

Farklı Tip ve Miktarda Puzolan İçeren Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanımı ve Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Relationship Between Strength and Elasticity Modulus of Self-Consolidating Concrete Containing Different Types and Dosages of Pozzuolana

Kâzım TÜRK^{a*}, Mehmet KARATAŞ^b, Paki TURĞUT^a ve Ahmet BENLİ^c

^aHarran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63300, Şanlıurfa

^bFırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23279, Elazığ

^cBingöl Üniversitesi, Bingöl MYO, İnşaat Teknolojisi Programı, 12000, Bingöl

Geliş Tarihi/Received : 20.08.2009, Kabul Tarihi/Accepted : 23.03.2010

ÖZET

Bu çalışmada, farklı oranlarda uçucu kül ve silis dumanı ikameli kendiliğinden yerleşen beton (KYB) karışımlarına ait basınç, çekme dayanımı ve elastisite modülü değerleri arasındaki ilişki araştırılmıştır. KYB karışımları için çökme-yayıma, t_{500} , L-kutusu ve elek ayırma işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üretilen numuneler kalıptan alındıktan sonra, toplam 28 gün süreyle 20 ± 2 °C suda kür edilmiştir. Her bir beton özelliği için 3'er numune kullanılarak, basınç ve yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen çok sayıda veri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu bulunan basınç dayanımı-çekme dayanımı ve basınç dayanımı-elastisite modülü bağıntıları önceki çalışmalara ait bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Sonuçta, bu çalışmadan elde edilen basınç-çekme dayanımı ve basınç dayanımı-elastisite modülü bağıntılarının yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen betonların çekme dayanımını ve elastisite modülünü doğru tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

AnahtarKelimeler: *Kendiliğinden yerleşen beton, Basınç dayanımı, Çekme dayanımı, Elastisite modülü.*

ABSTRACT

In this study, relationship between strength (compressive strength, tensile strength) and elastic modulus of self-consolidating concrete (SCC) that included different types and dosages of mineral admixtures (fly ash (FA) and silica fume (SF)) as replacement of Portland cement was investigated. In order to evaluate the workability of the mixtures, slump-flow, t_{500} , L-box and sieve segregation tests were carried out. In the following day of casting, the specimens were de-moulded and located in 20 ± 2 °C water and cured for 28 days. Compressive strength, splitting tensile strength and elastic modulus tests were performed using a total of 3 specimens for each concrete property. Compressive strength-tensile strength and compressive strength-elastic modulus formulas obtained from regression analysis using a numerous data were compared with the equations obtained in the previous studies. Consequently, it was found that compressive strength-tensile strength and compressive strength-elastic modulus formulas obtained from this study can be used correctly to estimate the tensile strength and the elastic modulus of self-consolidating concrete.

Keywords: *Self-consolidating concrete, Compressive strength, Tensile strength, Elasticity modulus.*

1. GİRİŞ

Deprem bölgelerindeki çok sık donatılı yapılarda kullanmak amacıyla 1980'li yılların sonunda Japonya'da (Ozawa v.d., 1989) geliştirilen kendiliğinden yerleşen beton (KYB), mükemmel şekil değiştirebilen, segregasyona karşı yüksek dirence sahip olan ve

herhangi bir sıkıştırma işlemi olmaksızın kolaylıkla yerleşebilen bir beton olarak tanımlanmaktadır (Shindoh v.d., 1996). KYB'da segregasyon direncini sağlamak için 380-600 kg/m³ arasında 0.125 mm göz açıklıklı eleğin altında kalan ince toz malzeme kullanılması gerektiği EFNARC (2005) tarafından

* Yazışılan yazar/Corresponding author. E-posta adresi/E-mail address : kturk@harran.edu.tr (K. Türk)

önerilmektedir. Çimento miktarını artırmak hem beton maliyetini artırdığından hem de betona artan termal gerilmeler ve rötre gibi olumsuz etkiler kattığından, KYB'daki ince toz malzeme oranını artırmanın tek yolu karışıma mineral katkıları ilave etmektir. Mineral katkı olarak genellikle uçucu kül, silis dumanı, kireçtaşı tozu, serbest fırın cürufu gibi malzemeler kullanılmaktadır. Betonda mineral katkıların kullanımı, maliyeti arttırmadan beton akıcılığını arttırmak için faydalı olmaktadır. Çünkü KYB'da uçucu kül kullanımının, maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları bakımından % 30 ve/veya % 40 oranlarında kullanılması 28 günlük basınç mukavemetine ve hem erken hem de daha sonraki kür yaşları için çekme mukavemetine önemli katkı sağladığı görülmüştür (Kurita ve Nomura, 1998; Türk v.d., 2006). Ayrıca, 20 °C su içinde kür edilen kendiliğinden yerleşen ve normal betondan üretilen numunelerin basınç ve çekme dayanımlarının, kapalı naylon içinde ve havada kür edilen numunelere göre daha yüksek değerlere ulaştığı gözlenmiştir (Yazıcıoğlu v.d., 2006).

Tasarım hesaplarında basınç dayanımı kullanılmaktadır, ancak beton gevrek bir malzeme olduğu için çekme kuvvetlerine karşı direnci çok düşüktür. Çekme dayanımının değeri betonun içindeki çatlakların oluşmasında önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle betonun çekme dayanımının bilinmesi, çatlakların ve yapıyla ilgi analizlerin yapılabilmesi bakımından önemlidir. Betonun basınç ve çekme dayanımları birbirleriyle yakından ilişkilidir. Betonun çekme dayanımı betonun yaşına ve kalitesine bağlı olarak betonun basınç dayanımının % 7 si ile % 17 arasında değişmektedir (Erdoğan, 2003). Betonda basınç dayanımı oldukça basit bir deney ile kolaylıkla elde edilir. Bu bakımdan betonun pek çok özelliğine ışık tutan basınç dayanımı, betonun sınıflandırılmasında ve değerlendirilmesinde çok önemli bir faktördür. Domone (2007), yine KYB'un sertleşmiş özellikleri ile ilgili çalışmaları esas alan derlemesinde, neredeyse tüm silindir yarma deneylerinde elde edilen bulguların EC 2 (Anon., 2004) tarafından verilen %5-95 aralığına düştüğünü ve kendiliğinden yerleşen betona ait çekme/basınç dayanımı oranının normal betonunkine benzerliğini ortaya koymaktadır.

Betonun pek çok özelliğinde olduğu gibi çekme dayanımının belirlenmesinde de basınç dayanımından yararlanılır. Betonun çekme dayanımı, prizmatik numunelerde eğilme deneyi yapılarak veya silindir numunelerde yarma deneyi ile dolaylı olarak belirlenmeye çalışılır. Bu deneyler ile elde edilen verilerden direkt çekme dayanımının belirlenmesi için katsayılara ihtiyaç duyulur ve elde edilen sonuçlar kesinlik taşımaz (Akman, 1990).

Elastisite modülü, gerilme-şekil değiştirme arasındaki orandır. Beton tam bir elastik malzeme olmadığından

gerilme-şekil değiştirme arasındaki oran sabit değildir. İdeal olarak elastisite modülü, basınca maruz beton numunelerin, yük-deformasyon eğrilerinin kaydedilmesinden elde edilmektedir. Ancak yük-deformasyon ilişkisini kaydetmek çok da kolay değildir. Elastisite modülünün deneysel olarak tespitinin, basınç dayanımının elde edilmesiyle karşılaştırıldığında çok komplike ve zaman alması, mühendisleri ve araştırmacıları eldeki verilerden faydalanarak daha kısa süren ve yaklaşık sonuçlar veren yaklaşımlara sevk etmiştir. Tasarım hesaplarında kullanılacak betonun elastisite modülü değeri, genellikle TS 500'de verilen basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ampirik ilişki göz önünde tutularak hesaplanmaktadır.

Bu çalışmada uçucu kül ve silis dumanı içeren KYB'lar üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri yapılmış ve bulunan değerlerden faydalanarak çekme dayanımı ve elastisite modülünün basınç dayanımı ile olan ilişkilerini veren bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntıların geçerliliği, daha önce bulunan bağıntılarla karşılaştırılarak tespit edilmiştir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMA

2. 1. Malzemeler

Bu çalışmada, Oyak Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen Portland Çimentosu (CEM I 42,5) kullanılmıştır. Ayrıca, kendiliğinden yerleşen betondaki ince toz malzeme (<0.125 mm) miktarına da katkı sağlamak amacıyla Tunçbilek Termik Santraline ait F sınıfı uçucu külü ve Eti Elektro Metalurji A.Ş.'den temin edilen silis dumanı karışıma mineral katkı olarak katılmıştır. Agregalar ise Elazığ Murat nehrinden elde edilmiştir. Beton karışımındaki mümkün olabilecek en yüksek homojenlik ve doluluğu sağlamak amacıyla, agregalar 0-7, 7-15 ve 15-20 mm tane sınıflarına ayrılmıştır. Daha sonra agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları TS EN 1097-6 (Anon., 2002a) standardına uygun olarak bulunup, karışım hesaplarında sırasıyla 2.63, 2.64 ve 2.66 gr/cm³ olarak alınmıştır. Kullanılan uçucu kül (UK), silis dumanı (SD) ve Portland çimentosuna (PÇ) ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Portland çimentosu, uçucu kül ve silis dumanının kimyasal bileşimi ve fiziksel özellikleri.

Muhteva	PC (%)	UK (%)	SD (%)
SiO ₂	20.2	58.82	91
Al ₂ O ₃	5.8	19.65	0.58
Fe ₂ O ₃	3.23	10.67	0.24
CaO	64.1	2.18	0.71
MgO	-	3.92	0.33
SO ₃	2.66	0.48	-
Klorür (Cl ⁻)	0.006	-	-
Kızdırma kaybı	2.58	0.91	1.84
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3.1	2.08	2.2
Özgül yüzey alanı (cm ² /g)	3484	3812	96.5%<45 μm

Bu çalışmada, Portland çimentosu yerine % 25, 30, 35 ve 40 oranlarında uçucu kül ve % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında silis dumanı kullanılarak 8 tip kendiliğinden yerleşen beton karışımı üretilmiştir. Kullanılan betonlara ait karışım oranları ve bu betonların işlenebilirliğiyle ilgili esas özellikler sırasıyla Tablo 2 ve 3’de verilmiştir. Tablo 2’deki karışım oranlarında, agregaların doygun kuru yüzey ağırlıkları verilmiştir.

Betonların üretiminde maksimum tane çapı 20 mm olan doğal çakıl ve nehir kumu (<4 mm) kullanılmıştır. Ayrıca, betonda gereken işlenebilirlik değerlerini sağlamada karışımın önemli bir bileşeni olan 1.06 gr/cm³ yoğunluğa sahip polikarboksilat esaslı hiperakışkanlaştırıcı, (çimento+(uçucu kül veya silis dumanı)) miktarının % 1.78’ i oranında karışıma katılmıştır. KYB karışım oranları deneme testleri ile birlikte EFNARC (Anon., 2005) esas alınarak tayin

edilmiştir. KYB karışımı için çökme-yayılma, t_{500r} L-kutusu ve elek ayrışma işlenebilirlik deneylerine ait değerleri karışımlardaki su miktarları ayarlanarak elde edilmiştir. İşlenebilirlik testlerinden elde edilen değerler göstermiştir ki, KYB karışımları genelde iyi bir doldurma ve geçme kabiliyetinin yanında, UK25, SD15 ve SD20 dışında yeterli ayrışma direncine sahiptir (Tablo 3).

2.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Metot

KYB karışımlarının karıştırma işlemi, karışımda homojenliği sağlamak amacıyla öncelikle etüv kuru su durumunda olan çakıl ve kum karışım suyunun % 60’ı ile birlikte 1 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra, bu işlem çimento, mineral katkı, geriye kalan su ve süper akışkanlaştırıcının birlikte karışıma katılarak 45 L hacimli mikser yardımıyla toplam 3 dakikada tamamlanmıştır.

Tablo 2. Kendiliğinden yerleşen betonlara ait karışım oranları (kg/m³).

Karışım	KYB-UK				KYB-SD			
	UK25	UK30	UK35	UK40	SD5	SD10	SD15	SD20
su/bm ^a	0.39	0.38	0.38	0.38	0.36	0.38	0.40	0.40
Bağlayıcı malzeme	500	500	500	500	450	450	450	450
Çimento	375	350	325	300	427.5	405	382.5	360
Uçucu kül	125	150	175	200	-	-	-	-
Silis dumanı	-	-	-	-	22.5	45	67.5	90
Agrega büyüklüğü (mm)								
0-7	910	910	910	910	990	990	990	990
7-15	450	450	450	450	450	450	450	450
15-20	285	285	285	285	285	285	285	285

Tablo 3. Taze beton özellikleri.

KYB deneyleri	KYB-UK				KYB-SD				EFNARC
	UK25	UK30	UK35	UK40	SD5	SD10	SD15	SD20	
Çökme-yayılma (mm)	709	702	705	701	707	701	708	707	660-750
T_{50cm} (s)	2.44	2.56	3.00	2.89	2.30	1.80	1.20	1.00	>2
L-kutusu; H_2/H_1	0.910	0.943	0.953	0.959	0.865	0.876	0.888	0.890	≥0.80
Segregasyon (%)	18.4	15.8	15.2	14.4	15.3	17.9	19.8	22.0	≤18

Karışımlar için optimum işlenebilirlik, su/ (çimento+uçucu kül (veya silis dumanı)) oranı değiştirilerek sağlanmıştır. Elde edilen karışımlardan, basınç, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri için sırasıyla 150 mm küp, ϕ 150 x 300 mm ve ϕ 100 x 200 mm silindirik numuneler hazırlanmıştır. Kalıplara sıkıştırılmaksızın kürek yardımıyla dökülen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp, toplam 28 gün 20±2 °C suda küre maruz bırakılmıştır. Kür periyotları sonunda, her bir beton tipi için 3'er adet numune kullanılarak basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü

deneyleri sırasıyla ASTM C39 (Anon., 2003), ASTM C496 (Anon., 2004) ve ASTM C469 (Anon., 2002b) standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülü deneyleri için Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı'ndan faydalanılmıştır.

3. DENEY BULGULARI VE TARTIŞMA

Elastisite modülü (E_c), basınç dayanımı (f_{ck}) ve yarmada çekme dayanımı (f_{ctk}) ortalama değerleri ile bunların standart sapması tüm KYB karışımları için Tablo 4’te verilmiştir.

Tablo 4. Her bir KYB karışımı için deney sonuçlarının istatistiksel olarak değerlendirilmesi.

Karışım No	İstatistik değerler	Elastisite Modülü (E_c) (GPa)	Basınç dayanımı (f_{ck}) (MPa)	Çekme dayanımı (f_{ctk}) (MPa)
KYB-UK25	Ortalama	33.42	49.39	3.309
	Standart sapma	1.74	2.44	0.334
KYB-UK30	Ortalama	32.70	45.11	3.774
	Standart sapma	1.09	2.12	0.598
KYB-UK35	Ortalama	32.59	42.56	3.702
	Standart sapma	0.83	1.54	0.377
KYB-UK40	Ortalama	32.81	45.26	3.241
	Standart sapma	1.36	1.91	0.277
KYB-SD5	Ortalama	35.23	58.04	4.358
	Standart sapma	2.10	0.56	0.564
KYB-SD10	Ortalama	35.71	62.81	4.991
	Standart sapma	1.42	0.84	0.180
KYB-SD15	Ortalama	36.54	67.95	4.867
	Standart sapma	1.14	1.72	0.356
KYB-SD20	Ortalama	36.06	66.35	4.698
	Standart sapma	1.83	1.87	0.142

3. 1. Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki

Betonun basınç ve çekme dayanımları birbiriyle yakından ilişkilidir. TS 500'de (Anon., 2000), Amerikan Beton Enstitüsü formülünde (ACI 363R-84), (Anon., 1993a) ve Iravani'nin yaptığı çalışmada (Iravani, 1996); betonun yarmada çekme dayanımının, basınç dayanımının karekökü ile doğru orantılı olduğu sırasıyla aşağıdaki formüllerde de görülmektedir:

$$f_{ctk} = 0.53\sqrt{f_{ck}} \quad (1)$$

$$f_{ctk} = 0.59\sqrt{f_{ck}} \quad (2)$$

$$f_{ctk} = 0.57\sqrt{f_{ck}} \quad (3)$$

Burada, f_{ctk} , betonun yarmada çekme dayanımı ve f_{ck} ise betonun basınç dayanımıdır.

Iravani (1996), ACI'nın verdiği bağıntının yüksek dayanımlı betonlar için de kullanılabileceğini deneysel olarak araştırmış ve 0.59 katsayısının 0.57 değerini aldığı yüksek performanslı betonlarda çekme dayanımının tahmininde kullanılabileceğini tespit etmiştir. Fakat TS 500'deki 0.35 katsayısının yüksek performanslı betonun kullanımı ile geçerliliğini yitirdiği Yüzer ve Aköz (2005) tarafından belirlenmiştir. Bu bağıntılar biraz daha geliştirilerek, Yerlici ve Ersoy (1995), Arıoğlu (1996) ve Avrupa Beton Komitesi (CEB-FIB) (Anon., 1993b) tarafından yapılan çalışmalarda sırasıyla aşağıdaki (4), (5) ve (6) bağıntıları elde edilmiştir. Bu bağıntıların $f_{ck} > 40$ MPa olan yüksek dayanımlı betonlarda çekme dayanımını gerçeğe daha yakın tahmin ettiği gözlenmektedir.

$$f_{ctk} = 0.36 \times f_{ck}^{0.62} \quad (4)$$

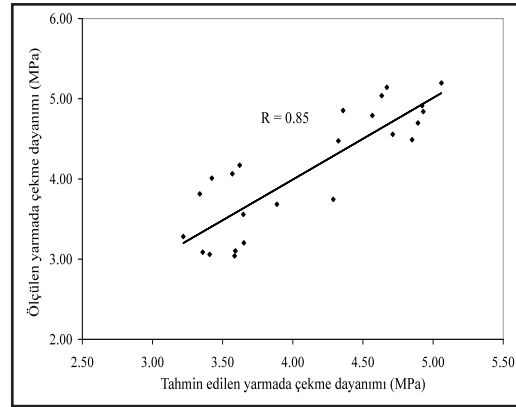
$$f_{ctk} = 0.32 \times f_{ck}^{0.66} \quad (5)$$

$$f_{ctk} = 0.30 \times f_{ck}^{0.67} \quad (6)$$

Bu çalışmada ise KYB'lar için yapılan deneylerden elde edilen basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri kullanılarak n=24 adet örnek sayısına göre bir regresyon analizi yapılmıştır. Bu analizden elde edilen basınç ve yarmada çekme dayanımı ilişkisinin yukarıda belirtilen çalışmalardaki gibi üssel olduğu aşağıdaki (7) bağıntısından görülmektedir:

$$f_{ctk} = 0.14 \times f_{ck}^{0.85} \quad (7)$$

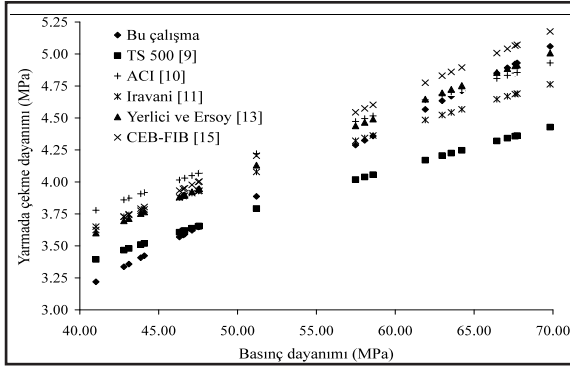
Deneylerden elde edilen ve (7) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen yarmada çekme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, Şekil 1'de verildiği gibi korelasyon katsayısının R=0.85 olduğu görülmüştür.



Şekil 1. Ölçülen ve tahmin edilen yarmada çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.

Bu çalışmada üretilen KYB karışımlarına ait numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri (7) bağıntısında yerine koyularak çekme dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Bu değerler Şekil 2'de görüldüğü gibi bu araştırmaya konu olan diğer çalışmalara ait bağıntılar kullanılarak elde edilen değerlerle karşılaştırılmıştır. Sonuçta, bu çalışmaya ait değerlerden elde edilen (7) bağıntısının, TS 500 dışındaki çalışmalara ait bağıntılar ile tahmin edilen yarmada çekme dayanımı değerlerine daha yakın

sonuçlar verdiği gözlenmiştir (Şekil 2). Çünkü yüksek performanslı betonun ($f_{ck} > 40$ MPa) kullanımı ile TS 500'deki bağıntının geçerliliğini yitirdiği Yüzer ve Aköz (2005) tarafından da tespit edilmiştir.



Şekil 2. Basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisi.

Ayrıca, Şekil 2'den de görüldüğü gibi bu çalışmaya ait (7) bağıntısından tahmin edilen çekme dayanımı değerleri, silis dumanı içeren KYB'larda, uçucu kül içeren KYB karışımlarına oranla diğer bağıntılar ile bulunan değerlere daha yakın sonuçlar vermiştir. Bu da kendiliğinden yerleşen betonlar için bu konuda bir bağıntının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

3. 2. Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Betonun elastisite modülü betonun en önemli özelliklerinden biri olup, deneysel olarak tayini diğer dayanım özelliklerine göre daha zordur. Aynı zamanda betonun elastisite modülü, betonu oluşturan çimento hamuru, agregaların rijitliği, taze betonun sıkıştırılma işlemi ve elastisite modülünün tayininde kullanılan metot ile yakından ilişkilidir. Çoğu ulusal standartlarda, elastisite modülü basınç deneylerinden elde edilen basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak tanımlanır. Fakat bu bağıntılar ülkemizde de olduğu gibi sadece mineral ve özel kimyasal katkıları içermeyen normal ağırlıktaki betonlar için verilmiştir. Oysaki günümüzde beton teknolojisinin ilerlemesiyle ortaya çıkan yüksek performanslı ve kendiliğinden yerleşen beton karışımları, mineral ve kimyasal katkıları, dikkatli olarak seçilmiş iyi granülometriye sahip agregalar ve düşük su/(çimento+mineral katkı) oranını esas almaktadır. Normal dayanımlı betonlar için TS 500'ün (Anon., 2000) önerdiği bağıntı (8) ve yüksek dayanımlı betonlar için ise ACI 363R-84 (Anon., 1993), CEB-FIB (Anon., 1993) ve NS 3473 (Anon., 1992) standartlarının önerdiği sırasıyla (9), (10) ve (11) bağıntıları aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$E_{cj} = 3.25\sqrt{f_{ckj}} + 14 \quad (\text{GPa}) \quad (8)$$

$$E_c = 3.32\sqrt{f_{ck}} + 6.9 \quad (\text{GPa}) \quad (9)$$

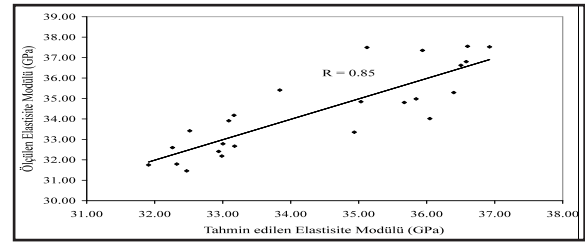
$$E_c = 10(f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (\text{GPa}) \quad (10)$$

$$E_c = 9.50 \times f_{ck}^{0.3} \quad (\text{GPa}) \quad (11)$$

Bu çalışmada ise KYB numunelerden elde edilen basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinden yararlanarak n=24 adet örnek sayısına göre bir regresyon analizi yapılmış ve basınç dayanımı -elastisite modülü ilişkisini veren aşağıdaki (12) bağıntısı bulunmuştur:

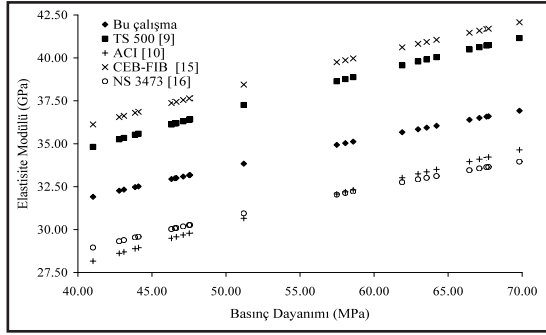
$$E_c = 2.57\sqrt{f_{ck}} + 15.5 \quad (\text{GPa}) \quad (12)$$

Deneylerden elde edilen ve (12) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen elastisite modülü değerleri karşılaştırıldığında, Şekil 3'te verildiği gibi korelasyon katsayısının R=0.85 olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Ölçülen ve tahmin edilen elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması.

Çekme dayanımının tahmininde olduğu gibi, yine burada da KYB karışımlarına ait numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri, (12) bağıntısında yerine koyularak elastisite modülü değerleri tahmin edilmiştir. Bağıntı (12) kullanılarak tahmin edilen değerler Şekil 4'de görüldüğü gibi bu araştırmaya konu olan diğer çalışmalara ait bağıntılar kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 4 göstermektedir ki, bu çalışmaya konu olan bağıntıların elastisite modülü tahminleri arasında önemli bir fark olmamakla birlikte, (9) ve (11) bağıntıları elastisite modülü değerlerini birbirine çok yakın tahmin ederken, (8) ve (10) bağıntıları da birbirine oldukça yakın tahminler vermektedir. Bunun yanında, test edilen betonlardan elde edilen veriler kullanılarak bulunan basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisine ait (12) bağıntısı bu çalışmada atfedilen standartlardaki bağıntılarla karşılaştırıldığında, 40-70 MPa arasında basınç dayanımına sahip kendiliğinden yerleşen betonların elastisite modülünün tahmininde yaklaşık %85-95 arasında değişen oranlarda yakın sonuçlar elde edildiği ve basınç dayanımının 50 MPa'dan yüksek olması durumlarında bu tahmin etme oranının ACI 363R-84 ve NS 3473 bağıntıları için arttığı görülmüştür.



Şekil 4. Basınç dayanımı- elastisite modülü ilişkisi.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, çimento yerine karışıma farklı oranlarda uçucu kül ve silis dumanı katılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton numunelerine ait basınç ve çekme dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çok sayıda KYB numunelerine ait veriden faydalanarak yapılan regresyon analizi sonucu elde edilen $f_{ctk} = 0.14 \times f_{ck}^{0.85}$ ve $E_c = 2.57 \sqrt{f_{ck}} + 15.5$ bağıntıları önceki çalışmalara ait bağıntılarla karşılaştırıldığında şu sonuçlar çıkarılabilir:

1. KYB karışım numunelerine ait basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu bulunan $f_{ctk} = 0.14 \times f_{ck}^{0.85}$

bağıntısı, TS 500 dışındaki bu çalışmaya konu olan diğer standartlara ait bağıntılarla birlikte yarmada çekme dayanımını tahmin etmede oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Böylece, özellikle mukavemet değerleri 40-70 MPa arasında değişen kendiliğinden yerleşen betonlar için basınç dayanımı-çekme dayanımı ilişkisinin ifadesinde $f_{ctk} = 0.14 \times f_{ck}^{0.85}$ bağıntısı önerilmektedir.

2. KYB numunelerinden elde edilen basınç dayanımı- elastisite modülü ilişkisine ait $E_c = 2.57 \sqrt{f_{ck}} + 15.5$ bağıntısının da bu çalışmada atfedilen standartlardaki bağıntılarla birlikte elastisite modülünü tahmin etmede çok yakın sonuçlar verdiği görülmüştür.

Dolayısıyla, $E_c = 2.57 \sqrt{f_{ck}} + 15.5$ bağıntısının basınç dayanımları 40-70 MPa arasında değişen kendiliğinden yerleşen betonların elastisite modülünü doğru tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

5. EKLER

f_{ctk} : Betonun yarmada çekme dayanımı (MPa),

f_{ck} : Betonun basınç dayanımı (MPa),

E_c : Betonun elastisite modülü (MPa),

E_{cj} : j günlük betonun elastisite modülü (MPa).

KAYNAKLAR

Akman, M. S. 1990. Yapı Malzemeleri 162 s. İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.

Anonim, 2000. TS 500. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonim, 2002a. TS EN 1097-6. Beton agregalarında özgül ağırlık ve su emme oranı tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Anonymous, 2002b. ASTM C469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.

Anonymous, 1992. NS 3473 E. Concrete Structures Design Rules. Norwegian Council for Building Standardization, Stockholm.

Anonymous, 1993a. ACI 363R-84. State of the Art Report on High-Strength Concrete. ACI Manual of Concrete Practice, Part I, American Concrete Institute, Detroit.

Anonymous, 1993b. Committee Euro-International du Beton. CEB-FIB Model Code 1990, Thomas Telford, London.

Anonymous, 2003. ASTM C39 Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

Anonymous, 2004. ASTM C496 Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimens.

Anonymous, 2005. Eurocode 2: Design of Concrete Structures-Part 1-1 General rules and rules for buildings BS EN 1992-1-1.

Arioğlu, E. 1996. Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki. Teknik Dergi. 7 (1), 1153-1157.

Domone, P.L. 2007. A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete. Cement & Concrete Composites. (29), 1-12.

EFNARC, 2005. European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification and Production and Use, Association House, UK. (www.efnarc.org).

Erdoğan, T. 2003. Beton 741 s. ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.

Iravani, S. 1996. Mechanical Properties of High-Performance Concrete. ACI Material J. 93 (5), 416-426.

Kurita, M. and Nomura, T. 1998. "Highly-flowable steel fiber-reinforced concrete containing fly ash" in: V.M. Malhotra (Ed.), **American Concrete Inst. SP 178**, June 1998, 159.

Ozawa, K., Maekawa, K., Kunishima, M. and Okamura, H. 1989. "Development of High Performance Concrete Based on the Durability Design of Concrete Structures" **The second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2)**, 1989. Chiang Mai, Thailand, 445.

Shindoh, T., Yokota, K. and Yokoi, K. 1996. "Effect of mix constituents on rheological properties of super workable concrete" In: Bartos P.J.M., Marrs D.L., Cleland D.J. (Eds.), **Proceedings of the International RILEM Conference Production Methods and Workability of Concrete**, June 3-5, 1996. Paisley, Scotland, E & FN Spon, London, 263.

Türk, K., Karataş, M. ve Ulucan, Z. C. 2006. Farklı Oranlarda F Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonun Dayanım Özellikleri. F.Ü. Fen ve Müh. Bil. Dergisi. 18 (4), 513-520.

Yazicioglu, S., Caliskan, S. and Turk K. 2006. Effect of curing conditions on the engineering properties of self-compacting concrete. Indian J. of Engineering & Materials Sciences. 13 (1), 25-29.

Yerlici, V. ve Ersoy, U. 1995. Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki. Teknik Dergi. 6 (4), 1059-1062.

Yüzer, N. ve Aköz, F. 2005. Klorür Etkisindeki Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki. Teknik Dergi. 16 (4), 3673-3681.