

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALI BETONLARDA ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN DENEYSSEL VE TEORİK OLARAK İNCELENMESİ

¹ Can DEMİREL, ²Osman ŞİMŞEK

¹Kırklareli Üniversitesi, Pınarhisar Meslek Yüksek Okulu, Pınarhisar/Kırklareli
²Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Beşevler/Ankara
¹Can_demirel@hotmail.com, ²simsek@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 13.04.2014; Kabul/Accepted in Revised Form: 31.07.2014)

ÖZET : Bu çalışmada, yaşı ve sınıfı belli beton atıklarından elde edilen iri ve ince agreganın geri dönüşüm agregası olarak bir alt sınıf betonda kullanım olanakları araştırılmıştır. Araştırmada; kırma iri agrega yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50; kırma ince agrega yerine %0, 10, 20, 30, 40, 50 oranların da ağırlıkça geri dönüşüm beton agregası (GDBA) kullanılmıştır. Beton örneklerinin basınç dayanımları, elastisite modülleri birim ağırlık ve su emme oranları belirlenmiştir. Ayrıca, üretilen geri dönüşüm agregalı betonların elastisite modülleri çeşitli ülkelerin standartlarında önerilen ampirik formüllerle de hesaplanmıştır. Deneysel olarak belirlenen elastisite modülleri ile ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleri arasındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır. Sonuç olarak, betondaki geri dönüşüm agrega miktarı arttıkça deneysel verilerle hesaplanan elastisite modülleri ile ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleri arasındaki ilişkinin azaldığı belirlenmiştir. Amerika Beton Enstitüsü (ACI) tarafından önerilen formül ile deneysel olarak hesaplanan elastisite modülü arasında oldukça yüksek bir ilişki olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : Atık beton, iri ve ince geri dönüşüm beton agregası, basınç dayanımı, elastisite modülü.

Experimental and theoretical study of modulus of elasticity On recycled aggregate concrete

ABSTRACT : In this study, a certain age and class of coarse and fine aggregate from waste concrete as recycled aggregate concrete, use a sub-class is investigated. In this study, coarse recycled concrete aggregate was used in the ratio of 0, 10, 20, 30, 40, 50%; fine recycled concrete aggregate was used in the ratio of 0, 10, 20, 30, 40, 50% and 100 % respectively in place of crushed sand. Compressive stress, unit weight, moduls of elasticity and water absorption rates tests were determined for these concrete samples. Also, the elasticity modulus of the specimens has been calculated by using empirical equations which were proposed from some countries' standards. It was tried to determine that the relationship between the experimental results and empirical equation results for elasticity modulus . It is observed that there was a high correlation between experimental results and empirical equation proposed by American Concrete Institute (ACI) for elasticity modulus.

Key Word :Concrete waste, coarse and fine recycled concrete aggregate, compressive strength, modulus of elasticity

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Doğal kaynakların kıtlığı, çevrenin korunmasına olan ilginin artması, depolama alanlarının yetersizliği vb. sebepler belediyeler ve hükümetleri inşaat ve yıkıntı atıklarının yeniden kullanımı ve dönüşümleri ile ilgi tedbirler almaya zorlamaktadır. Bunun için birçok ülke ve şehirde atıkların

DOI: 10.15317/Scitech.201439628

azaltılmasına yönelik planlar hazırlanmakta, atıkların depolama alanlarına kabul ücretleri ve vergileri arttırılmaktadır (Samton, 2003).

Kaliteli agrega kaynaklarının giderek azalması, doğal çevrenin bozulması, çevresel kirliliğin artması ve kaliteli agregadan dolayı beton maliyetindeki artışlar, yeni arayışları ortaya çıkarmıştır. Geri dönüşüm beton agregasının değerlendirilmesi çevrenin korunması bakımından son derece önemlidir. Atık betonlar çevresel kirliliğe neden olmaktadır. (Durmuş ve diğ., 2009).

Doğal hayatı korumak için yapılan çevresel çalışmaların en önemlisi, doğal kaynakların kullanımının azaltılmasını sağlayan atıkların geri dönüşümüdür. Günümüzde inşaat atıklarının, özellikle atık betonların beton üretiminde agrega olarak kullanımı bu atıkların çevreye verdiği zararların azaltılmasının yanında, doğal agrega kaynaklarının tüketimini ve bunların çevresel etkilerini azaltır (Tu, Chen and Hwang, 2006).

Hammaddenin en çok kullanıldığı sektörlerin başında inşaat sektörü gelmektedir. Elde edilen verilere göre, inşaat sektörü hammaddenin % 50'sini doğadan sağlar. Toplam enerjinin % 40'ını kullanır ve yine ortaya çıkan bu atıkların % 50'sini oluşturur (Nik, 2005).

İnşaat ve yıkıntı atıkları içerisinde ağırlıkça en büyük payı beton atıkları oluşturmaktadır (Steinvd., 1994; Akıllıoğlu vd., 1996; Oikonomou 2005).

Yapılan deneysel çalışmalarda, geri dönüşüm agregasının kalitesinin atık betonun kalitesine bağlı olduğu, karışımda çimento hamuruyla iyi bir aderans sağladığı, daha düşük bir özgül ağırlığa sahip olduğu, Los Angeles aşınma yüzdesi değerlerinin daha yüksek olduğu ve agrega emme suyuna ilaveten % 10 daha fazla suya gereksinimi olduğu belirlenmiştir (Durmuş ve diğ., 2009).

GDBA ile üretilen betonların su emmesini bilinmesi ayrıca atık betonlara yapışık diğer maddelerden temizlenmesi gerekir (Topçu, 1997). %50'den fazla GDBA kullanımının işlenebilirliği azalttığı belirtilmektedir (Topçu, 2004). GDBA' nın basınç dayanımı ve elastisite modül değerleri eski betonun su/çimento (s/ç) oranına bağlı olduğu, şayet eski betonun s/ç oranı eşit ve daha düşükse, GDBA ile yapılan betonun basınç dayanımı ve elastisite modülü de eşit veya daha yüksek değerler alabileceği belirtilmiştir (Özturan, 1988).

Köken ve Köroğlu, yaptıkları çalışmada, basınç mukavemeti 20 MPa olan atık betonlardan kırarak elde ettikleri agregaları kırmataş agregalar ile belli oranlarda karıştırarak beton numuneler tasarlamışlardır. Bu numuneleri birbirleriyle kıyaslamışlar ve kullanılan atık beton agregasının miktarı arttıkça elde ettikleri betonun basınç mukavemetinde azalma olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak bu atıkları, yapısal olmayan betonlarda kullanmanın, çevre kirliliğini azaltacağını ve ekonomik çözümler üreteceğini belirtmişlerdir (Köken ve Köroğlu, 2008).

Durmuş, Can ve Şimşek, çalışmalarında, geri dönüşüm agregalarından üretilen farklı sınıflardaki betonun mühendislik özelliklerini araştırmışlardır. Çalışmalarında C20, C25, C30 ve C35 sınıfındaki betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarıyla beton numuneler üretmişler ve bunlar üzerinde özgül ağırlık, ultrases, basınç deneyleri yapmışlardır. Sonuç olarak ürettikleri betonun özelliklerinin, bir alt sınıftaki beton özelliklerine yaklaştığını görmüşlerdir. Uygun bir karışım hesabıyla daha iyi sonuçlar elde edilebileceğini söylemişlerdir (Durmuş ve diğ., 2009).

Günçan, yaptığı çalışmada C16 karışım standartlarına uygun olarak, %0, 30, 50, 60, 70, 100 oranlarında C16 kalitesinde eski beton atığı içeren beton numuneler üretmiştir. Üretilen beton numuneler üzerinde çeşitli fiziksel ve mekanik araştırmalar yapmıştır. Sonuçta beton karışımı içindeki eski beton atığı miktarının arttıkça betonun dayanımının ve birim hacim ağırlığının azaldığını tespit etmiştir (Günçan, 1995).

Bu çalışmada basınç deneyi esnasında numunelerin iki düşey ve bir yanal deformasyon miktarları ölçülerek geri dönüşüm agregalı betonların elastisite modülleri belirlenmiştir. Geri dönüşüm agregalı betonların elastisite modüllerini belirlemek amacıyla çeşitli ülkelerin standartlarında önerilen ampirik formüllerden faydalanılmıştır. Ayrıca, deneysel olarak belirlenen elastisite modülleri ile ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülleri birbiriyle karşılaştırılarak aralarındaki ilişki belirlenmeye çalışılmıştır.

MATERYAL ve METOT (MATERIAL and METHOD)

Çalışmada kırmataş ve geri dönüşüm beton agregası (GDBA), bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R, uçucu kül (UK), süper akışkanlaştırıcı (SA) ve karışım suyu kullanılmıştır.

Materyal (Materials)

Çalışmada kullanılan kalker esaslı kırmataş agregası (KTA) Ankara Limak Beton Santrali'nden 0-4 ve 4-22,4 agregası grupları olarak sağlanmıştır. Araştırmada kullanılan geri dönüşüm beton agregaları (GDBA); 28 günlük C30 atık betonundan üretilen 0-4 (İN) ve 4-22,4 (İR) GDA I olarak gruplandırılmıştır.

Çimento (Cement)

Beton karışımlarında CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Üretici firmadan alınan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 1' de verilmiştir.

Uçucu kül (UK)

Beton karışımlarında Çayırhan Termik Santral uçucu külü (UK) kullanılmıştır. Uçucu kül kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 2' de gösterilmiştir.

Akışkanlaştırıcı (Plasticizer)

Çalışmada POLYCAR-100 adlı ASTM C 494'e uygun F tipi süper akışkanlaştırıcı (SA) katkı maddesi kullanılmıştır.

Çizelge 1. CEM I 42.5 R kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (Physical, chemical and mechanical properties of the CEM I 42,5)

Kimyasal kompozisyon		Fiziksel Özellikler			
Bileşen	%	Özgül yüzey (cm ² /g)	3634		
SiO ₂	20.35	Genleşme (mm)	1		
Al ₂ O ₃	5.98	Su ihtiyacı (%)	27.2		
Fe ₂ O ₃	3.06	Priz baş (dak.)	105		
CaO	63.35	Priz sonu (dak.)	189		
MgO	1.89	Yoğunluk (g/cm ³)	3.1		
SO ₃	2.71	Mekanik Özellikler(MPa)	Gün	Basınç dayanımı	Eğilme dayanımı
Na ₂ O	0.58		7	39.8	7.3
K ₂ O	0.88		28	53.9	10.1
Kızd. Kaybı	0.50				

Çizelge 2. UK ' nin özellikleri

Bileşen	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O
%	50,88	13,34	10,09	13,09	5,50	3,32	2,59	2,72
Yoğunluk (g/cm ³)	2,37		Özgül yüzey (cm ² /g)		200 000			

Karışım suyu (Mixing water)

Çalışmada karışım suyu olarak Ankara ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

METOT (Method)

Bu çalışmada öncelikle C30 beton numuneleri üretilmiştir. Üretilen beton numunelerin yaşı 28 gün olduğunda: C30 numuneleri kırılarak 0-4 ve 4-22,4 agrega boyutuna getirilmiştir. KTA ve GDBA üzerinde elek analizi, yassılık indeksi, tane yoğunluğu, su emme, Los Angeles (aşınmaya dayanımı) deneyleri yapılmıştır. Daha sonra bir alt sınıf olan C25 için karışım hesapları yapılmıştır.

Taze betonların çökme (slump), birim ağırlık ve sıkıştırma faktörü incelenmiştir. Sertleşmiş beton numuneler üzerinde ise; birim hacim ağırlık, su emme, basınç dayanımı ve elastisite modülleri belirlenmiştir.

Deneyle ilgili çalışmalar Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Beton Laboratuvarında yapılmıştır.

Agrega deneyleri (Test of aggregate)

Agrega tene büyüklüğü dağılımını TS 3530 EN 933-1 "Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini" ve TS 130 "Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi" standartlara göre-, Birim hacim ağırlığını TS 3529, "Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini" standardı göre-, özgül ağırlık ve su emme deneyi TS EN 1097 - 6, "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini" standardına göre-; Aşınma deneyi, TS EN 1097-2 "Agregaların Mekanik Ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar" Standardına Göre, Yassılık İndeksi, TS 9582 EN 933-3 "Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 3: Tane Şekli Tayini - Yassılık Endeksi" standardına göre yapılmıştır.

Beton Karakteristikleri (Concrete Characteristics)

Taze beton birim hacim ağırlığı TS 2941 "Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim Ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini" standardı göre yapılmıştır. Taze beton birim hacim ağırlığı hesabı, beton örnekleri silindir kalıba dökülerek hesaplanmıştır. Çökme Değerleri TS EN 12350-2 "Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme Deneyi" standardına göre yapılmıştır.

Beton karışımı TS 802 ve TS EN 206-1 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Karışımın beton sınıfı C25 olarak seçilmiştir. Hesapla belirlenen bu oranlarla beton karışımları hazırlanmıştır. Beton numunelerinin hazırlanması TS EN 12390-2 "Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması Ve Kürlenmesi" standardına uygun olarak yapılmıştır.

KTA belirli oranlarda ağırlıkça azaltılmış ve yerine iri GDA ikame edilmiştir. İkinci karışımında ise ince KTA belirli 0, 10, 20, 30, 40, 50 ve 100 oranlarda ağırlıkça azaltılmış ve yerine ince GDA ikame edilmiştir. Araştırmada çimento ağırlığının %20' si oranında UK ve taze betonun işlenebilirliğini sağlamak amacıyla çimento+UK miktarının %1.2'si oranında SA kullanılmıştır.

TS 802 2009'a göre beton karışımı yapılmıştır. Çökme su ile 7 cm olması hedeflenmiş, su ve hava miktarı, su/çimento oranı TS 802 2009' daki grafikler yardımıyla belirlenmiştir. Karışımların tamamında agrega gronölometrisi fuller parabolüne göre belirlenmiş agrega grubunda 0-4 (GDAI İN) ve 4-22,4 (GDAI İR) alınmıştır. Örnekler 100×200 mm silindir kalıplarda üretilmiştir.

Elastisite Modülünün Belirlenmesi (Determine of the modulus of elasticity)

Elastisite modülü için Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), İngiliz Standart Enstitüsü (BSI) ve Avrupa Beton Komitesi (CEB) [26] tarafından önerilmiş ve geleneksel beton için birbirine yakın sonuçlar veren formüller kullanılmaktadır. Elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılan ampirik formüller Çizelge 3' de verilmiştir.

Deneyel olarak elastisite modülünün belirlenmesinde genel olarak basınç dayanımı deneyine tabi tutulan numunenin yük-deformasyon eğrisinden faydalanılır.

Betonda elastisite modülü, beton deney numunelerinde elastik bölgede uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde boyuna kısalmaya oranı olarak ifade edilmektedir. Betondaki gerilme-birim deformasyon ilişkisi ASTM C469' a uygun deneysel olarak belirlenmiş ve bu amaçla Çizelge 4' te hesaplanan malzeme miktarlarına göre 100x200 mm boyutlu standart silindirik numuneler üretilmiş, 28. günlerde basınç deneyinde olduğu gibi deney presinde yüklemeye tabi tutulmuştur. Deneye başladıktan sonra, giderek artan yüklere karşılık betonda oluşan deformasyonlar kaydedilmiş ve bu işleme numune kırılıncaya kadar devam edilmiştir. Kaydedilen değerlerden max. yük belirlenmiş, maksimum gerilme değerinin %40'ına karşılık gelen gerilme (MPa) değeri temel alınmıştır (σ_1). %40'ına karşılık gelen birim deformasyon (ϵ_2) formülde yerine yazılmıştır. Daha sonra yine kaydedilmiş birim deformasyon değerlerinden 0.00005 mm'e karşılık gelen gerilme (σ_2) de kaydedilmiştir. Bulunan değerler aşağıdaki eşitlikte yerine yazılarak elastisite modülü (E) bulunmuştur.

$$E = (\sigma_2 - \sigma_1) / \epsilon_2 - 0.00005$$

Burada;

E: Elastisite modülü

σ_1 : 0.00005 mm' e karşılık gelen gerilme, MPa

σ_2 : max. yükün %40'ına karşılık gelen gerilme, MPa

ϵ : max. yükün %40'ına karşılık gelen birim deformasyon



Şekil 1. Elastisite modülü belirlemede kullanılan deney düzenegi

Çizelge3. Elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılan formüller (Equations used for determining the modulus of elasticity)

TSE	ACI	BSI	CEB
$E = 14000 + 3250\sigma^{1/2}$	$E = 0.043w^{3/2}\sigma^{1/2}$	$E = 9100\sigma^{1/3}$	$E = 9500(\sigma + 8)^{1/3}$

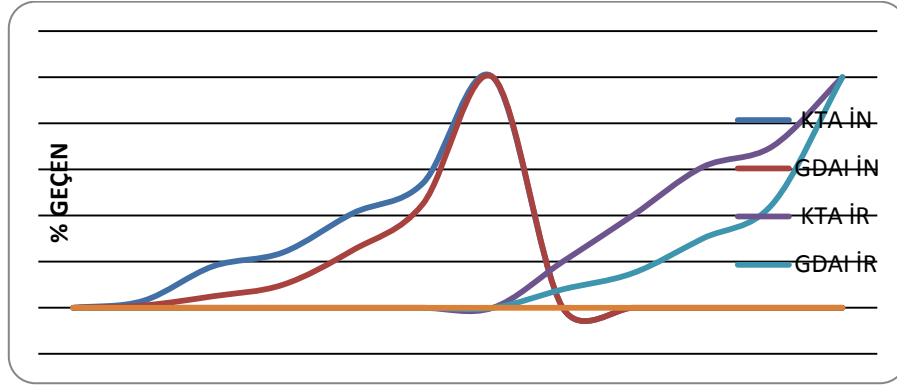
E =Elastisite Modülü (MPa), ω = Birim Ağırlık (kg/m³), σ = Basınç Dayanımı (Mpa)

Çizelge 4. GDAI ile hedeflenen C25 beton sınıfı için 1 m³ malzeme miktarları (Mix proportion of C25 concrete)

Karışım Kodu	GDBA İkame Oranı %	GDBA (kg)		Kırmataş agregası (kg)		S /Ç	Çimento (kg)	UK (kg)	SA (kg)
		0-4	4-22,4	0-4	4-22,4				
GDAI	100	710	1000	-	-	0,53	320	80	4,8
KTAI	0	-	-	710	1000	0,53	320	80	4,8
GDAI İR50	50	-	500	710	500	0,53	320	80	4,8
GDAI İR40	40	-	400	710	600	0,53	320	80	4,8
GDAI İR30	30	-	300	710	700	0,53	320	80	4,8
GDAI İR20	20	-	200	710	800	0,53	320	80	4,8
GDAI İR10	10	-	100	710	900	0,53	320	80	4,8
GDAI İN50	50	355	-	355	1000	0,53	320	80	4,8
GDAI İN40	40	284	-	426	1000	0,53	320	80	4,8
GDAI İN30	30	213	-	497	1000	0,53	320	80	4,8
GDAI İN20	20	142	-	568	1000	0,53	320	80	4,8
GDAI İN10	10	71	-	639	1000	0,53	320	80	4,8

BULGULAR (FINDINGS)

Normal ve geri dönüşüm agregaya ait granülometri eğrisi Şekil 2'de, kırma ve iri geri dönüşüm agregasının yoğunlukları, su emme oranları, aşınma ve yassılık endeksi değerleri Çizelge 5'te gösterilmiştir. Beton içerisine geri dönüşüm agregası ilave edilerek üretilen betonların elastisite modülleri farklı metotlara göre hesaplanmış ve hesaplanan elastisite modülü değerleri Tablo 7'de verilmiştir. Geri dönüşüm agregalı betonlara ve referans betonlara ait taze ve sertleşmiş beton özellikleri Çizelge 6'da verilmiştir.



Şekil 2. Normal ve geri dönüşüm agregaya ait granülometri eğrisi (Granulometric curve of the normal and the recycled aggregate)

Çizelge 5. Kıırma ve iri geri dönüşüm agregasının genel özellikleri (Common properties of coarse and recycled aggregate)

Elekler	GDAI		Kıırmataş agrega	
	0-4	4-22,4	0-4	4-22,4
Yoğunluk, g/cm ³	2,532	2,604	2,700	2,690
Su emme,%	13,67	6,18	1,01	4,6
Aşınma, %	-	38,42	-	23,92
Yassılık indeksi	-	8,51	-	3,0

Çizelge 6. Geri dönüşüm agregalı betonlara ait fiziksel ve mekanik özellikler (Physical and mechanical properties of recycled aggregate concrete)

Karışım kodu	Taze beton özellikleri			Sertleşmiş betonun özellikleri		
	Çökme (cm)	Birim ağırlık (kg/dm ³)	Sıkıştırma faktörü	BHA (kg/dm ³)	Su emme (SE) (%)	Basınç Dayanımı (MPa)
GDAI İR50	8	2,309	0,94	2,245	0,41	31
GDAI İR40	8	2,339	0,95	2,261	0,39	34
GDAI İR30	9	2,359	0,95	2,265	0,34	35
GDAI İR20	9	2,361	0,95	2,288	0,34	34
GDAI İR10	9	2,351	0,95	2,270	0,34	35
GDAI İN50	8	2,299	0,94	2,198	0,55	30
GDAI İN40	8,5	2,269	0,95	2,220	0,56	31
GDAI İN30	10	2,352	0,95	2,236	0,57	32
GDAI İN20	11	2,329	0,94	2,269	0,45	33
GDAI İN10	12	2,305	0,95	2,273	0,38	31
GDAI	8	2,219	0,94	2,160	0,40	31
KTAI	11	2,412	0,95	2,325	0,31	30

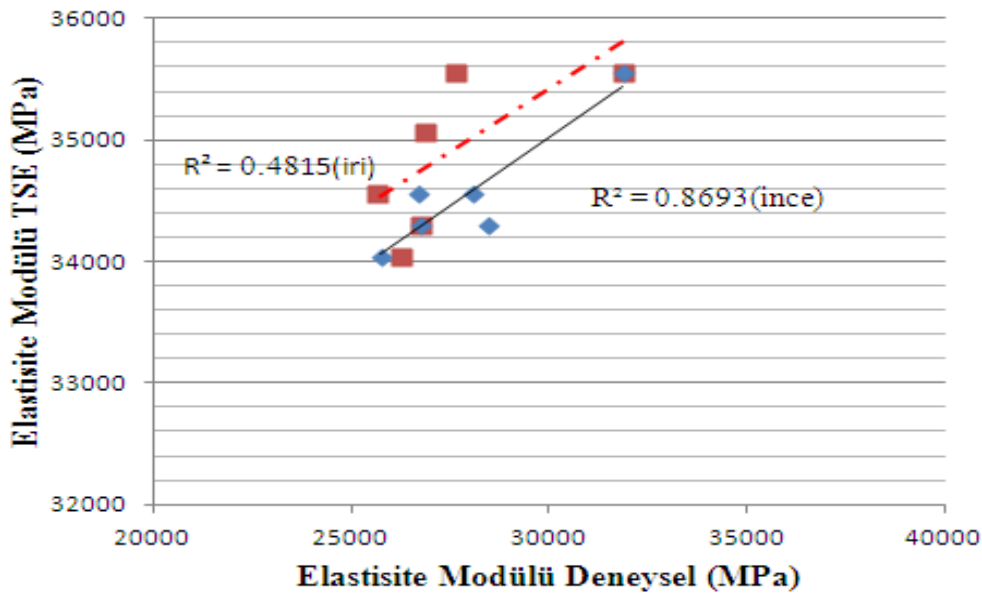
Çizelge 7. GDAI betonların elastisite modülü değerleri MPa (GDAI modulus of elasticity of concrete)

Karışım kodu	TSE	ACI	BSI	CEB	DENEYSEL
GDAI İR50	34554	28928	31121	34525	25665
GDAI İR40	34034	28497	30593	34038	26276
GDAI İR30	34296	28946	30860	34283	26753
GDAI İR20	35062	30498	31631	34998	26876
GDAI İR10	35558	30848	32126	35458	27659
GDAI İN50	34034	27315	30593	34038	25763
GDAI İN40	34554	28446	31121	34525	26691
GDAI İN30	34296	28392	30860	34283	26741
GDAI İN20	34554	29393	31121	34525	28093
GDAI İN10	34296	29100	30860	34283	28440
GDAI	34554	27301	31121	34525	25763
KTAI	35558	31976	32126	35458	31874

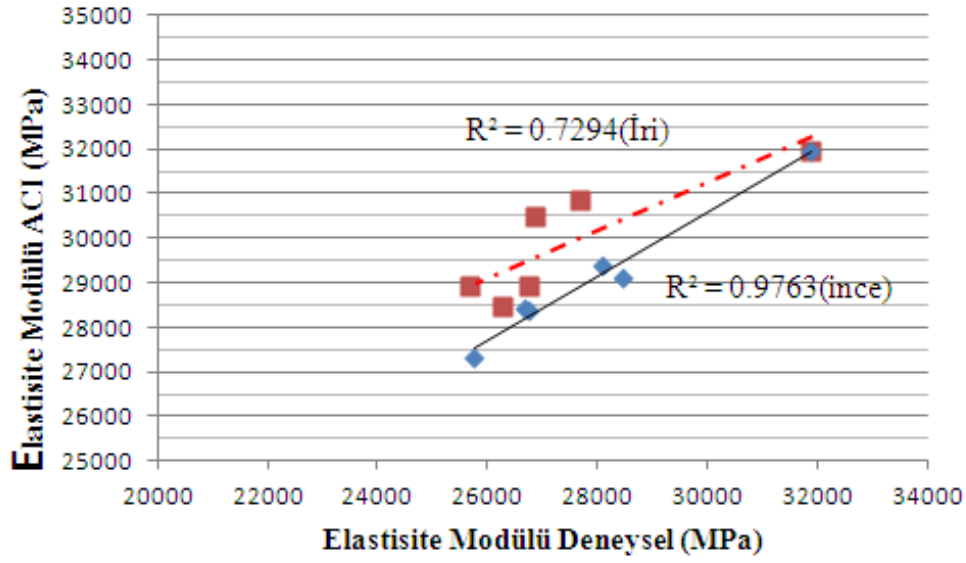
Deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değeri ile teorik hesaplamalar sonucunda elde edilen elastisite modülü değerleri arasındaki ilişkiler aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 3, 4, 5 ve 6).

Teorik formüllerle elde edilen elastisite modülü değerleri ile deneysel olarak elde edilen elastisite değerleri incelendiğinde, yalnızca dayanıma göre elastisite modülü tahmini yapan formüllerle elde edilen değerlerin, deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerleri ile arasındaki farkın iri GDBA oranı arttıkça arttığı görülmüştür.

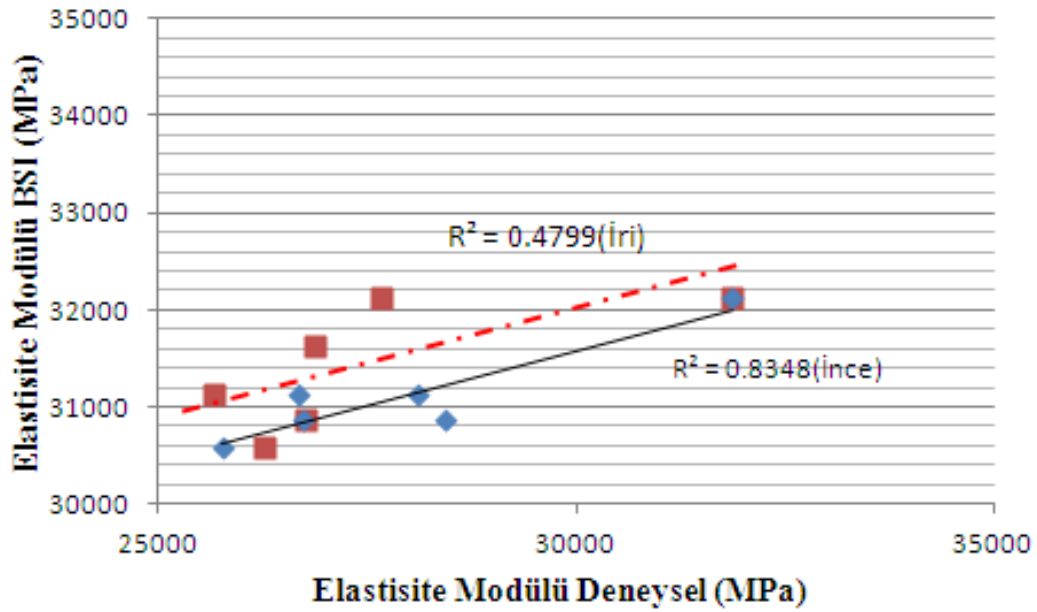
Şekil 3,4,5 ve 6' da görüldüğü gibi iri GDBA kullanılan numunelerde deneysel olarak elde edilen elastisite değerleri ile teorik olarak hesaplanan elastisite modül değerlerinin arasında uyum sağlanmadığı fakat ince GDBA kullanılan numune örneklerinde ise değerlerin uyum sağladığı görülmektedir



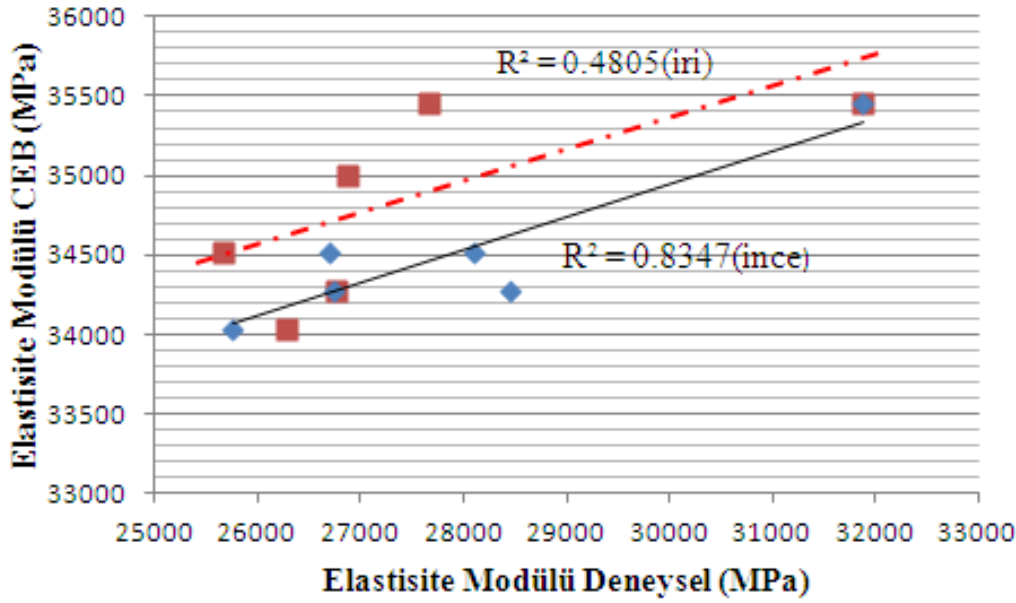
Şekil 3. TSE tarafından önerilen formül ile deneysel veriler arasındaki ilişki (Relationship between TSE equation and experimental results)



Şekil 4. ACI tarafından önerilen formül ile deneysel veriler arasındaki ilişki (Relationship between ACI equation and experimental results)



Şekil 5. BSI tarafından önerilen formül ile deneysel veriler arasındaki ilişki (Relationship between BSI equation and experimental results)



Şekil 6. CEB tarafından önerilen formül ile deneysel veriler arasındaki ilişki (Relationship between CEB equation and experimental results)

SONUÇLAR (Results)

Bu çalışmada, beton içerisinde ince ve iri geri dönüşüm beton agregası kullanımı ile elde edilen beton numunelerinin deneysel ve teorik olarak belirlenen elastisite modülleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonuçlarına bağlı olarak aşağıdaki sonuçlar yazılabilir;

- TSE, ACI, BSI ve CEB gibi standartlarda mevcut olan ve betonun elastisite modülünün belirlenmesi için önerilen ampirik formüller, normal beton için oldukça yakın sonuçlar vermektedir.
- Beton içerisinde GDBA kullanımı ile oluşturulan betonlarda elastisite modülünün önceden tahmininde kullanılan ve sadece beton dayanımına bağlı olan formüllerle deneysel sonuç arasındaki fark artmıştır.
- Teorik formüllerle elde edilen elastisite modülü değerleri ile deneysel olarak elde edilen elastisite değerleri incelendiğinde, yalnızca dayanıma göre elastisite modülü tahmini yapan formüllerle elde edilen değerlerin, deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerleri ile arasındaki farkın iri GDBA oranı arttıkça arttığı görülmüştür.
- Beton içerisine iri GDBA kullanımında deneysel olarak belirlenen elastisite modülü ile TSE tarafından önerilen formülle belirlenen elastisite modülü arasındaki fark %22 ile %26, ince GDBA kullanımında ise %17 ile %24 olarak belirlenmiştir.
- Beton içerisine iri GDBA kullanımında deneysel olarak belirlenen elastisite modülü ile ACI tarafından önerilen formülle belirlenen elastisite modülü arasındaki fark %7 ile %11, ince GDBA kullanımında ise %2 ile %6 olarak belirlenmiştir.
- Beton içerisine iri GDBA kullanımında deneysel olarak belirlenen elastisite modülü ile BSI tarafından önerilen formülle belirlenen elastisite modülü arasındaki fark %13 ile %17, ince GDBA kullanımında ise %8 ile %16 olarak belirlenmiştir.
- Beton içerisine iri GDBA kullanımında deneysel olarak belirlenen elastisite modülü ile CEB tarafından önerilen formülle belirlenen elastisite modülü arasındaki fark %22 ile %26, ince GDBA kullanımında ise %17 ile %24 olarak belirlenmiştir.

- Deneysel veriler değerlendirildiğinde GDBA'lı betonların elastisite modüllerinin önceden tahmininde sadece basınç dayanımına bağlı olarak yapılan hesaplamalardan ACI deneysel olarak hesaplanan yöntemle yakın değerler verdiği görülmektedir.

TARTIŞMA ve ÖNERİLER (Conclusion and Recommendations)

- Geri dönüşüm beton agregaları çene ayarı çok iyi ayarlanmış bir konkasörden geçirilip uygun gronülometriye getirildikten sonra istenilen mukavemette betonlar üretilebilir.
- İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıklarının yeniden kullanımı ve geri kazanımı çevresel ve ekonomik yönden pek çok yarar sağlayabilecektir.
- İnşaat projelerinde belli oranlarda GDBA kullanımına dair kanunlar çıkarılabilir.

2. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- ASTM C469 Static Modulus Of Elasticity And Poisson's Ratio Of Concrete In Compression.
- ACI 318-92, Building code requirements for reinforced concrete, ACI Manual of Concrete Practice Part 3:.
- British Standards Institute (BSI), Code of Practice for the Structural use of concrete, CP110, Part 1, London.
- Comité Euro-International du Beton, CEB-FIP Model Code for Concrete Structures, Bull.124/125.
- Durmuş G., Şimşek O., ve Dayı Mustafa, "Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi " Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 24(1): 183-189 (2009).
- Durmuş G., Şimşek O., ve Dayı Mustafa, "Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi " Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. 24(1): 183-189 (2009).
- Durmuş, G., Can, Ö. ve Şimşek, O., Geri Dönüşüm Agregalarından Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi, 5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 1-4(2009).
- Günçan N F, Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, 1995.
- Köken, A. ve Köroğlu, M. A., Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, Journal of Technical-Online, 7(1):(2008).
- Nik, D. Oikonomou, Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Composites, 27 (2): 315-318(2005).
- Oikonomou N.D., 2005. Recycled Concrete Aggregates, Cement & Concrete Composites, 27,315-318.
- Özturan, T., "Eski Beton Kırığı Agregalı Betonlar", İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Yapı Malzemesi Seminerleri, İstanbul, 1988.
- Samton G., 2003. Construction and Demolition Waste Manual, City of New York.
- Topçu, B., "Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete", Cement and Concrete Research, 27, p.1817- 1823(1997).
- Topçu, B., Sengel, S., "Properties of Concretes Produced with Waste Concrete Aggregate", Cement and Concrete Research, 34: 1307-1312 (2004).
- TS 3530 EN 933-1, "Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1; Tane Büyüklüğü Dağılımı – Eleme Metodu", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 130, "Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot" Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3529, "Beton Agregalarının Birim Ağırlıkları Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN 1097-2, "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneysel Bölüm 2: Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 9582 EN 933-3, "Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneysel Bölüm 3: Tane Şekli Tayini Yassılık Endeksi", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 2941, "Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi ile Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, "Beton-Taze Beton Deneysel Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, "Beton Karışım Hesap Esasları", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 2009.
- TS EN 206-1, "Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-2, "Beton – Sertleşmiş Beton Deneysel Bölüm 2: Dayanım Deneyselinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, "Beton- Sertleşmiş Beton Deneysel-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3624, "Sertleşmiş Betonda Özgül Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü. Ankara, 2000.
- Tu Y T, Chen Y Y, Hwang L C, Properties of HPC with Recycled Aggregates, Cement and Concrete Research, 36: 943-950, 2006.
- Von Stein E.L. ve Savage G.M., 1994. Current Practices and Applications in Construction and Demolition Debris Recycling, Resource Recycling, April, 85-93.