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):	İmza
Prof. Dr. Adnan ÇOLAK (Danışman)	.....
Dr. Öğr. Üyesi Filiz UMAROĞULLARI	.....
Dr. Öğr. Üyesi Gökhan UMAROĞULLARI	.....

Tez Savunma Tarihi: 24/06/2019

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları sağladığını onaylarım.

İmza

Prof. Dr. Adnan ÇOLAK
Tez Danışmanı

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 çalışmasında, 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 Agrega/ Çimento Oranlarına Bağlı Olarak Belirlenmesi]

T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü

[Mimarlık Anabilim Dalı]

ÖZET

Beton; su, çimento, agrega, 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 agrega/çimento oranını dikkate almamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada beton dayanımını, su/çimento ve agrega/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 hocalarımın 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

ÖZET……..... iv

ABSTRACT …….. vi

ÖNSÖZ……... viii

SİMGELER VE KISALTMALAR……. x

ÇİZELGELER DİZİNİ……..…….. xii

ŞEKİLLER DİZİNİ……..…… xiii

BÖLÜM 1. GİRİŞ…… 1

BÖLÜM 2. BETON DAYANIMI VE BETON DAYANIMINI ETKİLEYEN FAKTÖRLER…..…….. 5

BÖLÜM 3. BETON DAYANIMI İLE İLGİLİ FORMÜLLER ……. 9

Bölüm 3.1. Uluslararası Formülleri…….. **9**

Bölüm 3.2. Ulusal Formüller…… **22**

BÖLÜM 4. ÇOLAK MODELİNİN DENEYESEL VERİLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI……. 26

Bölüm 4.1.Çolak Modelinin Diğer Modellerle Karşılaştırılması **29**

BÖLÜM 5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ…….. 30

KAYNAKLAR ……. 31

ÖZGEÇMİŞ …….. 35

SİMGELER VE KISALTMALAR

η	Viskoz
%	Yüzde İşareti
^	Kompasite
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_{eq}	Eşdeğer Çimento İçeriği
cm	Santimetre
Cmin	Çimento Dozajı İçin Minimum Değer
C_o	Karışımdaki Çimento Mutlak Hacmi (lt / m 3)
d	Numune Çapı (mm)
di	Yüzdesi Hesaplanan Elek Çapı, mm
Dmax	Agregadaki En Büyük Tanecik Çapı, mm
e	Suyun Hacmi
EN	European Standards / Avrupa Standartları
FA	Uçucu Kül Miktarı (kg / m3)
$f_{s,d}$	Ø d çaplı, λ= yükseklik/çap=2 olan silindirin basınç dayanımı
H	Hidrasyon Derecesi (%)
h	1 m³ Yerleşmiş Betondaki Hava Hacmi m³. (m³/ m³) Yüzde Olarak
K	Katsayı
K_1 ve K_2	Ampirik Katsayılar
Ka	İri Agrega Faktörü
K_B	Beton Yaşına, Çimento Tür ve Dozajına vb. Özelliklerine Bağlı Bir Katsayı
K_F	Sabit Bir Değer
kg	Kilogram
lt	Latinceden Çevrilmiş
m	Uçucu Kül Ek Faktörü
m^3	Metreküp
mm	Milimetre
MPa	Mega Paskal
N/mm^2	Newton/Milimetre Kare
p_s	Değiştirilen Kum
r	Kolerasyon Katsayısı
Slump	Çökme Konisi Testinde (mm) Elde Edilen Taze Beton Çökme Miktarı

t	Süre veya Yaş
TS	Türk Standartları
U	Kum, kg
V	İri Agrega, kg
V	Ultra ses Hız, km/sn. (3,0 km/sn.<V<5,5 km/sn.)
w	Water / Su
W/C	Water/ Cement Ratio- Su/Çimento oranı
WAgg	Toplam Agrega Kütlesinin Hacmi (cm3)
αa ve αb	Bolomey Deneysel Formülündeki Deneysel Katsayı
αC	Çimentonun Hidratasyonu İçin Gereken Su Miktarı
βA	Toplam Agrega Tanelerini Islatmak İçin Gereken Su Miktarı
β_{cc} (t)	Beton Yaşına Bağlı Olan Bir Katsayı
δ	Özgül Ağırlık
δwater	Suyun Özgül Ağırlığı (g / cm3)
δcement	Çimentonun Özgül Ağırlığı (g / cm3)
σ	Hava Boşluklu Betonun Basınç Dayanımı
σ_0	Hava Boşluksuz Betona Ait Basınç Dayanımı
f_c	Beton Dayanımı
k'	Katsayı
f_{cc}	Çimentonun Norm Dayanımı
f_{28}	28 Günlük Beton Basınç Dayanımı, MPa -Silindir Numune
M_s	Karışım Suyu Miktarı, kg/m3
M_c	Karışımda Kullanılan Çimento Miktarı, kg/m3

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…	**29**
Şekil 4.2.	Çolak ve Abrams Modellerinin 28 günlük beton basınç dayanım değerleri için karşılaştırılması……	**30**

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 doygun 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 kırılganlık 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 araştırmada, 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 anlaşılacağı 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 (İstanbüllüoğlü, 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 (İstanbüllüoğlü, 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 gerçekleşememektedir. 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. Agrega/Çimento Oranı ve Agreganın Özellikleri

Agreganın granülometrisi, geometrisi, dokusu, dayanımı ve agrega/çimento oranı vb. etkenler, betonun dayanımda etkili parametreler arasındadır. Agrega 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 (İstanbüllüoğlü, 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, $1m^3$ betonu oluşturan çimento, kum ve agreganın işgal ettikleri hacimlerin toplamıdır. Aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\wedge = \frac{C}{\delta_c x\ 1000} + \frac{U}{\delta_u x\ 1000} + \frac{V}{\delta_v x\ 1000} \qquad (2.1)$$

Bu denklemde;

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

δ_c, δ_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 (İstanbüllüoğlü, 1988; Postacıoğlu, 1987).

2.8. Üretim, Test Koşulları ve Numune Boyutu

Beton basınç dayanım testleri genellikle standart silindir (θ15/30 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 (Bedirhanoğlu, 2011). K_B katsayısı betonun yaşına, kullanılan çimento cinsine ve miktarına bağlı olarak

değişmektedir. Bu katsayı 7-35 N/mm^2 arasında değer almaktadır. 7 günlük betonların basınç dayanımlarını tahmin etmek için denklemde K_B yerine 15 N/mm^2 yazılmalıdır. 28 günlük betonlarda bu değer yaklaşık 19 N/mm^2 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^3 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^2 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);

$$\delta = K\left(\frac{1}{1+\frac{S}{Ç}\delta_Ç}\right)^2 \quad (3.3)$$

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 (Bedirhanoğlu, 2011).

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

Bu denklemde

f_c= = Beton dayanımını

S/Ç= 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 artıkça 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 değeri42.5 N/mm^{2}dir(Bedirhanoğlu, 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 genellikle0,40'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. Agrega özellikleri

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

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

Bu denklemde

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

f_c: Çimentonun 28 günlük norm dayanımını, MPa

Ka= İri agrega faktörünü

$\propto$: $\frac{M_s}{M_c}$ağırlıkça

M_s: Karışım suyu miktarını, kg/m^3

M_c: Karışımda kullanılan çimento miktarını, kg/m3

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

K_{sf}: Silis dumanının etkinlik katsayısını temsil eder

β= 0 durumunda denklem aşağıdaki şekli alır.

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

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

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

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**

Neville1966'da basınç dayanımın 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 (Ib/in²)

$f_{k,150}$= 6 inçlik (150 mm) küpün dayanımını (Ib/in²)

V = Küp numunenin hacmini V=a³ (in³)

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 / hd + 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**

Popovich1967'de Neville'nin numune boyutunun dayanıma etkisini ifade eden bağlantısını basitleştirmiş ve silindir numuneler için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir. (Popovics, 1998);

$$\frac{f_{s,d}}{f_{s,150x300}} \equiv 1{,}65 \left(\frac{1}{d}\right)^{0,1} \qquad (3.10)$$

Bu denklemde

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

$f_{s,150x300}$= 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. Denklemdeki 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.

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

Denklem bu şekliyle modifiye edilmiş Bolomey denklemidir.

Bu denklemde

$f_{cu.k}$ = betonun dayanımını (MPa)

αa ve αb = Bolomey deneysel formülündeki deneysel katsayıları

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

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

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

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).

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

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

$y = 0.0011x^2 + 1.194x + 2.1546$ (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'ın 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 $\varkappa$ ise aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\varkappa = \frac{W}{C+KF+S} \tag{3.15}$$

Bu denklemde

$\varkappa$ = 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).

$$f'_{c,t} = C_t f'_{c,28}$$

$$\text{Min } \sum_t (A_t - A_t(t))^2 \tag{3.16}$$

t=3,7,14,28,56,90,180,365 gün

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

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 denklemine dayanan bir formül geliştirmişlerdir. Formülde C'yi 'eşdeğer çimento içeriği' C_{eq} ile değiştirmişlerdir.

$$f_c = A * \left(\frac{C}{W}\right) + B = A * \left(\frac{1}{wc}\right) + B \tag{3.18}$$

$$f_c = A * \{(C/W) - 0.50\}$$

$$f_c = A * \{ (1/wc) - 0.50\}$$

$$c_{eq} = (1-p) * B + k * p * B = (1 - P + k * p) * B$$

$$= [1 - p * (1-k)] * B$$

$$f_c = A * \{(C_{eq}/W) - 0.50\}$$

$$= A * \{([1 - p * (1-k)] * B/W) - 0.50\}$$

$$= A * \{([1 - p * (1-k)]/wb) - 0.50\}$$

$$= A * \{[(1 + m * p_s * s * k)/wc] - 0.50\}$$

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_{eq} = eşdeğer çimento içeriğini

p_s = 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.

$$X_1 = \frac{2.06\ H/100\ C_0}{(C_0 + W) - (100 - H)/100 x C_0} x100$$

Bu denklemde;

X_{1-} jelin hacmini

C_o -çimentonun hacmini (lt / m 3)

s- çimentonun özgül ağırlığını (kg / lt)

C (= C_os) - karışımdaki çimento ağırlığını (kg / m 3)

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

ω~ (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).

$$f_c' = [\sum_i^n = 1 a_i x_i] \quad \textbf{\textit{Matematiksel model}} \tag{3.19}$$

Bu denklemde

f_c' = beton basınç dayanımını

α_i = denklem parametreleri

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

$$f_c' = \left[k\left(\frac{w}{c}\right) + \sum_{i=1}^n a_i\, x_i\right].\left[1 - exp\left(-\frac{T}{\eta}\right)\right] \quad \textbf{\textit{Mekanik model}} \tag{3.20}$$

Bu denklemde

k = su-çimento oranına bağlı bir fonksiyonu

T = zamanı

Ŋ = viskoziteyi temsil etmektedir.

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

❖ **Jankoviç, Nikoliç,Bojoviç, Lonçar ve Romakov'un Çalışması**

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

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

$$\beta_{cc}(t) = e^{s.(1\frac{28}{t})^{0.5}} \tag{3.22}$$

Bu denklemde

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

f_{cm}, 28 günlük betonun basınç dayanımını

β_{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 (Jankoviç 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.

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

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^3 beton için gerekli su miktarı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır (Ekinci, 2006);

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

Bu denklemde

(αC) çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarını

(βA), agrega tanelerini ıslatmak için gerekli su miktarını temsil etmektedir.

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

$$\frac{W}{C} = \left(\frac{128(\text{slump})^{0.1}}{\text{fcm}(\text{Dmax})^{0.2}}\right)$$

Bu denklemde

fcm = betonun 28 günlük basınç dayanımını (MPa veya N / mm2)

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

Dmax = agreganın maksimum tane çapını (mm) temsil etmektedir.

Bu denkleme göre Dmax arttıkça, karma suyu miktarı azalır.

AYCE metodunda1m^3 beton karışımına giren agreganın hacmi (Ekinci, 2006);

$Wagg = 1000 - \left(\frac{Wcement}{\delta cement} + \frac{Wwater}{\delta water} + Airvoid\right)$olarak hesaplanmaktadır.

Bu denklemde

WAgg = Toplam agrega kütlesinin hacmini (cm3)

WCement = çimentonun ağırlığını (kg)

Wwater = su miktarını (kg / lt),

δcement = çimentonun özgül ağırlığını (g / cm3)

δwater = suyun özgül ağırlığını (g / cm3)

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

α= su/çimento oranını

A ve B deneysel katsayıları temsil etmektedir. α'yı ifade eden denklem aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = \frac{M_{su}}{M_{çimento}} \tag{3.25}$$

Bu denklemde

M_{su} = 1 m³ betondaki su miktarını (kg.kg/m³)

$M_{çimento}$ = 1 m³ betondaki çimento miktarını (kg.kg/m³) temsil etmektedir.

Beton içindeki hava içeriği

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

Bu denklemde

σ = Hava boşluklu betonun basınç dayanımını

σ_0= Hava boşluksuz betona ait basınç dayanımını

h = hava içeriğini (%) temsil etmektedir.

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

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

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

Bu denklemlerde

h = 1 m³ betondaki hava hacmini m³. (m³/ m³) (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)

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

Bu denklemde

f = Küp dayanımını, (20 cm küp)*, kgf/cm2;

100 kgf/cm^2<f<1100kgf/cm2

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

V = Ultra ses hızını, km/sn. (3,0 km/sn.<V<5,5 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 hidratasyon 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 çözmenin 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.

$$\sigma = \frac{\alpha \cdot \frac{W}{C}}{\left(\beta + \lambda \cdot \frac{W}{C}\right)^n} \tag{3.27}$$

Bu denklemin katsayıları λ ve α aşağıdaki sınır şartlarına göre belirlenir.

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

Bu şartlara göre λ'nın değeriβ, n ve $(W/C)_m$ bağlı olarak değişir. α'nın değeri ise β, σ_m, n ve $(W/C)_m$ bağlıdır.

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

λ ve α'yı yukarıdaki denklemde yerine koyduğumuzda aşağıdaki bağıntı elde edilir.

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

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 yönteme göre bir $(W/C)_a$ oranına karşılık gelen beton basınç dayanımı σ_a hesaplanır ve σ_m aşağıdaki bağıntı yardımıyla bulunur.

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

σ_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;

σ: betonun basınç dayanımını (MPa)

W/C: su / çimento oranını

σ_m: Portland çimentolu betonunun maksimum basınç dayanımını

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

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

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

α, β, λ 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

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

Bu denklemde

fcs=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 katsayının 1'e yakın olması hesaplanan değerlerle deneysel veriler arasında iyi bir uyum olduğunu göstermektedir. Önerilen bağıntı ve bağıntıya ait katsayılar aşağıda verilmiştir.

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

Bu denklemde fck= 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.

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

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 katsayının incelenen su/çimento aralıklarına ve mineral katkı oranlarına bağlı olarak değiştiği anlaşılmaktadır.Nitekim Çolak (2006) hazırladığı teknik notta denklemdeki $(W/C)_m(n\text{-}1)$ katsayısının agrega/çimento oranına bağlı olarak değişebileceğini ifade etmiş ve aşağıdaki bağıntıyı elde etmiştir.

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

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

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

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 σ_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 σ_a değeri için TS standartlarında belirlenen değerler alınmıştır. $(W/C)_a$ oranı yaklaşık 0.45-0.55 arasında değişmektedir. n katsayısı kür süresine ve agrega/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).

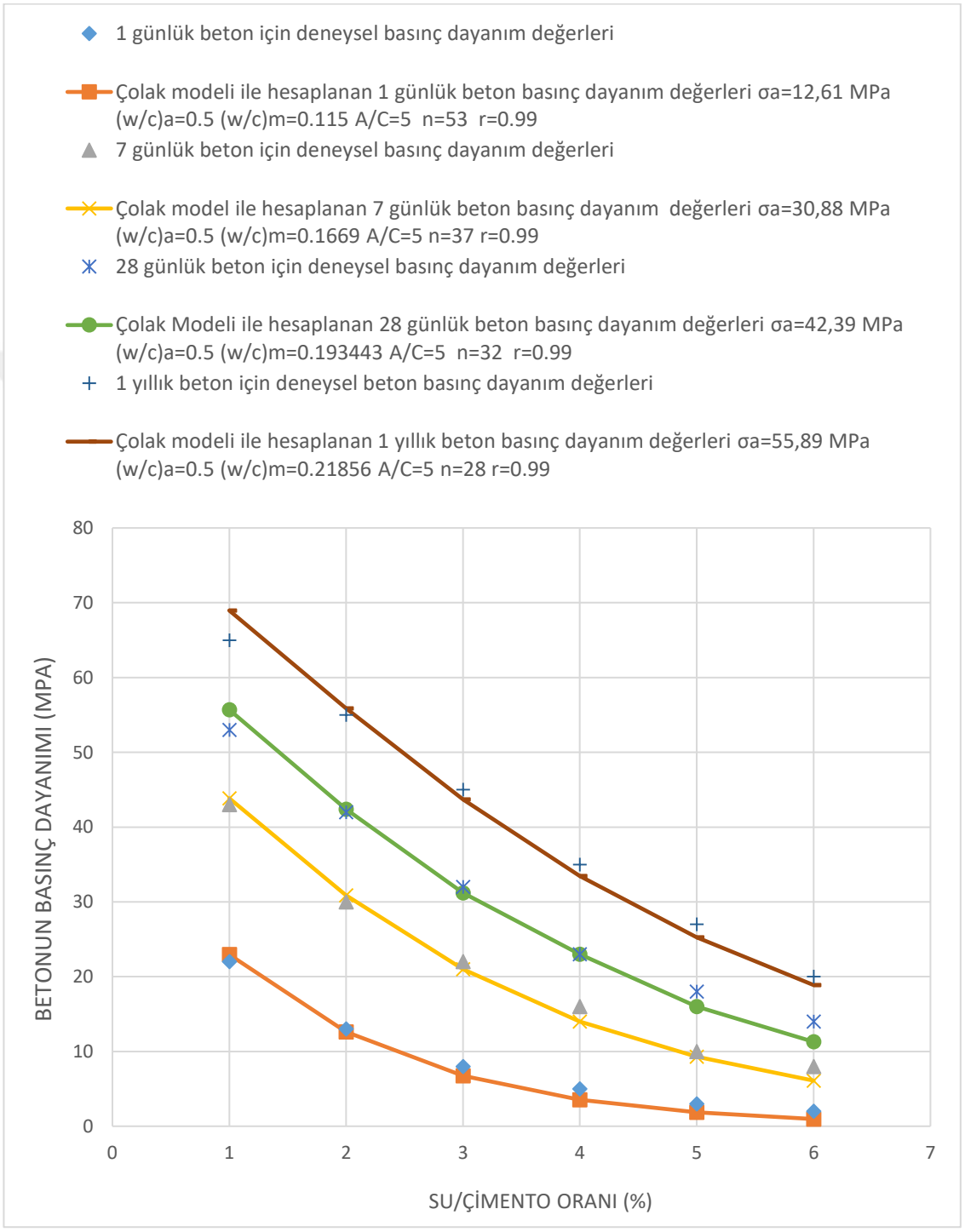
$$n = \frac{1+\frac{A}{C}+\left(\frac{w}{C}\right)_m}{\left(\frac{w}{C}\right)_m} \qquad (4.4)$$

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 kullanılanlan ageraga miktarına bağlı olarak değişecektir. $(W/C)_m$ değeri Çolak tarafından önerilen denklemle hesaplanır. Bu denklem daha öncede belirtildiği gibi kür süresine bağlıdır ve

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

28 günlük beton için $(W/C)_m$=0.193443'tür. Böylece n değeri yukarıdaki formülden 32 olarak hesaplanır. $(W/C)_a$=0.5 ve σ_a=42,39 MPa şeçilerek yapılan hesaplamalarda Neville'nin deneysel değerlerine oldukça yaklaşılmıştır. σ_a=42,39 MPa değeri TS 500 standartdında beton sınıfı C40 ve C45 için verilen karakteristik basınç dayanım değerlerine oldukça yakındır. Bu sonuç hesaplamalarda σ_a için kullanılacak değerin 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.



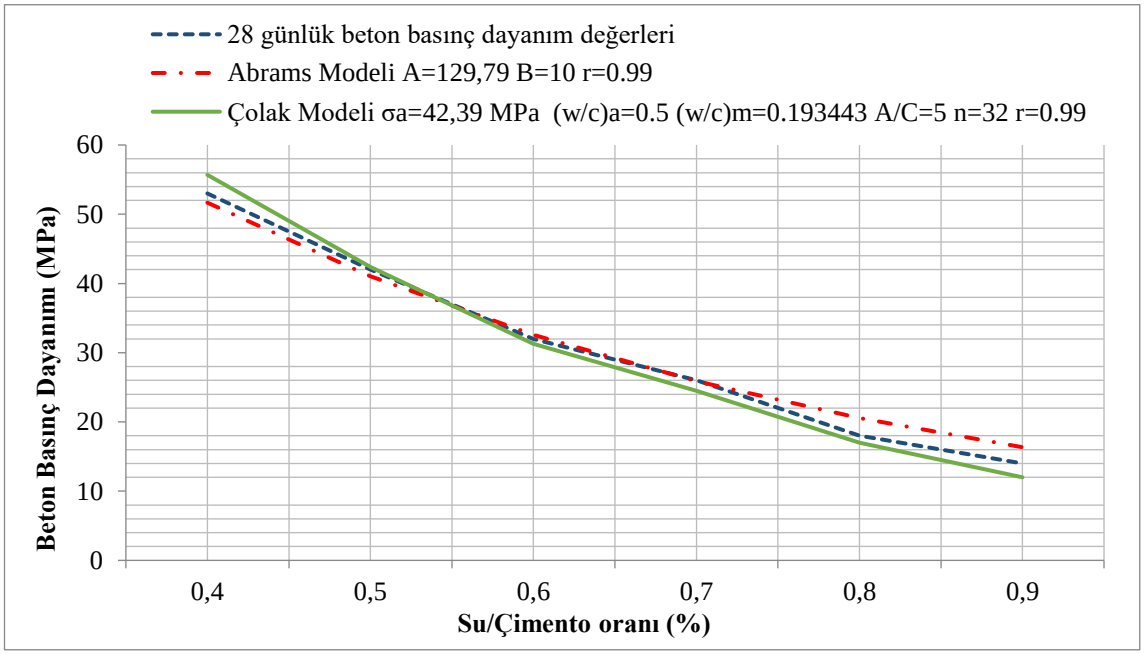
Şekil 4.1. Deneysel beton basınç dayanım değerlerinin Çolak modelle hesaplanan beton basınç dayanım değerleri ile karşılaştırılması
(Deneysel değerler Neville'nin (1996) kitabından alınmıştır)

4.1. ÇOLAK MODELİNİN DİĞER MODELLERLE KARŞILAŞTIRILMASI

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

$f_c = \frac{A}{B^{\frac{w}{C}}}$ 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 tanımlamdığını göstermektedir. Oysa Çolak tarafından önerilen model deneysel sonuçlara çok iyi uyum sağladığı gibi gerçek fiziksel davranışıda 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. Agrega/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 Researh 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.

Arıoğlu, E. (1991). Betonda Geçirimsizlik, Basınç Mukavemeti Ve İşlenebilme Özellikleri İle Birleşim Arasındaki Kolerasyon. *İMO Teknik Dergi*, *2 (2),* 409-416.

Arıoğlu, E. (1994). Birleşik Yıkıntısız Yöntemle Beton Dayanımın Kestirilmesi için Yeni Formül ve Uygulama Sonuçları. *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 29, 5-11.

Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. & Yılmaz, A.O. (2006). *Beton Agregalar-Çözümlü Problemler-Bilgi Föyleri* (Genişletilmiş 2. Baskı). İstanbul:Evrim, ISBN:975-503–145–6.

Bedirhanoğlu, 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. & Çosgun, T. (2013). Discussionof The Papertitled "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

De Larrard, D. (1987*). Formulaton et Propiétésdes Bétons á Trés Hautes Performances.* Dr. Ing. Thesis. Ecole Nationeledes Ponts et Chaussées. France:Paris.

Ekinci, C. E. (2006). The Calculatıon Methods of Compound of Concrete And A Novel Calculation Method. *e-Journal of New World Sciences Academy,* 1(1), 1-12. ISSN:1306-3111

Erdoğdu, 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.

İstanbüllüoğlü, 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.

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

Janković, K., Nikolić, D., Bojović, D., Lončar, L. & Romakov, Z. (2011). The Estimation Of Compressıve 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-Jume*. 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. & Aït-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 Qantitative 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.

Tokyay, M. (1996). Çeşitli Basınç Dayanım Formüllerinin Yüksek Akışkanlaştırıcı ve Mineral Katkı İçeren Betonlara Uygulanabilirliği. *4. Ulusal Beton Kongresi.* 187-198.

Usta, S. (2012). Agrega Granülometrisinin 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 Müdürlüğü.

Yaşar E., Erdoğan Y. & Kilic A. (2004). Effect of limestone Aggregate Type And Water-Cementratio 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	**:** eskenderseyit@gmail.com
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