



**T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**PİRİNA KÜLÜ KATKILI HARÇLARIN  
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI**

**Şaban SELÇUK**

**BURDUR, 2021**

T.C.  
BURDUR MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ

PİRİNA KÜLÜ KATKILI HARÇLARIN  
MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİNİN  
ARAŞTIRILMASI

Şaban SELÇUK

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi H. Hakan İNCE

BURDUR, 2021

## ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Pirina Külü Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı, bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

17 /06 / 2021

(İmza)

Şaban SELÇUK

## **TEŞEKKÜR**

Bu araştırma için beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Dr. Öğr. Üyesi H. Hakan İNCE'ye teőekkürlerimi sunarım.

0632-YL-20 nolu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü'ne teşekkür ederim.

Eğitim hayatımın her aşamasında beni her anlamda destekleyen aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Tezimi okuyup gereken düzeltmeleri yapmamda yardımcı olan değerli arkadaşım Nazende GEZER' e teşekkür ederim.

**Haziran, 2021**

**Şaban SELÇUK**

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİL DİZİNİ .....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ .....	v
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	vi
ÖZET .....	vii
SUMMARY .....	viii
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. Zeytin Üretimi .....	3
2.2. Pirina .....	7
2.3. Uçucu Kül .....	10
2.4. Yapılan Çalışmalar .....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM .....	23
3.1. Materyal .....	23
3.1.1. Çimento .....	23
3.1.2. CEN Standart Kum .....	24
3.1.3. Pirina Külü .....	24
3.1.4. Uçucu Kül .....	26
3.1.5. Karışım Suyu .....	27
3.2. Aletler ve Cihazlar .....	27
3.3. Yöntem .....	28
3.3.1. Harç Numune Karışım Hesapları .....	28
3.3.2. Çimento Harcı Üretimi .....	29
3.3.3. Taze Harç Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	30
3.3.4. Yayılma Tablası Deneyi .....	31
3.3.5. Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi .....	32
3.3.6. Kılcal Su Emme Deneyi .....	32
3.3.7. Ağırlıkça Su Emme Deneyi .....	34
3.3.8. Eğilme Dayanımı Deneyi .....	34
3.3.9. Basınç Dayanımı Deneyi .....	35
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA .....	38
4.1. Taze Harç Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları .....	38
4.2. Yayılma Tablası Deney Sonuçları .....	39
4.3. Kuru Birim Hacim Ağırlık .....	40
4.4. Kılcal Su Emme Katsayısı Deney Sonuçları .....	41
4.5. Ağırlıkça Su Emme Oranı Deney Sonuçları .....	43
4.6. Eğilme Dayanımı Deney Sonuçları .....	44
4.7. Basınç Dayanımı Sonuçları .....	46
5. SONUÇ .....	51
KAYNAKLAR .....	53

## ŞEKİL DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. Türkiye zeytin ağacı sayısı .....	3
Şekil 2.2. Türkiye zeytin üretimi .....	4
Şekil 2.3. Zeytinyağı genel üretim şeması .....	5
Şekil 2.4. Ülkemizdeki zeytinyağı işletmelerinin dağılımı.....	6
Şekil 2.5. Pirina yığını .....	9
Şekil 2.6. Fırınlarda yakılmak için kurumaya bırakılan pirina .....	10
Şekil 2.7. Pirina kurutma ünitesi .....	10
Şekil 2.8. Düşük kireçli F sınıfı uçucu kül taramalı elektron mikroskobu(SEM) görüntüsü.....	12
Şekil 2.9. Yüksek kireçli C sınıfı uçucu kül taramalı elektron mikroskobu(SEM) görüntüsü.....	12
Şekil 2.10. Soma termik santral kül bertaraf sahası .....	16
Şekil 3.1. Yüksek sıcaklık fırını .....	24
Şekil 3.2. Pirinanın yakıldıktan sonraki hali .....	25
Şekil 3.3. Kavanoz tipi bilyalı değirmende pirinanın öğütülmesi .....	25
Şekil 3.4. Öğütülmüş pirina külü.....	26
Şekil 3.5. Le chatelier balonu ile pirinanın yoğunluğunun bulunması .....	26
Şekil 3.6. Malzemelerin terazide tartımı.....	29
Şekil 3.7. Harç numunesinin kalıba yerleştirilmesi ve kür havuzunda bekletilmesi.....	30
Şekil 3.8. Boş kalıp ve dolu kalıbın terazi yardımı ile ağırlığının bulunması.....	30
Şekil 3.9. Yayılma tablası deneyi .....	31
Şekil 3.10. Etüv ve etüvde kurutulan numuneler .....	32
Şekil 3.11. Kılcal su emme deney numuneleri ve deney düzeneği .....	33
Şekil 3.12. Otomatik eğilme dayanımı deney presi.....	35
Şekil 3.13. Eğilme dayanımı deney numunesi ve düzeneği.....	35
Şekil 3.14. Otomatik basınç dayanım presi.....	36
Şekil 3.15. Basınç dayanımı deney numuneleri ve basınç dayanımı deney düzeneği.....	37
Şekil 4.1. UK ve PK katkılı harçların deneysel ve teorik birim hacim ağırlıkları .....	38

<b>Şekil 4.2.</b> UK ve PK katkılı harçların teorik ve deneysel birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması.....	39
<b>Şekil 4.3.</b> Yayılma tablası deneyi sonuçları .....	40
<b>Şekil 4.4.</b> Kuru birim hacim ağırlık deneyi sonuçları.....	41
<b>Şekil 4.5.</b> Kılcal su emme deneyi sonuçları .....	42
<b>Şekil 4.6.</b> Ağırlıkça su emme oranı deneyi sonuçları .....	43
<b>Şekil 4.7.</b> Eğilme dayanımı deneyi sonuçları.....	44
<b>Şekil 4.8.</b> 7 günlük eğilme dayanımlarının 28 günlük eğilme dayanımlarına oranı (%).....	45
<b>Şekil 4.9.</b> Basınç dayanımı deneyi sonuçları .....	46
<b>Şekil 4.10.</b> 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına oranı (%)....	48
<b>Şekil 4.11.</b> UK ve PK katkılı numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	49
<b>Şekil 4.12.</b> UK ve PK katkılı numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	50

## ÇİZELGE DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
<b>Tablo 2.1.</b> Zeytindeki katı madde içeriği.....	4
<b>Tablo 2.2.</b> Pirinanın genel özellikleri.....	7
<b>Tablo 2.3.</b> Farklı zeytinyağı işleme sistemlerinden elde edilen pirinanın özellikleri.....	8
<b>Tablo 2.4.</b> Yakıt olarak kullanılacak pirinanın özellikleri.....	9
<b>Tablo 2.5.</b> Dünyada uçucu kül üretimi ve kullanım oranları.....	11
<b>Tablo 2.6.</b> Uçucu kül ve diğer puzolanların ASTM C 618'e göre sınıflandırılması.....	11
<b>Tablo 2.7.</b> F ve C sınıfı uçucu kül kimyasal bileşenlerinin yüzdelerinin aralıkları.....	13
<b>Tablo 2.8.</b> Türkiye'deki bazı termik santrallerin özellikleri.....	15
<b>Tablo 3.1.</b> Yapılan deneysel çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri.....	23
<b>Tablo 3.2.</b> CEN standart kumun granülometrisi .....	24
<b>Tablo 3.3.</b> Deneyde kullanılan uçucu külün kimyasal özellikleri.....	27
<b>Tablo 3.4.</b> Karışıma giren malzeme miktarları .....	28

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>CEN</b>	: Avrupa Standartlar Komitesi
<b>D</b>	: Taze harcın birim hacim ağırlığı (g/cm <sup>3</sup> )
<b>D<sub>kuru</sub></b>	: Kuru birim hacim ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )
<b>Dk</b>	: Dakika
<b>K</b>	: Kılcal su emme katsayısı
<b>PK</b>	: Pirina külü
<b>R<sub>c</sub></b>	: Basınç dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
<b>R<sub>f</sub></b>	: Eğilme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )
<b>S/B</b>	: Su/Bağlayıcı oranı
<b>SEM</b>	: Taramalı elektron mikroskobu
<b>UK</b>	: Uçucu kül

# ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

**Pirina Külü Katkılı Harçların Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması**

**Şaban SELÇUK**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Danışman: Dr. Öğr. Üyesi H. Hakan İNCE**

**Haziran, 2021**

Dünya genelinde endüstrinin her alanında ve günlük yaşantımızda her gün tonlarca atık ortaya çıkmaktadır. Atıklar çevre ve insan sağlığına verdiği zararlardan dolayı büyük bir sorundur. Bu soruna yönelik öncelikle atıkların oluşmaması için çalışmalar yapılmaktadır. Engellenemeyen atıklar için de geri dönüşüm çalışmaları mevcuttur. Birçok alanda ortaya çıkan atıklar çeşitli sektörlerde kullanılarak geri dönüşümü sağlanmaktadır. İnşaat sektöründe de çeşitli atıkların geri dönüşümü için yapılan çalışmalar bulunmaktadır. Bu çalışmalar atık sorununun ortadan kalması için kısmen çözümler getirmektedir.

Bu çalışmada tarımsal atık olan pirinanın geri dönüşümü için yapılmıştır. Çalışmada yakıt olarak kullanılan pirinadan arta kalan pirina külü kullanılmıştır. Pirina külü katkılı harçlar üretilerek mühendislik özellikleri incelenmiştir. Çimento yerine %5, %10, %12, %15, %20 ve %25 oranlarında pirina külü ikame edilerek harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen harç numunelerine taze halde ve sertleşmiş halde deneyler uygulanmıştır. Taze halde; taze birim hacim ağırlık ve yayılma deneyi uygulanırken sertleşmiş halde; basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve kılcal su emme deneyleri uygulanmıştır. Çalışma sonucu elde edilen pirina külü katkılı harçların mühendislik özellikleri, endüstriyel bir atık olan uçucu kül katkılı harç numuneleri ile kıyaslanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** çimento, harç, pirina külü, uçucu kül

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0632-YL-20 proje numarası ile desteklenmiştir.

## **SUMMARY**

**M. Sc. Thesis**

**Investigation of Engineering Properties of Pomace Ash Additive Mortars**

**Şaban SELÇUK**

**Burdur Mehmet Akif Ersoy University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi H. Hakan İNCE**

**June, 2021**

Tons of waste is generated every day in all areas of industry and in our daily life around the world. Waste is a big problem because of the damage it causes to the environment and human health. Efforts are being made to prevent the formation of wastes primarily for this problem. There are also recycling studies for wastes that cannot be prevented. Wastes arising in many areas are used in various sectors and recycled. There are also studies in the construction sector for the recycling of various wastes. These studies partially bring solutions to eliminate the waste problem.

This study was made for the recycling of agricultural waste, rice. In the study, olive ash remaining from pomace used as fuel was used. The engineering properties of pomace ash-added mortars were produced. Mortar samples were produced by substituting %5, %10, %12, %15, %20 ve %25 pomace ash instead of cement. Tests were applied to the mortar samples in fresh and hardened state. While fresh unit weight and spreading tests were applied in fresh state, pressure, bending, capillary water absorption tests were applied in the hardened state. The engineering properties of the olive pomace ash added mortars obtained as a result of the study were compared with the fly ash added mortar samples, which is an industrial waste.

**Keywords:** cement, mortar, pomace ash, fly ash

The present M.Sc. Thesis was supported Mehmet Akif Ersoy University Scientific Research Projects Coordinator Under the Project number of 0632-YL-20

# 1. GİRİŞ

Günümüzde hızlı nüfus artışı ile enerji tüketimleri de artmıştır. Artan enerji ihtiyacını karşılamak için sanayi ve teknoloji kendini geliştirmek zorunda kalmıştır. Bu gelişim ile çevresel sorunlar ortaya çıkmıştır. Bu çevresel sorunlar canlılar üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Bu olumsuz etkiler ekolojik sistemin dengesini bozarak çevrenin kendisini yenilemesine ve özümlemesine fırsat vermemektedir. Çevresel sorunların en önemlisi atık maddelerdir (Kızılcam, 2020). Atık maddeler herhangi bir üretim veya tüketim sonucu ortaya çıkan ve yararlanıcısı tarafından istenmeyen katı, sıvı veya gaz halinde bulunabilen maddeler olarak tanımlanabilir. Başka bir tanımla atık maddeler, marjinal faydası olmayan ve elden çıkarılmak istenen maddelerdir (Bilgili, 2020). Atık maddeler genel olarak katı, sıvı ve gaz olarak sınıflandırılrsa da üretimlerine, tüketimlerine, fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre de sınıflandırmaları mevcuttur (Gündüzalp ve Güven, 2016).

Teknolojinin ilerlemesi ile atık maddelerin de miktarı ve türü artmaktadır. Bu artışın sonucunda çevre sorunu ve depolama maliyet sorunları ortaya çıkmaktadır. Bunun için atıkların çoğu zaman türüne bakılmaksızın ortadan kaldırılması hedeflenmiştir. Atık Yönetiminde ilk aşama atığın oluşmasının önlenmesidir. Eğer bu sağlanamıyorsa atığın en aza indirilmesi amaçlanır. Daha sonra atığın yeniden kullanımı eğer bu da mümkün olmuyorsa önce geri dönüşüm ve sonra enerji geri kazanımı amaçlanır. Bu uygulanan yöntemlerden sonra elimizde kalan atığa ya da bu yöntemleri uygulayamadığımız atığa yapılacak en son işlem bertaraf (düzenli depolama, yakma gibi) (Gündüzalp ve Güven, 2016).

Atıklar bertaraf edilirken atıkların oluştuğu sektörde kullanılamıyorsa başka sektörlerde kullanımı araştırılmakta ve bununla ilgili çalışmalar yapılmaktadır. İnşaat sektöründe birçok atık kullanılarak hem atıkların zararlı etkisi azaltılmış olmaktadır, hem de kullanılan alanda maliyeti düşürerek veya istenilen koşulları (dayanım, yalıtım, hammadde v.b.) sağlayarak fayda sağlamaktadır. İnşaat sektöründe, endüstriyel atıklar, tarımsal atıklar, hayvansal atıklar, inşaat atıkları ve daha birçok atık kullanılmaktadır. Atık maddeler canlı sağlığına zarar verirken depolama alanlarını işgal etmektedir. Bu sorunun da en ekonomik yönden çözülmesi araştırmacılar için ilke edinilmiştir. Atıklar ilk başlarda insan sağlığını korumak için yaşam alanlarından uzaklaştırarak imha edilmiştir. Ancak zamanla bu yöntemin başka sorunlar ortaya çıkardığı tespit edilmiş ve daha sağlıklı çözüm yolları

aranmıştır. Bu sayede atıkların bir kaynak olarak ele alınması ve geri dönüşümü için köklü yenilikler yapılmıştır (Bilgili, 2020). Birçok atık geri dönüştürülmek için çalışmalara tabi tutulmaktadır.

İnşaat sektörü bütün insanlık için vazgeçilmez bir alandır ve bu alanda birçok atığın geri dönüşümü ile ilgili çalışmalar yapılmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Literatürde odun, kenevir, pirinç, hindistan cevizi, keten, palmye fıstığı, hurma, vb. gibi tarım sektöründen gelen atıkların inşaat mühendisliği alanında geri dönüştürülebilmesi ile ilgili yapılan çalışmalar mevcuttur. Ayrıca endüstriyel atıklardan olan uçucu kül, silis dumanı, yüksek fırın cürufu ile yapılan çalışmalar da mevcuttur. Bütün bu çalışmalar atık olarak ortaya çıkan ürünlerin aslında bir şekilde başka alanlarda kullanılabilceği gerçeğini ortaya koymaktadır.

Atıkların başka alanlarda kullanılırken, kullanıldıkları alanlara da katkı sağlaması beklenmektedir. Bu beklenti doğrultusunda atıkların en fazla katkı sağlayacağı alan, yapılan çalışmalar ile belirlenerek tespit edilmektedir. Atıkların inşaat sektöründe kullanılabilirliği için yapılan çalışmalarda gerek maliyet azaltması gerekse daha etkili malzeme üretimi için katkı sağlaması beklenmektedir.

İnşaat sektöründe kullanılan çimentonun üretimi sırasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> istenmeyen bir durumdur. Bunun için çimento yerine başka malzemelerin kullanımı ile istenmeyen CO<sub>2</sub> miktarının azalması beklenmektedir. Atmosfere salınan CO<sub>2</sub> ve sera gazı yerkürenin sıcaklığını artıran etmenlerin başında gelmektedir. Bu nedenle çevrenin ve atmosferin korunması tüm üretim tesisleri için zorunlu olmuştur. Çimento üretimi sırasında ortaya çıkan CO<sub>2</sub> miktarı atmosfere salınan CO<sub>2</sub> miktarının %5-7'sine denk gelmektedir. Bu nedenle çimento üretimi atmosfere en çok CO<sub>2</sub> veren üretim tesisleri arasında yer almaktadır (Yegin, 2020).

Bu çalışmanın amacı; tarımsal atık olan pirinanın yakıt olarak kullanıldıktan sonra açığa çıkan külünün çimento ile farklı oranlarda ikame edilmesiyle üretilen harçların mühendislik özelliklerinin belirlenmesi ve pirina külü katkılı harçlarla yine bir endüstriyel atık olan uçucu kül katkılı harçların karşılaştırılmasıdır. Böylece pirina külünün çimentoyla yer değiştirilerek beton sektöründe kullanılması ile çimento kullanımının azaltılması dolayısıyla çevreye ve ekonomiye katkı sağlanması hedeflenmiştir.

## 2. GENEL BİLGİLER

### 2.1. Zeytin Üretimi

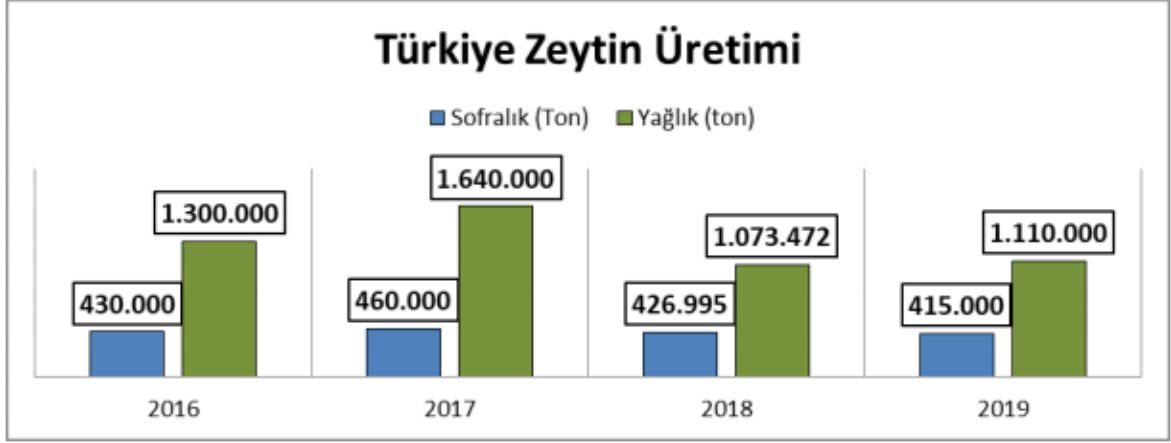
Dünyadaki zeytin üretiminin yaklaşık olarak %97'sini Akdeniz havzası ülkeleri yapmaktadır. Bu ülkelerin başında İspanya, Yunanistan, Tunus, Portekiz, İtalya, Türkiye ve Fas gelmektedir (Bozdoğan, 2002). Türkiye son yıllarda dünyada artan zeytinyağı üretiminde büyük bir ivme yakalamıştır. 2016-2017 sezonunda Türkiye, zeytinyağı üretiminde en çok üretim artışı gösteren ülkedir. Türkiye; iklimsel koşulları, coğrafi konumu ve arazi yapısı ile zeytin üretiminde oldukça elverişli olacak tarımsal alanlara sahiptir. Dünyada tüketilen zeytinyağı miktarı 20 senede 2 katına çıkmıştır. Türkiye, zeytin ağacı sayısını 90 milyondan 177 milyona çıkararak 2020 yılından itibaren 650 bin ton zeytinyağı üretimiyle dünya ikinciliğini hedeflemektedir. 1 milyon 200 bin ton sofralık zeytin üretimiyle de dünya sıralamasında birinciliği hedeflemektedir (Başyigit vd., 2011). Şekil 2.1'de ülkemizdeki zeytin ağacı sayısının yıllara göre değişimi görülmektedir.



Şekil 2.1. Türkiye zeytin ağacı sayısı (Öztimur, 2020)

Şekil 2.1'de görüldüğü üzere zeytin ağacı sayısı her geçen yıl artmaktadır. Artan zeytin ağacı sayısı ile hedeflenen en çok zeytin üretimi yapan ülke olma yolunda ilerlenmektedir. Zeytin üretiminde, üretime bağlı olarak bir yıl düşük ( yok yılı ) bir yıl yüksek (var yılı) ürün alınmaktadır. Ancak iklim koşullarının düzelmesi, yeni ağaç dikimleri ve üreticinin bilinçlendirilmesi ile zeytin üretimi artmaktadır. Geçmiş dönemlerde yapılan üretim hatalarının giderilmesi uygun bakım yapılarak hasata önem verilmesi gibi sebepler var yılı yok yılı arasındaki verim farkını giderek azaltmaktadır. Bununla beraber teknolojik gelişmeler ve zeytin sıkma tesislerinin modernleşmesi ile de zeytin yağı üretimi artmaktadır

(Öztimur, 2020). Zeytinyağı üretimine bağlı olarak da atık madde olan pirinada artış görülmektedir. Şekil 2.2’de ülkemizdeki zeytin üretiminin sofralık ve zeytinyağı için ayrılan miktarları görülmektedir.



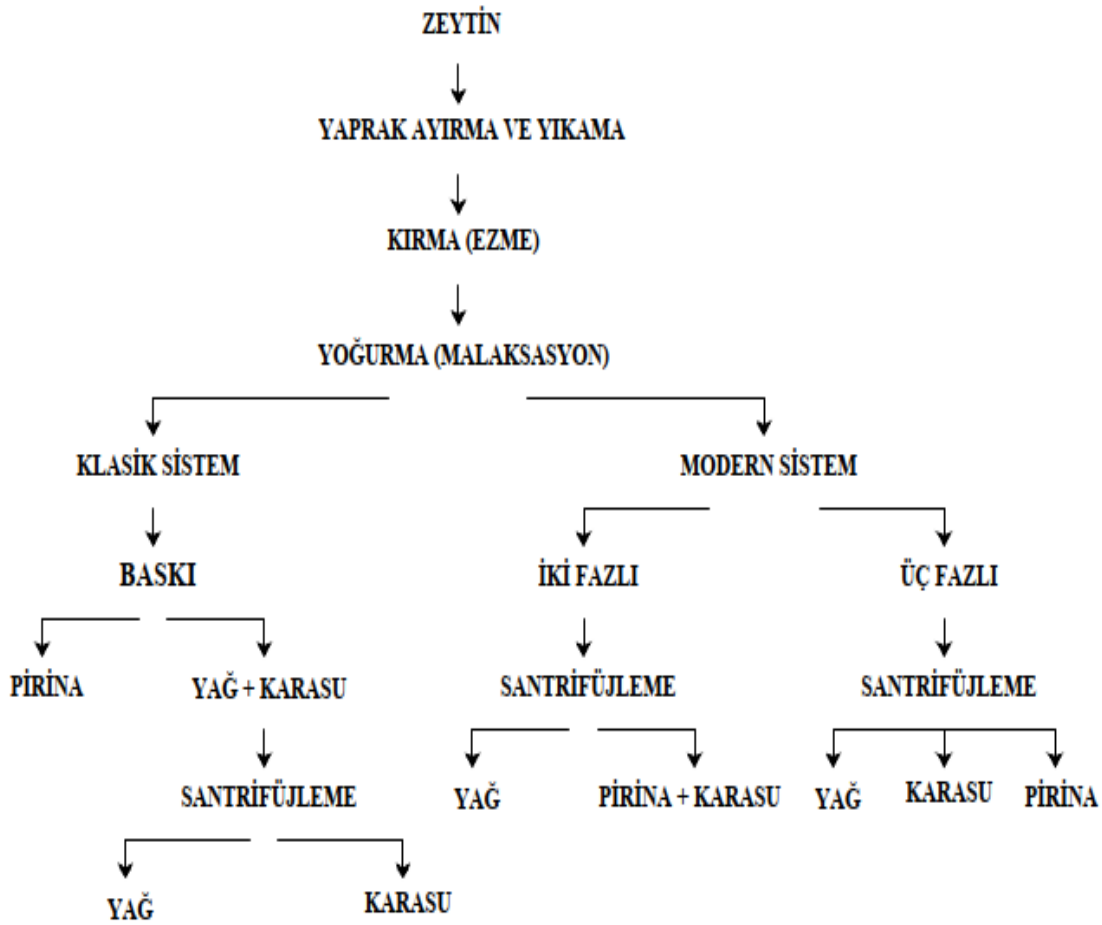
Şekil 2.2. Türkiye zeytin üretimi (Öztimur, 2020)

Zeytin üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bu bileşenler kabuk, etli kısım ve çekirdektir. İçeriğinde %40-60 oranda su, %10-30 oranda yağ bulunmaktadır. Kuru ağırlığının %30’u katı maddeden oluşturmaktadır. Katı madde %12-25 oranında çekirdek, %1-3 oranında tohum, %8-10 kabuk ve posa, %3 şeker, %2 protein ve %2 oranında diğer bileşikler olarak dağılmaktadır (Hocaoğlu vd., 2015). Bu bileşenlerin kimyasal içeriği Tablo 2.1’de görülmektedir.

Tablo 2.1. Zeytindeki katı madde içeriği (Kılıç, 2011)

Bileşenler	Etli kısım (%)	Çekirdek (%)	Tohum (%)
Su	50-60	9,3	30
Yağ	15-30	0,7	27,3
Azotlu Bileşikler	2-3	3,4	10,2
Şeker	3-7,5	41	26,6
Selüloz	3-6	38	1,9
Mineraller	1-2	4,1	1,5
Polifenoller	2,25-3	0,1	0,5-1
Diğer Bileşenler	-	3,4	2,4

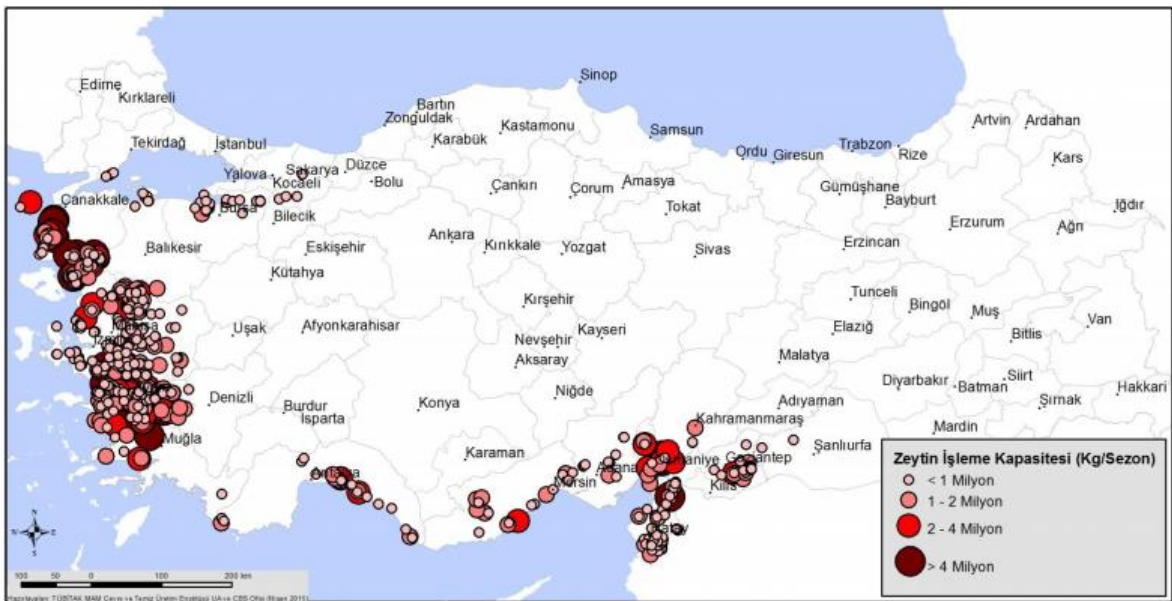
Zeytinyağı üretimi dört aşamadan oluşur. Bu aşamalar; zeytinin temizlenmesi, hamur hale getirilmesi, katı ve sıvı fazların ayrılması ve zeytinyağındaki kalıntıların giderilmesidir. Bu işlemleri kısaca sırayla yazacak olursak; yaprak ayırma, yıkama – kırma, yoğurma – dekantasyon – seperasyon. Zeytinyağı üretimi sırasında katı ve sıvı olmak üzere iki tip atık oluşmaktadır. Sıvı atıklar, karasuyu ve yıkama suyu olarak ayrılır. Karasuyun içeriği; zeytinin özelliklerine, yetiştirme koşullarına, toprağın cinsine, zeytinyağı elde etme yöntemine v.b koşullara göre farklılık göstermektedir (Hocaoğlu vd., 2015). Zeytinyağı üretimi sırasında ortaya çıkan karasuyun kirletici özelliği çok yüksektir. Karasuyun miktarı ve özellikleri zeytin çeşidine, hasat sezonuna, üretim yerine, ürünün o yıl var veya yok olmasına, ürün alınan ağacın yaşına ve ekstraksiyon metotlarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Hocaoğlu vd., 2015). Şekil 2.3'te zeytinyağı genel üretim aşaması görülmektedir.



Şekil 2.3. Zeytinyağı genel üretim şeması (Hepsağ ve Kaya, 2018)

Zeytinyağı üretiminde kullanılan en yaygın yöntem pres yöntemidir. Bu yöntemde, zeytinler bir çuvala doldurulur ve çuval preslenerek zeytinyağının çıkması beklenir. Çıkan zeytinyağı çuvaldan sızarak bir yerde toplanır. Bu yöntemde zeytinyağı en doğal halde elde edilir. Ayrıca uygun üretim koşulları sağlandığında vitamin içeriği yüksek, doğal kokulu ve yoğun aromalı olmaktadır. Bunlar pres yönteminin avantajları arasında yer alırken zeytinyağının hava ile temas halinde olması ve zeytinlerin biriktirilip çuvallanması işlemlerinde hijyen koşullarına uyma zorluğu pres yönteminin dezavantajları arasında yer almaktadır (Hepsağ ve Kaya, 2018).

Teknolojinin artması ile üç fazlı ve iki fazlı sistemler kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler uzun ömürlü zeytinyağı elde etmek için geliştirilmiştir. Bu sistemler sayesinde hava ile temas en aza indirilerek oksidasyon olasılığı azaltılmış, verim artırılmış ve iş akışı kolaylaştırılmıştır. Geleneksel pres yönteminden farklı olarak sıralı sistemlerde, dekantör olarak adlandırılan santrifüj sistemi bulunmaktadır. Bu sistemde yıkanan ve kırılan zeytin hamuruna su eklenerek yoğunluk farkına dayalı bir ayırma yapılır. Bu işlem sonucunda zeytinyağı, karasu (zeytinin kendi suyu ve katılan su) ve kuru pirina (zeytin küspesi) meydana çıkar. Çıkan bu üç farklı maddeden dolayı üç fazlı sıralı sistem denir. Su eklenmeyen ve sadece zeytinyağı ve yağ pirina çıkan sistemlere de iki fazlı sıralı sistemler denir. Burada da yoğunluk farkından dolayı bir ayırma olur. Şekil 2.4'te ülkemizdeki zeytinyağı işletmelerini dağılımı görülmektedir.



Şekil 2.4. Ülkemizdeki zeytinyağı işletmelerinin dağılımı (Hocaoğlu vd., 2015)

## 2.2. Pirina

Zeytinden yağı alındıktan sonra kalan posa, kabuk ve çekirdekten meydana gelen atık maddeye pirina denmektedir. Pirina %8 ile %15 arasında yağ, %5 ile %10 arasında protein, %80 oranında kuru madde, %3 ile %5 arasında kül %35 ile %50 arasında selüloz içeriğine sahiptir. Dünyanın dördüncü büyük zeytin üreticisi Türkiye'dir. Elde edilen zeytinin zeytinyağı üretiminde %75 oranında kullanıldığı bilinmektedir (Al-Akhras vd., 2009; Filya vd., 2006). Zeytinden elde edilecek zeytinyağı ve pirina miktarı yağ işleme yöntemine, zeytin çeşidine ve yetiştirme tekniğine göre farklılık göstermektedir. Ancak ortalama 100 kg zeytinden 20-25 kg zeytinyağı ve 40-45 kg pirina elde edilmektedir. Pirinanın nem ve yağ içeriği de üretim yöntemine göre farklılık göstermektedir (Karaca 2015). Pirinanın genel özellikleri aşağıdaki Tablo 2.2'de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** Pirinanın genel özellikleri (Kılıç, 2011)

Parametreler	Demirbaş 1997	Masghouni ve Hassairi 2000	Zanzi ve ark. 2001
C (%)	50	44,3	49,5
H (%)	6,2	5,82	6,3
N (%)	1-6	0	0,5
O (%)	42,2	49,85	43,7
Kül (%)	3-6	3,9	2,8
Nem (%)	19	21,5	10,6
Isıl Değer (kcal/kg)	-	4916	-

Pirina yaşken işleme protezlerine bağlı olarak yaklaşık %4-5 arasında yağ, %25-60 arasında nem içermektedir. İki ve üç fazlı sistemlerde üretilen pirina, presli sistemlerde üretilen pirinadan daha az yağ ve daha çok su içermektedir. Yüksek su içeriğine sahip olduklarından, kurutma zor olmakta ve daha çok enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. İki ve üç fazlı sistemlerde birim maliyet yüksektir bu yüzden genel olarak presli sistemlerden elde edilen pirina tercih edilmektedir. Ayrıca pirina yağı işletmelerinde de daha az nem ve daha çok yağ içermesinden dolayı presli sistemlerinden elde edilen pirina kullanılmaktadır (Göğüş vd., 2009). Farklı zeytinyağı işleme sistemlerinden elde edilen pirinanın özellikleri aşağıdaki tablo 2.3'te gösterilmiştir.

**Tablo 2.3.** Farklı zeytinyağı işleme sistemlerinden elde edilen pirinanın özellikleri (Kılıç, 2011)

Özellik	Presli Sistem	Üç Fazlı Sistem	İki Fazlı Sistem
Nem (%)	27,2	50,23	56,8
Yağ (%)	8,72	3,89	4,65
Protein (%)	4,77	3,43	2,87
Şeker (%)	1,38	0,99	0,83
Selüloz (%)	24,1	17,37	14,54
Kül (%)	2,36	1,7	1,42

Pirinadan elde edilen ürünlerden en önemlisi pirina yağıdır. Bu yağ, yemeklik pirina yağı olarak işlenebilmektedir ayrıca sabun ve kozmetik endüstrisinde de kullanılmaktadır. Yağı alınan pirina kükürt içermemektedir. Kükürt içermeyen ve düşük kül yüzdesine sahip olan pirina, yenilenebilir enerji olarak dikkat çekmektedir ve birçok ülkede kullanılmaktadır. Ülkemizde Çevre ve Şehircilik bakanlığı alternatif bir enerji kaynağı olarak pirinanın yakıt olarak kullanılabileceğini vurgulamıştır. Bu sayede pirina evsel ısınma ve sanayide yakıt olarak kullanılmaktadır. Zeytinyağı fabrikalarında veya pirina yağı rafinelerinde pirinanın yakıt olarak kullanılması ekonomik açıdan büyük öneme sahiptir. Bunun yanı sıra pirina; merkezi kalorifer sistemlerinde, sanayi kuruluşlarında buhar üretiminde, kızgın yağların ısıtılmasında, kireç ocaklarında, sıcak su ve buhar üretiminde ve bazı yörelerde evde ısınma olarak kullanılmaktadır. Enerji üretimi için alternatif bir yakıt olan pirina, atıkların değerlendirilmesi bağlamında önemli bir çözüm sağlamaktadır. Tablo 2.4'te yakıt olarak kullanılacak pirinanın özellikleri Şekil 2.5'te ise pirina yığını gösterilmiştir.

**Tablo 2.4.** Yakıt olarak kullanılacak pirinanın özellikleri (Akın, 2005)

Parametre	Değer
Nem (%)	20
Kül (%)	2,97
Yağ (%)	2,5
Karbon (%)	45,3
Oksijen (%)	27,6
Hidrojen (%)	5,9
Azot (%)	1,85
Toplam kükürt (%)	0,15
Alt ısı değeri ( kcal/kg)	4480
Üst ısı değeri (kcal/kg)	4847



**Şekil 2.5.** Pirina yığını (URL-1, 2021)

Eski Roma zamanında yabancı otların büyümesine engel olan pirinanın, günümüzde birçok kullanım alanı mevcuttur. Genel olarak yakıt olarak kullanılsa da hayvan yemi ve gübre olarak da kullanılmaktadır. Hatta yol yapımında bitümlle karıştırılarak katkı malzemesi olarak da kullanıldığı bilinmektedir. Toksik madde içermediği ve yüksek miktarda organik madde bulundurmasından dolayı bahçe bitkileri yetiştirmede ve toprağı güçlendirmede de kullanılır. Ancak enerji içeriğinin yüksek olmasından dolayı en yaygın yakıt olarak kullanılmaktadır. (Görel vd. 2003; Akın 2005). Pirina elde edildikten sonra içerisindeki nem miktarından dolayı direk yakıt olarak kullanılamaz öncelikle pirinanın kurutulması gerekir. Kurutma işlemi direk güneş ışında kurutma olabildiği gibi pirina kurutma ünitesinde de kurutulmaktadır. Şekil 2.6’da fırınlarda yakılmak için paketlenmiş ve kurumaya bırakılmış pirina, Şekil 2.7’de ise pirina kurutma ünitesi ise gösterilmektedir.



**Şekil 2.6.** Fırında yakılmak için kurumaya bırakılan pirina (Görel 2003)



**Şekil 2.7.** Pirina kurutma ünitesi (URL-2, 2021)

### **2.3. Uçucu Kül**

Uçucu Küller, termik santrallerde kömürün yakılması ile elektrik enerjisi elde edilirken açığa çıkan bir yan üründür. Bu işlem sırasında genellikle düşük kalorili endüstride kullanılmayan kömürler kullanılır. Kömürün termik santral fırınında çok ince öğütülerek yakılması sırasında açığa çıkan uçucu küller, bacanın üst kısmında mekanik yöntemlerle veya toz tutucularla tutularak depolanır (Tangüler vd., 2015). Kömür dünyadaki birincil enerjinin %30'unu oluşturmaktadır ve elektrik üretimindeki payın 2040'a kadar %34'e yükselmesi beklenmektedir. Türkiye'deki elektrik üretimindeki payı ise 2018 yılında %37 olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu payın yüksek olması geniş linyit kömürü yataklarının bulunmasından kaynaklanmaktadır (Akın vd., 2020).

Dünya’da ortaya çıkan uçucu kül miktarı yılda 900 milyon ton civarındadır (Kaya, 2016). Dünyada uçucu kül üretimi ve kullanım oranları Tablo 2.5’te görülmektedir.

**Tablo 2.5.** Dünyada uçucu kül üretimi ve kullanım oranları (Kaya, 2016)

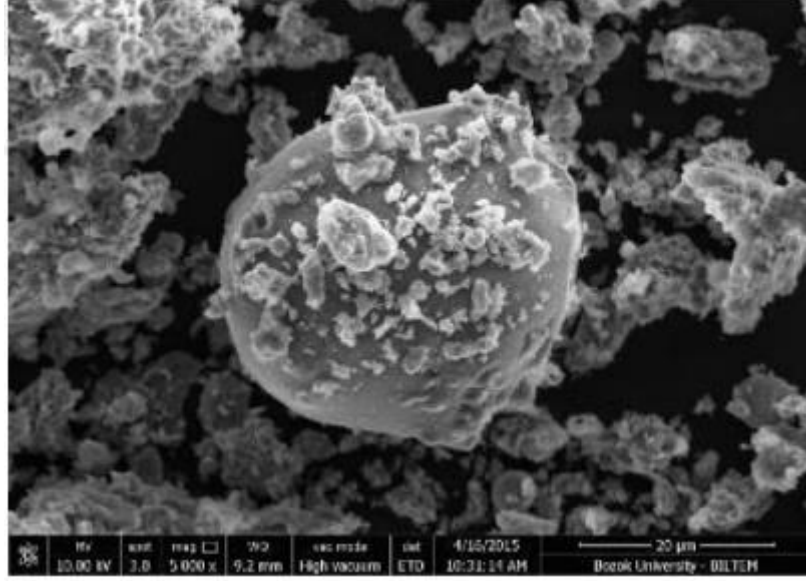
Ülke	Kül Üretimi (Milyon ton)	Kül Kullanımı (Milyon ton)	Kullanım Oranı(%)
Avustralya	13,10	6,00	45,8
Kanada	6,8	2,30	33,8
Çin	395,0	265,00	67,1
Avrupa birliği	52,6	47,80	90,9
Hindistan	105,0	14,50	13,8
Japonya	11,1	10,70	96,4
Ortadoğu/Afrika	32,2	3,40	10,6
Amerika	118,0	49,70	42,1
Asya	16,7	11,10	66,5
Türkiye	24,0	2,40	10
Rusya	26,6	5,00	18,8
Toplam	800,1	417,90	52,2

Birçok ülkede uçucu kül sınıflandırması için herhangi bir standart yoktur. ASTM C 618’e göre uçucu küller, uçucu külün kimyasal bileşenlerine bağlı olarak iki grupta sınıflandırılmaktadır. Tablo 2.6’da uçucu kül ve diğer puzolanların sınıflandırılması görülmektedir.

**Tablo 2.6.** Uçucu kül ve diğer puzolanların ASTM C 618’e göre sınıflandırılması (Sevim vd., 2021)

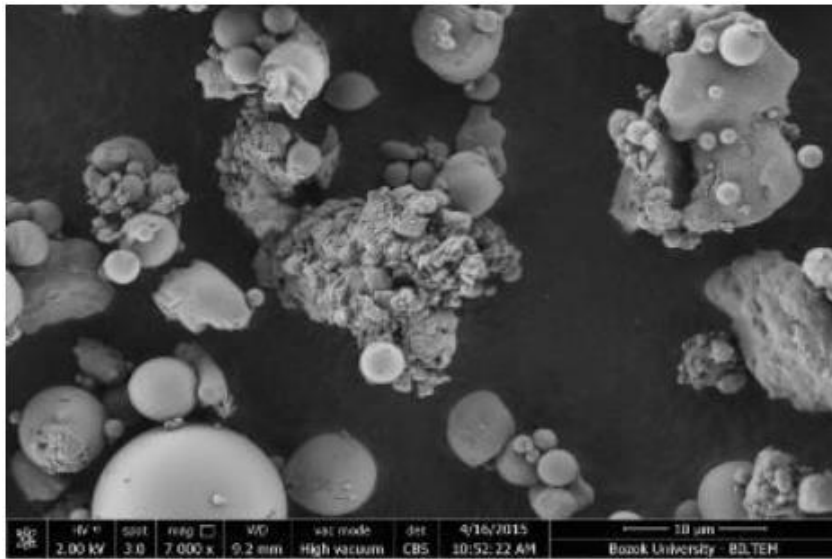
Sınıf	
<b>F</b>	$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq \%70$
<b>C</b>	$SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 \geq \%50$
<b>N</b>	Doğal Pozzolanlar

F sınıfı uçucu külleri %10 dan az CaO içeriğine sahip olduğu için düşük kireçli uçucu kül olarak da sınıflandırılır. C sınıfı uçucu küller ise %10’dan fazla CaO içeriğine sahip olduğundan dolayı yüksek kireçli uçucu kül olarak adlandırılır (Türker vd., 2009). Düşük kireçli küller genellikle şekil dağılımı açısından homojen olup mikro yapıya sahiptir. Çoğunlukla içi boşluksuz tam küresel tanecikler bulunmaktadır. Camsı faza karşılık gelen bir görüntüsü mevcuttur (Kaya, 2016). Düşük kireçli F sınıfı Uçucu külün taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüleri Şekil 2.8’de verilmiştir.



**Şekil 2.8.** Düşük dirençli F sınıfı uçucu kül taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü (Kaya, 2016)

Homojen olmayan şekil dağılımına sahip yüksek dirençli küllerde mikro yapı içinde hem küresel hem de köşeli, düzensiz şekilli tanecikler bir arada bulunur. Küresel taneciklerin yüzeyleri de düşük dirençli küller kadar düzgün değildir. Taze betonun su ihtiyacı ve işlenebilirlik gibi özelliklerine, taneciklerin şekli ve büyüklük dağılımları etki eder. Şekil 2.9’da yüksek dirençli C sınıfı uçucu külün taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü verilmiştir (Kaya, 2016).



**Şekil 2.9.** Yüksek dirençli C sınıfı uçucu külün taramalı elektron mikroskobu (SEM) görüntüsü (Kaya, 2016)

Uçucu küllerin kimyasal yapıları kullanılan kömürün özelliklerine göre değişiklik gösterebilir. Ayrıca kömürün hazırlanma, yanma ve toz toplama gibi proses koşullarına bağlı olarak da değişim gösterebilmektedir. Ana elementleri Si, Ca, Al, S ve Fe olan uçucu küller yanma biçimine bağlı olarak oluşan başlıca bileşenler  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ve  $\text{CaO}$  olup  $\text{SO}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{TiO}_2$  ve benzeri alkali oksitler de oluşabilir. Uçucu külün kireçsi veya silisli yapıda olmasına bağlı olarak  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$  gibi temel oksit miktarları geniş aralıkta değişmektedir (Özcan, 2020). Tablo 2.7’de F ve C sınıfındaki uçucu küllerin kimyasal bileşen yüzdelerinin hangi sınırlar civarında olabileceği görülmektedir.

**Tablo 2.7.** F ve C sınıfı Uçucu kül kimyasal bileşenlerinin yüzdelerinin aralıkları (Özcan, 2020)

Oksit	F Sınıfı Uçucu Kül (%)	C Sınıfı Uçucu Kül (%)
$\text{SiO}_2$	43,6 - 64,4	23,1 - 50,5
$\text{Al}_2\text{O}_3$	19,6 - 30,1	13,3 - 21,8
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	3,8 - 23,9	3,7 - 22,5
$\text{CaO}$	0,7 - 6,7	11,5 - 29,0
$\text{MgO}$	0,9 - 1,7	1,5 - 7,5
$\text{Na}_2\text{O}$	0,0 - 2,8	0,4 - 1,9
KK	0,4 - 7,2	0,3 - 1,9

TS EN 197-1’e göre ise uçucu küller silisli (V) ve kalkersi (W) olarak sınıflandırılmaktadır (TSE, 2012a). V sınıfı uçucu küller, küresel taneciklerden meydana gelen ince bir toz olup puzolanik özellik gösterirler.

V sınıfı uçucu kül bileşenleri esas olarak reaktif silisyum dioksit ( $\text{SiO}_2$ ) ve alüminyum oksitten ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) oluşur, geri kalanı ise demir oksit ve diğer bileşenlerdir. Bu küllerde reaktif kireç ( $\text{CaO}$ ) oranının %10’dan az, reaktif silis miktarının %25’ten fazla olması gerekmektedir. W sınıfı küller ise esas olarak reaktif kireç ( $\text{CaO}$ ), reaktif  $\text{SiO}_2$  ve  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ’ten oluşan geri kalanı ise demir oksit ve diğer bileşenlerden meydana gelen hidrolik veya puzolanik özellikleri olan ince toz halli küllerdir (Türker vd., 2009).

Uçucu kül; reaktif kireçler, alüminatlar ve kalsiyum silikatlardan oluşan bir malzemedir. Uçucu kül çimento esaslı kompozitlerde kullanıldığında, su varlığında kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer ve ekstra kalsiyum silikat hidrat ve kalsiyum alüminatların oluşumuna katkıda bulunur. Çimento esaslı kompozitlerdeki ilavenin inceliği, kimyasal bileşimi, aktivitesi ve miktarı önemlidir. Özellikle uçucu külün kimyasal

yapısındaki  $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$  miktarı, kullanılan kompozitin kalitesini etkileyen en önemli parametrelerden biridir. Bu miktar, külün aktivitesini belirler. Hidrasyona katılan puzolan, kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girer ve kompozitin mukavemet ve dayanıklılık özelliklerini önemli ölçüde artırır (Sevim vd., 2021).

Termik santraller, Türkiye'nin toplam elektrik enerji ihtiyacının %25'inden fazlasını karşılamaktadır. Termik santrallerde her yıl milyon ton kömür yakılmakta ve yakılma sonucunda büyük miktarlarda uçucu kül ve diğer yan ürünler ortaya çıkmaktadır. Geçmişten günümüze kadar yaklaşık 100 milyar ton kül oluşmuştur. Bu oluşan küller enerji santrali havuzlarını ve çöplüklerini doldurmuştur. Termik santrallerde yakılan Türk kömürleri düşük ısı değere sahiptir. Bunun nedeni yanmaz inorganik bileşen ve nem içermesidir (Yılmaz, 2015).

Türkiye'de elektrik enerjisi üretmek için kömür yakan termik santrallerin büyük önemi vardır. Türkiye'nin hemen her bölgesinde termik santral vardır. Aşağıdaki Tablo 2.8'de Türkiye'deki bazı termik santrallerin özellikleri görülmektedir.

**Tablo 2.8.** Türkiye’deki bazı termik santrallerin özellikleri (Özcan, 2020)

Termik Santral	Bulunduğu İl	Yakıt Tipi	Toplam Güç (MW)	Kül Üretimi (Ton)	ASTM C 618		TS EN 197-1	
					F	C	V	W
Eren (ZETES)	Zonguldak	İthal Kömür	2.790	350.000	X		X	
Afşin-Elbistan B	K. Maraş	Linyit	1.440	4.300.000		X		X
Afşin-Elbistan A	K. Maraş	Linyit	1.355	1.700.000		X		X
İsken Sugözü	Adana	İthal Kömür	1.320	340.000	X		X	
Soma A	Manisa	Linyit	44	4.400.000		X		X
Soma B	Manisa	Linyit	990			X		X
Kemerköy	Muğla	Linyit	630	2.200.000		X		X
Yatağan	Muğla	Linyit	630	2.200.000		X		X
Çayırhan	Ankara	Linyit	620	1.450.000	X		X	
Seyitömer	Kütahya	Linyit	600	1.000.000	X		X	
Kangal	Sivas	Linyit	457	1.600.000		X		X
Yeniköy	Muğla	Linyit	420	1.600.000		X		X
Tunçbilek A	Kütahya	Linyit	65	500.000	X		X	
Tunçbilek B	Kütahya	Linyit	300		X		X	
18 Mart Çan	Çanakkale	Linyit	320	730.000		X		X
Çatalağzı	Zonguldak	Linyit	300	600.000	X		X	
Orhaneli	Bursa	Linyit	210	350.000	X		X	
Çolakoğlu	Kocaeli	Linyit	190	400.000	X		X	

Bu santrallerde genellikle linyit kömürü yakılmaktadır. Yakım sırasında %16 ile %50 arasında uçucu kül oluşmaktadır. Oluşan bu uçucu küllerin yaklaşık %25’i inşaat, tarım ve kimya gibi sektörlerde kullanılmaktadır. Geri kalan %75’nin ise atık olarak atıldığı bilinmektedir (Özcan, 2020). Uçucu küllerin büyük bir kısmı yığınlarda toplanır veya termik santrallerin yakınındaki araziye dökülür. Şekil 2.10’da Soma termik santralinin bertaraf sahası görülmektedir.



**Şekil 2.10.** Soma termik santral kül bertaraf sahası (Baba ve Kaya, 2004)

Emisyon kontrol sistemleri çok yüksek verimlilik oranlarına sahip olmasına rağmen termik santrallerin yüksek kömür tüketim oranları nedeniyle çevre ortamlara önemli miktarda uçucu kül salınabilir. Kömürün kül içeriği yüksekse emisyonlar daha da artar. Dünya çapında yan ürün üretimi yaklaşık 700 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir ve bunun %70'i uçucu küldür. Dünya genelinde düşük maliyetlerde büyük miktarda uçucu kül mevcuttur. Uçucu külün betonda kullanımı çimento tüketimini azaltmak için en iyi çözümü sunuyor gibi gözükmemektedir (Ondova vd., 2012). İnşaat sektörü uçucu küllerin geri dönüştürülmesinde büyük paya sahiptir. Uçucu küller; beton, katkılı çimento, tuğla ve gaz beton üretiminde ve zemin stabilizasyonu gibi kullanım alanları ile kendine inşaat sektöründe yer bulmaktadır (Tangüler vd., 2014).

#### **2.4 Yapılan Çalışmalar**

Al-Akhras vd. (2009) yaptıkları çalışmada zeytin atık külünün, 400°C ile 600°C arasında yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun performansına etkisini incelemişlerdir. Bu çalışmayı yaparken kullanılan zeytin atığı külünü, yaklaşık 800°C de 8 saat boyunca yakarak ve 3 saat boyunca öğütürerek elde etmişlerdir. Zeytin atık külünü, belirli yüzdelerde kullanarak karışımlar oluşturulmuştur. Bu karışımları oluştururlarken %0, %7, %15 ve %22 oranlarında zeytin atık külü, agrega tipi olarak bazalt ve volkanik tüf, su/çimento olarak 0,5 ve 0,7 oranları, çimento olarak da normal Portland çimentosunu kullanmışlardır. Hazırlanan numuneleri 90 günlük kürlenme süresinden sonra laboratuvar ortamında bir hafta beklettikten sonra bir elektrik fırın kullanarak 400° -600° C farklı yüksek sıcaklıklarda ısıl işleme tutmuşlardır. Zeytin atık külü bulunan betonun şahit beton numunesinden daha fazla

performans gösterdiğini saptamışlardır. Hatta zeytin atık külü içeriğinin %7'den %22'ye artırılmasıyla yüksek sıcaklığa maruz kalan betonun performansının da arttığı sonucuna varmışlardır. Artık basınç dayanımı da zeytin atık külü içeriğinin artması ile %52'den %71'e yükseldiği sonucunu bulmuşlardır. Sonuç olarak zeytin atık külünün, betona eklenmesiyle betonun yüksek sıcaklıklara karşı performansının arttığını ve daha az hasar ve çatlamlar oluştuğunu vurgulamışlardır.

Altinköprü (2010) yaptığı çalışmada pirinayı çimento klinkerine önce tek başına ekleyerek daha sonra da kimyasal katkılarla birlikte ekleyerek betonun özelliklerine bakmıştır. Tek başına eklenen pirina, priz sürelerini olumlu yönde etkilerken basınç dayanımını ise istenen standartlarda oluşmasını sağlayamamıştır. Pirinanın kimyasal katkılarla birlikte eklenmesinde ise hem ekonomik hem de çevresel açıdan büyük faydalar sağlayacağı sonucuna varmıştır.

Başığit vd. (2011) yaptıkları çalışmada ise zeytinyağı posasının farklı oranlarda agrega ile karıştırılarak elde edilen hafif betonların mekanik ve fiziksel özelliklerine bakmışlardır. Yaptıkları çalışmanın sonucunda ise üretilen pirinalı hafif betonların, taşıyıcı olmayan yalıtım ve dolgu betonlarında kullanılabilirliği sonucuna varmışlardır.

Barreca ve Fichera (2013) yaptıkları çalışmada ısı yalıtımını iyileştirmek için çimento kireç harcında katkı maddesi olarak zeytin taşı kullanıp sonuçlarına bakmışlardır. Bu çalışmayı; kullanılan çimento kireci harcı, sıva ve zemin şapları yapımında kullanılan çimento kireç harcı içerisine artan oranda (%0, %20, %30, %40, %50, %60 ve %70 ) zeytin taşı ekleyerek yapmışlardır. %70 sınırını aşan çimento kireci harcı, işlenebilirliğini yitirmiş olduğu ve dikey yüzeylere yayılmasının zor olduğu sonucuna varmışlardır. Zeytin taşı yüzdesi arttıkça karışımın yoğunluğunun azaldığının ve bunun sonucunda da çimento kireç harcı kullanımının, kalın yalıtım kaplamaları veya hafif agrega betonu için uygun olduğu sonucuna varmışlardır. Ayrıca zeytin taşı yüzdesi arttığında iletkenlik değerinin yoğunluktan daha önemli ölçüde azaldığını tespit etmişlerdir. Zeytin taşı kullanımının, ekonomik ve çevresel olarak sürdürülebilir bir çözüm olabileceğini vurgulamışlardır. Zeytin taşının kullanımı ile iyileşen termofiziksel özelliklerden dolayı döşemeler için yalıtkan ve hafif zemin şapları gibi bazik yapı bileşenlerinin üretimi için uygunluğunu belirtmişlerdir.

Cuenca vd. (2013) yaptıkları çalışmada zeytin atıklarının yakılmış halinden ve ev tipi kazan deşarjlarından elde edilen külleri dolgu malzemesi olarak kendiliğinden yerleşen betonda kullanmışlar ve sonucunda zeytin kütlesi külü içeren numunelerin referans numunesine eşit ya da daha fazla basınç dayanımı gösterdiğini söylemişlerdir.

Yener ve Yadollahi (2013) yaptıkları çalışmada pirininin asfalt çimentosu modifiye edici olarak potansiyel kullanımını araştırmışlardır. Yaptıkları araştırmada %1, %3 ve %5 oranlarında pirina kullanarak 70/100 penetrasyon değerine sahip bitüm üretmişlerdir. Yaptıkları deneyler sonucunda bitümün penetrasyon değeri artarken yumuşama noktası değerinin azaldığı sonucuna varmışlardır. Ayrıca soyulma direncinin arttığını bunun da agrega ve bitüm arasındaki bağı kuvvetlendirdiğini vurgulamışlardır. Servis ömrü boyunca asfalt karışım performansının da olumlu yönde etkileneceği sonucuna varmışlardır.

Casa ve Castro (2014) de yaptıkları çalışmada yıkanmış zeytin pirina külü kullanarak kil tuğlası üretmişler ve ortaya çıkan numunelerin mekanik özellikleri ürün gereksinimlerini karşıladığını belirtmişlerdir.

Alkheder vd. (2016) yaptıkları çalışmada çevreyi korumak, çimento maliyet verimliliğini artırmak için zeytin posasını, çimento hamurunda portland çimentosunun bir parçası olarak kullanmışlar ve sonuçlarını gözlemlemişlerdir. Bu çalışmayı yaparlarken zeytin atığını bir fırında yakmışlar ve kül haline gelinceye kadar 6 saat muhafaza etmişlerdir. Sonra 200 nolu elekten geçirerek deneye hazır hale getirmişlerdir. Zeytin atığı olmadan hazırlanan numuneye ek olarak zeytin atığı içeriği %3, %6, %9, %12 ve %15 olan numuneler üretmişlerdir. Yaptıkları deneylerin sonucunda zeytin atığı yüzdesinin artmasıyla basınç dayanımında azalmalar olduğunu belirtmişlerdir. Bunun nedeninin çimento miktarındaki azalma olduğunu, bunun da mukavemet gelişiminden sorumlu C<sub>3</sub>S ve C<sub>2</sub>S gibi hidrasyon ürünleri miktarında bir azalmaya yol açacağını ve zeytin atığı içeriğinin %12'ye çıktıktan sonra önemli ölçüde basınç dayanımını düşürdüğünü de belirtmişlerdir.

Arezki vd. (2016) yaptıkları çalışmada öğütülmüş zeytin taşları ile üretilen kil tuğlalarının fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça %1, %2, %3, %4, %5 ve %10 öğütülmüş zeytin taşı içeren numuneler üretmişler ve test etmişlerdir. Yapılan bu testlerin sonucunda öğütülmüş zeytin taşının eklenmesiyle su emilimi ve termal iletkenliğin azaldığını ve bunun olumlu sonuç olduğunu açıklamışlardır. Mekanik özellikleri düşürmesine rağmen minimum koşulların üzerinde sonuç verdiğini de vurgulamışlardır. Son olarak da kullanılabilecek uygun maliyetli bir ilave madde olduğunu önermişlerdir.

Quesada ve Costa (2016) yaptıkları çalışmada zeytin pirina alt külünü kullanarak ateşlenmiş kil tuğla üretimi yapmışlar ve yeni üretilen pirina alt külü bulunan tuğlaların özelliklerini incelemişlerdir. En iyi sonucun ağırlıkça %10 pirina alt külü eklenmesi ile meydana geldiğini belirtmişlerdir. Ayrıca pirina alt külünün ısı iletkenliğini azalttığını vurgulayıp, binaların daha iyi ısı yalıtımı yapabileceği sonucuna varmışlardır.

Bicer (2018) yaptığı çalışmada beton ve sıvada kum yerine uçucu kül kullanmış ve uçucu kül tane büyüklüğünün kompozit malzemenin termal ve mekanik performansına etkisini incelemiştir. Kullanılan uçucu külü çeşitli tane büyüklüğünde gruplara ayırmıştır. Çimento karışımlarında uçucu külün ağırlık yüzdelelerini % 10, % 30, % 50, % 70 ve % 90 olarak belirlemiş tane çapı ve uçucu kül yüzdesine göre 20 karışım hazırlamıştır. Basınç ve çekme dayanımı, su emilimi, ısı iletkenlik ve yoğunluk deneylerini yapmıştır. Deney sonuçlarında tane büyüklüğü çapı azaldıkça kül yoğunluğunun arttığını ve renginin kahverengiye dönüştüğünü gözlemlemiştir. Ayrıca uçucu kül çimentosu karışımlarında, kül ilavesi oranı %10'dan %90'a artarken ısı iletkenlik katsayısı ve basınç dayanımı değerlerinin belirli oranlarda düştüğünü de belirtmiştir. Elde edilen betonun da uçucu kül yardımıyla iletken hale getirilebileceğini vurgulamıştır.

Omran vd. (2018) yaptıkları çalışmada uçucu kül kullanarak yapılan betonun sahada kontrol denemelerini yapmışlardır. Yapılan kontroller sonucunda uçucu külün özellikle 91 günden daha ileri bir yaşta sadece Portland çimentosu ile yapılarak üretilen betondan daha yüksek mukavemete sahip olduğu sonucuna varmışlardır. İçerdiği %20'lik uçucu külün; betonun geçirgenliğini düşürdüğünü, donma-çözölmeye ve buz çözme tuzunun bozulmasına karşı mükemmel bir direnç gösterdiği sonucuna varmışlardır.

İssi, (2019) yaptığı yüksek lisans çalışmasında pirina ile modifiye edilmiş bitüm karışımları hazırlayarak pirinanın bitüm ve bitümlü sıcak karışımların özelliklerine etkisini araştırmıştır. Pirinayı penetrasyon değeri B160/200 olan bitüme bitümün ağırlıkça %5, %10, %15 ve %20 oranlarında eklemiştir. Yapılan deneyler sonucunda pirina eklenmesi ile genel olarak bitümlerin sertleştiği en kritik değerin %15 oranı olduğu sonucuna varmıştır. Ayrıca %15 oranından sonra bağlayıcının yüksek sıcaklık performans sınıfının arttığını ancak düşük sıcaklık performans sınıfının azaldığını tespit etmiştir. Nem hasarı ve kalıcı deformasyona karşı direncin de pirina eklenmesi ile arttığını vurgulamıştır.

Kıc1 (2019) yaptığı çalışmada pirinanın bitüm modifikasyonunda kullanılabilirliğini araştırmıştır. Çalışmada kullandığı pirinayı 300° C - 350° C lik fırında yakmış ardından öğüterek 200 nolu elekten elemiştir. Ortaya çıkan pirinayı %2, %4, %6, %8, %10 oranlarında ağırlıkça hesaplayarak bitüm ile karıştırmıştır. Bu karıştırma işlemini 4000 devir/dakika hıza sahip yüksek devirli karıştırıcı ile 160° C sıcaklıkta yapmıştır. Bu işlemlerle pirinayı bitüm ile modifiye ederek penetrasyon deneyi, yumuşama noktası, duktilite, elastik geri dönme ve özgül ağırlık deneylerini uygulamıştır. Deney sonuçlarını pirina ile modifiye edilmemiş bitüm ile karşılaştırarak değerlendirmiştir. Yaptığı çalışmanın sonucunda pirina ile modifiye edilmiş numunelerin, penetrasyon değerini düşürürken, yumuşama noktası değerini

artırdığını belirtmiş ve ayrıca pirina ile modifiye edilmiş bitümlerin beklenen elastik geri dönme oranlarına sahip olduğunu belirtmiştir. Yaptığı deneyler sonucunda pirina ile modifiye edilmiş bitümün sıcak iklimli bölgelerde ve pirina modifiyeli bitümün nem hassasiyetini yüksek oranda iyileştirmesinden dolayı uzun süreli ve şiddetli yağış alan bölgelerde kullanılabilceğini vurgulamıştır.

Nagrokiene ve Rutkauskas (2019) yaptıkları çalışmada uçucu kül katkı maddesinin betonda alkali silika reaksiyonuna direnci üzerinde etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada uçucu külü %0, %15, %25, %35, %45, %55 ve %65 oranlarda çimento ile yer değiştirerek karışım oluşturmuşlardır. Basınç genişlemesi, yoğunluk, eğilme dayanımı, su emme, ultrasonik darbe hızı ve alkali silika reaksiyon direncini test etmişlerdir. Yapılan testler sonucunda %65 uçucu kül içeren beton numunesinin daha yüksek yoğunluğa sahip olduğu ve düşük su emme oranı sonuçlarını vermişlerdir. Uçucu kül eklenen numunelerin genişlemesi daha düşük çıkmış ve bu sonuçlar betonun alkali silika reaksiyonuna karşı direncini artırmıştır. Karışımındaki uçucu kül muhtevası, ultrasonik darbe hızının değişimi ve numunenin genleşmesi arasında elde edilen ilişki, beton üzerinde alkali silika reaksiyonun etkisini değerlendirmede kullanmışlardır. %65 uçucu kül ile oluşturulan beton numunesinin daha dayanıklı ve alkali silika reaksiyonuna karşı iyi direnç göstereceği ve inşaat işlerinde uçucu külün kullanılabilceği sonucuna varmışlardır.

Nguyen vd. (2019) yaptıkları çalışmada, uçucu kül içeren genleşen betonun performansını incelemişlerdir. Bu çalışmada farklı tipte uçucu kül ve genleşen harç betonda çimento yerine ikame olarak kullanmışlardır. Akış, su gereksinimi ve harçların priz süreleri, sınırsız ve sınırlı basınç dayanımı ve uzunluk değişimlerini Young'ın geniş kapsamlı beton modülü ile incelemişlerdir. Bu incelemeler sonucunda genleşen betonun hem serbest genleşmesinin hem de kısıtlı genleşmesinin uçucu kül kullanarak arttığını görmüşlerdir. Bu artışı üç varsayım üzerinde açıklamışlardır. Birinci varsayım, uçucu kül içeren karışımların uçucu kül içermeyen karışımlardan daha fazla etrenjit ürettiğidir. İkinci varsayım, uçucu kül içermeyen beton ile karıştırıldığında uçucu kül içeren karışımlardan daha fazla genleşmesine yol açtığıdır. Üçüncü varsayım ise uçucu külün karışımlardaki hidratasyonu geciktirdiğidir.

Cheboub vd. (2020) yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen hafif harçların üretimi sırasında içerisine tarımsal bir yan ürün olan ezilmiş zeytin çekirdeği (EZÇ) ilave ederek yeni tip bir harç geliştirme olasılığını araştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada EZÇ kabuklarını farklı oranlarda (%0, %25, %50, %75 ve %100) doğal kumun kısmi olarak değiştirilmesi ile üretmişler. Ürettikleri yeni harçların fiziksel, mekanik ve termal özellikleri üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonucunda; EZÇ içeren

numuneler, normal kendiliğinden yerleşen beton numunelerine kıyasla ağırlığını %38 azalttığını bulmuşlardır. Ayrıca %75 oranına kadar kullanılan EZÇ numunelerinin basınç dayanımları 15 MPa dan daha yüksek çıktığını belirtip bu harçların yapısal elemanların üretiminde kullanılabileceğini vurgulamışlardır. Bir başka sonuç olarak EZÇ eklenmesi ile gözenekliliğini ve su emme katsayısını artırmış ve içyapı malzemelerinin akustik izolasyonunda kullanılabileceğini tavsiye etmişlerdir. Ayrıca yeni harçların termal iletkenliklerinin düşük olduğundan doğal kum yerine kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Alıthawı (2021) yaptığı çalışmada uçucu külün betonda çimento ve ince agregalara alternatif olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Bu araştırma kapsamında uçucu kül basit ikame, ilave ve kısmi ilave yöntemleri olmak üzere 3 farklı karışım yöntemi ile kullanılmıştır. Uçucu külü %10, %20 ve %30 oranlarında ağırlıkça çimento yerine ikame etmiştir. Elde edilen numunelere dayanım, geçirimsizlik, donma-çözülme direnci ve taze haldeki özelliklerinin belirlenmesi için deneyler uygulamıştır. Sonuç olarak uçucu külün ilave edilmesi ile işlenebilirliğin iyileştiği, donma-çözülme, su emme ve kılcal su emme oranının uçucu kül içeriğinin artması ile arttığını belirtmiştir. İleri yaşlarda basınç, eğilme ve silindir yarma dayanımlarının uçucu kül eklenmesi ile arttığını da belirtmiştir.

Elahi vd. (2021) yaptıkları çalışmada çimento ve uçucu kül ile stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak blokların mühendislik özelliklerini incelemişlerdir. Çimento ile %10-30 oranları arasında uçucu kül kullanmışlardır. Çalışmanın sonucunda uçucu kül ilavesi yaptıkları karışımlar, sadece çimento ile stabilize edilmiş bloklara kıyasla basınç dayanımını %6-61 oranında artırdığını vurgulamışlardır. Ayrıca %10-30 uçucu kül eklenmesi eklenen çimentoya bağlı olarak blokların eğilme dayanımını %9-104 oranında artırdığını belirtmişlerdir. Genel sonuç olarak uygun uçucu kül ve çimento ilavesi ile yeterli mukavemete sahip stabilize edilmiş sıkıştırılmış toprak imal edilebileceği sonucuna varmışlardır.

Mahadevan vd. (2021) yaptıkları çalışmada hızlı sertleşen portland çimentosunun yüksek hidrasyon ısısı sorununa uçucu kül ilave ederek çözüm aramışlardır. Uçucu kül ilave ederek yüksek hidrasyon ısısının azalacağını varsaymışlar ve bu kapsamda çalışmalar yapmışlardır. Yaptıkları çalışmalarda %15, %25 ve %35 oranlarında hem F sınıfı uçucu kül hem de C sınıfı uçucu kül kullanmışlardır. Uçucu kül ile hızlı sertleşen çimento arasındaki kimyasal etkileşim araştırılmış mekanik ve reolojik özelliklerini incelemişlerdir. Sonuç olarak F sınıfı uçucu külün %25 oranı ile elde edilen karışımın maksimum basınç dayanımı

gösterdiğini vurgulamışlardır. Ayrıca akma gerilmesi ve plastik viskozitenin uçucu kül yüzdesi ve türüne göre değiştiğini de gözlemlendiklerini belirtmişlerdir.



### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada tarımsal atık olan pirina külü, çimento yerine belirli oranlarda ikame edilerek CEN standart kumu ile harç numuneleri üretilmesi ve üretilen bu numunelerin mühendislik özelliklerinin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda çıkan sonuçların, termik santral atığı olan uçucu külün mühendislik özellikleri ile karşılaştırılması planlanmıştır. Çalışmada CEM I 42,5 R çimentosu yerine %5, %10, %12, %15, %20 ve %25 oranlarında hacimce pirina külü ikame edilerek pirina katkılı harç numuneleri üretilmiştir. Üretilen harç numunelerine TS EN 1015-3 standardına uygun yayılma tablası ve TS EN 1015-6 standardına uygun birim hacim ağırlık deneyi yapılarak taze harç özellikleri belirlenmiştir (TSE, 2000a; TSE, 2000b). Taze harç özellikleri belirlenen numuneler TS EN 196-1 standardına uygun şekilde kalıplanmıştır (TSE, 2016). Numuneler 1 günlük kalıpta bekleme süresinden sonra kalıplardan çıkarılarak kür havuzuna konmuştur. Kür havuzuna koyulan belirli numunelere 7. günde ve 28. günde TS EN 196-1 standardına göre eğilme dayanımı ve basınç dayanımı deneyleri uygulanmıştır (TSE, 2016). 28. gün sonunda diğer numunelere ise TS EN 772-11 standardına uygun kılcal su emme deneyi yapılmıştır (TSE, 2012b).

#### 3.1. Materyal

Yapılan çalışmada materyal olarak; CEM I 42.5 R tipi portland çimento, CEN standart kumu, pirina külü, uçucu kül ve su kullanılmıştır.

##### 3.1.1. Çimento

Yapılan deneysel çalışmalarda Isparta Göлтаş Çimento Fabrikası'ndan temin edilen CEM I 42.5 R tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.1'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Yapılan deneysel çalışmada kullanılan çimentonun fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri (URL-3, 2021)

Çimento türü	Cl <sup>-</sup> (%)	SO <sup>3</sup> (%)	Priz başlama (dakika)	Genleşme (mm)	Basınç dayanımı (MPa)		Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )
					2 günlük	28 günlük	
CEM I 42,5 R	0,004	2,75	156	0,46	24,3	50,1	3,15

### 3.1.2. CEN Standart Kum

Yapılan deneysel çalışmalarda TS EN 196-1 standardına uygun olarak üretilen, 2,56 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktaki CEN standart kumu kullanılmıştır (TSE, 2016). Kullanılan CEN standart kum, Limak Şirketler Grubunun, Trakya Çimento Fabrikasından 1350 gram paketlenmiş poşetler halinde temin edilmiştir. Tablo 3.2’de CEN standart kumun granülometrisi verilmiştir.

**Tablo 3.2.** CEN standart kumun granülometrisi

Kare göz açıklığı (mm)	2	1,6	1	0,5	0,16	0,08
Kümülatif elekte kalan (%)	0	8 ± 2	34 ± 2	66 ± 2	7 ± 2	99 ± 1

### 3.1.3. Pirina Külü

Harç üretiminde kullanılan pirina Nazilli, Aydın’da yerel bir zeytinyağı üretim tesisinden posa halinde temin edilmiştir. Posa halinde temin edilen pirina daha sonra TS EN 14775 standardına göre Şekil 3.1’de görülen yüksek sıcaklık fırınında yakılmıştır (TSE, 2010). 2 mm’nin altında parçacık boyutuna sahip numune 5° C/dk ısıtma hızı ile 250° C’ye kadar ısıtılıp 1 saat bu sıcaklıkta bekletilmiştir. Bu esnada uçucu madde kaybı sağlanmıştır. Daha sonra 10° C/dk ısıtma hızı ile sıcaklık 550° C çıkarılarak 6 saat bekletilmiş ve oda sıcaklığına gelince yüksek sıcaklık fırınından çıkartılmıştır. Şekil 3.2’de pirinanın yakıldıktan sonraki hali gösterilmektedir.



**Şekil 3.1.** Yüksek sıcaklık fırını



**Şekil 3.2.** Pirinanın yakıldıktan sonraki hali

Yakılarak elde edilen pirina külü, SD Maden Mühendisliği Bölümü Cevher Hazırlama Laboratuvarında kavanoz tipi bilyalı değirmende uygun Őartlarda đtlmŐ (Şekil 3.3) ve 0,09 nolu elekten elenerek elek altı kalan kl alınmıŐtır.



**Şekil 3.3.** Kavanoz tipi bilyalı değirmende pirina külünün öğütülmesi

Kavanoz tipi bilyalı değirmende öğütülen pirinanın elekten elendikten sonraki ve deneyde kullanılan hali Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.4.** Öğütülmüş pirina külü

Kavanoz tipi Bilyalı değirmende öğütülerek elde edilen pirina külü daha sonra Le chatelier balonu ile yoğunluğu tespit edilmiştir (Şekil 3.5). Pirina külünün yoğunluğu  $1,43 \text{ g/cm}^3$  bulunmuştur.



**Şekil 3.5** Le chatelier balonu ile pirina külünün yoğunluğunun bulunması

### 3.1.4. Uçucu Kül

Yapılan çalışmalarda Kütahya Seyitömer Termik Santrali'nden temin edilen uçucu kül kullanılmıştır. Seyitömer uçucu külü TS EN 197-1'e göre sınıflandırmada reaktif kireç (CaO) miktarının %10'un altında olması nedeniyle V sınıfına (silisli uçucu kül) girerken,

ASTM C 618 standardına göre F sınıfı (düşük kireçli) grubuna girmektedir. Tablo 3.3'te uçucu külün kimyasal özellikleri ve yoğunluğu verilmiştir (TSE, 2012a).

**Tablo 3.3.** Uçucu külün kimyasal özellikleri ve yoğunluğu

Oksit (%)	TS EN 450	TS EN 197-1		ASTM C 618		Seytömer uçucu külü
		V	W	F	C	
SiO <sub>2</sub>						54,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						20,58
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>						9,27
S+A+F				> 70.0	> 50.0	84,34
CaO						4,26
MgO						4,48
SO <sub>3</sub>	< 3.00			< 5.0	< 5.0	0,52
K <sub>2</sub> O						2,01
Na <sub>2</sub> O						0,65
KK	< 5.00	< 5.0	< 5.0	< 6.0	< 6.0	3,01
Cl <sup>-</sup>	< 0.10					0,006
Serb. CaO	< 1.00					0,26
Reak. SiO <sub>2</sub>	> 25.0	> 25.0	> 25.0			39,01
Reak. CaO		< 10.0	> 10.0			2,49
Yoğunluk (g/cm <sup>3</sup> )						2,15

### 3.1.5. Karışım Suyu

Deneysel çalışmalarda karışım suyu olarak Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi İstiklal Yerleşkesi şebeke suyu kullanılmıştır.

### 3.2. Aletler ve Cihazlar

Deneysel çalışmalarda kullanılacak harç numunelerini üretmek için Hobart Mikseri, numunelerin kalıplara sıkıştırılması için Sarsma Cihazı, üretilen numunelerin taze haldeki yayılmasına bakmak için Yayılma Tablası cihazı, sertleşmiş haldeki numunelerin basınç dayanımı için Otomatik Basınç Deney Presi, eğilme dayanımı için ise Otomatik Eğilme Deney Presi kullanılmıştır.

### 3.3. Yöntem

#### 3.3.1. Harç Numune Karışım Hesapları

Yapılan deneysel çalışmalarda üretilen harç numuneleri için karışıma giren malzemelerin miktarları Tablo 3.4'te verilmiştir.

**Tablo 3.4.** Karışıma giren malzeme miktarları

Numune Tipleri	Çimento (g)	UK (g)	PK (g)	Kum (g)	Su (g)	S/B
Şahit	450	-	-	1350	225	0,5
PK5	427,5	-	10,21	1350	218,86	0,5
PK10	405	-	20,43	1350	212,72	0,5
PK12	396	-	24,51	1350	210,26	0,5
PK15	382,5	-	30,64	1350	206,57	0,5
PK20	360	-	40,86	1350	200,43	0,5
PK25	337,5	-	51,07	1350	194,29	0,5
UK5	427,5	15,36	-	1350	221,43	0,5
UK10	405	30,71	-	1350	217,86	0,5
UK12	396	36,86	-	1350	216,43	0,5
UK15	382,5	46,07	-	1350	214,29	0,5
UK20	360	61,43	-	1350	210,72	0,5
UK25	337,5	76,79	-	1350	207,15	0,5

Tablo 3.4'te verilen değerler

S/B: Su /Bağlayıcı (Çimento, Çimento+PK veya Çimento+UK) oranı

PK: Pirina külü,

UK: Uçucu kül,

PK5 – PK25: Çimento ile hacimce %5 ve %25 arasında değişen oranlarda (%5, %10, %12, %15, %20, %25 oranlarında) ikame edilmiş pirina külü içeren harç numunesini,

UK5 – UK25: Çimento ile hacimce %5 ve %25 arasında değişen oranlarda (%5, %10, %12, %15, %20, %25 oranlarında) ikame edilmiş uçucu külü içeren harç numunesini temsil etmektedir.

Pirina külü ve uçucu külün ağırlıkları çimentodan eksiltelen hacimce yer değiştirilerek hesaplanmıştır. S/B oranı sabit tutularak su miktarından meydana gelecek değişimlerin önüne geçilmiştir. Bu sayede üretilen harç numunelerindeki değerler sadece kül miktarlarına bağlı olarak değişiklik göstermiştir. Kodlamalar harç numune içerisine eklenen kül ve kül yüzdesi şeklinde belirlenmiştir.

### 3.3.2. Çimento Harcı Üretimi

Çimento harç numuneleri TS EN 196-1 standardına uygun olarak üretilmiştir (TSE, 2016). Üretim aşamasında çimento, pirina külü, uçucu kül, CEN standart kumu belirli oranlarda hazırlanmış ve Hobart Mikserinde standartta belirtilen sürelerde karıştırılarak kalıplanma aşamasına getirilmiştir. Şekil 3.6’da malzemelerin terazide tartımı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Malzemelerin terazide tartımı

İlk olarak Hobart Mikserine belirli miktardaki su ve çimento ilave edilmiş ardından düşük devirde 30 saniye karıştırılmıştır. Sonrasında 30 saniye boyunca sürekli olarak kum ilavesi yapılmıştır. Bu işlem sonrasında karıştırıcı hızı yüksek devire alınmış ve karıştırma işlemine 30 saniye daha devam edilmiştir. Toplamda 1 dakika 30 saniye sonunda karıştırıcı durdurulmuş ve 15 saniye içerisinde lastik sıyrıcı bir alet ile kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç numuneleri sıyrılıp kabın ortasında toplanarak karıştırmaya 60 saniye daha yüksek hızda devam edilmiştir. Bu işlemlerden sonra harç numunesi hazır hale getirilmiştir. Hazır hale getirilen numune üzerinde, taze harç deneylerinden yayılma deneyi yapılmıştır. Daha önceden yağlanarak hazır hale getirilen kalıplara TS EN 196-1 standardına uygun olarak taze harç numunesi yerleştirilmiştir (TSE, 2016). Standartta belirtilen şekilde kalıpların yarısı doldurulduktan sonra 60 sarsma ile sıkıştırılmıştır. Bu işlemden sonra diğer yarısı da doldurularak tekrardan 60 sarsma ile sıkıştırma işlemi tamamlanmıştır. Kalıplardaki fazla harç metal masterla sıyrılarak numune yüzeyleri düzleştirilmiştir. Üretilen numuneler 1 gün kalıpta bekletildikten sonra çıkartılarak  $20 \pm 2^{\circ} \text{C}$ 'deki kür havuzuna yerleştirilmiştir. Şekil 3.7’de üretilen numunelerin kalıplara yerleştirilmesi ve kür havuzunda bekletilmesi görülmektedir.



Şekil 3.7. Harç numunesinin kalıba yerleştirilmesi ve kür havuzunda bekletilmesi

### 3.3.3. Taze Harç Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Karışım oranlarında belirtildiği miktarda hazırlanan harç numuneleri ağırlığı ve hacmi belli olan üç gözlü prizma kalıplara TS EN 196-1 standardına uygun yerleştirilmiştir (TSE, 2016). Kalıba yerleştirilen ve sıkıştırılan numune kalıp yüzeyi düzeltildikten sonra tartılarak ağırlığı bulunmuştur. Şekil 3.8’de boş kalıp ve dolu kalıbın hassas terazi yardımı ile ağırlığının bulunması görülmektedir.



Şekil 3.8. Boş kalıp ve dolu kalıbın terazi yardımı ile ağırlığının bulunması

Ağırlığı belirlenen numune daha sonrasında hacme oranlanarak taze birim hacim ağırlığı tespit edilmiştir. Bu işlemler yapılırken TS EN 1015-6 standardında belirtilen Denklem 3.1 kullanılmıştır (TSE, 2000b).

$$D = (M_2 - M_1) / V \quad (3.1)$$

D: Taze harç birim hacim ağırlık (g/cm<sup>3</sup>)

M<sub>1</sub>: Kalıbın kütlesi (g)

M<sub>2</sub>: Kalıp ile içerisindeki harç numunesinin toplam kütlesi (g)

V: Harç numunesinin hacmi (cm<sup>3</sup>)

### 3.3.4. Yayılma Tablası Deneyi

Yayılma tablası deneyi TS EN 1015-3 standardında belirtilen şekilde yapılmıştır (TSE, 2000a). Deney esnasında hazırlanan harç numunesi yayılma tablasının ortasında bulunan kesik koni şekilli kabın içerisine iki tabaka halinde her bir tabaka yerleştirildikten sonra 10'ar defa tokmak ile kısa vuruşlar yaparak harç numunesinin daha iyi yerleştirilmesi sağlanmıştır. İkinci tabakanın da tokmaktama işlemi bittikten sonra tesviye bıçağı ile numune yüzeyindeki fazla harç alınarak yüzeyden sıyrılmıştır. Sonrasında kesik koni şekilli kabın boş kısmı silinerek temizlenmiştir. Bu işlemler yapılırken kesik koni şekilli kap hareket etmemesi için bir elle bastırılarak tutulmuştur. 15 saniye sonra kesik koni şekilli kap yukarıya doğru yavaşça çekilmiştir. Yaklaşık olarak her saniyede bir vuruş olacak şekilde yayılma tablası 15 defa düşürülerek numunenin yayılması sağlanmıştır. 15 defalık düşme işlemi bittikten sonra yayılan harç numunesinin çapı birbirine dik olacak şekilde ölçülmüştür. Bu iki ölçümün ortalaması alınarak harç numunesinin yayılması belirlenmiştir. Şekil 3.9'da yayılma tablası deneyi görülmektedir.



Şekil 3.9. Yayılma tablası deneyi

### 3.3.5. Kuru Birim Hacim Ağırlık Deneyi

Kuru birim hacim ağırlık deneyi, TS EN 1015-10 standardına göre yapılmıştır (TSE, 2001). Kuru ağırlıkları belirlenen numuneler kumpas ile ölçülerek hacimleri bulunmuştur. Numunelerin kuru ağırlıklarının hacmine oranlanması ile kuru birim hacim ağırlıkları Denklem 3.2 kullanılarak belirlenmiştir.

$$D_{\text{kuru}} = \frac{M_{\text{kuru}}}{V} \quad (3.2)$$

$D_{\text{kuru}}$ : Kuru birim hacim kütlesi,  $\text{g}/\text{cm}^3$

$M_{\text{kuru}}$ : Kuru numune kütlesi, g

$V$ : Numunenin hacmi,  $\text{cm}^3$

### 3.3.6. Kılcal Su Emme Deneyi

Kılcal su emme deneyi TS EN 772-11 standardına göre yapılmıştır (TSE, 2012b). Üretim aşamasında kılcal su emme deneyi için hazırlanan numuneler, bir gün kalıpta bekletildikten sonra kür havuzuna konmuştur. 28. gün sonrasında kür havuzundan alınan numuneler etüve konmuştur. Değişmez ağırlığa gelinceye kadar numuneler etüvde bekletilerek kurutulmuştur. Şekil 3.10'da etüvde kurutulan numuneler görülmektedir.



Şekil 3.10. Etüv ve etüvde kurutulan numuneler

Değişmez ağırlığa gelen numuneler etüvden alınarak kılcal su emme deneyi için yan yüzeyleri eritilmiş parafin yardımıyla geçirimsiz hale getirilmiştir. Bu sayede numunelerin sadece alt yüzeyleri su ile temas edecek şekilde ayarlanmıştır. Bu işlemden sonra numuneler tartılarak ilk ağırlıkları belirlenip not edilmiştir. Geniş tepsi içerisindeki hazırlanan düzeneğe

numuneler tek bir yüzeyden temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Yerleştirilen numuneler tepsi yüzeyine temas etmeyecek şekilde ve numunelerin 0,5 – 1 cm aralığında su içerisinde kalacak şekilde ayarlanmıştır. Şekil 3.11’de parafin ile etrafı geçirimsiz hale getirilen kılcal su emme deney numuneleri ve deney düzeneği görülmektedir.



**Şekil 3.11.** Kılcal su emme deney numuneleri ve deney düzeneği

Suya yerleştirilen numunelerin belirli süreler sonrasında ağırlıkları tartılarak not edilmiştir. Bu süreler; 1.dk., 4. dk., 9. dk., 16. dk., 25. dk., 36. dk., 49. dk., 64. dk., 81. dk., ve 100. dk. tır. Bütün bu işlemlerden sonra denklem 3.4 yardımı ile her bir numunenin kılcal su emme katsayısı hesaplanmıştır. Her bir numune için hesaplanan kılcal su emme katsayılarının ortalaması alınarak o seriye ait kılcal su emme katsayısı Denklem 3.3 ile bulunmuştur.

$$K = \frac{M_s - M_i}{A_1 \sqrt{t_s}} \quad (3.3)$$

Burada;

K : Kılcal su emme katsayısı [g / (cm<sup>2</sup> × dk<sup>0,5</sup>)],

M<sub>i</sub> : Deney numunesinin ilk kütlesi (g),

M<sub>s</sub> : Deney numunesinin (t) süreyle suya temas ettirildikten sonraki kütlesi (g),

A<sub>1</sub> : Deney numunesinin suya temas ettirilen yüzeyinin brüt alanı (cm<sup>2</sup>),

t<sub>s</sub> : Deney numunesinin suya temas ettirilme süresi (dk).

### 3.3.7. Ağırlıkça Su Emme Deneyi

Su tankında suya doymun hale gelinceye kadar bekletilen numuneler su tankından alınarak tartılmıştır. Tartılan numuneler etüvde değışmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilip daha sonrasında çıkarılmış ve ağırlıkları tartılmıştır. Suya doymun haldeki ağırlığı, etüv sonrası kuru ağırlığı belli olan numunelerin ağırlıkça su emmeleri aşağıdaki Denklem 3.4 bağıntısı kullanılarak bulunmuştur.

$$\text{Ağırlıkça su emme (\%)} = [(M_{sd} - M_k) / M_k] \times 100 \quad (3.4)$$

$M_{sd}$  : Numunenin suya doymun ağırlığı (g)

$M_k$  : Numunenin etüv kuru ağırlığı (g)

### 3.3.8. Eğilme Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı için hazırlanan harç numuneleri 40x40x160 mm boyutlarındaki kalıplara yerleştirilmiş ve sonrasında bir gün kalıplarda bekletilerek kalıplardan çıkartılıp kür havuzuna konmuştur. 7. ve 28. günler sonrasında kür havuzundan her bir seriden 3'er adet alınarak bir bez yardımıyla yüzeylerinin suyu temizlendikten sonra eğilme dayanımı için hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan sertleşmiş haldeki numuneler 7. ve 28. günler için ayrı ayrı TS EN 196-1 standardında belirtildiği şekilde eğilme dayanımları deneyi yapılmıştır (TSE, 2016). Yapılan eğilme dayanımı deneyinden sonra bulunan eğilme dayanımlarının aritmetik ortalamaları alınarak o seriye ait eğilme dayanımı tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı TS EN 196-1 standardında belirtilen Denklem 3.5'deki formülden elde edilmiştir (TSE, 2016).

$$R_f = (1,5 \times F_f \times L) / b^3 \quad (3.5)$$

Burada;

$R_f$  : Eğilmede çekme dayanımı (N / mm<sup>2</sup>),

$b$  : Prizmanın kare kesitinin kenar uzunluğu (mm),

$F_f$  : Prizmanın ortasına uygulanan maksimum kuvvet (N),

$L$  : Mesnet silindirleri arasındaki uzaklık (100 mm).

Şekil 3.12'de deneyde kullanılan eğilme presi ve Şekil 3.13'te Eğilme deneyinde kullanılan numuneler ve deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.12. Otomatik eğilme dayanımı deney presi



Şekil 3.13. Eğilme dayanımı deney numunesi ve düzeneği

### 3.3.9. Basınç Dayanımı Deneyi

Basınç dayanımı için eğilme dayanımında kullanılan numunelerden ortaya çıkan 6 adet sertleşmiş numune kullanılmıştır. TS EN 196-1 standardında belirtildiği şekilde deney gerçekleştirilmiştir (TSE, 2016). Numuneler düzgün bir şekilde pres makinasına yerleştirilmiş ve her yarım numuneye  $F$  yükü uygulanarak deney yapılmıştır. Bu işlem 6 adet numune içinde tekrarlanmıştır. Bulunan 6 adet sonuçların ortalaması alınarak o seriye ait

basınç dayanımı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar bulunurken TS EN 196-1 standardında belirtilen Denklem 3.6 kullanılmıştır (TSE, 2016).

$$R_c = F_c / A \quad (3.6)$$

Burada;

$R_c$  : Basınç dayanımı ( $N/mm^2$ ),

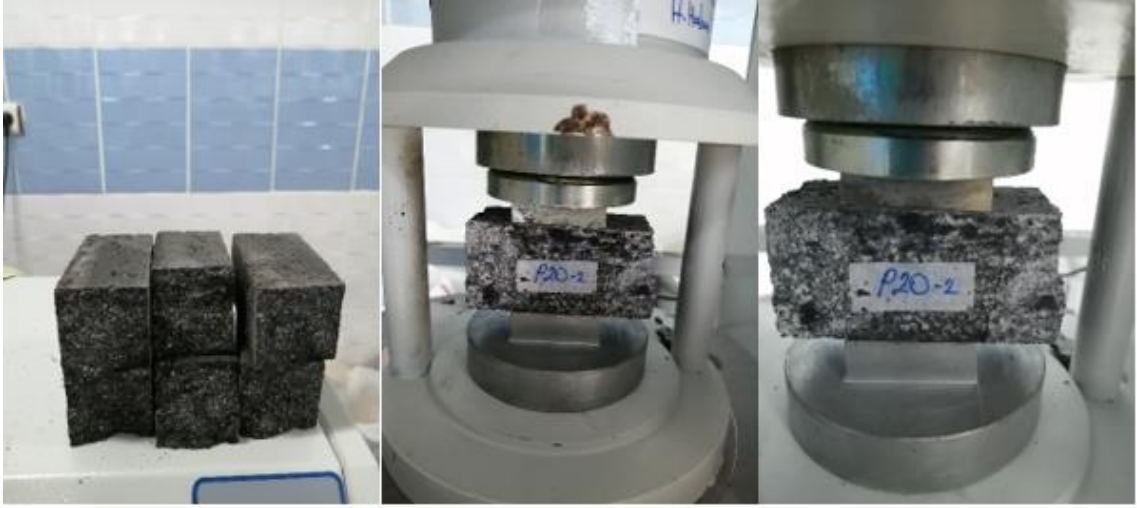
$F_c$  : Kırılmadaki en büyük yük (N)

$A$  : Plakaların veya yardımcı plakaların alanıdır ( $40 \times 40$  mm).

Şekil 3.14'te deneyde kullanılan basınç presi ve Şekil 3.15'te basınç dayanımında kullanılan numuneler ve basınç dayanımı deney düzeneği görülmektedir



**Şekil 3.14.** Otomatik basınç dayanımı deney presi



Şekil 3.15. Basınç dayanımı deney numuneleri ve basınç dayanımı deney düzeneği

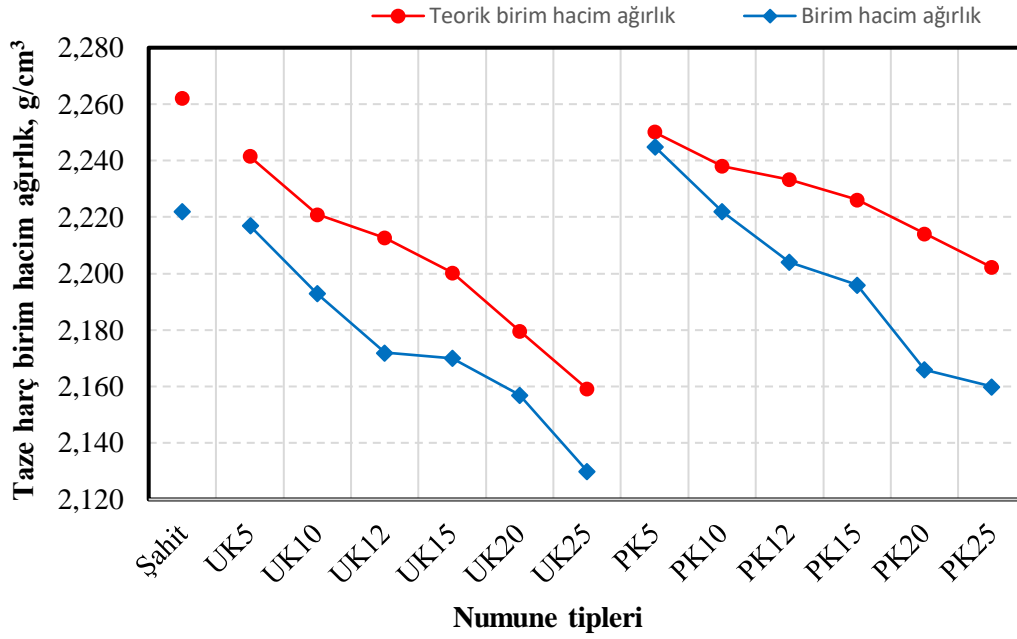


## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde tez çalışması kapsamında yapılan deneylerin sonuçları verilmiştir.

### 4.1. Taze Harç Birim Hacim Ağırlık Deney Sonuçları

UK ve PK katkılı harç numunelerinin, karışım oranlarının belirlenmesinin ardından ortaya çıkan teorik birim hacim ağırlıkları ile deneysel taze harç birim hacim ağırlıkları Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. UK ve PK katkılı harçların deneysel ve teorik birim hacim ağırlıkları

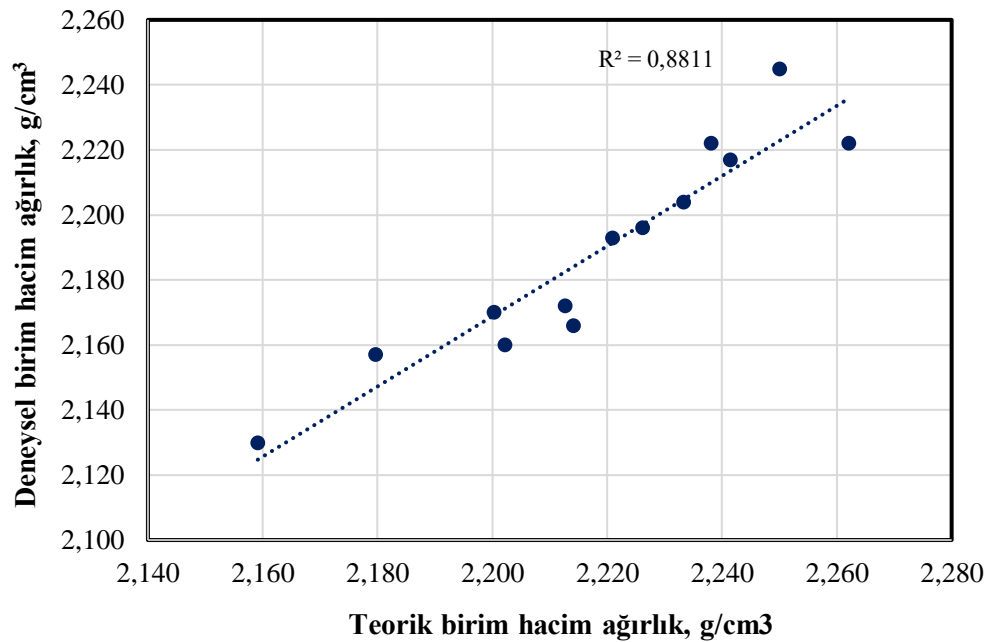
UK ve PK'nın yoğunlukları düşük olduğundan, şahit numuneye göre UK ve PK katkılı numunelerde hem deneysel hem teorik birim hacim ağırlıkları düşük çıkmıştır. UK ve PK yüzdesi arttıkça birim hacim ağırlıklarında düşüş gözlenmiştir. Bütün numunelerin deneysel birim hacim ağırlıkları, teorik birim hacim ağırlıklarından daha düşük çıkmıştır.

Taze harç birim hacim ağırlık deney sonuçları UK katkılı numunelerde 2,09 – 2,22 g/cm<sup>3</sup> arasında değişirken PK katkılı numunelerde 2,05 – 2,25 g/cm<sup>3</sup> arasında değişim göstermiştir. Taze harç birim hacim ağırlığı en yüksek olan numune PK5, en düşük olan numune ise PK25'tir. Şahit numune birim hacim ağırlığı 2,22 g/cm<sup>3</sup> 'tür. UK katkılı numunelerde en yüksek değer UK5 serisinde görülmüştür. En küçük değer ise UK25 serisinde görülmüştür. Katkı oranları arttıkça taze harç birim hacim ağırlıkta azalmalar

görülmektedir. UK katkılı UK5, UK10 ve UK12 numuneler şahit numuneye yakın sonuçlar verirken diğer UK numuneleri daha düşük sonuç vermiştir. PK katkılı harçlar da ise PK5, PK10, PK12 ve PK15 numuneleri şahit numuneye yakın değerler vermiştir.

Teorik birim hacim ağırlıklar UK katkılı numunelerde 2,16 – 2,26 g/cm<sup>3</sup> arasında değişim gösterirken PK katkılı numunelerde 2,20 – 2,25 g/cm<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir.

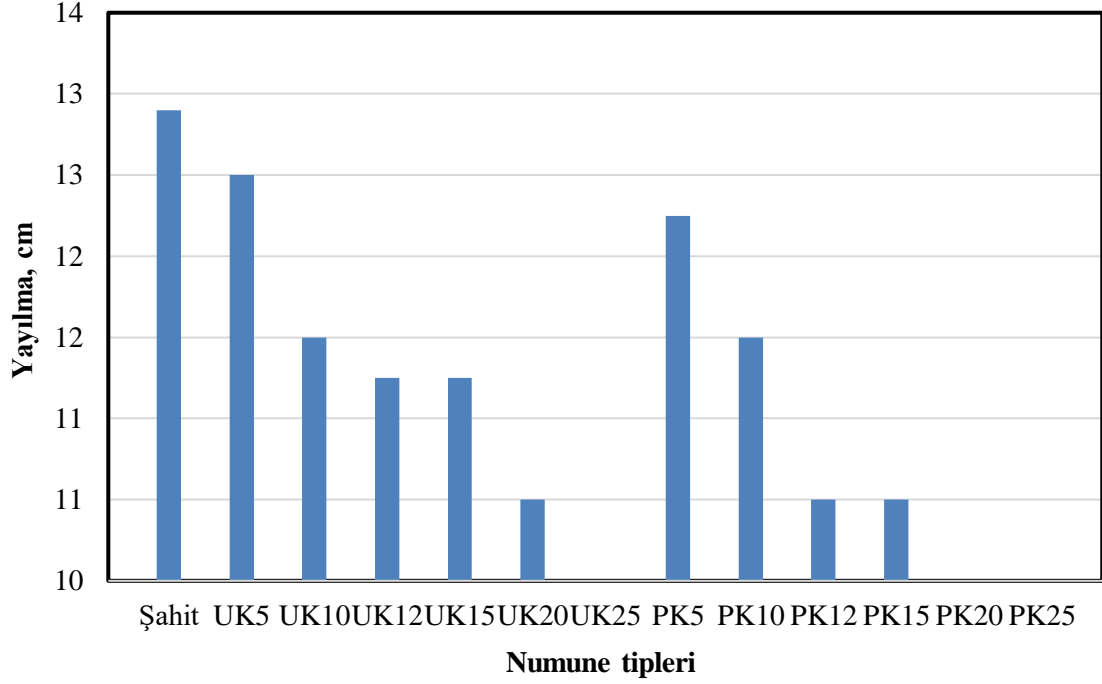
Tüm birim hacim ağırlık değerleri bir arada değerlendirildiğinde teorik ve deneysel birim hacim ağırlıkları arasında düşüşün benzerlik gösterdiği ve kül miktarı arttıkça birim hacim ağırlıklarda düşüşün arttığı görülmüştür. Şekil 4.2’te teorik ve deneysel birim hacim ağırlık değerlerinin dağılım grafiği görülmektedir.



Şekil 4.2. UK ve PK katkılı harçların teorik ve deneysel birim hacim ağırlıklarının karşılaştırılması

#### 4.2. Yayılma Tablası Deney Sonuçları

PK ve UK katkılı numunelerin yayılma tablasında belirlenen yayılma değerleri Şekil 4.3’te görülmektedir.



**Şekil 4.3.** Yayılma tablası deney sonuçları

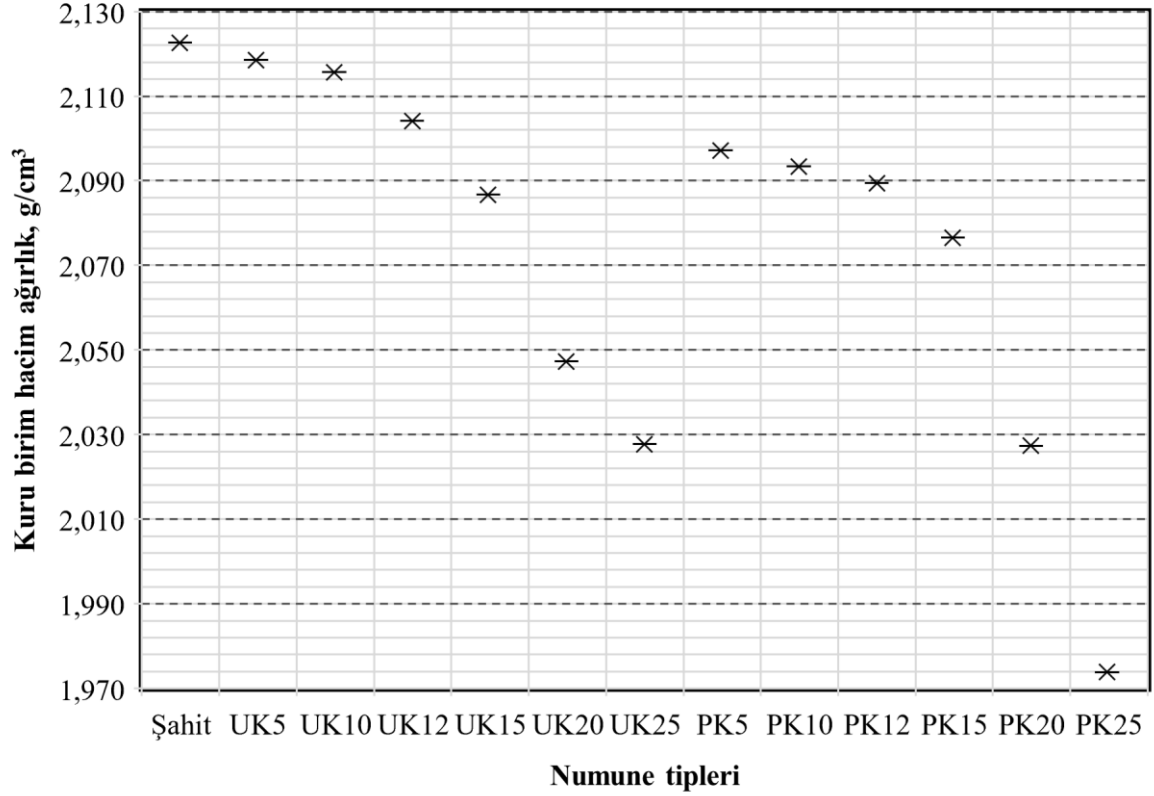
Yayılma tablası deney sonuçlarına göre en çok yayılan numune 12,9 cm ile şahit numune olmuştur. UK25, PK20 ve PK25 numuneleri ise hiç yayılma göstermemiştir.

UK katkılı numunelerde yayılma 10 – 12,5 cm arasında değişmektedir. En fazla UK5 numunesi yayılmıştır. UK katkı oranı arttıkça yayılma azalmıştır. Şahit numuneden daha az yayılma göstermişlerdir.

PK katkılı numuneler 10 – 12,25 cm arasında yayılma göstermiştir. PK katkılı numunelerde en yüksek yayılma PK5 görülmüştür. PK20 ve PK25 numunelerinde ise yayılma gözlenmemiştir. Şahit numuneye göre katkılı numuneler daha az yayılmıştır.

#### **4.3. Kuru Birim Hacim Ağırlık**

Sertleşmiş harç numuneleri üzerinde yapılan kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları Şekil 4.4'te görülmektedir.

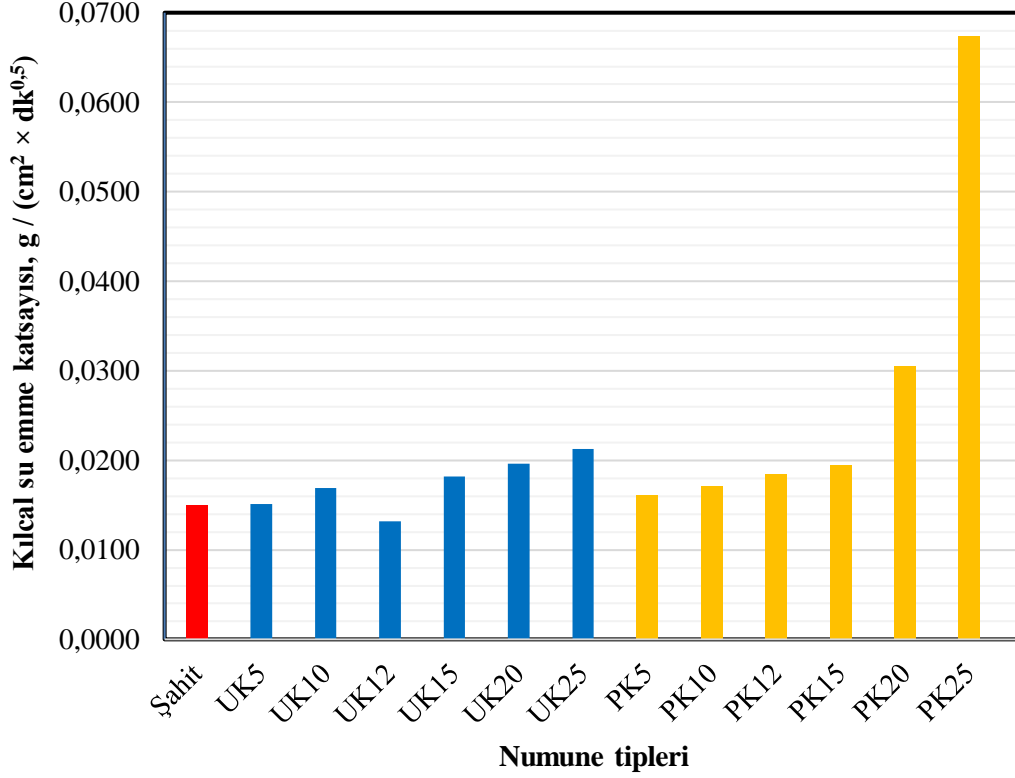


**Şekil 4.4.** Kuru birim hacim ağırlık deney sonuçları

Kuru birim hacim ağırlık değerleri UK katkılı numunelerde 2,028 – 2,119 g/cm<sup>3</sup> arasında değişim gösterirken PK katkılı numunelerde 1,974 – 2,097 g/cm<sup>3</sup> arasında değişim göstermektedir. En yüksek kuru birim hacim ağırlık değeri, 2,123 g/cm<sup>3</sup> değeriyle şahit numunede ölçülmüştür. En düşük değere sahip olan numune ise 1,974 g/cm<sup>3</sup> değeriyle PK25'tir. Hem UK katkılı numunelerde hem de PK katkılı numunelerde ölçülen kuru birim hacim ağırlık değerleri şahit numuneye göre daha düşük çıkmıştır. Bunun sebebi hem PK'nın hem UK'nın yoğunluğunun yer değiştirildiği çimento yoğunluğundan düşük olmasıdır. PK katkılı numuneler UK katkılı numunelere göre daha düşük kuru birim hacim ağırlık değerleri vermiştir. UK ve PK oranları arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerlerinde azalma gözlenmiştir.

#### 4.4. Kılcal Su Emme Katsayısı Deney Sonuçları

Kılcal su emme deneyi yapılan numunelere ait sonuçlar Şekil 4.5'te görülmektedir.



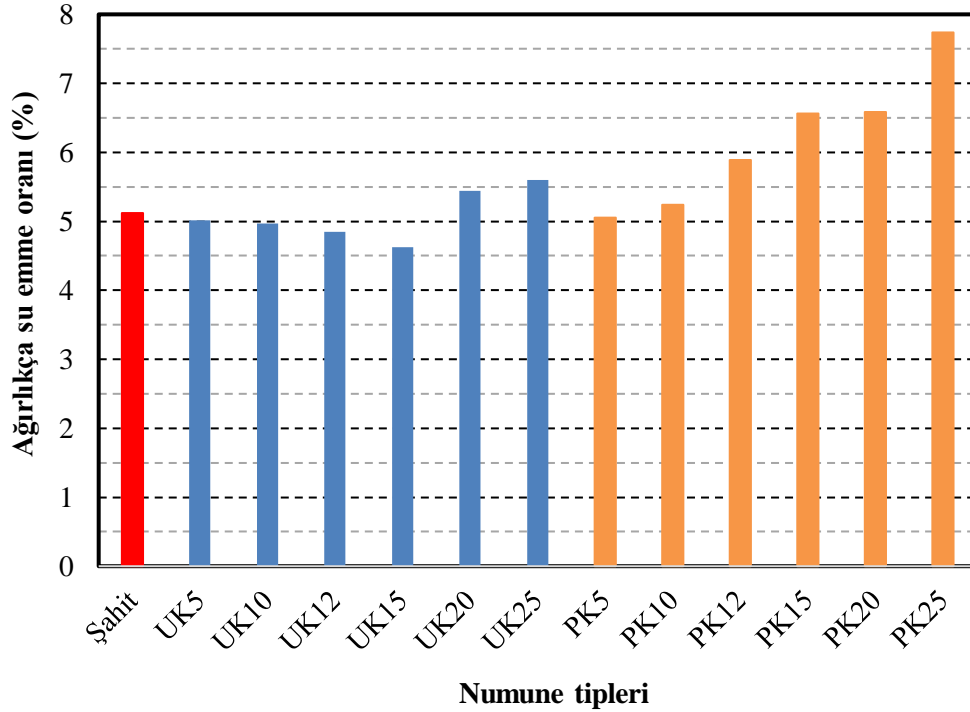
Şekil 4.5. Kılcal su emme deney sonuçları

Kılcal su emme deney sonuçlarına göre UK katkıli numuneler 0,0132 – 0,0212 g/cm<sup>2</sup>dk<sup>0.5</sup> değerleri arasında değişim gösterirken PK katkıli numuneler 0,0161 – 0,0674 g/cm<sup>2</sup>dk<sup>0.5</sup> arasında değişim göstermektedir. En yüksek kılcal su emme katsayısı 0,0674 g/cm<sup>2</sup>dk<sup>0.5</sup> değeri ile PK25 numunesidir. En küçük değer ise 0,0132 g/cm<sup>2</sup>dk<sup>0.5</sup> ile UK5 numunesidir. Şahit numunenin değeri ise 0,015 g/cm<sup>2</sup>dk<sup>0.5</sup> tir. UK5, UK10, UK12 ve UK15 numuneleri şahit numuneye yakın değerler gösterirken UK20 ve UK25 daha yüksek değerler göstermiştir. PK katkıli numunelerde katkı oranı arttıkça kılcal su emme katsayısı artmıştır. PK5-PK10-PK12-PK15 numuneleri şahit numuneye ve UK katkıli numunelere yakın değer gösterirken PK20 yüksek, PK25 daha yüksek bir değer göstermiştir. Kılcal su emme katsayısı harç numunelerinin kılcal boşluklarının çapı ile alakalı olduğu için UK ve PK yüzdeleri arttıkça kılcal boşlukların çapı azalıyor diyebiliriz.

Cheboub vd. (2020) yaptıkları çalışma da ezilmiş zeytin çekirdeği kullanmışlar ve ezilmiş zeytin çekirdeğinin kılcal su emme katsayısını artırdığını vurgulamışlardır. Bu çalışmada da PK katkı maddesi arttıkça kılcal su emme katsayısında artış görülmektedir.

#### 4.5. Ağırlıkça Su Emme Oranı Deney Sonuçları

Ağırlıkça su emme oranı deney sonuçları Şekil 4.6’da görülmektedir.

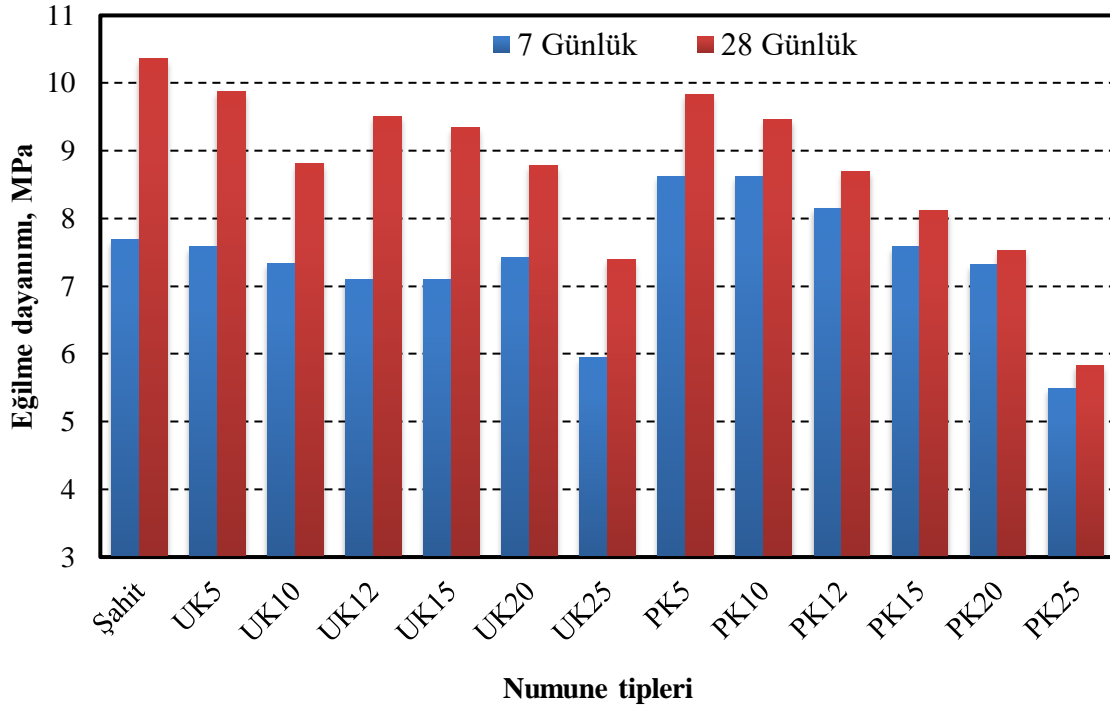


Şekil 4.6. Ağırlıkça su emme oranı (%) deney sonuçları

Yapılan deneyler sonucunda UK katkılı numunelerin ağırlıkça su emme oranları %4,62 – %5,60 arasında değişirken PK katkılı numunelerin %5,05 – %7,74 arasında değişmektedir. En yüksek ağırlıkça su emme oranı %7,74 olarak PK25 numunesinde görülmektedir. En düşük oran ise %4,67 ile UK15 numunesine aittir. Şahit numune ağırlıkça su emme oranı ise %5,12 değerindedir. UK katkılı numuneler genel anlamda aralarında ve şahit numuneye göre çok fazla farklılık göstermemektedir. PK katkılı numunelerde PK5 ve PK10 şahit numuneye yakın değer verirken diğerleri daha yüksek değer vermiştir. PK katkılı numunelerde PK oranı arttıkça ağırlıkça su emme oranları artmıştır. Su geçirgenliğinin ana nedeni beton içerisindeki boşluklar ve içerisinde bulunan mikro çatlaklardır. Bu nedenle özellikle yüksek oranlarda (%15 ve üzeri) UK katkılı numunelerin PK katkılı numunelere kıyasla daha az boşluk içerdiği ve daha az geçirimli olduğu söylenebilir. UK katkılı numunelerin geçirimliliği şahit numune ile benzerlik göstermektedir. %15 ve üzerindeki ikame oranlarında PK katkılı numunelerin şahit numuneden daha geçirgen olduğu söylenebilir.

#### 4.6. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

UK ve PK katkılı numunelerin eğilme dayanımı deney sonuçları Şekil 4.7’de görülmektedir.



Şekil 4.7. Eğilme dayanımı deney sonuçları

UK katkılı numunelerin 7 günlük eğilme dayanımları 5,95 – 7,58 MPa arasında değişirken 28 günlük eğilme dayanımları 7,40 – 9,88 MPa arasında değişmektedir. PK katkılı numunelerin ise 7 günlük eğilme dayanımları 5,49 – 8,62 MPa arasında değişirken 28 günlük eğilme dayanımları 5,83 – 9,84 MPa arasında değişmektedir. Şahit numune de ise 7 günlük ve 28 günlük dayanım sonuçlarında sırasıyla 7,68 – 10,36 MPa değerleri elde edilmiştir.

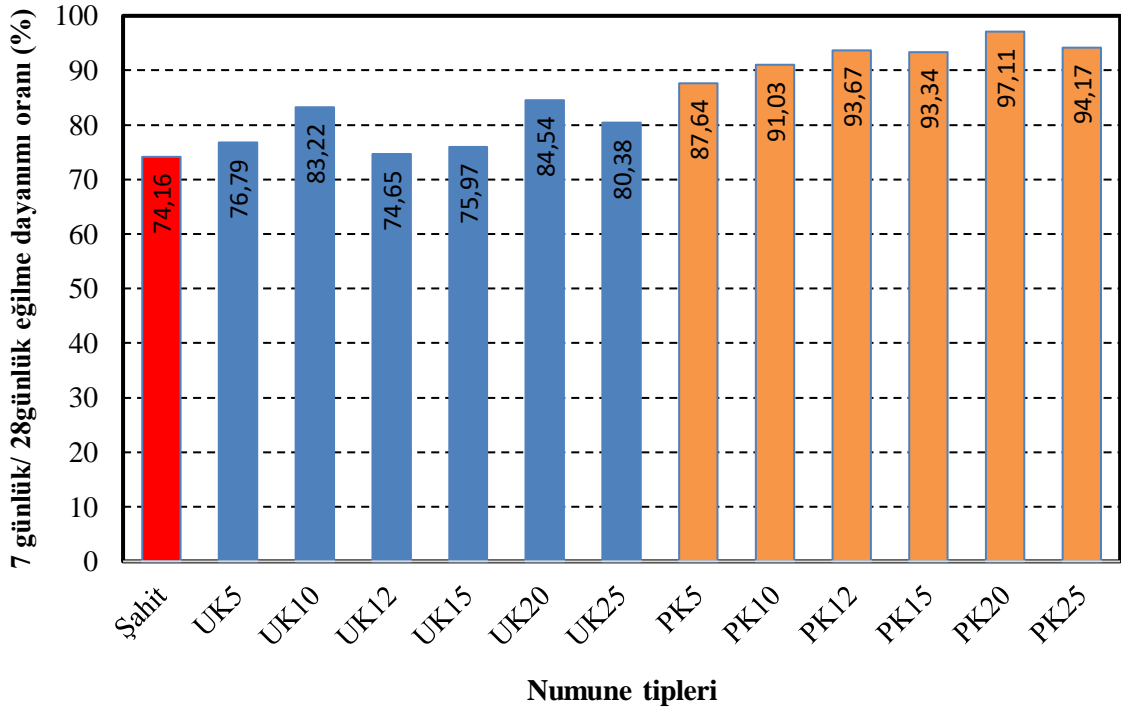
UK katkılı numunelerde en yüksek eğilme dayanımı sonucunu UK5 numunesi vermiştir. En küçük eğilme dayanımını ise UK25 numunesinde görülmektedir. UK12 ve UK15 numunelerinin eğilme dayanımı sonuçları birbirine yakın çıkmıştır. UK20’den sonra belirli bir dayanım düşüşü görülmektedir. UK5 – UK20 arası numuneler 7 günlük dayanım sonuçlarında şahit numuneden düşük ancak yakın değerler verirken 28 günlük dayanım

sonuçlarında ise şahit numuneden düşük sonuçlar vermişlerdir. Şahit numuneye en yakın değeri UK5 numunesi vermiştir.

PK katkılı numunelerde en yüksek değeri 7 günlük dayanım sonuçlarında PK5 ve PK10 verirken 28 günlük dayanımda ise PK5 numunesi vermiştir. En küçük eğilme dayanımı sonucu PK25 numunesinde görülmektedir. PK5 ve PK10 numuneleri 7 günlük dayanım sonucunda eşit sonuç verirken 28 günlük dayanım sonucunda PK5 daha yüksek sonuç vermiştir. PK katkılı numunelerde PK oranı arttıkça eğilme dayanımında düşüş görülmüştür. PK5 numunesi 7 günlük sonuçlarında şahit numunesinden daha yüksek eğilme dayanımı göstermiştir ancak 28 günlük dayanım sonucunda şahit numune eğilme dayanımı PK5 numunesinden daha yüksek dayanım göstermiştir.

PK ve UK numunelerini kendi aralarında kıyaslayacak olursak PK katkılı numuneler 7 günlük dayanım sonuçlarında UK katkılı numunelerden daha yüksek değer vermiştir. 28 günlük dayanım sonucunda ise UK katkılı numuneler daha yüksek değer vermiştir. Her iki katkılı numunelerde de %25 katkı oranı bulunan seriler en düşük eğilme dayanımı değerini göstermiştir. Her iki seride de ikame oranı arttıkça eğilme dayanımlarında düşüş gözlenmiştir.

Aşağıdaki Şekil 4.8’de üretilen harç numunelerinin 7 günlük eğilme dayanımlarının 28 günlük eğilme dayanımlarına oranı (%) gösterilmiştir.



Şekil 4.8. 7 günlük eğilme dayanımlarının 28 günlük eğilme dayanımlarına oranı (%)

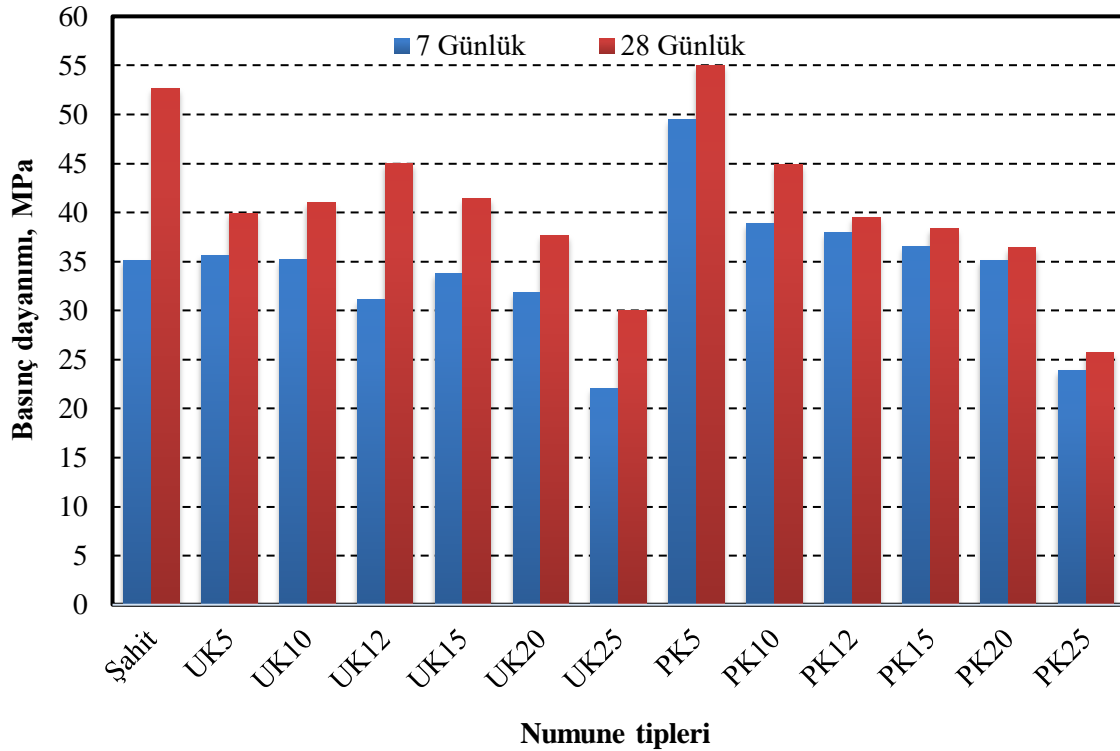
Şahit numunesinin 7 günlük eğilme dayanımı, 28 günlük eğilme dayanımının %74'ü kadardır. UK katkıli numunelerde, bu değer ortalama %79 iken PK katkıli numunelerde yaklaşık %92'si kadardır.

UK katkıli numunelerde, 7 günlük dayanımın 28 günlük dayanıma yüzdesi şahit numuneden daha yüksek çıkmıştır. UK katkıli numunelerde en yüksek değer %84 ile UK20 numunesinde görülürken en düşük değer %74 ile UK12 numunesinde görülmüştür.

PK katkıli numunelerde 7 günlük dayanımın 28 günlük dayanıma yüzdesi şahit numuneden daha yüksek çıkmıştır. PK numunelerin şahit numuneden daha kısa sürede dayanım gösterdiği ortaya çıkmıştır. PK katkıli numunelerde en yüksek değer %97 ile PK20 numunesinde görülürken en düşük değer %87 ile PK5 numunesinde görülmüştür. PK20 katkıli numunelerin bütün numunelerden çok daha kısa sürede eğilme dayanımı gösterdiği sonucuna varılmıştır.

#### 4.7. Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

UK ve PK katkıli harçların ve bunların kıyaslanacağı şahit numuneye ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları Şekil 4.9'da görülmektedir.



Şekil 4.9. Basınç dayanımı sonuçları

UK katkılı numunelerde 7 günlük basınç dayanımları 22,09 - 35,61 MPa arasında değişirken PK katkılı numunelerde 7 günlük basınç dayanımı 23,91 - 49,5 MPa arasında değişmektedir. 28 günlük sonuçlarda UK 29,99 – 44,94 MPa arasında dayanım gösterirken PK 25,76 – 55 MPa arasında dayanım göstermiştir. Şahit numune ise 7günlükte 35,08 MPa iken 28 günlük de 52,67 MPa dayanım göstermiştir.

UK katkılı numunelerde en yüksek dayanımı UK5 serisi gösterirken buna en yakın değer ise UK10 serisindedir. En küçük dayanım değerini ise UK25'te görmekteyiz. UK5 – UK20 arası numuneler 7 günlük dayanımlarda şahit numuneye yakın değerler verirken UK25 numunesi çok daha küçük bir değer vermiştir. 28 günlük dayanım sonuçlarında ise en yüksek değeri UK12 numunesinde görülmektedir. UK katkılı numuneler UK12 serisine kadar artış gösterirken UK12'den sonra dayanımlar giderek azalmıştır. Literatürde de buna benzer düşüşler görülmüştür (Biçer, 2018). Literatürdeki başka bir çalışma da ise uçucu külün özellikle 91 gün sonundaki dayanımın yüksek çıktığı vurgulanmıştır (Omran vd., 2018). Şahit numune ise 28 günlük dayanımında UK katkılı numunelerden daha yüksek bir değer göstermiştir.

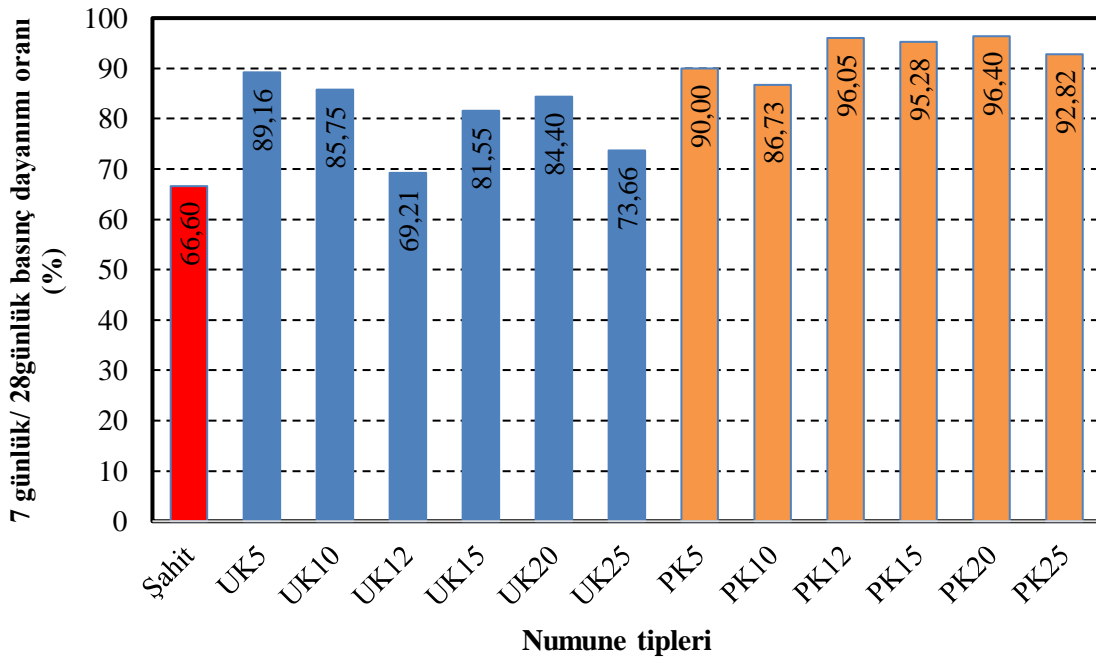
PK katkılı numunelerin 7 günlük dayanımlarında en yüksek değer PK5 numunesi 49,5 MPa, en düşük değer ise PK25 numunesinde 23,91 MPa olarak görülmektedir. PK katkılı numunelerde PK katkı oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. 28 günlük dayanımlarda ise en yüksek değer PK5 numunesi iken en düşük değer PK25 numunesidir. PK katkılı numunelerin 28 günlük dayanımları da PK katkı oranı arttıkça basınç dayanımı değeri azalmaktadır. PK katkılı numunelerin 7 günlük ve 28 günlük dayanımları arasında çok fazla bir artış gözlemlenmemektedir. PK katkılı numunelerden PK5 numunesi, şahit numunenin hem 7 günlük hem de 28 günlük basınç dayanımından daha yüksek basınç dayanımı vermiştir. PK10, PK12, PK15 ve PK20 numuneleri de 7 günlük dayanımında şahit numunenin üzerinde ancak şahit numuneye yakın bir değer göstermiştir.

PK katkılı numuneler, UK katkılı numunelerden 7 günlük ve 28 günlük dayanımlarda daha fazla dayanım göstermiştir. UK katkılı numunelerde en yüksek basınç dayanımı 44,98 MPa iken PK katkılı numunelerde en yüksek basınç dayanımı 55 MPa olmuştur. PK katkılı numuneler şahit ve UK katkılı numunelere kıyasla daha erken dayanım gösterdiği Şekil 4.8'deki sonuçlarda görülmektedir. PK katkılı numunelerin erken dayanım göstermesi priz sürelerinin daya kısa sürede tamamlandığı göstermektedir.

Alkheder vd. (2016) yaptıkları deneyde pirina külünün çimentoya eklenmesiyle basınç dayanımında düşüşlerin olduğunu belirtmişler, pirina külünün %12'den fazla artması ile düşüşün daha fazla olduğunu gözlemlemişlerdir. Bu çalışmada ise %5 pirina külünün yüksek basınç dayanımı verdiği ve artan pirina yüzdesi ile basınç dayanımının düştüğü gözlemlenmiştir.

Altınköprü (2010) yaptığı çalışmada pirinayı çimento klinkerine ekleyerek çalışma yapmış ve istenilen standartta basınç dayanımı elde edememişken bu çalışmada pirina külü kullanılmış ve istenilen basınç dayanımları elde edilmiştir.

Aşağıdaki şekil 4.10'da üretilen harç numunelerinin 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına oranı (%) gösterilmiştir.



Şekil 4.10. 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına oranı (%)

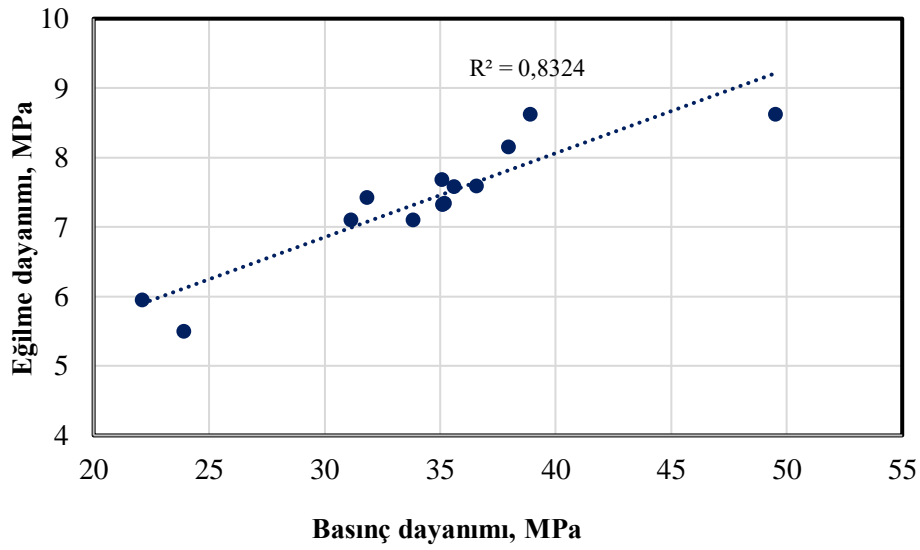
Şahit numunenin 7 günlük basınç dayanımı, 28 günlük basınç dayanımının %66'sı kadardır. UK katkılı harç numunelerinde ise 7 günlük basınç dayanımları, 28 günlük basınç dayanımlarının yaklaşık %80'i kadardır. PK katkılı harçlarda ise bu oran yaklaşık %93'ü kadardır.

UK katkılı harç numunelerinde UK katkı maddesi arttıkça 7 günlük dayanımın 28 günlük dayanıma yüzdesi azalmıştır. En yüksek yüzde UK5 numunesinde görülürken en düşük yüzde UK12 numunesinde görülmektedir.

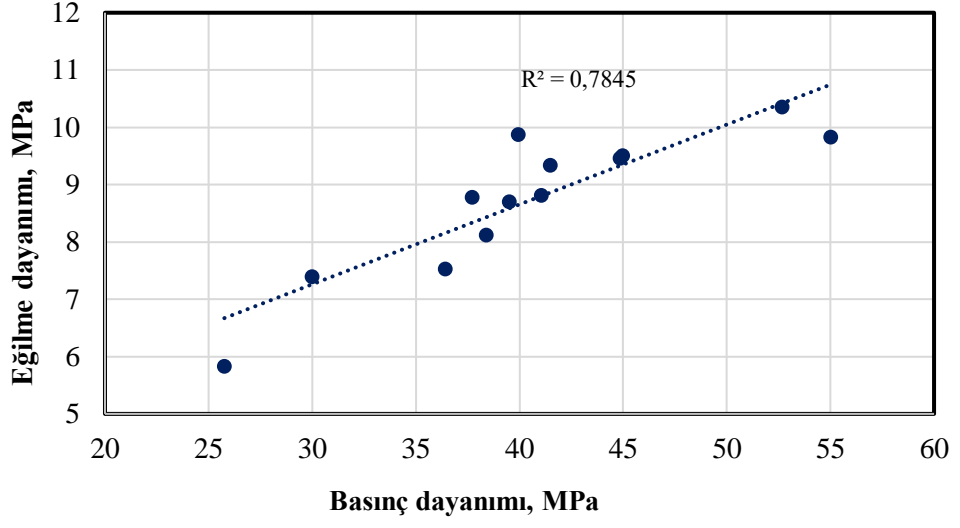
PK katkılı numunelerin 7 günlük basınç dayanımları, 28 günlük basınç dayanımlarının yaklaşık %93'ü kadardır. Bu sonuca göre; PK katkılı numunelerin erken dayanım gösterdiği ve priz sürelerini daha kısa sürede tamamladığı söylenebilir.

PK katkılı numunelerden PK20 numunesinin 7 günlük basınç dayanımı, 28 günlük basınç dayanımının %96'sı kadar olup bu değer numuneler arasındaki en yüksek değerdir. En düşük değeri ise şahit numunede görülmektedir.

Şekil 4.11 ve Şekil 4.12'de UK ve PK katkılı numunelerin 7 günlük ve 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 4.11. UK ve PK katkılı numunelerin 7 günlük eğilme dayanımı ve basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.12. UK ve PK katkıli numunelerin 28 günlük eğilme ve basınç dayanımları arasındaki ilişki

## 5. SONUÇ

Bu deneysel çalışma, tarımsal bir atık olan pirinanın külünün çimento yerine hacimce belirli oranlarda yer değiştirilerek üretilen numunelerin mühendislik özelliklerini araştırmak, çıkan sonuçları endüstriyel bir atık olan uçucu külün sonuçları ile karşılaştırmak amacıyla yapılmıştır. Yapılan çalışmada pirina külünün inşaat sektöründe kullanılabilmesi ve inşaat sektörüne katkı sağlaması hedeflenmiştir. Bu kapsamda üretilen harç numunelerine taze halde; taze harç birim hacim ağırlık ve yayılma tablası deneyleri yapılırken sertleşmiş halde; kuru birim hacim ağırlık, kılcal su emme, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve ağırlıkça su emme deneyleri yapılmıştır. Çıkan sonuçlar şahit harç numunesi, pirina külü katkılı harç numuneleri ve uçucu kül katkılı harç numuneleri sonuçları ile değerlendirilmiştir. Ayrıca pirina külü katkılı harçlar ve uçucu kül katkılı harçlar ikame oranlarına göre de yorumlanmıştır. Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar ve öneriler şu şekildedir:

Şahit numuneye kıyasla pirina külü ve uçucu kül katkılı harç numunelerinde yayılma değeri düşmüştür. Pirina külü ve uçucu kül oranı arttıkça üretilen numunelerin yayılma değerleri azalmış bazı karışım yüzdelerinde yayılma görülmemiştir. En yüksek yayılma değeri şahit numunede görülmüştür. Bu yüzden betona PK ve UK eklenmesi betonun kıvamını bir miktar azalttığı söylenebilir.

Ağırlıkça su emme oranı, şahit numunede yaklaşık %5,21 kadardır. UK eklenen numunelerde, ağırlıkça su emme oranı önce düşüş göstermiştir. Daha sonra UK yüzdesi artınca yaklaşık %5,9'a çıkmıştır. PK katkılı numunelerde ise ağırlıkça su emme oranı şahit numuneden daha fazla çıkmıştır. PK katkı yüzdesi arttıkça ağırlıkça su emme oranı yüzdesi de artmıştır.

Kılcal su emme katsayısı, UK ve PK katkı maddeleri eklenince artış göstermiştir. UK ve PK katkı yüzdeleri arttıkça kılcal su emme katsayısı da artmaya devam etmiştir. PK katkılı numunelerin kılcal su emme katsayısı, UK katkılı numunelerin kılcal su emme katsayısından daha yüksek çıkmıştır.

Numunelerin kuru birim hacim ağırlığı UK ve PK eklenmesi ile düşmeye başlamıştır. UK ve PK katkı yüzdeleri düşük değerlerde iken numunelerin kuru birim hacim ağırlık değerleri şahit numuneye yakın sonuçlar vermiştir. Katkı yüzdeleri arttıkça kuru birim hacim ağırlık değerleri düşmeye devam etmiştir. En düşük kuru birim hacim ağırlık değeri PK katkılı numunelerde görülmüştür.

Eğilme dayanımı sonuçlarına göre en yüksek eğilme dayanımı 7 günlük numunelerde PK5 ve PK10 numunelerinde, 28 günlük numunelerde ise şahit numunede elde edilmiştir. PK

katkılı harç numunelerinin eğilme dayanımları UK katkıli harç numunelerinkinden fazla çıkmıştır. PK katkıli numuneler 28 günlük dayanımlarının ortalama %92'sini 7 günde tamamlarken UK katkıli numuneler %79'unu 7 günde tamamlamıştır.

Yapılan deneyler sonucunda pirina külünün çimento yerine hacimce %5 oranında ikame edildiğinde şahit numuneden fazla basınç dayanımı verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca pirina külü katkıli harçların hem şahit numuneye hem de UK katkıli numunelere göre daha yüksek erken dayanım kazandıkları 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanımları arasındaki orandan da ortaya çıkmıştır. Ayrıca %10 ve %12 oranında pirina külü eklenerek elde edilen harç numunelerinin de şahit numuneye yakın sonuçlar vermesi bu oranlara kadar pirina külü katkıli betonlarının üretilebileceğini göstermiştir. Bu sonuçlar pirina külünün çimento ile karıştırılarak harç ve betonda kullanılabilirliğini göstermiştir. Uçucu kül ve pirina külü katkıli harçların basınç dayanımları kıyaslanırsa pirina külü katkıli harçların uçucu kül katkıli harçlardan daha fazla dayanım gösterdiği deney sonuçlarında gözlemlenmiştir.

Bundan sonraki çalışmalarda pirina külü katkıli harç ve betonların durabilite özelliklerinin incelenmesi önerilebilir. Pirina külü katkıli harçların erken dayanım kazanması detaylı şekilde incelenerek, erken dayanım kazanan harç üretimi ayrı bir çalışma konusu olabilir. Pirinanın hafif agrega olarak kullanılmasının araştırılması ve diğer agregalarla kıyaslanması da önerilebilir.

## KAYNAKLAR

- Akın, S., 2005. Biyokütle Olarak Pirininin Yakıt Olarak Kullanılması, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi Bildiriler Kitabı*.  
[https://www.emo.org.tr/ekler/17c99c4861918e5\\_ek.pdf](https://www.emo.org.tr/ekler/17c99c4861918e5_ek.pdf) (Erişim Tarihi: 28.06.2021)
- Akın, S.Ş., Magalhaes, D., Kazanç, F., 2020. A study on the effects of various combustion parameters on the mineral composition of Tunçbilek fly ash. *Fuel*, 275, 117881.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117881>.
- Al-Akhras, N.M., Al-Akhras, K.M., Attom, M.F., 2009. Performance of olive waste ash concrete exposed to elevated temperatures. *Fire Safety Journal*, 44(3), 370-375.
- Alıthawı, M., 2021. Farklı Karışım Yöntemleri İle Kullanılan F Tipi Uçucu Külünün Çimento Harcının Bazı Özelliklerine Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, Türkiye.
- Alkheder, S., Obaidat, Y.T., Taamneh, M., 2016. Effect of olive waste (Husk) on behavior of cement paste. *Case Studies in Construction Materials*, 5, 19-25.
- Altınköprü, N., 2010. Bor Endüstri Atıkları Ve Pirina Atıklarının Çimento Üretiminde Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya, Türkiye.
- Arezki, S., Chelouah, N., Tahakourt, A., 2016. The effect of the addition of ground olive stones on the physical and mechanical properties of clay bricks. *Materiales Construcción*. 66(322), e082. <https://doi.org/10.3989/mc.2016.00815>.
- Baba, A., Kaya, A., 2004. Leaching Characteristics of Fly Ash from Thermal Power Plants of Soma and Tunçbilek, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 91, 17-181.
- Barreca, F., Fichera, C., 2013. Use of olive stone as an additive in cement lime mortar to improve thermal insulation. *Energy and Buildings*, 62, 507-513.
- Başıyigit, C., Akkaş, A., Uyar, E., Kurtarıcı, M.N., 2011. Zeytin posası katkılı hafif betonların özellikleri ve tarımsal yapılarda kullanım olanakları. 2. *Uluslararası Odun Dışı Orman Ürünleri Sempozyumu*, Isparta, 178-182.
- Bicer, A., 2018. Effect of fly ash particle size on thermal and mechanical properties of fly ash-cement composites. *Thermal Science and Engineering Progress*, 8, 78-82.
- Bilgili, M.Y., 2020. Katı Atık Yönetiminde Kullanılan Bazı Kavramlar ve Açıklamaları. *Avrasya Terim Dergisi*, 8 (2), 88-97.

- Bozdoğan, D., 2002. Hatay'da Üretilen Natürel Zeytin Yağlarının Bazı Fiziksel, Kimyasal Ve Duyusal Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya, Türkiye.
- Casa, J.A., Castro, E., 2014. Recycling of washed olive pomace ash for fired clay brick manufacturing. *Construction and Building Materials*, 61, 320-326.
- Cheboub, T., Senhadji, Y., Khelafi, H., Escadeillas, G., 2020. Investigation of the engineering properties of environmentally-friendly self-compacting lightweight mortar containing olive kernel shells as aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 2, 119406. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119406>.
- Cuenca, J., Rodriguez, J., Morales, M.M., Roldan, Z.S., Zamorano, M., 2013. Effects of olive residue biomass fly as filler in self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 40, 702-709
- Elahi, T.E., Shahriar, A.R., Islam, M.S., 2021. Engineering characteristics of compressed earth blocks stabilized with cement and fly ash. *Construction and Building Materials*, 277, 122367. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122367>.
- Filya, İ., Hanoğlu, H., Canbolat, Ö., Sucu, E., 2006. Kurutulmuş Pirinanın Yem Değeri ve Kuzu Besisinde Kullanılma Olanakları Üzerinde Araştırmalar 2. Kuzuların Besi Performansı Üzerine Etkileri. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 20(1), 13-23.
- Göğüş, F., Özkaya, M.T., Ötleş, S., 2009. *Zeytinyağı*, Eflatun Yayınevi, Ankara, 187 s.
- Görel Ö., Doymaz İ., Akgün N., 2003. Zeytinyağı Fabrikası Atıklarının Enerji Amaçlı Kullanımı, *II. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, İzmir, 380-386.
- Gündüzalp, A.A., Güven, S., 2016. Atık, Çeşitleri, Atık Yönetimi, Geri Dönüşüm ve Tüketici: Çankaya Belediyesi ve Semt Tüketicileri Örneği. *Hacettepe Üniversitesi Sosyolojik Araştırmalar e-Dergisi*, 2-15.
- Hepsağ, F., Kaya, R., 2018. Natürel Zeytin Üretim Aşamalarının Aroma Bileşenleri Üzerine Etkileri. *Yaşam Bilimleri Dergisi*, 8, (1/2), 47-58.
- Hocaoğlu, S.M., Haksevenler, B.H., Aydöner, C., Baştürk, İ., Talazan, P., Günay, A., Budak, T. 2015. *Zeytin Sektörü Atıklarının Yönetimi*, Tübitak Mam Matbaası. Kocaeli, 63 s.
- İssi, 2019. Zeytin Posası (Pirina)'nın Bitüm ve Bitümlü Sıcak Karışımların Özelliklerine Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Malata, Türkiye.

- Karaca, C., Bozođlu, B., Polat, O., 2015. Hatay İli Pirina Atık Miktarının ve Enerji Potansiyelinin Haritalanması. *Uludağ Üniversitesi Ziraat Fakóltesi Dergisi*,29(2), 55-60.
- Kaya, M., 2016. Farklı Tür Uçucu Kúller Kullanılarak Üretilen Alkali Aktive Edilmiş Harçların Mekanik Ve Durabilite Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya, Türkiye.
- Kıcı, G.Ö., 2019. Pirinanın Bitüm Modifikasyonunda Kullanımının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye.
- Kılıç, M.Y., 2011. Zeytin Karasuyunun İleri Arıtma Yöntemleri ile Ekonomik Arıtılabilirliğin Araştırılması, Doktora Tezi. Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa, Türkiye.
- Kızılcám, G., 2020. Türkiye’de Atık Yönetimi Uygulamaları ve Atıklardan Enerji Üretimi (Kocaeli-İzaydaş Örneği), Yüksek Lisans Tezi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Bilecik, Türkiye.
- Mahadevan, J., Kuriakose, N.M., Kannan, G.A., Suryaa, N.D., Sathyan, D., Mini, K., 2021. Rheological and strength properties of fly ash incorporated rapid hardening cement mix. *Materialstoday Proceedings*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320379268> (Erişim Tarihi: 28.06.2021)
- Nagrockienė, D., Rutkauskas, A., 2019. The effect of fly ash additive on the resistance of concrete to alkali silica . *Construction and Building Materials*, 201, 599-609.
- Nguyen, T.B., Sugiyama, T., Chatchawan, R., 2019. Influences of different types of fly ash and confinement on performances of expansive mortars and concretes. *Construction and Building Materials*, 209, 176-186.
- Omran, A., Soliman, N., Xie, A., Davidenko, T., Tagnit-Hamou, A., 2018. Field trials with concrete incorporating biomass-fly ash. *Construction and Building Materials*, 186, 660-669.
- Ondova, M., Stevulova, N., Estokova, A., 2012. The Study of the Properties of Fly Ash Based Concrete Composites with Various Chemical Admixtures. *Procedia Engineering*, 42, 1863-1872.
- Özcan, Z.A., 2020. Alkalilerle Aktive Edilmiş Yüksek Fırın Curufu ve Uçucu Kül Tabanlı Harçların Özellikleri, Doktora Tezi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri, Türkiye.

- Öztimur, B., 2020. *Zeytinyağı Sektör Raporu*. Torbalı Ticaret Odası, İzmir.
- Quesada, D.E., Costa, J.L., 2016. Use of bottom ash from olive pomace combustion in the production of eco-friendly fired clay bricks. *Waste Management*, 48, 323-333.
- Sevim, U.K., Bilgic, H.H., Cansız, Ö.F., Ozturk, M., Atis, C.D., 2021. Compressive strength prediction models for cementitious composites with fly ash using machine learning techniques. *Construction and Building Materials*, 271, 121584. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121584>
- Tangüler, M., Meral, Ç., Gursel, A., 2014. Merging Mechanical and Environmental Performance of Turkish Fly Ash-Portland Cement Mortars, *In 11th International Congress on Adv. in Civil Engineering*. [https://www.researchgate.net/publication/267212910\\_Merging\\_Mechanical\\_and\\_Environmental\\_Performance\\_of\\_Turkish\\_Fly\\_Ash-Portland\\_Cement\\_Mortars](https://www.researchgate.net/publication/267212910_Merging_Mechanical_and_Environmental_Performance_of_Turkish_Fly_Ash-Portland_Cement_Mortars) (Erişim Tarihi: 28.06.2021)
- Tangüler, M., Gürsel, D.P., Meral, Y.D., 2015. Türkiye’de Uçucu Küllü Betonlar İçin Yaşam Döngüsü, 9. *Ulusal Beton Kongresi*, Antalya, 431-441.
- TSE, 2000a. *Kagir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 3: Taze Harç Kıvamının Tayini (Yayılma tablası ile)*. TS EN 1015-3, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2000b. *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 6 : Taze Harcın Boşluklu Birim Hacim Kütlelerinin Tayini*. TS EN 1015-6, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2001. *Kâgir Harcı - Deney Metotları - Bölüm 10: Sertleşmiş Harcın Boşluklu Kuru Birim Hacim Kütlelerinin Tayini*. TS EN 1015-10, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2010. *Katı biyoyakıtlar - Kül muhtevasının tayini*. TS EN 14775, Türk Standart Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2012a. *Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri*. TS EN 197-1, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2012b. *Kagir Birimler - Deney Metotları - Bölüm 11: Betondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kagir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kagir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini*. TS EN 772-11, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- TSE, 2016. *Çimento Deney Metotları - Bölüm 1: Dayanım*. TS EN 196-1, Türk Standartlar Enstitüsü, Ankara, Türkiye.
- Türker, P., Erdoğan, B., Katnaş, F., Yeğınobalı, A., 2009. Türkiye'deki Uçucu Küllerin Sınıflandırılması ve Özellikleri. <http://www.arescimento.com.tr/wp->

- content/uploads/2017/05/TÜRKİYE-DEKİ-UÇUCU-KÜLLERİN-SINIFLANDIRILMASI-ve-ÖZELLİKLERİ.pdf (Erişim Tarihi: 28.06.2021)
- URL-1, 2021 *Israel Food Tours*. <http://savorisrael.blogspot.com/2011/01/olive-harvest-update-olive-waste.html> (Erişim Tarihi: 08.03.2021)
- URL-2, 2021. *Mak-elsan*. <https://mak-elsan.com/urunler/pirina-kurutma-tesisi> (Erişim Tarihi: 27.06.2021)
- URL-3, 2021, *Göлтаş*. <https://www.goltas.com.tr/files/urunlerimiz/dgjrapsb6jsoc0c0kg.pdf> (Erişim Tarihi: 08.03.2021)
- Yegin, Y., 2020. Isparta Gölcük Yöresi Volkanik Külünden Üretilen Geopolimer Betonun Özelliklerinin Fabrika Atıkları ve Nano Malzemeler ile İyileştirilmesi, Doktora Tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum, Türkiye.
- Yener, E., Yadollahi, M.M., 2013. The Effect of Olive Pomace on Asphalt Binder Properties, *International Conference on Civil Engineering Architecture and Urban Sustainable Development*.  
[https://www.researchgate.net/publication/267763154\\_The\\_Effect\\_of\\_Olive\\_Pomace\\_on\\_Aspalt\\_Binder\\_Properties](https://www.researchgate.net/publication/267763154_The_Effect_of_Olive_Pomace_on_Aspalt_Binder_Properties) (Erişim Tarihi: 28.06.2021)
- Yılmaz, H., 2015. Characterization and comparison of leaching behaviors of fly ash samples from three different power plants in Turkey. *Fuel Processing Technology*, 137, 240-249.