

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

**BETON DAYANIMININ SU/ÇİMENTO VE AGREGA/ ÇİMENTO**  
**ORANLARINA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ**

**ESKENDER SEİTABLAİEV**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**MİMARLIK ANA BİLİM DALI**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Adnan ÇOLAK**

**EDİRNE-2019**

ESKENDER SEITABLAIEV'in hazırladığı "BETON DAYANIMININ SU/ÇİMENTO VE AGREGA/ ÇİMENTO ORANLARINA BAĞLI OLARAK BELİRLENMESİ" başlıklı bu tez, tarafımızca okunmuş, kapsam ve niteliği açısından Mimarlık Anabilim Dalında bir Yüksek lisanstezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri (Ünvan, Ad, Soyad):

Prof. Dr. Adnan ÇOLAK (Danışman)

Dr. Öğr. Üyesi Filiz UMAROĞULLARI

Dr. Öğr. Üyesi Gökhan UMAROĞULLARI

İmza



Tez Savunma Tarihi: 24/06/2019

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

Prof. Dr. Adnan ÇOLAK  
Tez Danışmanı

İmza



Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü onayı

Prof. Dr. Murat YURTCAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



**T.Ü.FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**[MİMARLIK ANABİLİM DALINI YAZIN] YÜKSEK LİSANS PROGRAMI**  
**DOĞRULUK BEYANI**

Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada, tüm verilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini, kullanılan verilerde tahrifat yapılmadığını, tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını, kullanılan tüm literatür bilgilerinin bilimsel normlara uygun bir şekilde kaynak gösterilerek ilgili tezde yer aldığını ve bu tezin tamamı ya da herhangi bir bölümünün daha önceden Trakya Üniversitesi ya da farklı bir üniversitede tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim.

24.06.2019

*Eskender SEITABLAIEV*

İmza



## **Yüksek Lisans Tezi**

[Beton Dayanımının Su/Çimento ve Agregâ/ Çimento Oranlarına Bağlı Olarak Belirlenmesi]

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

[Mimarlık Anabilim Dalı]

## **ÖZET**

Beton; su, çimento, agregâ, çimento ve bazı mineral ya da kimyasal (akışkanlaştırıcı, geciktirici, hava sürükleyici gibi) katkı maddelerinden oluşan kompozit bir malzemedir. İstenilen özelliklere sahip bir beton elde edebilmek için betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinin ve karışım oranlarının belirlenmesi gerekir. Beton karışım oranlarını belirlemede genellikle Graf, Bolomey, Feret ve Abrams modelleri kullanılmaktadır. TSE tarafından hazırlanan TS 802 standardında bu modellere atıf yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında literatürde yer alan beton dayanım formülleri incelenmiştir. Yapı merkezi, Arıoğlu, Türkel ve Çolak formülleri ulusal çalışmalar, DeLarrard, Neville, ve Popovich'in bağıntıları ise uluslararası çalışmalar başlığı altında açıklanmıştır.

Yapılmış çalışmalarda yer alan modeller genellikle beton dayanımını su/çimento oranına ve beton içindeki hava miktarına bağlı olarak tahmin etmektedir. Bu modeller beton dayanımını önemli ölçüde etkileyen parametrelerden biri olan agregâ/çimento oranını dikkate almamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada beton dayanımını, su/çimento ve agregâ/çimento oranlarına bağlı olarak belirleyen Çolak modeli incelenmiştir. Çolak tarafından geliştirilen bu modelin deneysel sonuçlara uyumu araştırılmış ve diğer modellerle karşılaştırılması yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çolak modelinin beton dayanımını tahmin etmede oldukça başarılı olduğunu göstermektedir. Model ayrıca maksimum basınç dayanımını veren su/çimento oranının hesaplanmasına olanak sağlamaktadır.

Yıl : 2019

Sayfa Sayısı : 48

Anahtar Kelimeler : Beton Dayanımı, Su/Çimento, Agrega/Çimento

Master Thesis

[Determination of Strength of Concrete Depending on the Water to Cement and Aggregate to Cement Ratios]

Trakya University Institute of Natural Sciences

[Architect Department]

## **ABSTRACT**

Concrete is a composite material consisting of water, cement, aggregate and some mineral or chemical additives (such as fluidizer, retarder, air entrainment). In order to include a concrete with the intended properties, the properties of the materials forming the concrete and the mixing ratios should be determined. Generally, Graf, Bolomey, Feret and Abrams models are used to determine concrete mix ratios. These models are cited in TS 802 standard prepared by TSE. In this study, concrete strength formulas in the literature are examined. The national studies such as the formulas in the works of Arıoğlu, Türkel and Çolak, and many international studies such as De Larrard, Neville and Popovich relations were explained.

With these models, the concrete strength can be estimated depending on the water / cement ratio and the amount of air in the concrete. However, these models do not take into account the aggregate/cement ratio which is one of the important parameters affecting concrete strength. For this reason, in this study, Çolak model is used for determining the strength of the concrete depending on the water/cement and aggregate/cement ratios. This study is aimed to research the agreement between the experimental results and calculated values by Çolak model. The model in question is also compared with other models. The data obtained in this study show that Çolak model is very successful for the estimation of strength of concrete. The model also allows the determination of the water / cement ratio which gives the maximum strength of the concrete.

Year : 2019

Number of Pages : 48

Keywords : *Concrete Strength, Water/Cement, Aggregate/Cement, Cement, Standard Resistance.*

## ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında beton dayanımı ele alınarak su/çimento ve agrega/ çimento oranlarına bağlı olarak değişimi incelenmiştir.

Tez çalışmamda konu ile ilgili bilgi birikimini bana aktararak yol gösteren saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Adnan ÇOLAK’a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Teşekkürden çok daha fazlasını hak eden Mimarlık Bölümündeki değerli hocalarıma bana kattığı ve gerek üniversite gerekse yüksek lisans eğitim sürecinde bana kazandırdıkları için hepsine tek tek teşekkürlerimi sunuyorum.

Lisansüstü eğitim sürecimde öncelikle sevgileri ve güvenleri ile hep yanımda olan biricik eşime, canım aileme vebana yardımcı olan herkese bütün kalbimle teşekkür ediyorum.

*ESKENDER SEİTABLAİEV*



## İÇİNDEKİLER

<b>ÖZET.....</b>	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÖNSÖZ.....</b>	<b>viii</b>
<b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>	<b>x</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ.....</b>	<b>xii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ.....</b>	<b>xiii</b>
<b>BÖLÜM 1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>BÖLÜM 2. BETON DAYANIMI VE BETON DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER.....</b>	<b>5</b>
<b>BÖLÜM 3. BETON DAYANIMI İLE İLGİLİ FORMÜLLER .....</b>	<b>9</b>
Bölüm 3.1. Uluslararası Formülleri.....	9
Bölüm 3.2. Ulusal Formüller.....	22
<b>BÖLÜM 4. ÇOLAK MODELİNİN DENEYESEL VERİLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI.....</b>	<b>26</b>
Bölüm 4.1.Çolak Modelinin Diğer Modellerle Karşılaştırılması	29
<b>BÖLÜM 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ.....</b>	<b>30</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>31</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>35</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR

$\eta$	Viskoz
%	Yüzde İşareti
$\wedge$	Komposite
ACI	American Concrete Institute / Amerikan Beton Enstitüsü
Airvoid	Hava Boşluğunun Hacmi
BS20	Beton Sınıfı (20)
c	Cement / Çimento
c	Çimento Hacmi
c + e + h	Çimento Hamuru Mutlak Hacmi
c/ (c+e+h)	Çimento Konsantrasyonu Oranı
c1,...,c8	En Küçük Kare Tekniği Katsayıları
C16	Concrete (16) / Beton Sınıfı (16)
CEM	Portland Çimento
C <sub>eq</sub>	Eşdeğer Çimento İçeriği
cm	Santimetre
C <sub>min</sub>	Çimento Dozajı İçin Minimum Değer
C <sub>o</sub>	Karışımındaki Çimento Mutlak Hacmi (lt / m <sup>3</sup> )
d	Numune Çapı (mm)
di	Yüzdesi Hesaplanan Elek Çapı, mm
D <sub>max</sub>	Agregadaki En Büyük Tanecik Çapı, mm
e	Suyun Hacmi
EN	European Standards / Avrupa Standartları
FA	Uçucu Kül Miktarı (kg / m <sup>3</sup> )
f <sub>s,d</sub>	$\phi$ d çaplı, $\lambda$ = yükseklik/çap=2 olan silindirin basınç dayanımı
H	Hidrasyon Derecesi (%)
h	1 m <sup>3</sup> Yerleşmiş Betondaki Hava Hacmi m <sup>3</sup> . (m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> ) Yüzde Olarak
K	Katsayı
K <sub>1</sub> ve K <sub>2</sub>	Ampirik Katsayılar
K <sub>a</sub>	İri Agrega Faktörü
K <sub>B</sub>	Beton Yaşına, Çimento Tür ve Dozajına vb. Özelliklerine Bağlı Bir Katsayı
K <sub>F</sub>	Sabit Bir Değer
kg	Kilogram
lt	Latineden Çevrilmiş
m	Uçucu Kül Ek Faktörü
m <sup>3</sup>	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Mega Paskal
N/mm <sup>2</sup>	Newton/Milimetre Kare
p <sub>s</sub>	Değiştirilen Kum
r	Kolerasyon Katsayısı
Slump	Çökme Konisi Testinde (mm) Elde Edilen Taze Beton Çökme Miktarı

<b>t</b>	Süre veya Yaş
<b>TS</b>	Türk Standartları
<b>U</b>	Kum, kg
<b>V</b>	İri Agrega, kg
<b>V</b>	Ultra ses Hız, km/sn. (3,0 km/sn.<V<5,5 km/sn.)
<b>w</b>	Water / Su
<b>W/C</b>	Water/ Cement Ratio- Su/Çimento oranı
<b>WAgg</b>	Toplam Agrega Kütlesinin Hacmi (cm <sup>3</sup> )
<b><math>\alpha_a</math> ve <math>\alpha_b</math></b>	Bolomey Deneysel Formülündeki Deneysel Katsayı
<b><math>\alpha_C</math></b>	Çimentonun Hidratasyonu İçin Gereken Su Miktarı
<b><math>\beta_A</math></b>	Toplam Agrega Tanelerini Islatmak İçin Gereken Su Miktarı
<b><math>\beta_{cc}(t)</math></b>	Beton Yaşına Bağlı Olan Bir Katsayı
<b><math>\delta</math></b>	Özgül Ağırlık
<b><math>\delta_{water}</math></b>	Suyun Özgül Ağırlığı (g / cm <sup>3</sup> )
<b><math>\delta_{cement}</math></b>	Çimentonun Özgül Ağırlığı (g / cm <sup>3</sup> )
<b><math>\sigma</math></b>	Hava Boşluklu Betonun Basınç Dayanımı
<b><math>\sigma_0</math></b>	Hava Boşluksuz Betona Ait Basınç Dayanımı
<b><math>f_c</math></b>	Beton Dayanımı
<b><math>k'</math></b>	Katsayı
<b><math>f_{cc}</math></b>	Çimentonun Norm Dayanımı
<b><math>f_{28}</math></b>	28 Günlük Beton Basınç Dayanımı, MPa -Silindir Numune
<b><math>M_s</math></b>	Karışım Suyu Miktarı, kg/m <sup>3</sup>
<b><math>M_c</math></b>	Karışımında Kullanılan Çimento Miktarı, kg/m <sup>3</sup>

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. TS 500'e göre beton sınıfları ve dayanımları.....	5
--	---

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1.	DeneySEL beton basınç dayanım değerlerinin Çolak modelle hesaplanan beton basınç dayanım değerleri ile karşılaştırılması...	<b>29</b>
Şekil 4.2.	Çolak ve Abrams Modellerinin 28 günlük beton basınç dayanım değerleri için karşılaştırılması.....	<b>30</b>

# BÖLÜM 1

## GİRİŞ

Beton su, çimento, kum, çakıl ve kırma taş karışımından oluşan kompozit bir malzemedir. Portland çimentonun su ile reaksiyona girmesi sonucu katı bir yapı oluşur. Bu yapı, reaksiyon ürünlerine ve çimentonun hidratasyon hızına bağlı olarak şekillenmektedir (Omrane, Kenai, Kadri, Aït-Mokhtar, 2017). Hidratasyon, kimyasal katkı maddeleri kullanılarak büyük oranda değiştirilebilmektedir (Naik, Singh & Ramme, 1998; Helal, Abd El-Razek & El-Didamony, 1999). İçyapıda meydana gelen değişimler mekanik özellikleri doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle beton üretiminde kullanılan kimyasal katkıların betonun özelliklerini nasıl ve ne ölçüde etkiledikleri laboratuvar ortamında araştırılmalıdır. Bu etkiler saptandığında betonun dayanımını tahmin etmek üzere kullanılacak matematiksel modelleri tanımlamak daha kolay hale gelmektedir. Son yıllarda elektron mikroskoplarının kullanılması ile birlikte kimyasal maddelerin betonun içyapısına etkisi ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. Betonun içyapısı elektron mikroskopu ile incelenirken hidratasyona girmiş ya da girmemiş çimento parçacıkların dağılımı, yoğunluğu, şekli ve büyüklüğü, agrega ve sertleşmiş çimento hamuru arasındaki bağ gibi parametreler dikkate alınmaktadır (Gillot, Naik & Singh, 1993).

Üretim sırasında ve sonrasında karışıma ilave edilen mineral katkılarda çimentolu betonun içyapısında değişime neden olmaktadır. Genelde betonun fiziksel ve mekanik özellikleri karışımda kullanılan malzemelere ve üretim metotlarına bağlı olarak değişkenlik gösterir. Bütün parametrelerin sabit tutulduğu laboratuvar ortamında üretilen betonlarda da bu değişkenlik görülmektedir (Türkel, 2002). Çok fazlı malzemelerin mekanik özelliklerinde, bunun gibi değişimler meydana gelebilmektedir (Ersoy, 2001, s.11). Özellikle agrega ve çimento hamuru arasındaki bağ betonun mekanik özelliklerinin

belirlemede çok önemlidir. Karışımda liflerin kullanılmasıyla birlikte hem çekme hem de basınç dayanımı yüksek betonlar üretilmektedir (Ünsal & Şen, 2008).

Bu bilgiler paralelinde beton dayanımını etkileyen birçok çok parametre bulunmaktadır. Matematiksel model tanımlanırken bütün bu parametrelerin dikkate alınması gerekir. Ancak parametreler arasındaki etkileşimin boyutları da tam olarak tanımlanmalıdır. Bu sayede önerilen model, beton dayanımını tahmin etmede başarılı olabilecektir. Yapılan araştırmalarda su/çimento ve agrega/çimento oranlarının beton dayanımını önemli ölçüde etkilediği saptanmıştır. Su konsantrasyonu ifade eden denklemde bu iki parametre arasındaki ilişki açık bir şekilde tanımlanmıştır. Aşağıdaki paragraflarda bahsedilen çalışmalarda bu iki parametrenin beton dayanımına etkileri tartışılmıştır.

Yaşar, Erdoğan & Kılıç (2004), yaptıkları araştırmada betonun basınç dayanımına su/çimento oranının ve agrega olarak kireçtaşının etkilerini araştırmıştır. Çalışmalarında kullandıkları Ceyhan (Adana) kalkerinin fiziksel, kimyasal ve mekanik özelliklerini belirlemişlerdir. Tek eksenli basınç dayanımı, gözeneklilik ve Schmidt çekiç sertliği test yöntemi kullanılarak kayaç sınıflandırılmıştır. Beton karışımları sabit bir mukavemet ve işlenebilirliğe sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Üretilen silindirik beton örnekler 7, 14 ve 28 gün kirece doymuş su içinde bekletilmiştir. Elde edilen test sonuçlarında betonun basınç dayanımının su-çimento oranına ve agrega ebadına bağlı olduğu anlaşılmıştır. Çalışmada su-çimento oranındaki düşüş ile betonun basınç dayanımının önemli ölçüde arttığı gözlenmiştir. Agrega büyüklüğü ve dağılımının değişmesi basınç ve çekme mukavemetini etkilemiştir. Agrega inceliği modülünün artmasıyla birlikte yeterli işlenebilirlik için gerekli suyun arttığı tespit edilmiştir (Yaşar, Erdoğan & Kılıç, 2004).

Karamloo vd. (2016) yaptıkları çalışmada hafif agregalı betonun kırılma parametrelerine su/çimento oranının etkilerini araştırmışlardır. Çalışma doğrultusunda 0,35-0,5 arasındaki farklı su/çimento oranlarına sahip hafif agregalı beton örnekler test edilmiştir. Sonuçta su/çimento oranı ile bu malzemenin kırılma davranışı arasında belirgin bir ilişki olduğunu göstermiştir. Su/çimento oranı 0,35'ten 0,5'e çıktığında, kırılma enerjisi %65 oranında azalmıştır. Su/çimento oranı arttıkça kırılma tokluğu azalmıştır. Ayrıca su/çimento aralığı belirtilen aralıkta arttıkça, kendiliğinden yerleşen

agregalı betona ait elastisite modülü azalmaya başladığı tespit edilmiştir (Karamloo, Mazloom & Payganeh, 2016).

Bello vd. (2017) hafif agregalı betonlarda su içeriğinin belirlenmesi üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu olguyu ölçmek ve izlemek için bir yöntem önermişlerdir. Hafif ve gözenekli agregalar nedeniyle çimento hamurundaki işlenebilirlik kaybının belirlenmesi önerdikleri yöntemin esasını oluşturmaktadır. Sonuçlar, çimento hamurundaki hafif agregaların su emiliminin diğer agregalara göre farklı olduğunu göstermiştir. Önerilen ön ıslatma yöntemi, hafif agregaların su talebini doğru bir şekilde tahmin etmeyi ve kendiliğinden yerleşen hafif agregalı betonunun gelişimine olanak sağlamıştır (Bello, Garcia-Diaz & Rougeau, 2017).

Omrane vd. yaptıkları çalışmada, geri dönüşümlü beton agregaları ve doğal puzolan kullanarak ürettikleri betonun reolojik, mekanik ve dayanıklılık özellikleri incelemişlerdir. İnce ve kaba geri dönüştürülmüş agregalar doğal agreganın yerine ağırlıkça %0, %50, %75 ve %100 oranlarında ilave edilmiştir. Çimentonun yerine %5-25 arasında değişen oranlarda doğal puzolan konulmuştur. Beton hamurun akıcılık özellikleri çökme ve akış süresi testleri yapılarak belirlenmiştir. Basınç dayanım testleri 7, 28, 56, 90 ve 120 günlük yaşlarda yapılmıştır. Sonuçlar, kendiliğinden emici beton üretmek için %50 oranında geri dönüştürülmüş kaba ve ince agrega kullanımının yeterli olduğunu göstermektedir (Omrane vd.,2017).

Usta (2012) yaptığı çalışmada, agrega granülometrisinin betonun boşluk ve doluluk oranlarına etkisini araştırmıştır. Çalışmada BS20 betonunun bileşimindeki iri agrega miktarı yerine ağırlıkça %10 oranında ince agrega ilave edilmiştir. Su/çimento ve agrega/çimento oranlarına bağlı olarak betonun boşluk ve doluluk oranlarında meydana gelen değişimler tespit edilmiştir (Usta, 2012).

Ekinci (2006) yaptığı çalışmada AYCE ve TS 802 beton karışım hesap yöntemlerinin genel esasları hakkında bilgi vermiştir. Çalışmada AYCE hesap yöntemi ve TS 802 ye göre üretilen betonların mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Sonuçlar AYCE hesap yöntemi ile üretilen betonların basınç dayanımlarının TS 802'ye göre üretilenlerden daha yüksek olduğunu göstermektedir (Ekinci, 2006).

Yukarıda bahsedilen araştırmaların sonuçlarına göre; hem su/çimento ve agrega/çimento oranlarının hem de hesaplama yöntemlerinin betonun mekanik



özelliklerini etkilediği anlaşılmaktadır. Hesaplama yöntemlerindeki farklılık kullanılan formüllerden kaynaklanmaktadır. Çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarının tam olarak belirlenmesi maksimum dayanım elde etmek açısından önemlidir. Ancak yukarıda belirtilen çalışmaların sonuçlarından da anlaşılabacağı gibi farklı tür ve oranlarda agrega kullanımı betondaki su içeriğini önemli ölçüde etkilemektedir. Bu durum beton dayanımını tahmin etmek üzere kullanılan modellerdeki katsayıların değişmesine neden olacaktır.

## BÖLÜM 2

### BETON DAYANIMI VE BETON DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER

İstenilen özelliklere sahip bir beton elde edebilmek için betonu oluşturan malzemelerin özelliklerinin ve karışım oranlarının belirlenmesi gerekir. Ülkemizde beton ile ilgili hesaplarda genellikle TS 500 standardında tanımlanan beton sınıflarına ait basınç dayanım değerleri kullanılır. Çizelge 2.1’ de TS 500 göre beton sınıfları ve dayanımları verilmiştir. Bu değerler matematiksel modellerin oluşturulmasında temel teşkil eder (TS 500, 2000).

Çizelge 2.1. TS 500'e göre beton sınıfları ve dayanımları (TS 500, 2000)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı, $f_{ck}$ , MPa	Eşdeğer Küp (200 mm) Basınç Dayanımı MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, $F_{ctk}$ , MPa	28 Günlük Elastisite Modülü, $E_c$ , MPa
C16	16	20	1,4	27 000
C18	18	22	1,5	27 500
C20	20	25	1,6	28 000
C25	25	30	1,8	30 000
C30	30	37	1,9	32 000
C35	35	45	2,1	33 000
C40	40	50	2,2	34 000
C45	45	55	2,3	36 000
C50	50	60	2,5	37 000

Betonun basınç dayanımı, mekanik özellikleri arasında en önemlisidir. Genellikle modelleme çalışmaları betonun basınç dayanımı tahmin etmek üzere yapılır. Ancak modelin başarısı betonun basınç dayanımını etkileyen parametrelerin tam olarak belirlenmesine bağlıdır. Yapılan çalışmalarda bu parametreler aşağıdaki gibi belirlenmiştir (İstanbulüoğlu, 1988);

- Karma suyunun özellikleri ve su/çimento oranı
- Çimentonun kimyasal yapısı ve dozajı
- Agrega/çimento oranı ve agreganın özellikleri
- Katkı maddelerinin özellikleri ve betonun hava içeriği
- Kür koşulları ve betonun yaşı
- Betonun doluluk oranı
- Üretim, test koşulları ve numune boyutları

Genellikle matematiksel modellerin oluşturulmasında su/çimento oranı, betonun hava içeriği ve çimentonun norm dayanımı parametre olarak alınmıştır. Diğer parametrelerin etkisi test edilerek belirlenmiştir. Elde edilen test sonuçlarına göre modelin katsayılarındaki değişimler saptanmıştır. Aşağıdaki paragraflarda beton dayanımlarını etkileyen parametreler kısaca açıklanmıştır.

## **2.1. Karma Suyunun Özellikleri ve Su/Çimento Oranı**

Beton karışımında su ile su çimento reaksiyona girerek bağlayıcı hamuru meydana getirir (İstanbulöğlü, 1988; Postacıoğlu, 1987). Beton karışımına katılan su, karma suyu olarak ifade edilir. Karma suyu miktarı, karışıma giren çimento ve agrega miktarına bağlı olarak belirlenir ve betondaki su/çimento oranı etkiler (Neville, 2011). Karma suyunun miktarı, Betona optimumdan fazla su eklenmesi halinde çimento hamuru içinde boşluklar oluşurken daha az su eklendiğinde çimentonun hidratasyonu gerçekleşmemektedir. Bu iki durum, betonun basınç dayanımının azalmasına neden olmaktadır (Zain, Safuddin& Mahmud, 2000).

## **2.2. Çimentonun Kimyasal Yapısı ve Dozajı**

Betonun basınç dayanımını büyük oranda etkileyen faktörlerden bir diğeri ise çimentonun kimyasal yapısı ve dozajıdır. Çimento dozajına bağlı olarak beton dayanımları artmaktadır (Akman, 1990). Neville (2011), çimentonun hidratasyonu sonucu oluşan kalsiyum silikat hidratın yapısındaki değişimlerin, betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır (Neville, 2011).

## 2.4. Agregas/Çimento Oranı ve Agreganın Özellikleri

Agreganın granülometrisi, geometrisi, dokusu, dayanımı ve agrega/çimento oranı vb. etkenler, betonun dayanımda etkili parametreler arasındadır. Agregas yüzeylerindeki pürüz oranının artması çimento ile agrega arasındaki ilişkiyi artırmaktadır. Bu durum, mekanik kenetlenmeyi artırarak beton dayanımının da artmasını sağlayacaktır. Beton karışımının boşluksuz bir yapıda olması için agrega granülometrisinin ideal olması gerekmektedir (İstanbüllüoğlu, 1988).

## 2.5. Katkı Maddelerinin Özellikleri ve Betonun Hava İçeriği

Beton üretiminde, betona istenen özellikleri (akışkanlaştırıcı, priz geciktirici ve hızlandırıcı, geçirimsizlik sağlayıcı, dondan koruyucu, hava sürükleyici) vermek için çeşitli katkı maddeleri kullanılmaktadır. Kullanılan kimyasal ya da mineral esaslı katkı maddeleri, beton dayanımını etkilemektedir. Ancak birden fazla katkı maddesi kullanıldığında, beton dayanımlarında beklenmedik etkiler ortaya çıkabilmektedir. Bu değişimler, daha çok kimyasal yapıları farklı olan katkı maddelerinin bir arada kullanılması sonucu etkileşimlerinden kaynaklanmaktadır (Erdoğdu & Kurbetci, 2003).

## 2.6. Kür Koşulları ve Betonun Yaşı

Betonun kürü esnasında dış çevre koşullarını (sıcaklık, nem oranı, rüzgâr şiddeti ve güneş ışığı), priz ve dayanım kazanma aşamalarında beton özelliklerini etkilemektedir. Kür koşulları iyileştirilerek betonun kalitesi yükseltilebilmektedir. Ayrıca beton yaşı artıkça dayanımı da artmaktadır (Zain vd., 2000).

## 2.7. Betonun Doluluk Oranı (Kompasite)

Betonun doluluk oranı, 1m<sup>3</sup> betonu oluşturan çimento, kum ve agreganın işgal ettikleri hacimlerin toplamıdır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\alpha = \frac{C}{\delta_c \times 1000} + \frac{U}{\delta_u \times 1000} + \frac{V}{\delta_v \times 1000} \quad (2.1)$$

Bu denklemde;

C, U, V kg cinsinden sırasıyla çimento, kum ve iri agrega miktarını

$\delta_c$ ,  $\delta_u$ ,  $\delta_v$  ise sırasıyla çimentonun, kumun ve iri agreganın özgül ağırlığını gösterir

(Postacıoğlu, 1987).

Betonun doluluk oranı, betonun basınç dayanımını etkileyen doğrudan bir faktör olmamakla birlikte agrega ve çimento miktarına ve özelliklerine, beton kıvamına ve sıkıştırma şekline göre değişmektedir (İstanbulüoğlu, 1988; Postacıoğlu, 1987).

## **2.8. Üretim, Test Koşulları ve Numune Boyutu**

Beton basınç dayanım testleri genellikle standart silindir (Ø15/30 cm) veya küp (15x15x15 cm) şeklinde numuneler üzerinde yapılır. Numune boyutları, üretim koşulları (kalıpların niteliği, bakımı vb.) ve yükleme hızında meydana gelen değişimler beton dayanımını etkilemektedir. Bu nedenle test edilecek betonun numune şekli, boyutu ve yükleme hızı standartlarda verilmiştir (URL 1).

## BÖLÜM 3

### BETON DAYANIMI İLE İLGİLİ FORMÜLLER

Betonun dayanımını tahmin etmek üzere birçok bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntılarda su/çimento oranı en önemli parametre olarak alınmıştır. Ancak modeller betonun mekanik özelliklerine bağlı olarak değişen katsayılar içermektedir. Bu katsayıların her beton için ayrı ayrı belirlenmesi gerekir. Aşağıda şimdiye kadar geliştirilmiş bağıntılar verilmiştir.

#### 3.1 Uluslararası Formüller

Bu bölümde beton dayanımını tahmin etmek üzere geliştirilmiş matematiksel modeller ve bu modelleri kullanarak yapılmış araştırmaların sonuçları verilmiştir.

##### ❖ Bolomey Formülü

Bolomey formülü, (çimento hacmi / su hacmi +hava hacmi) oranı ile beton dayanımı arasında lineer bir bağıntı olduğunu göstermektedir. Bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$f_c = K_B \left( \frac{c}{e+h} - k' \right) \quad (3.1)$$

Bu denklemde

$f_c$  = Beton dayanımını

$c$  = Çimento hacmini

$e$  = Suyun hacmini

$h$  = Havanın hacmini

$K_B$  ve  $k'$  = Katsayıları temsil etmektedir.

Bağıntıdaki  $K_B$  ve  $k'$  deneysel katsayılardır.  $k'$  katsayısı 0,3-0,5 arasında değişmektedir. 'h' hava boşluğu su ile doluymuş gibi varsayılır (Bedirhanoglu, 2011).  $K_B$  katsayısı betonun yaşına, kullanılan çimento cinsine ve miktarına bağlı olarak

değişmektedir. Bu katsayı 7-35 N/mm<sup>2</sup> arasında değer almaktadır. 7 günlük betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için denklemde  $K_B$  yerine 15 N/mm<sup>2</sup> yazılmalıdır. 28 günlük betonlarda bu değer yaklaşık 19 N/mm<sup>2</sup> olarak alınabilir (Türkel, 2002; Bedirhanoğlu, 2011).  $K_B$  değeri; çimento türüne ve dayanımına, agrega granülometrisi ve geometrisine, sıkıştırma yöntemine, ortam koşullarına, numune boyut ve geometrisine bağlı olarak değişmektedir (Tokyay, 1996). Çimento dozajı 300-500 kg/m<sup>3</sup> arasında değişen 28 günlük betonlar üzerinde yapılan deneylerde  $K_B$  katsayısının 16.3-23.4 MPa arasında değiştiği saptanmıştır (Postacıoğlu, 1987).

Bolomey formülü sadece agrega yüzeylerini ıslatmak için gerekli su miktarını vermektedir. Taneler içindeki boşlukları dolduracak su miktarı beton üretimi sırasında deneysel olarak belirlenir. Önceden tahmin edilen su miktarı ile gerçek su miktarı arasında belirgin bir fark olacaktır. Bu nedenle beton tasarımında kabul edilen basınç dayanım değerleri ile test değerleri birbirinden farklıdır. Gerçek su miktarı ve dayanım değerleri belirlendikten sonra hesaplamalar yeniden yapılarak denklemdeki katsayılar ayarlanır (Postacıoğlu 1987)

#### ❖ Feret Formülü

Feret (1896) çimento konsantrasyonunu ifade eden oran ile beton dayanımı arasındaki ilişkiyi aşağıdaki şekilde formüle etmiştir.

$$f_c = K_F \left( \frac{c}{c+e+h} \right)^2 \quad (3.2)$$

Bu denklemde

$f_c$ = Beton dayanımını

c= Çimento hacmini

e= Suyun hacmini

h= Havanın hacmini

$K_F$ = Sabit bir değeri

$c + e + h$ = Çimento hamuru mutlak hacmini

$c / (c+e+h)$ = çimento konsantrasyonu oranını temsil etmektedir.

Feret, bu modelle beton dayanımının çimento miktarına bağlı olduğunu ifade etmektedir. Bağıntı ikinci derecedendir (Türkel, 2002; Bedirhanoğlu, 2011).

Formüldeki  $K_F$  katsayısı betonun yaşına, çimento türüne, çimento miktarına bağlı olarak değişir. Genellikle 80 ile 300 N/mm<sup>2</sup> arasında değişen değerler alır. bu durumda  $c+e+h$  yerine  $1-(u+v)$  değeri konulduğunda, formül kompasitenin beton dayanımına etkisini vurgular (Türkel, 2002).

Feret formülün değişik yazılış biçimleri de bulunmaktadır. Bunlardan biri (Tokyay, 1996);

$$\delta = K \left( \frac{1}{1 + \frac{s}{\delta_c}} \right)^2 \quad (3.3)$$

Bu formüldeki  $K$  katsayısının değeri Bolomey formülünde bahsedilen parametrelere bağlı olarak değişir. 28 günlük basınç dayanımı 32,5 MPa olan çimento ve kırma taş kullanarak üretilen betonlarda  $K$ 'nın değeri ortalama 223 MPa, çakıl kullanılarak üretilen betonlarda ise ortalama 148 MPa olduğu deneysel çalışmalarda saptanmıştır (Postacıoğlu, 1987).

#### ❖ Abrams Formülü

Abrams'ın 1918 yılında beton dayanım ile W/C oranı arasındaki ilişkiyi aşağıdaki bağıntı ile ifade etmiştir (Bedirhanoglu, 2011).

$$f_c = \frac{K_1}{K_2^{w/c}} \quad (3.4)$$

Bu denklemde

$f_c$  = Beton dayanımını

$S/\bar{C}$  = su çimento oranını

$c$  = Çimento hacmini

$e$  = Suyun hacmini

$h$  = Havanın hacmini

$K_1$  ve  $K_2$  = deneysel parametreleri temsil etmektedir.

Bu formül su/çimento oranı arttıkça beton dayanımında azalma olacağını ifade etmektedir (Neville, 2011).

#### ❖ Graf Formülü

Graf formülü çimento/su oranını ve çimentonun norm dayanımını dikkate alan bir bağıntıdır.

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} \left( \frac{c}{e} \right)^2 \quad (3.5)$$



Bu denklemde

$f_{cc}$ , çimentonun norm dayanımını

c, çimento miktarını

e, su miktarını

$K_G$ , deneysel olarak belirlenen bir katsayıyı temsil etmektedir.

Hesaplamalarda  $f_{cc}$  çimentonun norm dayanımı için standartlarda verilen değerler alınır. Örneğin CEM I42.5 için  $f_{cc}$ 'nin değeri 42.5 N/mm<sup>2</sup>'dir (Bedirhanoglu, 2011).  $K_G$  katsayısının değeri ise 4-10 arasında değişmektedir ve beton yaşından bağımsızdır (Akman, 1990).

#### ❖ De Larrard Bağıntısı (1987)

Yüksek dayanımlı betonlar, 28 günlük silindir basınç dayanımları 60 MPa'dan yüksek olan betonlardır. Bu tür betonlar genellikle 0,40'dan daha az bir su/çimento oranına sahiptir (De Larrard, 2011, s.250). Yüksek dayanımlı betonlarda dayanımı etkileyen üç önemli parametre aşağıda verilmiştir.

1. Çimento hamurunun mikro yapısı
2. Çimento-agrega karışımındaki ara yüzey özellikleri
3. Agreganın özellikleri

Su/çimento oranı oldukça düşük bu betonların dayanımı agreganın çapını küçültülerek daha da artırılabilir (De Larrard, 1987). Yüksek dayanımlı betonların dayanımını tahmin etmek için De Larrard aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$f_{28} = \frac{f_c K_a}{\left[ 1 + 3,1 \frac{\alpha}{1 + 0,15 K_{sf} [1 - \exp(-11\beta)]} \right]^2} \quad (3.6)$$

Bu denklemde

$f_{28}$ : 28 günlük beton basınç dayanımını, MPa -silindir numune

$f_c$ : Çimentonun 28 günlük norm dayanımını, MPa

$K_a$ = İri agreganın faktörünü

$\alpha$ :  $\frac{M_s}{M_c}$  ağırlıkça

$M_s$ : Karışım suyu miktarını, kg/m<sup>3</sup>

$M_c$ : Karışımında kullanılan çimento miktarını, kg/m<sup>3</sup>

$\beta$ :  $\frac{\text{Silis dumanı miktarı}}{\text{Çimento miktarı}}$ -ağırlıkça

$K_{sf}$ : Silis dumanının etkinlik katsayısını temsil eder

$\beta=0$  durumunda denklem aşağıdaki şekli alır.

$$f_{28} = \frac{f_c K_a}{(1+3,1\alpha)^2} \quad (3.7)$$

Bu denklemdeki İri agrega faktörünü tanımlayan  $K_a$  parametresi aşağıdaki formül ile hesaplanır. (Arioğlu, Arioğlu & Yılmaz, 2006);

$$K_a = \frac{(1+3,1\alpha)^2 \cdot f_{28}}{f_c} \quad (3.8)$$

Silis dumanının etkisi büyük ölçüde kimyasal bileşimine ve tane inceliğine bağlıdır (De Larrard, 1987). De Larrard silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı ve hava sürükleyici katkı içeren yüksek dayanımlı betonların çekme ve basınç dayanımları arasında belirgin bir bağıntı olduğunu göstermiştir (De Larrard, 2011, s.191-194). Bu nedenle De Larrard bağıntısı mineral ve polimerik katkıların dayanım üzerine etkisini belirlemek için uygundur (De Larrard, 2011).

#### ❖ Neville

Neville 1966'da basınç dayanımının numune boyutuna bağlı olarak değişimini araştırmış ve aşağıdaki bağıntıyı önermiştir (Neville, 2011).

$$\frac{f}{f_{k,150}} = 0.56 + \frac{0.697}{\left(\frac{V}{6ha} + \frac{h}{a}\right)} \quad (3.9)$$

Bu denklemde

Küp numune için (h=a):

$f$ =a boyutlu küpün basınç dayanımını (lb/in<sup>2</sup>)

$f_{k,150}$ = 6 inçlik (150 mm) küpün dayanımını (lb/in<sup>2</sup>)

$V$  = Küp numunenin hacmini  $V=a^3$  (in<sup>3</sup>)

Silindir numune için:

$A$ = silindirin çapını (in)

$H$ = Silindirin yüksekliğini (in) temsil etmektedir.

Numune boyutun dayanım üzerine etkisini incelemek amacıyla yapılan çalışmalarda aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- a. Numunenin en ve boy oranı
- b. Yüzey ile numunenin içi arasındaki sıcaklık ve nem farkının neden olduğu iç gerilmeler,
- c. Test makinesinin plakası ile numune yüzeyinde oluşan teğetsel gerilmeler dayanımları önemli ölçüde etkilemektedir (Neville, 2011).

Neville yaptığı araştırmalarda betonun silindir basınç dayanımı ile numunenin şekli ve boyutu arasında  $V / h d + h / d$  cinsinden genel bir ilişki olduğunu göstermiştir. Burada  $V$  = numune hacmini,  $h$  = yüksekliği ve  $d$  = en küçük yanal boyutu temsil etmektedir (Neville, 2011). Prizmalar için de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Neville, 2011, s:1971-1981);

#### ❖ **Popovich**

Popovich 1967'de Neville'nin numune boyutunun dayanıma etkisini ifade eden bağlantısını basitleştirmiş ve silindir numuneler için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir. (Popovich, 1998);

$$\frac{f_{s,d}}{f_{s,150 \times 300}} \equiv 1,65 \left( \frac{1}{d} \right)^{0,1} \quad (3.10)$$

Bu denklemde

$f_{s,d}$  = yükseklik/çap oranı 2 olan  $d$  çaplı silindirin basınç dayanımını

$f_{s,150 \times 300}$  = 150 mm çaplı, 300 mm yüksekli silindirin basınç dayanımını

$d$  = silindir numunenin çapını (mm) temsil etmektedir.

Bu bağıntı çapı 50 mm'den büyük ve çapı 600 mm'den küçük numuneler için geçerlidir.

#### ❖ **F.Jairsom, M.B. Sharif, M.F.Tahir & M.A. Tahir'in Çalışması**

Uçucu kül içeren betonların dayanımını tahmin etmek için pek çok bağıntı geliştirilmiştir. Su/çimento oranının yanı sıra pek çok parametre beton dayanımını tanımlamak üzere kullanılmıştır. Ancak puzolanlı betonlarda en önemli parametreler puzolanın fiziksel ve kimyasal özellikleri ve karışım oranlarıdır (Jairsom, Sharif, Tahir & Tahir, 2015). Bu tezi ispatlamak için Jairsom vd. yaptıkları araştırmada puzolanlı betonun basınç dayanımı ile karışım parametreleri arasında önemli bir bağıntı geliştirmişlerdir. Önerilen model uçucu külün kimyasal ve fiziksel özelliklerinden kolayca elde

edilebilecek basit parametrelere dayanmaktadır. Modelde kullanılan parametrelerin katsayıları literatürdeki değerlere oldukça yakındır. Model, uçucu küllü betonun dayanımını tahmin etmek üzere kullanılabilir. Denklemdaki katsayıların hesaplanma metodu çok yönlü regresyon analizine dayanmaktadır (Jairsom vd., 2015).

#### ❖ C.Wang'ın Çalışması

Yüksek dayanımlı betonların dayanımını etkileyen en önemli parametre su/çimento oranıdır. Ancak mineral katkı maddelerinin aktivitesi de beton dayanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu etki derecesini belirlemek amacıyla Wang (2002) aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$f_{cu.k} = Y \cdot \alpha_a \cdot f_{ce} \left( \frac{B}{W} - \alpha_b \right) \quad (3.11)$$

Denklem bu şekliyle modifiye edilmiş Bolomey denklemidir.

Bu denklemde

$f_{cu.k}$  = betonun dayanımını (MPa)

$\alpha_a$  ve  $\alpha_b$  = Bolomey deneysel formülündeki deneysel katsayıları

$f_{ce}$  = çimentolu malzemelerin basınç dayanımını (MPa) temsil etmektedir.

$\gamma$  katsayısı mineral katkı maddesinin aktivitesini belirler ve aşağıdaki formül ile hesaplanır (Mehta & Aitcin, 1990)

$$Y = -0,4952 + 5,514 \frac{W}{B} \quad (3.12)$$

Çalışmada çimento içerikli malzemenin su içeriği aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır (Wang, 2002);

$$W_0 = k_1 + k_2 \frac{W}{B} \quad (3.13)$$

$k_1$  ve  $k_2$  = çimento içerikli malzeme bileşimi ve süper akışkanlaştırıcı ile ilgili sabitlerdir.

Önerilen model yalnızca 0,22-0,32 arasında su-çimento oranı olan yüksek dayanımlı betonlar için etkili bir şekilde uygulanmaktadır (Zhang, Zou, Ji, Zhang, Tang & Wu, 2015).

❖ **R.Rumman, B. Bose , M. A. B. Emon, T.Manzur & M. M. Rahman'ın Çalışması**

Rumman vd. çalışmalarında (2016), 7 ve 28 günlük betonların dayanımlarını tahmin etmek için ACI beton tasarım metodunu geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntem aşağıdaki üç denklemin çözümüne dayanmaktadır. (Rumman, Bose, Emon, Manzur & Rahman, 2016).

$$y = 0.0373x^2 - 1.3929x + 44.487 \quad (1)$$

$$y = 0.0066x^2 + 0.6972x + 11.089 \quad (2)$$

$$y = 0.0011x^2 + 1.194x + 2.1546 \quad (3)$$

Bu denklemlerde

y= 28 günlük basınç dayanımını

x=7 günlük basınç dayanımını temsil etmektedir

(1), (2) ve (3) denklemleri sırasıyla 0.35- 0.40, 0.41- 0.44 ve 0.45- 0.50'lık su / çimento oranları için bulunmuştur (Rumman vd., 2016).

Betonun karışım hesapları ACI tasarım yöntemine göre (ACI Komitesi 211.1-91). Beton örneklerinin hazırlanmasında yerel mevcut malzemeler kullanılmıştır. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları için elde edilen deneysel verilerle normal dağılım eğrileri çizilmiştir. Yukarıda denklemler yardımıyla katsayılar hesaplanmıştır. Böylece 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını tanımlayan ikinci dereceden polinomlar elde edilmiştir (Rumman vd., 2016).

Elde edilen denklemler daha önceki araştırmalardan elde edilen veriler kullanılarak doğrulanmıştır (Kamal & Rumman, 2014). Çalışmada sayısal olarak, maksimum %4,8'lik bir sapma gözlenmektedir.

❖ **I-Cheng Yeh'in Çalışması**

Cheng Yeh, çalışmasında (2006), su/çimento oranının ve beton yaşının beton dayanımına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla Abrams modelini kullanmış (Yeh, 2006).ve modeli aşağıdaki şekilde tanımlamıştır.

$$f_c = \frac{A_t}{B_t^x} = A_t B_t^{-x} \quad (3.14)$$

Bu denklemde

$A_t$  ve  $B_t$  parametreleri betonun yaşına bağlı fonksiyonlardır. Su/çimento oranını temsil eden  $\kappa$  ise aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\kappa = \frac{W}{C+KF+S} \quad (3.15)$$

Bu denklemde

$\kappa$  = su-çimento oranını

W = su içeriğini

C = çimento içeriğini

F = uçucu kül içeriğini

S = GBFS içeriğini

K = verimlilik faktörünü temsil eder.

Herhangi bir yaştaki betonun dayanımı 28 günlük betonun basınç dayanımına göre belirlenir. Bu amaçla aşağıdaki denklemler kullanılır (Yeh, 2006).

$$f'_{c,t} = C_t f'_{c,28}$$
$$\text{Min } \sum_t (A_t - A_t(t))^2 \quad (3.16)$$

t=3,7,14,28,56,90,180,365 gün

$$\text{Min } \sum_t (B_t - B_t(t))^2 \quad (3.17)$$

t=3,7,14,28,56,180 ve 365 gün

$$A_t(t) = a \ln(t) + b$$

$$B_t(t) = ct^{-d}$$

a, b, c ve d, katsayıları nümerik yöntemlerle çözülebilmektedir (Yeh, 2006).

#### ❖ Rajamane, Annie Peter ve Ambliy'nin Çalışması

Rajamane vd. (2007) çalışmalarında, uçucu küllü betonların dayanımlarını tahmin etmek üzere Bolomey denkleminde dayanan bir formül geliştirmişlerdir. Formülde C'yi 'eşdeğer çimento içeriği'  $C_{eq}$  ile değiştirmişlerdir.

$$f_c = A * \left(\frac{C}{W}\right) + B = A * \left(\frac{1}{w/c}\right) + B \quad (3.18)$$
$$f_c = A * \{ (C/W) - 0.50 \}$$

$$\begin{aligned}
f_c &= A * \{ (1/wc) - 0.50 \} \\
c_{eq} &= (1 - p) * B + k * p * B = (1 - P + k * p) * B \\
&= [1 - p * (1 - k)] * B \\
f_c &= A * \{ (C_{eq}/W) - 0.50 \} \\
&= A * \{ ([1 - p * (1 - k)] * B/W) - 0.50 \} \\
&= A * \{ ([1 - p * (1 - k)]/wb) - 0.50 \} \\
&= A * \{ [(1 + m * p_s * s * k)/wc] - 0.50 \}
\end{aligned}$$

Bu denklemlerde

C, F, W =sırasıyla çimento, uçucu kül ve su miktarını

B = C + F çimento ve uçucu külden oluşan bağlayıcıyı

wb = W / B = su bağlayıcı oranını

wc = su-çimento oranını

p = F/B kül konsantrasyonunu

(1pp) =C/B çimento konsantrasyonunu

C<sub>eq</sub> = eşdeğer çimento içeriğini

p<sub>s</sub> = değiştirilen kumu

m = uçucu kül ek faktörünü

s = kum oranını temsil etmektedir.

Uçucu kül içeren betonunun 28 günlük basınç dayanımı, bu çalışmada önerilen denklem ile tahmin edilebilmektedir. Yukarıdaki denklemlerde kullanılan k katsayısı modifiye Bolomey denklemine dayanan bir parametredir (Rajamane vd., 2007).

#### ❖ J. Karni'nin Çalışması

Betonun dayanımı büyük ölçüde su-çimento oranına ve su ile reaksiyona girmiş çimento jelinin hacmine bağlı olarak değişir. Karni (1974) çalışmasında, katılaşmış çimento hamurunda su ile reaksiyona girmiş çimento taneciklerinin yani jelin hacmini belirlemeye yönelik aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

$$X_1 = \frac{2.06 H/100 C_0}{(C_0 + W) - (100 - H)/100x C_0} x 100$$

Bu denklemde;

X<sub>1</sub>- jelin hacmini

$C_o$  -çimentonun hacmini (lt / m<sup>3</sup>)

s- çimentonun özgül ağırlığını (kg / lt)

C (=  $C_{os}$ ) - karışımdaki çimento ağırlığını (kg / m<sup>3</sup>)

W - ağırlıkça veya hacimce karma suyunu (kg / m<sup>3</sup> veya lt / m<sup>3</sup>)

$\omega$ ~ (W / C) - su çimento oranını (ağırlıkça)

H -hidratasyon derecesini (%) temsil etmektedir.

Karni (1974) çalışmasında yukarıdaki bağıntıyı kullanarak basınç dayanımı, su/çimento oranı ve jel/boşluk arasındaki ilişkiyi tanımlamıştır.

#### ❖ Mahmoud Sayed-Ahmed'in Çalışması (2012)

Ahmed (2012) çalışmasında, farklı yaşlardaki betonların dayanımlarını tahmin etmek için istatistiksel bir model oluşturmuştur. Bu amaçla su, çimento, metakaolin, kum, agrega, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı içeren beton karışımları incelenmiştir. Modelden elde edilen sonuçlar beton basınç dayanımları ile uyumludur (Mahmoud Sayed-Ahmed, 2012).

Matematiksel ve mekanik olmak üzere iki model önermiştir (Mahmoud Sayed-Ahmed, 2012).

$$f'_c = [\sum_{i=1}^n a_i x_i] \quad \text{Matematiksel model} \quad (3.19)$$

Bu denklemde

$\hat{f}'_c$  = beton basınç dayanımını

$a_i$  = denklem parametreleri

$x_i$  = çimento, çimento esaslı malzemeler, kum ve agrega karışımını temsil etmektedir.

$$f'_c = \left[ k \left( \frac{w}{c} \right) + \sum_{i=1}^n a_i x_i \right] \cdot \left[ 1 - \exp \left( -\frac{T}{\eta} \right) \right] \quad \text{Mekanik model} \quad (3.20)$$

Bu denklemde

k = su-çimento oranına bağlı bir fonksiyonu

T = zamanı

$\eta$  = viskoziteyi temsil etmektedir.

Yukarıda önerilen modellerle, betonun farklı yaşlardaki basınç dayanımları tahmin edilebilir (Mahmoud Sayed-Ahmed, 2012).



#### ❖ Janković, Nikolić, Bojović, Lončar ve Romakov'un Çalışması

Jankovic vd. (2011) çalışmalarında, betonunun basınç dayanımını tahmin etmek için aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir.

$$f_{cm(t)} = \beta_{cc}(t) \cdot f_{cm} \quad (3.21)$$

$$\beta_{cc}(t) = e^{s \cdot (1 - \frac{28}{t})^{0.5}} \quad (3.22)$$

Bu denklemde

$f_{cm}(t)$ , t yaşındaki betonun basınç dayanımını

$f_{cm}$ , 28 günlük betonun basınç dayanımını

$\beta_{cc}(t)$ , beton yaşına bağlı olan bir katsayıyı

t betonun yaşını

s, çimentonun türüne göre değişen bir katsayıyı temsil etmektedir.

Betonun herhangi bir yaştaki dayanımı yukarıdaki formülle tahmin edilebilir (Janković vd., 2011).

#### ❖ ACI COMMITTEE 209

ACI Committee 209 (2008) betonun herhangi bir yaştaki dayanımını tahmin etmek üzere aşağıdaki bağıntının kullanılmasını tavsiye etmektedir. Aşağıdaki bağıntıyı Branson ve Christianson (1971) Goral'ın (1956) hiperbolik fonksiyonunu modifiye ederek geliştirmişlerdir.

$$f(t) = f(28) \left[ \frac{t}{A+Bt} \right] \quad (3.23)$$

Bu denklemde

$f(t)$  : t süresindeki beton basınç dayanımını

$f(28)$  : 28 günlük beton basınç dayanımını

t: Kür süresini

A, B: deneysel katsayıları temsil etmektedir.

A ve B katsayılarının değerleri çimento türüne bağlı olarak değişmektedir.

## ❖ AYCE YÖNTEMİ

ACI Komitesi 209 (1971) tarafından önerilen model, ACI 209R-82'de (ACI Komitesi 209 1982) yapılan küçük değişikliklerle Branson ve Christiason (1971) tarafından geliştirilmiştir (ACI Committee 209/R, s:10). ACI Komitesi 209, geliştirilen modeli ACI 209R-92'de birleştirmiştir.

AYCE yönteminde, 1 m<sup>3</sup> beton için gerekli su miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Ekinci, 2006);

$$W = \alpha C + \beta A \quad (3.24)$$

Bu denklemde

( $\alpha C$ ) çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarını

( $\beta A$ ), agrega tanelerini ıslatmak için gerekli su miktarını temsil etmektedir.

AYCE yönteminde, su / çimento ( $w / c$ ) oranı aşağıdaki denklemle belirlenir.

$$\frac{W}{C} = \left( \frac{128(\text{slump})^{0.1}}{f_{cm}(D_{max})^{0.2}} \right)$$

Bu denklemde

$f_{cm}$  = betonun 28 günlük basınç dayanımını (MPa veya N / mm<sup>2</sup>)

Slump = çökme konisi testinde (mm) olarak elde edilen taze beton çökme miktarını

$D_{max}$  = agreganın maksimum tane çapını (mm) temsil etmektedir.

Bu denkleme göre  $D_{max}$  arttıkça, karma suyu miktarı azalır.

AYCE metodunda 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren agreganın hacmi (Ekinci, 2006);

$$W_{agg} = 1000 - \left( \frac{W_{cement}}{\delta_{cement}} + \frac{W_{water}}{\delta_{water}} + Airvoid \right) \text{ olarak hesaplanmaktadır.}$$

Bu denklemde

$W_{Agg}$  = Toplam agrega kütlelerinin hacmini (cm<sup>3</sup>)

$W_{Cement}$  = çimentonun ağırlığını (kg)

$W_{water}$  = su miktarını (kg / lt),

$\delta_{cement}$  = çimentonun özgül ağırlığını (g / cm<sup>3</sup>)

$\delta_{water}$  = suyun özgül ağırlığını (g / cm<sup>3</sup>)

$Airvoid$  = hava boşluğunun hacmini temsil eder (Ekinci, 2006).

Ekinci çalışmasında, AYCE beton karışım hesaplama yönteminin, TS 802'ye göre kullanılabilirlik açısından çok daha uygun olduğunu ifade etmiştir (ACI Committee 209, 2008).

### 3.2. Ulusal Formüller

Bu bölümde yapıda yapılmış Arıoğlu, Yapı Merkezi, Çolak ve Türkel gibi ulusal çalışmalar yer almaktadır.

#### ❖ Arıoğlu Formülü

Arıoğlu (1991), Abrams ve Popovics'in ortaya koyduğu formüllerin yardımıyla basınç dayanımı-hava içeriği arasında deneysel bir bağıntı elde etmiştir. Bu bağıntı aşağıda verilmiştir.

$$f_b = A\alpha^{-B}$$

Bu denklemde

$f_b$ = betonun basınç dayanımını

$\alpha$ = su/çimento oranını

A ve B deneysel katsayıları temsil etmektedir.  $\alpha$ 'yı ifade eden denklem aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \frac{M_{su}}{M_{\text{çimento}}} \quad (3.25)$$

Bu denklemde

$M_{su} = 1 \text{ m}^3$  betondaki su miktarını (kg.kg/m<sup>3</sup>)

$M_{\text{çimento}} = 1 \text{ m}^3$  betondaki çimento miktarını (kg.kg/m<sup>3</sup>) temsil etmektedir.

Beton içindeki hava içeriği

$\sigma = \sigma_0 (100-5h)$  şeklinde formüle edilmektedir.

Bu denklemde

$\sigma$  = Hava boşluklu betonun basınç dayanımını

$\sigma_0$ = Hava boşluksuz betona ait basınç dayanımını

$h$  = hava içeriğini (%) temsil etmektedir.

Hava boşluklu ve boşluksuz betona ait basınç dayanımları aşağıdaki bağıntılar yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$\sigma_0 = \frac{A}{B^\alpha}$$

$$\sigma = \frac{A}{B^\alpha} \cdot 10^{-0.0384h}$$

Bu denklemlerde

$h = 1 \text{ m}^3$  betondaki hava hacmini  $\text{m}^3$ . ( $\text{m}^3 / \text{m}^3$ ) (yüzde olarak) temsil etmektedir.

#### ❖ Yapı Merkezi Formülü

Yapı merkezi, betonların dayanımını tahmin edebilmek amacıyla ‘Yapı Merkezi Beton Dayanım Formülü’ nü geliştirmiştir. Arıoğlu, Odbay ve Alper’in çalışmasında önerilen birleşik yıkıntısız yöntem için geliştirilen regresyon ifadesi aşağıda verilmiştir (Arıoğlu, 1994)

$$\log f = 3.119 \sqrt{\log(R^3 V^4)} - 5.890 \quad (3.26)$$

Bu denklemde

$f$  = Küp dayanımını, (20 cm küp)\*,  $\text{kgf/cm}^2$ ;

$100 \text{ kgf/cm}^2 < f < 1100 \text{ kgf/cm}^2$

$R$  = Yüzey sertlik okumasını ( $15 < R < 65$ )

$V$  = Ultra ses hızını,  $\text{km/sn}$ . ( $3,0 \text{ km/sn} < V < 5,5 \text{ km/sn}$ .) temsil etmektedir.

Önerilen bağıntı  $\sigma_b = 75 - 1100 \text{ kg/cm}^2$  gibi geniş bir dayanım aralığında başarıyla kullanılmaktadır (Arıoğlu, 1994).

#### ❖ Adnan Çolak Formülü

Çolak (2006) çalışmasında Portland çimentolu betonunun basınç dayanımını tahmin etmek için mevcut verilere dayalı olarak deneysel bir denklem geliştirmiştir. Bu denkleme göre Portland çimentolu betonun maksimum basınç dayanımı çimentonun kimyasal reaksiyonu için gerekli su/çimento oranında elde edilmektedir. Çolak Portland çimentolu betonun maksimum basınç dayanımına karşılık gelen  $(W/C)_m$  oranının 0.183-0,23 arasında değiştiğini hesaplamıştır. Lea (1970) tarafından deneysel olarak belirlenmiş olan 0.183-0.23 değerleri kısmen ve tam hidrasyon yapmış Portland çimentolu hamurların teorik su/çimento oranlarına karşılık gelmektedir Çolak yaptığı analizlerde  $(W/C)_m$  oranının kür süresine bağlı olarak değiştiğini fark etmiştir.

Bu amaçla  $\left(\frac{w}{c}\right)_m = 0.23 \frac{\sqrt{t}}{1+\sqrt{t}}$  bağıntısını önermiştir.

Bu denklemde  $t$  kür süresini temsil etmektedir. Çolak önerdiği bu bağıntı ile iki denklemi çözenin gerekliliğini ortadan kaldırmıştır. Polimer katkılı ve katkısız Portland çimentolu betonların basınç dayanımları için doğru tahminler yapılmıştır. Ancak mineral katkılı betonlarda çimentonun hidratasyonu için gerekli teorik su miktarı önemli ölçüde değiştiğinden modelin katsayıları ayarlanmalıdır. Bu durumda iki farklı su / çimento oranına karşılık gelen en az iki basınç dayanımının ölçülmesi gerekir (Çolak, 2006). Çolak tarafından önerilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = \frac{\alpha \cdot \frac{w}{c}}{\left(\beta + \lambda \cdot \frac{w}{c}\right)^n} \quad (3.27)$$

Bu denklemin katsayıları  $\lambda$  ve  $\alpha$  aşağıdaki sınır şartlarına göre belirlenir.

$$\frac{w}{c} = (w/c)_m \frac{d\sigma}{d\left(\frac{w}{c}\right)} = 0 \text{ ve } \sigma = \sigma_m \quad (3.28)$$

Bu şartlara göre  $\lambda$ 'nın değeri  $\beta$ ,  $n$  ve  $(W/C)_m$  bağlı olarak değişir.  $\alpha$ 'nın değeri ise  $\beta$ ,  $\sigma_m$ ,  $n$  ve  $(W/C)_m$  bağlıdır.

$$\lambda = \frac{\beta}{(n-1) \cdot \left(\frac{w}{c}\right)_m} \quad \alpha = \frac{\sigma_m \cdot \beta^n \cdot \left(1 + \frac{1}{n-1}\right)^n}{\left(\frac{w}{c}\right)_m} \quad (3.29)$$

$\lambda$  ve  $\alpha$ 'yı yukarıdaki denklemde yerine koyduğumuzda aşağıdaki bağıntı elde edilir.

$$\sigma = \sigma_m \frac{\frac{w}{c}}{\left(\frac{w}{c}\right)_m} \left[ \frac{1 + \frac{1}{n-1}}{1 + \frac{\frac{w}{c}}{(n-1) \cdot \left(\frac{w}{c}\right)_m}} \right]^n \quad (3.30)$$

Betonun maksimum basınç dayanımına karşılık gelen  $(W/C)_m$  oranı bilindiğinde herhangi bir  $W/C$  oranına karşılık gelen dayanımı hesaplamak mümkündür. Ancak  $(W/C)_m$  oranı bilinmediğinde aşağıdaki yöntem uygulanır. Bu yöntemde göre bir  $(W/C)_a$  oranına karşılık gelen beton basınç dayanımı  $\sigma_a$  hesaplanır ve  $\sigma_m$  aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunur.

$$\sigma_m = \sigma_a \frac{\left(\frac{w}{c}\right)_m}{\left(\frac{w}{c}\right)_a} \left[ \frac{1 + \frac{\left(\frac{w}{c}\right)_a}{(n-1) \cdot \left(\frac{w}{c}\right)_m}}{1 + \frac{1}{n-1}} \right]^n \quad (3.31)$$

$\sigma_m$ 'in yukarıdaki bağıntıda yerine konulmasıyla Çolak denklemi aşağıdaki şekli alır.

$$\sigma = \sigma_a \cdot \frac{\frac{w}{c}}{\left(\frac{w}{c}\right)_a} \cdot \left[ \frac{\left(\frac{w}{c}\right)_m^{(n-1) + \left(\frac{w}{c}\right)_a}}{\left(\frac{w}{c}\right)_m^{(n-1) + \frac{w}{c}}} \right]^n \quad (3.32)$$

Bu denklemde;

$\sigma$ : betonun basınç dayanımını (MPa)

W/C: su / çimento oranını

$\sigma_m$ : Portland çimentolu betonunun maksimum basınç dayanımını

$(W/C)_m$ : Portland çimentolu betonunun maksimum basınç dayanımına ( $\sigma_m$ ) karşılık gelen su / çimento oranını

$(W/C)_a$ : Herhangi bir su/çimento oranını

$\sigma_a$ :  $(W/C)_a$  oranına karşılık gelen Portland çimentolu betonunun basınç dayanımını

$\alpha, \beta, \lambda$  ve  $n$ : denklem parametrelerini temsil etmektedir.

#### ❖ Türkel formülü

Türkel, 2002 yılında yaptığı yüksek lisans tezinde, silindir ve küp numuneler üzerinde deneysel bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada betonun basınç dayanımını su/çimento oranına bağlı olarak tanımlayan deneysel bir bağıntı önermiştir. Bu bağıntı

$$f_{cs} = 15,288 \left(\frac{C}{W}\right)^{1,3697} \text{şeklindedir.}$$

Bu denklemde

$f_{cs}$ =silindir basınç dayanımını

$(c/w)$ = çimento/su oranını temsil etmektedir.

Önerilen bağıntı ile hesaplanan silindir basınç dayanımları deneysel verilerle uyumludur. Türkel yaptığı analizde korelasyon katsayısını  $R=0,97$  olarak hesaplamıştır.

Türkel betonun küp basınç dayanımıyla su/çimento arasındaki ilişkiyi tanımlamak için yukarıda önerdiği bağıntıyı kullanmıştır. Yaptığı analizde korelasyon katsayısını  $R=0,98$  olarak hesaplamıştır. Korelasyon katsayısının 1'e yakın olması hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. Önerilen bağıntı ve bağıntıya ait katsayılar aşağıda verilmiştir.

$$f_{ck}=18,933\left(\frac{C}{W}\right)^{1,2859}$$

Bu denklemde  $f_{ck}$ = küp basınç dayanımını temsil etmektedir.

## BÖLÜM 4

### ÇOLAK MODELİNİN DENEYESEL VERİLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI

Çolak (2006) betonun basınç dayanımını tahmin etmek üzere yaptığı araştırmada aşağıdaki bağıntıyı çıkarmıştır.

$$\sigma = \sigma_a \cdot \frac{\frac{w}{c}}{\left(\frac{w}{c}\right)_a} \cdot \left[ \frac{\left(\frac{w}{c}\right)_m^{(n-1) + \left(\frac{w}{c}\right)_a}}{\left(\frac{w}{c}\right)_m^{(n-1) + \frac{w}{c}}} \right]^n \quad (4.1)$$

Bu denklem ile katkılı ve katkısız Portland çimentolu betonların dayanımları için başarılı sonuçlar elde etmiştir. Çolak (2013) yaptığı tartışmada önerdiği denklemin Portland çimentosu ve kil karışımları içinde uygun olabileceğini göstermiştir. Elde ettiği sonuçlardan denklemdeki n katsayısının incelenen su/çimento aralıklarına ve mineral katkı oranlarına bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır. Nitekim Çolak (2006) hazırladığı teknik notta denklemdeki  $(W/C)_m(n-1)$  katsayısının agrega/çimento oranına bağlı olarak değişebileceğini ifade etmiş ve aşağıdaki bağıntıyı elde etmiştir.

$$\left(\frac{w}{c}\right)_m (n-1) = 1 + \frac{A}{c} \quad (4.2)$$

Bu bağıntıdaki A/C agrega/çimento oranını göstermektedir. Çolak (2006) bu bağıntıyı yukarıdaki denklemde yerine koyarak aşağıdaki denklemi elde etmiştir.

$$\sigma = \sigma_a \cdot \frac{\frac{w}{c}}{\left(\frac{w}{c}\right)_a} \cdot \left[ \frac{1 + \frac{A}{c} + \left(\frac{w}{c}\right)_a}{1 + \frac{A}{c} + \frac{w}{c}} \right]^n \quad (4.3)$$

Bu denklem açık bir şekilde betonun basınç dayanımını hem su/çimento hemde agraga/çimento oranına bağlı olarak belirlemektedir. Çolak katkılı ve katkısız Portland çimentolu betonlar için yaptığı hesaplamalarda  $\sigma_a$  ve  $(W/C)_a$  için TS standardlarında belirlenen değerleri kullanmış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Bu tezde yukarıda Çolak tarafından geliştirilmiş olan matematiksel model ve yöntem kullanılmış ve elde edilen sonuçlar deneysel verilerle karşılaştırılmıştır. Hesaplamalarda  $\sigma_a$  değeri için TS standartlarında belirlenen değerler alınmıştır.  $(W/C)_a$  oranı yaklaşık 0.45-0.55 arasında değişmektedir. n katsayısı kür süresine ve agraga/çimento oranına bağlı olarak hesaplanmıştır. Örneğin 28 günlük betonlar için n katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanır. Önce n'i tanımlayan bağıntı aşağıdaki şekilde yazılır (Çolak, 2006).

$$n = \frac{1 + \frac{A}{C} + \left(\frac{w}{C}\right)_m}{\left(\frac{w}{C}\right)_m} \quad (4.4)$$

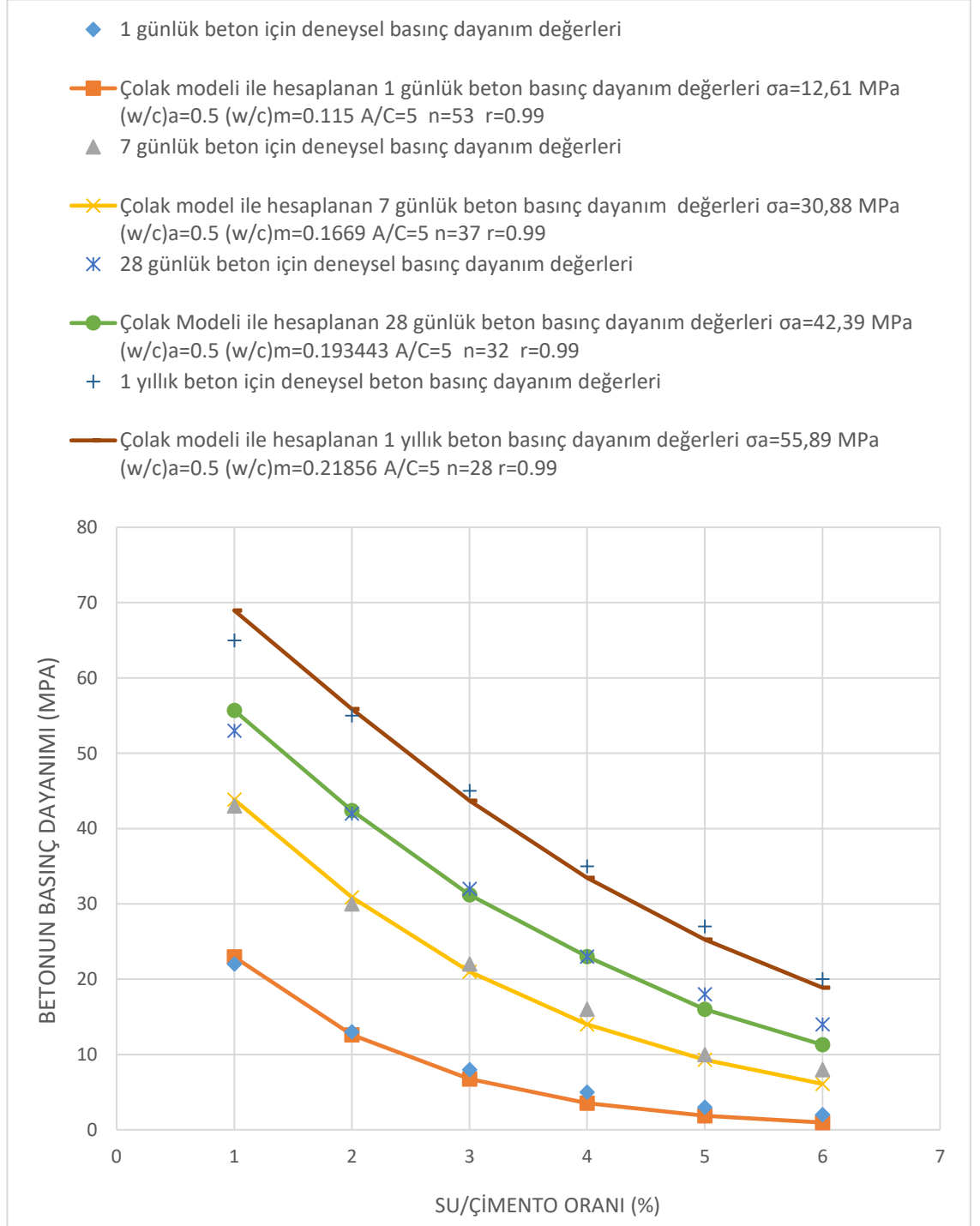
Bu denklem n katsayısının teorik su konsantrasyonunun tersine bağlı olduğunu ifade etmektedir (Çolak, 2006). Genellikle normal dayanımlı betonlar için A/C oranı yaklaşık 5 olarak alınabilir. Ancak bu oran beton üretiminde kullanılan ageraga miktarına bağlı olarak değişecektir.  $(W/C)_m$  değeri Çolak tarafından önerilen denklemle hesaplanır. Bu denklem daha öncede belirtildiği gibi kür süresine bağlıdır ve

$$\left(\frac{w}{C}\right)_m = 0.23 \frac{\sqrt{t}}{1 + \sqrt{t}} \text{ şeklindedir.} \quad (4.5)$$

28 günlük beton için  $(W/C)_m=0.193443$ 'tür. Böylece n değeri yukarıdaki formülden 32 olarak hesaplanır.  $(W/C)_a=0.5$  ve  $\sigma_a=42,39$  MPa seçilerek yapılan hesaplamalarda Neville'nin deneysel değerlerine oldukça yaklaşılmıştır.  $\sigma_a=42,39$  MPa değeri TS 500 standartında beton sınıfı C40 ve C45 için verilen karakteristik basınç dayanım değerlerine oldukça yakındır. Bu sonuç hesaplamalarda  $\sigma_a$  için kullanılacak değer deneysel yolla bulunmasına gerek olmadığını ifade eder. Projelerde belirlenen beton sınıfına karşılık gelen beton dayanımı aynen kullanılabilir. Aynı hesaplamalar 1 ve 7 günlük ve 1 yıllık betonlar içinde tekrarlanmış ve deneysel sonuçlara yakın değerler elde edilmiştir. Korelasyon katsayılarının 1'e yakın olması metodun doğruluğunu ispatlamaktadır. Korelasyon katsayıları CURVE EXPERT 1.3 programı ile



hesaplanmıştır. Şekil 4.1’de önerilen denklemin deneysel sonuçlarla mükemmel uyumu görülmektedir.



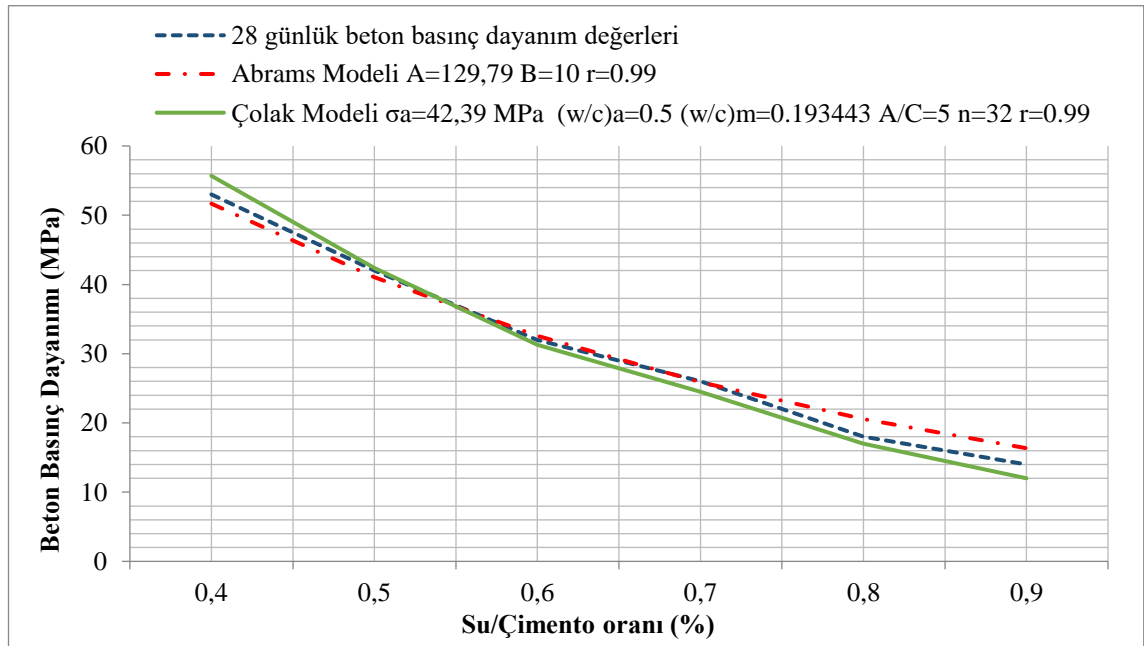
Şekil 4.1. Deneysel beton basınç dayanım değerlerinin Çolak modelle hesaplanan beton basınç dayanım değerleri ile karşılaştırılması  
(Deneysel değerler Neville'nin (1996) kitabından alınmıştır)

#### 4.1. ÇOLAK MODELİNİN DİĞER MODELLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

Betonun dayanımını tahmin etmek üzere geliştirilen en iyi modellerden biri Abrams (1918) modelidir. Bu model;

$$f_c = \frac{A}{B \frac{w}{c}} \text{ şeklindedir.}$$

Abrams modeli bu şekliyle deneysel değerlere oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Popovics (1990) Abrams modelini kullanarak beton dayanımını ve buna bağlı özellikleri tahmin eden pek çok araştıma yapmıştır. Yaptığı araştırmalarda bu modelin oldukça yeterli olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu nedenle Çolak tarafından önerilen modelle karşılaştırılmıştır. Şekil 4.2'deki verilerden her iki denkleminde deneysel değerlere yakın sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. Ancak sıfır su/çimento oranında Abrams modeli A değerini vermektedir. Bu sonuç Abrams modelinin sadece belirli su/çimento aralıklarında geçerli olduğunu ve gerçek fiziksel davranışı tanımladığını göstermektedir. Oysa Çolak tarafından önerilen model deneysel sonuçlara çok iyi uyum sağladığı gibi gerçek fiziksel davranışta tanımlamaktadır. Nitekim Khelifi vd. (2012) yaptıkları çalışmada Çolak modelinin sınır şartlarını sağladığını ve en gerçekçi model olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.2. Çolak ve Abrams Modellerinin 28 günlük beton basınç dayanım değerleri için karşılaştırılması  
(Deneysel değerler Neville'nin (1996) kitabından alınmıştır.)

## BÖLÜM 5

### DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Beton dayanımını tahmin etmek üzere pek çok bağıntı geliştirilmiştir. Bu bağıntılar genellikle beton dayanımını su/çimento oranına bağlı olarak tanımlamaktadır. Agregâ/çimento oranı gibi bazı parametrelerin dayanıma etkisi ihmal edilmiştir. Beton dayanımındaki artış ve azalmalar su/çimento oranına ve modeli tanımlayan katsayılardaki değişimlere bağlı olarak açıklanmıştır. Ancak katsayıların her beton karışımı için ayrı ayrı hesaplanması tahmin işlemini zorlaştırmaktadır. Başarılı bir tahmin katsayıların önemli ölçüde değişmemesine ya da çok dar bir aralık içinde değişmesine bağlıdır. Bu nedenle Çolak modeli diğer modellerden oldukça farklıdır. Modeli tanımlayan katsayılar çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarına bağlı olarak hesaplanabilir. Bu katsayıları kullanarak üretilmiş bir betonun dayanımını tahmin etmek mümkündür. Ayrıca bu model betonun gerçek fiziksel davranışını temsil etmekte ve sınır şartlarını sağlamaktadır. Sıfır su/çimento oranında sıfır dayanım vermektedir.

Beton dayanımının su konsantrasyonuna bağlı olarak değiştiğini ifade eden Çolak modeli deneysel değerlere oldukça yakın sonuçlar vermektedir. Çolak denkleminin  $n$  katsayısı teorik su konsantrasyonunun tersine bağlı olarak değişmektedir. Böyle bir ilişkinin varlığı katsayıların önceden hesaplanmasına ve maksimum dayanımı veren su/çimento oranının belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Abrams, D. A. (1918). Design of Concrete Mixtures. *Structural Materials Research Laboratory*. Bulletin 1, Chicago: Lewis Institute.
- ACI Committee 209. (2008). *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete* (Report No. ACI 209.2R-08). Michigan: Farmington Hills. ISBN 978-0-87031-278-6
- Akman, M. S. (1990). *Yapı Malzemeleri*. İstanbul: İTÜ İnşaat Fakültesi.
- Arioğlu, E. (1991). Betonda Geçirimsizlik, Basınç Mukavemeti Ve İşlenebilme Özellikleri İle Birleşim Arasındaki Kolerasyon. *İMO Teknik Dergi*, 2 (2), 409-416.
- Arioğlu, E. (1994). Birleşik Yıkıntısız Yöntemle Beton Dayanımın Kestirilmesi için Yeni Formül ve Uygulama Sonuçları. *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 29, 5-11.
- Arioğlu, E., Arioğlu, N. & Yılmaz, A.O. (2006). *Beton Agregalar-Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri* (Genişletilmiş 2. Baskı). İstanbul:Evrım, ISBN:975-503-145-6.
- Bedirhanoglu, İ. (2011). *Yapı Malzemesi-Beton Tasarımı Ders Notları*. Diyarbakır: Dicle Üniversitesi.
- Bello, L., Garcia-Diaz, E. & Patrick Rougeau, R. (2017). An Original Test Method to Assess Water Absorption/ Desorption of Lightweight Aggregates in Presence of Cement Paste. *Construction and Building Materials*. 154, 752-762. Erişim <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.236>
- Branson, D. E. & Christianson, M. I. (1971). Time Dependent Concrete Properties Related to Design Strength and Elastic Properties Creep and Shrinkage. *ACI Symposium on Creep Shrinkage and Temperature Effect*, SP-27, 257-277.
- Çolak, A. (2006). A New Model For The Estimation of Compressive Strength of Portland Cement Concrete. *Cement and Concrete Research*, 36, 409-1413.
- Çolak, A. & Çoşgun, T. (2013). Discussion of The Paper titled “Design of Clay/Cement Mixtures For Extruded Building Products by Khefili et al.” *Materials and Structures*. 46 (3), 513-515.
- Çolak, A. (2006). Estimation of Compressive Strength of Portland Cement Concrete Depending on The Water to Cement and Aggregate to Cement Ratios. *Technical note*, Unpublished data.
- Hyams, D. G. (1995). Curve Expert 1.3. Erişim [https://www.researchgate.net/publication/288653759\\_CurveExpert\\_software](https://www.researchgate.net/publication/288653759_CurveExpert_software)
- De Larrard, D. (1987). *Formulation et Propriétés des Bétons à Très Hautes Performances*. Dr. Ing. Thesis. Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. France:Paris.
- Ekinci, C. E. (2006). The Calculation Methods of Compound of Concrete And A Novel Calculation Method. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 1(1), 1-12. ISSN:1306-3111
- Erdoğan, Ş. & Kurbetci, Ş. (2003). Betonun Performansına Sağladıkları Etkinlik Açısından Kimyasal ve Mineral Katkı Maddeleri. *TMH-Türkiye Mühendislik*

- Haberleri*. 426(4), 115-120. Erişim: <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/253.pdf>
- Ersoy, H. Y. (2001). *Kompozit Malzeme*. İstanbul: Literatür, 5-61.
- Goral, M. L. (1956). Empirical Time Strength Relations of Concrete, *ACI Journal Proc*, 53(8), 215-224. Erişim: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/11511>
- Gillot, M., Naik, T.R. & Singh, S.S. (1993). Microstructure Of FlyAshContainingConcrete, WithEmphasis On The Aggregate–Paste Boundary. *Proceedings, 51st Annual Meeting of the Microscopy Society of America*, Cincinnati: San Francisco Press, 1148– 1149.
- Helal, M.A., Abd El-Razek, M.M. & El-Didamony, H. (1999). Effect Of Limestone Substitution On The Microstructure Of Cement Mortar. *Environ. Soc. J. (Chem. Adm.)*, 2, 220– 226.
- İstanbulüoğlu, S. (1988). Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler ve Ramble Betonunun Seçimi ile İlgili Bir Çalışma. *Madencilik-Eylül*, XXVII (3). Erişim: [http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/f2226ddd41b1a2d\\_ek.pdf](http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/f2226ddd41b1a2d_ek.pdf).
- Jairsom, F, Sharif, M.B, Tahir, M.F. & Tahir, M.A. (2015). A Simplified Model for Prediction of Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash at Various Ages. *Technical Journal, University of Engineering and Technology (UET) Taxila*. Pakistan, 20(2), 8-13. Erişim: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:48014072](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:48014072)
- Janković, K., Nikolić, D., Bojović, D., Lončar, L. & Romakov, Z. (2011). The Estimation Of Compressive Strength Of Normal And Recycled Aggregate Concrete. *Architecture and Civil Engineering*. 9(3), 419-431, doi: 10.2298/FUACE1103419J.
- Kamal, M. R. & Rumman, R. (2014). *Durability Characteristics of CEM II Cement Concretes (B.Sc. Thesis)*. Bangladesh University of Engineering and Technology, Bangladesh.
- Karamloo, M., Mazloom, M. & Payganeh, G. (2016). Influences of Water to Cement Ratio on Brittleness and Fracture Parameters of Self-Compacting Lightweight Concrete. *Engineering Fracture Mechanics*, 168 (Part A), 227-241. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.engfracmech.2016.09.011>
- Karni, J. (1974). Prediction Of Compressive Strength Of Concrete. *Materiaux Et Constructions*. 7(3), 197-200. <https://doi.org/10.1007/BF02473835>
- Khelifi, H. & Perrot, A., Lecompte, T., Ausias, G. (2012) Design of Clay/Cement Mixtures For Extruded Building Products, *Mater Struct*, 46(6), 999-1010. Erişim: <https://doi.org/10.1617/s11527-012-9949-4>
- Kocataşkın, F. & Uğurlu, A. (1991). Betonda Geçirimsizlik, Basınç Mukavemeti Ve İşlenebilme Özellikleri İle Birleşim Arasındaki Korelasyonlar. *IMO Teknik Dergisi-Nisan*, 2(7), 267-284. Erişim: <https://dergipark.org.tr/tekderg/issue/12835/155528>
- Lea, F.M. (1970). *The Chemistry of Cement and Concrete (3. Edition)*, London: Edward Arnold, ISBN: 0713122773. Erişim: <https://catalogue.nla.gov.au/Record/2653528>
- Mahmoud Sayed-Ahmed, M. (2012). Statistical Modelling And Prediction of Compressive Strength of Concrete. *Concrete Research Letter-June*. 3(2), Vol.3, I. 2, 452-458, Erişim: <http://www.issres.net/journal/index.php/crl/article/view/279/159>

- Mehta, P.K. & Aitcin, P.C. (1990). Microstructural Basis of Selection of Materials and Mix Proportions for High-Strength Concrete. *High Strength Concrete, 2. International Symposium*, 121, 265-286. Erişim: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal.aspx?m=details&ID=2500>
- Naik, T.R., Singh, S. & Ramme, B. (1998). Mechanical Properties And Durability Of Concrete Made With Blended Fly Ash. *ACI Materials Journal*, 95 (4), 454-462, Erişim: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/388>
- Neville, A.M. (2011). *Properties of Concrete, (1963-2011: 5th Edition)*. England: Prentice Hall, England, ISBN: 9780273786337.
- Neville, A.M. (1996). *Properties of Concrete*, Addison Longman: Wesley Longman, Erişim: <https://igitgeotech.files.wordpress.com/2014/10/properties-of-concrete-by-a-m-neville.pdf>
- Omrane, M., Kenai, S., Kadri, E. & Ait-Mokhtar, A. (2017). Performance and Durability of Self Compacting Concrete Using Recycled Concrete Aggregates and Natural Pozzolan. *Journal of Cleaner Production-November*, 165(1), 415-430. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.139>
- Popovics, S. (1998). *Strength and Related Properties of Concrete-A Quantitative Approach (1st edition)*, J. Wiley & Sons. ISBN-13: 978-0471149033
- Popovics, S. (1990). Analysis of The Concrete Strength Versus Water-Cement Ratio Relationship, *ACI Materials Journal*, 87(5), 517-529. Erişim: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/1944>
- Postacıoğlu, B. (1987). *Beton*. Cilt 2, İstanbul: Teknik Kitaplar.
- Rajamane, N.P., Annie Peter, J. & Ambily, P.S. (2007). Prediction of Compressive Strength of Concrete With Fly Ash As Sand Replacement Material. *Cement & Concrete Composit-March*, 29(3), 218-223. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2006.10.001>
- Rumman, R., Bose, B., Emon, M.A.B., Manzur, T. & Rahman, M.M. (2016). An Experimental Study: Strength Model Prediction Model And Statistical Analysis Of Concrete Mix Design. *Proceedings of 3rd International Conference on Advances in Civil Engineering-December*, 21-23.
- TS 500. (2000). *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü.
- Türkel, E.B. (2002). *Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler*. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi. Mayıs.
- Tokay, M. (1996). Çeşitli Basınç Dayanım Formüllerinin Yüksek Akışkanlaştırıcı ve Mineral Katkı İçeren Betonlara Uygulanabilirlięi. *4. Ulusal Beton Kongresi*. 187-198.
- Usta, S. (2012). Agrega Granölometrisinin Beton Bileşimindeki Teorik Malzeme Miktarları ile Betonun Kompasite ve Porozite Değerleri Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi. *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*. 8(1), 1-15.
- Ünsal, A. & şen, H. (2008). *Beton ve Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri*. Ankara: T.C Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüęü.
- Yaşar E., Erdoğan Y. & Kilic A. (2004). Effect of limestone Aggregate Type And Water-Cementatio on Concrete Strength, *Material Letters*, 58(5), 772-777.

- Yeh, I.C. (2006). Generalization Of Strength Versus Water–Cementitious Ratio Relationship To Age. *Cement and Concrete Research*. 36(10), 1865-1873. Erişim: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2006.05.013>.
- Zain, M.F.M., Safuddin, Md.& Mahmud, H. (2000). Development of High Performance Concrete Using Silica Fume At Relatively High Water-Binder Ratios. *Cementand Concrete Research*, 30(9), 1501-1505. Erişim: DOI: 10.1016/S0008-8846(00)00359-8
- Zhang, H., Zou, K., Ji, X., Zhang, C., Tang, F & Wu, X. (2015). Mixture Design Methods For High Performance Concrete: A Review. *5th International Conference on Advanced Engineering Materials and Technology (AEMT 2015)*. Atlantis Press. 647-653.
- Wang, C. (2002). High Performance Concrete Mix Proportion Design Experience. *Concrete*, 3, 41-43.
- URL 1. <https://www.rilem.net/committees/index-of-past-tcs-600043> (Son erişim tarihi:23.05.2019).

## ÖZGEÇMİŞ

1987 yılı Özbekistan doğumlu olup ilk, orta ve lise öğrenimini Ukrayna/Kırım 1993-2004 yılları arasında, lisans eğitimini 2005-2015 yıllar arasında Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde tamamladı. Halen Edirne'de yaşamakta olup Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü Yapı Bilgisi Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.

Adı Soyadı	: Eskender SEİTABLAİEV		
Doğum Tarihi ve Yeri	:17.04.1987		
Mail Adresi	: <a href="mailto:eskenderseyit@gmail.com">eskenderseyit@gmail.com</a>		
Unvanı	: Mimar		
Öğrenim Durumu : Yüksek lisans			
Derece	Alan	Üniversite	Yıl
Lisans	Mimarlık	Trakya Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü	2005-2015
Lise	Lise	Malenskaya Ortaokul ve lise	1993-2005