

İRİ AGREGA BASINÇ DAYANIMININ BETON ELASTİK MODÜLÜNE ETKİSİ

INFLUENCE OF COARSE AGGREGATE COMPRESSIVE STRENGTH ON ELASTIC MODULUS OF CONCRETE

Nihal ARIOĞLU* Ergin ARIOĞLU**

ÖZET

Bu çalışmada; iri agreganın basınç dayanımının betonun elastik modülü üzerindeki etkisi çeşitli ampirik yaklaşımlar yardımıyla incelenmiştir. Ayrıca, tebliğde rapor edilen bağıntıların daha iyi anlaşılmasını sağlamak amacıyla ayrıntılı bir sayısal örnek sunulmuştur.

ABSTRACT

In this study, the effect of coarse aggregate compressive strength on the elastic modulus of concrete was discussed by means of several approaches proposed in concrete literature . Additionally, in order to illustrate applications of expressions given in this paper a detailed numerical example was presented.

* İTÜ Mimarlık Fakültesi

** İTÜ Maden Fakültesi

1. GİRİŞ

Hazır beton teknolojisinde son 20-25 yıllık gelişim trendi incelendiğinde hem sektörde üretilen beton hacminin hem de beton sınıf dayanımlarının sürekli şekilde arttığı gözlenmektedir. Bir sayısal büyüklük vermek gerekirse 1992 yılı itibarıyla fert başına üretilen hazır beton hacmi endüstrileşmiş ülkelerin çoğunda 1 m³ fert'in üzerindedir. Örneğin anılan değer Japonya'da 1.5 nr³ fert, İsviçre'de 1.57 nr³ fert, İtalya'da 1.23 nr³ fert, İsrail'de 1.10 nr³ fert, Avusturya'da 0.90 nr³ fert ve Yunanistan'da 1.15 nr³ fert düzeylerindedir (Takemaya, 1996). Beton sınıf dayanımları açısından bakıldığında da bir çok ülkede üretilen betonların proje dayanım aralığı, örneğin Birleşik Krallık'ta (7-60) MPa, Almanya'da (5-55) MPa -15 cm küp dayanımı- mertebelerinde bulunmaktadır. Beton sınıf dayanımlarının geçmiş dönemlere kıyasla artmasının belli başlı iki temel nedeni vardır

- Özellikle düşey taşıyıcı elemanlarda birim gerilmeyi daha az malzeme maliyeti ile taşımak ve düşey taşıyıcı elemanların geometrik boyutunu elverdiği ölçüde azaltmak yoluyla yapı alanında faydalı alanların yaratılması.

- Dayanıklılık açısından bakıldığında, klasik beton üretim anlayışıyla üretilmiş betonların en zayıf zonu çimento hamuru ile iri agregası arasındaki geçiş bölgesidir. Bugünün üretim anlayışında betonun dayanım büyüklüğü yansın betonun uzun zaman boyutu içinde dış ajanslara karşı gösterdiği "dayanıklılık performansı" da yaşamsal önem taşımaktadır. Karşıma uçucu kül, silika füme gibi mineral katkıları koyularak güçlendirilen ve çok iyi kur edilen beton karışımları her türlü endüstriyel "dayanıklılık" isteğini rahatlıkla yerine getirmektedir. Kısaca, hem dayanımlı hem dayanıklı beton kullanımı, devasa boyutlu alt yapı yatırımlarını uzun dönem içinde daha ekonomik olmasını temin edecektir.

Bugünün hazır beton teknolojisinde, beton karışımının hacimsel olarak %60-80'ini oluşturan agreganın seçimi aşağıda belirtilen hususlardan dolayı özel bir önemi vardır.

- Özellikle sınıf dayanımı çok yüksek betonlarda istenen dayanım düzeyinin gerçekleştirilmesinde su/çimento oranının azaltılması, yüksek anma dayanımlı çimento kullanımı, agreganın bilinen özelliklerinin (maksimum agregası boyutu, sürekli granulometrik bileşimi, künyasal aderans özelliği vb.) yan sıra karışımda kullanılacak iri agreganın basınç

dayanımının yüksek olması gerekmektedir (Anoglu ve Köylüoğlu, 1996a, Özturan ve Çeçen, 1997, Anoglu, 1998).

- Yapısal stabilitenin önem taşıdığı durumlarda, betonun elastik modülünün büyük olması gerekir. İstenen elastik modül değeri ise karışımda kullanılacak agreganın elastik modülünün yüksek seçimi ile en ekonomik şekilde gerçekleştirilebilir (Anođtu, 1992, Gutierrez ve Canovas, 1995; Anoglu ve Köylüoğlu 1997 a, 1997 b, Tokyay, 1998).

- Betonun dayanıklılığını belirli ölçüde denetleyen büzölme çatlaklarının oluşumu elastik modülü yüksek agrega kullanımı ile verilen kür koşulları (nem, sıcaklık) için en aza indirilebilir (Alexander, 1996).

Bu tebliğde, İri agrega basınç dayanımının beton elastik modülüne etkisi amprik yaklaşımlar yardımıyla belirli bir ayrıntı içinde incelenmiştir. Ayrıca, çalışmada belirtilen bağıntıların daha iyi anlaşılmasının sağlamak amacıyla ayrıntılı bir sayısal örnek sunulmuştur.

2. BETON LİTERATÜRÜNDE İRİ AGREGANIN MEKANİK BÜYÜKLÜĞÜNÜ GÖZETEN ELASTİK MODÜL BAĞINTILARININ GÖZDEN GEÇİRİLMESİ

Beton literatürü incelenen konu yönünden incelendiğinde, betonun elastik modülünün beton basınç dayanımını "/" ve birim ağırlığını " y " dikkate alan amprik bağıntılar yardımıyla hesaplandığı anlaşılmaktadır. Bu ifadelerin en yaygın olardan Çizelge-1'de açıklamaları ile birlikte gösterilmiştir. Çizelgede yer alan bağıntılar (Aitcin,1998 ve Nilsen 1992) kaynaklarından derlenmiştir. Bu bağıntılar yalandan incelendiğinde agreganın özelliklerinin doğrudan doğruya alınmadığı hemen farkedilmektedir. Ancak (Popovics,1998) kaynağında rapor edilen ve çok özel koşullar için geçerli olan amprik bağıntılar göz önünde tutulduğunda beton birim ağırlığının kullanılan agreganın spesifik ağırlığı emsinden ifade edilebileceği anlaşılmaktadır.

- Nihai birim ağırlık

$$\gamma = \gamma_p - 160 \text{ kg/m}^3$$

- Plastik (taze kaşun) birim ağırlık

$$\gamma_p \approx G_a (720 - 10V_h) + 530 \quad (\Delta = 100 \text{ mm çökme için})$$

- Agregas karışımının spesifik ağırlığı

$$G_a = \frac{G_{a,j} \cdot G_{a,k}}{a G_{a,k} + (1-a)G_{a,j}}$$

$G_{a,j}$ = İnce agregamn spesifik ağırlığı

$G_{a,k}$ = Kaba (iri) agregamn spesifik ağırlığı

a = Toplam agregas karışımı (iri + ince) içindeki iri agregas oram

V_h = Hava içeriğı, %

Bir sayısal örnek verilirse, iri agregas kalker, ince agregas kum, iri agregamn kullanım oram %60, $G_{a,j} = 2.65$, $G_{a,k} = 2.7$ olsun Hava içeriğı $V_h = \%2$ için yukarda belirtilen amprık bağıntılar yardımıyla

$$G_a = \frac{2.65 \times 2.7}{0.6 \times 2.7 + 0.4 \times 2.65} = 2.669$$

$$\gamma_p = 2.669 (720 - 10 \times 2) + 530 = 2398 \text{ kg / m}^3$$

$$\gamma \approx 2398 - 160 \approx 2238 \text{ kg / m}^3$$

değeri hesaplanır. İri agregas türünün değıştirilmesi durumunda beton birim ağırlığının değışimini araştırılm. Örneğın $G_{a,j} = 3.0$ olsun. Diğers karışım büyüklükleri aynı olduğunu kabul edelim. Aynı bağıntılardan betonun birim ağırlığı

$$\gamma = 2316 \text{ kg / m}^3$$

kestirilebilir. Anlaşılacağı üzere, agregas türünün değışimi durumunda betonun birim ağırlığında değışim sayısal yönden anlamlı olmamaktadır. Kısaca, $E = f(\gamma, f')$ modunda

rapor edilen bağıntıların iri agreganın fiziksel büyüklüklerini dolayısıyla mekanik büyüklüklerini dikkate almadığı ifade edilebilir

Çizelge-1 Çeşitli beton elastik modül = / (basınç dayanımı) amprik bağıntıları

Bağıntı	Açıklamalar
<ul style="list-style-type: none"> ACI Committee-363 $E = (332f'^{0.5} + 69) \frac{Y}{2346} \quad (D)$ $\gamma \approx 2350 \text{ kg/m}^3$ $E = 332(f')^{0.5} + 69 \quad (2)$	<p>E = Elastik modül, GPa / ' = Basınç dayanımı -0 150 x 300 mm silindir numune- MPa Y = Betonun bınm ağırlığı, kg/m¹</p> <p>Normal ağırlıklı betonlar için kullanışlı 21 MPa < / ' < 83 MPa</p>
<ul style="list-style-type: none"> Norveç normu (NS3473)-1992 $E = 95 f'^{0.3} \left(\frac{Y}{2400} \right)^{1.5} \quad (3)$	<p>E [GPa], / [MPa], y [kg/m³] / ' < 105 MPa</p>
<ul style="list-style-type: none"> CAN A-23 3-M 90 Kanada normu $E = 5 f'^{0.5} \quad (4)$	<p>E [GPa], / [MPa]</p>

Çok İlginçtir ki beton literatüründe beton elastik modülünü agreganın elastik modulu ve beton basınç dayanımı ile ifade eden

$$E_{28} = C_0 + A f_{k,28} \quad (5)$$

bağınüsü (Teychenne, Parrot ve Pomeroy,1978) ingiliz literatürü dışında pek ilgi uyandırmamıştır Anoğlu, 1992 kaynağında E =f(C₀,f) ifadesi daha genelleştirilerek,

$$E_{28} = 0.7075 E_a^{0.838} + 0.2 f_{k,28} \quad (6)$$

şeklinde yazılmıştır

Burada;

$E_{28} = 2S$ günlük betonun elastik modülü

$C_0 =$ Kullanılan iri agreganın elastik modülü ile ilintili faktör (GPa) Değeri

$C_D = 07075 E^{0.838}$ regresyonundan hesaplanır. $10 \text{ GPa} < E_a < 80 \text{ GPa}$

korelasyon katsayısı $r = 0.954$ (Agrega tüm çakıl, granit, bazalt, mermer, kuvarsit, kumtaşı, kireçtaşı)

$E_a =$ İri agreganın elastik modülü, GPa

$A =$ Katsayı. Beton kullanımında yaygın şekilde kullanılan iri agreganın türleri için

$A = 0.2$ kabul edilmektedir

$f_{IL28} =$ 28 günlük beton basınç dayanımı, MPa -15 cm küp numune- Küp dayanımı

ile silindir dayanımı arasındaki geçerli bağıntılar (Anoğlu, Anoğlu, N. ve Girgin, 1999) kaynağında ayrıntılı şekilde rapor edilmiştir.

Her hangi bir kur süresi için betonun elastik modülü isteniyorsa, Teychenne ve Parrot, 1978 kaynağında belirtilen bağıntılardan hareketle (6) bağıntısı daha genel şekilde ifade edilebilir'

$$E_t = E_{28} \left[0.4 + 0.6 \frac{f_t}{f_{L28}} \right] \quad (7)$$

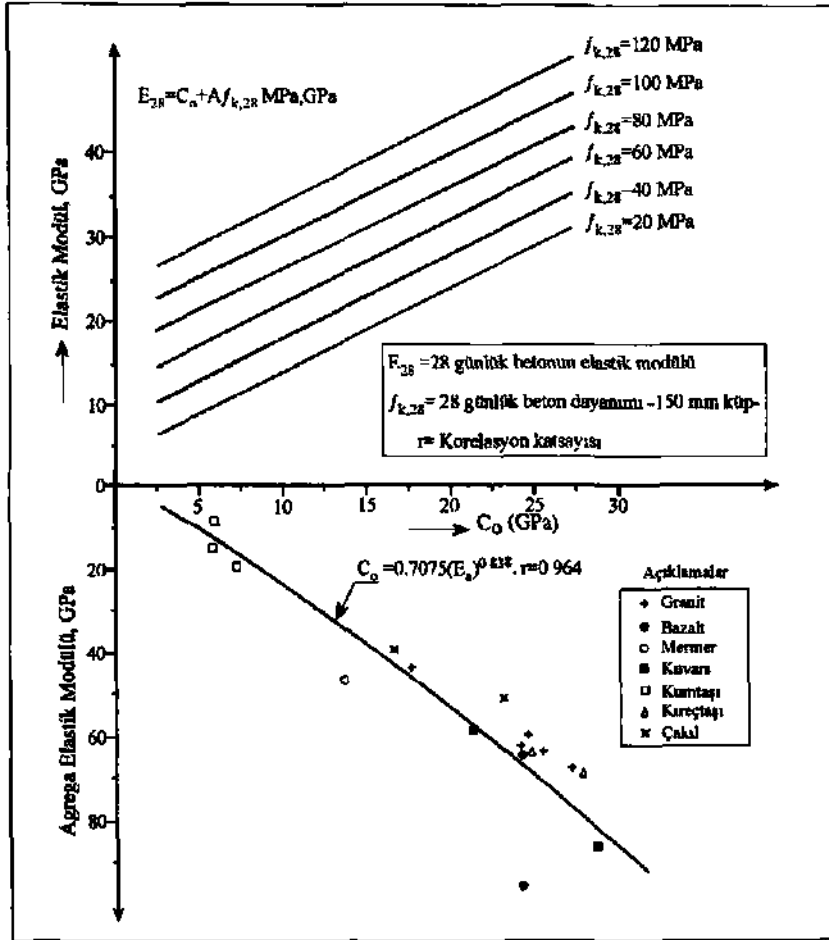
Burada; $E_t = (t)$ (gün) kür süresindeki beton elastik modülü, GPa, $f_t = (t)$ (gün) kür süresindeki beton basınç dayanımı, MPa -15 cm küp numune-

Yukarıda belirtilen bağıntılar yalından incelendiğinde şu pratik sonuçlar üretilebilmektedir:

• Betonun elastik modülü hassas bir şekilde kullanılan iri agreganın türüne, dolayısıyla agreganın elastik modülüne yakından bağlıdır

9- Karışımda kullanılacak iri agreganın türünü değiştirmek suretiyle aynı beton basınç dayanımında betonun elastik modülünü Önemli ölçülerde değiştirmek mümkündür (Şekil 1,

Anoğlu, 1992). Örneğin beton basınç dayanımı $f_{k,28} = 40$ MPa için agregamın elastik modülü $E_a = 20$ GPa'dan 70 GPa'ya çıkartılması durumunda, beton elastik modülü yaklaşık $E_{28} = 14$ GPa'dan $E_{28} = 30$ GPa'ya yükseltilebilir. Başka bir deyişle, stabilite problemi hassas olan projelere iri agregamın elastik modülünü yükseltmek -daha yüksek basınç dayanımın agregam kullanılması- yoluyla önemli ölçüde çözüm getirilebilir.



Şekil 1. 28 günlük beton elastik modülü beton basınç dayanımı ve iri agregamın elastik modülü ile değişimleri.

(6) ifadesi aşağıdaki regresyon bağıntıları (Anoglu,1995) göz önünde tutularak daha da kullanışlı hale getirilebilir

$$E_a = m(\sigma_{b,lab})^n \quad (r=0.804) \quad (8a)$$

$$E_a = m'(\gamma_a \sigma_{b,lab})^{n'} \quad (r=0.883) \quad (8b)$$

$m = 0.41$, $n = 0.93$ ve $m' = 0.20$, $n' = 0.91$ 467 adet deneysel veri, $10 \text{ MPa} < a_{b,lab} < 450 \text{ MPa}$, $1.41 \text{ gr/cm}^3 < \gamma < 3.36 \text{ gr/cm}^3$. E_a = Agreganın elastik modülü, GPa, $CT_{b,lab}$ =Agreganın laboratuvar tek eksenli basınç dayanımı, MPa Y_a = Agreganın yoğunluğu, gr/cm^3

Eğer agreganın litolojisi belli ise (8a) ve (8b) formundaki regresyon bağıntılarına ait büyüklükler Çizelge-2'den alınabilir.

Çizelge-2 Agregalıtolojisine göre (8a) ve (8b) regresyon bağıntılarına ait büyüklükler

Agrega Litolojisi	m	n	T	m'	n'	r
Kireçtaşı (60 deneysel data)	0.88	0.82	0.861	0.71	0.72	0.905
Kumtaşı (63 data)	0.20	1.01	0.760	0.14	0.92	0.802
Bazalt (26 data)	4.89	0.47	0.629	3.19	0.46	0.713
Granit (56 data)	1.38	0.68	0.655	0.74	0.67	0.671

Baalbalö 1997 (Aitcin, 1998) kaynağında (6) ifadesi

$$E = -52 + 41.6 \log E_a + 0.2 /' \quad (9)$$

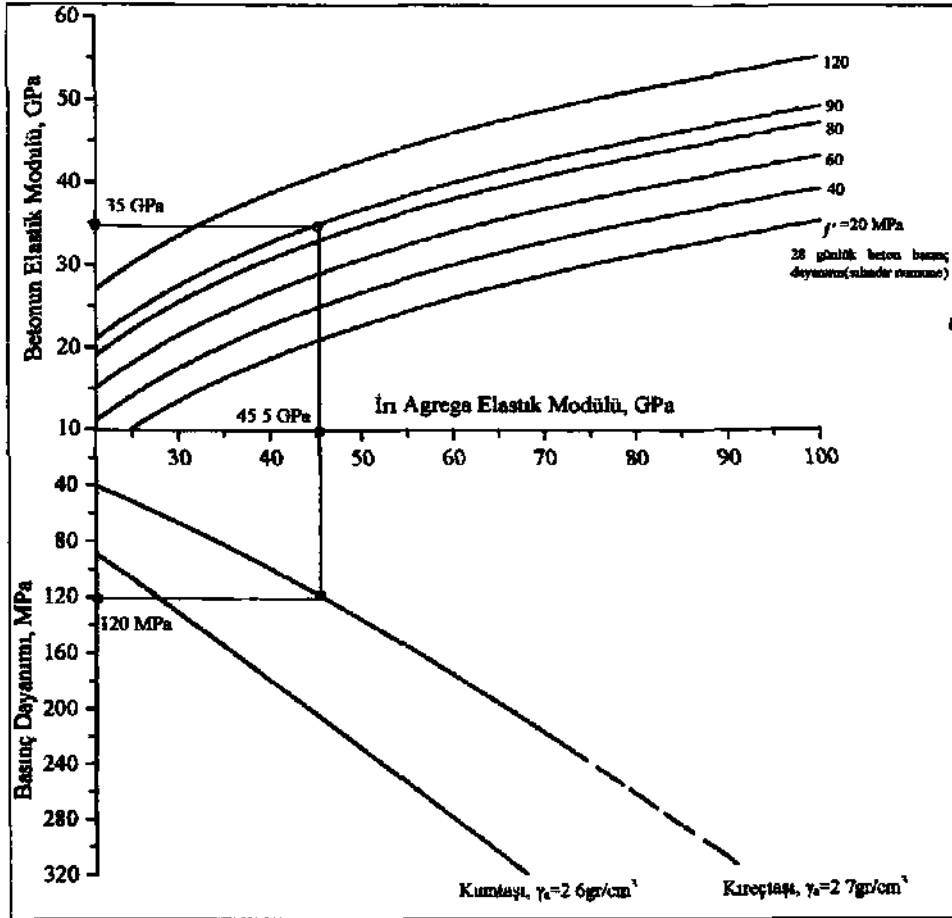
şeklinde geliştirilmiştir.

E = Betonun elastik modülü, GPa

E_a = İri agreganın elastik modülü, GPa ($20 \text{ GPa} < E_a < 100 \text{ GPa}$)

f' = Betonun basınç dayanımı, MPa (0 150 x 300 mm silindir numune)
(20MPa < f' < 120MPa)

Şekil 2, Baalbaki 1997 $E = f'(E_a, f')$ bağıntısının Anoglu'nun 1995 $E_b = m'(y_{0, a_{bi}} f_{lb})^n$ fâdeleri üe birlikte butunleştilmiş şekli nomogram düzeninde gösterilmiştir



Şekil 2 Beton elastik modülünün beton basınç dayanımı- iri agrega elastik modülü- agreganın basınç dayanımı cinsinden değişimleri (Örnek, kireçtaşı $\sigma_{b,j,a,b} = 120 \text{ MPa}$, $f' = 90 \text{ MPa}$ için 28 günlük betonun elastik modülü 35 GPa olarak bulunur)

Görüldüğü gibi betonun elastik modülü verilen beton basına için iri agreganın mekanik büyüklüklerinin bir fonksiyonudur. Verilen bir beton dayanımında artan agrega basınç dayanımıyla betonun elastik modülü artmaktadır. Kısaca stabilite probleminin öne çıktığı proje şartlarında sadece iri agreganın basınç dayanımını arttırmak yolu ile betonunu elastik modülünü yükseltmek mümkündür.

3. SAYISAL ÖRNEK

Bir yüksek dayanım projesinde iri agrega olarak kireçtaşı kullanılmıştır. Agrega ile ilgili teknik bilgiler şöyledir (ortalama değerler):

$$\sigma_{b,lab} = 115 \text{ MPa}$$

$$\gamma_a = 2.79$$

28 günlük ve 91 günlük beton basınç dayanımları sırasıyla $f'_{28} = 98 \text{ MPa}$ ve $f'_{91} = 106 \text{ MPa}$, çimento harcının 28 günlük elastik modülü ise $E_b = 36 \text{ GPa}$ olarak belirlenmiştir. (Deneysel datalar "işlenmemiş veri" olarak Baalbaki ve arkadaşları, 1991 kaynağından alınmıştır). Betonun 28 ve 91 günlük elastik modülünü çeşitli yaklaşımlar yardımıyla hesaplayınız. Aynı kaynaktan ölçülen beton elastik modülleri $E_{28} = 40 \text{ GPa}$ ve $E_{91} = 44 \text{ GPa}$ olduğu rapor edilmektedir. Kestirilen değerleri deneysel değerlerle karşılaştırınız

ÇÖZÜM

- Beton basınç dayanımından hareketle elastik modülün hesaplanması:

Çizelge-1'deki ampirik bağıntıların sonuçları aşağıdaki çizelgede topluca verilmiştir.

Kaynak	Beton elastik modülü
• ACI	$E = 3.32 \times (98)^{0.5} + 6.9 = 39.76 \text{ GPa}$
• Norveç kodu	$E = 9.5 \times (98)^{0.3} = 37.59 \text{ GPa}$
• Kanada kodu	$E = 5 (98)^{0.5} = 49.49 \text{ GPa}$

Dikkat edileceği üzere 3 farklı kaynaktan kestirilen elastik modül değerleri -ACI'nın dışında kalanlar- ölçülen $E_{28} = 40 \text{ GPa}$ değerinden oldukça farklıdır.

- iri agreganın basınç dayanım değerinden hareketle betonun elastik modülünün kestirilmesi

$$E_b = 0.71 \left[\gamma_a \sigma_{b,lab} \right]^{0.72} = 0.71 [2.79 \times 115]^{0.72} = 45.26 \text{ GPa}$$

$$C_o = 0.7075 E_a^{0.838} = 0.7075 \times (45.36)^{0.838} = 17.26 \text{ GPa}$$

$$E_{28} = C_o + 0.2 f_{k,28}$$

$$f_{k,28} = 0.949 f' + 11.105 = 0.949 \times 98 + 11.105 = 104.10 \text{ MPa} \text{ -150mmküp-}$$

$$\text{(Anoğlu, Koylođlu,1996 b)} \quad 45 \text{ MPa} < f_k < 125 \text{ MPa}$$

$$E_{28} = 17.26 + 0.2 \times 104.10 = 38.08 \text{ GPa}$$

Dikkat çekicidir ki agreganın mekanik büyüklüklerinin kullanıldığı yaklaşımın sonucu gerçek elastik modül değerinden sadece

$$\Delta = \left| \frac{38.08 - 40}{40} \right| \times 100 = \% 4.8$$

mertebesinde sapmaktadır Örneğin Norveç standartlarındaki bağıntının sonucu % 6 düzeyinde bir sapma göstermektedir. 91 günlük betona ait elastik modül

$$E_{91} = E_{28} \left[0.4 + 0.6 \frac{f_{91}}{f_{28}} \right] = 38.08 \left[0.4 + 0.6 \times \frac{106}{98} \right] = 39.94 \text{ GPa}$$

olarak hesaplanır E_{28} yerine ölçülen değer yukardaki ifadede dikkate alındığında,

$$E_{91} = 40 \left[0.4 + 0.6 \times \frac{106}{98} \right] \cong 41.96 \text{ GPa}$$

hesaplanır ki sapmanın miktar % 4.6 civarındadır

Baajbakı yaklaşımı (9 bağıntı) kullanılırsa, betonun elastik modülü

$$E_{28} = -52 + 416 \log E_a + 0.2 f'_{28} = -52 + 416 \log 45.26 + 0.2 \times 98 = 36.47 \text{ GPa}$$

Elde edilen sonuç, deneysel venden %8 8 düzeyinde sapmaktadır

• Koraport malzeme olarak betonunu elastik modülünün yan teonk bağıntılar yardımıyla hesaplanması (Tighiouart ve arkadaşları, 1994)

o Voigt modeli $E_{28} = E_h V_h + E_a V_a = 36 \times 0.4 + 45.26 \times 0.6$

$$E_{28} = 41.55 \text{ GPa}$$

o Reuss modeli $\frac{1}{E_{28}} = \frac{V_h}{E_h} + \frac{V_a}{E_a} = \frac{0.4}{36} + \frac{0.6}{45.26} = 0.0242$

$$E_{28} = 41.22 \text{ GPa}$$

o Popovics modeli $E_{28} = \frac{1}{2} [E_{\text{voigt}} + E_{\text{reuss}}] = \frac{1}{2} [41.55 + 41.22]$

$$= 41.385 \text{ GPa}$$

o Bache ve Nepper - Chnstensen modeli $E_{28} = E_h^{V_h} E_a^{V_a} = (36)^{0.4} \times (45.26)^{0.6} = 41.29 \text{ GPa}$

Kompozit malzeme kabulü ile hesaplanan beton elastik modül değerlen deneysel değerden ($E_{28} = 40 \text{ GPa}$) yaklaşık olarak % 3 civarında bir sapma göstermektedir

E_h =Harçın (çimento + ince agreg) elasük modülü, GPa, E_a = ince agreganın elastik modülü, V_h, V_a = sırasıyla beton kaşınundakı harç ve agreg a fazının hacimsel oranları ($V_h + V_a = 1.0$)

(•) Kueçtaanın Ölçülen ortalama elasük modfla 49GPa'dır Ba değer kabul edildiğinde, betonun 28 gönlük elasük modülü $E_a=37.91 \text{ GPa}$ olarak bulunur ölçülen elasük modül değerinden %5.2'lık bir sapma göstermektedir

3. SONUÇLAR

Bu çalışma çerçevesinde incelenen konulardan elde edilen belli başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir.

- Özellikle yüksek dayanımlı ($f' > 40$ MPa) betonların mekanik büyüklükleri iri agreganın türü dolayısıyla fiziksel ve mekanik büyüklükleri de yakından ilintilidir. Betonun elastik modülü açısından bakıldığında anılan mekanik büyüklük

$$E = f(E_a, f') = f(\sigma_a, f')$$

şeklinde ifade edilebilir (6,8 ve 9. bağıntıları) (E_a, σ_a = sırasıyla iri agreganın elastik modülü ve basınç dayanımı, f' = verilen kur süresindeki beton basınç dayanımı)

- Stabilité problemlerinin çözümünde betonun aynı basınç dayanımında sadece seçilecek iri agreganın mekanik büyüklüklerini (basınç dayanımı, elastik modül) arttırmak - çok daha katı-pürüzlü-yoğun agrega kullanımı-suretiyle betonun elastik modül büyüklüğü en ekonomik şekilde yükseltilebilir (Şekil 1, Şekil 2).

- Gerek kompozit malzeme modeli gerekse elastik modül için verilen amprik yaklaşımları kullanarak arzu edilen yüksek beton dayanımı (elastik modül) düzeyi ve harc kullanım oram için agreganın mekanik büyüklükleri (basınç dayanımı, elastik modülü) belirli bir yaklaşımla kestirilebilir. Bu şekilde yaklaşım yüksek dayanımlı beton karışım tasarımlarının daha da rasyoneüestirilmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Aitcin, P. C. High Performance Concrete, E & FN Span, London, 1998. Nilsen, A. U., Elastic Behaviour of Concrete, Dr Eng. Thesis, NTH Universitetet I Trondheim, Trondheim, 1992.

Alexander, M G., Aggregates and the Deformation Properties of Concrete, ACI Materials Journal, November-December 1996, pp 569-577.

Anođtu, E., "Discussion of Influence of Coarse Aggregate on Elastic Properties of High Performance Concrete" by Baalbaki W. ve arkadaşları, ACI Materials Journal, July-August 1992, pp. 425-İ28.

Anođu, E., Kaya Mekanığı Ders Notlan, İTU Maden Mühendisliđi Bölümü, Maslak, 1995

- Anoğlu, E, Köyluođlu, Ö S, "Discussion of Estimation of Coarse Aggregate Strength in High-Strength Concrete" by Chang T P and Su, N K, ACI Materials Journals, November-December 1996a, pp 637-639
- Anoğlu, E, Köyluođlu, Ö S, "Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Boyut Etkisi", Beton Prefabrikasyon, Sayı 38, 1996b, s 11-15
- Anoğlu, E, Köyluođlu, O S, "Yüksek Dayanımlı Betonlarda Statik Elastik Model ve Maksimum Gerilmede Birim Kısılmanın Agregaya Dayanımıyla Belirlenmesi", Beton Prefabrikasyon, Sayı 42, Nisan 1997a, s 5-11
- Anoğlu, E., Köyluođlu, Ö S, "Discussion of Stress-Strain Relationship of Confined and Unconfined Concrete" by Attard, M M and Setunge, S, ACI Materials Journals, September-October 1997b, pp 445-447
- Anoğlu, E, "Agrega Tipinin Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkileri", Tartışma Yazısı, Yazan M Tokyay, İnş Muh Odası Teknik Dergi, Yaza 130, 1998, s 1829-1833
- Anoğlu, E, Anoğlu, N ve Girgin, C "Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonlarda Numune Şekil-Boyut Etkisi", Hazar Beton, Yıl 6, Sayı31, 1999, s 40-50
- Baalbaki, W, et al "Influence of Coarse Agregate on Elastic Properties of High Performance Concrete", ACI Matenals Journals, September-October 1991, pp 499-503
- Özturan, T, and Çeçen, C, "Effect of Coarse Aggregate Type on Mechanical Properties of Concretes with Different Strengths" Cement and Concrete Research, Vol 27 No 2, 1997, pp 165-170
- Popovics, S , Strength and Related Properties of Concrete, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1998
- Takemaya, M, "Present Technology of Ready-Mixed Concrete and Future Problems", Magazine of Concrete Research, Vol 48, No176, September 1996, pp 199-209
- Teychenne, D C, Parrot, IJ , Pomeroy, C D, "Estimation of the Elastic Modulus of Concrete for the the Design of Structures" Building Research Establishment Current Paper CP 23/78 BRE Garston, March 1978, pp 11
- Tighiouart, B, Benmokrane, B, Baalbaki, Caractéristiques Mécaniques et Élastiques de Bétons à Haute Performance Confectionnés Avec Différents Types de Gros Granulats, Materials and Structures, Vol 27, No 168, May 1994, pp 211-221
- Tokyay, M, "Agrega Tipinin Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkileri" İnş. Muh Odası, Teknik Dergi, Cilt 9, Sayı 2, Nisan 1998, s 1627-1638