



ISSN:1306-3111
e-Journal of New World Sciences Academy
2009, Volume: 4, Number: 1, Article Number: 1A0001

ENGINEERING SCIENCES

Received: September 2008

Accepted: January 2009

Series : 1A

ISSN : 1308-7231

© 2009 www.newwsa.com

Mehmet Karataş

Kazım Türk

Zülfü çınar Ulucan

Ahmet Benli

University of Firat

mkaratas@firat.edu.tr

Elazig-Turkiye

**KENDİLİĞİNDEN YERLEŞEN BETONDA BASINÇ DAYANIMI İLE
ÇEKME DAYANIMI VE E-MODÜLÜ İLİŞKİLERİ**

ÖZET

Bu çalışmada, Portland çimentosu (PÇ) yerine uçucu kül (UK) ve silis dumanı (SD) gibi farklı tip ve dozajda mineral katkı içeren kendiliğinden yerleşen beton (KYB) için basınç dayanımının hem çekme dayanımı hem de elastisite modülü ile ilişkileri araştırılmıştır. KYB karışımları için çökme-yayılma, T_{500} , L-kutusu ve elek segregasyon işlenebilirlik deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her bir beton özelliği için 3 numune kullanılarak, basınç ve yarmada-çekme ve elastisite modülü deneyleri yapılmıştır. Bu deneylerden elde edilen çok sayıda veri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu bulunan basınç-çekme dayanımı ve basınç dayanımı-elastisite modülü bağıntıları literatürdeki bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, bu çalışmadan elde edilen basınç-çekme dayanımı bağıntısının yüksek dayanıma sahip kendiliğinden yerleşen ve diğer betonların çekme dayanımını ve basınç dayanımı-elastisite modülü bağıntısının ise hem normal hem de yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen ve diğer betonların da elastisite modülünü doğru tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kendiliğinden Yerleşen Beton, Yarmada Çekme Dayanımı, Basınç Dayanımı, Elastisite Modülü, Beton

**RELATIONSHIPS OF COMPRESSIVE STRENGTH WITH TENSILE STRENGTH AND
E-MODULUS IN SELF COMPACTING CONCRETE**

ABSTRACT

In this study, relationships of compressive strength with tensile strength and elastic modulus was investigated for self-compacting concrete (SCC) containing different types and dosages of mineral admixtures (fly ash (FA) and silica fume (SF)). Slump-flow, T_{500} , L-box and sieve segregation tests were achieved for SCC mixes. Compressive strength, splitting-tensile strength and elastic modulus tests were performed using a total of 3 specimens for each concrete property. The compressive-the tensile strength and the compressive strength- the elastic modulus formulas obtained from regression analysis using a numerous data were compared with the equations of previous studies. Consequently, it was found that the compressive strength-the elastic modulus formula obtained from this study has almost estimated the elastic modulus of both normal and high strength self-compacting and other concretes, whilst the compressive-the tensile strength formula has correctly estimated the tensile strength of high strength self-compacting and other concretes.

Keywords: Self-Compacting Concrete, Splitting-Tensile Strength, Compressive Strength, E-Modulus, Concrete

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Deprem bölgelerindeki çok sık donatılı yapılarda kullanmak amacıyla 1980'li yılların sonunda Japonya'da [1] 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 tanımlanır [2]. KYB'da segregasyon direncini sağlamak için 500-600 kg/m³ 0.125 mm göz açıklıklı eleğin altında kalan ince toz malzeme kullanılması gerektiği EFNARC [3] tarafından 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 puzzolantik ya da daha az reaktif mineral katkıları ilave etmektir. Mineral katkı olarak genellikle uçucu kül, silis dumanı, kireçtaşı tozu, yüksek fırın cürufu gibi malzemeler kullanılmaktadır. Betonda mineral katkıların kullanımı, maliyeti arttırmadan beton işlenebilirliğini arttırmak için faydalı olmaktadır. Çünkü KYB' da uçucu kül kullanımının, maliyet ve hidrasyona olumlu etkisi gibi avantajları bakımından %30 ve/veya %40 oranlarında kullanılmasının 28 günlük basınç mukavemetine ve hem erken hem de daha sonraki kür yaşları için çekme mukavemetine önemli katkı sağladığı görülmüştür [4, 5 ve 6].

Tasarım hesaplarında genellikle 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 birbiriyle yakından ilişkilidir. Betonun çekme dayanımı betonun yaşına ve kalitesine bağlı olarak betonun basınç dayanımının %7 si ile %17 arasında değişmektedir [7]. 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.

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 çekme dayanımının belirlenmesi için katsayılara ihtiyaç duyulur ve elde edilen sonuçlar kesinlik taşımaz [8].

2. ÇALIŞMANIN ÖNEMİ (RESEARCH SIGNIFICANCE)

Elastisite modülü, cismin elastik şekil değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir ve tüm elastik malzemelerde gerilme-şekil değiştirme arasındaki orantı sabiti olarak tanımlanır. Beton tam bir elastik malzeme olmadığından gerilme-şekil değiştirme arasındaki oran sabit değildir. İdeal olarak elastisite modülü, basınca maruz beton numunelerin, gerilme-şekil değiştirme eğrilerinin kaydedilmesinden elde edilmektedir. Ancak gerilme-şekil değiştirme 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 [9] 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 araştırılmıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA (EXPERIMENTAL PROGRAMME)

3.1. Malzemeler (Materials)

Bu çalışmada, Oyak Elazığ Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42.5 N tipi çimento 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 ayrılmış olup, karışım hesaplarında agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları sırasıyla 2.63, 2.64 ve 2.66 gr/cm³ olarak elde edilmiştir. Kullanılan uçucu kül, silis dumanı ve Portland çimentosuna ait kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. PÇ, UK ve SD için kimyasal bileşim ve fiziksel özellikler
(Table 1. Chemical analysis and physical properties of PC, FA and SF)

Muhteva	PÇ (%)	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

Numune üretiminde, 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 kullanılmıştır. Betonlara ait karışım oranları ve bu betonların işlenebilirliğiyle ilgili esas özellikler sırasıyla Tablo 2 ve 3'de verilmiştir.

Betonların üretiminde maksimum tane çapı 20 mm olan doğal çakıl ve nehir kumu (<4 mm) kullanılmıştır. Ayrıca, 660-750 mm çökme-yayılma değerini elde etmek amacıyla 1.06 gr/cm³ yoğunluğa sahip modifiye polikarboksilat esaslı bir süper akışkanlaştırıcı (SA) olan Viscocrete 3075 karışıma (çimento+uçucu kül) ve (çimento+silis dumanı) miktarının sırasıyla %1.35 ve %1.78'i oranlarında katılmıştır.

KYB karışım oranları EFNARC [3] esas alınarak ön deneyler ile tayin edilmiştir. KYB karışımı için çökme-yayılma, T₅₀₀, L-kutusu ve elek segregasyon (Şekil 1) işlenebilirlik deneylerine ait değerleri karışımlardaki su miktarları ayarlanarak elde edilmiştir. İşlenebilirlik testlerinden elde edilen değerler göstermiştir ki, KYB karışımları iyi bir doldurma ve geçme kabiliyetinin yanında, yeterli segregasyon direncine sahiptir (Tablo 3).

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

Karışım	Uçucu küllü KYB				Silis dumanlı KYB			
	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.	405	382.	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
Polikarboksilat esaslı süperakışkanlaştırıcı	6.75	6.75	6.75	6.75	8.00	8.00	8.00	8.00

^a su/bm =su/bağlayıcı malzeme (PÇ+UK veya SD) oranı

Tablo 3. Taze beton özellikleri
(Table 3. Properties of fresh mixes)

KYB deneyleri	Uçucu küllü KYB				Silis dumanlı			
	UK25	UK30	UK35	UK40	SD5	SD10	SD15	SD20
Çökme-yayılma (mm)	709	702	705	701	707	701	708	707
T ₅₀₀ (s)	2.44	2.56	3.00	2.89	2.30	1.80	1.20	1.00
L-kutusu; H ₂ /H ₁	0.910	0.943	0.953	0.959	0.865	0.876	0.888	0.890
Segregasyon (%)	18.4	15.8	15.2	14.4	15.3	17.9	19.8	22.0



(a)



(b)



(c)

Şekil 1. Kendiliğinden yerleşen beton için a) çökme-yayımla ve T_{500} b) L-kutusu c) elek segregasyon deneyleri
(Figure 1. For self compacting concrete: a) slump-flow and T_{500} b) L-box c) sieve segregation resistance tests)

3.2. Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Metot (Sample Preparation and Method)

KYB karışımlarının karıştırma işlemi, karışımda homojenliği sağlamak amacıyla öncelikle etüv kurusu durumda 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.

Deneylerde, karışıma giren agregalardan doğal kum ve çakıl oranları ile polikarboksilat esaslı süper akışkanlaştırıcı miktarı sabit, çimento yerine kullanılan uçucu kül ve silis dumanı oranları değiştirilmiştir. Karışımlar için optimum işlenebilirlik, su/bağlayıcı 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 silindir numuneler hazırlanmıştır. Kalıplara sıkıştırılmaksızın kürek yardımıyla dökülen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılıp, toplam 28 gün 20 ± 2 °C suda kür edilmiştir. Kür süresi sonunda, her bir beton tipi için 3'er adet numune kullanılarak basınç, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülü deneyleri (Şekil 2) için Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı laboratuvarından faydalanılmıştır.



Şekil 2. Elastisite modülü deneyi (Figure 2. E-Modulus test)

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF TEST RESULTS)

Elastisite modülü, basınç ve yarmada çekme dayanımı ortalama değerleri tüm KYB karışımları için Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. KYB karışımlarının deney sonuçları
(Table 4. Test results of SCC mixes)

Karışım No	Elastisite Modülü (GPa)	Basınç Dayanımı (MPa)	Yarmada çekme Dayanımı (MPa)
KYB-UK25	33.4	49.4	3.31
KYB-UK30	32.7	45.1	3.77
KYB-UK35	32.6	42.6	3.70
KYB-UK40	32.8	45.3	3.24
KYB-SD5	35.2	58.0	4.36
KYB-SD10	35.7	62.8	4.99
KYB-SD15	36.5	68.0	4.87
KYB-SD20	36.1	66.4	4.70

4.1. Basınç ve Yarmada Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki (Correlation Between Compressive Strength and Splitting Tensile Strength)

Betonun basınç ve çekme dayanımları birbiriyle yakından ilişkilidir. TS 500'de [9], Amerikan Beton Enstitüsü formülünde [10] ve Iravani'nin yaptığı çalışmada [11]; 28 günlük beton için 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, 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 [11]. Fakat TS 500'deki 0.53 katsayısının yüksek performanslı betonun kullanımı ile geçerliliğini yitirdiği Yüzer ve Aköz [12] tarafından belirlenmiştir. Bu bağıntılar biraz daha geliştirilerek, Yerlici ve Ersoy [13], Arıoğlu [14] ve Avrupa Beton Komitesi (CEB-FIB) [15] 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.

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

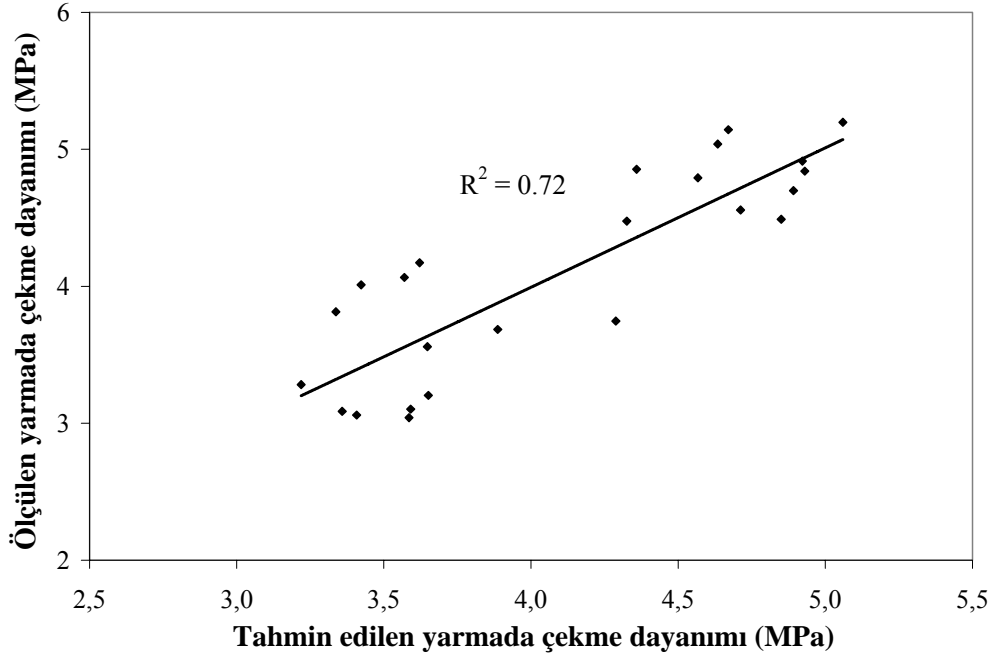
$$f_{ctk} = 0.321 \times f_{ck}^{0.661} \quad (5)$$

$$f_{ctk} = 0.301 \times f_{ck}^{0.67} \quad (6)$$

Bu çalışmada ise yüksek dayanıma sahip KYB' lar için yapılan deneylerden elde edilen basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri kullanılarak bir regresyon analizi yapılmış; basınç ve yarmada çekme dayanımı ilişkisinin yukarıda belirtilen çalışmalardaki gibi üssel olduğu aşağıdaki (7) bağıntısı elde edilmiştir:

$$f_{ctk} = 0.137 \times f_{ck}^{0.85} \quad (7)$$

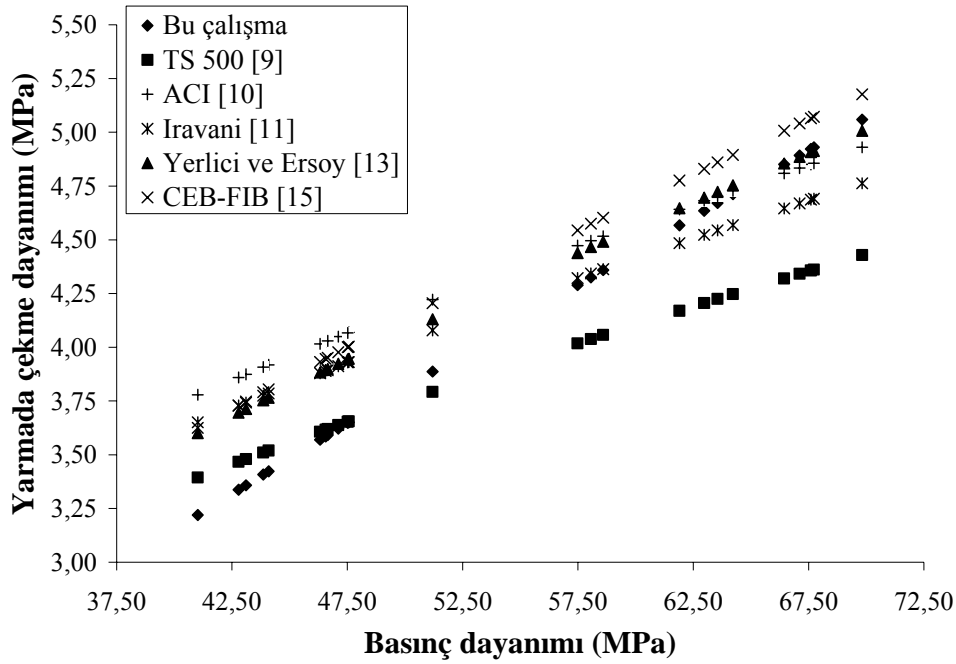
Deneylerden elde edilen ve (7) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen yarmada çekme dayanımı değerleri karşılaştırıldığında, Şekil 3'te verildiği gibi belirlilik katsayısının $R^2=0.72$ olduğu görülmüştür.



Şekil 3. Ölçülen ve tahmin edilen yarmada çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması

(Figure 3. Comparison of measured and predicted splitting tensile strength values)

Bu çalışmada üretilen KYB karışımlarına ait numunelerden elde edilen basınç dayanımı değerleri (7) bağıntısında yerine koyularak çekme dayanımı değerleri tahmin edilmiştir. Bu değerler Şekil 4'te 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 4). Daha önce belirtildiği gibi yüksek performanslı betonun ($f_{ck} > 40$ MPa) kullanımı ile TS 500'deki bağıntının geçerliliğini yitirdiği Yüzer ve Aköz [12] tarafından da tespit edilmiştir. Ayrıca, Şekil 4'ten 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 yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen ve diğer betonlar için bir bağıntının gerekliliğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. Basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisi
(Figure 4. Correlation between compressive strength and splitting tensile strength)

4.2. Basınç Dayanımı ve Elastisite Modülü Arasındaki İlişki (Correlation Between Compressive Strength and E-Modulus)

Betonun elastisite modülü, betonun en önemli özelliklerinden biri olup, Şekil 2' den de görüldüğü gibi 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 [9] önerdiği bağıntı (8) ve yüksek dayanımlı betonlar için ise ACI 363R-84 [10], CEB-FIB 90 [15] ve NS 3473 [16] standartlarının önerdiği sırasıyla (9), (10) ve (11) bağıntıları aşağıdaki gibi verilmiştir:

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

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

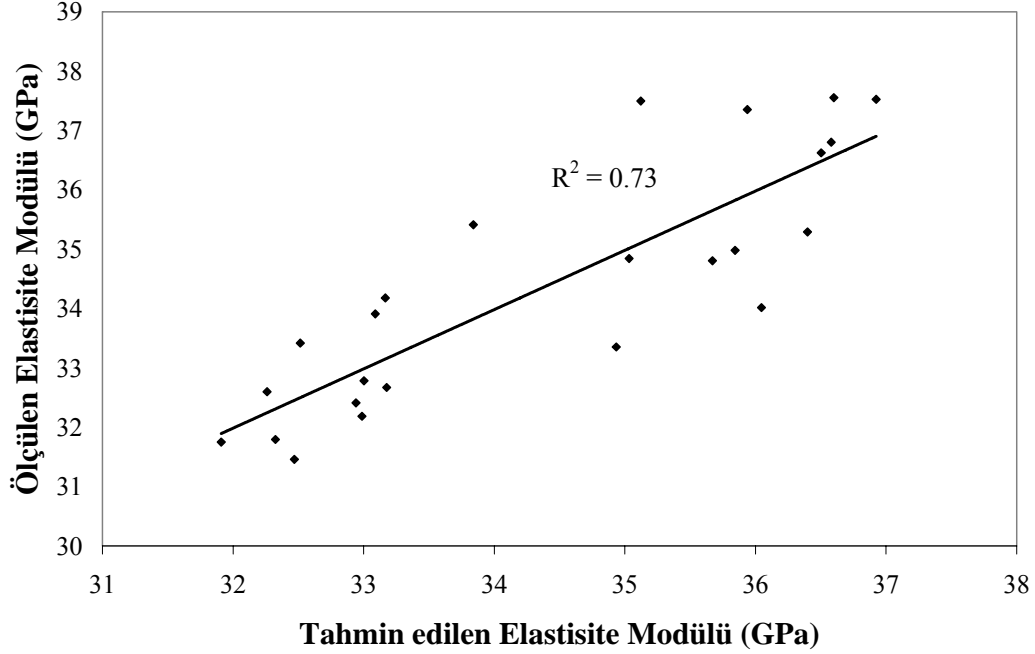
$$E_c = 10(f_{ck} + 8)^{1/3} \quad (\text{GPa}) \quad (10)$$

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

Bu çalışmada ise yüksek dayanıma sahip KYB numunelerden elde edilen basınç dayanımı ve elastisite modülü değerlerinden yararlanarak bir regresyon analizi yapılmış ve basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisini veren aşağıdaki (12) bağıntısı bulunmuştur:

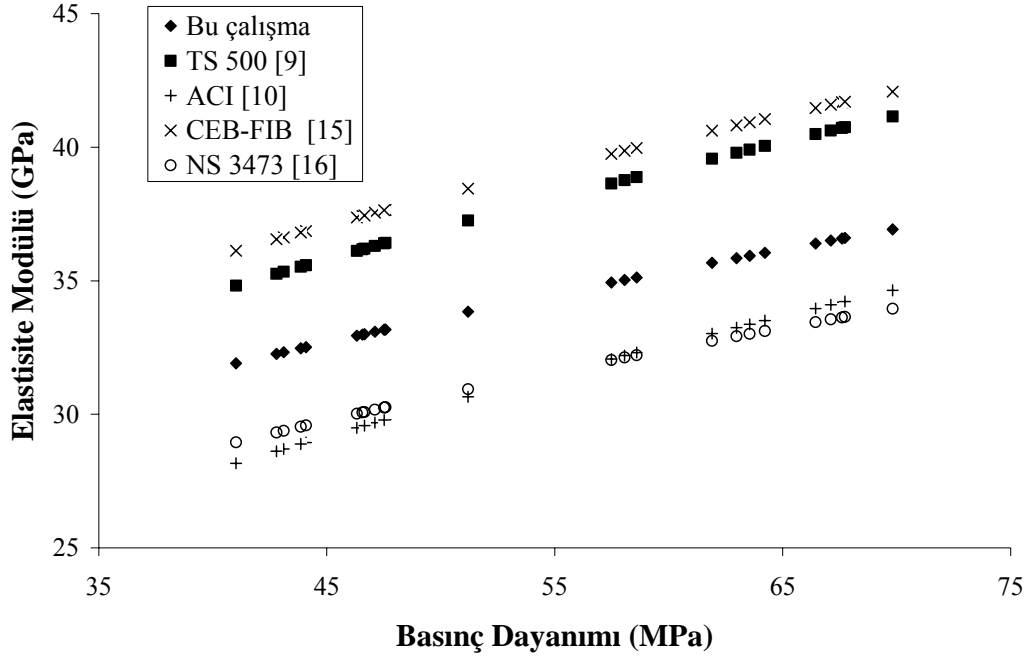
$$E_c = 2.57\sqrt{f_{ck}} + 15.45 \quad (\text{GPa}) \quad (12)$$

Deneylerden elde edilen ve (12) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen elastisite modülü değerleri karşılaştırıldığında, Şekil 5'te verildiği gibi belirlilik katsayısının $R^2=0.73$ olduğu görülmüştür.



Şekil 5. Ölçülen ve tahmin edilen elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması
(Figure 5. Comparison of measured and predicted E-Modulus values)

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 6'da görüldüğü gibi bu araştırmaya konu olan diğer çalışmalara ait bağıntılar kullanılarak elde edilen elastisite modülü değerleriyle karşılaştırılmıştır. Şekil 6 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, KYB numunelerinden elde edilen basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisine ait (12) bağıntısı bu çalışmada atfedilen standartlardaki bağıntılarla karşılaştırıldığında, elastisite modülünün tahmininde hemen hemen aynı sonuçlar vermiştir. Buradan KYB için bulunan bağıntı (12)'nin yüksek dayanımlı betonlarda elastisite modülünü doğru tahmin etmekte kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



Şekil 6. Basınç dayanımı- elastisite modülü ilişkisi
(Figure 6. Correlation between compressive strength and E-Modulus)

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada, çimento yerine karışıma farklı oranlarda uçucu kül ve silis dumanı katılarak elde edilen kendiliğinden yerleşen beton numunelerine ait basınç dayanımının çekme dayanımı ve elastisite modülü ile ilişkileri incelenmiştir. Çok sayıda KYB numunelerine ait veriden faydalanarak yapılan regresyon analizi sonucu elde edilen (7) ve (12) bağıntıları önceki çalışmalara ait bağıntılarla karşılaştırıldığında aşağıdaki sonuçlara varılabilir:

- KYB karışım numunelerine ait basınç ve yarıda çekme dayanımı değerleri kullanılarak yapılan regresyon analizi sonucu bulunan (7) bağıntısı, TS 500 dışındaki bu çalışmaya konu olan diğer standartlara ait bağıntılarla birlikte yarıda çekme dayanımını tahmin etmede oldukça yakın sonuçlar vermiştir. Böylece, özellikle yüksek mukavemete ($f_{ck} > 40$ MPa) sahip kendiliğinden yerleşen ve diğer betonlar için basınç-çekme dayanımı ilişkisinin ifadesinde (7) bağıntısı önerilmektedir.
- KYB numunelerinden elde edilen basınç dayanımı-elastisite modülü ilişkisine ait (12) bağıntısının bu çalışmada atfedilen standartlardaki bağıntılarla birlikte elastisite modülünü tahmin etmede hemen hemen aynı sonuçlar verdiği görülmüştür. Dolayısıyla, bu çalışmada elde edilen (12) bağıntısının yüksek dayanımlı kendiliğinden yerleşen ve diğer betonların elastisite modülünü doğru tahmin etmede kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.



SEMBOLLER (SYMBOLS)

f_{ctk} : Betonun yarmada çekme dayanımı

f_{ck} : Betonun basınç dayanımı

E_c : Betonun elastisite modülü

E_{cj} : j günlük betonun elastisite modülü

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. 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), Proceedings book, Chiang Mai, Thailand, pp:445-450.
2. 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, Paisley, Scotland, June 3-5, 1996, E & FN Spon, London, pp. 263-270,.
3. EFNARC, European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification and Production and Use, Association House, UK, 2005. (www.efnarc.org).
4. Kurita, M. and Nomura, T., (1998). Highly-flowable steel fiber-reinforced concrete containing fly ash, in: V.M. Malhotra (Ed.), Am. Concr. Inst. SP 178, pp:159-175.
5. Turk, K., Karataş, M. ve Ulucan Z.C., (2006). Farklı Oranlarda F Sınıfı Uçucu Kül İçeren Kendiliğinden Sıkışan Betonun Dayanım Özellikleri", Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Cilt 18, Sayı 4, ss:513-520.
6. Turk, K., Karataş, M. ve Ulucan Z.C., (2008). Farklı Oranlarda Silis Dumanı İkameli Kendiliğinden Sıkışan Betonun Mühendislik Özellikleri", Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi, Cilt 20, Sayı 1, ss:165-174.
7. Erdoğan, T., (2003). Beton, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara, ss:741.
8. Akman, M.S., (2000). Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul.
9. TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
10. ACI 363R-84, (1993). State of the Art Report on High-Strength Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part I, American Concrete Institute, Detroit.
11. İravani, S., (2005). Mechanical Properties of High-Performance Concrete", ACI Material Journal, Vol. 93, No. 5, pp. 416-426, 1996.
12. Yüzer N. ve Aköz F., (?). Klorür Etkisindeki Betonun Basınç ve Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki, Teknik Dergi, Cilt:16, Sayı:4, ss:3673-3681.
13. Yerlici, V. ve Ersoy, U., (1995). Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki, Teknik Dergi, Cilt:6, No:4, 1059-1062.
14. Arıoğlu, E., (1996). Betonun Çekme ve Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki", Teknik Dergi, Cilt 7, No. 1, ss:1153-1157.
15. Committee Euro-International du Beton (CEB-FIB), (1993). CEB-FIB Model Code 1990, Thomas Telford, London,.
16. Norwegian Council for Building Standardization, (1992). Concrete Structures Design Rules, NS 3473 E Stockholm.