

Bayburt Bölgesinde Bulunan Farklı Agregat Tipleri ile Üretilen Geleneksel Betonların Mekanik Mukavemetleri Üzerine Bir Çalışma

İlker TEKİN^{1,*}, Türkey KOTAN², Muhammet YURDAKUL¹, Erdal ÖNER¹

¹ Bayburt Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bayburt, Türkiye

² Erzurum Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Erzurum, Türkiye

(Geliş/Received : 13.10.2016 ; Kabul/Accepted : 14.12.2016)

ÖZ

Bu çalışmada Bayburt İli sınırları içinde bulunan kireçtaşı, doğal dere agregası, serpentine ve Bayburt taşı kullanılarak geleneksel betonlar üretilmiştir. Deneysel çalışmada çimento dozajı ve işlenebilirlik sabit tutulmuştur. Çalışmada çökme, Ve-Be, birim hacim ağırlık ve ilk 2 saat içinde oluşan en yüksek taze beton sıcaklıkları ölçülmüştür. Hazırlanan beton örneklerden Bayburt taşı ile üretilen betonlar 90 gün, diğerleri 28 gün süreyle kirece doymuş su içinde küre tabi tutulmuştur. Sertleşmiş haldeki betonların 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi sırasında alınan deformasyon ve gerilme kayıtları sayesinde gerilme-deformasyon bilgileri edinilmiş ve su emme oranları ölçülmüştür. Sonuçlara göre beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımı sonuçları; kireçtaşı, doğal dere ve serpantin agregası için sırasıyla 40, 35 ve 5 MPa olarak elde edilmiştir. Bayburt taşı agregası ile üretilen betonlarda basınç dayanımları 28 günde 16 MPa ve 90 günde 22 MPa değerine ulaşmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geleneksel beton, doğal dere agregası, kireçtaşı, serpentine, tuf.

Mechanical Properties of Conventional Concrete Produced With Different Type of Aggregates in Bayburt Region

ABSTRACT

In this study, the limestone, natural aggregate, serpentine and Bayburt stone located in the province of Bayburt used as aggregate in conventional concrete production. In the experiments, the cement dosage and workability were kept constant. Slump, Ve-Be, unit weight and the highest temperature values in first 2 hours of the fresh concrete were measured. The concrete samples prepared with Bayburt stone were cured for 90 days and the others were cured for 28 days in lime-saturated water. Strain-stress data and water absorption values were measured on the hardened concretes at 7 and 28th days age through the records of stress and strain data during compressive strength tests. According to results of this study, the compressive strengths of the concrete samples with limestone, natural aggregate and serpentine were on average of 40, 35 and 5 MPa, respectively, on the 28th day. Also, in concrete samples with Bayburt stone, the compressive strengths were reached to 16 MPa for 28 days and to 22 MPa for 90 days.

Keywords: Conventional concrete, natural aggregates, limestone aggregate, recycled aggregate, tuff aggregate.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Beton gerektiğinde kimyasal ve mineral katkı kullanılabilen ancak esasen çimento, su ve agregadan oluşan en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Betonun performansı bileşenlerinin karakteristik özelliklerine doğrudan bağlıdır [1-3]. Agregat, betonun hacimce %60 – 80'ini oluşturan önemli bileşendir ve betonun dayanım ile dayanıklılığında sorumludur. Agreganın porozite, granülometri, su emme, şekil ve yüzey dokusu, basınç dayanımı, elastisite modülü gibi özellikleri ana kayacın mineralojik ve petrografik yapısından, ortam koşullarından ve agregat üretiminde kullanılan ekipmandan etkilenir. Beton basınç dayanımının ise agreganın

hacimsel oranından ve diğer özelliklerinden önemli derecede etkilendiği iyi bilinmektedir [4-6].

Kayaçlar orijinlerine göre metamorfik, sedimenter ve volkanik olmak üzere 3 grupta sınıflandırılır. Bunlar kendi içlerinde kristal yapılarına, kimyasal içeriklerine, mineralojik yapılarına, yüzey dokusu ve parçacık boyutlarına göre ayrıştırılırlar. Agregaların özellikleri betonun kalitesinde önemli rol oynar [7]. Bundan dolayı betonda kullanılacak agregaların özellikleri geniş çapta bilinmelidir [8-10]. Betonun dayanımını artırmak için çimento miktarındaki artışın yerine daha dayanıklı ve sert agregat kullanımının daha etkin bir çözüm olduğu beton teknolojisinde kabul görmüş bir gerçektir. Agregat tipi ve yoğunluğunun mekanik mukavemetlere etkisi üzerine sayısız çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda kireçtaşı ve dere agregası kullanımının betonda oluşturacağı etkiler

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ilkertekin@yahoo.com

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/politeknik.339357

iyi bilinmektedir. Hatta kaynaklarda hangi agregaların kullanılıp kullanılmayacağı ile ilgili hususlar belirlemiş olmasına rağmen yerelde agrega davranışları hakkında halen araştırılması gereken bilgilere rastlanılmaktadır [11-16].

Bayburt doğal taşlar bakımından zengin bölgelerden birisidir. Bu bölgede farklı kireçtaşları, kumtaşları, mermer, traverten, granit, tüf, hematit, bazalt gibi çok çeşitli tipte kayaca rastlamak mümkündür. Bölgede faaliyet gösteren beton santralleri halen Türkiye Hazır Beton Birliğine üye ve Kalite Güvence Sistemine dahil olmamıştır. Beton üretiminde bu santraller daha çok kireçtaşı ve Çoruh Nehrinden elde edilen doğal dere agregası kullanılmaktadır. Mevcut üretimlerinde kimyasal katkı (süperakışkanlaştırıcı) kullanılarak 320-350 kg gibi yüksek çimento dozajlarıyla en yüksek C30/37 tipi beton üretilebilmektedir. Bu problemin sebeplerinin başında beton teknolojisine uygun olmayan üretim teknikleri olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, kimyasal katkı kullanılmadan en yüksek basınç dayanımı hedefli, farklı orijinli Bayburt İli kayalarının agrega olarak kullanılabilirliği ve bunların betonun mekanik performanslarına etkilerini araştırmaktır.

2. MALZEMELER VE YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

2.1. Malzeme (Materials)

Bu çalışmada, beton üretimlerinde TS EN 197-1 [17]'e göre Aşkale çimento fabrikasında üretilmiş CEM-I 42.5R tipi çimento, Bayburt İli içme suyu ve Bayburt yöresinde bulunan 4 farklı tip agrega olarak kullanılmıştır. Bu agregalar sırasıyla kireçtaşı, Çoruh Nehrinden elde edilen doğal dere agregası, serpantin ve zeolit minerali içeren tüf yapılı Bayburt taşı olarak bilinen kayalardır. Şekil 1 ve Şekil 2'de gösterildiği gibi kireçtaşı, doğal agrega ve tüf Bayburt ili merkezinden, Serpantin yapılı kayalar ise Bayburt – Erzurum arasında Bayburt İl merkezine yaklaşık 40 km mesafede bulunan Kop Dağından temin edilmiştir. Deneylerde kullanılan kireçtaşı ve doğal dere agregası mevcutta faaliyet gösteren Tekinler Hazır Beton isimli firmanın agrega ocağından temin edilmiştir, diğer iki tip agrega Şekil 2'de gösterilen bölgelerden agrega

örneği alma prosedürleri uygulanarak (birbirine yakın 5 farklı lokasyondan kaya parçaları kırılarak) alınmıştır.



Şekil 1. Bayburt ilinin Türkiye haritasındaki yeri (Location of the Bayburt province in the Turkey map)



Şekil 2. Bayburt ilindeki agregaların temin edildiği sahalara (Places of aggregates from Bayburt province) 1) Kireçtaşı (Limestone), 2) Doğal agrega (Natural river aggregate), 3) Serpantin (Serpentine), 4) Bayburt taşı (Bayburt stone)

Çalışmada öncelikle, temin edilen kayalar laboratuvarında konkasör ile kırılarak en büyük dane boyutu 25 mm'ye indirilmiştir. Sonrasında agregaların Çizelge 1'de verilen fiziksel özellikleri belirlenmiştir. Ardından agregalar eleklerden elendikten sonra her bir elek arası malzeme kovalarda biriktirilmiş ve agregaların granülometreleri Fuller eğrisi ile aynı olacak şekilde malzemeler gram hassasiyetinde tartılarak ayrı ayrı bileşimler oluşturulmuştur. Böylece tüm agregaların

Çizelge 1. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri (Physical properties of aggregates)

Agrega tipi	Agrega Boyutu (mm)	Yoğunluk (kg/dm ³)			Su emme (%)
		Doygun	Kuru	Görünür	
Dere Agregası	0 – 4	2,57	2,50	2,69	2,78
Kireçtaşı		2,60	2,53	2,71	2,63
Bayburt taşı		1,96	1,65	2,41	19,28
Serpantin		2,39	2,25	2,62	6,29
Dere Agregası	4 – 25	2,56	2,53	2,62	1,34
Kireçtaşı		2,67	2,65	2,70	0,66
Bayburt taşı		1,86	1,61	2,17	16,08
Serpantin		2,48	2,41	2,60	3,96

granülometri eğrileri Fuller eğrisi ile aynı olmuştur. İri agrega ile ince agrega oranı sırasıyla %40 ile %60 olarak seçilmiştir.

Kayaçlar arasında Bayburt taşı tüfit yapılı bünyesinde zeolit mineralleri bulduran ve bundan dolayı puzolanik özellik gösteren hafif poroz bir kayadır [18]. Zeolit minerali yüksek miktarda SiO_2 içermekte olup, mikro poroz yapıya sahiptir. Bayburt taşı bölgede taş atölyelerinde işlendikten sonra dekoratif amaçlı kullanılmakta ve ekonomik değeri olan bir malzemeye dönüşmektedir. Ancak bölgede taş kesme ve ocak işletmeciliğinde teknolojinin kullanılmamasından dolayı yaklaşık %70 kadar atık oluşmaktadır. Ayrıca bu atıklardan bir kısmı tozuma nedeniyle tarım arazilerinde kirliliğe yol açmaktadır. Bu çalışmanın bir diğer amacı bu atıkların betonda değerlendirilmesini sağlamaktır.

2.2. Yöntemler (Methods)

Bu çalışmada, TS 802'ye göre C30 beton dayanım sınıfında beton tasarımı yapılmıştır. 320 kg sabit çimento dozajı ile hazırlanan harçların çökme değerleri de 6 – 8 cm arasında sabit tutulmuştur. Böylece granülometrik bileşim, çimento miktarı ve işlenebilirlik (çökme) sabit tutularak agrega türünün etkisi ile su/çimento (S/Ç) oranının basınç dayanımına etkisi araştırılmıştır. Karışımların tasarımında kullanılan malzeme miktarları Çizelge 2'de verilmiştir. Bu çizelgede LC, TC, NC ve SC sembolleri sırasıyla kireçtaşı, Bayburt taşı, doğal dere agregası ve serpantin ile üretilen betonları tanımlamaktadır.

Beton numuneler 23 ± 2 °C sıcaklık ve $\%50 \pm 5$ neme sahip olan Bayburt Üniversitesi yapı laboratuvarında 56 dm^3 kapasiteli düşey eksenli laboratuvar tipi karıştırıcıda hazırlanmıştır. Beton üretimi sırasında malzemeler karıştırıcıya sırasıyla iri agregadan ince agregaya doğru yerleştirilmiş ve ardından agregaların doygun kuru yüzey hale gelebilmesi için gerekli olan su ile agrega ıslatılmıştır. 15 dk bekletildikten sonra çimento eklenmiş ve 1 dk süreyle karıştırılmıştır. Karışım tamamlandıktan sonra 6 – 8 cm çökme değerini oluşturacak su miktarı karışıma eklenmiş ve taze beton harcı hazırlanmıştır. Beton harcı üretildikten sonra taze beton üzerinde önce çökme deneyi ve ardından Ve-Be testleri gerçekleştirilmiştir. Hava miktarı ölçümü yapıldıktan sonra taze beton harcı $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlu küp ve $10/20$ cm boyutlu silindir plastik kalıplar içine 2 kademedeki yerleştirilmiş ve ardından masa tipi vibrasyon cihazında 1 dk süreyle sıkıştırılmıştır. Silindir geometri kalıplardan birinde 2 saat süreyle daldırma tip termometre ile betonun sıcaklığı ölçülmüştür. Her bir taze beton harcı masa tipi vibratör ile 60 s sıkıştırıldıktan sonra her bir seriden 9'ar adet $10/20$ cm silindir ve $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlu kübik geometri numuneler üretilmiştir. Numuneler 24 ± 1 saat laboratuvarında bekletildikten sonra kalıplar sökülüş ve deney yapılacak tarihe kadar 22 ± 2 °C sıcaklıktaki kirece doygun su içinde bekletilmiştir. Sertleşmiş $15 \times 15 \times 15$ cm boyutlu küp geometri numuneler üzerinde 7 ve 28 gün yaşlarında basınç dayanımı deneyi $10/20$ cm boyutlu

silindir geometri numuneler üzerinde su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. TS EN 12390-3 [19]'e göre basınç dayanımı, TS 3624 [20]'e göre su emme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bayburt taşı agregalı betonlarda aynı deneyler 90 gün yaşında da yapılmıştır. Basınç dayanımı deneyleri sırasında deformasyon verileri LVDT kullanılarak üretilmiştir.

Çizelge 2. Beton tasarımında kullanılan malzeme miktarları ve ortam koşulları (Materials amount and ambient conditions of concrete mixing design)

Beton tipi	LC	TC	NC	SC
Çimento (kg)			320,00	
Su miktarı (lt)			170	
S/Ç (%)			0,53	
0-4 mm agrega (kg)	741,69	559,12	727,43	681,78
4-25 mm agrega (kg)	1142,49	795,89	1095,42	1061,19
Hava miktarı (%)			1,5	
Ortam bağıl nemi (%)	53,5	50,0	48,0	51,5
Ortam sıcaklığı (°C)	18,0	18,0	18,0	17,0

3. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME (RESULTS AND DISCUSSION)

Çalışmada taze haldeki betonlardan elde edilen sonuçlar Çizelge 3'te, sertleşmiş betonlardan elde edilen sonuçların aritmetik ortalamaları alınarak Çizelge 4'te verilmiştir. Basınç dayanımı deneylerinden sonra her bir beton numunedan alınan örneklerden Aşkale Çimento Fabrikası çimento laboratuvarında XRF analizleri gerçekleştirilmiştir. XRF sonuçları Çizelge 5'te verilmiştir.

Çizelge 3. Taze betonların özellikleri (Properties of fresh concretes)

Beton tipi	LC	TC	NC	SC
Karışım sırasında oluşan s/ç (%)	63	84	53	135
Çökme (cm)	7,0	7,3	8,0	6,3
Ve-Be (s)	15,2 0	14,1 6	12,5 0	17,0 0
Hava miktarı (%)	2,3	4,5	1,9	6,7
En yüksek beton sıcaklığı (°C)	20,3	19,9	21,5	22,3

Çizelge 3'e göre aynı çimento dozajı ve s/ç oranında tasarlanan farklı tip agregalı taze beton harçları karışım sırasında kıvamları aynı olması için (K2) karışım sırasında taze harçlara belli miktarlarda su eklenmiştir. Tasarımda dikkate alınan s/ç oranı ile doğal dere agregası ile hazırlanan betonlarda K2 kıvam sınıfı elde edilirken, aynı kıvamı elde etmek için kireçtaşı agregalı betonda

%10, Bayburt taşı agregalı betonda %31, serpantin agregalı betonda %82 oranında artış olmuştur. Serpantin ve Bayburt taşı agregalı betonda yüksek bir kohezyon davranışından dolayı yüksek s/ç oranı elde edilmiştir. Ve-Be süreleri de bunu destekler niteliktedir. s/ç oranının artışı taze betondaki hava miktarının da artmasına sebep olmuştur. Puzolanik çimentolarda da olduğu gibi Bayburt taşı agregalı betonların hidratasyon sıcaklıklarının düşük olması agreganın ince malzemesinin puzolan gibi davrandığının bir göstergesi olabilir. Hidratasyon sıcaklığı en yüksek olan serpantin

ilişkili olduğu düşünülmektedir. Yapılan 0,063 mm ıslak eleme deneyine göre (TS 706 EN 12620+A1 [22]) dere agregasında ince malzeme miktarının %17, kireçtaşında %5 olduğu belirlenmiştir. İngiliz standartlarında, kırma taş agregada ve kırma kumda bulunabilecek ince maddelerin maksimum miktarı, sırasıyla, %3 ve %15 olarak belirtilmektedir [23]. Ancak son yıllarda yapılan araştırmalarda, beton yapımında %10-%15 kadar taş unu kullanılmasının beton dayanımına olumsuz etki yapmadığı ifade edilmektedir.

Çizelge 4. Sertleşmiş beton deney sonuçları (Experiment results of hardened concrete)

TEST	Basınç dayanımı (MPa)			Su emme (%)			Görünür BHA (kg/dm ³)			Kuru BHA (kg/dm ³)		
	7	28	90	7	28	90	7	28	90	7	28	90
Yaş (Gün)												
LC	35,1	42,6	-	9,0	6,0	-	2,39	2,37	-	2,20	2,23	-
TC	8,3	16,4	22,3	16,5	11,3	10,8	1,83	1,80	1,81	1,57	1,66	1,67
NC	25,5	34,6	-	7,1	6,5	-	2,31	2,32	-	2,17	2,17	-
SC	3,5	4,5	-	22,1	20,4	-	1,97	1,94	-	1,60	1,64	-

agregalı beton olurken, en düşük olan Bayburt taşı agregalı beton olmuştur. Normal koşullarda s/ç oranındaki artış hidratasyon sıcaklığını düşürmesi beklenirken, serpantin agregalı betonda davranış değişmiştir. Bunun sebebi alkali madde oranındaki fazlalık olarak söylenebilir. Alkali bileşenlerin elektropozitifliklerinin yüksek olmasından dolayı reaksiyon kinetiklerinin yüksek olduğu bilinmektedir. Diğer agregaların hidratasyon sıcaklıkları arasında belirgin farklar elde edilmemiştir.

Çizelge 4'te görüldüğü gibi 28 gün yaşında kireçtaşı, dere, Bayburt taşı ve serpantin agregası ile hazırlanmış beton numuneler sırasıyla 42,63 MPa, 34,64 MPa, 16,36 MPa ve 4,45 MPa basınç dayanım değerlerine ulaşmıştır. Böylece TS EN 206 [21]'ya göre kireçtaşı agregasıyla C30/37, dere agregasıyla C25/30 taşıyıcı beton üretilebilirken, Bayburt taşı agregasıyla C12/15 taşıyıcı olmayan beton üretilebilmiştir. Serpantin agregasıyla C8/12'den daha düşük bir beton üretilmiştir. Serpantin agregalı betonda yüksek oranda MgO içeriğinden dolayı betonda aşırı genleşme görülmüş ve bundan dolayı oldukça düşük bir dayanım elde edilmiştir. Beton numunelerin basınç dayanımları 7 – 28 gün yaşları arasında kireçtaşı, dere ve serpantin agregası için sırasıyla %21,38, % 35,95 ve %26,06 oranlarında artmıştır. Bayburt taşı agregasıyla üretilmiş betonların 7 – 28 – 90 gün yaşları arasındaki basınç dayanımı gelişimi %96,40 ve %36,49 olmuştur. Beton numunelerde 7/28 gün yaş oranı kireçtaşı agregası için %82, dere agregası için %74, Bayburt taşı agregası için %51 ve serpantin agregası için %78 olarak hesaplanmıştır. Bu oran geleneksel betonlar için yaklaşık olarak %65 mertebesinde bilinir [1-3]. s/ç oranı tasarımı belirlenen değerlerle aynı olan dere agregası ile üretilen beton numunelerin ortalama basınç dayanımları hedeflenen C30/37 sınıfı beton basınç dayanımına ulaşamamıştır. Bunun sebebinin malzemedeki ince malzeme oranıyla

Kireçtaşı agregası ile hazırlanan betonlarda C30 dayanım sınıfı ile en yüksek basınç dayanımına ulaşılmıştır. Kireçtaşları pürüzlülüğü ve yüksek basınç dayanımı sebebiyle bilindiği gibi geleneksel beton üretiminde en uygun agregalardan birisidir [1-3]. Kireçtaşı ile üretilen betonlarda kırılma davranışı genel olarak zayıf agrega kenarlarından gerçekleşmiştir. Serpantin agregası ile üretilen betonlarda en düşük basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Bunun sebepleri: 1) Çizelge 5'te görüldüğü gibi betonun MgO içeriği çok yüksek olduğu için bünyesel genleşme olmuştur. Betonun basınç dayanımı deneyleri gerçekleştirilirken renginin açık gri olduğu gözlenmiştir. 2) Üretilen betonun istenilen 6 – 8 cm çökme değerini verebilmesi için eklenen su miktarının çok yüksek olması sebebiyle s/ç oranı artmış ve bundan dolayı oluşan porozite agrega-çimento ara yüzünü zayıflamıştır. Bayburt taşı ile üretilen betonların basınç dayanımı 28 gün yaşında yaklaşık 16 MPa ve 90 gün yaşında yaklaşık 22 MPa olarak ölçülmüştür. Ayrıca betonların (TC) kuru birim hacim ağırlık (BHA) değerleri yaklaşık 1,6 kg/dm³ değerindedir. TC betonlarının S/Ç oranı hesap tasarımın üstüne çıktığı ve harcın kohezif yapısından dolayı su emme oranı %12 olarak elde edilmiştir. TC betonlarının basınç dayanımı verileri incelendiğinde erken dayanımın oldukça düşük ancak geç dayanımların yüksek olduğu görülmektedir. Bayburt taşı agregalı betonun 90 gün yaşındaki basınç dayanımı 28 gün yaşındaki basınç dayanımına göre yaklaşık olarak %36 daha yüksektir. Bu artış geleneksel betonlarda beklenen sonuç değildir. Bunun sebebinin Bayburt taşının filler olarak kullanılan kısmının puzolanik aktivite oluşturduğu ve bu sebeple geç yaşlarda dayanım değerlerini artırdığı yaklaşımı uygun görülmüştür [18, 24]. Tekin [18] yaptığı çalışmada Bayburt taşının puzolanik aktivitesi olduğunu belirlemiştir. Bu değerler atık haldeki Bayburt taşının geleneksel betonda 16 MPa'a kadar dayanım gerektiren

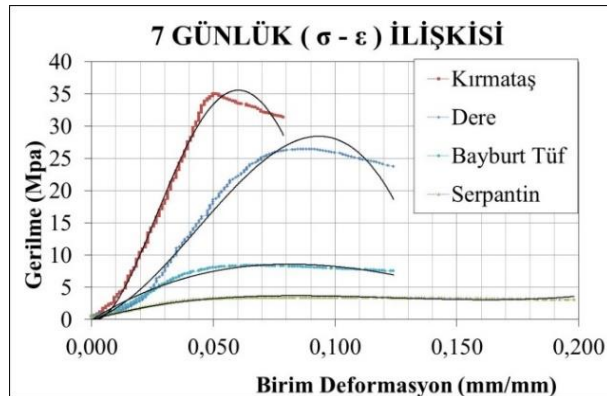
betonlar örneğin grobeton olarak ve bölme duvarların üretiminde kullanılabileceğini göstermiştir.

Çizelge 5. Beton örneklerin XRF analiz sonuçları (Results of the XRF analyses of concrete specimens)

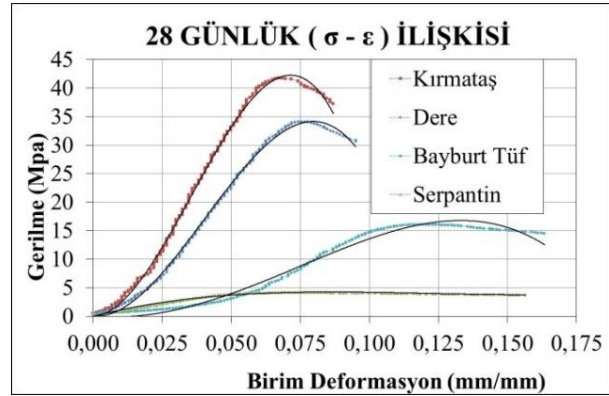
Oksit (%)	Betonlar			
	LC	TC	NC	SC
SiO ₂	11,04	42,19	17,44	37,46
Al ₂ O ₃	2,40	6,51	3,11	3,84
Fe ₂ O ₃	1,25	0,70	1,77	4,96
CaO	46,27	25,67	44,97	18,48
MgO	0,93	2,28	1,23	13,53
SO ₃	0,71	0,65	0,84	0,63
Na ₂ O	0,10	0,22	0,18	0,23
K ₂ O	0,33	1,30	0,36	0,68
LOI	36,45	19,78	29,44	19,52
CaCO ₃	78,65	35,22	65,75	34,10

Su emme deney sonuçları beton numunelerin içerdiği poroziteyi gösteren verilerden biridir. Çalışmada su emme deneyinden elde edilen sonuçlara göre agrega tipi değiştiğinde su emme oranları ve buna bağlı olarak porozitenin de değiştiği görülmektedir. Betonun yoğunluğunu belirleyen en önemli parametrelerden biri agreganın yoğunluğudur. Ancak bu yaklaşım agreganın inert olması koşuluyla gerçekleşmektedir [1-3]. Çalışmada kullanılan serpantin agregasının BHA değerinin 2,41 kg/dm³ olarak belirlenmesine karşın serpantinle üretilen betonların BHA değerleri 1,60 kg/dm³'e kadar gerilemiştir. Ayrıca çalışmada dere ve kireçtaşı agregasıyla normal ağırlıklı beton üretilirken, Bayburt taşı ile üretilen betonların hafif beton sınıfında olduğu görülmüştür.

7 ve 28 gün yaşlarında beton numuneler üzerinde gerçekleştirilen basınç dayanımı deneyleri sırasında kayıt altına alınan gerilme – deformasyon verileri Excel programı ile grafik haline dönüştürülmüş ve Şekil 3 ve Şekil 4'te verilmiştir. Şekil 3 ve Şekil 4'te gerilme – deformasyon eğrileri üzerinde regresyon analizi yapılarak R² değerini en yüksek veren denklemin eğrileri noktalar üzerinde çizdirilmiştir. Elde edilen denklemler LC, TC, NC ve SC için R² değerleri ile Çizelge 6'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 7 gün yaşındaki beton numunelerin $\sigma - \epsilon$ eğrileri (The $\sigma - \epsilon$ curves of the concrete specimens at 7th day)



Şekil 4. 28 gün yaşındaki beton numunelerin $\sigma - \epsilon$ eğrileri (The $\sigma - \epsilon$ curves of the concrete specimens at 28th day)

Çizelge 6. Şekil 3 ve Şekil 4'te verilen $\sigma - \epsilon$ eğrilerinin denklemleri ve regresyon katsayıları (Equations and regression coefficients of $\sigma - \epsilon$ curves taken from Figure 3 and Figure 4)

7 gün yaşındaki beton numunelerin ($\sigma - \epsilon$) ilişkisi		
LC	$y = 2728746,90x^4 - 677815,21x^3 + 42168,66x^2 - 86,35x$	R ² = 0,99
TC	$y = 3191,84x^3 - 1825,27x^2 + 233,28x$	R ² = 0,98
NC	$y = -57337,54x^3 + 7437,97x^2 + 110,07x$	R ² = 0,98
SC	$y = 2640,84x^3 - 974,73x^2 + 107,74x$	R ² = 0,96
28 gün yaşındaki beton numunelerin ($\sigma - \epsilon$) ilişkisi		
LC	$y = -227884,43x^3 + 24315,42x^2 + 17,24x$	R ² = 1,00
TC	$y = -33601,03x^4 - 7651,36x^3 + 2869,20x^2 - 41,16x$	R ² = 0,98
NC	$y = -140498,09x^3 + 17006,59x^2 - 34,81x$	R ² = 1,00
SC	$y = 3028,75x^3 - 1092,29x^2 + 120,78x$	R ² = 0,99

Şekil 3'te agrega tiplerinin kırılma davranışına olan etkileri açıkça görülmektedir. Kireçtaşı ve dere agregası ile üretilen betonlarda deformasyon davranışının az olması bu betonların gevrek olduğunu gösterirken, serpantin agregası ve Bayburt taşı ile üretilen betonların deformasyonlarının yüksek seviyede olması bu betonların sünek beton olduğunun bir göstergesidir. Elastisite modülleri TS 500'de [25] verilen $E_{cj} = 3250\sqrt{f_{ckj}} + 14000$ formülüne göre LC, NC, TC ve SC için sırasıyla 35212, 33117, 27161 ve 20894 MPa olarak hesaplanmıştır. Böylece LC betonunun elastisite modülünün diğerlerine göre en yüksek olduğu belirlenmiştir. Tokluk indeksleri her bir betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisi altında kalan alan üzerinde kireçtaşı agregası için normalize edilerek 1 olarak

tanımlandığında dere agregası, Bayburt taşı agregası ve serpantin agregasıyla üretilen betonlar için oranlar sırasıyla 0,86, 0,69 ve 0,25 olmaktadır. Bu sonuçlara göre en yüksek enerji yutma kabiliyeti kireçtaşı ile üretilen betonlarda en düşük enerji yutma kabiliyeti serpantin agregasıyla üretilen betonlardadır.

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

1. Serpantin mineral yapıları kayaçlar betonda agrega olarak kullanılamazlar.
2. Bayburt taşı hafif beton üretiminde beton agregası olarak kullanılabilir. Ancak 28 gün yaşındaki dayanım 17 MPa'nın altında kaldığı için yapısal beton üretiminde kullanılamaz. S/Ç oranı düşürülerek ve akışkanlaştırıcı kullanımıyla bu değerin aşılabilmesi mümkündür.
3. Bayburt taşı agregalı betonların tokluk indeksi kireçtaşından %30 daha azdır.
4. Elastisite modülü en yüksek olan beton kireçtaşı agregalı betondur.
5. Betonun birim hacim ağırlık değeri agreganın inert olmasına doğrudan bağlıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Erdoğan Y.T., "Aggregates", *Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul, Türkiye, (1985).
2. Neville A.M., "Properties of Concrete", Third Ed., *Longman Press*, USA, (1981)
3. Mehta P.K. and Monteiro P.J.M., "Concrete: Microstructure, Properties, and Materials", *McGraw-Hill*, USA, (2006).
4. ACI Education Bulletin E1, "Aggregates for Concrete", *American Concrete Institute*, USA, (2007).
5. Mindess S. and Young J.F., "Concrete", *Prentice-Hall*. USA, (1981).
6. Yang C.C. and Huang R., "A two-phase model for predicting the compressive strength of concrete", *Cement and Concrete Research*, 26(10): 1567–1577, (1996).
7. Lydon F.D., "Concrete mix design", 2nd Ed., *Applied Science Publishers*, London, (1982).
8. Davis D.E. and Alexander M.G., "Properties of Aggregate in Concrete: Part 1", *Hippo Quarries Technical Publication*, South Africa, (1989).
9. Davis D.E. and Alexander M.G., "Properties of Aggregate in Concrete: Part 2", *Hippo Quarries Technical Publication*, South Africa, (1992).
10. Ozturan T. and Cecen C., "Effect of coarse aggregate type on mechanical properties of concretes with different strength", *Cement and Concrete Research*, 27(2): 165–170, (1997).
11. Baalbaki W., Benmokrane B., Chaallal O. and Aitton P.C., "Influence of coarse aggregates on elastic properties of high performance concrete", *ACI Material Journal*, 88 (5): 499–503, (1991).
12. Alexander M.G. and Milne T.I., "Influence of cement blend and aggregate type on stress– strain behavior and elastic modulus of concrete", *ACI Material Journal*, 92 (3): 227–234, (1995).
13. Kaplan M.G., "Ultrasonic pulse velocity, dynamic modulus of elasticity, Poisson ratio, and strength of concrete made with thirteen different coarse aggregates", *RILEM Bulletin*, 1:17–28, (1986).
14. De Larrard F. and Belloc A., "The influence of aggregate on the compressive strength of normal and high-strength concrete", *ACI Material Journal*, 94 (5): 417–425, (1997).
15. Bremner T.W. and Holm T.A., "Elasticity, compatibility and the behavior of concrete", *ACI Material Journal*, 83(2): 244–250, (1986).
16. Giaccio G., Rocco C., Violini D., Zappitelli J., Zerbino, Highstrength R., "Concrete incorporating different coarse aggregates", *ACI Material Journal*, 89(3): 242–246, (1992).
17. TS EN 197-1, "Çimento: Bölüm 1: Kompozisyon, Özellikler ve uyum kriterleri", (2010).
18. Tekin İ., "Properties of NaOH activated geopolymer with marble, travertine and volcanic tuff wastes", *Construction and Building Materials*, 127: 607–617, (2016).
19. TS EN 12390-3, "Sertleşmiş beton testleri: Bölüm 3: Basınç Dayanımı", (2010).
20. TS 3624, "Kimyasal katkıları - Beton, harç ve şerbet için - Deney metotları - bölüm 11: Sertleşmiş betonda hava boşluğu özelliklerinin tayini", (1981).
21. TS EN 206-1, "Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk", (2014).
22. TS 706 EN 12620+A1, "Beton agregaları", (2009).
23. BS EN 12620, "Aggregates for concrete", (2013).
24. Çavdar A. and Yetgin Ş., "Availability of tuffs from northeast of Turkey as natural pozzolan on cement, some chemical and mechanical relationships", *Construction and Building Materials*, 21(12): 2066–2071, (2007).
25. TS 500, "Betonarme Yapıların Tasarım ve Kuralları", (2000).