	71



YÜKSEK LİSANS TEZİ

PREFABRİK YAPILARDA KULLANILAN BETONUN KALİTESİNİN İNCELENMESİ VE YENİ BETON MALZEME KATSAYISI ÖNERİLMESİ

Hatice Kübra ALTUNOK

**Aksaray Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Doç. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ÖZET

Çalışmada, Türkiye'deki prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesi incelenmiştir. Beton kalitesi açısından en önemli kriter beton basınç dayanım değeridir. İncelemelerde 7 ve 28 günlük betonun basınç dayanımından faydalanılmıştır. Çalışmada Ankara, Konya, Aksaray ve Malatya illerinden bulunan prefabrik beton firmalarından toplam 11.820 adet veri kullanılmıştır. Alınan veriler C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıflarına ait olup, her bir firma için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Her bir firmaya ait verilerden faydalanılarak, ortalama değer, standart sapma ve değişkenlik katsayısı bulunmuştur. Betonun basınç dayanım değerlerinin hangi dağılım için uygun olduğunu tanımlamak amacıyla; Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov dağılımı testleri ticari bir program olan Easyfit'te analiz edilmiştir. Sonuçlar incelenerek bir belirsizlik analizi yapılmış nihayetinde 1.35 değeri yeni beton malzeme katsayısı olarak önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Prefabrik, Beton basınç dayanımı, Normal dağılım, Belirsizlik analizi, Ki-Kare, Kolmogorov-Smirnov.

Ağustos, 2019; 71 sayfa

M.Sc. THESIS

INVESTIGATION OF THE QUALITY OF CONCRETE USED IN PREFABRICATED BUILDINGS AND RECOMMENDATION OF NEW CONCRETE MATERIAL COEFFICIENT

Hatice Kübra ALTUNOK

**Aksaray University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Fatih Kürşat FIRAT

ABSTRACT

The main aim of this study is to determine the quality of prefabricated concrete. Concrete compressive strength is the most important parameter of the concrete quality. The results of 7 and 28 days compressive strengths of concrete are used. The data of the study are collected from prefabricated building companies in Ankara, Konya, Aksaray and Malatya. The data belonging to C20, C25, C30, C35, C40, C45 and C50 concrete classes is separated and analyzed for each firms. The average values, standard deviations and coefficient of variations are calculated. To define the best fit distribution for compressive strength of concrete; The Chi-square and Kolmogorov-Smirnov tests are performed by using a commercial computer program called Easyfit. An uncertainty analysis are conducted based on the concrete compressive strength data and finally, the value of 1.35 are purposed as the new concrete material coefficient for prefabricated buildings.

Key Words: Concrete, Precast concrete, Concrete compressive strength, Normal distribution, Uncertainty analysis, Chi-Square, Kolmogorov-Smirnov.

Agust, 2019; 71 pages

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 5.1. Bütün beton sınıflarındaki 7 ve 28 günlük numunelerin adetleri.	48
Şekil 5.2. Bütün beton sınıflarına ait (a) C20, b) C25, c) C30, d) C35, e) C40, f) C45, g) C50) numunelerin 7günlük basınç dayanım aralıkları.....	50
Şekil 5.3. Tüm beton sınıflarına ait (a) C20, b) C25, c) C30, d) C35, e) C40, f) C45, g) C50) numunelerin 28 günlük basınç dayanım aralıkları.....	52



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Türkiye’de yıllara göre hazır beton üretimi.	11
Çizelge 2.2. Türkiye’de yıllara göre hazır beton firma ve üretim tesisi sayısı.	11
Çizelge 2.3. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) üye ülkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları.	13
Çizelge 2.4. Ülkeler için hazır beton üretimi.	14
Çizelge 2.5. TS 500’deki beton sınıfları ve basınç dayanım değerleri.	20
Çizelge 2.6. TS EN 206 için beton basınç dayanımları.	21
Çizelge 2.7. TS EN 206'ya göre basınç dayanımdaki uygunluk kriteri.	21
Çizelge 2.8. TS 11222’e göre betonun basınç dayanım değerleri.	22
Çizelge 3.1. Prefabrike Betonarme yurtların iller bazında dağılışı.	27
Çizelge 3.2. Beton Prefabrikasyon sektörünün 2016 yılı profili.	28
Çizelge 3.3. Üye ve üye dışı üretim miktarları (m ³).	28
Çizelge 4.1. Kolmogorov-Smirnov testi için Δ_α kritik değerleri.	42
Çizelge 5.1. Firmalara göre 28 günlük C30 beton numunelerin istatistiksel değerleri.	45
Çizelge 5.2. Firmalara göre 7 günlük C30 betonu istatistiksel sonuçları.	45
Çizelge 5.3. Firmalara göre 28 günlük C35 betonu istatistiksel sonuçları.	46
Çizelge 5.4. Numune tipine göre 7 günlük C35 betonunu istatistiksel değerleri.	46
Çizelge 5.5. Firmalara göre 28 günlük C40 betonunu istatistiksel değerleri.	47
Çizelge 5.6. Firmalara göre 7 günlük C40 betonunu istatistiksel değerleri.	47
Çizelge 5.7. Bütün beton sınıflarına ait numunelerin 7 ve 28 gün için basınç dayanımlarının frekans değerleri.	48
Çizelge 5.8. 7 ve 28 günlük beton numuneler için istatistiksel veriler.	53
Çizelge 5.9. Numune tipine göre beton sınıfına ait 28 günlük numunelerin Kolmogorov-Smirnov testi için sonuçlar ve kritik değerler.	54
Çizelge 5.10. Numune tipine göre 28 günlük numunelerin Ki Kare testi için sonuçlar ve kritik değerler.	55
Çizelge 5.11. 28 günlük C20, C25, C30 ve C35 beton numunelerine ait Kolmogorov- Smirnov testi için sonuçlar ve olasılık dağılım fonksiyonlarındaki kritik değerler.	56
Çizelge 5.12. 28 günlük C40, C45 ve C50 beton numunelerine ait Kolmogorov- Smirnov testi için sonuçlar ve olasılık dağılım fonksiyonlarındaki kritik değerler.	57
Çizelge 5.13. 28 günlük numunelerin Kolmogorov-Smirnov test sonuçları için olasılık dağılımı.	58

SİMGELER VE KISALTMALAR

C_{vx}	Değişkenlik katsayısı
Değişken. Katsay.	Değişkenlik Katsayısı
E_c	Betonun 28 günlük elastisite modülü
ERMCO	Avrupa Hazır Beton Birliği
EV I	Gumbel Dağılımı
$F(x_i)$	Eklenik dağılım fonksiyonu
f_c	Ortalama beton basınç dayanımı
$\bar{f}_c$	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
K-S	Kolmogorov-Smirnov dağılım testi
Küp. Day.	Küp Dayanımı
LN	Log-normal Dağılım
N	Normal Dağılım
N_i	Gözlenen değer
N_i	Rassal düzeltme katsayısı
N_{pi}	Beklenen değer
Num. Say.	Numune Sayısı
Num. Tip	Numune Tipleri
Ort Day	Ortalama Dayanım
PPCC	Olasılık Çizgisi Korelasyon Testi
R	Yükleme hızı
$Q(x_i)$	Teorik dağılımın eklenik olasılık fonksiyonu
s_x	Standart sapma
Std Bas Day	Standart Basınç Dayanımı
THBB	Türkiye Hazır Beton Birliği
TPB	Türkiye Prefabrik Birliği
Var(x)	Varyans
X	Rastgele değişken
X^2	Ki-Kare dağılım testi
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 dağılımının 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
 Ω_{xi}

Standart sapma
Toplam belirsizlik için değişkenlik katsayısı



1. GİRİŞ

Teknoloji ve bilimin gelişmesiyle birlikte günümüzde her alanda yenilikler yaşandığı bilinen bir gerçektir. Nüfusun artması, ihtiyaçların çeşitlenmesi, yaşam alanlarının genişlemesiyle birlikte yeni ve farklı yapılara ihtiyaç artması sonucu bu yeniliklerin en çok yaşandığı alanlardan birisi inşaat sektörü olmuştur. Yaşanan yeniliklerin sonucunda ortaya çıkan inşaat bilincinde aranan en temel unsurlardan birisi ise yapının güvenliğidir. Yapıların güvenliğini belirleyen en etkili faktörlerden birisi kullanılan malzemenin kalitesidir. Dolayısı ile yeni yapılan inşaat hacminin çok büyük kısmını oluşturan betonarme yapılarda kullanılan en önemli malzeme olan betonun kalitesi de bu yüzden oldukça önemlidir.

Dünya çapında nüfus artışı, deprem, sel gibi doğal afetler ve savaşların bıraktığı yapısal hasarlar, malzeme kalitesinde iyileşmeye gidilmesi ve yeni yapı yöntemlerine ihtiyaç duyulmasına yol açmıştır. Türkiye, Alp-Himalaya deprem kuşağında yer almakta olup Doğu Anadolu ve Kuzey Anadolu fay hatları ile kuşatılmaktadır. Özellikle, Marmara, Ege ve Doğu Anadolu bölgelerimiz önemli fay hatları üzerinde yer almaktadır. Ayrıca 1939 Erzincan depremi, 1998 yılındaki Adana-Ceyhan depremi, 1999 İzmit Depremi, 2011 Van depremi sonrası görülen olumsuz neticelerden dolayı yapılardaki betonların dayanım ve dayanıklılığın artırılması gerektiği anlaşılmıştır. İlerleyen teknoloji sayesinde önemli gelişimler gösteren beton üretimi şantiye ortamlarında elle üretim yapımından, 1980'li yıllardan sonra beton santrallerinde denetimli ve standartlara uygun üretimlere geçilmiştir.

Prefabrik yapı elemanları bu gelişmeler doğrultusunda yaygınlaşmıştır. Tarihi geçmişi 19 yy.'a kadar dayanmasına rağmen prefabrik yapılar ikinci dünya savaşından sonra daha çok üretilmeye başlanmıştır. Savaş ve felaketlerden sonra insanların barınma ihtiyaçlarına hızlı bir şekilde karşılık vermek için uygun bir çözüm olarak değerlendirilmiştir. Özellikle gelişmiş ve sanayileşmiş ülkelerde bina sistemleri olarak çok yaygın kullanılan prefabrik yapılar Türkiye'de geri kalmış olup ilk örnekleri 1960 yıllarında tek katlı endüstri yapılarında görülmüştür. Kişi başına prefabrik oranı Almanya'da 740 kg/kişi, Belçika'da 920 kg/kişi, Danimarka'da 430 kg/kişi, Fransa'da 520 kg/kişi Türkiye'de ise 65 kg/kişi'dir. Gelişmiş ülkeler için inşaat sektörü içerisinde prefabrikasyon oranı min. %30-40 iken Türkiye'de % 5-6

oranındadır (URL-1). Bu rakamlar Türkiye’de de prefabrik yapı kullanımının zamanlar artacağıının bir göstergesidir.

Yaşanan büyük depremler sonucu prefabrik yapılarda meydana gelen hasarların önemli derecede olması prefabrik yapılara karşı güvensizlik oluşturmuştur. Bu hasarların oluşma sebeplerinin en önemlisi özellikle birleşim bölgelerindeki betonun istenilen kalitede üretilmemiş olması, prefabrikasyon üretimi ve kontrollerinin düzenli olarak yapılmaması gösterilebilir. Standartlar ve yönetmeliklere uygun şekilde üretilen ve denetimleri düzenli şekilde sağlanan prefabrik yapılar depreme karşı yeterli dayanım gösteren bir yapı türüdür.

Prefabrik yapılar için kullanılan beton, tür olarak yerinde uygulanan betonla farklılık göstermemesine rağmen üretim ve bakım tekniğinin kontrol edilebilir olmasından ve kullanılan katkılardan dolayı genellikle diğer betonlardan daha yüksek mukavemete sahiptirler ve beton içerisindeki değişkenlikleri azdır. Bunun bir sonucu olarak çoğu zaman prefabrik yapılarda yüksek dayanımlı betonlar kullanılmaktadır. Yüksek dayanımlı beton; yüksek kalitede agrega ve çimento ile silis dumanı gibi puzolanik katkıları kullanılarak üretilen, su/çimento oranı 0,20 derecelerine hatta daha da altına indirilerek yüksek işlenebilirlik ve döküm kolaylığı sağlanabilen özel bir beton çeşididir (Fırat ve Ağca, 2012). Yüksek dayanımlı betonlar sayesinde yapı elemanların ağırlıkları düşer ve hem yapıya etkiyen yük miktarı azalır hem de malzemeden tasarruf sağlanmış olur. Prefabrik yapılarda kullanılan betonun, yerinde uygulanan betona karşı oldukça avantajları vardır. Bunlar;

- Çevreye karşı duyarlı malzemeler kullanılarak üretim yapılabilmesi ve geri dönüşümde kullanılabilmesi
- Daha kalifiye elemanlar tarafından uygulanmasından dolayı işçilik hatalarının en aza indirilmesi
- Fabrika ortamında üretilmesinden dolayı hava şartlarından etkilenmemesi
- Hızlı üretim sayesinde zamandan tasarruf sağlanması
- Köprü, viyadük gibi yapılarda kullanılarak daha geniş açıklıkların daha küçük kesitlerle geçilebilmesi

Betonun kazanmış olduğu karakteristik dayanım değeri bazı negatif koşullar ya da uygulama esnasında karşılaşılabilecek olumsuzluklardan dolayı güvenli bölgede kalmak amacıyla standartlarda belirtilmiş bir değeri, belirli oranda azaltılarak tasarım dayanımları elde edilmektedir. Tasarım dayanımlarının hesaplanmasında faydalanan bu değerler beton malzeme katsayı değeri olarak adlandırılmaktadır. 1980'li yıllardan sonra yaygınlaşan hazır beton üretimi ve özellikle yaşanan büyük depremlerden sonra beton kalitesindeki hızlı artışa rağmen Türkiye'deki standart ve yönetmeliklerde tasarım ve uygulamalarda kullanılan prefabrik yapılar için beton malzeme katsayısı uzunca bir süredir 1,4 alınarak kullanılmaktadır. Beton üretim ve bakım tekniklerinde yaşanan iyileşmelerin prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesini ne oranda etkilediği ve yeni bir malzeme katsayısına gerek olup olmadığı önemli bir araştırma konusudur.

1.1 Literatür Özeti

Beton kalitesini belirlemek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Akyüz ve Uyan, (1989)'da ülkemizdeki betonun kalitesini ve niteliğini inceleyen ilk çalışmaların birisini yapmıştır. Yaptıkları çalışmada TS500'e göre 1986-1988 yılları arasında İstanbul ve çevresinden alınan betonların basınç dayanımlarının istatistiksel sonuçlarına göre, betonların nitelik ve kalitesini belirlemişlerdir. Geçen süreçte beton kalitesinde herhangi bir ilerleme olmadığı görüşüne ulaşmışlardır.

Arioğlu, (1989) prefabrikasyon endüstrisinde beton kalitesini ve denetiminin mevcut durumuyla ilgili bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada prefabrik sektöründe üretilen betonun kalite ve kalite kontrol düzeyinin 10 farklı firmadan alınan anket değerleri sonucunda belirlenmiştir. Her firmadan her bir beton sınıfı için en az 500 değer bulunan bir döneme ait ortalamalar, standart sapmalar ve değişme katsayıları alınmış firmalara gelen verilerin ağırlıklı ortalaması olarak her sınıfa ait olan değerler hesaplanmıştır. Standart sapmanın 27 ile 49 kgf/cm² arasında değişmekte olup ortalama olarak 29-46 kgf/cm² olduğu, değişme katsayısının %5,3 ile %13 arasında değişkenlik gösterdiği ortalama olarak %6,5- %12,5 arasında yer aldığı, genel olarak

ortalama standart sapmanın 34 kgf/cm², değişkenlik katsayısının %8,9 olduğu gösterilmiştir.

Ersoy ve Tankut, (1991) çalışmalarında yüksek dayanımlı betondaki yapısal davranış üzerine bir inceleme yapmışlardır. Bu çalışmada yüksek dayanımlı betonun yapısal davranışı deneysel ve analitik çalışmalar dahilinde incelenmiştir. Bu çalışmada yüksek dayanımlı beton ile normal dayanımlı betonun gerilme birim deformasyon ilişkileri karşılaştırılmıştır. Yaptıkları incelemede, taşıma gücü hesabında kullanılan beton gerilme dağılımının, kesme ve eğilme için öngörülen minimum donatının ve bileşik eğilme altında zorlanan elemanlar için önerilen sargı donatısının yüksek dayanımlı betonlar için yetersiz kalabileceği gösterilmiştir. Bu durumlarda gerekli verilerin toplanabilmesi için deneysel çalışmaların gerekliliği vurgulanmıştır.

Gürsu vd., (1991) Türkiye’de otoyol şantiyeleri için üretilmiş yüksek dayanımlı betonun üretim ve kalitesi üzerine istatistiksel bir inceleme yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarında TS 500 standardında C35 ve üstü beton sınıfları için uygun görülen $\Delta f=8$ MPa’ı karşılayan yaklaşık 6.3 MPa standart sapma ve değişim katsayısı %15’i aşmayan üretimin otoyol şartları için zor olamadığı sonucuna ulaşmışlardır.

Küçük, (2000) yaptığı çalışmada betonun statik ve betonarme hesaplardaki dayanımını şantiye ortamında sağlanıp sağlanmadığı üzerine inceleme yapmıştır. Küçük, (2000) bu çalışmada beton üretiminde önce laboratuvar ortamında malzeme özellikleri ve karışım oranlarına göre bir numune hazırlanarak denenmeli, gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra karar verilmesi gerektiği sonucuna varmıştır. Ayrıca şantiyede ve hazır beton santrallerinde yapılan üretimlerde periyodik numuneler alınarak beton kalitesinin kontrol edilmesi sonucuna ulaşılmıştır.

Fırat, (2005) yaptığı bir çalışmada Antalya ve çevresindeki betonların nitelikleri üzerine istatistiki bir irdeleme yapmıştır. Bu çalışmada çoğunluklu olarak 2000-2005 yılları arasındaki verileri kapsamlı olarak incelenmiş, çalışmanın sonucunda 2000, 2001, 2002, 2003, 2004 ve 2005 yıllarına ait bu numunelerin genel olarak beton basınç dayanımlarında artış olduğu belirtilmiştir.

Fırat, (2006) yaptığı çalışmada Türkiye'de kullanılan betonun kalitesini istatistik açıdan incelemiştir. Çalışmada farklı illerden toplanan veriler beton sınıfları ve kullanılan yıllara göre ayırarak istatistiksel analiz yapılmıştır. Fırat (2006), bu çalışmada betondaki belirsizlik analizleri için değişkenlik katsayı değerinin önemli olduğu bu yüzden yapıların projelendirme ve yapım aşamalarında bu tür belirsizliklerin dikkate alınması ve projelendirme aşamasında bu belirsizliklerin çeşitli analiz yöntemleri ile üstesinden gelinmesi gerektiği sonucuna ulaşmıştır.

Ergün ve Başaran, (2011) yaptıkları çalışmada Afyonkarahisar ilindeki 2009-2010 yıllarında farklı beton santrallerinde üretilen hazır betonların nitelik denetiminde kalite değişimini istatistiksel olarak incelemişlerdir. İnceleme sonucunda Afyonkarahisar il merkezi için beton kalitesindeki gelişim ortaya konulmuş ve iyileşmenin olduğu belirtilmiştir.

Fırat ve Ağca, (2012) tarafından yapılan çalışmada Marmaray Projesindeki C40 betonunun kalitesi, 7 ve 28 günlük silindir beton numunelerin basınç dayanımlarından faydalanılarak incelenmiştir. Ayrıca bu çalışmada normal ve yüksek dayanımlı betonlar karşılaştırılmıştır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda Türkiye standartlarında yüksek dayanımlı beton olarak nitelendirilen C40 betonun bu proje için ortalama değerinin ve değişkenliklerin yüksek olduğu bulunmuştur.

Topçu ve Ateşin, (2013) yaptıkları çalışmada Kütahya'da üretilen betonları istatistiksel olarak incelemişlerdir. Bu çalışmada Kütahya ve çevresinde 2011 yılında farklı şantiyelerden üretilip, basınç dayanımlarını belirlemek amacıyla laboratuara getirilen numunelerden C30/37 betonun basınç dayanımları değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonucunda 2011 yılı itibarıyla beton üretiminde kalite kontrolün yüksek seviyelere ulaştığı görülmüştür.

Eser, (2015) yaptığı çalışmada yüksek dayanımlı betonun basınç dayanım kalitesini incelemiş ve yeni bir katsayı önerisinde bulunmuştur. Çalışmasında 7 ve 28 günlük betonun basınç dayanım değerlerinden yararlanılmıştır. Çalışmanın 1,55 malzeme katsayısı tavsiye edilmiştir.

Chmielewski ve Konopka, (1999) Baden-Württemberg, Almanya'daki üretilen C35 ve C45 sınıflarından numunelerin normal dağılım için uygunluğu ve beton basınç dayanım değişkenlikleri üzerine bir inceleme yapmışlardır.

Myers ve Carrasquillo, (1998) yaptıkları çalışmada Texas köprü yapılarında yüksek dayanımlı betonun üretim kalite kontrolü üzerine bir rapor yayınlamışlardır.

Unanwa ve Mahan, (2014) yaptıkları çalışmada Kaliforniya'da yakın zamanda inşa edilen köprüler için kullanılan 3,269 normal ağırlıklı beton silindir sıkıştırma testinin istatistiksel ve olasılık analiz sonuçlarını değerlendirmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasında prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesinin ayrıntılı olarak incelendiği bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu çalışmada prefabrik beton olarak nitelendirilecek betonlardan alınan 7 ve 28 günlük küp numunelerin basınç dayanım testine göre bulunan değerlere bakılarak prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesi irdelenmiş ve de beton kalitesine bağlı olarak yeni bir malzeme katsayısı önerilmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Dünya'da ve Türkiye'de bilimin ve teknolojinin gelişmesiyle insan yaşamında önemli bir yere sahip olan inşaat sektöründe de önemli yenilik ve değişimler olmuştur. Nüfusun artması, ihtiyaçların çeşitlenmesi, yaşam alanlarının genişlemesiyle birlikte farklı ve yeni yapılara ihtiyaç duyulmaya başlanmakta olup fabrika binalarının, hangarların, köprülerin, viyadüklerin vb. sayısında artış görülmektedir. Bu tür yapıların imalatını kolaylaştıran ve daha güvenli şekilde yapılmasını sağlayan prefabrik yapılar hızlı imalat unsuru da göz önüne alınarak önem kazanmıştır. Bu çalışmada Türkiye'deki prefabrik yapılarda kullanılan prefabrik betonun 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları incelenmiştir. Ayrıca, standartlara uygunluk, denetim koşullarının sağlanması, prefabrik betonda karşılaşılabilecek farklı belirsizlik kaynakların olması, hem yapılan kalite incelemelerinden bulunan değerlere hem de literatürdeki veri ve bilgilere dayanarak sayısallaştırılmış olup, buna bağlı bir belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir.

Çalışmada Ankara, Konya, Malatya ve Aksaray illerinde faaliyet gösteren 8 farklı prefabrik yapı firmasından alınan, köprü kiriş, aşıklar, kolon, otoyol alt yapı ve sanayi yapıları için kullanılan farklı sınıflardaki toplam 11.822 adet beton numunesinin 7 ve 28 günlük basınç dayanım değerleriyle ilgili verilerden faydalanılmış, prefabrik firmalardan elde edilen 15x15x15 cm küp numunelerin basınç dayanım değerleri için; standart sapmaları, ortalama değerleri ve değişkenlik katsayıları hesaplanmış ve standartlar dikkate alınarak beton kalitesi incelenmiştir. Çalışmada kullanılan veriler ilgili prefabrik firmalarında üretilen betonlardan elde edilen numunelerin deney sonuçlarından toplanmıştır.

Farklı beton sınıflarından alınan veriler Easyfit programında her bir firma için ayrı ayrı incelenmiş, Ki-Kare ve Kolmogorov-Smirnov testlerinin kritik değerlerine göre normal dağılıma uygunluklarına bakılmıştır. Bununla birlikte Kolmogorov-Smirnov testine bağlı, numunelerin Easyfit programındaki analizinden elde edilen sonuçlarına bakılarak Log-normal, Normal, Gumbel ve Gamma dağılımları arasından en uygun dağılım tespit edilmiştir.

Çalışmanın sonucunda elde edilen verilere dayalı olarak bir belirsizlik analizi yapılmış ve prefabrik yapılarda kullanılan beton için yeni bir malzeme katsayısı önerilmiştir.

2. BETON

Beton; çimento, kum, agrega ve katkı maddelerinin homojen olarak karıştırılması ile oluşan bir yapı malzemesidir. Yapıların temel bileşeni olan beton tarih boyu gelişme göstermiştir. Buzul çağıının sona ermesiyle birlikte insanlar kendileri için eve ihtiyaç duymuşlardır ve bunun sonucunda ilk yapılar meydana gelmiştir. Bu yapılarda bağlayıcı (harç) olarak çamur kullanılmıştır. Çamur ve samandan yapılan kerpiç evler, taş bloklar, kil ilk bağlayıcılar olarak görülmüş, daha sonraları kil, kireç, alçı, volkanik küllerden yararlanarak bağlayıcılar üretilmiştir. M.Ö 9500'lere dayanan Göbeklitepe'de bağlayıcı harç olarak çamur kullanıldığı, Mısır'da yer alan Mastaba adı verilen ilk kral mezarlarında kerpiç kullanıldığı, Romalıların Pantheon ve Colosseum yapılarında volkanik küf, volkanik kül veya pomza taşı tozunu kireçle karıştırıp oluşturdukları puzolan adı verilen bağlayıcıların kullanıldığı anlaşılmıştır. Öte yandan Orta Asya ve Anadolu'da bağlayıcı olarak Horasan harcı adı verilen malzemenin kullanıldığı görülmüştür. Bunlar beton sayılabilecek ilk örnekler olarak kabul edilir. İlk yapay çimento üretimi ise İngiliz J. Aspdin'in 1824 yılında kireç taşı ve kili fırınlamasıyla oluşturulan porlant çimentosu ile başlamıştır. Betonarme yapı sistemleri ile birlikte beton kullanımı oldukça yaygınlaşmıştır.

Beton kullanımının yaygınlaşmasının sebepleri için aşağıdakiler söylenebilir;

- Betondaki çekme dayanımının düşük olması çelik donatılar sayesinde geliştirilerek betonarme yapı elemanlarının (köprü, viyadük, baraj, yüksek katlı binalar...) kullanımının yaygınlaşması,
- Teknolojik gelişmeler sayesinde üretim, aktarma ve yerleştirme kademelerinde büyük yeniliklerin olması,
- Dayanım arttırıcı yeni katkı malzemeleri ile yüksek basınç dayanımının elde edilmesi,
- Üretimin kolaylaşması ve kalifiye işçilik ihtiyacının olmaması,
- İstenilen şeklin verebilmesi,

- Ahşap ve çelik malzemelerde olduğu gibi sürekli bakım ihtiyacının olmaması,
- Diğer yapı sistemlerine kıyasla yorulma, yangın ve titreşim gibi dış etkenlere karşı dayanımı daha yüksek olması,
- Çeliğe göre maliyetinin daha düşük olması.

Bugün en yaygın yapı malzemesi olan beton harç karışımı, başlangıçta plastik kıvamda olup şekil verilebilen daha sonra sertleşerek mukavemet kazanan bir malzemedir. Beton içerisinde kullanılan malzemelerin özellikleri ve hangi oranlarda karıştırılacakları önemlidir. Beton içerisindeki çimentolar iri agregaları birbirine bağlarken, kum iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurur. Cüruf ve alkalilerin bir takım reaksiyonları sonucunda meydana gelen ve su ile karıştırıldığı zaman bağlayıcılık özelliği kazanan çimento, beton için önemli bir bileşendir. Su ile karışımından sonra çimento harcı ya da çimento şerbeti oluşur. Çimento hamuru beton içerisinde yer alan agregalar ile karıştırıldıktan sonra onların yüzeyini kaplayarak agregalar arasında bağlayıcılık görevi üstlenir.

Beton için beklenen üç temel unsur vardır. Birinci unsur olarak işlenebilirliği gösterilebilir. Betonun işlenebilirliği, betonun kolay karıştırılması, yerine kolay yerleştirilmesi açısından oldukça önemlidir. Ayrıca karıştırılırken, taşınırken ve yerleştirilirken ayrışmamalı ve homojenliğini kaybetmemelidir. İkinci özelliği ekonomik olmasıdır. Üçüncü ve en önemli özelliği ise betonun iç ve dış etkenlere karşı mukavemetli olması ve mekanik dayanımıdır. Betonda en belirleyici özellik basınç dayanımıdır. Bu yüzden betonlar standartlarda değerlendirilirken basınç dayanımları dikkate alınmaktadır.

Mekanik dayanımı açısından önemli unsurlardan bir diğeri betonun çekme dayanım değeridir. Çekme dayanımı, beton üzerinde çekme kuvvetini meydana getiren güçler etkisinde oluşacak şekil değiştirme ve kırılmalara karşı betonda oluşabilecek dirençtir. Beton elemanlarının maruz kaldığı basınç veya eğilme momentlerinden kaynaklı beton içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetleri oluşmaktadır. Betonda büzülmeden kaynaklı oluşacak şekil değiştirmeler agrega taneleri ve betonda var olan donatı ile engellenerek serbest şekilde bulunmaması sebebiyle de betonda çekme kuvveti gerçekleşmektedir (Özden, 2010). Köprü, yol, bina, baraj gibi yapılar, basınç dışında çekme ve eğilme momentleri de almaktadır.

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımının yaklaşık olarak %10'u kadardır. Bu oranın çok düşük olmasından dolayı betonun çekme dayanımını arttırmak için içerisine çelik donatılar yerleştirilmektedir. Betonun çekme dayanımının düşük olmasından kaynaklı betonda kılcal çatlaklar oluşmaktadır. Bu çatlaklar içerisinde zamanla su ile birlikte sülfat, asit gibi malzemeler yer alarak çeşitli kimyasal reaksiyonlar oluşur. Bu olumsuzluklar neticesinde beton dayanımı üzerinde bir takım belirsizlikler devam etmektedir. Bu belirsizlikler tam olarak tahmin edilememekte ve bir belirsizlik kaynağı meydana gelmektedir.

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB)'nin her yıl düzenli olarak tüm hazır beton üreticileriyle yaptıkları anket ve mülakatlar doğrultusunda Türkiye'de hazır beton üretiminin yıllara göre arttığı görülmektedir. Çizelge 2.1'de 1988-2017 yılları arasında ülkemizde üretilen hazır beton miktarları, Çizelge 2.2'de ise yıllara göre hazır beton firmaları sayısında ve üretimindeki değişim gösterilmiştir. Beton kullanımının artmasının sebepleri şu şekilde sıralanabilir;

- Bilgisayar kontrollü üretim ve pompalarla taşınma kolaylığı,
- Önemli deprem kuşağında yer alan ülkemizde, acı verici depremlerden sonra beton kalitesinde iyileştirmeler gerçekleştirilmesi,
- Teknolojik yenilikler ve toplum ihtiyaçlarının çeşitlenmesi ile yeni yapı türlerine ihtiyaç duyulması (viyadükler, köprüler, yüksek katlı yapılar, vb.),
- Teknolojik yeniliklerin getirdiği yeni yöntem ve buluşlar.

Bu kadar çok kullanılan ve kullanımı gittikçe artan beton üzerinde yapılacak bilimsel araştırmaların ne kadar önemli olduğu tartışmasız bir gerçektir.

Çizelge 2.1. Türkiye’de yıllara göre hazır beton üretimi (URL-3).

Yıllar	Hazır Beton Üretimi (m³)
1988	1.500.000
1993	10.000.000
1998	26.542.905
2003	26.828.500
2005	46.300.000
2006	70.732.631
2007	74.359.847
2008	69.600.000
2009	66.430.000
2010	79.680.000
2011	90.450.000
2012	93.050.000
2013	102.000.000
2014	107.000.000
2015	107.000.000
2016	109.000.000
2017	115.000.000

1988 yılı ile 2017 yılı kıyaslandığında elle beton dökümünün bırakıldığı yerine hazır beton üretiminin gittikçe yaygınlaştığı görülmektedir. Buradan hareketle ülkemizde beton üretim teknolojisinin tamamen değiştiği söylenebilir. Bu nedenle betonla ilgili yeni araştırmalar yapılmasının gerektiği ortaya çıkmaktadır.

Çizelge 2.2. Türkiye’de yıllara göre hazır beton firma ve üretim tesisi sayısı (URL-3).

YILLAR	Hazır Beton Firması	Tesis Sayısı
1988	25	30
1993	70	110
1998	166	341
2003	238	429
2005	277	568
2006	409	718
2007	477	845
2008	462	825
2009	467	845
2010	500	900
2011	520	945
2012	540	980
2013	580	1.040
2014	580	1.040
2015	621	1.098
2016	570	1.120
2017	540	1.184

2.1 Dünya'da ve Türkiye'de Hazır Beton Sektörü

Ülkemiz önemli deprem kuşağı üzerinde yer almakta olup, büyük hasar bırakan depremlere maruz kalmıştır. Bu depremler neticesinde beton kalitesinin önemi anlaşılmıştır. Bu yüzden ülkemizde beton üretiminde ciddi ilerlemeler yaşanmıştır. Bugün yüksek katlı binalar, barajlar, viyadükler, prefabrik yapılar vb. çok çeşitli yapı alanlarının gelişmesi ile beton üretimi de önemli ölçüde değişim ve gelişim göstermiştir.

Son yıllarda yapılara talebin artmasıyla doğru orantılı olarak beton üretimi de artmaktadır. Türkiye, Hazır Beton Birliği verilerine göre 2009 yılından beri artan talep ile birlikte 115 milyon m³ hazır beton üretimi ile Avrupa'da birinci sırada yer almaktadır. Türkiye, Avrupa'daki ikinci sırada yer alan beton üreticisinin iki katı beton üretmektedir. Türkiye, Çin ve ABD'den sonra beton üretimindeki en büyük üreticidir.

Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) 2017 yılı raporuna göre Avrupa Birliği ülkeleri arasında toplam beton üretimi 235,2 milyon m³ iken Türkiye'de bu miktar 115 milyon m³'dür. AB ülkelerinde kişi başına düşen beton miktarı 0,5 m³ iken Türkiye'de 1,5 m³'dür. Beton dayanım sınıfları açısından bakıldığında yine Türkiye'nin üstünlüğü görülmektedir. C25/30-C30/37 beton sınıflarında üretim Türkiye'de %69 oranında, Avrupa'da ise %62,9 oranındadır. C35/45 ve üstü beton sınıflarında ise Türkiye %22 oranı ile %11 oranına sahip AB ortalamasının üstündedir (URL-2).

Çizelge 2.3'de Avrupa Hazır Beton Birliği'ne üye ülkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları Çizelge 2.4'de ise ülkeler için hazır beton üretiminin yıllara göre değişimi verilmiştir.

Çizelge 2.3. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO) üye ülkelerde kullanılan beton dayanım sınıfları (URL-3).

Ülkeler	< C16/20		C16/20-C20/25		C25/30-C30/37		≥ C35/45	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Avusturya	7,6	7,8	15,3	14,8	70,8	70,8	6,3	6,3
Belçika	0	0	9	8,9	55	55,1	36	36
Çek Cumhuriyeti	16	16	26	26	35	35	23	23
Danimarka	6	6	30	30	36	36	28	28
Finlandiya	2	0	19	15	68	70	11	15
Fransa	1	1	10	9	80	80	9	10
Almanya	8	7,8	16,8	16,3	61,1	61,2	14,1	14,7
İrlanda	8	8	20	20	38	38	34	34
İtalya	6	6	16	16	75	75	3	3
Hollanda	1	1	46	39	38	38	15	7
Polonya	13	13	25	25	55	55	7	7
Portekiz	4,6	5	29,6	40	60	50	3,2	5
Slovakya	15	7	25	17	52	71	8	5
İspanya	7	7	5	5	82	82	6	6
İngiltere	11	11	25	25	54	54	10	10
Ortalama Avrupa Birliği	6,7	6,5	17,2	16,6	62,7	62,9	11,4	11,6
İsrail	0	0	5	3	70	70	25	27
Norveç	0	0	3,2	3,2	42,5	44	54,3	53
Türkiye	0	1	8	8	74	69	18	22
Toplam ERMCO	4,5	4,6	14,1	13,7	66,1	64,7	14	15,4
Rusya	5	5	30	30	50	50	15	15
ABD	40	40	25	25	25	25	10	10
Japonya	0	0	44,2	44,2	57,4	57,4	25,5	25,5

Çizelge 2.4. Ülkeler için hazır beton üretimi (URL-3).

ÜLKELERE GÖRE HAZIR BETON ÜRETİMİ			
(milyon m³)			
Ülkeler			2017
Avusturya			11,0
Belçika			12,7
Çek Cumhuriyeti			6,8
Danimarka			2,6
Finlandiya			3,0
Fransa			38,7
Almanya			51,7
İrlanda			4,3
İtalya			27,3
Hollanda			6,9
Polonya			20,4
Portekiz			3,7
Slovakya			2,4
İspanya			16,3
İsveç			4,5
İngiltere			22,9
Toplam AB			235,2
Ortalama AB			14,7
İsrail			16,9
Norveç			4,1
İsviçre			11,5
Türkiye			115
Toplam ERMCO			382,5
Ortalama ERMCO			19,1
Rusya			35,0
ABD			270,0
Japonya			84,0

2.2 Taze Beton

Beton su, çimento, agrega ve katkı maddelerinin belirli oranda karıştırılmasından oluşan bir malzemedir. Beton oluşumunda ilk olarak su ve çimento karıştırılarak hidrasyon adı verilen kimyasal reaksiyon gerçekleşir. Bu kimyasal reaksiyon sonucu oluşan plastik kıvam taze betondur. Taze beton kolay işlenebilir yapıdadır. Su ve çimentonun hidrasyonu devam ettikçe beton katı bir kıvam kazanmaya başlar ve betonda sertleşme oluşur. Sertleşen beton işlenebilirliğini kaybeder. Taze beton henüz katılaşmamış şekil alabilen bir yapıya sahip olduğu için, betonun taşıyıp kalıplara yerleştirme, sıkıştırma ve yüzeyin düzeltme işlemleri beton bu kıvamda iken yapılabilir. Taze betonda bu işlemler gerçekleşmesi için şu durumlara dikkat edilmelidir;

- Beton içerisinde kullanılacak malzeme kolayca karılmalıdır,
- Karılma işleminden sonra kalıp içinde yerleştirilen taze beton kalıbın her yerine kolayca yerleşmelidir,
- Yerine yerleştirilerek sıkıştırılmış betondaki hidratasyonda gerekli olan su mümkün olduğu kadar beton içerisinde durmalı ve yüzeye ulaşarak yok olmamalıdır,
- Betonda pürüzsüzlüğü sağlamak için yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış betonun yüzeyinin kolay şekilde düzeltilmesi gerekir.

Taze betonu etkileyen özellikler; işlenebilirlik, kıvam, segregasyon, terleme, priz alma süresidir. Kolay bir şekilde karılması, segregasyona uğramadan taşınması, pompalanabilirliği, kalıba yerleştirilmesi, sıkıştırılabilmesi ve yüzeyinin düzgünlüğü betonun işlenebilirliği ile bağlantılı durumlardır. İşlenebilirliği betonun katılaşmadan önce gösterilen bir özellik olduğu için betonun katılaşma (priz alma) süresi betonun uygulanacağı yapı için önemli bir durumdur. Su ve çimentonun hidratasyonu, betonun priz alma süresinin kısalığı ya da uzunluğu açısından önemli bir belirleyicidir. İşlenebilme betonda en önemli özelliktir. Yeteri kadar işlenebilme özelliği olmayan beton, sertleştiğinde yeteri kadar dayanım ve dayanıklılığa sahip olamaz. Kıvam, taze betondaki ıslaklık seviyesi olarak tanımlanır. Betondaki ıslaklık ve kuruluk oranlarını belirtir. Kıvamı çok yüksek olan taze beton, düşük kıvamlı taze betondan daha kolay karılabilmekte, pompalanabilmekte ve daha kolay yerleştirilebilmektedir. Ancak her zaman betonun kıvamının yüksek olması işlenebilirliği için yeterli olduğu anlamına gelmez. Beton içerisinde kullanılan malzemelerin; taşınma, sıkıştırma ve yerleştirme işlemleri uygun şekilde yapılmadığı takdirde betonda segregasyon meydana gelmektedir. Özellikle gereğinden fazla sıkıştırma (vibrasyon) işlemi segregasyona yol açmaktadır.

Taze betonda suyun dışarı çıkma eğiliminde olması terleme olarak adlandırılır. Suyun ayrışması ile betonun üst yüzeyinde su birikmeye başlar. Bu yüzden üst yüzeyde dayanım düşer ve gözenekli bir beton oluşur. Bunun sonucunda beton içerisindeki su sızmaya başlayarak beton dayanımı azalır.

Priz alma taze beton için önemli bir özelliktir. Taze betonun plastik kıvamdan sertleşmeye geçene kadarki zamana priz alma süresi denir. Taze betonun karılması,

kalıplara yerleştirilmesi, yüzeyinin düzeltilmesi yani işlenebilirliği bu süre içerisinde gerçekleşmektedir. Taze betonlar için kırım süreleri 7 ve 28 günlük olduğu zaman gerçekleşmesine rağmen bazı istenmeyen sebeplerden kaynaklı kırım günlerinde yaşanan değişiklikler belirsizliklere yol açmaktadır. Mühendislik için önemli bir sorun olan bu durumun oluşmaması için titiz bir çalışma yürütülmektedir. Yeterli miktarda işlenebilirliğe sahip olmayan betonların dayanım ve dayanıklılıkları da düşük olur. Bu durumda yapılarda güvenilirlik ve emniyet zayıflar. Taze betonun; karılması, taşınması ve bakım sürelerinde oluşacak olumsuz durumlar belirsizliği meydana getirmektedir. Güvenli tarafta olmak için betondaki oluşacak değişkenlikler belirlenerek sayısallaştırılıp bir belirsizlik analizi uygulanmalı ve beton malzeme katsayısı incelenmelidir.

2.3 Betonun Basınç Dayanımı

Betonun eksenel yükler altında göstermiş olduğu dirence betonun basınç dayanımı denir. Beton sınıflarının belirlenmesinde en önemli etken olan beton basınç dayanımı; betonun statik ve dinamik yüklere karşı gösterdiği dirençtir. Beton basınç dayanımı, betonun mekanik dayanımları arasında en büyük dayanımdır. Beton basınç dayanımı betonun taşıyacağı en büyük dayanım değeri olduğu için dayanım değerinin üstünde eksenel yüke maruz kalırsa betonda çatlamlar oluşur, yükleme devam ederse beton kırılır ve ezilir. Beton basınç dayanımı zamanında bir fonksiyonudur ve nihai dayanımı zaman içerisinde ulaşır.

Türkiye’de beton basınç dayanımı belirlenirken standartlara uygun şekilde beton deneylere tabi tutulur. Uygun şekilde üretim yapılmış beton, uygun koşullarda saklanır ve eksenel yüke maruz bırakılır. Betonun eksenel yüke karşı göstermiş olduğu direnç bize betonun basınç dayanım değerini verir. Beton basınç dayanımını belirlemek için çeşitli deneyler bulunmakta olup en etkili yöntemlerden birisi standart deney yöntemi olarak ifade edilir. Standart deney yönteminde; standartlarda belirtilen silindir veya küp numuneler kullanılır. Bu numuneler uygun kalıplara yerleştirilerek kür uygulanır. Belirlenen sürelerdeki kür tamamlandıktan sonra kırım işlemi uygulanır. Standart deney yönteminin yaygın kullanımının sebebi; istenilen basınç dayanımını elde etmek için beton karışımındaki malzemelerin önceden hesaplanması ve bu değerlere göre üretim yapılmasıdır.

Başka bir yöntem olarak, betonun yüksek sıcaklık ve nem oranına sahip bir ortamda hızlandırılmış küre maruz bırakılarak betonun standart deney yönteminde daha uzun günlerde kazandığı dayanımın çok daha kısa zamanda kazandırılarak kırılmasıdır. Bu yöntem sayesinde çok daha kısa süre içerisinde betonun basınç dayanım değeri elde edilmiş olur.

2.4 Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler

Betonun basınç dayanımında etkili faktörler; çimento miktarı, su/çimento oranı, agreganın özellikleri (agreganın cinsi, granülometrik birleşimi, maksimum tane boyutu vb.), çimentonun kalitesi, katkı maddesi türü ve miktarı, kür şekli ve betonun yaşı gibi parametrelerdir.

Beton basınç dayanımını etkileyen önemli etmenlerden birisi çimentodur. Bağlayıcı bir özelliğe sahip olan çimento hamuru, agregaların yüzeyini kaplar, agregalar arasındaki boşlukları doldurur ve agregalar ile aderansı sağlayarak betonu oluşturur. Sertleşmiş betondaki dayanım düşük olursa, betona uygulanan yükler altında çatlama ve kırılmalar oluşmaktadır. Çimento hamurunun dayanımı, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapacağına ve beton içerisindeki su/çimento oranına bağlıdır. Hidratasyonun yüksek olması durumunda kapiler boşluk oranı azalmakta ve dayanım daha yüksek olmaktadır (Erdoğan, 2010).

Betondaki su/çimento oranı arttıkça, beton içerisindeki boşluklar artmakta olup beton dayanımı azalmaktadır. Genel olarak su/çimento oranı azaldıkça dayanım artış göstermektedir. Fakat bu özellikteki betonlarda sıkıştırma işlemi tam olarak yapılamadığı için boşluklar tamamen giderilememektedir. Bu yüzden düşük değerlerde su/çimento oranına sahip betonların dayanımları da azalmaktadır.

Agrega beton hacminin dörtte üçünü oluşturmaktadır. Maliyeti çimentoya nispeten daha düşük olduğu için daha ekonomik bir yapı malzemesi olarak kabul edilir. İçerisinde agregalar bulunan betonlarda, agregasız çimentolu karışımlardan oluşan betonlardan daha az hacim değişikliği (büzülme) oluşur (Özden, 2010). Beton içerisindeki agreganın özellikleri beton yapımında malzemelerin karışım oranlarını, taze betondaki işlenebilirliği, pompalanabilmesini, terlemesini ve yüzeyinin düzeltilmesini ciddi oranda etkilemektedir (Erdoğan, 1995). Agreganın dayanımı ile

beton dayanımının doğru orantılı biçimde artış göstermesinden kaynaklı agrega dayanımının beton dayanımı üzerindeki etkisi oldukça önemlidir. Gözenekli hafif yapıli agregalar beton dayanımını düşürür. Agreganın beton dayanımı içerisindeki etkisi granülometrisi, tane ve yüzey şekilleri, en büyük tane boyu ve içerisindeki zararlı maddeler ile ilgilidir (Postacıoğlu, 1987).

Beton içerisinde kullanılan katkı maddeleri betonun basınç dayanımını etkilemektedir. Beton içerisinde özellikle çimento hamuru ve agregalar arasındaki kapiler boşluklar betonun boşluklu bir yapıya sahip olmasına yol açtığı için sıkıştırma işlemi tam olarak gerçekleşmemekte olup beton dayanımı düşük olmaktadır. Bu boşlukları en aza indirmek ve beton dayanımını yükseltmek için ince taneli mineral katkı maddelerinden faydalanılarak beton basınç dayanımı arttırılmaktadır.

Beton basınç dayanımı standartlarda verilen sıcaklık ve nem oranları arttıkça artış gösterir. Betonun ilk zamanlarda kazandığı dayanım hızı son dönemlerde kazandığı dayanım hızından oldukça yüksektir. Beton ulaşması gereken dayanımın % 70'ini 28 günlük süreçte kazanırken geri kalan dayanımı sonraki zamanda elde eder.

Beton dayanımını etkileyen önemli faktörlerden biri de yükleme hızıdır. Betondaki deformasyonlar zaman içerisinde meydana geldiği için yükleme hızı beton dayanımını etkilemektedir. Yapılan çalışmalar sonucunda numune üzerindeki yükleme hızı yavaş olduğu zaman, hızlı olduğundakinden daha düşük bir dayanım gösterdiğine ulaşılmıştır.

Tam olarak suya doygun numunelerin kuru ortamdaki kür uygulanan numuneye oranla daha yüksek dayanıma sahip olması yapılan çalışmalarla görülmüştür. Betonda basınç deneyi uygulanacak olan numunenin kuruluşu dayanımının daha yüksek olmasını sağlamaktadır. Ancak standartlarda deney uygulanacak numunenin önceden suda bekletilmesi şartı vardır.

Numunenin boyutu ve şekli de betonun basınç dayanımı üzerinde etkilidir. Yapılan deneysel çalışmalar küçük boyuttaki numunenin basınç dayanımın daha yüksek

çıkacağı görülmüştür (Türkel, 2006). Bu durum beton üzerinde bir belirsizlik kaynağı oluşturmaktadır.

2.5 Betondaki Nitelik ve Denetim Şartları

Teknolojideki gelişmeler doğrultusunda birçok alanda olduğu gibi betonda da yaşanan değişimler sonucunda ilkel şartlarda şantiye ortamında üretimden bilgisayar kontrollü tesislerde üretilmeye geçilmiştir.

Teknolojik gelişmelerin yanı sıra meydana gelen doğal afetler sonucu yapılarda oluşan hasarlar beton kalitesinin incelenmesine ve denetlenmesine yol açmıştır. Önemli fay hatları üzerinde yer alan ülkemizde 1999 Marmara, 2011 Van depremleri gibi büyük hasarlara yol açan depremler sonucunda beton kalitesindeki eksikler irdelenmeye başlanmıştır.

Beton basınç dayanımının yüklemelere karşı göstermiş olduğu en yüksek değer betonun karakteristik değeridir. Beton sınıfları da beton basınç dayanımına bakılarak tayin edilmektedir. Bu yüzden beton kalitesini belirleyen, tasarım ve hesaplarda dikkate alınan en önemli husus beton basınç dayanımıdır.

Türkiye’de betonda nitelik denetim ve kabul ile alakalı standartlar; TS 500, TS EN 206, TS 11222, TS 10465, TS 13791’dir.

TS 500 betonarme yapılar için tasarım ve yapım koşullarını belirtir. TS 11222 hazır beton standardıdır. TS EN 206 beton tasarım standartlarını belirtir. TS 10465 beton deney metotlarını, sertleşmiş betondan karot numuneler alınarak beton basınç dayanımının belirlenmesini içerirken TS 13791’in yürürlüğe girmesiyle kaldırılmıştır. Ayrıca TS 3233 öngerilmeli beton yapıların hesap ve yapım kurallarını içerir.

Çizelge 2.5’de TS 500’e göre C16 ve C50 arasındaki beton sınıflarının karakteristik basınç dayanım değerleri verilmiştir. Numunelerin karakteristik basınç dayanım değerleri 15 mm çapında 30 mm yüksekliğinde silindir numunelere göre belirlenmiştir.

Çizelge 2.5. TS 500'deki beton sınıfları ve basınç dayanım değerleri.

Beton Sınıfı	28 Günlük Eşdeğer Küp (200 mm) Bas. Day. N/mm ²	28 Günlük Std. Bas. Day. ($f_{ck,sil}$), N/mm ²	28 Günlük Elast. Mod., E_c N/mm ²	Karakteristik Eksenel Çekme Day., f_{ctk} N/mm ²
C16	20	16	27.000	1,4
C18	22	18	27.500	1,5
C20	25	20	28.000	1,6
C25	30	25	30.000	1,8
C30	37	30	32.000	1,9
C35	45	35	33.000	2,1
C40	50	40	34.000	2,2
C45	55	45	36.000	2,3
C50	60	50	37.000	2,5

TS 500'e göre şantiyedeki betonun nitelik ve basınç dayanım testleri 150 mm x 300 mm silindir numuneler ya da küp numuneler kullanılarak yapılması öngörülür. Her bir deney grubunda 3 numune bulunması şarttır. Nitelik denetiminin sağlanması amacıyla her üretim serisinden 1 grup numune alınması zorunluluğu belirtilmiştir. Her döküm biriminden minimum 3 grup yani 9 numune alınmalıdır. Her bir numunenin ayrı betoniye ya da transmikserden alınması gerekir.

Alınan 3 grup (9 numune) alınış sıralarına uyularak G1,G2,G3...,Gn şeklinde isimlendirilerek sıralanır. Sıralanan her grup için ortalama basınç değeri hesaplanır. Ardı ardına sıralanan her 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 gösterilen iki koşuldan birini sağlamazsa beton uygun görülmez.

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

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

f_{cm} : En az 3 numune için ortalama basınç dayanım değeri

f_{ck} : Karakteristik dayanım

f_{cmin} : Numunelerin alınan en küçük basınç dayanım değeri

Uygulanan başka bir standart TS EN 206, yerinde döküm ve ön yapımlı (prefabrik) yapılar ile binalar ve inşaat mühendisliği alanında yer alan yapılar için ön yapımlı yapısal elemanların imalatında kullanılan betonlar ile ilgilidir.

Çizelge 2.6'da TS EN 206 standardı için C8 betonundan C100 beton sınıfına kadar olan küp ve silindir numunelerin beton basınç dayanımları gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. TS EN 206 için beton basınç dayanımları.

Beton Basınç Sınıfları	28 Günlük Std.	28 Günlük Std.
	Bas. Day.	Bas. Day.
	$(f_{ck,sil}), N/mm^2$	$(f_{ck,kup}), N/mm^2$
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95
C90/105	90	105
C100/115	100	115

TS EN 206’da belirtilen şartlara göre uygunluk değerlendirmesinin yapılmasındaki minimum numune alma sayısı, en az 35 deney sonucuna ulaşıncaya kadar başlangıç imalatı, imalatın ilk 50 m³’ünde üç numune olacak şekilde belirlenmiştir. İlk 50 m³ sonrası için ise imalat kontrol belgesine sahip betonda 200 m³’de bir ya da bir haftalık imalatın iki numune olmasıdır. Basınç dayanım değerinde uygunluk kriteri Çizelge 2.7’de verilmiştir.

Çizelge 2.7. TS EN 206’ya göre basınç dayanımdaki uygunluk kriteri.

İmalat	Grupta alınan basınç dayanım Deney sonucu sayısı “n”	1.Kriter	2.Kriter
		“n” adet deney	Herhangi tek deney
		Sonucu ortalaması Fcm	Sonucu (fci)
Başlangıç	3	$\geq f_{ck} + 4$	$\geq f_{ck} - 4$
Sürekli	15	$\geq f_{ck} + 1,48 \sigma$	$\geq f_{ck} - 4$

Başlangıçta uygunluğunun kontrol edileceği imalat süresinin hemen öncesinde, en az üç aylık süreçte alınan 35 deney sonucuna göre standart sapma hesaplanır. Hesaplanan bu değer bütün imalatın tahmini standart sapma (σ) değeri olarak kabul edilir. Kabul edilen bu standart sapma değerinin doğruluğu bir sonraki imalat ile kontrol edilmelidir. Tahmini değer doğruluğunu kontrol için iki metot kullanılır. Hangi metodun kullanılacağına önceden karar verilmelidir. Birinci metoda göre

başlangıçta belirlenen standart sapma değeri, uygunluk kontrolü yapılacak daha sonraki imalat sürecinde bulunan son 15 sonuç içerisinde tespit edilen standart sapma değerinin (S_{15}) başlangıçtaki standart sapma değerinden $0,63 \sigma \leq S_{15} \leq 1,37\sigma$ olması durumunda geçerli kabul edilir. İkinci metot da ise sürekli imalattan yeni standart sapma değeri (σ) tahmin edilir ve bu değer kullanılır. Sistemin hassasiyeti en az 1. metottaki kadar olmalıdır.

TS EN 206'nın yürürlüğe girmesi ile iptal olan TS 11222 standardına göre C14'den C100 beton sınıflarına ait basınç dayanım değerleri Çizelge 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. TS 11222'e göre betonun basınç dayanım değerleri.

Beton Basınç Sınıfları	28 Günlük Std.	28 Günlük Std.
	Bas. Day.	Bas. Day.
	($f_{ck,küp}$), N/mm ²	($f_{ck,sil}$), N/mm ²
C14	16	14
C16	20	16
C18	22	18
C20	25	20
C25	30	25
C30	37	30
C35	45	35
C40	50	40
C45	55	45
C50	60	50
C55	67	55
C60	75	60
C70	85	70
C80	95	80
C90	105	90
C100	115	100

TS 11222 standardında uygunluk kontrolü, C35 ve altında dayanıma sahip beton sınıflarının günlük üretimi 300 m³ bir parti olarak dikkate alınır ve minimum 2 silindir ya da küp numuneden elde edilen bir takım alınmalıdır. C40 ve üzerinde dayanıma sahip beton sınıflarında ise her 150 m³ için bir takım yapılması istenir. Deney sonuçlarındaki değerlendirmede betonun uygunluğu için aşağıda verilen şartlar sağlanmalıdır:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.28 \sigma \text{ (MPa)} \quad (2.1)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4 \text{ (MPa)} \quad (2.2)$$

f_{ck} : Karakteristik basınç dayanım değeri, N/mm²

f_{cm} : Ard arda en az 15 örnek takımın basınç dayanım değerlerinin aritmetik ortalaması, N/mm²

f_{cmin} : Numune takım ortalamasındaki en küçük basınç dayanımı, N/mm²

σ : Standart sapmayı ifade eder.

Standart sapma değeri, üretim yerinden alınan son 3 aylık numuneler için minimum 35 deney sonucuna göre hesaplanır. Son 15 deneye göre hesaplaması yapılan standart sapma değeri (S_{15}), uygunluk denetiminde alınan değerden büyük ölçüde sapma göstermemesi ve $0,63 \sigma \leq S_{15} \leq 1,37 \sigma$ olarak belirtilen sınırları aşmaması halinde uygunluk kontrolünde elde edilen standart sapma değeri kullanılır. S_{15} 'in gösterilen sınır değerlerini sağlamaması koşulunda, var olan son 35 deney sonucundan yararlanılarak yeni bir standart sapma hesabı yapılır. Üretimin başında, standart sapma değerini hesaplamaya yetecek veri toplanana kadar süren zamanda, f_{cm} ardı ardına 3 örnek takım ortalaması olmak üzere aşağıda yer alan iki şartı sağlaması gerekir.

$$f_{cm} = f_{ck} + 4 \text{ MPa} \quad (2.3)$$

$$f_{cmin} = f_{ck} - 4 \text{ MPa} \quad (2.4)$$

3. PREFABRİK YAPILAR VE KULLANILAN BETON

Teknoloji ve bilimin getirdiği yenilikler ile birlikte nüfusun artması, insan ihtiyaçlarının çeşitlenmesi yeni ve gelişmiş yapılaşmayı beraberinde getirdi. Yeni ve gelişmiş yapılaşmalarla birlikte yeni malzemeler ve yeni yapı türleri oluşmuştur. Bunların içerisinde en önemlilerinden birisi prefabrik yapılardır. Enerji tasarrufunun ve ekonominin verimli kullanılması için yapıların daha hızlı, daha çabuk ve daha güvenilir inşa edilmesinde en etkili yöntem prefabrik sistemlerdir. Üretim fabrika ortamında gerçekleştiği için; beton dayanım ve durabilitesi daha yüksek olmakta, kontrol yapılabilmekte, daha kaliteli beton üretimi sağlanmaktadır.

Prefabrik yapılarda genellikle büyük açıklıkları daha küçük kesitlerle geçebilmek için yüksek dayanımlı beton tercih edilmektedir. Yüksek dayanımlı betonlar, malzeme oranları ve kullanılan kimyasal katkıları bakımından normal dayanımlı betonlardan ayrılırlar. Yüksek dayanımlı betonların üretimi için mümkün olduğunca boşluksuz bir yapı oluşturulmalıdır. Bunu sağlamak için su/çimento oranında azaltmaya gidilmektedir; dolayısıyla ya karışımın su miktarı azaltılmalı ya da çimento oranı artırılmalıdır. Çimento miktarındaki artış olduğu durumlarda, çimento hidratasyonu sırasında meydana gelen sıcaklıkta da artış görülür. Bu artış beton içerisinde sıcaklık artışından oluşacak problemlere de sebep olur. Bunun yanında çimento miktarının fazlalığı, betonun maliyetini de artırır. Beton karışımı içerisindeki su miktarının azaltılması betonda işlenebilirliği azaltmakla birlikte çimento parçacıklarının hidratasyonunu da tamamen gerçekleştirmez. Bu yüzden, yüksek dayanımlı betonu üretmek için su/çimento oranında azaltmaya gidilmesi yetersizdir. Betonda işlenebilirliği artırıcı hiper akışkanlaştırıcıların kullanılmasıyla ve bununla beraber beton karışımı içerisine uçucu kül, silis dumanı gibi mineral katkıları eklenmesiyle su/çimento oranı azaltılarak yüksek dayanımlı beton üretilir (Eser, 2015).

3.1 Prefabrikasyonun Tarihi Gelişimi

Prefabrik yapılar ve dolayısıyla kullanılan beton ilk olarak 19 yy.da ortaya çıkmış olup günümüze kadar değişim ve gelişim göstererek gelmiştir. 1896'da yüklemelerden kaynaklı gerilmelere karşı ön gerilmeli beton kullanımı iddiası Avusturyalı mühendis Mandl tarafından öne sürülmüştür. Koenen 1907'de betondaki

elastik kısalmalardan kaynaklı ön gerilme kaybı üzerine yayınladığı raporunda bu yöntemi daha da geliştirmiştir (Raju, 2006).

Eski çağlarda kilin kalıplara dökülerek tuğla şeklinde kullanılması ve 1849 yılında Monier tarafından üretilen betonarme çiçek saksıları prefabrikasyonun ilk örnekleri olarak gösterilir. 1850’de Londra’da kurulmuş olan Crystal Palace binası ilk önemli örneklerden biridir. 1891’de Fransa’da ilk örneği Biarritz’de bir yapıda prefabrike betonarme kirişlerde görülmüştür. Amerika’da ilk kez 1900’de prefabrike betonarme çatı plakları uygulanmıştır. New Village Amerika’da 1909’da bir endüstri binasının bütün bileşenleri, şantiyede prekast elemanlar ile gerçekleştirilmiştir. 1930’lu yıllarda Almanya’da öngerilmeli prefabrik çatı plakları ve kirişler üretilmiştir. Moskova’da ise prefabrike bileşenli konut üretimi gerçekleştirilmiştir. Prefabrikasyon sektörü, özellikle İkinci Dünya Savaşı’ndan kaynaklanan yapı sorununu aşmak için Fransa, Hollanda, Danimarka gibi Avrupa ülkelerinde ve Rusya’da hızla gelişmiş, standartlaşma sayesinde de konut sorunu kolay şekilde çözüme ulaşmıştır (Aydemir, 2005).

Prefabrik yapılar 1935 yılından sonra kullanımı hızlı bir yayılım göstermiştir. 1945-1950 yılları arasında Amerika ve Avrupa ülkelerinde uzun açıklıklı köprülerin yapımında prefabrik elemanların kullanımı yaygınlaşmıştır. Son yıllarda uzun açıklıklı köprüler, barajlar, marina yapıları, demiryolları gibi yapılarda yaygın şekilde prefabrik bileşenler kullanılmaktadır (Raju, 2006).

Türkiye’de ise prefabrikasyon sektörü diğer devletlere oranla daha sonra gelişme göstermiştir. Baytin ve Tokman’ın 1981’deki çalışmalarına göre cumhuriyetin ilk yıllarında prefabrike beton bina örnekleri görülmüş olmasına rağmen, prefabrikasyon sisteminin kullanıldığı ilk örnekler 1960’lı yılların başlarında inşa edilmiştir (Koca, 2010). 1960’ların sonlarına doğru prefabrikasyon uygulamaları yapı sektöründe, özellikle büyük ölçekli sanayi yapılarında kullanılmaya başlamıştır. Ancak, günümüz koşullarında prefabrike üretim sistemi gelişen yeni teknolojik uygulamalara ayak uydurarak, dünya ile aynı hızda ilerleme göstermemiştir. Yapılmış uluslararası ve ulusal araştırmalar, Türkiye’de prefabrike sistem ile üretilmiş yapıların, tüm inşaatlara oranının, dünyadaki diğer örneklerle göre, çok geride olduğunu göstermektedir. Türkiye Prefabrik Birliği tarafından yayımlanan, Prefabrikasyon

dergisinin 2005 yılında yayınladığı rapora göre; Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde prefabrike beton yapı üretiminin toplam yapı üretimi içerisinde sahip olduğu oran %25-30 aralığındadır. Kuzey Avrupa ülkelerinde ise %40-50 gibi değerlere sahiptir. Türkiye’de ise bu pay %5-6 değerlerindedir ki bu oran Avrupa ortalamalarına göre çok düşüktür (Polat ve Damcı, 2007). Türkiye’nin gelişmekte olduğu ve inşaat sektörünün bu gelişme de öncü rol aldığı bir gerçektir. Bu nedenle prefabrik yapıların önümüzdeki yıllarda artan sanayileşme daha fazla kullanılacağı görülmektedir.

Anadolu’daki ilk betonarme uygulamalar 1915–1920 yılları arasında yapılmıştır. Çimento ve betonun yapı üretiminde kullanılmasında geç kalınmasından kaynaklı olarak ülkemizde beton prefabrikasyonun teknolojisi kullanımı da geç başlamıştır. Türkiye’de ilk beton prefabrikasyon uygulamaları örneği olarak resmi verilerin kısıtlı olmasından dolayı 1937’de Sedat Süverir’in “Küçük Yozgat Nitro Gliserinli Barut Fabrikası”nın çatısı için kullandığı elemanlar ve 1940’lı yıllarda çeşitli direk ve boru uygulamaları, ilk beton prefabrikasyon olarak kabul edilirler. Türkiye’de resmi olarak kayıtlı ilk prefabrike beton inşaat uygulamaları ise; 1961 yılında, 10 farklı il sınırları içerisinde inşa edilen toplam 225 adet ilkokul binası ile 1962 yılında üretilen ve halen kullanılmakta olan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası lojmanlarıdır (Tokman ve Eryılmaz, 2004).

1984 – 1987 yılları arasında Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından Kredi ve Yurtlar Kurumu adına toplamda 40.000 yatak kapasitesine sahip öğrenci yurtları inşa ettirilmiştir. Bunlar içerisinde 20.000 yatak Türkiye Prefabrik Birliği üyelerinin tarafından, yaklaşık olarak 4.000 yatak ise üyeliği olmayan kuruluşlarca prefabrike betonarme sistemle yapılmıştır (URL-1). Çizelge 3.1’de prefabrike betonarme yurt binalarının şehirler bakımından dağılımları verilmiştir.

Çizelge 3.1. Prefabrike Betonarme yurtların iller bazında dağılışı (URL-4).

İLLER	ÜYE			ÜYE DIŞI		
	YATAK	ALAN(m ²)	BLOK	YATAK	ALAN(m ²)	BLOK
AFYON	150	2071	1			
	300	2000	1			
ANKARA	3000	32394	4			
ANTALYA	384	3430	1			
	396	4860	1			
	700	3800	1			
AYDIN	500	4266	2			
BALIKESİR	400	5300	1			
	500	3874	1			
BOLU	800	*	3			
BURSA	2250	*	3			
	1000	6363	2			
	1000	10216	1			
ÇANAKKALE	400	3287	2			
ÇANKIRI	200	3800	1			
DÜZCE	340	*	2			
EDİRNE		*		522	*	2
ESKİŞEHİR	800	2559	1			
İSTANBUL	2000	4500	3	800	*	2
				496	*	1
				800	*	2
				800	*	1
İZMİR	800	5993	2			
	800	6153	2			
KIRIKKALE	200	1000	1			
KOCAELİ				504	*	2
KONYA	1000	10000	2			
MANİSA	500	4266	2			
MUĞLA	504	3300	1			
NİĞDE	750	4825	1			
TEKİRDAĞ	400	2600	2			
TOPLAM	20074	130857	44	3922		10

1984 yılında 20 prefabrik firmasının bir araya gelmesiyle Türkiye Prefabrik birliğini kurulmuştur. Bu üyelerin tamamı özel kuruluşlardan oluşmaktadır. Türkiye Prefabrik Birliği 2016 yılı sektör raporuna göre mevcut üye sayısı 38'e yükselmiştir. Toplam firma sayısı ise 138'e yükselmiştir. Çizelge 3.2'de Türkiye Prefabrik Birliği'nin 2016 yılı profili gösterilmektedir.

Çizelge 3.2. Beton Prefabrikasyon sektörünün 2016 yılı profili (URL-4).

Toplam Firma sayısı	138
TPB Üye Sayısı	38
TPB Tesis Sayısı	47
TPB İstihdamı	5.015 kişi
Ortalama Tesis Başına İstihdam	107 işçi/tesis
Toplam Prefabrike Beton Üretimi	1.628.392 m ³
TPB Üretimi ve Toplam Üretimdeki Payı	1.328.585m ³ (75,2%)
TPB Kapasitesi	2.281.000 m ³
Kapasite Kullanımı	0,582
Ortalama Tesis Başına Üretim	26.268 m ³
Birim İstihdam Başına Üretim	265 m ³ /işçi
TPB Üyelerinin Ürün Bazında Üretim Miktarları ve Dağılımı	
- Üstyapı	751.193 m ³ (41,6%)
- Altyapı	313.508 m ³ (20,4%)
- Çevre Düzeni	237.010m ³ (11,4%)
- SBD	26.874 m ³ (1,8%)
TOPLAM	1.328.585 m ³ (75,2%)
Üyedışı Firmaların Ürün Bazında Üretim Miktarları ve Dağılımları	
- Üstyapı	167.327 m ³ (14,0%)
- Altyapı	83.015 m ³ (5,5%)
- Çevre Düzeni	48.030 m ³ (5,2%)
- SBD	1.435 m ³ (0,1%)
TOPLAM	299.807 m ³ (24,8%)
Beton Prefabrik Sektörünün Sanayi Yapılarında Payı	0,85
TPB Üyelerinin Demir, Çimento Tüketimi	
Demir	159.204 ton
Çimento	569.250 ton

Çizelge 3,3'te Türkiye Prefabrik Birliği 2016 yılı sektör raporuna göre Türkiye'de 2001-2016 yılları arasında üye ve üye dışı üretim miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.3. Üye ve üye dışı üretim miktarları (m³) (URL-4).

YILLAR	TPS ÜYELERİ	ÜYE DIŞI FİRMALAR	TOPLAM
2001	705.558	230.024	935.582
2002	878.591	276.856	1.155.447
2003	834.449	351.338	1.186.787
2004	803.695	339.943	1.143.638
2005	998.560	441.581	1.440.141
2006	1.083.791	474.378	1.558.169
2007	1.267.611	484.884	1.752.003
2008	1.128.559	364.267	1.492.826
2009	661.581	278.171	939.752
2010	820.990	482.617	1.303.607
2011	986.128	610.729	1.596.857
2012	1.032.255	563.421	1.596.679
2013	1.334.353	688.631	2.022.964
2014	1.423.298	607.012	2.030.306
2015	1.273.497	420.411	1.693.906
2016	1.328.583	299.807	1.628.392

3.2 Prefabrikasyonun Kullanım Alanları

Teknoloji ve standartların gelişmesiyle birlikte beton prefabrikasyon kullanım alanları da genişlemektedir. 17 Mayıs 2016 yılında 14'ncüsü düzenlenen Türkiye Prefabrik Birliği Sempozyumu'nda 2015 yılına ait veriler incelenmiştir. Bu verilere göre yapı sektörünün %77'sini konut yapıları, %3'ünü sanayi yapıları oluşturmaktadır. Sanayi yapılarının %85'ini prefabrik yapılar oluştururken, konut yapılarında bu oran oldukça düşüktür (URL-1). Prefabrik yapıların sağlamış olduğu imkan ve faydalar göz önüne alınınca bu oranın yetersiz olduğu görülmüştür.

Sanayileşmiş üretimin kalite, hız, verimlilik, ekonomiklik ve süreklilik gibi bütün olumlu taraflarını içinde barındıran prefabrikasyon sektörü, yapım teknikleri kıyaslandığında bugün geline en ileri aşamadır. Beton prefabrikasyon sanayinin bugün geldiği noktada her türlü az ve çok katlı yapılar (konut, ticaret, genel hizmet, eğitim, turizm, spor yapıları vb.), ulaşım yapı elemanları (boru, menfez, elektrik direkleri, trafo binaları vb.) ve çevre düzeni elemanlarının üretimi yapılabilmektedir (URL-1).

Günümüzde Türkiye'deki prefabrikasyonun kullanım oranlarının Avrupa ve Amerika'daki kullanım oranları ile kıyaslandığında düşük olmasına rağmen çağın ihtiyaç ve taleplerine hızlı ve güvenli şekilde karşılık veren prefabrikasyon üretimlerin kullanım alanları giderek yaygınlaşmaktadır.

3.3 Prefabrik Yapılarda Kullanılan Beton

Prefabrik yapılarda kullanılan beton hazırlanış bakımından hazır betonlarla aynı olmasına rağmen içerisinde kullanılan özel katkı maddeleri ve üretim bakım koşullarının daha iyi olması sayesinde hedeflenen dayanıma daha yakın beton üretilebilir ve daha az değişkenliğe sahiptir.

3.3.1 Agregası

Agregası, beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelere verilen genel addır. Agregası, beton üretiminde çimento ve su karışımından oluşan, bağlayıcı maddeler ile bir araya getirilen, organik olmayan kum, çakıl, kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genleştirilmiş perlit, genleştirilmiş kil

gibi yapay kaynaklı olan taneli yapı malzemesidir (Erdoğan,1995). Agregat beton hacmini içerisinde %60-75 oranlarında yer alır.

Prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesi esasında doğrudan kullanılan agreganın kalitesiyle alakalı denilebilir. Bunun nedeni nispeten daha yüksek dayanımlı beton kullanıldığı için agregat dayanımının hedeflenen beton dayanımından daha düşük olmaması gerekmektedir. Ayrıca fazla kullanılan bir yapı malzemesi olduğu için beton maliyetini ciddi oranda etkiler. Bu yüzden uygun koşullardaki agregaları, gerekli miktarda ve en yakın ocaktan, en ekonomik olacak şekilde ulaşmak mühendislik için önemlidir

Agregada aranan en önemli özellik şunlardır (URL-2);

- Boşluksuz, dayanıklı ve sert olmalı,
- İçerisinde zayıf tanelerin olmamalı, (deniz kabuğu, odun, kömür vb.)
- Basınca ve aşınmaya karşı dayanıklı olmalı,
- Toz, toprak ve beton için zararlı olacak maddeleri içermemeli,
- Yassı ve uzun taneler bulunmamalı,
- Çimento ile zararlı tepkimelere girmemelidir.

Agregada kir (kil, silt, toz... gibi) olması; adersanı olumsuz şekilde etkilemekte olup, bu taneler suya ihtiyacı arttırmaktadır.

Agreganın yapısal özellikleri, malzemenin karışım oranı, taze betonun işlenebilirliğini, terlemesini, pompalanmasını ve betonun yüzeyinin düzeltilmesini önemli derecede etkiler. Sertleşmiş betondaki dayanıklılık, büzülme, birim ağırlık, termik özellikler ve ekonomi gibi durumlar da karışım içindeki agreganın özelliklerine bağlıdır. Agreganın fiziksel özellikleri şöyle sıralanabilir; özgül ağırlık, porozite, birim ağırlık, donma-çözülme dayanımı nem durumu, kompasite ve diğer fiziksel etkenlere karşı dayanıklılık. Agreganın kullanılacağı yer ve amaca göre, tane dağılımı (granülometrik bileşim), tane dayanımı, tane şekli, dona dayanıklılık, zararlı madde içermesi bakımından belirli özelliklere sahip olması beklenir (Bilgiç, 2009). Özellikle yüksek dayanımlı betonlarda agreganın granülometrik bileşimi önemli bir belirleyicidir.

Agregalarda elek analizi, özgül ağırlık, yassılık ve su emme gibi deneyler düzenli aralıklarla yapıp kalite sürekliliği takip edilmesi gerekir. Beton karışımlarda kullanılacak agregalar TS 206 EN 12620'e uygun olmalıdır.

3.3.2 Çimento

Çimento ham maddesi kalker ve kilden oluşan bir bağlayıcı yapı malzemesidir. Su ile reaksiyona girerek kum, tuğla, çakıl, briket gibi malzemeleri yapıştırma özelliği kazanır. Çimento su ile tepkimesi sonucu sertleşir. Çimentonun oluşumunda kırılmış kalker, kil, gerekirse kum ya da demir cevheri eklenip öğütülerek toz hale getirilir. Oluşan malzeme 1400-1500°C yüksek sıcaklıkta pişirilir. Pişirilen malzemeye "klinker" adı verilir. Klinkerlere %4-5 oranlarında alçı taşı karıştırılır ve toz halinde öğütülerek porlant çimentosu meydana getirilir.

Çimento üretimi sırasında klinker ve alçı taşı gibi doğal puzolanların yanı sıra, tras, yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı gibi yapay puzolanlar da çimento çeşidine göre karışım içine eklenir (Günindi, 2005).

En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cürufllu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento'dur, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır (URL-2). Özellikle prefabrik yapılarda içerisindeki özel hammadde seçiminden kaynaklı daha erken yüksek mukavemet alabilen Beyaz Porlant Çimentosu tercih edilmektedir.

Beton için kullanılacak çimento türleri ve uygunlukları TS EN 197 standartlarına göre belirlenmektedir.

3.3.3 Su

Su, beton içerisindeki agrega ve çimentoya karıştırılarak plastik kıvama gelmesini sağlar. Su agrega ve çimento yüzeyinin ıslaklığını ve betonun işlenebilmesini sağlar. Bunun yanında betonu meydana getiren karışım içerisinde yer alan malzemelerin herhangi bir segregasyona uğramadan kolay şekilde karılmasını, yerleşmesini ve sıkıştırılmasını sağlar. Zaman içerisinde karışımdaki suyun, çimentoyla hidratasyonu sonucu taze betonda sertleşme gerçekleşir.

Su, beton içerisinde, çimento ve agregalarla beraber harç ve betonun karılmasını sağlayan karışım suyu, kalıptaki betonun bakım aşamasında sulama ve kür suyu, beton agregaların kil ve yabancı maddelerden arındırılmasında, betonun taşıma ve karıştırma araçlarının temizliği için yıkama suyu, yeraltı su seviyesi yüksek yerlerde yapının betonarme temellerine zarar teşkil edecek agresif temel suyu gibi amaçlar için kullanılmaktadır (Küçük, 2000).

Betonun dayanımı üzerindeki en önemli parametre su/çimento oranıdır. Deneyler sonucunda normal dayanımlı betonlarda bu oranın %45-%55 olmasının iyi olacağı anlaşılmıştır. Bu oranı yukarı çekmek hidrasyon sonucu kılcal boşluklara sebebiyet vererek betonun dayanımını azaltmaktadır. Betonun akıcılığını arttırmak için su oranını yükseltmekten ziyade akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılmalıdır (Küçük, 2000).

TS EN 1008’de belirtilen kurallara göre içme suyu niteliği taşıyan bütün suların kullanımı uygun olduğu ve herhangi bir deneye ihtiyaç duyulmadığı belirtilmiştir. Kullanılacak su betonun dayanımını, görümünü olumsuz etkileyecek sülfatlı veya tuzlu karışımlar içermemelidir. Özellikle deniz suyu ve nitratlı sular prefabrike beton yapımında kullanılmamalıdır.

3.3.4 Mineral katkıları

Toz halinde olan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu gibi maddelere mineral katkıları denilmektedir. Tek başına bağlayıcı özelliği olmayan bu malzemeler çimento ile birleştiğinde çimentoya benzer görev yaparlar. Böylelikle çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkıları; doğal ürünler içerisinde, bir endüstri ürünündeki yan ürünlerden ve ısıtılmalardan üretilir. Uçucu kil ve silis dumanı yan ürün olarak elde edildikleri için ince taneli bir yapıya sahiptir. Bu yüzden herhangi bir öğütme işlemine maruz kalmazlar. Ancak volkanik tüf gibi malzemeler katkı malzemesi olarak kullanılmak için belli bir öğütme işleminden geçirilerek çimento gibi ince taneli bir yapı özelliğine sahip olması sağlanır.

Mineral katkı maddelerinin kullanımı, taze betonun işlenebilirliğini artırır, terlemeyi, hidrasyonu ve su geçirgenliğini azaltır, dayanıklılığı artırır. Endüstriyel yan ürün olan uçucu küller, silisler geri dönüşüm sağlanarak çevre kirliliğini azaltır.

Mineral katkı maddelerinin karışım içerisindeki oranı çimento miktarının %5'ini geçmemesi gerekir.

3.3.4.1 Uçucu küller

Elektrik enerjisi üretmek için termik santrallerde genel olarak pulverize kömür kullanılmaktadır. Kömürün yanması sonucu bir miktar çok ince, bir miktar ise daha iri yapılı kül taneleri oluşmaktadır. Atık malzeme olarak ortaya çıkan küllerin %75-%80'i gazlarla birlikte bacadan çıkma eğilimindedir. Bacadan dışarıya çıkacak küller bazı elektrostatik elektromanyetik yöntemlerle tutularak depolanmaktadır (Erdoğan, 2010). Oluşan bu malzemeye uçucu kül denilmektedir.

Uçucu kül taneleri küresel şekilli katı malzemelerdir. Hacminin yaklaşık olarak %20'sini içi boş (nitrojen veya karbon dioksit ile dolu) parçacıklar oluşturur.

Silisli ya da alüminli amorf bir yapıda oldukları için ve çok ince taneli olarak elde edilmelerinin sonucu tıpkı doğal puzolanlar gibi davranırlar. Sulu ortamda kalsiyum hidroksitle birleşmeleri sonucunda hidrolik bağlayıcılık kazanmaktadırlar. Bu yüzden puzolanik çimento üretiminin yanı sıra beton katkı malzemesi olarak da kullanılmaktadır. Beton katkı maddesi olarak oldukça fazla kullanılır.

3.3.4.2 Silis dumanı

Silikon metali ya da silikon içeren metal alaşımların üretimi sırasında meydana gelen gazın hızlı soğutulması sonucu elde edilen ve %85-%98 kadar silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı taneciklerden oluşan katkı maddesine silis dumanı adı verilmektedir. Silis dumanı amorf bir yapıya sahip olması, çok ince taneciklerden oluşması ve yüksek miktarda camlı silis içermesinden dolayı iyi bir puzolanik malzemedir (Erdoğan, 2010).

Çok ince taneli olması ve içerisinde SiO_2 içermesinden dolayı yüksek dayanımlı betonlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Beton için; boşlukları doldurup dayanımı arttırması, segregasyon ve terlemeyi azaltması, taze betonun hidratasyon hızını azaltması gibi faydalarının yanı sıra çok ince taneli bir yapıya sahip olması taze betonun kıvamı ve işlenebilirliği azaltır. Bu nedenle silis dumanı kullanılırken ayrıca su azaltıcı katkı malzemesi de kullanılması gerekir.

3.3.5 Kimyasal katkılar

Betonun özelliklerinde değişiklik yapmak için yapımı esnasında çimento miktarının %5'ini geçmeyecek orandan karıştırılan malzemelere kimyasal katkı malzemesi adı verilir. Bu malzemeler genellikle beton suyu içerisine karıştırılır.

Kimyasal katkı maddelerin kullanım amaçları şu şekilde sıralanabilir (Eser, 2015);

- Taze betonun hazırlanması ve kalıplara yerleştirilmesi esnasında işlenebilirliği sağlama,
- Sertleşmiş betondaki geçirgenliği azaltarak dış etkilere dolayı oluşacak korozyona karşı beton ve içerisindeki donatıyı koruma,
- Betonun çok soğuk ve çok sıcak havalarda meydana gelecek donma ve çözülme olaylarına karşı mukavemeti artırma,
- Betonarme yapılardaki servis ömrünü artırarak zamana karşı dayanımını ve dayanıklılığını yükseltme.

Birçok farklı amaçla kullanılan kimyasal katkı çeşitleri mevcuttur. Su azaltıcı kimyasal katkılar kıvamda herhangi bir değişiklik olmadan betonun dayanımını arttırmaları. Bu katkı maddeleri, betonun işlenebilirliği, dayanımı, su geçirimsizliğini artırır. Ayrıca betonun istenilen kıvamda ve işlenebilir özellikte olmasını sağlar. Süper akışkanlaştırıcı katkıları betondaki su miktarını çok yüksek oranda azaltır ya da su miktarında değişim olmadan çökmeyi yüksek oranda sağlar. Su tutucu katkı malzemeleri terlemeyi azaltarak su kaybını önlemeyi sağlar. Bu katkı maddeleri sayesinde geniş yüzeyli betonlarda oluşacak terlemeden kaynaklı oturmalar engellenir. Aynı zamanda yüzey dayanımını artırır ve plastik rötre çatlaklarını azaltır. Priz geciktirici katkı maddeleri karışımın katı hale geçmesini önler. Özellikle yaz mevsiminde betonun işlenebilirliğini kaybetmeden priz almasını engellemek için kullanılır. Priz geciktirici katkı maddeleri betonda hızlı sertleşmeden oluşabilecek soğuk derzleri önler. Priz hızlandırıcı katkı maddeleri ise betonun katı hale geçme süresini hızlandırır. Özellikle kış mevsiminde dökülen betonların priz alma süreleri uzayacağı için betonu don etkisinden korur. Betondaki hidratasyonun daha hızlı oluşmasını ve betonun daha çabuk mukavemet almasını sağlar.

Hava sürükleyici katkı maddeleri betonda meydana gelen donma-çözünme olayına karşı koruma sağlar. Soğuk havalarda beton içerisindeki su donar ve genişler böylece beton içerisinde gerilmeler oluşur. Gerilmeler sonucu beton içerisinde kılcal çatlaklar meydana gelir. Isınan havalarla birlikte buzlar erir. Bu donma-çözülme olayı her hava koşullarındaki değişimle devam edeceği için yeni çatlaklar oluşur ve eski çatlaklar genişler. Bu durumda betonun dayanımı ve işlenebilirliği azalır. Bu katkıları sayesinde dayanım ve işlenebilirlik artırılır. Aynı zamanda betonda meydana gelecek terleme ve segregasyonu azaltır.

TS 3233'e göre önerilmeli beton imalatında katkı maddesi kullanımından kaçınılmalıdır. Özellikle kalsiyum klorürlü katkı maddeleri kesinlikle kullanılmamalıdır, diğer katkıları ise deneysel karışımla uygunlukları kanıtlanırsa kullanılmalıdır.

4. VERİLERİN İSTATİSTİKSEL ANALİZİ

İstatistik, belirsizlik hallerinde en iyi sonucu bulmada ya da karar vermede kullanılacak yöntemlerdir. İstatistik rastgele/tesadüfi ya da tesadüfi şeklindeki olayları inceleyen metodik bir bilim dalıdır. Elde edilen sonuçlar üzerinden çeşitli yorumlama yapılarak çözüm yolu bulunur. Gerçekleşen olayların tamamını gözlemlemek mümkün olamayacağından dolayı sonuca ulaşmak için veriler kısıtlı olabilir. Kısıtlı veriler üzerinden tahmin yapılarak gerçeğe en yakın değere ulaşılmaktadır. Tahmin sonucu elde edilen verilere istatistikler adı verilir. Maksimum olabilirlik, istatistiksel momentler ve L momentler yöntemleri en çok başvurulan tahmin yöntemleridir (Bayazıt ve Oğuz, 2013).

4.1 Bir Rastgele Değişkenin İstatistiksel Momentleri

4.1.1 Ortalama

Bir rastgele değişkenin, dağılımı üzerindeki en etkili parametre ortalama değerdir. Ortalama değer verilerin alabileceği değerlerin etrafında toplandığı ağırlık merkezidir. Ortalama değer 1. derece istatistiksel momenttir. Sürekli değişkenler hesabı için denklem 4.1’de gösterildiği gibidir.

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

Denklemden yer alan μ_x değeri rastgele değişkenin ortalama değerini ifade etmektedir.

Kesikli değişkenlerde;

X rastgele değişken topluluğundaki N elemanlı ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) bir örnekte ortalama değer olan μ_x ’i gösteren istatistik değeri:

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

formülü ile bulunur.

4.1.2 Varyans

Ortalama değeri sadece merkezi değeri hesaplarırken, varyans herhangi bir değişkenin ortalama değere farklarını hesaplayarak merkez etrafındaki dağılımı gösterir. Varyans 2. derece istatistiksel moment değeridir.

Varyans, değerlerin merkezi değeri olarak hesaplanmış ortalama değere farklarının kareleri alınarak hesaplanır.

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

Herhangi bir değişkenin değeri olan x 'in topluluğundaki N elemanlı $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ bir örnek için varyans hesabı;

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

formülü ile yapılır. Kullanılan değerler 30'dan küçük olduğu zaman N yerine $N-1$ ile bölme yapılır.

4.1.3 Standart sapma

Varyans değerinin karekökü olacak şekilde hesaplanan değere standart sapma değeri denilmektedir. Standart sapma, verilerin ortalama değeri etrafındaki yoğunluğu hakkında bilgi verir. Standart sapma değerinin büyük olması verilerin ortalama değeri etrafındaki yoğunluğunun yüksek olduğunu gösterir. Standart sapma;

$$\sigma_x = \sqrt{\text{Var}(x)} \quad (4.5)$$

formülüyle hesaplanır.

4.1.4 Değişkenlik katsayısı

Farklı birimlerde değişkenlerin yayılımlarını hesaplamakta kullanılan parametreye değişkenlik (varyasyon) katsayısı denir. Standart sapmanın ortalamaya oranı ile elde

edilir. Değişkenlik katsayısı boyutsuz bir değişkendir. Farklı değişkenler için standart sapma sonuç vermeyebilir bu yüzden değişkenlik katsayısına başvurulur.

Değişkenlik katsayısı;

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

formülü ile hesaplanır. Herhangi bir x topluluğundaki N elemanlı $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ örnekte;

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

formülü kullanılır.

4.2 Parametre Tahmin Yöntemi

Yararlanacak dağılımın fonksiyonunu uygulanacak örnek için uyarlamada fonksiyonun parametre değerleri elde edilen veriler değerlendirilerek tahmin yapılabilir. Çeşitli parametre tahmin yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar; momentler yöntemi, maksimum olabilirlik ve L momentler yöntemleridir.

Momentler yöntemi için dağılım parametrelerinin, bir rastgele değişkendeki istatistiksel momentlerden faydalanılarak tahmini hesap yapılır. Bu yöntemle oluşturulan parametre tahmin değeri normal dağılımda uygunluk gösterirken, diğer dağılımlarda etkili bir tahmin değeri hesaplanamamaktadır. Buna rağmen hesaplar için kullanım kolaylığı sağlamasından dolayı en yaygın kullanılan tahmin yöntemidir. Maksimum olabilirlik yönteminde, uygulanacak dağılım fonksiyonu için gözlenen olayların meydana gelme olasılıklarını en yükseğe ulaştıran parametrelerin hesabı yapılır. Bu yöntem etkili sonuçlar vermesine karşın uygulamada zorluk olduğu için çok tercih edilmez. L momentler yöntemi ise momentler yöntemi ile kıyaslandığında daha az hata veren ve kolay uygulanan bir yöntemdir. Bu yöntem olasılık ağırlıklı momentler için lineer fonksiyonu olmasından dolayı olasılık ağırlıklı momentler türünde hesaplanır (Bayazıt, 1981).

4.3 Olasılık Dağılım Fonksiyonları

4.3.1 Normal dağılım

Gauss yöntemi de denilmekte olan normal dağılım yöntemi doğadaki neredeyse tüm dağılımlar için uygulanan bir yöntemdir. Normal dağılım olasılık dağılım fonksiyonları arasında en etkili olandır. Normal dağılımın en belirgin özelliği yinelenen verilerin ortalama değer etrafında yoğunlaşmasıdır. Uçlara doğru açıldıkça veriler kendiliğinden azalır. Bu özelliği ile ortalamaya göre simetrik bir dağılım gösterir. Böylelikle mod ve medyan değerleri de ortalama değere eşit olmaktadır.

Normal dağılım fonksiyonu;

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

Formülde, herhangi bir x değişkenin ortalama değerini μ_x , dağılımın varyansı ise σ^2 ile gösterilmektedir.

Her farklı ortalama ve standart sapma değeri için farklı bir normal dağılım oluşmaktadır. Bu şekilde her bir μ ve σ değeri için sonsuz sayıda dağılım oluşmaktadır. Tek bir dağılım fonksiyonu oluşturmak için aşağıdaki standart değişken fonksiyonu kullanılmaktadır.

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

Standart değişkende ortalama 0 (sıfır), varyans değeri 1'e eşittir. Standart değişken boyutsuz bir büyüklüktür.

4.3.2 Log-normal dağılım

Log-normal dağılım oluşturulurken normal dağılım için uygun olmayan değişkenlerin logaritmaları alınır. Rastgele bir x değişkeni için $y=\ln x$ dönüşümü uygulandıktan sonra y değişkeni normal dağılıma uygunluk gösterirse, x değişkeni

log-normal dağılıma uygunluk göstermiş olur. Log-normal dağılımda yalnızca pozitif değerlerin logaritmik hesabı yapıldığı için x değişkeni yalnızca pozitif değer alır.

Log-normal dağılım için aritmetik ortalama değeri; μ ile standart sapma değeri; σ aşağıda verilen denklemler uygulanarak bulunur:

$$\mu_y = \ln \left[\frac{\mu_x}{\left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right)^{1/2}} \right] \quad (4.10)$$

$$\sigma_y = \left[\ln \left(\frac{\sigma_x^2}{\mu_x^2} + 1 \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (4.11)$$

Log-normal dağılım içinde yer alan x için olasılık yoğunluk fonksiyonu şu şekilde yazılır:

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

4.3.3 Gamma dağılımı

Gamma dağılımı iki parametrelili sürekli bir dağılımdır. Dağılımın olasılık yoğunluk fonksiyonu;

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

formülü ile hesaplanır. $\Gamma(\alpha)$ gamma fonksiyonu olarak tanımlanır. Gamma fonksiyonunda yer alan α değeri önemli bir belirleyicidir. α arttıkça gamma dağılım fonksiyonu normal dağılım fonksiyonuna yaklaşır.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} X^{\alpha-1} e^{-x} dx \quad (4.14)$$

α : Biçim parametresi

Gamma dağılımı, log-normal dağılımda olduğu gibi pozitif değerlerde tanımlıdır. İki parametrelili bir dağılımdır. İki parametrelili gamma dağılım fonksiyonu şu şekildedir;

$$F(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} \quad x > 0, \quad \beta > 0 \quad (4.15)$$

β : Ölçek parametresi

Gamma dağılım fonksiyonunda aritmetik ortalama $\mu_x = \alpha\beta$ ve $\text{Var}(X) = \alpha\beta^2$ şeklindedir.

4.3.4 Gumbel dağılımı

Tekrarlanan değerlerin en küçük ve en büyük değerlerden oluşan rastgele değişkenin olasılık dağılım fonksiyonu olarak tanımlanır. Ekstrem dağılımlar içerisinde en çok kullanılan dağılımdır.

Gumbel dağılım için eklenik dağılım fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \{ -\exp[-\alpha(x-\beta)] \} \quad (4.16)$$

Momentler yöntemine göre Gumbel katsayıları ise;

$$\mu_x = \beta + \frac{0,577}{\alpha}, \quad \sigma_x = \frac{1,282}{\alpha} \quad (4.17)$$

şeklinde hesaplanır.

4.4 Olasılık Dağılımla İlgili Uygunluk Testleri

Bulunan verilerin hangi dağılım için en iyi uygunluk uygunluk testleri ile bulunur. Bu testlerden bazıları; Ki-Kare (χ^2) Kolmogorov-Smirnov (K-S), Olasılık Çizgisi Korelasyon (PPCC) ve Anderson-Darling'dir. Bu çalışma için Ki-Kare (χ^2) ve Kolmogorov-Smirnov (K-S) testleri uygulanacaktır.

4.4.1 Kolmogorov-Smirnov testi

Kolmogorov-Smirnov testi, 1933 yılında Kolmogorov tarafından tek örnek için uyum iyiliği testi olarak önerilmiş, 1939'da Rus matematikçi Smirnov tarafından iki

bağımsız örnek için uyum iyiliği testi olarak geliştirilmiştir. Benzerliklerinden dolayı Kolmogorov-Smirnov testi olarak adlandırılır. Bu test için uygulanan istatistik;

$$\Delta = \max_i |F(x_i) - Q(x_i)| \quad (4.18)$$

şeklindedir. $F(x_i)$ Eklenik olasılık fonksiyonunu, $Q(x_i)$ teorik dağılımın eklenik olasılık fonksiyonunu göstermektedir. $Q(x_i) = i/N$ ($i=1,2,3,...,N$) formülü ile hesaplanır. Bulunan Δ değeri ile kritik Δ değeri kıyaslanır. Hesaplanan Δ değeri kritik değerden küçük ise teste uygunluğu kabul edilir, büyük ise uygun olmadığı belirtilir.

Çizelge 4.1'de Kolmogorov-Smirnov testleri için kritik Δ_α değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Kolmogorov-Smirnov testi için Δ_α kritik değerleri.

N	A			
	0,01	0,05	0,10	0,20
5	0,67	0,56	0,51	0,45
10	0,49	0,41	0,37	0,32
15	0,40	0,34	0,30	0,27
20	0,36	0,29	0,26	0,23
25	0,32	0,27	0,24	0,21
30	0,29	0,24	0,22	0,19
35	0,27	0,23	0,20	0,18
40	0,25	0,21	0,19	0,17
45	0,24	0,20	0,18	0,16
50	0,23	0,19	0,17	0,15
>50	$\frac{1,63}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{N}}$	$\frac{1,07}{\sqrt{N}}$

4.4.2 Ki-Kare testi

Ki-Kare testi, gözlenen değer, beklenen değere uygun olup olmadığına dayanır. Ki-Kare testi hesaplamalarında, herhangi bir değişkendeki K elemanlı örnek n gruba ayrılır ve her grupta yer alan K_i ($i= 1,2,3...k$) eleman sayısının hesabı yapılır. Aynı grupta olma olasılıkları p_i ile gösterilirse şu şekilde hesaplanır:

$$X^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(N_i - N_{pi})^2}{N_{pi}} \quad (4.19)$$

Dağılımın serbestlik derecesi $n-1$ 'dir. Gözlenen değer; N_i , teorik dağılıma göre beklenen değer; N_{pi} ile ifade edilmektedir. Ki-Kare testinde, gözlenen değer ile beklenen değer birbirine yaklaşması durumunda χ^2 istatistiği de sıfıra yaklaşır. Hesaplanan χ^2 değeri, $n-1$ serbestlik derecesine bağlı aşılma olasılığı α olarak tanımlanan χ^2_{α} değerinden küçük olursa dağılıma uygun olduğu, büyükse dağılıma uygun olmadığı belirtilir.

4.5 Merkezi Limit Teoremi

Ortalaması μ ve standart sapması σ , olan bir ana kütleden n büyüklüğünde bir rastgele tekrarlamalı örnekler alındığında, n 'in yeterince büyük olması durumunda örnek ortalamaların dağılımının ortalaması ve ana kütlenin ortalaması (μ) yaklaşık olarak eşit olacaktır. Örneklemin standart sapması ise ana kütlenin standart sapmasının (σ), n 'in kareköküne bölünmesi ile elde edilen değere yaklaşık olarak eşit olduğu bir normal dağılım olacaktır. n sayısı arttıkça yaklaşım daha doğru sonuç verecektir.

Örneklemin ortalaması;

$$\mu_{\bar{X}} = \mu \quad (4.20)$$

Örneklemin standart sapması;

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (4.21)$$

şeklindedir.

μ : Popülasyon ortalaması,

σ : Popülasyonun standart sapması,

$\mu_{\bar{X}}$: Örneklemin ortalaması,

$\sigma_{\bar{X}}$: Örneklemin standart sapması,

n : örneklem sayısı.

5. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışma için, Türkiye'de üretimi yapılan ve uygulama alanlarında kullanılan prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesi üzerine irdeleme yapmak amacıyla 4 farklı ilden alınan 7 ve 28 günlük toplam 11.822 adet beton numunesinin basınç dayanım değerleri kullanılmıştır. Toplanan veriler Konya, Ankara, Malatya ve Aksaray illerindeki prefabrik beton firmalarından elde edilmiştir. Alınan numune değerleri C20 ve C50 arasındaki beton sınıflarına ait olup prefabrik yapı tesislerinde üretilmektedir. Numunelerin basınç dayanım değerleri yetkili kişilerce şantiyede standart 150x150x150 mm küp kalıplara yerleştirilerek laboratuvar ortamında uygulanan deneyler sonucunda hesaplanmıştır. Bu numunelerin büyük kısmı yetkililer tarafından laboratuara getirilerek kür havuzları içerisinde belli sıcaklıkta bekletilmekte olup, bir kısmına kür uygulaması yapılmadan pres makinelerinde 7 ve 28 günlük basınç dayanım sonuçları alınmıştır.

Çizelge 5.1'de C30 beton sınıfındaki farklı illerden ve farklı firmalardan elde edilmiş 28 günlük küp numunelerin ortalama dayanım değerleri, standart sapmaları ve değişkenlik katsayıları verilmiştir. Değişkenlik katsayı değeri, standart sapma değerinin ortalama dayanım değerine bölünmesiyle bulunmuştur. Firma1, Malatya ilinde faaliyet göstermekte olup numuneler kolon, çatı makası, T kiriş ve oluk kirişi imalatlarından alınmıştır. Firma2 Aksaray'da çalışmalarını sürdüren bir firma olup, alınan numuneler kolon, kiriş, aşık ve temel imalatları için kullanılmıştır. Firma3, Ankara ilinde faaliyet gösteren prefabrik yapı imalatı yapan bir inşaat firması olup numuneler kolon, kiriş, makas ve aşık imalatlarından alınmıştır. Firma4, Konya ilinde faaliyet gösteren prefabrik yapı imalatı yapan bir firma olup numuneler kolon, aşık ve oluk imalatlarından alınmıştır; Firma5, Konya ilinde faaliyet gösteren bir başka prefabrik yapı firmasıdır numuneleri fabrika binası için üretilmiş kolon imalatından alınmıştır. Firma6, yine Konya ilinde faaliyet gösteren prefabrik yapı firmasıdır, numuneler farklı yapılarda kullanılmak üzere üretilen kolon, aşık ve makas imalatlarından alınmıştır, alınan numuneler kürlü ve kürsüz olmak üzere iki farklı şekilde test uygulanmıştır. Firma7, Konya ilinde faaliyet gösteren başka bir prefabrik yapı firmasıdır bu firmadan alınan numuneler kolon, aşık, oluk ve makas uygulamalarında kullanılmıştır. Firma8, Aksaray ilinde bulunan bir prefabrik yapı firmasıdır.

Çizelge 5.1’de C30 sınıfındaki tüm firmaların 28 günlük istatistiksel değerleri gösterilmiştir. Bu sonuçlara göre küp numunelerin ortalama dayanım değerleri 37 MPa’ın üstünde çıkmıştır. C30 beton sınıfına ait en düşük değişkenlik katsayısı Firma1’e aittir.

Çizelge 5.1. Firmalara göre 28 günlük C30 beton numunelerin istatistiksel değerleri.

Num. Tip.	Num. Say.	Küp day. (N/mm ²)	Ort.day. (N/mm ²)	Std. sap. (N/mm ²)	Değişken. katsay.	Sın.altındaki num. say.	Sınır altındaki numunelerin oranı (%)
Firma1	252	37	43,32	1,586	0,037	0	0
Firma3	74	37	44,25	2,99	0,068	0	0
Firma5	75	37	45,48	2,15	0,047	0	0
Firma6	207	37	51,01	4,87	0,096	0	0
Firma6*	206	37	50,09	5,12	0,102	0	0
Firma8	23	37	49,72	2,744	0,055	0	0
*Kürsüz numune							

Çizelge 5.2’de C30 sınıfına ait 7 günlük numunelerin istatistik verileri gösterilmiştir. İstatistik verilere göre sadece Ankara’dan alınan numunelerin ortalama değeri 35,51 MPa, sınır altında kalan verilerin oranı ise %62,5’dir. En büyük dayanım değeri 49,72 MPa olan Firma7’e aittir. Analiz sonuçlarına göre alınan numunelerin büyük çoğunluğunun 7 günde sınır dayanım değerine ulaştıkları görülmektedir.

Çizelge 5.2. Firmalara göre 7 günlük C30 betonu istatistiksel sonuçları.

Num. Tip.	Num. Say.	Küp day. (N/mm ²)	Ort.day. (N/mm ²)	Std. sap. (N/mm ²)	Değişken. katsay.	Sın.alt.num. say.	Sınır altındaki num. Oranı (%)
Firma3	72	37	35,51	4,94	0,139	45	62,5
Firma5	10	37	38,57	1,57	0,041	0	0
Firma6	135	37	47,12	5,02	0,107	1	0,74
Firma7	9	37	49,72	3,79	0,087	0	0

Çizelge 5.3’te farklı illerde faaliyet gösteren 5 farklı firmadan alınan C35 sınıfına ait 28 günlük numunelerin istatistiksel verileri incelenmiştir. Her firmanın ortalama basınç dayanımları, standart sapma değerleri ve değişkenlik katsayıları hesaplanmış ve değişkenlik katsayısı bulunurken, standart sapma değeri ortalama dayanım değerine bölünmüştür. Bu numuneler küp numune olup sınır değerleri 45 MPa olarak belirlenmiştir. Buna göre ortalama olarak tüm firmalardan alınan numuneler sınır değeri üstünde bir ortalama dayanıma sahiptir.Firma3,Firma4, Firma7’ye ait

numunelerin hiç birisi sınır değeri altında kalmamıştır. Çizelge 5.3'te yer alan verilere göre 0,017 değişkenlik katsayısı ile Firma2'ye ait numuneler en düşük orana sahiptir.

Çizelge 5.3. Firmalara göre 28 günlük C35 betonu istatistiksel sonuçları.

Num. tip.	Num. Say.	Küp day. (N/mm ²)	Ort. day.(N/mm ²)	Std. sap. (N/mm ²)	Değişken. Katsay.	Sın.alt. num. say.	Sın.alt. num. Oranı (%)
Firma2	27	45	48,46	0,86	0,017	3	1,85
Firma3	144	45	50,2	2,65	0,053	0	0
Firma4	26	45	52,63	2,97	0,056	0	0
Firma7	49	45	54,12	2,13	0,039	0	0
Firma8	3700	45	48,9	2,56	0,052	81	2,19

Çizelge 5.4'te ise C35 sınıfındaki numuneler için analiz sonuçları incelenmiştir. İncelenen verilere göre C35 beton sınıfındaki 7 günlük numunelerin basınç dayanımının sınır değerlerinin altında kaldığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.4. Numune tipine göre 7 günlük C35 betonunu istatistiksel değerleri.

Num. tip.	Num. Say.	Küp day. (N/mm ²)	Ort.day. (N/mm ²)	Std. sap. (N/mm ²)	Değişken. Katsay.	Sın. alt. Num. Say.	Sınır alt. num. Oranı (%)
Firma3	198	45	41,97	3,98	0,091	156	78,79
Firma4	47	45	45,29	2,72	0,06	13	52
Firma7	15	45	44,79	3,19	0,071	8	53,33
Firma8	3544	45	40,17	2,95	0,074	3497	91,41

Çizelge 5.5'te imalatlardan alınan C40 beton sınıfından 28 günlük numuneler küp numunedir. Sınır dayanımları 50 MPa olup, bütün firmalardan alınan numuneler sınır dayanımının üstünde dayanıma sahiptir. En düşük basınç dayanımına sahip firma, ortalama dayanım değeri 50,1 MPa olan Firma8'dir. En yüksek ortalama dayanım değerine sahip olan numuneler 61,12 MPa ortalama değer ile Firma6'ya aittir. Firma1veFirma5'e ait numunelerin sınır altında değerleri bulunmamaktadır.

Çizelge 5.5'te C40 betonundan bütün numunelerin istatistiksel değerleri verilmiştir. Bu değerler sonucunda en düşük değişkenlik katsayısına sahip numuneler 0,028 olarak Firma1'e ait numunelerdir.

Çizelge 5.5. Firmalara göre 28 günlük C40 betonunu istatistiksel değerleri.

Num. tip.	Num.Say.	Küp day. (N/mm)	Ort. day. (N/mm ²)	Std. sap. (N/mm ²)	Değişken. katsay.	Sın. alt. num. say.	Sın. alt. num. Oranı (%)
Firma1	162	50	56,62	1,606	0,028	0	0
Firma3	192	50	53,3	2,904	0,054	24	12,31
Firma5	15	50	55,02	1,847	0,034	0	0
Firma6	229	50	61,12	5,33	0,087	2	1,96
Firma6*	227	50	60,7	5,71	0,094	4	4,04
Firma8	26	50	50,1	2,43	0,0484	16	61,54
*Kürsüz numune							

Çizelge 5.6’da ise C40 sınıfına ait 7 günlük numunelerin istatistiksel analizi verilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre tıpkı C35 sınıfına ait verilerde olduğu gibi numunelerin basınç dayanım değerlerinin çoğunluğunun sınır altında kaldığı, bir kısmının ise sınır dayanım değerini aştığı görülmektedir. C40 sınıfına ait numuneler arasında en düşük değişkenlik katsayısına sahip firma Konya ilinde faaliyet gösteren Firma5’tir.

Çizelge 5.6. Firmalara göre 7 günlük C40 betonunu istatistiksel değerleri.

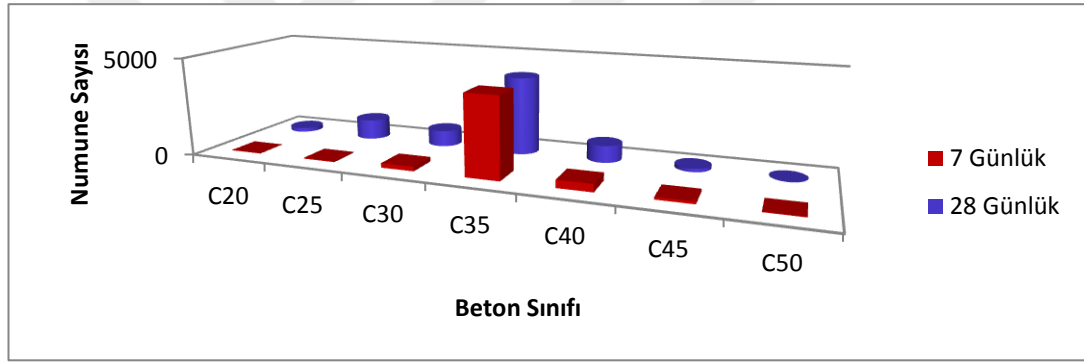
Num. Tip.	Num. Say.	Küp day. (N/mm)	Ort.day. (N/mm ²)	Standart sapma (N/mm ²)	Değişken. katsay.	Sın. alt.num.say.	Sın.alt. Num. Oranı (%)
Firma3	236	50	46,06	3,428	0,074	201	85,17
Firma5	8	50	50,17	1,89	0,037	2	25
Firma6	146	50	57,39	5,66	0,096	17	11,64
Firma8	17	50	48,48	4,17	0,086	11	64,7

İmalatlardan alınan numunelerin laboratuvar ortamında kırılmasıyla bulunan veriler beton sınıflarına göre ayırt edilerek 7 ve 28 günlük numune adetleri ve yüzde oranları Çizelge 5.7’de verilmiştir. En çok numune C35 beton sınıfında bulunmaktadır ve bütün numunelerin %61’ini oluşturmaktadır.

Çizelge 5.7. Bütün beton sınıflarına ait numunelerin 7 ve 28 gün için basınç dayanımlarının frekans değerleri.

Beton snf.	Num. Say.		Frekans		Eklenik Frekans	
	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
C20	25	206	0,0051	0,029	0,0051	0,029
C25	48	1036	0,0098	0,146	0,015	0,175
C30	229	823	0,0466	0,116	0,0616	0,291
C35	4052	3946	0,825	0,558	0,887	0,849
C40	393	861	0,080	0,122	0,967	0,971
C45	137	178	0,028	0,025	0,994	0,997
C50	30	22	0,006	0,003	1,000	1,000

Şekil 5.1’de bütün beton sınıflarının 7 ve 28 günlük numunelerin sayıları gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Bütün beton sınıflarındaki 7 ve 28 günlük numunelerin adetleri.

Şekil 5.2’de bütün beton sınıflarına ait (C20,C25,C30,C35,C40,C45,C50) 7 günlük numuneler için basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Değerlendirmelerde tüm veriler göz önünde tutularak basınç dayanım aralıkları belirlenmiştir.

Şekil 5.2a’daki tabloda C20 sınıfından 25 adet 7 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları yer almaktadır. Bu verilere göre 4 adet numune 20-25 MPa aralığında bulunmakta, 14 adet numune 25-30 MPa aralığında bulunmakta, 6 adet numune 30-35 MPa aralığında ve 1 adet numune 35-40 MPa aralığında bulunmaktadır.

Şekil 5.2b’de ise C25 beton sınıfından 48 adet 7 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları gösterilmiştir. Bu numunelerin 9 adedi 20-25 MPa aralığında, 35 adedi ise

25-30 MPa aralığındadır ve sınır değeri olan 30 MPa altında kalmıştır. 4 adet numune ise 30-35 Mpa aralığımda bulunmaktadır.

Şekil 5.2c'de bulunan C30 beton sınıfından 229 adet 7 günlük numunelerin 8 adedi 55-60 MPa aralığında, 35 adedi 50-55 MPa aralığında, 42'si 45-50 MPa aralığında, 65 adedi 40-45 MPa aralığında yer almaktadır, 43 adet numune 35-40 MPa aralığında 27 adet numune 30-35 MPa aralığında, 7 numune 25-30 MPa aralığında bulunurken, 2 adet numune de 20-25 MPa aralığında yer alarak sınır değeri 37 MPa'ın altında kalmışlardır.

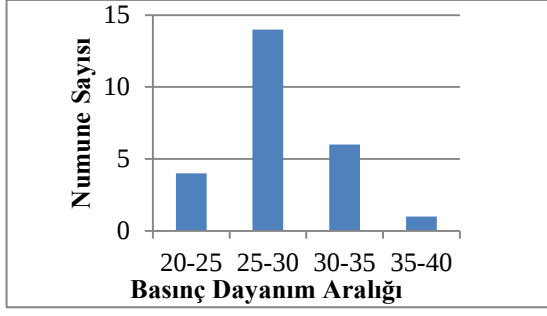
Şekil 5.2d'de ise C35 sınıfına ait 4.052 numunenin 7 günlük basınç dayanım aralıkları vardır. C35 sınıfında yer alan 60 adet numune 30-35 MPa aralığında, 2.591 adet numune 35-40 MPa aralığında 1.018 adet numune ise 40-45 MPa aralığında, bulunup sınır değerinin altında kalmıştır. Numunelerin 332 adedi 45-50 MPa aralığında yer almaktadır. Ayrıca 38 adet numune ise 50-55 MPa aralığında, 9 adedi ise 55-60 MPa aralığında yer alırken oldukça yüksek bir dayanıma sahiptir.

Şekil 5.2e'de bulunan C40 sınıfına ait 393 adet 7 günlük basınç dayanımına sahip numuneler vardır. Bu numunelerin 81 adedi 40-45 MPa aralığında, 132 adedi 45-50 MPa aralığında, 72 adedi 50-55 MPa aralığında, 45 adedi 55-60 MPa aralığında yer alırken 7 adedi ise 35-40 MPa aralığında yer alıp sınır değerinin altında bir basınç dayanımı göstermiş olmaktadır. Ayrıca 46 adet numune 60-65 MPa aralığında ve 9 adet numune ise 65-70 MPa aralığında yer alarak oldukça yüksek dayanım göstermiştir.

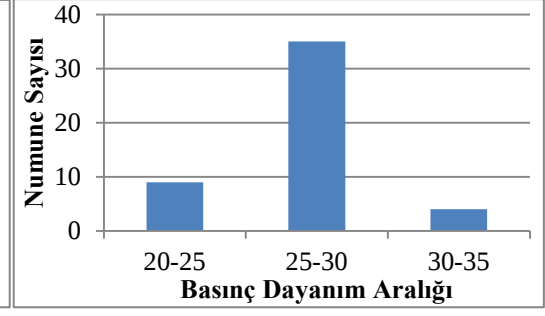
Şekil 5.2f'de C45 sınıfına ait numunelerin 7 günlük basınç dayanım değeri bulunmaktadır. Numunelerin %56,25'i sınır değeri olan 50 MPa'ın üstünde basınç dayanımına sahip olup, %43,75'i ise 50 MPa altında dayanım göstermiştir.

Şekil 5.2g'de yer alan numuneler C50 beton sınıfında yer almaktadır. Numunelerin tamamı sınır değeri olan 60 MPa basınç dayanımının üstünde dayanım göstermiştir.

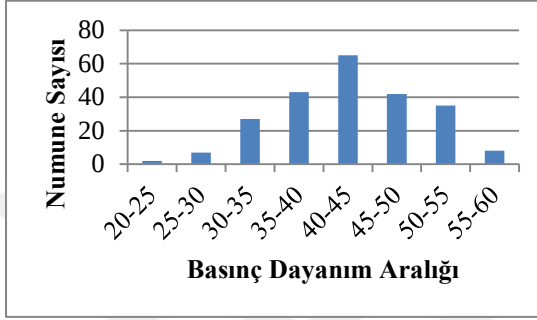
Numunelerin 7 günlük kazandıkları basınç dayanım değerlerinin sonuçlarına bakıldığında, büyük çoğunluğunun 7 gün içerisinde dayanımlarını kazandıkları gözlemlenmektedir.



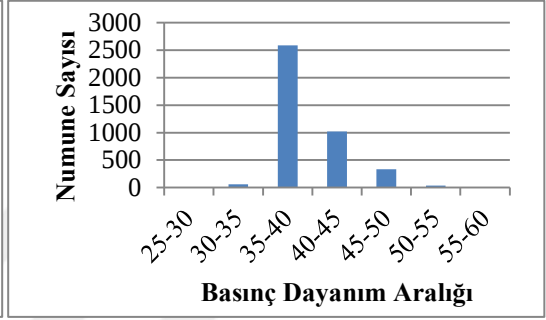
a)C20 beton sınıfı.



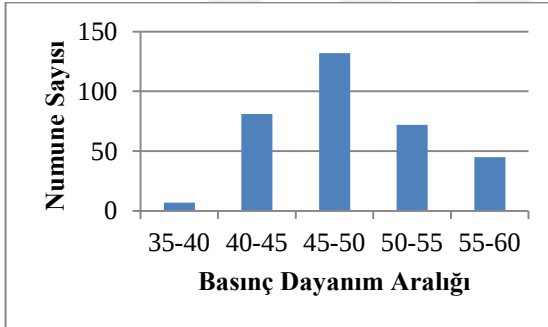
b)C25 beton sınıfı.



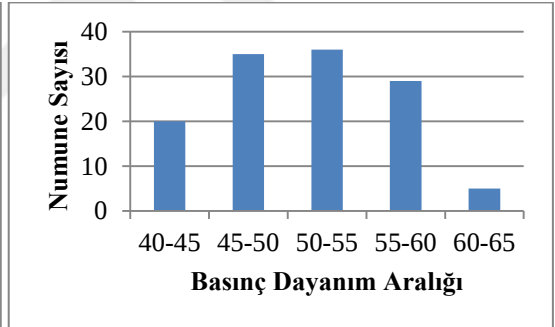
c)C30 beton sınıfı.



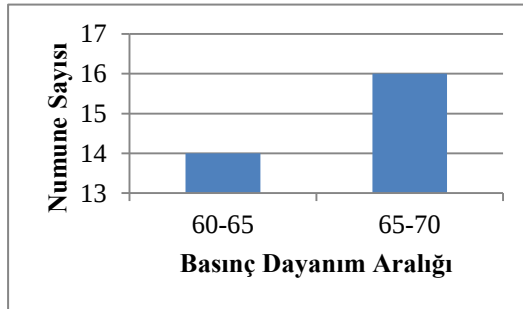
d)C35 beton sınıfı.



e)C40 beton sınıfı.



f)C45 beton sınıfı.



g)C50 beton sınıfı.

Şekil 5.2. Bütün beton sınıflarına ait (a) C20, b) C25, c) C30, d) C35, e) C40, f) C45, g) C50) numunelerin 7günlük basınç dayanım aralıkları.

Şekil 5.3a'da C20 beton sınıfındaki 208 numunenin 28 günlük basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Bu değerlere bakılarak 25-30 MPa aralığındaki numune sayısı 19, 30-35 MPa aralığındaki numune sayısı 147 ve 35-40 MPa aralığındaki numune sayısı 40 olarak görülmektedir.

Şekil 5.3b'de C25 sınıfında yer alan 1.036 numunenin 28 günlük basınç dayanım aralıkları bulunmaktadır. Bu değerler arasında 216 numune 30-35 MPa aralığında 820 numune ise 35-40 MPa aralığında yer almaktadır.

Şekil 5.3c'de C30 sınıfına ait 823 adet 28 günlük numunelerin basınç dayanım aralıkları verilmiştir. Bu numunelerin %40,95'ini oluşturan 337 adedi 40-45 Mpa aralığında bulunurken, %33,78'ini oluşturan 278 adedi ise 45-50 MPa aralığında yer almaktadır. C30 sınıfı içerisinde bulunan numunelerin hiç birisi 37 MPa değerinin altında bulunmamaktadır. Ayrıca 116 adet numune 50-55 MPa aralığında, 73 adet numune 55-60 MPa aralığında, 9 adet numune ise 60-65 MPa aralığında yer alarak oldukça yüksek basınç dayanımına sahip olmuşlardır.

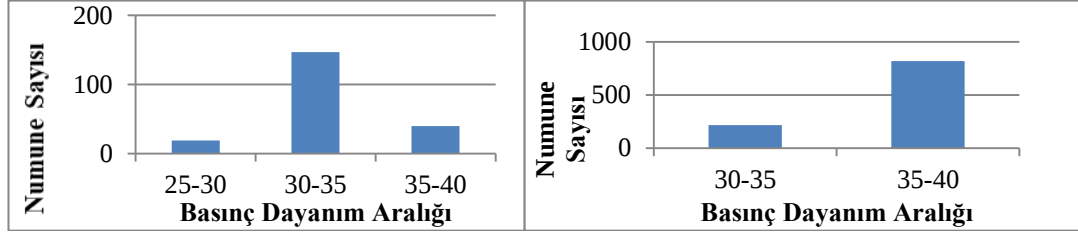
Şekil 5.3d tablosunda C35 sınıfına ait 3.975 numunenin 28 günlük basınç dayanım değerleri verilmiştir. Bu verilere göre C35 sınıfına ait numunelerin %2,92'si 40-45 MPa aralığında yer almaktadır, %80'ni 45-50 MPa aralığında bulunmaktadır %12,13'ü 50-55 MPa aralığında bulunmaktadır, %4,55'i 55-60 MPa aralığında ve %3,52'si ise 60-65 MPa aralığında yer almakta olup oldukça yüksek dayanımdadır. Ayrıca 2 adet numune 35-40 MPa değer aralığında yer almış olup sınır değerinin altındadır.

Şekil 5.3e'de yer alan C40 sınıfına ait 861 numunenin 28 günlük basınç dayanımlarında %4,99'u 45-50 MPa dayanım aralığında, %27,41'i 50-55 MPa dayanım aralığında, %17,54'ü 55-60 MPa basınç dayanım aralığında yer almakta olup, %35,19'u 60-65 MPa aralığında ve %13,24'ü 65-70 MPa aralığında dayanıma sahiptir.

Şekil 5.3f'de C45 sınıfında olan toplam 178 adet 28 günlük basınç dayanımını kazanmış numune bulunmaktadır. Numunelerin tamamı 50 Mpa'nın üstünde basınç

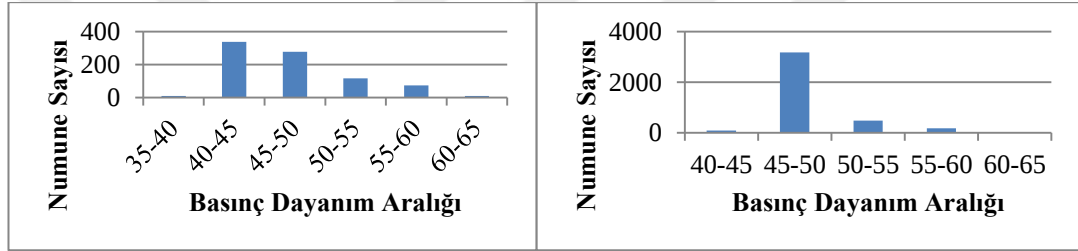
dayanımına sahip olurken, numunelerden 102'si 60-65 MPa aralığında, 22'si 65-70 MPa aralığında bulunup yüksek basınç dayanım değerlerine sahiptir.

Şekil 5.3'g'de ise C50 beton sınıfında bulunan 23 numune yer almaktadır. Numunelerden 6'sı 65-70 MPa aralığında, 11'i 70-75 Mpa aralığında basınç dayanım değerine, 6 adedi ise 75-80 Mpa aralığında basınç dayanım değerine sahiptir.



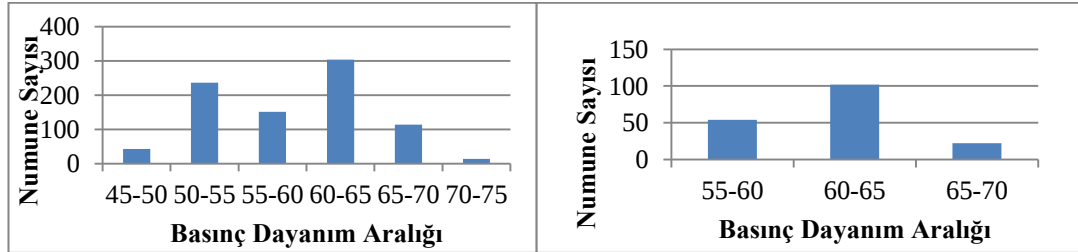
a)C20 beton sınıfı.

b)C25 beton sınıfı.



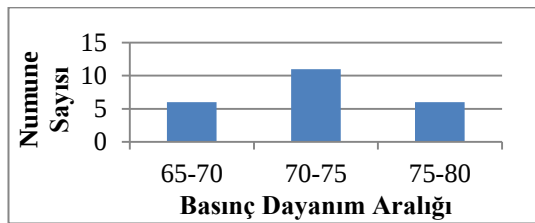
c)C30 beton sınıfı.

d)C35 beton sınıfı.



e)C40beton sınıfı.

f)C45 beton sınıfı.



g)C50 beton sınıfı.

Şekil 5.3. Tüm beton sınıflarına ait (a) C20, b) C25, c) C30, d) C35, e) C40, f) C45, g) C50) numunelerin 28 günlük basınç dayanım aralıkları.

Toplanan 11.822 adet numune farklı firmalardan alınmış, her firma kendi içinde değerlendirmeye tabi olmuştur ve her firma için ortalama değer ve değişkenlik katsayısı hesabı yapılmıştır. Çizelge 5.8’de, elde edilen tüm 7 ve 28 günlük numunelerin ortalama değerleri ve değişkenlik katsayıları gösterilmiştir. Çizelge 5.8’de yer alan tüm beton sınıflarının küp numuneleri için ortalama dayanımları silindir dayanıma dönüştürülmüştür. Her firmaya ait sonuçlar için; ağırlıklı, aritmetik ve genel ortalamaları bulunmuştur. Belirsizlik analizindeki değişkenlik katsayısı ve genel ortalama değerleri Çizelge 5.8’den alınarak yapılmıştır.

Çizelge 5.8. 7 ve 28 günlük beton numuneler için istatistiksel veriler.

Beton sın.	Firma Say.	Num. Say.	Fck (MPa)	Ort. Day.		Değiş. Katsay.	
				7 gün	28 gün	7 gün	28 gün
C20	2	233	20	21,77	26,48	0,085	0,061
C25	1	1084	25	21,31	29,22	0,095	0,044
C30*	5	1063	30	34,52	37,87	0,097	0,068
C30**	5	1063	30	34,18	37,86	0,094	0,068
C30***	5	1063	30	34,35	37,87	0,096	0,068
C35*	5	8139	35	34,37	39,22	0,076	0,046
C35**	5	8139	35	34,45	40,69	0,075	0,043
C35***	5	8139	35	34,41	39,96	0,075	0,044
C40*	5	1183	40	40,24	45,66	0,075	0,057
C40**	5	1183	40	40,42	44,92	0,073	0,058
C40***	5	1183	40	40,34	45,29	0,074	0,057
C45	2	307	45	40,90	49,38	0,112	0,044
C50	1	54	50	52,10	57,85	0,025	0,039
*Ağır. ort. göre **Art. ort. göre ***Genel Ort. göre							

Çizelge 5.8’deki verilere göre C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıflarına ait numunelerin 7 günlük ortalama dayanımlarının 28 günün sonucunda alacağı ortalama dayanımının yaklaşık olarak %85’ini kazanmış olduğu, 28 günlük ortalama dayanım değerlerinin ise genel olarak sınır dayanım değerlerinin üstünde yer aldığı anlaşılmaktadır. Çizelge 5.8’de değişkenlik katsayı değerlerine bakıldığında 7 günlük değerlerin, 28 günlük değerlere göre daha yüksek olduğu görülmektedir. Değişkenlik katsayısında meydana gelen farklılıkların nedeni olarak çeşitli mineral ve kimyasal maddelerin üretim sırasında karıştırılması ve farklı kür koşulları gösterilebilir.

Her beton sınıfındaki numunelerin basınç dayanım değerleri göz önüne alınarak istatistiksel analiz uygulanmıştır. Easyfit 5.5 programı kullanılarak tüm firmalar için farklı ortalama değer, standart sapma, değişkenlik katsayısı hesaplanmış Ki-Kare ve

Kolmogorov-Smirnov testleri yapılmıştır. Kolmogorov-Smirnov testi dikkate alınarak hangi dağılım için uygun oldukları saptanmıştır.

Çizelge 5.9’da her bir beton sınıfında yer alan verilerin, Easyfit programındaki olasılık uygunluk testleri içerisinde Kolmogorov-Smirnov testi yapılmıştır. Bütün yapılardaki beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerlerinden yararlanılarak en yüksek Δ ve Δ_{kritik} değerleri hesaplanmıştır. Δ_{kritik} değerinin hesabı yapılırken $\alpha = 0,10$ değeri alınmıştır. Hesaplanan değerler karşılaştırılmış normal dağılım için uygunluklarına bakılmıştır. Bu analizlere göre C25 beton sınıfından Firma3, C35 sınıfından Firma3, Firma4 ve Firma8, C40 Firma6 ve Firma6kürsüz numunelerinin normal dağılıma uymadığı gözlemlenmiştir. Beton sınıflarının diğer tüm numunelerinin kritik Δ değerinin altında kaldığı için normal dağılıma uygunluğu görülmüştür.

Çizelge 5.9. Numune tipine göre beton sınıfına ait 28 günlük numunelerin Kolmogorov-Smirnov testi için sonuçlar ve kritik değerler.

Beton Sın.	Num. İsmi	Num.say.	Hesap. Δ değ.	Kritik değ. Δ_{α} $\alpha = 0.10$	Δ ve Δ_{α} değ. için karşılaştırma
C20	Firma4*	56	0,147	0,16	0,147<0,16
	Firma6	35	0,117	0,271	0,117<0,271
C25	Firma3*	1033	0,056	0,038	0,056>0,038
C30	Firma1	252	0,066	0,077	0,066<0,077
	Firma3	74	0,078	0,14	0,078<0,140
	Firma5	75	0,079	0,139	0,079<0,139
	Firma6	203	0,079	0,086	0,079<0,086
	Firma6(kürsüz)	204	0,074	0,086	0,074<0,086
C35	Firma2	27	0,156	0,229	0,156<0,229
	Firma3*	142	0,115	0,103	0,115>0,103
	Firma4*	26	0,24	0,23	0,24>0,23
	Firma7	48	0,102	0,173	0,102<0,173
	Firma8*	3732	0,203	0,02	0,203>0,020
C40	Firma1	161	0,077	0,096	0,077<0,096
	Firma3	192	0,052	0,088	0,052<0,088
	Firma5	16	0,187	0,294	0,187<0,294
	Firma6*	227	0,083	0,081	0,083>0,081
	Firma6(kürsüz)*	225	0,089	0,082	0,089>0,082
	Firma8	26	0,177	0,233	0,177<0,233
C45	Firma3	156	0,08	0,098	0,080<0,098
	Firma5	22	0,172	0,253	0,172<0,253
C50	Firma5	23	0,135	0,247	0,135<0,247
*K-S testine göre normal dağılıma uymayan firmalar					

Çizelge 5.10'da χ^2 testi dikkate alınarak normal dağılım uygunluğu irdelenmiştir. K-S testinde olduğu gibi tüm firmaların verileri Easyfit programında incelenmiştir. Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanım değerlerinden faydalanılmış olup, bu değerler doğrultusunda χ^2 ve χ^2 kritik değerleri hesaplanmıştır. χ^2 kritik değeri bulunurken aşılma olasılığı 0,10 olarak alınmıştır. Elde edilen değerler karşılaştırılmış olup χ^2 testi dikkate alınarak normal dağılım için uygunlukları irdelenmiştir. İncelemelerden sonra C20 sınıfındaki Firma4, C25 sınıfından Firma3, C30 sınıfından Firma1, C35 sınıfına ait Firma3, Firma8 ve C40 sınıfına ait Firma6, Firma6 kürsüz numunelerin normal dağılıma uygun olmadığı görülmüştür. Diğer numuneler ise χ^2 kritik değerinin altında bir χ^2 değerine sahip oldukları için normal dağılıma uygunluk göstermektedir.

Çizelge 5.10. Numune tipine göre 28 günlük numunelerin Ki Kare testi için sonuçlar ve kritik değerler.

Beton Sın.	Num. İsmi	Num. say.	Hesap. Δ değ.	Kritik değ. χ^2 $\alpha = 0.10$	χ^2 ve χ^2 kritik değ. için karşılaştırma
C20	Firma4*	56	15,008	7,779	15,008>7,779
	Firma6	36	0,693	9,236	0,693<9,236
C25	Firma3**	1033	38,709	15,987	38,709>15,987
C30	Firma1*	252	14,855	12,017	14,855>12,017
	Firma3	74	2,93	10,645	2,930<15,645
	Firma5	75	5,152	10,645	5,152<10,645
	Firma6	203	8,496	12,017	8,496<12,017
	Firma6(kürsüz)	204	6,645	12,017	6,645<12,017
C35	Firma2	27	2,651	6,251	2,651<6,251
	Firma3**	142	18,912	12,017	18,912>12,017
	Firma4	26	2,833	4,605	2,833<4,605
	Firma7	48	3,599	7,779	3,599<7,779
	Firma8**	3732	19,76	17,275	19,76>17,75
C40	Firma1	161	7,482	12,017	7,482<12,017
	Firma3	192	5,276	12,017	5,276<12,017
	Firma5	16	1,74	2,705	1,740<2,705
	Firma6**	227	28,948	12,017	28,948>12,017
	Firma6(kürsüz)**	225	15,977	12,017	15,977>12,017
	Firma8	26	2,191	6,251	2,191<6,251
C45	Firma3	156	7,274	12,017	7,274<12,017
	Firma5	22	3,689	4,605	3,689<4,605
C50	Firma5	23	2,544	4,605	2,544<4,605
* Ki-Kare testine uymayanlar, ** K-S ve Ki-Kare testine uymayanlar					

Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de beton sınıflarına göre ayrılan her numuneye Easyfit programında, Kolmogorov-Smirnov testi uygulanmış olup, bu teste göre Normal, Log-Normal, Gamma ve Gumbel (EV I) olasılık dağılımları için en yüksek Δ değerleri bulunmuştur. Ayrıca Δ_{kritik} değeri bulunmuştur. Δ_{kritik} değeri hesaplanırken aşılma olasılığı $\alpha = 0,10$ alınmıştır. Elde edilen değerler karşılaştırılıp hangi dağılım için uygunluk gösterdikleri Çizelge 5.13’de incelenmiştir.

Dağılımlara uygunluk şartı en düşük Δ değerine sahip olmaktır. Çizelge 5.11 ve Çizelge 5.12’de koyu renkle belirtilen hücrelerdeki değerler dağılımlar içinde en düşük değerleri göstermektedir.

Çizelge 5.11. 28 günlük C20, C25, C30 ve C35 beton numunelerine ait Kolmogorov-Smirnov testi için sonuçlar ve olasılık dağılım fonksiyonlarındaki kritik değerler.

Beton sın.	Num. ismi	Num. say.		Normal	log normal	gamma	EV1
C20	Firma4	56	Δ_{kritik}	0,147	0,132	0,129	0,16
			Δ_{kritik}	0,16	0,16	0,16	0,16
	Firma6	36	Δ_{hesap}	0,099	0,105	0,199	0,141
			Δ_{kritik}	0,199	0,199	0,199	0,199
C25	Firma3	1036	Δ_{hesap}	0,056	0,052	0,052	0,114
			Δ_{kritik}	0,038	0,038	0,038	0,038
C30	Firma1	252	Δ_{hesap}	0,066	0,062	0,064	0,11
			Δ_{kritik}	0,077	0,077	0,077	0,077
	Firma3	74	Δ_{hesap}	0,078	0,082	0,096	0,104
			Δ_{kritik}	0,14	0,14	0,14	0,14
	Firma5	75	Δ_{hesap}	0,079	0,079	0,082	0,107
			Δ_{kritik}	0,139	0,139	0,139	0,139
	Firma6	203	Δ_{hesap}	0,079	0,087	0,09	0,144
			Δ_{kritik}	0,086	0,086	0,086	0,086
	Firma6(kürsüz)	204	Δ_{hesap}	0,074	0,057	0,055	0,144
			Δ_{kritik}	0,086	0,086	0,086	0,086
C35	Firma2	27	Δ_{hesap}	0,155	0,11	0,209	0,216
			Δ_{kritik}	0,229	0,229	0,229	0,229
	Firma3	142	Δ_{hesap}	0,115	0,041	0,048	0,185
			Δ_{kritik}	0,103	0,103	0,103	0,103
	Firma4	26	Δ_{hesap}	0,24	0,242	0,249	0,307
			Δ_{kritik}	0,233	0,233	0,233	0,233
	Firma7	48	Δ_{hesap}	0,102	0,103	0,105	0,167
			Δ_{kritik}	0,173	0,173	0,173	0,173
	Firma8	3732	Δ_{hesap}	0,203	0,191	0,183	0,266
			Δ_{kritik}	0,02	0,02	0,02	0,02

Çizelge 5.12. 28 günlük C40, C45 ve C50 beton numunelerine ait Kolmogorov-Smirnov testi için sonuçlar ve olasılık dağılım fonksiyonlarındaki kritik değerler.

Beton sın.	Num. ismi	Num. say.		Normal	lognormal	gamma	EV1
C40	Firma1	162	Δ_{hesap}	0,077	0,08	0,085	0,091
			Δ_{kritik}	0,96	0,096	0,096	0,096
	Firma3	192	Δ_{hesap}	0,05	0,034	0,034	0,11
			Δ_{kritik}	0,088	0,088	0,088	0,088
	Firma5	16	Δ_{hesap}	0,187	0,193	0,301	0,227
			Δ_{kritik}	0,294	0,294	0,294	0,294
	Firma6	229	Δ_{hesap}	0,083	0,087	0,093	0,14
			Δ_{kritik}	0,081	0,081	0,081	0,081
	Firma6(kürsüz)	225	Δ_{hesap}	0,089	0,094	0,093	0,121
			Δ_{kritik}	0,081	0,081	0,081	0,081
C45	Firma3	156	Δ_{hesap}	0,08	0,058	0,056	0,143
			Δ_{kritik}	0,098	0,098	0,098	0,098
	Firma5	22	Δ_{hesap}	0,172	0,177	0,0176	0,183
			Δ_{kritik}	0,253	0,253	0,253	0,253
C50	Firma5	23	Δ_{hesap}	0,135	0,125	0,113	0,176
		23	Δ_{kritik}	0,247	0,247	0,247	0,247

Çizelge 5.13’de “+” ve “-” işaretleri ile verilerin dağılıma uygun olup olmadıkları gösterilmiştir. Buna göre “+” işareti ile belirtilen hücreler Δ_{kritik} değerinin altında değere sahip olup dağılım için uygun olurken “-” işareti ile belirtilen hücreler ise Δ_{kritik} değerinin üzerinde değere sahip olup dağılıma uygunluk göstermemektedir.

Çizelge 5.13. 28 günlük numunelerin Kolmogorov-Smirnov test sonuçları için olasılık dağılımı.

Beton sın.	Num. ismi	Num. say.	Normal	Log-normal	GAMMA	GUMBEL
C20	Firma4	56	+	+	+	+
	Firma6	36	+	+	+	+
C25	Firma3	1036	-	-	-	-
C30	Firma1	252	+	+	+	-
	Firma3	74	+	+	+	-
	Firma5	75	+	+	+	+
	Firma6	203	+	-	-	-
	Firma6(kürsüz)	204	+	+	+	+
C35	Firma2	27	+	+	+	+
	Firma3	142	-	+	+	+
	Firma4	26	-	-	-	-
	Firma7	48	+	+	+	+
	Firma8	3732	-	-	-	-
C40	Firma1	162	+	+	+	+
	Firma3	192	+	+	-	+
	Firma5	16	+	+	+	+
	Firma6	229	-	-	-	-
	Firma6(kürsüz)	225	-	-	-	-
	Firma8	26	+	+	+	-
C45	Firma3	156	+	+	+	-
	PBF3	22	+	+	+	+
C50	PBF3	23	+	+	+	+

5.1 Belirsizlik Analizi

Uygulamalarda her bir problem için sınır durumları modellenirken, malzeme özellikleri, sabit, hareketli ve çevresel yükler, alakalı elemanın geometrik özelliği, gibi koşullara dikkat edilmektedir. Bu ana parametrelerle alakalı olan belirsizliklerin, güvenilirliğinin belirlenmesi için sınır durumu modellenirken görülen belirsizliklere ilaveten hesap yapılırken doğru biçimde kullanılması gerekmektedir. Olasılık yaklaşımları için güvenilirliğin tayini başta ana değişkenin belirsizlikleri, değişkenlik katsayılarının amacına göre kullanılarak sayısallaştırılmalıdır. Yapı güvenliğinin tayini için belirsizliklerin gerçekçi analizleri oldukça önemlidir.

İnşaat mühendisliğindeki problemlerde Aleatory ve Epistemik belirsizlikleri iki temel belirsizliktir. Aleatory belirsizlikleri temel değişkenin doğasından kaynaklı bir belirsizlik olup küçültülemez ve kontrol altına alınamaz. Epistemik belirsizliklerinin kaynağı yeterli bilgi eksikliği olup sonradan elde edilen bilgi ve veriler ile belirsizlik küçültülebilmektedir. Bunun yanı sıra gözlem sayısındaki azlıktan oluşan istatistiksel

değişkenlerde epistemik belirsizliklerde sınıflandırılır. Mühendislik önsezisi epistemik belirsizlikler için oldukça önemlidir. Detaylı bir belirsizlik analizinde deney, gözlem ve tecrübeye bağlı olan mühendislik önsezisinden sürekli yararlanılmaktadır.

Bir temel değişkendeki, modelleme ve istatistiki değişkenler vb. çeşitli sebeplerden kaynaklı belirsizlikler aşağıda verilen formüller üzerinden hesaplanmaktadır (Ang ve Tang,1984).

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

Formülde: X_i : i'nci temel değişken için hakiki ancak bilinmeyen değer, N_i : epistemik belirsizlikleri hesaba katmak için kullanılacak rastgele düzeltme katsayısı, $\hat{X}_i$: X_i 'ye tahminde bulunmak için kullanılacak model.

N_i 'nin ortalama değeri olan düzeltme katsayısı, $\bar{N}_i$ ile gösterilirken değişkenlik katsayısı türünden epistemik belirsizliği ise Δ_{X_i} ile ifade edilmektedir. X_i 'nin ortalama değeri $\bar{X}$ sembolü ile tanımlanmakta olup aleatory belirsizlik olarak sınıflandırılan bu parametreye ait değişkenlik katsayısı da δ_{X_i} ile hesaplanmaktadır. Değişkenlik katsayısı türünden toplam belirsizlik, aşağıda verilen formüldeki gibi aleatory belirsizlik ve epistemik belirsizliklerin toplanmasıyla hesaplanmaktadır (Yang, 2007).

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

Düzeltilme katsayısı olarak tanımlanan N_i , bileşenlerin düzeltme katsayıları çarpımının sonucunda hesaplanmaktadır. Her bir bileşenin düzeltme katsayısının ise bir belirsizlik içerdiği bilinmektedir. $N_i, N_{i1} N_{i2}, \dots, N_{in}$ gibi toplam düzeltme katsayıları çarpımı şeklinde belirtilirse, ortalama düzeltme katsayısının değeri $\bar{N}_i$ ve toplam epistemik belirsizlik değeri, Δ_{X_i} aşağıdaki formüllerin kullanılmasıyla bulunabilir (Yang, 2007).

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

$$\Delta_{x_i} = \sqrt{\Delta_{x_{i1}}^2 + \Delta_{x_{i2}}^2 + \dots + \Delta_{x_{in}}^2} \quad (5.4)$$

Elde edilen veriler küp numune olduğu için hesaplanan ortalama değerler silindir dayanıma dönüştürülmüştür. C20 beton sınıfında 2, C25 beton sınıfında 1, C30 sınıfında 6, C35 ve C40 beton sınıflarında 5, C45 beton sınıfından 2 ve C50 beton sınıfında 1 firmadan alınan numunelerin aritmetik ve ağırlıklı ortalamaları bulunmuştur.

Aritmetik ve ağırlıklı ortalamalarında, ortalamaları alınarak genel ortalama hesaplanmıştır. Bu sayede; genel ortalama silindir basınç dayanım değerleri; C20 betonunda 26,48 MPa, C25 betonunda 29,22 MPa, C30 betonunda 37,87MPa, C35 betonunda 39,96 MPa, C40 betonunda 45,29 MPa C45 betonunda 49,38MPa, C50 betonunda 57,85MPa olarak hesaplanmıştır. Beton sınıflarına göre değişkenlik katsayıları ise; C20, C25,C30,C35,C40,C45 ve C50 beton sınıfları için sırasıyla %6,1, %4,4, %6,8,%4,4, %5,7, %4,4 ve %3,9 olarak elde edilmiştir. Burada ortalama beton basınç dayanımın değeri; $\bar{f}_c$, değişkenlik katsayısı; δ_{fc} ile gösterilmektedir. δ_{fc} beton basınç dayanımındaki Aleatory belirsizli büyüklüğü olarak tanımlanır.

Yapılarda kullanılan prefabrik beton için gerçek değer ile tasarımlardaki değer arasında farklar meydana gelmektedir. Bunun ana nedenleri Aleatory ve Epistemik belirsizliği oluşturan etmenlerdir. Bu etmenler içerisinde betonu meydana getiren malzemelerdeki farklılıklar, betonun karışımındaki oranlar, beton karışımı, taşınması, yerleştirilmesi ve bakım aşamasında değişkenlikler sıralanabilir (Mirza vd., 1979).

Bu farkların meydana gelmesinde yapıda kullanılan beton ile silindir numunede yer alan betonun yerleştirilme ve bakım şartları, sıkıştırılması, yapıda meydana gelen segregasyon, kür koşulları, silindir numune boyutu ile yapıdaki bileşenin boyutundaki farklılıklar ve bundan dolayı yapıda oluşan gerilme durumları etkili olmaktadır. Bu farklılıklar sonucunda aleatory ve epistemik belirsizliklerine yol açmaktadır. Bu çalışmada Epistemik belirsizliği geliştiren kaynaklar göz önüne alınmıştır. İlaveten yerli kaynaklarda veri eksikliği olması koşulunda, epistemik belirsizlik kaynakları evrensel literatürden faydalanılarak hesaplanmıştır. Mirza ve diğerleri (1979), yaptıkları çalışmada, reel beton dayanımı ile standart silindir

dayanım oranı 0,74 ile 0,96 arasında olduğunu belirtmiş ve ortalaması olarak 0,87 değerini uygulamışlardır. Ellingwood and Ang (1972), yaptıkları çalışmada bu oranın 0,83 ile 0,92 aralığında değiştiğini göstermişlerdir. Fırat (2007), yaptığı çalışmada tüm bu değerlerin ortalaması olan 0,86'yı kullanmıştır. Eser (2015), yaptığı çalışmada yine 0.86 değerini kullanmıştır. Bu çalışmada da yukarıda gösterilen değerlere bağlı olarak $\bar{N}_1$ düzeltme faktörü 0,88 kullanılmıştır. Düzeltme faktörü N_1 için değişkenlik katsayısı, Δ_1 olarak tanımlanmaktadır. Mirza ve diğerleri (1979) bu değeri 0,16 Ellingwood and Ang (1972), ise bu değeri 0,1 olarak kabul etmiştir. Bu çalışmada prefabrik yapılarda kullanılan betonun daha kaliteli olduğu kabul edilerek 0,1 değeri kullanılmıştır.

Betonda zamanla oluşan sünme ve mikro çatlaklardan kaynaklı şekil değişiklikleri beton dayanımını azalmaktadır. Belirsizlik analizi içerisinde bu etkenleri de göz önüne alarak N_2 düzeltme faktörü ve Δ_2 epistemik belirsizlik hesaplarında uygulanacaktır. Mirza ve diğerleri (1979), çalışmalarındaki N_2 değerini hesaplamak için aşağıdaki ampirik formülden yararlanmıştır.

$$\bar{N}_2 = 0,89(1 + 0,08 \log(R)) \quad (5.5)$$

Formülde R yükleme hızıdır ve ampirik formülde birimi psi/sec olarak tanımlanmaktadır. Yükleme hızı saniyede 1 psi (6,895 kN/m²) olacak şekilde uygulanırsa $\bar{N}_2$ 0,89 bulunur. Kömürcü (1995), Fırat ve Yüçemen (2008), yaptıkları çalışmalarda $\bar{N}_2$ 'yi 0,88 ve Δ_2 'yi ise 0 almışlardır.

Basınç dayanım testi yapmak için alınan numunelerin üzerine uygulanacak bakım ve kür işlemleri tam manası ile gerçekleştirilmeyebilir. Bu numunelerin kırım tarihinde yaşanacak aksaklıklardan dolayı standartlarda belirtilen günlerin haricinde başka bir günde kırılabilir. Bunun yanı sıra test yapan makinede ölçüm hatası olabilir. Bu etkenlere epistemik belirsizlik hesabı yapılırken dikkat edilmelidir. Kömürcü (1995), Fırat ve Yüçemen (2008), çalışmada $\bar{N}_3 = 0,95$ ve Δ_3 'ü 0,05 değerlerini uygulamışlardır. Bu çalışma için yine güvenli tarafta kalmaktan dolayı bu değerler uygulanacaktır.

Yukarıda belirtilen düzeltme katsayıları formül 5.3'teki yerlerine koyularak, $\bar{N}_{fc} = \bar{N}_1 \cdot \bar{N}_2 \cdot \bar{N}_3 = 0,88 \times 0,88 \times 0,95 = 0,74$ ortalama düzeltme değeri hesaplanır. Hesaplanan bu değer dayanarak bu çalışmadaki beton sınıflarının “gerçek” dayanımları:

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 26,48 = 19,60 \text{ MPa C20 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 29,22 = 21,62 \text{ MPa C25 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 37,87 = 28,02 \text{ MPa C30 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 39,96 = 29,57 \text{ MPa C35 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 45,63 = 33,77 \text{ MPa C40 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 49,38 = 36,52 \text{ MPa C45 için,}$$

$$\bar{f}_c = 0,74 \times 57,85 = 42,81 \text{ MPa C50 için bulunur.}$$

Diğer yandan C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 için, nominal basınçlar sırasıyla $20/1,4 = 14,26$ MPa, $25/1,4 = 17,84$ MPa, $30/1,4 = 21,43$ MPa, $35/1,4 = 25$ MPa, $40/1,4 = 28,57$ MPa, $45/1,4 = 32,14$ MPa ve $50/1,4 = 35,71$ MPa olarak hesaplanır. Böylelikle, beton sınıflarına göre istatistiksel ortalama dayanım değerlerin standartlardaki nominal değerlerle oranı aşağıdaki gibidir:

$$\text{C20 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{19,60}{14,26} = 1,37; \text{ C25 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{21,62}{17,84} = 1,21; \text{ C30 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{28,02}{21,43} = 1,31;$$

$$\text{C35 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{29,57}{25} = 1,18; \text{ C40 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{33,77}{28,57} = 1,18; \text{ C45 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{36,52}{32,14} = 1,14;$$

$$\text{C50 için } \frac{\bar{f}_c}{f_c} = \frac{42,81}{35,71} = 1,20 \text{ olarak hesaplanır.}$$

Sonuçta nihai epistemik belirsizlik $\Delta_{fc} = \sqrt{0,1^2 + 0^2 + 0,05^2} = 0,11$ değeri hesaplanır. Sırasıyla bütün beton sınıfları için hesaplanan değişkenlik katsayılarını Denklem 5.2 kullanılarak elde edilir:

$$\text{C20 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,061^2 + 0,11^2} = 0,126$$

$$\text{C25 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,044^2 + 0,11^2} = 0,118$$

$$\text{C30 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,068^2 + 0,11^2} = 0,129$$

$$\text{C35 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,044^2 + 0,11^2} = 0,118$$

$$\text{C40 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,057^2 + 0,11^2} = 0,124$$

$$\text{C45 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,044^2 + 0,11^2} = 0,118$$

$$\text{C50 için } \Omega_{f_c} = \sqrt{0,039^2 + 0,11^2} = 0,117$$

Real ve diğ. (2003), çalışmalarında ayrı üç toplam belirsizlik değeri (0,10, 0,15 ve 0,20) uygulamışlardır. Bir diğer çalışmada Kömürcü ve Yüçemen (1996), toplam belirsizlik değerini 0,21 olarak almışlardır. Çalışma da uygulanan diğer çalışmalara uygundur. Yüçemen ve Gülkan (1989), Kömürcü (1995), Nowak and Szerszen (2003), gibi araştırmacıların büyük bir kısmı beton basınç dayanım değerinde normal dağılımdan faydalanmıştır. Bu çalışma için yine normal dağılımdan yararlanılmıştır.

Gelişen teknoloji sayesinde yeni teknik ve malzeme olanakları ile prefabrik beton kullanımında yaşanan artış bu çalışmada anlaşılmıştır. Beton malzeme katsayısı (γ_{mc}), belirsizliklere bakılmaksızın yalnızca karakteristik basınç dayanımın ortalama basınç dayanıma oranı ile hesaplanırsa, C30 için $f_{ck}/\bar{f}_c = 21,43/37,87 = 0,57$ bulunur. Betonun malzeme katsayısı hesabı için beton basınç dayanımında yer alan toplam belirsizlikler göz önünde bulundurulursa dayanımda yaşanan değişimin normal dağıldığı kabul edilerek, aşağıda verilen formülden “gerçek” f_{ck} elde edilir.

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

Betonun basınç dayanım değerinin karakteristik dayanım değerinden küçük olma olasılığı yönetmeliklerde %5 veya %10 farklı gösterilmektedir. TS 500 Türk

Standardı'nda beton dayanımının karakteristik olarak ifade edilen değerden düşük olma olasılığı %10 verilmiştir. Denklem 5.5'te verilmiş olan u değeri normal dağılım tablosu içerisinde %5 olasılık için $u=1,645$, %10 olasılık için $u=1,282$ olacak şekilde verilir. Denklem 5.5'e göre değerler yerine yazıldığı zaman;

$$C20 \text{ için } f_{ck}=[19,60(1-1,282 \times 0,126)]=16,43 \text{ MPa}$$

$$C25 \text{ için } f_{ck}=[21,62(1-1,282 \times 0,118)]=17,99 \text{ MPa}$$

$$C30 \text{ için } f_{ck}=[28,02 \times (1-1,282 \times 0,129)]=23,39 \text{ MPa}$$

$$C35 \text{ için } f_{ck}=[29,57(1-1,282 \times 0,118)]=25,10 \text{ MPa}$$

$$C40 \text{ için } f_{ck}=[33,51 \times (1-1,282 \times 0,124)]=28,40 \text{ MPa}$$

$$C45 \text{ için } f_{ck}=[36,52 \times (1-1,282 \times 0,118)]=31 \text{ MPa}$$

$$C50 \text{ için } f_{ck}=[42,81(1-1,282 \times 0,117)]=36,39 \text{ MPa}$$

Söz konusu beton sınıfı için malzeme katsayı değerleri aşağıda verilmiştir:

$$C20 \text{ için } \gamma_c=20/16,43=1,22$$

$$C25 \text{ için } \gamma_c=25/18,35=1,36$$

$$C30 \text{ için } \gamma_c=30/23,39=1,28$$

$$C35 \text{ için } \gamma_c=35/25,10=1,39$$

$$C40 \text{ için } \gamma_c=40/28,40=1,41$$

$$C45 \text{ için } \gamma_c=45/31=1,45$$

$$C50 \text{ için } \gamma_c=50/36,39=1,37$$

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu araştırmada Türkiye’de faaliyet gösteren farklı illerdeki prefabrik firmalardan alınan beton numunelerin basınç dayanım testinden sonra elde edilen verilere bağlı olarak prefabrik yapılarda kullanılan betonun kalitesi irdelenmiştir. Easyfit 5.5 programından yararlanılarak toplanan verilerin hangi istatistik dağılımlara uygunlukları Kolmogorov-Smirnov ve Ki-Kare testlerine göre incelenmiştir. Prefabrik betonunda karşılaşılabilecek farklı belirsizlik kaynakları, hem kalite incelemesi sonucunda elde edilen değerlere hem de literatürde yer alan bilgi ve verilere bağlı olarak sayısallaştırılarak bir belirsizlik analizi uygulanmış ve bunun sonucunda prefabrik betonlar için yeni bir malzeme katsayısı tavsiye edilmiştir.

C20 sınıfına ait 2 farklı firma; C25 beton sınıfına ait 1 adet firma; C30 beton sınıfı için 6 farklı firma; C35 beton sınıfı için 5 adet firma; C40 beton sınıfı için 5 farklı firma; C45 beton sınıfı için 2 farklı firma ve C50 beton sınıfı için 1 firmanın verileri incelenmiştir. Alınan veriler kolon, aşıklar, köprü kirişi, temel vb. yapılarda kullanılan betonlardan elde edilen deney numunelerinden toplanmıştır. Numunelerin tamamı 15x15x15 cm küp numune olup, ortalama dayanım değerleri silindirik dayanıma dönüştürülmüştür. C20 beton sınıfına ait 233 adet; C25 beton sınıfına ait 1.084 adet; C30 beton sınıfına ait 1.052 adet; C35 sınıfına ait 7.998 adet; C40 sınıfına ait 1.254 adet; C45 sınıfına ait 315 adet; C50 sınıfına ait 52 adet numune sonucu analiz edilmiştir. Sıralamaya göre, beton sınıflarında yer alan veriler için ortalama basınç dayanım değeri; 26,48 MPa, 29,22 MPa, 37,87 MPa, 39,96 MPa, 45,63 MPa, 49,38 MPa ve 57,85 MPa olarak bulunmuştur.

C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıflarındaki numunelerin 7 günlük ortalama dayanımlarının, 28 günün sonunda alınan dayanım değerinin %85’ini almış olduğu, 28 günlük ortalama dayanımların da sınır değer üzerinde yer aldığı anlaşılmıştır. Numunelerin 28 gün sonrası uygulanan basınç dayanım testine dayanarak değişkenlik katsayıları C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıfları için sırasıyla; %6,1, %4,4, %6,8, %4,4, %5,7, %4,4, %3,9 olarak hesaplanmıştır.

Toplanan numunelerin uygulanan analizler sonucunda çoğunluk olarak karakteristik dayanım değerlerini sağlamış olduğu görülmüştür. Buna göre C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıfının 28 günlük ortalama basınç dayanım değerleri sırasıyla; 26,48, 29,22, 37,87, 39,96, 45,63, 49,38, 57,85 MPa olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre üretilen beton sınıflarının basınç dayanım değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir.

Bu araştırmada, 7 günlük numunelerin değişkenlik katsayısı değerleri 28 günlük numunelerin değişkenlik katsayısı değerlerinden daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu duruma özellikle beton kabul koşulları bakımından dikkat edilmelidir.

Epistemik belirsizlikler önceki araştırmalarda önerilen değerler göz önüne alınarak sayısallaştırılmış olup buna göre bir belirsizlik analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen bu belirsizlik analizi sonuçlarına dayanarak C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 betonlar için toplam belirsizlik sıraya göre; 0,126, 0,118, 0,129, 0,118, 0,124, 0,118 ve 0,117 olarak hesaplanmıştır.

Bugün gelişen teknoloji ve bilimin sonucunda, daha güvenilir yöntem ve malzemelerin üretilmesi, bununla birlikte tasarım ve yapım tekniklerinde yaşanan yenilikler beton kalitesinde artış olmasını sağlamıştır. Yapılan belirsizlik analizi sonucunda C20, C25, C30, C35, C40, C45 ve C50 beton sınıflarına ait malzeme katsayıları sırasıyla; 1,22, 1,36, 1,28, 1,39, 1,41, 1,45, 1,37 olarak hesaplanmıştır. Standartlarda malzeme katsayısı için tek değer kullanılmasından kaynaklı numunelerin analizi sonucu hesaplanmış olan değerlerin ortalaması 1,35 olarak bulunmuştur.

Gelişen teknoloji ve bilim ışığında inşaat mühendisliğinde yaşanan yenilikler ve gelişmeler beton standartların da revize edilmesine yol açmaktadır. Bu yüzden TS 500 standardında prefabrik beton için verilen 1,40 malzeme katsayı değerinin yeniden değerlendirilmesi gerektiği bilinen bir gerçektir. Bu çalışmada, yapılan istatistiksel analizler neticesinde bulunan 1,35 değeri prefabrik yapılarda kullanılan betonlar için yeni malzeme katsayısı olarak önerilmiştir.

KAYNAKLAR

- 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.
- Arıoğlu, 1989. Prefabrikasyon Endüstrisinde Beton Kalitesinin ve Denetiminin Mevcut Durumu, Birinci Ulusal Beton Kongresi, Kongre Sempozyum Bildirimler Kitabı, 1989, 199-208.
- Aydemir, B., 2005. Prefabrike betonarme iskelet sistemlerle inşa edilen endüstri yapılarında prefabrike döşeme bileşenlerinin yük ve açıklık kriterleri açısından irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bayazıt, M., 1981. Hidrolojide istatistik yöntemler, Birinci Baskı, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Bayazıt, M. ve Oğuz E. B., 2013. Mühendisler için istatistik, Birsan Yayınevi İstanbul.
- Bilgiç, 2009. Yüksek Dayanımlı Prefabrike Hazır Betonların Özelliklerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Chmielewski, T. ve Konopka, E., 1999. Statistical evaluations of field concrete strength, Magazine of Concrete Research, 51, 1, 45-52.
- 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.
- Erdoğan, T. Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler Agregalar Türkiye Hazır Beton Birliği, 120 s, Ankara.
- Erdoğan, T. Y., 2010. Beton, Üçüncü baskı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Ergün, A., Başaran, V., 2011. Afyonkarahisar'da Üretilen Hazır Beton Kalitelerinin İncelenmesi AKÜ Fen Bilimleri Dergisi, 10, 2, 51-58.
- Ersoy, U. ve Tankut T., 1991. Yüksek dayanımlı betonun yapısal davranışı ile ilgili bir irdeme, İkinci Ulusal Beton Kongresi, Kongre Sempozyum Bildirimler Kitabı, 1991, 122-139.

- Eser, N., 2015. Yüksek Dayanımlı Beton Kalitesinin İncelenmesi ve Yeni Bir Malzeme Katsayısı Önerilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2015, Aksaray.
- Fırat, F. K., 2005. Antalya Yöresinde Kullanılan Betonun Niteliğinin İstatistiksel Olarak İncelenmesi, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- 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.
- 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., 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.
- 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.
- Günindi, İ., 2005. Yumurtalık sugözü uçucu külü içeren betonların basınç, eğilme ve aşınma dayanımlarının araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Koca, S., 2010. Prefabrike Beton endüstrisinde atık yöntemi ve geri dönüş olanakları, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- 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.
- Küçük, B., 2000. Betonun Dayanım ve Durabilitesini Sağlayan Parametreler, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 6, 1, 79-85.
- 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.

- Myers, J. J. ve Carrasquillo, R., 1998. Influence of hydration temperature on durability and mechanical property performance of prestressed and precast high-performance concrete beams, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research board, 1696, 1, 131-142.
- 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.
- Özden, A. V., 2010. Beton Basınç ve Çekme Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler Üzerine Bir Araştırma, Yüksek Lisans Tezi, Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010, Tekirdağ.
- Polat, G. ve Damcı, A., 2007. Türk inşaat sektöründe prefabrik betonarme yapı sistemlerinin kullanımını etkileyen faktörler, İnşaat Yönetimi Kongresi, İstanbul, 152.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Raju, N.K., 2006 Prestressed Concrete, Fourth Edition, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- 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.
- Tokmak, B. ve Eryılmaz, M. G., 2004. Prefabrike Betonun Dünü, Bugünü, Yarını, Yapı, 271, 95-100.
- Topçu, İ. B. ve Ateşin, Ö., 2013. Kütahya'da üretilen betonların istatistiksel olarak değerlendirilmesi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30.
- 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.
- Yang, I. H., 2007. Uncertainty and sensitivity analysis of time-dependent effects in concrete structures, Engineering Structures, 29, 1366-1374.
- 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.
- 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.
- TS-3233, 1979. Öngerilmeli Beton Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- URL-1 <<http://www.prefab.org.tr>>, Erişim tarihi: 03.05.2019.
- URL-2 <<http://www.thbb.org>>, Erişim tarihi: 03.05.2019.
- URL-3 <<http://www.thbb.org/sektor/istatistikler/>>, Erişim tarihi: 03.05.2019.
- URL-4 <<http://www.prefab.org.tr/tr/sektor-r/sayfa/118.aspx>>, Erişim tarihi: 03.05.2019.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı : Hatice Kübra ALTUNOK

E-posta adresi : altunokkubraa@gmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ (Kurum ve Yıl)

Lisans: Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, 2012-2016.

Yüksek Lisans: Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği, 2016-2019.

MESLEKİ DANEYİM VE ÖDÜLLERİ

SHR İnşaat ve Mühendislik / Saha Mühendisi, 2017-2018

Kemeroğulları İnşaat / Saha Mühendisi, 2018-