

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÖKME DEMİR İMALATINDA AÇIĞA ÇIKAN FAN TOZUNUN
ÇİMENTO HARCININ MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

DEMET KARAMAN

KOCAELİ 2019

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DÖKME DEMİR İMALATINDA AÇIĞA ÇIKAN FAN
TOZUNUN ÇİMENTO HARCININ MEKANİK VE FİZİKSEL
ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

DEMET KARAMAN

Doç. Dr. S. Taner YILDIRIM
Danışman, Kocaeli Üniv.
Prof. Dr. Serkan SUBAŞI
Jüri Üyesi, Düzce Üniv.
Dr. Öğr. Üyesi M. Burak TELLİ
Jüri Üyesi, Kocaeli Üniv.



Tezin Savunulduğu Tarih: 09.07.2019

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu çalışma sürecinde; gerek malzeme temininde, gerekse deney programının yürütülmesiyle ilgili bütün konularda yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım Değerli Öğretim Üyesi Doç. Dr. S.Taner YILDIRIM'a sonsuz şükranlarımı sunarım. Çalışmalarım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen değerli anne ve babama ayrıca bu zorlu süreçte her anımda yanımda olan ablam Buket KARAMAN'a teşekkürü borç bilirim.

Haziran- 2019

Demet KARAMAN



İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
TABLolar DİZİNİ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
GİRİŞ	1
1. GENEL BİLGİLER	4
1.1. Atık Ürünler ve Beton İçinde Kullanımı	4
1.2. Çimento ve Puzolonik Ürünler	5
1.3. Döküm Fabrikası ve Atık Ürünleri	6
1.4. Döküm Kumları	9
1.5. Fan Tozları	9
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	11
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1. Kullanılan Malzemeler	19
3.1.1. Atık döküm fan tozu	19
3.1.2. Çimento	22
3.1.3. Agrega granülometrisi	23
3.2. Deney Numunelerinin Üretimi	23
3.3. Metot	25
3.3.1. Yayılma	25
3.3.2. Birim ağırlık ve su emme	26
3.3.3. Kılcallık	27
3.3.4. Eğilme dayanımı	27
3.3.5. Basınç dayanımı	28
3.3.6. Rötire	29
3.3.7. ASR	30
3.3.8. Sıcaklığa dayanıklılık	30
4. DENEYSEL BULGULAR	31
4.1. Yayılma	31

4.2. Birim ağırlık ve Su Emme	31
4.3. Kılcallık.....	33
4.4. Eğilme Dayanımı.....	34
4.5. Basınç Dayanımı	35
4.6. Rötire	36
4.7. ASR	38
4.8. Sıcaklığa Dayanıklılık	39
4.8.1. Ağırlık kaybı.....	39
4.8.2. Basınç dayanım kaybı	41
5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	45
KAYNAKLAR.....	47
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER.....	51
ÖZGEÇMİŞ.....	52

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Atık fan tozu	19
Şekil 3.2. Işık mikroskobu ile tanecik yapısının görüntülenmesi.....	21
Şekil 3.3. Işık mikroskobu ile aydınlık alan tanecik yapısının görüntülenmesi	21
Şekil 3.4. XRD grafiği ile içerik tahlili	22
Şekil 3.5. Agrega granülometrisi	23
Şekil 3.6. 40x40x160mm boyutlarındaki kalıp	24
Şekil 3.7. 50x50x50mm boyutlarındaki kalıp	24
Şekil 3.8. 25x25x280mm boyutlarındaki kalıp	25
Şekil 3.9. Yayılma deneyi	26
Şekil 3.10. Numunelerin etüve yerleştirilmesi	27
Şekil 3.11. Eğilme deneyi	28
Şekil 3.12. Basınç deney aleti.....	29
Şekil 3.13. Rötire ve ASR ölçüm aleti	29
Şekil 3.14. ASR kür havuzu	30
Şekil 4.1. Birim Ağırlık Değerleri (g/cm ³)	32
Şekil 4.2. Su emme yüzdeleri	33
Şekil 4.3. Kılcal su emme yüzdeleri	34
Şekil 4.4. Eğilme dayanımı-zaman ilişkisi	35
Şekil 4.5. Basınç dayanımı-zaman ilişkisi	36
Şekil 4.6. Rötire boy değişim yüzdeleri	37
Şekil 4.7. ASR boy değişim yüzdeleri	39
Şekil 4.8. 400°C, 500°C ve 600°C'de numunelerin ağırlıkları.....	40
Şekil 4.9. Sıcaklığa bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri	41
Şekil 4.10. 90 gün kür edilen numuneler	41
Şekil 4.11. Basınç testi sonrası kırılan numune.....	42
Şekil 4.12. 90 günlük ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri	43
Şekil 4.13. Sıcaklık sonrası basınç dayanım kaybı.....	44

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1.1. Ülkelere göre hazır beton üretimi (THBB).....	5
Tablo 1.2. Yıllara göre hazır beton firma sayısı ve üretim tesisi sayısı (THBB)	6
Tablo 1.3. 2016 yılı dünya döküm üretimi (Moment Expo)	6
Tablo 1.4. Döküm sektöründe tesis başına üretim ortalaması (Moment Expo)	7
Tablo 1.5. Türkiye döküm üretimi (Moment Expo; Türk Döküm)	7
Tablo 1.6. 2011- 2017 yılları arası döküm üretimi (Türk Döküm)	8
Tablo 3. 1. Atık fan tozunun kimyasal ve fiziksel analizi.....	20
Tablo 3. 2. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri	22
Tablo 3.3. Harç karışım oranları.....	23
Tablo 4.1. Yayılma değerleri.....	31
Tablo 4.2. Su emme değerleri.....	32
Tablo 4.3. Kılcal su emme yüzdeleri	33
Tablo 4.4. Kapilarite katsayısı.....	34
Tablo 4.5. Eğilme değerleri.....	35
Tablo 4.6. Basınç dayanım değerleri	36
Tablo 4.7. Rötire değişim değerleri	37
Tablo 4.8. Rötire boy değişim yüzdeleri	37
Tablo 4.9. ASR değişim değerleri (mm).....	38
Tablo 4.10. ASR boy değişim yüzdeleri	38
Tablo 4.11. 400°C, 500°C ve 600°C' de numunelerin ağırlıkları (g)	39
Tablo 4.12. Sıcaklıklar sonrası ağırlık kaybı yüzdeleri	40
Tablo 4.13. 90 günlük ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri (MPa).....	42
Tablo 4.14. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri	43

DÖKME DEMİR İMALATINDA AÇIĞA ÇIKAN FAN TOZUNUN ÇİMENTO HARCININ MEKANİK VE FİZİKSEL ÖZELLİKLERİNE ETKİSİ

ÖZET

Küreselleşen dünya ortamında insan nüfusunun hızlı artışı, doğal kaynakların hızla tükenmesi ve yanlış kullanılması gibi sorunlar beraberinde ortaya çıkan atık bertarafı sorunu alternatif yöntemleri de beraberinde getirmiştir. Çevreye duyarlı, daha sürdürülebilir bir dünya düzeni için atık maddelerin geri dönüştürülmesi ve geri kazanımı çalışmaları gün geçtikçe önemini artırmaktadır.

Bu çalışma kapsamında döküm fabrikalarının bir atığı olan atık fan tozunun harç numuneleri üzerine etkisi araştırılmıştır. Atık fan tozu ağırlıkça %5,10,15 ve 20 oranlarında çimento yerine kullanılarak elde edilen numuneler üzerinde basınç dayanımı, eğilme dayanımı, su emme, kılcal su emme testleri ile büzülme ve genleşme miktarlarının hesabı gerçekleştirilmiştir. 400,500 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılmaları sonucu ortaya çıkan ağırlık ve basınç dayanım kayıpları incelenmiştir.

Gerçekleştirilen deneyler neticesinde % 5 atık fan tozu ilavesinin, atık fan tozu içermeyen kontrol numunelerine yakın sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Artan atık fan tozu oranlarında elde edilen sonuçlar, kontrol numunesi deney sonuçlarından daha düşük değerler vermiştir.

Anahtar Kelimeler: Atık Fan Tozu, Basınç Dayanımı, Eğilme Dayanımı, Sıcaklık Dayanımı.

EFFECTS ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF CEMENT MORTAR OF RELEASED FAN DUST IN THE PROCESS OF FABRICATION WITH FOUNDRY IRON

ABSTRACT

In the globalized world environment, problems such as the rapid increase of the human population, the rapid depletion of natural resources and the misuse of these problems have led to alternative disposal methods. Efforts for recycling and recovery of waste materials are becoming more and more important for an environmentally conscious, more sustainable world order.

In this study, the effect of waste casting sand, which is a waste of casting factories, on mortar samples was investigated. The compressive strength, flexural strength, water absorption, capillary water absorption tests were calculated on the samples obtained by using waste casting sand at the rate of 5,10,15 and 20% by weight instead of cement. weight and compressive strength losses resulting from exposure to 400,500 and 600 ° c were investigated.

As a result of the experiments performed, it was observed that the addition of 5% waste casting sand yielded results similar to the control samples without waste casting sand. The results obtained with increasing waste casting sand rates gave lower values than the control sample test results.

Keywords: Compressive Strength, Flexural Strength, Temperature Resistance, Waste Foundry Sand.

GİRİŞ

Beton, günümüz şartları düşünüldüğünde hem sağladığı dayanım miktarı hem de uzun ömürlü olması sebebiyle yapı imalatında en çok tercih edilen malzeme olmuştur. Betonun ana etmenlerinden olan çimento üretimi de buna paralel olarak hızla artmaktadır. Ancak buna ilaveten çimentonun çevresel koşullar üzerindeki olumsuz etkileri alternatif yakıt ve hammadde arayışını ortaya çıkarmıştır (Abut ve Yıldırım, 2017). Çimento enerji yoğun bir malzeme olmasından dolayı beton üretiminde atık içerikli çimento kullanımı kullanılan enerjinin azalmasını sağlayacaktır (Aggarwal ve Siddique, 2014). Bu alternatif atık türleri içerisinde atık döküm kumları tercih edilebilmektedir.

Döküm sektörü incelendiğinde 1 ton döküm için yaklaşık 4,5 ton kum gerekmektedir. Kullanılan kumlar belirli bir döküm tekrarı sonrasında tekrar kullanılamaz hale gelmektedir. Bunun başlıca nedenleri, döküm esnasında yüksek sıcaklıklara maruz bırakılmasından dolayı fiziksel ve kimyasal yapısında değişimlerin olması ve kum tanelerinin yapısının bozulup bağlayıcılık özelliğini yitirmesi gösterilebilir. 2011 yılı rakamlarına göre yapılan döküm üretiminin yaklaşık % 31'i kadar atık oluşmuştur. Oluşan bu atığın % 65'i atık döküm kumu, % 10'u cüruf ve geri kalanı da toz, çamur, taş, boya gibi malzemelerden oluşmaktadır (Bakış ve diğ., 2006).

Döküm sektöründe oluşan bu atıkların depolanması ve bertarafı noktalarında çeşitli sorunlar çıkmakta ve bu da yeni arayışlara sebep olmaktadır. Atık döküm kumlarının tehlike analizlerinin yapımının kolaylaşp yaygınlaşması ve bunun getirisi olarak da atık kullanım alanlarının artması istenilen durumdur. Tüm bunların sonucunda tehlikesiz atık döküm kumlarının karayolu inşaatlarında, imalat ürünleri uygulamalarında, geoteknik uygulamalarda ve tarımsal uygulamalarda kullanımının artması beklenmektedir.

Genel anlamda atık dönüşümünün döküm kumu ile sınırlı kalmaması ve sürdürülebilirlik açısından gerekli bilincin oluşturulması gerekmektedir. Bu

bağlamda hedeflerin gerçekleştirilmesi olumlu sonuçlar doğuracaktır (Başar ve Deveci Aksoy, 2012).

Atık döküm kumlarının yanı sıra beton içinde kullanılan mineral katkıları bulunmaktadır. Bu mineral katkıları elde edildikleri kaynaklara göre 3 grupta incelenmektedir. Doğal malzemeler, bir endüstri kolundan yan ürün olarak elde edilen malzemeler ve ısıtıl işlem uygulanmış malzemelerdir. Mineral katkı olarak kullanılan malzemelerin ince taneli durumda olması istenmektedir. Doğal halleriyle ince taneli yapıda olmayan malzemeler öğütülerek çimento inceliğine uygun hale getirilmelidir.

Mineral katkı kullanımı taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde çeşitli iyileştirmelere yol açmaktadır. Kullanılan mineral katkıları genelde kendi başlarına puzolanik özellik göstermektedir.

Puzolanlar, “ kendi başlarına bağlayıcılık değeri olmayan veya çok az bağlayıcılık gösterebilen, fakat ince taneli durumda olduklarında ve sulu ortamda kalsiyum hidroksit ile birleştirildiklerinde hidrolik bağlayıcılık özelliğine sahip olan silisli veya silisli ve alüminli malzemeler ” olarak tanımlanmaktadır. Puzolanlar doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır (Erdoğan, 2003a).

Doğal puzolanlar, ince taneli yapıya getirildikten sonra su ve kalsiyum hidroksit ile bağlayıcı özelliğe sahip olan malzemelerdir. Volkanik içerikli tüfler, camlar doğal puzolanlara örnek gösterilebilir. Doğal puzolanların beton içerisinde kullanımının olumlu sonuçları arasında işlenilebilirliği arttırdığı, sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azalttığı ve ekonomik açıdan fayda sağlaması gösterilebilir.

Yapay puzolanlar ise endüstriyel yan ürünlerdir. Başlıca örnekleri uçucu kül, silis dumanı ve öğütülmüş yüksek fırın cürufudur. Yapay puzolanların beton içerisinde kullanımının olumlu sonuçları arasında betondaki terlemeyi azaltıp, hidrasyon ısını düşürmesi ve sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini azaltması gösterilebilir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan çimento miktarında azalma yapılarak hem çimentonun zararlı etkilerini hafifletme, hem de atık döküm kumu elde edilirken çıkan bir ürün olan atık fan tozunun geri dönüşümü için alternatif bir yol denenmiştir. Deneysel çalışma kapsamında çimento yerine ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında

atık fan tozu kullanılıp harç ve beton numuneleri üretilmiştir. Numuneler üzerinde taze ve sertleşmiş beton testleri gerçekleştirilmiştir.



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Atık Ürünler ve Beton İçinde Kullanımı

İnsan nüfusunun artması ve bunun getirisi olarak doğal kaynak kullanımındaki artış ciddi çevresel sorunlar doğurmaktadır. Tüketime her geçen gün artmasıyla birlikte meydana gelen atık çeşitliliği de artış göstermektedir. Atıklar kendi içlerinde; evsel katı atık, tehlikeli atık, endüstriyel atık, tarım ve bahçe atıkları, tıbbi atıklar, inşaat ve moloz atıkları olmak üzere sınıflandırılabilir (Gündüzalp ve Güven, 2016). Atıkların sınıflandırılması geri dönüşümlerini kolaylaştırıp çevreye olan zararlarını önleme noktasında kolaylıklar sunmaktadır. Atıklar çeşitli fiziksel ve kimyasal işlemler sonrasında otomotiv, sanayi, inşaat gibi birçok alanda geri dönüştürülerek kullanılabilir (Fırat ve Akbaş, 2015).

Çimento üretimi insan kaynaklı CO₂ salınımı açısından dünyada 3. sırada yer almaktadır (Justnes ve Martius Hammer, 2016). Bu durum beraberinde getirdiği çevresel sorunlar nedeniyle alternatif madde arayışlarına yol açmaktadır. Kullanılan çimento miktarının azaltılması, su azaltıcı katkı kullanımları veya atık malzemelerin beton içerisinde değerlendirilmesi gibi yöntemler bulunmaktadır.

Atık malzemelerin beton içerisinde kullanılmasına çeşitli örnekler vermek mümkündür. Geri dönüştürülmüş betonun agrega olarak kullanımı betonun su emme kapasitesi, gözeneklilik, basınç dayanımı gibi özellikleri dikkate alınarak yapılan çalışmalarda, geleneksel betona göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir (Abut ve Yıldırım, 2017; Yıldırım ve diğ., 2015). Seramik yer karosu atıklarının agrega olarak kullanımının incelendiği bir diğer çalışmada atık katkılı numunelerin referans numunelerine göre daha iyi fiziksel ve mekanik sonuçlar verdiği görülmüştür (Tabak ve diğ., 2012). Bir başka çalışmada plastik atıkların beton içerisinde agrega olarak kullanımının betonun mekanik özelliklerini azalttığı ancak atık ilavesinin doğru oranda ilavesiyle agrega olarak kullanımının mümkün olduğu görülmüştür (Yıldırım ve Duygun, 2017). Endüstriyel demir talaşı atığının betonun dayanım özelliklerine etkisinin araştırıldığı çalışmada, demir talaşı atığı bulunan numunelerin dayanım

sonuçlarının, demir talaşı içermeyen numunelere göre yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür (Taş ve diğ., 2013). Tekstil atıklarının boya, duvar kağıdı pastası gibi yapı malzemelerinin üretiminde kullanımı da verilebilecek bir diğer örnek türüdür (Kozak, 2010).

Bütün bu örneklerin giderek çoğalması atıkların çevreye olan zararını ve doğal kaynakların tüketimini olumlu ölçüde değiştirmektedir (Gürer ve diğ., 2004). Atıkların geri dönüşümü ve geri kazanımı doğaya verilen zararın azalmasında önemli bir rol oynamaktadır.

1.2. Çimento ve Puzolonik Ürünler

Latince “caementum” denen yontulmuş taş kırıntısından adını alan, kalker taşı ve kilin özel fırınlarda yüksek sıcaklıklarda ısıtılıp öğütülmesi sonucu oluşan bağlayıcı bir maddedir. Beton denilince akla gelen ilk etmenlerden olan çimentonun önemi, Türkiye’deki beton sektöründeki hızlı artışla önemini iyice arttırmaktadır. Türkiye hazır beton üretiminde 2009 yılından beri Avrupa’ da 1. sıradadır. Tablo 1.1’de görüldüğü üzere yıllık 115 milyon m³’lük bir üretim bulunmaktadır.

Tablo 1.1. Ülkelere göre hazır beton üretimi (THBB)

Ülkelere Göre Hazır Beton Üretimi (Milyon m ³) 2017			
ABD	270	İsviçre	11.5
Türkiye	115	Avusturya	11
Japonya	84	Hollanda	6.9
Almanya	51.7	Çek Cumhuriyeti	6.8
Fransa	38.7	İsveç	4.5
Rusya	35	İrlanda	4.3
İtalya	27.3	Norveç	4.1
İngiltere	22.9	Portekiz	3.7
Polonya	20.4	Finlandiya	3
İsrail	16.9	Danimarka	2.6
İspanya	16.3	Slovakya	2.4
Belçika	12.7		

Türkiye, yıllara göre hazır beton firma sayısı ve üretim tesisi sayılarına bakılarak Tablo 1.2’de verilen 2017 verilerine göre 540 firma, 1184 tesis ile faaliyetlerine devam etmektedir (THBB, 2017).

Tablo 1.2. Yıllara göre hazır beton firma sayısı ve üretim tesisi sayısı (THBB)

Türkiye’de Yıllara Göre Hazır Beton Firma ve Üretim Tesisi Sayısı		
Yıllar	Hazır Beton Firması	Tesis Sayısı
2010	500	900
2011	520	945
2012	540	980
2013	580	1040
2014	580	1040
2015	621	1098
2016	570	1120
2017	540	1184

1.3. Döküm Fabrikası ve Atık Ürünleri

Tablo 1.3. 2016 yılı dünya döküm üretimi (Moment Expo)

2016 Yılı Dünya Döküm Üretimi (Milyon Ton)	
ÇİN	47.2
HİNDİSTAN	11.3
ABD	9.3
JAPONYA	5.2
ALMANYA	5.2
RUSYA	3.9
GÜNEY KORE	2.6
MEKSİKA	2.5
BREZİLYA	2.1
İTALYA	2.1
TÜRKİYE	1.9
TOPLAM	104.4

Amerikan dökümcüler derneğın Tablo 1.3’de gösterilen raporlarına göre; Türkiye, Avrupa döküm üretiminde 1,9 ton üretimle 3. Sırada yer alırken küresel sıralamada 11. Sırada bulunmaktadır (Moment Expo, 2018).

Küresel anlamda bakıldığında döküm tesisi başına üretim ortalaması değerleri Tablo 1.4’de verilmiştir. Bu değerler doğrultusunda Türkiye üretim ortalaması olarak 8. sırada yer almaktadır (Moment Expo, 2018).

Tablo 1.4. Döküm sektöründe tesis başına üretim ortalaması (Moment Expo)

Döküm Sektöründe Tesis Başına Üretim Ortalaması (Ton)	
ALMANYA	8.894
ABD	4.791
MEKSİKA	3.759
RUSYA	3.421
JAPONYA	3.227
GÜNEY KORE	2.903
HİNDİSTAN	2.467
TÜRKİYE	2.048
BREZİLYA	2.012
İTALYA	1.971
ÇİN	1.815

Tablo 1.5’ de verilen değerler doğrultusunda Türkiye döküm üretim değerleri her geçen yıl artış göstermiştir. Bu artış ağırlıkça yaklaşık %54 seviyelerinde olup mali açıdan yaklaşık %78’lik bir artış söz konusudur. Tüm bunların yanı sıra ihracat rakamlarında da yaklaşık % 31’lik bir değer artışı görülmüştür (Moment Expo, 2018; Türk Döküm, 2018).

Tablo 1.5. Türkiye döküm üretimi (Moment Expo; Türk Döküm)

Yıllar	Türkiye Döküm Üretimi (Milyon Ton)	Türkiye Döküm Sektörü Üretim Değeri (Milyar Eoru)	Türkiye Döküm Sektörü İhracat Miktarı (Milyon Ton)
2011	1.43	2.58	0.87
2012	1.45	2.67	0.84
2013	1.54	3.27	0.9

Tablo 1.5. (Devam) Türkiye döküm üretimi (Moment Expo; Türk Döküm)

Yıllar	Türkiye Döküm Üretimi (Milyon Ton)	Türkiye Döküm Sektörü Üretim Değeri (Milyar Eoru)	Türkiye Döküm Sektörü İhracat Miktarı (Milyon Ton)
2014	1,75	3,7	1,03
2015	1,85	3,72	1,14
2016	1,9	3,96	1,14
2017	2,2	4,6	-

2011 ve 2017 yılları arası döküm üretim değerleri Tablo 1.6' da verilmiştir. Toplam üretim değerleri göz önüne alındığında her geçen yıl bir artış olduğu ve bu artışın 2011 yılı rakamlarına göre yaklaşık %50'lik bir artış seviyesine ulaştığı görülmüştür (Türk Döküm, 2018)

Tablo 1.6. 2011- 2017 yılları arası döküm üretimi (Türk Döküm)

Üretim	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Pik	625	610	600	650	675	650	720
Sfero	485	510	508	610	645	655	825
Çelik	153	140	135	140	150	166	170
Alüminyum	145	157	270	300	325	370	380
Diğer Demir Dışı Alaşımlar	26	28	30	50	55	58	60
Toplam Üretim(x1000 tons)	1434	1445	1543	1750	1850	1899	2155

1.4. Döküm Kumları

Döküm kumları şekil özellikleri bakımından yarı köşeli veya yuvarlak yapıdadırlar (Kaur, 2006). Döküm kumunun taşınması istenilen özellikler; mukavemet, ısıya dayanıklılık, geçirgenlik, akıcılık, düzgün tane yüzeyi ve dağılımı şeklinde sıralanabilir. Döküm kumları mekanik yolla bağlanmış olanlar ve kimyasal yolla bağlanmış olanlar şeklinde ikiye ayrılır. Elde edilme durumları bakımından da doğal ve sentetik olarak ikiye ayırmak mümkündür. Doğal kumlar deniz, göl çevrelerinden elde edilen kumlardır. Sentetik kumlar ise doğal kuma silis, demir oksit veya grafit tozu gibi maddelerin eklenmesiyle oluşur. Sentetik kum doğal kuma oranla daha iyi tane dağılımına sahiptir (Başar ve Deveci Aksoy, 2012).

Döküm kumu, silis, kil, su ve bir takım katkı maddelerinden oluşur. Bu katkı maddelerine talaş, silis tozu, kömür tozu örnek olarak verilebilir. Döküm kumu içindeki katkı madde oranının % 8'i geçmemesine dikkat edilmelidir (Başar ve Deveci Aksoy, 2012).

1.5. Fan Tozları

Fan tozları, toz toplama makineleri ile toplanmaktadır. Havadaki toz bez filtrelerden geçirilerek makinenin alt tarafında bulunan big bag olarak adlandırılan çuvallara dolmaktadır. Tozun içeriği sürece göre değişmekte olup kalıplama bölümünde silis kumu ve kömür tozu içerirken, ocaklar tarafında ise hammadde üzerinde bulunan yabancı maddeleri içermektedir. Örnek olarak kullanılan çelik hurda galvanizli ise filtrede kalan tozda çinko bulunmaktadır. Big bag çuvallarda toplanan toz “filtre alt tozu” olarak isimlendirilmektedir.

Endüstriyel toz toplama sistemleri, zararlı partikül maddelerin havadan temizlenmesi için kullanılır. Herhangi bir kurulum için hava temizleyicisinin seçimi; toz konsantrasyonları ve toz özellikleri, parçacık boyutu, partikül giderim verimliliği, hava akış sıcaklığı, hava akışı nem içeriği gibi özelliklere bağlıdır. Toz toplama sürecini etkileyen ayırt edici toz özellikleri; aşındırıcı, patlayıcı, yapışkan veya yapışkan olmamasıdır.

Hava temizleme için kullanılan toz kontrol ekipmanlarının farklı türleri vardır.

Bunlar;

- Yerçekimi ayırıcıları (bırakma kutuları)
- Santrifüj toplayıcılar veya siklonlar
- Torbalı filtre toplayıcıları
- Kartuş toz toplayıcıları
- Islak yıkayıcılar wet scrubber
- Elektrostatik çöktürücüler (ESP'ler)' dir. (URL-2).



2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yalçın ve diğ. (2003), gerçekleştirdikleri çalışmada, beton karışımındaki kumun yerine %15 oranında atık döküm kumu kullanarak farklı çimento miktarları ve farklı S/Ç oranlarındaki değişimi incelemiştir. 400 kg/m³ çimento miktarı için 0.53 ve 0.63, 500 kg/m³ çimento miktarı için 0.45 ve 0,55 S/Ç oranlarında beton numuneleri hazırlanmışlardır. Hazırlanan numuneler üzerinde slump, basınç, dolaylı çekme, su emme, özgül ağırlık, kılcal su emme ve ultrases dalga hızı deneyleri yapılmıştır. Düşük çimento miktarı ve yüksek S/Ç oranlarında atık döküm kumlu numunelerin sonuçlarının, döküm kumsuz numunelere göre daha düşük sonuçlar verdiği görülmüştür.

Başar ve Aksoy (2013), hazırladıkları beton karışımlarına ağırlıkça 7 farklı oranda (% 10, 20, 30, 40, 50, 75, 100) silika kumu yerine atık döküm kumu ekleyerek çökme, basınç, yarmada çekme, elastisite ve su emme testleri yapılmıştır. Çökme değerlerinin sabit tutulduğu durumlarda, atık ilavesinin artmasıyla S/Ç oranında artış gözlenmiştir. Yapılan testler neticesinde atık döküm kumu ilavesi arttıkça basınç, yarmada çekme, elastisite değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Atık ilavesi arttıkça su emme oranın artarak betonun daha gözenekli hale geldiği tespit edilmiştir.

Singh ve Siddique (2012), çalışmalarında beton karışımları içerisine ağırlıkça % 5, 10, 15, 20 gibi değişen oranlarda kum yerine atık döküm kumu ikame etmişlerdir. Karışımların S/Ç oranı 0.40, işlenebilirliği 85±5 mm olacak şekilde hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde basınç, yarmada çekme ve aşınma direnci testleri yapılmıştır. Atık döküm kumu ilave edilen numunelerin basınç ve yarmada çekme deney sonuçları atık ilave edilmeyen referans numunelerine göre daha iyi sonuçlar vermiştir. En iyi sonuç veren atık yüzdesi % 15 eklendiği durum olmuştur. Hazırlanan bütün karışımlar için aşınma derinliği, aşınma süresi arttıkça artmıştır. Kür süresi uzadıkça aşınma derinliği azalmıştır. Basınç ve yarmada çekme dayanımlarında olduğu gibi atık ikameli numunelerin aşınma değerleri, katkısız numunelere göre daha iyi sonuçlar vermiştir.

Bakis ve diğ.(2006), asfalt betonu hazırlanmasında ince agrega yerine % 4,7,10,14,17 ve 20 oranlarında atık döküm kumu kullanımını incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar asfalt betonu yapımında max % 10 luk atık ilavesinin ya da daha az atık ilavesinin yeterli sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. %10 luk atık ilavesinin üzerine çıkan durumlarda istenilen basınç ve yarmada çekme dayanımlarına ulaşamadığı görülmüştür.

Siddique ve diğ.(2009), kullanılmış döküm kumunun ağırlıkça % 10, 20 ve 30 oranlarında ince agrega ile değiştirilmesinin incelendiği çalışmada, atık miktarı arttıkça basınç, yarmada çekme, eğilme mukavemeti ve elastisite modülü değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, numunelerin kür süreleri arttıkça, değerlerde iyileşme görülmüştür.

Solmaz (2008), farklı döküm firmalarından elde edilen 15 ayrı atık döküm kumunda, 1 tanesi reçineli diğer 14 tanesi bentonitli olmak üzere, sıkıştırma enerjileri, permeabilite ve bentonit miktarları gibi özellikleri incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, kompaksiyon enerjisi arttıkça kuru birim hacim ağırlık artmakta ve permeabilite düşmektedir. Bentonit içeriğinin % 10 civarında olduğu durumlarda en iyi sıkıştırma sonuçları elde edilmiştir. Bentonit içeriğinin %15 olduğu durumda da permeabilite değeri 1×10^{-7} m/sn olmuştur ve bu değer evsel atık depolama sahalarında geçirimsizlik için uygun değer koşullarını sağlamaktadır.

Güney ve diğ. (2010), çalışmalarında kum yerine % 5, 10 ve 15 oranlarında atık döküm kumu kullanarak yüksek dayanımlı beton üretmişlerdir. Atık miktarı arttıkça betonun basınç ve çekme dayanımı değerlerinin katkısız numuneye göre azaldığı belirlenmiştir. Ancak % 10 atık ilavesi durumunda katkısız numune sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. Donma çözülme çevrimleri sonrasında betonun mekanik ve fiziksel özelliklerinin önemli ölçüde azaldığı tespit edilmiştir.

Khatib ve diğ. (2010), atık döküm kumunun çeşitli oranlarda (%0,20,40,60,80,100) kum ile değiştirilmesi ile betonun basınç dayanımı, işlenebilirlik, ultrasonik geçiş hızı, su emilimi ve rötre değerlerindeki değişim incelenmiştir. Atık miktarı arttıkça basınç dayanımı, işlenebilirlik ve ultrasonik geçiş hızında azalma meydana gelmiştir. Su emilimi ve rötre değerleri ise atık miktarı arttıkça artış göstermiştir. Tüm karışım türlerinde kür süresi arttıkça ultrasonik geçiş hızı değerinde artış gözlemlenmiştir.

Koyuncu ve Demirbaş (2006), deneysel çalışmalarında değişen oranlarda (0,4, 7, 10, 14, 17, 20) atık döküm kumu kullanarak asfalt numuneleri elde etmişlerdir. Atık döküm kumunun kimyasal ve fiziksel özelliklerinin çevre üzerindeki potansiyel etkisini tayin edebilmek için laboratuvar analizleri yapılmıştır. Atık döküm kumunda bulunan ağır metal içeriğinin Türk Katı Atık Standartlarında belirtilen sınır değere kıyasla daha küçük olduğu görülmüştür. Atık ilavesinin %10 olduğu durum optimum şartları sağlarken, atık miktarının artmasıyla birlikte Marshall stabilite değeri ve dolaylı çekme gerilmesi değerinin azaldığı belirtilmiştir.

Javed ve diğ. (1994), atık döküm kumunun belirli oranlarda ince agrega ile değiştirilmesi sonucu asfalt betonu numuneleri hazırlanmıştır. Atık döküm kumunun asfalt betonunda kullanılması için uygunluğu, temizlik ve zararlı madde içeriği, parçacık şekli ve yüzey dokusu, dayanıklılık, asfalt ile ilişkisi ve tane dağılımı gibi özellikleri incelenerek belirlenmiştir. Kullanılan atık miktarı arttıkça numunelerin birim ağırlık değerlerinde azalmalar olmuştur. % 15 atık kullanım durumunda Marshall stabilite değerleri atık kullanılmayan kontrol numunesi ile benzer sonuçlar vermiştir. Atık miktarı arttıkça Marshall stabilite değeri azalan sonuçlar vermiştir. Benzer şekilde atık miktarının artmasıyla dolaylı çekme gerilmesi değerinde azalma ortaya çıkmıştır. Genel anlamda atık döküm kumlu numunelerin performans özellikleri geleneksel beton özellikleri ile benzer sonuçlar verse de yüksek hava boşluğu içermesinden dolayı kırılganlığa ve erken çatlamaya yol açabilmektedir.

Singh ve Siddique (2012), yaptıkları deneysel çalışmalarında ince agreganın ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında atık döküm kumu ile değiştirilmesinin betonun mukavemeti, ultrasonik geçiş hızı ve yarmada çekme dayanımı değişimini incelemişlerdir. 7, 28 ve 91 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımı değerleri incelenmiş ve % 15 atık ilavesine kadar elde edilen dayanım değerlerinde artış gözlemlenmiştir. 28 ve 91 günlük numuneler üzerinde yapılan ultrasonik geçiş hızı test sonuçları da % 15 atık ilavesine kadar artış sergilemiştir. % 20 atık ilavesi durumunda elde edilen sonuçlar azalmaya başlamıştır.

Aggarwal ve Siddique (2014), gerçekleştirdikleri çalışmalarında kum yerine % 5, 10, 15, 20, 25 ve 30 olmak üzere atık döküm kumu ve yine aynı oranlarda taban külü ilave etmişler ve bu değişimin betonun özelliklerine olan etkileri üzerinde durmuşlardır. Kontrol karışımına göre basınç dayanım değerindeki en az azalma %30 (%15 taban

külü ve %15 atık döküm kumu) ilave durumunda gerçekleşmiştir. %60 (%30 taban külü ve %30 atık döküm kumu) ilave durumunda ise elde edilen basınç değerleri kontrol numunesine göre oldukça düşük gelmiştir. Yarmada çekme dayanım değerleri %30 katkı durumunda kontrol numunesine benzer sonuçlar vermiştir. Doğal ince agreganın atık döküm kumu ve taban külü gibi endüstriyel yan ürünlerle değiştirilmesinin, inşaat sektöründeki mevcut sürdürülebilirlik bağlamında büyük önem taşıyan teknik, ekonomik ve çevresel avantajlar sunduğu belirtilmiştir.

Naik ve Singh (1997), Bu çalışma kapsamında döküm kumu içeren akışkan harcın özellikleri incelenmektedir. İçerisinde uçucu kül bulunan ve uçucu kül miktarı azaltılarak yerine döküm kumu ilave edilen karışımlar hazırlanmıştır. Karışımında döküm kumu bulundurmuyup uçucu kül bulunduran numuneler kontrol numunesi olarak kullanılmıştır. Döküm kumlu ve döküm kumsuz olarak yapılan numuneler büzülme, penetrasyon derinliği, oturma ve priz alma durumları için değerlendirilmiştir. Su miktarının azalmasıyla birlikte oturma miktarı da azalmıştır. Büzülme durumu incelenen numunelerde net bir çatlak oluşumu olmamıştır. Su içeriğinin azalması ve yaşın artmasıyla birlikte penetrasyon derinliğinde azalma gözlemlenmiştir. İncelenen sonuçlar neticesinde uçucu kül yerine %85 döküm kumu ilavesinin istenilen değerleri sağladığı gözlemlenmiştir.

Aguayo ve diğ. (2017), Bu çalışma kullanılmış döküm kumu kullanılarak daha sürdürülebilir hale getirilmiş olan ultra yüksek dayanımlı betonun hidrasyon ısını ve alkali silika reaksiyonunu sunmaktadır. Kullanılan döküm kumu sadece sürdürülebilir değil aynı zamanda çimentolu malzeme özelliklerine de sahiptir. Hem daha reaktif bir agreganın etkisini hem de kullanılmış dökümhane kumunun kullanımını araştırmak için reaktif olmayan ve reaktif bir kum (ASR açısından) kullanılarak iki seri ultra yüksek dayanımlı beton karışımı hazırlanmıştır. İzotermal koşullar altında tutulan hidrasyon ısını izlemek için iletkenlik kalorimetresi kullanılırken, hızlandırılmış harç çubuğu testi kullanılarak alkali silika reaksiyonu araştırılmıştır. Basınç dayanımları 7, 14 ve 28. günlerde ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlar ultra yüksek dayanımlı beton üretiminin gerçekleştiğini göstermektedir. Her iki agregada da döküm kumu ilavesiyle hidrasyon ısısında artış olduğu gözlemlenmiştir. Döküm kumu ve reaktif kumun birlikte kullanılmasının, döküm

kumu ilavesinin% 30'a varan oranda artmasıyla birlikte alkali silika reaksiyonunu arttırdığı belirtilmiştir.

Salihoğlu ve diğ. (2007), Çelik üretiminden kaynaklanan elektrik ark ocağı tozu, Portland çimentosu ile kararlı hale getirilip özellikleri incelenmiştir. Çimento harcı ve hamuru %0 ile %90 arasında değişen atık oranlarıyla hazırlanmıştır. XRF ölçümü, toksisite karakteristiği süzme kapasitesi ve sentetik çöktürme süzme kapasitesi belirlenmesi için gerekli deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar neticesinde Portland çimentosu, kararlı hale gelen dökümhane tozundaki ağır metallerin çimento matrisine bağlanmasında yardımcı olmuştur. Ancak toksisite karakteristiği süzme sonuçları çevre koruma ajansının sınır değerlerini aşmıştır. Sentetik çöktürme süzme sonuçları atık veya kararlı hale getirilmiş ürünlerinin ayrıştırılmış çöplükte elden çıkarılabileceği sınır değerlere uygundur.

Bhardwaj ve Kumar (2017), Gerçekleştirilen çalışmada beton yapımında kullanılan kumun bir kısmının veya tamamının, demir ve demir dışı metal döküm endüstrisinin bir yan ürünü olan atık döküm kumu ile yer değiştirilmesi incelenmiştir. Doğal kum ile döküm kumunun kısmen yer değiştirmesi yapısal beton üretiminde uygun bulunmuştur. Döküm kumu ilavesinin bir dereceye kadar betonun dayanıklılık özelliklerini iyileştirdiği ancak çökme değerinin de düştüğü belirtilmiştir.

Smarzewski ve Barnat Hunek (2016), Kömür tozu ve atık döküm kumu kullanılarak üretilen yüksek performanslı betonun mekanik ve dayanıklılık özelliklerinin incelendiği çalışmada emicilik, gözeneklilik, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve donma-çözülme testleri gerçekleştirilmiştir. Kömür tozu ve atık döküm kumu ilavesi test edilen bütün özellikleri etkilemiştir. %30 kömür tozu ilavesi durumunda basınç dayanımı ve eğilme dayanımı değerleri referans betonun dayanım değerlerinden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Salokhe ve Desai (2013), Bu çalışmada dökümhane atık kumlarının ince agrega olarak kullanılması ile taze ve sertleşmiş betonda oluşan değişimler incelenmiştir. İnce agreganın % 0, 10, 20 ve %30 oranlarında atık döküm kumu ile değiştirilmesiyle deney numuneleri hazırlanmıştır. 7 günlük basınç dayanım sonuçlarına göre %20 atık döküm kumu ilavesi durumu, atık katkısı olmayan durumdaki basınç dayanım değerlerinden daha yüksek gelmiştir. 28 günlük basınç dayanım değerlerinde % 10 atık ilavesi

durumunun referans numunesiyle benzer basınç dayanım sonuçları verdiği görülmüştür. Atık miktarının artmasıyla elde edilen basınç dayanım değerleri azalmıştır.

Başar ve Aksoy (2012), çalışmalarında hazır beton üretiminde kullanılan kumun % 0, 10, 20, 30 ve %40 oranlarında atık döküm kumu ile değiştirilmesi durumunda betonda meydana gelen mekanik ve mikro yapısal özellikleri incelenmiştir. Atık döküm kumu ilavesinin betonun mukavemet performansını ve yoğunluğunu azalttığı, su emme oranını arttırdığı görülmüştür. Ancak %20 atık döküm kumu ilavesindeki numune örnekleri kontrol numuneleri ile neredeyse benzer sonuçlar vermiştir.

Monosi ve diğ. (2010), Gerçekleştirdikleri çalışmada çimento harcı ve beton üretiminde atık döküm kumunun, doğal kum ile değiştirilmesinin meydana getirdiği değişiklikleri incelemiştir. Atık döküm kumunun % 10 oranında doğal kum ile değiştirilmesi durumunda çimento harcının dayanım performansında önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ancak atık döküm kumu oranının artmasıyla birlikte işlenebilirlik olumsuz etkilenmiştir. Su/çimento oranının 0.5 olduğu durumda hem çimento harcı için hem de beton için atık döküm kumlu numunelerin basınç dayanımları, kontrol numunesi basınç dayanımlarına göre yaklaşık %20 daha düşük sonuçlar vermiştir.

Siddique (2009), Çalışmalarında kendinden sıkışmalı dolgu olarak kullanılan çimento üretimi için uçucu kül, taban külü, döküm kumu ve lastik kauçuğu eklenerek elde edilen sonuçları incelemiştir. Uçucu kül ve taban külünün kısmi değişim oranlarında kullanılabilirliği uygun bulunmuştur. Döküm kumu ilavesi durumunun ciddi bir değişikliğe sebep olmadığı görülmüştür. Lastik kauçuğu eklenmesi durumunda ise üretilen harcın hendek dolgusu ve temel dolgusu uygulamalarında kullanılabilir olduğu belirtilmiştir.

Naik ve diğ. (1994), Bu çalışmada ince agrega yerine ağırlıkça %25 ve %35 oranlarında döküm kumu kullanılarak taze ve sertleşmiş beton özellikleri incelenmiştir. Döküm kumu hem temiz haliyle hem de atık haliyle olmak üzere 2 tipte kullanılmıştır. Atık döküm kumu içeren numunelerin basınç dayanımlarının temiz döküm kumu içeren numunelerin basınç dayanımlarından yaklaşık %20-30 daha düşük sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Temiz döküm kumlu numunelerin %25 ve %35

olarak ince agregayla değiştirildiği durumlarda elde edilen basınç dayanımları benzer sonuçlar vermiştir.

Quaranta ve diğ. (2009), Bu çalışmada kil tuğla ve kiremit üretiminde atık döküm kumu kullanımı araştırılmıştır. Ağırlıkça %10, 20, 30, 40 ve %50 atık döküm kumu içeren numuneler hazırlanmıştır. Numuneler 950-1000°C aralığında sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Ticari ürünler için kullanılanlar dikkate alınarak deney şartları belirlenmiştir. Atık döküm kumunun %30-40 civarında kullanımının istenilen şartları sağladığı görülmüştür.

Çevik ve diğ. (2017), Çimento harcı üretiminde atık döküm kumu kullanılmasının etkilerini incelemiştir. Atık döküm kumu %15,30,45 ve %60 oranlarında doğal kum ile değiştirilmiştir. Ayrıca atık döküm kumu içermeyen referans numunesi üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde 3.7 ve 28 günlük basınç dayanım testleri gerçekleştirilmiştir. % 15 atık döküm kumu içeren numune 3. ve 28. gün basınç dayanım sonuçlarında en yüksek değeri vermiştir. Atık döküm kumunun doğal kum ile değiştirilmesinde optimum değişim oranının % 15 olduğu belirtilmiştir.

Naik ve diğ. (2003), Bu araştırma, F sınıfı uçucu kül, taban külü ve kullanılmış döküm kumu kullanılarak betonarme ürünlerin üretimi için teknoloji geliştirmek amacıyla yapılmıştır. Tuğla, blok ve parke taşı imalatı için katkılı ve katkısız toplam 18 karışım oranı geliştirilmiştir. Taban külüne sahip kum veya kullanılmış döküm kumu için kütle olarak değiştirme oranları% 25 ve % 35'tir. Uçucu kül içeren Portland çimentosu için kütlece değişim oranları, tuğla ve bloklar için % 25 ve % 35 ve parke taşları için% 15 ve % 25'tir. Test verilerinin analizi, % 25'e kadar çimento değişimine sahip tuğlaların ve % 25'e kadar çimento ve kumun geri dönüşümlü malzemelerle ikame edilmesine sahip blokların, hem soğuk hem de sıcak iklimlerde kullanım için uygun olduğu belirtilmiştir. Diğer tuğlalar ve bloklar, soğuk bölgelerde iç duvarları ve sıcak bölgelerde hem iç hem de dış duvarları inşa etmek için uygundur. Uçucu kül ile % 15 çimento değişimine sahip parke taşları, kontrol numunelerine göre daha yüksek mukavemet, donma ve çözülme direnci ve aşınma direnci göstermiştir.

Siddique ve diğ. (2018), Bu çalışma atık döküm kumunun betonda doğal kum yerine kullanılmasının ekonomik ve çevresel faydalarını araştırmaktadır. Doğal kum yerine atık döküm atık döküm kumu kullanılan taze betonun dayanıklılık özellikleri

verilmektedir. Betondaki doğal kum ağırlıkça %5, 10, 15 ve %20 atık döküm kumu ile değiştirilmiştir. Katkılı beton numuneleri kontrol numunesine kıyasla donma-çözülme döngüsünden daha az etkilenmiştir. Atık döküm kumunun %20'ye kadar doğal kum yerine kullanılması hem dayanım hem de dayanıklılık açısından olumlu sonuçlar vermiştir.

Santos ve diğ. (2018), Bu araştırmanın amacı, kullanılmış döküm kumunun ve dökümhane atık tozunun kilitli beton parke taşlarının yapımında kullanımını incelemektir. Döküm atıkları %5, 10, 15 ve %20 oranında karışıma ilave edilmiştir. Elde edilen basınç dayanım değerleri istenilen şartları sağlamamıştır. Ancak su emme değerleri istenilen seviyeyle uyumlu bulunmuştur.

Siddique ve diğ. (2011), Çalışmalarında atık döküm kumunun ince agregaya yerine kullanımını incelemiştir. Atık döküm kumu ağırlıkça %10, 20, 30, 40, 50 ve %60 olmak üzere ince agregaya yerine kullanılmıştır. Beton basınç dayanımı ve karbonatlaşma derinliği gibi özellikleri değerlendirilmiştir. Beton basınç dayanım değerinin %30 atık döküm kumu kullanıldığı durumda en iyi sonucu verdiği görülmüştür. Karbonatlaşma derinliği 90. ve 365. günde istenilen sınır değerleri sağlamıştır.

Moon ve diğ. (2005), Atık döküm kumu ince agregaya olarak harç beton üretiminde kullanılmıştır. İki tip ince agregaya için ağırlıkça %10, 20, 30, 40 ve %50 oranlarında atık döküm kumu ilavesi yapılmıştır. İki tip ince agregaya için de atık döküm kumu içermeyen kontrol numuneleri üretilmiştir. Kullanılan atık döküm kumu oranının artmasıyla iki agregaya tipinde de elde edilen basınç dayanım değerleri azalmıştır.

Khatib ve Ellis (2001), İnce agregaya dökümhanelerde kullanılan 3 ayrı tip kum ile değiştirilerek beton üretilmiştir. Bunlar kullanılmış döküm kumu, temiz döküm kumu ve beyaz ince kumdur. Her kum tipi %25, 50, 75 ve %100 oranlarında ince agregaya ile değiştirilerek dökümler gerçekleştirilmiştir. 3 tip kumdan hiç birini içermeyen bir kontrol karışımı yapılmıştır. Doğal kum yerine diğer tipteki kumlardan kullanılan durumlarda, katkı durumu arttıkça elde edilen basınç dayanım değerleri azalmıştır. Kullanılmış döküm kumu ve beyaz ince kum içeren numuneler benzer sonuçlar vermiştir.

3.MATERYAL VE METOT

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Atık döküm fan tozu

Atık fan tozu (AFT), Kocaeli ilinde bulunan Ferro Döküm fabrikasından elde edilmiştir. AFT içerisinde yanmış bentonit, yanmış kömür tozu, SiO₂ kumu, demir ve besleyici kalıntılar bulunmaktadır. Döküm sonrası kalıptan çıkan atık kumun ince toz kısmı fanlar tarafından çekilerek fanlardan toplanmaktadır. Fanlardan alınan malzemeler Şekil 3.1’ deki gibi daha ince boyutlu malzemelerdir. Bu malzeme tez için yapılan harçlarda geri dönüştürülmüş mineral katkı maddesi (AFT) olarak tanımlanmıştır. Kullanılan atık fan tozunun kimyasal ve fiziksel analizi Tablo 3.1’de verilmiştir.

XRD (X-Işınları Difraktometresi) yöntemine göre içerik tahlil grafiği Şekil 3.4’te differential interference contrast (yükseklik farkı kontrast) ışık mikroskobu ile 600, 1000 ve 2000 no’lu sic zımpara kağıdıyla aşındırılmış numunelerin tanecik yapısının üstten görüntüleri ise Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.

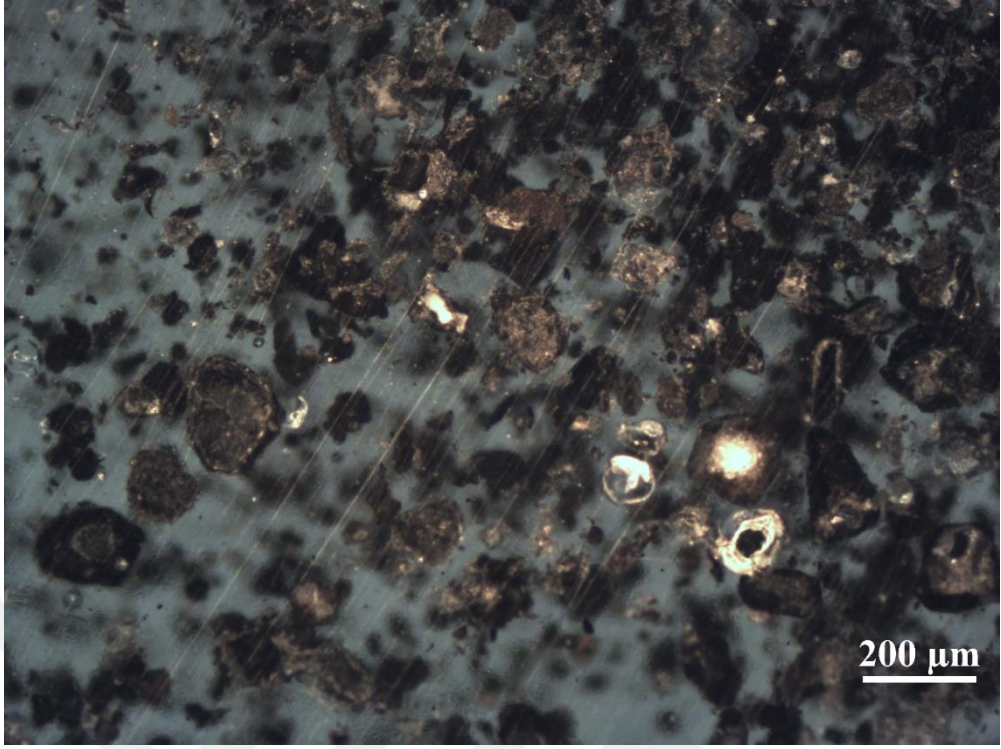


Şekil 3. 1. Atık fan toz

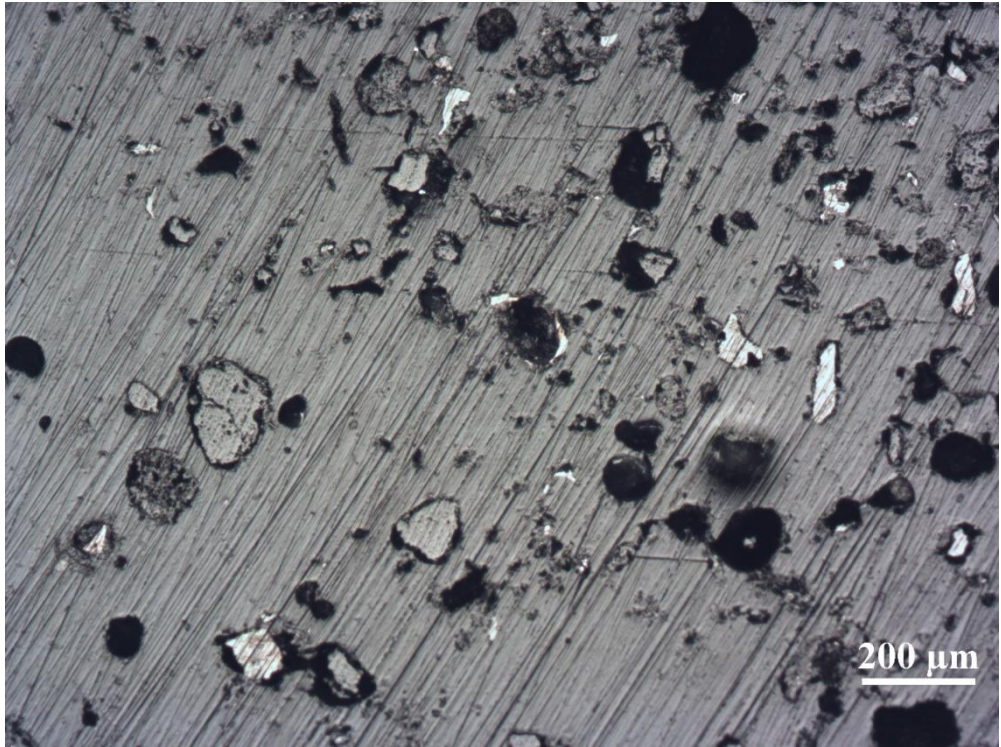
Tablo 3. 1. Atık fan tozunun kimyasal ve fiziksel analizi

Kimyasal analiz	%	Fiziksel ve Mekanik özellikler	
SiO₂	33.15	Özgöl yüzey, cm ² /g	5857
Al₂O₃	17.55	Özgöl ağırlık, g/cm ³	2.25
Fe₂O₃	11.04		
CaO	6.80		
MgO	1.07		
SO₃	1.48		
TiO₂	2.15		
Na₂O	-		
K₂O	2.83		
Klor (Cl-)	0.07		
P₂O₅	1.02		
MnO	0.19		
NiO	2.15		
ZnO	0.05		
Kızdırma kaybı	22.00		

Atık fan tozunun ışık mikroskobu ile tanecik yapısının görüntülenmesi Şekil 3.2’de verilmiştir.

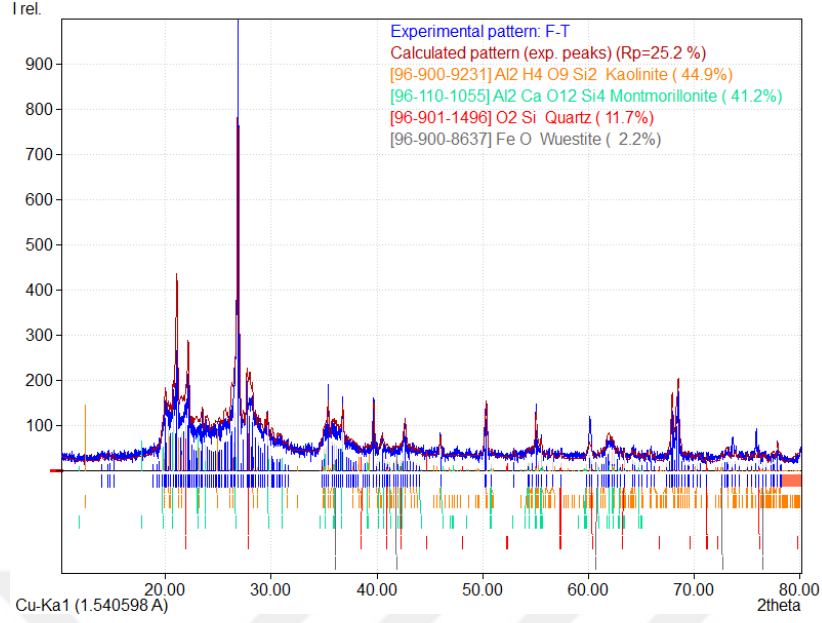


Şekil 3.2. Işık mikroskobu ile tanecik yapısının görüntülenmesi



Şekil 3.3. Işık mikroskobu ile aydınlık alan tanecik yapısının görüntülenmesi

Atık fan tozunun XRD (X-Işınları Difraktometresi) grafiği ile içerik tahlil grafiği Şekil 3.4'de verilmiştir.



Şekil 3.4. XRD grafiği ile içerik tahlili

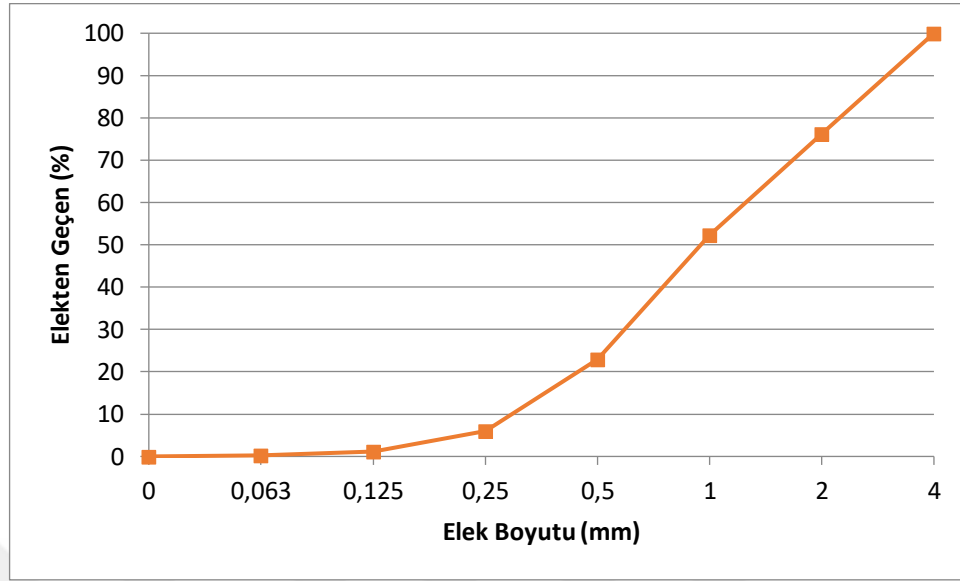
3.1.2. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento Nuh Çimento Sanayi A.Ş.'ye ait CEM I 42,5 R çimentosudur. Çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 3.2 'de gösterilmiştir.

Tablo 3. 2. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri

Kimyasal analiz	%	Fiziksel ve Mekanik özellikler
SiO ₂	20.5	Özgül yüzey, cm ² /g 3510
Al ₂ O ₃	4.65	Özgül ağırlık 3.12
Fe ₂ O ₃	3.40	Priz başlama periyodu, 153 dakika
CaO	62.7	Priz bitiş periyodu, dakika 188
MgO	1.02	Basınç dayanımı
SO ₃	2.21	2 gün, MPa 30.2
TiO ₂	-	7 gün, MPa 51.1
Na ₂ O	0.18	28 gün, MPa 62.2
K ₂ O	0.41	
Klor (Cl ⁻)	0.01	
Çözünmez kalıntı	0.60	
Kızdırma kaybı	2.15	

3.1.3. Agrega granülometrisi



Şekil 3.5. Agrega granülometrisi

Atık fan tozu katkılı ve katkısız olarak hazırlanan harç numunelerinin üretiminde kullanılan ince agreganın granülometri eğrisi Şekil 3.5’de gösterilmiştir.

3.2. Deney Numunelerinin Üretimi

Bu çalışmada harç numuneleri için basınç, eğilme, sıcaklık direnci, su emme, rötre ve ASR ölçümleri yapılmıştır. Basınç, eğilme ve su emme testleri için 40 mm x 40 mm x 160mm ebatlarındaki (Şekil 3.6) , sıcaklık direnci testleri için 50x50x50 mm ebatlarındaki (Şekil 3.7), rötre ve ASR testleri için de 25 mm x 25 mm x 285 mm ebatlarındaki (Şekil 3.8) kalıplarda üretim gerçekleştirilmiştir. Kontrol numunesi ve 4 ayrı oranda (%5, 10, 15, 20) atık fan tozu içeren numuneler hazırlanmıştır.

Harç numunelerinin hazırlanması için belirlenen karışım oranları Tablo 3.3’ de verilmiştir.

Tablo 3.3. Harç karışım oranları

HARÇ	Çimento(kg)	Su(kg)	AFT(kg)	Kum(kg)
C	400	240	0	1598
AFT5	380	240	20	1594
AFT10	360	240	40	1590
AFT15	340	240	60	1586
AFT20	320	240	80	1582



Şekil 3.6. 40x40x160mm boyutlarındaki kalıp



Şekil 3.7. 50x50x50mm boyutlarındaki kalıp



Şekil 3. 8. 25x25x280mm boyutlarındaki kalıp

Belirlenen testlerin gerçekleştirilmesi için AFT içermeyen kontrol numunesi ve ağırlıkça %5, 10, 15, 20 (AFT) içeren numuneler hazırlanmıştır. AFT içermeyen harç numunesi C, %5 AFT içeren harç numunesi AFT5, %10 AFT içeren harç numunesi AFT10, %15 AFT içeren AFT15 ve %20 AFT içeren harç numunesi AFT20 olarak adlandırılmıştır. Belirlenen her seriden 3'er adet numune hazırlanıp, sonuçlar bu 3 örneğin ortalaması alınarak oluşturulmuştur.

3.3. Metot

3.3.1. Yayılma

Tablo 3.3'de gösterilen karışım oranlarıyla hazırlanan harçlarda Şekil 3.9' da gösterildiği gibi yayılma tablası deneyi gerçekleştirilmiştir. Deney, tablanın ortasına yerleştirilen koninin sıkıştırılarak doldurulması ve şişlenmesi sonucunda koninin kaldırılıp çevirme kolunun 15 sn içerisinde 25 kez döndürülmesi ile gerçekleştirilmiştir (ASTM C230).



Şekil 3. 9. Yayılma deneyi

3.3.2. Birim ağırlık ve su emme

Hazırlanan numunelerin doymun yüzey ağırlıkları ve 24 saat $105\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde bekletilen ağırlıkları hesaplanmıştır (TS EN 772-13). Hesaplanan ağırlık değerleri üzerinden aşağıdaki formülasyon kullanılarak su emme yüzde değerleri belirlenmiştir.

Ağırlıkça yüzde su emme oranı;

$$S_a = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (3.1)$$

S_a =Ağırlıkça yüzde su emme (%)

W_d =Doymun kuru yüzey ağırlık (gr)

W_k =Kuru ağırlık (gr)

24 saat $105\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde tutulan numunelerin etüve yerleştirilmesi Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3. 10. Numunelerin etüve yerleştirilmesi

3.3.3. Kılcallık

Kılcallık, testi 40*40*80 boyutlu prizmatik numunelerin kesilmiş olan yüzeylerinin suda bırakılarak bu süre zarfında emdiği su miktarının belirlenmesi esasına dayanır. 40*40*160 mm'lik prizmalar 28 gün kür havuzunda bekletildikten sonra ortadan ikiye kesilerek oluşturulan 40*40*80 boyutlu prizmatik numuneler 24 saat 105±5°C'de etüvde kurutulmuştur (TS EN 1015-18) . Kurutulan numunelerin ilk ağırlık değerleri tartıldıktan sonra, kesik yüzeyinden suya teması sağlanmıştır. 10. 90. ve 1440. dakikalarda yüzeyleri kurularak ağırlık değerleri ölçülmüştür. 90 dakika suda bekletilen numunelerin kapilerite katsayıları aşağıdaki formülasyon ile hesaplanmıştır.

$$c = \frac{q^2}{t} \quad (3.2)$$

c: Kapilerite katsayısı

q: Birim alandan emilen su miktarı

t: Geçen zaman

3.3.4. Eğilme dayanımı

5 ayrı seri için de hazırlanan 3'er adet 40x40x160 mm'lik numuneler üzerinde 3 nokta eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir (TS EN 1015-11). Deneyler Şekil 4.11'de gösterilen

cihaz üzerinde 50 N/sn'lik yükleme ile gerçekleştirilmiştir. Elde edilen eğilme yükü değerlerinden Aşağıdaki formülden dayanım değerleri hesaplanmıştır.

$$\sigma = 1.5 \frac{P.l}{b.h^2} \quad (3.3)$$

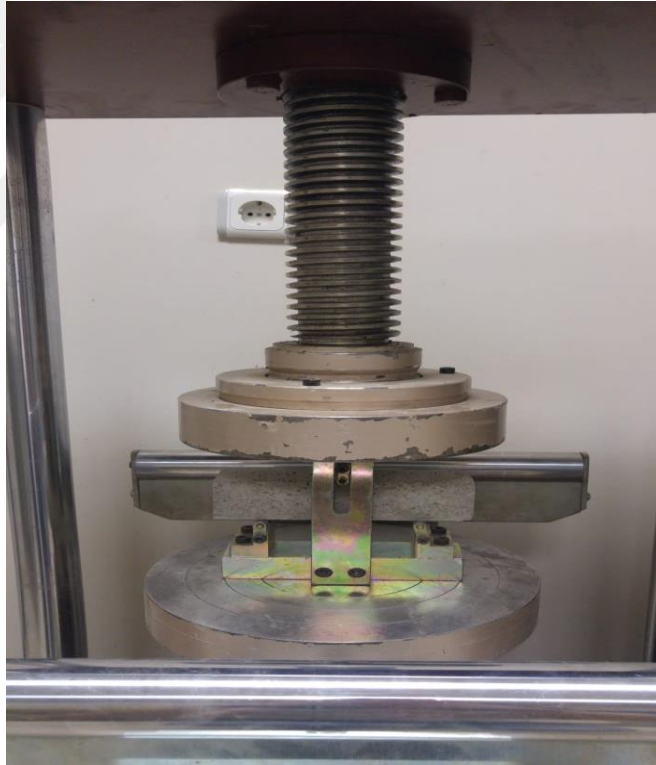
σ : Eğilme dayanımı

P: Kırılmaya neden olan yük

l: Destekler arası mesafe

b: Kesit genişliği

h: Kesit yüksekliği



Şekil 3. 11. Eğilme deneyi

3.3.5. Basınç dayanımı

Eğilme deneyinden sonra 40x40x160 mm boyutlu harç numunelerinin 40x40x40mm boyutlu kısımları üzerinde 3, 7, 28 ve 90 günlük kür süresi sonrasında basınç dayanım testleri yapılmıştır (TS EN 1015-11). Deneyler Şekil 3.12'de gösterilen deney aleti ile

gerçekleştirilmiştir. Numuneler 40x40x40mm ebatlarındaki iki metal küp arasına konularak, 75 N/sn yükleme hızı ile kırılarak basınç yük ve dayanım değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3. 12. Basınç deney aleti

3.3.6. Rötire

25x25x285 mm boyutlarında kalıplarda dökümü gerçekleştirilen ve her tip numune için üçer tane dökülen harç numuneleri üzerinde büzülme miktarlarının hesaplanması için boy değişim miktarları ölçülmüştür. Boy değişim ölçümleri Şekil 3.13’de gösterilen cihazla gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3. 13. Rötire ve ASR ölçüm aleti

3.3.7. ASR

Alkali silika reaksiyonu çimento içerisindeki alkaliler ile agrega içerisindeki reaktif silisin tepkimeye girmesi sonucu gerçekleşmektedir. Meydana gelen bu tepkime sonrasında büyük miktarda su emme kapasitesine sahip olan alkali silika jelleri oluşmaktadır. Oluşan bu jeller betonda genleşmeye neden olmaktadır (Erdoğan, 2003b).

ASTM C1260 esas alınarak, her seri için hazırlanan 3 ayrı harç numunesi 80°C de NaOH içeren çözeltide kür havuzuna bırakılmıştır. Numuneler Şekil 3.14’de gösterilen deney aletinde 1,3,7,21 ve 28 günlük kür sürelerince tutulmuştur.



Şekil 3. 14. ASR kür havuzu

3.3.8. Sıcaklığa dayanıklılık

Yapılan çalışma kapsamında 50x50x50 mm boyutlarında kalıplar kullanılarak üretilen numuneler 90 günlük kür süresi sonrasında 24 saat 105±5°C de etüvde kurutulmuştur. Kurutulan numuneler 400, 500 ve 600 °C sıcaklığa maruz bırakılmıştır. Fırından çıkarılan numunelerin ağırlık ölçümleri ve dayanım değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan bu değerler etüv kurusu durumdaki numune ağırlık ve dayanım değerleri ile kıyaslanarak değer kayıpları hesaplanmıştır.

4. DENEYSEL BULGULAR

Gerçekleştirilen deneysel çalışma kapsamında hazırlanan harç numuneleri üzerinde yayılma tablası, su emme, kılcallık, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, rötre ve ASR boy ölçümleri ile sıcaklığa bağlı dayanım ve ağırlık kaybı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.1. Yayılma

Yayılma testi sonrası elde edilen kıvam değerleri Tablo 4.1’ de verilmiştir. Atık fan tozunun ilave oranı arttıkça kıvam değeri azalma göstermiştir. Kontrol numunesinin kıvam değeri sırasıyla %5, %10, %15 ve %20 atık ilavesinde % 10, % 20, % 24 ve yaklaşık % 40 azalmıştır. Kıvam değerinin düşmesi harcın işlenebilirliğini olumsuz etkileyip su ihtiyacını arttırmıştır.

Tablo 4. 1. :Yayılma değerleri

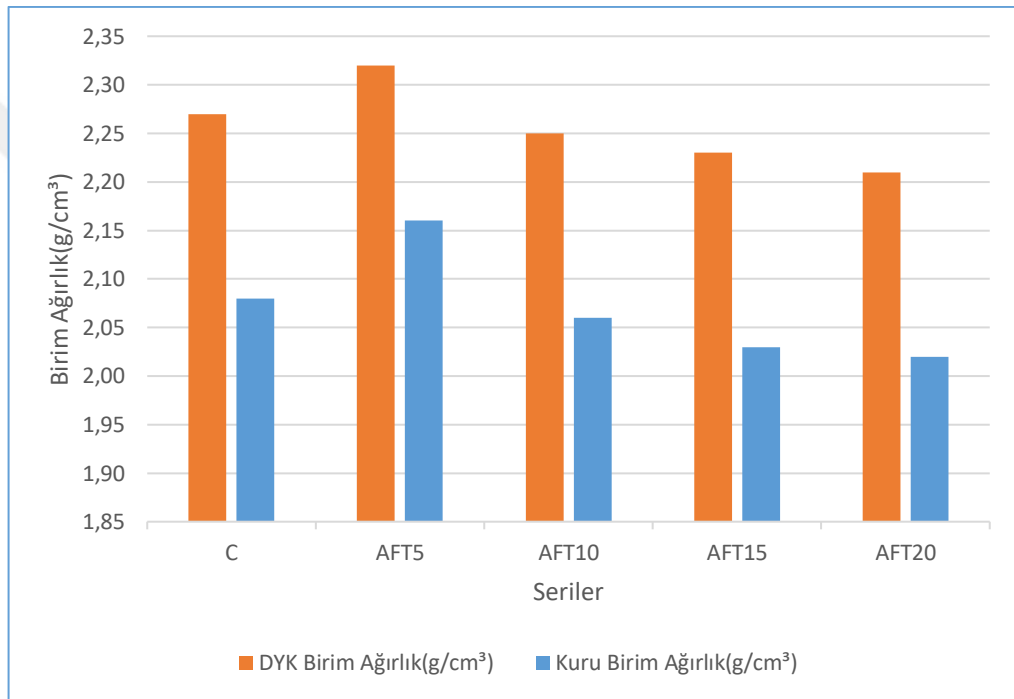
Kıvam (mm)	
C	210
AFT5	190
AFT10	170
AFT15	160
AFT20	120

4.2. Birim ağırlık ve Su Emme

Belirtilen formülasyonla hesaplanan su emme yüzdeleri, doymuş yüzey ağırlıkları ve etüv sonrası ağırlık değerleri Tablo 4.2’ de verilmiştir. DYK ve kuru birim ağırlık değerleri Şekil 4.1’de verilmiştir. Birim ağırlık değerinin AFT5 serisinde en yüksek değeri vermesi malzemenin inceliği de göz önünde bulundurulduğunda filler boşlukları daha iyi doldurduğu düşünülmektedir.

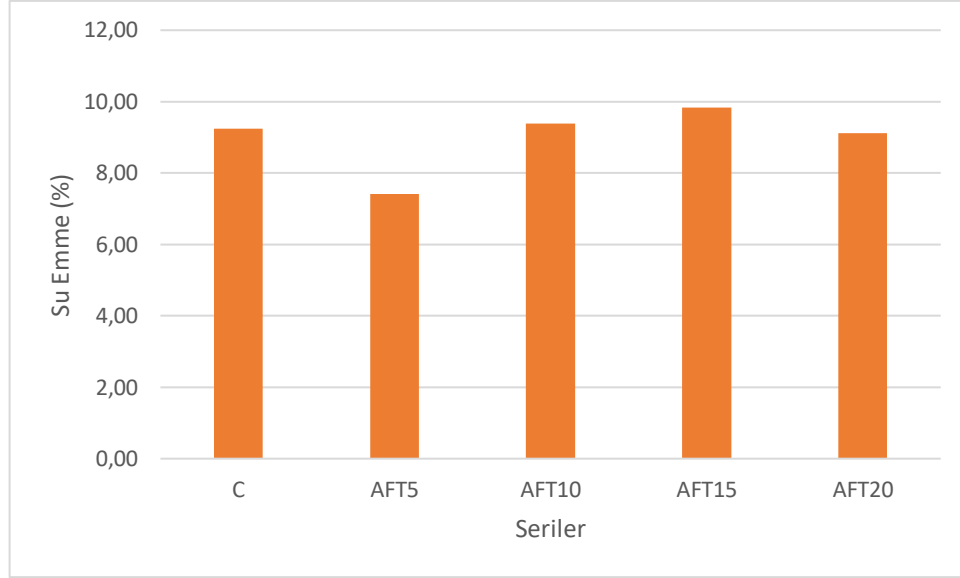
Tablo 4. 2. Su emme değerleri

Numune Tipi	DYK birim ağırlık (g/cm ³)	Kuru Birim ağırlık (g/cm ³)	Su emme (%)
C	2,27	2,08	9,25
AFT 5	2,32	2,16	8,17
AFT 10	2,25	2,06	9,39
AFT 15	2,23	2,03	9,84
AFT 20	2,21	2,02	9,12



Şekil 4.1. Birim hacim ağırlık değerleri (g/cm³)

Elde edilen veriler doğrultusunda % 5 ve % 20 atık katkılı numunelerde, kontrol numunesine göre daha az su emme gözlemlenmiştir. % 10 ve %15 atık katkılı numunelerin su emme yüzdeleri kontrol numunesinden daha fazla olmuştur. Tüm seriler incelendiğinde % 5 atık katkılı numunenin en az su emme değerine sahip olduğu görülmektedir. Su emme yüzdeleri grafiksel olarak Şekil 4.2’ de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Su emme yüzdeleri

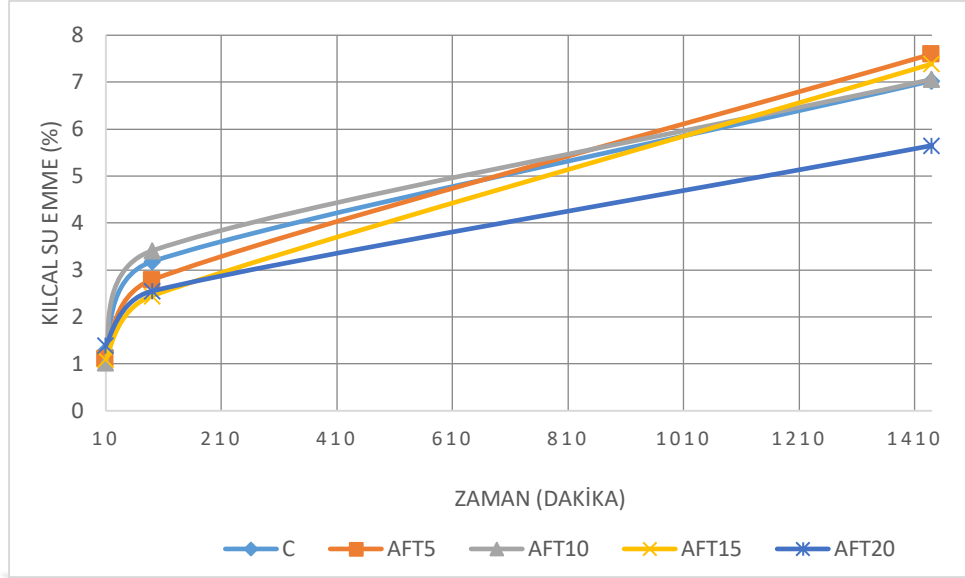
4.3. Kılcalık

Kılcal su emme yüzde değerleri Tablo 4.3’de gösterilmiştir. Tüm serilerde suyla temas süresi arttıkça emilen su yüzdelerinde artış görülmüştür. Bu artış % 5 atık katkılı harç numunesinde 1440 dakika sonra en yüksek değerini alırken % 20 atık katkılı durumda en az değeri almıştır.

Tablo 4. 3. Kılcal su emme yüzdeleri

Kılcalık %	10 dk	90 dk	1440 dk
C	1,28	3,18	7,03
AFT5	1,11	2,79	7,60
AFT10	1,03	3,41	7,06
AFT15	1,10	2,45	7,39
AFT20	1,40	2,55	5,65

Tablo 4.3’de verilen zaman içerisindeki su emme yüzde değerleri grafiksel olarak Şekil 4.3’de gösterilmiştir



Şekil 4.3. Kılcal su emme yüzdeleri

TS EN 1015-18’ de belirtildiği gibi 90 dakika suda bekletilen numunelerin kapilarite katsayıları Tablo 4.4’ de verilmiştir.

Tablo 4.4. Kapilarite katsayısı

	Kapilarite Katsayısı ($\times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sn}$)
C	5.04
AFT5	4.03
AFT10	5.67
AFT15	2.86
AFT20	3.15

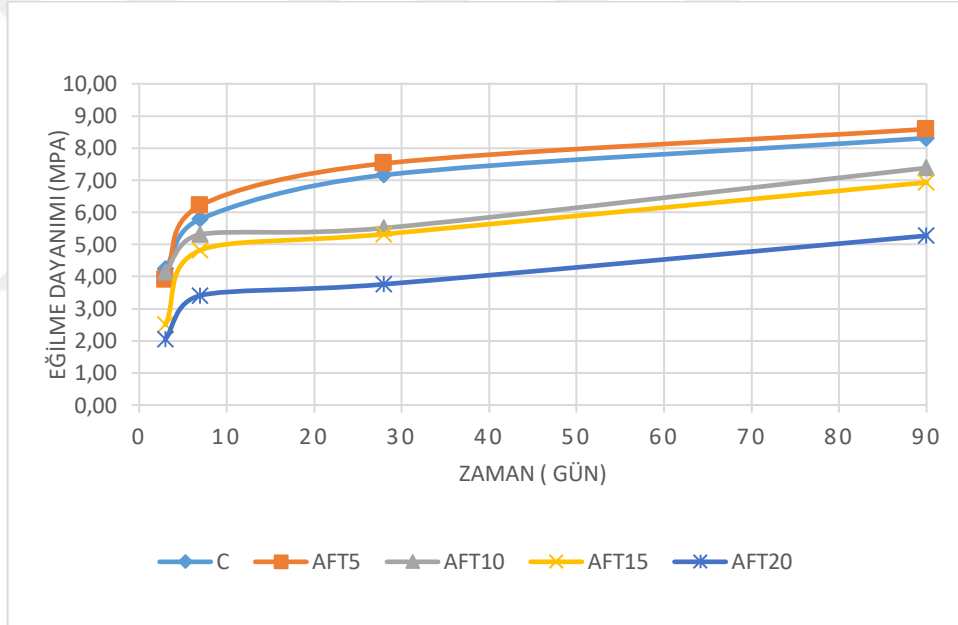
4.4. Eğilme Dayanımı

Tablo 4.5’de ve Şekil 4.4’de 3, 7, 28 ve 90 günlük süreler boyunca küre tabi tutulan numunelerin, kür süresi sonrasındaki eğilme dayanım değerleri gösterilmiştir. Katkılı numune eğilme dayanımı değerleri AFT5 hariç katkısız numune eğilme dayanım değerlerinden yüksek sonuçlar vermemiştir. % 5 atık katkısı durumunda 7. Günden itibaren katkısız numune eğilme dayanım değerlerinden yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Atık ilavesinin artmasıyla birlikte elde edilen eğilme dayanım değerlerinde azalma olduğu gözlemlenmiştir. Birim ağırlık değerinin de daha yüksek olduğu % 5

atık fan tozu katkılı durum daha az gözenekli olması sebebiyle daha yüksek eğilme dayanımı vermiştir.

Tablo 4.5. Eğilme değerleri

Eğilme (MPa)	3 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
C	4.23	5.79	7.16	8.31
AFT 5	3.89	6.21	7.52	8.59
AFT 10	4.14	5.31	5.51	7.38
AFT 15	2.50	4.82	5.32	6.93
AFT 20	2.05	3.41	3.76	5.27



Şekil 4. 4. Eğilme dayanımı-zaman ilişkisi

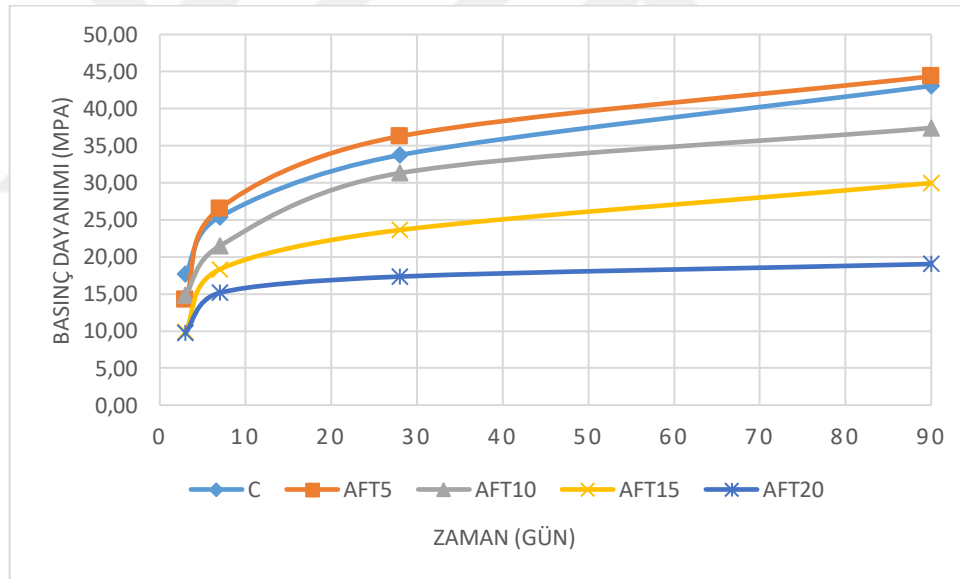
4.5. Basınç Dayanımı

Tablo 4.6 ve Şekil 4.5’de 3, 7,-28 ve 90 günlük süreler sonunda teste tabi tutulan katkılı ve katkısız harç numunelerinin ortalama basınç dayanım değerleri gösterilmiştir. Tüm harç numunelerinde kür süresi arttıkça dayanım artışı görülmektedir. %5 atık katkılı harç numuneleri, 7 günlük kür süresinden itibaren katkısız harç numunelerine göre daha iyi dayanım değerleri vermektedir. % 10, 15 ve 20 atık katkılı harç numuneleri, katkısız durumdaki harç numunelerinden daha düşük dayanım değerleri

sergilemişlerdir. Bu durum atık miktarının optimum değerinin % 5 atık ilavesi dolaylarında olduğunu göstermiştir. İlave edilen atık oranı arttıkça elde edilen dayanım değerlerinde azalma meydana gelmektedir.

Tablo 4. 6. Basınç dayanım değerleri

Basınç (Mpa)	3 Gün	7 Gün	28 Gün	90 Gün
C	17.73	25.40	33.73	43.06
AFT 5	14.22	26.54	36.27	44.35
AFT 10	14.80	21.48	31.30	37.39
AFT 15	9.94	18.32	23.62	29.96
AFT 20	9.75	15.15	17.34	19.03



Şekil 4.5. Basınç dayanımı-zaman ilişkisi

4.6. Rötre

Harç numunelerinin oda sıcaklığında tutularak, 1, 4, 7, 28 ve 56. günler sonundaki boy değişimleri Tablo 4.7’de verilmiştir. Tablo 4.7’de verilen değerler doğrultusunda numunelerin ilk boy değerleri de dikkate alınarak geçen süreler sonundaki boy değişim yüzdeleri Tablo 4.8’de verilmiştir. Bütün harç serilerinde kür süresinin artmasıyla meydana gelen boy değişim yüzdelerinde artış görülmektedir.

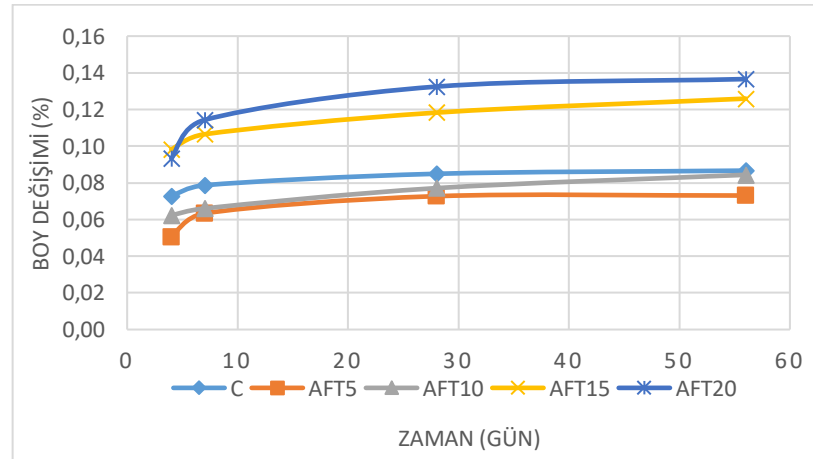
Tablo 4. 7. Rötire değişim değerleri

	C	AFT5	AFT10	AFT15	AFT20
İlk boy	288.5	287.4	289.2	288.3	291.4
1	4.875	4.187	6.428	4.902	4.980
4	4.847	4.129	6.362	4.795	4.867
7	4.731	4.071	6.314	4.688	4.755
28	4.665	4.042	6.248	4.619	4.708
56	4.648	4.005	6.237	4.595	4.647

Tablo 4.8. Rötire boy değişim yüzdeleri

%	C	AFT5	AFT10	AFT15	AFT20
Değişim					
4	-0.010	-0.020	-0.023	-0.037	-0.039
7	-0.050	-0.040	-0.039	-0.074	-0.077
28	-0.073	-0.050	-0.062	-0.098	-0.093
56	-0.079	-0.063	-0.066	-0.106	-0.114

Numunelerin boy değişim yüzdeleri Tablo 4.8 ve Şekil 4.6’da gösterilmiştir. AFT5 diğer deneylerde de olduğu gibi en iyi sonucu verirken, AFT10 numunesinin de kontrol numunesinden genel olarak daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Fakat, harçtaki katkı miktarı arttıkça rötire miktarı artmış ve daha fazla boy değişimi yaşanmıştır.



Şekil 4. 5. Rötire boy değişim yüzdeleri

4.7. ASR

Şekil 3.13’de gösterilen deney aleti ile numunelerin boy değişimleri ölçülmüştür. Hesaplanan numune boy değişimleri ve ilk boy değerleri Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. ASR değişim değerleri (mm)

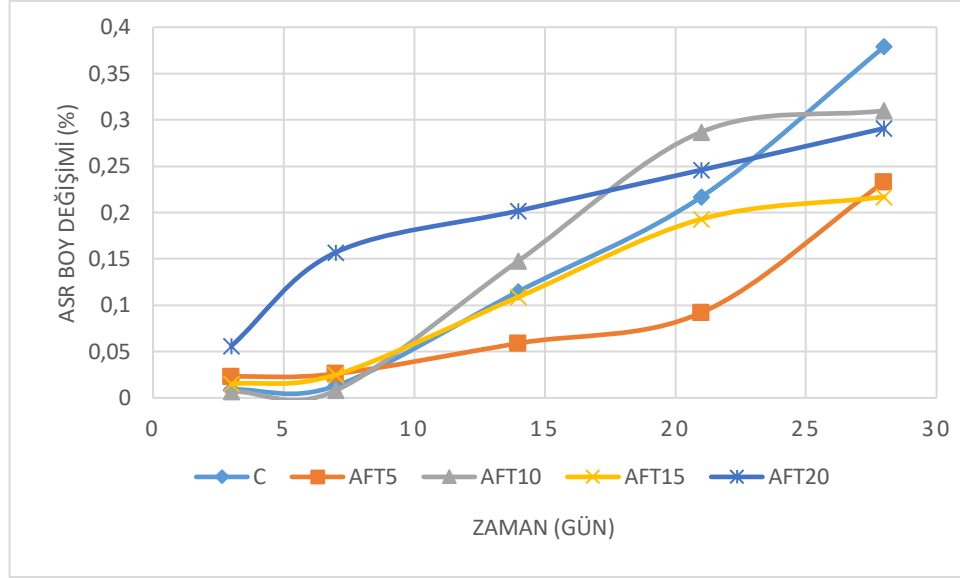
	C	AFT5	AFT10	AFT15	AFT20
İlk boy	286.5	288.0	286.6	285.8	286.30
1	5.220	4.317	5.814	4.540	4.988
3	5.246	4.382	5.834	4.582	5.149
7	5.256	4.392	5.838	4.610	5.439
21	5.841	4.581	6.636	5.091	5.694
28	6.304	4.988	6.702	5.160	5.822

Verilen boy değişimleri ve ilk boylar doğrultusunda numuneler üzerinde meydana gelen boy değişim yüzdeleri Tablo 4.10’da verilmiştir. Kür süresinin artmasıyla her seride boy değişim yüzdelerinde artış gözlemlenmiştir.

Tablo 4. 10. ASR boy değişim yüzdeleri

%	C	AFT5	AFT10	AFT15	AFT20
değişim					
3	0.009	0.023	0.007	0.015	0.056
7	0.013	0.026	0.008	0.025	0.157
14	0.115	0.059	0.148	0.109	0.202
21	0.217	0.092	0.287	0.193	0.246
28	0.379	0.233	0.310	0.217	0.291

ASR sonrası numuneler üzerinde meydana gelen boy değişim yüzdelerinin grafiksel gösterimi Şekil 4.6’ da verilmiştir. Katkısız numune, AFT10 ve AFT15 serilerine ait numunelerde değerlerin değişimi benzer sonuçlar vermiştir. 3 günlük kür süresi sonrasında en fazla boy değişimine uğrayan seri, AFT5 olarak adlandırılan %5 atık fan tozu içeren numuneler olmuştur.



Şekil 4.6. ASR boy değişim yüzdeleri

4.8. Sıcaklığa Dayanıklılık

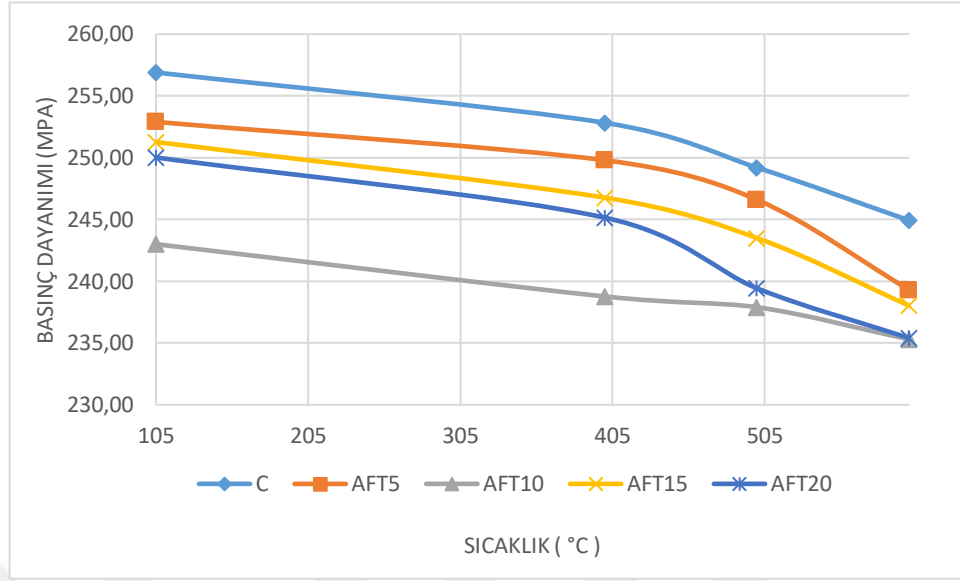
4.8.1. Ağırlık kaybı

400, 500 ve 600 °C sıcaklığa maruz kalmış numunelerin ağırlık değerleri ve 105±5°C sıcaklıkta 24 saat kurutulmuş olan 90 günlük numune değerleri baz alınarak tartılan ağırlık değerleri Tablo 4.11’de gösterilmiştir. Numune ağırlık değerleri incelendiğinde sıcaklığın artması ile ağırlık kayıplarının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Tablo 4. 11. 400°C, 500°C Ve 600°C' de numunelerin ağırlıkları (g)

Numune	Sıcaklık (C)			
	105	400	500	600
C	256.90	252.83	249.20	244.93
AFT5	252.90	249.80	246.60	239.31
AFT10	243.00	238.77	237.90	235.30
AFT15	251.27	246.77	243.50	238.03
AFT20	250.02	245.15	239.43	235.40

Tablo 4.11 ‘de verilen numune ağırlıkları grafiksel olarak Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.7. 400°C, 500°C Ve 600°C'de numunelerin ağırlıkları

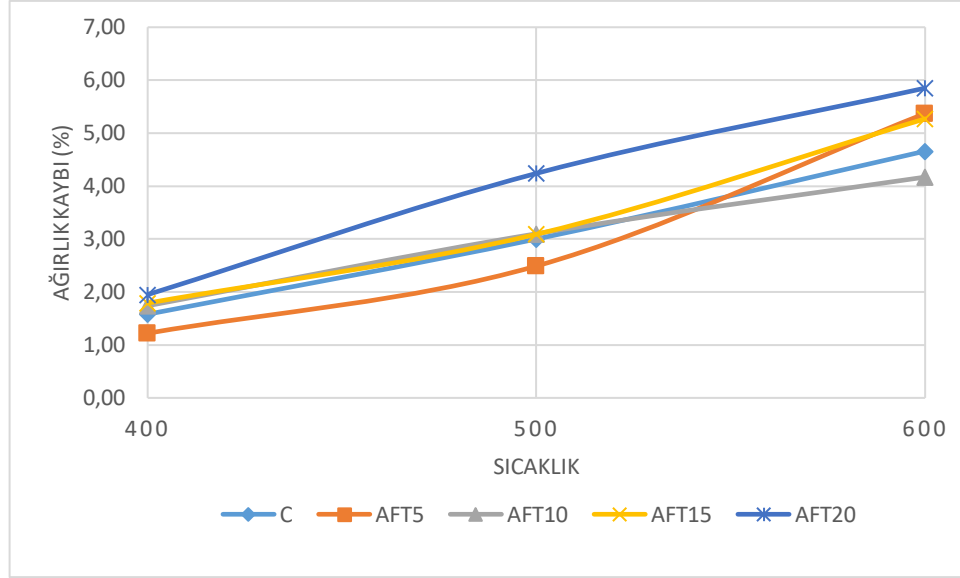
Şekil 4.7'de görüldüğü gibi sıcaklık artışı numunelerde ağırlık kaybına neden olmaktadır. Numunelerdeki AFT içeriği arttıkça ağırlık da azalma meydana gelmiştir.

Etüv kurusu ağırlık değerleri ve fırın sonrası ağırlık değerleri kıyaslanarak % değişim oranları Tablo 4.12'de verilmiştir. 90 günlük kür süresi sonrasında 24 saat etüvde kurutulan numune ağırlık değerleri ile farklı sıcaklıklarda fırında tutulan numunelerin ağırlık kaybı uygulanan sıcaklık arttıkça artmıştır.

Tablo 4.12. Sıcaklıklar sonrası ağırlık kaybı yüzdeleri

Numune	Sıcaklık (C)		
	400	500	600
C	1.58	3.00	4.66
AFT5	1.22	2.49	5.37
AFT10	1.74	3.10	4.17
AFT15	1.79	3.09	5.27
AFT20	1.95	4.24	5.85

Şekil 4.9' da yüksek sıcaklık sonrası ağırlık kaybı yüzdeleri gösterilmiştir. Kontrol serisi, AFT5 ve AFT15 serilerinde ağırlık kayıpları birbirine benzer sonuçlar vermektedir. AFT20 serisine ait numunelerin 500°C ve 600°C sıcaklıklarda yakılması sonrası ağırlık kayıp yüzdeleri diğer serilere ait numunelerden daha fazla olmuştur.



Şekil 4.8. Sıcaklığa bağlı ağırlık kaybı yüzdeleri

4.8.2. Basınç dayanım kaybı

50x50x50 mm boyutlarındaki kalıplarda hazırlanan numuneler Şekil 4.10' da gösterildiği gibi 90 gün kür havuzunda bekletilmiştir. Her seriden 3'er adet numune alınarak 24 saat $105\pm5^{\circ}\text{C}$ 'de etüvde tutularak kurutulmuştur. Numuneler ayrı ayrı 400, 500 ve 600°C sıcaklıklardaki fırına konulup, daha sonra yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri bulunmuştur.



Şekil 4.9. 90 gün kür edilen numuneler

Etüvden alınan 90 günlük numune basınç dayanımları ile fırın sonrası numune basınç dayanım değerleri Şekil 4.11’de görüldüğü gibi 75 N/sn lik yükleme hızı ile kırılarak ölçülmüştür.



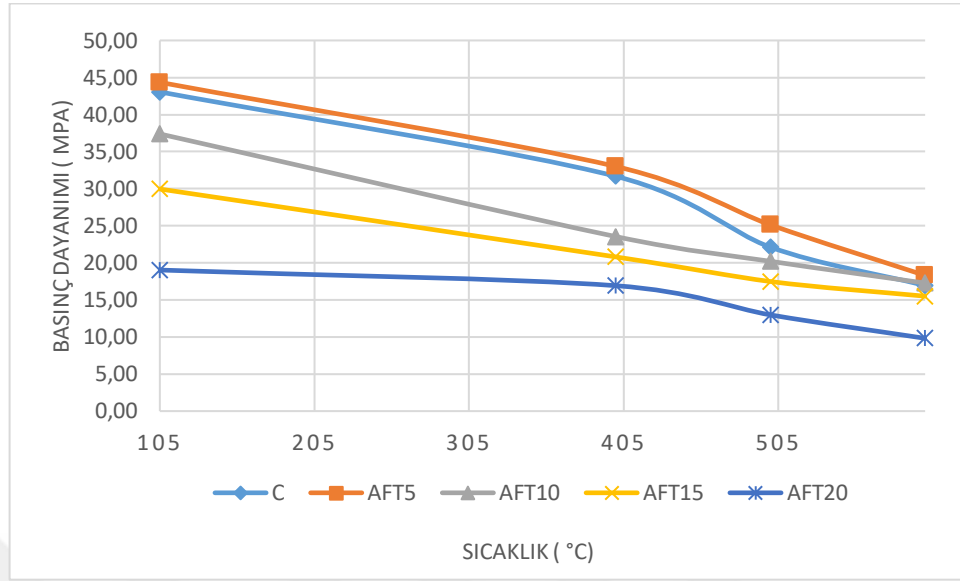
Şekil 4. 10. Basınç testi sonrası kırılan numune

Sıcaklığa maruz kalan numunelerdeki dayanım kaybının hesaplanması için, her seriden 3’er adet numune alınarak 400, 500 ve 600°C sıcaklığa sahip fırına konulmuştur. Fırından alınan numuneler oda sıcaklığına geldiğinde dayanım değerlerinin hesabı için 75 N/sn lik yükleme ile kırılmaları yapılmıştır. Elde edilen dayanım değerleri kN biriminden MPa birimine dönüştürülerek Tablo 4.13’de verilmiştir.

Tablo 4.13. 90 günlük ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri (Mpa)

Numune	Sıcaklık (C)			
	105	400	500	600
C	43.06	31.67	22.11	16.94
Aft5	44.35	33.00	25.12	18.30
Aft10	37.39	23.54	20.21	17.27
Aft15	29.96	20.80	17.48	15.50
Aft20	19.03	16.92	12.98	9.82

Tablo 4.13’de verilen değerlerin grafiksel gösterimi Şekil 4.12’de verilmiştir.



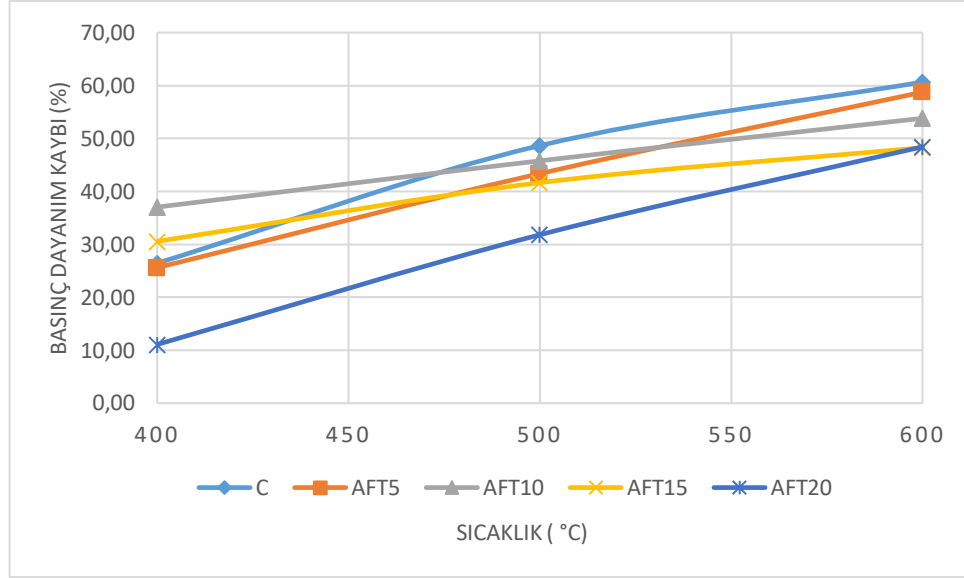
Şekil 4.12. 90 günlük ve yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım değerleri

Hesaplanan basınç dayanım değerlerinin 90 günlük basınç dayanım değerlerine göre azalma yüzdeleri Tablo 4.14’de verilmiştir.

Tablo 4. 14. Yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri

Numune	Sıcaklık (C)		
	400	500	600
C	26.45	48.65	60.65
AFT5	25.59	43.36	58.74
AFT10	37.04	45.78	53.81
AFT15	30.56	41.65	48.26
AFT20	11.09	31.81	48.42

Şekil 4.13’de verilen yüksek sıcaklık sonrası basınç dayanım kaybı yüzdeleri grafiğine bakılarak bütün serilerde sıcaklığının artmasıyla orantılı olarak basınç dayanımındaki kayıp miktarı da artış göstermiştir.



Şekil 4. 11. Sıcaklık sonrası basınç dayanım kaybı

5.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dökme demir imalatında açığa çıkan fan tozunun çimento harcının mekanik ve fiziksel özelliklerine etkisinin incelendiği çalışma kapsamında kullanılan çimento miktarı ağırlıkça % 5, 10, 15 ve 20 oranlarında azaltılarak yerine aynı miktarda atık fan tozu ilave edilmiştir. Bir seri kontrol numunesi ile birlikte toplam 5 ayrı seri numune hazırlanmış ve hazırlanan numuneler üzerinde su emme, kılcal su emme, eğilme dayanımı, basınç dayanımı, Rötire, ASR ve yüksek sıcaklığa dayanım testleri uygulanmıştır. Gerçekleştirilen deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır:

1. Harç numunelerine %5 atık fan tozu ilavesinde elde edilen su emme değerinin, kontrol numunesine göre yaklaşık %1 daha düşük su emme değeri verdiği gözlemlenmiştir.
2. Kontrol numunesi ve katkılı harç numunelerinin kılcal su emme değerleri benzer sonuçlar göstermiştir. Suyla temas süresi arttıkça kılcal su emme yüzde değerlerinde artış meydana gelmiştir.
3. Eğilme dayanım değerleri incelendiğinde 90 günlük kür süresi sonrasında katkısız harç numunelerinin eğilme dayanımı değerlerinin, %5 atık katkılı duruma göre yaklaşık %3 daha düşük olduğu ancak atık fan tozu oranının artmasıyla elde edilen eğilme dayanım değerlerinin azaldığı %20 atık ilavesi durumunda elde edilen dayanım değerlerinin katkısız numuneye oranla yaklaşık %36'lık bir değer azalması meydana getirdiği görülmüştür.
4. Yapılan basınç dayanım testleri sonucunda kontrol numunesi ve %5 atık içeren harç numunelerinin benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Atık fan tozu içeriğinin artmasıyla elde edilen basınç dayanım değerleri azalmıştır. Atık oranının %20 olduğu durumda elde edilen basınç dayanım değeri katkısız numunenin basınç dayanım değerine göre yaklaşık %55 azalma göstermiştir.
5. Büzülme kaynaklı boy değişim sonuçları incelendiğinde, %20 atık katkısı haricindeki numunelerin paralel sonuçlar gösterdiği, %20 atık katkısı durumunda ise

56. güne kadar giden paralelliğin 56. günden sonra bozulup, büzölme miktarındaki artışın arttığı görülmüştür. Tüm serilerde kür süresi arttıkça büzölme miktarı da artış göstermiştir.

6. Alkali silika reaksiyonunun incelenmesi için gerçekleştirilen test sonuçlarına göre her numune tipinde kür süresinin artmasıyla genleşme miktarında artış olduğu ve bu artışın daha çok 7 günlük kür süresinden sonra fazlaştığı görülmüştür.

7. Numunelerin 400, 500 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılmaları sonrasında meydana gelen ağırlık kayıpları incelendiğinde, sıcaklığın artışıyla birlikte ağırlık miktarlarındaki azalmanın da arttığı gözlemlenmiştir. C serisi numuneleri sırasıyla %2,3 ve %5'lik, AFT5 serisi sırasıyla %1,2 ve 5'lik, AFT10 serisi numuneleri sırasıyla %2,3 ve %4'lük, AFT15 serisi numuneleri sırasıyla %2,3 ve %5'lik azalma gösterirken, AFT20 serisinin numuneleri sırasıyla %2,% 4 ve %6'lık azalma göstermiştir. Tüm sıcaklık değerlerinde ağırlık kaybının en fazla olduğu katkı oranı %20 atık ilavesi durumu olmuştur.

8. 90 günlük kür süresi sonrasında tüm numune tiplerinin 400, 500 ve 600°C sıcaklığa maruz bırakılması sonucunda dayanım değerlerinin sıcaklık değerindeki artışla azaldığı görülmüştür. C, AFT5, AFT10, AFT15 ve AFT20 serilerindeki basınç dayanım değerlerinin en büyük değer kaybı 600 °C de sırasıyla % 60, 58, 53, 48 ve 48 olarak ölçülmüştür.

Betonun ana bileşenlerinden olan çimento üretimi insan kaynaklı CO₂ salınımı sıralamasında 3. sırada yer almaktadır. Bu durum neticesinde beton üretiminde çimento yerine alternatif ham madde kullanımına örnek oluşturabilecek atık fan tozunun çimento harcı içerisinde kullanımının incelendiği çalışmada %5 atık fan tozu ilavesinin istenilen mekanik ve fiziksel özellikleri yerine getirdiği görülmüştür. Ancak atık fan tozu ilavesinin arttığı durumlarda istenilen mekanik ve fiziksel özellikler sağlanmamıştır.

Tüm bunların yanı sıra kullanılan atık fan tozunun çevresel etkilerinin ne ölçüde olduğu bilinmemektedir. Buna dair teknik analizler çalışmanın kapsamı dahilinde olmadığı için yapılamamıştır. Ancak CO₂ salınımı açısından daha az çimento kullanımına olanak sağladığı için çevreye olumsuz etkisinin çimentoya göre daha az olduğu söylenebilir.

KAYNAKLAR

Abut, Y., Yildirim, S. T., Structural Design and Economic Evaluation of Roller Compacted Concrete Pavement with Recycled Aggregates, *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, **245**, 022064.

Aggarwal, Y., & Siddique, R., Microstructure and Properties of Concrete Using Bottom Ash and Waste Foundry Sand as Partial Replacement of Fine Aggregates, *Construction and Building Materials*, 2014, **54**, 210-223.

Aguayo, F., Torres, A., Talamini, T., ve Whaley, K., Investigation into the Heat of Hydration and Alkali Silica Reactivity of Sustainable Ultrahigh Strength Concrete with Foundry Sand, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2017.

Bakış R., Koyuncu H., Demirbas A., An Investigation of Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete Mixtures, *Waste Management Resources*, 2006, 24, 269-274.

Başar H. M., ve Deveci Aksoy N., Recovery Applications of Waste Foundry Sand, *Sigma Mühendislik ve Fen Dergisi*, 2012, 205-224.

Basar, H. M., ve Aksoy, N. D., The Effect of Waste Foundry Sand (WFS) as Partial Replacement of Sand on The Mechanical, Leaching and Micro-Structural Characteristics of Ready-Mixed Concrete, *Construction and Building Materials*, 2012, **35**, 508-515.

Başar H. M., Deveci Aksoy N., Atık Döküm Kumunun Hazır Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 2013, **31**, 517-528.

Bhardwaj, B., ve Kumar, P., Waste Foundry Sand in Concrete: A review, *Construction and Building Materials*, 2017, **156**, 661-674.

Coşgun N., Esin T., Hazır Beton Üretiminin Çevresel Etkiler Açısından Değerlendirilmesi , 2. *Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul, Türkiye, 2004.

Çevik, S., Mutuk, T., Oktay, B. M., ve Demirbaş, A. K., Mechanical and Microstructural Characterization of Cement Mortars Prepared by Waste Foundry Sand (WFS), *Journal of the Australian Ceramic Society*, 2017, **53**(2), 829-837.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Tehlikeli Atıkların Sınıflandırılması Kılavuzu, Cilt 1, Ankara, 2012

Engin Y., Tarlan M., Kumbaracıbaşı S., Çimento Endüstrisinde Sürdürülebilir Üretim, *Hazır Beton Kongresi*, İstanbul, 2013

Erdoğan, T., *Beton*, 5. Baskı, ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 2003, a(173-212),b(105-107)

Fırat, F. K., ve Akbaş, M. F., The Development of Recycling in the Construction Industry and Its Effect on the Economy, *International Conference On Eurasian Economies*, 2015, 637-644.

Gündüzalp, A. A., ve Güven, S., Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği, *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar E-Dergisi*, 2016, 1304-2823

Güney Y., Sari Y.D., Yalcin M., Tuncan A., Donmez S., Re-usage of Waste Foundry Sand in High-Strength Concrete, *Waste Management* 30, 2010, 1705-1713.

Gürer, C., Akbulut, H., ve Kurklu, G., İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi, 5. *Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu*, 2004, 13-14.

Javed, S., Lovell, C. W., & Wood, L. E., Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete, *Transportation Research Record*, 1994, 1437.

Justnes, H., & Martius-Hammer, T. A., Sürdürülebilirlik-Beton İnovasyonundaki Öncü Rolü, *Hazır Beton Dergisi*, 2016, **23**, 77-82.

Kaur I., Mechanical Properties of Concrete Incorporating Used Foundry Sand, Yüksek Lisans Tezi, Deemed University, Thapar Institute of Engg&Tech., Patiala, 2006.

Khatib J.M, Baig S., Bougara A., Booth C., Foundry Sand Utilisation in Concrete Production, *2nd International Conference on Sustainable Construction Materials and Technologies*, Ancona, Italy, 28-30 Haziran 2010.

Khatib J.M., Ellis, D.J., Mechanical Properties of Concrete Containing Foundry Sand, *ACI Special Publication*, 2001, **200**, 733-748.

Koyuncu H., Demirbaş A., An Investigation af Waste Foundry Sand in Asphalt Concrete Mixtures, *Waste Management & Research* ,2006, **24**,269–274.

Kozak, M. Tekstil Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanım Alanlarının Araştırılması, *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 2010, **6**(1), 62-70.

Moment Expo Dergisi, Mart 2018, **118**, (38-55).

Monosi, S., Sani, D., ve Tittarelli, F., Used Foundry Sand in Cement Mortars and Concrete Production, *The Open Waste Management Journal*, 2010, **3**(1).

Moon, H. Y., Choi, Y. W., Song, Y. K., ve Jeon, J. K., Fundamental Properties of Mortar and Concrete Using Waste Foundry Sand, *Journal of The Korea Concrete Institute*, 2005, **17**(1), 141-147.

Naik, T. R., Kraus, R. N., Chun, Y. M., Ramme, B. W., ve Singh, S. S., Properties of Field Manufactured Cast-Concrete Products Utilizing Recycled Materials, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 2003, **15**(4), 400-407.

Naik, T. R., Patel, V. M., Parikh, D. M., ve Tharaniyil, M. P., Utilization of Used Foundry Sand in Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1994, **6**(2), 254-263.

Naik, T. R., ve Singh, S. S., Flowable Slurry Containing Foundry Sands, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 1997, **9**(2), 93-102.

Quaranta, N., Caligaris, M., López, H., Unsen, M., Pasquini, J., Lalla, N., ve Boccaccini, A. R., Recycling of Foundry Sand Residuals as Aggregates in Ceramic Formulations for Construction Materials, *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2009, **122**, 503-512

Salihoglu, G., Pinarli, V., Salihoglu, N. K., ve Karaca, G., Properties of Steel Foundry Electric Arc Furnace Dust Solidified/Stabilized with Portland Cement, *Journal of Environmental Management*, 2007, **85**(1), 190-197.

Salokhe, E. P., ve Desai, D. B., Application of Foundry Waste Sand in Manufacture of Concrete, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 2013, 43-48.

Santos, C. C., Dalla Valentina, L. O. V., Cuzinsky, F. C., ve Witsmiszyn, L. C., Interlocking Concrete Paving Blocks Produced with Foundry Sand Waste, *In Materials Science Forum*, 2018, **912**, 191-195.

Siddique, R., Utilization of Waste Materials and by-Products in Producing Controlled Low-Strength Materials, *Resources, Conservation and Recycling*, 2009, **54**(1), 1-8.

Siddique, R., Aggarwal, Y., Aggarwal, P., Kadri, E. H., & Bennacer, R., Strength, Durability, and Micro-Structural Properties of Concrete Made with Used-Foundry Sand (UFS), *Construction and Building Materials*, 2011, **25**(4), 1916-1925.

Siddique R., Schutter G., Noumowe A., Effect of Used-Foundry Sand on the Mechanical Properties of Concrete, *Construction and Building Materials*, 2009, **23**, 976-980.

Siddique, R., Singh, G., ve Singh, M., “Recycle Option for Metallurgical by-Product (Spent Foundry Sand) in Green Concrete for Sustainable Construction”, *Journal of Cleaner Production*, 172, 1111-1120, 2018

Singh G., Siddique R., Abrasion Resistance and Strength Properties of Concrete Containing Waste Foundry Sand (WFS), *Construction and Building Materials*, 2012, **28**, 421–426.

Singh, G., ve Siddique, R., Effect of Waste Foundry Sand (WFS) as Partial Replacement of Sand on The Strength, Ultrasonic Pulse Velocity and Permeability of Concrete, *Construction and Building Materials*, 2012, **26**(1), 416-422.

Smarzewski, P., ve Barnat-Hunek, D., Mechanical and Durability Related Properties of High Performance Concrete Made with Coal Cinder and Waste Foundry Sand, *Construction and Building Materials*, 2016, **121**, 9-17.

Solmaz P., Atık Döküm Kumunun Geçirimsiz Perde Yapılarak Tekrar Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2008, 223922

Türk Döküm Dergisi, 2018, **47**.

Tabak, Y., Kara, M., Günay, E., Yildirim, S. T., ve Yilmaz, Ş., Ceramic Tile Waste as a Waste Management Solution for Concrete, *In Proceeding of the 3 rd International Conference on Industrial and Hazardous Waste Management (CRETE)*, Türkiye, 2012, 1-8.

Taş, H. H., Çoban, Ö., ve Topbaşlı, B., Endüstriyel Demir Talaşı Atığının Betonun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 2013, **5**, 1-11.

Yalçın M., Güney Y., Koyuncu H., Baş, Ö.F., Atık Döküm Kumunun Betonda Kullanılabilirliği, *5. Ulusal Beton Kongresi*, İstanbul, 1-3 Ekim 2003.

Yıldırım, S.T., Meyer, C., ve Herfellner, S., Effects of Internal Curing on the Strength, Drying Shrinkage and Freeze–Thaw Resistance of Concrete Containing Recycled Concrete Aggregates, *Construction and Building Materials*, 2015, **91**, 288-296.

Yıldırım, S. T., ve Duygun, N. P., Mechanical and Physical Performance of Concrete Including Waste Electrical Cable Rubber, *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2017, **245**, 022054.

URL-1:<http://www.thbb.org/media/290192/thbb-%C4%B0statistikler-2017.pdf>, (Ziyaret tarihi: 10 Nisan 2019).

URL-2:<http://teknofilter.com/blog/endustriyel-toz-toplama-sistemleri-filtreleri-unitesi/>, (Ziyaret tarihi: 15 Ağustos 2019).

KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

Yıldız S., Yıldırım S. T., **Karaman D.**, Karaaslan E., Öğütölmüş Döküm Cürufunun Çimento Harcı İçinde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Uluslararası Marmara Fen ve Sosyal Bilimler Kongresi*, Kocaeli, Türkiye, 23-25 Kasım 2018.



ÖZGEÇMİŞ

1992 yılında Ankara’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ankara ve Sivas’ta farklı okullarda tamamladı. 2011 yılında girdiği Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden 2015 yılında mezun oldu. 2016 yılı Eylül ayında Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı.

