

Araştırma Makalesi / Research Article

Bor ve Bor Atığının İnşaat Yıkıntı Atığı ile Normal Beton Üzerindeki Etkileri

*¹Muhammed Fatih YENTİMUR, ²Tuba KÜTÜK-SERT, ³Sezai KÜTÜK

¹Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye, muhammedfatih.yentimur@erdogan.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-0496-9065>

²Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye, tuba.kutuk@erdogan.edu.tr, ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0003-1747-9946>

³Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Turgut Kıran Denizcilik Fakültesi, Gemi Makineleri İşletme Mühendisliği Bölümü, Rize, Türkiye, sezai.kutuk@erdogan.edu.tr, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-0159-5953>

Geliş / Received: 24.05.2022

Kabul / Accepted: 01.11.2022

Öz

İnşaat yıkıntı atıklarının (İYA) depolama sahalarına döküm ücreti ve nakliye bedeli göz önüne alındığında ve ayrıca doğal kaynakların da az tüketilmesi açısından İYA'nın geri dönüşümünün sağlanması gerekmektedir. İYA'nın tekrar üretime katılmasıyla, beton üretimi için gerekli olan malzeme tasarrufu sağlanacaktır. Bu çalışmada, kentsel dönüşüm kapsamında oluşacak inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) geri dönüşümü sağlanarak betonda kullanılabilirliği araştırılmıştır. %100 İYA, %100 normal agregası (NA) ve %50 İYA-%50 NA kullanılarak deneyler yapılmıştır. Bu numunelerden %50 İYA-%50 NA olanına %2, %5 bor ve %2, %5 bor atığı eklenerek, üretilen küp numunelerin basınç dayanımları ölçülmüştür. 28 günlük ortalama basınç dayanımı %50 İYA-%50 NA numunesi için 42,1 MPa, %2 bor atığı numunesi için 36,2 MPa, %5 bor atığı numunesi için 26,7 MPa, %2 bor katkısı numunesi için 35,1 MPa ve %5 bor katkısı numunesi için ise 30,7 MPa olarak bulunmuştur.

Anahtar kelimeler: Kentsel dönüşüm, İnşaat yıkıntı atığı, Bor, Beton, Basınç dayanımı

*¹Sorumlu yazar / Corresponding author

Bu makaleye atıf yapmak için

Yentimur, M., Kütük-Sert, T., Kütük, S., Hacimustafa, A., Kaya, E., Harbutoğlu, H. & Aktaş, S. (2022). Bor ve Bor Atığının İnşaat Yıkıntı Atığı ile Normal Beton Üzerindeki Etkileri. *Journal of Innovations in Civil Engineering and Technology (JICIVILTECH)*, 4(2), 47-60.

Effects of Boron and Boron Waste with Recycling Aggregate on Normal Concrete

Abstract

Construction debris wastes (CDW) need to be recycled, considering the cost of dumping construction debris to landfills and transportation costs, as well as less consumption of natural resources. With the re-joining of the construction debris waste in production, the material savings required for concrete production will be achieved. In this study, the recycling of construction debris wastes that will occur within the scope of urban transformation and its usability in concrete pavement were investigated. Experiments were carried out using 100% cleared CDW, 100% normal aggregate (NA), and 50% CDW-50% NA. Compressive strengths of cube samples produced by adding 2%, 5% boron and 2%, 5% boron waste to 50% CDW-50% NA of these samples were measured. The 28 -day average compressive strength was found to be 42.1 MPa for 50% CDW-50% NA sample, 36.2 MPa for 2% boron waste added sample, 26.7 MPa for 5% boron waste added sample, 35.1 MPa for 2% boron added sample and 30.7 MPa for 5% boron added sample.

Keywords: *Urban Transformation, Construction Debris Waste, Boron, Concrete, Compressive Strength*

1. Giriş

İnşaat ve yıkım faaliyetleri çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır ve bunların olumsuz etkileri arasında atık üretimi, artan kirlilik, arazi bozulması ve kaynakların tükenmesi yer almaktadır (Lu & Tam, 2013). İnşaat endüstrisindeki son eğilim, enerji tüketimi, kirlilik, atık bertarafı ve küresel ısınma açısından çevresel etkiyi azaltmak için saf malzeme kullanımının yerini alabilecek alternatif yapı malzemelerinin kullanılmasıdır. Öte yandan, eski yapıların yıkılması ve inşaat faaliyetlerinden kaynaklanan atıklar tüm dünyayı endişelendirmektedir (Behera, Bhattacharyya, Minocha, Deoliya, & Maiti, 2014). Beton, temel olarak bağlayıcı malzemeler, su, agregalar ve katkıları gibi farklı bileşenlerden oluşan kompozit bir malzemedir. Bu bileşenler arasında agrega, toplam beton hacminin yaklaşık %60-75'ini kapladığı için çok önemli bir rol oynamaktadır (Kosmatka, Panarese, & Kerkhoff, 2002). Yıllık beton kullanımının 20 milyar ton olduğu düşünülmektedir (Mehta & Meryman, 2009). Bununla birlikte, inşaat yıkıntı atıkları, herhangi bir toplumda üretilen toplam katı atığın yaklaşık %10 ila %30'unu oluşturur (Li & Zang, 2013). Atık akışının önemli bir kısmı etkisizdir ve uygun şekilde yönetilirse yeniden kullanılabilir/geri dönüştürülebilir (Rao, Jha, & Misra, 2007). Kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan bina atıklarının, çevresel faktörler de göz önüne alınarak kullanılması ihtiyacı doğmuştur. İnşaat atıkları, insan yaşamının ayrılmaz bir parçası olan başlıca çevre kirleticilerinden biridir.

Günümüzde bilimin ilerlemesi ile üretim teknolojisi ve katı atık yönetimi çok değişmiştir (BandehLou, Parvishi, & Kheradranjbar, 2016). Türkiye genelinde konut talebi, arzı fazlasıyla geçmiş bulunmaktadır. Bu talebin zamanında karşılanamaması, çarpık kentleşmeyi ve depreme karşı dayanımı düşük yapıları beraberinde getirmektedir. Gelişmekte olan ülkelerdeki temel problemlerden biri olan gecekondulaşma, deprem anında çok büyük sorunlara neden olmaktadır.

Kentsel dönüşüm ile yıkılan yapılarda atık malzeme olarak ortaya çıkan molozlar geri dönüştürülebilir bir materyaldir. Molozlar, hammadde ve yapı malzemesi tedariki açısından, beton üretim aşamasında agrega ve yol inşaatlarının altyapısında dolgu malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, inşaat yıkıntı atıklarının uygun şekilde geri dönüştürülmesi konusunda da önemli bir araçtır. Beton üretilirken kullanılan doğal agrega yerine molozların kullanılması ile istenilen beton dayanımının sağlandığı görülmüştür (Abbas, Fathifazl, Isgor, Razaqpur, Fouriner, Foo, 2006). Öte yandan, yıkılacak yapının diğer materyalleri de geri dönüşüm yolu ile farklı şekillerde değerlendirilebilir.

Doğal agregalar; çeşitli yollarla elde edilebilir. Bu yollardan bazıları; nehir yatakları, denizler ve taş ocakları olarak sıralanabilir. Tüm madenler içinde dünya genelinde en yüksek pay %58 ile agrega üretimidir (agrega kullanımı Avrupa'da yıllık 7 ton/kişi ve Türkiye'de 4 ton/kişi). Agregaya kaynaklarının yüksek miktarlarda tüketiminden dolayı, ilerleyen senelerde dünyanın ekolojik olarak negatif yönde etkileneceği ve bu

kaynakların tükenme riskinde olduğu düşünülmektedir (Öztürk, Çelikkol, & Erkan, 2007). Fazla miktarda ihtiyaç olan agrega kaynaklarının tüketilmesi ve inşaat yıkıntı atıklarının (İYA) çevreye verdiği zararlar, geri kazanılmış agreganın kullanılmasını zorunlu kılmaktadır. Geri kazanılmış beton agregalarının ve içinde kullandıkları betonun özelliklerini belirlemek amacıyla pek çok araştırma yapılmıştır. Bunun yanı sıra, dünyada ticari öneme sahip bor yatakları Türkiye, Rusya, Güney Amerika ve ABD'dedir. Türkiye 3,3 milyar ton ile dünya bor rezervinin %73'üne ev sahipliği yapmaktadır. Başka bir ifadeyle, yıllık tüketiminin kabaca 4 milyon ton (+/-%10) olduğu hesaba katılırsa, bu rezerv 1.000 yıl kadar yetecek düzeydedir. Bununla birlikte dünya bor pazarındaki durum gün geçtikçe yükselmektedir ve 2020 yılında bor pazar payı %57 değerine ulaşmıştır (Eti Maden, 2020).

Türkiye'de bulunan ticari değere sahip bor mineralleri, tinkal ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), kolemanit ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) ve üleksittir ($\text{NaCaB}_5\text{O}_9 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) (Bayca, Batar, Sayın, Solak, & Kahraman, 2008; Batar, Köksal, Yersel, 2009). Bor minerallerinin içindeki B_2O_3 (bor trioksit) oranına "tenör" adı verilmektedir. Bor madenlerinin değeri, içindeki B_2O_3 oranı ile ölçülmekte ve yüksek miktarda bu orana sahip olanlar daha değerli kabul edilmektedir (Buluttekin, 2008). Yüksek tenördeki bor cevherleri ekonomik olarak çıkarılmakta ve işlenmektedir (Kütük-Sert, 2016; Kütük & Kütük-Sert, 2020).

Son zamanlarda artan çevre bilinci madencilik sektöründe de kendisini hissettirmiş, madencilik faaliyetleri sonucu oluşan atıkların çevreye zarar

vermeden bertaraf edilmesi hususunda çeşitli yönetmelikler ve standartlar getirilmiştir. Bor atıklarının uygun yöntemlerle çeşitli sektörlerde değerlendirilmesi sonucunda;

- Atıkların stoklanmasından doğan sorunlar ve stoklama maliyeti azalacak,
- Çevreyi kirleten unsurlar asgari düzeye indirilecek,
- Bor atıklarının değerlendirilmesi sonucu üretilen yeni ürünler, ülke ekonomisine ek kazanç sağlayacaktır (Kütük-Sert & Kütük, 2013).

Son yıllarda bor minerallerinin çimento katkısı olarak kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir (Kütük-Sert, Kara & Kütük, 2020). Türkiye'deki bor rezervleri düşünüldüğünde, bu çalışmaların ülkemiz için önemi kat ve kat daha fazladır.

Bor atığı katkılı killerin seramik sektöründe frit, sır ve masse hazırlanmasında kullanılabilirliği kanıtlanmıştır (Sönmez, Özdağ, Özler, & Sümer, 1993). Bu çalışmanın amacı, sınırlı kaynakları tüketmek yerine, atıkların değerlendirilmesini sağlamaktır. Betonda hem İYA hem de bor atıklarının birlikte kullanımı ile ilgili literatürde herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu yüzden, bu çalışmada İYA ve bor atıkları farklı oranlarda betona katkı yapılmış; beton numunelerinin basınç dayanımları ölçülmüş ve tartışılmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada, inşaat yıkıntı atığı (İYA) ve normal agrega (NA) olmak üzere iki çeşit agrega kullanılmıştır. Bunlarla yapılan karışımlara belirli oranlarda bor minerali ve bor atığı eklenerek deney

tabi tutulmuştur. Bu deneylerde, İYA olan beton molozlarının elle (çekiç yardımıyla) kırılıp elenerek 0-4 mm ve 4-16 mm boyutunda ince ve iri İYA üretilmiştir (Li X. , 2008).

Normal agregra grupları belirli oranlarda azaltılarak yerine inşaat yıkıntı atığı ilave edilmiş ve C25/30 beton sınıfında beton numuneleri üretilmiştir. Karışımlarda iri ve ince İYA ile birlikte kullanılarak %50 ağırlıkça ikame edilmiştir. Beton numuneleri laboratuvar ortamında teste tabi tutularak basınç dayanımları belirlenmiştir. Beton üretiminde bağlayıcı olarak Muş Yurtçim Portland çimentosu (TS-EN 197-1;2012 CEM IV/B (P) 32,5 R) ve karışım suyu olarak şebeke suyu kullanılmıştır. Katkı olarak %2 ve %5 oranlarında bor minerali ve bor atığı kullanılmıştır. Su/çimento oranı 0,39 olan, katkılı, İYA agregalı beton ve normal agregalı beton serileri dökülmüştür.

Yapılan çalışmalar, arazi çalışmaları ve laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Arazi çalışmaları;

- İnşaat yıkıntı atıklarının toplanması,
- Alınan atık beton kütlelerinden karot numunelerinin alınması,
- Toplanan beton kütlelerinin elle (çekiç yardımıyla) kırılması,
- Kırılan betondan iri ve ince inşaat yıkıntı atığının elde edilmesidir.

Laboratuvar ortamında yapılan deneysel çalışmalar ise;

- Elek analizi deneyi ile inşaat yıkıntı atığının tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi,
- İYA birim hacim ağırlığı ve su emmesinin belirlenmesi,

- %100 NA, %100 İYA, %50 İYA – %50 NA, %50 İYA – %50 NA – %2 Bor, %50 İYA – %50 NA – %5 Bor, %50 İYA – %50 NA – %2 Bor Atığı, %50 İYA – %50 NA – %5 Bor Atığı olan karışım oranlarında 6’şar adet beton numunelerinin üretilmesi; 7 ve 28 gün kür havuzunda bekletilmesi işlemi,
- Farklı karışım oranlarındaki numunelerin basınç dayanım testidir (TS 802, 2016).

İYA ve NA numunelerinin karışım hesabı, TS 802 – Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları dikkate alınarak tasarlanmıştır (TS 802, 2016).

İYA ve NA ile oluşturulacak olan beton numunelerinin karışım hesabında çökme değeri (slump değeri) 30 mm alınmıştır.

İYA ile üretilecek beton numuneleri için elde edilen agreganın maksimum tane büyüklüğü 16 mm olarak belirlenmiştir. Betonun karışım suyu miktarı, agreganın büyük tane büyüklüğüne, betonun kıvamına, betonun içerisinde kullanılacak olan kimyasal katkıya ve hava sürükleyici katkıya bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Beton üretimi için gerekli olan yaklaşık karışım suyu miktarı, TS 802’den betonun çökmesi ve en büyük agreganın tane büyüklüğüne göre verilen referans değerler göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (TS 802, 2016). 30 mm çökme değerine sahip beton için inşaat yıkıntı atığının en büyük agreganın tane büyüklüğü 16 mm olduğundan dolayı, karışım suyu miktarı 166 kg/m³ olarak belirlenmiştir. Ayrıca betona ilave olarak %2 ile %5 oranında bor (kolemanit minerali) ve %2 ile %5 oranında bor atığı kullanılmıştır.

Tablo 1. Bor mineralinin oksitli bileşen analizi

Bileşen	Kolemanit (% ağırlıkça)
	C-75 μm
B ₂ O ₃	40 ± 0,50
B ₂ O ₃ (Bu çalışma için)	38,65 ± 1,00
CaO	27,00 ± 1,00
SiO ₂	4,00-6,50
SO ₄	0,60 maksimum
As	35 ppm maksimum
MgO	3,00 maksimum
SrO	1,50 maksimum
Al ₂ O ₃	0,40 maksimum
Na ₂ O	0,35 maksimum
Fe ₂ O ₃	0,08 maksimum
Nem	1,00 maksimum

Kullanılan bor mineralinin kimyasal analizi Tablo 1’de verilmiştir (Kütük, 2017). Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3’te sırasıyla; inşaat yıkıntı atıkları, toplanan beton kütlelerinin çekiç yardımıyla kırılması ve sonucunda elde edilen İYA gösterilmiştir.

**Şekil 1.** İnşaat yıkıntı atıkları**Şekil 2.** Toplanan beton kütlelerinin çekiç yardımıyla kırılması**Şekil 3.** Elde edilen inşaat yıkıntı atığı

Arazi çalışmaları kısmında atık beton kütlelerinden karot numunelerinin alınması Şekil 4’te gösterilmiştir.



Şekil 4. Atık beton kütlelerinden karot numunelerinin alınması

İYA ve NA ile üretilen beton numunelerinin bileşenleri belirlenen oranda tartılarak önceden nemlendirilmiş betoniye konulmuştur. Önce Şekil 5’te görüldüğü üzere iri ve ince agregalar konulup 1-2 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra çimento, bor ve bor atığı eklenip 2-3 dakika daha karıştırılmaya devam etmiştir. Ardından su eklenerek 3-5 dakika daha karıştırılan beton, Şekil 6’da görülen son halini almıştır.



Şekil 5. Kuru malzemelerin betoniyerde karıştırılması



Şekil 6. Beton karışımı

Karıştırma işleminin tamamlanmasının ardından daha önceden temizlenmiş ve yağlanmış olan beton numune kalıplarına beton karışımı Şekil 7’de görüldüğü gibi yerleştirilmiştir.



Şekil 7. Kalıplara karışım betonunu yerleştirilmesi

Verilen karışım olanlarında toplamda 42 adet 15x15x15 cm boyutunda beton küp numune üretilmiştir. Üretilen beton küp numuneler 7 gün ve 28 gün kür havuzunda bekletilmiştir. Kür havuzundan çıkarılan küp numuneler üzerinde basınç dayanım deneyi uygulanmıştır.

3. Bulgular ve Tartışma

Çalışmada kullanılan NA ve İYA agregasına elek analizi yapılarak 1 no’lu

mıcır, 2 no'lu mıcır, kırma kum ve kum boyutlarına ayrılmıştır (TS EN 932-1, 1997). Her bir boyut için birim hacim ağırlıkları ve ağırlıkça su emme oranları

hesaplanmıştır. Sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 2. Normal agreganın birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

	1 no'lu mıcır	2 no'lu mıcır	Kırma kum	Kum
Birim Hacim Ağırlığı	2,65	2,66	2,82	2,00
Su Emme	1,23	0,80	5,13	8,17

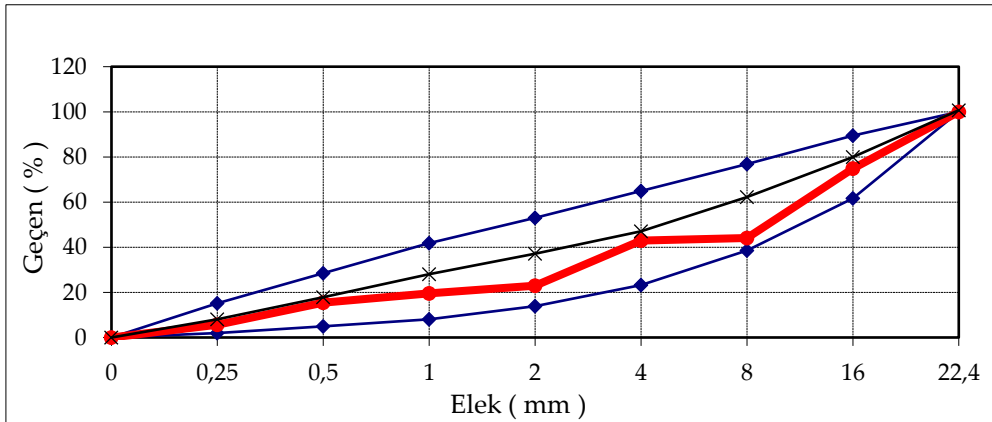
Tablo 3. İnşaat yıkıntı atığı birim hacim ağırlık ve su emme değerleri

	1 no'lu mıcır	2 no'lu mıcır	Kırma kum	Kum
Birim Hacim Ağırlığı	2,40	2,35	0,54	0,40
Su Emme	7,40	9,10	11,40	26,1

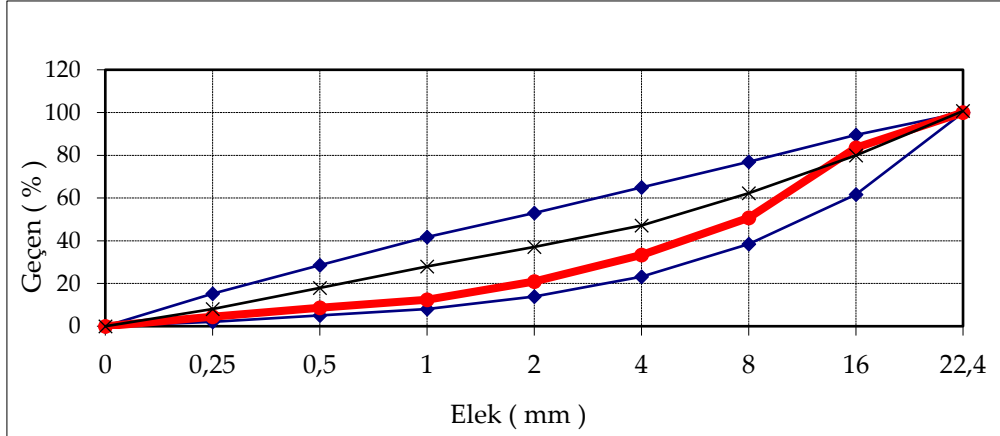
3.1. Agreganın Tane Büyüklüğü Dağılımı

İri ve ince agregalara ait numunelerin dane büyüklüklerine göre dağılımı elek analizi sonucunda belirlenmiştir. Kullanılan agregaların maksimum dane boyutu 16 mm olarak bulunmuştur. İri ve ince agreganın dane dağılımları için agreganın dağılımını belirleyebilmek amacıyla, belirli yüzdelere denenecek beton agregaları standartları TS 706 EN

12620+A1'deki maksimum dane büyüklüğü 16 mm olan eğrilere ait alt (A), orta (B) ve üst sınırlara (C) uygun, özellikle alt sınır ile orta arasında yer alacak şekilde karışık agreganın granülometrisi ayarlanmıştır (TS 706 EN 12620+A1, 2009). Şekil 8'de normal agreganın için, Şekil 9'da ise inşaat yıkıntı atığı için granülometri eğrisi sunulmuştur.



Şekil 8. Normal agreganın granülometri eğrisi

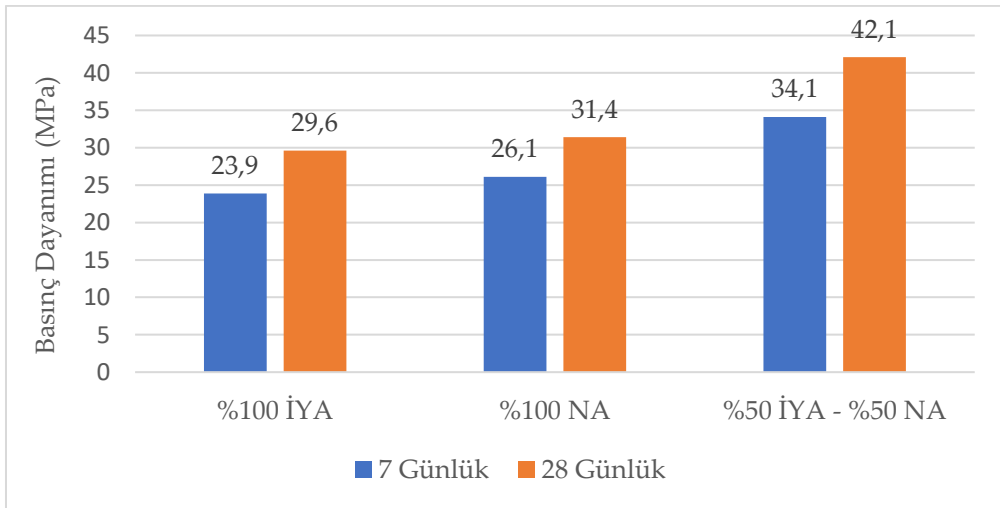


Şekil 9. İnşaat yıkıntı atığı granülometri eğrisi

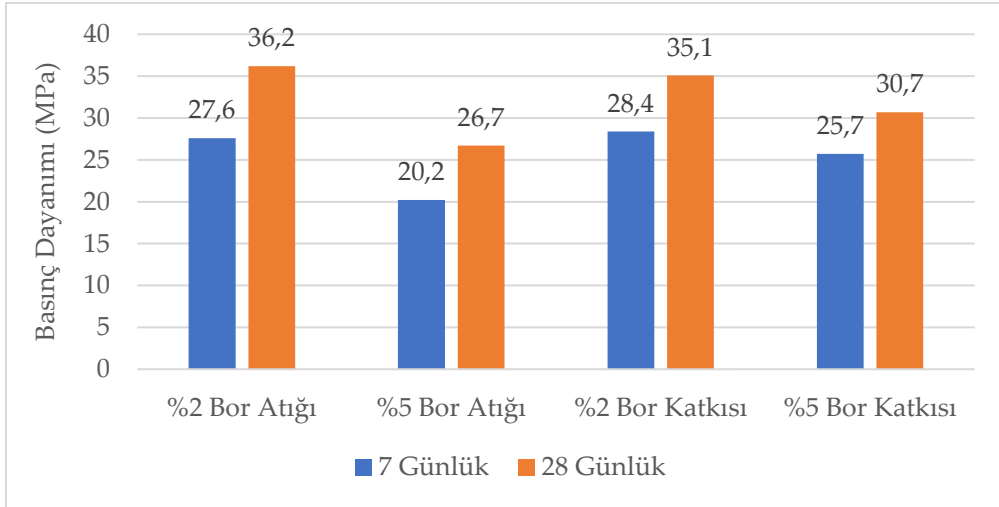
3.2. Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı

Şekil 10'da bor atığı ve bor katkısı olmayan, %100 İYA, %100 NA ve %50 İYA-%50 NA beton küp numunelerine ait 7 günlük ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri verilmiştir. Şekil 11'de ise %50 İYA-%50 NA ilave

olarak sırasıyla %2 bor atığı, %5 bor atığı, %2 bor katkılı, %5 bor katkılı beton küp numunelerine ait 7 günlük ve 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri verilmiştir.



Şekil 10. Bor Katkısız Beton Numunelerinin Basınç Dayanımı Değerleri



Şekil 11. %50 İYA – %50 NA ve Bor ile Bor Atığı Katkılı Beton Numunelerinin Basınc Dayanımı Değerleri

Üretilen beton numuneleri C25/30 beton sınıfında olduğundan dolayı, küp numunelerin 28 günlük dayanımlarının 30 MPa değeri ile kıyaslaması yapılabilir:

- %100 İYA ile üretilen betonun ortalama basınc dayanımı 29,6 MPa ile bu değerin hemen hemen karşılandığı,
- %100 NA ile üretilen betonun ortalama basınc dayanımı 31,4 MPa ile bu değerin karşılandığı,
- %50 İYA-%50 NA ile üretilen betonun ortalama basınc dayanımı 42,1 MPa ile bu değerin fazlasıyla üstünde olduğu,
- %50 İYA-%50 NA ile üretilen betona %2 bor atığı eklendiğinde, ortalama basınc dayanımı 36,2 MPa ile bu değerin karşılandığı,
- %50 İYA-%50 NA ile üretilen betona %5 bor atığı eklendiğinde, ortalama basınc dayanımı 26,7 MPa ile bu değerin altında kaldığı,
- %50 İYA-%50 NA ile üretilen betona %2 bor katkı olarak eklendiğinde,

ortalama basınc dayanımı 35,1 MPa ile bu değerin karşılandığı,

- %50 İYA-%50 NA ile üretilen betona %5 bor katkı olarak eklendiğinde, ortalama basınc dayanımı 30,7 MPa ile bu değerin karşılandığı anlaşılmıştır.

Bu verilerden özetle ifade edilirse, C25/30 beton sınıfında hedef dayanımı 30 MPa'a ulaşılması istendiği için şu yorum yapılabilir:

%100 NA, %50 İYA-%50 NA, %50 İYA-%50 NA-%2 bor atığı, %50 İYA-%50 NA-%2 bor katkısı, %50 İYA-%50 NA-%5 bor katkısı ile üretilen beton numunelerinde amaç dayanıma ulaşırken; %100 İYA ve %50 İYA-%50 NA-%5 bor atığı ile üretilen beton numunelerinde ise amaçlanan dayanım elde edilememiştir.

En yüksek basınc dayanımı 42,1 MPa ile %50 İYA-%50 NA beton numunesinde saptanmıştır., Bu yüksek değerin İYA'daki yapışık olan çimento kalıntılarında kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu kayda değer

sonuç, çimento tüketiminde tasarruf sağlayabilecektir.

Beton numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları, %100 NA ile karşılaştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar tespit edilmiştir:

- %100 İYA ile üretilen betonun basınç dayanım değerinin %100 normal agrega ile üretilen betona göre %5,73 daha az olduğu,
- %50 İYA-%50 NA-%5 bor atığı katkısı ile üretilen betonun basınç dayanım değerinin %100 normal agrega ile üretilen betona göre %11,97 daha az olduğu,
- %50 İYA-%50 NA-%5 bor katkısı ile üretilen betonun basınç dayanım değerinin %100 NA ile üretilen betona göre %2,23 daha az olduğu,
- %50 İYA-%50 NA ile üretilen betonun basınç dayanım değerinin %100 normal agrega ile üretilen betona göre %34,1 daha fazla olduğu,
- %50 İYA-%50 NA-%2 bor atığı katkısı ile üretilen betonun basınç dayanım değerinin %100 normal agrega ile üretilen betona göre %15,29 daha fazla olduğu,
- %50 İYA-%50 NA-%2 bor katkısı ile üretilen betonun basınç dayanım değerinin %100 normal agrega ile üretilen betona göre %11,78 daha fazla olduğu görülmüştür.

Ayrıca bor ve bor atığı katkıları kullanılarak hazırlanan numunelerin dayanım sonuçları kendi içerisinde mukayese edildiğinde, bor katkılı betonların basınç dayanımlarının ortalaması (32,9 MPa) bor atığı katkılı betonların basınç dayanımlarının ortalamasından (31,45 MPa) biraz daha büyük olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçlar literatürde araştırılmıştır. Durmuş vd. tarafından yapılan bir çalışmada, iri geri dönüşüm beton agregası oranı arttıkça betonun basınç dayanımının azaldığı belirlenmiştir. Yani, basınç dayanımı, %0 İGDBA kullanımında 43,92 MPa iken %100 İGDBA kullanımında 29,90 MPa'a düşmüştür (Durmuş, Şimşek, & Dayı, 2009). Demirel ve Şimşek tarafından yapılan bir çalışmada, atık beton geri dönüşüm agregası oranı yükseldikçe betonun basınç dayanımının düştüğü tespit edilmiştir. Başka bir deyişle, basınç dayanımı en yüksek %10 iri GDA kullanımında 36 MPa iken, en düşük %50 ince GDA kullanımında 26 MPa olarak bulunmuştur (Demirel & Şimşek, 2015). Kadiroğlu vd. geri dönüşümden elde edilen betonların kırılmasıyla oluşturulan agregalar, geri dönüşümlü agrega (GDA) ve inşaat moloz atıkları (İMA) ile ilgili bir çalışma yapmıştır. Basınç dayanımının GDA oranının artmasıyla azaldığı saptanmıştır. Bununla birlikte İMA oranının %15'lere ulaşmasıyla basınç dayanımının azaldığı, tam tersine İMA oranının %25 olmasıyla basınç dayanımının yükseldiği görülmüştür. İMA'daki yükselişin nedeni, düşük klor iyon geçirimsizliği değerlerine atfedilmiştir (Kadiroğlu, Öz, Tezcan, & Kuru, 2017). Bu çalışmada, hem bor atığı hem de bor ilavesinin %2'den %5'e çıkmasıyla betonun basınç dayanımının azaldığı bulunmuştur. Kara vd. tarafından yapılan çalışmalarda, bu sonuca benzer sonuçlar elde edilmiştir: Bor (kolemanit) ikamesinin %3'e kadar betonun basınç dayanımını ve aşınma dayanımını iyileştirdiği, fakat daha yüksek oranlarda kötüleştirdiği tespit edilmiştir

(Kara, Kütük-Sert & Kütük, 2020; Kütük-Sert, Kara & Kütük, 2020).

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, atık beton kütleleri el ile kırılarak (çekiç yardımıyla) inşaat yıkıntı atığı elde edilmiştir. Sonrasında beton karışımına %50 oranında inşaat yıkıntı atığı ikame edilerek üretilen beton numuneleri üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Ayrıca bu numunelere %2 ve %5 oranlarında bor ve bor atığı ilave edilerek bu katkıların beton dayanımına etkisi gözlemlenmiştir. Deneylerden elde edilen verilerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Basınç dayanım değerlerinin en büyüğüne 42,1 MPa ile %50 inşaat yıkıntı atığı-%50 normal agregaya ile üretilen beton sahip iken, en küçüğüne ise 26,7 MPa ile %50 inşaat yıkıntı atığı-%50 normal agregaya-%5 bor atığı ilavesi ile üretilen beton sahiptir.
- Atıkların değerlendirilmesi, çevre kirliliğinin azaltılması, normal agregaya kullanımından ve çimento miktarından tasarruf sağlanması ve beton dayanımı açısından inşaat yıkıntı atığı agregalarının belli oranlarda kullanılabilmesi düşünülmektedir.

Teşekkür

Yazarlar, deneylerin yapılmasına yardımcı olan Öğr. Gör. M. Selçuk GÜNER'e, bor minerallerin temininde Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne, İnşaat Mühendisliği Bölümü Bitirme Tezi kapsamında çalışmayı yürüten öğrencilerimiz Atilla

HACIMUSTAFALOĞLU, Emine KAYA, Halil HARBUTOĞLU ve Selin AKTAŞ'a teşekkür etmektedir.

5. Kaynaklar

- Abbas, A., Fathifazl, G., Isgor, O. B., Razaqpur, A. G., Fouriner, B., & Foo, S. (2006). Environmental benefits of green concrete. (s. 1-8). *Climate Change Technology*.
- BandehLou, A. K., Parvishi, A., & Kheradranjbar, M. (2016). Study of Construction Debris Waste and the Role of Recycling to Protect the Environment. *International Journal of Advanced biotechnology and Research*, 1748-1754.
- Batar, T., Köksal, S., & Yersel, E. (2009). Atık bor, atık kağıt ve perlit katkılı sıva malzemesinin üretimi ve karakterizasyonu. *Ekoloji*, 45-53.
- Bayca, S. U., Batar, T., Sayın, E., Solak, O., & Kahraman, B. (2008). The influence of coal ash and tincal (boron mineral) additions on the physical properties and microstructures of ceramic bodies. *Journal of Ceramic Processing Reserch*, 118-122.
- Behera, M., Bhattacharyya, S. K., Minocha, A. K., Deoliya, R., & Maiti, S. (2014). Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review. *Construction and Building Materials*, 501-516.
- Buluttekin, B. (2008). Bor maden ekonomisi: Türkiye'nin dünya bor piyasasındaki yeri. 2. Ulusal İktisat Kongresi. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi, İktisat Bölümü.
- Demirel, C., & Şimşek, O. (2015). Erken yaşdaki atık betonların geri dönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği ve sürdürülebilirlik açısından

- incelenmesi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 226-235.
- Durmuş, G., Şimşek, O., & Dayı, M. (2009). Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 183-189.
- Eti Maden. (2022). 2020 Yılı Faaliyet Raporu. Ankara: Eti Maden İşletmeleri Genel Müdürlüğü. https://www.etimaden.gov.tr/storage/2021/Etimaden_2020_Faaliyet_Raporu.pdf adresinden alındı
- Kadiroğlu, İ., Öz, E., Tezcan, O., & Kuru, E. B. (2017). Geri dönüşümlü agreganın beton üretiminde kullanılabilirliği. *Hazır Beton*, 86-94.
- Kara, C., Kütük-Sert, T., & Kütük, S. (2020). Öğütülmüş kolemanit içeren betonlarda sodyum klorür etkisi. *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 499-510.
- Kosmatka, S. H., Panarese, W. C., & Kerckhoff, B. (2002). Design and control of concrete mixtures. Skokie: Portland Cement Association.
- Kutuk-Sert, T. (2016). Stability analyses of submicron-boron mineral prepared by mechanical milling process in concrete roads. *Construction and Building Materials* 121, s. 255-264.
- Kütük, S. (2017). Öğütülmüş nano boyutlu kolemanit mineralinin elementel ve kristal yapı özellikleri. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 303-313.
- Kütük-Sert, T. (2020). An examination of nanoparticle colemanite mineral added warm mix asphalt. *Construction and Building Materials* 243 118252
- Kütük-Sert, T., & Kütük, S. (2013). Physical and Marshall Properties of Borogypsum Used as Filler Aggregate in Asphalt Concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 266-273.
- Kütük-Sert, T., Kara, C., & Kütük, S. (2020). Öğütülmüş kolemanit minerali ikameli beton yollardaki aşınma kaybının araştırılması. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 287-295.
- Li, X. (2008). Recycling and reuse of waste concrete in China: Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 36-44.
- Li, Y., & Zang, X. (2013). Web-based construction waste estimation system for building construction projects. *Automation in Construction*, 142-156.
- Lu, W., & Tam, V. W. (2013). Construction waste management policies and their effectiveness in Hong Kong: A longitudinal review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 214-223.
- Mehta, P. K., & Meryman, H. (2009). Tools for reducing carbon emissions due to cement consumption. *Structure Magazine*, 11-15.
- Öztürk, Ö., Çelikkol, M., & Erkan, M. (2007). Türkiye Agregası Sektör Raporu.
- Rao, A., Jha, K. N., & Misra, S. (2007). Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Construction and Demolition Waste in Concrete*, 71-81.
- Sönmez, E., Özdağ, H., Özler, A., & Sümer, G. (1993). Kırka Boraks İşletmesi atık kollarının seramik endüstrisinde kullanılabilirliğinin araştırılması. Türkiye XIII. Madencilik Kongresi (s. 561-566). İstanbul: TMMOB Maden Mühendisleri Odası.
- TS 706 EN 12620+A1. (2009, Nisan 28). Beton Agregaları. Ankara.
- TS 802. (2016). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları.

- TS EN 932-1. (1997, Şubat 25). Agregaların genel özellikleri için deneyler-Kısım 1 numune alma metotları. Ankara.
- TS-EN 197-1:2012. (2012). Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri.