

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

AHŞAP MALZEMELERDE FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN ENERJİ
DEPOLAMAYA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge Nur ERDEYER

OCAK 2024
TRABZON



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ORMAN ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AHŞAP MALZEMELERDE FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN ENERJİ
DEPOLAMAYA ETKİSİ**

Özge Nur ERDEYER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"ORMAN ENDÜSTRİ YÜKSEK MÜHENDİSİ"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 14 / 12 / 2023

Tezin Savunma Tarihi : 08 / 01 / 2024

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Ali TEMİZ

Trabzon 2024

ÖNSÖZ

“Ahşap Malzemelerde Faz Değiştiren Maddelerin Enerji Depolamaya Etkisi” isimli bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Programı’nda hazırlanmıştır.

Tez çalışmam boyunca bilgileriyle ve tecrübesiyle yolumu aydınlatan ve çalışmamın gidişatı için her türlü imkanı sağlayan saygıdeğer danışman hocam Sayın Prof.Dr. Ali TEMİZ’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, yapıcı eleştirileri ve önerileri ile her zaman yanımda bulunup bana destek olan çok sevgili hocam Dr.Öğr.Üyesi Gaye KÖSE DEMİREL’e ve iyi bir bilim insanı olma gayemde bilgileriyle eğitim öğretim hayatıma katkı sağlayan başta Prof.Dr. S. Nami KARTAL olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Her anımda yanımda olan, derdimi dinleyip yüzümü güldüren güzel arkadaşım Arş.Gör. Nida KURAK’a ve desteğini hep hissettiğim mesai arkadaşım Arş.Gör. Abdullah Uğur BİRİNCİ’ye teşekkürü borç bilirim.

Hayatım boyunca aldığım tüm kararlarda arkamda olan canım ablam Gamze ERDEYER’e, her türlü desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük paya sahip olan sevgili ebeveynlerim Aynur ve Metin ERDEYER’e ve son olarak, tüm süreç boyunca beni bıkmadan dinleyip hep gülümseten en büyük destekçim Sertaç LİMAN’a teşekkür eder, minnettarlığımı sunarım.

Bu tez çalışmasının bundan sonraki çalışmalara katkı sağlamasını temenni ederim.

Özge Nur ERDEYER

Trabzon 2024

TEZ ETİK BEYANNAMESİ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Ahşap Malzemelerde Faz Değiştiren Maddelerin Enerji Depolamaya Etkisi” başlıklı bu çalışmayı baştan sona kadar danışmanım Prof.Dr. Ali TEMİZ’in sorumluluğunda tamamladığımı, verileri/örnekleri kendim topladığımı, deneyleri/analizleri ilgili laboratuvarı yaptığımı/yaptırdığımı, başka kaynaklardan aldığım bilgileri metinde ve kaynakçada eksiksiz olarak gösterdiğimi, çalışma sürecinde bilimsel araştırma ve etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim. 08.01.2024

Özge Nur ERDEYER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	III
TEZ ETİK BEYANNAMESİ.....	IV
İÇİNDEKİLER.....	V
ÖZET	VII
SUMMARY.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	IX
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ	XIII
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Küresel Isınma ve Seri Gazı Emisyonları	2
1.3. Şehirleşme	6
1.4. Enerji Krizi	7
1.5. Enerji Kaynakları	7
1.5.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları	8
1.5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları	9
1.6. Ahşap Malzeme ve Ahşap Binalar	13
1.7. Enerji Depolama.....	19
1.7.1. Termal Enerji Depolama	20
1.8. Faz Değiştiren Maddeler	23
1.8.1. İnorganik FDM'ler.....	25
1.8.2. Ötektik FDM'ler	26
1.8.3. Organik FDM'ler	27
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	30
2.1. Hammadde Seçimi	30
2.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler	30
2.3. Emprenye İşlemi.....	31
2.4. Polimerizasyon İşlemi	32
2.5. Sızdırmazlık Testi.....	33
2.6. Kimyasal ve Termal Özelliklerin Belirlenmesi.....	33

2.6.1.	Termal Kütle Analizi (TGA).....	33
2.6.2.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC).....	34
2.6.3.	Termal Performans Testi.....	34
2.6.4.	Fourier Dönüşümlü Kızılötesi (FTIR) Analizi.....	36
2.7.	Su Alma ve Boyutsal Kararlılık Testleri	36
2.7.1.	Su Alma Oranı	37
2.7.2.	Su İtici Etkinlik	37
2.7.3.	Genişlemeyi Önleyici Etkinlik.....	38
2.8.	Mekanik Testler.....	38
2.8.1.	Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü	39
2.8.2.	Liflere Paralel Basınç Direnci	40
2.9.	İstatistiksel Analizler	40
3.	BULGULAR VE TARTIŞMA	41
3.1.	Emprenye Sonrası Ağırlık Artışı.....	41
3.2.	Sızdırmazlık Testi.....	43
3.3.	Kimyasal ve Termal Özellikler	45
3.3.1.	Termal Kütle Analizi (TGA).....	48
3.3.2.	Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC).....	49
3.3.3.	Termal Performans Testi.....	55
3.3.4.	FTIR Analizi	71
3.4.	Su Alma ve Boyutsal Kararlılık Testleri	75
3.4.1.	Su Alma Oranı	75
3.4.2.	Su İtici Etkinlik	83
3.4.3.	Genişlemeyi Önleyici Etkinlik.....	91
3.5.	Mekanik Testler.....	98
3.5.1.	Eğilme Direnci	99
3.5.2.	Eğilmede Elastikiyet Modülü.....	102
3.5.3.	Liflere Paralel Basınç Direnci	106
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	110
5.	KAYNAKLAR	112
ÖZGEÇMİŞ		

Yüksek Lisans Tezi

ÖZET

AHŞAP MALZEMELERDE FAZ DEĞİŞTİREN MADDELERİN ENERJİ DEPOLAMAYA ETKİSİ

Özge Nur ERDEYER

Karadeniz Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof.Dr. Ali TEMİZ
2024, 111 Sayfa

Artan küresel ısınma ve yenilenemez enerji kaynaklarının tükenme endişesi ile birlikte ahşap malzeme kullanımının ve enerji depolamanın önemi daha bilinir hale gelmiştir. Faz değiştiren maddelerin (FDM) ahşap malzemeye emprenyesi ve bunların binalarda kullanılmasıyla bu sorunlar minimize edilebilir. Bu tez çalışmasında, binalarda enerji verimliliğinin artırılması amacıyla sarıçam ve kavak odunları kaprik asit, lauril alkol ve metil palmitat ile emprenye edildikten sonra FTIR analiziyle kimyasal olarak, DSC ve TG analizleriyle ise termal olarak incelenmiştir. Mekanik özelliklerinin tespiti için eğilme direnci, eğilmede elastikiyet modülü ve liflere paralel basınç dirençleri test edilmiştir. Su alma ve boyutsal kararlılık testlerine göre varyasyonlara epoksitlendirilmiş bezir yağı (EBY) eklenmesi sonucunda su almada engelleme olmadığı ancak boyutsal kararlılığı sağladığı gözlemlenmiştir. Termal performans testi sonucunda, emprenye edilen odun numunelerinin iç sıcaklıklarının daha uzun süre boyunca konfor bölgesi sıcaklıkları aralığında tutabileceği tespit edilmiştir. FDM'lerle emprenye edilmiş odun örneklerinin, ısı enerjisiyi gizli ısı şeklinde absorbe edip geri salıverme özelliğinden dolayı bu malzemelerin kullanılacağı binalarda enerji tasarrufuna önemli derecede katkı sağlama potansiyeline sahip olduğu ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Faz değiştiren malzemeler, Gizli ısı enerjisi depolama, Enerji verimliliği, Ahşap malzeme, Isıl iletkenlik

Master Thesis

SUMMARY

THE EFFECT OF PHASE CHANGE MATERIALS ON ENERGY STORAGE IN WOOD MATERIALS

Özge Nur ERDEYER

Karadeniz Technical University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Forest Industry Engineering Graduate Program
Supervisor: Prof.Dr. Ali TEMİZ
2024, 111 Pages

With the growing concern of global warming and the depletion of non-renewable energy sources, the importance of using wood materials and energy storage has become more widely recognized. The impregnation of phase-changing materials (PCMs) into wood and their use in buildings can minimize these problems. In this thesis, pine and poplar woods were chemically analyzed through FTIR analysis and thermally examined through DSC and TG analyses after being impregnated with capric acid, lauryl alcohol, and methyl palmitate, aiming to enhance energy efficiency in buildings. Bending resistance, elastic modulus in bending, and parallel-to-grain compression resistance were tested to determine the mechanical properties. According to water absorption and dimensional stability tests, it was observed that the addition of epoxidized soybean oil (ESO) did not prevent water absorption but provided dimensional stability. The thermal performance test revealed that impregnated wood samples could maintain their internal temperatures within the comfort zone temperature range for a longer period. The impregnation of wood samples with PCMs demonstrated a significant contribution to energy savings in buildings due to their ability to absorb and release thermal energy in the form of latent heat.

Key Words: Phase changing materials, Latent heat energy storage, Energy efficiency, Wood material, Thermal conductivity

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Dünya’da yıllara göre, CO ₂ emisyonları	3
Şekil 2. Yakıt türüne göre dünya çapında pazarlanan enerji kullanımı	10
Şekil 3. Biyoenerji döngüsü	11
Şekil 4. Doğal su döngüsü	12
Şekil 5. Bina tipolojileri ve kullanılan malzemelere örnekler	15
Şekil 6. Pagoda taşıyıcı sistem örneği.....	16
Şekil 7. Mjøstårnet taşıyıcı sistemi	17
Şekil 8. Enerji Depolama Sistemleri.....	20
Şekil 9. Termal enerji depolama çeşitleri	21
Şekil 10. Duyulur ısı depolama.....	21
Şekil 11. Termokimyasal ısı depolama.....	22
Şekil 12. Gizli ısı depolama	22
Şekil 13. FDM'nin katıdan sıvıya faz değişimi.....	23
Şekil 14. FDM’nin sıvıdan katıya faz değişimi	24
Şekil 15. FDM’lerin sınıflandırılması	25
Şekil 16. Emprenye işlemi	31
Şekil 17. Polimerizasyon işlemi.....	33
Şekil 18. Termal düzenleme testi.....	35
Şekil 19. Su alma ve bouyutsal kararlılık testleri	37
Şekil 20. Kavak odunu numuneleri sızdırmazlık testi	43
Şekil 21. Sarıçam odunu numuneleri sızdırmazlık testi.....	44
Şekil 22. Seçilen FDM’lerle emprenye edilmiş sarıçam odununun TG analizleri	46
Şekil 23. Seçilen FDM’lerle emprenye edilmiş kavak odununun TG analizleri	46
Şekil 24. DSC termogramları a) saf CA b) CA/Sarıçam c) CA/Kavak.....	51
Şekil 25. DSC termogramları a) saf LAOH b) LAOH/Sarıçam c) LAOH/Kavak	52
Şekil 26. DSC termogramları a) saf MP b) MP/Sarıçam c) MP/Kavak	53
Şekil 27. CA/Sarıçam termoregülasyon performans test sonuçları	58
Şekil 28. CA/Kavak termoregülasyon performans test sonuçları.....	60
Şekil 29. LAOH/Sarıçam termoregülasyon performans test sonuçları.....	62
Şekil 30. LAOH/Kavak termoregülasyon performans test sonuçları	64

Şekil 31.	MP/Sarıçam termoregülasyon performans test sonuçları	66
Şekil 32.	MP/Kavak termoregülasyon performans test sonuçları.....	68
Şekil 33.	Sarıçam odununun FT-IR spektrumları	73
Şekil 34.	Kavak odununun FT-IR spektrumları.....	73
Şekil 35.	Sarıçam su alma oranı.....	79
Şekil 36.	Kavak su alma oranı	82
Şekil 37.	Sarıçam su itici etkinlik	87
Şekil 38.	Kavak su itici etkinlik.....	90
Şekil 39.	Sarıçam genişlemeyi önleyici etkinlik.....	95
Şekil 40.	Kavak genişlemeyi önleyici etkinlik	97
Şekil 41.	Sarıçam odunu numunelerine ait ED değerleri.....	100
Şekil 42.	Kavak odunu numunelerine ait ED değerleri	101
Şekil 43.	Sarıçam odunu numunelerine ait EEM değerleri.....	105
Şekil 44.	Kavak odunu numunelerine ait EEM değerleri	105
Şekil 45.	Sarıçam odunu numunelerine ait LPBD değerleri.....	108
Şekil 46.	Kavak odunu numunelerine ait LPBD değerleri	108

TABLÖLAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. IPCC raporu kapsamında belirlenen temel riskler ve açıklamaları	5
Tablo 2. Farklı enerji kaynaklarının ürettiği elektriksel kWh başına karbondioksit emisyonları	8
Tablo 3. En Uzun 10 Ahşap Bina	18
Tablo 4. Bazı inorganik FDM'lerin termal özellikleri.....	25
Tablo 5. Bazı ötektik FDM'lerin termal özellikleri	26
Tablo 6. Bazı parafinlerin termal özellikleri.....	27
Tablo 7. Bazı yağ asitleri ve yağ asidi esterlerinin termal özellikleri.....	28
Tablo 8. Tüm örneklerin yüzde ağırlık artışları	41
Tablo 9. TG analizi bozunma sıcaklıkları ve kalıntı oranları	48
Tablo 10. DSC analizleri sonucunda elde edilen ısı özellikler	54
Tablo 11. Merkez sıcaklıkları için minimum ve maksimum tepe sıcaklıkları.....	69
Tablo 12. Yüzey sıcaklıkları için maksimum ve minimum tepe sıcaklıkları.....	70
Tablo 13. Sarıçam SAO için BVA sonuçları	75
Tablo 14. Kavak SAO için BVA sonuçları.....	76
Tablo 15. Sarıçam su alma oranı DUNCAN testi.....	78
Tablo 16. Kavak su alma oranı DUNCAN testi.....	81
Tablo 17. Sarıçam SİE için BVA sonuçları	83
Tablo 18. Kavak SİE için BVA sonuçları.....	84
Tablo 19. Sarıçam SİE için DUNCAN testi	86
Tablo 20. Kavak SİE için DUNCAN testi	89
Tablo 21. Sarıçam GÖE için BVA sonuçları.....	91
Tablo 22. Kavak GÖE için BVA sonuçları.....	92
Tablo 23. Sarıçam GÖE için Duncan testi.....	94
Tablo 24. Kavak GÖE için Duncan testi.....	96
Tablo 25. Sarıçam Eğilme Dirençleri için BVA.....	99
Tablo 26. Kavak Eğilme Dirençleri için BVA.....	100
Tablo 27. Tüm varyasyonlara ait ED değerleri.....	101
Tablo 28. Sarıçam Elastikiyet Modülü için BVA	102
Tablo 29. Sarıçam EEM.....	103
Tablo 30. Kavak Elastikiyet Modülü için BVA.....	103

Tablo 31. Kavak Elastikiyet Modülü için Duncan Testi.....	104
Tablo 32. Sarıçam LPBD değerleri için BVA	106
Tablo 33. Kavak LPBD değerleri için BVA	107
Tablo 34. Tüm varyasyonlara ait LPBD değerleri ve homojenlik grupları	108



SEMBOLLER VE KISALTMALAR DİZİNİ

FDM	: Faz Değiştiren Madde
CO ₂	: Karbondioksit
EBY	: Epoksitlendirilmiş Bezir Yağı
CA	: Kaprik Asit
LAOH	: Lauril Alkol
MP	: Metil Palmitat
TGA	: Termal Kütle Analizi
DSC	: Diferansiyel Taramalı Kalorimetre
FTIR	: Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi
ED	: Eğilme Direnci
EEM	: Eğilmede Elastikiyet Modülü
LPBD	: Liflere Paralel Basınç Direnci
SAO	: Su Alma Oranı
SİE	: Su İtici Etkinlik
GÖE	: Genişlemeyi Önleyici Etkinlik
BVA	: Basit Varyans Analizi

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Artan sera gazı emisyonları ve bunların neden olduğu küresel ısınma endişesi ile birlikte yenilenebilir kaynaklara yönelim temel hedef haline gelmiştir. Günümüzde dünyada her yıl 34 milyar tondan fazla karbondioksit (CO₂) salınmaktadır Türkiye’de her yıl 400 milyon ton civarında CO₂ salınmaktadır. Örneğin, kentsel alanlar, ısıtma ve soğutma için fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarının başlıca kaynaklarıdır. Bunun yanı sıra, yoğun bina, araç trafiği ve endüstriyel aktiviteler de sera gazlarının artmasına oldukça büyük katkıda bulunmaktadır. Artan nüfus ve dolayısıyla artan yapılarda kullanılan konstrüksiyonlar küresel ısınmanın önüne geçmek için önemli bir alan oluşturmaktadır. Beton ve çelik gibi diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında ahşap, ömrü boyunca karbon depolama kapasitesine sahip tek materyal olduğu için sürdürülebilir bir seçenek olmaktadır. Bina sektörü, dünya çapındaki sera gazı emisyonlarının üçte birini ve enerji tüketiminin %40’ını oluşturduğu için çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Çok katlı yüksek yoğunluklu bir şehirde, binalar karbon emisyonlarının %60’ından ve toplam elektrik tüketiminin %90’ından sorumlu olabilmektedir. Ağaçlar büyürken, atmosferik karbondioksitten büyük miktarda karbon emerler ve kuru bir ahşap malzemenin ağırlığına oranla yarısı kadarı karbondur. Tek bir ağaç 1 tondan fazla karbon içermektedir ve ahşap binalar metrekare başına 23 ile 310 kg m⁻² karbondioksiti depolama özelliğine sahiptir.

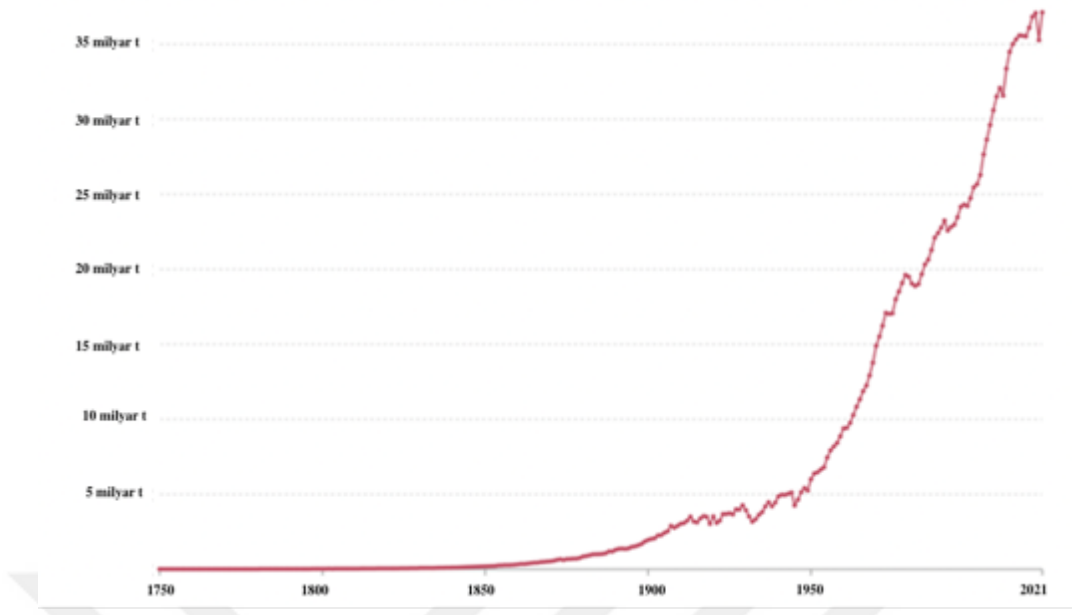
Şehirleşme ile artan nüfus, enerji talebinin artmasına neden olmuştur. Yeni konutların inşa edilmesi, ulaşım ihtiyaçları, ısıtma-soğutma, aydınlatma gibi ihtiyaçlar nedeniyle enerji talebi de artmaktadır. Enerjiye olan talep arttıkça, enerji krizinin yaşanması ve enerji fiyatlarının yükselmesi de daha olası hale gelmiştir. Son araştırmalar birincil enerji tüketiminin 2040 yılına kadar %48 artacağını öngörmektedir. Bu durum, enerji depolamanın verimli ve sürdürülebilir yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Termal enerji depolama, enerjinin depolanarak daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılması prensibine dayanmaktadır. Bu teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını artırarak, enerji tüketimini daha verimli hale getirmek için kullanılmaktadır. Gizli (latent) ısı depolamanın bir yöntemi olan faz değiştiren maddeler (FDM), termal enerjiyi depolamanın en etkili yöntemlerinden biridir. FDM kullanımının prensibi basittir. Sıcaklık arttıkça,

malzeme katıdan sıvıya faz değiştirir ve FDM'nin gizli ısı depolama yeteneği sayesinde ısıyı absorbe eder, sıcaklık düştüğünde ise, malzeme sıvıdan katıya faz değiştirir böylece depoladığı ısıyı geri bırakır.

Bu tezin amacı, binalarda enerji verimliliğinin artırılması amacıyla ahşap malzeme ve FDM'lerin birlikte kullanılmasıyla birlikte bir termal enerji depolama sistemi geliştirmektedir. Çalışmada ısı depolama ve salıverme özelliğine sahip yeni nesil ahşap malzeme geliştirmek için, ahşap malzeme üç farklı biyolojik faz değiştiren madde ile emprenye edildikten sonra karakterize edilmiştir ve bu sayede pratik bir şekilde bina uygulamalarında kullanılabilme potansiyeli ortaya konmuştur.

1.2. Küresel Isınma ve Sera Gazı Emisyonları

Küresel ısınma, insan faaliyetlerinin, özellikle fosil yakıtların (kömür, petrol ve gaz) yakılması ve sanayi devriminden bu yana muazzam bir şekilde artan ve şu anda önde gelen büyük ölçekli ormansızlaştırma faaliyetlerinin iklim üzerindeki etkisi olarak ifade edilebilmektedir. Önemli miktarlarda metan, nitroz oksit ve kloroflorokarbonlar ile birlikte her yıl yaklaşık 7 milyar ton karbonun, karbondioksit (CO_2) olarak atmosfere salınmasına yol açmaktadır. Bu gazlar sera gazları olarak bilinmektedir (Houghton, 2005). Sera gazları, atmosferdeki gaz seviyelerini artırarak, güneş ışınlarının yeryüzüne yansımaları engelleyip, dünya genelinde sıcaklık artışına yol açmaktadır. Güneş ışınlarının yeryüzüne ulaşmasına ve yeryüzünden yansıyan ısıya atmosferde tutulmasına neden olan sera gazlarının artması iklim değişikliklerine neden olmaktadır. İklim değişikliğinin sonucunda sıcaklık artışları, kuraklık, buzulların erimesi, deniz seviyelerindeki yükselmeler, ekstrem hava olayları meydana gelmektedir. Sanayi Devrimi öncesinde dünyadaki karbon emisyonları çok düşük ve artış 20. yüzyılın ortalarına kadar hala nispeten yavaşken, dünya 1950'de 6 milyar ton CO_2 salınımına neden olmuştur. 1990'da bu miktar neredeyse dört katına çıkarak 22 milyar tonun üzerinde bir değeri bulmuştur. Emisyonlar hızla artmaya devam ederken günümüzde her yıl 34 milyar tondan fazla CO_2 salınmaktadır (şekil 1). Türkiye'de ise, 1950'de 9,49 milyon ton olan salınım, 1990'da 151,66 milyon tona yükselmiştir. Günümüzde Türkiye'de her yıl 400 milyon ton civarında CO_2 salınmaktadır (Ritchie vd., 2020).



Şekil 1. Dünya’da yıllara göre, CO₂ emisyonları (Ritchie vd., 2020).

Küresel ısınma dünya gündeminde önemli bir yer kaplamaktadır. Küresel ısınmayı önlemek için ülkelerin iş birliği içinde çalışması gerekmektedir. Bu amaçla, birçok oluşum meydana gelmiştir.

Sürdürülebilir kalkınma “fikri”, Hans Carl von Carlowitz’in 1713 yılında orman bilimleri üzerine yazdığı kitabından doğmuştur. Ahşabın "günlük ekmeğimiz kadar önemli" olacağını savunmuştur ve gelecek nesillere aktarım için kesim kadar dikimin de önemli olduğunu vurgulamıştır (Keiner, 2005). Sürdürülebilir kalkınma “kavramı” ise ilk defa 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu’nca hazırlanan Brundtland (Our Common Future) Raporu’nda “Kalkınma, günümüz ihtiyaçlarını karşılarken, gelecekteki nesillerin de ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde gerçekleştirilmelidir.” şeklinde tanımlanmıştır. İklim değişikliği ile ilgili artan endişeler sonucunda 1985 yılında Kenya’nın Nairobi şehrinde düzenlenen Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) toplantısında iklim değişikliği ile ilgili bilimsel bir yapı oluşturulmasının gerekliliği konuşulmuştur ve bunun sonucunda 1988 yılının haziran ayında İklim Değişikliği Hükümetlerarası Paneli (IPCC) gerçekleştirilmiştir. IPCC, Birleşmiş Milletler (BM) bünyesinde faaliyet göstermekte ancak UNEP ve Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) tarafından ortaklaşa yönetilmektedir ve amacı, iklim değişikliğinin potansiyel etkileri konusunda, bilim insanları tarafından nesnel, objektif ve teknik bilgiyi toplayıp değerlendirerek raporlamaktır (Zillman, 2007). Dünya genelinde

iklim değişikliğiyle m¼cadele etmek için uluslararası bir ereve sağlamak amacıyla 1992 yılında imzalanan Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği ereve Sözleşmesi (UNFCCC) 1994 yılında yürürlüğe girmiştir. UNFCCC'nin ana amaçları arasında; sera gazı emisyonunun azaltılması, iklim değişikliğinden kaynaklanan etkilerin hafifletilmesi ve tüm ¼lkelerin iklim değişikliği konusunda iş birliği yapmaları konuları yer almaktadır (Kuyper, 2018). IPCC'nin amacı sadece bilimsel ve nesnel bilgiyi gözler önüne sermekken, UNFCCC küresel ısınma ile m¼cadele etmek için politika oluşturmak, uygulamak ve izlemekle yükümlüdür. UNFCCC kapsamında COP (Conference of Parties–Taraflar Konferansı) ilk defa 1995 yılında Berlin'de gerçekleştirilmiştir. COP her yıl gerçekleştirilirken, IPCC raporlarını birkaç yılda bir yayımlamaktadır.

Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği ereve Sözleşmesi'nin bir parçası olarak, dünya genelinde sera gazı emisyonlarının azaltılması amacıyla 1997 yılında Japonya'nın Kyoto şehrinde “Kyoto Protokolü” imzalanmıştır. Protokolü imzalayan ¼lkeler sera gazı emisyonlarını belirli bir sınırdan tutma sözü vermiş olmaktadırlar. 2005 yılında yürürlüğe giren anlaşma; "Avrupa Birliği Emisyon Ticareti Sistemi Direktifi" politikasını da içermektedir. Buna göre, emisyon ticareti adı verilen bir mekanizma ile bir ¼lke kendi belirlediği emisyon azaltma hedefini gerçekleştiremediği takdirde, hedefini gerçekleştiren başka bir ¼lkeden emisyon kredisi satın alabilmektedir ve bu mekanizmanın sonucunda ise sera gazı emisyonlarının toplamında bir azalmayı sağlamak hedeflenmektedir (Kyoto Protokolü, 1997; Victor, 2001). UNFCCC'nin altında, 2015 yılında Paris Anlaşması kabul edilmiştir. Bu anlaşmanın amacı küresel ısınmayı 2°C ile sınırlandırmaktır ve mümkünse 1,5°C'ye kadar indirmektir. Bu anlaşmayı imzalayan ¼lkeler her 5 yılda bir hedeflerini gözden geçirip, güncelleyerek sera gazı emisyonlarını düşürmeyi ve iklim değişikliği ile m¼cadele etmeyi hedeflemektedirler (Glanemann, 2020; DeConto, 2021).

2021 yılında IPCC'nin yayımladığı "Climate Change 2021: The Physical Science Basis" başlıklı son raporda iklim değişikliği ile ilgili belirlenen temel riskler tablo 1'de gösterilmiştir (Pörtner, 2022).

Tablo 1. IPCC raporu kapsamında belirlenen temel riskler ve açıklamaları (Pörtner, 2022).

Temel Riskler	Açıklama
Sıcaklıkların artması	Küresel sıcaklıkların artması, iklim değişikliğinin en önemli belirleyicisidir.
Ekstrem hava olayları	Sıcaklık artışıyla birlikte ekstrem hava olaylarının (sel, kuraklık, kasırga vb.) sıklığı ve şiddeti artmaktadır.
Deniz seviyesi yükselmesi	Okyanusların ısınması ve kutup buzullarının erimesi, deniz seviyesinin yükselmesine neden olmaktadır.
Su kaynaklarındaki azalma	İklim değişikliği, su kaynaklarının azalmasına ve su sıkıntısına yol açabilir.
Biyolojik çeşitlilik kaybı	İklim değişikliği, ekosistemlerin bozulmasına neden olur ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açmaktadır.
Gıda üretiminde azalma	İklim değişikliği, tarım üretimini olumsuz yönde etkileyerek gıda arzında azalmaya neden olabilir.
Sağlık riskleri	İklim değişikliği, hava kirliliği, su kaynaklarının kirlenmesi ve diğer faktörler nedeniyle sağlık risklerini artırabilir.
Göç ve çatışma	İklim değişikliği, insanların göç etmesine ve çatışmaların artmasına neden olabilir.
İklim değişikliği etkilerine uyum	İklim değişikliği etkileri ile başa çıkmak için uyum sağlama çabaları da riskler arasında yer almaktadır.

UNFCCC kapsamında gerçekleştirilen son COP konferansı, 6-18 Kasım 2022 tarihlerinde Mısır'ın Şarm El-Şeyh şehrinde "COP27" olarak gerçekleşmiştir (Arora, 2023). Tüm bu anlaşma ve protokollerin sonucunda, küresel ısınmayı engellemek amacıyla sera gazı emisyonlarının azaltılması, yenilenebilir kaynakların kullanımının artırılması,

ormansızlaşmanın önlenmesi, enerji tasarrufu ve verimliliğinin artırılması gibi önlemlerin alınmasının büyük önem arz ettiği konusunda ülkeler hemfikir olmuştur.

1.3. Şehirleşme

Şehirleşme, bir ülkenin kentsel nüfusunun kırsal nüfusuna göre artması anlamına gelmektedir. 1950'de dünya nüfusunun yaklaşık %30'u kentsel alanlarda yaşıyorken, 2010'larda bu oran %50'nin üzerine çıkmıştır ve 2050'ye kadar dünya nüfusunun yaklaşık %66'sının şehirlerde yaşayacağı tahmin edilmektedir (Helbling & Meierriecks, 2023). Şehirleşme, küresel ısınmanın büyük bir tetikçisidir. Sera gazlarından kaynaklı olarak yerkürenin ısınması, ormansızlaşma, çölleşme gibi değişikliklerin büyümesi ve hızlanması, büyük ölçüde dünyadaki insan nüfusunun hızlı artışından kaynaklanmaktadır (Grimmond, 2007).

Küresel ölçekte kentsel nüfus 2018'de 4,2 milyara ulaşmıştır ve 2050'de 6,6 milyarı aşacağı tahmin edilmektedir (Zhou vd., 2022); UN, 2019). 2050'ye kadar tüm dünya nüfusunun %68'inin kentsel alanlarda ikamet etmesi beklenmektedir ve bu da bir dizi çevresel ve iklimsel sonuçlara neden olacaktır (Ouyang vd., 2022). Şehirleşme, arazi yüzeyinin hidrolojik ve termal özelliklerini kalıcı olarak değiştirmekte ve bu da arazi yüzeyi enerji ve su dengelerinde değişikliklere neden olmaktadır (Huang, 2022; Bonan, 2011). Antropojenik (insan kaynaklı) karbon emisyonlarının %90'ından fazlası şehirlerde üretilmektedir (Svirejeva, 2004). Şehirleşme ve küresel iklim değişikliği arasındaki bağlantı karmaşıktır. Artan küresel ısınma bağlamında, şehirler hem doğrudan hem de dolaylı olarak sera gazı kaynaklarını etkilemektedir. Örneğin, kentsel alanlar, ısıtma ve soğutma için fosil yakıtların yakılmasından kaynaklanan insan kaynaklı karbondioksit emisyonlarının başlıca kaynaklarıdır. Bunun yanı sıra, yoğun bina, araç trafiği ve endüstriyel aktiviteler de sera gazlarının artmasına oldukça büyük katkıda bulunmaktadır (Grimmond, 2007).

Şehirlerdeki sıcaklıkların artması ve sera gazı emisyonlarının yoğunluğu nedeniyle çevresel sorunlar ve iklim değişikliği ile mücadele için çözüm arayışı kaçınılmaz olmuştur. Artan nüfus ve dolayısıyla artan yapılarda kullanılan konstrüksiyonlar küresel ısınmanın önüne geçmek için önemli bir alan oluşturmaktadır. Beton ve çelik gibi diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında ahşap, ömrü boyunca karbon depolama kapasitesine sahip olduğu için sürdürülebilir bir seçenek olmaktadır (Gustavsson et al., 2006; Gerilla, 2007).

Şehirleşme ile artan nüfus, enerji talebinin artmasına neden olmuştur. Yeni konutların inşa edilmesi, ulaşım ihtiyaçları, ısıtma-soğutma, aydınlatma gibi ihtiyaçlar nedeniyle enerji talebi de artmaktadır. Enerjiye olan talep arttıkça, enerji krizinin yaşanması ve enerji fiyatlarının yükselmesi de daha olası hale gelmiştir. Küresel ısınmaya olumsuz yönde katkı sağlayan ve yenilenemeyen fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim, şehirleşmenin olumsuz yönlerini ortadan kaldırmak için önemli bir alan oluşturmaktadır.

1.4. Enerji Krizi

Sera gazı emisyonlarının ve küresel ısınmanın başlıca nedenlerinden biri olan fosil yakıtların yakılması ortalama küresel sıcaklıkları artırmasının yanı sıra doğal kaynakları tüketmektedir. Dünya gezegeni, dünya nüfusu ile küresel enerji talebindeki artış ve enerji üretimi ile ulaşımı için fosil bazlı yakıtlara olan bağımlılık nedeniyle enerji kriziyle karşı karşıyadır (Coyle, 2014). Enerji krizi, dünya genelinde enerji kaynaklarına erişimi azaltarak ve enerji fiyatlarını yükselterek küresel ısınma ve iklim değişikliği ile mücadele çabalarını daha da zorlaştıracığı öngörülmektedir. Bu nedenle, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmek ve enerji verimliliğinin artırılması hem küresel ısınmaya olumlu katkı yapacaktır hem de enerji krizinin önüne geçecektir (Masood, 2022). Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), artan enerji verimliliği ve tasarrufu, alternatif enerji teknolojilerini geliştirme çabaları ve gelecekteki enerji talebini kontrol etme çabaları ile geleneksel yakıt kullanımını ve CO₂ emisyonlarının azaltılabileceğini duyurmuştur (Coyle, 2014). Termal enerji depolama yöntemleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması konusunda önemli bir yer kaplamaktadır (Duraković, 2020).

1.5. Enerji Kaynakları

Enerji iş yapabilme kabiliyeti olarak tanımlanabilmektedir. Enerji, çeşitli kaynaklardan gaz, sıvı ve katı formda elde edilebilmektedir. Ancak bu enerji kaynaklarının pratik kullanım için mekanik (örneğin hareket), elektriksel (örneğin elektrik), ısı veya ışık gibi kullanılabilir formlara dönüştürülmesi gerekmektedir (Ghosh & Prelas, 2009). İnsanoğlunun enerjiye ihtiyacı hep var olmuştur ve enerjinin kaynağı ile kullanımı zaman içinde değişse de bazı kalıplar sabit kalmıştır. Ateşin keşfinden itibaren yemek pişirmek, beş bin yıldan uzun süre önce demirin eritilmesi, Tunç Çağı'nda bakır ve bronz üretimi, on

üçüncü yüzyılda top dökümü ve on sekizinci yüzyılda gelindiğinde ise demir endüstrisi için odun kömürü talebi çok yüksek olmuştur (Coyle, 2014). Enerji kaynakları genel olarak iki kategoriye ayrılmaktadır; yenilenemez enerji kaynakları ve yenilebilir enerji kaynakları. Tablo 2, farklı enerji kaynaklarının ürettiği elektriksel kWh başına CO₂ emisyonlarını göstermektedir.

Tablo 2. Farklı enerji kaynaklarının ürettiği elektriksel kWh başına karbondioksit emisyonları (Ngö, 2008).

Metod	Emisyon (g/kWh)
Kömür	860-1290
Yağ	700-800
Gaz	480-780
Nükleer	4-18
Rüzgar	11-75
Güneş	30-280
Biyokütle	0-116

1.5.1. Yenilenemez Enerji Kaynakları

Yenilenemez enerji kaynakları sürekli olarak yenisiyle değiştirilemeyen veya sadece çok yavaş bir şekilde yenisiyle değiştirilebilen, ancak tamamen doğal süreçlere bağlı olan bir kaynak olarak tanımlanabilmektedir. Yenilenemez enerji kaynağı olarak kömür, petrol, doğalgaz, nükleer enerji (uranyum ve toryum) sayılmaktadır.

Kömür, petrol ve gazdan oluşan fosil yakıtlar, bitkisel veya hayvansal canlı maddelerden oluşmaktadır ve yandıklarında enerji ve karbondioksit açığa çıkaran karbon içermektedirler (Ngö, 2008). İnsan yaşamının sürdürülebilmesinin gerekliliklerinden biri de çevreye zarar vermeyen temiz enerji kaynaklarının kullanımıdır. CO₂'nin atmosfere salınması, küresel ısınmanın ve buna bağlı çeşitli iklim değişikliklerinin ana faktörüdür. Nükleer enerjinin en büyük avantajı atmosfere karbondioksit salmamasıdır. Ancak nükleer enerji, zararlı gazlar salmadan (SO₂, NO_x, CO₂) enerji üretse de nükleer atık ile ilgili konular endişe vericidir. Nükleer atıkların yeniden işlenmesi etkisini önemli ölçüde azaltabilir ve hatta sıfır atık sistemiyle sonuçlanabilir (Ghosh & Prelas, 2009).

Kömür: Kömürün kullanımı uzun ve zengin bir tarihe dayanmaktadır. Kömür, 345 ile 280 milyon yıl önce, Karbonifer Dönemi'nde bitki örtüsünün yavaşça anaerobik koşullarda çürümesiyle oluşmuştur. Kömür, değişken oranlarda uçucu organik madde ve karbon içermektedir (Ngô, 2008). Kömürün Çin'de ticari olarak kullanımı M.Ö. 1000 yılına kadar dayanmaktadır. 18. ve 19. yüzyıllarda Sanayi Devrimi sırasında kömür talebi artmıştır ve 1769'da James Watt tarafından buhar makinesinin tanıtılması kömür kullanımının büyümesinden büyük ölçüde sorumludur. 1960'lara kadar birincil enerji kaynağı olan kömür, petrolün ulaşım için kullanımı ile birlikte yerini petrole bırakmıştır (Ghosh & Prelas, 2009).

Petrol: En yaygın teoriye göre, petrol esas olarak hidrokarbonlardan oluşmaktadır ve milyonlarca yıl önce suda yaşayan bitki ve hayvan kalıntılarının tortu katmanlarıyla (kaya ve mineral parçacıkları) kaplanmasıyla başlayan bir süreçte oluşmuştur. Petrolün %70'inden fazlası ulaşım için kullanılmaktadır ve günlük hayatımızda kullandığımız çeşitli ürünlerin yapımında önemli bir hammadde (Bitek, 2023).

Doğal gaz: Çin'de 10. yüzyıldan itibaren yemek pişirmek için gaz kullanıldığı bilinmektedir. Doğal gaz endüstrisi, 19. yüzyılda Amerika Birleşik Devletleri'nde doğmuştur (Ngô, 2008). Doğal gaz, içeriğinde büyük miktarda hidrokarbon olan bir gaz karışımıdır. Dünyanın birincil enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilmektedir. Ağırlıklı olarak metan (CH₄) içermektedir, renksiz ve kokusuzdur (Konak, 2019).

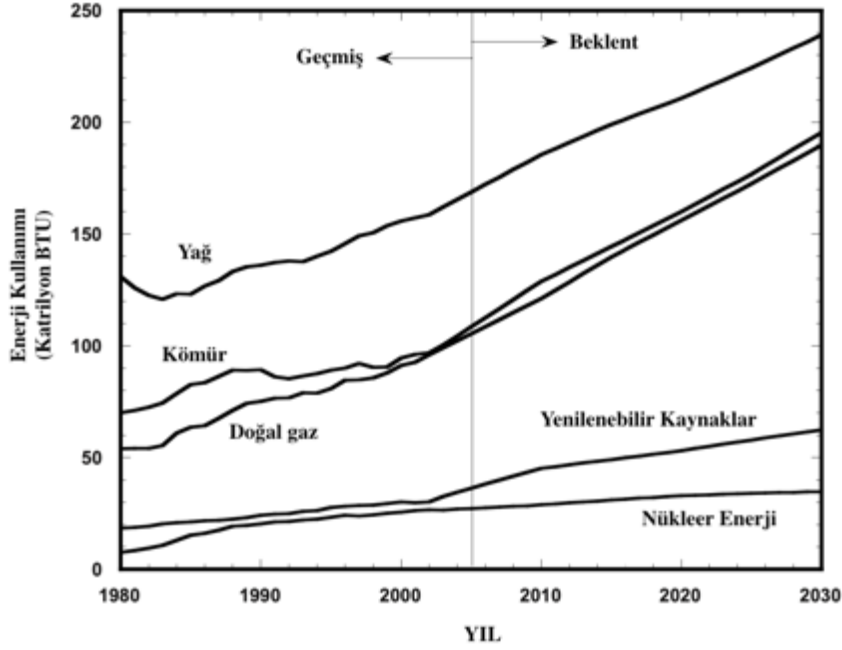
Nükleer Enerji: Nükleer reaksiyonlar ile enerjinin salınmasının iki temel yolu vardır: atom çekirdeğinin bölünmesi (filyon) ve füzyonu. Bir çekirdeğin kütlesi (çekirdek proton ve nötronlardan oluşur) her zaman onu oluşturan proton ve nötronların ayrı ayrı kütlelerinin toplamından daha az olmaktadır. Fark, çekirdeği bir arada tutan nükleer bağlanma enerjisinin bir ölçüsüdür. Filyon veya füzyon reaksiyonu sırasında bu bağlanma enerjisinin bir kısmı serbest bırakılır ve enerji üretimi için kullanılmaktadır (Jurakulov, 2023).

1.5.2. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları sürekli olarak yenilenen veya kısa bir süre içinde (günlük, birkaç gün veya birkaç yıl) sürekli olarak üretilebilen, sınırsız enerji kaynaklarıdır ve dünya var oldukça ulaşılabilir olacaktır (Ngô, 2008). Yenilenebilir enerji kaynakları doğrudan güneşten (termal, fotokimyasal ve fotoelektrik vb), dolaylı olarak güneşten

(rüzgar, hidroelektrik ve biyokütlede depolanan fotosentetik enerji vb) veya çevrenin diğer doğal olaylarından (jeotermal ve gelgit enerjisi vb) elde edilmektedir.

Şekil 2'de görüldüğü üzere, petrol son birkaç on yıldır dünyanın en önde gelen enerji kaynağı olmuştur ve bu şekilde devam edeceği öngörülmektedir. Fosil yakıtların yakılması küresel ısınmaya olumsuz katkı yaptığı gibi kaynakların tükenerek enerji krizinin yaşanması ihtimaline de neden olmaktadır. Bu nedenle yenilenebilir kaynakların kullanımı küresel ısınmanın önüne geçmede büyük önem taşımaktadırlar.

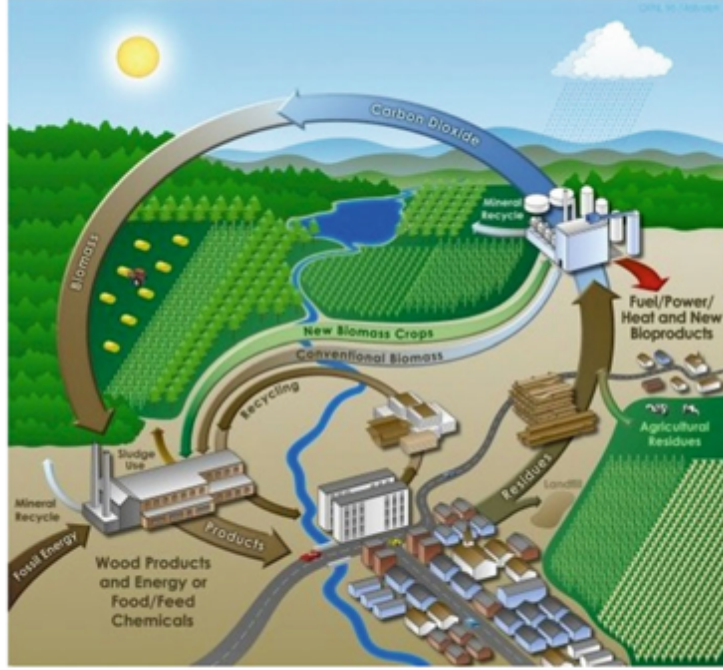


Şekil 2. Yakıt türüne göre dünya çapında pazarlanan enerji kullanımı (Ghosh & Prelas, 2009).

En yaygın yenilenebilir enerji kaynakları şöyledir;

Biyokütle enerjisi: Biyoenerji, biyokütle adı verilen çeşitli biyolojik kaynaklardan elde edilir ve biyokütle düzenli olarak yenilenebildiği için yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Hem selülozik hem de lignoselülozik bazlı biyokütle, enerji üretimi veya biyoyakıt sentezi için kullanılabilir (Ghosh, 2011). Odun, insanların ateşi sıcaklık ve ışık için keşfettiği ve kullandığından beri yaklaşık 500.000 yıldır kullanılmaktadır. Biyokütle, dünya enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Düşük nüfus yoğunluğuna sahip birçok gelişmekte olan ülkede özellikle kullanılmaktadır (Ngô, 2008).

Biyoenerji, karbon nötr bir sistem olarak düşünülmektedir. Biyokütle yakarken karbondioksit atmosfere geri salınır ancak, atmosfere net karbon ilavesinin çok az olduğu veya hiç olmadığı varsayılmaktadır. Şekil 3'de gösterilen biyoenerji döngüsünün yalnızca yenilenebilir olmadığı, aynı zamanda çevreye zarar vermeden istikrarlı bir enerji kaynağı sağlayabileceği varsayılmaktadır (Ghosh, 2011).



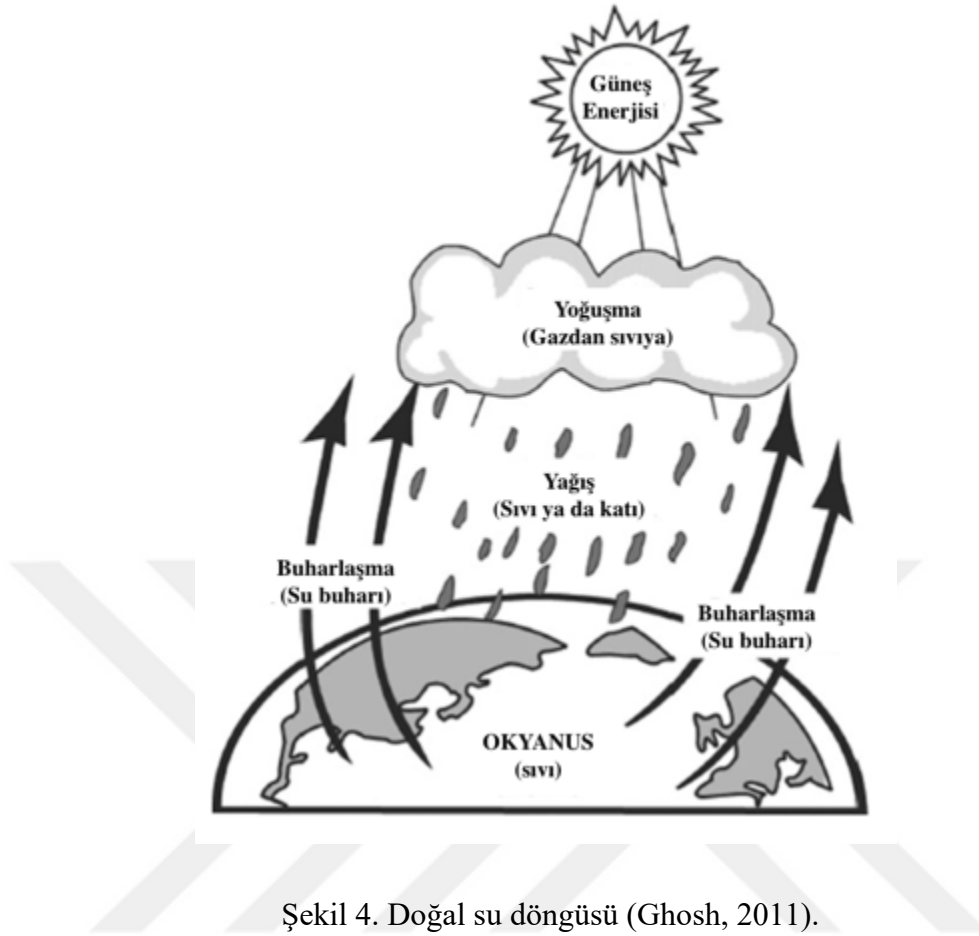
Şekil 3. Biyoenerji döngüsü (Ghosh, 2011).

Rüzgar Enerjisi: Rüzgar enerjisinin kullanımı M.Ö. 5000 yıl önce Nil Nehri boyunca rüzgar enerjisiyle çalışan yelkenlilere dayanmaktadır. M.Ö. 200'de Çin'de su pompalamak için, İran ve Orta Doğu'da tahıl öğütmek için yel değirmenlerinde kullanılmıştır. Rüzgâr türbinlerinin kinetik enerjisi elektrik üretmek için kullanılmaktadır. Çeşitli yenilenebilir enerji kaynakları arasında, rüzgar enerjisi teknolojik olarak, hidroelektrik enerjisinden sonra, en gelişmiş (ikinci) yenilenebilir enerji kaynağıdır. Rüzgar enerjisini elektriğe dönüştürmek için önemli bir potansiyel olmasına rağmen, tam potansiyeliyle kullanılabilmesi için rüzgarın hızı ve sürekliliği önemli parametrelerdir. Fosil yakıtlarla karşılaştırıldığında, rüzgar enerjisinden elektrik üretimi çok daha temiz ve ekonomiktir (Gültekin, 2019).

Güneş Enerjisi: Güneşin çapı yaklaşık 1,4 milyon kilometre ve iç sıcaklığı yaklaşık 15 milyon Kelvin derecedir. Bu yüksek sıcaklık, dünyadaki atmosferik basınçtan 70 milyar kat daha yüksek bir basınçla birleştiğinde, füzyon reaksiyonları için ideal koşulları yaratmaktadır. Güneşteki füzyon reaksiyonu, bir helyum atomu oluşturmak için birleşen iki

hidrojen atomunu içerir ve bu süreçte enerjiyi serbest bırakır. Bu enerji, yüksek enerjili gama radyasyonu şeklinde salınır. Gama ışınları güneş küresinin merkezinden dışına doğru yayılırken, güneş ortamıyla reaksiyona girerler ve enerji spektrumunun başta görünür ışık ve ısı kısımlarında olmak üzere daha düşük enerjili radyasyonlara dönüşürler. Güneş yaklaşık 5 milyar yıldır bu şekilde enerji üretmektedir (Ghosh, 2011). Güneşin ısınma etkisinden akıllıca yararlanan iyi tasarlanmış binalar günümüzde kullanılmaktadır. Uygun malzemelerin kullanılması, güneş ışığı varken ısının depolanmasını, güneş ışığı eksikliğinde ise yeniden kullanılmasını sağlamaktadır. Mimari, binalarda sabit bir sıcaklığın korunmasında da önemli bir rol oynamaktadır. Güneş enerjisinin bu pasif kullanımı, 1990'da Avrupa Birliği'nde kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %10'una katkıda bulunmuştur (Ngô, 2008).

Hidroelektrik Enerjisi: Tüm yenilenebilir enerji kaynakları arasında, hidroelektrik enerjisi, dünya çapındaki elektrik üretimine katkısı en yüksek olanıdır. Bir hidroelektrik sistemi, birkaç kilovattan yaklaşık 18.000 MW'a kadar elektrik üretmek için kullanılabilir. Hidroelektrik üretim tesisleri, elektrik üretmek için nehir ve şelale gibi düşen suların kinetik enerjisini yakalamaktadır. Bir türbin ve bir jeneratör sudan gelen kinetik enerjiyi bir jeneratör kullanarak önce mekanik enerjiye sonra da elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Şekil 4'de gösterilen su döngüsü sürekli bir döngü olduğundan, hidroelektrik yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir (Ghosh, 2011).



Şekil 4. Doğal su döngüsü (Ghosh, 2011).

Güneş enerjisi, nehirlerin, okyanusların ve atmosfere açık diğer su rezervuarlarının suyunu ısıtarak buharlaşmasına neden olur ve su buharı üst atmosfere yükselip soğurken, yoğunlaşarak bulutlara dönüştükten sonra yağış (yağmur suyu) olarak yüzeye geri düşmektedir. Su nehirlerden akıp, okyanuslara geri dönmekte, burada tekrar buharlaşıp daha sonra döngüyü yeniden başlatmaktadır.

Jeotermal Enerji: Dünyanın yüzeyinin altında, merkezinde Magma adı verilen sıcak erimiş bir kaya kütlesi bulunmaktadır. Dünyanın oluşumu sırasında Magma'da hapsolmuş radyoaktif maddelerin bozunmasından dolayı merkezde sürekli olarak ısı üretilmektedir. Bu ısı kaynağının milyarlarca yıl süreceği ve bu kaynaktan düzenli olarak termal enerji elde edilebileceği düşünülmektedir bu nedenle, jeotermal enerji yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Jeotermal enerji, elektrik üretimi, bina ısıtma ve ısı pompaları dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar için kullanılabilir (Barbier, 2002).

Okyanus Enerjisi: Okyanuslar dünya yüzeyinin %70'inden fazlasını kaplamaktadır ve bu nedenle, dünya yüzeyindeki en büyük güneş enerjisi toplayıcıları olarak kabul edilmektedir. Enerji, dalgalardan, gelgit akıntısından ve su kütlesinde bulunan termal

gradyanlardan yararlanılarak okyanustan toplanabilir. Teorik olarak, okyanus temelli bu yenilenebilir kaynaklar, dünyanın enerji gereksinimlerini defalarca karşılayabilir, ancak büyük ölçekli üretim için ekonomik olarak enerjinin toplanması son derece zordur (Ghosh, 2011).

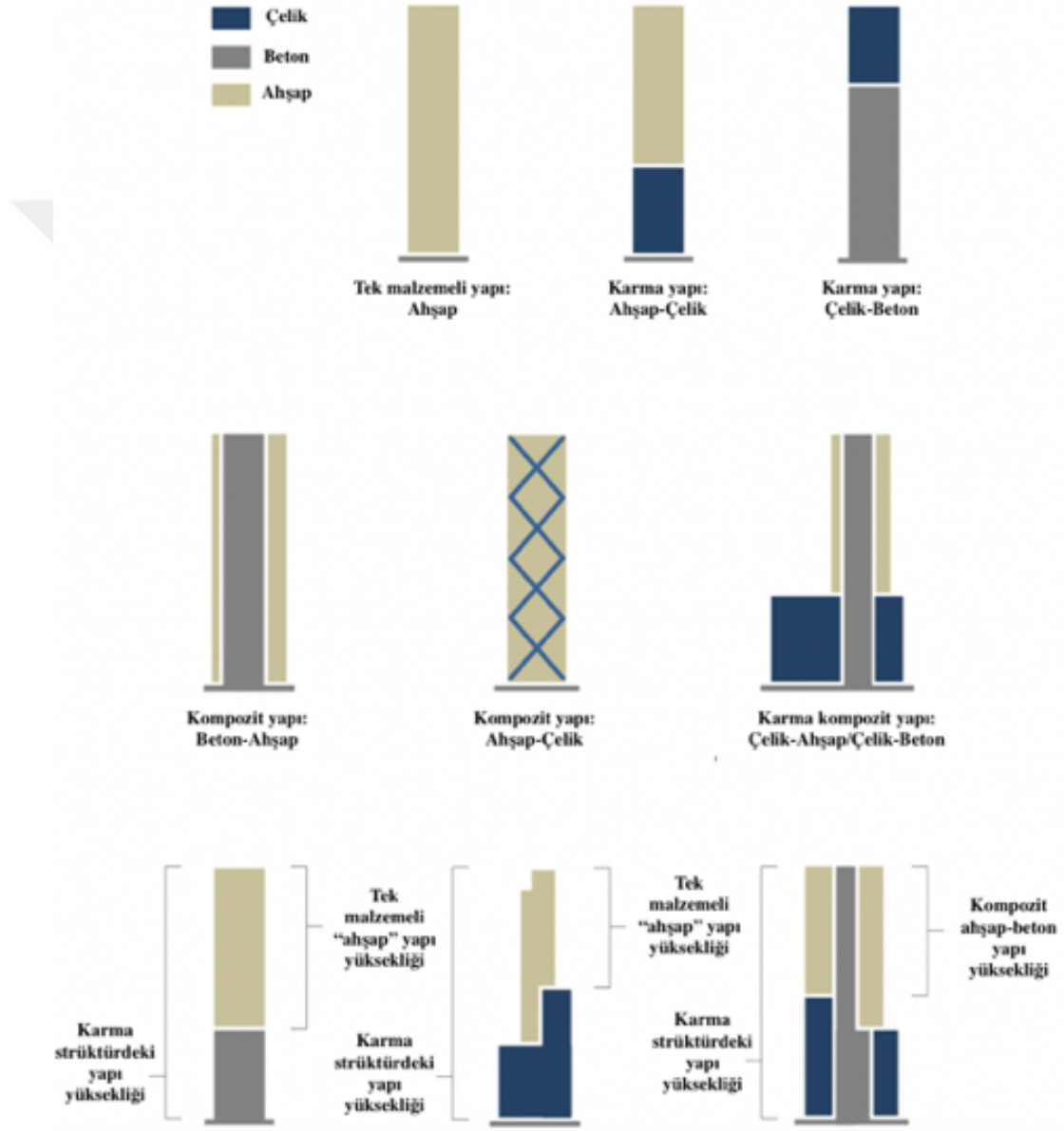
1.6. Ahşap Malzeme ve Ahşap Binalar

Yenilenebilir kaynaklara yönelim, küresel ısınmanın önüne geçme konusunda önemli bir alandır. Ahşap, karbon depolama özelliği olan mükemmel bir yenilenebilir enerji kaynağıdır (Pizzi, 2016). Ağaçlar büyürken, atmosferik karbondioksitten büyük miktarda karbon emerler ve kuru bir ahşap malzemenin ağırlığına oranla yarısı kadarı karbondur. Tek bir ağaç 1 tondan fazla karbon içermektedir (Rowell, 2005). Dünya çapındaki CO₂ emisyonlarının yaklaşık %39'u inşaat sektöründen kaynaklanmaktadır. Ahşap malzemelerin çevresel etkisinin düşük olması inşaat sektöründe ahşabın kullanımını artırmaktadır. Bu avantajlarının yanı sıra ahşabın basit üretim gerektirmesi, nispeten daha hafif olması, tekrar kullanılabilir olması, düşük karbon salımına sahip olması (15 kg/m³), yüksek karbon depolaması (250kg/m³) ve çevreye uyumlu olması da diğer avantajları arasındadır (Can, 2023).

Ahşap malzeme doğadan doğrudan ve kolaylıkla temin edilebilen ve insanoğlunun binlerce yıldır alet, silah, yakıt ve barınma amaçlı kullandığı en eski materyallerden biridir (Rowell, 1989). Ahşap malzeme olumsuz hava koşulları ve kimyasal etkenlere maruz kaldığında bile mukavemetindeki azalmanın yavaş olduğu bir malzeme olmasından dolayı yapı elemanı olarak kullanımında önemli bir materyal olarak değerlendirilmektedir. Ahşabın fiziksel özellikleri mekanik özelliklerini doğrudan etkilediğinden dolayı ahşabın sertliği, nem oranı, özgül ağırlığı ve ısı iletkenliği oldukça önemlidir (Çalışkan vd., 2019).

Binalar, insanların yaşamsal faaliyetlerini sürdürebilmek ve kendilerini dış etmenlerden koruyabilmek amacıyla birçok değişik malzemeden ve bu malzemelere uygun yapım teknikleriyle inşa edilen tesislerdir. Binalarda kullanılan malzemelerin dış etmenlere karşı gösterdiği davranış ve binada yaşamsal faaliyetlerini süren insanların konfor seviyelerini koruması büyük önem arz etmektedir. Ahşap yapı kavramı taşıyıcı sistemin ahşap olduğu sistemlere verilen ad olsa da, sektörel olarak birçok teknik ve malzeme birlikte kullanılmakta olup bağımsız olarak değerlendirilememektedir (Togay, 2002).

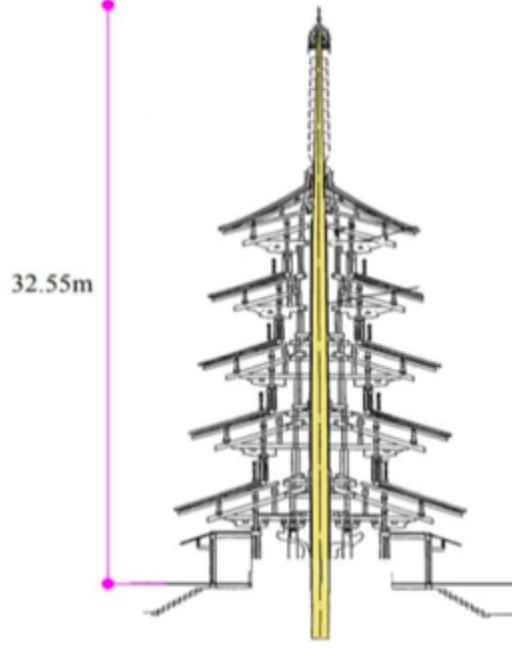
Binalar genel olarak beton binalar, çelik binalar, ahşap binalar, karma binalar ve kompozit binalar olarak sınıflandırılmaktadır. Bina tek bir malzemeden inşa edilmişse örneğin bina yapımında sadece ahşap kullanılmışsa ahşap bina olarak adlandırılır. Kompozit binalar iki malzemenin bir arada kullanıldığı durumlarda, karma binalar ise alt yapısal bölüm ile üst yapısal bölümün farklı malzemeden oluştuğu durumları ifade etmektedir (Şekil 5).



Şekil 5. Bina tipolojileri ve kullanılan malzemelere örnekler (Foster vd., 2016).

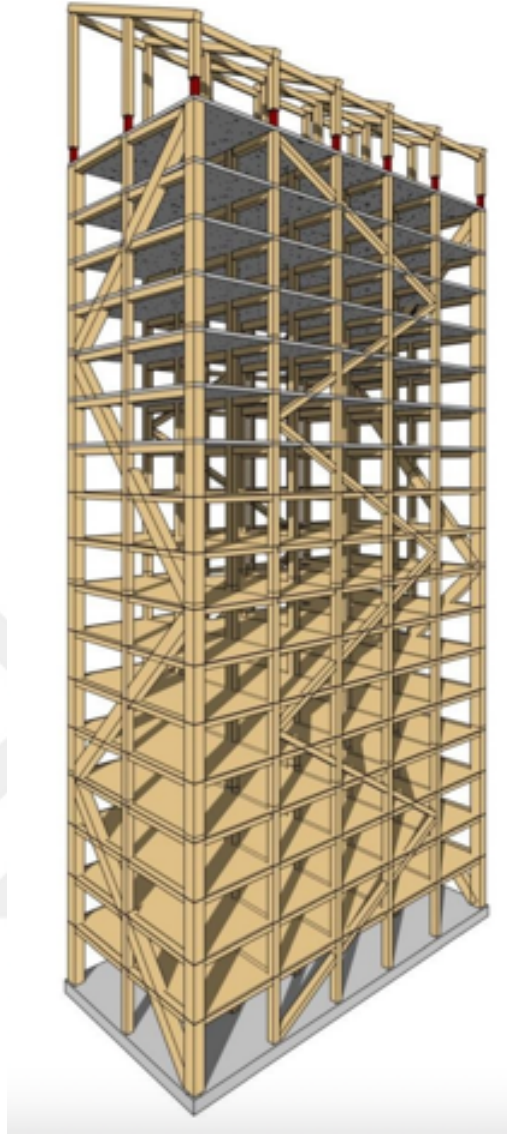
Tarihsel sürece bakıldığında, milattan önceki dönemlerde ahşap köprülere sık sık rastlanmakta birlikte “pagoda” adı verilen ahşap yapılara da rastlanmaktadır (Şekil 6).

Japonya’da bin yıldan uzun süre önce inşa edilmiş 32,55 m yüksekliğe sahip bir pagoda pek çok deprem görmesine rağmen hala ayaktaadır (Çelik vd., 2022).



Şekil 6. Pagoda taşıyıcı sistem örneği (Çelik vd., 2022)

Günümüzde ise çok yaygın olmamakla birlikte ahşap çok katlı yapı uygulamaları bulunmaktadır. Guinness rekorlarına göre dünyanın en yüksek ahşap binası Norveç’te bulunan 18 katlı ve 85 m yüksekliğindeki Mjøstårnet binasıdır (Şekil 7). Bu yapı yapıştırma lamine ahşap iç kolon, kiriş ve kafesten oluşmakla birlikte CLT paneller ikincil taşıyıcı eleman olarak kullanılmıştır (Çelik vd., 2022). 2019’da tamamlanan ve 11,300 m² brüt taban alanına sahip olan binada toplam 2600 m³ ahşap malzeme kullanılmıştır (İlgın vd., 2023).



Şekil 7. Mjøstårnet taşıyıcı sistemi (Abrahamsen, 2017).

Şekil 8’de gösterilen Dünya’nın en uzun ahşap binası Mjøstårnet’i, Amerika’da hala yapım aşamasında olan 85 m yüksekliğinde ahşap bina (Ascent) ikinci sıraya düşürecektir. 2020 yılında yapılmış Avusturya’da bulunan 84 m yüksekliğindeki HoHo binası Dünya’nın en uzun üçüncü ahşap binası olma özelliğine sahiptir ve yapımında 4350 m³ ahşap kullanılmıştır. Hollanda’da bulunan HAUT binasında 2000 m³ ahşap kullanılmıştır. Tablo 3’te en uzun 10 ahşap bina, ülkeleri, yükseklikleri, tamamlanma tarihleri, brüt taban alanları ve bu binaların inşaatı sırasında kullanılan ahşap miktarları sıralanmıştır.

Tablo 3. En Uzun 10 Ahşap Bina (İlgın vd., 2023)

#	Bina İsmi	Şehir (Ülke)	Yükseklik (m)	Tamamlanma Tarihi	Brüt Taban Alanı	Kullanılan Ahşap Miktarı
1	Ascent	Milwaukee (ABD)	87	*	30,136 m ²	-
2	Mjøstårnet	Brumunddal (Norveç)	85	2019	11,300 m ²	2600 m ³
3	HoHo	Vienna (Avusturya)	84	2020	25,000 m ²	4350 m ³
4	HAUT	Amsterdam (Hollanda)	73	2022	14,500 m ²	2000 m ³
5	Brock Commons Tallwood House	Vancouver (Kanada)	58	2017	15,115 m ²	1973 m ³
6	Treet	Bergen (Norveç)	49	2015	7140 m ²	550 m ³
7	Lighthouse Joensuu	Joensuu (Finlandiya)	48	2019	5935 m ²	2000 m ³
8	HOAS Tuuliniitty	Tuuliniitty (Finlandiya)	42	2021	7584 m ²	-
9	Origine	Quebec (Kanada)	41	2017	13,124 m ²	3111 m ³
10	Trafalgar Place	Londra (İngiltere)	36	2015	16,661 m ²	750 m ³

(*tamamlanmadı -veri yok)

Ahşap binalar metrekare başına 23 ile 310 kg m⁻² karbondioksiti depolama özelliğine sahiptir. Bu oran ahşap malzemenin binada hangi amaçla, ne miktarda kullanıldığına göre değişiklik göstermektedir. 100 kg m⁻² 'e kadar karbon depolayanlar düşük, 200 kg m⁻² 'e

kadar karbon depolayanlar orta, 300 kg m^{-2} ve daha fazla karbon depolayanlar ise yüksek olarak sınıflandırılabilir (Amiri vd., 2020).

Binalar, iç ortamlarında günışığı aydınlatması, soğutma ve ısıtma sağlamak için muazzam miktarda enerji kullanırlar (Kirankumar vd., 2020). Bina sektörü, dünya enerji tüketimine ve sera gazı emisyonlarına en büyük katkıyı yapan sektör olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle, binalarda enerji kullanımının doğası ve yapısının iyi bir şekilde anlaşılması, gelecekteki yeterli enerji ve iklim değişikliği politikalarının oluşturulması için çok önemlidir (Allouhi, 2015). Bina sektörü, dünya çapındaki sera gazı emisyonlarının üçte birini ve enerji tüketiminin %40'ını oluşturduğu için çevre üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Gan vd., 2019). Hong Kong gibi çok katlı yüksek yoğunluklu bir şehirde, binalar karbon emisyonlarının %60'ından ve toplam elektrik tüketiminin %90'ından bile sorumlu olabilmektedir (Gan vd., 2019). Konut inşaat sektörü, dünya çapında kullanılan toplam enerjinin yaklaşık %30'unu tükettiğinden küresel enerji kullanımını azaltmak için konut binası tasarımında enerji performansını dikkate almak önemli hale gelmektedir (Allouhi, 2015).

Avrupa'da binalarda ve endüstriyel sektörlerde ısıtma ve soğutma depolarının daha yaygın kullanılmasıyla yılda yaklaşık 1,4 milyon GWh tasarruf sağlanabileceği ve 400 milyon ton CO₂ emisyonunun önlenebileceği tahmin edilmektedir (Sarbu, 2018).

1.7. Enerji Depolama

Son araştırmalar birincil enerji tüketiminin 2040 yılına kadar %48 artacağını öngörmektedir. Bu durum, enerji depolamanın verimli ve sürdürülebilir yöntemlerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Enerji depolama sistemleri aşağıdaki özelliklerle açıklanabilir (Sarbu, 2018);

1) *Kapasite*, sistemde depolanan enerjiyi tanımlamaktadır ve depolama sürecine, depolama ortamına ve sistemin boyutlarına bağlıdır.

2) *Güç*, sistemde depolanan enerjinin ne kadar hızlı boşaltılabileceğini (ve şarj edilebileceğini) tanımlamaktadır.

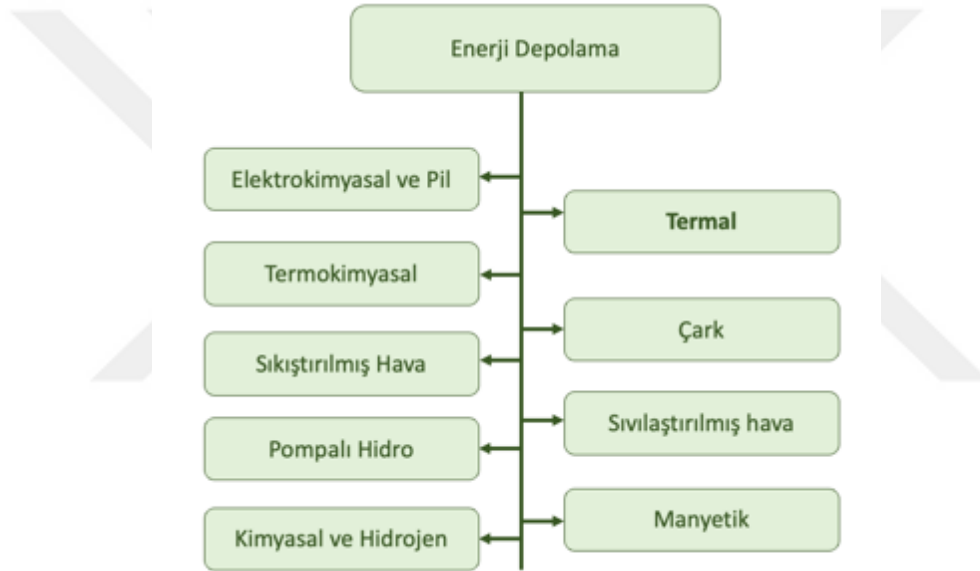
3) *Verimlilik*, sağlanan enerjinin, depolama sistemini şarj etmek için gereken enerjiye oranıdır. Depolama süresi ve şarj/deşarj döngüsü sırasındaki enerji kaybını hesaba katmaktadır.

4) *Depolama süresi*, enerjinin ne kadar süreyle depolanacağını ve ne kadar süreceğini tanımlamaktadır (yani mevsimsel depolama için saatler, günler, haftalar ve aylar).

5) *Şarj ve deşarj süresi*, sistemin şarj/deşarj edilmesi için ne kadar zamana ihtiyaç olduğunu tanımlamaktadır.

6) *Maliyet*, depolama sisteminin kapasitesini (€/kWh) veya gücünü (€/kW) ifade etmektedir ve depolama ekipmanının sermaye ve işletme maliyetlerine ve kullanım ömrüne bağlıdır.

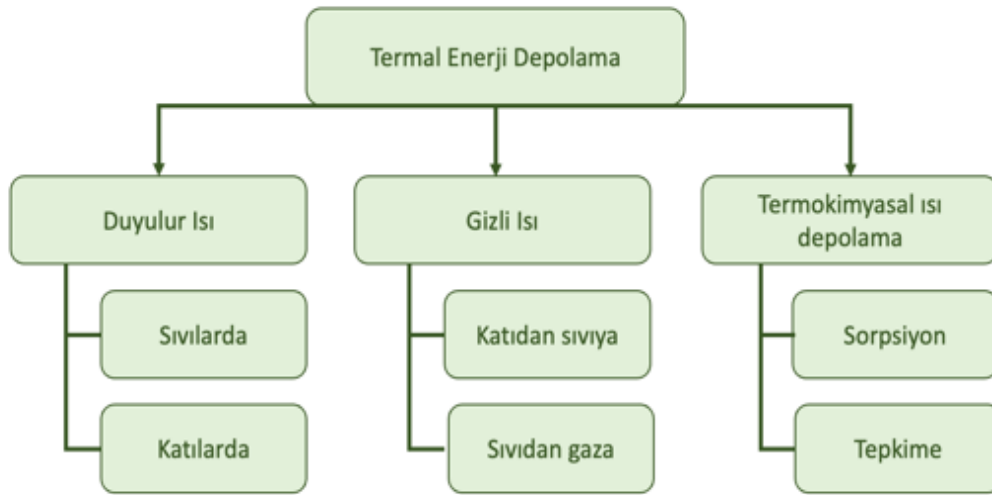
Enerji depolama yöntemlerinin sınıflandırılması şekil 8’de gösterilmiştir. Bu çalışmada termal enerji depolama sistemi kullanılmıştır.



Şekil 8. Enerji Depolama Sistemleri (Koohi-Fayegh & Rosen, 2020)

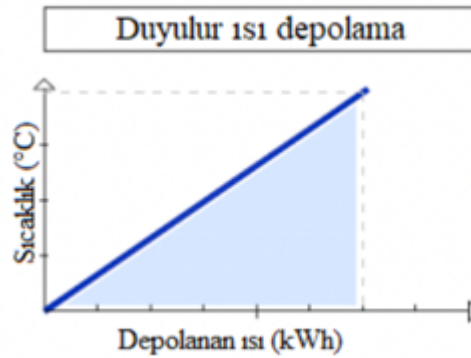
1.7.1. Termal Enerji Depolama

Termal enerji depolama, enerjinin depolanarak daha sonra ihtiyaç duyulduğunda kullanılması prensibine dayanmaktadır. Bu teknoloji, yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımını artırarak, enerji tüketimini daha verimli hale getirmek için kullanılmaktadır. Şekil 9’da görüldüğü üzere termal enerji, duyulur ısı, gizli ısı veya kimyasal enerji olarak depolanabilmektedir (Duraković, 2020).



Şekil 9. Termal enerji depolama çeşitleri (Duraković, 2020).

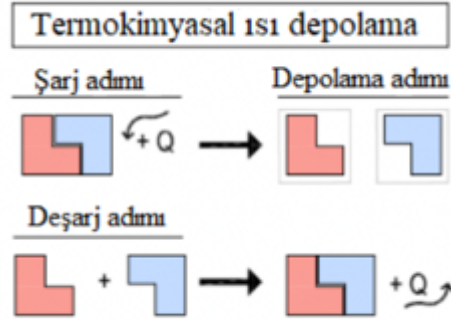
Duyulur ısı depolama, en yaygın ve eski enerji depolama yöntemidir. Bu yöntemde, enerji, sıcaklığı yükseltmek için kullanılan malzemenin (katı veya sıvı) özgül ısısına göre depolanmaktadır (Şekil 10). Su, yüksek özgül ısı kapasitesi ve düşük maliyeti nedeniyle ısı transfer akışkanı olarak en iyi malzemelerden biridir. Binalarda yüzyıllardır bu yöntem termal enerji depolama amacıyla kullanılmaktadır (Duraković, 2020).



Şekil 10. Duyulur ısı depolama (Ayan,2022; Lizana,2017).

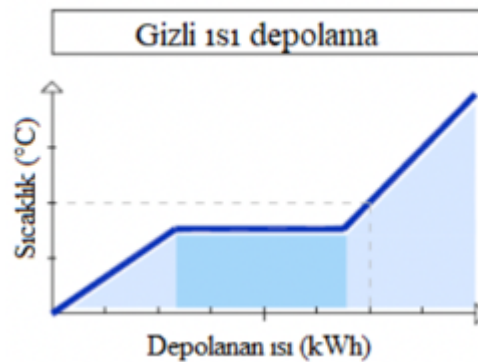
Termokimyasal ısı depolama, kimyasal reaksiyonların neden olduğu enerjinin depolanması ve ihtiyaç halinde kullanılması prensibine dayanmaktadır. Bir malzeme belirli bir sıcaklığa ısıtıldığında veya soğutulduğunda kimyasal reaksiyona girerek enerji depolar veya depoladığı enerjiyi serbest bırakır. Termokimyasal enerji depolama soğurma ve kimyasal reaksiyonlar şeklinde çalışmaktadır (Şekil 11). Soğurma işlemlerinde enerji ya

adsorpsiyon ya da absorpsiyon yoluyla depolanırken kimyasal reaksiyonlarda ise, enerji geri dönüşümlü reaksiyonların ısısı olarak depolanmaktadır (Duraković, 2020).



Şekil 11. Termokimyasal ısı depolama (Ayan,2022; Lizana,2017).

Gizli (latent) ısı enerji depolama, sıvı ve katıların entalpisine dayanmaktadır. Enerjinin bir malzemede yer değiştirme, faz değiştirme veya kimyasal reaksiyon gibi olayların sonucunda depolanmasını sağlamaktadır. Gizli ısı enerji depolamada malzemenin faz değişimi sırasında absorbe ettiği enerji depolanmaktadır ve geri kazanılmaktadır (Şekil 12). Parafin, yağ asitleri, tuz hidratları ve ötektik karışımlar faz değiştiren maddelerin yaygın kullanım şeklidir. Enerji, 25-75 °C sıcaklık aralığında depolanmaktadır (Duraković, 2020). Bu çalışmada kullanılan termal enerji depolama yöntemi, faz değiştiren maddelerin entalpisine dayanmaktadır.



Şekil 12. Gizli ısı depolama (Ayan,2022; Lizana,2017).

1.8. Faz Değiştiren Maddeler

Gizli (latent) ısı depolamanın bir yöntemi olan faz değiştiren maddeler (FDM), termal enerjiyi depolamanın en etkili yöntemlerinden biridir. FDM'nin kullanımı, duyulur ısı depolamaya kıyasla daha yüksek ısı depolama kapasitesi ve şarj ve deşarj sırasında daha fazla izotermal davranış sağlamaktadır (Oró,2012). Verimli bir FDM'nin yüksek gizli ısıya ve yüksek termal iletkenliğe sahip olması gerekmektedir. Ek olarak, uygun bir FDM'nin rahat bir iç ortam sıcaklığını karşılayabilmesi için erime sıcaklığının 20°C'nin üzerinde olması gerekmektedir. Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE)'ne göre yaz dönemlerinde konforlu oda sıcaklığı 23,5–25,5 °C aralığında iken kış döneminde konforlu oda sıcaklığı ise 21,0–23,0 °C aralığındadır (Can & Žigon, 2022).

Faz değiştiren madde (FDM) kullanımının prensibi basittir. Sıcaklık arttıkça, malzeme katıdan sıvıya faz değiştirir. Reaksiyon endotermik olduğundan, Şekil 13'te gösterildiği gibi FDM ısıyı absorbe eder (Mehling & Cabeza, 2008; Kuznik vd., 2011).



Şekil 13. FDM'nin katıdan sıvıya faz değişimi

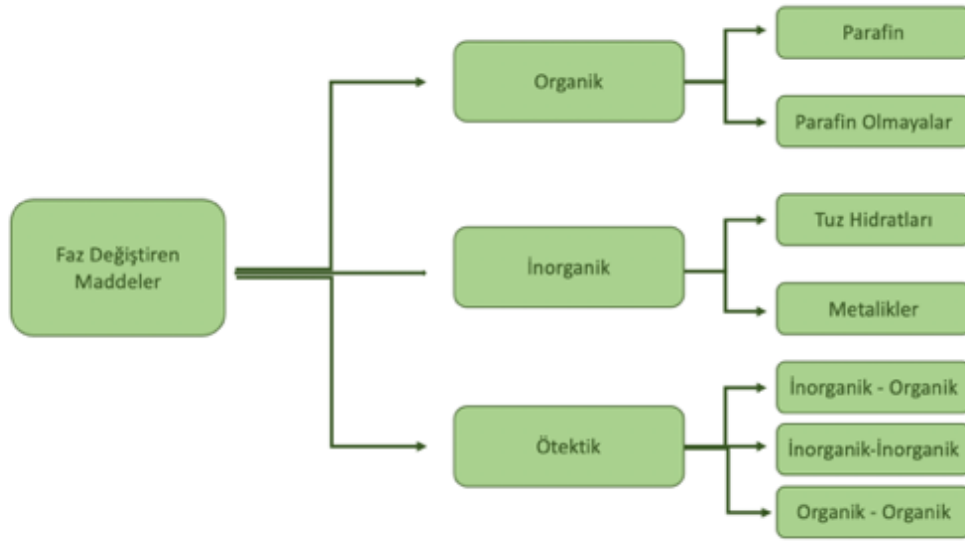
Şekil 14'te görüldüğü gibi, benzer şekilde, sıcaklık düştüğünde, malzeme sıvıdan katıya faz değiştirir. Reaksiyon ekzotermik olduğundan, depoladığı FDM ısıyı geri bırakır eder (Mehling & Cabeza, 2008; Kuznik vd., 2011).



Şekil 14. FDM'nin sıvıdan katıya faz değişimi

Uygulama yerine göre seçilecek olan FDM'lerin bazı özellikleri taşıması gerekmektedir. En önemli iki kriter uygun faz değişim sıcaklığı ve yüksek faz değişim entalpisidir. İstenilen çalışma sıcaklığı aralığında FDM'nin etkili bir şekilde işlevini yerine getirmesi için uygun faz değişim sıcaklığına sahip olması gerekmektedir. Kütlece az miktarda FDM kullanılarak duyulur ısı depolamaya göre daha yüksek depolama yoğunluğunu elde etmek için ise yüksek faz değişim entalpisine sahip olması gerekmektedir. Bunların yanında; ekonomik olma, kolay ve bol temin edilebilmesi, toksik, yanıcı ve patlayıcı olmaması, yüksek bozunma direnci göstermesi, servis süresi boyunca çevreye minimum etki göstermesi, çevresel olarak sürdürülebilir bir malzeme olması, yenilenebilir tedarik kaynaklarından olması, FDM içeren kapta mekanik kararlılık ve sızdırmazlık gereksinimlerini azaltması amacıyla düşük buhar basıncı, faz geçişi sırasında homojen faz sağlamak için uyumlu erime ve katılaşma davranışı, birçok erime ve katılaşma dönüşümünden sonra termal ve kimyasal olarak kararlılığını sürdürebilmesi, duyulur ısı formunda da daha fazla enerji depolamaya uyum sağlaması amacıyla yüksek özgül ısı kapasitesine sahip olması, erime ve katılaşmanın dar bir sıcaklık aralığında devam etmesinin sağlanabilmesi için küçük aşırı soğuma, depolama malzemesinin belirli bir hacmindeki gizli ısıyı yeterli ısıtma veya soğutma gücüyle depolayabilmesi ve salıvermesi için yüksek ısı iletkenliğe sahip olması gerekmektedir (Hekimoğlu, 2022).

Faz Değiştiren Madde (FDM) olarak kullanılabilecek değişik malzemeler bulunmaktadır. FDM'leri ayırt etmenin yaygın bir yolu, onları organik, inorganik ve ötektik FDM olarak ayırmaktır (Delgado vd., 2019). Bu kategoriler, Şekil 15'de görüldüğü üzere, FDM'lerin bileşenlerine göre alt kategorilere de ayrılmaktadır.



Şekil 15. FDM'lerin sınıflandırılması

1.8.1. İnorganik FDM'ler

İnorganik faz değiştiren maddeler tuz hidratları ve metaliklerden oluşmaktadır. İstenilen sıcaklık aralığında olmadıkları ve yüksek ağırlık endişelerinden dolayı metalik malzemeler, bina uygulamaları için uygun değildir. Tuz hidratları ise inorganik tuzlar ve sudan oluşan bir alaşımdır. Kolay bulunabilirler ve düşük maliyetlidirler. Faz değişimi dönüşümü tipik erime ve donmaya benzeyen bir süreçte tuzların hidrasyonu veya dehidrasyonunu içermektedir (Delgado vd., 2019). Bu tür malzemeler korozif olmasından dolayı uygulamalar için özel kaplar gerektirmektedirler ve aşırı soğuma ve faz ayrılma eğilimleri diğer dezavantajlarıdır (Hekimoğlu, 2022). Tablo 4'te FDM olarak kullanılan bazı inorganik FDM'lerin termal özellikleri verilmiştir.

Tablo 4. Bazı inorganik FDM'lerin termal özellikleri (Koşny, 2015)

FDM	Kimyasal Formülü	Erime Sıcaklığı (°C)
Dipotasyum fosfat heksahidrat	$K_2HPO_4 \cdot 6H_2O$	14
Potasyum florür tetrahidrat	$KF \cdot 4H_2O$	18.5
Ferrik bromür heksahidrat	$FeBr_3 \cdot 6H_2O$	21

Tablo 4'ün devamı

Manganez nitrat hekzahidrat	$\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	25.8
Kalsiyum klorür hekzahidrat	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	29-30
Lityum nitrat trihidrat	$\text{Li NO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	30
Kalsiyum bromür hekzahidrat	$\text{CaBr}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	30.2

1.8.2. Ötektik FDM'ler

Ötektik FDM'ler iki veya daha fazla organik ya da inorganik malzemenin kombinasyonundan oluşmaktadır. Bu malzemeler birleştirildiğinde, tek başına olduğundan daha iyi bir faz geçiş sıcaklığı sunmaktadırlar. Bu malzemeler katılaşma sırasında bir karışım kristali oluştururlar ve bileşenlerin faz geçişleri sırasında ayrışması mümkün olmaz. Tüm bileşenler aynı sıcaklıklarda erimekte ve katılaşmaktadırlar (Hekimoğlu, 2022). Binalarda kullanılabilecek bazı ötektik FDM'ler tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Bazı ötektik FDM'lerin termal özellikleri (Kośny, 2015)

FDM	Oran (wt%)	Erime Sıcaklığı (°C)
Kaprik-laurik asit + pentadekan	90-10	13.3
Kaprik-laurik asit	65-35	18
Laurik-kaprik asit	55-45	21
Kaprik-miristik asit	73.5-26.5	21.4
Kaprik- palmitik asit	76.5-23.5	21.8
Kaprik-stearik asit	82-17	24.7
Laurik-palmitik asit	77-23	33
Laurik-miristik asit	66-34	34.2
Laurik-stearik asit	75.5-24.5	37

1.8.3. Organik FDM'ler

Organik FDM'ler parafin ve parafin olmayanlar olarak ikiye ayrılmaktadır. Genel olarak parafinlerden, yağ asitlerinden, yağ asidi esterlerinden veya şeker alkollerinden oluşmaktadırlar. Organik FDM'leri kullanmanın en önemli avantajları faz ayrımı olmadan tekrar tekrar erime ve donma yetenekleri ve çok az ya da hiç aşırı soğuma olmadan kristalleşmeleridir (Kosny, 2015). Organik FDM'ler genellikle aşındırıcı değildir.

Tarihsel olarak parafinler nispeten basit bir işlem kullanılarak mikrokapsülleme kolaylığı nedeniyle bina uygulamalarında en yaygın kullanılanlardır. Günümüzde piyasada bulunan parafinlerin çoğu, petrol bazlı düz n-alkan hidrokarbon zincirleridir ($\text{CH}_3\text{-(CH}_2\text{)-CH}_3$). Gıda endüstrisinin atık ürünlerinden üretilen petrol dışı parafinler de mevcuttur. Parafinler için karbon zincirinin uzunluğu arttıkça erime sıcaklığı ve faz geçiş entalpisi artmaktadır. Sert (mumsu) ve yumuşak (vazelin) form olmak üzere iki farklı formda bulunmaktadır. Mumsu formda olanlar $n > 20$ olan uzun zincirli hidrokarbonlardır; vazelin formu ise daha kısa moleküllerden oluşmaktadır (Kosny, 2015; Delgado vd., 2019; Hekimoğlu, 2022). FDM olarak kullanılan bazı parafinlerin termal özellikler tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Bazı parafinlerin termal özellikleri (Kosny, 2015).

FDM	Karbon Numarası	Kimyasal Formülü	Erime Sıcaklığı (°C)
n-Tetradekan	C(14)	$\text{C}_{14}\text{H}_{30}$	6
n-Pentadekan	C(15)	$\text{C}_{15}\text{H}_{32}$	10
n-Heksadekan	C(16)	$\text{C}_{16}\text{H}_{34}$	18
n-Heptadekan	C(17)	$\text{C}_{17}\text{H}_{36}$	22
n-Oktadekan	C(18)	$\text{C}_{18}\text{H}_{38}$	28
n-Nonadekan	C(19)	$\text{C}_{19}\text{H}_{40}$	32
n-Eikosan	C(20)	$\text{C}_{20}\text{H}_{42}$	37
n-Henikozan	C(21)	$\text{C}_{21}\text{H}_{44}$	40.5

Tarihsel süreçte FDM olarak çoğunlukla parafin ve tuz hidratları kullanılmıştır. Ancak biyo-bazlı bileşiklerin kullanımı dünya çapında güçlü ilerleme kaydetmiştir. Parafin

olmayan organik FDM'lerin her biri, birbirine çok benzer özelliklere sahip olan parafinlerden farklı olarak, kendine has fiziksel özelliklere sahiptir. Biyo-bazlı FDM'ler hayvansal yağlardan ve bitki örtüsünden elde edilmektedir (sığır yağı, domuz yağı, palmye, hindistancevizi ve soya fasulyesi vb.). Bunlar kimyasal olarak stabil olan ve onlarca yıl dayanabilen hidrojenlenmiş hidrokarbonlardır. Toksik değildir ve malzeme bozunması olmadan binlerce döngü yapabilmektedirler. Bu nedenle parafinik FDM'lere sürdürülebilir bir alternatiflerdir (Kosny, 2015).

Yağ asitleri $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{2n}\text{COOH}$ formülüyle ifade edilmektedir. Çok az aşırı soğuma ile katılaşma gerçekleştirirler ve parafinlere benzer füzyon ısısına sahiptirler. Ancak atık ürünlerde üretilmedikleri takdirde nispeten pahalıdır. Yağ asitleri iyi kimyasal stabilite gösterirler, toksik değildir ve bina uygulamaları için uygun erime sıcaklığı aralığına sahiptirler. Bina uygulamalarına uygun erime noktasına sahip yağ asitlerinin çoğunun katı ve sıvı fazdaki yoğunlukları $800 - 1100 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Yağ asidi esterleri, yağ asitlerinin alkollerle birleşiminden oluşmaktadırlar. Parafine benzer yoğunluktadırlar, parafinler gibi kolay mikrokapsüllenebilirler ve onlardan daha az yanıcıdır. FDM olarak kullanılan bazı yağ asitleri ve yağ asidi esterlerinin termal özellikleri tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Bazı yağ asitleri ve yağ asidi esterlerinin termal özellikleri (Kosny,2015).

FDM	Kimyasal Formülü	Erime Sıcaklığı (°C)
İzopropil stearat	$\text{C}_{21}\text{H}_{42}\text{O}_2$	14-18
Kaprilik asit	$\text{C}_8\text{H}_{16}\text{O}_2$	16.5
Butil stearat	$\text{C}_{22}\text{H}_{44}\text{O}_2$	19
Dimetil sebakat	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_4$	21
Lauril alkol	$\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{O}$	25
Vinil stearat	$\text{C}_{20}\text{H}_{38}\text{O}_2$	27-19
Metil palmitat	$\text{C}_{17}\text{H}_{34}\text{O}_2$	29
Kaprik asit	$\text{C}_{10}\text{H}_{20}\text{O}_2$	27-32
Laurik asit	$\text{C}_{12}\text{H}_{24}\text{O}_2$	42-44
Miristik asit	$\text{C}_{14}\text{H}_{28}\text{O}_2$	49-58
Palmitik asit	$\text{C}_{16}\text{H}_{32}\text{O}_2$	61-64
Stearik asit	$\text{C}_{18}\text{H}_{36}\text{O}_2$	69-70

Polietilen glikol (PEG) $C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$ genel formülü ile ifade edilen bir polimerdir. Yaklaşık 200 – 35000 arasında değişen moleküler ağırlıklarına sahiptirler. Oldukça yeni bir sınıf olan şeker alkollerini ise karbonhidratın hidrojenlenmiş halidir ve 90 °C ila 200 °C arasında erime sıcaklıklarına sahiptirler (Hekimoğlu, 2022).



2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, seçilen biyo-bazlı faz değıştiren maddeler ile (kaprik asit (CA), lauril alkol (LAOH) ve metil palmitat (MP)) sarıçam ve kavak odunları emprenye işlemine tabi tutulduktan sonra örneklerin; kimyasal ve termal özellikleri, mekanik özellikleri, su alma ve boyutsal kararlılık özellikleri standartlara uygun biçimde Karadeniz Teknik Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği laboratuvarları ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği laboratuvarlarında belirlenmiştir.

2.1. Hammadde Seçimi

Bu çalışmada ağaç türü olarak sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ve kavak (*Populus tremula*) odunları kullanılmıştır. Odun örnekleri, piyasadan temin edildikten sonra Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Endüstri Mühendisliği atölyesinde testlere uygun boyutlarda boyutlandırılmıştır. Örnek seçiminde lif yönü düzgün, budaksız, tamamı diri odundan oluşan, ekstraktif madde ve çatlak içermeyen kısımlarının kullanılmasına dikkat edilmiştir. Her test için standartlara uygun şekilde boyutlandırılan örnekler testler için kullanılmadan önce, 20 °C sıcaklık ve %65 bağıl nem şartlarında değışmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Numune boyutları her deney için, deneyin anlatıldığı alt başlıklarda belirtilmiştir.

2.2. Kullanılan Kimyasal Maddeler

Faz değıştiren madde olarak üç çeşit yağ asidi kullanılmıştır. Yağ asidi, yüksek gizli ısı depolama kapasitesi, termal ve döngüsel kararlılık, düşük buhar basıncı ve hacim değışimi ve biyo-bazlı olması gibi avantajlar sunar. Yağ asidi olarak dekanolik asit olarak bilinen kaprik asit (CA), lauril alkol (LAOH) ve metil palmitat (MP) kullanılmıştır. Kaprik asit, lauril alkol ve metil palmitat Sigma-Aldrich şirketinden temin edilmiştir. Kaprik asit ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_8\text{COOH}$) (CA; saflık $\geq$ %98,0) 27 °C ile 32 °C arasında bir erime sıcaklığına sahiptir. Moleküler ağırlığı 172,27 g/mol ve yoğunluğu 0,893 g/mL'dir. Lauril alkol ($\text{C}_{12}\text{H}_{26}\text{O}$), erime sıcaklığı insan termal konfor aralığında ve yüksek gizli ısı kapasitesine sahip olan organik yağlı alkoldür. Erime noktası 25 °C ve gizli füzyon ısısı 205,4 J/g'dır.

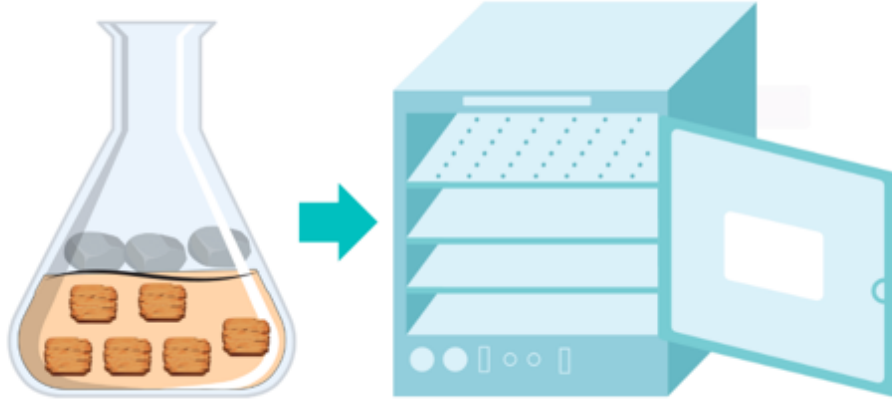
Metil palmitat ($C_{17}H_{34}O_2$) (MP, %99 saflık)'ın moleküler ağırlığı 270,45 g/mol ve erime noktası 29 °C'dir.

Faz değıştiren maddeler ile emprenye edilen örneklerin boyutsal kararlılığını artırmak ve su alımını azaltmak için Epoksitlendirilmiş bezir yağı (EBY) kullanılmıştır. EBY, Traditem GMBH Şirketi (Hilden, Almanya)'nden temin edilmiştir. EBY kullanılan örneklerde konsantrasyonu düşürmek için asetik asit (7:3 a/a oranlarında) kullanılmıştır.

2.3. Emprenye İşlemi

Kullanılan kimyasal maddeler sıcaklık düşüşüyle faz değıştirip katı hale geçtiği için kullanılacak miktarda kimyasal maddenin 40°C sıcaklıkta mekanik bir karıştırıcı yardımıyla sıvı faza geçmesi sağlanmıştır.

Sarıçam ve kavak odunu numuneleri vakumlu etüvde, 45 °C sıcaklıkta 0,08mPa vakum altında 3 saat boyunca emprenye edilmiştir (Şekil 16).



Şekil 16. Emprenye İşlemi

Emprenye işlemi sonrası, emprenye edilen örneklerin yüzeylerinde kalan fazla kimyasal madde bir bez yardımıyla silinerek ağırlık artışını tespit etmek amacıyla 0,01 gr hassasiyete sahip terazi yardımıyla ağırlıkları belirlenerek not edilmiştir.

Bu çalışmada 2 farklı kimyasal madde kombinasyonu kullanılmıştır. İlk grupta sarıçam ve kavak odunu numuneleri, kaprik asit, lauril alkol ve metil palmitatla %100 konsanstrasyonda emprenye edilmiştir. İkinci grupta ise sarıçam ve kavak odunu numuneleri

faz değiştiren madde ile EBY karışımı (%50 FDM %50 EBY + Asetik asit) yukarıda açıklanan şekilde tüm gruplara emprenye işlemi uygulanmıştır.

Emprenye işlemi öncesi ve emprenye işlemi sonrası 0,01 gr hassasiyete sahip terazi ile ağırlıkları belirlenen numunelerin ağırlık artışı miktarlarının belirlenmesini sağlamak amacıyla aşağıdaki eşitlikten yararlanılmıştır;

$$A. A. (\%) = ((M_1 - M_0) / (M_0)) \times 100 \quad (1)$$

Eşitlikte;

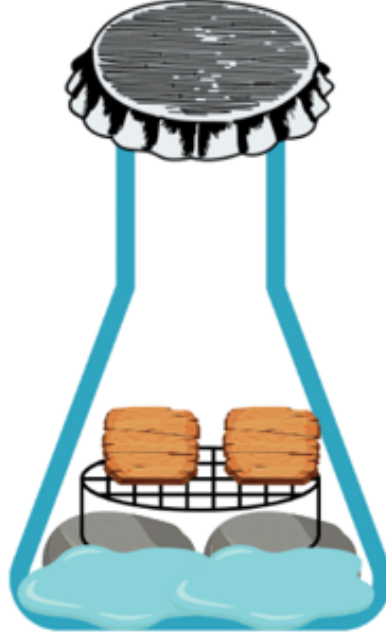
$A. A.$ = Ağırlık Artışı

M_1 = Emprenye sonrası numunelerin ağırlığı

M_0 = Emprenye öncesi numunelerin ağırlığı

2.4. Polimerizasyon İşlemi

Epoksitlendirilmiş bezir yağı içeren karışım ile emprenye edilen odun numunelerinin polimerizasyonunu sağlamak amacıyla örnekler asetik asit buharıyla 14 gün boyunca 70°C sıcaklığa sahip bir etüvde muamele edilmiştir. Bu amaçla, beherlerin içerisine yerleştirilen örneklerin altına asetik asit eklenmiştir ve beherlerin kapak kısımları alüminyum folyo ile kapatılmıştır. Bu sayede örnekler asetik asite direkt temas etmeyecek şekilde yalnızca buharıyla temas ettirilerek polimerizasyon işlemi geręekleřtirilmiřtir (şekil 17).



Şekil 17. Polimerizasyon işlemi

2.5. Sızdırmazlık Testi

Emprenye işlemi sonrası 24 saat boyunca bekletilen numuneler filtre kağıtlarının üstlerine yerleştirilerek 50 °C sıcaklığa ayarlanmış bir etüvde 30 dakika boyunca bekletilerek filtre kağıtlarına kimyasal madde sızıntısı olup olmadığı gözlemlenmiştir.

2.6. Kimyasal ve Termal Özelliklerin Belirlenmesi

Numunelerin kimyasal ve termal özelliklerini belirlemek amacıyla TGA, DSC, Termal regülasyon performans ve FTIR analizleri yapılmıştır.

Emprenye edilen örnekler TGA, DSC ve FTIR analizlerine tabi tutulmadan önce öğütme cihazı ile öğütülmüştür. Toz haline getirilen örnekler daha sonra ilgili testlere tabi tutulmuştur.

2.6.1. Termal Kütle Analizi (TGA)

Termogravimetrik (TG) analizler, SDT Q600 TA Instrument termal analiz cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Emprenyeli odun tozu numunelerinden 5-10 mg alınarak

cihazın platin krozesine yerleştirilmiştir. TG analizi nitrojen gazı altında 10°C/dakika ısıtma hızında gerçekleştirilmiştir. Numuneler, 30°C'den 800°C'ye kadar ısıtılarak, 800°C'ye gelindiğinde kütle kaybı olmayıncaya dek bu sıcaklıkta tutulmuştur.

TG analiziyle örneklerin 800°C'ye kadar ısıtma sonucu kalıntı oranları tespit edilmiştir ve %10, %20, %30, %40, %50, %60 ve %75 kütle kayıplarının hangi sıcaklıklarda olduğunu belirleyen sıcaklıklar (bozunma sıcaklıkları) bulunmuştur.

2.6.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Gizli ısı depolama özelliklerini belirlemek amacıyla diferansiyel taramalı kalorimetre analizi yapılmıştır. DSC analizleri Hitachi 7020 model cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Analiz, nitrojen gazı atmosferi altında 3 °C/dakika ısıtma-soğutma hızıyla yapılmıştır. Numunelerden 10'ar mg alınarak krozelere yerleştirilmiştir ve numunelerin ısı akışlarına karşı verdikleri tepkiler belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen Isı akışı-Sıcaklık termogramları üzerinde cihaza ait yazılım kullanılarak numunelerin gizli ısı depolama özellikleri hakkında veriler toplanmıştır. Ölçüm sonuçlarının doğruluğunu kanıtlamak amacıyla analizler üçer kez tekrarlanmıştır. Analiz sonucunda faz dönüşüm sıcaklıklarında (erime ve katılaşma sıcaklığı) ve faz dönüşüm entalpi (erime ve katılaşma entalpisi) değerlerindeki hata payları ± 0.17 °C ve $\pm\% 1.7$ olarak tespit edilmiştir.

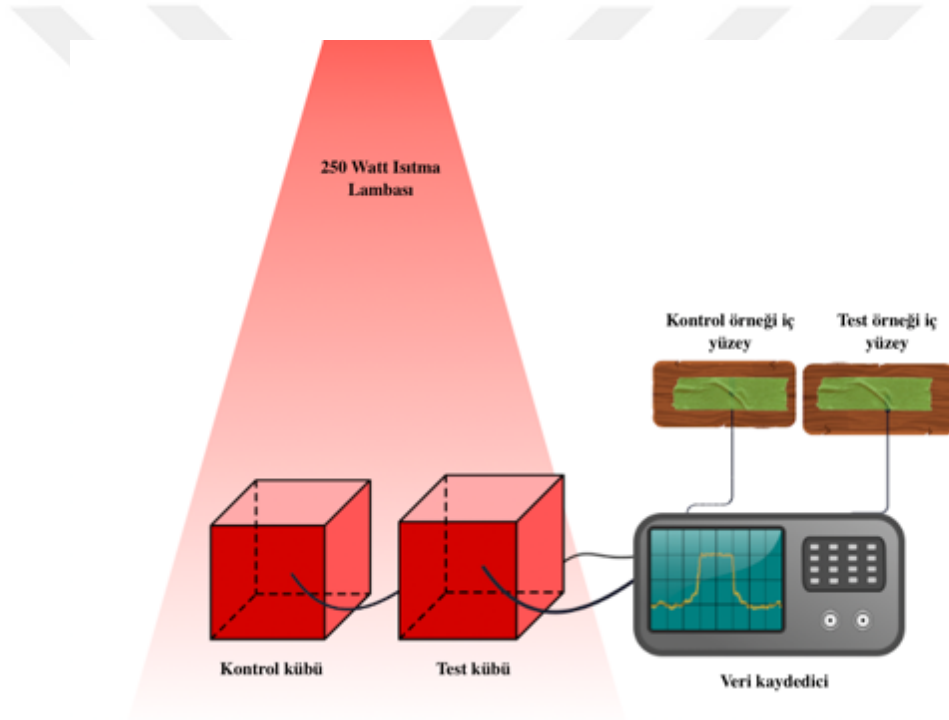
Numunelerin döngü stabiletisini incelemek amacıyla 600 erime ve katılaşma termal döngüsünden oluşan bir test uygulanmıştır. Bu analiz 3Prime, Techne cihazı kullanılarak yapılmıştır. Numunelere 0-50 °C arasında 600 kez hızlandırılmış ısıtma ve soğutma işlemi uygulanmıştır. Bu FDM için 600 kez erime ve katılaşma yani faz değiştirme işlemine karşılık gelmektedir. Bu testlerden sonra tekrar DSC analizi uygulanarak termal ve kimyasal kararlılıkları test edilmiştir ve sonuçlar karşılaştırmalı olarak grafiklerde verilmiştir.

2.6.3. Termal Performans Testi

Kaprik asit, lauril alkol ve metil palmitat ile emprenye edilen sarıçam ve kavak numunelerinin ısı depolama özelliklerinin ölçülmesi amacıyla laboratuvar ölçekli bir düzenek kurulmuştur. Bu amaçla polistiren yalıtım levhaları kullanılarak 200x200x50mm boyutlarında, üst duvarlarına test ve kontrol örneklerinin yerleştirilmesi için boş bırakılmış

2 adet küp üretilmiştir. Küplerin üretimi sırasında duvar birleşimleri arasındaki boşlukları doldurmak için silikon sıkılmıştır.

Polistiren yalıtım levhaları ile üretilmiş küplere yan yüzeylerinin orta noktalarından birer delik açılarak bu deliklerden ± 0.1 °C hassasiyetine sahip termokulpler yerleştirilmiştir ve hava almayacak bir şekilde bant ile sabitlenmiştir. Birinci küpün boş bırakılan üst duvar kısmına, küpün içerisinde kalacak yüzeyin orta kısmına ± 0.1 °C hassasiyetine sahip termokulp sabitlenmiş 50x50x10mm (teğet x radyal x boyuna) boyutlarındaki emprenye edilmiş örnek yerleştirilmiştir. İkinci küpe ise aynı yöntem kullanılarak 50x50x100m boyutlarında kontrol örneği yerleştirilmiştir. Bu sayede iki küpün sıcaklık değişimleri termokuplar yardımıyla aynı anda ölçülmüştür (Şekil 18).



Şekil 18. Termal Düzenleme Testi

Test kübü ve referans (kontrol) küpü aynı anda ısıtma ve soğutma işlemlerine tabi tutularak sıcaklık değişimlerine verdikleri yanıtlar gözlemlenmiştir. Isıtma periyodunda ısı kaynağı olarak 250 Watt ısıtma lambası kullanılmıştır. Soğutma periyodu ise lambanın kapatılması sonucunda elde edilen doğal sıcaklık düşüşü ile gerçekleştirilmiştir. Isıtma ve soğutma periyodlarındaki sıcaklık değişimleri, 2 saniye aralıklarla bir veri kaydedici (PCE-T 1200 model) aracılığıyla kaydedilmiştir. Bu sayede hem test hem de referans (kontrol) küp

hücrelerinin ısı değışikliklerine yanıt olarak termal performansları ısıtma ve soğutma periyodlarında karşılaştırılmıştır.

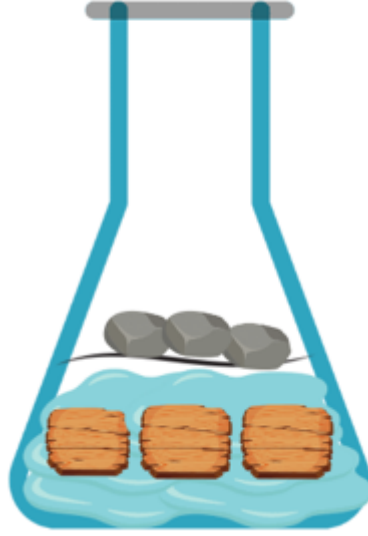
2.6.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi (FTIR) Analizi

Biyolojik faz değıştiren maddelerle emprenye edilen odun örneklerinin kimyasal yapılarını ve aralarındaki fizikokimyasal etkileşimleri incelemek amacıyla Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopi analizleri yapılmıştır. Analizler FTIR, PelkinElmer Frontier Model cihazıyla yapılmıştır ve deneyde toz haline getirilmiş numuneler kullanılmıştır. FTIR spektrumları 4000 ile 500 cm^{-1} dalga boyu aralığında ve 4cm^{-1} çözünürlükte gerçekleştirilmiştir.

2.7. Su Alma ve Boyutsal Kararlılık Testleri

Su alma, su itici etkinlik ve genişlemeyi önleyici etkinlik testleri AWP A E4 (2003) standardına uygun şekilde gerçekleştirilmiştir. Sarıçam ve kavak odunu numuneleri 20 x 20 x 10 mm (radyal x teğet x lifler yönü) ölçülerinde boyutlandırıldıktan sonra 20 °C ve %65 bağıl nem koşullarını sağlayan iklimlendirme odasında değışmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilmiştir. Örnekler, emprenye işleminden sonra 70°C’de değışmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulduktan sonra 0,01 gr duyarlılıktaki terazi ile tam kuru haldeki ağırlıkları ve 0,01 mm hassasiyetteki dijital kumpas ile örneklerin lif yönü (T), teğet (T), radyal (R) boyutları belirlenip not edilmiştir.

Her bir örnek grubu ayrı beherler içerisine yerleştirilerek, örneklerin su üstüne çıkmasını önlemek amacıyla üzerlerine ağırlık konulmuştur. Her bir beherin üzerine saf su eklenmiştir ve 3 saat, 6 saat, 24 saat, 48 saat ve her 48 saatte bir olmak üzere toplam 336 saat boyunca (toplam 10 kez) sular yenisiyle değıştirilmiştir (Şekil 19). Her su değışimi sırasında örneklerler beher içerisinden çıkartılıp bir bez yardımıyla fazla suyu alındıktan sonra 0,01 gr duyarlılıktaki terazi yardımıyla ağırlıkları ve 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile örneklerin boyutları belirlenip not edilmiştir.



Şekil 19. Su alma ve boyutsal kararlılık testleri

2.7.1. Su Alma Oranı

Sarıçam ve kavak odunu numunelerinin her bir su değişimi periyodu sonundaki su alma oranları (%SAO) eşitlik 2’den yararlanılarak belirlenmiştir.

$$SAO (\%) = ((M_1 - M_0)/(M_0) \times 100 \quad (2)$$

Eşitlikte;

SAO = Su Alma Oranı (%)

M_1 = Suda bekletme sonrası sudan çıkartılan örneklerin ağırlığı (gr)

M_0 = Örneklerin deney öncesi belirlenen tam kuru ağırlığı (gr)

2.7.2. Su İtici Etkinlik

Sarıçam ve kavak odunu numunelerinin her bir su değişimi periyodu sonundaki su itici etkinlik (%SİE) değerleri eşitlik 3’ten yararlanılarak belirlenmiştir.

$$SİE (\%) = ((SAO_K - SAO_T)/(SAO_K) \times 100 \quad (3)$$

Eşitlikte;

$SİE$ = Su İtici Etkinlik (%)

SAO_K = Emprenyesiz (kontrol) örneklerinin su alma oranı

SAO_T = Emprenyeli örneklerin su alma oranı

2.7.3. Genişlemeyi Önleyici Etkinlik

Sarıçam ve kavak odunu numunelerinin her bir su değişimi periyodu sonundaki genişlemeyi önleyici etkinlik (%GÖE) değerleri aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak belirlenmiştir.

$$GÖE (\%) = ((V_K - V_T)/(V_K) \times 100 \quad (4)$$

Eşitlikte;

$GÖE$ = Genişlemeyi Önleyici Etkinlik (%)

V_K = Emprenyesiz (kontrol) örneklerinin hacimsel genişleme katsayısı

V_T = Emprenyeli örneklerin hacimsel genişleme katsayısı

$$V_K = ((V_t - V_0)/(V_0) \times 100 \quad (5)$$

$$V_T = ((V_t - V_0)/(V_0) \times 100 \quad (6)$$

Eşitlikte;

V_t = Suda bekletilme sonrası t. süredeki örneklerin hacmi

V_0 = Deney öncesi (başlangıçta ölçülen) örneklerin hacmini göstermektedir.

2.8. Mekanik Testler

FDM ile emprenye edilen numunelerde FDM'lerinin odunun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla mekanik testler gerçekleştirilmiştir. Mekanik test olarak Eğilme Direnci, Eğilmede Elastikiyet Modülü ve Liilere Paralel Basınç testleri yapılmıştır.

2.8.1. Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü

Eğilme Direnci ve Eğilmede Elastikiyet Modülü testleri DIN 52186 standardında belirtilen şartlara uygun biçimde gerçekleştirilmiştir. 5x10x100mm (teğet x radyal x boyuna) boyutlarında kusursuz örnekler emprenye işlemi sonrasında %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelince kadar bekletilmiştir. Daha sonra bu örnekler 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile ölçülerek, boyutları belirlenmiştir. Çapraz kafa hızı 1 mm/dakika olarak ayarlanmıştır ve mesnetler arası açıklık ise 80 cm'dir. Test evrensel test ekipmanı olan MTS Kriter 40 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğilme direnci (Eşitlik 8) ve eğilmede elastikiyet modülü (Eşitlik 7) değerleri aşağıdaki eşitliklerden yararlanılarak bulunmuştur;

$$E.E.M. \left(\frac{N}{mm^2} \right) = \frac{P \times L^3}{4 \times f \times b \times h^3} \quad (7)$$

Eşitlikte;

$E.E.M.$ = Eğilmede Elastikiyet Modülü

P = Yüken farklılığı

L = Mesnetler arası açıklık

f = Bükme hızı

b = Numunenin genişliği

h = Numunenin kalınlığı

$$E.D. \left(\frac{N}{mm^2} \right) = \frac{3 \times F \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (8)$$

Eşitlikte;

$E.D.$ = Eğilme Direnci

P = Yüken farklılığı

L = Mesnetler arası açıklık

f = Bükme hızı

b = Numunenin genişliği

h = Numunenin kalınlığı

F = Tepe yükü

2.8.2. Liflere Paralel Basınç Direnci

Liflere paralel basınç direnci testi DIN 52185 standardında belirtilen şartlara uygun biçimde gerçekleştirilmiştir. 20x20x30mm (teğet x radyal x boyuna) boyutlarında kusursuz örnekler emprenye işlemi sonrasında %65±5 bağıl neme sahip iklimlendirme dolabında değişmez ağırlığa gelince kadar bekletilmiştir. Daha sonra bu örnekler 0,01 mm hassasiyetindeki dijital kumpas ile ölçülerek, boyutları belirlenmiştir. Deney hızı, örneklerin makinede 1,5 – 2 dakikada kırılacağı şekilde ayarlandıktan sonra kırılma anındaki kuvvet (F_{max}) ölçülmüştür. Test evrensel test ekipmanı olan MTS Kriter 40 kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Liflere paralel basınç direnci aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır;

$$LPBD \left(\frac{N}{mm^2} \right) = F_{max} / (a \times b) \quad (9)$$

Eşitlikte;

$LPBD$ = Liflere Paralel Basınç Direnci

F_{max} = Maksimum yük (N)

a ve b = Kesit alanı (mm)

2.9. İstatistiksel Analizler

Yapılan mekanik, su alma ve boyutsal kararlılık testlerinden elde edilen verilerin analizi için IBM SPSS 22.0 istatistik programı kullanılmıştır. %95 güven düzeyinde yapılan analizlerde varyasyonlar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark olup olmadığı Basit Varyans Analizi (BVA) yapılarak tespit edilmiştir. Varyasyonlar arasında anlamlı fark çıktığı durumlarda (önem düzeyi <0,05) her bir grup kendi içinde Duncan homojenlik grupları belirlenerek karşılaştırılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Emprenye Sonrası Ağırlık Artışı

Sarıçam ve kavak odunu numunelerine ait tüm yüzde ağırlık artışları tablo 8’de gösterilmiştir.

Tablo 8. FDM’lerle emprenye edilen nununelerin yüzde ağırlık artışları

Ağırlık Artışı (%)		
Kimyasal	Kavak	Sarıçam
CA	133 (4,60)*	70 (3,26)
LAOH	129 (2,60)	51 (3,53)
MP	142 (3,70)	72 (3,20)
CA/EBY karışımı	148 (3,10)	60 (2,68)
LAOH/ EBY karışımı	148 (3,11)	62 (5,39)
MP/ EBY karışımı	165 (4,10)	71 (3,60)

*Parantez içindeki değerler standart sapmayı ifade etmektedir

Tablo 8 incelendiğinde, en yüksek ağırlık artışı kavak odunlarında %165 ile MP/EBY karışımında elde edilirken en düşük ağırlık artışı ise %51 ile sarıçam örnekleri ile emprenye edilen LAOH örneklerinde elde edilmiştir.

Genel olarak beklendiği gibi kavak örneklerinde sarıçam örneklerine çok daha yüksek ağırlık artışı elde edilmiştir. Bunun temel nedeni her iki ağaç türünün anatomik özelliklerindeki farklılıktan kaynaklanmaktadır. Kavak odunu dağınık traheli, çok hafif ve

poröz bir yapıya sahiptir (Öner, 2002). Bu nedenle kimyasal maddenin girebileceği alan daha çoktur ve sarıçam odunu numunelerine göre daha yüksek ağırlık artışı değerleri vermiştir.

Ma vd. (2019) delignifiye edilmiş ve ve delignifiye edilmemiş sedir odununu, capric/palmitik asitlerin ötektik karışımı ile emprenye ettikten sonra ağırlık artışlarını sırasıyla %61.2 ve %46.8 olarak bulmuşlardır.

Temiz vd. (2020) sarıçam odununu kaprik asit ve stearik asit (ağırlıkça %83:17) ötektik karışımı ile emprenyesi sonrası retensiyon miktarını ortalama $447,5 \pm 16,20 \text{ kg/m}^2$ olarak hesaplanmışlardır.

Xu vd. (2020) sol-jel yöntemiyle çam odununu silika ile stabilize edilmiş polietilen glikol (PEG) ile emprenye ettikten sonra ağırlık artışlarını hesaplamışlardır. Sonuç olarak, difüzyon işleminin uygulandığı varyasyonlar en yüksek yüzde ağırlık artışı (%102,62) değerlerini vermiştir.

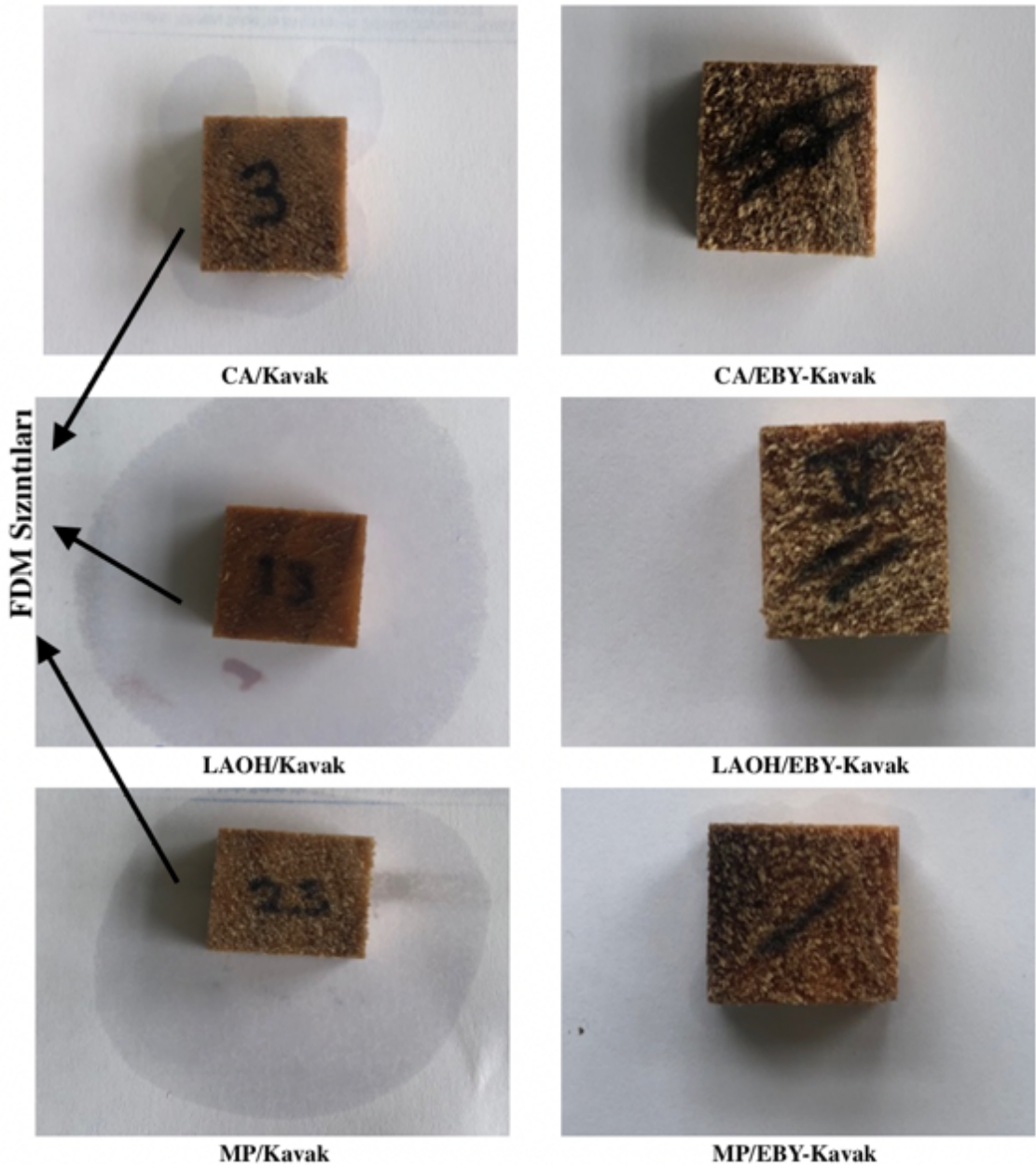
Amini vd. (2022) sarıçam odununu kaprik asitin farklı konsantrasyonlarda (%20, %40, %60 ve %80) emprenye ettikten sonra retensiyon miktarlarını aynı sırayla 267, 124, 73 ve 31 kg/m^3 olarak hesaplanmışlardır. Çalışmada, konsantrasyon arttıkça retensiyon miktarı da artmıştır.

Nazari vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada, sarıçam ve kayın odunlarını hindistan cevizi yağ asiti ve linoleik asit ile emprenye ettikten sonra numunelerin ağırlık artışını sarıçam için ortalama %95 kayın için ise ortalama %43 bulmuşlardır. İki ağaç türü arasındaki ağırlık artışı farkının kayının yoğunluğundan ve anatomik özelliklerinden kaynaklandığını belirtmişlerdir.

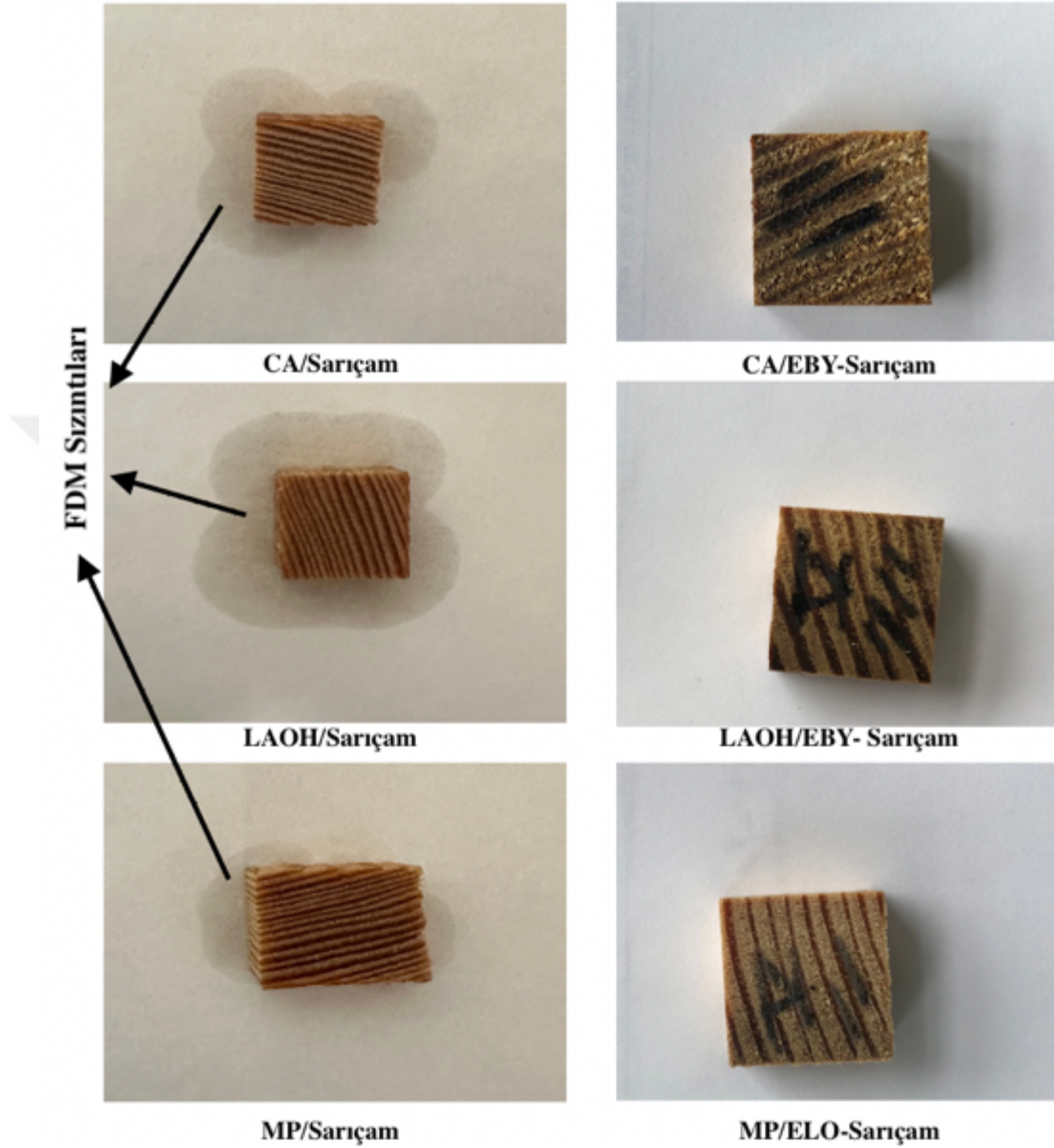
Grzybek vd. (2024) yapmış oldukları çalışmada, kayın odunu ve termal olarak modifiye edilmiş kayın odununu biyo-bazlı faz değişim malzemesi olarak kaprik asit (%80), palmitik asit (%10) ve stearik asitin (%10) karışımı ile emprenye ettikten sonra ağırlık artışlarını kayın odunu için %37.1 , termal olarak modifiye edilmiş kayın için ise %54.1 olarak tespit etmişlerdir. Bu farkın nedenini ise hücre çeperi polimerlerinin termal bozunması ve sonuç olarak emprenye maddesinin girebileceği alanın çoğalmasından kaynaklandığını vurgulamışlardır.

3.2. Sızdırmazlık Testi

Emprenyeli sarıçam ve kavak odunu numunelerinin akma davranışlarının incelendiği test sonuçları kavak odunu numuneleri için Şekil 20’de, sarıçam odunu numuneleri için ise Şekil 21’de verilmiştir. Şekiller incelendiğinde, her iki ağaç türü için de sadece kimyasallarla emprenyeli numunelerde FDM sızıntısı gözlenirken, varyasyonlara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesinin, beklenildiği üzere, kimyasal madde sızmasını engellediği gözlemlenmiştir.



Şekil 20. Kavak odunu numuneleri sızdırmazlık testi



Şekil 21. Sığır otu numuneleri sızdırmazlık testi

Nazari vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada, sığır otu ve kayın odunlarını Hindistan cevizi yağ asidi ve linoleik asit ile emprenye ettikten sonra sızma miktarının yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Deneyin süresi arttıkça, sızma miktarı da artmıştır.

Grzybek vd. (2024) yapmış oldukları çalışmada, kayın odunu ve termal olarak modifiye edilmiş kayın odununu biyo-bazlı faz değişim malzemesi olarak kaprik asit (%80), palmitik asit (%10) ve stearik asitin (%10) karışımı ile emprenye ettikten sonra 40°C'de 72

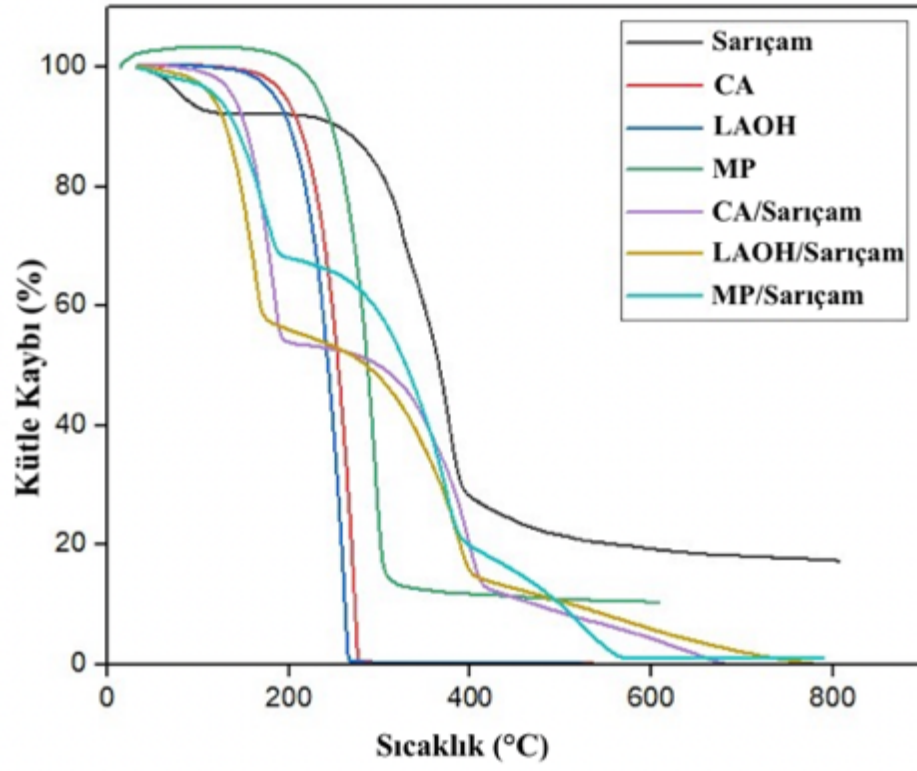
saat boyunca sızma testi uygulamışlardır. Test sonucunda FDM'nin sürekli olarak sızdığını tespit etmişlerdir.

3.3. Kimyasal ve Termal Özellikler

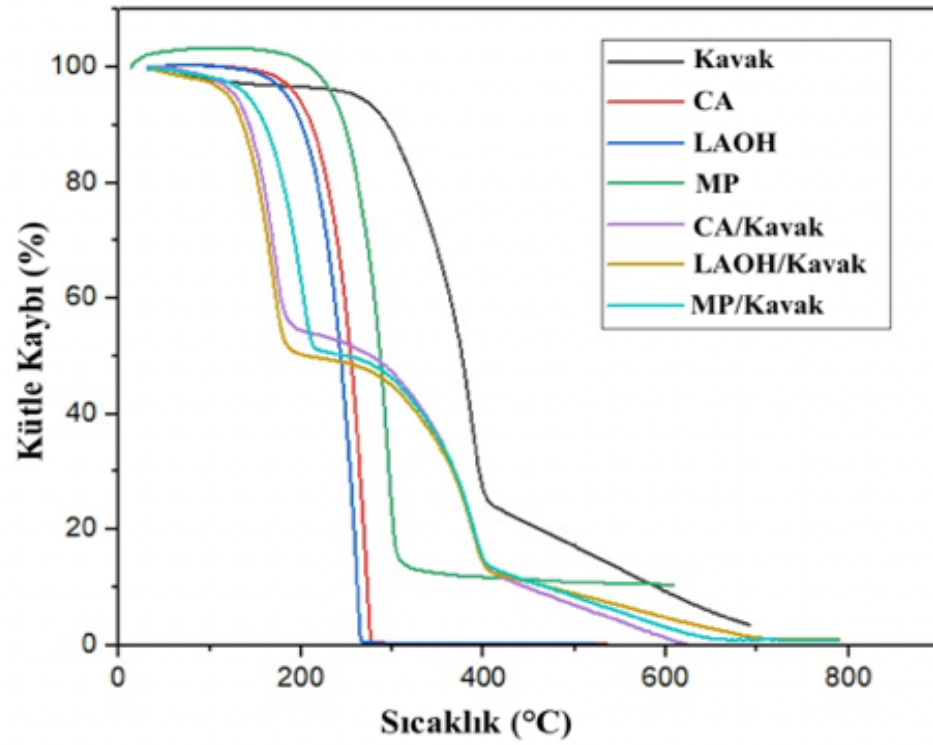
3.3.1. Termal Kütle Analizi (TGA)

Termal enerji depolama malzemesi olarak tercih edilecek bir faz değiştiren maddenin en önemli belirleyicilerinden biri termal kararlılıktır. Termal kararlılık, faz değiştiren maddenin kullanım yeri için düşünüldüğünde yeterince yüksek sıcaklık dayanımına sahip olması anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle termal kararlılık, kullanım yerinde hizmet ömrü boyunca servis sıcaklığına karşı kütlelerini koruma adına yüksek termal direnç göstermesini ifade etmektedir. TG analizleri ile bir malzemenin termal kararlılık özellikleri belirlenmektedir. TG analizinde belirli bir ısıtma hızında belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılan örneklerin bu sırada kütle kayıpları sıcaklığın bir fonksiyonu olarak kaydedilmektedir ve bu sayede ise örneklerin termal kararlılığının en önemli göstergesi olan bozunma sıcaklıkları bulunmaktadır. Bu bağlamda, CA, LAOH ve MP ile emprenye edilmiş sarıçam ve kavak odunu numunelerinin termal kararlılıkları TG analizleri ile incelenmiştir. TG analizinde ilk olarak hemiselülozlar daha sonra ise selülozlar termal bozunmaya uğrar, ligninin bozunması ise çok daha fazla zaman almaktadır. Odunda lignoselülozik termal bozunma suyun buharlaşmasıyla birlikte 100 °C'de başlamaktadır. Ancak 200°C'ye kadar ihmal edilebilir seviyelerde olduğu tespit edilmiştir. 100-250 °C arasında ekstraktifler bozunur, 210-350 °C arasında hemiselüloz ve selülozların amorf kısımları, 350-500 °C arasında ise ligninin termal bozunması gerçekleşmektedir (Köse Demirel, 2018).

Elde edilen TGA eğrileri sarıçam odunu numuneleri için şekil 22 ve kavak odunu numuneleri için ise şekil 23'te verilmiştir. Sarıçam kontrol grubunun test sonunda (800°C'ye kadar ısıtma) kalıntı oranının yaklaşık %20 olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuç Temiz vd (2020) yapmış olduğu çalışma ile uyumludur.



Şekil 22. Seçilen FDM'lerle emprenye edilmiş sarıçam odununun TG analizleri



Şekil 23. Seçilen FDM'lerle emprenye edilmiş kavak odununun TG analizleri

Tablo 9’da TG Analizi sonucunda kütle kayıplarının hangi sıcaklıklarda olduğu ve analiz sonucundaki kalıntı oranları verilmiştir. Sarıçam odunu numunelerinin kalıntı oranlarına bakıldığında termal kütle analizi sonucunda en çok kalıntı oranı LAOH/Sarıçam (%5,39) varyasyonunda en az kalıntı oranı ise CA/Sarıçam (%0,006) varyasyonunda tespit edilmiştir. Kavak odunu numunelerinde ise en yüksek kalıntı oranını yine LAOH/Kavak (%1,25) varyasyonu; en düşük kalıntı oranı ise yine CA/Kavak (%0,013) varyasyonunda tespit edilmiştir. Sarıçam odununun CA, LAOH, MP ve kavak odununun CA, LAOH, MP varyasyonlarında %10’luk kütle kayıpları sırasıyla 151 °C, 229 °C, 162 °C, 143 °C, 136 °C ve 160°C’de gerçekleşmiştir. %75’lik kayıplar ise yine aynı sırayla; 290 °C, 409 °C, 404 °C, 380 °C, 378 °C ve 380 °C’de tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, her iki ağaç türünün tüm varyasyonlarının termal kararlılıkları değerlendirildiği zaman en düşük termal kararlılığa sahip varyasyonun bile bozunma sıcaklığının başlangıcının 150°C’nin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bunun anlamı tüm varyasyonların en az 150 °C’ye kadar yüksek termal kararlılığa sahip olacaktır. Sarıçam ve kavak odunlarının biyo-bazlı faz değiştiren maddeler ile emprenyesi sonucunda hizmet alanı olarak binalar düşünüldüğünde, güneş enerjisi ile ısıtma ve iklim şartları ile maruz kalacakları sıcaklık yaklaşık 10-35 °C arasında olacaktır. Bu sıcaklık aralığı, varyasyonların bozunma sıcaklıklarının çok daha altındadır. Diğer bir deyişle, tüm varyasyonlar yüksek termal stabilite göstermiştir.

Tablo 9. TG analizi bozunma sıcaklıkları ve kalıntı oranları

Varyasyonlar	Başlangıç Sıcaklığı (°C)	TG (%)							Kalıntı Oranı (%)
		10%	20%	30%	40%	50%	60%	75%	
CA/Sarıçam	31,87	151,75	166,42	176,85	185,16	299,99	352,24	290,75	0,006
LAOH/Sarıçam	31,58	229,64	322,36	348,55	366,72	382,31	393,48	409,13	5,39
MP/Sarıçam	31,67	162,05	202,57	328,66	351,48	372,04	387,29	404,58	4,025
CA/Kavak	31,64	143,01	158,24	168,56	178,14	277,1	353,7	380,12	0,013
LAOH/Kavak	31,68	136,94	152,81	163,53	172,47	213,25	328,37	378,48	1,25
MP/Kavak	31,69	160,6	180,16	192,83	202,78	254	333,07	380,17	0,93

Temiz vd. (2020) sarıçam odununu kaprik asit ve stearik asit (ağırlıkça %83:17) ötektik karışımı ile emprenyesi sonrası 800°C'ye kadar ısıtma sonrasında kalıntı oranı %10,31 bulunmuştur (kontrol için ise %6,87). Bu sonuç, odun/CA-SA kompozitinin aşırı sıcaklıklarda saf oduna göre daha yüksek termal stabiliteye sahip olduğunu göstermektedir.

Lin vd. (2020) kavak odununu grafen aerogel ve polietilen glikol ile emprenye ettikten sonra ağırlık kaybının 230°C'de sadece %3 civarında olduğunu gözlemlemişlerdir ve iç ortam sıcaklığında kullanıldığında mükemmel termal stabiliteye sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Amini vd. (2022) sarıçam odununu kaprik asitin farklı konsantrasyonlarda (%20, %40, %60 ve %80) emprenye ettikten sonra, 150 °C'nin altında hafif bir ağırlık kaybı tespit etmişlerdir ve bunu odundaki suyun buharlaşmasından dolayı olduğunu gözlemlemişlerdir ve CA konsantrasyonu arttıkça ağırlık kaybının azaldığını tespit etmişlerdir.

Can (2023) yapmış olduğu çalışmada palmitik asit (PA)'i etil selüloz (EC) içerisinde farklı ağırlıkta kapsülleyerek üç farklı MFDM üretmiştir. MFDM'ler için 0–150 °C aralığında önemli bir ağırlık kaybı gözlenmemiştir. 1. Varyasyon ve 3.varyasyon iki aşamalı termal ayrışmada gerçekleşirken 2.varyasyon tek aşamalı bir ayrışma göstermiştir.

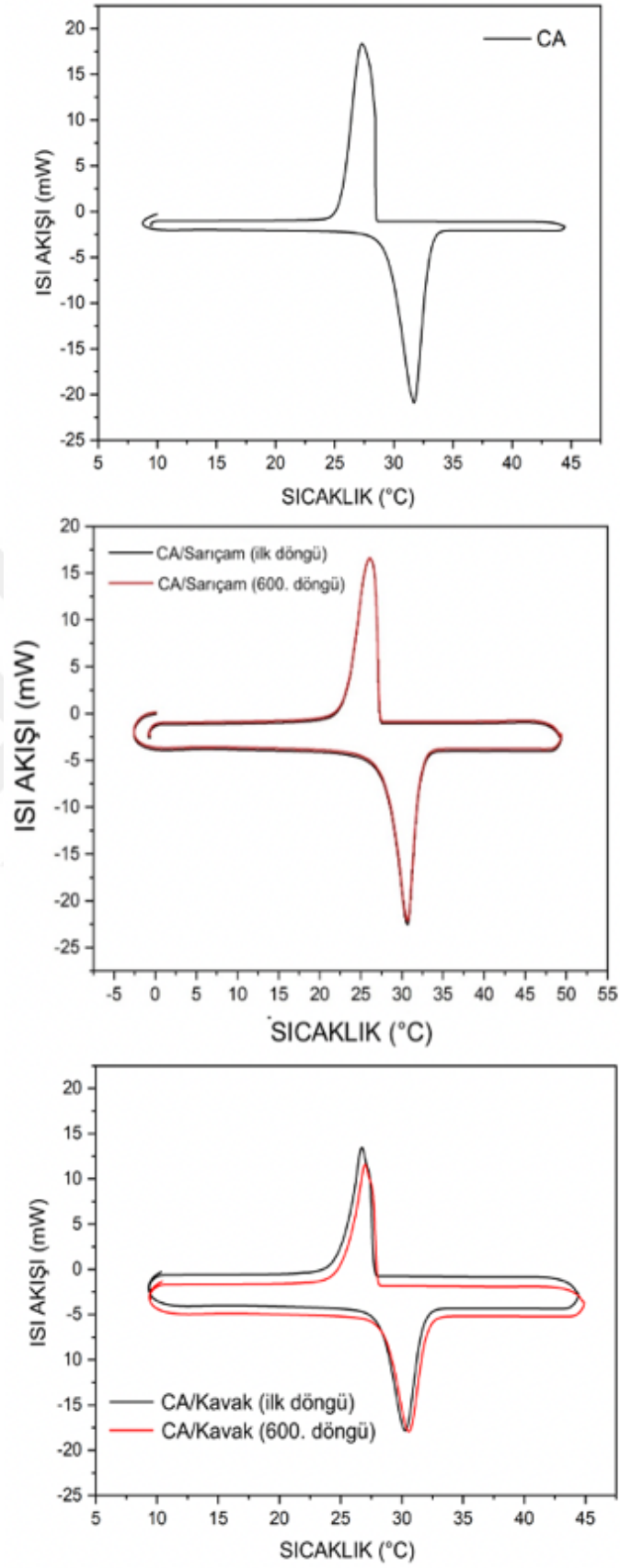
3.3.2. Diferansiyel Taramalı Kalorimetre Analizi (DSC)

Isı depolama sistemlerinde kullanılacak olan faz değiştiren malzemelerin yüksek gizli ısı depolama kapasitesine ve tasarlandıkları sisteme uygun faz değişim sıcaklıklarına sahip olması önem teşkil etmektedir. DSC analizi yapılarak bu özellikler irdelenmiştir ve ısıtma ve soğutma periyodları için saf FDM'lerin ve FDMlerle emprenye edilmiş sarıçam ve kavak odunu numunelerinin termogramları saf CA, CA/Sarıçam ve CA/Kavak için sırasıyla şekil 24 a, b ve c'de; saf LAOH, LAOH/Sarıçam, LAOH/Kavak için sırasıyla şekil 25 a,b ve c'de; saf MP, MP/Sarıçam ve MP/Kavak için ise sırasıyla şekil 26 a,b ve c'de verilmiştir. Bu termogramlardaki endotermik pikler erime; ekzotermik pikler ise katılma faz geçişlerini temsil etmektedir. Emprenyeli kavak ve sarıçam odununa ait termogramlar saf FDM'lerinkine benzer endotermik ve ekzotermik pikler göstermişlerdir. Şekillerde ilk döngü ve 600. döngü termogramları verilen örnekler karşılaştırmalı olarak incelendiğinde; tüm varyasyonlar için 600 döngüden sonra numunelerin karakteristik piklerinde herhangi bir değişiklik olmadığı ve yeni piklerin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu da FDM'lerin kimyasal

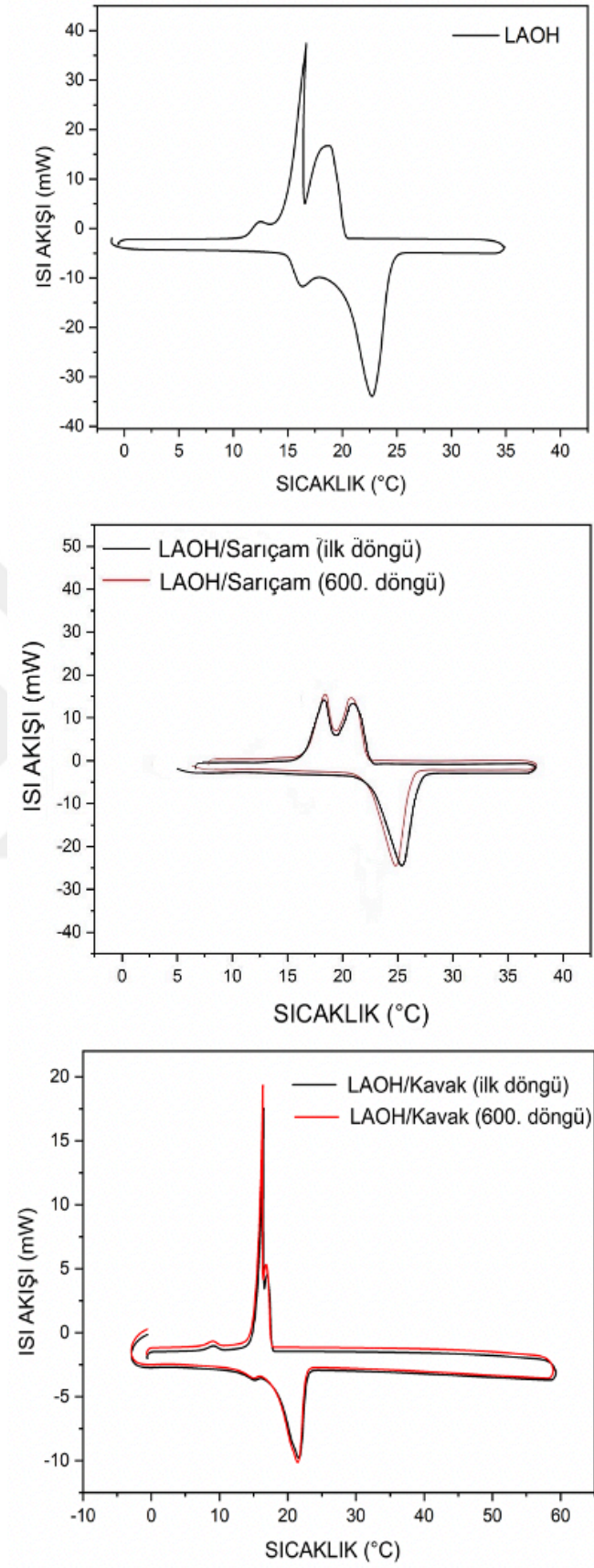
olarak kararlı olduğunu göstermektedir ve uzun periyotlarda güvenle kullanılabileceği söylenebilir.

DSC analizi sonucu bulunan termogramların değerlendirilmesiyle tablo 10'da ısı özellikler verilmiştir. Tablo'daki veriler incelendiğinde emprenyeli numuneler ve saf FDM'lerin karşılaştırılması sonucunda faz dönüşüm sıcaklıklarında küçük kaymalar gözlemlenmiştir. Bu durumu Hekimoğlu (2022) yaptığı doktora tez çalışmasında; zayıf fiziksel etkileşimlere (yüzey gerilimi, kılcak kuvvetler ve hidrojen bağı vb.), faz değiştiren malzemelerin hapsedilme etkisine ve ısı transfer hızındaki artışla ilgili olduğunu söylemiştir.

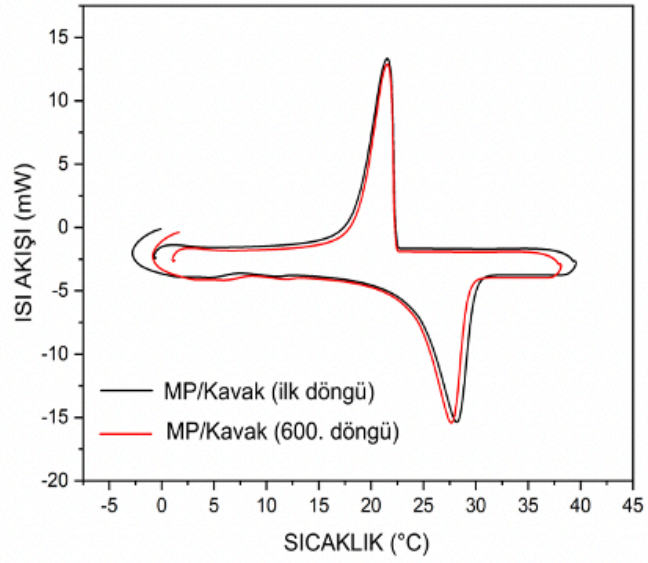
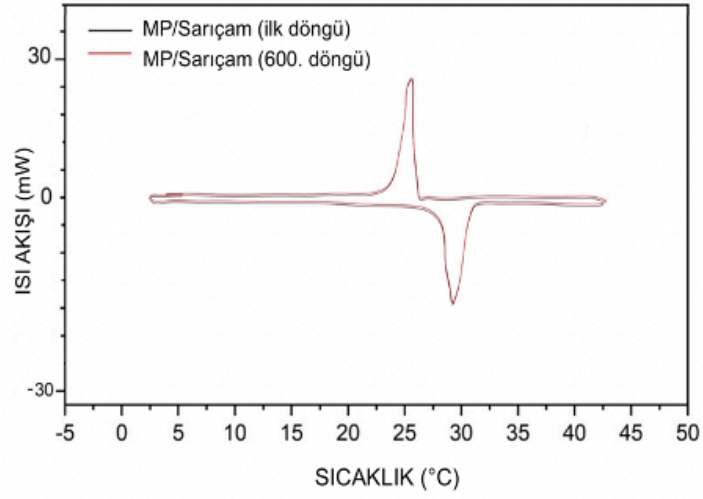
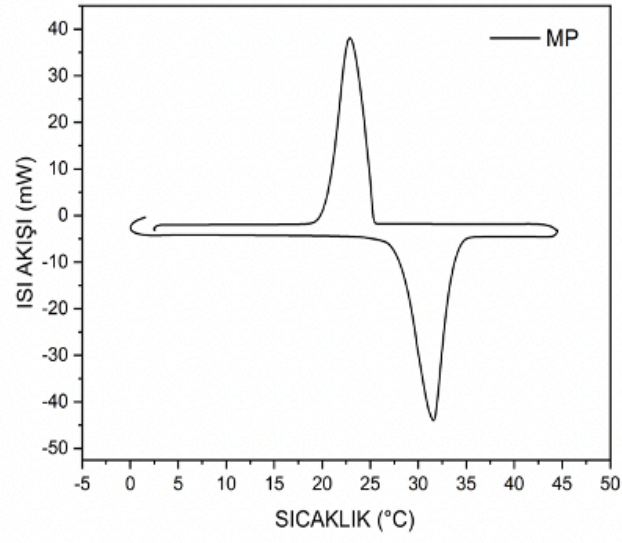
Tüm verilerin değerlendirilmesi sonucunda FDM'lerle emprenye işlemi sonucunda faz değişim sıcaklıklarındaki ve gizli ısı depolama kapasitelerindeki değerlerin sıcaklık dalgalanmalarını azaltmak ve enerji tasarrufuna olumlu katkı sağlamak amacıyla kullanılabilirliğinin uygun olduğu söylenebilmektedir.



Şekil 24. DSC termogramları a) saf CA b) CA/Sarıçam c) CA/Kavak



Şekil 25. DSC termogramları a) saf LAOH b) LAOH/Sarıçam c) LAOH/Kavak



Şekil 26. DSC termogramları a) saf MP b) MP/Sarıçam c) MP/Kavak

Tablo 10. Saf FDM'ler ve FDM'lerle emprenye edilen odun örneklerinin DSC analizleri sonucunda elde edilen ısı özellikler

Varyasyonlar	Erime Sıcaklığı (°C)	Erime Gizli Isısı (J/g)	Katılma Sıcaklığı (°C)	Katılma Gizli Isısı (J/g)
CA	29.4	177	29.1	179
CA/Kavak	27.8	99.5	27.7	99.4
CA/ Sarıçam	26.75	81.9	27.45	79.2
LAOH	20.8	234	19.4	233
LAOH/Kavak	18.0	130.4	17.7	130.3
LAOH/ Sarıçam	18.3	88.4	18.0	88.2
MP	28.1	245	26.1	237
MP/Kavak	24.1	142.7	22.3	139.1
MP/Sarıçam	23.4	100.8	22.1	98.6

Ma vd. (2019) delignifiye edilmiş ve ve delignifiye edilmemiş sedir odununu, capric/palmitik asitlerin ötektik karışımı ile emprenye ettikten gizli ısılarında azalma tespit etmişlerdir. Ayrıca termogramlarda başlangıç ve bitiş sıcaklıklarında küçük bir kayma tespit etmişlerdir.

Temiz vd. (2020) sarıçam odununu kaprik asit ve stearik asit (ağırlıkça %83:17) ötektik karışımı ile emprenyesi sonrası saf FDM'nin erime sıcaklığı 24.7 °C'iken emprenyeli sarıçam odunun erime sıcaklığının 23.94 °C indiğini bulmuşlardır. Bunun nedeninin FDM'nin odunun boşluklarına hapsolması, yağ asidi, lignin, selüloz ve hemiselüloz zincirleri arasındaki hidrojen bağlarına, FDM molekülleri ile odun hücre duvarı arasındaki kılcal kuvvetlerin etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Aynı çalışmada erime gizli ısının saf FDM için 178 J/g iken emprenyeli odunun 94 J/g; katılma gizli ısının ise saf FDM'de 171 J/g iken emprenyeli malzemede 82 J/g olarak belirlemişlerdir.

Nazari vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada, sarıçam ve kayın odunlarını Hindistan cevizi yağ asiti ve linoleik asit ile emprenye ettikten sonra yapmış oldukları DSC analizi sonucunda saf FDM ile emprenyeli odun numuneleri termogramlarını, başlangıç ve bitiş sıcaklıklarında hafif bir kaymayla benzer şekilde tespit etmişlerdir ve emprenye işleminden sonra erime gizli ısının saf FDM'ye oranla düşük olduğunu gözlemlemişlerdir.

Amini vd. (2022) sarıçam odununu kaprik asitin farklı konsantrasyonlarda emprenyesi sonrasında erime sıcaklıklarını saf CA, %20, %40, %60 ve %80 konsantrasyonlarda CA için sırasıyla 29.2, 28.4, 28.3, 28.4 ve 28.3 °C; katılaşma sıcaklıklarını ise yine aynı sırayla 29.2, 27.7, 27.8, 27.7 ve 27.7 °C olarak belirlemişlerdir. Diğer yandan ise faz değişim entalpi değerlerinin artan CA konsantrasyonu ile neredeyse doğrusal olarak arttığını belirlemişlerdir. Bu sonuçları daha yüksek CA konsantrasyonunun erime ve katılaşma süreci sırasında daha fazla enerjinin emilmesine ve salınmasına yol açtığını ve bunun da FDM uygulandığında daha iyi termal düzenlemeye katkıda bulunacağını sonucuna varmışlardır.

Can (2023) yapmış olduğu çalışmada palmitik asit (PA)'i etil selüloz (EC) içerisinde farklı ağırlıkta kapsülleyerek üç farklı MFDM üretmiştir. PA, MFDM1, MFDM2, MFDM3 için erime sıcaklıklarını sırasıyla 64,16 °C, 55,22 °C, 58,29 °C ve 60,76 °C bulmuştur. Katılaşma ısısını ise yine aynı sırayla 55,56 °C, 45,78 °C, 45.78 °C ve 51,64 °C olarak tespit etmiştir. İlk döngü ve 50.döngüler karşılaştırıldığında; 50.döngüden sonra MFDM2 varyasyonunun erime gizli ısısında %43,31 oranında düşüş gözlemlenirken, katılaşma gizli ısısında ise %26,88 düşüş göstermiştir.

Nazari vd. (2023) yapmış oldukları çalışmada odun yongalarını FDM olarak etil palmitat (EP) ile emprenye ettikten sonra yapmış oldukları DSC analizi sonucunda, FDM'li kompozitin eğrilerini saf EP'ye benzer şekilde olduğunu gözlemlemişlerdir. Kompozitin erime ve donma noktalarını ise saf EP'ye kıyasla daha düşük olarak tespit etmişlerdir.

3.3.3. Termal Performans Testi

CA, LAOH ve MP ile emprenye edilen sarıçam ve kavak odunu numunelerinin termal regülasyon performansı laboratuvar ölçekli bir düzenekle test edilmiştir. Yapılan testler sonucunda, ısıtma ve soğutma periyodları sırasında hem referans hem test hücrelerinin ısıyı depolama ve salıverme özellikleri gösteren eğriler elde edilmiştir. Bu eğriler, ısıtma ve soğutma periyodları boyunca zamana bağlı olarak iç ortam sıcaklıklarındaki ve iç yüzey sıcaklıklarındaki değişiklikleri göstermektedir. Bu değişikliklerin daha net anlaşılabilmesi için iç ortam ve iç yüzey sıcaklıkları grafiklerde karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

Isıtma periyodunun başlangıcında hem test hem referans hücrelerinin iç yüzey ve merkezlerinin ısıya karşı verdikleri tepkiler aynıken bir süre sonra farklılıklar gözlemlenmiştir. Referans odanın belirtilen noktalardaki sıcaklıkları, FDM'lerle emprenye edilmiş odanın aynı noktalardaki sıcaklıklarıyla kıyaslandığında daha kısa sürede artmıştır.

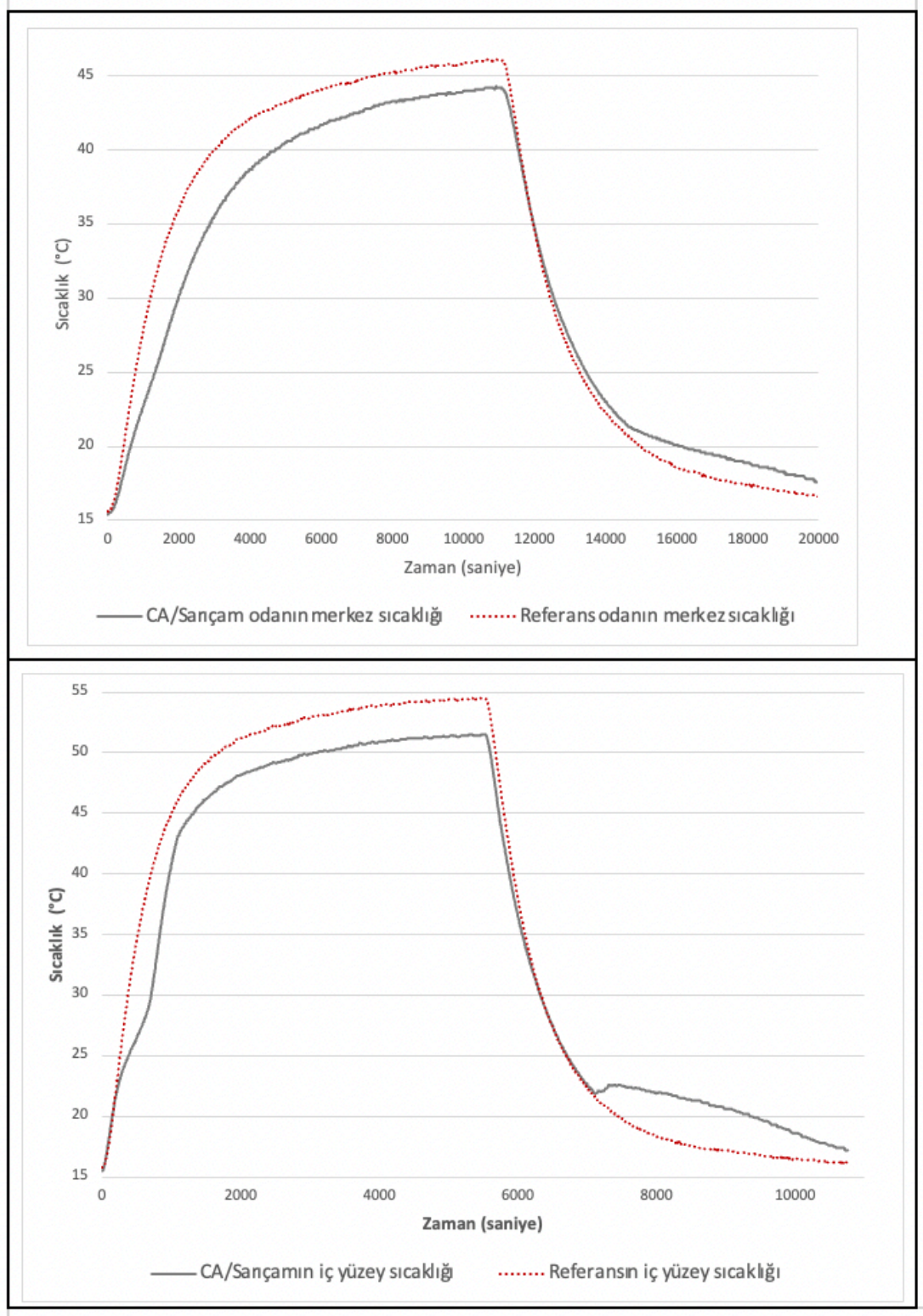
Buna örnek olarak, şekil 27’de kaprik asit ile emprenye edilmiş sarıçam odununun termal regülasyon test sonuçlarını gösteren eğriler verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde, ısıtma periyodunda odaların merkez sıcaklığının 30 °C’ye ulaşması için geçen süre referans odada 1190 saniye, CA/sarıçam odada ise 1986 saniyedir. Aynı şekilde, iç yüzey sıcaklıklarının 30 °C’ye ulaşması için geçen süre referans yüzeyinde 746 saniye, CA/sarıçam yüzeyinde ise 1422 saniyedir. Emprenyeli odanın referans odadan daha yavaş ısınması, binalarda FDM kullanılmasıyla konfor bölgesi sıcaklıklarından, rahatsız edici yüksek sıcaklıklara kadar geçen sürenin geciktirilebileceği anlamına gelmektedir. Başka bir deyişle, FDM kullanılacak binalar yüksek sıcaklığa sahip yaz aylarında konfor bölgesinin üstündeki sıcaklıklara daha yavaş ulaşacaktır. Bu fark aynı zamanda emprenye işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ve odunun FDM ile emprenye sonrası aralarında bir sinerji yarattığını göstermektedir.

Bu iki odanın termal regülasyon performansını ayırt etmenin bir diğer yolu da aynı ısıtma süresi sonrasında her iki odanın belirtilen noktalarındaki ortalama sıcaklık değerlerini dikkate almaktır. Örneğin ısıtma periyodu başladıktan 4800 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 43 °C’yken CA/sarıçam odanın merkez sıcaklığı 40,1 °C’dir. İkisinin arasındaki fark ise 2,9 °C olarak ölçülmüştür. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 52 °C’yken, CA/Sarıçam iç yüzey sıcaklığı 49 °C olarak ölçülmüştür ve ikisinin arasındaki fark ise 3 °C’dir. Yukarıda verilen karşılaştırmalı örneklerde görüldüğü üzere, FDM’nin ortamdaki ısının bir kısmını absorbe etmesi nedeniyle, CA/Sarıçam’ın belirtilen noktalardaki sıcaklıkları, ısıtma süresi boyunca referans hücresiyle karşılaştırıldığında daha düşük bulunmuştur. Bu sayede ortamdan oda içerisine olan ısı transfer hızı azaltılır ve dolayısıyla sıcaklık artış hızı da yavaşlar.

Soğutma periyodu başlatıldığında odaların merkez sıcaklık eğrileri bir süre boyunca aynıdır ancak daha sonra referans odanın merkez sıcaklığı keskin bir şekilde düşerken, CA/Sarıçam odasındaki azalma yavaş bir şekilde gerçekleşmiştir. Başka bir deyişle, referans odasının belirtilen noktalardaki sıcaklıkları, CA/Sarıçam odasıyla kıyaslandığında daha kısa sürede azalmıştır. Referans odanın merkez sıcaklığının 20 °C’ye düşmesi için geçen süre 3980 saniye olarak bulunurken, CA/Sarıçam odanın merkez sıcaklığının aynı dereceye düşmesi için geçen süre 5172 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde iç yüzey sıcaklıklarının 20 °C’ye düşmesi için geçen süre referans için 4264 saniye iken, CA/Sarıçam için ise 8090 saniye olarak bulunmuştur. Emprenyeli odanın referans odadan daha yavaş soğuması, binalarda FDM kullanılmasıyla konfor bölgesi sıcaklıklarının daha uzun süre

boyunca korunabileceği anlamına gelmektedir. Bu fark aynı zamanda emprenye işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini ve odunun FDM ile emprenye sonrası aralarında bir sinerji yarattığını göstermektedir.

Soğutma periyodu başladıktan 3000 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 18,6 °C'yken CA/Sarıçam odanın merkez sıcaklığı 20,1 °C olarak bulunmuştur ve ikisinin arasındaki fark 1,5 °C'dir. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 18,8 °C'yken CA/Sarıçamın iç yüzey sıcaklığı 22,2 °C ve aralarındaki fark 3,4 °C'dir. Burada verilen karşılaştırmalı örneklerde görüldüğü üzere, FDM'nin ısıtma süresinde absorbe ettiği ısıyı geri vermesi nedeniyle, CA/Sarıçam'ın belirtilen noktalardaki sıcaklıkları, soğutma süresi boyunca referans hücresiyle karşılaştırıldığında daha yüksek bulunmuştur. Bu sayede oda içerisinde arzu edilen konfor sıcaklıkları daha uzun süre boyunca muhafaza edilebilecektir.



Şekil 27. CA/Sarıçam termoregülasyon performans test sonuçları

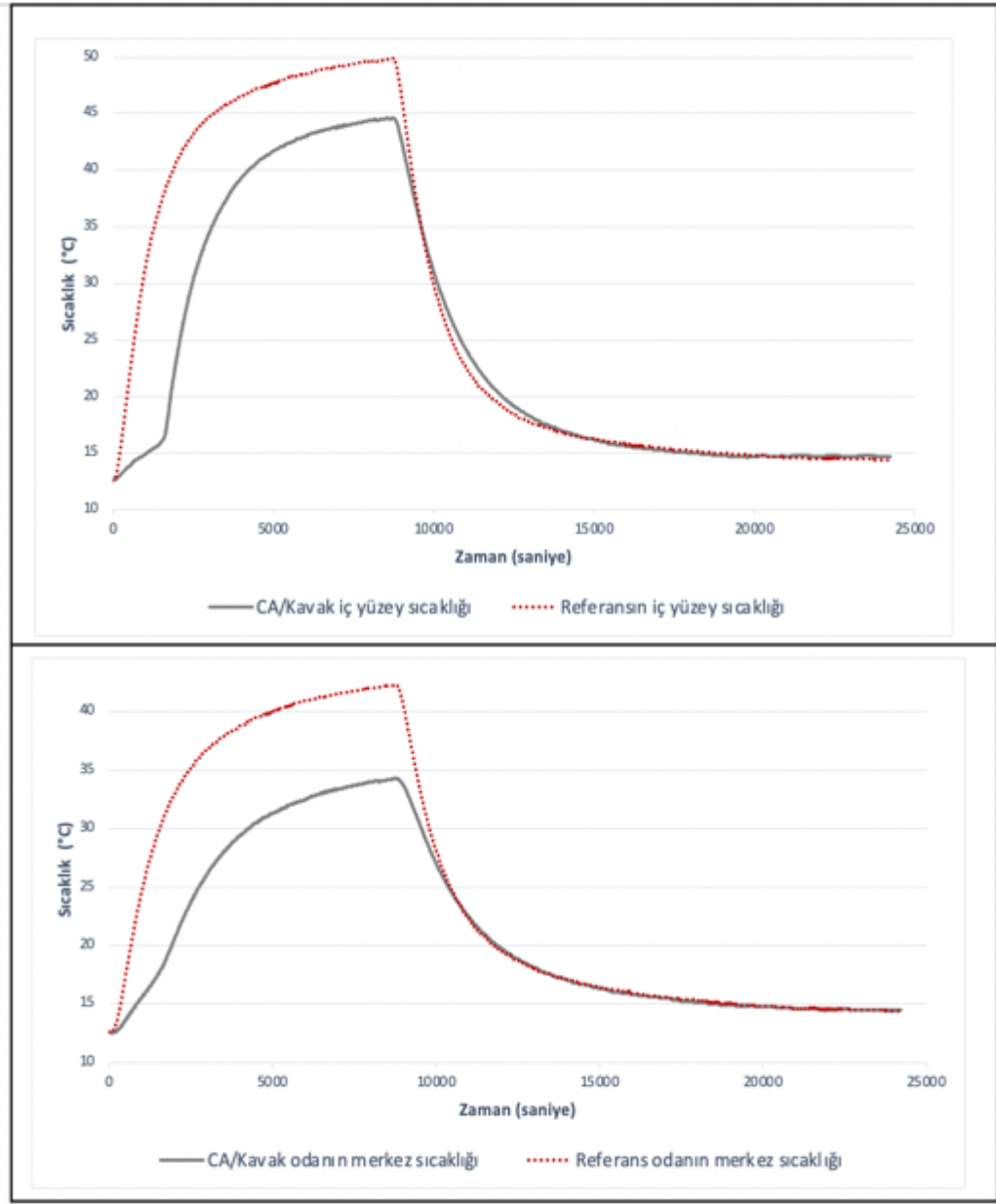
CA ile emprenye edilmiş kavak odununun ısıtma ve soğutma periyotlarındaki termoregülasyon test sonuçlarını gösteren eğriler Şekil 28’de verilmiştir. Bu eğriler

incelendiğinde, ısıtma periyodunda odaların merkez sıcaklığının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans odada 1536 saniye, CA/Kavak odada ise 4216 saniyedir. Aynı şekilde, iç yüzey sıcaklıklarının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans yüzeyinde 916 saniye, CA/Kavak yüzeyinde ise 2468 saniyedir.

Isıtma periyodu başladıktan 4800 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 39,7 °C'yken CA/Kavak odanın merkez sıcaklığı 31 °C'dir. İkisinin arasındaki fark ise 8,7 °C olarak ölçülmüştür. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 47,4 °C'yken, CA/Kavak iç yüzey sıcaklığı 41,3 °C olarak ölçülmüştür ve ikisinin arasındaki fark ise 6,1 °C'dir.

Referans odanın merkez sıcaklığının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre 3042 saniye olarak bulunurken, CA/Kavak odanın merkez sıcaklığının aynı dereceye düşmesi için geçen süre 3144 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde iç yüzey sıcaklıklarının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre referans için 3038 saniye iken, CA/Sarıçam için ise 3390 saniye olarak bulunmuştur.

Soğutma periyodu başladıktan 3000 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 20,1 °C'yken CA/Kavak odanın merkez sıcaklığı 20,3 °C olarak bulunmuştur ve ikisinin arasındaki fark 0,2 °C'dir. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 20,1 °C'yken CA/Kavak iç yüzey sıcaklığı 21,2 °C ve aralarındaki fark 1,1 °C'dir.



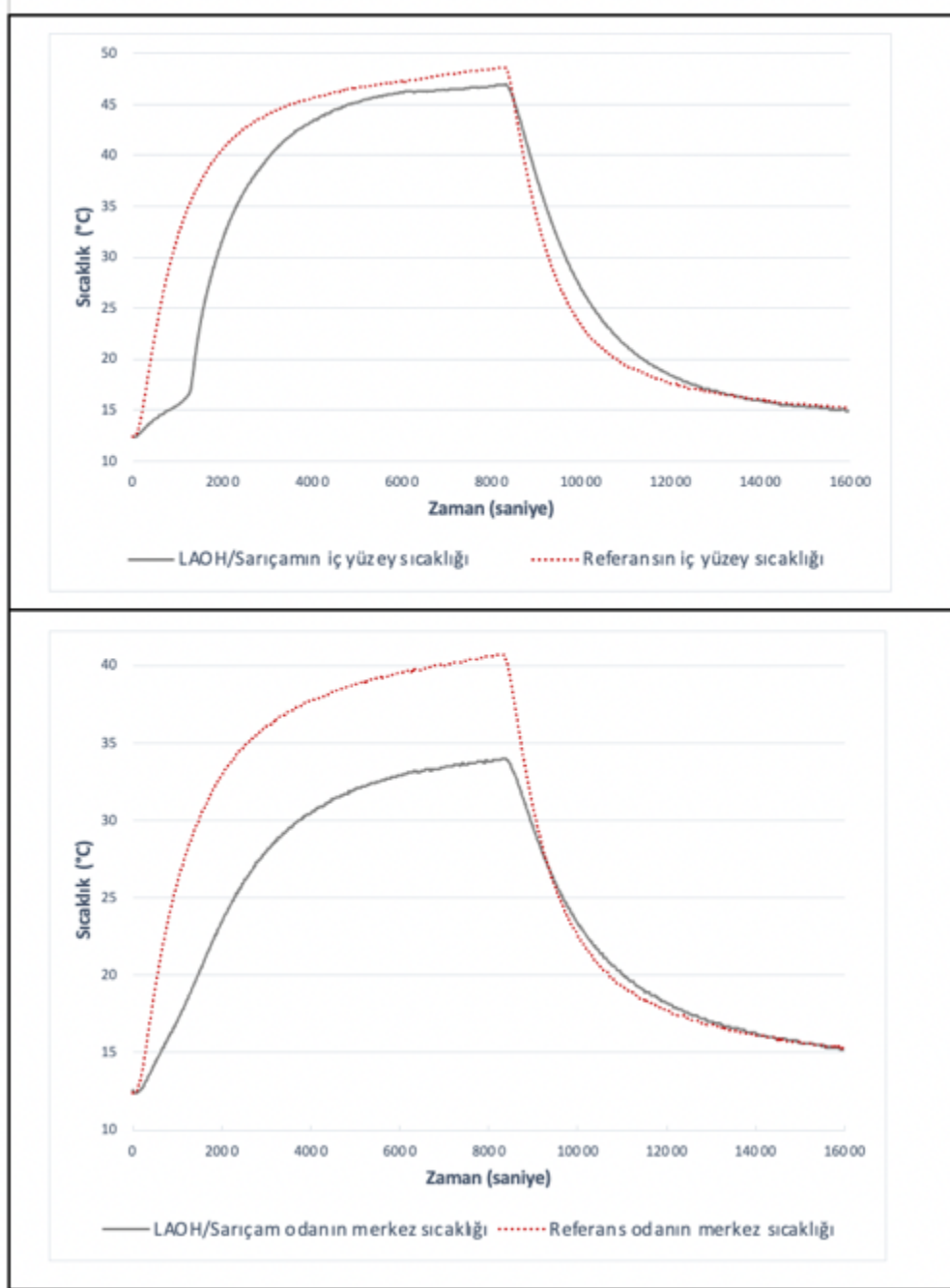
Şekil 28. CA/Kavak termoregülasyon performans test sonuçları

LAOH ile emprenye edilmiş sarıçam odununun ısıtma ve soğutma periyotlarındaki termoregülasyon test sonuçlarını gösteren eğriler şekil 29’da verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde, ısıtma periyodunda odaların merkez sıcaklığının 30 °C’ye ulaşması için geçen süre referans odada 1482 saniye, LAOH/Sarıçam odada ise 3708 saniyedir. Aynı şekilde, iç yüzey sıcaklıklarının 30 °C’ye ulaşması için geçen süre referans yüzeyinde 870 saniye, LAOH/Sarıçam yüzeyinde ise 1872 saniyedir.

Isıtma periyodu başladıktan 4800 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 38,6 °C'yken LAOH/Sarıçam odanın merkez sıcaklığı 31,7 °C'dir. İkisinin arasındaki fark ise 6,9 °C olarak ölçülmüştür. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 46,1 °C'yken, LAOH/Sarıçam iç yüzey sıcaklığı 45 °C olarak ölçülmüştür ve ikisinin arasındaki fark ise 1,1 °C'dir.

Referans odanın merkez sıcaklığının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre 2316 saniye olarak bulunurken, LAOH/Sarıçam odanın merkez sıcaklığının aynı dereceye düşmesi için geçen süre 2648 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde iç yüzey sıcaklıklarının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre referans için 2384 saniye iken, LAOH/Sarıçam için ise 3010 saniye olarak bulunmuştur.

Soğutma periyodu başladıktan 3000 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 18,6 °C'yken LAOH/Sarıçam odanın merkez sıcaklığı 19,3 °C olarak bulunmuştur ve ikisinin arasındaki fark 0,7 °C'dir. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 18,7 °C'yken LAOH/Sarıçam iç yüzey sıcaklığı 20,1 °C ve aralarındaki fark 1,4 °C'dir.



Şekil 29. LAOH/Sarıçam termoregülasyon performans test sonuçları

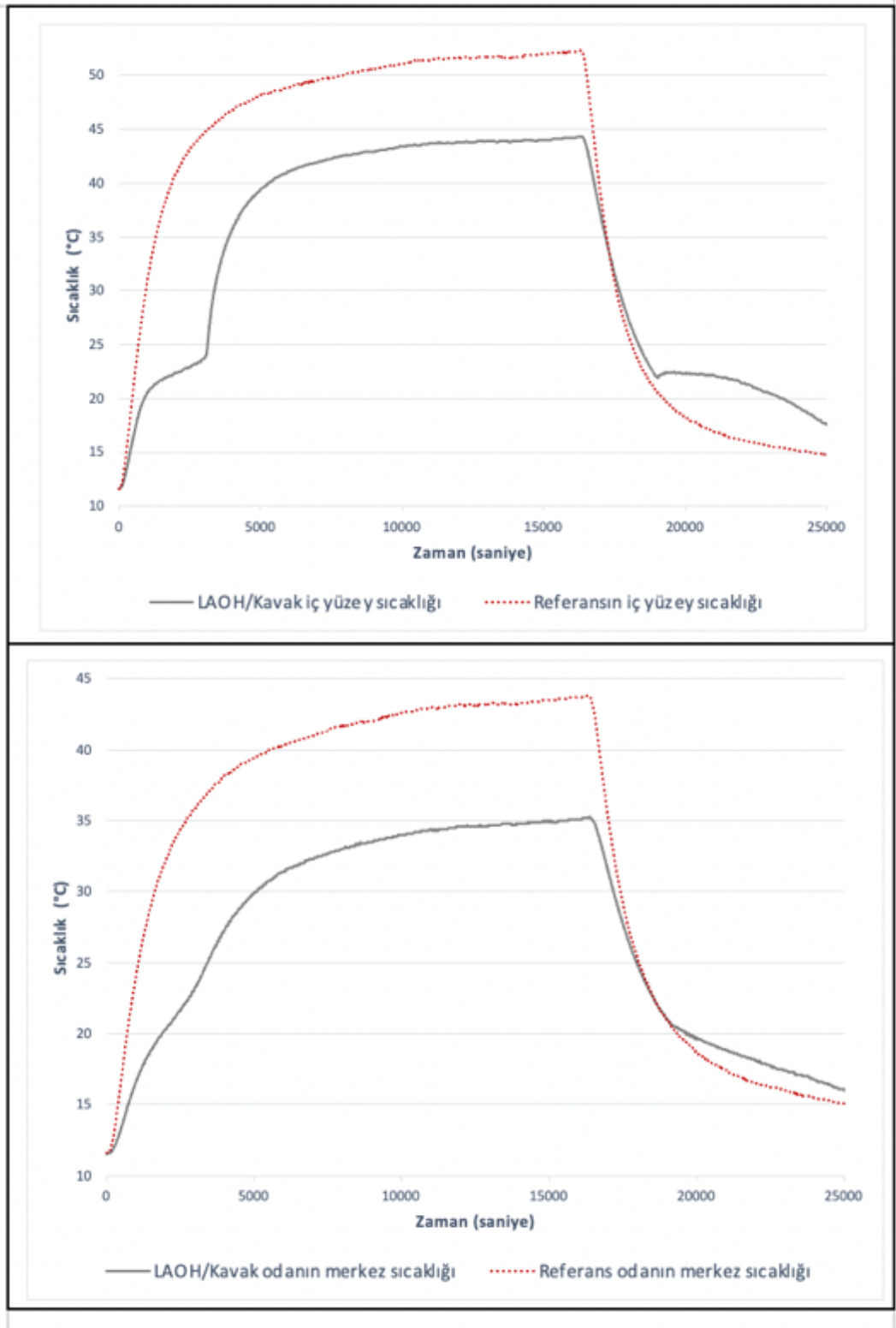
LAOH ile emprenye edilmiş kavak odununun ısıtma ve soğutma periyotlarındaki termoregülasyon test sonuçlarını gösteren eğriler Şekil 30'da verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde, ısıtma periyodunda odaların merkez sıcaklığının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans odada 1628 saniye, LAOH/Kavak odada ise 5004 saniyedir. Aynı

şekilde, iç yüzey sıcaklıklarının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans yüzeyinde 948 saniye, LAOH/Kavak yüzeyinde ise 3362 saniyedir.

Isıtma periyodu başladıktan 4800 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 39,2 °C'yken LAOH/Kavak odanın merkez sıcaklığı 29,5 °C'dir. İkisinin arasındaki fark ise 9,7 °C olarak ölçülmüştür. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 47,9 °C'yken, LAOH/Kavak iç yüzey sıcaklığı 38,8 °C olarak ölçülmüştür ve ikisinin arasındaki fark ise 9,1 °C'dir.

Referans odanın merkez sıcaklığının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre 3010 saniye olarak bulunurken, LAOH/Kavak odanın merkez sıcaklığının aynı dereceye düşmesi için geçen süre 3416 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde iç yüzey sıcaklıklarının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre referans için 2878 saniye iken, LAOH/Kavak için ise 7154 saniye olarak bulunmuştur.

Soğutma periyodu başladıktan 3000 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 20,1 °C'yken LAOH/Kavak odanın merkez sıcaklığı 20,5 °C olarak bulunmuştur ve ikisinin arasındaki fark 0,4 °C'dir. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 19,8 °C'yken LAOH/Kavak iç yüzey sıcaklığı 22,5 °C ve aralarındaki fark 2,7 °C'dir.



Şekil 30. LAOH/Kavak termoregülasyon performans test sonuçları

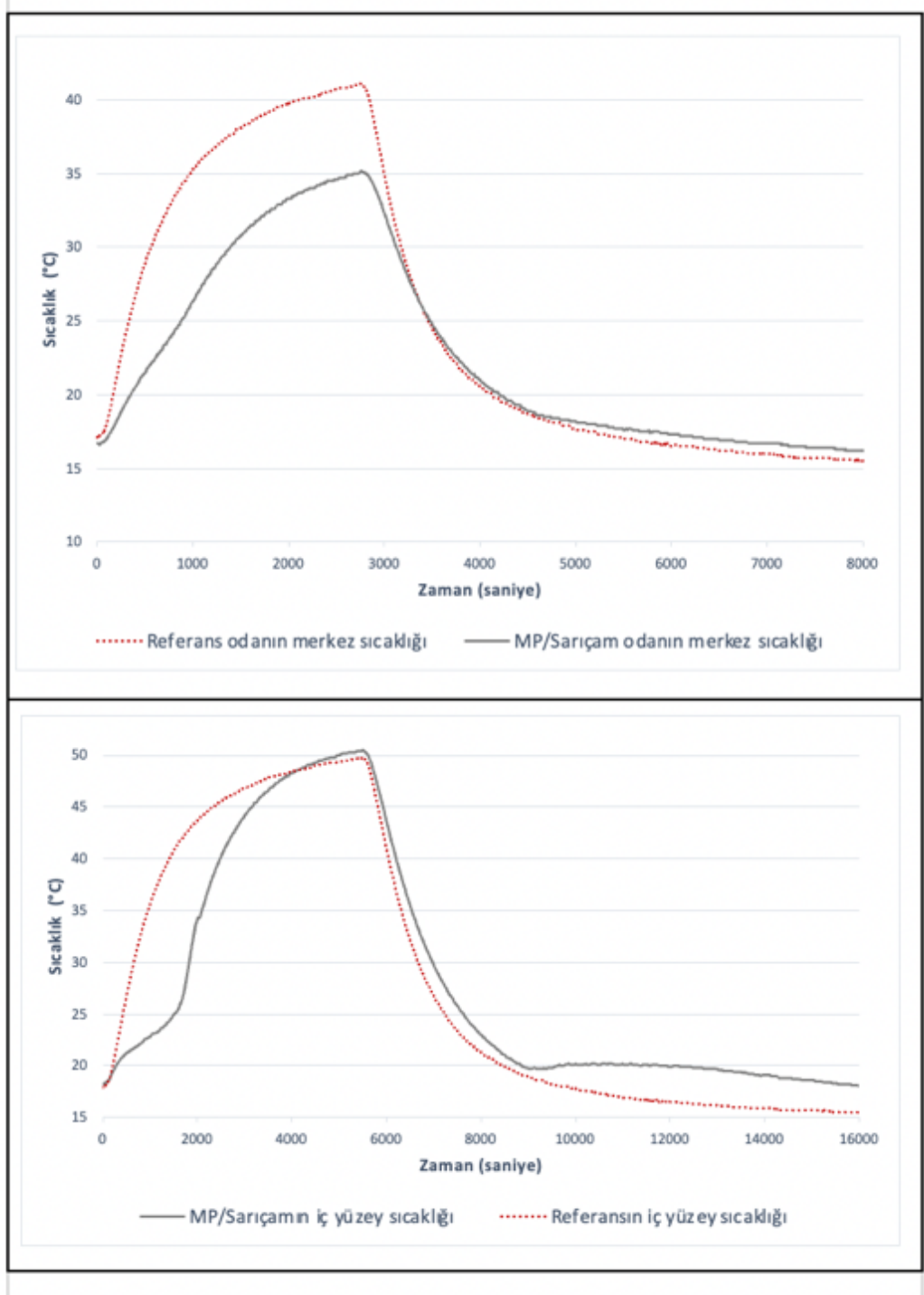
MP ile emprenye edilmiş sarıçam odununun ısıtma ve soğutma periyotlarındaki termoregülasyon test sonuçlarını gösteren eğriler şekil 31’de verilmiştir. Bu eğriler

incelendiğinde, ısıtma periyodunda odaların merkez sıcaklığının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans odada 1114 saniye, MP/Sarıçam odada ise 2778 saniyedir. Aynı şekilde, iç yüzey sıcaklıklarının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans yüzeyinde 656 saniye, MP/Sarıçam yüzeyinde ise 1830 saniyedir.

Isıtma periyodu başladıktan 4800 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 40,6 °C'yken MP/Sarıçam odanın merkez sıcaklığı 34,5 °C'dir. İkisinin arasındaki fark ise 6,1 °C olarak ölçülmüştür. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 49,8 °C'yken, MP/Sarıçam iç yüzey sıcaklığı 49,3 °C olarak ölçülmüştür ve ikisinin arasındaki fark ise 0,5 °C'dir.

Referans odanın merkez sıcaklığının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre 8236 saniye olarak bulunurken, MP/Sarıçam odanın merkez sıcaklığının aynı dereceye düşmesi için geçen süre 8416 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde iç yüzey sıcaklıklarının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre referans için 8416 saniye iken, MP/Sarıçam için ise 8846 saniye olarak bulunmuştur.

Soğutma periyodu başladıktan 3000 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 19,5 °C'yken MP/Sarıçam odanın merkez sıcaklığı 19,9 °C olarak bulunmuştur ve ikisinin arasındaki fark 0,4 °C'dir. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 19,9 °C'yken MP/Sarıçam iç yüzey sıcaklığı 21,1 °C ve aralarındaki fark 1,2 °C'dir.



Şekil 31. MP/Sarıçam termoregülasyon performans test sonuçları

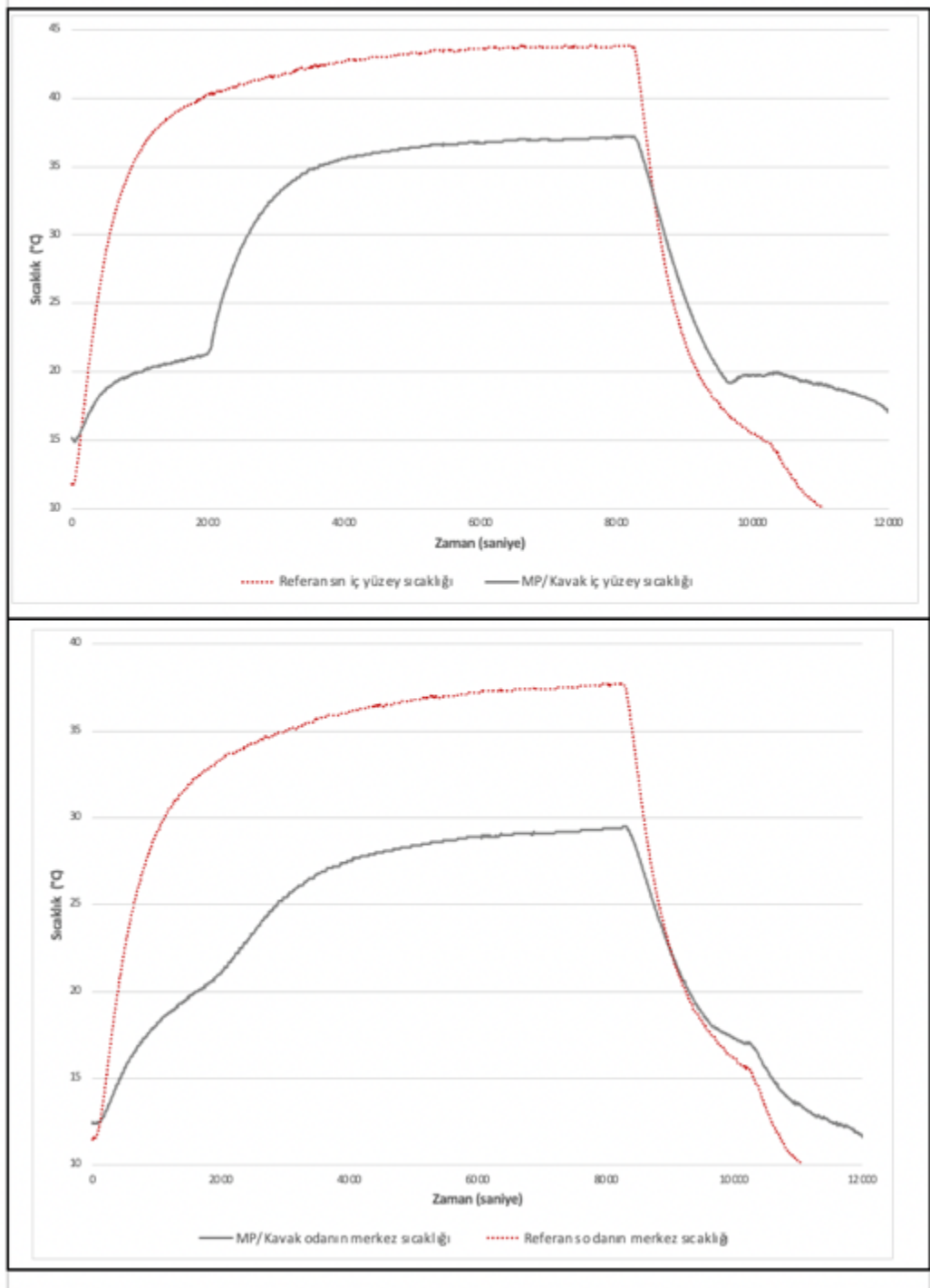
MP ile emprenye edilmiş kavak odununun ısıtma ve soğutma periyotlarındaki termoregülasyon test sonuçlarını gösteren eğriler şekil 32’de verilmiştir. Bu eğriler incelendiğinde, ısıtma periyodunda odaların merkez sıcaklığının 30 °C’ye ulaşması için geçen süre referans odada 2226 saniye, MP/Kavak odada ise 16530 saniyedir. Aynı şekilde,

iç yüzey sıcaklıklarının 30 °C'ye ulaşması için geçen süre referans yüzeyinde 1106 saniye, MP/Kavak yüzeyinde ise 5196 saniyedir.

Isıtma periyodu başladıktan 4800 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 34,1 °C'yken MP/Kavak odanın merkez sıcaklığı 22,8 °C'dir. İkisinin arasındaki fark ise 11,3 °C olarak ölçülmüştür. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 40,9 °C'yken, MP/Kavak iç yüzey sıcaklığı 28 °C olarak ölçülmüştür ve ikisinin arasındaki fark ise 12,9 °C'dir.

Referans odanın merkez sıcaklığının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre 1924 saniye olarak bulunurken, MP/Kavak odanın merkez sıcaklığının aynı dereceye düşmesi için geçen süre 2036 saniye olarak ölçülmüştür. Aynı şekilde iç yüzey sıcaklıklarının 20 °C'ye düşmesi için geçen süre referans için 1842 saniye iken, MP/Kavak için ise 2518 saniye olarak bulunmuştur.

Soğutma periyodu başladıktan 3000 saniye sonra referans odanın merkez sıcaklığı 17 °C'yken MP/Kavak odanın merkez sıcaklığı 17,8 °C olarak bulunmuştur ve ikisinin arasındaki fark 0,8 °C'dir. Aynı süre sonunda referansın iç yüzey sıcaklığı 16,3 °C'yken MP/Kavak iç yüzey sıcaklığı 19,5 °C ve aralarındaki fark 3,2 °C'dir.



Şekil 32. MP/Kavak termoregülasyon performans test sonuçları

Termal regülasyon performansının belirlenmesinin bir diğer yolu da, tüm varyasyonlarda elde edilen eğrilerden yararlanılarak odaların ısıtma ve soğutma periyotlarından sonra kaydedilen maksimum tepe ve minimum tepe sıcaklıkları esas alınmasıdır. Bu veriler merkez sıcaklıkları için tablo 11’de verilmiştir. Yüzey sıcaklıkları

için, tüm varyasyonlarda kaydedilen maksimum ve minimum tepe sıcaklıkları ise tablo 12’de verilmiştir.

Tablo 11. Merkez sıcaklıkları için minimum ve maksimum tepe sıcaklıkları

Varyasyonlar	Ağırlık Artışı (%)	K/T	Maksimum Tepe Sıcaklığı	Minimum Tepe Sıcaklığı
CA/Sarıçam	70	Kontrol	46,1	16,6
		Test	44,2	17,6
CA/Kavak	133	Kontrol	42,3	14,4
		Test	34,3	14,5
LAOH/Sarıçam	51	Kontrol	40,6	15,2
		Test	34	15,3
LAOH/Kavak	129	Kontrol	43,8	15,1
		Test	35,2	16
MP/Sarıçam	72	Kontrol	41	15,4
		Test	35,1	16,1
MP/Kavak	142	Kontrol	37,7	8,3
		Test	29,5	10,7

CA/Sarıçam odanın ve referans odanın maksimum tepe sıcaklıkları sırasıyla 44,2 °C ve 46,1 °C olarak belirlenmiştir ve ısıtma periyodu süreci sonunda ikisinin arasında 1,9 °C’lik bir sıcaklık farkı oluşmuştur. Yani sarıçam odununun kaprik asit ile emprenye edilmesi sonucunda binalarda aşırı ısınma 1,9 °C kadar engellemeye katkı sunabilmektedir. Bu fark CA/Kavak için 8 °C; LAOH/Sarıçam için 6,6 °C, LAOH/Kavak için 8,6 °C; MP/Sarıçam için 5,9 °C; MP/Kavak için ise 8,2 °C olarak bulunmuştur.

Eşit süre soğutma işlemi sonucunda ise CA/Sarıçam odanın ve referans odanın minimum tepe sıcaklıkları sırasıyla 17,6 ve 16,6 olarak ölçülmüştür, aralarındaki fark 1 °C’dir. Bu fark, CA/Kavak için 0,1 °C; LAOH/Sarıçam için 0,1 °C; LAOH/Kavak için 0,9 °C, MP/Sarıçam için 0,6 °C; MP/Kavak için ise 2,4 °C’dir. Ancak tüm varyasyonların ilgili eğrilerden görülebileceği üzere soğutma periyodlarının başlangıçlarında tüm referans örneklerinin sıcaklıkları bir miktar daha fazladır. Dolayısıyla FDM’nin sahip olduğu absorbe

ettiği ısıyı geri salıverme özelliği sayesinde, binalarda soğuk havalarda sıcaklığın konfor bölgesinden aşırı düşmesinin önemli bir dereceye kadar engellenebileceğini söylemek mümkündür.

Tablo 12. Yüzey sıcaklıkları için maksimum ve minimum tepe sıcaklıkları

Varyasyonlar	Ağırlık Artışı (%)	K/T	Maksimum Tepe Sıcaklığı	Minimum Tepe Sıcaklığı
CA/Sarıçam	70	Kontrol	54,5	16,2
		Test	51,5	17,2
CA/Kavak	133	Kontrol	49,9	14,4
		Test	44,6	14,7
LAOH/Sarıçam	51	Kontrol	48,1	14,9
		Test	46,8	15,2
LAOH/Kavak	129	Kontrol	52,3	14,8
		Test	44,3	17,6
MP/Sarıçam	72	Kontrol	49,7	15,5
		Test	49,4	18
MP/Kavak	142	Kontrol	43,5	8,1
		Test	37,1	14,5

CA/Sarıçam iç yüzeyinin ve referans iç yüzeyin maksimum tepe sıcaklıkları sırasıyla 51,5 °C ve 54,5 °C olarak belirlenmiştir ve ısıtma periyodu süreci sonunda ikisinin arasında 3 °C'lik bir sıcaklık farkı oluşmuştur. Bu fark CA/Kavak için 5,3 °C; LAOH/Sarıçam için 1,3 °C, LAOH/Kavak için 8 °C; MP/Sarıçam için 0,3 °C; MP/Kavak için ise 6,4 °C olarak bulunmuştur.

Eşit süre soğutma işlemi sonucunda ise CA/Sarıçam iç yüzeyinin ve referans iç yüzeyinin minimum tepe sıcaklıkları sırasıyla 17,2 °C ve 16,2 °C olarak ölçülmüştür, aralarındaki fark 1 °C'dir. Bu fark, CA/Kavak için 0,3 °C; LAOH/Sarıçam için 0,3 °C; LAOH/Kavak için 2,8 °C, MP/Sarıçam için 2,5 °C; MP/Kavak için ise 6,4 °C'dir.

Elde edilen tüm bulgular göz önünde bulundurulduğunda, FDM ile emprenye edilmiş tüm odun örneklerinin kontrol örneklerine göre oda içi sıcaklıklarını daha uzun süre boyunca konfor bölgesi sıcaklıkları aralığında tutabileceğini söylenebilmektedir. Başka bir deyişle, FDM ile emprenye edilmiş odun örneklerinin, ısı enerjisi gizli ısı şeklinde absorbe edip geri salıverme özelliğinden dolayı bu malzemelerin kullanılacağı binalarda enerji tasarrufuna önemli derecede katkı sağlayabileceği söylenebilmektedir.

Temiz vd. (2020) sarıçam odununu kaprik asit ve stearik asit (ağırlıkça %83:17) ötektik karışımı ile emprenyesi sonrası yapmış oldukları termoregülasyon test sonucunda, ısıtma periyodunda, kontrol örneğinde iç yüzey sıcaklığının 30 °C'ye ulaşmasının 910 saniye geçerken, FDM ile emprenyeli örnekte bu süreyi 2428 saniye olarak belirlemişlerdir. Soğutma periyodunda ise iç yüzey sıcaklığının 20°C inmesi için geçen süre kontrol örneğinde 6538 saniye iken FDM ile emprenyeli örnekte ise bu süre 7704 saniye olarak bulunmuştur. Bu bilgiler ışığında ise odunun FDM ile emprenyesi sonrasında termal depolama özelliği kazandığını bildirmişlerdir.

Amini vd. (2022) sarıçam odununu kaprik asitin farklı konsantrasyonlarda (%40 ve %80) emprenyesi sonrasında ısıtma periyodunun 2091 saniyesinde kontrol örneği, %40 CA ve %80 CA ile emprenye edilmiş odun örneklerinin merkez sıcaklıklarını 28, 26,5 ve 24 °C olarak gözlemlemişlerdir. Soğutma periyodu sonucunda ise merkez sıcaklıklarının minimum değerlerini aynı sırayla 13, 14,2 ve 15,9 °C olarak gözlemlemişlerdir. Bu sonuçlar sonucunda %80 konsantrasyonla emprenye edilen sarıçam odununun %40 oranla emprenye edilene göre sıcaklıklardaki aşırı dalgalanmaların önlenmesinde ve dolayısıyla enerji tüketiminin azaltılmasında önemli bir yapı malzemesi olarak değerlendirebileceğini vurgulamışlardır.

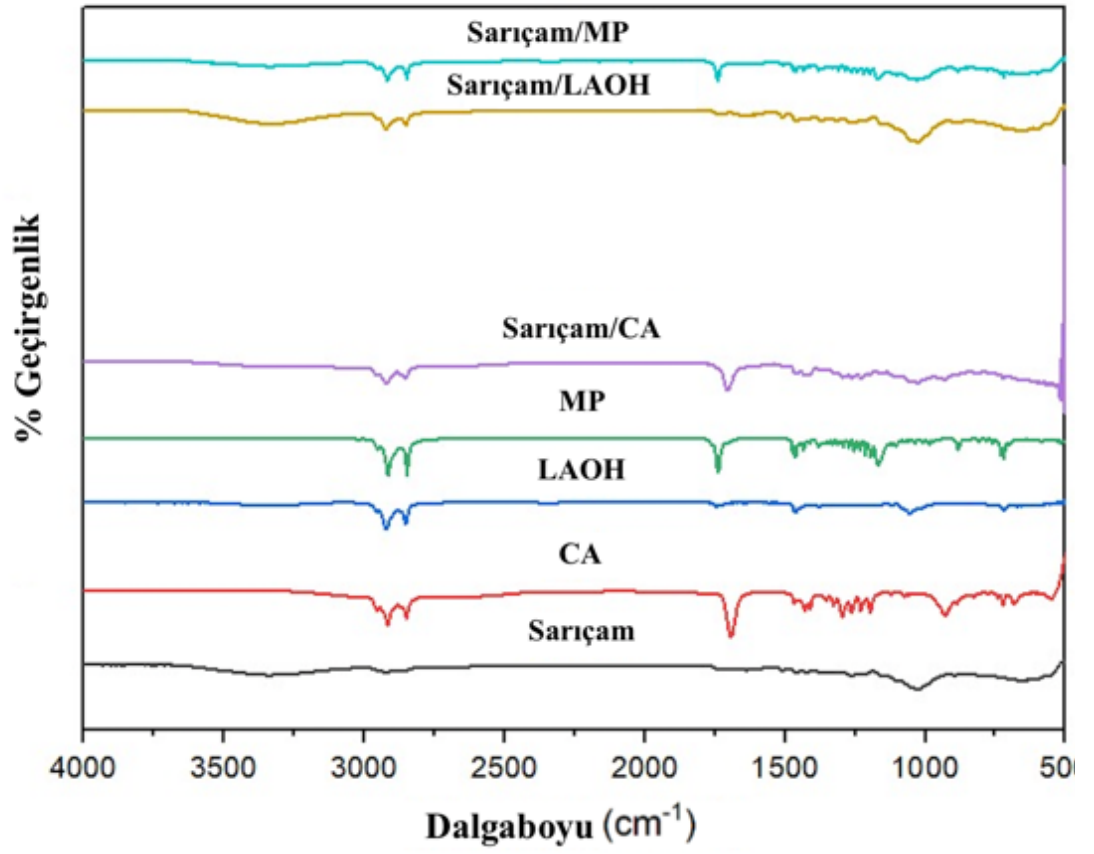
3.3.4. Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) Analizi

Odun ve polimerlerinin moleküler yapısını karakterize etmek amacıyla 1950'li yıllardan bu yana IR spektroskopik yöntemlerden yararlanılmaktadır (Nuopponen, 2005). CA, LAOH ve MP ile emprenye edilen sarıçam ve kavak odunu örneklerinin kimyasal yapısı ile birlikte bu bileşenlerin birbirleri ile aralarındaki muhtemel fiziksel ve kimyasal

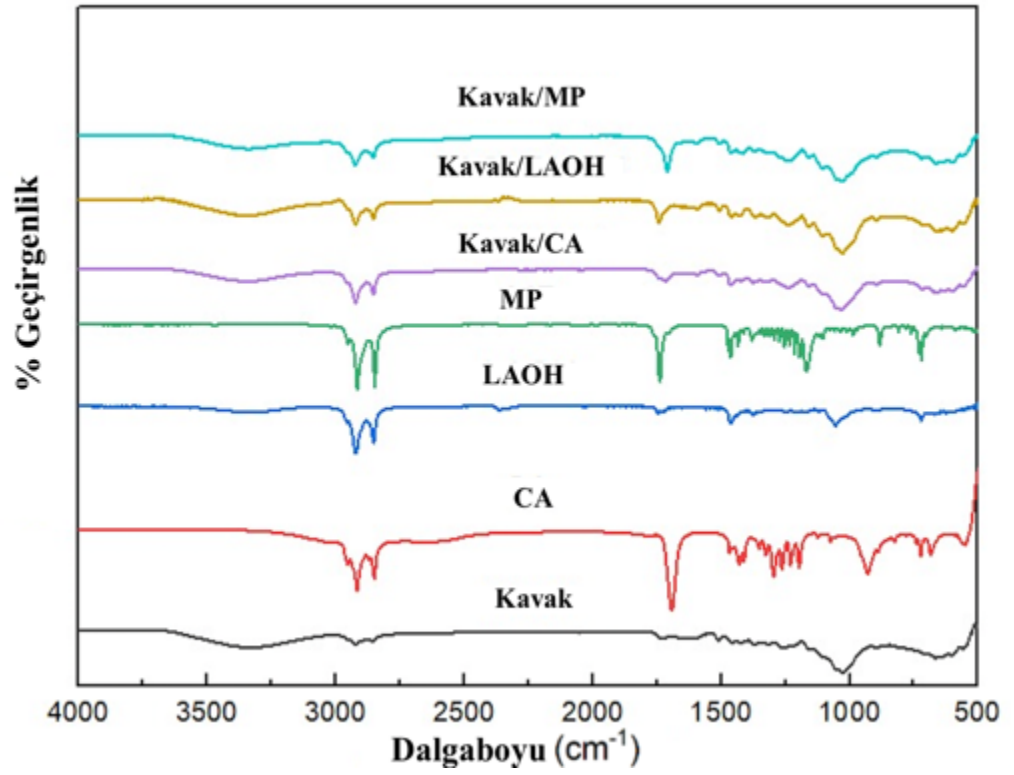
etkileşimler ve uyumluluklarını belirlemek amacıyla FT-IR ölçümleri yapılmıştır. FTIR ölçümlerinde 4000 cm^{-1} ile 500 cm^{-1} dalga aralığında çalışılmıştır.

FTIR spektrumundaki $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığındaki bölge, orta kızılötesi bölge olarak adlandırılır. Bir molekül, bir titreşim sırasında dipol momentinde bir değişiklik olduğunda, yani simetrisiz bağlara sahip moleküller IR aktif olduğunda, IR spektroskopisinde bir sinyal üretir. Ahşap polimerleri gibi karmaşık moleküllerin çok sayıda titreşimi mevcuttur. Bu titreşimlerin bazıları lokalize iken diğerleri molekülün tamamının titreşimleri olarak kabul edilir. Orta kızılötesi spektrumdaki $4000\text{--}1500\text{ cm}^{-1}$ dalga sayısı aralığı, bir fonksiyonel grup alanı olarak adlandırılır. Bu bölgedeki dalgalar, moleküler bağların veya moleküllerin fonksiyonel gruplarının bireysel olarak atfedilebilir. Bu dalgalar zaman zaman teşhis açısından kullanışlı olabilir, ancak daha sık olarak 1500 cm^{-1} 'nin altındaki spektral bölgenin tamamlayıcısı olarak kullanılır ve bu bölgeye parmak izi bölgesi denir. Bu bölgedeki IR dalgaları, bileşiğin kimliğini doğrulamak için sıkça kullanılır. Ayrıca, belirli fonksiyonel gruplara özgü bazı dalgalar da bu bölgede bulunabilir ve bunlar, fonksiyonel grup dalgalarına tamamlayıcı olarak kullanılabilir (Nuopponen, 2005).

CA, LAOH ve MP FDM'lerinin FT-IR spektrumları emprenye edilmiş örneklerde kolaylıkla gözlemlenebilir. Odunun bünyesindeki FDM oranı arttıkça, modifiye edilmiş odun örneklerindeki yağ asidinin absorpsiyon zirveleri şekil 33 ve şekil 34'te görüldüğü üzere daha yüksek yoğunluklara ulaşmıştır.



Şekil 33. Sariçam odununun FT-IR spektrumları



Şekil 34. Kavak odununun FT-IR spektrumları

1880-770 cm^{-1} aralığındaki dalga boyu bölgesinde spektrumlar, odunun ana kimyasal bileşenlerinin varlığını gösteren karmaşık bir desene sahiptir. Örneğin, 1739 cm^{-1} , 1317 cm^{-1} , 1157 cm^{-1} ve 897 cm^{-1} civarındaki pikler, polisakkaridik bileşiklerde farklı fonksiyonel grupların bükülme veya gerilme titreşimleri ile ilişkilendirilmiştir. 1595 cm^{-1} , 1510 cm^{-1} , 1270 cm^{-1} ve 1230 cm^{-1} civarındaki pikler ise aromatik bileşiklerde (genellikle lignin) görülenlere aittir. Ayrıca, 1465 cm^{-1} , 1425 cm^{-1} , 1375 cm^{-1} , 1111 cm^{-1} ve 1030 cm^{-1} civarındaki pikler, hem polisakkaridik hem de aromatik bileşiklerde bulunanlara aittir (Funda, 2020; Chen vd, 2010; Acquah vd, 2016; Poletto vd, 2012).

3329, 2925 ve 1263 cm^{-1} 'deki görülen pikler selüloz ve ligninin karakteristik yapısına karşılık gelen bulgularla uyumludur (Temiz, 2020; Amini, 2022; Köse Demirel, 2023). 3329 cm^{-1} 'de alkin gerilme titreşimi olan asetilenik grup ve 2850 cm^{-1} 'de metilen C-H'nin doymuş alifatik grubuna karşılık gelmektedir (Liu, 2018). 1700 cm^{-1} 'deki pik karboksilik asidin karbonil grubunu temsil eder. 1263 cm^{-1} 'deki pik P=O gerilme titreşimini, 1032 cm^{-1} 'deki pik organik siloksan ve 560 cm^{-1} 'deki pik alifetik C-I gerilme titreşimini göstermektedir (Zhou vd., 2019; Fei vd., 2020).

FDM ile emprenye işlemi sonrası odun örneklerinde kullanılan kimyasallarla uyumlu yeni pikler gözlemlenmiştir. CA ile emprenye edilmiş sarıçam odununda 2928, 2858, 1700, 1437, 1032; kavak odununda ise 2925, 2856, 1740 ve 1146'da pikler gözlemlenmiştir. LAOH ile emprenye edilen sarıçam odununda 2925, 2853, 1435, ve 683; kavak odununda ise 2920, 2859, 1744, 1035'de pikler gözlemlenmiştir. MP ile emprenye edilen sarıçam odununda 2922, 2849, 1740, 1438, 1171; kavak odununda ise 2936, 2876, 1703, ve 1158'de pikler gözlemlenmiştir.

FDM'lerle emprenye işlemi sonrasında her iki ağaç türünün tüm varyasyonları için 2920 ve 2936 cm^{-1} arasında pikler gözlemlenmiştir. Bu pikler metilenin (CH₂) gerilme titreşimlerinden kaynaklanmaktadır. 2849 ve 2859 cm^{-1} arasında pikler ise metil (CH₃) gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Nazari vd., 2021). 1740 ve 1744 cm^{-1} 'de görülen pikler C=O gerilme titreşiminden kaynaklanmaktadır (Xu, 2014). Karboksilik asidin karbonil grubu için C = O gerilme titreşimi 1700 ve 1703 cm^{-1} 'de gözlemlenmiştir (Grzybek, 2023). Karbonat iyonunun basit inorganikleri 1435 cm^{-1} 'de görülmüştür (Köse Demirel, 2023). 1173 ile 1104 cm^{-1} arasındaki pikler C-O gerilme titreşimlerini temsil ederken, 934 cm^{-1} 'deki pik C-OH grubunun gerilme titreşimini, 683 cm^{-1} 'deki pik ise COO'nun değişken açılı titreşimine karşılık gelmektedir.

Bu çalışmada kullanılan tüm FDM'lere ilişkin spesifik pikler, emprenye edilen odunların FTIR spektrumlarında yeni karakteristik pikler oluşturmaksızın, bazı örneklerde göz ardı edilebilecek seviyede hafif bir kaymayla, tespit edilmiştir. Bu sonuçlar odun ile FDM arasında kimyasal bağların oluşmadan sadece fiziksel etkileşimlerin oluştuğunu göstermektedir. Bu, FDM'lerin odunun yapısına başarılı bir şekilde emprenye edildiğinin göstergesidir. Daha önceki çalışmalarda diğer yazarların da belirttiği gibi, sadece FT-IR analizine dayanarak odun ve yağ asitleri arasında yalnızca fiziksel etkileşimin meydana geldiği sonucuna varılabilir (Jeong vd., 2012; Liang vd, 2018; Temiz vd, 2020; Jiang vd. (2020); Hekimoğlu, 2022; Köse Demirel, 2023; Grzybek vd., 2023).

3.4. Su Alma ve Boyutsal Kararlılık Testleri

3.4.1. Su Alma Oranı

Basit varyans analizi (BVA) yapılarak, suda bekletme sürelerine bağlı olarak varyasyonlar arasında istatistiksel olarak fark olup olmadığı belirlenmiştir. BVA sonuçları sarıçam numuneleri için tablo 13'te, kavak numuneleri için tablo 14'te verilmiştir.

Tablo 13. Sarıçam SAO için BVA sonuçları

Sarıçam SAO için BVA		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
3 sa	G.arası	1250,484	5	250,097	31,291	,000
	G.içi	431,600	54	7,993		
	Toplam	1682,084	59			
6 sa	G.arası	1352,610	5	270,522	30,253	,000
	G.içi	482,866	54	8,942		
	Toplam	1835,475	59			
24 sa	G.arası	1192,346	5	238,469	21,268	,000
	G.içi	605,471	54	11,212		
	Toplam	1797,817	59			
48 sa	G.arası	2061,900	5	412,380	32,291	,000
	G.içi	689,629	54	12,771		
	Toplam	2751,529	59			

Tablo 13'ün devamı

96 sa	G.arası	3592,274	5	718,455	51,737	,000
	G.ıçı	749,886	54	13,887		
	Toplam	4342,159	59			
144 sa	G.arası	4819,543	5	963,909	56,089	,000
	G.ıçı	928,014	54	17,185		
	Toplam	5747,558	59			
192 sa	G.arası	5602,996	5	1120,599	59,860	,000
	G.ıçı	1010,900	54	18,720		
	Toplam	6613,896	59			
240 sa	G.arası	6625,196	5	1325,039	66,385	,000
	G.ıçı	1077,828	54	19,960		
	Toplam	7703,023	59			
288 sa	G.arası	7208,743	5	1441,749	64,275	,000
	G.ıçı	1211,280	54	22,431		
	Toplam	8420,023	59			
336 sa	G.arası	7619,003	5	1523,801	63,471	,000
	G.ıçı	1296,425	54	24,008		
	Toplam	8915,427	59			

Tablo 14. Kavak SAO için BVA sonuçları

Sarıçam SAO için BVA		Kareler	Ser. Der.	Kareler	F-hesap	Önem
		Top.		Ort.		Düz.
3 sa	G.arası	12150,477	5	2430,095	458,650	,000
	G.ıçı	286,112	54	5,298		
	Toplam	12436,588	59			
6 sa	G.arası	15576,257	5	3115,251	497,684	,000
	G.ıçı	338,013	54	6,259		
	Toplam	15914,270	59			
24 sa	G.arası	19561,236	5	3912,247	492,020	,000
	G.ıçı	429,375	54	7,951		
	Toplam	19990,611	59			

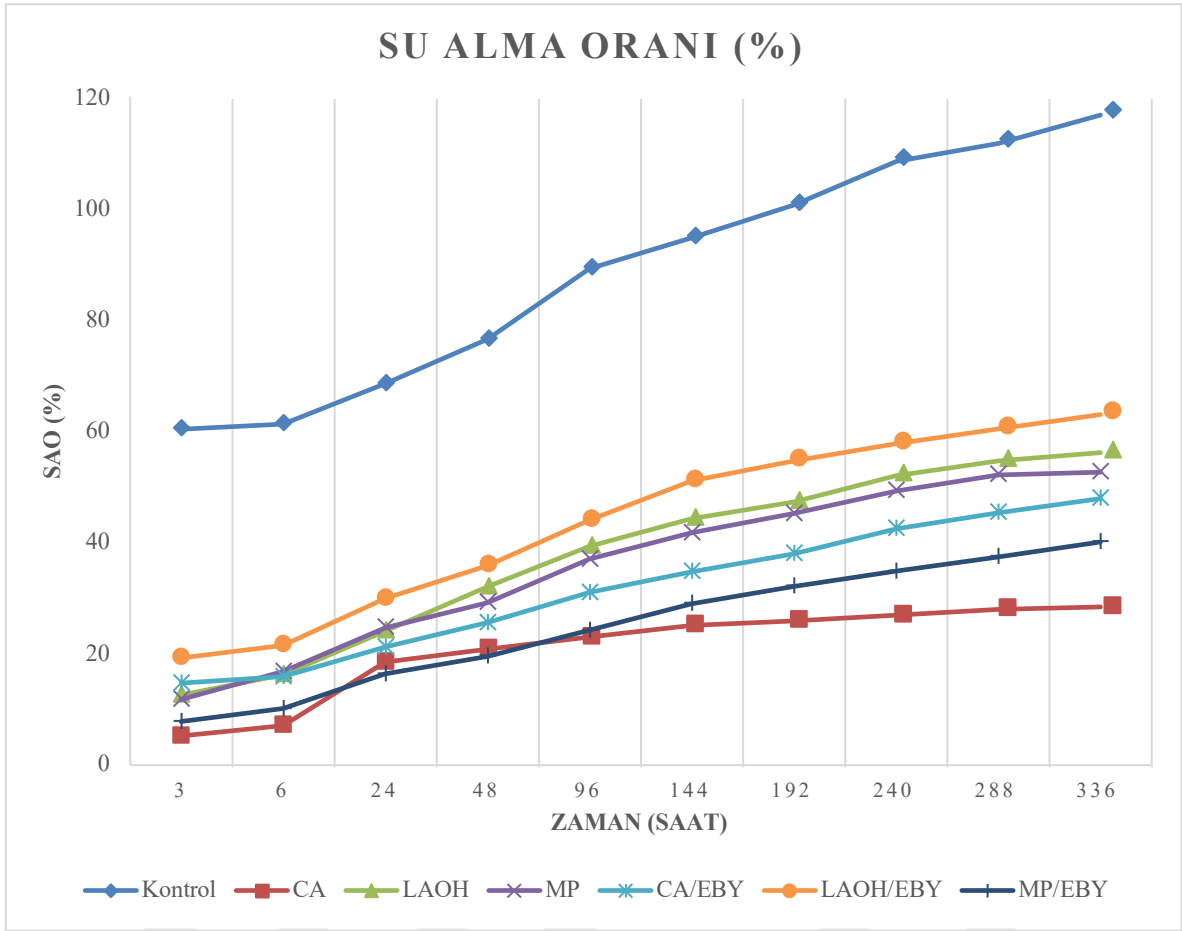
Tablo 14'ün devamı

	G.arası	23521,915	5	4704,383	517,439	,000
48 sa	G.içi	490,950	54	9,092		
	Toplam	24012,865	59			
	G.arası	31219,002	5	6243,800	409,167	,000
96 sa	G.içi	824,028	54	15,260		
	Toplam	32043,030	59			
	G.arası	30891,946	5	6178,389	386,740	,000
144 sa	G.içi	862,680	54	15,976		
	Toplam	31754,626	59			
	G.arası	34717,326	5	6943,465	357,814	,000
192 sa	G.içi	1047,882	54	19,405		
	Toplam	35765,208	59			
	G.arası	37655,586	5	7531,117	347,646	,000
240 sa	G.içi	1169,811	54	21,663		
	Toplam	38825,397	59			
	G.arası	37483,094	5	7496,619	380,620	,000
288 sa	G.içi	1063,574	54	19,696		
	Toplam	38546,668	59			
	G.arası	39325,103	5	7865,021	356,613	,000
336 sa	G.içi	1190,957	54	22,055		
	Toplam	8915,427	59			

Basit varyans analizi sonuçlarına bakıldığında, her iki ağaç türü için de, örneklerin suda bekletme süreleri bakımından önem düzeyi %95'in altında çıktığından dolayı istatistiksel anlamda varyasyonlar arasında farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların belirlenmesi amacıyla varyasyonlara ait Duncan homojenlik grupları belirlenmiştir. Tablo 15'te numunelere ait su alma oranlarının ortalaması (X) ve standart sapmaları (St.D) ile birlikte her saat kendi içerisinde değerlendirilerek Duncan homojenlik grupları verilmiştir. Şekil 35'te ise su alma oranları grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 15. Sariçam su alma oranı DUNCAN test

VARYASYONLAR		SAO (%)										
		N	3 sa	6 sa	48 sa	48 sa	96 sa	144 sa	192 sa	240 sa	288 sa	336 sa
CA	X	10	5,33 ^{a*}	7,21 ^a	18,54 ^{ab}	20,93 ^a	23,08 ^a	25,21 ^a	25,99 ^a	26,98 ^a	28,06 ^a	28,49 ^a
	St,D		0,61	0,69	1,53	1,15	1,20	1,29	1,32	1,58	1,62	1,60
LAOH	X	10	12,77 ^{cd}	16,42 ^c	24,29 ^{cd}	32,18 ^c	39,43 ^c	44,38 ^d	47,42 ^d	52,19 ^d	54,79 ^d	56,29 ^d
	St,D		0,94	1,28	1,81	2,10	2,00	1,82	2,43	2,86	2,94	2,97
MP	X	10	11,96 ^c	16,95 ^c	24,88 ^d	29,38 ^c	37,11 ^c	41,88 ^d	45,3 ^d	49,42 ^d	52,28 ^d	52,76 ^d
	St,D		0,86	1,40	0,93	1,69	1,86	3,04	3,43	3,60	3,72	3,94
CA/EBY	X	10	14,88 ^d	16,04 ^c	21,36 ^{bc}	25,74 ^b	31,12 ^b	34,9 ^c	38,14 ^c	42,61 ^c	45,47 ^c	48,01 ^c
	St,D		2,06	2,03	2,31	2,64	2,88	3,17	3,22	3,63	4,00	4,54
LAOH/EBY	X	10	19,44 ^e	21,74 ^d	30,07 ^e	36,06 ^d	44,14 ^d	51,22 ^e	54,82 ^e	57,89 ^e	60,55 ^e	63,14 ^e
	St,D		6,07	6,28	6,77	7,07	7,05	7,35	7,24	6,98	7,34	7,65
MP/EBY	X	10	7,96 ^b	10,24 ^b	16,49 ^a	19,66 ^a	24,33 ^a	29,13 ^b	32,24 ^b	34,96 ^b	37,54 ^b	40,2 ^b
	St,D		2,20	2,44	3,12	3,34	4,06	4,99	5,49	5,84	6,29	6,17
*Duncan homojenlik grupları												



Şekil 35. Sarıçam su alma oranı

336 saat boyunca su içerisinde bekletilen örneklerin 3.saatten 336 saat sonuna kadar elde edilen SAO değerleri şu şekilde bulunmuştur; kaprik asit ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %5,33– 28,49 arasında; lauril alkol ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %12,77- 56,29 arasında; metil palmitat ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %11,96- 52,76 arasında; kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %14,88- 28,01; lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %19,44- 63,14 arasında; metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %7,96- 40,2 arasında bulunmuştur.

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre gruplar arası farklar bulunmuştur (önem düzeyi< 0,05). İlk 3 saat ve 336 saat sonunda en düşük su alma oranı kaprik asit ile emprenye edilen örneklerde bulunmuştur.

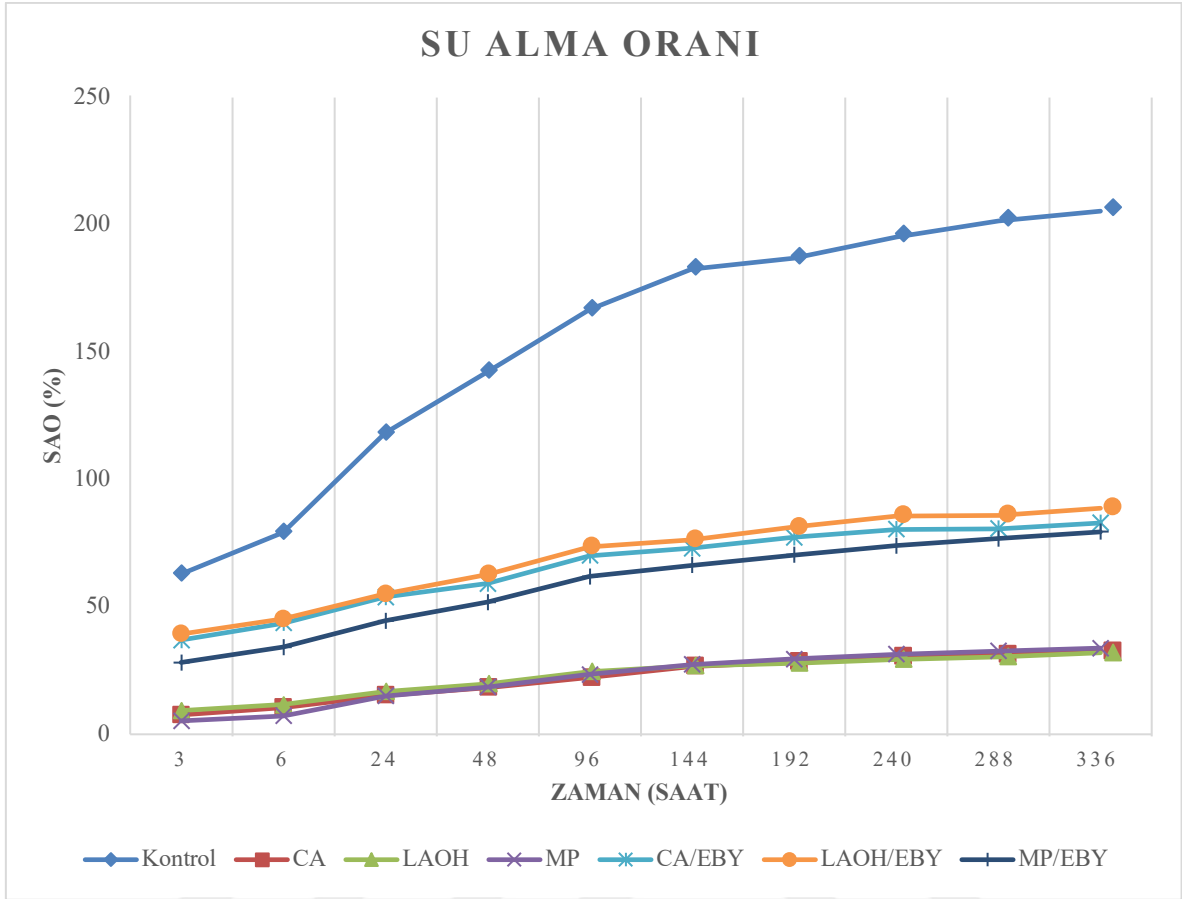
Genel olarak incelendiğinde kimyasallara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesi sonucu emprenye edilen örneklerden yalnızca metil palmitatlı olan örneklerin su alma oranlarında bir düşüş gözlemlenmiştir. Kaprik asit ve lauril alkol için ise epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesi sonucunda su alma oranlarında artış gözlemlenmiştir.

Tablo 16’da kavak numuneleri için Duncan homojenlik grupları verilmiştir. Şekil 36’da ise su alma oranları grafiksel olarak verilmiştir.



Tablo 16. Kavak su alma oranı DUNCAN testi

Varyasyonlar		SAO (%)									
		N	3 saat	6 saat	24 saat	48 saat	96 saat	144 saat	192 saat	240 saat	288 saat
CA	X St, D	7,7 [*]	10,53 ^b	15,32 ^a	18,37 ^a	22,33 ^a	26,65 ^a	28,48 ^a	30,49 ^a	31,3 ^a	32,64 ^a
		0,75	0,88	1,18	1,24	1,67	2,12	2,58	2,84	2,78	3,14
LAOH	X St, D	9,38 ^b	11,72 ^b	16,91 ^a	19,89 ^a	24,72 ^a	26,95 ^a	27,98 ^a	29,51 ^a	30,45 ^a	32,01 ^a
		0,95	1,23	0,78	0,78	0,69	0,66	0,66	0,80	0,85	0,65
MP	X St, D	5,37 ^a	7,32 ^a	15,13 ^a	18,59 ^a	23,58 ^a	27,40 ^a	29,62 ^a	31,49 ^a	32,74 ^a	33,85 ^a
		0,57	0,70	1,13	1,50	2,07	2,45	2,68	2,89	3,15	3,16
CA/EBY	X St, D	37,17 ^d	43,8 ^d	53,89 ^c	59,19 ^c	70,15 ^c	73,07 ^c	77,3 ^c	80,53 ^c	80,74 ^b	82,97 ^b
		3,39	3,59	4,09	4,82	5,96	5,74	5,85	6,15	5,37	5,40
LAOH/EBY	X St, D	39,52 ^e	45,47 ^d	55,24 ^c	62,91 ^d	73,72 ^d	76,5 ^c	81,34 ^d	85,79 ^d	85,98 ^c	88,76 ^c
		3,86	4,38	4,41	3,86	5,43	5,01	6,03	5,98	5,74	6,60
MP/EBY	X St, D	28,38 ^c	34,4 ^c	44,67 ^b	51,91 ^b	61,95 ^b	66,41 ^b	70,47 ^b	74,06 ^b	76,84 ^b	79,47 ^b
		1,89	1,67	2,87	3,47	4,36	5,19	5,62	6,27	6,16	6,27
		*Duncan homojenlik grupları									



Şekil 36. Kavak su alma oranı

336 saat boyunca su içerisinde bekletilen örneklerin 3.saatten 336 saat sonuna kadar elde edilen SAO değerleri şu şekilde bulunmuştur; kaprik asit ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %7,7- 32,64 arasında; lauril alkol ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %9,38- 32,01 arasında; metil palmitat ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %5,37- 33,85 arasında; kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %37,17- 82,97; lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %39,52- 88,76 arasında; metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SAO değerleri %28,38- 79,47 arasında bulunmuştur.

Yapılan istatistiksel analiz sonuçlarına göre gruplar arası farklar bulunmuştur (önem düzeyi< 0,05). İlk 3 saat içinde en düşük su alma oranı metil palmitatla emprenye edilen örneklerde, 336 sonunda en düşük su alma oranı ise lauril alkol ile emprenye edilen örneklerde bulunmuştur.

Kavak numunelerinin emprenyesi sonucu su alma oranları genel olarak incelendiğinde, kimyasallara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesi sonucunda örneklerin su alma oranında artış gözlemlenmiştir.

3.4.2. Su İtici Etkinlik

Örneklerin su itici etkinlik değerlerine (SİE) ait basit varyans analizi sonuçlara sarıçam numuneleri için tablo 17’de; kavak numuneleri için tablo 18’te verilmiştir. Suda bekletme sürelerine bağlı olarak varyasyonlar arasında istatistiksel anlamda fark olup olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 17. Sarıçam SİE için BVA sonuçları

Sarıçam SAO için BVA		Kareler Toplamı	Serbestlik Derecesi	Kareler Ortalaması	F-hesap	Önem Düzeyi
3 sa	G.arası	3398,876	5	679,775	31,321	,000
	G.içi	1171,985	54	21,703		
	Toplam	4570,861	59			
6 sa	G.arası	3563,181	5	712,636	30,262	,000
	G.içi	1271,644	54	23,549		
	Toplam	4834,825	59			
24 sa	G.arası	2517,754	5	503,551	21,262	,000
	G.içi	1278,910	54	23,684		
	Toplam	3796,664	59			
48 sa	G.arası	3497,117	5	699,423	32,282	,000
	G.içi	1169,960	54	21,666		
	Toplam	4667,077	59			
96 sa	G.arası	4487,870	5	897,574	51,727	,000
	G.içi	937,024	54	17,352		
	Toplam	5424,894	59			
144 sa	G.arası	5338,572	5	1067,714	56,057	,000
	G.içi	1028,532	54	19,047		
	Toplam	6367,104	59			

Tablo 17'nin devamı

	G.arası	5501,308	5	1100,262	59,842	,000
192 sa	G.içi	992,850	54	18,386		
	Toplam	6494,158	59			
	G.arası	5599,796	5	1119,959	66,389	,000
240 sa	G.içi	910,968	54	16,870		
	Toplam	6510,763	59			
	G.arası	5737,334	5	1147,467	64,165	,000
288 sa	G.içi	965,684	54	17,883		
	Toplam	6703,018	59			
	G.arası	5557,686	5	1111,537	63,449	,000
336 sa	G.içi	946,001	54	17,519		
	Toplam	6503,687	59			

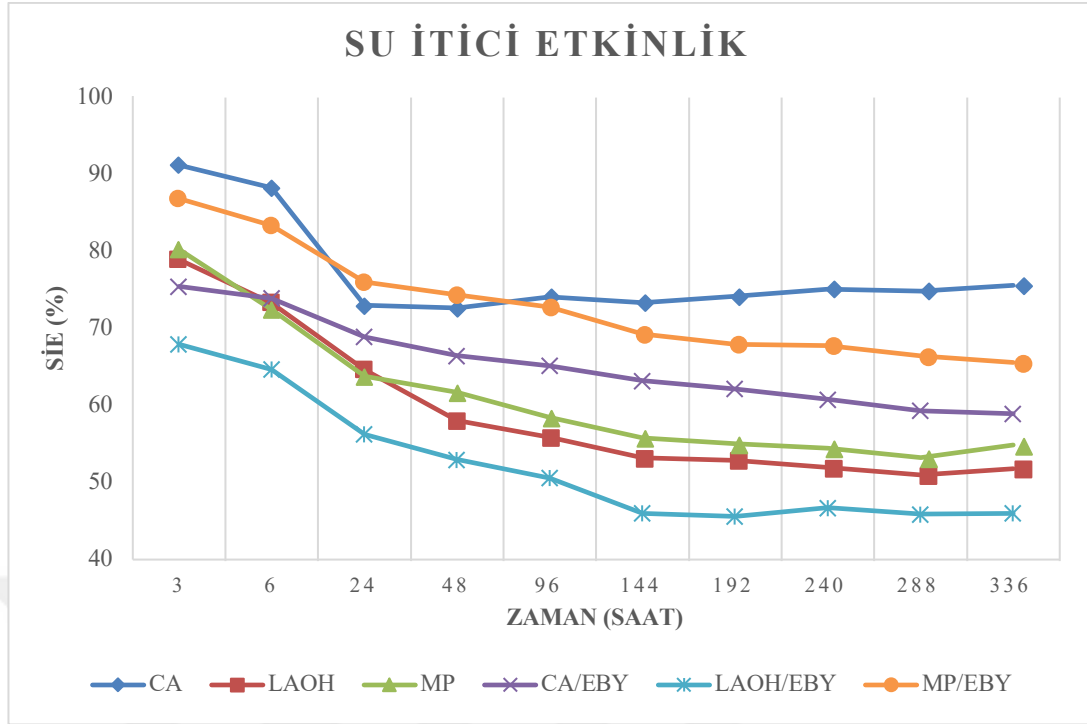
Tablo 18. Kavak SİE için BVA sonuçları

Sarıçam SAO için BVA		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
3 sa	G.arası	30186,038	5	6037,208	457,758	,000
	G.içi	712,186	54	13,189		
	Toplam	30898,224	59			
6 sa	G.arası	24519,208	5	4903,842	497,735	,000
	G.içi	532,025	54	9,852		
	Toplam	25051,233	59			
24 sa	G.arası	13917,164	5	2783,433	492,087	,000
	G.içi	305,445	54	5,656		
	Toplam	14222,609	59			
48 sa	G.arası	11567,898	5	2313,580	517,585	,000
	G.içi	241,377	54	4,470		
	Toplam	11809,275	59			
96 sa	G.arası	11222,884	5	2244,577	409,172	,000
	G.içi	296,225	54	5,486		
	Toplam	11519,109	59			

Tablo 18'in devamı

144 sa	G.arası	9257,868	5	1851,574	386,598	,000
	G.içi	258,628	54	4,789		
	Toplam	9516,495	59			
192 sa	G.arası	9935,837	5	1987,167	357,740	,000
	G.içi	299,958	54	5,555		
	Toplam	10235,795	59			
240 sa	G.arası	9876,023	5	1975,205	347,760	,000
	G.içi	306,709	54	5,680		
	Toplam	10182,732	59			
288 sa	G.arası	9225,960	5	1845,192	380,688	,000
	G.içi	261,737	54	4,847		
	Toplam	9487,698	59			
336 sa	G.arası	9320,103	5	1864,021	356,551	,000
	G.içi	282,307	54	5,228		
	Toplam	9602,410	59			

Basit varyans analizi sonuçlarına bakıldığında, her iki ağaç türü için de, örneklerin suda bekletme süreleri bakımından önem düzeyi %95'in altında çıktığından dolayı istatistiksel anlamda varyasyonlar arasında farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların belirlenmesi amacıyla varyasyonlara ait Duncan homojenlik grupları belirlenmiştir. Tablo 19'da sarıçam numunelerine ait su itici etkinlik (SİE) değerlerinin ortalamaları (X) ve standart sapmaları (St.D) ile birlikte her saat kendi içerisinde değerlendirilerek Duncan homojenlik grupları verilmiştir. Şekil 37'de ise su itici etkinlik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.



Şekil 37. Sarıçam su itici etkinlik

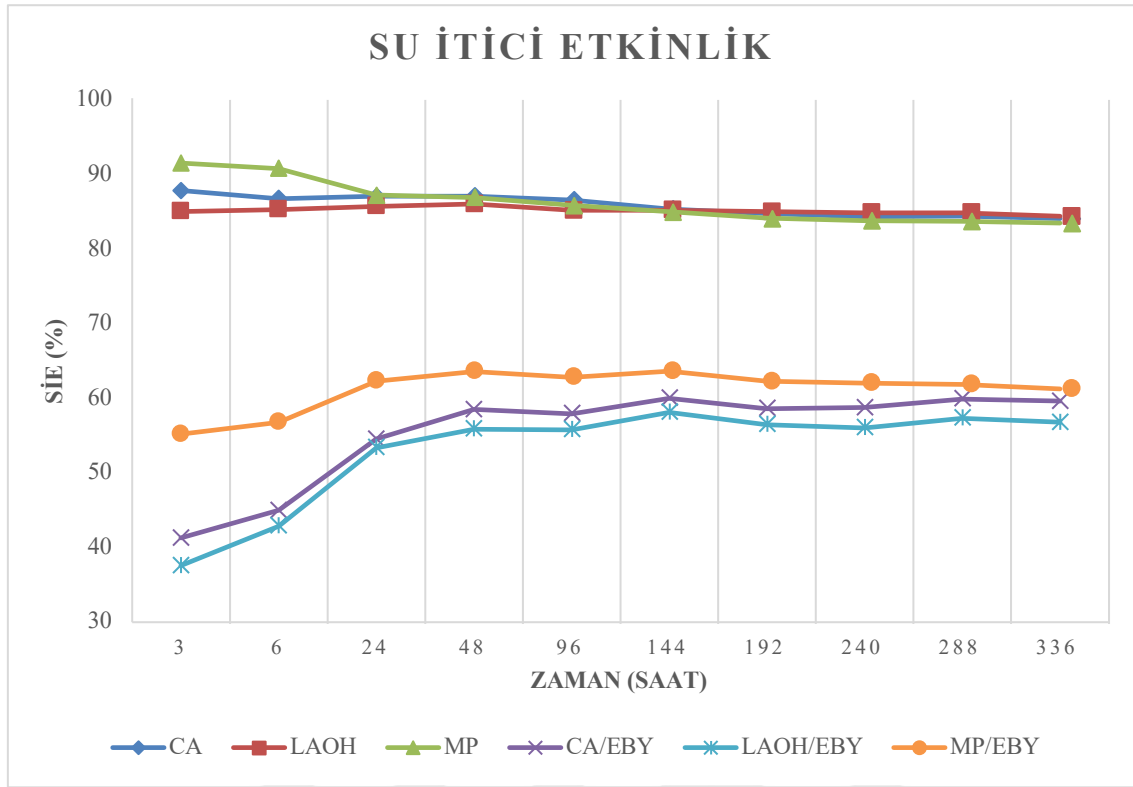
336 saat boyunca su içerisinde bekletilen örneklerin 3.saatten 336 saat sonuna kadar elde edilen SİE değerleri şu şekilde bulunmuştur; kaprik asit ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %91,23- 75,66 arasında; lauril alkol ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %78,96- 51,92 arasında; metil palmitat ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %80,29- 54,93 arasında; kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %75,48- 59,00 arasında; lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %67,96- 46,07 arasında; metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %86,88- 65,67 arasında bulunmuştur.

336 saat sonunda en yüksek su itici etkinlik değeri kaprik asit ile emprenye edilen numunelerde (%76,66) elde edilmiştir. Lauril alkol ve metil palmitat ile emprenye edilen numuneler arasında istatistiksel olarak bir fark bulunmamıştır.

En düşük su itici etkinlik değeri metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen numunelerde (%46,07) elde edilmiştir. Tüm epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmiş varyasyonlarda, %100 konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında, su itici etkinlik değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 20’de kavak numuneleri için Duncan homojenlik grupları verilmiştir. Şekil 38’de ise su itici etkinlik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.





Şekil 38. Kavak su itici etkinlik

336 saat boyunca su içerisinde bekletilen örneklerin 3.saatten 336 saat sonuna kadar elde edilen SİE değerleri şu şekilde bulunmuştur; kaprik asit ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %87,86- 84,11 arasında; lauril alkol ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %85,06- 84,42 arasında; metil palmitat ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %91,54- 83,52 arasında; kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %41,36- 59,61 arasında; lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %37,66-56,79 arasında; metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin SİE değerleri %55,23- 61,31 arasında bulunmuştur.

336 saat sonunda en yüksek su itici etkinlik değeri lauril alkol ile emprenye edilen numunelerde (%84,42) elde edilmiştir. Kaprik asit (%84,11°), lauril alkol (%84,42°) ve metil palmitat (%83,52°) ile emprenye edilen örnekler arasında istatistiksel anlamda bir fark bulunmamıştır.

En düşük su itici etkinlik değeri lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen numunelerde (%56,79) elde edilmiştir. Tüm epoksitlendirilmiş bezir yağı

eklenmiş varyasyonlarda, %100 konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında, su itici etkinlik değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Su alma ve boyutsal kararlılık testleri genel olarak incelendiğinde, kimyasallara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesi ile su alma oranlarında azalma gözlemlenmediği ancak EBY eklenmiş karışımların boyutsal stabiliteyi sağladığı gözlemlenmiştir.

3.4.3. Genişlemeyi Önleyici Etkinlik

Örneklerin genişlemeyi önleyici etkinlik (GÖE) değerlerine ait basit varyans analizi sonuçlara sarıçam numuneleri için tablo 21’de; kavak numuneleri için tablo 22’de verilmiştir. Suda bekletme sürelerine bağlı olarak varyasyonlar arasında istatistiksel anlamda fark olup olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 21. Sarıçam GÖE için BVA sonuçları

Sarıçam SAO için BVA		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
3 sa	G.arası	10061,713	5	2012,343	78,240	,000
	G.içi	1388,895	54	25,720		
	Toplam	11450,608	59			
6 sa	G.arası	16955,880	5	3391,176	105,413	,000
	G.içi	1737,201	54	32,170		
	Toplam	18693,081	59			
24 sa	G.arası	38301,877	5	7660,375	133,174	,000
	G.içi	3106,173	54	57,522		
	Toplam	41408,050	59			
48 sa	G.arası	41439,279	5	8287,856	149,646	,000
	G.içi	2990,682	54	55,383		
	Toplam	44429,961	59			
96 sa	G.arası	45472,511	5	9094,502	130,099	,000
	G.içi	3774,833	54	69,904		
	Toplam	49247,343	59			
144 sa	G.arası	42894,813	5	8578,963	142,633	,000
	G.içi	3247,940	54	60,147		
	Toplam	46142,753	59			

Tablo 21'in devamı

	G.arası	39346,341	5	7869,268	79,051	,000
192 sa	G.ıç	5375,542	54	99,547		
	Toplam	44721,884	59			
	G.arası	42568,315	5	8513,663	115,694	,000
240 sa	G.ıç	3973,729	54	73,588		
	Toplam	46542,044	59			
	G.arası	44273,069	5	8854,614	108,164	,000
288 sa	G.ıç	4420,584	54	81,863		
	Toplam	48693,654	59			
	G.arası	45375,706	5	9075,141	117,715	,000
336 sa	G.ıç	4163,089	54	77,094		
	Toplam	49538,794	59			

Tablo 22. Kavak GÖE için BVA sonuçları

Kavak GÖE için BVA		Kareler Top.	Ser. Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
3 sa	G.arası	8101,877	5	1620,375	23,293	,000
	G.ıçı	3756,462	54	69,564		
	Toplam	11858,339	59			
6 sa	G.arası	13687,269	5	2737,454	35,960	,000
	G.ıçı	4110,725	54	76,125		
	Toplam	17797,993	59			
24 sa	G.arası	39621,600	5	7924,320	121,268	,000
	G.ıçı	3528,659	54	65,346		
	Toplam	43150,260	59			
48 sa	G.arası	43031,651	5	8606,330	278,973	,000
	G.ıçı	1665,900	54	30,850		
	Toplam	44697,551	59			
96 sa	G.arası	45241,873	5	9048,375	326,703	,000
	G.ıçı	1495,587	54	27,696		
	Toplam	46737,460	59			

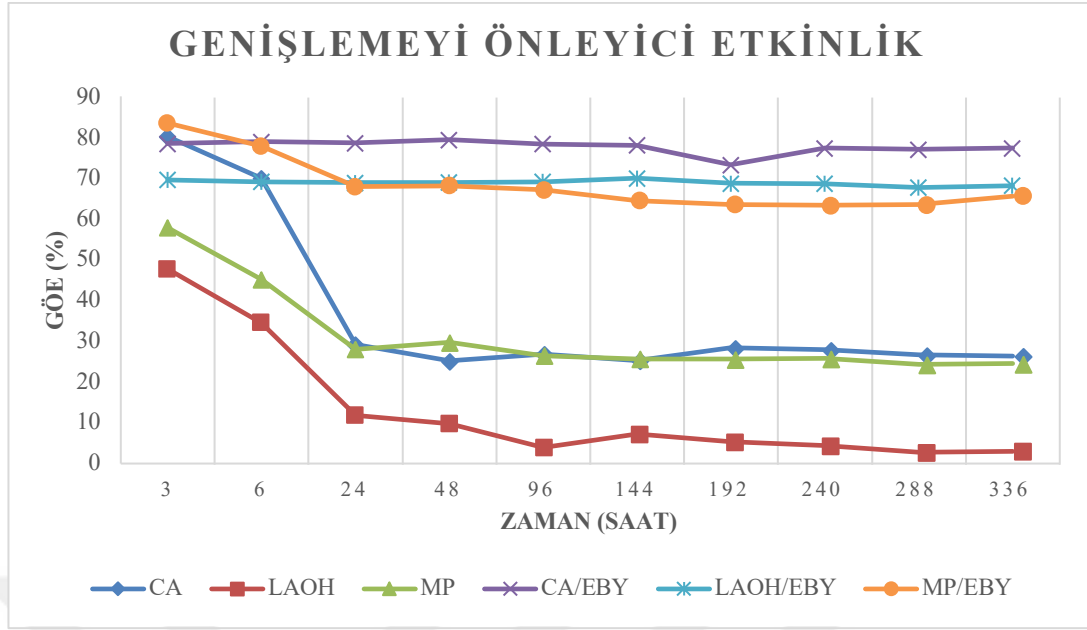
Tablo 22'nin devamı

	G.arası	49234,402	5	9846,880	297,124	,000
144 sa	G.içi	1789,594	54	33,141		
	Toplam	51023,996	59			
	G.arası	49614,213	5	9922,843	249,336	,000
192 sa	G.içi	2149,041	54	39,797		
	Toplam	51763,254	59			
	G.arası	56394,033	5	11278,807	225,265	,000
240 sa	G.içi	2703,734	54	50,069		
	Toplam	59097,767	59			
	G.arası	47169,056	5	9433,811	67,224	,000
288 sa	G.içi	7578,045	54	140,334		
	Toplam	54747,101	59			
	G.arası	54144,390	5	10828,878	244,988	,000
336 sa	G.içi	2386,890	54	44,202		
	Toplam	56531,281	59			

Basit varyans analizi sonuçlarına bakıldığında, her iki ağaç türü için de, örneklerin suda bekletme süreleri bakımından önem düzeyi %95'in altında çıktığından dolayı istatistiksel anlamda varyasyonlar arasında farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların belirlenmesi amacıyla varyasyonlara ait Duncan homojenlik grupları belirlenmiştir. Tablo 23'te numunelere ait genişlemeyi önleyici etkinlik (GÖE) değerlerinin ortalamaları (X) ve standart sapmaları (St.D) ile birlikte her saat kendi içerisinde değerlendirilerek Duncan homojenlik grupları verilmiştir. Şekil 39'da ise genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 23. Sarıçam GÖE için Duncan testi

VARYASYONLAR		GÖE (%)										
		N	3 sa	6 sa	48 sa	48 sa	96 sa	144 sa	192 sa	240 sa	288 sa	336 sa
CA	X	10	80,41 ^{de*}	70,17 ^c	29,45 ^b	25,45 ^b	27,13 ^b	25,53 ^b	28,65 ^b	28,15 ^b	26,86 ^b	26,64 ^b
	St,D		3,31	2,44	4,66	5,17	10,64	6,24	10,76	10,33	10,48	10,36
LAOH	X	10	47,85 ^a	34,64 ^a	11,99 ^a	9,98 ^a	4,12 ^a	7,36 ^a	5,44 ^a	4,55 ^a	2,92 ^a	3,15 ^a
	St,D		6,00	10,10	13,67	14,06	15,26	14,61	15,20	14,64	16,37	15,82
MP	X	10	58,00 ^b	45,31 ^b	28,23 ^b	29,85 ^b	26,65 ^b	25,89 ^b	25,8 ^b	25,92 ^b	24,5 ^b	24,67 ^b
	St,D		4,11	4,35	5,10	4,43	3,00	5,01	4,64	5,03	4,56	3,97
CA/EBY	X	10	78,66 ^d	79,15 ^d	78,84 ^d	79,65 ^d	78,61 ^d	78,24 ^d	73,5 ^d	77,54 ^d	77,27 ^d	77,56 ^d
	St,D		5,15	3,93	5,37	6,26	4,51	5,10	12,69	5,05	5,64	5,89
LAOH/EBY	X	10	69,75 ^c	69,33 ^c	69,07 ^c	69,19 ^c	69,32 ^c	70,18 ^c	68,88 ^{cd}	68,83 ^c	67,89 ^c	68,35 ^c
	St,D		7,01	5,26	7,87	6,47	5,62	6,33	6,65	6,62	6,48	5,84
MP/EBY	X	10	83,74 ^e	78,05 ^d	68,09 ^c	68,37 ^c	67,37 ^c	64,75 ^c	63,80 ^c	63,6 ^c	63,71 ^c	65,81 ^c
	St,D		3,85	4,80	4,44	2,65	3,51	4,16	4,87	5,07	4,35	4,50
*Duncan homojenlik grupları												



Şekil 39. Sarıçam genişlemeyi önleyici etkinlik

336 saat boyunca su içerisinde bekletilen örneklerin 3.saatten 336 saat sonuna kadar elde edilen GÖE değerleri şu şekilde bulunmuştur; kaprik asit ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %80,41- 26,64 arasında; lauril alkol ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %47,85- 3,15 arasında; metil palmitat ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %58,00- 24,67 arasında; kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %78,66- 77,56 arasında; lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %69,75- 68,35 arasında; metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %83,74- 65,81 arasında bulunmuştur.

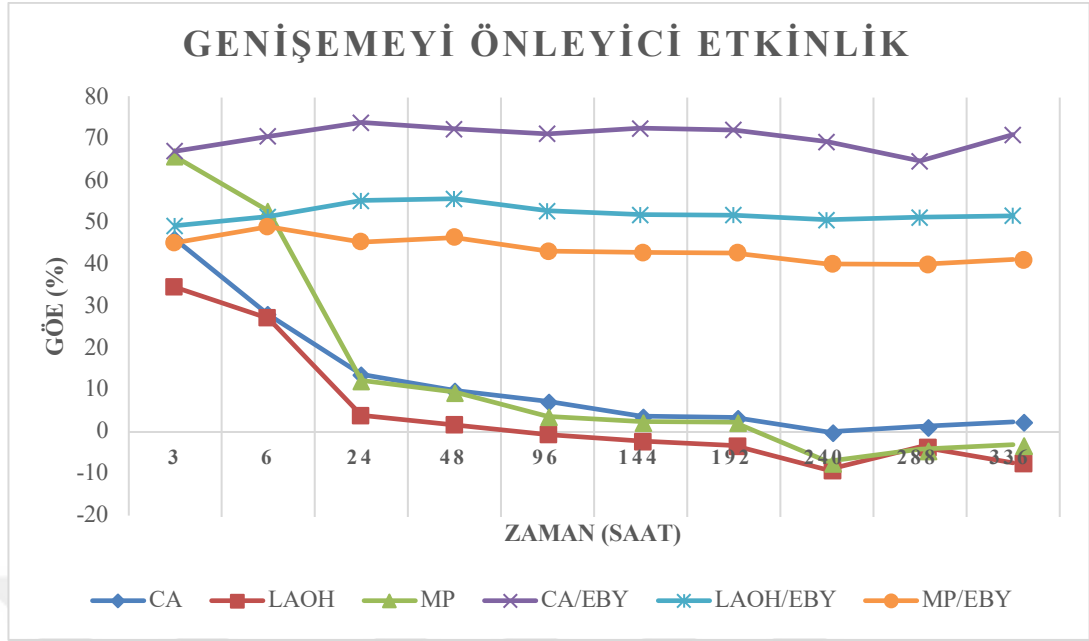
336 saat suda bekletme süresi sonunda en yüksek genişlemeyi önleyici etkinlik değeri kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen numunelerde (%77,56) bulunmuştur. 336 saat suda bekletme süresi sonunda en düşük genişlemeyi önleyici etkinlik değeri ise lauril alkol ile emprenye edilen numunelerde (%3,15) bulunmuştur.

Tüm epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmiş varyasyonlarda, %100 konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında, su itici etkinlik değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Tablo 24'te kavak numuneleri için Duncan homojenlik grupları verilmiştir. Şekil 40'ta ise genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri grafiksel olarak verilmiştir.

Tablo 24. Kavak GÖE için Duncan testi

VARYASYONLAR		GÖE (%)										
		N	3 sa	6 sa	48 sa	48 sa	96 sa	144 sa	192 sa	240 sa	288 sa	336 sa
CA	X	10	46,08 ^{b*}	28,15 ^a	13,85 ^b	10,00 ^b	7,45 ^b	3,89 ^b	3,62 ^b	0,19 ^b	1,45 ^a	46,08 ^{b*}
	St,D		8,74	7,08	5,46	6,02	4,96	5,39	4,77	7,31	6,66	8,74
LAOH	X	10	34,62 ^a	27,25 ^a	4,04 ^a	1,81 ^a	-0,49 ^a	-2,11 ^a	-3,15 ^a	-8,91 ^a	-3,44 ^a	34,62 ^a
	St,D		14,78	16,65	5,33	6,90	6,03	5,74	7,75	6,96	19,23	14,78
MP	X	10	65,86 ^c	52,90 ^b	12,45 ^b	9,75 ^b	3,96 ^{ab}	2,64 ^{ab}	2,62 ^b	-6,79 ^a	-3,94 ^a	65,86 ^c
	St,D		3,21	5,47	4,38	4,18	4,65	4,51	4,59	6,16	5,30	3,21
CA/EBY	X	10	67,20 ^c	70,75 ^c	74,06 ^c	72,47 ^c	71,32 ^c	72,67 ^c	72,27 ^c	69,42 ^c	64,87 ^d	67,20 ^c
	St,D		4,75	6,81	9,87	2,30	5,33	6,54	8,05	7,47	17,94	4,75
LAOH/EBY	X	10	49,37 ^b	51,56 ^b	55,39 ^d	55,80 ^d	52,90 ^d	52,01 ^d	51,92 ^d	50,73 ^d	51,40 ^c	49,37 ^b
	St,D		7,68	5,88	7,16	3,63	3,83	4,26	4,06	5,31	5,00	7,68
MP/EBY	X	10	45,27 ^b	49,10 ^b	45,51 ^c	46,52 ^c	43,29 ^c	42,92 ^c	42,87 ^c	40,28 ^c	40,13 ^b	45,27 ^b
	St,D		5,56	4,32	12,89	8,08	6,36	7,46	7,32	8,76	7,28	5,56
*Duncan homojenlik grupları												



Şekil 40. Kavak genişlemeyi önleyici etkinlik

336 saat boyunca su içerisinde bekletilen örneklerin 3.saatten 336 saat sonuna kadar elde edilen GÖE değerleri şu şekilde bulunmuştur; kaprik asit ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %46,08- 2,59 arasında; lauril alkol ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %34,62 ile -7,21 arasında; metil palmitat ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %65,86 ile -2,76 arasında; kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %67,20- 71,16 arasında; lauril alkol ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %49,37- 51,79 arasında; metil palmitat ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen örneklerin GÖE değerleri %45,27- 41,24 arasında bulunmuştur.

336 saat suda bekletme süresi sonunda en yüksek genişlemeyi önleyici etkinlik değeri kaprik asit ve epoksitlendirilmiş bezir yağı ile emprenye edilen numunelerde (%71,16) bulunmuştur. 336 saat suda bekletme süresi sonunda en düşük genişlemeyi önleyici etkinlik değeri ise lauril alkol ile emprenye edilen numunelerde (%-7,21) bulunmuştur.

Şekil 30 ve şekil 31’de görüldüğü üzere genişlemeyi önleyici etkinlik değerleri örneklerin suda bekletme değerleri arttıkça genelde beklenildiği gibi azalmıştır.

Tüm epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmiş varyasyonlarda, %100 konsantrasyonları ile karşılaştırıldığında, su itici etkinlik değerleri daha yüksek bulunmuştur.

Temiz vd. (2020) sarıçam odununu kaprik asit ve stearik asit (ağırlıkça %83:17) ötektik karışımı ile emprenyesi sonrası kontrol örneklerinin su alımının 3 saat sonunda %30.72 iken FDM ile emprenyeli örneklerin aynı süre sonunda su alımın %4.03 olduğunu belirlemişlerdir. 264 saat suda bekletme sonucunda kontrol örneklerinin su alımı %80.32 iken FDM ile emprenyeli örneklerin aynı periyod sonundaki su alımı ise %20.16 bulunmuştur. Bu veriler ışığında ise yağ asidi FDM'lerin oduna sadece termal enerji depolama özelliği kazandırmayıp aynı zamanda odunu tahrip eden mantarların rutubet isteklerinin altına indirilebilecek hidrofobiliği sağlayabildiğine değinmişlerdir. Aynı çalışmada FDM ile emprenyeli odunun genişlemeyi önleyici etkinlik değerini 3 saat sonunda %70.21'iken 264 saat suda bekletme sonucunda %48.02 olarak belirlemişlerdir.

Xu vd. (2020) sol-jel yöntemiyle çam odununu silika ile stabilize edilmiş polietilen glikol (PEG) ile emprenye ettikten sonra su itici etkinlik değerlerinin kontrole kıyasla iyileştirildiğini gözlemlemişlerdir. Varyasyonlarda PEG'in konsantrasyonu arttıkça daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek SİE değerleri difüzyon işleminin uygulanmasından sonra (SİE %90,24) tespit edilmiştir.

Amini vd. (2022) sarıçam odununu kaprik asitin farklı konsantrasyonlarda (%20, %40, %60 ve %80) emprenyesi sonrasında su alma oranlarının konsantrasyon arttıkça azaldığını gözlemlemişlerdir. Bunun nedeninin ise odunun boşluklarının daha çok konsantrasyonda FDM ile doldurulması sonucunda suyun gireceği boşluk oranının azalması ve dolayısıyla su alma oranının da azalmasına yol açtığını vurgulamışlardır. Su itici etkinlik değerlerinin ise konsantrasyon arttıkça arttığını belirlemişlerdir.

3.5. Mekanik Özellikler

Başlık 2.8. 'de verilen formüller yardımıyla tüm örneklerin eğilme direnci (ED) eğilmede elastikiyet modülü (EEM) ve liflere paralel basınç (LPB) özellikleri ölçülen emprenyeli sarıçam ve kavak odunu numunelerinin değerleri için her ağaç türü kendi içinde değerlendirilerek, aralarında istatistiksel anlamda fark olup olmadığı basit varyans analizi yapılarak belirlenmiştir. Aşağıdaki başlıklarda her mekanik test için sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

3.5.1. Eğilme Direnci

CA/Sarıçam, LAOH/Sarıçam ve MP/Sarıçam ve CA/Kavak, LAOH/Kavak ve MP/Kavak gruplarının kendi içlerinde eğilme dirençleri (ED) arasında anlamlı bir fark olup olmadığı araştırılırken aşağıdaki hipotezlerden yararlanılmıştır;

H₀: Biyolojik faz değiştiren maddeler (CA, LAOH, MP) ile empenye edilen sarıçam odunu numunelerinin eğilme dirençleri ortalamaları arasında fark yoktur.

H₁: Biyolojik faz değiştiren maddeler (CA, LAOH, MP) ile empenye edilen sarıçam odunu numunelerinin eğilme dirençlerinde en az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Ya da kavak odunu için;

H₀: Biyolojik faz değiştiren maddeler (CA, LAOH, MP) ile empenye edilen kavak odunu numunelerinin eğilme dirençleri ortalamaları arasında fark yoktur.

H₁: Biyolojik faz değiştiren maddeler (CA, LAOH, MP) ile empenye edilen kavak odunu numunelerinin eğilme dirençlerinde en az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Emprenyeli sarıçam odunu numunelerine ait BVA analiz sonuçları tablo 25'te; kavak odunu numunelerine ait BVA analiz sonuçları ise tablo 26'da verilmiştir. BVA sonuçları incelendiğinde her iki ağaç türü için de istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığına (önem düzeyi > 0.05) yani H₀ hipotezinin kabul edildiği gözlemlenmiştir.

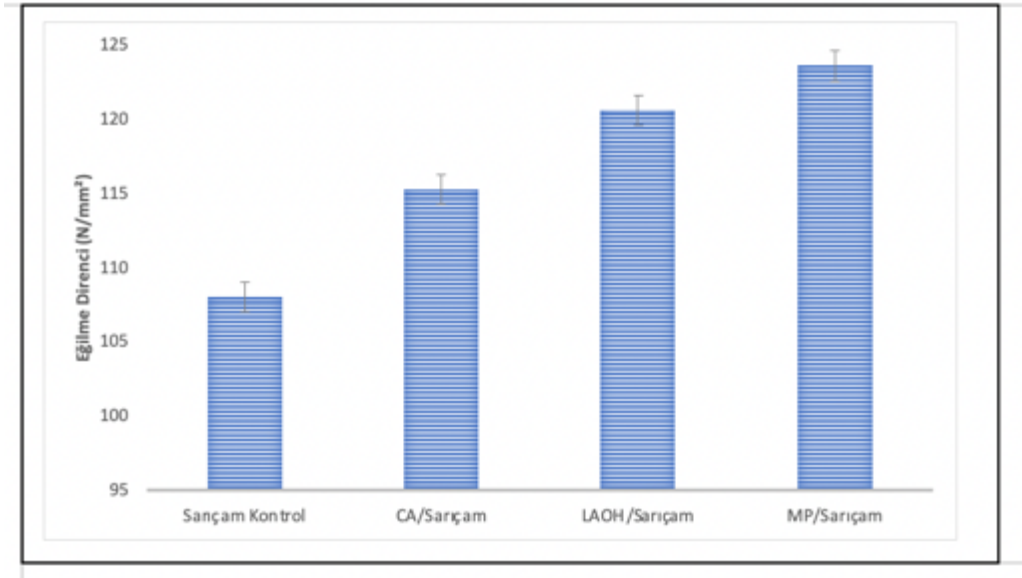
Tablo 25. Sarıçam Eğilme Dirençleri için BVA

S-ED BVA	İçin Top.	Kareler	Ser.Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
G.arası	372,286	3		124,095	,213	,887
G.içi	20990,029	36		583,056		
Toplam	21362,315	39				

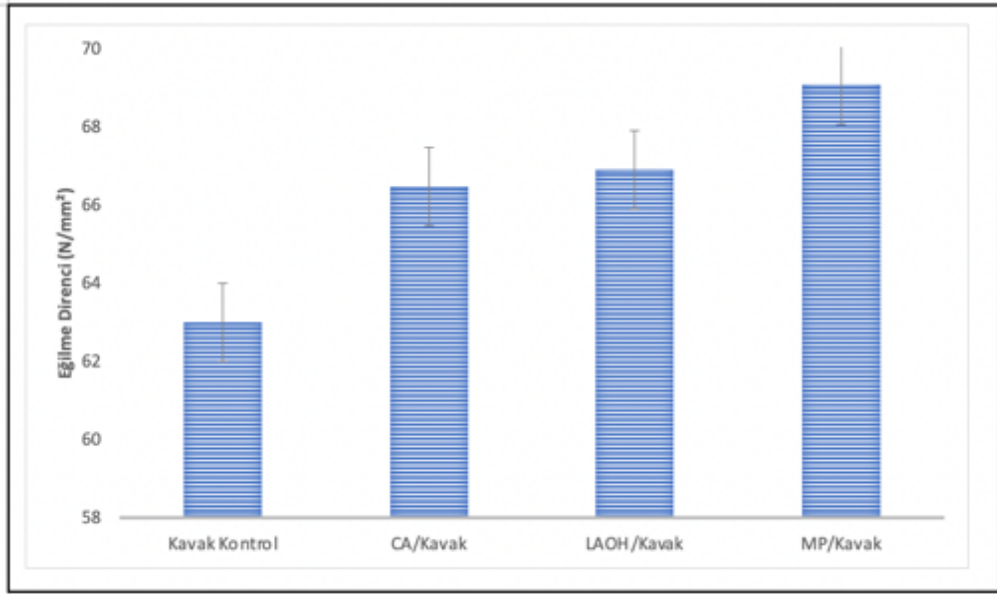
Tablo 26. Kavak Eğilme Dirençleri için BVA

K-ED BVA	İçin	Kareler Top.	Ser.Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
G.arası		67,818	3	22,606	1,438	,248
G.içi		565,792	36	15,716		
Toplam		633,610	39			

Emprenyeli örneklerin ve kontrol örneklerinin eğilme dirençlerine ait değişim grafiği sarıçam odunu numuneleri şekil 41’de; kavak odunu numuneleri için ise şekil 42’de verilmiştir.



Şekil 41. Sarıçam odunu numunelerine ait ED değerleri



Şekil 42. Kavak odunu numunelerine ait ED değerleri

Tüm varyasyonların E.D. değerleri ise tablo 27’de standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 27. Tüm varyasyonlara ait ED değerleri

Varyasyon	E.D. (N/mm ²)	Standart Sapma
Sarıçam Kontrol	118,29	2,84
CA/Sarıçam	115,26	3,13
LAOH/Sarıçam	120,59	5,48
MP/Sarıçam	123,58	2,79
Kavak Kontrol	63,52	2,32
CA/Kavak	66,46	4,22
LAOH/Kavak	66,89	3,20
MP/Kavak	69,06	5,42

Sarıçam odunu için en düşük ED değeri CA/Sarıçam’da (115,26 N/mm²) tespit edilmiştir. MP/Sarıçam’ın (123,58 N/mm²) LAOH/Sarıçam’dan (120,59 N/mm²) daha yüksek çıkmasına rağmen tüm varyasyonların arasında istatistiksel olarak fark bulunamamıştır. Kavak odunu için ise tüm emprenyeli değerlerin kontrol örneğinden daha yüksek çıkmasıyla birlikte en düşük CA/Kavak (66,46 N/mm²) ve en yüksek MP/Kavak

(69,06 N/mm²) için ölçülmüştür ve tüm varyasyonlar arasında istatistik olarak fark bulunamamıştır.

3.5.2. Elastikiyet Modülü

Her ağaç türünün kendi içinde eğilmede elastikiyet modülü (EEM) ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığı BVA analizi ile incelenmiştir. Aşağıdaki hipotezlerden yararlanılmıştır;

H₀: Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen sarıçam odunu numunelerinin eğilme direnci değerleri ortalamaları arasında fark yoktur.

H₁: Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen sarıçam odunu numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde en az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Ya da kavak odunu için;

H₀: Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen kavak odunu numunelerinin eğilme direnci değerleri ortalamaları arasında fark yoktur.

H₁: Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen kavak odunu numunelerinin eğilmede elastikiyet modülü değerlerinde en az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Emprenyeli sarıçam odunu numunelerine ait BVA analiz sonuçları Tablo 28’de verilmiştir ilgili tabloya bakıldığında değerler arasında anlamlı bir fark olmadığı (önem düzeyi > 0.05) yani H₀ hipotezinin kabul edildiği gözlemlenmiştir.

Tablo 28. Sarıçam Elastikiyet Modülü için BVA

S-EEM için BVA	Kareler Top.	Ser.Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
G.arası	345353982,776	3	115117994,259	1,342	,276
G.içi	3087498546,429	36	85763848,512		
Toplam	3432852529,205	39			

Sarıçam EEM ortalama değerleri standart sapmaları ile birlikte Tablo 29’da verilmiştir. Bu tabloya göre, en yüksek EEM değeri MP/Sarıçam (18309,78 N/mm²) varyasyonunda bulunmuştur en düşük değer ise CA/Sarıçam’da (15782,23 N/mm²) tespit edilmiştir. Ancak tüm varyasyonlar arasında istatistiksel olarak bir fark bulunamamıştır.

Tablo 29. Sarıçam EEM

Varyasyon	E.E.M. (N/mm ²)	Standart Sapma
Sarıçam Kontrol	13062,36	3154,61
CA/Sarıçam	15782,23	3582,48
LAOH/Sarıçam	18309,78	3394,42
MP/Sarıçam	18129,58	4690,64

Kavak odunu numunelerine ait BVA analiz sonucu tablo 30’da verilmiştir. Analiz sonucuna bakıldığında önem düzeyi %95’in altında çıktığından dolayı istatistiksel anlamda varyasyonlar arasında farklılıklar bulunmuştur. Bu farklılıkların belirlenmesi amacıyla varyasyonlara ait Duncan homojenlik grupları belirlenmiştir. Tablo 31’de numunelere ait elastikiyet modülü değerleri ortalaması ve standart sapmaları ile birlikte verilmiştir. Şekil 43 ve şekil 44’de ise her iki ağaç türüne ait elastikiyet modülü değerleri grafiksel olarak verilmiştir.

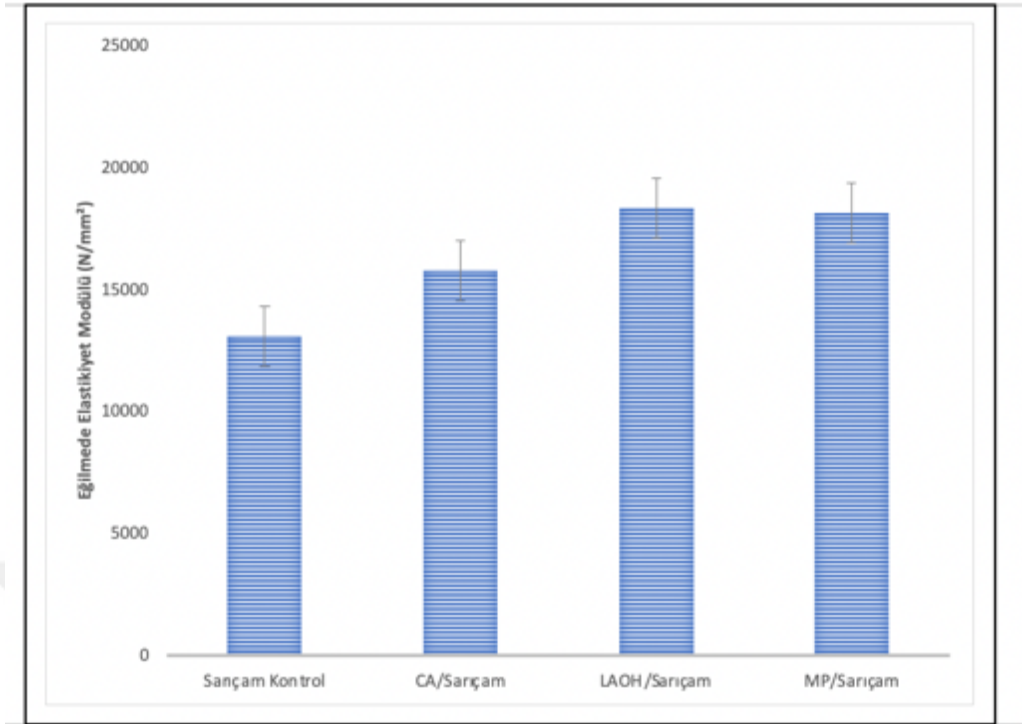
Tablo 30. Kavak Elastikiyet Modülü için BVA

K-EEM için BVA	Kareler Top.	Ser.Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
G.arası	42026653,768	3	14008884,589	2,411	0,01
G.içi	209179071,225	36	5810529,756		
Toplam	251205724,993	39			

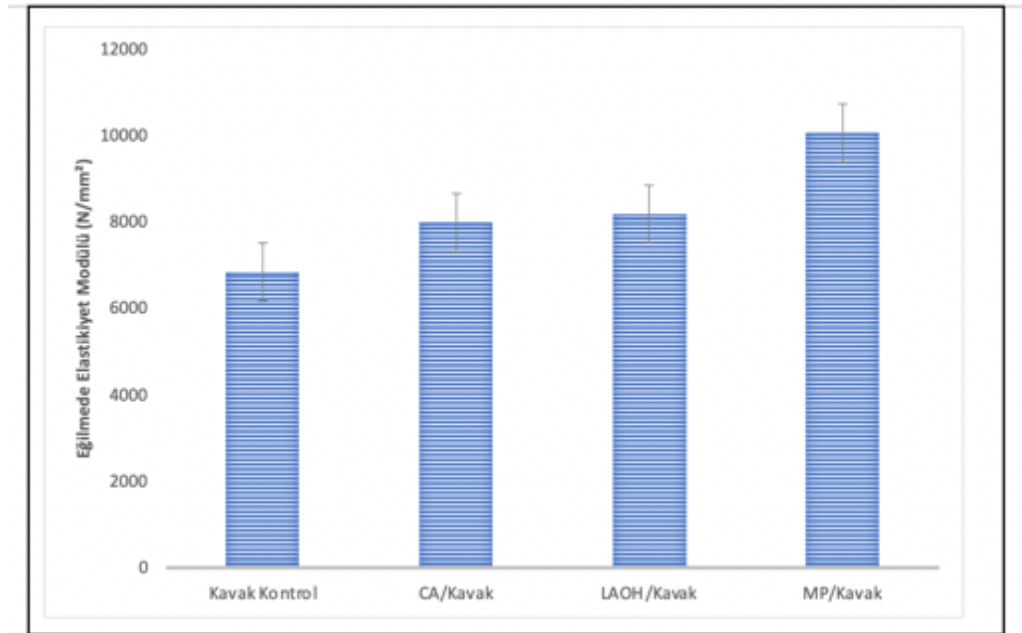
Tablo 31. Kavak Elastikiyet Modülü için Duncan Testi

Varyasyonlar	EEM (N/mm²)	EEM HG
CA/Kavak	7983,21 (1643,58)	A
LAOH/Kavak	8173,21 (1389,22)	AB
MP/Kavak	10069,45 (1786,28)	B
Kontrol	6838,74 (1647,58)	A
*Parantez içindeki değerler standart sapmayı göstermektedir.		

Kavak odunu için EEM değerleri incelendiğinde en yüksek değer MP/Kavak (10069,45 N/mm²) için ölçülürken en düşük değer CA/Kavak (7983,21 N/mm²) için tespit edilmiştir. CA/Kavak ve kontrol örnekleri arasında istatistiksel olarak bir fark bulunamamıştır.



Şekil 43. Sarıçam odunu numunelerine ait EEM değerleri



Şekil 44. Kavak odunu numunelerine ait EEM değerleri

3.5.3. Liflere Paralel Basınç Direnci

Her ağaç türünün kendi içinde liflere paralel basınç direnci (LPBD) ortalamaları arasında anlamlı bir fark olup olmadığı BVA analizi ile incelenmiştir. Aşağıdaki hipotezlerden yararlanılmıştır;

H_0 : Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen sarıçam odunu numunelerinin basınç direnci değerleri ortalamaları arasında fark yoktur.

H_1 : Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen sarıçam odunu numunelerinin basınç direnci değerlerinde en az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Ya da kavak odunu için;

H_0 : Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen kavak odunu numunelerinin basınç direnci değerleri ortalamaları arasında fark yoktur.

H_1 : Biyolojik faz değiştiren maddeler ile emprenye edilen kavak odunu numunelerinin basınç direnci değerlerinde en az iki ortalama arasında anlamlı bir farklılık vardır.

Emprenyeli odun örneklerine ait BVA analiz sonuçları sarıçam odunu numuneleri için Tablo 32’de; kavak odunu numuneleri için ise tablo 34’te verilmiştir.

Tablo 32. Sarıçam LPBD değerleri için BVA

S-LPBD için BVA	Kareler Top.	Ser.Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
G.arası	131,166	3	43,722	1,803	,164
G.içi	873,740	36	24,271		
Toplam	1004,906	39			

Tablo 33. Kavak LPBD değerleri için BVA

K-LPBD için BVA	Kareler Top.	Ser.Der.	Kareler Ort.	F-hesap	Önem Düz.
G.arası	844,736	3	281,579	258,038	,000
G.içi	39,284	36	1,091		
Toplam	884,020	39			

BVA sonuçları incelendiğinde sarıçam odunu numuneleri için istatistiksel olarak anlamlı bir fark olmadığı yani H_0 hipotezinin kabul edildiği gözlemlenmiştir. Kavak odunu numunelerinde ise önem düzeyi %95'in altında çıktığından dolayı istatistiksel anlamda varyasyonlar arasında farklılıklar bulunmuştur yani H_1 hipotezi kabul edilmiştir. Bu farklılıkların belirlenmesi amacıyla varyasyonlara ait Duncan homojenlik grupları belirlenmiştir. Tüm varyasyonların LPBD değerleri ise tablo x'te standart sapmalarıyla birlikte verilmiştir.

Tablo 34. Tüm varyasyonlara ait LPBD değerleri ve homojenlik grupları

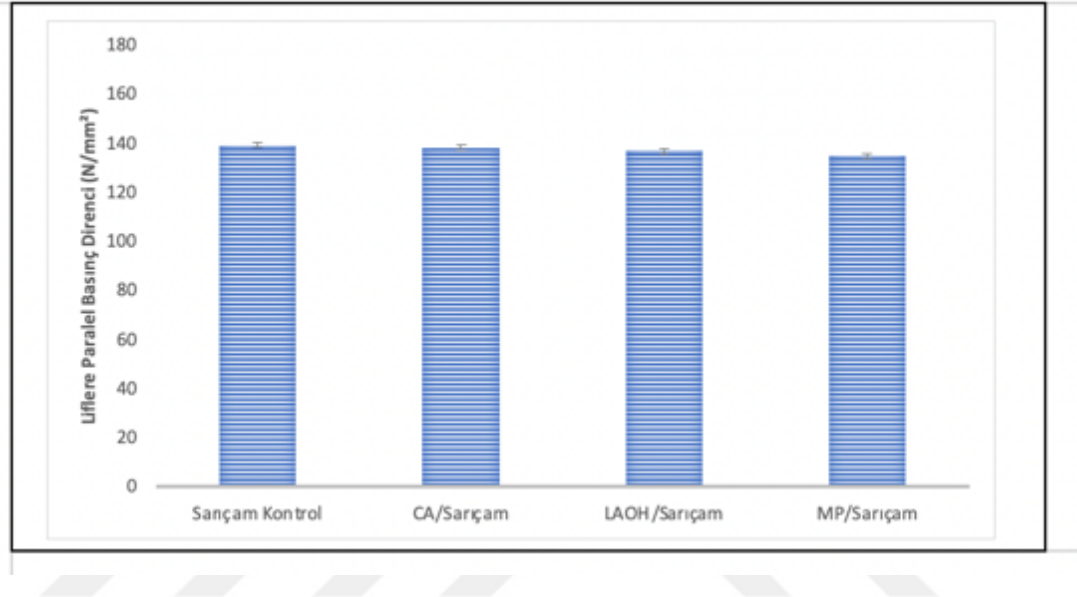
Varyasyon	L.P.B.D. (N/mm²)	Standart Sapma	H.G.**
Sarıçam Kontrol	139,43	4,94	*
CA/Sarıçam	138,12	4,19	*
LAOH/Sarıçam	136,64	5,73	*
MP/Sarıçam	134,66	4,55	*
Kavak Kontrol	68,81	0,52	A
CA/Kavak	77,75	0,87	C
LAOH/Kavak	73,73	1,17	B
MP/Kavak	81,36	1,37	D

*İstatistiksel anlamda aralarında anlamlı bir fark yoktur.

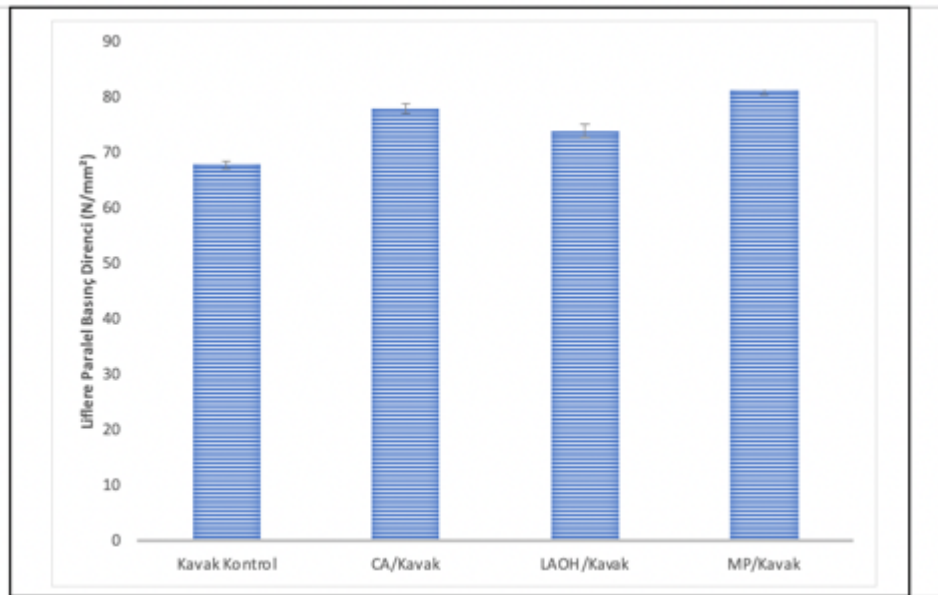
**H.G. Duncan testi homojenlik grupları

Tablo incelendiğinde, sarıçam odunu numunelerinde CA/Sarıçam (138,14 N/mm²) , LAOH/Sarıçam (136,64 N/mm²) ve MP/Sarıçam (134, 66 N/mm²) varyasyonlarının hepsi kontrol örneklerinin ortalamasından (139,55 N/mm²) daha düşük LPBD değerleri tespit

edilmiştir. Kavak odunu numunelerinde ise en yüksek LPBD değeri MP/Sarıçam'da (81,36 N/mm²) gözlemlenirken en düşük değer ise LAOH/Kavak'ta (73,73 N/mm²) gözlemlenmiştir. Emprenyeli örneklerin ve kontrol örneklerinin basınç dirençlerine ait değişim grafiği sarıçam odunu numuneleri şekil 45'te; kavak odunu numuneleri için ise şekil 46'da verilmiştir.



Şekil 45. Sarıçam odunu numunelerine ait LPBD değerleri



Şekil 46. Kavak odunu numunelerine ait LPBD değerleri

Temiz vd. (2020) yapmış oldukları çalışmada, sarıçam odununu FDM olarak kaprik asit ve stearik asit (ağırlıkça %83:17) ötektik karışımı ile emprenyesi sonrası mekanik özellikleri incelemişlerdir. Yapılan testler sonucunda eğilme direncinin %22,3, eğilmede elastikiyet modülünün %25,3 ve liflere paralel basınç direncinin %24,5 arttırdığını tespit etmişlerdir.

Saavedra vd. (2021) yapmış oldukları çalışmada, *Pinus radiata* odununun FDM olarak okta-dekan ile emprenyesi sonrasında mekanik özelliklerini incelediklerinde, eğilme direnci ve basınç direnci değerlerinde kontrol ve test numunelerinde benzer performanslar tespit etmişlerdir ve okta-dekanın *Pinus radiata* odununun mekanik davranışlarını etkilemediğini bildirmişlerdir. Ancak bu çalışmada standart sapmaların yüksek bulunduğunu not etmek önemlidir.

Amini vd. (2022) yapmış oldukları çalışmada, sarıçam odununu FDM olarak kaprik asitin farklı konsantrasyonlarda (%20, %40, %60 ve %80) emprenye etmişlerdir. Emprenye sonrası mekanik özellikleri incelendiğinde, kontrol ve test örnekleri arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadığını bildirmişlerdir. Basınç direnci için ise %20 CA konsantrasyonu hariç, konsantrasyon arttıkça yüksek basınç direnci tespit etmişlerdir.

Hartig vd., (2023) yapmış oldukları çalışmada, 4 farklı odun numunesini (ladın, kayın, kavak ve meşe) FDM olarak parafin RT35HC ile emprenye etmişlerdir. Eğilme direnci sonuçları incelendiğinde ladın ve kayın odunu numunelerini FDM ile emprenyesinin mekanik özellikleri önemli derecede etkilemediği gözlemlenmiştir. Kavak odunu numuneleri için ise daha düşük FDM retensiyonlarının daha uygun mekanik özellikler elde etmede önemli olabileceğini not etmişlerdir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında ahşap malzeme faz değiştiren maddeler ile emprenye edilerek, enerji verimliliğine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, sarıçam ve kavak odunları kaprik asit, lauril alkol ve metil palmitatla emprenye edilerek FDM'lerin katı-sıvı faz geçişleri sırasında ortaya çıkan gizli ısının verimli bir şekilde kullanılması hedeflenmiştir. Örneklerin boyusal stabilitesini artırmak amacıyla varyasyonlara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenerek su alma ve boyutsal kararlılık özelliklerine bakılmıştır.

Yapılan analizler ile elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekilde özetlenebilir;

- 1) Emprenye işlemi sonrasında en yüksek ağırlık artışı kavak odunlarında %165 ile MP/EBY karışımında elde edilirken en düşük ağırlık artışı ise %51 ile sarıçam örnekleri ile emprenye edilen LAOH örneklerinde elde edilmiştir. Bu değerler emprenye işleminin başarılı bir şekilde gerçekleştiğini göstermektedir. Sarıçam ve kavak odunu arasındaki değer farkının nedeni ağaç türlerinin anatomik özellikleri arasındaki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.
- 2) Sızdırmazlık testi sonuçlarına bakıldığında kimyasallara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesi ile FDM sızıntısı engellenmiştir.
- 3) Her iki ağaç türünün tüm varyasyonlarının termal kütle analizi sonucunda termal kararlılıkları değerlendirildiği zaman en düşük termal kararlılığa sahip varyasyonun bile bozunma sıcaklığının başlangıcının 150°C'nin üstünde olduğu tespit edilmiştir. Bu varyasyonların güneş enerjisi ile ısıtma ve iklim şartları ile maruz kalacakları sıcaklık yaklaşık 10-35 °C arasında olacaktır. Bu değerlerden yola çıkarak tüm varyasyonların yüksek termal stabilite gösterdiği söylenebilir.
- 4) Isı depolama kapasitesi ve yüksek gizli ısı depolama kapasitesi diferansiyel taramalı kalorimetre analizi ile irdelenmiştir. Tüm varyasyonlar için 600 döngüden sonra numunelerin karakteristik piklerinde herhangi bir değişiklik olmadığı ve yeni piklerin oluşmadığı gözlemlenmiştir. Bu da FDM'lerin kimyasal olarak kararlı olduğunu göstermektedir ve uzun periyotlarda güvenle kullanılabilceği söylenebilir.
- 5) Emprenye edilen örneklerin termal performansları laboratuvar ölçekli bir testle ölçülmüştür. Elde edilen tüm bulgular göz önünde bulundurulduğunda, FDM ile

emprenye edilmiş odun örneklerinin, ısı enerjisiyi gizli ısı şeklinde absorbe edip geri salıverme özelliğinden dolayı bu malzemelerin kullanılacağı binalarda enerji tasarrufuna önemli derecede katkı sağlayabileceği söylenebilmektedir.

- 6) FTIR analizleri sonucunda, kullanılan tüm FDM'lere ilişkin spesifik pikler, emprenye edilen odunların FTIR spektrumlarında yeni karakteristik pikler oluşturmaksızın, bazı örneklerde göz ardı edilebilecek seviyede hafif bir kaymayla, tespit edilmiştir. Bu sonuçlar odun ile FDM arasında kimyasal bağların oluşmadan sadece fiziksel etkileşimlerin oluştuğunu göstermektedir.
- 7) Su alma ve boyutsal kararlılık testleri incelendiğinde, varyasyonlara epoksitlendirilmiş bezir yağı eklenmesi sonucunda boyutsal kararlılığı sağlamakta başarılı olduğu gözlemlenmiştir.

Bu tez çalışması kapsamında, FDM'lerle emprenyeli odun numunelerinin özellikleri incelenirken yanma özellikleri ile ilgili herhangi bir test uygulanmamıştır. Ancak TGA sonucu bozunma sıcaklıklarının incelenmesiyle kontrollerin başlangıç bozunma sıcaklığı daha yüksek bulunmuştur. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda karışımlara yanmayı önleyici kimyasallar eklenerek özellikleri test edilebilir. Aynı zamanda bu çalışmada uygulanan termal testler laboratuvar ölçekli olduğundan dolayı binalarda enerji verimliliği için teorik bilgiler vermektedir. Büyük ölçekli test odaları kurularak gerçek iklim şartlarında termal özellikleri incelenebilir.

5. KAYNAKLAR

- Abrahamsen, R. (2017). Mjøstårnet-Construction of an 81 m tall timber building, In Internationales Holzbau-Forum IHF, Vol. 2017.
- Acquah, G. E., Via, B. K., Fasina, O. O., & Eckhardt, L. G. (2016). Rapid quantitative analysis of forest biomass using fourier transform infrared spectroscopy and partial least squares regression. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 2016.
- Allouhi, A., El Fouih, Y., Kousksou, T., Jamil, A., Zeraouli, Y., & Mourad, Y. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner production*, 109, 118-130.
- Amini, M. H., Temiz, A., Hekimoğlu, G., Köse Demirel, G., & Sarl, A. (2022). Properties of Scots pine wood impregnated with capric acid for potential energy saving building material. *Holzforschung*, 76(8), 744-753. <https://doi.org/10.1515/hf-2022-0007>
- Amiri, A., Ottelin, J., Sorvari, J., & Junnila, S. (2020). Cities as carbon sinks - Classification of wooden buildings. *Environmental Research Letters*, 15(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aba134>
- Arora, P., & Arora, N. K. (2023). COP27: a summit of more misses than hits. *Environmental Sustainability*, 6(1), 99-105.
- Ayan, E., (2022). Farklı Taban Malzemesine Sahip Kompozit Yapıların Sentezi ve Termal Enerji Depolama Davranışlarının İncelenmesi, İstanbul-Cerrahpaşa Ün., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Barbier, E. (2002). Geothermal energy technology and current status: an overview. *Renewable and sustainable energy reviews*, 6(1-2), 3-65.
- Bitek B. (2023). Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Bireysel Kullanım İçin Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Analizi, Kırklareli Ün., Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Bonan, G. B., Lawrence, P. J., Oleson, K. W., Levis, S., Jung, M., Reichstein, M., ... & Swenson, S. C. (2011). Improving canopy processes in the Community Land Model version 4 (CLM4) using global flux fields empirically inferred from FLUXNET data. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 116(G2).
- Chen H, Ferrari C, Angiuli M, Yao J, Raspi C, Bramanti E (2010) Qualitative and quantitative analysis of wood samples by Fourier transform infrared spectroscopy and multivariate analysis. *Carbohydr Polym* 82:772–778. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.052>
- Coyle, E. D., & Simmons, R. A. (2014). *Understanding the global energy crisis*. Purdue University Press.

- Can, A. (2023). Preparation, characterization, and thermal properties of microencapsulated palmitic acid with ethyl cellulose shell as phase change material impregnated wood. *Journal of Energy Storage*, 66. <https://doi.org/10.1016/j.est.2023.107382>
- Can, A., & Žigon, J. (2022). n-Heptadecane-Impregnated Wood as a Potential Material for Energy-Saving Buildings. *Forests*, 13(12). <https://doi.org/10.3390/fl3122137>
- ÇALIŞKAN, Ö., MERİÇ, E., & YÜNCÜLER, M. (2019). Ahşap ve Ahşap Yapıların Düny, Bugünü ve Yarını. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 6(1), 109-118. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.531012>
- Çelik, H. K., & Şakar, G. (2022). Geçmişin ve Geleceğin Yapı Malzemesi Olarak Ahşap: Yapı Mühendisliği Çerçevesinde Bir İnceleme. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (36), 298-304.
- DeConto, R. M., Pollard, D., Alley, R. B., Velicogna, I., Gasson, E., Gomez, N., ... & Dutton, A. (2021). The Paris Climate Agreement and future sea-level rise from Antarctica. *Nature*, 593(7857), 83-89.
- Delgado, J. M. P. Q., Martinho, J. C., Sá, A. V., Guimarães, A. S., & Abrantes, V. (2019). SPRINGER BRIEFS IN APPLIED SCIENCES AND TECHNOLOGY Thermal Energy Storage with Phase Change Materials A Literature Review of Applications for Buildings Materials. <http://www.springer.com/series/8884>
- Duraković, B. (2020). Green Energy and Technology PCM-Based Building Envelope Systems Innovative Energy Solutions for Passive Design. <http://www.springer.com/series/8059>
- Fei, H. *et al.* (2020) ‘Study of Phase-Transition Characteristics of New Composite Phase Change Materials of Capric Acid–Palmitic Acid/Expanded Graphite’, *ACS Omega*, 5(42), pp. 27522–27529. doi: 10.1021/acsomega.0c03665.
- Funda, T., Fundova, I., Gorzsás, A., Fries, A., & Wu, H. X. (2020). Predicting the chemical composition of juvenile and mature woods in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) using FTIR spectroscopy. *Wood science and technology*, 54, 289-311.
- Foster, R. M., Reynolds, T. P. S., & Ramage, M. H. (2016). Proposal for Defining a Tall Timber Building. *Journal of Structural Engineering*, 142(12). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)st.1943-541x.0001615](https://doi.org/10.1061/(asce)st.1943-541x.0001615)
- Gan, V. J., Wong, H. K., Tse, K. T., Cheng, J. C., Lo, I. M., & Chan, C. M. (2019). Simulation-based evolutionary optimization for energy-efficient layout plan design of high-rise residential buildings. *Journal of cleaner production*, 231, 1375-1388.
- Gerilla, G. P., Teknomo, K., & Hokao, K. (2007). An environmental assessment of wood and steel reinforced concrete housing construction. *Building and Environment*, 42(7), 2778-2784.
- Ghosh, T. K., & Prelas, M. A. (Eds.). (2009). Energy resources and systems: volume 1: fundamentals and non-renewable resources. Dordrecht: Springer Netherlands.

- Ghosh, T. K., & Prelas, M. A. (Eds.). (2011). Energy resources and systems: volume 2: Renewable Resources. Dordrecht: Springer Netherlands
- Glanemann, N., Willner, S. N., & Levermann, A. (2020). Paris Climate Agreement passes the cost-benefit test. *Nature communications*, 11(1), 110.
- Grzybek, J., Paschová, Z., Meffert, P., Petutschnigg, A & Schnabel T. (2023): Impregnation of Norway spruce with low melting-point binary fatty acid as a phase-change material, *Wood Material Science & Engineering*, DOI: 10.1080/17480272.2023.2186266
- Grzybek, J., Nazari, M., Jebrane, M., Terziev, N., Tippner, J., Petutschnigg, A., & Schnabel, T. (2024). Bio-based phase change material for enhanced building energy efficiency: A study of beech and thermally modified beech wood for wall structures. *Energy Storage*, e568.
- Grimmond, S. (2007). Urbanization and Global Environmental Change: Local Effects of Urban Warming. İçinde Source: The Geographical Journal (C. 173, Sayı 1). <https://www.jstor.org/stable/30113496>
- Gustavsson, L., Pingoud, K., & Sathre, R. (2006). Carbon dioxide balance of wood substitution: Comparing concrete- and wood-framed buildings. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 11(3), 667-691. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-7207-1>
- Gültekin, U. (2019). Türkiye'de Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarının Gelişimi. *Electronic Turkish Studies*, 14(4).
- Hartig, J. U., & Haller, P. (2023). Combustion characteristics and mechanical properties of wood impregnated with a paraffinic phase change material. *European Journal of Wood and Wood Products*. <https://doi.org/10.1007/s00107-023-02016-4>
- Hekimoğlu, G., (2022). Binalarda Isıl Enerji Depolama Amaçlı Kompozit Faz Değiştiren Malzemelerinin Geliştirilmesi, Karakterizasyonu ve Laboratuvar Uygulamaları, Karadeniz Teknik Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.
- Helbling, M., & Meierrieks, D. (2023). Global warming and urbanization. *Journal of Population Economics*, 36(3), 1187-1223. <https://doi.org/10.1007/s00148-022-00924->
- Huang, X., Hao, L., Sun, G., Yang, Z. L., Li, W., & Chen, D. (2022). Urbanization aggravates effects of global warming on local atmospheric drying. *Geophysical Research Letters*, 49(2).
- Houghton, J. (2005). Global warming. *Reports on Progress in Physics*, 68(6), 1343-1403. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/68/6/R02>
- İlgin, H., & Karjalainen, M. (2023). Tallest Timber Buildings: Main Architectural and Structural Design Considerations. İçinde *Wood Industry - Past, Present and Future Outlook*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105072>

- Jeong, S. G., Jeon, J., Seo, J., Lee, J. H., & Kim, S. (2012). Performance evaluation of the microencapsulated PCM for wood-based flooring application. *Energy Conversion and Management*, 64, 516-521. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.03.007>
- Jiang, L., Lei, Y., Liu, Q., Wang, Y., Zhao, Y., & Lei, J. (2020). Facile preparation of polyethylene glycol/wood-flour composites as form-stable phase change materials for thermal energy storage. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 139(1), 137-146. <https://doi.org/10.1007/s10973-019-08394-3>
- Jurakulov, S. Z. (2023). Nuclear energy. *Educational Research in Universal Sciences*, 2(11), 514-518.
- Keiner, M. (2005). ETH Library History, definition(s) and models of sustainable development. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-004995678>
- Kirankumar, G., Saboor, S., Vali, S. S., Mahapatra, D., Talanki Puttaranga Setty, A. B., & Kim, K. H. (2020). Thermal and cost analysis of various air filled double glazed reflective windows for energy efficient buildings. *Journal of Building Engineering*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.101055>
- Koohi-Fayegh, S., & Rosen, M. A. (2020). A review of energy storage types, applications and recent developments. *Çinde Journal of Energy Storage* (C. 27). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.101047>
- Konak, A. (2019). Türkiye'nin Doğal Gaz Bağımlılığı Ve Alternatif Enerji Kaynakları Üretiminin Gerekliği. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 4(7), 196-209.
- Köse Demirel, G. (2018). Odun korumada polimerize edilmiş bitkisel yağların kullanılabilirliğinin araştırılması, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora, Trabzon.
- Köse Demirel, G. (2023). Evaluation of Lauric-Myristic Acid as Phase Change Material in Thermally Modified Wood for Thermal Energy Storage. *BioResources*, 18(4).
- Kośny, J. (2015). by Finite Element and Soft Computing Methods Engineering Materials and Processes PCM-Enhanced Building Components An Application of Phase Change Materials in Building Envelopes and Internal Structures. <http://www.springer.com/series/4604>
- Kuznik, F., David, D., Johannes, K., & Roux, J. J. (2011). A review on phase change materials integrated in building walls. *Çinde Renewable and Sustainable Energy Reviews* (C. 15, Sayı 1, ss. 379-391). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.08.019>
- Kuyper, J., Schroeder, H., & Linnér, B. O. (2018). The Evolution of the UNFCCC. Annual Review of Environment and Resources, 43, 343-368.
- Liang, J., Zhimeng, L., Ye, Y., Yanjun, W., Jingxin, L. and Changlin, Z. (2018) Fabrication and characterization of fatty acid/wood-flour composites as novel form-stable phase

- change materials for thermal energy storage. *Energy and Buildings*, 171, 88–99. doi:10.1016/J.ENBUILD.2018.04.044
- Liu, F. et al. (2018) ‘Preparation and properties of capric-stearic acid/White Carbon Black composite for thermal storage in building envelope’, *Energy and Buildings*, 158, pp. 1781–1789. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.076>.
- Lin, X., Jia, S., Liu, J., Wang, W., Cao, H., Guo, X., & Sun, W. (2020). Fabrication of thermal energy storage wood based on graphene aerogel encapsulated polyethylene glycol as phase change material. *Materials Research Express*, 7(9). <https://doi.org/10.1088/2053-1591/abb261>
- Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, Á., & Valverde, J. M. (2017). Characterization of thermal energy storage materials for building applications. no, 1, 606-620.
- Ma, L., Wang, Q., & Li, L. (2019). Delignified wood/capric acid-palmitic acid mixture stable-form phase change material for thermal storage. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 194, 215-221. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2019.02.026>
- Mehling, H., & Cabeza, L. F. (2008). *Heat and cold storage with PCM*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-68557-9>
- Masood, E., Tollefson, J., & Irwin, A. (2022). COP27 climate talks: what succeeded, what failed and what’s next. *Nature*, 612(7938), 16-17.
- Nazari, M., Jebrane, M., & Terziev, N. (2022). Solid wood impregnated with a bio-based phase change material for low temperature energy storage in building application. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 147(19), 10677-10692.
- Nazari, M., Jebrane, M., & Terziev, N. (2023). New hybrid bio-composite based on epoxidized linseed oil and wood particles hosting ethyl palmitate for energy storage in buildings. *Energy*, 278, 127692.;
- Nazari, M., Jebrane, M., & Terziev, N. (2021). Multicomponent bio-based fatty acids system as phase change material for low temperature energy storage, *Journal of Energy Storage*, 39 (102645).
- Ngô, C. (2008). *Enrgy Resources, technologieies and the environment*. Paris, London, United Kingdom, The Institution of Engineering and Technology.
- Nuopponen, M. (2005). *FT-IR and UV Raman spectroscopic studies on thermal modification of Scots pine wood and its extractable compounds*, Finland, Helsinki University of Technology,
- Oró, E., De Gracia, A., Castell, A., Farid, M. M., & Cabeza, L. F. (2012). Review on phase change materials (PCMs) for cold thermal energy storage applications. *Applied Energy*, 99, 513-533.
- Ouyang, Z., Sciusco, P., Jiao, T., Feron, S., Lei, C., Li, F., John, R., Fan, P., Li, X., Williams, C. A., Chen, G., Wang, C., & Chen, J. (2022). Albedo changes caused by future

- urbanization contribute to global warming. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-31558-z>
- Pizzi, A., & Belgacem, M. N., (2016). *Lignocellulosic Fibers and Wood Handbook: Renewable Materials for Today's Environment*. John Wiley & Sons.
- Poletto M, Zattera AJ, Santana RMC (2012). Structural differences between wood species: evidence from chemical composition, FTIR spectroscopy, and thermogravimetric analysis. *J Appl Polym Sci* 126:E336–E343. <https://doi.org/10.1002/app.36991>
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Adams, H., Adler, C., Aldunce, P., Ali, E.& Ibrahim, Z. Z. (2022). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability* (p. 3056). Geneva, Switzerland.
- Protocol, K. (1997). Kyoto protocol. UNFCCC Website. Available online: http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php (accessed on 1 January 2011).
- Ritchie, H., Roser, M., & Rosado, P. (2020). CO₂ and greenhouse gas emissions. *Our world in data*.
- Rowell, R. M. (2005). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC press.
- Rowell, R. M., & Barbour, R. J. (Eds.). (1989). *Archaeological wood: properties, chemistry, and preservation*. American Chemical Society.
- Temiz A, Hekimoglu G, Köse Demirel G, Sarı A, M. A. MH. (2020). 1.phase change.pdf (s. 11).
- Victor, D. G. (2011). *The collapse of the Kyoto Protocol and the struggle to slow global warming*. Princeton University Press.
- Xu, J., Yang, T., Xu, X., Guo, X., & Cao, J. (2020). Processing solid wood into a composite phase change material for thermal energy storage by introducing silica-stabilized polyethylene glycol. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.106098>
- Zhou, D., Xiao, J., Frolking, S., Zhang, L., & Zhou, G. (2022). Urbanization Contributes Little to Global Warming but Substantially Intensifies Local and Regional Land Surface Warming. *Earth's Future*, 10(5). <https://doi.org/10.1029/2021EF002401>
- Zillman, J. W. (2007). SOME OBSERVATIONS ON THE IPCC ASSESSMENT PROCESS 1988-2007.
- Saavedra, H., García-Herrera, C., Vasco, D. A., & Salinas-Lira, C. (2021). Characterization of mechanical performance of *Pinus radiata* wood impregnated with octadecane as phase change material. *Journal of Building Engineering*, 34, 101913.
- Öner, N. & Aslan, S. (2002). TİTREK KAVAK (*Populus tremula* L.) ODUNUNUN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ VE KULLANIM YERLERİ. *Turkish Journal of Forestry*, 3(1), 135-146.

- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2018). A comprehensive review of thermal energy storage. *Sustainability*, 10(1), 191.
- Svirejeva-Hopkins, A., Schellnhuber, H. J., & Pomaz, V. L. (2004). Urbanised territories as a specific component of the Global Carbon Cycle. *Ecological Modelling*, 173(2-3), 295-312.
- Togay, A., Ahşap Yapılar, Türkiye’de Ahşap Yapı Endüstrisinin Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 2002.
- UN. (2019). United Nations Department of Economic Social Affairs Population Division. World urbanization prospects: The 2018 revision (Online Edition), United Nations, New York.
- Xu, S., Zou, L., Ling, X., Wei, Y., & Zhang, S. (2014). Preparation and thermal reliability of methyl palmitate/methyl stearate mixture as a novel composite phase change material. *Energy and buildings*, 68, 372-375.
- Zhou, D. et al. (2019) ‘Preparation and Performance of Capric-Myristic Acid Binary Eutectic Mixtures for Latent Heat Thermal Energy Storages’, *Journal of Nanomaterials*, 2019, p. 2094767. doi: 10.1155/2019/2094767.

ÖZGEÇMİŞ

Özge Nur ERDEYER, İlköğrenimini Ali Ülker İlköğretim Okulu'nda bitirdikten sonra lise eğitimini 2014 yılında Şehremini Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Aynı yıl İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümünde lisans eğitimine başladı. 2019 yılında bu bölümden mezun olarak aynı yıl İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim dalında tezli yüksek lisans programına başladı. 2021 yılının Eylül ayında Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği bölümü, Orman Biyolojisi ve Odun Koruma Teknolojisi Anabilim dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl yüksek lisans eğitimine Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Orman Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladı. İyi derecede İngilizce bilmektedir.