



POLİTEKNİK DERGİSİ JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)
URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

Kurşun-çinko maden artığı kayaçlarla üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması

Investigation of mechanical and physical properties of concrete produced to lead-zinc mining waste rocks

Yazar(lar) (Author(s)): Mustafa ÇULLU

ORCID: 0000-0002-0454-7949

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Çullu M., " Kurşun-çinko maden artığı kayaçlarla üretilen betonların mekanik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 21(2): 427-435, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.374053

Kurşun-Çinko Maden Artığı Kayaçlarla Üretilen Betonların Mekanik ve Fiziksel Özelliklerinin Araştırılması

Araştırma Makalesi /Research Article

Mustafa ÇULLU*

Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane, Türkiye

(Geliş/Received: 12.07.2017 ; Kabul/Accepted : 23.11.2017)

ÖZ

Bu çalışmanın amacı; kurşun-çinko maden işletmesinden elde edilen artık kayaçlardan (Pasa) üretilen betonların fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılmasıdır. Bu kapsamda işletmeden elde edilen artık kayaçların ilk olarak fiziksel, kimyasal, mineraloji-petrografik özellikleri belirlenmiştir. Artık kayaçlardan elde edilen agrega ve kireçtaşı agregaları ile %25, %50 ve %75 oranında yer değiştirilerek C16/20, C25/30 ve C35/45 beton dayanım sınıflarında örnekler hazırlanmıştır. Hazırlanan beton örneklerin fiziksel ve mekanik özellikleri belirlenmiştir. Sonuç olarak, kurşun-çinko maden artığı kayaçların beton agregası olarak kullanıldığında, kireçtaşına göre beton örneklerin görünür boşluk oranı ve su emme değerleri azalırken, yoğunluğu artmıştır. Fiziksel özelliklerdeki olumlu etkiye bağlı olarak, basınç ve eğilme dayanımı da artmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Agrega, kurşun-çinko maden artığı, fiziksel özellik, mekanik özellik.*

Investigation Of Mechanical And Physical Properties of Concrete Produced to Lead-Zinc Mining Waste Rocks

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the physical and mechanical properties of concrete produced from lead-zinc mine waste (tallow) products. In this context, the physical chemical, mineralogical and petrography characteristics of rocks obtained from zinc-lead mine were analyzed first. Concrete strength classes of C16/20, C25/30 and C35/45 5 replaced with 25%, 50% and 75% rates of limestone were prepared with lead mine waste. The physical and mechanical properties of the prepared concrete samples were determined. As a result, when lead-zinc mine waste is used as concrete aggregate, while the porosity and the water absorption of prepared samples were decreased, the physical density were increased as compared to limestone. As the result of the positive effect of physical properties, compressive and tensile strength were increased.

Keywords: *Aggregate, lead-zinc mining waste, physical property, mechanical property.*

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

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 "kırmakum" (taşunu filler) denilmektedir [2].

Günümüzde insan nüfusunun hızla artması ve mevcut kaynakların tükenmeye başlamasıyla, meydana gelen

atıkların azaltılması, mevcut atıkların potansiyel bir hammadde kaynağı olarak değerlendirilmesi, kullanılmış hammaddelerin yeniden kullanılması gibi atık yönetimi konuları giderek önem kazanmaya başlamıştır [3]. Doğal kaynakların daha az tüketilmesi, çevre kirliliğinin daha az indirilmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması amacıyla endüstriyel atık kullanımı gün geçtikçe daha fazla ilgi çeken bir konu olmaktadır [4]. Atıklar çevre sorununun yanı sıra birçok durumda depolanma zorunluluğundan dolayı ilave maliyet getirmektedir. Bu nedenle, birçok atık içeriğine bakılmaksızın ortadan kaldırılmaya çalışılmaktadır. Ancak, atık malzemelerin de bir değeri vardır ve atıklar katma değeri yüksek ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilir. Günümüzde betonda kullanılacak birçok atık malzeme bulmak mümkündür. Bunların başında; Uçucu kül, Yüksek fırın cürufu, Mermer atıkları, İnşaat ve yıkıntı atıkları, Lastik atıkları gelmektedir. Doğal ve atık agregaların betonda kullanımı ile ilgili birçok araştırma yapılmıştır. Agregalar, geri dönüşüm agregası [5], traverten atıkları [6],

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : mustafacullu@hotmail.com

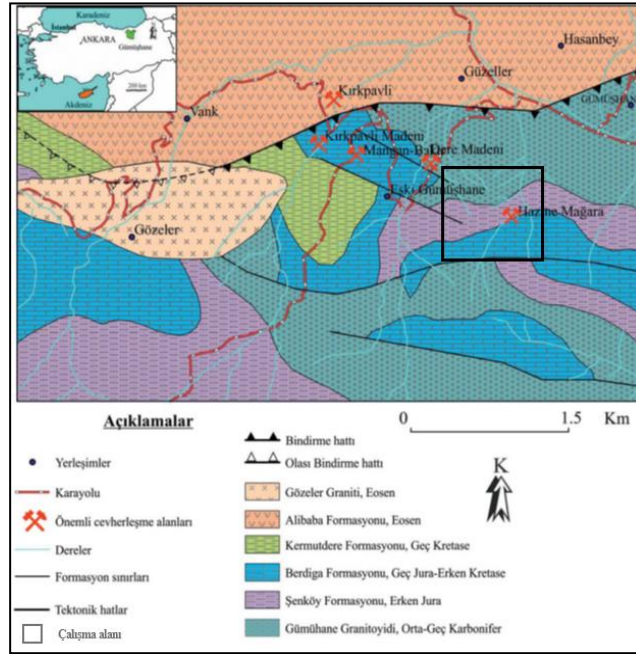
mermer ocağı atıkları [7], atık lastikler [8], erken yaşta ki atık betonlar [9], seramik atıkları [10] yapılan çalışmalardan bazılarıdır. Bu çalışmada da, kurşun-çinko madeni artığı kayalardan elde edilen agregalar ile üretilen betonların mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir.

1.1. Sahanın Jeolojisi (Geology Field)

Çalışma sahasının jeolojisi ve sahadaki cevherleşme şöyle özetlenebilir [11, 12, 13]. Çalışmaya konu kurşun çinko cevherleşmesi Pontid tektonik birliğinin doğusunda (Doğu Karadeniz Tektonik Birliği içinde) [14] Gü-

alır [22]. Tüm bu birimler özellik Gümüşhane-Trabzon yol güzergahında, çalışma sahası dışında geç Kretase plütonik kayaları [23] tarafından kesilir.

Gümüşhane yöresinde Geç Kretase volkanik ve/veya sedimanter kayaları Orta-Geç Eosen yaşlı denizel volkano-tortullar uyumsuz olarak örtmektedir [24]. Alibaba formasyonu [22] olarak adlandırılan bu kayalar tabanda yersel olarak konglomeralar, kumtaşı ve tüfit ara katkılı nummulitli kireçtaşları ile başlayarak, üst seviyelere doğru andezit ve ilişkili piroklastikleri ile devam eder. Birim yer yer aşınmış olarak bulunan kireçtaşı, kumtaşı,



Şekil 1. Gümüştaş maden sahası jeolojik haritası (Gumustas mine site geological map) [27, 28]

müşhane ili sınırları içerisinde yer almaktadır (Şekil 1). Bölgede, Geç Paleozoyik yaşlı temel kayalar ve Mesozoyik-Senozoyik örtü kayaları olarak yaşlandırabileceğimiz iki grup kaya yüzeylenmektedir. Temel kayalar Erken-Orta Karbonifer yaşlı Pulur-Kurtoğlu metamorfizmaları [15] ve metamorfize olmamış Orta-Geç Karbonifer yaşlı Gümüşhane granitoidiyle temsil edilir [16, 17]. Cevherleşme sahası içinde de gözlemlenen Gümüşhane granitoidi başlıca granodiyorit, kuvarşlı mikrodiorit, granit ve dasit porfirlerden oluşmaktadır [16, 18]. Sahada Mesozoyik istifin en alt kesimi, Variskan temel üzerinde uyumsuz olarak gelen Erken Jura yaşlı volkano-tortul birimle temsil edilmektedir (Şenköy formasyonu) [19]. Bu birim taban konglomerası ile başlar; bazalt, diyabaz, çört ve dasitik tüf içeren türbiditik karakterli çakıltaşı, kumtaşı, siltaşı ve marınlar ile devam eder [20]. Bu birim üzerine Pelin (1977) tarafından Berdiga formasyonu olarak adlandırılan ve altaki birimle uyumlu olarak taban kesimi genelde masif karakterli platform nitelikli karbonatlardan oluşan Geç Jura-Erken Kretase yaşlı birim gelir [21]. Kireçtaşları üzerinde ise tabanda sarı renkli kumlu kireçtaşları ile başlayan, üste doğru kırmızı renkli kırıntılı karbonatlar ve gri renkli türbiditler ile devam eden Geç Kretase yaşlı Kermtudere formasyonu yer

marn, tüf ardalanmasıyla son bulur. Bu birimler yine aynı yaşlı intrüzif kayalar tarafından kesilmektedir (Gözeler graniti) [11]. Kuvaterner yaşlı traverten, yamaç molozları ve alüvyonlar ise bölgedeki en genç birimlerdir.

Gümüşhane yöresi Türkiye'nin önemli metalojenik kuşaklarından biri olup, çok sayıda kurşun çinko, bakır ve altın cevherleşmesine ev sahipliği yapmaktadır. Bölgede cevherleşmeler bölgeyi etkileyen tektonizma ile yakın ilişkilidir. Genç granitik intrüziflere bağlı olarak gelişen sülfür mineralizasyonları bu tektonik hatlar boyunca yerleşerek önemli bakır, kurşun, çinko, altın ve gümüş cevherleşmelerini oluşturmuştur [11, 25, 26]. Çalışmaya konu olan Hazine Mağara Pb-Zn-Au-Ag Maden sahası, Gümüşhane ilinin 2 km. güneyinde yer almaktadır. Sahada halihazırda madencilik faaliyetleri yürütülmektedir. Hazinemağara sahasında temel kayaç Paleozoyik yaşlı Gümüşhane Granitoidi ve granitoidin kenar zonu olan kuvars porfirlerdir [25]. Temel kayalar üzerine uyumsuz olarak Jura-Lias yaşlı volkanotortul kayalar, bu kayaların üzerinde uyumlu olarak Üst Jura-Alt Kretase masif kireçtaşları, Üst Kretase yaşlı filiş ve filiş üzerinde uyumsuz olarak Eosen yaşlı volkanotortul kayalar izlenmektedir. Sahadaki tektonizmaya ilişkili fay ve kırık zonları boyunca Cu-Pb-Zn-Au-Ag cevherleşmeleri gelişmiştir.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIALS AND METHOD)

Yapılan çalışmada beton üretiminde agrega (Kurşun-çinko madeni artığı kayaçlar “Pasa” ve Kireçtaşı), çimento ve Gümüşhane şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

2.1. Materyal (Materials)

2.1.1. Agrega (Aggregate)

Çalışmada kullanılan kayaçlar, etrafında kil ve silt olmasından dolayı yıkanıp kurutulduktan sonra çeneli kırıcı ile kırılıp beton agregası boyutuna getirilmiş ve eleklerle elenerek 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm sınıflarında gruplandırılmıştır. Kırma ve eleme işleminde kullanılan cihazlar Şekil 2’de görülmektedir.



Şekil 2. Çeneli kırıcı ve elek sarsma makinası (Jaw crushers and sieve shaking machine)

Maden sahasından temin edilen pasa çeneli kırıcıdan kırılarak 0-4, 4-11.2, 11.2-22.4 mm elek boyutlarına indirgenerek beton döküm işlemine hazır hale getirilmiştir. Şekil 3’de görülmektedir.



Şekil 3. Çeneli kırıcıda kırılmış ve sınıflandırılmış kurşun-çinko madeni artığı kayaç (Lead-zinc mining waste rock broken and classified in jaw crusher)



Şekil 4. Kireçtaşı agregası (Limestone aggregate)

Agregalara ait fiziksel özellikler Çizelge 1’de görülmektedir.

Çizelge 1. Agregalara ait fiziksel özellikler (Physical properties of aggregates)

Agrega türü	Agrega sınıfı	Fiziksel özellikler			
		Kuru tane yoğ. (g/cm ³)	DKY yoğ. (g/cm ³)	Su em. oranı (%)	Porozite (%)
Pasa	0-4	2.67	2.78	4.02	10.71
	4-32	2.78	2.81	1.10	3.06
Kireçtaşı	0-4	2.52	2.63	4.21	10.62
	4-32	2.54	2.59	1.93	4.89

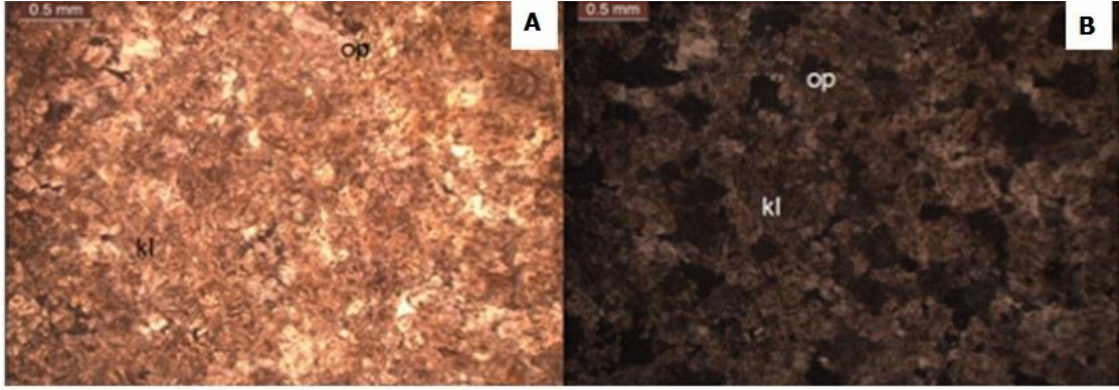
Agregaların kimyasal analizi Çizelge 2’de görülmektedir.

Çizelge 2. Agregaların kimyasal özellikleri (Chemical properties of aggregates)

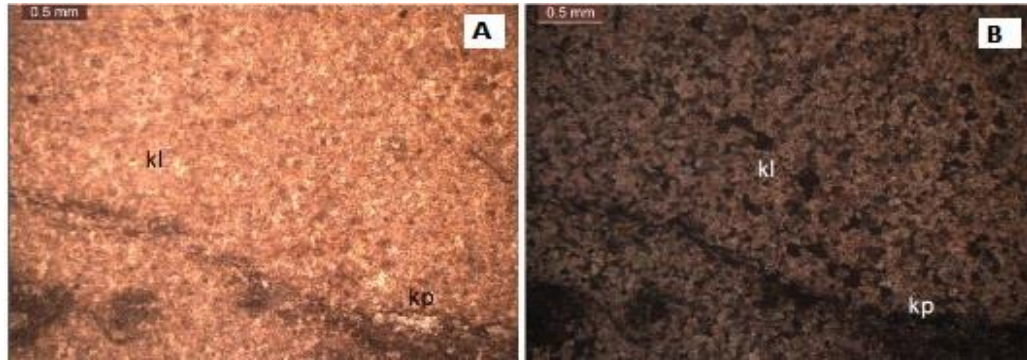
Element	Pasa	Kireçtaşı
SiO ₂		2.95
Al ₂ O ₃		0.43
Fe ₂ O ₃ *	4.65	0.46
MgO		-
CaO	34.6	73.93
MgCO ₃		22.24
Zn	1.11	
Pb	0.98	
Cu	<0.01	
H ₂ O	7.96	
Diğer		
Uçucular	50.74	
Ağırlıklı (CO ₂ , vb.)		
Toplam	100.04	100.01

*Toplam demir miktarı

Agreganın minerolojik-petrografik incelemesi, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Pasa cevherleşmenin içinde geliştiği kayacın bir nevi ekonomik olarak cevher içermeyen, cevherleşmeden geriye kalan ve ekonomik olmayan kısmı olarak ifade edilebilir. Cevherleşme sahada kireçtaşları içinde gelişmiş olup, pasa olarak ifade edilen kısım ağırlıklı olarak kireçtaşı içermektedir. Metalik mineral olarak ise pirit, sfalerit, daha az oranda ise galenitler bulunmaktadır. Pasadan alınan el büyüklüğündeki örneklerden yapılan ince kesit incelendiğinde kalsitin ağırlıklı olduğu, bunun yanında opak olarak da pirit, sfalerit ve daha az oranda da galenitin olduğu tespit edilmiştir. Pasa örneğine ait ince kesit fotoğrafı Şekil 5’de görülmektedir



Şekil 6. Pasaya ait ince kesit fotoğrafı, a) tek nikol, b) çift nikol (kl:kalsit, op: opak mineral) (Photomicrograph of mining tailing, a) Nonpolarized light b) Crossed polars (kl:calcite, op: opaque mineral))



Şekil 5. Kireçtaşı örneğine ait ince kesit fotoğrafı. Mikritik dokulu kireçtaşı. a) Teknikol, b) Çift nikol (kp:kayaç parçası, kl:kalsit) Photomicrograph of limestone. Micritic limestone a) Nonpolarized light b) Crossed polars (kp:rocks fragment, kl:calcite)

Agrega olarak kullanılan kalsitler Gümüşhane yöresinde yaygın olarak rastlanan Berdiga Formasyonu'ndan (masif kireçtaşı) alınmıştır. Berdiga formasyonu, arazide açık gri rengeyle uzaktan tanınabilen bir kayaç topluluğu olup, arazide sert bir topoğrafya vermesi ile dikkat çekmektedir. Agregadan alınan örneklerin mikroskopik incelemelerinde; kayaç içinde bileşen olarak kalsit ve kayaç kırıntularına rastlanmıştır. Kayaçta çimentosunun mikritik (küçük kristalli) karakterde olduğu ve mineralojik ve dokusal özellikleri dikkate alındığında sığ denizel ortam ürünü olduğu sonucuna varılmış olup, kayaç mikritik kireçtaşı olarak adlandırılmıştır. Kireçtaşı örneğine ait ince kesit fotoğrafı Şekil 6'da görülmektedir

2.1.2. Çimento (Cement)

Üretilen betonlarda CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Çimento Gümüşhane'de bulunan Aşkale Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. Çizelge 3'de çimentoya ait kimyasal analiz sonuçları verilmiştir

Çizelge 3. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri (Chemical, physical and mechanical properties of cement)

Kimyasal Analizler		Fiziksel Testler	
SiO ₂	18.59	İncelik (45 µ elek üstü %)	8.58
Al ₂ O ₃	4.69	Özgül Ağırlık	3.08
Fe ₂ O ₃	3.04	Özgül Yüzey (cm ² /g)	4145
CaO	60.34	Priz Başlangıcı (saat-dk)	2saa-33dk
MgO	1.92	Priz Sonu (saat-dk)	3saa-18dk
SO ₃	2.89	Hacim Genişlemesi (mm)	0.7
Kızdırma Kaybı	7.19	Su İhtiyacı %	29.9
Na ₂ O	0.11	Basınç Dayanımı (MPa)	
K ₂ O	0.64		
CI	0.018	2.Gün	23.9
Ölçülemeyen	0.57	28.Gün	51.1
Toplam	100		
s.CaO	0.38		
Katkı%	17.87		

2.2. Metot (Method)

2.2.1. Beton örneklerin hazırlanması (Preparation of concrete samples)

Yapılan çalışmada betonların üretimi Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Yapı ve Malzemeleri Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Kurşun-çinko madeni artığı kayaçlardan elde edilen agregalar ve Kireçtaşı agregaları birbirleri arasında %25-%50-%75 oranlarında yer değiştirilmiştir. TS 802 referans alınarak C16/20, C25/30 ve C35/45 olmak üzere 3 farklı basınç dayanımı sınıfında karışım dizaynı yapılmıştır. Karışım dizaynı yapılan C16/20, C25/30 ve C35/45 beton dayanım sınıflarına ait karışım miktarları Çizelge 4'de görülmektedir.

Çizelge 4. 1m³ beton karışımında malzeme miktarı (The amount of material in 1 m³ of concrete mix)

Dayanım Sınıfı	Beton Türü	Su (lt)	Çimento (kg)	İnce Agregası (0-4 mm)		Kaba Agregası (4-22.4 mm)		Teorik Bir. Hac.Ağ. kg/m ³
				Artık Kayaç	Kireçtaşı	Artık Kayaç	Kireçtaşı	
C16/20	100KT	218	315	-	849	-	873	2255
	25P75KT			224	637	237	655	2286
	50P50KT			449	425	473	436	2317
	75P25KT			673	212	710	218	2347
	100P			898	-	947	-	2378
C25/30	100KT	218	411	-	810	-	831	2270
	25P75KT			214	608	226	624	2300
	50P50KT			428	405	451	416	2329
	75P25KT			642	203	677	208	2358
	100P			856	-	902	-	2387
C35/45	100KT	218	558	-	750	-	767	2292
	25P75KT			198	562	208	575	2319
	50P50KT			396	375	416	383	2346
	75P25KT			594	187	624	192	2373
	100P			792	-	832	-	2400

Beton karışımında kullanılan agrega türleri arasında %25, %50, %75 oranlarında yer değiştirme yapılmıştır. Oluşturulan beton türleri Çizelge 5'de görülmektedir.

Çizelge 5. Beton serilerinin kodlanması ve oransal değişimleri (Coding of concrete series and proportional changes)

Beton türü	% Agregası oranları
100P	%100 Pasa
100KT	%100 Kireçtaşı
75KT25P	%75 Kireçtaşı - %25 Pasa
50KT50P	%50 Kireçtaşı - %50 Pasa
25KT75P	%25 Kireçtaşı - %75 Pasa

2.2.2. Su emme oranı tayini (Identification of water absorption)

Su emme oranı (SEO) ASTM C642'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

SEO hesaplanmasında;

$$m = \frac{B-A}{A} \times 100 \quad (1)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada; m; Ağırlıkça su emme oranı, (%), A; Etüv kurusu ağırlık, (g), B; Doygun kuru yüzey ağırlığı, (g) ifade etmektedir [29].

2.2.3. Görünür boşluk oranı tayini (Identification of permeable pore space volume)

Boşluk oranı tayini ASTM C642'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Boşluk oranı tayini hesaplanmasında;

$$B_o = \frac{C-A}{C-D} \times 100 \quad (2)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada; B_o; Görünür boşluk oranı, (%), A; Etüv kurusu ağırlık, (g), C; Su içinde kaynatma sonrası suya doymuş

ağırlığı, (g),D; Su içerisindeki ağırlığı, (g) ifade etmektedir [29].

2.2.4. Yoğunluk Tayini (Identification of density)

Yoğunluk tayini ASTM C642'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır.

Yoğunluk, numunenin tayin edilen kütlesi ve hacmi kullanılarak, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanır:

$$g = \left[\frac{A}{A-D} \right] \cdot \rho \quad (3)$$

Burada; g; Numunenin yoğunluğu (g/cm³), A; Etüv kurusu ağırlık, (g), D; Su içerisindeki ağırlığı, (g), ρ; suyun yoğunluğu, 1 g/cm³ ifade etmektedir [29].

2.2.5. Basınç dayanımı tayini (Identification of compressive strength)

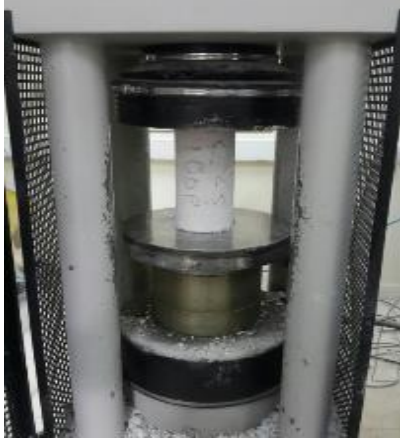
Basınç dayanımı, 100x200 mm ebadında silindirik beton örnek üzerinde TS EN 12390-3'de belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Beton basınç dayanımının hesaplanması:

$$f_{c=} = \frac{F}{A_c} \quad (4)$$

eşitliği kullanılmıştır.

Burada; f_c ; Basınç dayanımı, MPa (N/mm²), F; Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N, A_c ; Numunenin, üzerine basınç uygulandığı en kesit alanı, (mm²) ifade etmektedir [30].

Basınç dayanımın belirlenmesinde Şekil 7’de görülen basınç presi kullanılmıştır.



Şekil 7. Beton basınç presi (Concrete pressure press)

2.2.6. Eğilme dayanımı tayini (Identification of Bending Strength)

Eğilme basınç deneyi 10x10x40 cm ebadında kiriş örnek üzerinde TS-EN 12390-5’te belirtilen esaslara göre yapılmıştır. Eğilme basınç dayanımı testleri, 28 günlük numunelere uygulanmıştır. Eğilme basınç presi (Şekil 8) TS-EN 12390-3’e uygun olarak ayarlanmış ve otomatik olarak kırılarak kırılma yükleri ve basınç gerilmeleri (eğilme basınç dayanımları) saptanmıştır.

$$f_{cf} = \frac{3 \times F \times l}{2 \times d_1 \times d_2} \quad (5)$$

Burada; f_{cf} ; Eğilme Dayanımı, (MPa), F; En büyük yük (N), d_1 ve d_2 ; Numunenin en kesit boyutları (mm), l ; Mesnet silindirleri arasındaki açıklık (mm) ifade etmektedir [31].



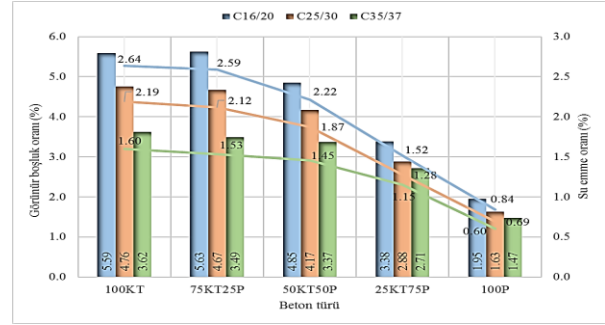
Şekil 8. Eğilme presi (Bending press)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Beton örneklerin fiziksel özellikleri “su emme oranı, görünür boşluk oranı, yoğunluğu” ve mekanik özellikleri “basınç dayanımı ve eğilme dayanımı” sonuçları değerlendirilmiştir.

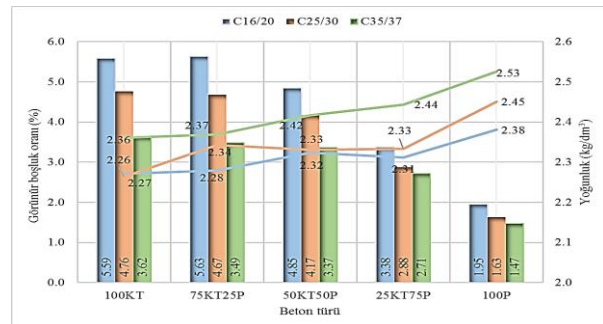
3.1. Betonun Fiziksel Özellikleri (Physical Properties of Concrete)

Beton örneklerin görünür boşluk oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki Şekil 9’da görülmektedir.



Şekil 9. Beton örneklerin görünür boşluk oranı ve su emme oranı arasındaki ilişki (Relationship between permeable pore space and water absorption rate of concrete specimens)

En büyük görünür boşluk oranı %100 kireçtaşı ile üretilen beton türünde ve C16/20 dayanım sınıfındadır. C16/20 dayanım sınıfında hazırlanan beton örneklerin diğer dayanım sınıfındaki beton örneklerine göre Su/Çimento oranının fazla olmasından kaynaklı görünür boşluk oranı ve su emme değerleri artmaktadır. Beton içerisindeki pasa oranının artışı ile görünür boşluk oranında azalma olmuştur. Görünür boşluk oranındaki azalmaya bağlı olarak su emme oranında da azalma olmuştur. Betonun boşluk oranında ki ve su emme oranındaki azalma dayanım sınıfının artışı ile de azalmıştır. Dayanım sınıfının artışı ile su emme oranında azalma beton içerisindeki boşluğun azalmasının yanında agrega olarak kullanılan pasa’nın da su emmesi oranının kireçtaşına göre düşük olmasından da kaynaklanmaktadır. Beton örneklerin görünür boşluk oranı ve yoğunluk arasındaki ilişki Şekil 10’da görülmektedir.



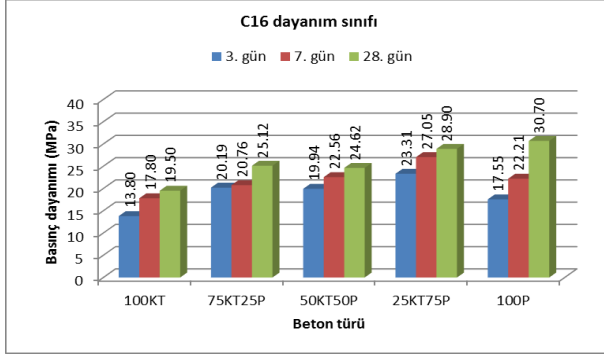
Şekil 10. Beton örneklerin görünür boşluk oranı ve yoğunluk arasındaki ilişki (Relationship between permeable pore space and density of concrete specimens)

Beton örneklerin görünür boşluk oranlarındaki azalma ile yoğunluk değerlerinde ki artış görülmektedir. Bu durum basınç dayanımının artışı ve beton içerisindeki pasa

oranının artışı ile yoğunluk değerinin artmasına neden olmaktadır. En büyük yoğunluk değeri %100 Pasa ile üretilen beton örneklerde ve C35/45 dayanım sınıfında belirlenmiştir.

3.2. Betonun Mekanik Özellikleri (Mechanical Properties of Concrete)

Beton örneklerin mekanik özelliklerinden basınç dayanımı değerlendirmeleri C16, C25 ve C35 dayanım sınıflarında yapılmıştır. Dayanım sınıflarına ve kür sürelerine ait grafikler Şekil 11-Şekil 13'de görülmektedir.

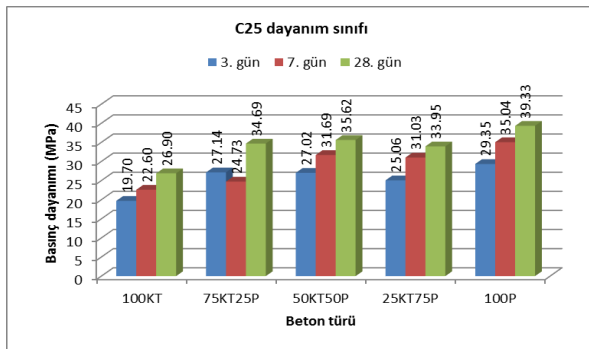


Şekil 11. Beton örneklerin C16 dayanım sınıfında 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri (The compressive strength values of 3, 7 and 28 days in C16 strength class of concrete samples)

C16 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesinde;

- 3 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %46, %44, %69 ve %27 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 7 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %17, %27, %52 ve %25 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,

28 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %29, %26, %48 ve %57 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

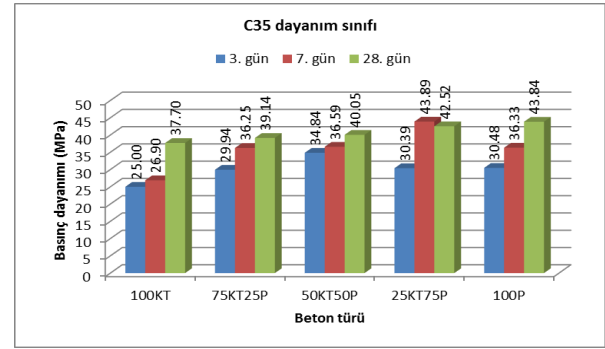


Şekil 12. Beton örneklerin C25 dayanım sınıfında 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri (The compressive strength values of 3, 7 and 28 days in C25 strength class of concrete samples)

C25 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesinde;

- 3 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %38, %37, %27 ve %49 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 7 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %9, %40, %37 ve %55 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,

28 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %29, %32, %26 ve %46 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 13. Beton örneklerin C35 dayanım sınıfında 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri (The compressive strength values of 3, 7 and 28 days in C35 strength class of concrete samples)

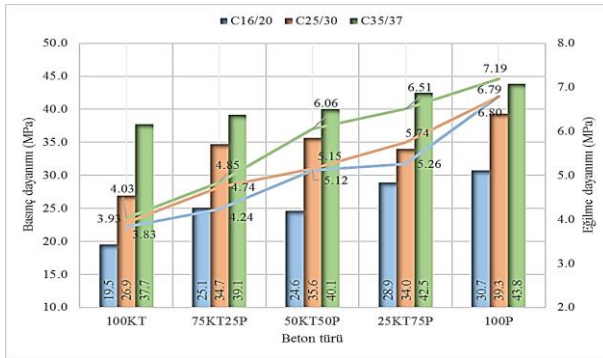
C35 dayanım sınıfında Kireçtaşı-Pasa agrega karışımı ile hazırlanan beton örneklerin basınç dayanımı değerlendirmesinde;

- 3 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %20, %39, %22 ve %22 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 7 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %35, %36, %63 ve %35 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu,
- 28 günlük basınç dayanımında 100KT beton türünün 75KT25P, 50KT50P, 25KT75P ve 100P beton türlerine göre sırasıyla %4, %6, %13 ve %16 daha küçük basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak, agregaların yüksek yoğunluklu olması beton dayanımında yüksek olmasını etkilemektedir. Beton örneklerde pasa miktarının artması ile betonların basınç dayanımları artmaktadır. Agrega olarak kullanılan Pasa, madenden çıkarıldığı bölge ile değişiklik göstermektedir. Bu durum, içerisindeki kurşun miktarı ve kayacın yapısında da farklılığa neden olmaktadır. Bu nedenle beton örneklerin basınç dayanımlarında düzensizlikler görülmüştür. Basınç dayanımlarındaki düzensizliklerine rağmen pasa katkılı bütün beton

türlerinde referans beton türü olan %100 kireçtaşı ile üretilen beton türüne göre basınç dayanımları bütün dayanım sınıflarında yüksektir. Pasa ile hazırlanan betonların dayanımının kireçtaşı ile hazırlanan betonlara göre yüksek çıkmasının diğer bir nedeni ise; Kurşun-çinko madeninden elde edilen pasa, çıkarıldığı haliyle etrafı kil ve silt gibi ince malzemeler ile kaplı haldedir. Kayaçlardan elde edilen agrega kil ve silt ile kaplı haliyle beton yapmak mümkün değildir. Pasa, kırılıp granülometrisine göre gruplara ayrılmadan önce yıkanmış ve kurutulmuş olmasından dolayı agregada etrafında ince malzeme bulunmamaktadır. Agregalarda bulunan ince maddelerin, betonda aderansı azaltması, prize veya sertleşmeye etki etmesi, mukavemeti düşürmesi, çimento hamurunda zararlı kimyasal reaksiyonlara yol açabilmesi ve donatının korozyona karşı korunmasını azaltıcı etkileri bulunmaktadır. Bu nedenle, pasa'dan elde edilen agregalar kireçtaşı agregalarına göre kirlilik açısından daha temizdir. Bu durumda mekanik özellikleri etkilediği düşünülmektedir.

Beton örneklerin 28 günlük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 14'de görülmektedir.



Şekil 14. Beton örneklerin basınç dayanımı ve eğilme dayanımı arasındaki ilişki (Relationship between compressive strength and bending strength of concrete specimens)

Beton örneklerin eğilme dayanımı değerleri, basınç dayanımına paralellik göstermektedir. Pasa eklenen beton türlerinde, basınç dayanımı değeri artarken benzer şekilde eğilme dayanımı değerleri de artmaktadır. En büyük basınç dayanımı ve eğilme dayanımı C35/45 dayanım sınıfında %100 Pasa ile üretilen beton türünde belirlenmiştir. Betonun mekanik özelliklerinden basınç dayanımı ve eğilme dayanımı bir biri ile doğrudan ilişkisi olan özelliklerdir. Beton karışımına pasa eklenmesi ile basınç dayanımında elde edilen olumlu artış eğilme dayanımında da benzer şekilde artışa neden olmuştur.

4. SONUÇLAR (CONCLUSION)

İçerisindeki kurşun miktarının işlenmesi ekonomik olmamasından dolayı atıl durumda olan kurşun-çinko maden artıkları "Pasa" ile hazırlanan beton örneklerin ile üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla, Pasa ve Kireçtaşı agregalarının değişik oranlarda (%25, %50, %75) karıştırılması ile

hazırlanan beton örnekler üzerinde sertleşmiş beton deney sonuçları belirlenmiştir. Buna göre;

Su emme oranı değerlerine göre, pasa oranının artışı ile su emme oranı değeri düşmektedir. Bütün beton türlerinde su emme oranı değerleri, beton dayanım sınıfının artışı ile azaldığı görülmüştür. %100 kireçtaşı ile üretilen beton türüne göre %100 Pasa ile üretilen betonlar yaklaşık %66 oranında daha az su emme değerine sahiptir.

Pasa oranının artışı ile hazırlanan örneklerde görünür boşluk oranı değeri düşmektedir. Bütün beton türlerinde görünür boşluk oranı değerleri, beton dayanım sınıfının artışı ile azaldığı görülmüştür. %100 kireçtaşı ile üretilen beton türüne göre %100 Pasa ile üretilen betonlar yaklaşık %63 oranında daha az görünür boşluk oranı değerine belirlenmiştir.

Kurşun-çinko maden artığından üretilen beton agregaları köken olarak kireçtaşı olmasına rağmen, çalışmada kullanılan kireçtaşı agregasına göre basınç dayanımı yüksek ölçülmüştür. Kireçtaşı agregaları ile karıştırılarak hazırlanan beton örneklerinde bütün dayanım sınıflarında artış gözlenmiştir.

Pasa'nın beton karışımına giren agrega içerisindeki oranının artışına bağlı olarak mekanik özelliklerine olumlu etkisi olduğu görülmüştür.

Pasa'nın beton içerisinde kullanımı ile madenden çıkarılıp depolama sahalarında depolanan ve çevresel etkilerle doğanın kirlenmesine neden olabilecek artık malzemeler ekonomiyeye kazandırılabilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGMENTS)

Yazar, bu çalışmayı 113M317 proje numarası ile destekleyen TÜBİTAK (Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu)'a teşekkürlerini sunar.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- Küleççi G. ve Yılmaz, A.O., "Trabzon volkanitlerinin dış cephe kaplaması olarak kullanılabilirliğinin araştırılması", *MSU Fen Bil. Dergisi*, 5(2): 459-464, (2017).
- Arıoğlu E., Arıoğlu N. ve Yılmaz, A.O., "Çözümlü beton agregaları problemleri", *Evrin Yayın Evi*, İstanbul, (1999).
- Akbulut H. ve Gürer, C., "Atık mermerlerin asfalt kaplamalarda agrega olarak değerlendirilmesi", *İmo Teknik Dergi*, 9: 26-29, (2006).
- Çelik Ö., "Uçucu kül, silis dumanı ve atık çamur katkılarının çimento dayanımlarına etkileri", *Hazır Beton Kongresi Bildiriler Kitabı*, Ankara, 215, (2004).
- Oliveira M.B. and Vazquez, E., "The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete", *Waste Management*, 16(1-3): 113-117, (1996).
- Çobanoğlu İ., Çelik S.B., Çam O., Etiz H. ve Kurşun, M., "Denizli bölgesi traverten artıklarının beton agregası olarak

- kullanılabilirliğinin incelenmesi”, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(3): 92-99, (2014).
7. Aslantaş B., “Karaburun kireçtaşı taşocakları atıklarının agrega kaynağı olarak kullanılmasının araştırılması”, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, (2009).
 8. Emiroğlu M., Yıldız, S. ve Özgan, E., “Lastik agregalı betonlarda elastisite modülünün deneysel ve teorik olarak incelenmesi”, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi*, 24(3): 469-476, (2009).
 9. Demirel C. ve Şimşek O., “Erken yaştaki atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği ve sürdürülebilirlik açısından incelenmesi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3: 226-235, (2015).
 10. Gayarre F.L., Boadella I.L., Pérez C.L., López M.S. and Cabo A.D., “Influence of the ceramic recycled aggregates in the masonry mortars properties”, *Construction and Building Materials*, 132, 457-461, (2017).
 11. Vural A., “Biogeochemical characteristics of Rosa canina grown in hydrothermally contaminated soils of the Gümüşhane Province, Northeast Turkey”, *Environ. Monit. Assess.* 187: 486, (2015).
 12. Vural A., “Trace/heavy metal accumulation in soil and in the shoots of acacia tree, Gümüşhane-Turkey”, *MTA Dergisi*, 148: 85-106, (2014a).
 13. Vural A., “Assessment of metal pollution associated with an alteration area: Old Gümüşhane, NE Black Sea”, *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 3219-3228, (2014b).
 14. Ketin İ., “Anadolu’nun tektonik birlikleri”, *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Dergisi*, 66: 20-34, (1966).
 15. Topuz G., Altherr R., Schwarz W.H., Dokuz A. and Meyer H.P., “Variscan amphibolitefacies metamorphic rocks from the Kurtoğlu metamorphic complex (Gümüşhane area, Eastern Pontides, Turkey)”, *Int. J. Earth Sci. (Geol. Rundsch)*, 96: 861-873, (2007).
 16. Yılmaz Y., “Petrology and structure of the Gümüşhane granite and surrounding rocks, North-Eastern Anatolia”, *Doktora Tezi*, Londra Üniversitesi, 260, (1972).
 17. Topuz G., Altherr R., Siebel W., Schwarz W.H., Zack T., Hasözbeğ A., Barth M., Satır M. and Şen C., “Carboniferous high-potassium I-type granitoid magmatism in the Eastern Pontides: The Gümüşhane pluton (NE Turkey)”, *Lithos*, 116: 92-110, (2010).
 18. Çoğulu E., “Gümüşhane ve Rize granitik plutonlarının mukayeseli petrojeolojik ve jeokronolojik etüdü”, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, *Doktora Tezi*, İstanbul, (1975).
 19. Kandemir R., “Gümüşhane ve yakın yöresindeki erken-orta jura yaşlı şenköy formasyonunun çökel özellikleri ve birikim koşulları”, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, (2004).
 20. Adamia S., Lordkipanidze M. and Zakariadze G., “Evolution of an active continental margin as exemplified by the Alpine history of the Caucasus”, *Tectonophysics*, 40: 183-199, (1977).
 21. Pelin S., “Alucra (Giresun) güneydoğu yöresinin petrol olanakları bakımından jeolojik incelemesi, K.T.Ü., *Doçentlik Tezi*, Yayın No: 87, Trabzon, (1977).
 22. Tokel S., “Stratigraphical and volcanic history of Gümüşhane region (Kuzeydoğu Türkiye)”, *PhD. Thesis*, University College London, (1972).
 23. Kaygusuz A., Wolfgang S., Şen C. and Satır M., “Petrochemistry and petrology of I-type granitoids in an arc setting: the composite Torul pluton, Eastern Pontides, NE Turkey”, *International Journal of Earth Sciences*, 97: 739-764, (2008).
 24. Aslan M. and Aliyazıcıoğlu İ., “Geochemical and petrological characteristics of the Kale (Gümüşhane) volcanic rocks: implications for the Eocene evolution of eastern Pontide arc volcanism, Northeast Turkey”, *International Geology Review*, 43: 595-610, (2001).
 25. Güner S., Er M., Gümüsel A. ve Boğuşlu M., “Gümüşhane-Eski Gümüşhane yöresindeki cevherleşmelere ait jeoloji raporu” Aslan N. ve Akçay M., “Mastra (Gümüşhane) Au-Ag yatağının jeolojik, mineralolojik ve jeokimyasal özellikleri”, *64. TJK Kurultayı Bildiri Özleri Kitabı*, Ankara, (2011).
 26. Güven İ., “Doğu pontidlerin 1/25000 ölçekli kompilasyonu”, *MTA Genel Müdürlüğü Yayını*, 9: 16-17, (1993).
 27. Vural A., “Toprak ve akasya ağacı sürgünlerindeki iz/ağır metal dağılımı, Gümüşhane – Türkiye”, *MTA Dergisi*, 148: 85-106, (2014), *Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Rapor No: 8029, 525*, Ankara, (1985)
 28. ASTM C642 Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete. Annual Book of ASTM Standards, (2004).
 29. TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deneysel numunelerinin basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, (2010).
 30. TS-EN 12390-5, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 5: Deneysel numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, (2010).