

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AHŞAP ATIK OLARAK ODUN PELETİNİN BETON
MALZEMEDE KULLANIMININ DENEYSEL
ÇALIŞMALARLA İNCELENMESİ

BAŞAK AKÇAY

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. CAHİDE AYDIN İPEKÇİ

ŞUBAT 2024

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

AHŞAP ATIK OLARAK ODUN PELETİNİN
BETON MALZEMEDE KULLANIMININ
DENEYSEL ÇALIŞMALARLA İNCELENMESİ

BAŞAK AKÇAY

YÜKSEK LİSANS
MİMARLIK ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: DOÇ.DR. CAHİDE AYDIN İPEKÇİ

ŞUBAT 2024

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF THE USE OF WOOD PELLET AS
WOOD WASTE IN CONCRETE MATERIAL THROUGH
EXPERIMENTAL STUDIES**

BAŞAK AKÇAY

**A THESIS OF MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

ADVISOR: ASSOC. PROF.DR. CAHİDE AYDIN İPEKÇİ

FEBRUARY 2024

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 12/02/2024 tarih ve 2024/13 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 29/02/2024 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Başak AKÇAY'ın tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Doç. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ

ÜYE

: Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR



*Aileme
ve
biricik kızına*

ÖZET

Ham maddesi canlı bir organizma olan ahşap, geçmişten günümüze dek süre gelen en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip yapı malzemelerindendir. Ahşabın en önemli avantajlarından biri geri dönüştürülebilir olmasıdır. Fakat ahşabın yeniden kullanımı ve geri dönüşümü için yapılan uygulamaların yetersiz olması, doğal çevreye duyulan ihtiyacın her geçen gün artmasına sebep olmaktadır. Ahşabın kontrollü ve planlı bir şekilde geri kazanımı ham maddeye olan ihtiyacı azaltacaktır.

Yapı sektöründe yoğun olarak kullanılan diğer bir malzeme olan betonun endüstriyel ahşap atıklar ve ağaç atıkları ile kullanımı sıklıkla karşımıza çıkmaktadır. Ahşap atıklardan biri olan ve çoğunlukla enerji eldesinde kullanılan odun peletine ilişkin literatürde çeşitli çalışmalar bulunsa da doğrudan beton veya başka bir yapı malzemesi ile kullanımına yönelik herhangi bir çalışmanın yer almadığı, sadece odun peleti külünün hafif beton üretiminde kullanıldığına dair çalışmaların olduğu görülmüştür. Yapı sektöründe teknik ve teknolojik gereksinimleri standartlar ile tanımlanan ahşap-beton ürünlerin varlığı odun peletinin de beton malzemede katkı olarak kullanılabileceği öngörüsünü oluşturan çalışmalardır. Bu bağlamda farklı bir atık türü olarak odun peletinin beton malzemede yer alabilirliğinin araştırılması konunun önemini oluşturmaktadır.

Hafif beton üretiminde odun peletinin doğal agrega ikamesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile planlanan bu tez çalışması literatür taraması ve deneysel çalışma yöntemlerine dayalı gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda deneysel çalışmada katkısız ve odun peleti katkılı (%3, %5 ve %7) beton numuneler üretilmiş ve bu dört seri üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Taze betonda çökme ve yoğunluk, sertleşmiş betonda yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme, kılcal su emme, ağırlık ve boy değişimi, basınç ve eğilme dayanımı, Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı, porozite, kompasite ve yangın dayanımı özellikleri araştırılmıştır.

Deney sonuçlarına göre; odun peleti katkısının artması ile taze betonun çökme değerinin de arttığı, taze ve sertleşmiş betonlarda ise odun peleti katkılı tüm serilerde yoğunluğun azaldığı ve en düşük yoğunluk değerinin odun peleti katkısının en fazla olduğu %7'lik seride olduğu görülmüştür. Ağırlıkça, hacimce ve kılcal su emme, porozite, yangın dayanımı değerlerinin odun peleti katkısı ile arttığı, ağırlık ve boy değişimi, eğilme ve basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı ve kompasite değerlerinin ise azaldığı tespit edilmiştir.

Sonuç olarak farklı potansiyellere sahip odun peletinin elde edilmesinin kolay olduğu, yakılarak yok etmek yerine iç mekanlarda taşıyıcı özellik aranmayan hafif beton üretiminde kullanımının mümkün olabileceği ortaya konulmuştur. Bu bağlamda tez çalışması doğal kaynakların daha az tüketilmesi, atıkların oluşturacağı çevresel etkilerin azaltılması, ahşap atıkların hafif yapı malzemesi ve elemanı üretiminde değerlendirilmesi ile ilgili araştırmalara kaynak oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ahşap Atık, Odun Peleti, Geri Kazanım, Beton, Yapı Malzemesi

ABSTRACT

Wood, whose raw material is a living organism, is one of the oldest and most widely used building materials from past to the present. One of the most important advantages of wood is that it is recyclable. However, inadequate practices for the reuse and recycling of wood cause the need for the natural environment to increase day by day. Controlled and planned recycling of wood will reduce the need for raw materials.

Concrete, which is another material used extensively in the construction sector, is frequently used with industrial wood wastes and wood residues. Although there are various studies in the literature on wood pellet, which is one of the wood wastes and is mostly used in energy production, it has been observed that there are no studies on the use of wood pellet ash directly with concrete or another building materials, only studies on the use of wood pellet ash in lightweight concrete production. The existence of wood-concrete products whose technical and technological requirements are defined by standards in the construction sector are the studies that create the prediction that wood pellet can be used as an additive in concrete material. In this context, investigating the possibility of using wood pellet as a different type of waste in concrete material constitutes the importance of the subject.

This thesis study, which was planned to investigate the use of wood pellet as a natural aggregate substitute in lightweight concrete production, was carried out based on literature review and experimental study methods. In this context, in the experimental study, concrete samples without additive and with wood pellet additive (3%, 5% and 7%) were produced and physical and mechanical tests were carried out on these four series. Slump and density properties of fresh concrete, density, water absorption by weight and volume, capillary water absorption, weight and length change, compressive and flexural strength, Schmidt hammer test, ultrasonic transmission rate, porosity, compactness and fire resistance properties of hardened concrete were investigated.

According to the test results, it was observed that the slump value of fresh concrete increased with the increase in wood pellet additive, the density of fresh and hardened concretes decreased in all series with wood pellet additive and the lowest density value was observed in the 7% series with the highest wood pellet additive. It was found that weight, volume and capillary water absorption, porosity, fire resistance values increased with wood pellet additive, while weight and length change, flexural and compressive strength, ultrasonic transmission rate and compatibility values decreased.

As a result, it has been revealed that wood pellet with different potentials is easy to obtain and it can be used in the production of lightweight concrete which does not require load-bearing properties in interior spaces instead of destroying it by burning. In this context, this thesis study will be a source for researches on less consumption of natural resources, reduction of environmental impacts caused by wastes, and utilisation of wood wastes in the production of lightweight building materials and elements.

Keywords: Wood Waste, Wood Pellet, Recovery, Concrete, Building Material

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın danışmanlığını yapan ve bu uzun sürecin her aşamasında değerli zamanını ayırarak her türlü bilgi ve deneyimlerini aktaran çok değerli hocam Doç. Dr. Cahide AYDIN İPEKÇİ' ye,
Tez jüri üyeliğini kabul ederek, bütün değerli görüşlerini sunarak destek olan hocalarım Doç. Dr. Saniye KARAMAN ÖZTAŞ ve Doç. Dr. Dilek EKŞİ AKBULUT'a,
Deneyisel çalışmalarım sürecince her zaman yardımcı olan Gebze Teknik Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda görevli Teknisyen Mehmet YİĞİT' e ve
İstanbul Aydın Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Laboratuvarı'nda görevli Denetçi Mühendis Pınar YILDIRIM' a,
Çalışmalarımda yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşım ve meslektaşım Yüksek Mimar Ezgi UYAR SUN' a,
Deneyisel çalışmada kullanılan odun peleti teminini sağlayan Sebioenergy firmasına, Çimento teminini sağlayan OYAK-Aslan Çimento firmasından Ender DERİN' e,
Agregaların temini ve hazırlığı aşamalarında yardımcı olan Mesut YILMAZ' a,
Yüksek Lisans eğitimine başlamam ve devam etmem konusunda beni yönlendiren sevgili teyzem Prof. Dr. Meltem AYDIN ve sevgili amcam Öğr. Gör. Lokman AYDIN' a,
Gösterdiği sabır ve sağladığı destek için başta canım annem Sevinç AKÇAY' a, maddi ve manevi bakımdan desteğini eksik etmeyen kıymetli babam Cemil AKÇAY' a ve sevgili eşim Caner AKÇAY başta olmak üzere tüm aileme,
Tez sürecimde çalışmalarım dolayısıyla zaman zaman kendisini ihmal etmeme rağmen bana gösterdiği sabır ve verdiği enerji için biricik kızım Asel Nil AKÇAY' a sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. AHŞAP ATIKLAR VE KULLANIM ALANLARI	4
2.1. Ahşap Atıkların Geri Kazanım Yöntemleri	6
2.2. Ahşap Atıkların Betonda Kullanımı	11
2.3. Odun Peleti	21
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	26
3.1. Kullanılan Malzemeler ve Numune Üretimi	30
3.2. Ön Deneyler	31
3.2.1. Elek Analizi	32
3.2.2. Su Emme Deneyi	33
3.3. Taze Beton Deneyleri	34
3.3.1. Çökme (Slump) Deneyi	34
3.3.2. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle) Deneyi	35
3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri	36
3.4.1. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle) Deneyi	36
3.4.2. Boy Değişimi Ölçümleri	37
3.4.3. Ağırlık Değişimi Ölçümleri	38
3.4.4. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi	38
3.4.5. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi	40
3.4.6. Porozite ve Kompasite	41
3.4.7. Ultrases Geçiş Hızı	42
3.4.8. Organik Madde Muhtevası Tayini	43
3.4.9. Eğilme Dayanımı Deneyi	44
3.4.10. Basınç Dayanımı Deneyi	45
3.4.11. Schmidt Çekici Deneyi	46
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	48
4.1. Taze Beton Özelliklerinin Değerlendirilmesi	48
4.1.1. Çökme (Slump)	48
4.1.2. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle)	49
4.2. Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Değerlendirilmesi	49
4.2.1. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle)	50
4.2.2. Boy Değişimi	51
4.2.3. Ağırlık Değişimi	51

4.2.4. Kılcal (Kapiler) Su Emme	52
4.2.5. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme	54
4.2.6. Porozite ve Komposite	55
4.2.7. Ultrases Geçiş Hızı	55
4.2.8. Organik Madde Muhtevası	56
4.2.9. Eğilme Dayanımı	57
4.2.10. Basınç Dayanımı	58
4.2.11. Schmidt Çekici	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	69
TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR	70
EKLER	71



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

a_s	: Ağırlıkça su emme (%)
A	: Yüzey alanı
%a	: Ağırlık değişim oranı
D	: Yoğunluk (kg/m^3)
d_1	: Prizmanın yük uygulanan yüzey genişliği (mm)
d_2	: Prizmanın yük uygulanan yüzey yüksekliği (mm)
ϵ_r	: Boy değişim oranı
F	: Numuneye uygulanan yük
g	: Gram
f_c	: Basınç dayanımı
f_e	: Eğilme dayanımı
f_k	: Kırma yükü (KN)
h	: Yükseklik
h_s	: Hacimce su emme (%)
k	: Kompasite (%)
K	: Kapilarite katsayısı
Km/s	: Kilometre/saniye
m_a	: Numunenin havadaki kütlesi
m_w	: Numunenin su içindeki kütlesi
m_1	: Boş kalıp ağırlığı (kg)
m_2	: Yaş beton dolu ağırlığı (kg)
l	: Mesnetler arası mesafe
p	: Porozite (%)
p_w	: Suyun yoğunluğu
t	: Süre
v	: Hacim
V_b	: Numunenin boşluklu hacmi
V_d	: Numunenin dolu hacmi
V_t	: Numunenin toplam hacmi
Q	: Su emme miktarı
Δl	: Boy değişim oranı
Δm	: Kütle artışı
Δw	: Ağırlık farkı
W	: Kütle farkı
W_i	: Etüv öncesi ağırlık
W_s	: Etüv sonrası ağırlık
W_0	: Etüv kurusu (ilk ağırlık)
W_{sh}	: Suya doymun havadaki ağırlık
W_{ss}	: Suya doymun sudaki ağırlık
AB27	: Avrupa Birliği 27 Ülkeleri
ACI	: The American Concrete Institute
ASTM	: American Society for Testing and Materials
DIN	: Deutsches Institut für Normung
EPC	: European Pellet Council
GOST	: Russian Gost
ISO	: International Organization for Standardization
LC	: Light Concrete

MIP	: Mercury Intrusion Porosimetry
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
OGM	: Orman Genel Müdürlüğü
RILEM	: Reunion International des Laboratoires et Experts des Materiaux
SEM	: Scanning Electron Microscopy
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
UCS	: Uniaxial Compressive Strength
UPV	: Ultrasonic Pulse Velocity



ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Ahşap atık süreci ve çevresel etkileri şeması.	4
Şekil 2.2: a) Ahşap atık, b) Talaş, c) Ağaç kabukları.	5
Şekil 2.3: a) OSB, b) MDF, c) Kontrplak.	5
Şekil 2.4: Odun peleti.	6
Şekil 2.5: a) Ahşap panel, b) Ahşap plastik kompozit	8
Şekil 2.6: a) Palet sehpa, b) Sandalye.	8
Şekil 2.7: a) Arbolit blok örneği, b) Arbolit duvar uygulaması.	18
Şekil 2.8: İçi boşluklu talaş-agrega bloklar.	19
Şekil 2.9: a) Isı yalıtımlı blok, b) Isı yalıtımsız blok.	20
Şekil 2.10: a) Timbercrete-kereste betonu, b) Yapıda uygulanması.	20
Şekil 2.11: Odun peleti.	21
Şekil 2.12: Pelet çeşitleri.	22
Şekil 2.13: 2021/2022 yılında Dünya’da odun peleti oranları.	22
Şekil 3.1: İş Akış Şeması.	29
Şekil 3.2: Agreganın (çakıl) granülometri eğrisi.	32
Şekil 3.3: Agregada (çakıl) su emme deney düzeneği.	33
Şekil 3.4: Odun peleti su emme deney düzeneği.	34
Şekil 3.5: Çökme deney düzeneği.	34
Şekil 3.6: Çökme farkının ölçülmesi.	35
Şekil 3.7: Taze betonda yoğunluk değeri ölçümleri.	35
Şekil 3.8: Taze betonda yoğunluk değeri ölçümleri.	36
Şekil 3.9: Boy değişim oranı ölçümleri.	37
Şekil 3.10: Ağırlık değişim oranı ölçümleri.	38
Şekil 3.11: Kılcal su emme (kapiler) deneyi düzeneği.	39
Şekil 3.12: Ağırlıkça ve hacimce su emme deney düzeneği.	40
Şekil 3.13: Ultrases geçiş hızı ölçüm deneyi.	42
Şekil 3.14: Organik madde muhtevası tayini.	44
Şekil 3.15: Eğilme dayanımı deneyi.	44
Şekil 3.16: Deney numunesini yükleme düzeneği (orta noktadan yükleme).	45
Şekil 3.17: Basınç dayanımı deney düzeneği.	45
Şekil 3.18: Küp numunelerin kabul edilebilir kırılma şekilleri.	46
Şekil 3.19: a) Schmidt çekici, b) deney düzeneği.	46
Şekil 3.20: Schmidt çekici kesiti.	47
Şekil 4.1: Taze beton numunelerde çökme değerleri.	48
Şekil 4.2: Taze beton numunelerde yoğunluk değerleri.	49
Şekil 4.3: Suyu doymuş beton numunelerde yoğunluk değerleri.	50
Şekil 4.4: Sertleşmiş betonda etüv kurusu numune yoğunluk değerleri.	50
Şekil 4.5: Boy değişimi- zaman ilişkisi (ϵ -t).	51
Şekil 4.6: Ağırlık değişimi – zamana ilişkisi.	52
Şekil 4.7: Kılcal su emmenin zamana bağlı değişimi ($Q/F-\sqrt{t}$ ilişkisi).	53
Şekil 4.8: Beton numunelerde kapilarite değerleri.	53
Şekil 4.9: Beton numunelerde ağırlıkça-hacimce su emme.	54

Şekil 4.10: Beton numunelerde porozite ve kompasite değerleri.	55
Şekil 4.11: Suyu doygun ve etüv kurusu beton numunelerde ultrases geçiş hızı.	56
Şekil 4.12: Beton numunelerde kütle kaybı.	57
Şekil 4.13: Beton numunelerde eğilme dayanımı.	57
Şekil 4.14: 150x150x150 mm küp beton numunelerde basınç dayanımı.	58
Şekil 4.15: Eğilme deneyinde kırılan beton numunelerde basınç dayanımı.	58
Şekil 4.16: Beton numunelerde Schmidt okumaları.	59



TABLÖLAR/ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1: Ahşap atıkların kaynaklarına göre sınıflandırılması.	6
Tablo 2.2: Avrupa Birliği UFUK2020 Araştırma ve Yenilik Programı kapsamındaki şehirler ve koşullar.	7
Tablo 2.3: Ahşap atıkların değerlendirildiği örnek çalışmalar.	9
Tablo 3.1: Hafif betonların birim hacim kütle sınıfı ve aralıkları.	27
Tablo 3.2: Beton çökme sınıfları ve değerleri.	27
Tablo 3.3: Hafif betonların basınç dayanım sınıfı ve dayanım değerleri.	28
Tablo 3.4: Beton dayanımlarına bağlı hafif beton sınıflandırılması.	29
Tablo 3.5: Odun peletinin özellikleri.	30
Tablo 3.6: Numune kodları ve 1 m ³ taze beton içeriği.	31
Tablo 3.7: Elek analizi.	32
Tablo 3.8: Ultrases hızı ve beton kalitesi arasındaki ilişki.	43
Ek-A Tablo 3.1: Üretimde kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri.	71
Ek-A Tablo 3.2: Üretimde kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.	72
Ek-A Tablo 3.3: Üretimde kullanılan çimentonun basınç dayanımı özellikleri.	72
Ek-A Tablo 3.4: Çakılın fiziksel ve kimyasal özellikleri.	72
Ek-A Tablo 3.5: TS EN 206+A2 standardı.	73
Ek-A Tablo 3.6: Deney programı ve standartlar.	74
Ek-A Tablo 4.1: Deney sonuçlarının ortalama değerleri.	75
Ek-A Tablo 4.2: Numunelerin boy ölçüm değerleri.	76
Ek-A Tablo 4.3: Numunelerin ağırlık ölçüm değerleri.	77

1. GİRİŞ

Ahşap, yaşamın her alanında değerlendirilen ve geçmişten günümüze dek süre gelen en eski ve en yaygın kullanım alanına sahip yapı malzemelerindendir. Doğal bir kaynak olarak, ağaçtan elde edilen ahşabın en önemli avantajı geri dönüştürülebilir olmasıdır. Tükenebilir bir kaynak olan ağaçtan elde edilen ahşap malzemelerin yaşam döngüsünde meydana gelen atıklar, gelecek kuşaklar ve çevre için birçok sorunu da beraberinde getirmektedir. Ahşap atıkların değerlendirilmesi hem atık miktarının azaltılmasını hem de ahşabın ana kaynağı olan ağacın daha az tüketilmesi ile kaynak korunumunu sağlayarak daha yaşanabilir bir dünya için ön plana çıkmaktadır.

Ahşap atıkların mimaride kullanım alanları, geri kazanım olanakları, konu ile ilgili standart ve yönetmeliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda ahşap atıkların yapı içerisinde çeşitli alanlarda kullanılmasına yönelik çalışmaları içeren örnekler/uygulamalar literatür taraması yöntemiyle incelenmiştir. Konuyla ilgili bir atık geri dönüşüm tesisinde inceleme yapılarak süreçler ve uygulanan yöntem ile teknikler hakkında bilgi edinilmiştir. Ahşap atığın geri kazanımında en çok dikkat edilen unsur kimyasal bir katkı içeriğine sahip olmasıdır. Bu durumlarda ahşap atıklar kalıp, palet üretimi vb. şekilde değerlendirilmekte veya dönüştürülmeden imha edilmektedir. Ahşap atığın masif (ham ağaç) olması halinde ise mobilya, parke üretiminde veya kereste fabrikalarında istenilen ürün üretiminde kullanılmaktadır.

Ahşap atıkların geri kazanımı sağlanarak mimarlıkta yapı malzemesi olarak kullanımının yaygınlaşmasına yönelik yapılan/yapılacak araştırma ve çalışmaların, doğada insanlığın çeşitli alanlarda yarar elde ettiği ağacın korunması ile atıkların oluşturacağı çevresel zararlı etkilerin azaltılmasına bunlar sayesinde de ülke ekonomisine olumlu katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

İnşaat sektöründe kullanılan başlıca malzemelerden biri olan beton, ham madde kaynaklarına erişim, seri üretim kolaylığı ve çeşitli biçimlerde kullanım imkânı sağlaması nedeniyle sıklıkla tercih edilmektedir. Normal dayanım sınıfındaki bir beton, mutlak hacim olarak yaklaşık %75 agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 çimento ve %15 su oranlarından oluşmaktadır. Kullanım alanına bağlı olarak gerektiğinde

çimento ağırlığının yaklaşık %2'sine kadar kimyasal katkılar ilave edilebilmektedir [Web 1,2023].

Betonda hacimce az yer kaplayan fakat bağlayıcı özelliğinden dolayı önemli bir bileşeni olan çimentonun, çevresel etkilerini (sera gazı emisyonları, CO₂ salınımı, doğal ham madde kaynaklarının tükenmesi vb.) azaltmak amacıyla çok sayıda araştırma yapılmış ve yapılmaya devam etmektedir. Beton içeriğinde hacimce en fazla yer alan agrega yerine kullanılabilecek malzemelerin araştırılması da doğal agrega elde etmek için çevreye verilen zararların azaltılması açısından oldukça önemlidir. Çeşitli çalışmalar göstermiştir ki doğal agrega yerine kullanılabilecek içerikler organik (tarımsal, tekstil, odun lifleri vb.), yapısal (beton, cam, ahşap, plastik vb.) ve sanayi vb. kaynaklı atıklar olabilmektedir. Böylece betonun ve çeşitli beton ürünlerin çevreye verdiği olumsuz etkilerin azaltılmasının yanı sıra atıkların değerlendirilmesi veya güvenilir bir şekilde bertaraf edilmesine, dolayısıyla betonun sürdürülebilirliğine de katkı sunulmaktadır.

Doğal bir kaynak olarak ağaçtan elde edilen ahşabın en önemli avantajı geri dönüştürülebilir olmasıdır. Sürdürülebilir bir malzeme olan ahşap ve ahşap atıkların yeniden kullanım ve/veya geri kazanım yöntemleri ile değerlendirilmesi ham maddeye duyulan ihtiyacın azaltılması diğer bir önemli husustur.

Bu çalışmanın amacı ahşap atıkların mimaride yeniden kullanım ve geri dönüşüm olanaklarının incelenmesidir. Ahşap atıkların değerlendirilmesi ile üretilen odun peletinin beton üretiminde katkı malzemesi olarak kullanılabilişliğinin araştırılmasıdır. Bu amaçla betonda doğal agrega yerine kullanılacak odun peleti oranının (%) araştırılması hedeflenmiştir.

Odun peletinin beton üretiminde hangi oranlarda kullanılabilişliğinin araştırılması, hafif beton/ahşap-beton ürün çeşitliliğinin arttırılmasında ve ürün özelliklerinin geliştirilmesinde ve dolayısıyla sürdürülebilir beton üretimine destek vererek çevresel kazançların elde edilmesine katkı sunulacağı varsayılmıştır.

Ahşap atıklar, ahşap atık türleri, mimaride kullanım alanları, ahşap atıkların oluşum evreleri, sürdürülebilirlik bağlamında geri kazanım olanakları, sınıflandırılması ve yapı içerisinde doğrudan veya dolaylı olarak kullanılmasına yönelik tez çalışmaları, makaleler, bildiriler, standartlar, örnekler/uygulamalar literatür taraması yöntemi ile

incelenmiştir. Ahşap atıklardan elde edilebilen odun peletinin hafif beton agregası olarak kullanılabilirliği deneysel yöntem ile araştırılmıştır.

Deneysel çalışma, odun peletinin yakma, öğütme vb. herhangi bir işleme tabi tutulmaksızın doğrudan beton içeriğindeki doğal agrega yerine kullanımı ile sınırlandırılmıştır.

Tezin Birinci Bölümünde; araştırma konusu ve problemler belirlenmiş, araştırmanın amacı, hedefi, önemi, varsayımı, yöntemi ve sınırlandırılması hakkında bilgiler verilmiştir.

İkinci bölümde; ahşap atıklar, anahtar kelimeler kullanılarak yapılmış literatür taraması (akademik çalışmalar, deneysel çalışmalar, uygulamalar vb.), ahşap atıkların kullanım alanları, oluşumları ve ahşap atıkların kazanım yöntemleri hakkında veriler yer almaktadır. Bir ahşap atık geri dönüşüm tesisi ve bir odun peleti üretim tesisine ulaşılmış üretim, uygulamalar ve standartlar hakkında bilgi alınmıştır. Odun peleti hakkında detaylı bilgiler verilerek kullanım oranları ve alanları incelenmiştir.

Üçüncü bölümde; tez çalışması kapsamında deneysel çalışma programı detaylı bir şekilde aktarılmıştır. Üretimde kullanılan malzemeler, karışım oranlarının belirlenmesi için yapılan ön deneyler, numune içerikleri, üretim standartları, numune kodlamaları, taze ve sertleşmiş beton deneylerine yer verilmiştir.

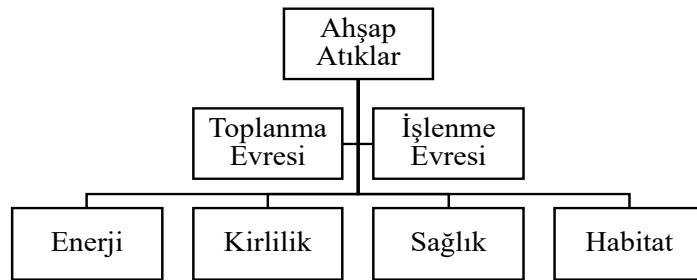
Dördüncü bölümde; fiziksel ve mekanik deneylerin sonuçları grafik ve tablolar halinde verilmiştir. Katkısız ve odun peleti katkılı numunelerin deney sonuçlarının değerlendirilmesi yapılmıştır. Deney sonuçlarının birbirleriyle ilişkili olduğu varsayılan veriler irdelenmiştir. Kontrol numunesi ve odun peleti katkılı numunelerin kıyaslamaları yapılmıştır.

Beşinci bölümde; tez çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Tez sonuçları kapsamında elde edilen verilerden yola çıkarak sonuç ve öneri kısımları oluşturulmuştur. Bu çalışmadan sonraki çalışmalarda kullanılacak veriler derlenmiştir.

2. AHŞAP ATIKLAR VE KULLANIM ALANLARI

Ahşap; ilk çağlardan itibaren yaşamın her alanında değerlendirilen geçmişten günümüze dek süre gelen en eski ve en yaygın yapı malzemelerindendir. Ahşabın yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanması, beton ve çeliğe oranla çok eskidir. Önceleri, deneyime dayalı olan uygulama, mühendislik bilimlerindeki ilerlemelere paralel gelişen yapı tekniğiyle bilimsel olarak yapılanmaya başlamıştır. Daha sonra, ahşap yapıda kullanılan birleşim araçlarının da aynı şekilde, modern teknolojiye göre araştırılıp yönetmeliklerde yer almaları ahşap yapının yaygınlaşmasını sağlamıştır. Hafif olması, farklı iklim koşullarına dayanıklı olması, özel boyalarla artırılan yangın direnci, emprenye edilerek çürüme ve böcek tahribatına karşı korunması, yapı söküldüğünde yeniden kurulabilmesi, onarım ve plan değişikliğinin kolay olması, enerji dostu ve depreme dayanıklı olması, çelik, beton, taş ve kerpiçe mükemmel bir uyum içerisinde kullanılabilmesi gibi özellikler ahşap malzemenin tüm ekolojik tasarım kriterleri ile uyumunu göstermektedir [Bostancıoğlu ve Birer, 2004].

Ahşap malzemelerin kullanım ömrünü tamamladıktan sonra yeniden kullanım ya da geri dönüşüm olanaklarının iyi değerlendirilmesi gerekmektedir. Ahşap atık genel anlamıyla, kullanım ömrünü yitirmiş veya kullanılamayacak duruma gelmiş, üretim sırasında çıkan artık, fire, ihtiyaç fazlası ahşaplar anlamına gelmektedir. Ahşap atık, yaşam döngüsünün her aşamasında (ham madde eldesi, üretim, kullanım, kullanım sonu geri dönüşüm ya da yok etme) ortaya çıkmaktadır. Ahşap atıkların yaşam döngüsü bağlamında oluşum evreleri; toplanma ve işlenme (geri dönüşüm) olmak üzere iki kısımdır. Bu evrelerin sürdürülebilirlik kriterlerine göre alt değerlendirilme evreleri Şekil 2.1’de sıralanmıştır [Akçay ve İpekçi, 2023].



Şekil 2.1: Ahşap atık süreci ve çevresel etkileri şeması.

Yapı malzemesi ve ev eşyası üretiminden kaynaklı kırpıntı, parça, talaş ile yapı üretimi/tadilat/bakım onarım/yıkım sonucu ortaya çıkan mobilya, kapı, pencere vb. tüm malzemeler değerlendirilebilir ahşap atıklardır [Web 2, 2023]. Budanmış dallar, kesilmiş ve işlevsiz ağaçlar ve orman atıkları da ahşap atık sınıfına dahil edilebilmektedir. Bazı ahşap atıklar Şekil 2.2’de yer almaktadır [Web 3, 2023; Web 4, 2023; Web 5, 2023].



Şekil 2.2: a) Ahşap atık, b) Talaş, c) Ağaç kabukları.

Ahşap atıkların kullanım alanları ham maddeden doğrudan elde edilerek kullanılan ahşap malzeme ile pek çok alanda benzerlik gösterebilmekte ve bu yönüyle diğer yapı malzemelerinden ayrılmaktadır. Geri kazanımı sağlanan ahşap atıkların başlıca kullanım alanları mdf, sunta ve palet üretimi, beton kalıpları, peyzaj ürünleri, iç ve dış mekân dekorasyon ürünleri olarak Şekil 2.3 gibi sıralanabilmektedir [Web 6, 2023; Web 7, 2023; Web 8, 2023].



Şekil 2.3: a) OSB, b) MDF, c) Kontrplak.

Ahşap atıkların geri kazanımı sağlanarak aynı zamanda yeni yapı ürünlerinde, panel çatılarda, tavan ve zeminde, ilan panoları, peyzaj çit yapımında, duvar ve ses bariyeri üretiminde kullanılabilmektedir [Topal, 2009]. Günümüzde yakıt olarak kullanılan odun peleti de kimyasal bir işlem gerekmeden ahşap atığın doğrudan geri kazanımı sağlanabilen malzemelerden biridir. Odun peleti görseli Şekil 2.4’te verilmiştir [Web 9, 2020].



Şekil 2.4: Odun peleti.

Ahşap atıkların mimaride kullanımı tasarıma uygun olarak; yapıda doğrudan kullanım, yapı malzemesi veya yapı malzemesi içeriğine katılmış katkı malzemesi şeklinde gerçekleştirilebilir. Ahşap atıklar ile ekoloji ilişkisi düşünüldüğünde, ekolojik tasarım kriterleri ile birebir uyuşan malzemelerin başında ahşap malzeme gelmektedir [Nzeadibe, 2009; Yau, 2012]. Yapı malzemelerini geliştirmek için ahşap atıkların kullanılması, doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamaktadır.

2.1. Ahşap Atıkların Geri Kazanım Yöntemleri

Avrupa ülkeleri başta olmak üzere birçok ülke atık problemlerinin giderilmesi için çalışmalar yürütmekte olup ahşap atıkların geri kazanımı etkin bir şekilde uygulanmaktadır. Atıkların değerlendirilmesinde bazı ülkelerin kendi atık yönetim sistemleri bulunmaktadır. İngiltere’de yapılan bir çalışmada ahşap atıkların kaynaklarına göre sınıflandırılmasının (Tablo 2.1) mümkün olduğu [Taylor vd.,2005], atık kaynağının ve doğru tanımlamanın ahşabın geri kazanım yöntemiyle doğrudan bağlantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 2.1: Ahşap atıkların kaynaklarına göre sınıflandırılması.

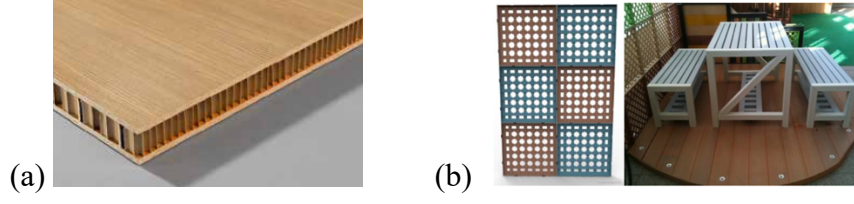
Kategori	Tanımlama	Kazanım Yöntemi	Kullanım Alanı
Yeşil atık	Orman temizliği, ağaç ve dal budama, çalı temizliği gibi peyzaj atıkları	Geri Dönüşüm	Gübre
Tehlikesiz atıklar	İşlenmemiş ahşabın ambalaj atıkları	Yeniden kullanım Geri dönüşüm	Enerji kazanımı
Yapısal atıklar	Tren rayları ve telgraf direkleri dahil inşaatta vb. kullanılan ahşaplar, koruyucu ve kimyasal işlenmiş atıklar	Yeniden kullanım Geri dönüşüm	Enerji kazanımı
Üretim esnasında oluşan atıklar	Mobilya gibi tamamen veya kısmen ahşaptan yapılmış ürünler, talaş, sunta, cipsler	Yeniden kullanım Geri dönüşüm	Enerji kazanımı

Avrupa Birliği UFUK2020 Araştırma ve Yenilik Programı'nda (European Union's H2020) ahşap atık yönetiminin en iyi uygulamalarına sahip olduğu belirlenen Avrupa'nın beş şehrine ait bilgiler **Tablo 2.2**'de özetlenmiştir.

Tablo 2.2: Avrupa Birliği UFUK2020 Araştırma ve Yenilik Programı kapsamındaki şehirler ve koşullar.

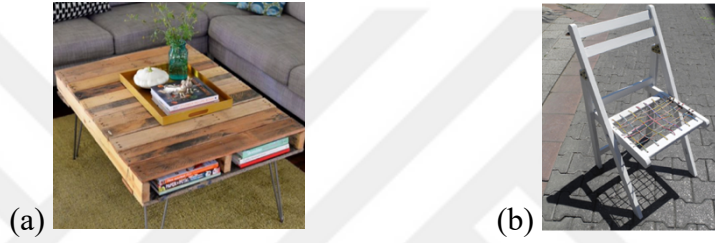
	Göteborg (İsveç)	Baden- Württemberg (Almanya)	Lombardiya (İtalya)	Kuzey-Batı İngiltere (UK)	Steiermark (Avusturya)
Ahşap atıklar için yasa ve mevzuat	Atık depolama izni yoktur.	Atık depolama izni yoktur. Kömür ve nükleer enerji yerine kullanılması	Yanıcı olmayan atıkları sınırlı depolama	Atık depolama izni yoktur.	Organik karbon içeriğine bağlı sınırlı depolama
Sınıflandırma ayırıştırma	Emprenye edilmiş ve kimyasal içeriğe göre ayırma	Ayrıştırma tesisleri	Ayrıştırma tesisleri, odun atıklarının optimize şekilde toplanması	Ayrıştırma tesisleri	Ayrıştırma tesisleri
Enerji eldesi	Biyokütle enerji santralinde kullanımı Kâğıt hamuru ve kâğıt endüstrisi	Biyokütle enerji santralinde kullanımı Sanayiler için talaş üretmek için atık odun	Toplanan odun atıklarının işlenmesi	Biyokütle enerji santralinde kullanılması	Ahşap atık, kombine ısı, enerji ve soğutma tesislerinde kullanılması
Geri Dönüşüm	Mevcut değil	Yonga levhalara (MDF) katılarak geri dönüşüm (Almanya için %35)	Panel levhalar, Yonga levha, Evsel ahşap atıklarının mobilyaya dönüştürülmesi	Geri dönüşüm tesisleri, Hayvan yatakları, kompost, yollar, oyuncaklar, peyzaj	Ahşap panel üretimi Geri dönüşüm ve atık işleme tesisi

Ahşap atıkların başlıca kazanım yöntemleri geri dönüşüm ve yeniden değerlendirmedir. Geri dönüşümde atık malzeme bazı işlemler sonrasında değişikliğe uğrayarak farklı formlarda (**Şekil 2.5a**), [Web 10, 2023] veya ahşap plastik kompozit malzeme gibi yeni ürün üretiminde kullanılabilir (Şekil 2.5b), [Web 11, 2023].



Şekil 2.5: a) Ahşap panel, b) Ahşap plastik kompozit

Yeniden kullanımda ise fiziksel veya kimyasal herhangi bir işleme ihtiyaç duyulmadan aynı ürünün işlevinin değiştirilmesi ile sağlanabilmektedir (**Şekil 2.6a**), [Web 12, 2023]. Yeniden kullanım, fiziksel yapısı bozulmuş hurda ahşap olarak sınıflandırılmış ürüne tekrar işlev kazandırılarak yapılabilmektedir (**Şekil 2.6b**).



Şekil 2.6: a) Palet sehpa, b) Sandalye.

Mimari alanda kullanılacak ahşap atıkların geri kazanımında; eğilme mukavemeti ve sertliği, sıkıştırma mukavemeti ve sertliği gibi özellikler incelenerek yapı malzemesi olarak kullanılabilirliği dikkat edilmesi gereken unsurlardandır [Xie vd.,2013]. Ahşap atık esaslı malzemelerin mekanik özelliklerinin geliştirmesi ve geri kazanım potansiyelinin belirlenmesi üzerine yapılan araştırmaların [Hossain vd., 2014] temelinde ahşabın biyolojik bozulmasının önlenmesine ve kullanım ömrünün uzatılmasına katkıda bulunan farklı fiziksel ve kimyasal işlemlere yer almaktadır [Mohareb vd., 2012]. Ahşap atıkların geri kazanımında bu işlemler (maruz kaldığı kimyasal maddeler ve mevcut fiziksel durumu) önem taşımaktadır. Ahşap atıkların kimyasal modifikasyon işleminde çözücüler, organik bileşikler, su buharı ve reaktif kimyasallar yaygın olarak kullanılmaktadır. Asetilasyon, furfurilasyon, balmumu takviyesi ve aşılama yöntemlerinin ahşap atıkların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde etkili yöntemler olduğu yapılan çalışmalarda görülmüştür [Belgacem ve Gandini, 2008].

Ahşap atıkların değerlendirilmesine yönelik uygulamalar gün geçtikçe artmaktadır. Ahşap atıkların (palet, sunta, kontrplak, hurda mobilya, orman atığı, ağaç dalı, çiftlik

ekipmanı, ağaç atıkları vb.) yapı içerisinde veya yapı malzemesi olarak, prefabrik yapılarda, kent ve peyzaj mobilyalarında çeşitli işlevlerde kullanıldığına dair örnekleri görmek mümkündür. Bunlardan bazıları **Tablo 2.3**'te özetlemiştir.

Tablo 2.3: Ahşap atıkların değerlendirildiği örnek çalışmalar.

Görsel	Yapı Adı/ Ülke/ Kaynak	Yapı Türü	Kullanılan Ahşap Atık/ Kazanım Yöntemi
	Manifesto Eco House Şili [Web 13, 2009].	Konteynır, Prefabrik yapı	Ahşap palet, Sunta Geri dönüşüm Yeniden kullanım
	Jellyfish Tiyatrosu İngiltere [Web 14, 2010].	Tiyatro	Kontrplak, Ahşap dikmeler, Tahta döşemeler, Ahşap dekorlar Geri dönüşüm Yeniden kullanım
	Six Forgotten Giants Danimarka [Web 15, 2016].	Kent mobilyası, Ahşap heykel, Peyzaj, Kulübe	Ahşap palet, Sundurma, Çitler, Orman atıkları, Ağaç dalları Geri dönüşüm
	Kamikatz Halk Evi Japonya [Web 16, 2020].	Kafe, Üretim alanı, Restoran	Ahşap palet, Çiftlik ekipmanı, Sedir ağacı Yeniden kullanım
	Satuti Konukevi Türkiye [Web 17, 2016].	Konukevi	Ahşap telefon direkleri, Ahşap demiryolu traversleri Yeniden kullanım
	Karamürsel Belediyesi Balık Adası Sosyal Tesisi Türkiye [Web 18, 2018].	Sosyal tesis, Kafe, Restoran	İnşaat kalıpları, Ahşap palet Yeniden kullanım
	DMSB Soğuk Hava Deposu Türkiye [Web 19, 2019].	Depo, Bina	Ahşap palet Yeniden kullanım

Türkiye’de de ahşap atık geri dönüşümü ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Tüm atıkların değerlendirilmesine yönelik Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından 2015 yılında hazırlanan Atık Yönetimi Yönetmeliği’nde atıkların tehlike sınıfları belirlenmiştir. Bu yönetmelikte ahşap atıklar 03 kodu ile numaralandırılmış ve atık tanımlamaları **Tablo 2.4**’te verilmiştir [**Atık Yönetimi Yönetmeliği, 2015**].

Tablo 2.4: Atık yönetimi yönetmeliği- Ahşap atık bölümü.

Atık Kodu	Atık Kodu Tanımı
03	AHŞAP İŞLEME VE KÂĞIT, KARTON, KÂĞIT HAMURU, PANEL (SUNTA) VE MOBİLYA ÜRETİMİNDEN KAYNAKLANAN ATIKLAR
03 01	Ağaç İşlemeden ve Sunta ve Mobilya Üretiminden Kaynaklanan Atıklar
03 01 01	Ağaç kabuğu ve mantar atıkları
03 01 04*	Tehlikeli maddeler içeren talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontrplak ve kaplamalar
03 01 05	03 01 04 dışındaki talaş, yonga, kıymık, ahşap, kontrplak ve kaplamalar
03 02	Ahşap Koruma Atıkları
03 02 01*	Halojenlenmemiş organik ahşap koruyucu maddeler
03 02 02*	Organoklorlu metal içeren ahşap koruyucu maddeler
03 02 03*	Organometal içeren ahşap koruyucu maddeler
03 02 04*	Organik ahşap koruyucu maddeler
03 02 05*	Tehlikeli maddeler içeren diğer ahşap koruyucuları
03 03	Kâğıt hamuru, kâğıt ve kâğıt karton üretimi ve işlenmesinden kaynaklanan atıklar
03 03 01	Ağaç kabuğu ve odun atıkları
03 03 02	Yeşil sıvı çamuru (pişirme sıvısı geri kazanımından)
03 03 05	Atık kâğıt ve kartonun hamur haline getirilmesi sırasında mekanik olarak ayrılan ıskartalar
03 03 07	Geri dönüşüme gitmek üzere sınıflandırılan kâğıt ve kartondan kaynaklanan atıklar
03 03 08	Kireç çamuru atığı
03 03 10	Mekanik ayırma sonucu oluşan elyaf ıskartaları, elyaf, dolgu ve yüzey kaplama maddesi çamuru

*Tehlikeli atıklar

Atıkların değerlendirilmesine yönelik bir diğer çalışma ise 2017 yılında Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafınca planlanan “Sıfır Atık Projesi” dir. Bu projede ahşap atık tanımı, ahşap atık sınıflandırması, ahşap atıkların uygulama alanları, ahşap atık geri dönüşüm sürecinin işleyişi hakkında bilgi verilmektedir [**Sıfır Atık Projesi, 2019**]. Konuyla ilgili Kocaeli’ de ahşap geri dönüşüm tesisleri araştırılmış ve ulaşılan bir tesisten ahşap atıkların geri kazanımına yönelik bilgi alınmıştır (İletişimi sağlayan B. Akçay, Eylül, 2020). Geri dönüşüm tesislerine çeşitli yollarla ulaşımı sağlanan ve hurda ahşap olarak tanımlanan bütün ahşap atıklar tesislerde toplanmaktadır. Geri dönüşüm işlemi yapılırken insan gücünden ve elektrik gücünden faydalanan tesiste işlem sonrası oluşan ürünler cips olarak adlandırılmaktadır. Dönemsel farklılıkların yaşanmadığı ahşap geri dönüşüm tesisinde aylık ortalama 1000 ton ahşap atık dönüştürüldüğü bilinmektedir. Ahşap atıklar, Atık Yönetim Yönetmeliği’nde yer aldığı şekilde formaldehit içeren (tehlikeli) ve masif (tehlikesiz) olarak ikiye ayrılmaktadır. İçeriğinde kimyasal olanlar insan sağlığına zararlı/olumsuz etkisi olmayacak alanlarda kullanılmak üzere beton kalıplarında, palet üretiminde kullanılabilir. Masif olanlar ise kereste, sunta, parke, mobilya ve odun peleti üreticileri başta olmak üzere pek çok alana ulaştırılmaktadır. Bu sayede ahşap atıkların değerlendirilmesi ile elde edilen ürün ve malzemeler birçok alanda kullanılabilir.

2.2.Ahşap Atıkların Betonda Kullanımı

Ahşap malzeme ve ürünlerin yaşam döngüsünün her aşamasında ortaya çıkan ahşap atıklar, değerli bir ham madde kaynağı potansiyeli taşımaktadır. Ağaç kabuğu ve odun atıkları, ambalajlama amaçlı kullanılan palet ve kasalar, yakıt malzemesi olarak kullanılan odun peleti, yapı malzemesi ve ev eşyası üretiminden kaynaklı kırpıntı, parça, talaş ile yapı üretimi/tadilat/bakım onarım/yıkım sonucu ortaya çıkan kapı, pencere, iç mekân mobilyaları, parke vb. tüm malzemeler değerlendirilebilir ahşap atıklardır. Bunların atılması veya yakılması çevre ve hava kirliliğine sebep olurken kaynak korunumunu da olumsuz etkilemektedir.

Tez konusuna yönelik olarak “ahşap atık, odun peleti, ahşap atık geri kazanımı, yapı malzemesi, hafif beton ve betonda ahşap atık” anahtar kelimeleriyle YÖK Ulusal Tez Merkezi, Science Direct, Research Gate, Web of Science ve Google Scholar veri tabanlarında ahşap atıkların beton ve bileşenleri ile kullanımına dair akademik

yayınlar taranmıştır. Endüstriyel ahşap atıklar ve ağaç atıklarının beton ve/veya bileşenleri ile kullanımına dair deneysel çalışmalara ulaşılmıştır. Ancak ahşap atıklardan biri olan ve çoğunlukla enerji eldesinde kullanılan odun peletinin doğrudan beton veya başka bir yapı malzemesi ile kullanımına yönelik herhangi bir çalışmanın literatürde yer almadığı, sadece odun peleti külünün hafif beton üretiminde kullanıldığına dair çalışmaların olduğu görülmüştür [Paktiawal, 2021; Paktiawal ve Alam, 2022]. Bu çalışmalardan bazıları **Tablo 2.5**'te özetlenmiş ve kısaca açıklanmıştır.

Tablo 2.5: Ahşap atık kullanılan deneysel çalışmalar.

Yazar Adı / Yıl	Ahşap Atık Türü / Üretilen numune	Yerini Aldığı Malzeme/ Katkı Oranları	Yapılan Deneyler	Açıklama
Xing vd., 2015	Kavak ağacı talaş atığı/ Beton	İnce agrega %30 %40 %50 %60	Basınç dayanımı Su emme	Vibro-sıkıştırma yönteminin olumlu katkısı
Thandavamorthy, 2016	Afrika mercan ağacı atığı, endüstriyel ahşap atık/ Beton	İri agrega %15 %20 %25	Basınç ve eğilme dayanımı Dayanıklılık Ultrasonik darbe hızı	Ses iletim hızına ve Homojen yüzeye katkı
Koohestani vd., 2016	Akçaağaç atığı, endüstriyel atık/ Dolgu malzemesi	Çimento %12,5 %14,5	Tek eksenli basınç Taramalı elektron mikroskobu Cıva porozimetresi	Homojen yüzey eldesine, su geçişini azaltmaya ve basınç dayanımına katkı
Li vd., 2017	Endüstriyel ahşap atığı, Ladin ağaç atığı/ Beton	Agrega %6 %12	Su Emme Basınç ve Eğilme dayanımı	İç ve dış duvarlarda kullanıma katkı

Tablo 2.5: Ahşap atık kullanılan deneysel çalışmalar(devamı).

Khelifa vd., 2019	Endüstriyel ahşap atığı, Ladin ağaç atığı/ Ahşap-çimento kompozit	Agrega %6 %12	Su emme Termal iletkenlik	Termal konforun iyileştirilmesi katkısı
Dominguez-Santos vd., 2019	Endüstriyel ahşap atığı/ Beton	İri agrega %10 %15 %25 %40	Basınç ve Eğilme dayanımı Süneklik Elastisite	Sismik dirence ve süneklik değerine katkı
Liang ve Sakai, 2020	Japon sedir ağaç atığı, Endüstriyel ahşap atığı/ Geri dönüştürülmüş beton	Beton karışımı %33 %50 %100 %200 %300	Eğilme dayanımı	Esneklik değerinin artırılmasına katkı
Paktiawal vd., 2021	Odun peleti külü/ Hafif beton	Kaba agrega %15 %30 %45 %60	Basınç dayanımı Ultras ses geçiş hızı Yarma dayanımı Kimyasal asit dayanımı	Hafif beton üretimine katkı Asidik kimyasala karşı tepki
Alharishawi vd., 2021	Ahşap atık/ Hafif beton	İnce agrega %5 %10 %15 %20 %25	Basınç dayanımı Elastisite Eğilme dayanımı Yarmada çekme Yoğunluk	Hafif beton üretimine katkı Standartlar dahilinde basınç dayanımı Ölü yükte azalma
Paktiawal ve Alam, 2022	Odun peleti külü/ Hafif beton	Kaba agrega %15 %30 %45 %60	İşlenebilirlik Basınç dayanımı Esneklik modülü Yoğunluk Beton Kalitesi	Yüksek sıcaklığın odun peleti külü katkılı hafif beton üretimine katkısı Ultras ses geçişine katkı

Fransa’da yapılan çalışmada, ince agrega ikamesi olarak ahşap atık ile üretilen beton bloklarda vibro-sıkıştırma yöntemi ile %30, %40, %50 ve %60 oranlarında karışımlara kavak ağacı talaşı eklenmiştir. Vibro-sıkıştırma yöntemiyle ikame edilen ahşap atıkların beton dayanımını artırdığı ve hidratasyon reaksiyonunun etkisini azalttığı, %50 oranında kavak talaşı katkılı numunelerin yığma beton bloklara benzer mekanik mukavemet değerine sahip olduğu ve vibro-sıkıştırma yönteminin olumlu katkı sağladığı belirtilmiştir [Xing vd., 2015].

Hindistan’da yapılan çalışmada, su/çimento oranı 0,45 olan kontrol (şahit) numune ile iri agrega yerine %15, %20 ve %25 oranlarında mobilya, inşaat ve diğer ahşap işleme endüstrilerinden elde edilen endüstriyel ahşap atık (padauk-pterocarpus soyauxii olarak adlandırılan Afrika mercan ağacı) kullanılarak beton numuneler üretilmiştir. Basınç dayanımı kontrol numunede 31.40 MPa, %15 katkılı numunede 32.36 MPa; ultrasonik darbe hızı (UPV-Ultrasonic Pulse Velocity), kontrol numunesinde 4,4 km/s, katkılı numunelerde 4,6 km/s ile 3,1 km/s aralığında iyi ve mükemmel değerlerde tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı, su emme, asit, alkali ve yangına dayanım ölçümlerinde; kontrol numunesine yakın değerler ile optimum sonucun %15 ahşap atık katkılı betonda olduğu belirlenmiştir. Çalışmada ses yalıtımı ile ilgili bir deney yapılmamış olmasına rağmen ses bariyeri olarak ahşap-beton panel üretiminde kullanılabileceği öngörülmüştür [Thandavamoorthy, 2016].

Ahşap atıkların çimentolu macun dolgunun mekanik ve mikro yapısal özellikleri üzerindeki etkisine yönelik olarak yapılan bir çalışmada, üç farklı oranda (%2, %4,5 ve %7) bağlayıcı, iki farklı oranda (%12,5 ve %14,5) akçaağaç talaşı kullanılmıştır. Sanayi kaynaklı oluşan ahşap atık miktarının yaklaşık olarak %50 oranında azaltılması hedeflenen çalışmada, çimentolu macun dolgunun mekanik özellikleri tek eksenli basınç dayanımı (UCS-Uniaxial Compressive Strength), mikro yapısal özellikleri cıva intrüzyon porozimetresi (MIP-Mercury Intrusion Porosimetry) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM-Scanning electron microscopy) ile değerlendirilmiştir. Basınç dayanımı deneyinde %12,5 akçaağaç talaşı ve %4,5 bağlayıcının artan kürlenme süresi ile basınç dayanımını artırdığı; cıva intrüzyon porozimetresi deneyine göre %12,5 akçaağaç talaşı ve %2 bağlayıcının gözenekli yapıdaki numunelerin yüzey alanlarını, boşluk hacimlerini ve dağılımlarını belirlemede en iyi oran olduğu belirlenmiştir. SEM analizlerine göre akçaağaç talaşının tüm numunelerdeki gözenekli yapıyı homojen bir

yüzey haline getirerek yüzeyler arasındaki su geçişinin azaltılmasına ve kompakt bir yüzeye katkı sağladığına yer verilmiştir [**Koohestani vd., 2016**].

Fransa Lorraine Üniversitesi'nde ahşap-beton paneller ile ilgili gerçekleştirdikleri çalışmada, toplam agreganın %6 ile %12 arasında ladin ağacı talaşı katılarak üretilen 14 adet beton numunenin mekanik özelliklerine yönelik su emme, basınç, elastisite ve kopma eğilme dayanımı değerlerini incelemiştir. Su emme değeri kontrol numunelerinde %30, katkılı numunelerde %29,7, basınç değeri ise kontrol numunelerinde 2,5 MPa iken katkılı numunelerde 5,29 MPa olarak ölçülmüş, standartlara uygun olduğu belirtilmiştir. Elde edilen verilerden yola çıkarak katkılı numunelerin su temasının olduğu ortamlarda ve iç/dış duvarlarda kullanımının uygun olduğu aynı zamanda odun talaşının betona esneklik özelliği kazandırdığı ifade edilmiştir [**Li vd., 2017**].

Kompozit panel üretiminde ahşap atıkların (ladin ağacı talaşı) kullanılabilirliğini belirlemek üzere yapılan çalışmada, ahşap-çimento kompozit paneller üzerinde ısı ve nem transferi oluşturularak hidrasyon ve termal iletkenlik özellikleri incelenmiştir. Kompozit panel içerisinde yer alan ahşap atıkların var olan suyu emmesi ile gözenekleri tıkadığı, sıvı difüzyonunu artırarak suyun kompozit içerisinde serbest olmasına ve homojen olarak yayılmasına katkı sağladığı görülmüştür. Elde edilen 1,16'lık Nem Tamponlama Değerinin (NTD) standartlarda yer alan $1 < \text{NTD} < 2$ aralığında olduğu ve ahşap-çimento kompozit panellerin, yapıdaki termal konforun iyileştirilmesine katkıda bulunabileceği sonucuna ulaşılmıştır [**Khelifa vd., 2019**].

Ahşap atık katkılı kompozit blokların mekanik ve sismik özelliklerini belirlemek üzere yapılan çalışmada; iki farklı ebatta (yaklaşık 1 mm² talaş tozu ve yaklaşık 1 cm² talaş parçası) ve dört farklı oranda (%10, %15, %25 ve %40) iri agrega (çakıl) ikamesi olarak ahşap atık kullanılmıştır. Üretilen ahşap atık katkılı beton blokların basınç dayanımı, eğilme dayanımı, süneklik ve elastisite değerleri ölçülmüştür. %15 oranından daha fazla ahşap atık (talaş tozu ve talaş parçası) içeren numunelerin basınç dayanımında istenilen değerlere ulaşmadığı görülmüştür. Çalışmada kullanılan bir bilgisayar modelleme yöntemi ile %15'e kadar ahşap atık katkılı bloklarla inşa edilen bina çerçevelerinin sismik davranışı belirlenmiştir. Orta şiddetli bir depreme maruz kalan iki katlı (yedi metre yüksekliğinde) ve beş katlı (16 metre yüksekliğinde) iki cephenin modelleme ile değerlendirilmesi yapılmıştır. Modellemede değerlendirilen %15 ahşap atık agregalı blok duvarlarla inşa edilen iki katlı ve beş katlı cephelerin

sırasıyla %7 ve %4,5 sünek davranış gösterdiği, sıradan beton blok duvarlı çerçeveli cephelere göre %92 ve %75 daha sünek olduğu belirlenmiştir. %15 ahşap atık katkılı betonun, geleneksel betonun süneklik değerini iki katına çıkararak sismik direnci iyileştirdiği ve bu sayede depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılabilir olduğu belirlenmiştir [**Dominguez-Santos vd.,2019**].

Beton ve ahşap atıkları (Japon sedir ağacı) geri dönüştürmek üzere yapılan çalışmada, ezilerek toz haline getirilen beton ve ahşap atıklarla farklı sıcaklık, basınç ve sıkıştırma sürelerinde, su/çimento oranı 0,45 ile 0,55 arasında olan beş farklı karışım oranlarına (3:1, 2:1, 1:1, 1:2 ve 1:3) sahip, 5x45x65 mm ebatlarında plakalar üretilerek eğilme dayanımları araştırılmıştır. Sıkıştırma sürelerinin numuneler üzerindeki yoğunluk ve eğilme dayanımı değerlerini; bir dakika sıkıştırma süresinde numunelerin en düşük yoğunluk ve eğilme dayanımı gösterdiği, beş dakikada ise maksimum değere ulaştığı belirlenmiştir. Farklı karışım oranlarına göre; betonun ahşaba 1:1 oranında katılması ile esneklik kazandığı fakat bu değer artırıldığında yoğunluğu düşürdüğü tespit edilmiştir. 1:3 ve 1:1 karışım oranlarında, 220 °C sıcaklığında ve 50 MPa basınç ile üç farklı su oranında (%10, %30 ve %50) üretilen numunelerde su içeriğindeki artış pürüzsüz bir doku oluşturmuş ancak, eğilme mukavemetinin azalmasına neden olduğu belirlenmiştir. Üretilen plakaların çoğu sıradan betondan daha yüksek eğilme dayanımı sergilediği bu sayede de çeşitli kullanım olanaklarına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır [**Liang ve Sakai, 2020**].

Hindistan’ da yapılan çalışmada, yanmış odun peleti kalıntılarının beton karışımında kaba agreganın kısmi olarak değiştirilmesine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Su/çimento oranı sabit tutularak (0.45) olarak beş farklı oranda (%0, %15, %30, %45 ve %60) kaba agrega ikamesi olarak beton karışımında kullanılmıştır. Üretilen 100x100x100 mm ebatlarında küp ve 100x200 mm ebatlarında silindir numunelerde basınç dayanımı, ultrases dalgası yayılma hızı, kırma ve kimyasal asit testleri yapılmıştır. Maksimum %30 oranına kadar odun peleti külü katkılı numunelerde basınç dayanımı değerinin değişmediği tespit edilmiştir. 28. ve 90. günde yapılan kimyasal asitlere karşı mukavemet kaybının 90. günde arttığı, bunun sebebi olarak odun peleti külünün kimyasala maruz kaldığında yapısının sertleşmesine daha kırılğan hale gelmesine bağlı olduğu belirlenmiştir. Ultrases dalgası yayılma hızının kontrol betonunda “mükemmel”, katkılı betonlarda “iyi” olarak belirlenmiştir. Darbe hızının azalmasını odun peletinin iri agregaya göre daha boşluklu ve düşük özgül ağırlığa

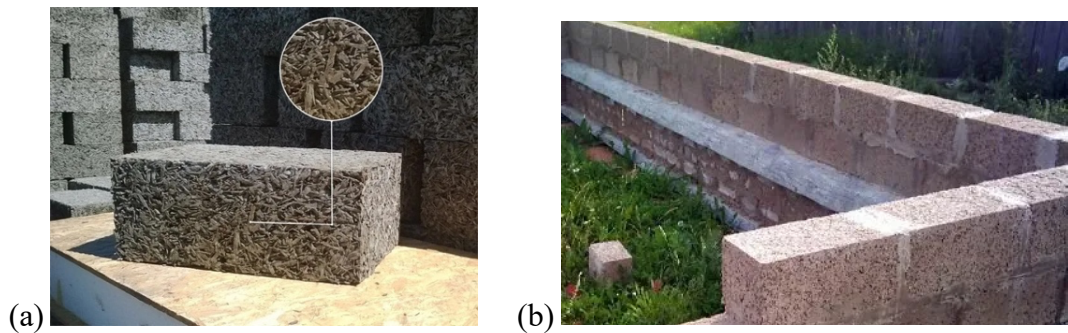
sahip olmasından kaynaklandığı varsayılmıştır. Kırma değerlerine bakıldığında kontrol numunesine kıyasla tüm katkılı numunelerdeki kırma mukavemetinin düştüğü, odun peleti katkı oranının artırılması ile betonun ezilme mukavemetinin düşmesinin sebebi olarak odun peletinin asidik çözelti içerisinde zayıflamasından kaynakladığı sonucuna varılmıştır **[Paktiawal vd., 2021]**.

Irak'ta yapılan çalışmada, ahşap atık ile hafif beton üretimi amaçlanmıştır. Su/çimento oranı (0,5) sabit tutularak, beş farklı oranda (%5, %10, %15, %20 ve %25) kum ikamesi olarak iki farklı ebatta ahşap atık (talaş tozu ve talaş parçası) kullanılarak yoğunluğu 1512-2160 kg/m³ aralığında, 11 farklı çimento-ahşap atık karışımlı beton üretimi yapılmıştır. Kontrol numunesi ve katkılı numunelerde basınç dayanımı, elastisite, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve yoğunluk ölçümleri yapılmıştır. Basınç dayanımı, yoğunluğu 2122 kg/m³ olan numunede 21,38 MPa, yoğunluğu 1508 kg/m³ olan numunede 6,44 MPa olduğu yani yoğunluk ile basınç dayanımının doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen elastisite değerinin (17,38 GPa ve 5,74 GPa aralığı) ASTM (American Society for Testing and Materials) standartlarında yer alan hafif beton elastisite değerleri (15,26 GPa ve 5,08 GPa) aralığında olduğu belirlenmiştir. Betonun esneklik değeri (3,09 MPa ve 1,41 MPa aralığı) ACI (The American Concrete Institute) ve ASTM standartlarında yer alan limitler (3,01 MPa ve 1,55 MPa aralığı) içerisinde olduğu sonucuna varılmıştır. Çalışma içeriğindeki ahşap atık miktarının artmasının mukavemeti azalttığı fakat standartlar dışına çıkmasına sebep olmadığı, aynı zamanda ahşap atıkların işlenebilirliği artırdığı görülmüştür. Hafif betonların sabit (ölü) yükte normal betondan yaklaşık %25 daha hafif olduğu sonucuna varılmıştır. Hafif beton üretiminde ahşap atıkların kullanılmasının atık miktarını azalttığı böylece yapı sektöründe kullanılabilir olduğu görülmüştür **[Alharishawi vd.,2021]**.

Hindistan'da yapılan bir çalışmada kaba agreganın kısmi olarak yanmış odun peleti (odun peleti külü) agregası ile değiştirilmesiyle üretilmiş M50 beton numunelerinde yüksek sıcaklığın (250°C) basınç dayanımına ve beton kalitesine etkisini belirlemek amacıyla su/çimento oranı sabit tutularak (0,40), beş farklı oranda (%0, %15, %30, %45 ve %60) 150x300 mm ebatlarında beton numuneler üretilmiştir. Katkılı ve katkısız numuneler yüksek sıcaklığa maruz bırakılmadan önce deneyler yapılmıştır. Sonrasında aynı özelliklere sahip diğer numunelere 250°C sıcaklık uygulanmıştır. Bu numunelere de aynı deneyler yapılmıştır. Basınç değerlerine bakıldığında, yanmış

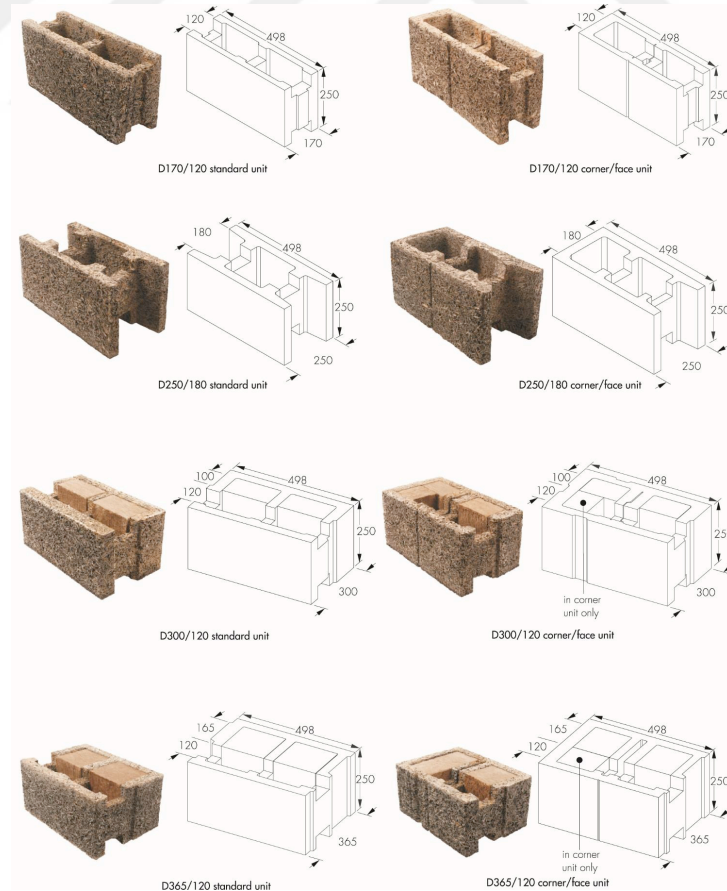
odun peleti agregası arttıkça betonun basınç dayanımının normal koşullardaki beton numunelere kıyasla önemli ölçüde azaldığı görülmektedir. Normal koşullarda %60 ikame düzeyine sahip betonun kalite derecelendirmesi “iyi”, daha düşük ikame seviyeleri ise “mükemmel” olarak ölçülmüştür. İkame miktarı arttıkça beton kalitesinin düştüğü fakat %60 oranına kadar olan ikame düzeyinin “iyi” seviyesinde yer almaya devam ettiği görülmüştür [Paktiawal ve Alam,2022].

Ahşap atıkların yapı malzemesi üretiminde değerlendirilmesine yönelik deneysel içerikli çalışmaların yanı sıra yapı sektöründe “arbolit, wood-concrete, timbercrete” olarak adlandırılan ve kullanılan ahşap-beton ürünler de bulunmaktadır. Orman endüstrisine bağlı sayısız miktardaki kullanılmayan üretim atıklarından yararlanılması amacıyla geliştirilen arbolit (talaş betonu, ahşap beton), 60’lı yıllarda kutup istasyonu binalarında, 70’li ve 80’li yıllarda Sovyetler Birliği’nde konut inşasında kullanılmıştır [Web 20, 2021]. Arbolit blok örneği ve duvar uygulaması Şekil 2.7’de yer almaktadır. Arbolit üreticileri için ahşap betondan ürünlerin tasarımı, üretimi ve kullanımını ile tasarım enstitüleri ve tasarım büroları için hazırlanan; “SN 549-82 Guidelines for the Design, Fabrication, and Application of Structures and Products Made of Organic Fiber Reinforced Concrete (Arbolite)” adlı standart 1982 yılında ve “GOST 19222-84 Arbolit and its products: General specifications” adlı standart ise 1984 yılında onaylanmıştır. 2019 yılında GOST 19222-2019 “Arbolit and products from it: General specifications” olarak güncellenen standartta ahşap beton ve bundan yapılan donatısız duvarların (bloklar) teknik ve teknolojik gereksinimleri tanımlanmıştır [Web 21, 2021; Web 22, 2021; Web 23, 2021; Web 24, 2021].



Şekil 2.7: a) Arbolit blok örneği, b) Arbolit duvar uygulaması.

İçeriğinde %80-85 oranında ahşap dolgu (odun talaşı/tozu, doğranmış ağaç; cips/yonga), bağlayıcı bileşen (çimento), su, çürümeyi ve tahribatı önleyici katkılardan oluşan arbolit, üretimi zor olmayan çevre dostu bir malzemedir. Yüksek ısı ve ses yalıtımı, yüksek buhar geçirgenliği, alev geciktirici özelliği, işleme kolaylığı ve geri dönüşümlü malzeme kullanımı gibi avantajlara sahiptir. Fakat üretim sürecinin uzun olması (kalıplarda üç ay bekletilmesi), zayıf nem direnci, yüksek nem Emilimi, ürün ebatlarının farklılık gösterebilmesi ve büyük kalıp olarak dökülme zorunluluğu olması, malzemenin dezavantajlarından bazılarıdır. Blok boyutları 500x250x200-300 mm, 500x200x200-300-400 mm ebatlarında olup yoğunluklarına, basınç dayanımlarına ve ihtiyaca göre farklılaşabilmektedir. Arbolit daha sonra İsviçre’de “Durisol ahşap beton ICF” olarak patenti alınarak, ürün içeriği (yumuşak ağaç agregası, portland çimentosu ve katkı maddeleri) ve ebatları **Şekil 2.8**’de yer almaktadır [Web 25, 2021]. Arbolit bloklar teknik şartnamelerle düzenlenerek Batı Avrupa’da az katlı inşaatlarda, aynı zamanda endüstriyel binaların duvar konstrüksiyon sistemlerinde de kullanılmaya başlanmıştır [Web 26, 2021].



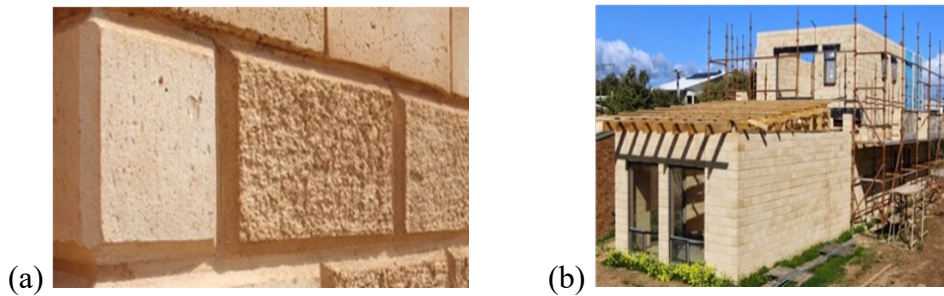
Şekil 2.8: İçi boşluklu talaş-agrega bloklar.

ISO SPAN paneller, içi boş talaş-beton prefabrik duvarlar ve yalıtım panelleri olarak Avusturya'da kullanılmaktadır. Talaşlar darbeli değirmenlerde uygun boyutta küçültülmektedir. Çimento, su ve minerallerden oluşan doğal malzemeler eklenerek içi boş talaş-beton bloklar ve yalıtım panelleri üretilmektedir. Yangına dayanıklılık ve deprem güvenliğine ek olarak ses yalıtımı, ısı depolama, akustik yalıtım ve buhar difüzyonu malzemenin avantajları arasındadır. Isı yalıtımlı ve ısı yalıtımsız bloklar olmak üzere iki şekilde üretilmektedir. Bloklar; genişlik/yükseklik/uzunluk olmak üzere ortalama 25/25/110 cm aralıklarında üretilmektedir. Blok tipleri **Şekil 2.9'**da verilmiştir [Web 27, 2021].



Şekil 2.9: a) Isı yalıtımlı blok, b) Isı yalıtımsız blok.

Avusturalya'da kullanılan Timbercrete adlı ürünün içeriğinde ahşap, selüloz, çimento, kum ve bağlayıcı bulunmaktadır. Timbercrete- kereste betonu ve yapıda uygulaması **Şekil 2.10a ve Şekil 2.10b'**de verilmiştir. Beton veya kilden yaklaşık 2,5 kat daha hafif, yarı esnek, ahşap gibi çivilenebilme veya vidalanabilme avantajlarına sahiptir. Fakat su geçirimsizliğinin yüksek olması uzun süreli kullanımına engel teşkil etmektedir. Timbercrete, konut, çit, istinat duvarı ve garaj yapımının yanı sıra pişmiş toprak, fayans gibi bir malzeme ile kaplanması koşuluyla iç mekânda şömine yapımında da kullanılabilir [Web 28, 2021].



Şekil 2.10: a) Timbercrete-kereste betonu, b) Yapıda uygulanması.

2.3. Odun Peleti

Odun peleti, ahşap atıkların (ormansal atık, tarımsal atık, endüstriyel atıklar vb.) yüksek ısı ve basınç altında, içeriğinde yer alan su ve nem değerlerini kaybederek oluşturulan, ortalama çapı 6-8 mm, boyu 20-40 mm aralığında değişiklik gösteren, içeriğindeki nem oranı yaklaşık olarak %7-12 arasında olan bir üründür (**Şekil 2.11**), [Web 29, 2019].

Nem oranının az olması diğer düşük kalorili yakıt türlerine göre daha çok tercih edilmesine sebep olduğundan başlıca kullanım alanı yakıt olarak tüketilmesidir. Ayrıca at ve tavuk gibi çiftlik hayvanlarının altına serilen yataklarda, petrol veya gaz kuyularının delme işlemi sırasında ortaya çıkan kirli suyun emilimi gibi farklı kullanım alanları da bulunmaktadır.

Odun peleti üretimi yapılırken özellikleri önceden belirlenebilmektedir. Ham madde ve üretim teknikleri açısından farklılık göstermekle birlikte pelet haline dönüştürülmesinde bağlayıcı ve kimyasal katkı kullanımı söz konusu değildir. %100 yerel malzemelerden farklı ağaç türü ve oranlarında (%100 çam, %100 kayın, %70 çam+%30 kayın, %5-10 kozalak+%90-95 çam vb.) üretiminin yapılması mümkündür.



Şekil 2.11: Odun peleti.

Odun peleti üretiminin başlıca sebepleri pelet yakıtı üretmek, büyük kütlelerin hacim oranları küçültmek, depolama ve taşıma kolaylığı sağlamak ve elde edilen pelet tiplerinden alınan verimi arttırmaktır. Peletin sürdürülebilir bir kaynak olması, fosil tabanlı kaynaklı ihtiyacını azaltmaktadır. Tercih edilme sebepleri kullanım sonrasında oluşan atık miktarlarının az olması ve farklı ahşap atık malzemelerinden üretilmesidir. Odun peletinin bileşim, yoğunluk yanma değeri, kül miktarı, nem içeriği, katkı maddeleri, üretim standartları ve paketlerin boyutları önemlidir. Başlıca pelet çeşitleri **Şekil 2.12**'de verilmiştir [Web 30, 2018].

Odun peleti kullanılmasının başlıca sebepleri:

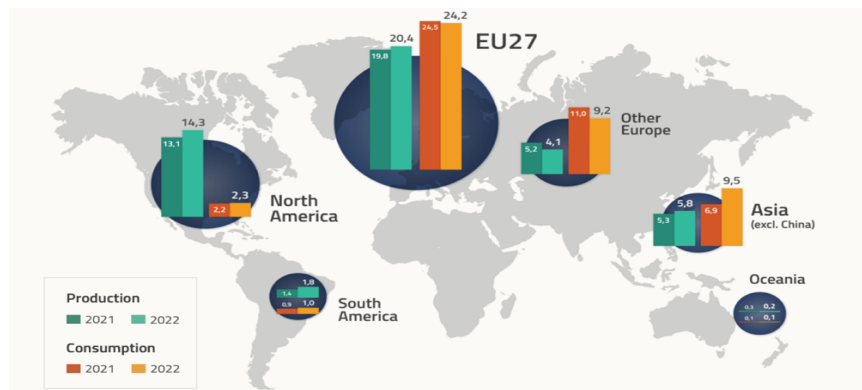
- Yerel kaynaklardan elde edilebilmesi
- Fosil yakıtlara bağımlılığı azaltılması
- Ormanların kayıt dışı kesimleri önlenmesi
- Odun peletinin paketlenmesi ve depolanması kolaylığı
- Kalan atıkların doğal gübre olarak kullanılabilmesi
- Katı yakıtlar içerisindeki en temiz içeriğe sahip olması

olarak sıralanabilmektedir [Web 31, 2018].

				
Odun Peleti	Alfa Peleti	Atık Peleti	Talaş Peleti	Ayçiçeği Sapı Peleti
				
Ot (Çeşitli) Peleti	Saman Peleti	Zeytin Posası (Pirina) Peleti	Pelet-Kömür Karışımı	Yonga-Kömür Karışımı

Şekil 2.12: Pelet çeşitleri.

2021/2022 yılında odun peleti üretim ve tüketim miktarlarına ait sayısal veriler (Şekil 2.13), [Web 32, 2021] düzenlenerek özet halinde Tablo 2.6’da verilmiştir.



Şekil 2.13: 2021/2022 yılında Dünya’da odun peleti oranları.

Tablo 2.6: 2021/2022 yılında Dünya’da odun peleti üretim ve tüketim miktarları.

Bölgeler	2021		2022	
	Üretim	Tüketim	Üretim	Tüketim
AB27 Ülkeleri	19,8	24,5	20,4	24,2
Asya	5,3	6,9	5,8	9,5
Avrupa Ülkeleri	5,2	11,0	4,1	9,2
Kuzey Amerika	13,1	2,2	14,3	2,3
Güney Amerika	1,4	0,9	1,8	1,0
Okyanusya	0,3	0,1	0,2	0,1
TOPLAM	45,1	45,6	46,6	46,3

Tablo 2.6’da yer alan verilere göre; küresel ölçekte odun peleti üretiminin gün geçtikçe arttığı, 2022 yılında Kuzey Amerika ve tüm Avrupa’nın, toplamda 38,8 milyon ton odun peleti üretimine öncülük ettiği ve AB27 ülkelerinin ise 20,4 milyon ton (yaklaşık %52) üretim ile ilk sırada yer aldığı görülmektedir. Odun peleti tüketimine bakıldığında ise 2022 yılında Asya ve tüm Avrupa’da 42,9 milyon ton odun peleti tüketimi gerçekleştiği ve AB27 ülkelerinin ise 24,2 milyon ton (yaklaşık %56) tüketim ile yine ilk sırada yer aldığı saptanmıştır. Üretim ağının tüm dünyaya yayılması ve üretimin artırılması için yapılan çalışmalara bağlı olarak üretimin ve tüketimin en çok olduğu ilk beş ülkenin sıralaması **Tablo 2.7**’de verilmiştir [Web 33, 2021].

Tablo 2.7: 2021 yılında dünyanın öncü ülkelerindeki odun peleti üretim ve tüketim miktarları (milyon ton)

Sıralama	Ülke Adı	Üretim	Ülke Adı	Tüketim
1.	Almanya	3,4	Birleşik Krallık	9,8
2.	Letonya	2,1	Danimarka	3,4
3.	İsveç	1,9	İtalya	3,4
4.	Polonya	1,8	Hollanda	3,3
5.	Fransa	1,8	Almanya	2,9
TOPLAM		11		22,8

Tablo 2.7'de yer alan beş ülkenin toplam odun peleti tüketim miktarı, dünya odun peleti tüketiminin (**Tablo 2.6**) yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır. Bu verilerden yola çıkarak AB27 ülkelerinin odun peleti üretim ve tüketim ağında etkin olarak yer aldığı söylenebilmektedir. Odun peletini en çok tüketen Birleşik Krallık' ın üretimdeki öncü ülkeler arasında yer almadığı, Almanya'nın ise ürettiğinden daha azını (yaklaşık yarım milyon ton) ithal ettiği anlaşılmaktadır. Avrupa Pelet Komisyonunun (European Pellet Council-EPC) 2021 yılına ait raporundaki verilere göre, Avrupa 35,6 milyon ton tüketimle dünyanın en büyük odun peleti kullanıcısıdır. AB27 (Avrupa Birliğine bağlı 27 ülke) ve Asya odun peleti ithalatçısı olan iki önemli bölgedir. Kıtalar arasındaki ilişkiye bakıldığında Asya'nın da hızlı bir şekilde büyümeye devam ederek Avrupa gibi pelet pazarının önde gelen gücü haline geleceği öngörülmektedir.

Türkiye'de odun peleti üretim ve tüketimine dair literatürde sayısal net bir veriye ulaşılamamıştır. Ancak, toplam ormanlık alanlara (yaklaşık 21,2 milyon hektar) ve bu ormanlık alanların yıllık atık ortalamasına (yaklaşık 50-65 milyon ton) bakıldığında potansiyelinin oldukça yüksek olduğu söylenebilir [**Saraçoğlu,2018**]. Literatür taramasında Türkiye'de ahşap atıkların kazanımına yönelik çalışmaların kısıtlı olduğu anlaşılmıştır. 2008 yılında Çaycuma OYKA Kâğıt Fabrikası'nda Türkiye'nin ilk odunu biyokütle kaynağından, ısı ve güç üretimi için 25.000 ton odun kabuğu, odun artıkları, odun talaşına ilave olarak fındık ve badem kabuğu kullanımı ile yakıt üretimi yapılabildiği ve enerji ihtiyacının karşılanabileceği tespit edilmiştir. Orman yangınlarının başlamasına ve ardından hızlı bir şekilde ilerlemesine sebep olabilecek orman atıklarının toplanarak odun peleti üretiminde değerlendirilmesi amacıyla 2011 yılında Orman Genel Müdürlüğü'ne bağlı, İşletme ve Pazarlama Dairesi Başkanlığı tarafından "Türkiye'de Orman Yangını Koruma ile Sürdürülebilir Odun Peleti Üretiminin Entegrasyonu" adlı bir proje gerçekleştirilmiştir [**Web 34, 2021**]. Yılda 10 milyon m³ orman atığı potansiyeline sahip Türkiye'de [**Saraçoğlu,2018**], doğal katı biyokütle (orman ve ahşap atıklar) elektrik veya ısı enerjisine dönüştürülmediği için ithal petrol, doğalgaz veya kömür gibi başka yakıtlara olan ihtiyacın gün geçtikçe arttığı söylenebilmektedir. Oysaki Türkiye'de, odun peleti ham madde temininin yerel kaynaklardan kolaylıkla sağlanabilmekte olduğu literatür araştırmalarından görülmektedir [**Saraçoğlu, 2018**]. Türkiye'de odun peleti üretimi yapan tesislerden biri ile iletişime geçilerek odun peleti tesis işleyişi hakkında bilgiler alınmıştır. (İletişimi sağlayan B. Akçay, Kasım, 2020). İşlemler;

- Talaşların nem ve rutubetlerinin alınması
- Nemi alınan talaşlar makineye aktarılması
- Makinenin içine nişasta ve su katılır ve diskler yardımı ile preslenmesi
- Preslenen peletler 10 kg-15 kg olacak şekilde paketlenmesi şeklindedir.

TSE ve ISO’da yer alan üretim standartları kapsamında ortalama çap 6mm-8mm aralığındadır. Odun talaşı kullanılmakta ve içeriğinde kimyasal bir malzeme yoktur. Yıllık ortalama üretim 5000-7000 ton arasındadır. Çoğunlukla yakıt malzemesi olarak kullanılan odun peleti; kedi kumunda, hayvan çiftliklerinde de kullanılmaktadır.

Odun peleti üretimi yapan tesislerin daha önceden belirlenen TSE standartlarını göz önüne alarak üretim yapmaları gerekmektedir. Odun peleti katı biyoyakıtlar sınıfına girmektedir ve yakıt amaçlı kullanılacak odun peleti “TS EN ISO 17225-2 Katı biyoyakıtlar- yakıt özellikleri ve sınıfları- Bölüm 2: Sınıflandırılmış ahşap peletler” adlı standart kapsamında üretilmektedir.

Ahşap- beton ürünler ile ilgili “TS EN 14474- Ön dökümlü beton mamuller- Agregalar olarak ahşap yonga kullanılan beton- Gerekli özellikler ve deney metotları” ve “TS EN 15498-Öndökümlü beton mamuller- Ahşap yongalı beton perde bloklar- Mamul özellikleri ve performansı” adlı standartlar olmasına rağmen odun peletinin beton mamullerle kullanımına dair herhangi bir standart bulunmamaktadır. Yapı sektöründe teknik ve teknolojik gereksinimleri standartlar ile tanımlanan ahşap-beton ürünlerin varlığı [Arbolit, 2021; RUSSIONGOST, 2021a, b, c, d; Durisol, 2021a, b; ISO SPAN, 2021], odun peletinin de betonda katkı olarak kullanılabileceği öngörüsünü oluşturan çalışmalardı.

3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada odun peletinin, beton bileşenleri içerisindeki kullanılabilirliğini incelemek amacıyla yapılan katkılı hafif betonların bazı fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Bu amaçla deneysel çalışma kapsamında üretilen taze betonda çökme (slump) ve yoğunluk (birim hacim kütle) deneyleri; sertleşmiş betonda yoğunluk (birim hacim kütle), boy ve ağırlık değişimi, kılcal (kapiler) su emme, ağırlıkça ve hacimce su emme, ultrases geçiş hızı, organik madde muhtevası tayini, Schmidt çekici, basınç ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Deneysel çalışmalar kapsamında öncelikle çimento ikamesi olarak odun peletinin kullanılabilirliği incelenmiştir. Bunun için katkısız ve odun peleti katkı oranı %5 olacak şekilde 40x40x160 mm prizma ve 70x70x70 mm küp numuneler üretilmiş; ağırlık ve boy değişimi, birim hacim kütle, ağırlık ve hacimce su emme, kılcal su emme ve eğilme dayanımı değerleri ölçülmüştür. Birim hacim kütle değerlerinin her iki seri için de benzer özellik gösterdiği, katkılı seride ağırlıkça ve hacimce su emme oranlarında %1,5, kılcal su emme oranında %50, eğilme dayanımında ise yaklaşık %85 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir. Beton içerisinde bağlayıcı özellik gösteren çimentonun yerine %5 oranında odun peletinin kullanılması beklenildiği gibi dayanımı olumsuz yönde etkilemiştir.

Bunun üzerine doğada sınırlı ve tükenebilir diğer bir kaynak olan çakıl agregasının ikamesi olarak odun peletinin kullanılabilirliğini incelemek amacıyla deneysel çalışma programı hazırlanmıştır. Bunun için numune üretiminde kullanılan agrega (çakıl, kum) ve odun peletinin özellikleri ön deneylerle incelenmiştir. Deneysel çalışma; kontrol numunesi üretimi, toplam agreganın %3, %5 ve %7 oranlarında odun peleti katkılı beton numunelerin üretilmesi, fiziksel ve mekanik deneyler, deney sonuçlarının değerlendirilerek irdelenmesi aşamalarından oluşmaktadır.

Literatür araştırmalarında ahşap atıkların hafif beton üretiminde kullanılabilir olduğu (Tablo 2.5) anlaşılmaktadır. Tez çalışması kapsamında üretilen odun peleti katkılı beton numunelerin bazı standartlar kapsamında değer aralıklarını inceleyebilmek için öne çıkan hafif beton özelliklerinden bazıları aşağıda özetlenmiştir.

Birim Hacim Kütle

TS EN 206+A2’de etüv kurusu durumundaki beton yoğunluğu 800 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 arasında olan betonlar “hafif beton” olarak adlandırılmaktadır. Beton sınıflandırılmasında betonun birim hacim kütle (yoğunluk), çökme ve basınç dayanımı hesaplanmasıdır. Betonun yoğunluk değerine bakılırken etüv kurusu durumundaki beton kullanılmaktadır. Hafif betonların yoğunluk değerlerine göre sınıflandırılması **Tablo 3.1**’de verilmiştir.

Tablo 3.1: Hafif betonların birim hacim kütle sınıfı ve aralıkları.

Birim Hacim Kütle Sınıfı	Birim Hacim Kütle Aralığı (kg/m^3)
D 1,0	$\geq 800 \text{ YD} \leq 1000$
D 1,2	$\geq 1000 \text{ YD} \leq 1200$
D 1,4	$\geq 1200 \text{ YD} \leq 1400$
D 1,6	$\geq 1400 \text{ YD} \leq 1600$
D 1,8	$\geq 1600 \text{ YD} \leq 1800$
D 2,0	$\geq 1800 \text{ YD} \leq 2000$

Hafif Beton Çökme Sınıfı

Betonun kıvama göre sınıflandırılmasında taze beton durumundaki beton kullanılmaktadır. TS EN 12350-2 standardına göre betonların çökme sınıfları ve değerleri **Tablo 3.2**’de verilmiştir.

Tablo 3.2: Beton çökme sınıfları ve değerleri.

Beton Çökme Sınıfı	Çökme (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	≥ 220

Hafif Beton Basınç Dayanımı

Hafif betonlarda basınç dayanımlarına bağlı olarak beton sınıflandırılması yapmak mümkündür. TS EN 206+A2 standartlarında belirtildiği üzere 150 mm çapında ve 300 mm yüksekliğinde silindir numunelerin (f_{ck} , cyl) veya 150 mm kenar uzunluğuna sahip küp numunelerin (f_{ck} , cube) 28 günlük karakteristik basınç dayanımları LC8/9 ile LC80/88 aralığında değişmektedir. Hafif betonların basınç dayanımına göre sınıflandırılması **Tablo 3.3**'te verilmiştir [TS EN 206+A2].

Tablo 3.3: Hafif betonların basınç dayanım sınıfı ve dayanım değerleri.

Basınç Dayanım Sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı (f_{ck} , cyl) N/mm ²	En düşük karakteristik küp dayanımı (f_{ck} , cube) N/mm ²
LC 8/9	8	9
LC 12/13	12	13
LC 16/18	16	18
LC 20/22	20	22
LC 25/28	25	28
LC 30/33	30	33
LC 35/38	35	38
LC 40/44	40	44
LC 45/50	45	50
LC 50/55	50	55
LC 55/60	55	60
LC 60/66	60	66
LC 70/77	70	77
LC 80/88	80	88

Hafif betonların sınıflandırılması için TS EN standartları dışında başka sınıflandırma yöntemlerinin olduğu ve bu standartların dünyanın birçok ülkesinde kabul edildiği literatür taramasında görülmüştür. ACI (American Concrete Institute), RILEM (Reunion International des Laboratoires et Experts des Materiaux, Systemes de Construction et Ouvrages, French) ve ASTM (American Society for Testing and

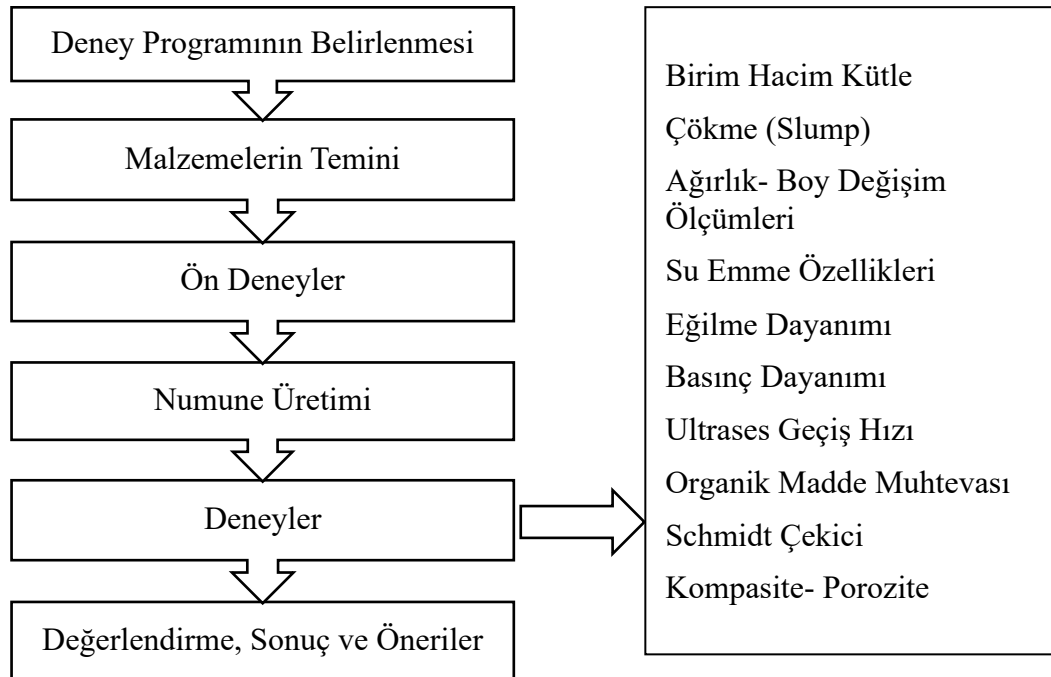
Materials) standartlarına göre hafif betonların kullanım amaçlarına uygun olarak sınıflandırılması mümkündür. Bu standartlara göre hafif betonlar beton dayanımlarına bağlı olarak üç ana grupta incelenebilmektedir [Clarke,1993; Lamond ve Pielert, 2006]. Bunlar taşıyıcı hafif betonlar (I), taşıyıcı/yalıtım hafif betonları (II) ve yalıtım hafif betonlarıdır (III). Standartların isimleri ve sınıflandırma türleri **Tablo 3.4**'te verilmiştir.

Tablo 3.4: Beton dayanımlarına bağlı hafif beton sınıflandırılması.

Hafif Beton Sınıfı Standartlar	Beton Yoğunluğu (kg/m ³)		Basınç Dayanımı (MPa)		Isı İletim Katsayısı (W/m ⁰ K)	
	A	B	A	B	A	B
(I) Taşıyıcı	<2000	1440-1840	> 15	>17	-	-
(II) Taşıyıcı/ Yalıtım	-	800- 1440	>3,5	3,4-17	<0,75	0,22- 0,43
(III) Yalıtım	-	240- 800	>0,5	0,7- 3,4	<0,30	0,065- 0,22

A: RILEM, B: ASTM

Deneyisel çalışmalarda **Şekil 3.1**'de yer alan iş akış şeması belirlenmiş ve bu doğrultuda çalışmalar yapılmıştır.



Şekil 3.1: İş Akış Şeması.

3.1. Kullanılan Malzemeler ve Numune Üretimi

Numune üretiminde çimento, agrega ve odun peleti kullanılmıştır. Çimento, OYAK-Aslan Çimento Fabrikası'ndan temin edilmiştir. TS EN 197-1 (2012) standartlarına uygun olarak üretilmiş CEM 1 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Çimentolar üretim gününe kadar nem almayacak şekilde muhafaza edilmiştir. Kullanılan çimento tipine ait standartlar, kimyasal analizleri, fiziksel özellikleri ve basınç dayanımı değerleri **Ek-A Tablo 3.1**, **Ek-A Tablo 3.2** ve **Ek-A Tablo 3.3**'te verilmiştir. Agrega olarak kullanılan çakıl ve yıkanmış, elenmiş doğal kum İstanbul, Sultangazi Cebeci Mahallesi'nde bulunan taş ocağı işletmesinden temin edilmiştir. MTA'nın verilerine göre çakılın fiziksel ve kimyasal özellikleri **Ek-A Tablo 3.4**'te verilmiştir [Web 35, 2021]. Odun peleti ise Çanakkale'de yer alan Sebioenergy firmasından temin edilmiştir. %100 çam ağacından elde edilen odun peletinin özellikleri **Tablo 3.5**'te verilmiştir.

Tablo 3.5: Odun peletinin özellikleri.

Odun Peletinin Özellikleri	
Çap	6±1 mm
Boy	3,15 mm ≤L<40 mm
Nem	<10 %
Mekanik Dayanım	≥ 98,0 %
İnce Taneler	(<3,15 mm) ≤ 0,5 %
Net Kalorifik Değer	≥4,6 kWh/kg
Yığın Yoğunluğu	600 ≤BD ≤ 750

Literatürde odun peletinin betonda doğrudan kullanıma dair bir çalışma olmadığından farklı ahşap atık (talaş tozu ve talaş parçası vb.) içeren betonla ilgili deneysel çalışmalarda %10, %15 oranından daha fazla ahşap atık içeren numunelerin basınç ve eğilme dayanımında istenilen değerlere ulaşamadığından [Dominguez-Santos vd.,2019; Liang ve Sakai, 2020] yola çıkarak yaklaşık katkı oranları %3, %5 ve %7 olarak belirlenmiştir. Numune üretiminde çimento dozajı 350 kg/m³ olan karışımlarda su/çimento oranı 0,55 sabit tutulmuş, TS 2511 ve TS EN 206+A2 (**Ek-A Tablo 3.5**) standartlarına bağlı kalarak üretim gerçekleştirilmiştir. Üretimde beton mikseri

kullanılarak 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Katkısız olan K serisi kontrol numunesi, %3 odun peleti katkıli numuneler OP3 serisi, %5 odun peleti katkıli numuneler OP5 serisi ve %7 odun peleti katkıli numuneler OP7 serisi olarak belirlenmiştir. Odun peleti toplam agrega (çakıl ve kum) ikamesi olacak şekilde hesaplanmıştır. Katkı oranları belirlenirken odun peleti dayanımları göz önünde bulundurularak düşük oranlarda çalışmalar yapılmıştır. Karışım içerisinde 1 m³ taze beton için gerekli olan malzeme miktarları **Tablo 3.6**'da yer almaktadır.

Tablo 3.6: Numune kodları ve 1 m³ taze beton içeriği.

Numune Kodu	Odun Peleti Katkı Oranı (%)	Odun peleti (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)	Kum (kg)	Çakıl (D _{max} =4)
K	%0	-	350	192,5	270	550
OP3	%3	24,6	350	192,5	261,9	533,5
OP5	%5	41	350	192,5	229	522,5
OP7	%7	57,4	350	192,5	212,6	511,5

Boy-ağırlık değişimi, kılcal (kapiler) su emme, ağırlıkça ve hacimce su emme, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve organik madde muhtevası tayini deneyleri için 40x40x160 mm ebatlarında prizma; birim hacim kütle, basınç dayanımı, Schmidt çekici ve komposite-porozite deneyleri için 150x150x150 mm ebatlarında küp numune kullanılmıştır. 48 adet 40x40x160 mm ve 12 adet 150x150x150 mm ebatlarında küp olmak üzere toplamda 60 adet numune üretilmiştir. Her bir karışım oranı için 3'er adet numune üretilerek ortalaması alınmıştır. Deney programı, standartlar ve numune ebatları **Ek-A Tablo 3.6**'da verilmiştir.

3.2. Ön Deneyler

Odun peleti katkıli beton numune üretiminden önce etüv kurusu alınan agreganın elek analizi yapılarak granülometri eğrisi oluşturulmuştur. Sonrasında çakıl ve odun peletinin su emme değerleri hesaplanmıştır.

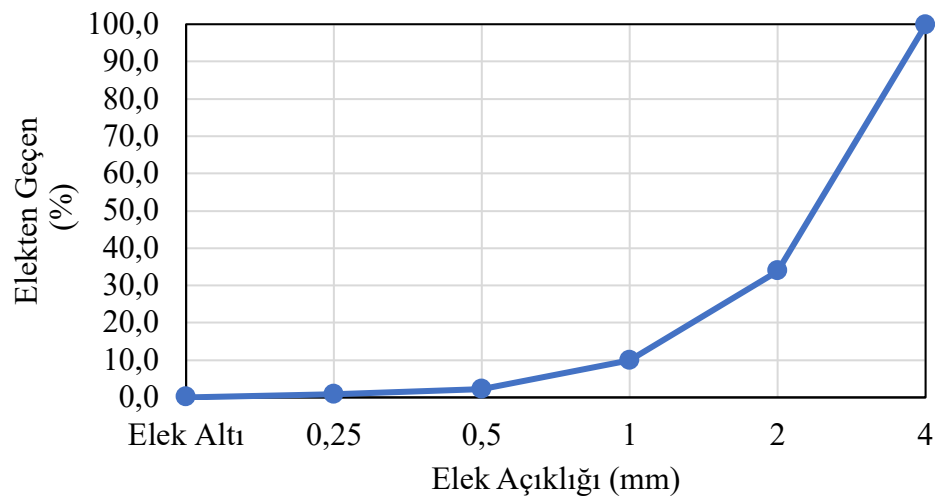
3.2.1. Elek Analizi

TS EN 933-1:2012 standardına göre çakılın elek analizi ve incelik modülü hesaplaması için $D_{\max}$ 4 mm olan agregalar $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüvde 24 saat kurutulduktan sonra elek analizi yapılmıştır. 2000 gr homojen karışıma ait incelik modülü 3,54 mm olarak elde edilen değer **Tablo 3.7**'de verilmiştir.

Tablo 3.7: Elek analizi.

Elek Göz Açıklığı (X Eksen)	Elek Üzerinde Kalan (gr)	Kümülatif Kalan (gr)	Elek Üzerinde Kalan (%)	Kümülatif Kalan (%)	Kümülatif Geçen (%) Y Eksen
4 mm	4,5	4,5	0,23	0,23	99,77
2 mm	1319,5	1324	65,975	66,21	33,80
1 mm	478,5	1802,5	23,93	90,14	9,87
0,5 mm	153	1955,5	7,65	97,79	2,22
0,25 mm	27,5	1983	1,38	99,17	0,84
Tepsi	17	2000	0,85	100	0,0
Toplam	2000			3,54	

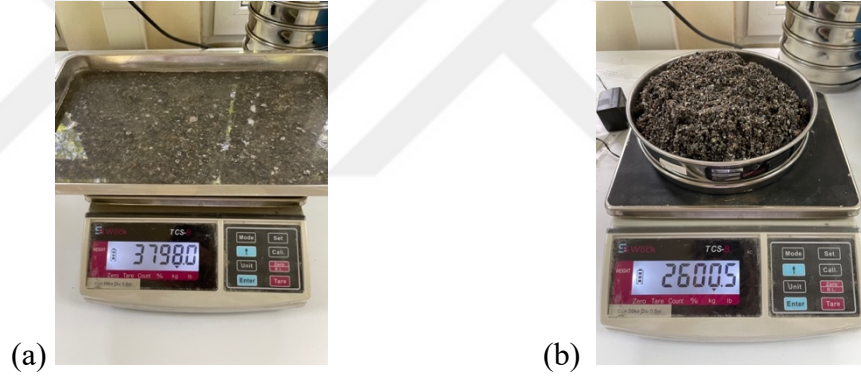
Elek analizinde dane boyu oranları 5 mm- 4 mm arası %0,23, 4 mm- 2 mm arası %65,98, 2 mm-1 mm arası %23,93, 1 mm-0,5 mm arası %7,65, 0,5 mm-0,25 mm arası %1,38 ve 0,25 mm'den küçük %0,85 olan çakıla ait granülometri eğrisi **Şekil 3.2**'de verilmiştir.



Şekil 3.2: Agreganın (çakıl) granülometri eğrisi.

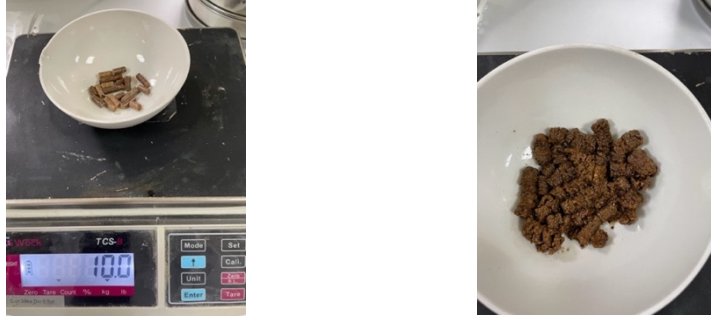
3.2.2. Su Emme Deneyi

Beton numune üretiminde su oranının belirlenebilmesi için agrega ve odun peletinin su emme oranları, agregaların elek analizi yapılarak incelik modülü belirlenmiştir. TS 2511’de belirtildiği üzere D_{max} ’ı 4 mm olan çakılın su emme oranının belirlenmesi için 2000 gr tartılmıştır. Etüv kurusu alınan agrega metal tepsiye yerleştirilmiş ve buharlaşması miktarı da göz önünde bulundurularak üzerine çıkacak seviyede 1000 gr su eklenmiştir. 24 saat suda bekletilen agregalar 0,63 mm göz açıklığına sahip eleğe aktarılmıştır. Kurutma işleminden önce tepsisi ve agrega tartılarak suyun buharlaşma miktarı 25 gram olarak bulunmuştur. Aktarılan su tartılmış ve sonrasında suya doymun hale getirilen agrega ve elek tekrar tartılmıştır (Şekil 3.3). Suya doymun hale gelen agreganın 2040 gram olduğu görülmüştür. 2040 gramın 2000 gramı agreganın etüv kurusu ağırlığı, 40 gramı ise agreganın su emme miktarıdır. Buradan yola çıkarak agreganın su emme oranı ise %2 olarak bulunmuştur.



Şekil 3.3: Agreganın su emme deneyi için tartılması.

Odun peletinin su emme özelliğinin belirlenmesi için odun peleti $60 \pm 5^\circ\text{C}$ 'deki etüvde 24 saat kurutulmuştur. Odun peletinin su emme değeri belirlenirken 10 gr odun peleti seramik bir kap içerisine birbirine temas etmeyecek şekilde yerleştirilmiştir. Fiziksel formunun bozulmaması için sıvri uçlu enjeksiyon ile su eklendikçe odun peletleri hafifçe hareket ettirilmiş ve her yüzeyi su ile temas ettirilmiştir (Şekil 3.4). Su eklendikçe lifli yapıya sahip olan odun peleti şişmeye başlamış ve ağırlığının 3,5 katı oluncaya dek bu işlem tekrarlanarak suya doymun hale gelmesi için gereken su miktarı hesaplanmıştır. Sonrasında şişen odun peleti dağılmaya başlayarak fiziksel formunu kaybetmiştir.



Şekil 3.4: Odun peleti su emme deney düzeneği.

3.3. Taze Beton Deneyleri

Taze betonun çökme (h, cm) özellikleri ve yoğunluk (D , kg/m^3) değerlerinin belirlenmesi amacıyla yapılan deneyler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır.

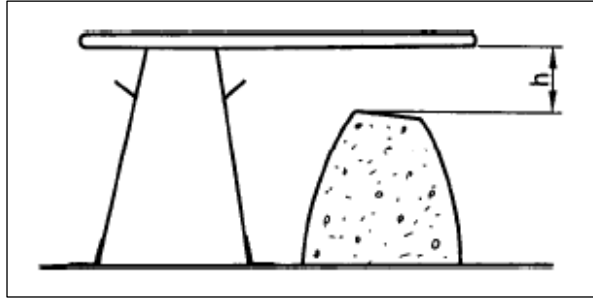
3.3.1. Çökme (Slump) Deneyi

Çökme (slump) deneyi için TS EN 12350-2'ye göre kesik huni şeklindeki kalıba önceden hazırlanan beton karışımının doldurma işlemine başlanmıştır. Bu işlem yapılırken kesik huninin 3'te biri olacak şekilde ilk doldurma yapılmış ve ardından metal çubuğu yardımı ile 25 defa batırılarak sıkıştırma işlemi yapılmıştır. Sonrasında 2/3'ü ve 3/3'ü için aynı işlem tekrarlanmıştır. Doldurma ve sıkıştırma işleminden sonra kesik huni yere dik olacak şekilde yukarı doğru çekilmiştir **Şekil 3.5**.



Şekil 3.5: Çökme deney düzeneği.

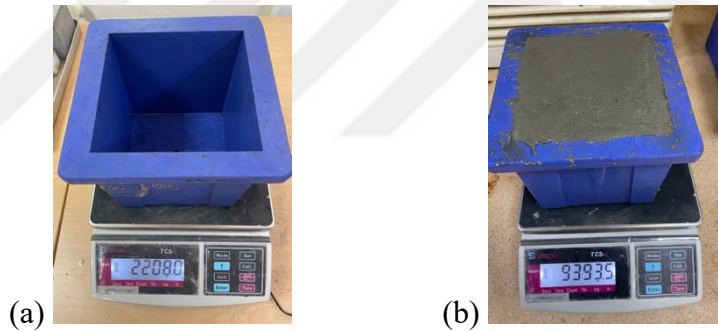
Kalıp çıktıktan sonra, kalıp üst hizası ile beton karışımın üst hizası arasındaki fark (h) ölçülerek betonun çökme (slump) değeri belirlenmiştir **Şekil 3.6**.



Şekil 3.6: Çökme farkının ölçülmesi.

3.3.2. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle) Deneyi

Taze betonun yoğunluk değeri bulunurken TS EN 12350-6 standartlarına göre öncelikle hacmi (V, m^3) ve ağırlığı (m_1, kg) bilinen kalıplar kullanılmıştır. **Şekil 3.7'**de yer aldığı gibi kalıp içerisine dökülen ve ardından sıkıştırılan beton (m_2, kg) çelik mala yardımı ile düzeltilmiş ve dolu ağırlığı tartılmıştır.



Şekil 3.7: Taze betonda yoğunluk değeri ölçümleri.

Taze beton yoğunluğu ($D, kg/m^3$) hesaplanırken (3.1) bağlantısı kullanılmıştır.

$$D = \frac{m_2 - m_1}{v} \quad (3.1)$$

D = Taze beton yoğunluğu (kg/m^3)

m_1 = Boş kalıp ağırlığı (kg)

m_2 = Yaş beton dolu ağırlığı (kg)

v = Mevcut kalıp hacmi (m^3)

3.4. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Sertleşmiş beton numunenin mekanik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleri uygulanmaktadır. Yapının türü, fonksiyonu ve maruz kalacağı çevresel etkilere göre sertleşmiş betondan istenen özellikler değişebilmektedir. Bu özellikleri belirlemek üzere sertleşmiş beton üzerinde yoğunluk deneyi, su emme deneyleri, boy ve ağırlık ölçümleri, basınç deneyi, eğilme deneyi, Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı ölçümleri, porozite kompasite ölçümleri ve organik madde muhtevası tayini deneyleri yapılmıştır.

3.4.1. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle) Deneyi

Sertleşmiş beton numunenin yoğunluk değeri bulunurken TS EN 12390-7 standartlarına göre öncelikle hacmi (v , m^3) belirlenen numunelerin, etüv kurusu ağırlığı ve suya doygun yüzey ağırlığı ölçülmüştür. Sertleşmiş betonun yoğunluk hesaplaması yapılırken sırası ile etüv kurusu ağırlığının ve suya doygun yüzey ağırlığının hacim oranlaması ile hesaplanmıştır. Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesi (kg/m^3) hesaplanırken (3.2) bağlantısı kullanılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.8'de verilmiştir.

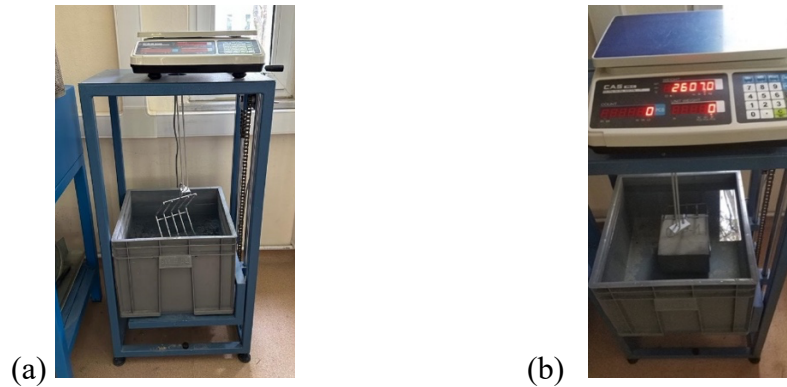
$$v = \frac{m_a - m_w}{p_w} \quad (3.2)$$

v = Numunenin hacmi (m^3)

m_a = Numunenin havadaki kütlesi (kg)

m_w = Numunenin su içerisindeki kütlesi (kg)

p_w = Su yoğunluk değeri (kg/m^3)



Şekil 3.8: Taze betonda yoğunluk değeri ölçümleri.

3.4.2. Boy Değişimi Ölçümleri

Sertleşmiş beton numunelerde boy değişim ölçümü yapılırken TS 2511 standardına göre ölçümler yapılmıştır. Hazırlanan beton numuneler çelik kalıplara döküldükten sonra 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Numuneler (40x40x160 mm prizma) orta noktalarından işaretlenerek ilk en ve boy (Δl_0 , mm) ölçümleri **Şekil 3.9**'da verildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.9: Boy değişim oranı ölçümleri.

Bu ölçümler bir hafta boyunca (Δl_i , mm) devam etmiştir. Boy değişim ölçümü yapılırken TS 2511 standardına göre boy değişimi oranı (ϵ_r , mm/mm) hesabı yapılmıştır. Boy değişiminin numunelerin ilk boyuna oranlanması yöntemi kullanılmıştır. Boy değişim oranı hesaplanırken (3.3) bağlantısı kullanılmıştır.

$$\Delta l = \frac{\Delta l_i - \Delta l_0}{l_0} \quad (3.3)$$

Δl = Boy değişim oranı (ϵ_r , mm/mm)

Δl_i = Numunenin ölçüm günü boyu (mm)

Δl_0 = Numunenin başlangıç boyu (mm)

l_0 = Numunenin ilk boyu (mm)

3.4.3. Ağırlık Değişimi Ölçümleri

Hazırlanan beton numune karışımı 40x40x160 mm boyutlu çelik kalıplara döküldükten sonra 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Ağırlık ölçümleri yapılırken numuneler bir hafta süre ile tartılmıştır (Şekil 3.9). Tartımlar 3000 gr kapasiteli 0,5 gram hassasiyetinde dijital tartı ölçülmüştür. Ağırlık ölçü değişimi (%), a), ağırlık farkının (Δ_w , g), etüv kurusu ağırlığına (W_0) oranlanması ile bulunmuştur. Ağırlık ölçüm oranı hesaplanırken (3.4) bağlantısı kullanılmıştır. Ağırlık ölçümleri Şekil 3.10'da verildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.10: Ağırlık değişim oranı ölçümleri.

$$a = \frac{\Delta_w}{w_0} \quad (3.4)$$

a = Ağırlık değişim oranı (%)

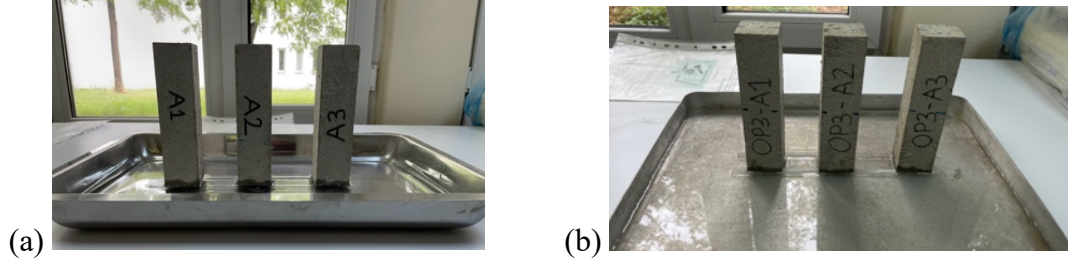
Δ_w = Ağırlık farkı (gram)

W_0 = Etüv kurusu ağırlığı (gram)

3.4.4. Kılcal (Kapiler) Su Emme Deneyi

Sertleşmiş beton numunenin kapiler su emme değeri bulunurken TS EN 772-11 standardına göre ölçümler yapılmıştır. Üretim sonrası etüvde kurutulan ve desikatörde bekletilerek değişmez ağırlığa ulaşmış numuneler (40x40x160 mm prizma) kılcal su emme deneyi öncesi ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Beton numuneler içinde $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$

sıcaklıkta su bulunan metal bir tepsi içerisinde taban yüzeylerinin altına yerleştirilmiş cam bagetler üzerinde su teması sağlanan düzeneğe **Şekil 3.11**'de yer aldığı şekilde yerleştirilmiştir.



Şekil 3.11: Kılcal su emme (kapiler) deneyi düzeneği.

Bu şekilde 30 dakika bekletilmiş ve tartılmıştır. Bu sürede azalan su miktarı göz önüne alınarak su ilave edilmiş ve 30 dakika sonra bir kez daha tartılmıştır. Sonrasında 1 saat bekletilen numuneler tekrar nemli bir bez ile üzerindeki su tanecikleri hafifçe silinerek bir ölçüm daha yapılmıştır. Kütle değişimi doğrusallıktan sapıncaya kadar yapılmış, bir sapma olmadığı durumda ise 24. saate kadar devam edilmiştir. Kapiler su emme hesaplanırken (3.5) ve (3.6) bağlantıları kullanılmıştır.

(3.5)

$$K = \frac{Q^2}{F^2 x t}$$

K = Kapilarite Katsayısı (cm²/sn)

Q = Emilen su miktarı (cm³)

F = Suyu temas eden yüzey (cm²)

t = Geçen süre (sn)

(3.6)

$$m = \frac{\Delta m}{\Delta t^2}$$

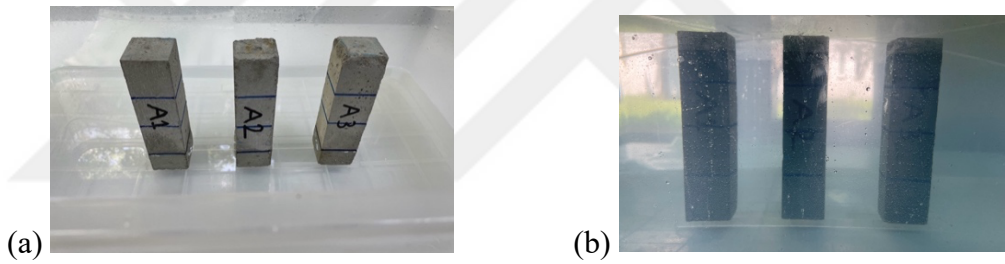
m = Su emme miktarı (kg/m².h^{0.5})

Δm = Kütle artışı (kg/m²)

Δt²=Zaman aralığı (h^{0.5})

3.4.5. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Deneyi

Sertleşmiş beton numunelerinin su emme değerlerini belirlemek üzere ağırlıkça ve hacimce oranları hesaplanmıştır. Etüvde kurutulan ve ardından desikatörde bekletilerek değişmez ağırlığa ulaşmış beton numunelerin (40x40x160 mm prizma) su emme deneyi öncesinde ağırlık ölçümleri (W_0) yapılmıştır. Beton numuneler içinde $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta su bulunan uygun büyüklükte ve derinlikte bir kap içerisine 1 saat yüksekliğinin $\frac{1}{4}$ 'üne kadar suya daldırılmış ve süre tamamlandıktan sonra nemli bez ile kurulanıp tartılmıştır. Tekrar su dolu kaba konulan numunelerin $\frac{1}{2}$ seviyesine kadar su ilavesi yapılmış ve 1 saat daha bekletilmiş ve tartılmıştır. Sonrasında $\frac{3}{4}$ seviyesine kadar suda kalacak şekilde su takviyesi yapılmış ve 1 saat sonrasında tartılmıştır. Son tartma işlemi yapıldıktan sonra kaptaki su yüksekliğinin deney numunelerinin üzerini 2 cm çıkacak seviyede su ilave edilmiş ve 45 saat beklenmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.12’de verilmiştir.



Şekil 3.12: Ağırlıkça ve hacimce su emme deney düzeneği.

Toplamda 48 saat su içerisinde kalan numuneler bir bez ile hafifçe silinmesinin ardından tartılarak suya doygunun numunenin havadaki ağırlığı (W_{sh}) elde edilmiştir. Aynı beton numunelerin su içindeki ağırlığı (W_{ss}) ölçülerek hacimce su emme oranı belirlenmiştir. Ağırlıkça su emme oranı (a_s) hesaplanırken (3.7), hacimce su emme oranı (h_s) hesaplanırken (3.8) bağlantısı kullanılmıştır.

$$a_s = \frac{W_{sh} - W_0}{W_0} \times 100 \quad (3.7)$$

a_s = Ağırlıkça su emme oranı (%)

W_{sh} = Suyu doygun havadaki ağırlık

W_0 = Etüv kurusu ağırlık

(3.8)

$$h_s = \frac{W_{sh} - W_0}{W_{sh} - W_{ss}} \times 100$$

h_s = Hacimce su emme oranı (%)

W_{sh} = Suyu doymun havadaki ağırlık

W_{ss} = Suyu doymun sudaki ağırlık

W_0 = Etüv kurusu ağırlık

3.4.6. Porozite ve Kompasite

Porozite ve kompasite malzeme içerisinde yer alan boşluk ve doluluk oranlarını tanımlanmasıdır. Porozite (%p), numunenin boşluk hacminin (V_b), malzemenin görünür hacmine (V_t) oranlanması ile elde edilirken (3.9) bağlantısı kullanılmıştır.

(3.9)

$$p = \frac{v_b}{v_t} \times 100$$

p = Porozite (%)

V_b = Numunenin boşluk hacmi (cm^3)

V_t = Numunenin toplam hacmi (cm^3)

Toplam doluluk oranı olan kompasite (%k) ise numunenin doluluk hacminin (V_d) malzemenin görünür hacmine (V_t) oranlanması ile bulunur. Kompasite hesaplanırken (3.10) bağlantısı kullanılmıştır.

(3.10)

$$k = \frac{v_d}{v_t} \times 100$$

k = Kompasite (%)

V_d = Numunenin dolu hacmi (cm^3)

V_t = Numunenin toplam hacmi (cm^3)

3.4.7. Ultrases Geçiş Hızı

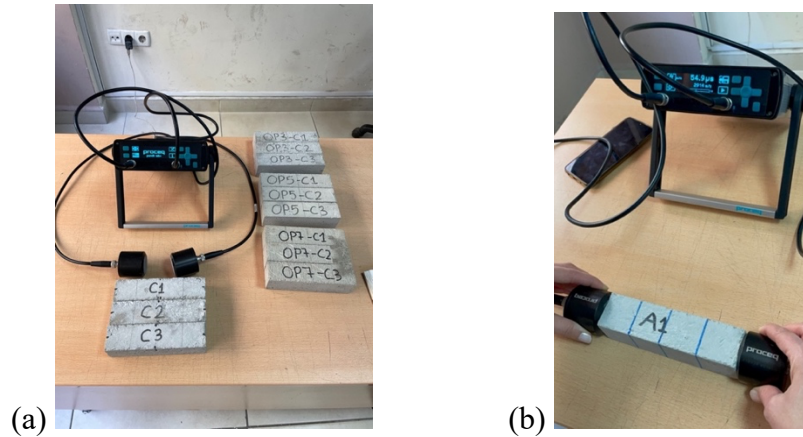
Sertleşmiş betonda kullanılan tahribatsız deney yöntemlerinden biri olan ultrases geçiş hızı TS EN 12504-4 standardına göre iki prob arasındaki ses dalgalarının beton numunenin içindeki ilerleme hızının ölçülmesiyle yapılmaktadır. İlk probun ürettiği ses dalgasının betona aktarılması ile deney başlar ve numune boyunca iletilen ses dalgasının ikinci proba ulaşması için geçen süre cihaz tarafından tespit edilmesi ile deney sona ermektedir. Ses dalgasının aldığı yolun, iletildiği zamana oranlanması ile dalga hızına ulaşılr. **Şekil 3.13**'te yer alan şekilde yapılan ultrases geçiş hızı ölçümleri hesaplanırken (3.11) bağlantısı kullanılmıştır. Ultrases geçiş hızı ile beton kalitesi ile arasındaki ilişki **Tablo 3.8**'de gösterilmiştir [IAEA, 2002].

$$v = \frac{l}{t} \quad (3.11)$$

v = Boyuna dalga'nın yayılma hızı (mm/ μ s)

l = Dalga'nın kat ettiği mesafe (mm)

t = Dalga'nın mesafeyi katetmesi için gereken süre (μ s)



Şekil 3.13: Ultrases geçiş hızı ölçüm deneyi.

Tablo 3.8: Ultrases hızı ve beton kalitesi arasındaki ilişki.

Ultrases Geçiş Hızı		Beton Kalitesi
km/s	ft/s	
> 4.5	> 15	Mükemmel
3.5-4.5	12-15	İyi
3.0-3.5	10-12	Şüpheli
2.0-3.0	7-10	Zayıf
< 2.0	< 7	Çok zayıf

3.4.8. Organik Madde Muhtevası Tayini

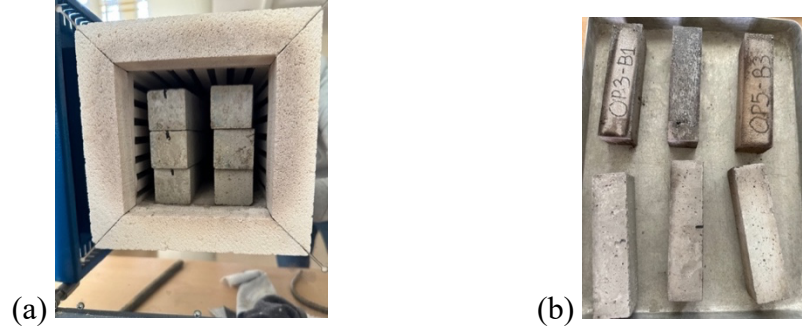
Sertleşmiş betonun yanıcılık sınıfını belirlemek amacıyla organik madde muhtevasına bakılabilmektedir. TS EN 13820 standartlarında yer alan yanıcılık sınıfı belirleme deneyi için numunelerin öncelikle etüv kurusu alınması gerekmektedir. Etüv de $100\pm5^{\circ}\text{C}$ ' de minimum iki saat kurutularak içeriğindeki nemi kaybetmesi gerekmektedir. Numuneler TS EN 13820' de belirtildiği üzere 500°C kül fırınında 30 dakika boyunca tutulmuştur. Kül fırınına koymadan önce numunenin tartımı yapılmaktadır. Kül fırını öncesi ve sonrası tartım yapılarak aradaki fark hesaplanmaktadır. Kütle farkı hesaplanırken (3.12) bağlantısı kullanılmıştır. Kütle farkı %1'den az olduğu takdirde bu malzemenin yangın dayanım sınıfının A sınıfı olduğu söylenebilmektedir. Deney düzeneği Şekil 3.14'te verilmiştir.

$$W = \frac{W_i - W_s}{W_i} \times 100 \quad (3.12)$$

W = Kütle farkı (%)

W_i = Etüv öncesi ağırlık (gram)

W_s = Etüv sonrası ağırlık (gram)



Şekil 3.14: Organik madde muhtevası tayini.

3.4.9. Eğilme Dayanımı Deneyi

Sertleşmiş betonun numunelerin eğilmede dayanımının belirlenmesi için etüv kurusu alınmış ve değişmez ağırlığa ulaşmış numunelerin boy ölçümleri yapılmıştır. Eğilme dayanımı deneyi için 40x40x160 mm boyutunda olan numuneler iki mesnet arası 100 mm olacak şekilde mesnetler üzerine yerleştirilmiştir. Numunenin tam orta noktasından tüm genişlik boyunca etki eden P çizgisel yükü uygulanmıştır (**Şekil 3.15**). Yükleme hızı 0,5kN/s olacak şekilde yük uygulanmıştır. Eğilme dayanımı ölçümleri **Şekil 3.16**'da verildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.15: Eğilme dayanımı deneyi.

Deney düzeneği **Şekil 3.16**'da [TS EN 12390-5] gösterildiği gibi hazırlanmış ve eğilme dayanımı (3.13) bağlantısı ile hesaplanmıştır.

$$f_e = \frac{3Fl}{2d_1d_2^2} \quad (3.13)$$

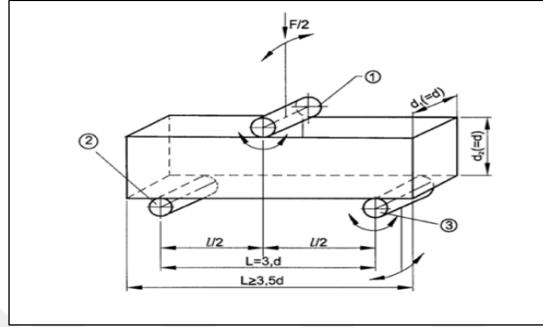
f_c = Eğilme dayanımı (MPa) (N/mm²)

F = Prizmanın kırıldığı andaki uygulanan yük (N)

l = Mesnetler arası mesafe (mm)

d_1 = Prizmanın yük uygulanan yüzey genişliği (mm)

d_2 = Prizmanın yük uygulanan yüzey yüksekliği (mm)



Şekil 3.16: Deney numunesini yükleme düzeneği (orta noktadan yükleme).

3.4.10. Basınç Dayanımı Deneyi

Sertleşmiş beton numunelerde basınç dayanımının belirlenmesi amacı ile TS EN 12390-3'te belirtildiği üzere üretilen 150x150x150 mm boyutlu küp numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkarılmıştır. Standartta belirtildiği üzere kalıplardan çıkartılan numuneler 7. güne kadar 21±3 °C suda bekletilmiş ardından 18 gün süre ile sıcaklığı ortalama 21±3 °C, bağıl nemi %55±10 olan laboratuvar ortamında tutulmuştur. Sonrasında beton numuneler 3 gün süre ile 60±5 °C sıcaklığa ayarlı etüvde kurutularak ortam sıcaklığına sağlıklı bir şekilde soğuması amacıyla deney gününe dek desikatörde saklanmıştır. Basınç deneyi için 0,8-0,4 KN/s yükleme hızı uygulanmıştır. Basınç dayanımı ölçümleri **Şekil 3.17**'de verildiği şekilde yapılmıştır.



Şekil 3.17: Basınç dayanımı deney düzeneği.

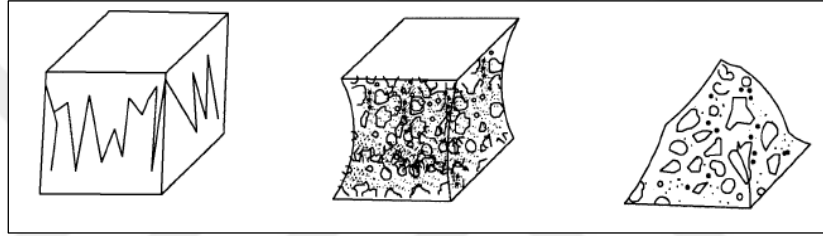
Basınç dayanımı kıran kuvvetin (f_k , KN) kuvvet uygulanan kesit alanına (A , mm²) oranlanması ile elde edilmiş, hesaplamada (3.14) bağlantısı kullanılmıştır. Kabul edilebilir kırılma türleri **Şekil 3.16**'da verilmiştir [TS EN 12390-3].

$$f_c = \frac{f_k}{A} \quad (3.14)$$

f_c = Basınç dayanımı (MPa)

f_k = Kırma yükü (KN)

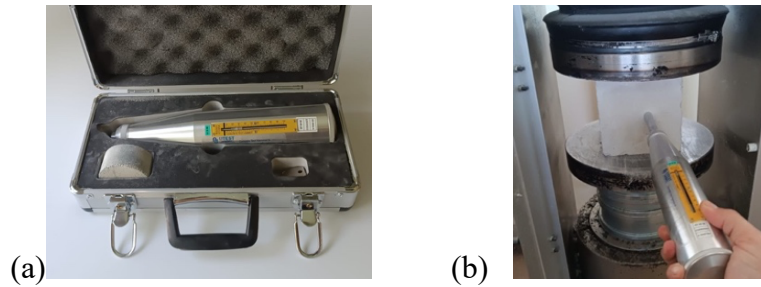
A = Yüzey alanı (mm²)



Şekil 3.18: Küp numunelerin kabul edilebilir kırılma şekilleri.

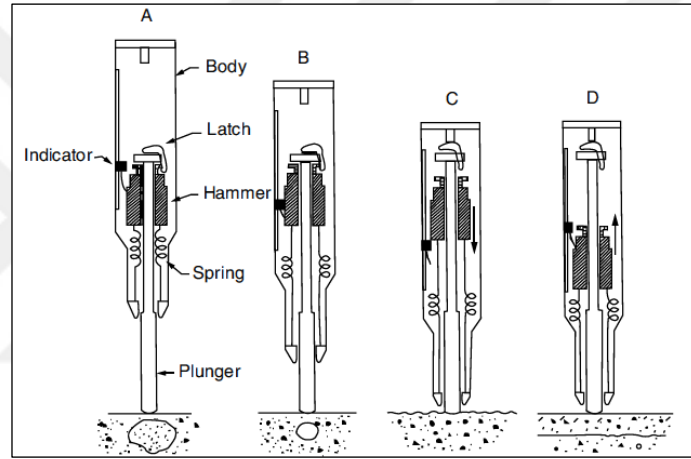
3.4.11. Schmidt Çekici Deneyi

Sertleşmiş beton numunelerde kullanılan tahribatsız deney yöntemlerinden biri Schmidt çekici yöntemidir. Schmidt test çekici ile betonun yüzey sertliğinin belirlenmesinde geri tepme yöntemi kullanılmıştır [Malhotra, 2004]. Deney aleti ve deney düzeneği **Şekil 3.19**'da verilmiştir.



Şekil 3.19: a) Schmidt çekici, b)deney düzeneği.

TS EN 13791 standardına göre, 150 mm kenar uzunluğuna sahip küp numunede uygulama yapılacak beton yüzey üzerindeki toz, çıkıntı yüzeyler temizlenerek pürüzsüz hale getirilir. Belirlenen beton numune yüzeyinde minimum 20 mm aralıklar ile 10 adet okuma yapılır ve elde edilen okumaların ortalaması alınarak geri tepme sayısı hesaplanmaktadır. Schmidt çekici, sertleşmiş betonun yüzeyine baskı sağlandığında, içerisinde yer alan yay göstergeye sabitlenir ve göstergede yer alan değer yüzeyin mekanik özelliğe ait bilgiyi gösterir. Göstergedeki değer yüzeyde oluşan geri tepme sayısıdır [Akashi ve Amasaki, 1984]. Yüzey sertliği ne kadar büyükse betonun mukavemeti de o kadar büyüktür [Aköz vd., 2005]. Şekil 3.20’de Schmidt çekicinin şematik olarak kesit gösterimine yer verilmiştir [Malhotra, 2004].



Şekil 3.20: Schmidt çekici kesiti.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

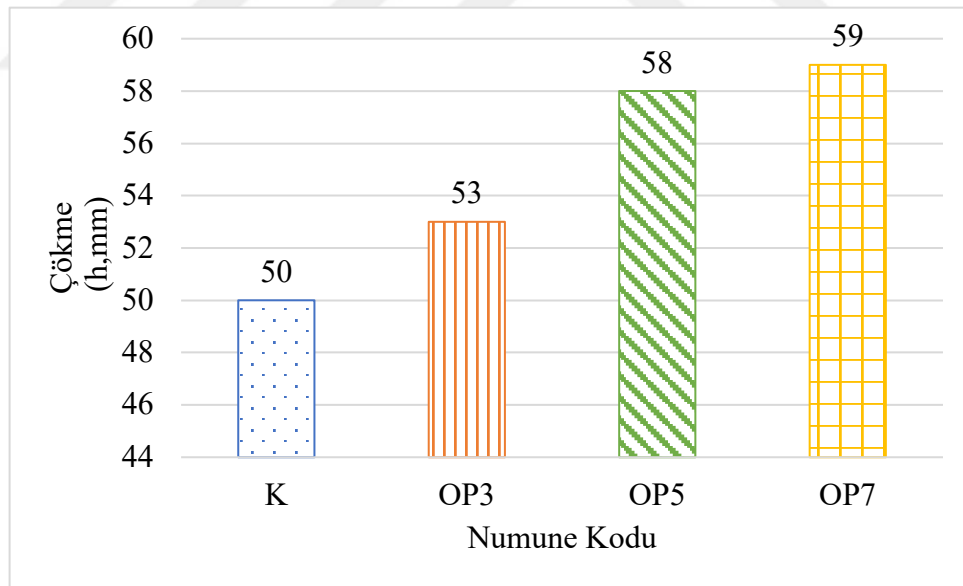
Bu bölümde, taze ve sertleşmiş beton özellikler için kontrol numunesi ve odun peleti katkılı numuneler olmak üzere dört seri üzerinde yapılmış deneylerden elde edilen sonuçlar ve değerlendirmelere yer verilmiştir.

4.1. Taze Beton Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Taze betonda dört seri (K, OP3, OP5, OP7) için çökme (slump) ve yoğunluk deneyleri yapılmış, deney verileri aşağıda sırası ile anlatılmıştır.

4.1.1. Çökme (Slump)

Taze betona ait işlenebilirliği belirlemek için TS EN 12350-2 standardına göre yapılan çökme deneyi sonucu ile çökme sınıfı belirlenmiş ve bu değerler **Şekil 4.1**'de verilmiştir.



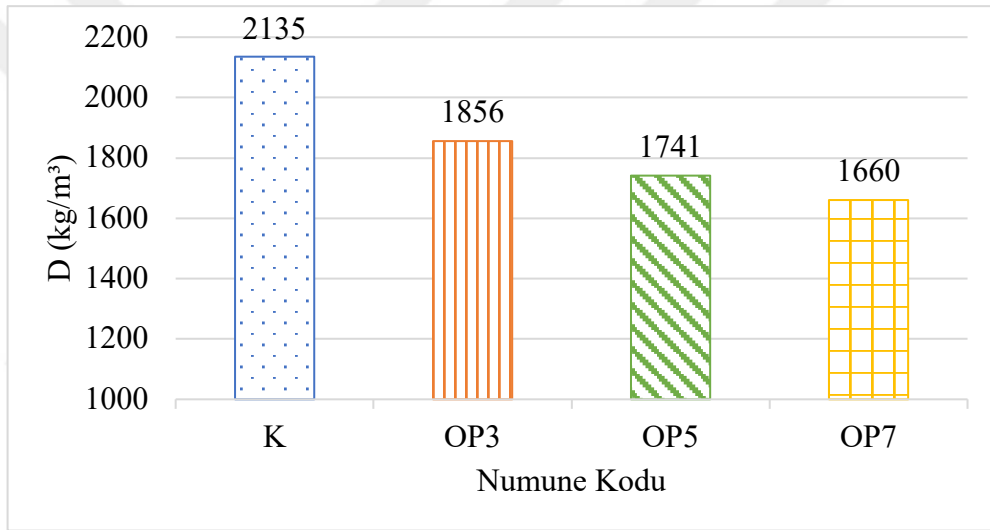
Şekil 4.1: Taze beton numunelerde çökme değerleri.

Taze betonlarda çökme değerlerine bakıldığında katkısız betondan katkılı beton numunelere kıyasla sırası ile OP3 serisinde %6, OP5 serisinde %16 ve OP7 serisinde %18 oranında artış olduğu görülmüştür. Odun peletinin agrega ikamesi olarak kullanılması karışım formunun daha akışkan olmasına sebep olmasına, dolayısıyla

betonun çökme değerinde artışa sebep olmuştur. Aynı zamanda “3.2.2. Su Emme Deneyi” bölümünde belirlenen odun peleti su miktarının karışıma eklenmesinin çökmeyi arttırdığı fakat buna rağmen betonun çökme sınıfını değiştirmedığı tespit edilmiştir. Katkısız ve katkılı tüm serilerin Tablo 2.9’da verilen beton çökme sınıflarından S2 (50-90 mm) sınıfında yer aldığı görülmüştür.

4.1.2. Yoğunluk (Birim Hacim Kütle)

Taze betona ait yoğunluk değerlerini belirlemek amacıyla TS EN 12350-6 standartlarına uygun olarak yoğunluk deneyi yapılmış ve değerler Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2: Taze beton numunelerde yoğunluk değerleri.

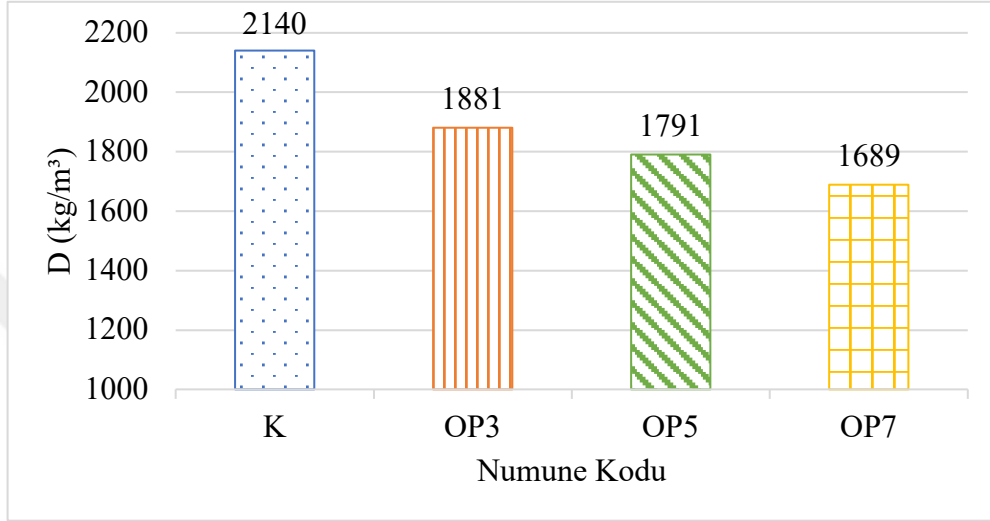
Taze beton yoğunluk değeri K numunesinde 2135 kg/m³ iken, OP3 serisinde %13, OP5 serisinde %18 ve OP7 serisinde %22 oranında azaldığı görülmüştür. Tüm katkılı taze betonlarda odun peleti katkı oranı arttıkça yoğunluğun azaldığı belirlenmiştir.

4.2. Sertleşmiş Beton Özelliklerinin Değerlendirilmesi

Sertleşmiş betonda dört farklı seri (K, OP3, OP5, OP7) için yoğunluk, ağırlıkça ve hacimce su emme, kapiler su emme, boy ölçümleri, çökme (slump) ölçümleri, ağırlık ölçümleri, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, Schmidt çekici, ultrases geçiş hızı, porozite ve kompasite deneyleri, organik madde muhtevası tayini (yangın dayanımı) yapılmış, deney verileri aşağıda sırası ile verilmiştir. Deney sonuçlarından elde edilen ortalama değerler Ek A-Tablo 4.1’de verilmiştir.

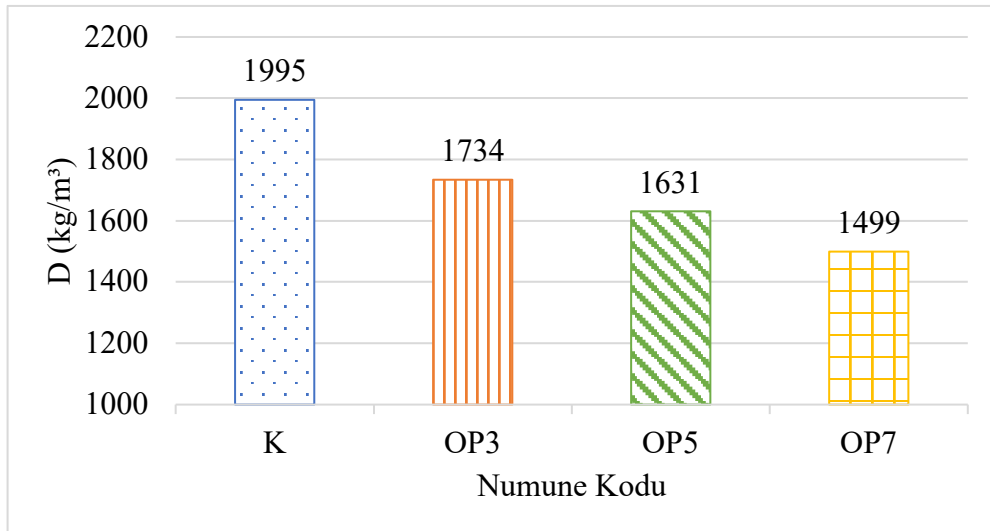
4.2.1.Yoğunluk (Birim Hacim Kütle)

Sertleşmiş beton numunelere ait yoğunluk değerlerini belirlemek amacıyla TS EN 12390-7 standartlarına göre deney yapılmış; suya doymun numunedeki yoğunluk değerleri (D_{SDY} , kg/m^3) Şekil 4.3'te, etüv kurusu numunedeki yoğunluk değerleri (D_{EKY} , kg/m^3) ise Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.3: Suya doymun beton numunelerde yoğunluk değerleri.

Suya doymun sertleşmiş betonda yoğunluk değeri K numunesinde 2140 kg/m^3 iken, OP3 serisinde %12, OP5 serisinde %16 ve OP7 serisinde ise %21 azaldığı görülmüştür. Tüm katkılı taze betonlarda odun peleti katkı oranı arttıkça yoğunluk azalmıştır.

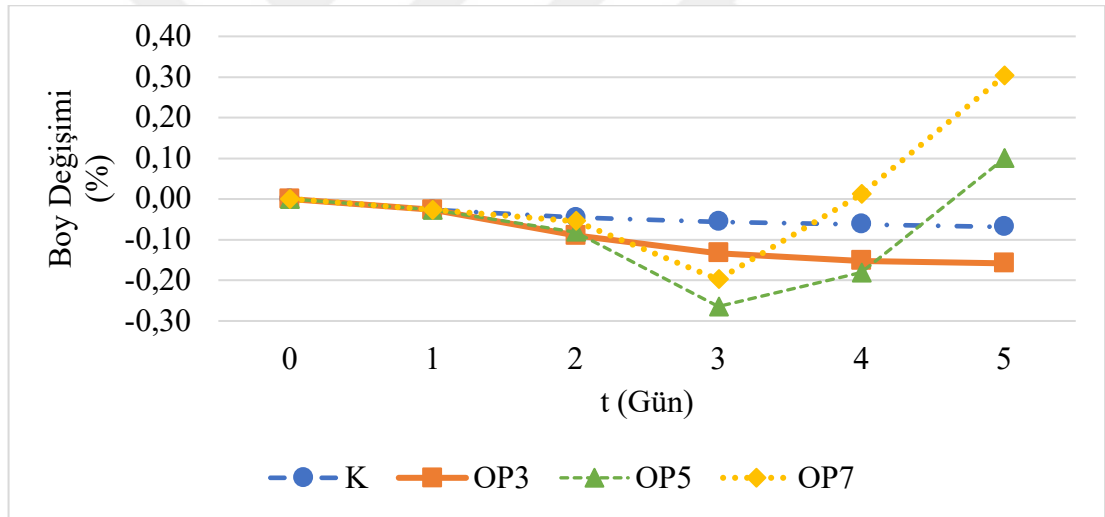


Şekil 4.4: Sertleşmiş betonda etüv kurusu numune yoğunluk değerleri.

Sertleşmiş betonda etüv kurusu yoğunluk değeri K numunesinde 1995 kg/m^3 iken, OP3 serisinde %13, OP5 serisinde %18, OP7 serisinde %25 azaldığı görülmüştür. Buna göre **Tablo 2.8**'deki değerlere bakıldığında K numunesinin birim hacim kütle sınıfı D 2,0, OP3 ve OP5 serileri D 1,8 sınıfı ve OP7 serisi ise D 1,6 olduğu tespit edilmiştir.

4.2.2. Boy Değişimi

Sertleşmiş beton numunelerde boy değişim ölçümü yapılırken TS 2511 standardına göre $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ 'lik numuneler bir hafta süre ile ölçümler yapılmıştır. Katkısız beton numunenin boy değişim oranı %0,04 oranında azalma, katkılılardan OP3 serisinde %0,09 oranında azalma, OP5 serisinde %0,26 oranında artma ve OP7 serisinde %0,20 oranında artma olarak ölçülmüştür. Boy değişimlerine ait ölçüm değerleri **Şekil 4.5**'te, ölçümlerden elde edilen ortalama değerler ise **Ek-A Tablo 4.2**'de verilmiştir.



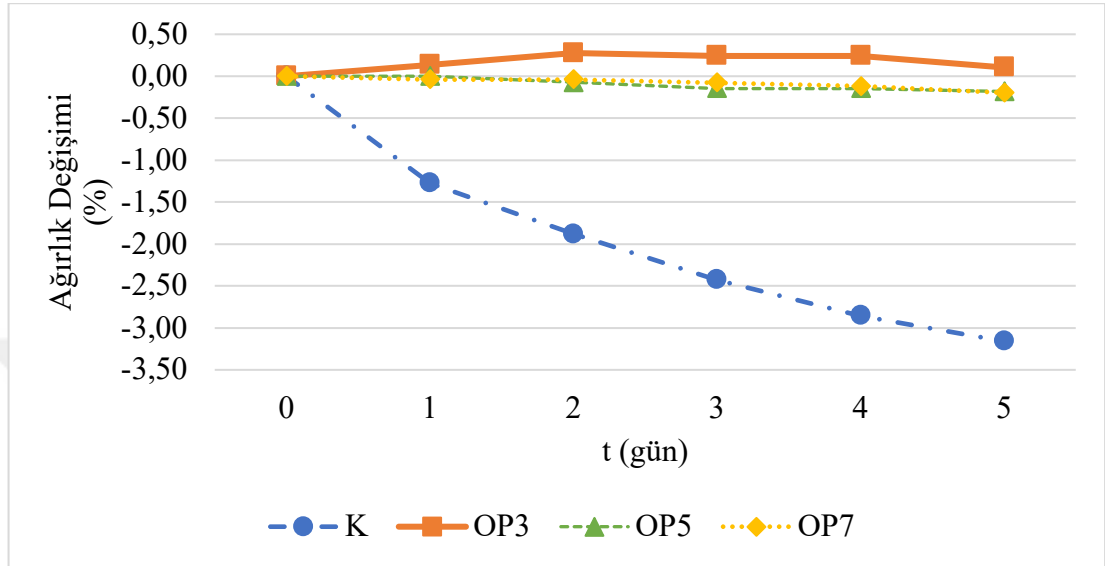
Şekil 4.5: Boy değişimi- zaman ilişkisi (er-t).

Beton numunede boy değişim grafiği incelendiğinde K ve OP3 serisinde tutarlı bir değişim olduğu, OP5 ve OP7 serilerinde üçüncü günden itibaren nemden etkilendiği düşünülerek numunelerde şişme olduğu görülmüştür. Boy değişimi istenmeyen beton numuneler için OP3 serisi kontrol numunesine benzer değişim göstermiştir.

4.2.3. Ağırlık Değişimi

Sertleşmiş beton numunelerde ağırlık ölçümleri yapılırken $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$ 'lik numuneler bir hafta süre ile ölçümler yapılmıştır. Kalıptan çıkarılan beton

numunelerin ağırlık ölçümleri yapılmıştır. Katkısız numunede %1,88 oranında azalma, katkılılardan OP3 serisinde %0,03, OP5 serisinde %0,18, OP7 serisinde %0,16 oranında azalma olduğu tespit edilmiş (Şekil 4.6) ve ölçümlerden elde edilen ortalama değerler Ek-A Tablo 4.3'te verilmiştir.

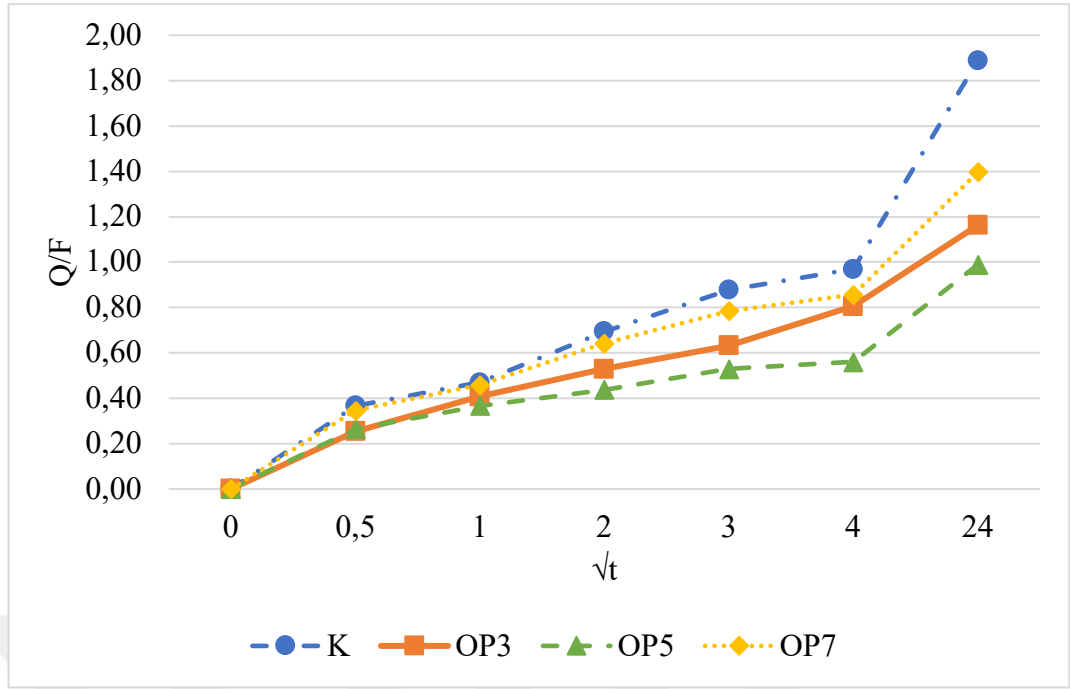


Şekil 4.6: Ağırlık değişimi – zamana ilişkisi.

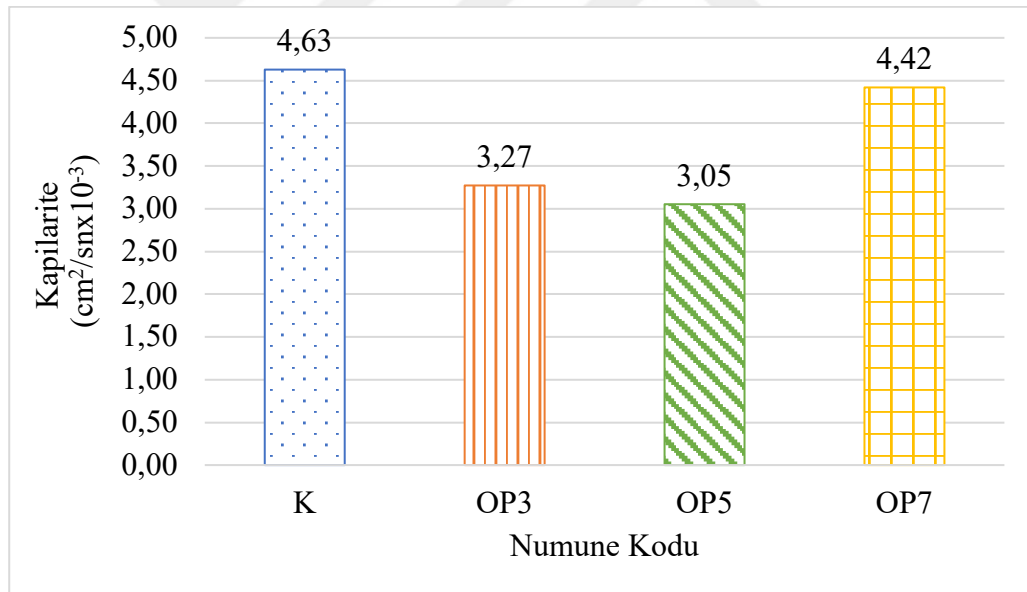
Ağırlık değişimi grafiği incelendiğinde; K serisinde katkılı numunelere göre daha fazla ağırlık kaybı olduğu ve katkılı tüm serilerde ağırlık kaybının birbirine yakın olduğu görülmüştür. Bunun sebebi beton numunelerin içerisinde yer alan odun peletinin suyu tutması sonucunda buharlaşmayı geciktirmesi olarak tespit edilmiştir.

4.2.4. Kılcal (Kapiler) Su Emme

Sertleşmiş betonda katkısız ve katkılı numunelerde kapiler su emme oranı hesaplanırken öncelikli olarak numune birim yüzeyinde emilen su miktarının zamana bağlı değişim grafiği Şekil 4.7'de, kapilarite değerleri ise Şekil 4.8'de verilmiştir. Şekil 4.7'de birim yüzeyden emilen su miktarı 24 saat takip edilmiş ve odun peleti katkısının kılcal su emmenin zamana bağlı olarak doğrusal arttığı görülmüştür.



Şekil 4.7: Kılcal su emmenin zamana bağlı değişimi (Q/F-√t ilişkisi).



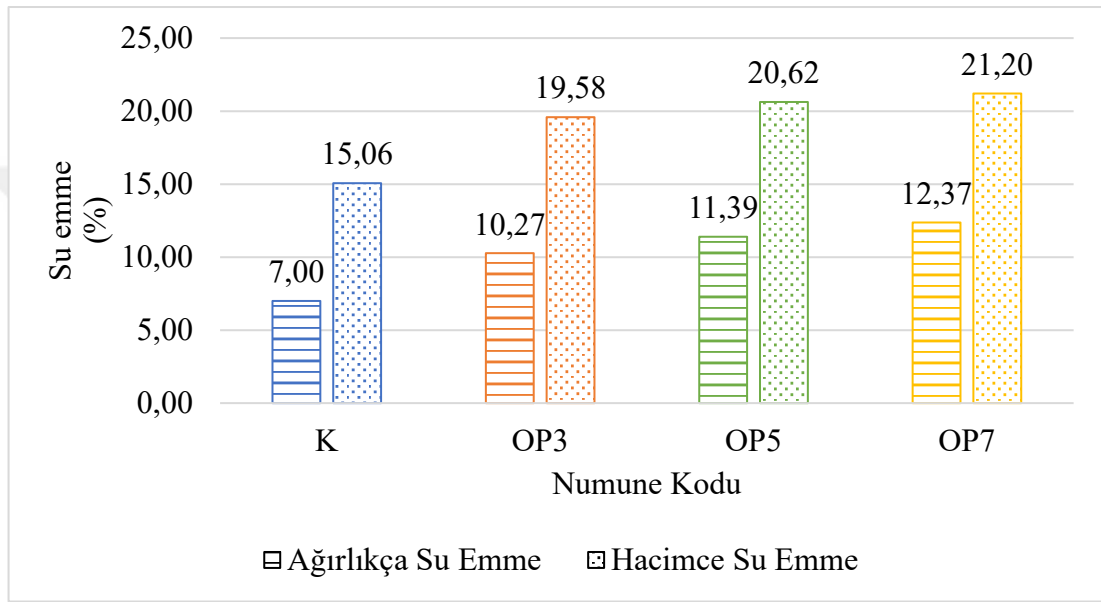
Şekil 4.8: Beton numunelerde kapilarite değerleri.

Sertleşmiş betonda katkıları K serisi ile kıyaslandığında kapilaritenin OP3 serisinde %30, OP5 serisinde %33, OP7 serisinde yaklaşık %4 azalma olduğu, odun peletinin su emmesine bağlı olarak katkı oranı arttıkça katkı serilerinin kapilarite değerlerinin artması beklenirken, en düşük değerin OP5 serisinde olduğu görülmüştür. K serisinde boşlukların birbiri ile ilişkili olduğu, katkıli serilerde ise odun peleti katkısının boşlukları tıkayarak kılcal yapıyı azalttığı tespit edilmiştir. OP5 serisindeki

beklemeyen değer farklılığı numune hazırlama aşaması ve/veya laboratuvar koşullarından kaynaklı da olabilir.

4.2.5. Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme

Sertleşmiş beton numunelerin su emme değerlerinin belirlenmesi için TS EN 772-11 standardına uygun olarak numuneler sırasıyla ağırlıkça ve hacimce su emme deneyleri yapılmış ve oranlar Şekil 4.9’da verilmiştir.

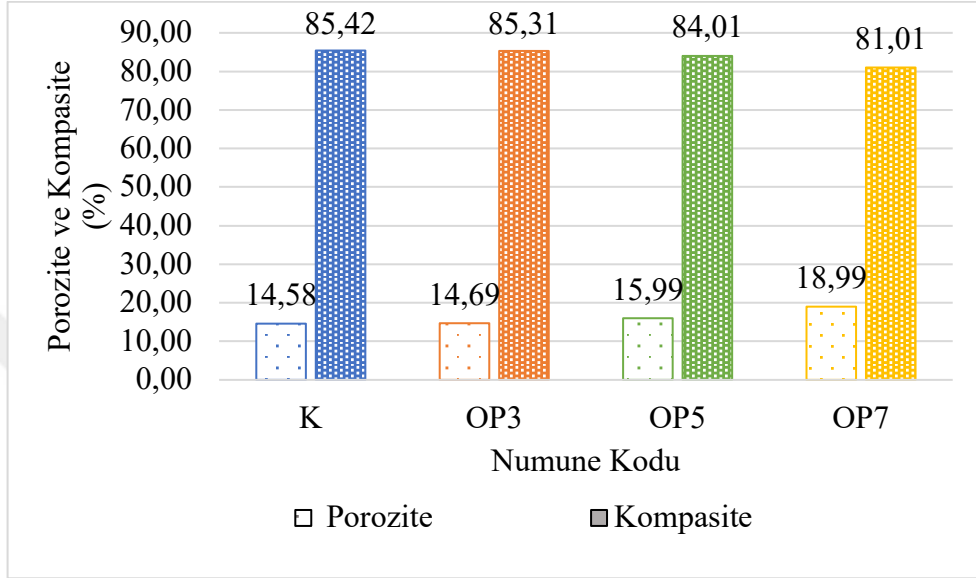


Şekil 4.9: Beton numunelerde ağırlıkça-hacimce su emme.

Grafik incelendiğinde en yüksek ağırlıkça ve hacimce su emme değeri OP7 serisinde gerçekleşmiştir. Katkılı beton numunelerde ağırlıkça ve hacimce su emme oranlarının kendi içlerinde değerlendirildiğinde birbirine çok yakın olduğu fakat en yüksek değerlere OP7 serisinde ulaşılmıştır. Sertleşmiş betonda katkılı seriler K serisi ile kıyaslandığında ağırlıkça su emmenin OP3 serisinde %47, OP5 serisinde %63, OP7 serisinde yaklaşık %76 artış olduğu görülmüştür. Benzer şekilde hacimce su emme oranındaki değişim incelendiğinde OP3 serisinde %30, OP5 serisinde %37 ve OP7 serisinde %40 oranında artış yaşanmıştır. Katkılı serilerde ağırlıkça su emme oranında hacimce su emmeye göre beklenenden daha az artış olmuştur. Odun peleti agregasının beton karışım içerisindeki yüzde miktarının az olması ve beton içerisindeki boşluğu doldurmasından kaynaklı olduğu görülmüştür.

4.2.6. Porozite ve Kompasite

Sertleşmiş betonda K serisinde porozite değeri % 14,58 iken katkılılarda sırası ile OP3 %14,69, OP5 % 15,99 ve OP7 %18,99 olarak arttığı gözlenmiştir. Kompasite değeri K serisinde %85,42 iken katkılılarda sırası ile OP3 %85,31, OP5 %84,01 ve OP7 %81,01 olarak azaldığı tespit edilmiş ve **Şekil 4.10**'da ifade edilmiştir.

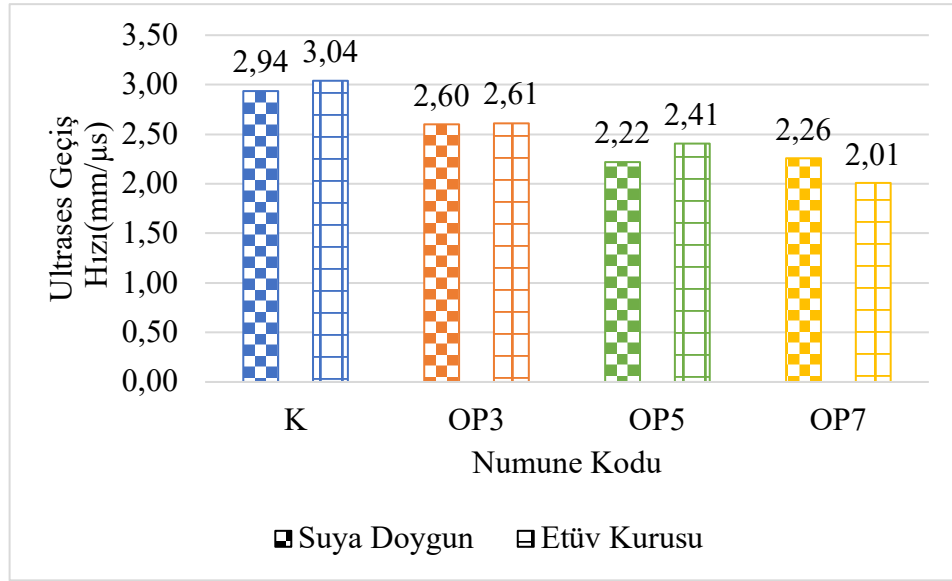


Şekil 4.10: Beton numunelerde porozite ve kompasite değerleri.

Porozite değerleri K serisine (%14,58) oranlandığında OP3 serisinde %0,75, OP5 serisinde %9,67, OP7 serisinde %30,24 oranında arttığı, kompasite değerleri K serisine (%85,42) oranlandığında OP3 serisinde %0,12, OP5 serisinde %1,65 ve OP7 serisinde %5,16 oranında azaldığı görülmüştür. Odun peleti katkısının beton numune karışımındaki oranı arttıkça poroziteyi yani boşluklu yapıyı arttırdığı tespit edilmiştir.

4.2.7. Ultrases Geçiş Hızı

Katkısız ve katkılı sertleşmiş betonlarda ultrases geçiş hızı suya doygun ve etüv kurusu numuneler üzerinde yapılmış ve değerler **Şekil 4.11**'de verilmiştir. Suya doygun tüm numunelerde ultrases geçiş hızı değerlerinin birbirine çok yakın olduğu ve en düşük değerin 2,22 mm/μs ile OP5 olduğu görülmüştür. Etüv kurusu tüm numunelerde de benzer şekilde değerler birbirine yakın ve en düşük ultrases geçiş hızı OP7 serisinde 2,01 mm/μs olarak ölçülmüştür.

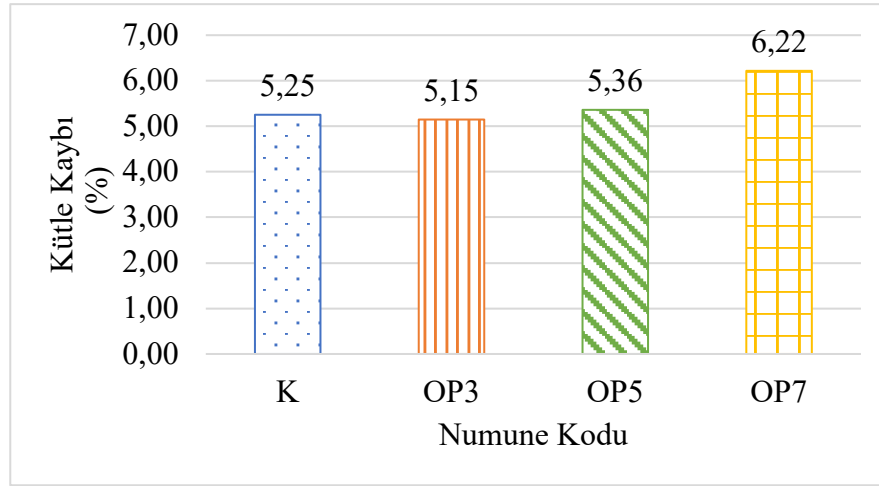


Şekil 4.11: Suya doymuş ve etüv kurusu beton numunelerde ultrases geçiş hızı.

Odun peleti katkısının artması ultrases geçiş hızını azaltmıştır. **Tablo 3.4**'te verilen ultrases geçiş hızı ile beton kalitesi arasındaki ilişkiye bakıldığında suya doymuş numunelerin hepsinin 2.0-3.0 aralığında olduğu yani beton kalitesi “**Zayıf**” olarak belirlenmiştir. Etüv kurusu beton numunelere bakıldığında ise ultrases geçiş hızının daha iyi olduğu fakat K serisi dışında diğer serilerde beton kalitesinin “**Zayıf**” olduğu görülmüştür. K serisi ise 3.0-3.5 aralığında olduğu için “**Şüpheli**” sınıfında yer aldığı sonucuna varılmıştır. Odun peleti katkısının betondaki boşluk oranını artırdığı için beklenildiği gibi betonun ultra ses geçiş hızını düşürmüştür.

4.2.8. Organik Madde Muhtevası

Sertleşmiş betonda katkısız ve katkılı beton numunelerde yangın dayanımını belirlemek üzere yapılan çalışmada elde edilen kütle kaybı oranları **Şekil 4.12**'de verilmiştir.



Şekil 4.12: Beton numunelerde kütle kaybı.

Şekil 4.12 incelendiğinde katkısız beton numunelere göre OP3 serisinde %2 kütle kaybında azalma fakat OP5 serisinde %2 ve OP7 serisinde %18 kütle kaybında artma olduğu ve odun peleti katkı oranı artışının, yangın dayanımı özelliklerini olumsuz etkilediği görülmüştür. Oranların birbirine yakın olduğu fakat en az kütle kaybının OP3 serisinde olduğu belirlenmiştir.

4.2.9. Eğilme Dayanımı

Sertleşmiş betonda katkısız ve katkılı 40x40x160 mm'lik prizma numunelerin eğilme dayanımı ölçülmüş ve elde edilen değerler Şekil 4.13'te verilmiştir. Katkısız beton K serisinde eğilme dayanımı 3,68 MPa iken, katkılı betonlardan OP3 serisinde %13, OP5 serisinde %35 ve OP7 serisinde %44 oranında azalma görülmüştür. En düşük eğilme dayanımı değeri katkı oranı en yüksek seri olan OP7'de meydana gelmiştir.

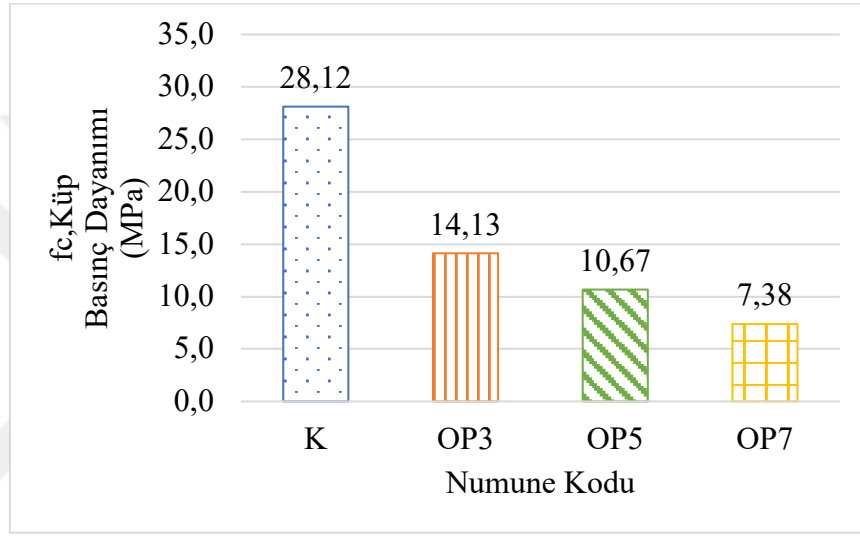


Şekil 4.13: Beton numunelerde eğilme dayanımı.

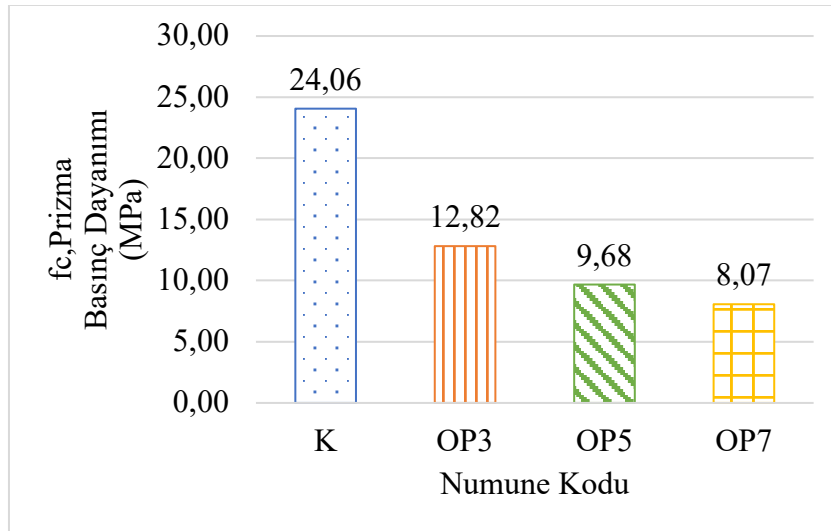
4.2.10. Basınç Dayanımı

Sertleşmiş betonda katkısız ve katkılı basınç dayanımları 150x150x150 mm'lik küp ve eğilme dayanımı deneyinde kullanılan 40x40x160 mm prizma numunede kırılan parçada ölçülmüştür.

Küp numunelerde katkısız beton numuneye kıyasla OP3 serisinde %50, OP5 serisinde %62 ve OP7 serisinde %74 oranında azalma meydana gelmiştir (Şekil 4.14). TS EN 206+A2 standardına göre K serisinin basınç dayanım sınıfı (bkz. Tablo 3.3) LC28, OP3 serisinin LC13, OP5 ve OP7 serisinin LC9 sınıfı olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.14: 150x150x150 mm küp beton numunelerde basınç dayanımı.



Şekil 4.15: Eğilme deneyinde kırılan beton numunelerde basınç dayanımı.

Eğilme deneyinde kırılan beton numunelerde basınç dayanımı grafiğinde (**Şekil 4.15**); katkısız beton numunesi K serisinde basınç dayanımı 24,06 MPa iken, OP3 serisinde %47, OP5 serisinde %60 ve OP7 serisinde %66 oranında azalma olduğu görülmüştür. Numunelerin basınç dayanım değerleri için **Tablo 3.4**'te verilen RILEM ve ASTM standart değerlerine bakıldığında hafif beton olarak sınıflandırmada K serisinin (I) Taşıyıcı; OP3, OP5 ve OP7 serilerinin (II) Taşıyıcı/Yalıtım sınıfında olduğu tespit edilmiştir.

4.2.11. Schmidt Çekici

Sertleşmiş betonda katkısız ve katkılı betonlarda Schmidt okuma değerleri **Şekil 4.16**'da verilmiştir. K serisinde 38,1 olan bu değer OP3 serisinde %20, OP5 serisinde %27 ve OP7 serisinde yaklaşık %28 oranında azalmıştır. Schmidt okumalarından katkılı beton numunelerde en sert yüzey OP3 serisinde elde edilmiştir.



Şekil 4.16: Beton numunelerde Schmidt okumaları.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ahşap ve ahşap atıkların geri kazanımı tüm dünyada sürdürülmektedir. Farklı ölçeklerde yapılan geri kazanım çalışmaları gün geçtikçe artmakta, dünya çapında oluşan bu farkındalık üretici ve tüketici bilincinin oluşmasının da temelini oluşturmaktadır.

Geri kazanımı sağlanabilen atıklar içerisinde önemli bir yere sahip olan ahşap atıkların literatürde çeşitli yapı malzemelerinin üretiminde katkı olarak kullanımına dair verimli ve olumlu sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Mimarlıkta yapı malzemesi olarak kullanımının yaygınlaşmasına yönelik yapılan çalışmaların, doğada insanlığın pek çok yarar elde ettiği ağacın korunmasının yanı sıra atıkların oluşturacağı çevresel etkilerin azaltılmasına dolayısıyla dünya ekonomisine de olumlu katkılar sağlayacaktır.

Ahşap atıkların, yaşam döngüsü boyunca oluşum evrelerinde meydana gelen atığın her evresi için önlemler alınarak çevresel etkilerinin azaltılması mümkündür. Geri kazanımı sağlanmış ahşap atıkların kullanımının yaygınlaşması, konuyla ilgili çalışmalara öncelik verilmesi kaynak korunumunun sağlanmasına aynı zamanda atıkların oluşturacağı çevresel ve ekonomik yükün de hafiflemesi için birçok olumlu katkı sağlayacaktır. Bu bağlamda odun peletinin beton malzemedede agrega olarak kullanımının deneylerle incelendiği bu tez çalışmasından elde edilen sonuçlar aşağıda özetlemiştir.

- Odun peleti katkısı taze betonda slump değerini arttırmıştır. Odun peletinin su emme oranı göz önünde bulundurularak su ilave edilmesi slump değerinin artmasına sebep olmuştur. OP3, OP5 ve OP7 serilerinin üçünde de katkı oranı arttıkça çökme değerinin arttığı fakat çökme sınıfının S2 (50-90 mm) değişmediği tespit edilmiştir.
- Odun peleti katkılı taze betonda tüm serilerde yoğunluk değeri azalmıştır. Odun peleti oranı artışı taze betonda yoğunluğun azalmasına sebep olmuştur. En düşük yoğunluk değeri 1660 kg/m^3 ile OP7 serisinde görülmüştür. Bu durum, odun peletinin doğal agregaya göre daha düşük özgül ağırlığa sahip olmasından kaynaklanmaktadır.
- Sertleşmiş betonda suya doymun ve etüv kurusu numunelerdeki en yüksek yoğunluk değerleri K serisinde, en düşük değer ise OP7 serisinde elde edilmiştir. Sertleşmiş betonda etüv kurusu yoğunluk değerlerine göre birim

hacim kütle sınıfı K için D 2,0, OP3 ve OP5 için D 1,8, OP7 için ise D 1,6 olarak belirlenmiştir.

- Sertleşmiş betonda en az boy değişimi %0,04 oranında K ve %0,09 oranında OP3 serisinde, en fazla ağırlık değişimi %1,88 oranında K serisinde en az ağırlık değişimi ise %0,03 ile OP3 serisinde meydana gelmiştir. Betonda boy değişiminin istenmediği göz önüne alınırsa odun peleti katkısının OP3 serisinde tutarlı olduğu ve olumsuz etkilemediği görülmüştür. K serisinde ağırlık değişim oranı katkılı serilere göre çok fazla azalırken boy değişimi katkılı serilere göre daha tutarlı bir şekilde ve ağırlığa göre daha az değişmiştir. K serisinde ağırlık değişim oranının fazla olması bünyesindeki suyun buharlaşmasından kaynaklanmaktadır. Katkılı serilerde odun peletinin suyu tutması nedeniyle buharlaşma daha yavaş gerçekleşmiştir.
- Sertleşmiş betonda en düşük kapilarite değeri OP5 serisinde, en yüksek değer K serisinde gerçekleşmiştir. Odun peleti oranının artması ile kapilarite değerinin artması beklenirken, OP7 serisinde ise K serisine ve OP5 serisinde ise OP3 ve OP7 serilerine kıyasla kapilarite değerleri azalmıştır. Katkılı serilerde odun peletinin kılcal boşlukları doldurarak kapilariteyi azalttığı tespit edilmiştir.
- Sertleşmiş betonda odun peleti oranının artması ile ağırlıkça ve hacimce su emme değerleri de artmıştır. Katkılı ve katkısız serilerde hacimce su emme değerleri ağırlıkça su emme değerlerinden daha yüksek değere ulaşmıştır. Katkı oranının artması beklenildiği gibi hacimce su emmeyi (görünen poroziteyi) artırmıştır. Katkılı serilerde ağırlıkça ve hacimce su emme en düşük OP3 serisinde olmuştur.
- Odun peleti katkısı sertleşmiş beton numunelerde porozite değerlerini arttırmıştır. Beton içerisinde var olan boşluklu yapıya bağlı olarak yoğunluk, kapilarite, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, ultrases geçiş hızı ve kompasite değerlerinde azalma meydana gelmiştir.
- Katkılı sertleşmiş beton numunelerde basınç dayanımının eğilme dayanımına kıyasla daha yüksek bir oranda azaldığı tespit edilmiştir. En düşük katkı oranı olan OP3 serisinde basınç dayanımı %47 ve eğilme dayanımı %13 azalmıştır. Aynı şekilde bu oranlar OP5 serisinde %60 ve %35, OP7 serisinde ise %66 ve %44 olarak belirlenmiştir.

- Basınç dayanımı 150 mm’lik küp ve eğilme deneyinde kırılan parçada olmak üzere iki farklı ebattaki sertleşmiş beton numunelerde yapılan deneyde; katkılı numunelerde en yüksek basınç dayanımı en az katkı oranına sahip olan OP3 serisinde 150 mm’lik küp için 28,12 MPa ve eğilme dayanımında kırılan parça için 12,82 MPa elde edilmiştir. K serisine kıyasla OP3 serisinde basınç dayanımı yaklaşık %50 oranında azalmış olsa da bu değerler ASTM ve RILEM değer aralığında (**bkz. Tablo 2.11**) Taşıyıcı/Yalıtım sınıfında yer almaktadır. Betonda kaba agregaya yerine odun peleti külünün kullanımı basınç dayanımına göre maksimum %30 oranına kadar mümkündür [**Paktiawal vd., 2021**]. Bu durum odun peleti külünün doğal agregadan daha düşük yoğunlukta olması ve odun peletine göre karışımda boşlukları doldurması şeklinde açıklanabilir.
- Ultrases geçiş hızı değerlerine göre odun peleti katkılı tüm serilerin beton kalitesinin “zayıf” olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Oysaki odun peleti külünün betonda kaba agregaya yerine kullanıldığı çalışmada ise ultrases geçiş hızı değerlerine göre odun peleti külü katkılı tüm numunelerin beton kalitesi “iyi” olarak [**Paktiawal vd., 2021**], yüksek sıcaklık etkisi altındaki numunelerin basınç dayanımı değerlerinin katkı oranı arttıkça azaldığı ve %60 oranına kadar katkılı betonun kalite değeri “iyi” [**Paktiawal vd., 2022**] olarak tespit edilmiştir. Bu durum odun peletinin odun peleti külüne göre boşluklu bir yapıya sahip olması ve odun peletinin öğütülmeden kullanılması olarak açıklanabilir.
- Yüksek ısıda tüm serilerde kütle kaybı %1’in üzerinde gerçekleşmiş, odun peleti oranı arttıkça kütle kaybı da artmıştır. Odun peleti katkısının yangın dayanımı özelliklerini olumsuz etkilediği ve muhtevayı belirleyecek başka deneylerin yapılması ve bunun yanı sıra ses, ısı ve akustik yalıtım özelliklerinin de araştırılması gerektiği sonucuna varılmıştır.
- Deneylerden elde edilen sonuçlara göre odun peleti katkılı betonların ASTM ve RILEM değerlerine ulaşılabilirdiği ve iç mekanlarda taşıyıcı özellik aranmayan bölme duvarlarda çevre dostu hafif ahşap-beton ürün olarak kullanıma uygun olduğu ortaya konulmuştur.

Bu çalışmada odun peleti beton karışım içerisinde agregaya ikamesi olarak öğütülmeksizin doğrudan kullanılmıştır. Odun peletinin öğütülmeden kullanılmasının birçok değeri doğrudan etkilediği düşünülmektedir. Bundan sonraki çalışmalarda odun

peletinin öğütme, presleme gibi farklı işlemlerden geçirilerek beton karışıma ikame edilmesi ile fiziksel ve mekanik özelliklerinin araştırılması önerilmektedir. Bu özelliklerin yanı sıra yalıtım özellikleri gibi diğer özelliklerin belirlenmesi ile elde edilecek sonuçlar neticesinde odun peleti katkılı betonların farklı alanlarda da işlevsel bir şekilde yer alabileceği öngörülmektedir.



KAYNAKLAR

- Akashi T., Amasaki S., (1984), “Study of the Stress Waves in the Plunger of a Rebound Hammer at the Time of Impact”, Nondestructive Testing of Concrete, (P. 19-34) ACI SP-82, Detroit.
- Akçay B., Aydın İpekçi C., (2023), “Mimarlıkta Ahşap Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı”, 7th International Aegean Conferences on Innovation Technologies & Engineering, 83-99, İzmir, Turkey, 26-27 April.
- Aköz, F., Yüzer, N., Çakır, Ö., Kabay, N., Kızılkant, A.B., Özçiftçi, N., (2005), “Temel Yapı Malzemesi Deneyleri”, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım Yayın Merkezi, Üniversite yayın No: YTÜ.İN.LD-05.0730, İstanbul.
- Alharishawi S.S.C., Abd H. J., Abass S.R., (2021), “Employment of Recycled Wood Waste in Lightweight Concrete Production” Archives of Civil Engineering, LXVI (4): 675-688.
- Atık Yönetimi Yönetmeliği, (2015), “Atık Yönetimi Yönetmeliği”, Atık Listesi, 28-29, T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Yönetmelikler,
- Belgacem M.N., Gandini A., (2008), “Chemical Modification of Wood. Monomers, Polymers and Composites from Renewable Resources”.
- Bostancıoğlu E., Düzgün B. E., (2004), “Ekoloji ve Ahşap–Türkiye’ de Ahşap Malzemenin Geleceği” Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 2
- Clarke J.L., (1993), “Structural Lightweight Aggregate Concrete”, Chapman&Hall, London, DOI: Doi.org/10.1201/9781482269307
- Dominguez-Santos D., Mora-Melia D., Pincheira-Orellana G., Ballesteros-Perez P., Retamal-Bravo C., (2019), “Mechanical Properties and Seismic Performance of Wood-Concrete Composite Blocks for Building Construction”, Materials, 12(9):1500.
- Hossain M.F., Islam M.K., Islam M.A., (2014), “Effect of Chemical Treatment on The Mechanical and Physical Properties of Wood Saw Dust Particles Reinforced Polymer Matrix Composites”, Procedia Engineering 90, 39–45. doi: 10.1016/j.proeng.2014.11.811
- Khelifa M., Li M., Nicolas V., El Ganaoui M., Celzard A., Fierro V., (2019), “Modelling The Hygrothermal Behaviour Of Cement-Bonded Wood Composite Panels As Permanent Formwork”, Industrial Crops and Products, 142, 111784.
- Koohestani B., Koubaa A., Belem T., Bussi re B., Bouzahzah H., (2016), “Experimental Investigation of Mechanical and Microstructural Properties of

Cemented Paste Backfill Containing Maple-Wood Filler”, *Construction And Building Materials*, 121, 222-228.

Lamond J.F., Pielert J., (2006), “Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-making Materials”, ASTM Publication.

Li M., Khelifa M., El Ganaoui M., (2017), “Mechanical Characterization Of Concrete Containing Wood Shavings As Aggregates”, *International Journal Of Sustainable Built Environment*, 6, 587-596.

Liang L., Sakai Y., (2020), “Experimental Study of the Bending Strength of Recycled Concrete and Wooden Waste by Heating Compaction”, *Preprints 2020*, 202002312. DOI: 10.20944/preprints202002.0312.v1.

Mohareb A., Sirmah P., Pétrissans M., Gérardin P., (2012), “Effect of Heat Treatment Intensity on Wood Chemical Composition and Decay Durability of *Pinus Patula*”, *European Journal of Wood and Wood Products* 70 (4), 519–524. doi:10.1007/s00107-011-0582-7.

Malhotra V., Popovics J. (2004) *The Ultrasonic Pulse Velocity Method. Handbook on Nondestructive Testing of Concrete.* (P. 84-97) New York: CRC Press.

Nzeadibe T.C., (2009), *Solid Waste Reforms and Informal Recycling in Enugu Urban Area, Nigeria.* *Habitat International* 33 (1), 93–99, doi: 10.1016/j.habitatint.2008.05.006.

Paktiawal A., Irshad A., Alam M., (2021), “Use of Wood Pellet Combustion Aggregate as Partial Replacement of Natural Coarse Aggregate in Standard Cement Concrete”, *Advances in Sustainable Construction Materials, Lecture Notes in Civil Engineering*, 124, 677-689, https://doi.org/10.1007/978-981-33-4590-4_63.

Paktiawal A., Alam M., (2022), “Temperature Effect on Compressive Strength and Quality Grading of Standard Grade Concrete with Partial Replacement of Natural Coarse Aggregate by Burnt Wood Pellet Aggregate”, *Materials Today: Proceedings* 56, 574–580, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.387>

Saraçoğlu, N., (2018), “Küresel İklim Değişimi Biyoenerji Enerji Ormanlığı ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları”, (Genişletilmiş 2. Baskı). Ankara: Efil Yayınevi.

Sebabioenergy, (2023), “Odun Peleti Özellikleri”, Se-Ba Orman Ürünleri San. Tic. Ltd. Şti., Merkez/ÇANAKKALE

Taylor J., Mann R., Reilly M., (2005), “Forest & Wood Products Research & Development Corporation, Publication: Recycling and End of Life Disposal of Timber Products.”

Thandavamoorthy T.S., (2016), “Wood waste as coarse aggregate in the production of concrete”, *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20:2, 125-141.
Taşçı T., (2016), “Pelet Yakıtlı Kalorifer Kazan Tasarımı ve Performans Analizi” II. Ulusal Biyoyakıtlar Sempozyumu, Bildiri Kitabı, 75-82.

Topal S., (2009), “Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Potansiyellerinin Araştırılması” Yüksek Lisans Tezi, Gebze Teknik Üniversitesi.

Yau Y., (2012), “Stakeholder Engagement in Waste Recycling in High-rise Setting”, Sustainable Development 20 (2), 115–127. doi:10.1002/sd.468.

Xie Y., Fu Q., Wang Q., Xiao, Z., Militz H., (2013), “Effects of Chemical Modification on the Mechanical Properties of Wood”, European Journal of Wood and Wood Products 71 (4), 401–416.

Xing Z., Djelal C., Vanhove Y., Kada H., (2015), “Wood Waste in Concrete Blocks Made by Vibrocompression”, Environmental Processes, 2 (Suppl 1): S223–S232, Springer International Publishing Switzerland.

TS EN 197-1, (2012), “Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri”, TSE, Ankara.

TS EN 206+A2, (2021), “Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk”, TSE, Ankara.

TS EN 772-11-, (2011) “Kâgir Birimler- Deney Yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, Gaz Betondan, Yapay ve Doğal Taştan Yapılmış Kâgir Birimlerde Kapiler Su Emme ve Kil Kâgir Birimlerde İlk Su Emme Hızının Tayini”, TSE, Ankara.

TS EN 933-1, (2012), “Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu”, TSE, Ankara.

TS 2511, (2017), “Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları”, TSE, Ankara.

TS EN 12350-2, (2019), “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi”, TSE, Ankara.

TS EN 12350-6, (2019), “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Birim Hacim Kütlesi”, TSE, Ankara.

TS EN 12390-3, (2019), “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini”, TSE, Ankara.

TS EN 12390-5, (2019), “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini”, TSE, Ankara.

TS EN 12390-7, (2019), “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş Betonun Birim Hacim Kütlesinin Tayini”, TSE, Ankara.

TS EN 12504-4, (2021), “Yapılarda Beton Deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik Atımlı Dalga Hızının Tayini”, TSE, Ankara.

TS EN 13791, (2019), “Beton Basınç Dayanımının, Yapılar ve Ön Dökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini”, TSE, Ankara.

TS EN 13820, (2004), “Isı Yalıtım Malzemeleri- Binalar İçin- Organik İçeriğin Belirlenmesi”, TSE, Ankara.

TS EN ISO 17831-2, (2016), “Katı Biyoyakıtlar- Pelet ve Briketlerin Mekanik Dayanıklılığın Tayini- Bölüm 1: Briketler”, TSE, Ankara.

Web 1, (2023), <https://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-nedir/>, (Erişim Tarihi: 10/10/2023).

Web 2, (2023), www.sifiratik.gov.tr/ahşap-atik/, (Erişim tarihi: 20/04/2019).

Web 3, (2023), <https://www.baybas-metal.com>, (Erişim Tarihi: 07/03/2023).

Web 4, (2023), <https://www.serraatiktasima.net> , (Erişim Tarihi: 07/03/2023).

Web 5, (2023), <https://www.olyposmaden.com> , (Erişim Tarihi: 07/03/2023).

Web 6, (2023), https://www.yapikatalogu.com/zemin-duvar-tavan/ahsap-levha/himerpa-osb_26102 , (Erişim Tarihi: 12/05/2023).

Web 7, (2023), https://www.yapikatalogu.com/zemin-duvar-tavan/ahsap-levha/agt-agt-mdf_32456 , (Erişim Tarihi: 12/05/2023).

Web 8, (2023), <https://huskontrplak.com/urun/10mm-okoume-marin-kontrplak-2500x1220mm/> , (Erişim Tarihi: 12/05/2023).

Web 9, (2020), <https://sebabioenergy.com> , (Erişim Tarihi: 20/04/2023).

Web 10, (2023), <https://www.egger.com> , (Erişim tarihi: 20/04/2023).

Web 11, (2023), <http://www.technamation.com/en/products/deckings-outer-floors-bare-foot-floors> , (Erişim Tarihi: 20/04/2023).

Web 12, (2023), <https://www.ratolye.com/masif-ahsap-palet-sehpa-70x100-hgt220> (Erişim Tarihi: 07/03/2023).

Web 13, (2009), <http://www.jamesandmau.com/es/#/proyectos> , (Erişim Tarihi:07/03/2023).

Web 14, (2010), <http://www.superbuero.de/jellyfish.html> , (Erişim tarihi: 20/04/2023).

Web 15, (2016), <https://thomasdambo.com> , (Erişim Tarihi:07/03/2023).

Web 16, (2020), <https://www.nakam.info/en/works/kamikatz-public-house/> , (Erişim Tarihi:07/03/2023).

Web 17, (2016), <https://www.arkiv.com.tr/proje/satuti-konukevi/11183> , (Erişim Tarihi:10/05/2023).

Web 18, (2018), <https://www.arkitera.com/proje/karamursel-belediyesi-balik-adasi-sosyal-tesisleri-projesi/> , (Erişim Tarihi:07/03/2023).

Web 19, (2019), <https://yapidergisi.com/ahsabi-geri-kazanmak/> , (Erişim Tarihi:07/03/2023).

Web 20, (2021), <https://certprof.ru/en/their-hands/stroitelnyi-material-arbolit-derevobeton-iz-chego-delayut-ego-svoistva-i/>, (Erişim Tarihi: 07/07/2021).

Web 21, (2021), <https://www.russiangost.com/p-235552-gost-19222-73.aspx>, (Erişim Tarihi: 08/07/2021).

Web 22, (2021), <https://www.russiangost.com/p-68576-gost-19222-84.aspx>, (Erişim Tarihi: 08/07/2021).

Web 23, (2021), <https://www.russiangost.com/p-374151-gost-19222-2019.aspx>, (Erişim Tarihi: 08/07/2021).

Web 24, (2021), <https://www.russiangost.com/p-145270-sn-549-82.aspx>, (Erişim Tarihi: 08/07/2021).

Web 25, (2021), <https://www.durisoluk.com/about>, (Erişim Tarihi: 08/07/2021).

Web 26, (2021), <https://www.durisoluk.com/app/uploads/2021/02/Durisol-BBA-Cert-Feb-2021.pdf> , (Erişim Tarihi: 08/07/2021).

Web 27, (2021), <https://www.isospan.eu/en/products.html>, (Erişim Tarihi: 13/06/2021).

Web 28, (2021), <https://buildabroad.org/2016/10/04/timbercrete/>, (Erişim Tarihi: 13/06/2021).

Web 29, (2019), <https://worldexport.com> , (Erişim Tarihi: 24/05/2023).

Web 30, (2018), <https://www.enerjiportali.com/pelet-yakit-nedir-nerelerde-kullanilir/>, (Erişim Tarihi: 07/03/2021).

Web 31, (2023), https://www.pelletizermill.com/biomass_pellet_mill.html , (Erişim Tarihi: 07/03/2023).

Web 32, (2021), <https://epc.bioenergyeurope.org/about-pellets/pellets-statistics/world-pellet-map/> , (Erişim Tarihi: 20/04/2021).

Web 33, (2021), <https://epc.bioenergyeurope.org/about-pellets/pellets-statistics/european-production>, (Erişim Tarihi: 20/04/2021).

Web 34, (2021), <https://web.ogm.gov.tr/ekutuphane/Lists/DaireBaskanliklariDevamEdenProjeler/DispForm.aspx?ID=7&ContentTypeId=0x0100B39F314EAC3404AAE64C349CA3E631D>, (Erişim Tarihi: 10/11/2021).

Web 35, (2021), <https://www.mta.gov.tr/v3.0/bilgi-merkezi/kirec>, (Erişim Tarihi: 10/05/2021).

ÖZGEÇMİŞ

Başak AKÇAY, 2011 yılında başladığı Maltepe Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesi Mimarlık (İngilizce) bölümünü 2016 yılında başarıyla tamamladı. 2016-2019 yılları arasında Metal Yapı firmasında Facade Designer olarak çalıştı. 2018 yılında Gebze Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda tezli yüksek lisans programına başladı. 2023 yılında Galene Brand Tasarım Yayıncılık Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi'nde kurucu ortak olarak işe başlayan Akçay, çocuk kitapları ve ahşap oyuncak setleri tasarımı ile depremzede çocuklara yardım kampanyası çalışmalarında yer almaya devam etmektedir.



TEZ ÇALIŞMASI KAPSAMINDA YAPILAN YAYINLAR

Akçay B., Aydın İpekçi C., (2023), “Mimarlıkta Ahşap Atıkların Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı”, 7th International Aegean Conferences on Innovation Technologies & Engineering, 83-99, İzmir, Turkey, 26-27 April.



EKLER

Ek-A: Tablolar

Ek-A Tablo 3.1: Üretimde kullanılan çimentonun kimyasal özellikleri.

Kimyasal Analiz	Standart (%)	Analiz Sonuçları (%)
SiO ₂	-	18,86
Al ₂ O ₃	-	4,81
Fe ₂ O ₃	-	3,25
CaO	-	62,02
MgO	<5,0	2,70
SO ₃	<3,5	2,92
K ₂ O	-	0,52
Na ₂ O	-	0,17
P ₂ O ₅	-	0,12
Cl	<0,1	0,0480
Cr ₂ O ₃	-	0,05
MnO	-	0,09
ZnO	-	0,00
SrO	-	0,09
Kızdırma Kaybı	<4,0	3,17
Çözünmez Kalıntı	<1,5	0,55
TiO ₂	-	0,27
TOPLAM		99,04

Ek-A Tablo 3.2: Üretimde kullanılan çimentonun fiziksel özellikleri.

Fiziksel Deneyler	Standart	Analiz Sonucu
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	-	3,16
Özgül Yüzey (cm ² /g)	>2800	3490
Priz süresi / Başlangıç	>60 dk.	140 dk.
Priz Süresi / Bitiş	<600 dk.	195 dk.
Prizma Ağırlığı	-	570

Ek-A Tablo 3.3: Üretimde kullanılan çimentonun basınç dayanımı özellikleri.

Basınç Dayanımı (MPa)/ Gün	Standart	Analiz Sonucu
1	-	19,7
2	20,0	29,9
7	-	41,0
28	42,5	54,0

Ek-A Tablo 3.4: Çakılın fiziksel ve kimyasal özellikleri.

Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri	Standart
Renk	Gri tonları
Porozite ve su emme	% 0,1-% 3
Molekül Ağırlığı	CaCO ₃ :100,09 gr, MgCO ₃ : 84,32 gr
Özgül Ağırlık	2,72 g/cm ³
Görünür Yoğunluk	1,5- 2,3 g/cm ³
Yığın Yoğunluğu	2,7 g/cm ³
Isı İletkenliği	0.0039cal.cm/cm ² s.o ^C
pH	8-9

Çizelge F.1 - Beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler

Etki sınıfları																				
Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	Karbonatlaşma nedeniyle korozyon				Deniz suyu				Deniz suyu haricinde klorür				Donma/çözülme etkisi					Zararlı kimyasal ortam		
	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3			
En yüksek su/çimento (w/c) oranı ^c	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45		
En küçük dayanım sınıfı	C12/15	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45		
En az çimento miktarı (dozaj) ^c (kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360		
En az hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^a	4,0 ^a	4,0 ^a	-	-	-		
Diğer gerekler	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	EN 12620'ye uygun donma/çözülme dayanıklılığına sahip agrega					-	Sülfatlara dayanıklı çimento ^{b)}		

^a Hava sürüklenmemiş betonda, beton performansını, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla mukayese edilerek uygun deney yöntemine göre belirlenmelidir.

^a Hava sürüklenmemiş betonda, beton performans, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla mukayese edilerek uygun deney yöntemine göre belirlenmelidir.

Ek-A Tablo 3.6: Deney programı ve standartlar.

	Deneyler	Standart No	Standart Adı	Numune Ebatları
Taze Beton	Çökme (slump)	TS EN 12350-2	Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi	-
	Birim Hacim Kütle	TS EN 12350-6	Beton- Taze beton deneyleri- Bölüm 6: Birim hacim kütlesi	150x150x150 mm
Sertleşmiş Beton	Sertleşmiş Betonda Birim Hacim Kütle	TS EN 12390-7	Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 7: Sertleşmiş betonun birim hacim kütlesinin tayini	
	Boy-Ağırlık Değişimi	TS EN 2511	Taşıyıcı hafif betonların karışım hesap esasları	40x40x160 mm
	Kılcal Su Emme, Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme	TS EN 772-11	Kâgir birimler- Deney yöntemleri- Bölüm 11: Betondan, gaz betondan, yapay ve doğal taştan yapılmış kâgir birimlerde kapiler su emme ve kil kâgir birimlerde ilk su emme hızının tayini	
	Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3	Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini	150x150x150 mm
	Eğilme Dayanımı	TS EN 12390-5	Beton- Sertleşmiş beton deneyleri- Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini	40x40x160 mm
	Ultrases Geçiş Hızı	TS EN 12504-4 BS 1881 Part-1	Yapılarda beton deneyleri- Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini	
	Organik Madde Muhtevası Tayini	TS EN 13820	Isı yalıtım malzemeleri- Binalar için- Organik içeriğin belirlenmesi Yapı mamulleri ve yapı elemanları	
	Schmidt Çekici	TS EN 13791	Beton basınç dayanımının, yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini	150x150x150 mm
	Kompasite-Porozite	TS EN 1936	Gerçek yoğunluk, görünür yoğunluk, toplam ve açık gözeneklilik tayini	

Ek-A Tablo 4.1: Deney sonuçlarının ortalama değerleri.

Deneyler	K	OP3	OP5	OP7
Birim Hacim Küt­le (Suya Doygun Yüzey) (kg/m ³)	2140	1881	1791	1689
Birim Hacim Küt­le (Etüv Kuru­su) (kg/m ³)	1995	1734	1631	1499
Kapilarite (cm ² /snx10 ⁻³)	4,63	3,27	3,05	4,42
Ağırlıkça Su Emme (%)	7,00	10,27	11,39	12,37
Hacimce Su Emme (%)	15,06	19,58	20,62	21,20
Porozite (%)	14,58	14,69	15,99	19,99
Kompasite (%)	85,42	85,31	84,01	81,01
Ultrases Geçiş Hızı (Suya Doygun) (mm/μs)	2,94	2,6	2,22	2,26
Ultrases Geçiş Hızı (Etüv Kuru­su) (mm/μs)	3,04	2,61	2,41	2,01
Organik Madde Muhtevası (%)	5,25	5,15	5,36	6,22
Basınç Dayanımı (MPa) (150x150x150 mm küp)	28,12	14,13	10,67	7,38
Basınç Dayanımı (MPa) (40x40x160 mm prizma eğilmede kırılan parçada)	24,06	12,82	9,68	8,07
Eğilme Dayanımı (MPa) (40x40x160 mm prizma)	3,68	3,19	2,37	2,03
Schmidt Çekici Okumaları	38,1	30,2	27,8	27,1

Ek-A Tablo 4.2: Numunelerin boy ölçüm değerleri.

Numune Kodu	Boy Ölçümleri (mm)					
	İlk Gün	1. Gün	2.Gün	3.Gün	4.Gün	5.Gün
K	160,19	160,14	160,11	160,10	160,09	160,08
OP3	160,35	160,35	160,28	160,23	160,21	160,21
OP5	160,27	160,25	160,20	160,16	160,15	160,14
OP7	160,38	160,38	160,43	160,49	160,69	160,71

Ek-A Tablo 4.3: Numunelerin ağırlık ölçüm değerleri.

Numune Kodu	Ağırlık Ölçümleri (gr)					
	İlk Gün	1. Gün	2.Gün	3.Gün	4.Gün	5.Gün
K	548,33	541,33	538,00	535,00	532,67	531,00
OP3	484,83	485,50	486,17	486,00	486,00	485,33
OP5	457,00	457,00	456,67	456,33	456,33	456,17
OP7	496,72	494,61	493,61	492,44	491,67	490,83