



DENİZLİ BÖLGESİ TRAVERTEN ARTIKLARININ BETON AGREGASI OLARAK KULLANILABİLİRLİĞİNİN İNCELENMESİ

INVESTIGATION OF THE USABILITY OF TRAVERTINE QUARRY WASTES AS CONCRETE AGGREGATE

İbrahim ÇOBANOĞLU^{1*}, Sefer Beran ÇELİK¹, Osman ÇAM², Hüseyin ETİZ¹, Mahmut KURŞUN¹

¹Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Pamukkale Üniversitesi, 20070, Denizli.

icobanoglu@pau.edu.tr, scelik@pau.edu.tr, h_etiz@hotmail.com; mahmut.kursun@hotmail.com.tr

²Akça Hazır Beton Sanayii, Ticaret Limited Şirketi, 20150, Denizli.

osmanc@akca.com.tr

Geliş Tarihi/Received: 27.05.2013, Kabul Tarihi/Accepted: 22.07.2013

doi: 10.5505/pajes.2014.52824

*Yazışılan yazar/Corresponding author

Özet

Denizli havzası dünyanın önemli traverten üretim sahalarından biridir. Kaklık, Kocabaş, Honaz, Aşağıdağdere, Akköy, Çivril bölgeleri üretim yapılan traverten sahalarıdır. Bölgenin tektonizmadan etkilenmiş olması, ocak işletme verimlerinde düşüşlerin olmasına neden olmaktadır. Tel kesme yöntemi ile elde edilen bloklardan kalan üretim artığı travertenler pasa olarak döküm sahalarında depolanmaktadır. Bu malzemeler başka bir amaçla kullanılmamaktadır. Bu çalışmada, ocak üretiminden çıkan parça şeklindeki travertenlerin betonda agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bu amaçla agregaların fiziko-mekanik özellikleri tespit edilmiş, deneme beton karışımları hazırlanmıştır. C30 sınıfında dayanımının hedeflediği beton örneklerinin 7, 28 ve 56 günlük dayanımları belirlenmiştir. Elde edilen traverten agregalı beton, halen bir beton firması tarafından üretilen kırmataş agregalı beton ile kıyaslanmıştır. Kıyaslama için aynı beton sınıfında kireçtaşı agregalı bir başka beton karışımı tasarlanmış ve aynı deney prosedürleri bu malzeme için de yapılmıştır. Elde edilen betonlardan ince kesitler yapılarak tanelerin çimento malzemesi içindeki dağılımları ve aderans ilişkileri polarizan mikroskopla incelenmiştir. Dayanım testleri, traverten agregalı beton için 32.80-42.70 MPa ve kireçtaşı agregalı beton için 39.34-46.04 MPa değerlerini vermiştir. Sonuçlar traverten agregalı betonun hedeflenen C30 sınıfı beton dayanım değerlerini sağladığını göstermiştir. Bu çalışma traverten üretim artıklarının beton üretiminde agrega olarak kullanılabilirliğini ortaya koymuştur. Denizli bölgesinde halen bu şekilde üretim yapan bir tesis bulunmamaktadır. Alternatif bir yapı malzemesi olan traverten oluşumlarının, briket, bordür ve kilit taşı üretimlerinde de rahatlıkla kullanılabilir özellikte oldukları düşünülmektedir. Bu amaçla bu çalışmaya benzer farklı çalışmaların da yapılması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Traverten, Artık, Agrega.

Abstract

Denizli basin is one of the most important travertine deposition area around the world. Kaklık, Kocabaş, Honaz, Aşağıdağdere, Akköy, Çivril are major production areas. Tectonic activity in the region has been negatively affected the block production efficiency in the quarries. Quarry wastes by wire cutting are collected in waste disposal areas and these materials do not use for any other purposes. In this study, investigation of usability of different sized travertine quarry wastes in concrete as aggregate is aimed. For this purpose, physico mechanical properties of aggregates were investigated and concrete mixtures were prepared. Strength of 7, 28 and 56 days concrete samples which are targeted of C30 concrete class were also determined. Strength of prepared travertine aggregated concrete compared to still being produced concrete. For comparison, all procedures were performed for limestone aggregated concrete. Thin sections were prepared for investigations of distribution and coupling of grains in cement material under polarizan microscope. 32.80-42.70 MPa and 39.34-46.04 MPa strengths were determined for travertine aggregated and limestone aggregated concretes respectively. By using travertine aggregate, limit values for C30 concrete class have been reached. This study demonstrates that the travertine quarry wastes can be used as aggregates in concrete. In Denizli region there is no concrete firm use travertine wastes as aggregate. It is thought that, as an alternative building material travertine can be used in production of brick, curbs, keystone and various materials. For this aim more detailed experimental studies on travertines are needed.

Keywords: Travertine, Waste, Aggregate.

1 Giriş

Agrega, doğal olarak elde edilen belirli bir mineral bileşimi sergileyen ve genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli tane büyüklüklerindeki iri taneler olarak tanımlanabilmektedir. Doğal malzemeler arasında yer alan agregalar, inşaat sektöründe ve alt yapıda kullanılması zorunlu olan ve yerine başka malzemenin kullanılmadığı temel girdi durumundadır [1]. Agregalar, doğadan doğrudan doğruya (akarsu yatakları, deniz kıyıları, çöl vb.) taneli olarak temin edilebildikleri gibi taşocağı işletmeciliği ile üretilen taş bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da elde edilebilirler. Bu şekilde elde edilen taneli malzemeye "kırmataş", kırmataş tesislerinin atığı olan ince taneli malzemeye "kırm kum" (taşunu filler)

denilmektedir [2]. Doğal agregalar mineral kökenli değişik boyutların karışımı halinde bulunabilmektedir. Kum ve çakılın bir arada bulunduğu malzemeye ise "tüvenan agrega" adı verilmektedir. Bu sözcük Fransızca'da "hepsi bir arada" anlamındaki "tout-venant" kelimesinden gelmektedir.

Doğaltaş işletmeciliğinde yan ürün olarak ortaya çıkan ve artık olarak nitelendirilen malzemeler de basit kırma işlemlerinden geçirilerek agrega olarak kullanılabilir. Denizli bölgesi travertenleri 30 yılı aşkın bir süredir üretilmekte olan ve patentli bir isme sahip önemli ticari bir doğal malzemedir. Denizli bölgesi traverten ocak artıkları sanayide aktif olarak kullanılmadığı için tarımsal araziler üzerinde istiflenmekte ve artık dağları şeklinde büyük alanlar kaplamaktadırlar (Şekil 1). Artıkların ancak küçük bir bölümü bölgede faaliyet

gösteren çimento fabrikası tarafından hammadde olarak değerlendirilmektedir (Şekil 2).

Denizli Bölgesi travertenleri, Kaklık-Kocabaş-Gürlek, Honaz, Aşağıdağdere, Akköy, Karaçay ve Çivril bölgeleri olmak üzere geniş bir alanda üretilmektedir. Bu sahalardan Kaklık-Kocabaş-Gürlek bölgesi taş çeşitliliği ve rezerv büyüklüğü açısından ön plana çıkmaktadır. Bu bölge içinde karbonat kabuk yapısı gösteren beyaz renkli travertenlerden, noçe türüne kadar farklı renk ve desen özellikleri sunan travertenler bulunmaktadır. Kaklık-Kocabaş havzası üretimin en fazla yapıldığı bölge olup, ülke ekonomisine önemli bir girdi sağlamaktadır.



Şekil 1: Denizli-Kaklık traverten üretim sahasındaki bir artık depolama sahası.



Şekil 2: Çimento hammaddesi olarak değerlendirilmek üzere kırma ünitesine taşınan artıklar.

Betonun toplam hacminin yaklaşık % 70'inin agregalardan oluştuğu düşünülürse, bu malzemelerin miktar ve tutarlarının önemi ortaya çıkacaktır. Agregalarla ilgili deney standartları esas olarak kullanılacak malzemelerin teknik özelliklerinin belirlenmesi için yapılması gereken deney prosedürlerini tanımlamaktadır. Kullanılan agregaların fiziksel ve kimyasal özellikleri beton dayanımı ve maliyeti üzerinde önemli etkileri olduğu bilinmektedir. Bu çalışmada ocak artığı olarak doğal taş sektöründe değerlendirilemeyen traverten malzemelerin fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri ile petrografik özellikleri ilgili deney standardı olan [3] kapsamında

incelenmiş ve elde edilmiş olan beton dayanım parametreleri değerlendirilmiştir.

2 Agregalar Olarak Traverten ve Kireçtaşı

Traverten, kalsiyum karbonat (CaCO_3) ihtiva eden kaynak suları ile bilhassa sıcak su kaynaklarının, hava ile temasında, karbondioksitin (CO_2) uçmasından sonra, ince veya kalın tabakalar halinde ayrıca masif olarak birikmesi ile meydana gelmiş bir karbonat kayasıdır. [4], traverten, kaynak sularından organik veya inorganik işlevlerle çöktürülmüş tatlı su karbonatları olarak tanımlanmışlardır. Traverten sözcüğü İtalya'daki Tivoli kasabasının eski Roma adı olan "Tivertino"dan gelmektedir [5]. Bu terim, Latince "Tiburtino" olarak bilinmektedir [6]. Bu çalışma kapsamında traverten agregası olarak ele alınan malzeme, Kaklık bölgesi traverten ocaklarından alınmış üretim artığı travertendir.

Kireçtaşı ise, kimyasal bileşimi traverten gibi CaCO_3 olan bir tortul kayadır. Oluşumu denizel veya gölsel olabilmektedir. Ülkemizde alansal yayılım olarak en fazla bulunan kireç türünü oluşturmaktadır. Beton agregası olarak yaygın bir şekilde kullanılan kireçtaşları, kireç üretimi başta olmak üzere sanayinin çeşitli kollarında kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında kireçtaşı agregası olarak elde edilen malzeme, Akça Hazır Beton San. Tic. Ltd. Şti tarafından işletilmekte olan Serinhisar ocağından temin edilmiştir.

Ülkemizde beton agregası olarak kullanılacak malzemelere ait tanım ve tarifleri yapan çeşitli standartlar bulunmaktadır. Daha önce yürürlükte olan bazı deney standartları güncellenerek yeni tarih ve isimleriyle yürürlüğe girmiştir. Tablo 1, betonda agrega olarak kullanılacak malzemeler için deney standartlarını eski ve en son durumlarını yansıtacak şekilde sunmaktadır. Bu tabloda yer alan 1980-2004 tarihleri arasında yürürlüğe girmiş standartların büyük ölçüde revize edilerek Avrupa normu çerçevesinde yeniden kullanıma sunulmuş olduğu bilinmektedir.

Tablo 1: Agregalar için tanımlanmış eski deney standartları ve bunların yerine geçen yeni standartlar.

Standart Kapsamı	Eski Standart	İptal Tarihi	Yeni Standart	Tarih
Agregadan numune alma	TS 707	19.12.1980	TS 706 EN 12620+A1	28.04.2009
Numune azaltma	TS EN 932-2	12.04.1999	---	---
Su muhtevası tayini	TS EN 1097-5	17.04.2001	TS EN 1097-5	09.04.2009
Los Angeles aşınma direnci	TS EN 1097-2	24.04.2000	TS EN 1097-2	13.07.2010
Yoğunluk ve su emme tayini	TS EN 1097-6	18.03.2002	---	---
Tane boyu dağılımı	TS 3530 EN 933-1	12.04.1999	TS EN 933-1	12.04.2012
Agrega yassılık indisi	TS 9582 EN 933-3	12.04.1999	TS EN 933-3	12.04.2012
Agrega şekil indisi	TS 3814 EN 933-4	14.11.2001	TS EN 933-4	09.04.2009
Kum eşdeğeri tayini	TS EN 933-8	13.03.2001	TS EN 933-8	12.04.2012
Metilen mavisi deneyi	TS EN 933-9	13.03.2001	TS EN 933-9	19.01.2010
Donma çözünme direnci	TS EN 1367-1	08.11.2001	TS EN 1367-1	31.01.2008
MgSO_4 dayanım deneyi	TS EN 1367-2	12.04.1999	TS EN 1367-2	23.03.2010
Kuruma çekmesi tayini	TS EN 1367-4	12.04.1999	TS EN 1367-4	09.04.2009
Termal şoka direncin tayini	TS EN 1367-5	06.04.2004	TS EN 1367-5	12.04.2011
Agrega kimyasal analiz	TS EN 1744-1	24.04.2000	TS EN 1744-1	23.03.2010
Beton agregaları	TS 706 EN 12620	02.04.2003	TS 706 EN 12620+A1	28.04.2009
İnce madde oranı tayini	TS 3527	19.12.1980	TS EN 933-10	19.01.2010

2.1 Kullanılan Agregaların Fiziko-Mekanik Özellikleri

Beton bileşiminin saptanmasında ve beton üretiminde malzemenin değerlendirilmesinde, agreganın fiziksel ve mekanik parametrelerinin bilinmesi istenir. Fiziksel parametrelerden en önemlileri agreganın birim hacim ağırlığı ve su emme değerleridir. Traverten ve kireçtaşı agregaları üzerinde yapılmış deneyler ile elde edilmiş olan birim hacim ağırlığı, gevşek ve kuru tane yoğunluğu ve su emme değerleri Tablo 2'de görülmektedir. Deneylerde Tablo 1'de sunulan ilgili test standartları kullanılmıştır.

Tablo 2. Traverten ve kireçtaşı agregaları için birim ağırlık ve su emme değerleri.

Fiziksel Özellik	Agrega Tane Boyutu (mm) (Traverten)			
	Birim	11.2-22.4	4.0-11.2	0-4.0
Gevşek birim hacim ağırlığı	kg/m ³	1118	1143	1425
Kuru tane yoğunluğu	g/cm ³	2.33	2.43	2.57
Doygun tane yoğunluğu	g/cm ³	2.40	2.50	2.61
Su emme	%	3.12	2.71	1.47
Fiziksel Özellik	Agrega Tane Boyutu (mm) (Kireçtaşı)			
	Birim	11.2-22.4	4.0-11.2	0-4.0
Gevşek birim hacim ağırlığı	kg/m ³	1418	1410	1740
Kuru tane yoğunluğu	g/cm ³	2.51	2.63	2.66
Doygun tane yoğunluğu	g/cm ³	2.59	2.65	2.69
Su emme	%	0.38	0.44	1.35

[3] standardı bütün beton tipleri için etüvde kurutulmuş tane yoğunluğu >2.00 Mg/m³ (g/cm³) olan taneleri beton agregası sınıfına sokmaktadır.

Beton karışımlarında kullanılacak iri, orta ve ince agregaların belirli sınır değerler içinde kalan tane boyu dağılımına sahip olmaları istenmektedir.

[3]-[7] standartları gözetilerek yapılan elek analizleri ile traverten ve kireçtaşı agregaları için tane boyu dağılımları belirlenmiştir. [3] ve [7] standartları farklı tane boyu gruplarına sahip agregalar için ağırlıkça yüzde geçen oranlarını tanımlamaktadır.

Betondan agregalarının, standartlarda belirtilen tane boyu dağılımına ait sınır değerler arasında yer alması koşulunda betonda kullanımı uygun olabilecektir. [8] standardı, betonda kullanılacak farklı tane boyundaki agregalar için ideal tane boyu dağılımlarını tanımlamaktadır. Şekil 3'de bu çalışma kapsamında teşkil edilmiş beton numuneleri için tane boyu dağılım eğrileri ile standartça belirlenen sınır eğrileri göstermektedir. Tablo 3, öngörülen agrega tane boyu sınıfları için tanımlanmış standart değer aralıklarını ve bu çalışmada ortaya konulan agrega tane boyu değerlerini traverten ve kireçtaşı agregaları için göstermektedir.

2.1.1 Çok İnce Madde Miktarı Tayini

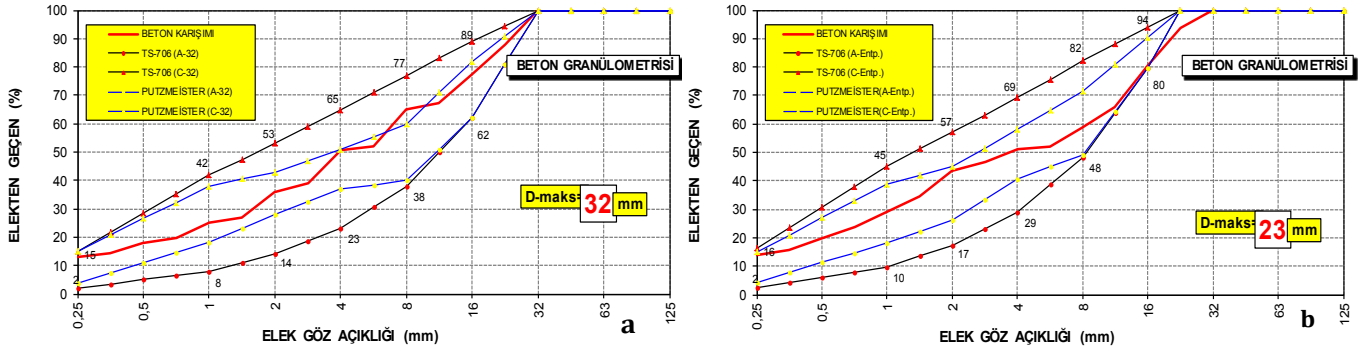
Türk standardı [3] ince madde olarak 0.063 mm'den küçük tane boyundaki agregayı tanımlamaktadır. Bu değer Amerikan ve İngiliz standartlarında 0.074 mm olarak alınmaktadır. Bu tane boyunun altındaki malzeme kil ve silt boyuna karşılık geldiğinden agregada fazla oranda bulunmaları istenmemektedir. Çalışma kapsamında incelenen traverten ve kireçtaşı agregalarına ait ince madde oranları Tablo 4'de görülmektedir. Çok ince madde içeriği iri agregalarda <1.5 ve ince agregalarda % 10-16 değer aralığında olduğundan standart değerlere uygun olarak değerlendirilmiştir.

2.1.2 İri Agregaların Yassılık İndeksi

Agregaların geometrik şekillerinin yassı olmaları durumunda betona uygunluk kare veya küresel tanelere göre istenmeyen özellikler sunmaktadır. [9] standardı yassılık indisi deney yöntemini tanımlamaktadır. Bu çalışma kapsamında ele alınan agrega örnekleri için yassılık indisi değerleri ve [3] standardına göre tanımlanmış kategorileri Tablo 5'de tanımlanmıştır. Betonda kullanılabilir yassılık indisi değeri üst sınırı % 35 olarak tanımlanmıştır. Bu değere göre agregaların beton üretimi açısından uygun oldukları görülmektedir.

Tablo 3. Farklı agrega sınıfları için tanımlanmış standart değerler ve çalışma verileri.

Agrega sınıfı (mm)	Elek Açıklığı (mm)	İstenen Aralık Değer TS 706 EN 12620+A1 (%)	Elde Edilen Değer (%) Traverten	Elde Edilen Değer (%) Kireçtaşı	Standartta Uygunluk
İri agrega 11.2-22.4	22.4	80-100	85	100	Uygun
	11.2	0-20	6.4	13.8	
	5.6	0-5	0.4	1.1	
	0.063	0-1.5	0.1	0.5	
İri agrega 4-11.2	16.0	98-100	100	100	Uygun
	11.2	90-100	91.0	90.7	
	8.0	30-60	35.2	31.7	
	4.0	0-15	1.60	1.60	
	2.0	0-5	0.98	1.5	
	0.063	0-1.5	0.62	0.4	
İnce agrega 0-4	5.6	95-100	100	100	Uygun
	4.0	90-100	94.4	100	
	1.0	30-70	55.9	59.9	
	0.25	10-50	26.0	26.5	
	0.063	10-16	13.5	11.8	



Şekil 3. Traverten (a) ve kireçtaşı (b) agregaları için tasarlanmış tane boyu dağılım eğrileri.

Tablo 4. Agregaların ince madde oranı değerleri ve öngörülen standart değer aralıkları.

Agrega sınıfı (mm)	Agrega Tane Boyu (mm)	İnce Madde Oranı (%) Traverten	İnce Madde Oranı (%) Kireçtaşı	Kategori TS 706 EN 12620+A1 (%)	Standarda uygunluk
İri agrega	11.2-22.4	0.1	0.5	0-1.5	Uygun
İri agrega	4-11.2	0.5	0.4	0-1.5	Uygun
İnce agrega	0-4	13.5	11.8	10-16	Uygun

Tablo 5. Agregalara ait yassılık indisi değerleri ve kategori tanımlamaları.

Agrega Türü	Agrega sınıfı (mm)	Yassılık İndeksi (%)	Yassılık İndeksi Kategorisi	Standarda uygunluk
Kireçtaşı	11.2 – 22.4	17.5	FI ₂₀	Uygun
Traverten	11.2 – 22.4	19.4	FI ₂₀	Uygun

2.1.3 Metilen Mavisi Deneyi ile Tane Kirliliğinin Belirlenmesi

Beton üretiminde kullanılacak ince agregaların içinde kil tanelerinin var olması betonun basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği bilinmektedir. İnce agregalar için çok ince tane boyutu 0.063 mm altı olarak tanımlanmaktadır. Beton içindeki ince tanelerin kil mineralojisinde olmaları, betonda kuruma ile çatlama, kıvam kaybı, dayanım kaybı ve gereken su miktarının fazlalığı şeklinde olumsuzluklara neden olduğu belirtilmektedir [10].

[11] standardı, metilen mavisi deneyinin uygulama şekli ve hesap esaslarını tanımlamaktadır. Yüzde olarak ifade edilen metilen mavisi (MB) değerinin düşük olması ince agreganın temizliğini yani kil tanesi içermemesini, yüksek olması ise kil tanesi içeriğinin fazlalığını göstermektedir.

[3] standardı metilen mavisi deneyi ile ilgili herhangi bir sınır değeri belirtmemektedir. Bu çalışma kapsamında agrega olarak kullanılan 0-4 mm boyutundaki traverten numuneleri için metilen mavisi değeri 0.75 ve kireçtaşı agregaları için 1.25 olarak belirlenmiştir.

2.1.4 Los Angeles Aşınma Dayanımı Değerleri

[3] standardına göre basınç dayanımı 100 MPa'dan az olan tüm doğal ve yapay agregaların parçalanmaya dayanımının araştırılması gerekmektedir. Bu çalışmada agregaların aşınma dayanımlarının belirlenmesi için [12] standardına göre Los

Angeles Aşınma deneyi yapılmıştır. Agregaların aşınma yüzdesi (U) ne kadar küçük ise, parçalanmaya dayanımının o kadar yüksek olduğu bilinmektedir. Aşınma kaybı olarak tanımlanan bu kayıp yüzdesinin, beton agregasında 100 devir için % 10'u, 500 devir için % 50'yi geçmemesi istenir. Yol agregaları için ise bu değer 500 devirde % 30'u geçmemesi istenmektedir. Demiryollarında kullanılan balast malzemeleri için belirlenmiş üst sınırı, TCDD Teknik Şartnamesi (2003) B106'ya göre 1000 devir için % 30'dur.

Los Angeles aşınma deneyi hem traverten ve hem de kireçtaşı agregaları için ayrı ayrı yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 6'da gösterilmiştir. Düşük aşınma dayanımı değerleri agregaların mekanik etkilere karşı dayanımlarının yüksek olduğuna işaret etmektedir [13]. Buna göre kireçtaşı agregaları mekanik dayanım açısından daha yüksek olup, her iki agrega öngörülen standart değerleri sağlamaktadır.

2.2 Kullanılan Agregaların Kimyasal Özellikleri

Travertenler karbonat bileşimi yüksek sedimenter oluşuklar olup bu özellikleri ile kireçtaşlarına benzerler. Bu çalışmada bu benzerlikleri ortaya koyabilmek için traverten ve kireçtaşı örnekleri üzerinde kimyasal analizler yapılmıştır. Analizler Spectro XEPOS-II PEDXRF cihazı kullanılarak yapılmıştır. Analiz edilen agrega örneklerine ait kimyasal analiz sonuçları (%) Tablo 7'de verilmiştir. CaO içeriği % 55 ve üzeri olan kayalar saf kireçtaşı olarak değerlendirilmektedir [13]. Kimyasal analiz verilerinden Ca değerleri oksit değeri şeklinde ifade edildiğinde traverten için % 52.49 ve kireçtaşı için % 53.83 değerleri elde edilmektedir. Bu değerler kayaların saf kireçtaşına oldukça yakın CaO değerleri sunduklarını ortaya koymaktadır. Hazır betonda agrega olarak kullanılacak kayaların MgO oranlarının <% 3 olması istenmektedir [13]. Bu açıdan bakıldığında da hem traverten ve hem de kireçtaşı agregalarının istenen değerlere sahip oldukları görülmektedir.

3 Beton Karışım Hesapları

Betonun bileşen olarak yaklaşık % 60-80'i agregalardan oluşmaktadır. Bu açıdan agregaların teknik özelliklerinin ve uygunluklarının bilinmesi önemlidir. Beton karışım hesabı esas olarak farklı konfigürasyonlar ile ortaya konulabilecek bir optimizasyon işlemidir. Bu açıdan tasarımı yapan kişi veya kurumun tecrübe ve birikimleri de önem taşımaktadır. [14] standardı beton ile ilgili hem malzeme ve hem de tasarım özelliklerini tanımlayan bir başvuru kaynağı niteliği taşımaktadır. İlgili standarda göre beton 3 sınıfa ayrılmaktadır;

- 1- Normal Beton: Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi $>2000 \text{ kg/m}^3$ ve $<2600 \text{ kg/m}^3$ olan beton,
- 2- Ağır Beton: Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi $>2600 \text{ kg/m}^3$ olan beton,
- 3- Hafif Beton: Etüv kurusu durumundaki birim hacim kütlesi $>800 \text{ kg/m}^3$ ve $<2000 \text{ kg/m}^3$ olan beton.

Tablo 6. Traverten ve kireçtaşı agregaları için Los Angeles aşınma deneyi ile elde edilmiş deney verileri.

Traverten (12.5 mm/25 mm) İri Agrega-500 devir	Kategori	
Deney Numunesi Miktarı (M) gr.	5.000	
1.6 mm elek üzerinde kalan malzeme (M1) gr.	3.416	LA ₃₅
Los Angeles katsayısı (M1/M)*100 %	31.68	
Kireçtaşı (11.2 – 22.4 mm) İri Agrega – 500 devir	Kategori	
Deney Numunesi Miktarı (M) gr.	5.000	
1.6 mm elek üzerinde kalan malzeme (M1) gr.	3.788	LA ₂₅
Los Angeles katsayısı (M1/M)*100 %	24.24	

Tablo 7. Traverten (Trv) ve kireçtaşı (Kçt) agrega örneklerine ait ana oksit element analiz sonuçları.

%	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	K ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃
Trv	0.254	0.355	0.157	0.527	52.49	0.006	0.222	0.005	0.062	0.070	0.316
Kçt	0.207	0.412	0.162	0.352	53.82	0.003	0.040	0.004	0.075	0.079	0.024

Bu çalışmada, agrega olmaya uygunlukları tespit edilen traverten ve kireçtaşı malzemeleri kullanılarak beton numuneleri elde edilmiştir. Ortaya konulan betonlar için C30/37 sınıfı normal beton hedef olarak alınmıştır. [14] standardı C30/37 sınıfı beton için 15*15*15 cm boyutlarındaki küp numune basınç dayanımını 37 MPa olarak tanımlamıştır.

Traverten artıklarından elde edilen agrega ve kireçtaşı agregaları ile beton karışımlarını yapabilmek için bir ticari yazılım programından faydalanılmıştır. Granülometri eğrileri önceden belirlenmiş olan tane boylarındaki agregalar kullanılarak beton karışımları hesaplanmış ve 32 lt hacimli laboratuvar betoniyeri kullanılarak betonlar oluşturulmuştur. Hazırlanan karışımlar 15*15*15 cm boyutlarındaki küp beton kalıplarına konularak vibrasyon masasında sıkıştırılmışlardır. Karışımlarda maksimum tane çapı 32 mm olarak seçilmiştir. Karışımların su/çimento oranı 0.55'tir. Tablo 8, hazırlanan beton karışımları için teşkil edilmiş malzeme miktarlarını göstermektedir.

4 Elde Edilen Betonların Dayanım Özellikleri

Esas olarak dış yüklere karşı dayanım özelliği sergilemesi beklenen betonlar için aranan özelliklerden biri basma dayanımlarının büyüklüğüdür. Beton dayanımının en önemli parametrelerinden biri olan basma dayanımı zamana bağlı değişen bir özellik sergilemekte olup genel olarak 28 günlük dayanım olarak değerlendirilmektedir.

Laboratuvar ortamında elde edilen traverten agregalı ve kireçtaşı agregalı betonlar 7, 28 ve 56 günlük kür süreleri

sonunda tek eksenli koşulda basma dayanımına tabi tutularak dayanım değerleri belirlenmiştir (Şekil 4). Basma dayanım deneyleri [15] standardına göre yapılmış ve deney yükleme hızı 0.5 MPa/s olarak seçilmiştir. Farklı kür süreleri sonunda elde edilmiş basma dayanımı değerleri Tablo 9'da traverten agregalı beton için ve Tablo 10'da ise kireçtaşı agregalı beton için ayrı ayrı sunulmuştur.



Şekil 4. Elde edilen beton numuneleri ve basma deneyi öncesi görünüşleri.

Tablo 8. Beton karışımlarında kullanılan malzemelerin ağırlıkça dağılımları.

Malzeme	Traverten Agregalı Betonda	Kireçtaşı Agregalı Betonda
Çimento	300 kg/m ³	300 kg/m ³
Su	166 kg/m ³	165 kg/m ³
Kimyasal Katkı	4.1 kg/m ³	3.9 kg/m ³
Agrega (0 - 4 mm)	1007 kg/m ³	974 kg/m ³
Agrega (4 - 11.2 mm)	298 kg/m ³	328 kg/m ³
Agrega (11.2 - 22.4 mm)	587 kg/m ³	620 kg/m ³
Toplam Agrega	1892 kg/m ³	1922 m ³

Traverten agregalı betonun 28 günlük basma dayanım ortalama değeri 42.45 MPa ve kireçtaşı agregalı betonun ise 44.05 MPa olarak elde edilmiştir. Gerek traverten agregalı ve gerekse kireçtaşı agregalı betonlar için hedeflenen basma dayanımı değerlerine ulaşıldığı görülmektedir. Bununla birlikte, kireçtaşı agregalı betonun basma dayanımının traverten agregalı betonun basma dayanımından % 3.77 daha fazla olduğu belirlenmiştir.

5 Petrografik İncelemeler

Elde edilen beton numunelerinden alınan parça örneklerden ince kesitler yaptırılarak polarizan mikroskopta incelemeye tabi tutulmuşlardır. İncelemeler [16] deney standartı gözetilerek gerçekleştirilmiştir. Şekil 5, ince kesit yapılan traverten ve kireçtaşı agregalı betonların taze iç yüzeylerini göstermektedir. Traverten agregaları açık kahverengi, kirlili beyaz görünüşleri ile dikkat çekmektedir.

Traverten agregalı betonda traverten taneleri ile matriks (çimento) malzemesinin bağlanmasının oldukça iyi olduğu görülmüştür.

Tablo 9. Traverten agregalı betonun farklı kür süreleri sonundaki basma dayanımı deney verileri.

Numune Şekli	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	B. Ağırlık (gr/cm ³)	Kür Yaşı	Deney Tarihi	Kırılma Yüğü (kN)	Dayanım (MPa)
Küp	3375	7650	2.27	7	13.11.2012	738.1	32.80
Küp	3375	7706	2.28	7	13.11.2012	853.6	37.93
Küp	3375	7740	2.29	7	13.11.2012	838.8	37.28
Küp	3375	7696	2.28	28	04.12.2012	957.0	42.53
Küp	3375	7722	2.29	28	04.12.2012	960.8	42.70
Küp	3375	7694	2.28	28	04.12.2012	948.1	42.14
Küp	3375	7710	2.28	56	02.01.2013	873.1	38.82
Küp	3375	7724	2.29	56	02.01.2013	931.5	41.40
Küp	3375	7716	2.29	56	02.01.2013	952.4	42.32

Tablo 10. Kireçtaşı agregalı betonun farklı kür süreleri sonundaki basma dayanımı deney verileri.

Numune Şekli	Hacim (cm ³)	Ağırlık (gr)	B. Ağırlık (gr/cm ³)	Kür Yaşı	Deney Tarihi	Kırılma Yüğü (kN)	Dayanım (MPa)
Küp	3375	8060	2.39	7	13.11.2012	885.3	39.34
Küp	3375	8192	2.43	7	13.11.2012	886.2	39.38
Küp	3375	8120	2.41	7	13.11.2012	898.2	39.92
Küp	3375	8056	2.39	28	04.12.2012	985.7	43.80
Küp	3375	8152	2.42	28	04.12.2012	979.9	43.55
Küp	3375	8152	2.41	28	04.12.2012	1008.0	44.80
Küp	3375	8080	2.39	56	02.01.2013	1031.1	45.82
Küp	3375	8094	2.40	56	02.01.2013	1036.1	46.04
Küp	3375	8078	2.39	56	02.01.2013	1071.1	47.60



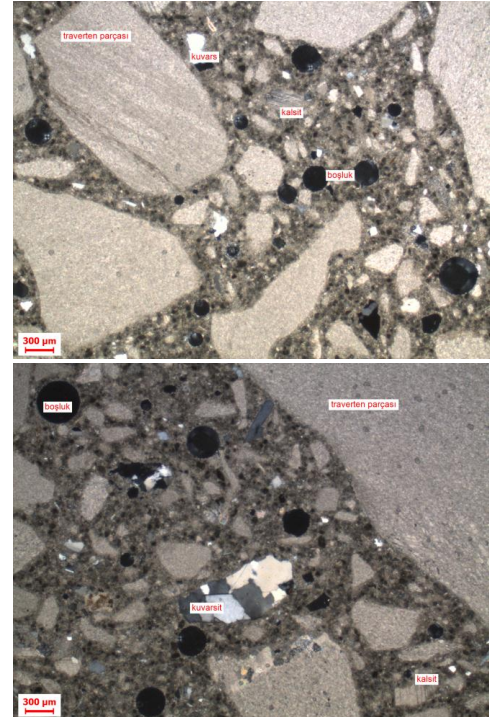
Şekil 5. Traverten ve kireçtaşı agregalı betonlar içinde agregaların dağılımı ve beton numunelerinin genel görünümleri.

Traverten agregaları etrafında ince taneli matriks malzemesinin gelişmiş olduğu tespit edilmiştir. Kesit içinde yuvarlak şekilli boşluklar bulunmakta olup, boşluk boyutları 50-100 µm arasında değişmektedir (Şekil 6).

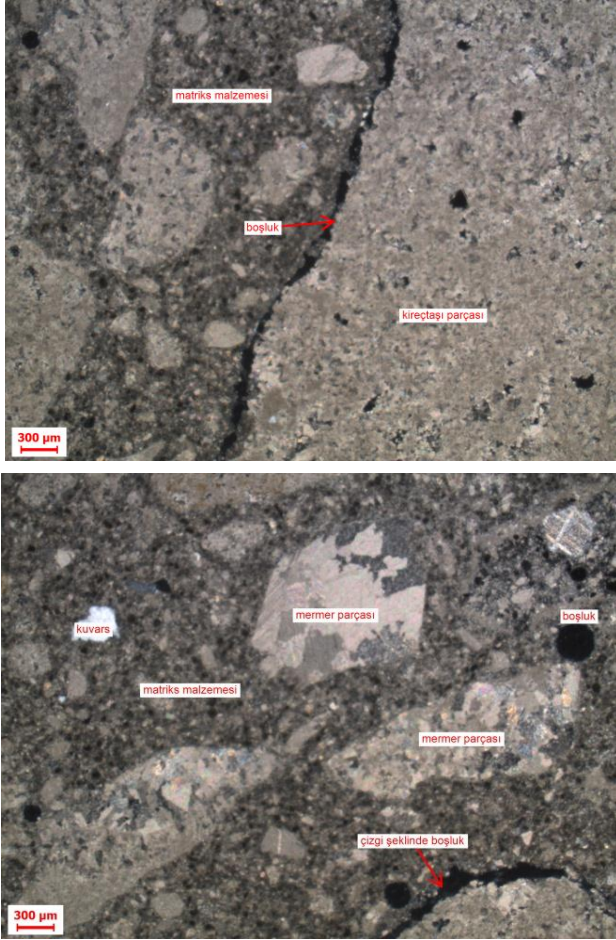
Kireçtaşı agregalı betonda ise, kireçtaşı agregaları ile matriks (çimento) malzemesi arasında oldukça keskin ve belirgin bir ara yüzey olduğu dikkati çekmiştir (Şekil 7). Bu ara yüzey ince kesitlerde siyah renkli kalın bir çizgi şeklinde kendini göstermektedir. Bu durum özellikle agregaların daha iri olduğu koşullarda çok daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Traverten agregalı betondakinin aksine kireçtaşı agregalı betonda boşluklu yapının daha az olduğu gözlenmiştir.

Kesit görüntüleri bir arada yorumlandığında, tane bağlanmaları dışında büyük farklılıkların olmadığı görülmüştür. Traverten agregalarının matriks ile bağlanma derecelerinin daha iyi, buna karşılık matrikste boşlukların

daha fazla, kireçtaşı agregalarında ise agrega etrafında çizgi şeklinde boşluklu bir yapının varlığı ancak bağımsız boşlukların daha az olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6. Traverten agregalı betonda, tanelerin hamur içindeki dağılımlarının, ince kesit çalışması yapılarak polarizan mikroskopla elde edilmiş görüntüleri.



Şekil 7. Kireçtaşı agregalı betonda tanelerin dağılımı ve hamur malzemesi ile yaptıkları ara yüzeyin görünüşleri.

6 Maliyet Analizi

Beton, yapı sektörünün vazgeçilmez bir malzemesi olduğundan üretim maliyetleri bakımından da betonun optimal olması istenmektedir. Bu yüzden farklı firmalar değişik tasarımlarla beton kalitesinden ödün vermeden maliyeti düşürecek araştırmalar yapmaktadırlar.

Bu çalışmada birbirine oldukça yakın karışım oranlarına sahip traverten ve kireçtaşı agregaları ile elde edilmiş olan beton numuneleri ele alınmıştır. Toplam maliyet açısından agrega birim fiyatının düşük olması beton maliyetinin de düşük olmasını sağlayacaktır. 2013 yılı güncel piyasa fiyatları traverten agregasının 12 TL/ton, kireçtaşı agregasının ise 16.5 TL/ton fiyatlarla satılmakta olduğunu ortaya koymuştur. Bu açıdan değerlendirildiğinde m³ başına yaklaşık 1.9 ton agreganın kullanılmış olduğu bu çalışmada, traverten agregalı betonda agrega maliyeti 22.8 TL ve kireçtaşı agregalı betonda agrega maliyeti 31.4 TL olarak belirlenmiştir. Bu da traverten agregalı betonun kireçtaşı agregalı betondan yaklaşık % 37 daha az maliyetli olacağı anlamına gelecektir.

7 Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada Denizli yöresinden elde edilen ocak artığı travertenlerin agrega olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Bunu belirlemek için elde edilen malzemeler üzerinde standartlar tarafından öngörülmesi olan bazı deneysel çalışmalar yapılarak mevcut sonuçlar bir arada değerlendirilmiştir. Deneysel çalışmalarla elde edilen sonuçlar

traverten ocak artıkları ile elde edilmiş agregaların kireçtaşı agregaları gibi betonda kullanıma uygun olduğu belirlenmiştir.

Traverten ve kireçtaşı agregaları kullanılarak elde edilen C30/37 sınıfındaki beton dayanımları 7, 24 ve 56 günlük olarak değerlendirildiğinde traverten artıklarından üretilen betonun kireçtaşı agregalı betona oldukça yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Yapılan petrografik çalışmalar traverten agregalı betonda tanelerin çimento malzemesi ile oldukça iyi kenetlendiği, buna karşılık boşluklu yapının gözlendiği, kireçtaşı agregalı betonda ise taneler ile çimentonun bir ara yüzey oluşturacak şekilde birleştiği, ancak boşluklu yapının nispeten daha az olduğu tespit edilmiştir. Maliyetler açısından ise traverten agregalı betonun daha düşük maliyetle elde edildiği görülmüştür. Traverten artıklarının beton sektörüne kazandırılması çevresel açıdan da çok büyük faydalar sağlayacaktır.

Artık malzemelerin değerlendirilebilmesi amacıyla yapılacak deneysel çalışmaların sadece bilimsel topluma değil aynı zamanda ilgili sanayi kollarına da duyurulması daha ileri seviye çalışmalarında yapılarak kapsamlı sonuçların elde edilmesini sağlayacaktır. Bununla birlikte alternatif bir yapı malzemesi olan traverten oluşumlarının, briket, bordür ve kilit taşı üretimlerinde de rahatlıkla kullanılacak özellikle oldukları düşünülmektedir. Bu amaçla farklı çalışmaların da yapılması gerekmektedir.

8 Teşekkür

Beton numunelerinin ince kesitleri, PAÜ, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji-Petrografi Laboratuvarından polarizan mikroskopla incelenmiştir. Yazarlar Doç. Dr. Tamer KORALAY'a bu katkıdan dolayı teşekkür ederler.

9 Kaynaklar

- [1] Yılmaz, A.O, Alp, İ., Kaya, R., Çavuşoğlu, İ., "Trabzon ilindeki taşocaklarının incelenmesi ve agrega potansiyelinin belirlenmesi", 3. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 133-142, İstanbul, 2003.
- [2] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O., "Çözümlü beton agregaları problemleri", *Evrin Yayın Evi*, İstanbul, 1999.
- [3] TS EN 12620+A1, "Beton Agregaları", 50 s, TSE Yayını, Ankara, 2009.
- [4] Chafetz, H.S., Folk, R.L., "Travertines: Depositional Morphology and the Bacterially Constructed Constituents", *Journal of Sedimentary Petrology*, 54 (1), 289-16, 1984.
- [5] Atabey, E., "Tufa ve Traverten", *JMO Yayını*, 106 s., Ankara, 2003.
- [6] Özkul, M., Alçiçek, M.C., "Denizli Travertenlerinin Jeolojik ve Sedimentolojik İncelenmesi", TÜBİTAK Projesi. YDABÇAG-198Y100. 62 s, 2001.
- [7] TS EN 933-1, "Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu", TSE Yayını, Ankara, 2012.
- [8] TS EN 802, "Beton karışım tasarımı hesap esasları", 30 s, TSE Yayını, Ankara, 2009.
- [9] TS EN 933-3, "Agregaların geometrik özellikleri için deneyler bölüm 3: Tane ekli tayini yassılık endeksi", 11 s, TSE Yayını, Ankara, 2012.
- [10] Higgs, N.B., "Preliminary Studies of Methylen Blue Adsorption As a Method of Evaluating Degradable Smectite-Bearing Concrete Aggregate Sands", *Cement and Concrete Research*, Vol. 16, pp. 525-534, 1986.

- [11] TS EN 933-9, "Agregaların geometrik özellikleri için deneyler-Bölüm 9: İnce malzeme tayini - Metilen mavisi deneyi", 16 s, TSE Yayını, Ankara, 2010.
- [12] TS EN 1097-2, "Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler-Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar", 30 s, TSE Yayını, Ankara, 2010.
- [13] Yılmaz, F., Koltka, S., Sabah, E., "Emirdağ-Adaçal (Afyonkarahisar) Kireçtaşlarının Beton Agregaları Standardına Uygunluğunun Araştırılması", *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (1-12), Ankara, 2011.
- [14] TS EN 206-1, "Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk", 68 s, TSE yayını, Ankara, 2002.
- [15] TS EN 12390-3, "Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini", 12 s, TSE Yayını, Ankara, 2010.
- [16] TS 10088 EN 932-3, "Agregaların genel özellikleri için deney kısmı 3: Basitleştirilmiş petrografik tanımlama için işlem ve terminoloji", 12 s, TSE Yayını, Ankara, 1997.