

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**LİKENLERİN BİYOYAKIT OLARAK KULLANIMI**

**Rüya BALCI**

**BİYOLOJİ ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2020**

**Her hakkı saklıdır**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### LİKENLERİN BİYOYAKIT OLARAK KULLANIMI

Rüya BALCI

Ankara Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Biyoloji Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Atila YILDIZ

Enerji, insanlığın gelişimi ve ilerlemesi için temel şartlardan birisidir. Ancak, içerisinde bulunduğumuz dönemde tüm dünya ulusları, tüketim toplumu olma yolunda hızla ilerlemektedir. Bu çerçevede, alternatif enerji kaynakları arayışı da aynı hızla artmıştır. Alternatif enerji kaynaklarının başlıcalarından birisi biyoyakıtlardır. Biyokütle; kömür, petrol ve doğalgazdan sonra dördüncü en büyük enerji kaynağıdır. Hem yerelde, hem de küresel ölçekte modern bir toplumun gereksinimini duyduğu enerji talebini karşılayabilmektedir. Biyoyakıtlar; tarım ve orman ürünleri, hayvansal ve bitkisel artık ve atıklar, organik kökenli evsel, endüstriyel ve kentsel atıklardan elde edilebilmektedir. Dünya genelinde her yıl yaklaşık 63 ila 94 milyon ağaç kesilmektedir. Bu araştırmada, kesilen ağaçların kabuklarında kortikal olarak bulunan ve buldukları arazide toprakta yetişmiş likenlerin biyoyakıt olarak değerlendirilmesi düşünülmüş, likenler için yeni bir kullanım alanı yaratılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında likenlerin yakıt olarak kullanılıp kullanılmamasına karar verebilmek için belirli analizler gerçekleştirilmiştir. *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. liken türlerine kısa ve elemental analizler uygulanmıştır. Yapılan analizler kapsamında nem oranı, kül oranı, uçucu madde oranı, sabit karbon oranı, kükürt elementi oranı, karbon elementi oranı, hidrojen elementi oranı, oksijen elementi oranı, azot elementi oranı, alt ve üst ısı değer sonuçları elde edilmiştir. Analiz sonuçları literatürdeki benzer bazı biyoyakıt türleri ve bazı yerel kömür çeşitleri için yapılmış olan analizler ile karşılaştırılmıştır. Araştırmada kullanılan liken türleri içerisinde en verimli yanıcı *P. furfuracea*, en az verimli yanıcı ise *C. islandica* liken türleri olarak belirlenmiştir. Benzer bazı biyoyakıt türleri ve bazı yerel kömür çeşitleri ile yapılan karşılaştırma çalışması sonucunda, likenlerin kömür ve diğer biyoyakıt kaynaklarıyla birlikte bir biyoyakıt kaynağı olarak kullanılması önerilmektedir.

**Temmuz 2020, 91 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Likenler, Biyoyakıt, Biyokütle, Yenilenebilir Enerji, *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria*

## ABSTRACT

Master Thesis

### THE UTILIZATION OF LICHENS IN BIOFUELS

Ruya BALCI

Ankara University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Biology

Supervisor: Prof. Dr. Atila YILDIZ

Energy is crucial for human development and progress. However, nowadays consumer society emerges globally. In this framework, the search for alternative energy sources has increased rapidly. Biofuels are the primary sources of alternative energy sources. Biomass is the fourth largest energy source after coal, oil and natural gas. It can meet the energy demand needed by a modern society both locally and globally. Biofuels can be procured from agricultural and forest products, animal and vegetable wastes, domestic, industrial and urban wastes. Around 63 million to 94 million trees are cut every year worldwide. In this study, it is aimed to recycle the lichens grown in the bark of the cut trees and their land as biofuels and to contribute to the literature by creating a new utilization area for lichens. Within the scope of the study, certain analyzes are carried out to decide whether lichens should be used as fuel. Proximate and elemental analyzes are applied to lichen species *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. and *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.. Within the scope of the analyzes, moisture content, ash content, volatile content, fixed carbon ratio, sulfur element ratio, carbon element ratio, hydrogen element ratio, oxygen element ratio, nitrogen element ratio, lower and higher heating value results are obtained. The results of the analysis are compared with similar biofuel types and some local coal varieties. Among the lichen species used in the research, *P. furfuracea* is determined as the most efficient fuel and the least efficient fuel is determined as *C. islandica*. As a result of comparison study with similar biofuel types and some local coal varieties, it is recommended to use lichens together with coal and other biofuel sources.

**July 2020, 91 pages**

**Key Words:** Lichens, Biofuel, Biomass, Renewable Energy, *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria*

## TEŐEKKÖR

Yüksek lisans çalışmam süresince bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübesiyle çalışmalarına yön veren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Atila YILDIZ'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelmemde büyük pay sahibi olan, her zaman her koşulda beni destekleyen ve yanımda olan babam Serdar ERKAN, annem Gonca ERKAN ve kardeşim Alya ERKAN'a sonsuz teşekkürler. Tez sürecimde hiçbir zaman desteğini esirgemeyen eşim Tolga BALCI'ya ve tezimi yazarken hep benimle olan canım kızım Ayda BALCI'ya sonsuz teşekkür ederim. Süreçte destek ve katkılarını esirgemeyen yakın dostum Aysima YİĞİT'e de ayrıca teşekkür ediyorum.

Yüksek lisans eğitimim boyunca benden desteklerini esirgemeyen Ankara Üniversitesi Biyoloji Anabilim Dalı öğretim üyelerine, yaptığım çalışmaya katkı sağlayan Doç. Dr. Emir Hüseyin ŞİMŐEK'e (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) ve Prof. Dr. Nuray YILDIZ'a (Ankara Üniversitesi Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı) teşekkürlerimi sunarım.

Rüya BALCI  
Ankara, Temmuz 2020

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR .....	iii
KISALTMALAR DİZİNİ .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	x
1. GİRİŞ .....	1
1.1 Biyoyakıtlar .....	1
1.2 Likenler .....	4
1.2.1 Likenlerin kullanım alanları .....	7
1.2.2 Araştırmada kullanılan likenlerin özellikleri .....	9
1.3 Likenlerin Biyoyakıt Olarak Kullanımı.....	13
2. KAYNAK ÖZETLERİ .....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	27
3.1 Materyal.....	27
3.2 Yöntem.....	28
3.2.1 Toplama yöntemi.....	28
3.2.2 Analiz yöntemi .....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI .....	34
4.1 Nem, Uçucu ve Kül Analizi (Kısa Analiz).....	34
4.1.1 Orijinal numune ölçümleri .....	34
4.1.2 Kuru numune ölçümleri .....	35
4.1.3 Türler arası karşılaştırma .....	36
4.2 Isıl Değer Analizi .....	40
4.2.1 Orijinal numune ölçümleri .....	40
4.2.2 Kuru numune ölçümleri .....	41
4.2.3 Türler arası karşılaştırma .....	42
4.3 Kükürt Analizi.....	43
4.3.1 Orijinal numune ölçümleri .....	44
4.3.2 Kuru numune ölçümleri .....	44
4.3.3 Türler arası karşılaştırma .....	45
4.4 Elemental Analiz .....	46

<b>4.4.1 Orijinal numune ölçümleri .....</b>	<b>46</b>
<b>4.4.2 Kuru numune ölçümleri.....</b>	<b>47</b>
<b>4.4.3 Türler arası karşılaştırma.....</b>	<b>48</b>
<b>4.5 Değerlendirme.....</b>	<b>51</b>
<b>5. TARTIŞMA VE SONUÇ.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1 Korelasyonlar ile Karşılaştırma .....</b>	<b>53</b>
<b>5.1.1 Elemental analiz korelasyonları karşılaştırması.....</b>	<b>53</b>
<b>5.1.2 Kısa analiz korelasyonları karşılaştırması .....</b>	<b>63</b>
<b>5.1.3 Elemental ve kısa analiz korelasyonları karşılaştırması.....</b>	<b>70</b>
<b>5.2 Benzer Yakıt Türleri ile Karşılaştırma .....</b>	<b>71</b>
<b>5.2.1 Bazı yerel kömür çeşitleri ile karşılaştırma .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2.2 Benzer bazı biyoyakıt türleri ile karşılaştırma.....</b>	<b>80</b>
<b>5.3 Sonuç ve Öneriler .....</b>	<b>85</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>87</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>91</b>

## KISALTMALAR DİZİNİ

N	Azot
Cu	Bakır
Zn	Çinko
H	Hidrojen
Cd	Kadmiyum
C	Karbon
kcal	kilokalori
kg	kilogram
Pb	Kurşun
S	Kükürt
MTA	Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü
Mn	Mangan
MJ	Megajoule
Ni	Nikel
O	Oksijen
SK	Sabit Karbon
UM	Uçucu Madde
ÜİD	Üst Isıl Değer
TWh	Terrawatt saat

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 2018 yılı tüketilen enerjinin kaynaklara göre dağılımı (Ritchie ve Roser 2018)	2
Şekil 1.2 Biyoyakıt çeşitleri	4
Şekil 1.3 Foliose talluslu likenlere örnekler (Anonim 2011)	6
Şekil 1.4 Crustose talluslu likenlere örnekler (Anonim 2011)	6
Şekil 1.5 Frutikose talluslu likenlere örnekler (Anonim 2011)	7
Şekil 1.6 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf küresel dağılımı (Global Biodiversity Information Facility 2019)	9
Şekil 1.7 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf görünümü (Global Biodiversity Information Facility 2019)	10
Şekil 1.8 <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. küresel dağılımı (Global Biodiversity Information Facility 2019)	11
Şekil 1.9 <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. görünümü (Global Biodiversity Information Facility 2019)	11
Şekil 1.10 <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. küresel dağılımı (Global Biodiversity Information Facility 2019)	12
Şekil 1.11 <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. görünümü (Global Biodiversity Information Facility 2019)	13
Şekil 2.1 1800-2018 küresel enerji tüketimi	23
Şekil 2.2 1965-2018 bölgesel olarak tüketilen enerji miktarı	24
Şekil 2.3 2014 yılı ülkesel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin payı	25
Şekil 3.1 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	27
Şekil 3.2 <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	27
Şekil 3.3 <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	28
Şekil 3.4 LECO TGA 701	31
Şekil 3.5 IKA C6000	32
Şekil 3.6 ELTRA CS 580	33
Şekil 3.7 LECO CHN 628	33
Şekil 4.1 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için nem oranı karşılaştırması	37

Şekil 4.2 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için kül oranı karşılaştırması .....	38
Şekil 4.3 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için uçucu madde oranı karşılaştırması.....	39
Şekil 4.4 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için sabit karbon oranı karşılaştırması .....	40
Şekil 4.5 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için alt ısı değer karşılaştırması .....	42
Şekil 4.6 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için üst ısı değer karşılaştırması .....	43
Şekil 4.7 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için kükürt oranı karşılaştırması .....	45
Şekil 4.8 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için karbon oranı karşılaştırması .....	48
Şekil 4.9 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için hidrojen oranı karşılaştırması .....	49
Şekil 4.10 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için azot oranı karşılaştırması.....	50
Şekil 4.11 <i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf, <i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach. ve <i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm. türleri için oksijen oranı karşılaştırması .....	51
Şekil 5.1 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (1) sonuçlarının karşılaştırması .....	55
Şekil 5.2 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (2) sonuçlarının karşılaştırması .....	56
Şekil 5.3 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (3) sonuçlarının karşılaştırması .....	57
Şekil 5.4 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (4) sonuçlarının karşılaştırması .....	58
Şekil 5.5 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (5) sonuçlarının karşılaştırması .....	59
Şekil 5.6 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (6) sonuçlarının karşılaştırması .....	60

Şekil 5.7 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (7) sonuçlarının karşılaştırması.....	61
Şekil 5.8 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (8) sonuçlarının karşılaştırması.....	61
Şekil 5.9 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (9) sonuçlarının karşılaştırması.....	63
Şekil 5.10 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (10) sonuçlarının karşılaştırması.....	64
Şekil 5.11 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (11) sonuçlarının karşılaştırması.....	65
Şekil 5.12 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (12) sonuçlarının karşılaştırması.....	66
Şekil 5.13 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (13) sonuçlarının karşılaştırması.....	67
Şekil 5.14 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (14) sonuçlarının karşılaştırması.....	68
Şekil 5.15 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (15) sonuçlarının karşılaştırması.....	69
Şekil 5.16 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (16) sonuçlarının karşılaştırması.....	70
Şekil 5.17 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (17) sonuçlarının karşılaştırması.....	71

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 Toplanan liken örneklerinin lokalite bilgileri .....	29
Çizelge 3.2 Deneysel çalışmada kullanılan örneklerin analiz için sağlanması gereken şartlar.....	30
Çizelge 3.3 Yapılan analizler, kullanılan cihazlar ve analiz metodu.....	30
Çizelge 4.1 <i>Pseudevernia furfuracea</i> orijinal numune kısa analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.2 <i>Cetraria islandica</i> orijinal numune kısa analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.3 <i>Lobaria pulmonaria</i> orijinal numune kısa analiz sonuçları.....	35
Çizelge 4.4 <i>Pseudevernia furfuracea</i> kuru numune kısa analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.5 <i>Cetraria islandica</i> kuru numune kısa analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.6 <i>Lobaria pulmonaria</i> kuru numune kısa analiz sonuçları.....	36
Çizelge 4.7 <i>Pseudevernia furfuracea</i> orijinal numune ısııl değer analizi sonuçları.....	41
Çizelge 4.8 <i>Cetraria islandica</i> orijinal numune ısııl değer analizi sonuçları.....	41
Çizelge 4.9 <i>Lobaria pulmonaria</i> orijinal numune ısııl değer analizi sonuçları.....	41
Çizelge 4.10 <i>Pseudevernia furfuracea</i> kuru numune ısııl değer analizi sonuçları.....	41
Çizelge 4.11 <i>Cetraria islandica</i> kuru numune ısııl değer analizi sonuçları.....	42
Çizelge 4.12 <i>Lobaria pulmonaria</i> kuru numune ısııl değer analizi sonuçları.....	42
Çizelge 4.13 <i>Pseudevernia furfuracea</i> orijinal numune kükürt analizi sonuçları.....	44
Çizelge 4.14 <i>Cetraria islandica</i> orijinal numune kükürt analizi sonuçları.....	44
Çizelge 4.15 <i>Lobaria pulmonaria</i> orijinal numune kükürt analizi sonuçları.....	44
Çizelge 4.16 <i>Pseudevernia furfuracea</i> kuru numune kükürt analizi sonuçları.....	44
Çizelge 4.17 <i>Cetraria islandica</i> kuru numune kükürt analizi sonuçları.....	45
Çizelge 4.18 <i>Lobaria pulmonaria</i> kuru numune kükürt analizi sonuçları.....	45
Çizelge 4.19 <i>Pseudevernia furfuracea</i> orijinal numune elemental analiz sonuçları.....	46
Çizelge 4.20 <i>Cetraria islandica</i> orijinal numune elemental analiz sonuçları.....	46
Çizelge 4.21 <i>Lobaria pulmonaria</i> orijinal numune elemental analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.22 <i>Pseudevernia furfuracea</i> kuru numune elemental analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.23 <i>Cetraria islandica</i> kuru numune elemental analiz sonuçları.....	47
Çizelge 4.24 <i>Lobaria pulmonaria</i> kuru numune elemental analiz sonuçları.....	48
Çizelge 5.1 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve Çan Kömürü analizleri .....	73

Çizelge 5.2 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve Saray Kömürü analizleri .....	74
Çizelge 5.3 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve Tunçbilek Kömürü analizleri.....	75
Çizelge 5.4 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve Yatağan Kömürü analizleri .....	76
Çizelge 5.5 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürü analizleri.....	77
Çizelge 5.6 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve Soma Yarı Bitümlü Kömürü analizleri.....	78
Çizelge 5.7 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve İstanbul Linyit Kömürü analizleri .....	79
Çizelge 5.8 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve <i>Elais guinensis</i> boş meyve atıkları analizleri.....	81
Çizelge 5.9 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve <i>Elais guinensis</i> boş meyve atıkları : siyah pirinç kabukları analizleri (90:10) .....	82
Çizelge 5.10 <i>Pseudevernia furfuracea</i> , <i>Cetraria islandica</i> , <i>Lobaria pulmonaria</i> ve <i>Cerbera manghas</i> yaprağı analizleri.....	84

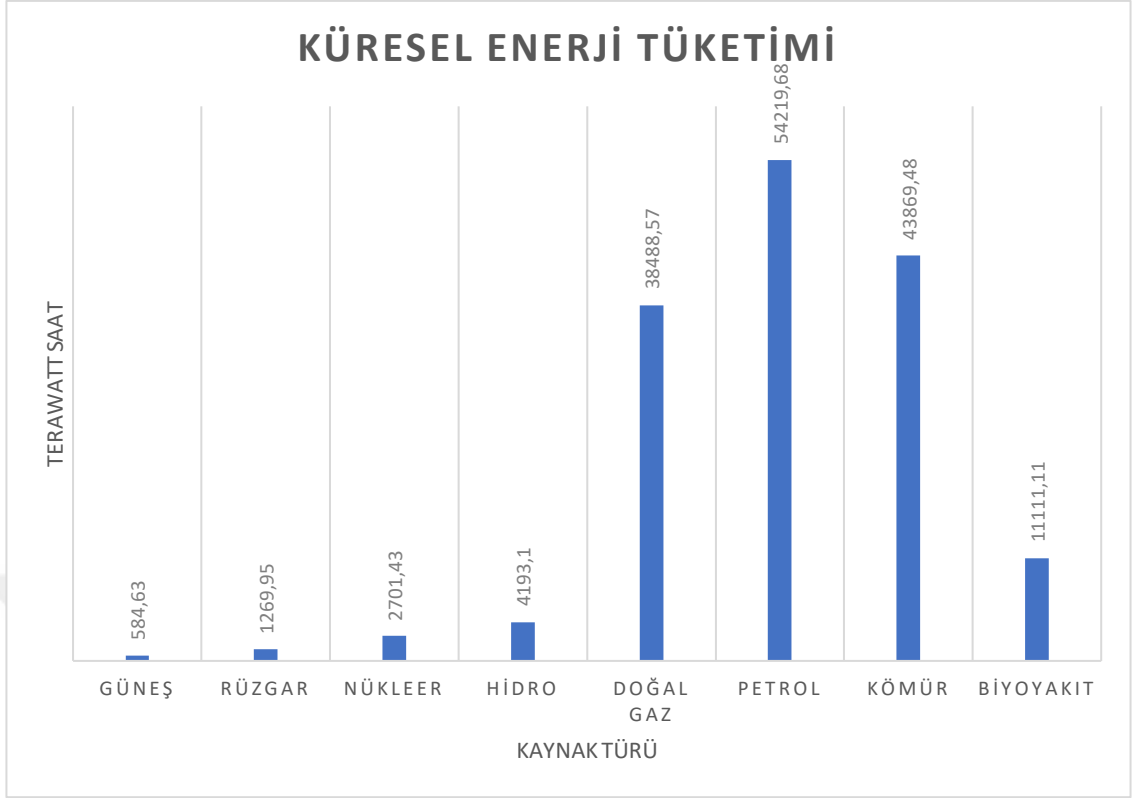
## 1. GİRİŞ

Dünyamızda artan enerji tüketimi nedeniyle alternatif enerji kaynakları önem kazanmıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarından başlıcası da biyoyakıtlardır. Bu çalışmada likenlerin biyoyakıt olarak kullanımı işlenmiştir. Bu bölümde, artan enerji tüketimi, biyoyakıtlar ve likenler hakkında genel bilgiler verilmiş olup ardından, geleneksel yakıt kullanımında katı biyoyakıt olarak likenlerin kullanımı, bu amaçla yapılmış olan analizler ve bu analizlerde kullanılmış olan liken türleri hakkında bilgiler aktarılmıştır.

### 1.1 Biyoyakıtlar

Enerji, insanlığın gelişimi, ilerlemesi için en önemli temel taşlardan birisidir ve bir ülkenin iç ve dış güvenliği için hayati öneme sahiptir. Enerji sorunları sosyal, çevresel ve ekonomik güvenlik sorunlarının merkezinde yer almaktadır (Dias vd. 2004).

İçerisinde bulunduğumuz dönemde tüm dünya ulusları, tüketim toplumu olma yolunda hızla ilerlemektedir. Yılda terawatt saat cinsinden ölçülen küresel birincil enerji tüketiminin 2018 yılı için değeri 157,063.77 TWh olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, 2018 yılında tüm dünya insanları toplamda 157,063.77 TWh enerji tüketmiştir. Bu tüketilen enerjinin kaynaklara göre dağılım grafiği Şekil 1.1’de verilmiştir (Ritchie ve Roser 2018).



Şekil 1.1 2018 yılı tüketilen enerjinin kaynaklara göre dağılımı (Ritchie ve Roser 2018)

2018 yılında tüketilen enerji miktarı, bir önceki ve daha önceki yıllara göre tüketilen en büyük enerji miktarıdır. Bu artan enerji tüketiminin sonucu olarak da küresel karbon salınımı büyük boyutlara ulaşmış ve bu gerçeklik çerçevesinde alternatif enerji kaynaklarına olan talep de aynı oranda artmıştır. Bu alternatif enerji kaynaklarından başlıcası Şekil 1.1’de de görüldüğü üzere biyoyakıtlardır (Ritchie ve Roser 2018).

Biyokütle; kömür, petrol ve doğalgazdan sonra dördüncü en büyük enerji kaynağıdır. Günümüzde en büyük ve en önemli yenilenebilir enerji seçeneğidir ve farklı enerji formları üretmek için de kullanılmaktadır. Hem yerelde, hem de küresel ölçekte modern bir toplumun gereksinimini duyduğu enerji talebini karşılayabilmektedir. Yenilenebilirlik ve çok yönlülük, diğer birçok yönünün yanı sıra, bir enerji kaynağı olarak biyokütlenin önemli avantajlarından. Ayrıca, diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasla, biyokütle kaynakları dünya genelinde yaygın olarak bulunmaktadır ve lokalde teknolojik bir ekipmana sahip olmadan da kullanılabilir (Ladanai vd. 2009).

Biyokütle enerji kaynakları; genellikle heterojen yapıda, yüksek oksijen ve su içeren,

düşük yoğunluk ve düşük ısı değere sahiplerdir. Yakıt kalitesi de bu niteliklerden olumsuz yönde etkilenmektedir. Biyokütlenin bu olumsuz tarafları, çeşitli fiziksel ve kimyasal süreçler sayesinde giderilmektedir. Biyokütleden, kırma, boyut küçültme, pelletleme, birikitleme, öğütme, filtrasyon ve ekstraksiyon gibi fiziksel süreçlerin yanı sıra biyokimyasal ve termokimyasal dönüşüm süreçleri aracılığı ile de biyoyakıt üretilmektedir (Güllü vd. 2017, Onurbaş Avcıoğlu 2017).

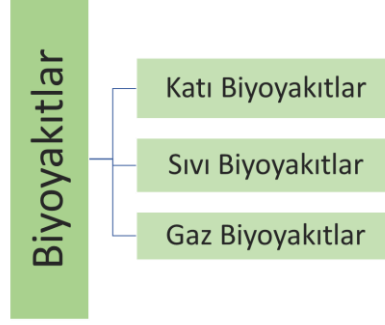
Biyokütle enerji, kullanıldığı sektöre göre geleneksel ve modern formlar olarak başlıca iki ana gruba ayrılmaktadır;

**Geleneksel Biyokütle:** Genellikle gelişmekte olan ülkelerde ve kırsal alanlardaki evlerde, ısınma ve yemek yapma amaçlı kullanılmaktadır. Hayvansal ve tarımsal atıklardan üretilmektedir. Doğrudan yakma yöntemi kullanılmaktadır, bu nedenle de düşük verimlilikte enerji sağlamaktadır.

**Modern Biyokütle:** İleri kimyasal dönüşüm teknikleri aracılığı ile meydana getirilen, elektrik üretimi ve akaryakıt amacıyla kullanılan biyoetanol, biyodizel, çöp gazı, sentetik yağ ve biyogaz gibi biyoyakıtları oluşturmaktadır (Bayraç ve Özarslan, 2018).

Sonuç olarak; geleneksel biyokütle; emek yoğun ve çoğunlukla hane halkı tarafından yapılan üretimi ifade etmektedir. Modern biyokütle ise; sermaye yoğun üretimi, yüksek verimlilikte ısı ve elektriksel enerji eldesini ifade etmektedir (Bayraç ve Özarslan, 2018).

Biyoyakıtlar; tarım ve orman ürünleri, hayvansal ve bitkisel artık ve atıklar, organik kökenli evsel, endüstriyel ve kentsel atıklardan termokimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle elde edilebilmektedir. Biyoyakıt çeşitleri aşağıda Şekil 1.2'de verilmiştir (Onurbaş Avcıoğlu 2017).



Şekil 1.2 Biyoyakıt çeşitleri

Geleneksel yakıt kullanımı, genellikle gelişmekte olan ülkelerde ve kırsal alanlardaki evlerde kullanılmakta olup, ısınma ve yemek yapma amaçlıdır. Bu yakıt, hayvansal ve tarımsal atıklardan üretilmekte ve doğrudan yakma yöntemi ile enerji sağlamaktadır. Geleneksel yakıt kullanımı, katı biyoyakıt kullanımına örnektir.

Bu çalışmada, bir katı biyoyakıt seçeneği olarak likenlerin kullanılmasına değinilmiştir.

## 1.2 Likenler

Likenler tek bir organizma değildir; bir mantar ve bir alg veya siyanobakteriler arasındaki bir ortaklığın, diğer bir deyişle karşılıklı simbiyozunun sonucu olarak ortaya çıkmışlardır. Bazı likenler iki veya daha fazla ortaklıktan oluşabilir. Bir liken yapısal olarak, yeşil algleri ve / veya mavi-yeşil siyanobakteriler ve mantar filamentlerinden oluşmaktadır. Bu mantar, ortağına veya ortaklarına bir tür koruma olarak fayda sağlamaktadır ve bu koruma karşılığında da ortaklarından besin sağlamaktadır. Likenlerdeki bu ilişki, karşılıklı simbiyozun temelini oluşturmaktadır.

Liken ortaklıklarının bu karmaşıklığı, likenlerin "küçük ekosistemler" olarak tanımlanmasına neden olmuştur. Ortaklardan mantar olan taraf, her zaman ana ortak olduğu için sistematikçiler tarafından likenler Mantarlar Alemi'nin üyesi olarak sınıflandırılmışlardır. Liken simbiyozu kurulduktan sonra mantar, liken gövdesinin şeklinin son halinde, sert veya esnek olup olmadığı üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Alg

ve bakteri ortaklarının her birinin kendi bilimsel isimleri de vardır; ancak liken simbiyozu sadece mantarının adıyla bilinir.

Dünyamızda yaklaşık 20.000 likenize mantar türü bulunmaktadır. Bunların büyük çoğunluğu *Ascomycotina* subdivizyosuna aittir. Tropikal ve ılıman yağmur ormanlarında yaklaşık 50 tür *Basidiomycotina* subdivizyosuna aittir. Liken ortaklıklarında yaklaşık 40 cins alg ve siyanobakteri bulunmaktadır (Utah State University 2020).

Alg ve siyanobakteriyel ortak, yeşil pigment klorofiline sahiptir; bu da fotosentez yoluyla su ve karbondioksitten kendi yiyeceklerini yapmak için güneş ışığının enerjisini kullanmalarını sağlamaktadır. Ayrıca mantarlara vitamin sağlamaktadırlar. Siyanobakteriler, amino asitleri üretebilmek için doğrudan atmosferdeki azot gazını kullanabilir; mantar da liken tallusundaki fotosentez ortaklarını sararak ortaklarının kurumasını önlemekte ve onları güçlü güneş ışığından korumaktadır.

Bu yaşam alışkanlığı sayesinde likenler birçok farklı habitatta başarılı bir şekilde kolonileşmektedir. Likenler kuraklığa karşı yüksek bir dirence sahiptir. Kuru bir liken, ağırlığının 3 ila 35 katı kadar suyu emebilmektedir. Likenler yüksek nem ve düşük sıcaklıkta, havanın kendisinden çiy veya sisten nem emebilir. Ayrıca yavaş kurumaktadırlar, böylece fotosentez yapan ortakların mümkün olduğunca uzun süre yiyecek üretmesini mümkün kılarlar. Birçok kaynaktan suyu hızlı bir şekilde emme ve tutma yeteneği, likenlerin çöller ve kutup bölgeleri gibi zorlu ortamlarda ve çıplak kayalar, çatılar ve ağaç dalları gibi açık yüzeylerde yaşamasını da mümkün kılmaktadır (Utah State University 2020).

En basit anlatımla tallusları, yaygın olarak üç şekilde bulunmaktadır:

**Foliose (Yapraksı):** Düz, yaprak benzeri likenler. Aşağıdaki Şekil 1.3'te foliose talluslu likenlere görsel örnekler verilmiştir. Soldaki görsel *Parmotrema perlatum* (Huds.) M.Choisy, sağdaki ise *Peltigera membranacea* (Ach.) Nyl. türündeki likenlerdir (Anonim 2011).



Şekil 1.3 Foliose talluslu likenlere örnekler; soldan sağa *Parmotrema perlatum* (Huds.) M.Choisy ve *Peltigera membranacea* (Ach.) Nyl. (Anonim 2011)

**Crustose (Kabuksu):** Ağaç kabuğuna, kaya ve benzeri substratlara gömülebilen kabuk benzeri likenler. Aşağıdaki Şekil 1.4'te crustose talluslu likenlere görsel örnekler verilmiştir. Soldaki görsel *Ophioparma ventosa* (L.) Norman, sağdaki ise *Graphis scripta* (L.) Ach. türü likenlerdir (Anonim 2011).



Şekil 1.4 Crustose talluslu likenlere örnekler; soldan sağa *Ophioparma ventosa* (L.) Norman ve *Graphis scripta* (L.) Ach. (Anonim 2011)

**Frutikose (Çalimsı):** Minyatür çalı benzeri likenler. Aşağıdaki Şekil 1.5'te frutikose talluslu likenlere görsel örnekler verilmiştir. Soldaki görsel *Usnea subfloridana* Stirt., sağdaki ise *Rocella phycopsis* Ach. türündeki likenlerdir (Anonim 2011).



Şekil 1.5 Frutikose talluslu likenlere örnekler; soldan sağa *Usnea subfloridana* Stirt. ve *Rocella phycopsis* Ach. (Anonim 2011)

### 1.2.1 Likenlerin kullanım alanları

Likenler, toprak oluşumunda önemli bir rol oynamaktadırlar. Toprak, çürümüş bitkiler ve mineraller gibi organik maddelerden oluşur. Kayalarda yetişen liken türleri hem baskı, hem de kimyasal etki ile kayaları parçalara ayırır. Bu likenlerin asidik olan ikincil ürünlerinden bazıları, kaya yüzeyini çözümlenerek mineral taneleri serbest bırakırlar (Anonim 2011).

Likenlerin, insanoğlu tarafından oluşturulan kullanım alanları aşağıda sıralanmıştır (Utah State University 2020).

Likenler, hava kirliliğine duyarlılardır ve hava kirliliği tayininde indikatör organizma olarak önem taşırlar. Bu duyarlılık bir liken türünden diğerine değişmektedir. Bu nedenle bir alanda farklı likenlerin varlığı veya yokluğu havadaki kirletici yoğunluklarını belirlemek ve haritalamak için kullanılmaktadır (Yıldız 1998).

Çoğu liken oldukça yavaş büyür, çünkü çoğunlukla suyun sadece kısa süreler için mevcut olduğu ortamlarda yaşamaktadırlar. Likenler, uzun yıllar yaşama eğilimindedirler ve yüzlerce yıllık likenler bulunmaktadır. Bu likenler, büyüdükleri kaya yüzeylerini tarihlemek için kullanılmaktadır.

Foliose likenler, model tren gösterimlerinde ağaçları temsil etmek için kullanılmaktadır.

Likenler, farklı ortamlarda önemli bir besin kaynağı olarak kullanılmaktadır. İskandinavya ve Rusya'daki Kuzey Kutup Dairesi'nin üstünde yaşayan Lapp halkı, ılıman bölgelerdeki çiftçilerin saman hasat etmeleri gibi, likenleri ren geyikleri için kışlık besin olarak hasat etmektedir. Libya'nın çöllerindeki koyunlar da kayaların üzerlerinde büyüyen kabuklu likenleri yiyerek hayatta kalmaktadır.

Likenler, yaklaşık 800 adet ikincil ürün üretimi yaparlar. Bu kimyasalların, likenler tarafından hastalıklara, parazitlere karşı kendilerini savunabilmek ve ekstrem iklim koşullarına dayanabilmek için ürettikleri bilinmektedir. Bazı durumlarda ise, yine bir savunma mekanizması olarak, likenlerin hayvanlara tatsız hale gelmek için bu kimyasal bileşikleri ürettikleri düşünülmektedir. Likenler içerdikleri asitler ve tıbbi droglardan dolayı anti-viral ve anti-bakteriyel ilaçların üretimi için hammadde olarak günümüzde medikal sektöründe kullanılmaktadır (Yıldız 1998).

Diğer bir ikincil ürünler grubu ise parfüm sanayiinde ve kumaş boyası üretiminde kullanılmaktadır. Yünleri boyamakta kullanılan bu kumaş boyaları, kullanılan likenin türüne bağlı olmakla birlikte, kahverengi, sarı ve mavi renktedir. Sentetik boyaların keşfi, liken boyalarına olan talebi oldukça düşürmüştür. Günümüzde ticari olarak önemli tek liken boyası, sıvıların asitliğini test etmeye yarayan turnusol kağıdı yapmak için kullanılmaktadır. Turnusol boyası, bazik çözeltilerde maviye, asit çözeltilerinde ise kırmızıya dönmektedir.

Küresel Orman Kaynak Değerlendirmesi (Global Forest Resource Assessment) verilerine göre, dünya genelinde her yıl yaklaşık 29 ila 58 milyon ağaç kesilmekte ve kağıt endüstrisinde kullanılmaktadır. Yine her yıl 34 ila 36 milyon ağaç, Noel kutlamasında kullanılmak üzere kesilmektedir. Her iki ağaçsızlandırma türünün de çevre üzerinde büyük olumsuz etkileri vardır (Anonim 2018, Anonim 2020).

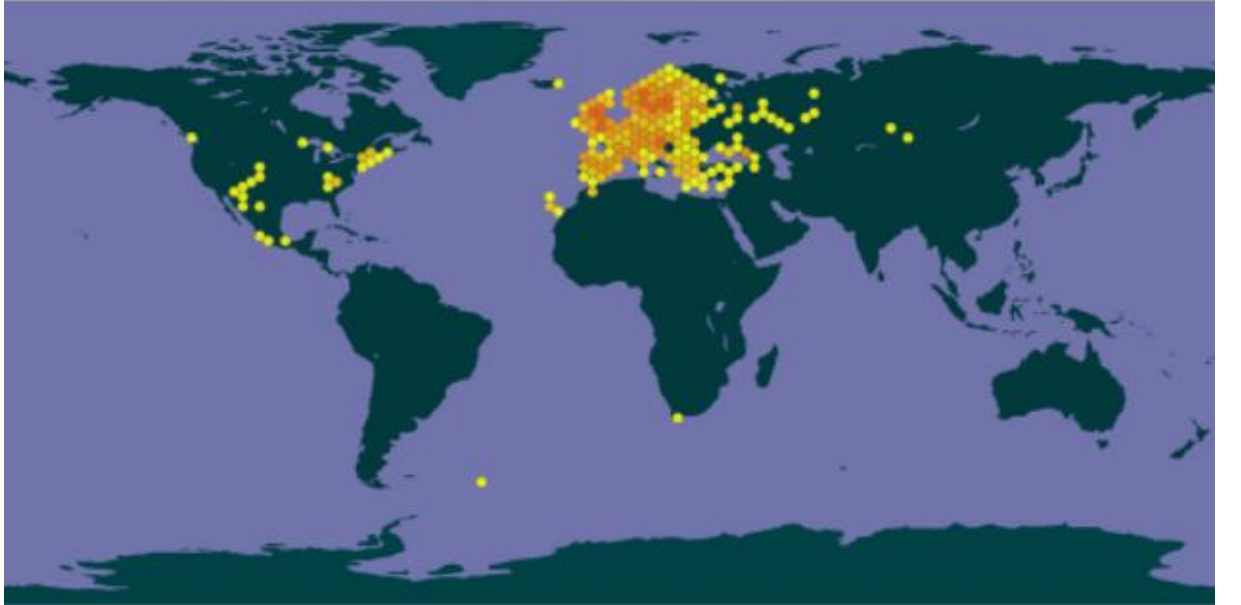
Bu tezin hazırlanmasında iki düşünce etkin olmuştur; öncelikle kesilmekte olan söz konusu ağaçların kabuklarında ve buldukları arazide toprak üzerinde yetişen likenlerin biyoyakıt olarak değerlendirilmesi düşünülmüştür. İkinci olarak da, likenlerin aşırı

ortamlarda, özellikle soğuk iklimin görüldüğü noktalarda var olması, likenlerin bu aşırı ortamlarda yaşayan insanlar için yakacak olarak kullanılabilir mi fikrini doğurmuştur. Çalışma kapsamında likenlerin yakıt olarak kullanılıp kullanılmamasına karar verebilmek için belirli analizler gerçekleştirilmiştir. Likenler için yeni bir kullanım alanı yaratılarak literatüre katkı sağlanması amaçlanmıştır.

### 1.2.2 Araştırmada kullanılan likenlerin özellikleri

Araştırmada *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. liken türleri kullanılmıştır. Bu türler, küresel düzeyde yaygın olarak bulunan kozmopolit liken türleri olması nedeniyle çalışmada tercih edilmişlerdir.

***Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf:** Türün küresel olarak dağılımı aşağıda Şekil 1.6'da gösterilmiştir (Global Biodiversity Information Facility 2019).



Şekil 1.6 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf küresel dağılımı (Global Biodiversity Information Facility 2019)

Yaygın olarak ağaç yosunu olarak bilinen, göknar ve çam kabuğu üzerinde yetişen bir liken türüdür. Yapısına katılan fotobiyontlar, yeşil alg cinsi olan *Trebouxia*'dır. Foliose tallusludur. Türün görünümü aşağıda Şekil 1.7'de verilmiştir (Kranter 2002, Anonim

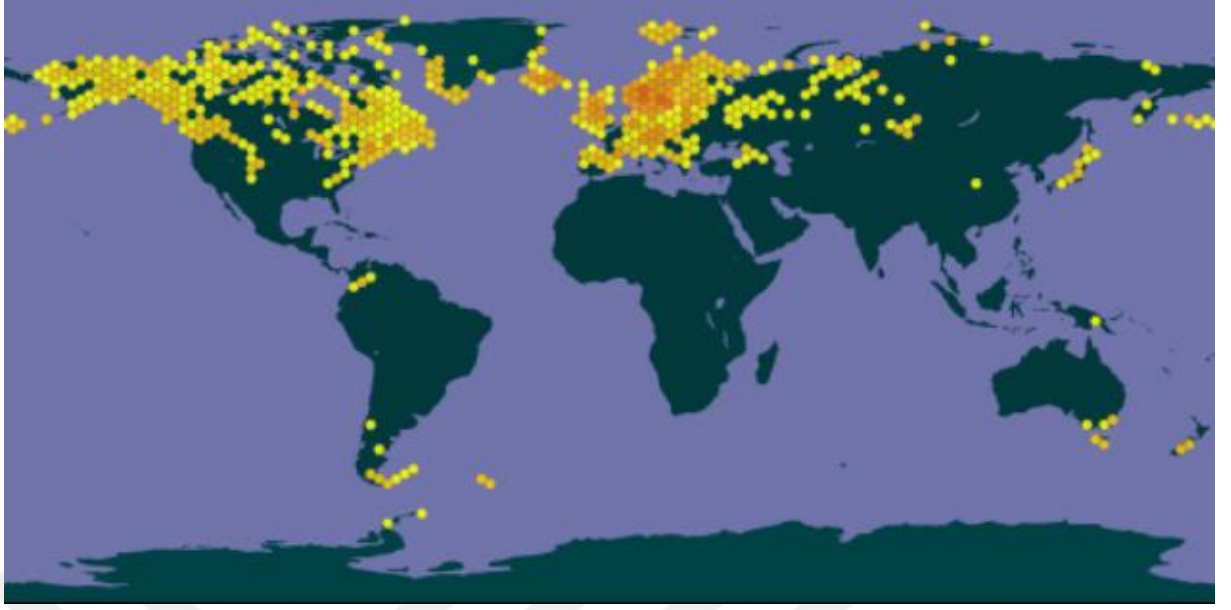
2013, Global Biodiversity Information Facility 2019).



Şekil 1.7 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf görünümü (Global Biodiversity Information Facility 2019)

*P. furfuracea*, bünyesine Cu, Cd, Mn, Ni, Pb ve Zn gibi ağır metalleri toplaması nedeniyle hava kirliliği tahlilinde kullanılmaktadır. Ülkemizde Aksaray, Ankara, Çorum ve Kayseri gibi endüstriyel olarak aktif olan şehirlerin hava kirliliğini hesaplamada kullanılmıştır (Yıldız vd. 2008, 2011, 2017, 2018).

**Cetraria islandica (L.) Ach.:** Türün küresel olarak dağılımı aşağıda Şekil 1.8'de gösterilmiştir (Global Biodiversity Information Facility 2019).



Şekil 1.8 *Cetraria islandica* (L.) Ach. küresel dağılımı (Global Biodiversity Information Facility 2019)

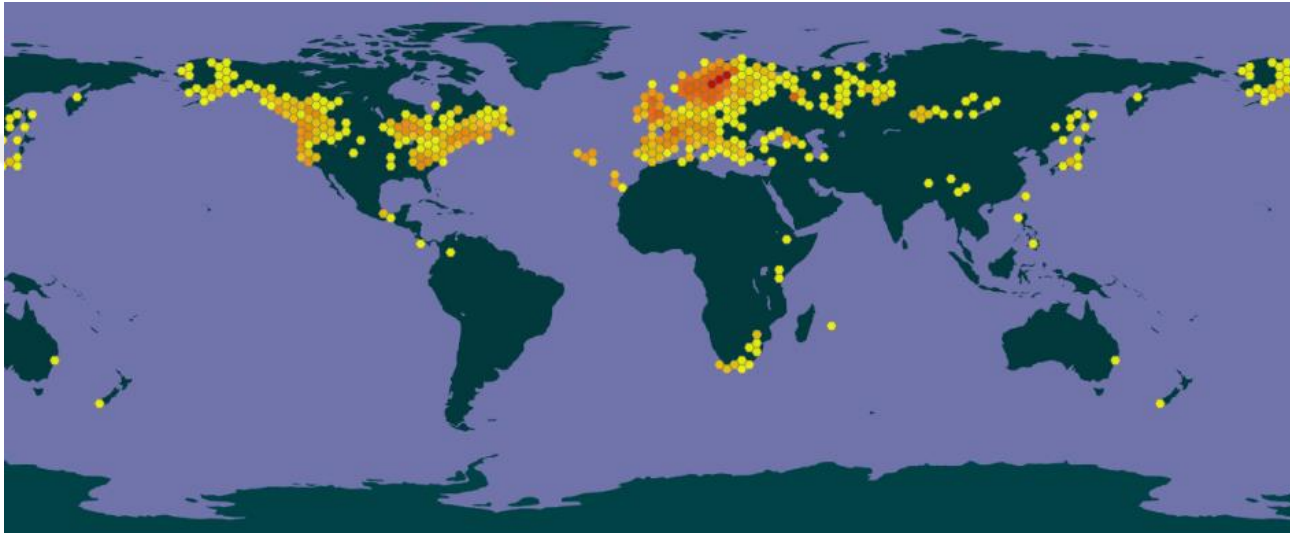
Yaygın olarak İzlanda yosunu olarak bilinen bir likendir. Rengi koyu kahverengiden kırmızıya kadar değişir ve 7 cm yüksekliğe kadar büyüyebilir. Yamaçlarda ve ovalarda yetişmektedir. Frutikose talluslu bir likendir. Türün görünümü aşağıdaki Şekil 1.9'da verilmiştir (Encyclopædia Britannica, inc. 2014, Global Biodiversity Information Facility 2019).



Şekil 1.9 *Cetraria islandica* (L.) Ach. görünümü (Global Biodiversity Information Facility 2019)

*C. islandica* liken türünün medikal alanda kullanımı üzerine araştırmalar yapılmakta olup, türün kanser karşıtı doku olarak kullanımı üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu alışmalar neticesinde *C. islandica*'nın kanser karşıtı doku olarak kullanılabilceği sonucuna varılmıştır (Güven vd. 2018).

***Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.:** Türün küresel olarak dağılımı aşağıda Şekil 1.10'da gösterilmiştir (Global Biodiversity Information Facility 2019).



Şekil 1.10 *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. küresel dağılımı (Global Biodiversity Information Facility 2019)

*L. pulmonaria*, ağaç kabuklarının üzerinde yetişir. Foliose tallusludur. Türün görünümü aşağıdaki Şekil 1.11'de verilmiştir (Global Biodiversity Information Facility 2019).



Şekil 1.11 *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. görünümü (Global Biodiversity Information Facility 2019)

### 1.3 Likenlerin Biyoyakıt Olarak Kullanımı

Likenlerin direkt olarak yakılarak kullanımına dair herhangi bir araştırma bulunmamaktadır.

Toplanmış ve ayıklanmış *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türündeki liken numunelerinin yanıcılıkları, aşağıda listelenmiş olan 11 analizin sonuçlarına göre değerlendirilmiştir.

Nem oranı: Nem, yakıtın bünyesinde bulunan su miktarıdır. Yakıttaki nem miktarı ile yanma sonucu açığa çıkan enerji miktarı ters orantılıdır, çünkü yanma sonucu açığa çıkan ısı enerjinin bir kısmı, yanıcının bünyesinde bulunan nemin buharlaşması için harcanır. Bu nedenle, yakıtın nem oranının düşük olması beklenir. Nem seviyesi %10'dan fazla olmamalıdır.

Kül oranı: Katı yakıtın yanma reaksiyonundan sonra, geride kalan maddenin ağırlığının

yanma öncesi orijinal numunenin ağırlığına göre oranıdır. Kül oluşması istenmeyen bir durumdur, bu nedenle düşük kül oranına sahip yakıtlar tercih edilmelidir.

Uçucu madde oranı: Uçucu maddenin saptanabilmesi için katı yakıt, oksijensiz ortamda ısıtılır. Bu ısıtmanın sonucunda karbon buharları ile karbondioksit ve su buharı gibi gazlar açığa çıkmaktadır. Bu gazlar, uçucu maddelerdir. Uçucu madde oranının yüksek olması hava kirliliğine yol açmaktadır. Bu nedenle de, uçucu madde oranının düşük olması beklenir (Öztürk 2017).

Sabit karbon oranı: Yakıtın kütlesinden uçucu madde oranı, kül oranı ve nem oranı çıkarılarak belirlenmektedir; diğer bir deyişle bu üç oranın çıkarılmasından sonra yakıttan geri kalan yanıcı kısımdır, sabit karbon oranının fazlalığı yanıcılığı arttıran bir etmendir.

Kükürt elementi oranı: Kükürt elementi, sera gazı olan SO<sub>x</sub> gazlarının yanma sonucunda açığa çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yanıcı maddenin kükürt oranının düşük olması istenen bir durumdur.

Karbon elementi oranı: Karbon element oranının yüksek olması, katı yakıtın yanıcılığını arttıran bir etmendir.

Hidrojen elementi oranı: Hidrojen elementi, ısıl enerjiyi arttıran bir etmendir. Ancak hidrojen, uçucu madde oranının artmasına neden olur, hidrojen elementi esas olarak oksijen elementi ile birlikte bulunduğu su oluşumuna neden olduğu için yakıtın kalorifik değerini düşürür. Bu nedenle hidrojen elementinin yüzdesi azaldıkça, yakıt kalitesi artmaktadır.

Oksijen elementi oranı: Oksijen elementi oranı arttıkça, yakıtın verimi düşmektedir.

Azot elementi oranı: Azot elementi, sera gazı olan NO<sub>x</sub> gazlarının yanma sonucunda açığa çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle, yanıcı maddenin azot oranının düşük olması istenen bir durumdur (Caillat ve Vakkilainen 2013).

Alt ısı değer: Alt ısı değer, yakıtın en kötü koşullarda yanmasıyla elde edilebilecek en düşük ısı değeridir. Alt ısı değerinin saptanabilmesi için, su buharının kalorimetre cihazından yoğunlaşmadan çekilmesi gerekmektedir.

Üst ısı değer: Üst ısı değer, bir yakıtın yakılmasıyla elde edilebilecek en yüksek ısı değeridir. Yakıtın yanması sonrasında ortaya çıkan gazların içerisindeki su buharının, soğuma esnasında tamamen yoğunlaşmasıyla saptanmaktadır.

Alt ve üst ısı değer arasındaki fark, yakıtın içerdiği hidrojen elementiyle ilgilidir. Yakıtın içerdiği hidrojen miktarı azaldıkça alt ve üst ısı değer arasındaki fark azalmakta, hidrojen miktarı arttığında ise bu fark artmaktadır (Anonim 2008).

Yukarıda katı yakıtın yanıcılığına etkileri belirtilmiş olan analizler, söz konusu üç türdeki liken için ayrı ayrı yapılmıştır. Yapılan analizlerin sonucunda elde edilen veriler kullanılarak, literatürdeki katı biyoyakıtlar ve kömür türlerinin verileri ile kıyaslama yapılması hedeflenmiştir. Bunun sonucunda elde edilecek verilere göre likenlerin biyoyakıt olarak kullanımı değerlendirilecek ve literatüre katkı sağlanacaktır.

## 2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bu bölümde, araştırmada kullanılan kaynaklar hakkında özet bilgiler verilmektedir.

Anggono vd. (2016) yaptığı çalışmada, *Cerbera manghas* L. (Apocynaceae) türü mango ağacının yapraklarının biyoyakıt olarak kullanımı değerlendirilmiştir. *C. manghas*, nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analize tabi tutulmuştur.

Anonim (2008) kaynağında, alt ve üst ısı değerinin tanımı ve nasıl ölçüldüğü ile alakalı genel bilgiler verilmiştir.

Anonim (2011) kaynağında likenlerin talluslarının çeşitleri verilmiş olup bu çeşitlerin özelliklerine kapsamlı olarak yer verilmiştir. Kaynakta, 6 adet tallus çeşiti ve bunların özellikleri sıralanmıştır. Bu tallus çeşitleri;

- Foliose (Yapraksı) likenler
- Frutikose (Çalimsı) likenler
- Squamulose (Pulsu) likenler
- Crustose (Kabuksu) likenler
- Leprose (Tozsu) likenler
- Filamentous (İpliksi) likenler olarak belirtilmiştir.

Bu çalışmada yukarıdaki thallus çeşitlerinden ilk üçü detaylı olarak anlatılmış olup araştırmada kullanılan liken örneklerinin Foliose ve Frutikose likenler oldukları da belirtilmiştir.

Anonim (2012) kaynağında kömürle ilgili olarak geniş çaplı bilgilere ulaşılmıştır. Söz konusu kaynakta kömürü oluşturan element ve mineraller, kömüre uygulanan kimyasal analizler ve kömürlerin sınıflandırılması konusunda bilgiler verilmektedir. Bu çalışmada söz konusu kaynaktaki bilgilerden, kömüre uygulanan kimyasal analiz metodlarına yer verilmiştir. Bu metodlar,

- Kısa analiz (proximate analysis)

- Elemental analiz (ultimate analysis)
- Isı testi
- Diğer analizler (kükürt formları, CO<sub>3</sub>, Cl, ve iz elementlerin miktarları belirlenmesi için) başlıkları altında verilmiş olup bu çalışmada detaylarına yer verilmiştir.

Anonim (2013) kaynağında Britanya Likenleri adı altında *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf liken türü hakkında bilgiler verilmiştir.

Anonim (2018) kaynağında kağıt yapımı hakkında bilgiler verilmiştir. Kaynağa göre, kağıdın imalatında kullanılan hamur yapımında önemli sayıda ağaç kesilmektedir. Kesilen ağaçların sayısının belirlenmesindeki ana husus, kağıt hamuru değirmeninin kimyasal veya mekanik kağıt hamuru işlemine dayanıp dayanmadığıdır. Sektör uzmanlarının, 1 ton baskı kağıdı üretmek için kimyasal kağıt hamuru hazırlarken bunun için yaklaşık 24 ağaç gerektiğini belirtmişlerdir. 24 ağacın her biri yaklaşık 12 metre yüksekliğinde, yaklaşık 15-20 cm çapında bir yumuşak ağaç ve sert ağaç kombinasyonu olmaktadır. Mekanik hamurlaştırma işleminde ise sert ağaç ve yumuşak ağaç karışımı olan 12 ağaç kullanılmaktadır.

Kağıt üretiminin çevresel etkileri hakkında verilen bilgilerde ise, kağıt yapımının çevre üzerindeki olumsuz etkisinin başlıca sebebinin ağaçsızlandırmak olduğu belirtilmiştir. Kaynakta belirtilene göre, sürekli ormansızlaşmanın en büyük etkisi, küresel iklim modellerindeki değişikliklerdir. Ormansızlaşmanın yanı sıra, kağıt imalat sanayi de hava kirliliğine katkıda bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde, kağıt endüstrileri 2015 yılında hava kirliliğinin kabaca % 20'sini oluşturmuştur. Ayrıca, kağıt üretimi su kirliliğine önemli ölçüde katkıda bulunmaktadır. 2015 yılında Kanada hükümeti ülkenin kağıt endüstrisinin ülkenin su yollarına atılan atığın % 5'ini oluşturduğunu belirlemiştir. Veriler, 1 ton kağıt üretiminin yaklaşık 20.000 galon suyu kirlettiğini göstermektedir.

Anonim (2020) kaynağında Noel kutlamaları için kullanılan ağaçların hasatı hakkında önemli bilgiler içermektedir. Kaynağa göre, bu ağaçlar için bir milyon dönümden fazla arazi kullanılmaktadır.

ASTM International (2015) kaynağı, likenlerin yakıt olarak kullanımının ölçülmesi ve analizinin yapılması için kullanılması gereken standarttır. Bu çalışmada yapılmış olan tüm ölçümler ve analizler, ASTM D2013, ASTM D7582, ASTM D4239, ASTM D5865 ve ASTM D5373 standartlarına uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Bayraç ve Özarıan (2018) biyokütle enerjisini, yatırımların ve işgücü değişikliklerin gayrisafi yurt içi hasıla üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Biyokütle enerjisi son yıllarda dünyada en yaygın kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları arasında bulunmaktadır. Türkiye'nin enerji konusunda yaşadığı sorunlar ve yine enerji konusunda dışa bağımlı olması, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttıran faktörlerdir. Türkiye'de tarımsal potansiyel yüksektir, ve bu nedenle de biyokütle enerjisinin potansiyeli de oldukça yüksektir. Biyokütle enerjisinin Türkiye'nin enerji sorunlarına çözüm olacağı değerlendirilmektedir.

Boylu vd. (2005) makalesinde, Zonguldak-Armutçuk bitümlü kömürü, Soma yarı bitümlü kömürü ve İstanbul linyit kömüründen hazırlanmış karışımlar üzerinde kömür tane boyutu ve yanma oranı sabit tutularak yakma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deney sonucunda, kömürleşme derecesinin karışımların yakılmasında etkili olmadığı saptanmıştır.

Boylu vd. (2018) kömür bileşenlerinin kalorifik değer üzerindeki etkisi üzerine değerlendirmeler yapmışlardır. Kömür kalitesinin, yalnızca kül içeriği ile ifade edilmesinin hatalı bir yaklaşım olduğunu ileri sürmüşlerdir. Kaynağa göre, kömür ısıl değerinin büyük oranda kül yapıcı madde içeriği tarafından kontrol edildiği bilinmektedir ancak, kömür kül içeriğinin yanı sıra, kısa ve elemental analiz bileşenleri de ısıl değer üzerinde önemli etki sahibidir. Kül içeriğinin kömür kalitesi üzerinde etkisi büyük olsa da, aslında kömür kalitesini kül içeriği, ısıl değer ve kömürü meydana getiren orijinal bitkinin kökeninin bir kombinasyonudur. Bu kombinasyon, Türk kömür örnekleri üzerinde değerlendirilerek kaynakta tartışılmıştır.

Caillat ve Vakkilainen (2013) kitabında biyokütlenin yanma, dönüştürme ve kullanım

bilimi ve teknolojisini incelemektedir. Aynı zamanda, biyokütle hammaddelerinin sınıflandırılmasını ve hazırlanmasını açıklamaktadır. Biyokütle tedarik zincirleri konusunda da bilgiler içermektedir.

Channiwala ve Parikh (2002) tarafından yapılan çalışmada, yakıtların elemental ve kısa analizinden üst ısıl değer hesaplanması için birleşik korelasyon kurulmuştur. Bu korelasyon 225 veri noktası kullanılarak türetilmiş ve ilave 50 veri noktası için doğrulanmıştır. Gaz, sıvı, kömür ve biyokütle materyali yakıtlara kadar tüm yakıt spektrumu mevcut korelasyonun türetilmesinde dikkate alınmıştır.

Demirbaş (1997) tarafından yapılan çalışmada, farklı Türk kaynaklarından elde edilen 16 biyokütle numunesinin üst ısıl değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Oluşturulan korelasyonda kısa analiz verileri kullanılmıştır.

Demirbaş (2004) tarafından yapılan çalışmada, biyokütle numunelerinin üst ısıl değerleri deneysel olarak belirlenmiştir. Oluşturulan korelasyonda elemental analiz verileri kullanılmıştır.

Dias vd. (2004) kayıpsız ve çevreye etkisi olmadan çalışan bir enerji üretim sisteminin olmadığını savunmaktadır. Bu fikirden yola çıkarak enerji tasarrufu için hazırlanan projelerde mevcut olan engeller tartışılmakta olup, enerjinin rasyonel kullanımı için eğitimin tüketim toplumu olma yolundaki insanların davranışlarını dönüştürmenin en iyi yollarından biri olduğu belirtilmiştir.

Ebeling ve Jenkins (1985) tarafından yapılan araştırmada çeşitli bitki kökenli biyoyakıtların üst ısıl değerlerini belirlemek amacıyla çeşitli korelasyonlar üretilmiştir.

Encyclopædia Britannica, inc. (2014) küresel anlamda en prestijli ve en uzun süre yayımlanan bir ansiklopedidir. Bu nedenle, bu çalışmanın Giriş bölümünde kaynak olarak kullanılmıştır.

Friedl vd. (2005) tarafından yapılan çalışmada, çeşitli biyoyakıt türlerinin ısıl değerlerinin

belirlenmesi için korelasyonlar kurulmuştur.

Global Biodiversity Information Facility (2019), biyolojik çeşitlilik verilerine açık erişim sağlayan bir bilgi sağlayıcısıdır. Bu bilgi tesisine, dünyanın dört bir yanından birçok kurum tarafından veriler sağlanmaktadır. Kaynak, verilerin taksonomik revizyonlar, çevresel niş modelleme ve biyoçeşitlilik değerlendirmesi için kullanılabilceğini belirtmektedir.

Gülen vd. (2012) tarafından yapılmış olan çalışmada Çanakkale, Tekirdağ, Kütahya ve Muğla'dan çıkarılmış olan, sırasıyla Çan, Saray, Tunçbilek ve Yatağan linyit kömürleri nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analize tabi tutulmuştur. Analizler sonucunda kömürlerin özellikleri saptanmıştır.

Güllü vd. (2017) tarafından biyoyakıt üretimi, karbon emisyonu ve ekonomik büyüme ilişkisi ülke örnekleri üzerinden işlenmiştir. Amerika, Brezilya ve Almanya örnekleri çalışılmış olup bu 3 ülke için de ayrı analiz sonuçları yayınlanmıştır.

Güven vd. (2018) tarafından yapılan araştırmada *Cetraria islandica* (L.) Ach. liken türü, akciğer kanserini önlemek amacıyla kullanılmış olup araştırma sonucunda da *C. islandica*'nın bu amaçla kullanılabilceği sonucuna varılmıştır.

Kranner (2002), üç tür likende farklı derecede kuruma toleransı ile glutasyon durumu arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Araştırmacının kullandığı liken türleri *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Peltigera polydactyla* (Neck.) Hoffm. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türündeki likenlerdir. Araştırma için likenler silika jel üzerinde kurutulmuştur ve sıvı su / su buharı içinde rehidre edilmiştir. Kuruma, neredeyse tüm glutasyonun oksidasyonuna neden olmuş olup, kısa süreli kurumadan sonra rehidrasyon, her üç türde de oksitlenmiş glutasyonun hızla azalmasına neden olmuştur. Uzun süreli kurumadan sonra *P. furfuracea* türü likenin, incelenen likenler arasında kurumaya en toleranslı liken olduğu saptanmıştır. *P. furfuracea* türü liken, sıvı su / su buharında rehidre edildiğinde glutasyonunun hızla arttırdığı gözlemlenmiştir. Ancak, *P. polydactyla*'da her iki rehidrasyon yöntemi de ilk glutasyonu yeniden oluşturmadığı gözlemlenmiştir. Uzun

sürelili kurumadan sonra *L. pulmonaria*, başlangıçtaki glutatyon konsantrasyonlarını sadece sıvı suda rehidre edildiğinde yeniden üretmiştir.

Ladanai ve Vinterbäck (2009) hazırlamış oldukları raporda, sürdürülebilir biyokütle kullanımının küresel ölçekteki potansiyeline değinmişlerdir. Rapor, biyoenerji konularında düzenlenen bilgi araştırmaları ve biyoenerji potansiyelinin literatür taramasını içeren iki ana bölümden oluşmaktadır. Dört ana biyokütle kaynağının (tarım, orman, atık ve diğer) her biri için yayınlanmış olan yayınların, toplamda 4.911 biyoenerji kaydını yansıttığını belirtmişlerdir. Bu 4.911 biyoenerji kaydının gerçek sayının yaklaşık dörtte birini temsil ettiğini öne sürmüşlerdir. Bununla birlikte, biyoenerji kayıtlarının farklı kriterler kullanılarak rafine edilmesi, sürdürülebilirliğin ve sertifikasyonun, her iki konunun çeşitli paydaşlardan ve politika yapıcılardan aldığı kamuoyunun dikkatine rağmen, mevcut literatürde biyoenerji ile ilgili belirgin bir şekilde görülen konular olmadığını da belirtmişlerdir.

Raporda diğer belirtilen noktalar; ormancılıktan elde edilen biyokütlenin enerji üretim potansiyeline ilişkin kaba tahminler, ormanların biyoenerji arzının ana kaynağı olabileceğini göstermektedir. Biyoenerji, tüm dünyada sürdürülebilir bir temelde kullanılabilir kaynaklara dayanmaktadır ve enerji hizmetlerinin teknik açıdan sunulması için etkili bir seçenektir. Ayrıca, elde edilen faydalar enerji tedarikinin ötesine geçerek bölgesel kalkınma için de fırsatlar yaratmaktadır.

Son on yılda, enerji sağlanması için biyokütle fırsatlarından yararlanan ülke sayısı hızla artmıştır. Biyokütlenin enerji için küresel kullanımı sürekli artmakta ve son 40 yılda iki katına çıkmıştır. Biyokütleden enerji için gelecekteki potansiyel, büyük ölçüde arazinin mevcudiyetine bağlıdır. Şu anda, biyoenerji için büyüyen ürünlere ayrılan arazi miktarı sadece 25 milyon hektardır veya dünyanın toplam arazi alanının %0,19'udur.

Larptansuphaphol ve Jitjumroonchokchai (2019) tarafından yapılmış olan çalışmada, palmye yağı, diğer bir deyişle hurma yağı elde etmek amacıyla, *Elais guinensis* Jacq. türü palmye ağaçlarının meyvelerinin kullanıldığı belirtilmiş ve bu üretim sonucunda atık olarak ortaya çıkan boş meyve atıklarının biyoyakıt olarak kullanımı

değerlendirilmiştir. Öncelikle *E. guinensis* boş meyve atıklarının tek başına analizi gerçekleştirilmiş, ardından da siyah pirinç üretiminden arta kalan kabuklar ile 90:10, 80:20, 70:30, 60:40 ve 50:50 oranlarında karıştırılarak farklı analizler de yapılmıştır.

MTA Genel Müdürlüğü (2019) yapılan analizler için deney metod ve şartlarını belirtmiştir. Bu şartlar, TÜRKAK tarafından kabul edilen ASTM (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu) standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır. Bu çalışmadaki analizler, MTA Genel Müdürlüğüne belirtilen metod ve şartlara uygun hazırlanmıştır.

Nayaka (2014), bitki taksonomisi ve sistematığının konu edildiği yayında likenlerin toplanması, korunması ve tanımlanmasında kullanılan yöntem ve tekniklerin yer aldığı bir bölüm yayınlamıştır. Yazar bu bölümde, likenlerin büyümesi ve formları, likenlerin toplanması ve korunması, liken türlerinin belirlenmesi gibi alt başlıklara detaylı olarak değinmiştir.

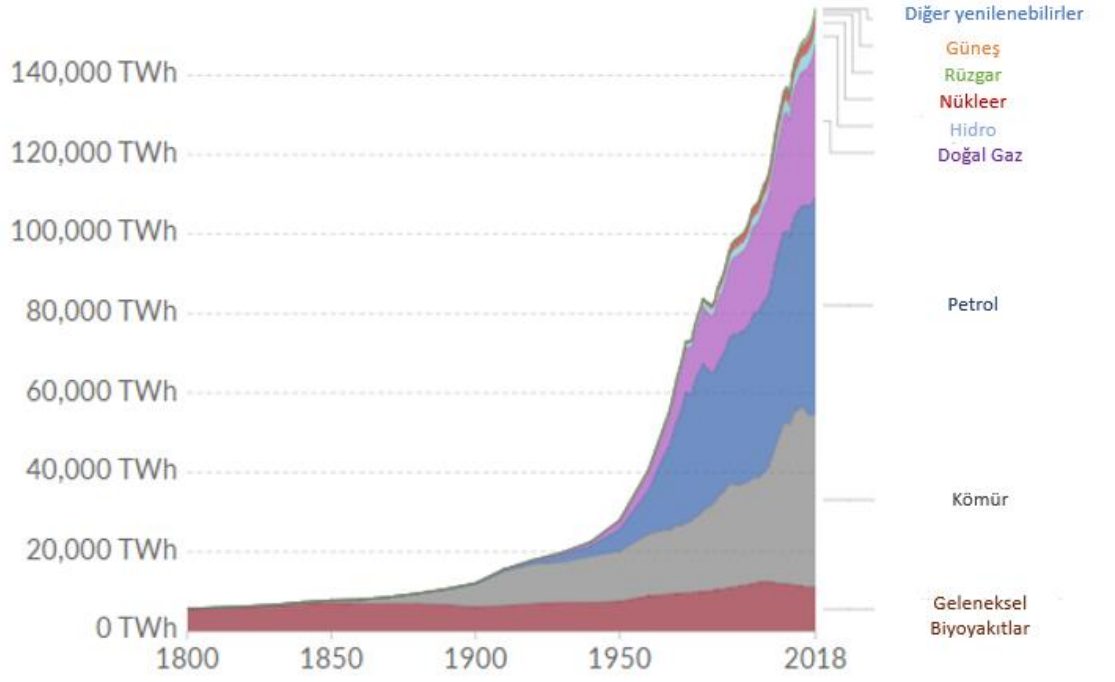
Onurbaş Avcioğlu (2017), Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri dersi altında biyoyakıtlar, biyorafineri teknolojisi, dünyada biyoyakıt teknolojisi, Türkiye’de biyoyakıt teknolojisi ve pelet briket teknolojisi gibi konuları anlatmıştır.

Özer vd. (1998) tarafından yazılmış olan Herbaryum Yapma Teknikleri ve Yabancı Ot Teşhis Yöntemleri adlı kitap; herbaryum yapımı, toplama ve kurutma yöntemleri, örneklerin etiketlenmesi, ilaçlanması ve korunması, teşhis çalışmaları ve kriterleri gibi konuları detaylı olarak içermektedir.

Öztürk (2017) kaynağında kömürde dikkat edilmesi gereken etmenlere değinilmiştir. Bu etmenler kalori, nem, kül, boyut, kükürt, şişme indeksi, uçucu madde vb. olarak sıralanmış ve detaylandırılmıştır.

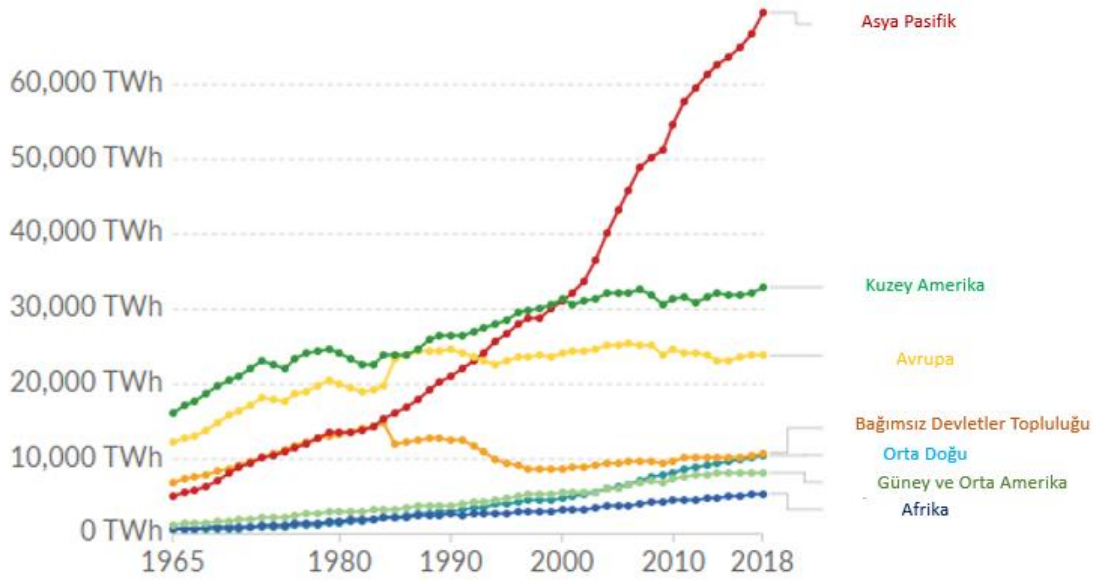
Parikh vd. (2005) tarafından yapılan modellemede çeşitli biyoyakıtlar, kömür ve katı yakıtların üst ısı değerlerinin belirlenmesi için bir korelasyon oluşturulmuştur.

Ritchie ve Roser (2018), yakın geçmişteki enerji tüketim, arz-talepleri hakkında bilgiler vermektedirler. Öncelikle, aşağıdaki Şekil 2.1’de belirtildiği gibi küresel düzeydeki enerji tüketimine değinip 1800 yılından 2018 yılına kadar tüketilmiş olan elektrik enerjisine ve bu değeri karşılayan kaynaklara değinmişlerdir.



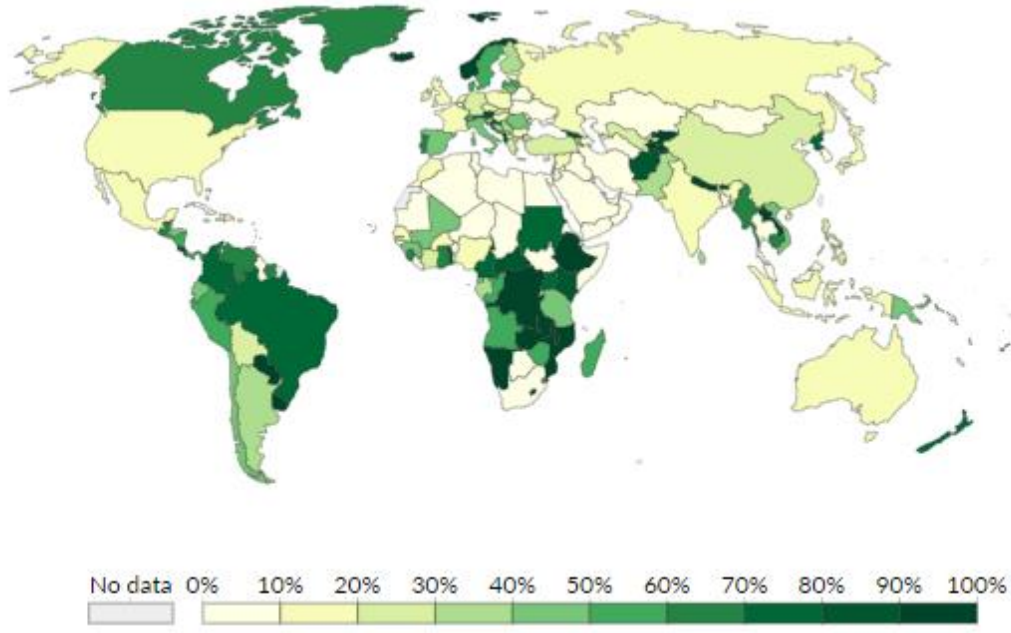
Şekil 2.1 1800-2018 küresel enerji tüketimi

İkinci önemli nokta olarak, bölgesel olarak enerji tüketimine değinmişlerdir. 1965 yılından 2018 yılına kadar bölgesel olarak tüketilen enerji miktarı Şekil 2.2’deki gibidir.



Şekil 2.2 1965-2018 bölgesel olarak tüketilen enerji miktarı

Son önemli nokta olarak da, 2014 yılı Dünya Bankası verilerine göre ülkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektriğin yüzde bilgisi verilmiştir. Buna biyokütle dahildir, hidroelektrik, güneş, rüzgar, jeotermal ve deniz enerjisi de dahil olup, nükleer enerji kaynakları dahil değildir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin payı ülkesel olarak aşağıdaki Şekil 2.3'te verilmiştir.



Şekil 2.3 2014 yılı ülkesel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin payı

Utah State University (2020) kaynağında likenler hakkında bilgiler verilmiştir. Likenlerin gelişimi, tallusu ve kullanım alanlarıyla alakalı bilgiler kaynakta yer almaktadır.

Vargas-Moreno vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, literatürdeki üst ısıl değer belirlenmesi için oluşturulan korelasyonlar değerlendirilmiş ve özetlenmiştir.

Yıldız (1998), Batı Karadeniz Bölgesinde yer alan Çangal Dağı'nın liken florasını ortaya çıkarmak amacıyla 1993 ve 1994 yıllarında araştırmalar gerçekleştirilmiştir. Bu araştırma sonucunda Çangal Dağı'nda 8 ordo, 19 familya, 28 cinse ait toplam 53 liken türü tespit edilmiştir.

Yıldız vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada Ankara ilinin hava kirliliğinin tespitinde *Pseudevernia furfuracea* türü liken biyoindikatör olarak kullanılmıştır.

Yıldız vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada Kayseri ilinin hava kirliliğinin tespitinde *Pseudevernia furfuracea* türü liken kullanılmıştır. Çalışmada, *P. furfuracea*, Kayseri'deki hava kirliliğinin ağır metal seviyesini belirlemek ve kentte bir hava kirliliği haritası oluşturmak için biyoindikatör olarak kullanılmıştır.

Yıldız vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada Aksaray ilinin hava kirliliğinin tespitinde *Pseudevernia furfuracea* türü liken biyoindikatör olarak kullanılmıştır.

Yıldız vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada Çorum ilinin hava kirliliğinin tespitinde *Pseudevernia furfuracea* türü liken kullanılmıştır. Çalışmada *P. furfuracea*, Çorum ili havasının bünyesindeki ağır metal seviyesini belirlemek ve şehrin hava kirliliği haritasını oluşturmak için biyoindikatör olarak kullanılmıştır.

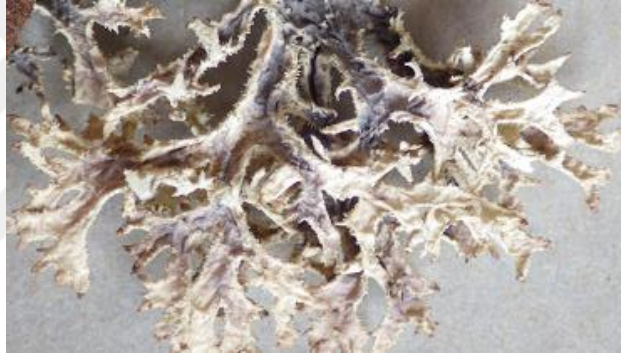


### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal ve yöntem bölümü çalışmalarda kullanılan malzemeler, malzemelerin özellikleri ve hazırlanma basamakları, deneysel yöntemler ve yapılan analizlere ilişkin bilgiler içermektedir.

#### 3.1 Materyal

Araştırmada *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. liken türleri kullanılmıştır. Bu liken türlerinin numune görüntüsü, aşağıda Şekil 3.1, 3.2 ve 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.1 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf



Şekil 3.2 *Cetraria islandica* (L.) Ach.



Şekil 3.3 *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm.

## 3.2 Yöntem

Bu bölümde, likenler toplanırken kullanılan yöntem ve analiz yöntemleri hakkında bilgi verilmiştir.

### 3.2.1 Toplama yöntemi

Likenleri toplamak için arazi çalışması yapılmaktadır. Liken toplanması için gerekli araç kalem keski, çekiç, defter, harita, bıçak, GPS ve kesekağıdır. Bu aletler yardımı ile liken ağaç kabukları ve taş, kaya, duvar, toprak vb. substratlar üzerinden parçalar halinde çıkarılır. Toplanmış olan örnekler kese kâğıdında taşınmaktadır. Toplanan örnekler, toplanan istasyon ve gerekli tanımlama bilgilerini içeren etiketler ile birlikte kese kâğıdına konulur. Ağaçlar, çalılar, yapraklı karayosunları ve farklı substratlarda yetişen liken türlerinde, mümkün olduğu kadar likenlerin bağlı olduğu zeminden de örnek alınmaktadır. Likenin tallusunun alt tarafında gelişen ve onu ana zemine bağlayan bazı rizoidleri almaya dikkat edilmelidir. Likenler doğrudan kazılarak topraktan alındığında, rizoidleri yıkanarak toprak partiküllerinden arındırılır. Arazide yapılacak bu işlem laboratuvardaki temizlemeyi çok büyük oranda kolaylaştırmaktadır (Nayaka 2014).

Toplanan örnekler konulduğu kese kâğıdı çantanın içerisinde ağzı açık bir şekilde saklanmaktadır. Örnekler, penset kullanılarak ışık mikroskobu altında içerisindeki böcek ve diğer maddelerden arındırılırlar. Böylelikle analiz için gerekli proselere hazır hale

gelirler. Hazır hale gelen likenler, liken flora kitapları, teşhis anahtarları ve atlasları kullanılarak teşhis edilir (Özer vd. 1998).

Bu çalışmada kullanılmak üzere Ankara ili Çamlıdere bölgesinden toplanan liken örnekleri *P. furfuracea* ve *C. islandica* olarak tayin edilmiştir. Bolu ili Mengen bölgesinden toplanan liken örnekleri de *L. pulmonaria* olarak tayin edilmiştir. Örneklerin lokalite bilgileri aşağıdaki Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1 Toplanan liken örneklerinin lokalite bilgileri

Liken Örnek Adı	<i>Pseudevernia furfuracea</i>	<i>Cetraria islandica</i>	<i>Lobaria pulmonaria</i>
<b>Bulunduğu Bölge</b>	Ankara – Çamlıdere, Aluçdağı Tabiat Parkı, Aluçdağı Mevkii, Çamlıdere merkeze 7 km mesafede	Ankara – Çamlıdere, Aluçdağı Tabiat Parkı, Aluçdağı Mevkii, Çamlıdere merkeze 7 km mesafede	Zonguldak – Bolu arası, Devrek-Mengen arası, Mengen’e 16 km kala
<b>Substrat</b>	<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i> üzeri	Toprak üzeri	<i>Fagus orientalis</i> üzeri
<b>Yükseklik (m)</b>	1350 m	1350 m	600-700 m
<b>Koordinat</b>	N 40° 29.989’ E 32° 33.288’	N 40° 29’ 99’’ E 32° 33’ 29’’	N 41° 03’ 20’’ E 32° 03’ 56’’
<b>Toplanma Tarihi</b>	02.11.2019	02.11.2019	30.11.2013
<b>Toplayan Araştırmacı</b>	Prof. Dr. Atila YILDIZ	Prof. Dr. Atila YILDIZ	Prof. Dr. Atila YILDIZ
<b>Teşhis Eden Araştırmacı</b>	Prof. Dr. Atila YILDIZ	Prof. Dr. Atila YILDIZ	Prof. Dr. Atila YILDIZ

### 3.2.2 Analiz yöntemi

Temizlenmiş *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türleri analiz için homojen olarak öğütülüp hassas terazi ile tartılarak aşağıdaki çizelgede verilmiş olan şartlar sağlanmıştır. Bu şartlar, TÜRKAK tarafından kabul edilen ASTM (Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu) standartlarına uygun olarak hazırlanmıştır (MTA Genel Müdürlüğü 2019). Çizelge 3.1’de ayrıntılar verilmiştir.

Çizelge 3.2 Deneysel çalışmada kullanılan örneklerin analiz için sağlaması gereken şartlar

<b>Tür</b>	<b>Numune kütlesi</b>	<b>Numune tanecik boyutu</b>
<i>Pseudevernia furfuracea</i> (L.) Zopf	50 g	250 µm
<i>Cetraria islandica</i> (L.) Ach.	50 g	250 µm
<i>Lobaria pulmonaria</i> (L.) Hoffm.	50 g	250 µm

Tüm analizler ASTM standartlarına uygun olarak yapılmış olup aşağıda verilen çizelgede yapılan analizlere göre kullanılan cihaz ve metodlar verilmiştir. Ardından da yapılan analizler detaylı olarak açıklanmıştır. Çizelge 3.2’de ayrıntılar verilmiştir.

Çizelge 3.3 Yapılan analizler, kullanılan cihazlar ve analiz metodu

<b>Yapılan Analizler</b>	<b>Kullanılan Cihazlar</b>	<b>Analiz Metodu</b>
Nem, uçucu ve kül analizi	LECO TGA 701	ASTM D7582
Isıl değer analizi	IKA C6000	ASTM D5865
Kükürt analizi	ELTRA CS 580	ASTM D4239
Elemental analiz (CHNO)	LECO CHN 628	ASTM D5373

Nem, uçucu ve kül analizi: Diğer bir adı da *kısa analiz*dir. Analiz sonuçları % oran ile belirtilmektedir.

Nem, numunenin ısı değerini azaltan bir faktördür. Bu nedenle analizinin yapılması gerekmektedir.

Uçucu, yani uçucu madde analizi, yüksek sıcaklıkta nem dışında serbestleşen maddeleri saptamak için kullanılmaktadır. Bu maddeler CH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, CO, CO<sub>2</sub> vb. olabilmektedir. Bu analiz ASTM standartında 950 °C sıcaklıkta yapılmaktadır (Anonim 2012, ASTM International 2015).

Kül, yanma sonrası açığa çıkan atık ile değerlendirilmektedir. Yakıtlarda yanma sonrası yüksek kül çıkması tercih edilen bir durum değildir, bu nedenle kül analizi yapılmaktadır. Bu analiz için, ASTM standartında 750 °C yeterli bir sıcaklıktır (ASTM International 2015).

Son olarak kısa analizde, numunenin içerdiği sabit karbona da bakılmaktadır. Uçucu maddeler uzaklaştırıldıktan sonra arta kalan malzemede bulunan karbona, sabit karbon denmektedir. Bu analizin yapılma nedeni, numunenin içerdiği organik bileşiklerin bozunma artıklarını saptamaktır (Anonim 2012).

Kısa analizde kullanılmakta olan cihaz, LECO şirketinin TGA 701 model Termogravimetrik Analiz cihazıdır.



Şekil 3.4 LECO TGA 701

Isıl değer analizi: Bu analiz, numunenin yakıldığında açığa çıkardığı ısı miktarını belirleyebilmek için yapılmaktadır. Birimi kcal/kg'dir.

Numunenin laboratuvarda kapalı bir fırında belirlenen ısı değerine st ısı değer, kapalı olmayan koşullarda belirlenen ısı değere de alt ısı değer denilmektedir. Az miktarda uçucu madde içeren yakıtların alt ve st ısı değerleri arasındaki fark az, yüksek uçucu madde içeren yakıtların alt ve st ısı değerleri arasındaki fark büyük olmaktadır (Anonim 2012).

Isıl değer analizi için kullanılmakta olan cihaz, IKA grubunun C6000 model Kalorimetre cihazıdır.



Şekil 3.5 IKA C6000

Kükürt analizi: Katı yakıtlarda yüksek oranda kükürt bulunması tercih edilen bir durum değildir. Kükürt oranı fazlalığı, yakıtın yanma sonrası atık oluşturma eğilimini arttırmaktadır. Bu nedenle numunenin kükürt analizi yapılmaktadır. Analiz sonuçları % oran ile belirtilmektedir. Bu analiz için kullanılan cihaz, ELTRA grubunun CS 580 model Karbon Kükürt Analizörü cihazıdır (Boylu 2018).



Şekil 3.6 ELTRA CS 580

Elemental analiz: LECO CHN 628 Elemental Analiz Cihazı ile karbon, hidrojen, oksijen ve azot elementleri eş zamanlı şekilde homojen olarak öğütülmüş araştırmaya konu 3 liken türü için belirlenmek üzere kullanılmıştır. Analiz sonuçları % oran ile belirtilmektedir.



Şekil 3.7 LECO CHN 628

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tez kapsamında *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türleri; nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analizlere tabi tutulmuşlardır. Bu analizler neticesinde elde edilen sonuçlar kullanılarak likenlerin biyoyakıt olarak kullanımını değerlendirilmiştir.

Bu araştırmada kullanılan *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türleri için sırasıyla; ilk iki liken türü Ankara ili Çamlıdere bölgesinden, son liken türü de Bolu ili Mengen bölgesinden toplanılmıştır. Örnekler temizlendikten sonra, homojen olarak 250 µm tanecik boyutunda öğütülüp analizlere hazır hale getirilmişlerdir. Bu işlemlerin ardından tüm analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde, her bir liken türü için toplamda 50 g örnek kullanılmıştır.

Tezin bu kısmında, söz konusu üç liken türü için ayrı ayrı uygulanan nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analiz süreci ve sonuçları incelenmiştir. Tüm analizler, orijinal numune ve neminden arındırılmış kuru numune için ayrı ayrı yapılmıştır.

##### 4.1 Nem, Uçucu ve Kül Analizi (Kısa Analiz)

Tezin bu bölümünde, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türündeki likenlere uygulanmış olan kısa analiz sonuçları verilmiştir ve elde edilen verilere göre türler arası karşılaştırmalar yapılmıştır. Yapılan analizler ile alakalı ayrıntılı bilgiler, tezin Giriş bölümünde verilmiştir.

##### 4.1.1 Orijinal numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örnekleri LECO TGA 701 marka ve model Termogravimetrik Analiz cihazı kullanılarak nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon analizlerine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.1’de, *C. islandica* için Çizelge 4.2’de ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.3’te

verilmiştir.

Çizelge 4.1 *Pseudevernia furfuracea* orijinal numune kısa analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Nem	5.26	%
Kül	4.51	%
Uçucu Madde	75.88	%
Sabit Karbon	14.35	%

Çizelge 4.2 *Cetraria islandica* orijinal numune kısa analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Nem	8.41	%
Kül	3.10	%
Uçucu Madde	76.71	%
Sabit Karbon	11.78	%

Çizelge 4.3 *L. pulmonaria* orijinal numune kısa analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Nem	6.29	%
Kül	4.97	%
Uçucu Madde	74.12	%
Sabit Karbon	14.63	%

#### 4.1.2 Kuru numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örnekleri öncelikle neminden arındırılmıştır. Kuru numune, LECO TGA 701 marka ve model Termogravimetrik Analiz cihazı kullanılarak nem, kül, uçucu madde ve sabit karbon analizlerine tabi tutulmuştur. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.4'te, *C. islandica* için Çizelge 4.5'te ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.4 *Pseudevernia furfuracea* kuru numune kısa analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Kül	4.76	%
Uçucu Madde	80.09	%
Sabit Karbon	15.15	%

Çizelge 4.5 *Cetraria islandica* kuru numune kısa analiz sonuçları

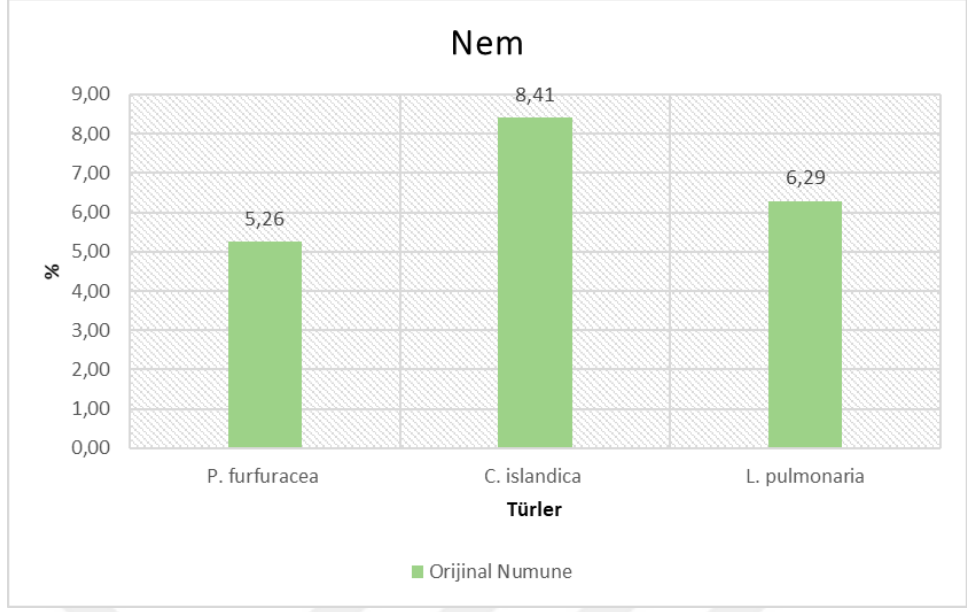
<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Kül	3.39	%
Uçucu Madde	83.75	%
Sabit Karbon	12.86	%

Çizelge 4.6 *Lobaria pulmonaria* kuru numune kısa analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Kül	5.30	%
Uçucu Madde	79.09	%
Sabit Karbon	15.61	%

#### 4.1.3 Türler arası karşılaştırma

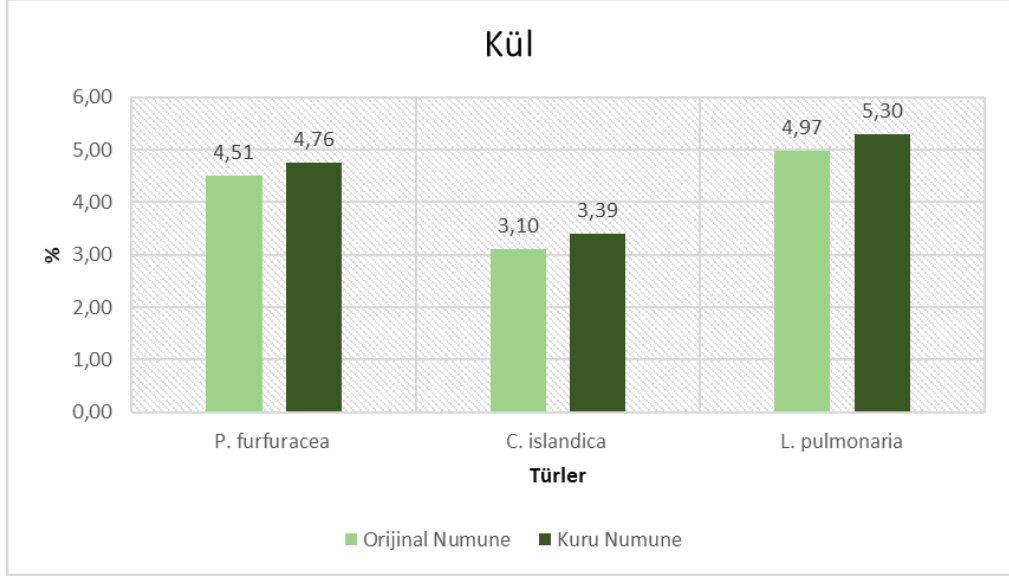
Nem: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Nem Oranı Karşılaştırma Grafiği Şekil 4.1’de verilmiştir.



Şekil 4.1 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için nem oranı karşılaştırması

Analizlerde kullanılan üç liken türü aynı ortamda, aynı koşullarda saklanmıştır. Bu durum göz önüne alındığında, analiz sonuçlarına göre *C. islandica* türünün nem tutma kapasitesinin en fazla, *P. furfuracea* türünün nem tutma kapasitesinin ise en az olan tür olduğu söylenebilir. Verimli bir yanma için maddenin nem tutma kapasitesinin az olması gerekmektedir. Bu nedenle, nem tutma kapasitesi bazında, üç tür içinde en verimli yanma gerçekleştirecek olan tür *P. furfuracea* türüdür.

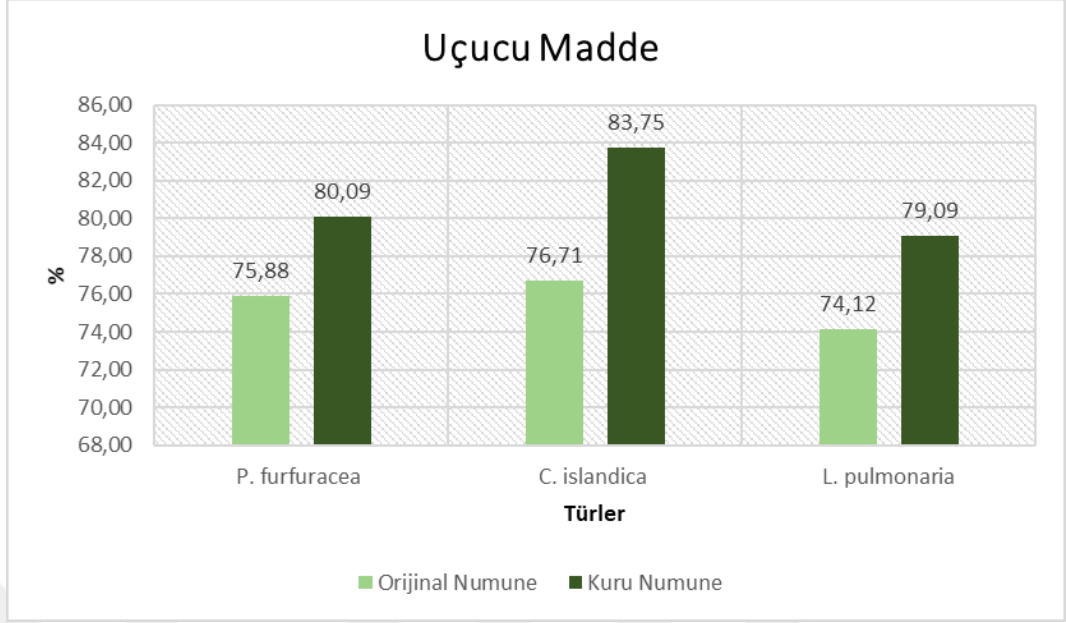
Kül: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Kül Oranı Karşılaştırma Grafiği Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için kül oranı karşılaştırması

Kül oranının, yanma reaksiyonu gerçekleştikten sonra maddeden arta kalan kısım olduğu göz önüne alındığında verimli bir yanma için kül oranının minimum düzeyde olması gerekmektedir. Analize tabi tutulmuş üç tür arasında hem orijinal numunede, hem kuru numunede kül oranı en az olan türün *C. islandica* türü olduğu görülmüştür.

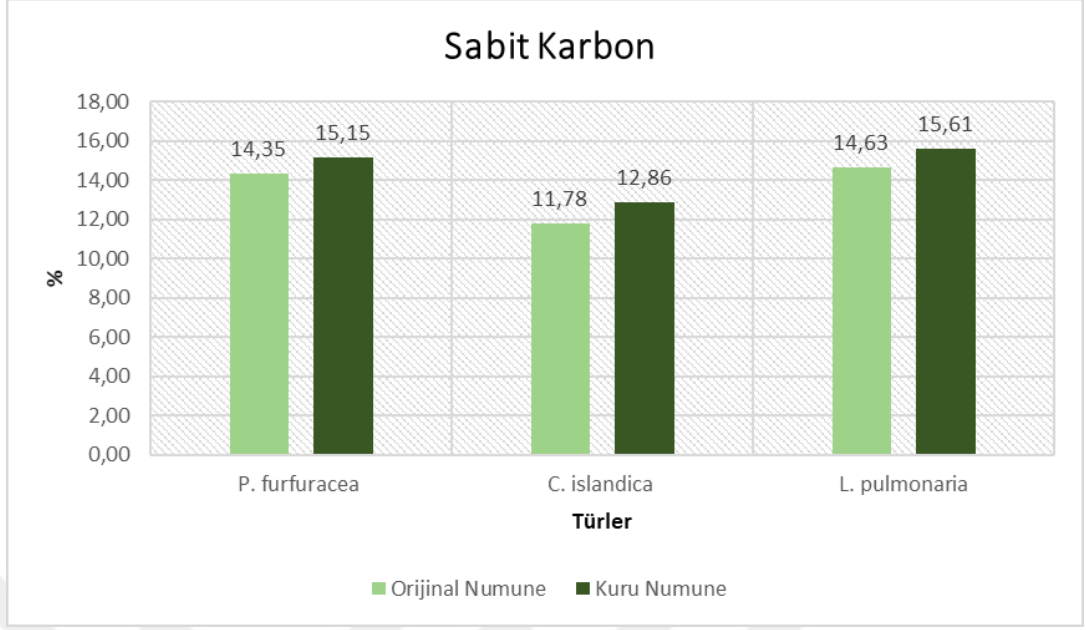
Uçucu Madde: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Uçucu Madde Oranı Karşılaştırma Grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.3 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için uçucu madde oranı karşılaştırması

Verimli bir yanma reaksiyonunun gerçekleşebilmesi için maddenin uçucu madde oranı az olmalıdır. *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için deney sonuçlarına bakıldığında, en fazla uçucu madde içeren tür *C. islandica* türü iken, en az uçucu madde içeren tür *L. pulmonaria* türüdür. Bu nedenle, uçucu madde bazında, *L. pulmonaria* türü liken en verimli yanıcıdır denilebilir.

Sabit Karbon: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Uçucu Madde Oranı Karşılaştırma Grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir.



Şekil 4.4 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için sabit karbon oranı karşılaştırması

Üç liken türü içinde hem orijinal, hem kuru numune analizlerine göre en düşük sabit karbon oranı *C. islandica* türüne aittir. *P. furfuracea* ve *L. pulmonaria* türleri arasında belirgin bir fark analiz edilmemiştir. *L. pulmonaria* liken türü *P. furfuracea* türünden orijinal numunede %2 oranda, kuru numunede ise %3 oranda daha fazla sabit karbona sahiptir. Bu nedenle, sabit karbon oranı bazında, örneklem grubunda yanma verimi yüksek olan tür *L. pulmonaria* türüdür.

## 4.2 Isıl Değer Analizi

Tezin bu bölümünde, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türlerine uygulanmış olan alt ve üst ısıl değer analizlerinin sonuçları verilmiş olup, elde edilen verilere göre türler arası karşılaştırmalar yapılmıştır.

### 4.2.1 Orijinal numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örneklerinin IKA C6000 marka ve model Kalorimetre kullanılarak alt ve üst ısıl değerleri saptanmıştır. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.7'de, *C. islandica* için Çizelge

4.8’de ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.7 *Pseudevernia furfuracea* orijinal numune ısıl değer analizi sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Alt Isıl Değer	3747	kcal/kg
Üst Isıl Değer	4067	kcal/kg

Çizelge 4.8 *Cetraria islandica* orijinal numune ısıl değer analizi sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Alt Isıl Değer	3424	kcal/kg
Üst Isıl Değer	3752	kcal/kg

Çizelge 4.9 *Lobaria pulmonaria* orijinal numune ısıl değer analizi sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Alt Isıl Değer	3687	kcal/kg
Üst Isıl Değer	4014	kcal/kg

#### 4.2.2 Kuru numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örnekleri öncelikle neminden arındırılmıştır. Ardından kuru numunenin, IKA C6000 marka ve model Kalorimetre kullanılarak alt ve üst ısıl değerleri saptanmıştır. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.10’da, *C. islandica* için Çizelge 4.11’de ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.12’de verilmiştir.

Çizelge 4.10 *Pseudevernia furfuracea* kuru numune ısıl değer analizi sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Alt Isıl Değer	3988	kcal/kg
Üst Isıl Değer	4293	kcal/kg

Çizelge 4.11 *Cetraria islandica* kuru numune ısııl değer analizi sonuçları

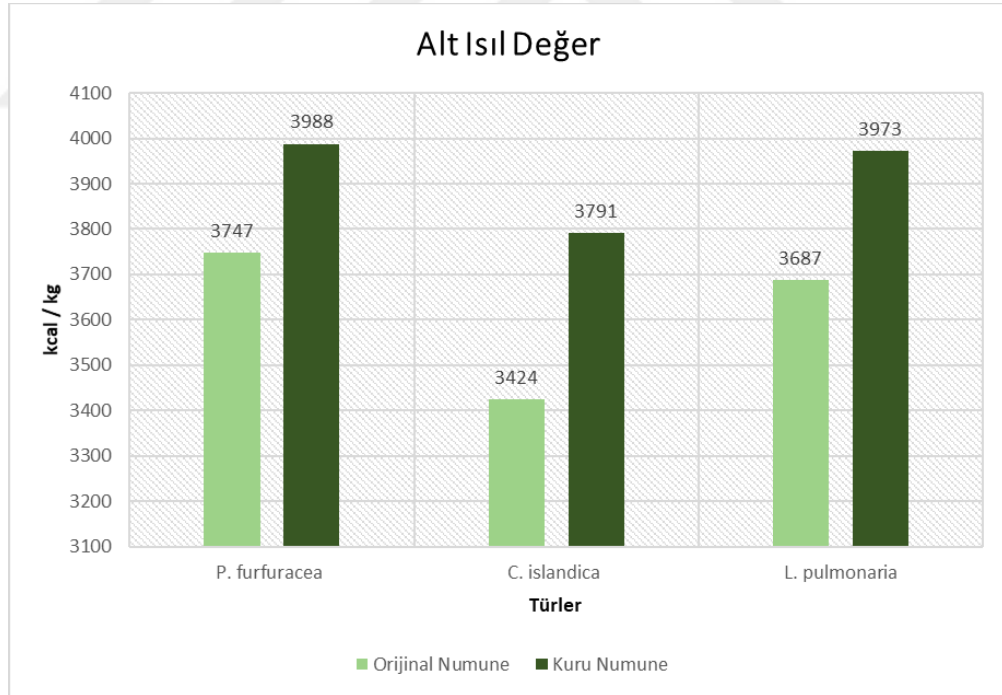
Analiz Adı	Değer	Birim
Alt Isıl Değer	3791	kcal/kg
Üst Isıl Değer	4097	kcal/kg

Çizelge 4.12 *Lobaria pulmonaria* kuru numune ısııl değer analizi sonuçları

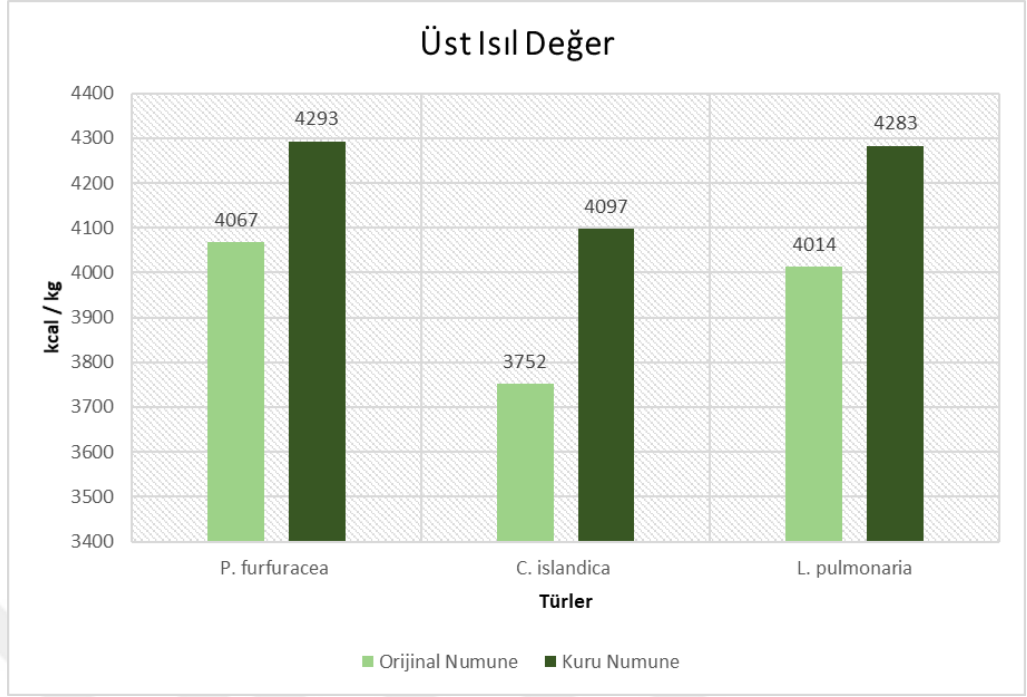
Analiz Adı	Değer	Birim
Alt Isıl Değer	3973	kcal/kg
Üst Isıl Değer	4283	kcal/kg

#### 4.2.3 Türler arası karşılaştırma

Alt ve üst ısııl değer deneysel sonuçları karşılaştırma tabloları örneklem grubu için Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.5 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için alt ısııl değer karşılaştırması



Şekil 4.6 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için üst ısıl değer karşılaştırması

Hem alt hem de üst ısıl değerleri için örneklem gruba bakıldığında, birim yakıt kütlenin içerdiği en düşük enerji miktarı *C. islandica* türüne aittir. En yüksek enerji miktarı ise *P. furfuracea* türüne aittir. *L. pulmonaria* türü, *P. furfuracea* türünden alt ısıl değerinde %2 oranda, üst ısıl değerinde ise %1 oranında düşüktür. Bu oranlar göz önüne alındığında, iki tür arasında belirgin bir ısıl değer farkı yoktur denilebilir.

### 4.3 Kükürt Analizi

Bu bölümde, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türlerine uygulanmış olan kükürt analizi sonuçları verilmiştir. Ardından, elde edilen verilere göre türler arası karşılaştırmalar yapılmıştır.

Kükürt elementinin bir sera gazı olan  $SO_x$  gazının kaynağı olması, yakıt olarak kullanılan maddenin kükürt oranının düşük olmasını gerektirmektedir. Ayrıntılı bilgi, tezin Giriş bölümünde verilmiştir.

#### 4.3.1 Orijinal numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örneklerinin ELTRA CS 580 marka ve model Karbon Kükürt Analizörü kullanılarak kükürt yüzdeleri saptanmıştır. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.13'te, *C. islandica* için Çizelge 4.14'te ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.13 *Pseudevernia furfuracea* orijinal numune kükürt analizi sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Kükürt (S)	0.19	%

Çizelge 4.14 *Cetraria islandica* orijinal numune kükürt analizi sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Kükürt (S)	0.07	%

Çizelge 4.15 *Lobaria pulmonaria* orijinal numune kükürt analizi sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Kükürt (S)	0.11	%

#### 4.3.2 Kuru numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örnekleri öncelikle neminden arındırılmıştır. Elde edilen kuru numune, ELTRA CS 580 marka ve model Karbon Kükürt Analizörü kullanılarak kükürt yüzdeleri saptanmıştır. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.16'da, *C. islandica* için Çizelge 4.17'de ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.18'de verilmiştir.

Çizelge 4.16 *Pseudevernia furfuracea* kuru numune kükürt analizi sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Kükürt (S)	0.20	%

Çizelge 4.17 *Cetraria islandica* kuru numune kükürt analizi sonuçları

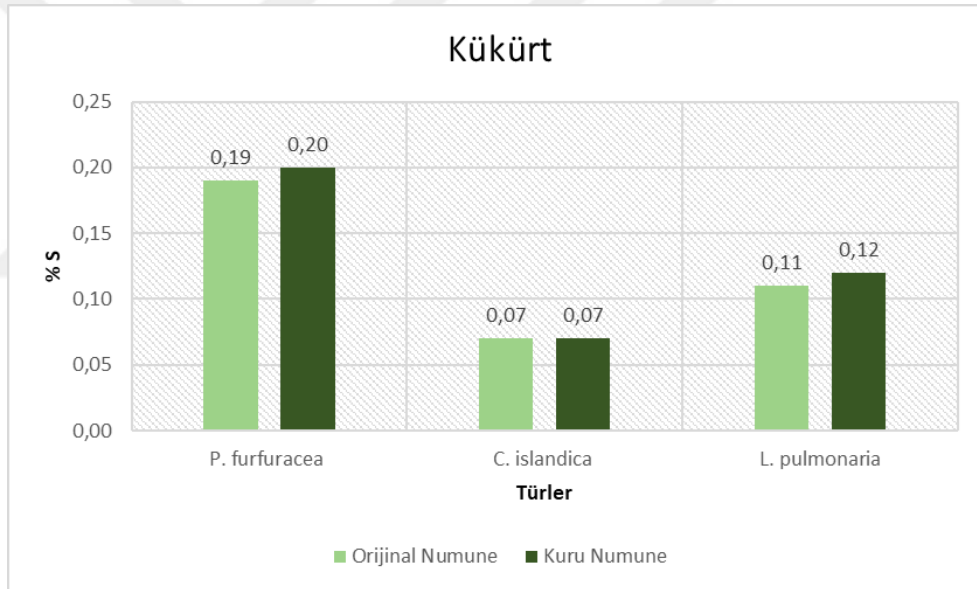
Analiz Adı	Değer	Birim
Kükürt (S)	0.07	%

Çizelge 4.18 *Lobaria pulmonaria* kuru numune kükürt analizi sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Kükürt (S)	0.12	%

### 4.3.3 Türler arası karşılaştırma

*P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Kükürt Oranı Karşılaştırma Tablosu Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için kükürt oranı karşılaştırması

Örnekleme grubunda en az kükürt oranına sahip olan tür *C. islandica* türüdür. En fazla kükürt oranına sahip tür ise *P. furfuracea* türüdür. Kükürt oranı bazında örnekleme grubu türleri arasında belirgin fark olsa da, yakıt olarak değerlendirildikleri göz önüne alındığında, üç liken türü için de kükürt oranlarının ideal seviyede oldukları söylenebilir.

#### 4.4 Elemental Analiz

Bu bölümde, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türlerine uygulanmış olan elemental analizin sonuçları verilmiş olup, elde edilen verilere göre türler arası karşılaştırmalar yapılmıştır.

Hidrojen, oksijen ve azot elementlerinin oranlarının yüksek olması, yanıcı maddenin kalitesini azaltan faktörlerdendir. Karbon elementinin oranının fazlalığı ise, yanıcı maddenin ısıl değerini arttıran bir faktördür. Söz konusu analiz ile alakalı ayrıntılı bilgiler, tezin Giriş bölümünde verilmiştir.

##### 4.4.1 Orijinal numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örneklerinin LECO CHN 628 marka ve model Elemental Analiz Cihazı kullanılarak karbon, hidrojen, azot ve oksijen yüzdeleri saptanmıştır. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.19’da, *C. islandica* için Çizelge 4.20’de ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.21’de verilmiştir.

Çizelge 4.19 *Pseudevernia furfuracea* orijinal numune elemental analiz sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Karbon (C)	44.52	%
Hidrojen (H)	5.55	%
Azot (N)	1.06	%
Oksijen (O)	38.98	%

Çizelge 4.20 *Cetraria islandica* orijinal numune elemental analiz sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Karbon (C)	41.56	%
Hidrojen (H)	5.36	%
Azot (N)	0.57	%
Oksijen (O)	40.97	%

Çizelge 4.21 *Lobaria pulmonaria* orijinal numune elemental analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Karbon (C)	43.78	%
Hidrojen (H)	5.58	%
Azot (N)	2.40	%
Oksijen (O)	36.93	%

#### 4.4.2 Kuru numune ölçümleri

Homojen ve 250 µm tanecik boyutlu *P. furfuracea*, *C. islandica*, *L. pulmonaria* örnekleri öncelikle neminden arındırılmıştır. Ardından kuru numunenin, LECO CHN 628 marka ve model Elemental Analiz Cihazı kullanılarak karbon, hidrojen, azot ve oksijen yüzdeleri saptanmıştır. Analiz sonuçları *P. furfuracea* için Çizelge 4.22’de, *C. islandica* için Çizelge 4.23’te ve *L. pulmonaria* için Çizelge 4.24’te verilmiştir.

Çizelge 4.22 *Pseudevernia furfuracea* kuru numune elemental analiz sonuçları

<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Karbon (C)	46.99	%
Hidrojen (H)	5.86	%
Azot (N)	1.12	%
Oksijen (O)	41.14	%

Çizelge 4.23 *Cetraria islandica* kuru numune elemental analiz sonuçları

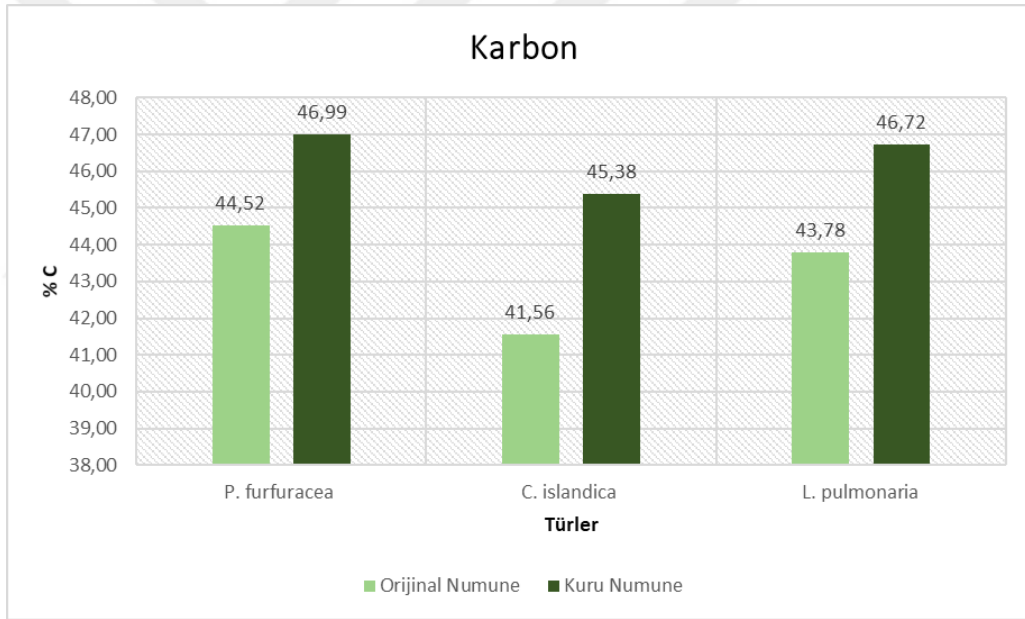
<b>Analiz Adı</b>	<b>Değer</b>	<b>Birim</b>
Karbon (C)	45.38	%
Hidrojen (H)	5.86	%
Azot (N)	0.62	%
Oksijen (O)	44.73	%

Çizelge 4.24 *Lobaria pulmonaria* kuru numune elemental analiz sonuçları

Analiz Adı	Değer	Birim
Karbon (C)	46.72	%
Hidrojen (H)	5.96	%
Azot (N)	2.56	%
Oksijen (O)	39.41	%

#### 4.4.3 Türler arası karşılaştırma

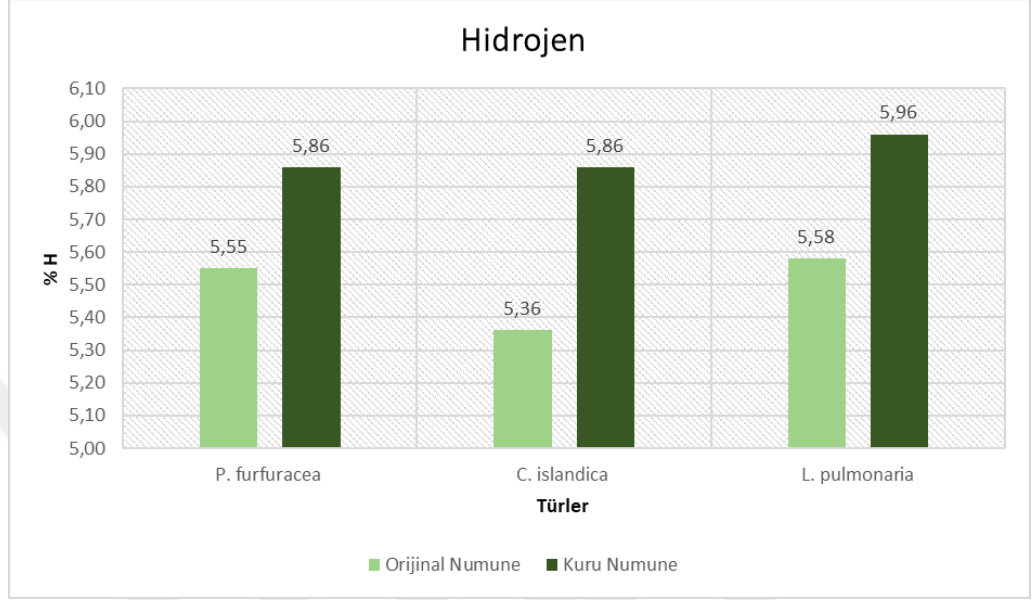
Karbon: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Karbon Oranı Karşılaştırma Tablosu Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için karbon oranı karşılaştırması

Örneklem grubu orijinal ve kuru numune analizlerine göre en yüksek karbon elementi oranı *P. furfuracea* ve *L. pulmonaria* türlerine aittir. Analiz sonuçlarında bu iki tür arasında belirgin bir fark gözlenmemiştir. Diğer iki türden %5 farkla, *C. islandica* en düşük karbon oranına sahiptir. Maddede karbon elementi oranının artması, yanma verimini arttırdığından *P. furfuracea* ve *L. pulmonaria* türleri, *C. islandica* türündeki likenden daha verimli bir yanma gerçekleştirmektedirler.

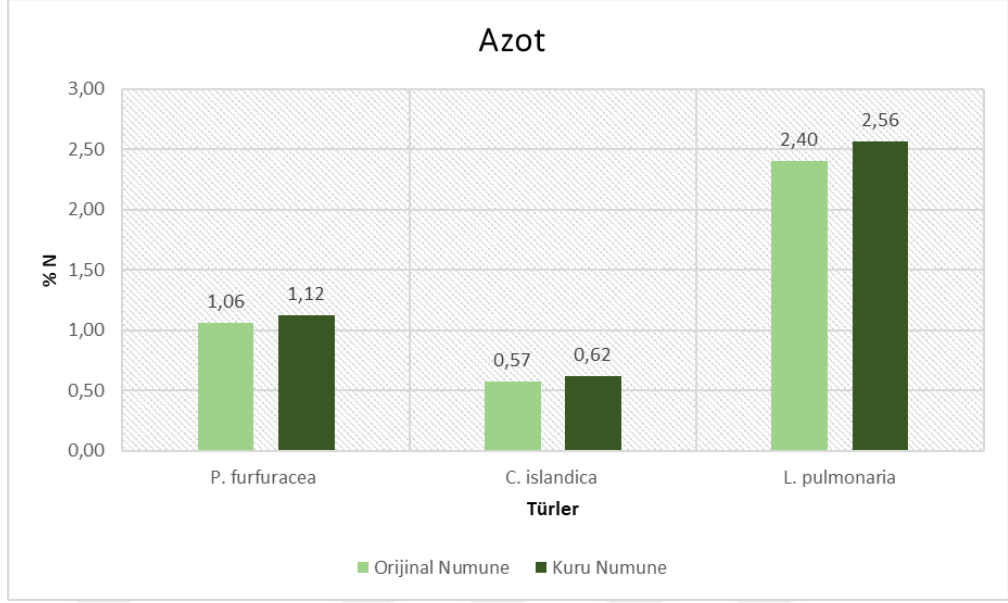
Hidrojen: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Hidrojen Oranı Karşılaştırma Tablosu Şekil 4.9’da verilmiştir.



Şekil 4.9 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için hidrojen oranı karşılaştırması

Kuru numune analizlerine bakıldığında, *L. pulmonaria* %2 oranında, *P. furfuracea* ve *C. islandica* türlerinden daha yüksek bir hidrojen değerine sahiptir. Orijinal numune analizlerine bakıldığında ise *C. islandica* türünün, diğer türlerden %3 oranında daha az hidrojen oranına sahip olduğu görülmektedir. Bu nedenle *C. islandica* liken türü için, örneklem grubundaki en düşük hidrojen elementi yoğunluğuna sahip tür olduğu söylenebilir. Hidrojen yoğunluğunun kalorifik değeri düşürdüğü göz önüne alınarak, hidrojen oranı bazında, en verimli yakıtın *C. islandica* türü liken olduğu söylenebilir.

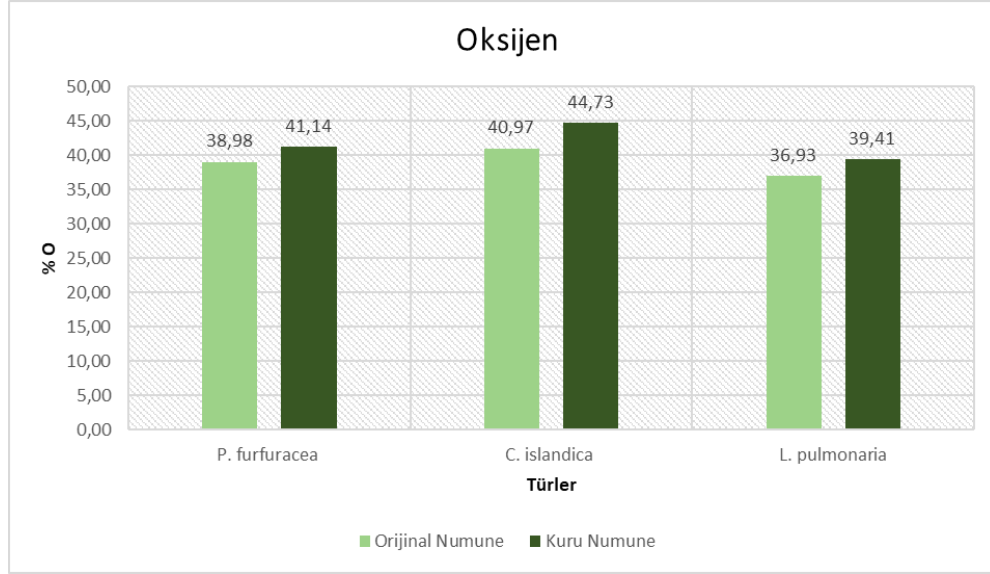
Azot: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Azot Oranı Karşılaştırma Tablosu Şekil 4.10’da verilmiştir.



Şekil 4.10 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için azot oranı karşılaştırması

Yapılan azot oranı analizi sonucunda en yüksek azot oranına sahip olan tür *L. pulmonaria*, en az azot oranına sahip olan tür ise *C. islandica* olarak belirlenmiştir. Yanma reaksiyonunda azot elementinin sera gazı oluşumunda rol oynadığı bilindiğinden, *C. islandica* türündeki liken, örneklem grubundaki çevreye en az zararı olan yanıcıdır denilebilir.

Oksijen: *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türleri için Oksijen Oranı Karşılaştırma Tablosu Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. türleri için oksijen oranı karşılaştırması

Belirgin bir farkla, *L. pulmonaria* türünün diğer türlere göre daha az oksijen element oranına sahip olduğu deney sonucunda gözlemlenmiştir. Oksijen elementinin fazlalığının ısı değerini düşüren bir faktör olduğu bilindiğinden, oksijen element oranı bazında, *L. pulmonaria* türünün daha verimli bir yakıt olduğu; *C. islandica* türünün ise örneklem grubundaki en düşük verime sahip olduğu analiz edilmiştir.

#### 4.5 Değerlendirme

*P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türlerine uygulanan nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analiz sonuçlarına göre türler arası karşılaştırmalar yapılmış olup, farklar belirtilmiştir.

Özetle; *P. furfuracea* türü, örneklem grup içerisindeki en düşük nem oranı içeriği, en yüksek alt ve üst ısı değer sonuçları, en yüksek karbon elementi oranına sahiptir. Aynı zamanda, ikinci en yüksek sabit karbon oranına ve ikinci en düşük kül oranına sahiptir. *C. islandica* türü, en az kül oranına sahip olmasına rağmen en yüksek nem oranı içeriği, en düşük alt ve üst ısı değer sonuçları, karbon elementi ve sabit karbon oranına sahiptir. *L. pulmonaria* türü, en yüksek ikinci alt ve üst ısı değer sonuçları ve karbon elementi oranına sahip olup, grup içerisindeki en yüksek sabit karbon oranını içermektedir.

Sonuç olarak, örneklem grup üyelerinin verimli bir yanma gerçekleştirme sırası ise şu şekildedir; *P. furfuracea* türünün en verimli yanıcı, *L. pulmonaria* türünün orta verimli yanıcı, *C. islandica* türünün ise daha az verimli yanıcı olduğu saptanmıştır. Sera gazı salınımı türünden bakıldığında, *C. islandica* türü en az oranda kükürt, azot ve hidrojen elementi içerdiği için en az sera gazı salınımı yapacak olan tür olduğu saptanmıştır.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu kısımda, *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf, *Cetraria islandica* (L.) Ach. ve *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. Liken türleri için yapılan deneysel çalışmalar sonucunda ulaşılan bulguların sırasıyla literatürdeki korelasyonlar ve benzer çalışmalar ile karşılaştırılması ve değerlendirilmesi yapılmıştır.

### 5.1 Korelasyonlar ile Karşılaştırma

Bu bölümde, çalışmada gerçekleştirilmiş olan elemental ve kısa analizlerin sonuçları ile literatürde verilen çeşitli korelasyonlardan ısı değerleri hesaplanmış olup, deneysel olarak tayin ettiğimiz ısı değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.

Korelasyonlar seçilirken, bu çalışmadaki örneklem gruba yakın biyoyakıt türleri için (ormansal atıklar vb.) kurulmuş olan korelasyonlar seçilmiştir.

Korelasyonlardan elde edilen ısı değeri üst ısıl değer olup, yalnızca kuru numune sonuçları baz alınmıştır. Bu nedenle *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türleri ile yapılan karşılaştırmalarda yalnızca deneysel olarak tayin edilen kuru numune sonuçları kullanılmıştır. Bu sonuçlar Çizelge 4.10, 4.11 ve 4.12’de verilmiştir. (Vargas-Moreno vd. 2012).

Deneysel olarak tayin ettiğimiz üst ısıl değer sonuçlarımızın birimi kcal/kg iken literatürde verilen korelasyonlarda üst ısıl değer birimi MJ/kg’dir. Bu nedenle üç liken türü için de kcal/kg birimi, MJ/kg birimine çevirilmiştir. Bu çeviri aşağıda verilen eşitlik kullanılarak yapılmıştır.

$$1 \frac{kcal}{kg} = 0.004184 \frac{MJ}{kg}$$

#### 5.1.1 Elemental analiz korelasyonları karşılaştırması

Bu bölümde üç liken türü için, yalnızca elemental analiz sonuçları kullanılarak

literatürdeki korelasyonlardan üst ısıl değer hesabı yapılmış olup, bulunan sonuçlar deneysel olarak tayin edilen gerçek üst ısıl değer ile karşılaştırılmıştır.

Jenkins ve Ebeling (1985) tarafından yapılmış olan çalışmada geniş kapsamlı bir biyoyakıt modellemesi yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılmak üzere, ormansal atık ve odun için elemental analiz verileri kullanılarak ısıl değer hesaplanması için kurulan korelasyonlar aşağıda verilmiştir.

Ormansal atıkların biyoyakıt olarak kullanımında geliştirilen korelasyonlar:

$$(1) \text{ÜID} = 0.093 + (0.398 \times C)$$

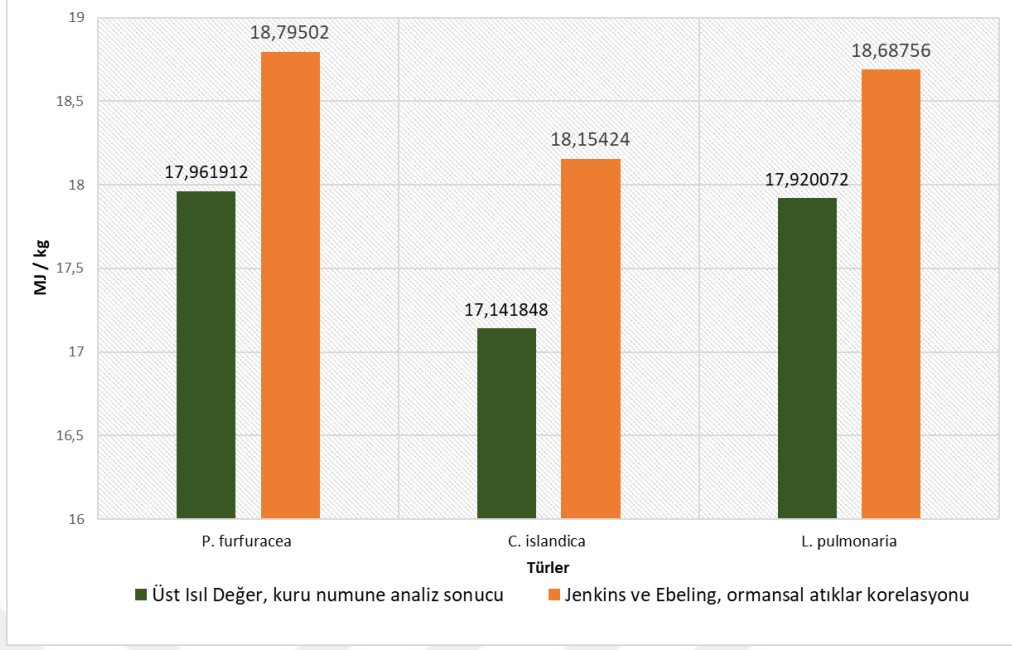
$$(2) \text{ÜID} = -0.049 + (0.332 \times C) + (0.851 \times H) - (0.036 \times O)$$

Odunun biyoyakıt olarak kullanımında geliştirilen korelasyonlar:

$$(3) \text{ÜID} = 5.205 + (0.293 \times C)$$

$$(4) \text{ÜID} = 1.177 + (0.306 \times C) + (0.703 \times H) - (0.016 \times O)$$

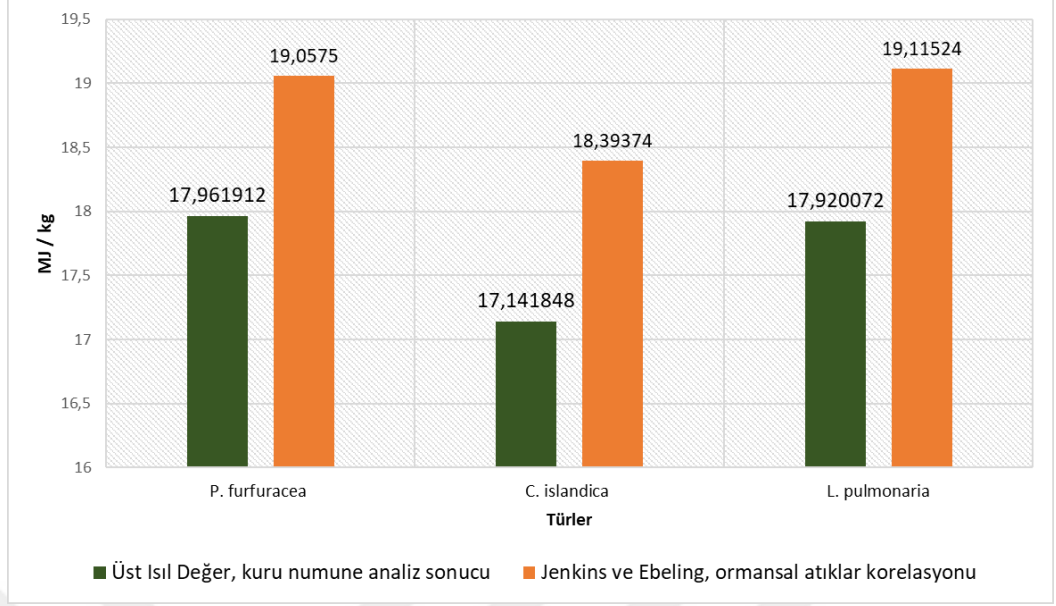
Çalışmaya konu üç liken türü için Korelasyon (1)'e göre ısıl değer hesaplaması yapılmıştır. Deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile korelasyon kullanılarak hesaplanan ısıl değerlerin karşılaştırılması Şekil 5.1'de verilmiştir. Korelasyon gereği Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiş olan deneysel verilerden yalnızca karbon elementi verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (1) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.1’de verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (1) kullanılarak hesaplanan ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %5 fazladır. *C. islandica* türü liken için %6, *L. pulmonaria* türü liken için ise %4 fazladır.

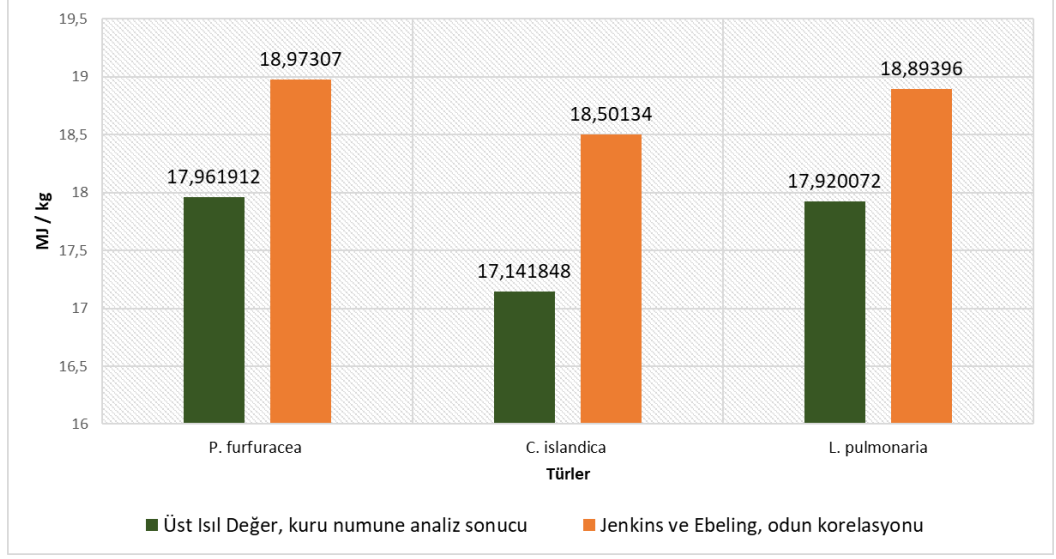
Korelasyon (2)’ye göre teze konu örneklem grup için ısıl değer hesaplaması yapılmıştır. Deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile korelasyon kullanılarak hesaplanan ısıl değerlerin karşılaştırılması Şekil 5.2’de verilmiştir. Korelasyonda karbon, hidrojen ve oksijen elementi verisi kullanılmıştır, bu veriler Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24’te verilmiştir.



Şekil 5.2 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (2) sonuçlarının karşılaştırması

Karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (2) kullanılarak hesaplanan ısı değerinin, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %6, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türü likenler için ise %7 fazla olduğu belirlenmiştir.

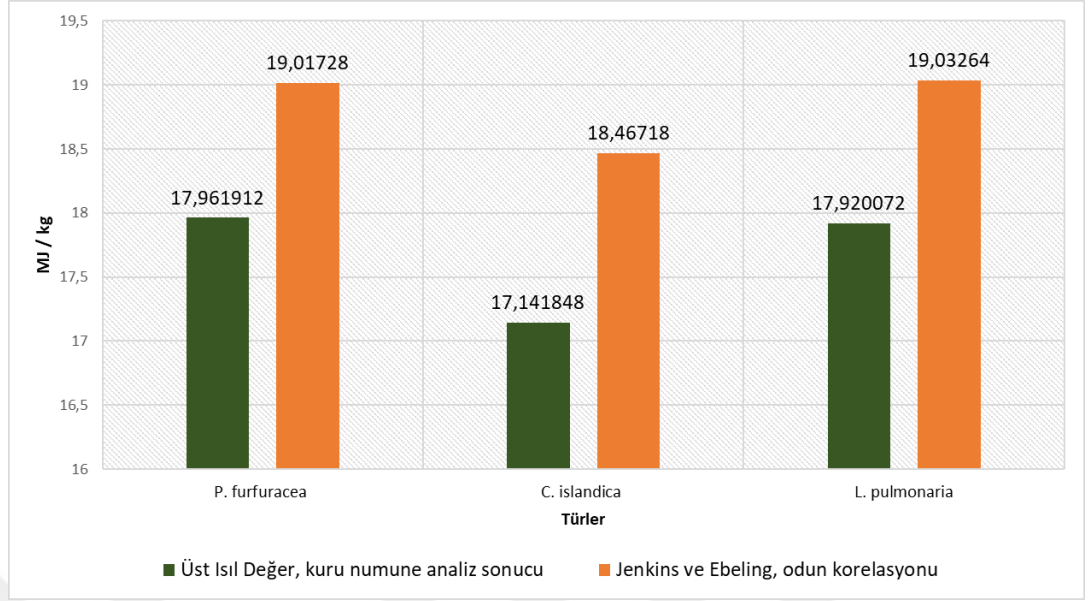
Teze konu örneklem grup için Korelasyon (3)'e göre ısı değer hesaplaması yapılmıştır. Deneysel olarak tayin edilmiş ısı değerler ile korelasyon kullanılarak hesaplanan ısı değerlerin karşılaştırılması Şekil 5.3'te verilmiştir. Bu korelasyonda yalnızca karbon elementi verisi kullanılmıştır. Bu veri her bir tür liken için Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir.



Şekil 5.3 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (3) sonuçlarının karşılaştırması

Karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (3) kullanılarak hesaplanan ısıl değerinin, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %6, *C. islandica* türü liken için %8 ve *L. pulmonaria* türü liken için ise %5 fazla olduğu hesaplanmıştır.

Korelasyon (4)' e göre yapılan ısıl değer hesaplaması ile deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerlerin karşılaştırılması Şekil 5.4'te gösterilmiştir. Korelasyonda karbon, hidrojen ve oksijen elementi verisi kullanılmıştır, bu veriler Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiştir.



Şekil 5.4 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (4) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıdaki Şekil 5.4'te verilen karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (4) kullanılarak hesaplanan ısıl değerinin, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %6, *C. islandica* için %8 ve *L. pulmonaria* türü için ise %6 fazla olduğu belirlenmiştir.

Demirbaş (2004) tarafından gerçekleştirilen modellemelerde selüloz, sert ağaç lignini, yumuşak ağaç lignini, kayın ağacı, ladin ahşap, sarı çam, kavak ağacı, çam kabuğu, ahşap pirolitik yağ, odun kömürü, pamuk sapları, pirinç kabukları, çimen, fındık kabukları, ceviz kabukları, zeytin kabukları, mısır koçanı, buğday samanı ve çam iğneleri gibi biyoyakıtlar için korelasyonlar kurulmuştur. Bu korelasyonlar aşağıda verilmiştir.

$$(5) \text{ÜID} = (0.484 \times C) - 0.459$$

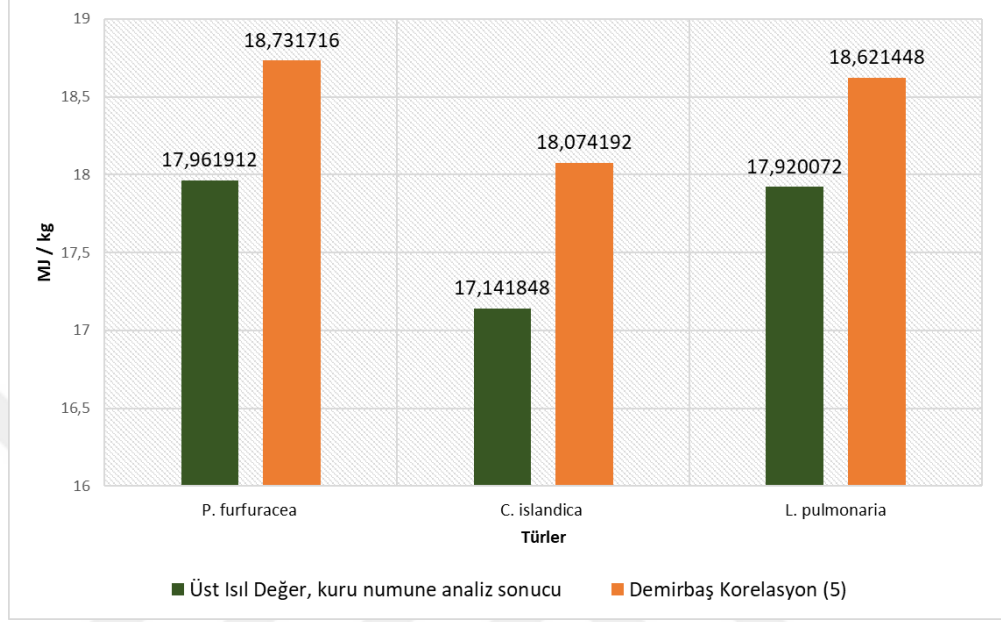
$$(6) \text{ÜID} = (0.3699 \times C) - 1.3178$$

$$(7) \text{ÜID} = [0.4181 \times (C + H)] - 3.4085$$

$$(8) \text{ÜID} = [0.3856 \times (C + H)] - 1.6938$$

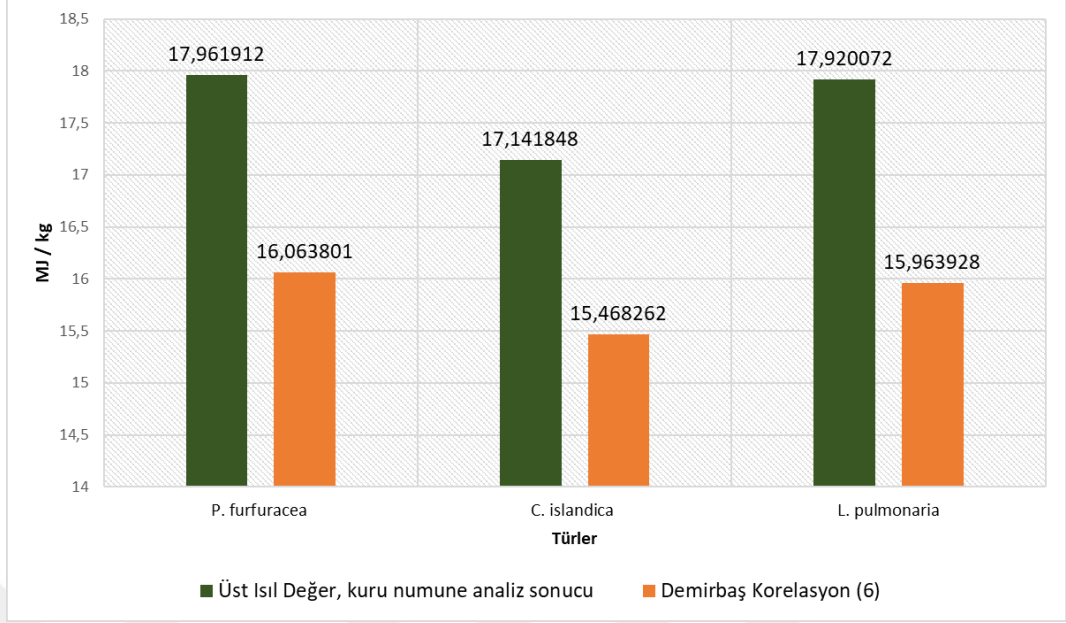
Çalışmaya konu üç liken türü için Korelasyon (5) ve (6)'ya göre ısıl değer hesaplaması yapılmıştır. Deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile korelasyon kullanılarak

hesaplanan ısı değerlerinin karşılaştırılması Korelasyon (5) için Şekil 5.5'te, Korelasyon (6) için Şekil 5.6'da verilmiştir. Korelasyon gereği Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24'te verilmiş olan deneysel verilerden yalnızca karbon elementi verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.5 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (5) sonuçlarının karşılaştırması

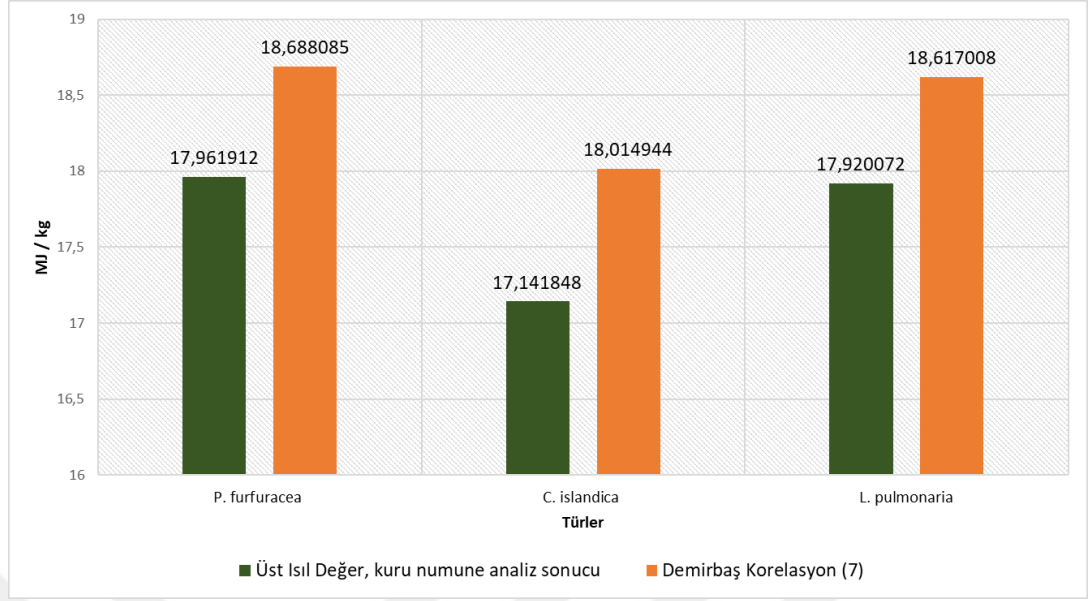
Yukarıda Şekil 5.5'te verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (5) kullanılarak hesaplanan ısı değeri, deneysel olarak belirlenen ısı değeri %4 fazladır. *C. islandica* türü liken için %5, *L. pulmonaria* türü liken için ise %4 fazladır.



Şekil 5.6 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (6) sonuçlarının karşılaştırması

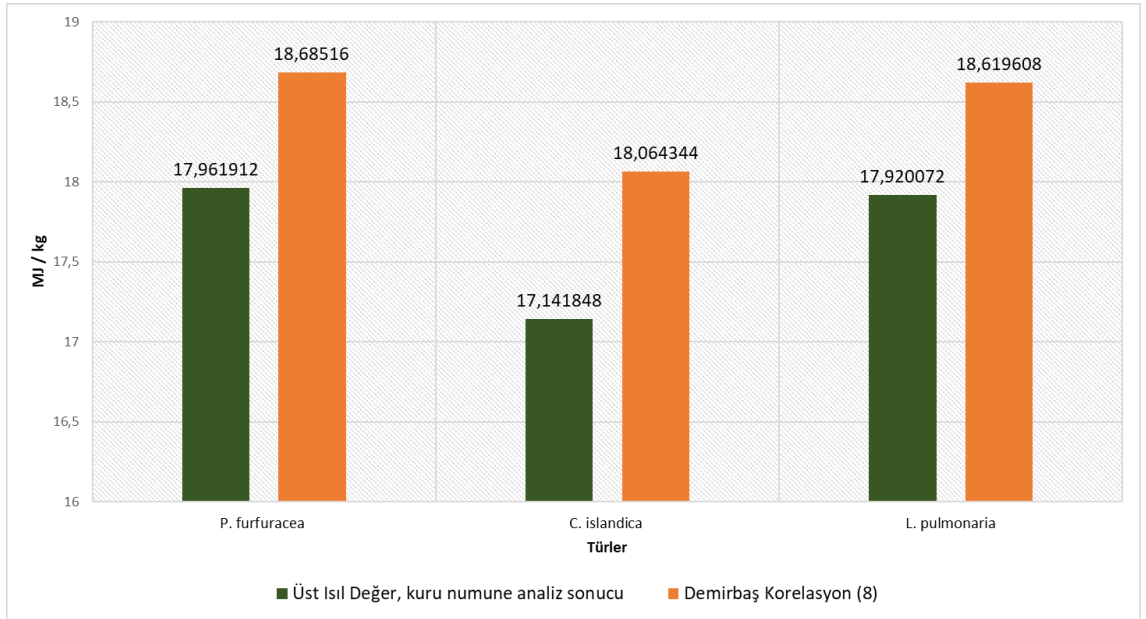
Yukarıda Şekil 5.6’da verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (6) kullanılarak hesaplanan ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %11 azdır. *C. islandica* türü liken için %10, *L. pulmonaria* türü liken için ise %11 daha az olduğu hesaplanmıştır.

Korelasyon (7) ve (8) kullanılarak ısıl değer hesaplama sonuçları ve deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile karşılaştırılmaları Korelasyon (7) için Şekil 5.7’de, Korelasyon (8) için Şekil 5.8’de verilmiştir. Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24’te verilmiş olan deneysel verilerden karbon ve hidrojen elementi verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.7 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (7) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.7’de verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (7) kullanılarak hesaplanan ısı değeri, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %4 fazladır. *C. islandica* türü liken için %5, *L. pulmonaria* türü liken için ise %4 fazladır.



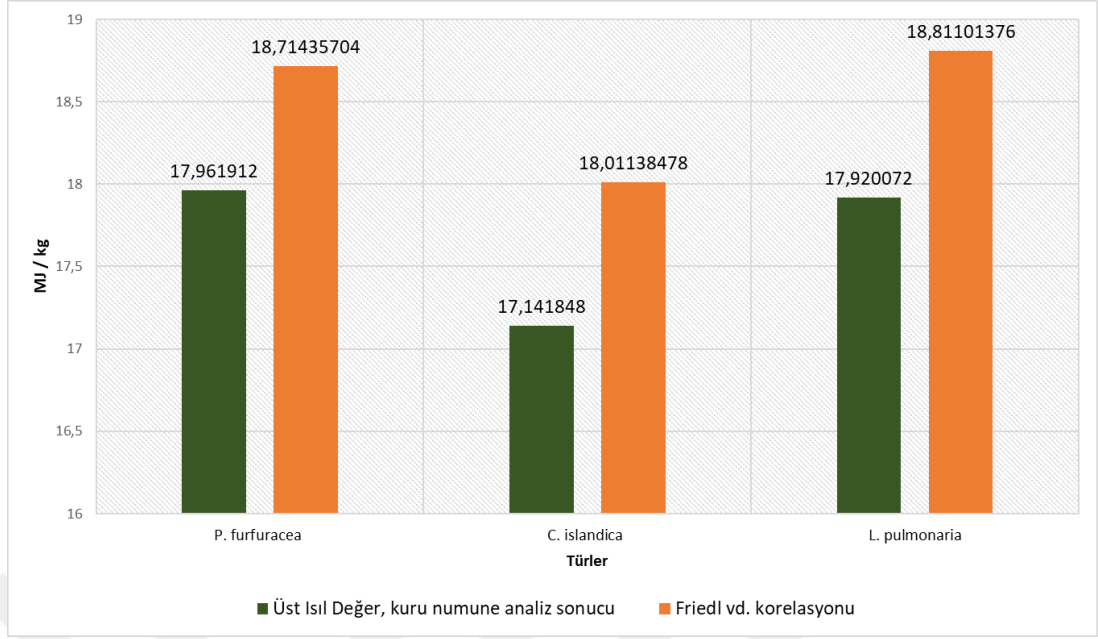
Şekil 5.8 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (8) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.8’de verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (8) kullanılarak hesaplanan ısı değeri, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %4 fazladır. *C. islandica* türü liken için %5, *L. pulmonaria* türü liken için ise %4 fazladır.

Friedl vd. (2005) tarafından yapılmış olan çalışmada fil çimeni ve diğer çimenler, ahşap malzeme, odun atıkları, tahıllar, darı, ayçiçeği, kenevir, diğer atık bitki materyali, diğer bitki dışı malzemelerin biyoyakıt olarak kullanımında ısı değerinin hesaplanabilmesi için aşağıdaki korelasyon kurulmuştur.

$$(9) \quad \dot{U}ID = (0.00355 \times C^2) - (0.232 \times C) - (2.230 \times H) + (0.0512 \times C \times H) + (0.131 \times N) + 20.600$$

Deneysel olarak tayin edilmiş ısı değerleri ile korelasyon kullanılarak hesaplanan ısı değerlerinin karşılaştırılması Şekil 5.9’da verilmiştir. Korelasyonda Çizelge 4.22, 4.23 ve 4.24’te verilmiş olan deneysel verilerden karbon, hidrojen ve azot elementi verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.9 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (9) sonuçlarının karşılaştırması

Korelasyon (9) kullanılarak hesaplanan *P. furfuracea* türü likenin ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %4 fazladır. *C. islandica* ve *L. pulmonaria* türü liken için ise %5 fazladır.

### 5.1.2 Kısa analiz korelasyonları karşılaştırması

Bu bölümde üç liken türü için, yalnızca kısa analiz sonuçları kullanılarak literatürdeki korelasyonlardan üst ısıl değer hesabı yapılmış olup, bulunan sonuçlar deneysel olarak tayin edilen gerçek üst ısıl değer ile karşılaştırılmıştır.

Jenkins ve Ebeling (1985) tarafından yapılmış olan çalışmada geniş kapsamlı bir biyoyakıt modellemesi yapılmıştır. Karşılaştırmada kullanılmak üzere ormansal atık ve odun için kurulan korelasyonlar aşağıda verilmiştir.

Ormansal atıkların biyoyakıt olarak kullanımında geliştirilen korelasyonlar:

$$(10) \text{ÜID} = 20.179 - (0.365 \times \text{Kül})$$

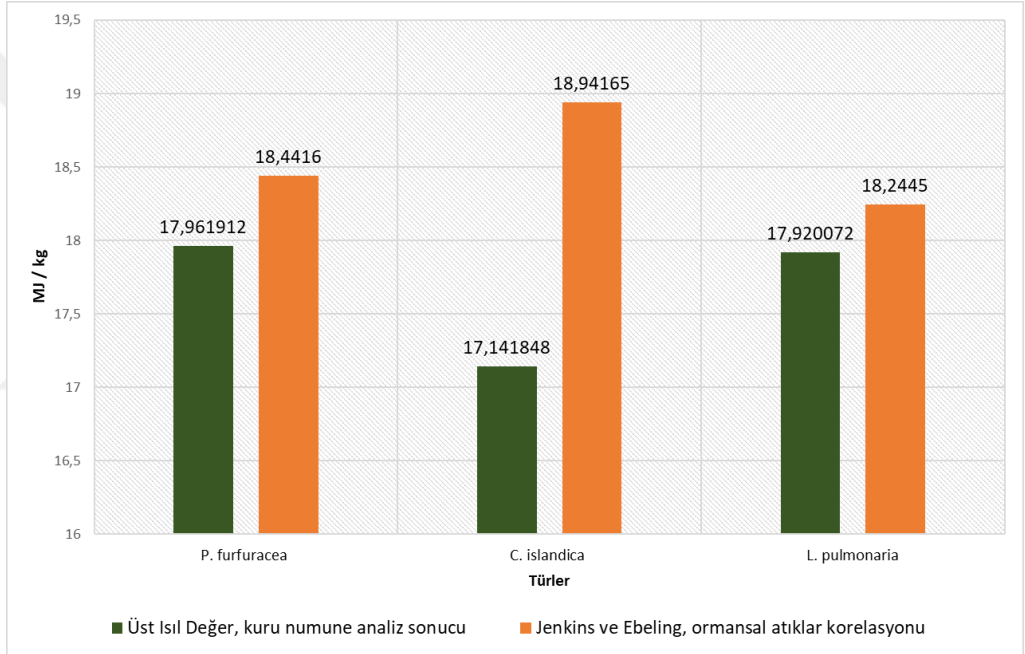
$$(11) \text{ÜID} = 22.608 - (0.409 \times \text{Kül}) - (0.030 \times \text{UM})$$

Odukların biyoyakıt olarak kullanımında geliştirilen korelasyonlar:

$$(12) \text{ÜID} = 20.060 - (0.352 \times \text{Kül})$$

$$(13) \text{ÜID} = 23.885 - (0.430 \times \text{Kül}) - (0.047 \times \text{UM})$$

Çalışmaya konu üç liken türü için Korelasyon (10)'a göre ısı değeri hesaplaması yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısı değeri ile karşılaştırılması Şekil 5.10'da verilmiştir. Deneysel olarak hesaplanan ısı değeri kullanılmıştır. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiş olan deneysel verilerden kül verisi kullanılmıştır.

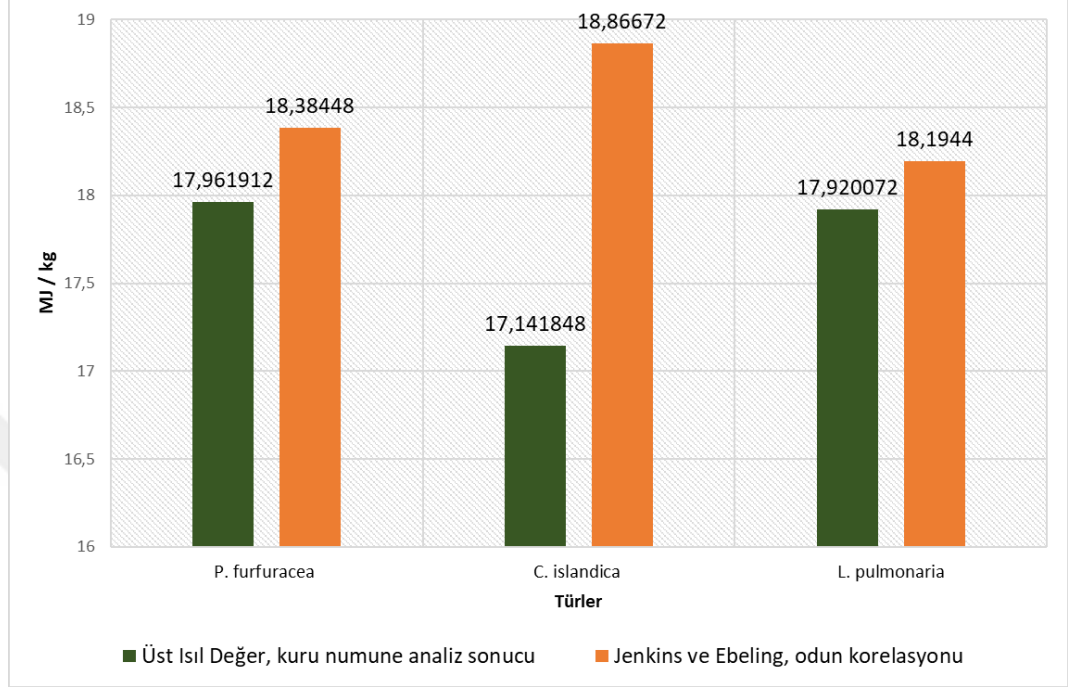


Şekil 5.10 Isıl değeri için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (10) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.10'da verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (10) kullanılarak hesaplanan ısı değeri, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %3 fazladır. *C. islandica* türü liken için %10, *L. pulmonaria* türü liken için ise %2 fazladır.

Korelasyon (11)'e göre ısı değeri hesaplaması üç liken türü için de yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısı değeri ile karşılaştırılması Şekil 5.11'de verilmiştir.

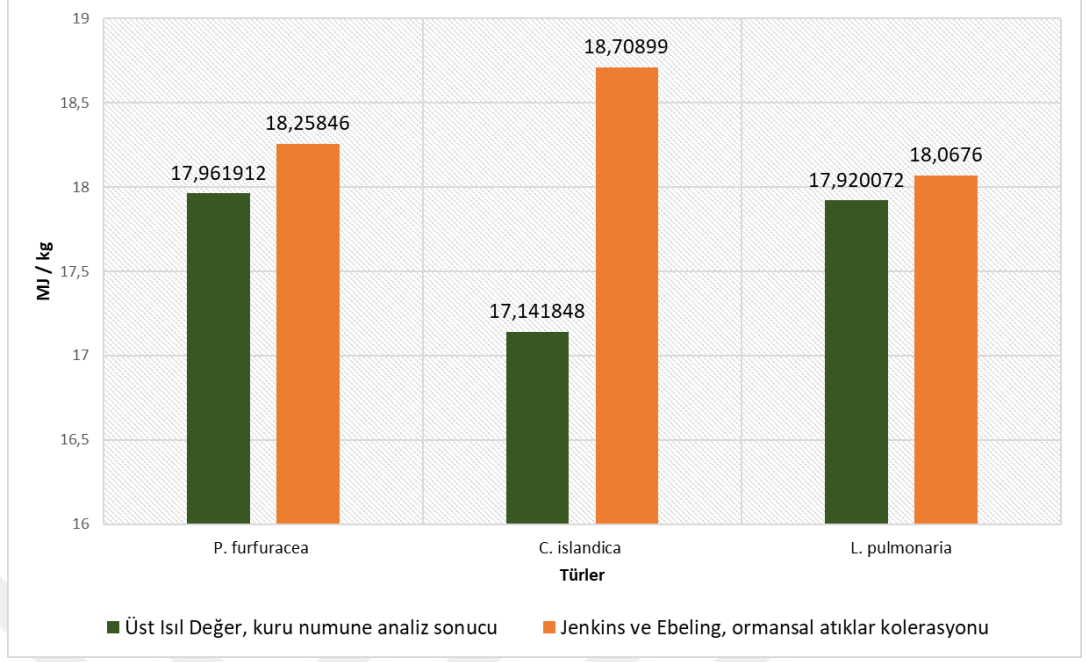
Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiş olan deneysel verilerden kül ve uçucu madde verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.11 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (11) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.11’de verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (11) kullanılarak hesaplanan ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %2 fazladır. *C. islandica* türü liken için %9, *L. pulmonaria* türü liken için ise %1 fazladır.

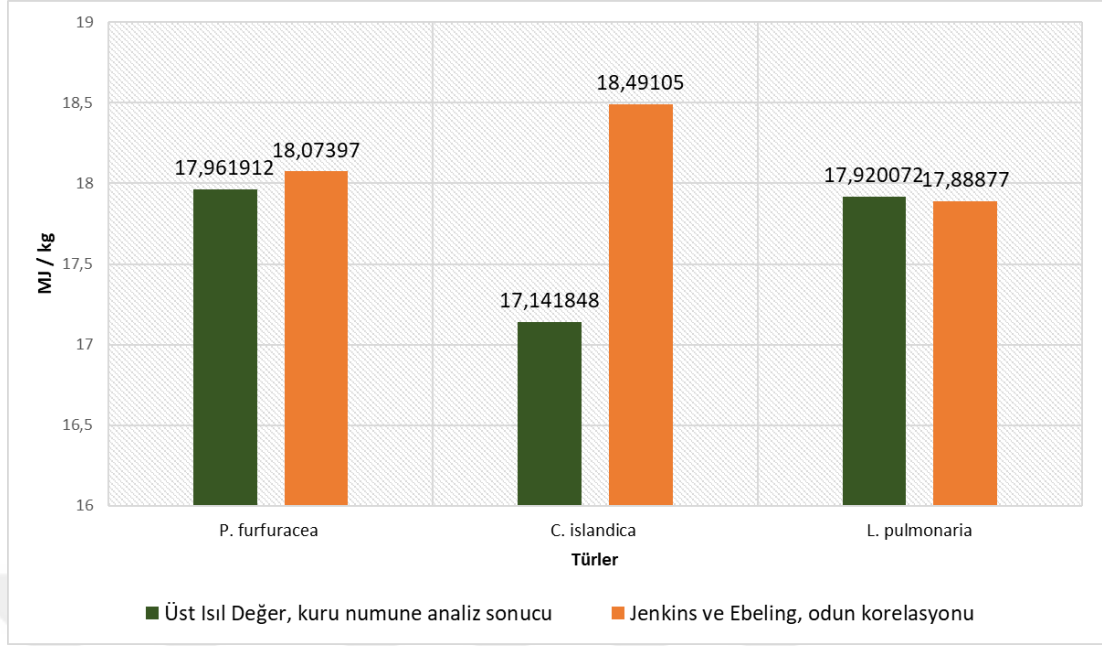
Isıl değer hesaplaması üç liken türü için de Korelasyon (12)’ye göre yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile karşılaştırılması Şekil 5.12’de verilmiştir. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiş olan deneysel verilerden kül verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.12 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (12) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.12’de verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (12) kullanılarak hesaplanan ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %2 fazladır. *C. islandica* türü liken için %10, *L. pulmonaria* türü liken için ise %2 fazladır.

Korelasyon (13)’e göre ısıl değer hesaplaması üç liken türü için de yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile karşılaştırılması Şekil 5.13’te verilmiştir. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiş olan deneysel verilerden kül ve uçucu madde verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.13 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (13) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.13'te verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (13) kullanılarak hesaplanan ısı değerini, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %1 fazladır. *C. islandica* türü liken için %8 fazladır. *L. pulmonaria* türü liken için ise deneysel sonuçlar ve Korelasyon (13) sonuçları eşit olarak hesaplanmıştır.

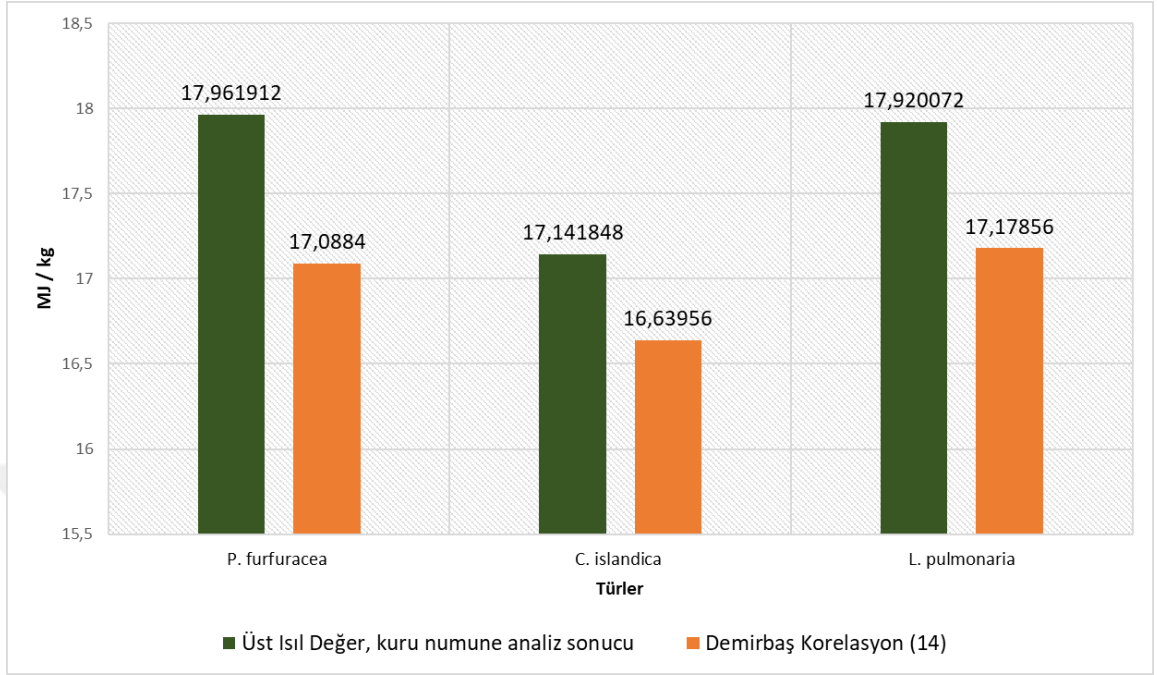
Demirbaş (1997) tarafından yapılan çalışmada zeytin kabukları, fındık kabukları, fındık çotanakları, yumuşak ağaçlar, sert ağaçlar, buğday samanı, ağaç kabuğu, atık malzeme, mısır koçanı, çay atığı, ladin ağacı, kayın ağacı, tütün yaprağı, *Ailanthus* odunu ve tütün saplarının biyoyakıt olarak kullanımında ısı değerini hesaplanabilmesi için aşağıdaki korelasyonlar oluşturulmuştur.

$$(14) \text{ÜID} = (0.196 \times SK) + 14.119$$

$$(15) \text{ÜID} = (0.312 \times SK) + (0.1534 \times UM)$$

Çalışmaya konu üç liken türü için Korelasyon (14)'e göre ısı değeri hesaplaması yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısı değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.14'te verilmiştir. Deneysel olarak hesaplanan ısı değerleri kullanılmıştır. Çizelge 4.4, 4.5 ve

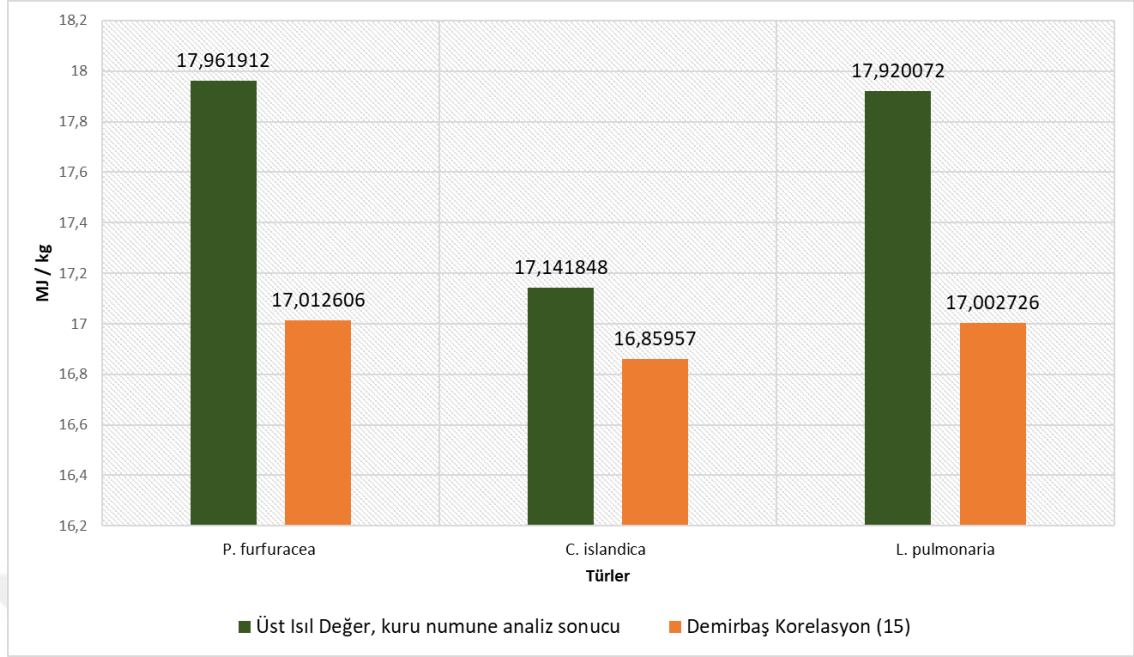
4.6’da verilmiş olan deneysel verilerden sabit karbon verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.14 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (14) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.14’te verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (14) kullanılarak hesaplanan ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %5 düşüktür. *C. islandica* türü liken için %3, *L. pulmonaria* türü liken için ise %4 düşük olduğu hesaplanmıştır.

Korelasyon (15)’e göre ısıl değer hesaplaması üç liken türü için de yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısıl değerler ile karşılaştırılması Şekil 5.15’te verilmiştir. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6’da verilmiş olan deneysel verilerden sabit karbon ve uçucu madde verisi kullanılmıştır.



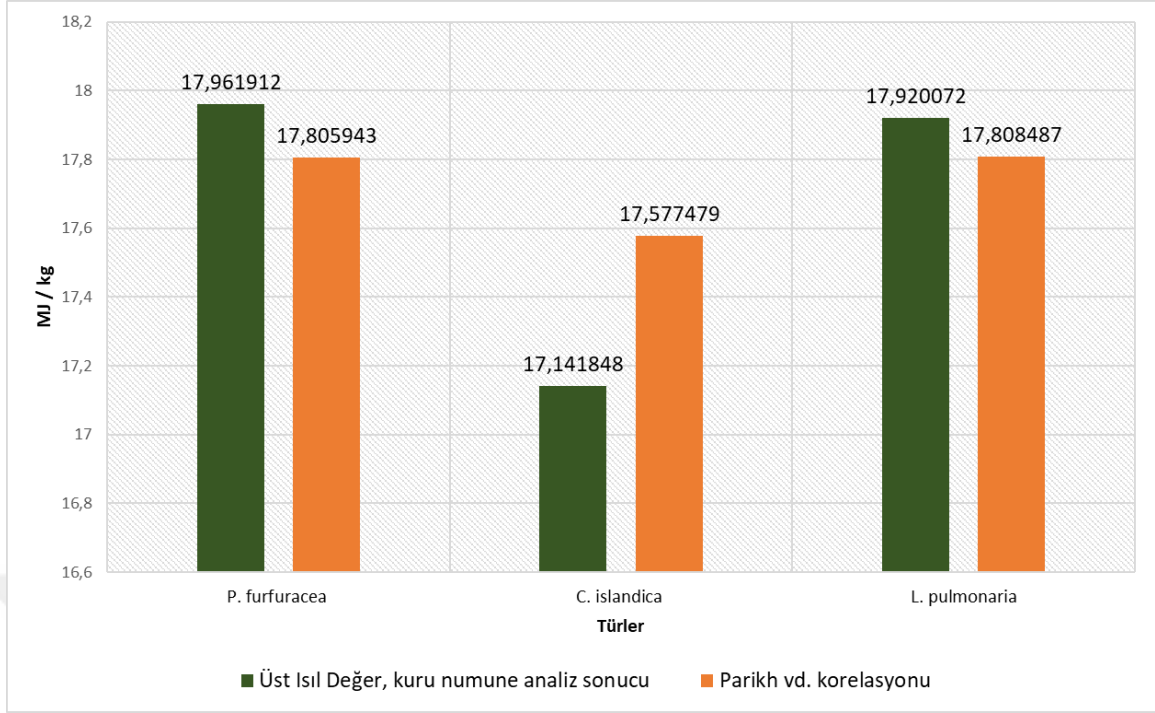
Şekil 5.15 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (15) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.15'te verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (15) kullanılarak hesaplanan ısı değeri, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %5 düşüktür. *C. islandica* türü liken için %2, *L. pulmonaria* türü liken için ise %5 düşüktür.

Parikh vd. (2005) yaptıkları çalışmada kömürden odun türlerine, bambu ve okaliptüs yapraklarına kadar oldukça geniş bir biyokütle örneklem grubu için hazırlanmış korelasyon aşağıda verilmiştir.

$$(16) \text{ÜID} = (0.3536 \times SK) + (0.1559 \times UM) - (0.0078 \times \text{Kül})$$

Çalışmaya konu üç liken türü için Korelasyon (16)'ya göre ısı değeri hesaplaması yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısı değerleri ile karşılaştırılması Şekil 5.16'da verilmiştir. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiş olan deneysel verilerden sabit karbon, uçucu madde ve kül verisi kullanılmıştır.



Şekil 5.16 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (16) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.16’da verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (16) kullanılarak hesaplanan ısıl değeri, deneysel olarak belirlenen ısıl değerinden %1 düşüktür. *C. islandica* türü liken için %3 daha fazla olduğu hesaplanmıştır. *L. pulmonaria* türü liken için ise %1 düşük olduğu hesaplanmıştır.

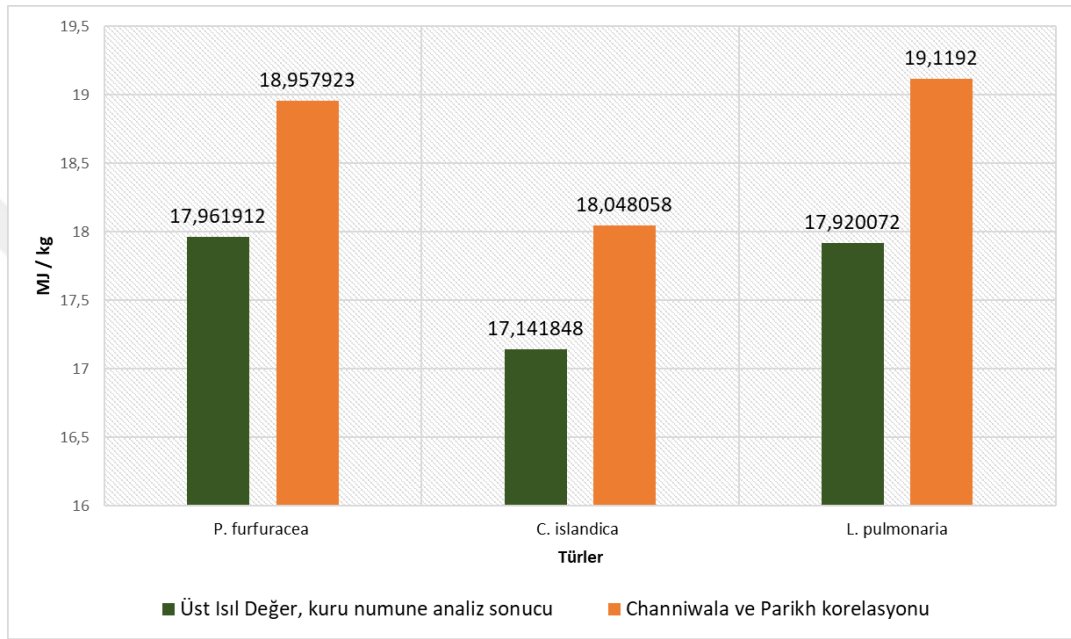
### 5.1.3 Elemental ve kısa analiz korelasyonları karşılaştırması

Bu bölümde üç liken türü için, hem elemental analiz sonuçları hem de kısa analiz sonuçları kullanılarak literatürdeki korelasyondan üst ısıl değer hesabı yapılmış olup, bulunan sonuçlar deneysel olarak tayin edilen gerçek üst ısıl değer ile karşılaştırılmıştır.

Channiwala ve Parikh (2002), geniş biyokütle malzeme yelpazesi için ısıl değer hesaplaması adına aşağıda verilen korelasyonu oluşturmuşlardır.

$$(17) \text{ÜID} = (0.3491 \times C) + (1.1783 \times H) + (0.1005 \times S) - (0.1034 \times O) - (0.0151 \times N) - (0.0211 \times \text{Kül})$$

Üç liken türü için de Korelasyon (17)'ye göre ısı değer hesaplaması yapılmış olup, deneysel olarak tayin edilmiş ısı değerler ile karşılaştırılması Şekil 5.17'de verilmiştir. Hesaplamalarda hem Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da verilmiş olan deneysel kısa analiz sonuçları, hem de Çizelge 4.16, 4.17, 4.18, 4.22, 4.23 ve 4.24'teki elemental analiz sonuçları kullanılmıştır.



Şekil 5.17 Isıl değer için, analiz sonuçlarının ve Korelasyon (17) sonuçlarının karşılaştırması

Yukarıda Şekil 5.17'de verilmiş olan karşılaştırma sonuçlarına göre *P. furfuracea* türü likenin Korelasyon (17) kullanılarak hesaplanan ısı değeri, deneysel olarak belirlenen ısı değerinden %6 yüksektir. *C. islandica* türü liken için %5, *L. pulmonaria* türü liken için ise %7 oranında daha yüksek olduğu hesaplanmıştır.

## 5.2 Benzer Yakıt Türleri ile Karşılaştırma

Bu çalışmada, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türleri için gerçekleştirilmiş olan nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analiz literatürdeki benzer bazı biyoyakıt türleri ve bazı yerel kömür çeşitleri

için yapılmış olan analizler ile karşılaştırılmıştır.

Karşılaştırmalarda kullanılan ısı değer türü üst ısı değer olup, orijinal numuneler üzerinden yapılan deneysel sonuçlar kullanılmıştır. Karşılaştırmada kullanılan benzer biyoyakıt türleri, analizleri ASTM'ye uygun olarak yapılmış çalışmalardan derlenmiştir.

### **5.2.1 Bazı yerel kömür çeşitleri ile karşılaştırma**

Gülen vd. (2012) tarafından yapılmış olan çalışmada Çan, Saray, Tunçbilek ve Yatağan linyit kömürleri nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analize tabi tutulmuştur. Bu analiz sonuçları Çizelge 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'te belirtilmiş olup, karşılaştırmada kullanılmıştır. Kömür örnekleri sırasıyla Çanakkale, Tekirdağ, Kütahya ve Muğla'dan çıkarılmıştır.

Çizelge 5.1 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve Çan Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	Çan Kömürü
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	10.91 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	8.63 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	39.8 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	51.57 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	7.95 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	4479 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	66.38 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	4.82 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	1.67 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	21.6 %

*P. furfuracea* türü ile Çan Kömürü karşılaştırıldığında, *P. furfuracea*'nin nem ve kül oranlarında Çan Kömürü'nden daha iyi olmasına rağmen maddenin yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %259, karbon oranında %49 ve ısıl değerde %10 düşüktür.

*C. islandica* türü ile Çan Kömürü karşılaştırıldığında, *C. islandica*'nin nem ve kül oranlarında Çan Kömürü'nden daha iyi olmasına rağmen maddenin yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %338, karbon oranında %60 ve ısıl değerde %19 düşüktür.

*L. pulmonaria* türü ile Çan Kömürü karşılaştırıldığında da, *L. pulmonaria*'nin nem ve kül oranlarında Çan Kömürü'nden daha iyi olmasına rağmen maddenin yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %252, karbon oranında %52 ve ısıl değerde %12

düşük olduğu hesaplanmıştır.

Çizelge 5.2 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve Saray Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	Saray Kömürü
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	14.6 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	13.52 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	45.79 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	40.69 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	2.11 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	2005 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	61.32 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	4.73 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	1.6 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	19.39 %

*P. furfuracea* liken türü Saray Kömüründen, sabit karbon bazında %184, karbon oranında da %38 daha yüksek olmasına rağmen, ısıl değer bazında *P. furfuracea*, Saray Kömüründen %51 oranda daha yüksektir.

*C. islandica* liken türü Saray Kömüründen, sabit karbon bazında %245, karbon oranında da %48 daha düşük olmasına rağmen, ısıl değer bazında *C. islandica*, Saray Kömüründen %47 oranda daha yüksektir.

*L. pulmonaria* liken türü Saray Kömüründen, sabit karbon bazında %178, karbon

oranında da %40 daha düşük olmasına rağmen, ısıl değer bazında *L. pulmonaria*, Saray Kömüründen %50 oranda daha yüksektir.

Çizelge 5.3 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve Tunçbilek Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	Tunçbilek Kömürü
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	11.42 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	13.91 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	34.71 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	51.58 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	1.47 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	6144 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	78.3 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	5.65 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	3.03 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	1.37 %

*P. furfuracea* türü ile Tunçbilek Kömürü karşılaştırıldığında, *P. furfuracea* türü sabit karbon oranında %259, karbon oranında %76 ve ısıl değerinde %51 oranında Tunçbilek Kömüründen düşüktür.

*C. islandica* türü ile Tunçbilek Kömürü karşılaştırıldığında, *C. islandica* türü sabit karbon oranında %338, karbon oranında %88 ve ısıl değerinde %64 oranında Tunçbilek Kömüründen düşüktür.

*L. pulmonaria* türü ile Tunçbilek Kömürü karşılaştırıldığında, *L. pulmonaria* türü sabit

karbon oranında %253, karbon oranında %79 ve ısıl değerinde %53 oranında Tunçbilek Kömüründen düşüktür.

Çizelge 5.4 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve Yatağan Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>		<i>C. islandica</i>		<i>L. pulmonaria</i>		Yatağan Kömürü
Nem	5.26	%	8.41	%	6.29	%	2.68 %
Kül	4.51	%	3.10	%	4.97	%	25.26 %
Uçucu Madde	75.88	%	76.71	%	74.12	%	33.19 %
Sabit Karbon	14.35	%	11.78	%	14.63	%	41.55 %
Kükürt (S)	0.19	%	0.07	%	0.11	%	5.11 %
Isıl Değer	4067	kcal/kg	3752	kcal/kg	4014	kcal/kg	4526 kcal/kg
Karbon (C)	44.52	%	41.56	%	43.78	%	63.65 %
Hidrojen (H)	5.55	%	5.36	%	5.58	%	4.87 %
Azot (N)	1.06	%	0.57	%	2.40	%	1.59 %
Oksijen (O)	38.98	%	40.97	%	36.93	%	22.92 %

Yatağan Kömürü ile *P. furfuracea* analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Yatağan Kömürü maddenin yanıcılığını arttıran değer olan sabit karbon oranında %190, karbon oranında %43 ve ısıl değerinde %11 oranında *P. furfuracea* türünden yüksektir.

Yatağan Kömürü ile *C. islandica* analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Yatağan Kömürü maddenin yanıcılığını arttıran değer olan sabit karbon oranında %253, karbon oranında %53 ve ısıl değerinde %21 oranında *C. islandica* türünden yüksektir.

Yatağan Kömürü ile *L. pulmonaria* analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Yatağan Kömürü maddenin yanıcılığını arttıran değer olan sabit karbon oranında %184, karbon oranında %45 ve ısıl değerinde %13 oranında *L. pulmonaria* türünden yüksektir.

Boylu vd. (2005) tarafından yapılmış olan çalışmada Zonguldak-Armutçuk bitümlü kömürü, Soma yarı bitümlü kömürü ve İstanbul linyit kömürü nem, uçucu ve kül analizi, ısı değer analizi, kükürt analizi ve elemental analize tabi tutulmuştur. Karşılaştırmada kullanılmak üzere, yapılan analiz sonuçları Çizelge 5.5, 5.6 ve 5.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.5 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürü
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	1.2 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	12.61 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	30.33 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	57.06 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	0.61 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	7086 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	74.86 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	4.63 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	1.08 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	6.21 %

Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürü ile *P. furfuracea* analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürünün maddenin yanıcılığını arttıran değerlerde, sabit karbon oranında %298, karbon oranında %68 ve ısı değerinde %74 oranında *P. furfuracea* türünden yüksek olduğu saptanmıştır.

Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürü ile *C. islandica* analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürünün maddenin yanıcılığını arttıran değerlerde, sabit karbon oranında %384, karbon oranında %80 ve ısı değerinde

%89 oranında *C. islandica* türünden yüksek olduğu saptanmıştır.

Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürü ile *L. pulmonaria* analiz sonuçları karşılaştırıldığında, Zonguldak-Armutçuk Bitümlü Kömürünün maddenin yanıcılığını arttıran değerlerde, sabit karbon oranında %290, karbon oranında %71 ve ısı değerinde %77 oranında *L. pulmonaria* türünden yüksek olduğu saptanmıştır.

Çizelge 5.6 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve Soma Yarı Bitümlü Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>		<i>C. islandica</i>		<i>L. pulmonaria</i>		Soma Yarı Bitümlü Kömürü
Nem	5.26	%	8.41	%	6.29	%	18.42 %
Kül	4.51	%	3.10	%	4.97	%	15.31 %
Uçucu Madde	75.88	%	76.71	%	74.12	%	42.37 %
Sabit Karbon	14.35	%	11.78	%	14.63	%	42.32 %
Kükürt (S)	0.19	%	0.07	%	0.11	%	0.69 %
Isıl Değer	4067	kcal/kg	3752	kcal/kg	4014	kcal/kg	4608 kcal/kg
Karbon (C)	44.52	%	41.56	%	43.78	%	60.78 %
Hidrojen (H)	5.55	%	5.36	%	5.58	%	4.3 %
Azot (N)	1.06	%	0.57	%	2.40	%	1.09 %
Oksijen (O)	38.98	%	40.97	%	36.93	%	17.83 %

Analiz sonuçları karşılaştırıldığında Soma Yarı Bitümlü Kömürü, *P. furfuracea* türünden sabit karbon bazında %195, karbon oranında %37, ısı değer bazında da %13 oranda daha yüksektir.

Soma Yarı Bitümlü Kömürü, *C. islandica* türünden sabit karbon bazında %259, karbon oranında %46, ısıl değer bazında da %23 oranda daha yüksektir.

Soma Yarı Bitümlü Kömürü, *L. pulmonaria* türünden sabit karbon bazında %189, karbon oranında %39, ısıl değer bazında da %15 oranda daha yüksektir.

Çizelge 5.7 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve İstanbul Linyit Kömürü analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	İstanbul Linyit Kömürü
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	35.5 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	40.36 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	43.6 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	16.04 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	1.2 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	3677 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	58.1 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	4.8 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	0.87 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	16.91 %

*P. furfuracea* türü ile İstanbul Linyit Kömürü karşılaştırıldığında, İstanbul Linyit Kömürü maddenin yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %12, karbon oranında %31 daha yüksek olmasına rağmen, ısıl değer bazında *P. furfuracea*, İstanbul Linyit

Kömüründen %10 oranda yüksektir.

*C. islandica* türü ile İstanbul Linyit Kömürü karşılaştırıldığında, İstanbul Linyit Kömürü maddenin yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %36, karbon oranında %40 daha yüksek olmasına rağmen, ısı değer bazında *C. islandica*, İstanbul Linyit Kömüründen %2 oranda yüksektir.

*L. pulmonaria* türü ile İstanbul Linyit Kömürü karşılaştırıldığında, İstanbul Linyit Kömürü maddenin yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %10, karbon oranında %33 daha yüksek olmasına rağmen, ısı değer bazında *L. pulmonaria*, İstanbul Linyit Kömüründen %8 oranda yüksektir.

### **5.2.2 Benzer bazı biyoyakıt türleri ile karşılaştırma**

Larptansuphaphol ve Jitjumroonchokchai (2019) tarafından yapılmış olan çalışmada, palmye yağı, diğer bir deyişle hurma yağı, elde etmek amacıyla *Elais guinensis* Jacq. türü palmye ağaçlarının meyvelerinin kullanıldığı belirtilmiş ve bu üretim sonucunda atık olarak ortaya çıkan boş meyve atıklarının biyoyakıt olarak kullanımı değerlendirilmiştir. İkinci bir analiz de *E. guinensis* boş meyve atıkları ve siyah pirinç üretiminden arta kalan kabuklar için 90:10 oranında karıştırılarak yapılmıştır. Bu iki analiz sonucu karşılaştırmada kullanılmak amacıyla, Çizelge 5.8 ve 5.9'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.8 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve *Elais guinensis* boş meyve atıkları analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	<i>E. guinensis</i> boş meyve atıkları
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	17 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	13 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	87 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	30 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	0.19 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	4673 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	54.16 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	4.1 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	0.55 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	41 %

*P. furfuracea* türü ile *E. guinensis* boş meyve atıkları için yapılmış olan analizler karşılaştırıldığında *P. furfuracea*, %223 oranında nem bazında, %188 oranında kül bazında ve %15 oranında uçucu madde bazında *E. guinensis* türünden daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Ancak, yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %109, karbon oranında %22 ve ısıl değer bazında %15 oranında *P. furfuracea*, *E. guinensis* türünden daha düşük sonuçlar elde etmiştir.

*C. islandica*, %102 oranında nem bazında, %319 oranında kül bazında ve %13 oranında uçucu madde bazında *E. guinensis* türünden daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Ancak, yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %155, karbon oranında

%30 ve ısıl değer bazında %25 oranında *C. islandica*, *E. guinensis* türünden daha düşük sonuçlar elde etmiştir.

*L. pulmonaria*, %170 oranında nem bazında, %162 oranında kül bazında ve %17 oranında uçucu madde bazında *E. guinensis* türünden daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Ancak, yanıcılığını arttıran değerler olan sabit karbon oranında %105, karbon oranında %24 ve ısıl değer bazında %16 oranında *L. pulmonaria*, *E. guinensis* türünden daha düşük sonuçlar elde etmiştir.

Çizelge 5.9 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve *Elais guinensis* boş meyve atıkları : siyah pirinç kabukları analizleri (90:10)

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	90:10 oranında <i>E. guinensis</i> boş meyve atıkları : siyah pirinç kabukları
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	20 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	17 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	86 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	33 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	0.17 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	4199 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	50.55 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	4.8 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	0.48 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	44 %

90:10 oranında karıştırılmış *E. guinensis* boş meyve atıkları ve siyah pirinç kabukları için yapılmış olan analizler *P. furfuracea* ile karşılaştırıldığında, %280 oranında nem bazında, %277 oranında kül bazında ve %13 oranında uçucu madde bazında *P. furfuracea*, *E. guinensis* : siyah pirinç kabukları karışımından daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Ancak, yanıcılığı arttıran değerler olan sabit karbon oranında %130, karbon oranında %14 ve ısıl değer bazında %3 oranında *E. guinensis* : siyah pirinç kabukları karışımından türünden daha düşük sonuçlar elde etmiştir.

90:10 oranında karıştırılmış *E. guinensis* boş meyve atıkları ve siyah pirinç kabukları için yapılmış olan analizler *C. islandica* ile karşılaştırıldığında, %138 oranında nem bazında, %448 oranında kül bazında ve %12 oranında uçucu madde bazında *C. islandica*, *E. guinensis* : siyah pirinç kabukları karışımından daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Ancak, yanıcılığı arttıran değerler olan sabit karbon oranında %180, karbon oranında %22 ve ısıl değer bazında %12 oranında *E. guinensis* : siyah pirinç kabukları karışımından türünden daha düşük sonuçlar elde etmiştir.

90:10 oranında karıştırılmış *E. guinensis* boş meyve atıkları ve siyah pirinç kabukları için yapılmış olan analizler *L. pulmonaria* ile karşılaştırıldığında, %218 oranında nem bazında, %242 oranında kül bazında ve %16 oranında uçucu madde bazında *L. pulmonaria*, *E. guinensis* : siyah pirinç kabukları karışımından daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Ancak, yanıcılığı arttıran değerler olan sabit karbon oranında %126, karbon oranında %15 ve ısıl değer bazında %5 oranında *E. guinensis* : siyah pirinç kabukları karışımından türünden daha düşük sonuçlar elde etmiştir.

Anggono vd. (2016) tarafından yapılmış olan çalışmada, *Cerbera manghas* L. (Apocynaceae) türü mango ağacının yapraklarının biyoyakıt olarak kullanımı değerlendirilmiştir. Analiz sonucu karşılaştırmada kullanılmak amacıyla, Çizelge 5.10'da belirtilmiştir.

Çizelge 5.10 *Pseudevernia furfuracea*, *Cetraria islandica*, *Lobaria pulmonaria* ve *Cerbera manghas* yaprağı analizleri

	<i>P. furfuracea</i>	<i>C. islandica</i>	<i>L. pulmonaria</i>	<i>C. manghas</i> yaprağı
Nem	5.26 %	8.41 %	6.29 %	12.2 %
Kül	4.51 %	3.10 %	4.97 %	8.6 %
Uçucu Madde	75.88 %	76.71 %	74.12 %	66.8 %
Sabit Karbon	14.35 %	11.78 %	14.63 %	12.4 %
Kükürt (S)	0.19 %	0.07 %	0.11 %	0.19 %
Isıl Değer	4067 kcal/kg	3752 kcal/kg	4014 kcal/kg	4164 kcal/kg
Karbon (C)	44.52 %	41.56 %	43.78 %	40.37 %
Hidrojen (H)	5.55 %	5.36 %	5.58 %	5.17 %
Azot (N)	1.06 %	0.57 %	2.40 %	0.45 %
Oksijen (O)	38.98 %	40.97 %	36.93 %	33.01 %

*P. furfuracea* ile *C. manghas* için yapılmış olan analizler karşılaştırıldığında *P. furfuracea*, nem bazında %132 oranında, kül bazında %91 oranında daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Yine *P. furfuracea*, sabit karbon oranında %14 ve karbon oranında ise %9 oranında *C. manghas*'tan daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Ancak, uçucu madde bazında %12 oranında daha yüksek bir değere sahiptir ve bunun sonucunda, ısıl değer bazında %2 oranında *C. manghas*'tan düşüktür.

*C. islandica* ile *C. manghas* için yapılmış olan analizler karşılaştırıldığında *C. islandica*, nem bazında %45 oranında, kül bazında %177 oranında, sabit karbon oranında %5 daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Yine *C. islandica*, karbon oranında %3 oranında *C. manghas*'tan daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Ancak, uçucu madde bazında %13

oranında daha yüksek bir değere sahiptir ve bunun sonucunda, ısıl değer bazında %11 oranında *C. manghas*'tan düşüktür.

*L. pulmonaria* ile *C. manghas* için yapılmış olan analizler karşılaştırıldığında ise *L. pulmonaria*, nem bazında %94 oranında, kül bazında %73 oranında daha düşük analiz sonuçları elde etmiştir. Yine *L. pulmonaria*, sabit karbon oranında %15 ve karbon oranında ise %8 oranında *C. manghas*'tan daha yüksek sonuçlar elde etmiştir. Ancak, uçucu madde bazında %10 oranında daha yüksek bir değere sahiptir ve bunun sonucunda, ısıl değer bazında %4 oranında *C. manghas*'tan düşüktür.

### 5.3 Sonuç ve Öneriler

Tez çalışması kapsamında, likenlerin bir biyoyakıt kaynağı olarak kullanımı değerlendirilmiştir. Araştırma için *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türleri seçilmiş olup türler; nem, uçucu ve kül analizine, ısıl değer analizine, kükürt analizine ve elemental analize tabi tutulmuşlardır. Bu analizler, orijinal numuneye ve kuru numuneye ayrı ayrı uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlarına göre türler arası karşılaştırma yapılmıştır. Araştırmanın sonuçlarına göre, *P. furfuracea* türünün en verimli yanıcı, *L. pulmonaria* türünün orta verimli yanıcı, *C. islandica* türünün ise daha az verimli yanıcı olduğu saptanmıştır.

Öncelikle, bu çalışmada gerçekleştirilmiş olan analizlerin sonuçları ile literatürde verilen çeşitli korelasyonlardan ısı değerleri hesaplanmış olup, deneysel olarak tayin ettiğimiz ısı değerleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Bu korelasyonlar seçilirken ormansal atıklar gibi, bu çalışmadaki örneklem gruba yakın biyoyakıt türleri için oluşturulmuş korelasyonlar seçilmiştir. Korelasyonlar üç grupta incelenmiştir; elemental analiz verileri kullanılan korelasyonlar, kısa analiz verileri kullanılan korelasyonlar ve hem elemental hem de kısa analiz verileri kullanılan korelasyonlar. Toplamda işlenen 17 korelasyon sonuçlarından hiçbiri, üç liken türünün tamamı için deneysel olarak hesaplanan ısıl değerler ile eşitlik gösterememiştir. Korelasyonların hata oranı en fazla %11 olarak hesaplanmıştır.

İkinci olarak ise, liken numunelerine uygulanan analizin sonuçlarıyla literatürdeki bazı yerel kömür çeşitlerinin analiz sonuçları ve benzer biyoyakıt çalışmalarının analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma çalışması sonucunda, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria* liken türlerinin nem oranının, kül oranının ve ısı değeri fazla olması durumunda dahi, sabit karbon ve karbon elementi oranı gibi yanıcılığı arttıran faktörlerde belirgin seviyelerde düşük olduğu oransal olarak tayin edilmiştir. Sera gazı salınımı açısından ise, *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria*'nın kükürt element oranı bazında kömür çeşitlerinden belirgin farklarla düşük olması likenleri avantajlı bir konuma getirmekle beraber, azot element oranı benzerlik göstermiştir. *P. furfuracea*, *C. islandica* ve *L. pulmonaria*'nın uçucu madde oranının yüksek olması da hava kirliliğine neden olabilir. Yanma sonrasında ortaya çıkan kül oranının düşüklüğü ise likenleri hem kömür çeşitleri, hem de benzer biyoyakıt kaynakları karşısında yine avantajlı bir konuma getirmektedir; kül bertarafının çevre kirliliğini etkileyen bir faktör olduğu bilinmektedir.

Tüm bu analizler neticesinde likenlerin, kömür ve diğer biyoyakıt kaynaklarıyla birlikte kullanılması önerilmektedir. Sera gazı salınımı ve çevresel etkiler de göz önüne alındığında likenlerin diğer biyoyakıt kaynaklarıyla birlikte kullanılması faydalı olacaktır. Likenlerin biyoyakıt olarak kullanımında optimum fayda elde edebilmek için, diğer biyoyakıtlar ile birlikte kullanımının oransal olarak incelenebileceği düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- Anggono, W., Suprianto, F. D., Sutrisno, Kasrun, A.W. 2016. Investigation on Biomass Briquette as Energy Source from Waste Leaf Cerbera Manghas. JIRAE, 1 (1), 11-14.
- Anonim. 2008. Web Sitesi: <https://cdn.bartın.edu.tr/makine/b7ff690bcd467294770b06e1f012861e/2.hafta.pdf>, Erişim Tarihi: 23.05.2020
- Anonim. 2011. Web Sitesi: <http://www.lichens.lastdragon.org/faq/licenthallustypes.html>, Erişim Tarihi: 01.05.2020
- Anonim. 2012. Web Sitesi: <http://jeoloji.ogu.edu.tr/Storage/Jeoloji/Uploads/4-Analizler.pdf>, Erişim Tarihi: 23.04.2020
- Anonim. 2013. Web Sitesi: [http://www.lichens.lastdragon.org/Pseudevernia\\_furfuracea.html](http://www.lichens.lastdragon.org/Pseudevernia_furfuracea.html), Erişim Tarihi: 01.05.2020
- Anonim. 2018. Web Sitesi: <https://www.worldatlas.com/articles/how-many-trees-does-it-take-to-make-1-ton-of-paper.html>, Erişim Tarihi: 03.05.2020
- Anonim. 2020. Web Sitesi: <https://www.pickyourownchristmastree.org/facts.php>, Erişim Tarihi: 03.05.2020
- ASTM International. 2015. ASTM D7582-15, Standard Test Methods for Proximate Analysis of Coal and Coke by Macro Thermogravimetric Analysis. West Conshohocken, PA.
- Bayraç, H. N., Özarslan, B. 2018. Biyokütle Enerjisi ve Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Ampirik Bir Analizi: Türkiye Örneği. Yalova Sosyal Bilimler Dergisi, (17), 1-17.
- Boylu, F., Ateşok, G., Özer, M. 2005. Kömür-Su Karışımları Teknolojisinde Farklı Yapıdaki Türk Kömürlerinin Yanma Özellikleri. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Dergisi, 26 (1), 15-23.
- Boylu, F., Karaağaçlıoğlu, İ.B. 2018. Kömür Bileşenlerinin Kalorifik Değer Üzerindeki Etkisi Üzerine Değerlendirme. Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, 39 (3), 221-236.
- Caillat, S., Vakkilainen, E. 2013. Biomass Combustion Science, Technology and Engineering. Woodhead Publishing, 320, Cambridge.
- Channiwala, S.A., Parikh P.P. 2002. A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. Fuel, 81:1051-63.
- Demirbas, A. 1997. Calculation of higher heating values of biomass fuels. Fuel, 76:4314.

- Demirbas, A., Demirbas, A.H. 2004. Estimating the calorific values of lignocellulosic fuels. *Energy Explor Exploit*, 22:135–43.
- Dias, R.A., Mattos, C.R. & Balestieri, J.A.P. 2004. Energy education: breaking up the rational energy use barriers. *Energy Policy*, 32 (11), 1339-1347.
- Ebeling J. M., Jenkins B.M. 1985. Physical and chemical properties of biomass. *Trans ASAE*, 28:898–902.
- Encyclopædia Britannica, inc. 2014. Iceland moss. *Encyclopædia Britannica*, Chicago, IL.
- Friedl, A., Padouvas, E., Rotter, H., Varmuza, K. 2005. Prediction of heating values of biomass fuel from elemental composition. *Anal. Chim. Acta*, 544:191–8.
- Global Biodiversity Information Facility. 2019. *Cetraria islandica* (L.) Ach. *Catalogue of Life*, Denmark.
- Global Biodiversity Information Facility. 2019. *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm. *Catalogue of Life*, Denmark.
- Global Biodiversity Information Facility. 2019. *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf. *Catalogue of Life*, Denmark.
- Gülen, J., Toprak, S., Pişkin, S. 2012. Batı Türkiye Kömürlerine ait Bazı Karakteristik Özellikler. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 2 (1), 27-33.
- Güllü, M., Bayraç, H. N. 2017. Biyoyakıt Üretimi, Karbon Emisyonu ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Amerika, Brezilya ve Almanya Örnekleri. *Akademik Bakış Dergisi*, (64), 18-34.
- Güven, C., Taskin, E., Yumtutas, O., Şener, L., Ozay, Y., Dal, F., Ahabab, M., Bozgeyik, I., Albeniz, I., Bagis, H., Yildiz, A. 2018. The Anticancer Activity of *Cetraria islandica* (L.) Ach in Breast Cancer Cells Through Crosstalk of Ampk- $\alpha$ 1 and Erk1/2 Signalling. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*. 6. 783. 10.24925/turjaf.v6i6.783-791.1940.
- Kranner, I. 2002. Glutathione status correlates with different degrees of desiccation tolerance in three lichens. *New Phytologist*. 154 (2): 451–460.
- Ladanai, S., Vinterbäck, J. 2009. *Global Potential of Sustainable Biomass for Energy*. Swedish University of Agricultural Sciences, 32, Uppsala.
- Larptansuphaphol, T., Jitjumroonchokchai, P. 2019. Properties and Characteristics of Compressed Biofuel Production from Empty Palm Fruit Bunches, *E3S Web of Conferences* (CGEEE 2019), 1 Ocak, Vol 120, Bangkok.

- MTA Genel Müdürlüğü. 2019. Web Sitesi: <https://www.mta.gov.tr/ucretli-isler/liste/test-ve-analizler/test/Akreditasyonsertifikasi.pdf>, Erişim Tarihi: 10.04.2020
- Nayaka, S. 2014. Methods and techniques in collection, preservation and identification of lichens, In: Plant Taxonomy and Biosystematics - Classical and Modern Methods. Rana, T.S., Nair, K.N., & Upreti, D.K. (eds), New India Publishing Agency, 106, New Delhi.
- Onurbaş Avcıoğlu, A. 2017. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Teknolojileri Dersi. Web Sitesi: [https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/18482/mod\\_resource/content/0/YEN%C4%B0LENEB%C4%B0L%C4%B0R%20ENERJ%C4%B0%20KAYNAKLA RI%20VE%20TEKNOLOJ%C4%B0LER%C4%B0%2012.pdf](https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/18482/mod_resource/content/0/YEN%C4%B0LENEB%C4%B0L%C4%B0R%20ENERJ%C4%B0%20KAYNAKLA RI%20VE%20TEKNOLOJ%C4%B0LER%C4%B0%2012.pdf)
- Özer, Z., Tursun, N., Önen, H., Uygur, F.N., & Erol, D. 1998. Herbaryum Yapma Teknikleri ve Yabancı Ot Teşhis Yöntemleri. Gaziosmanpaşa Üniversitesi, 216, Tokat.
- Öztürk, M. 2017. Kömür Satın Alırken Dikkat Edilecek Hususlar. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 16, Ankara.
- Parikh, J., Channiwala, S.A., Ghosal, G.K. 2005. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. Fuel, 84:487–94.
- Ritchie, H., Roser, M. 2018. Energy. Web Sitesi: <https://ourworldindata.org/energy>
- Utah State University. 2020. Lichens. Department of Biology of Utah State University. Logan, UT.
- Vargas-Moreno, J. M., Callejón-Ferreá, A.J., Pérez-Alonso, J., Velázquez-Martí, B. 2012. A review of the mathematical models for predicting the heating value of biomass materials. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16, 3065-3083.
- Yıldız, A. 1998. Çangaldağı (Sinop) Liken Florası. Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Biyoloji Anabilim Dalı, 70, Ankara.
- Yıldız, A., Aksoy, A., Tuğ, G., İşlek, C., Yılmaz, D. 2008. Biomonitoring of heavy metals by *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Ankara (Turkey). Journal of Atmospheric Chemistry. 60. 71-81. 10.1007/s10874-008-9109-y
- Yıldız, A., Aksoy, A., Akbulut, G. Demirezen, D., İşlek, C., Altuner, E. M., Duman, F. 2011. Correlation Between Chlorophyll Degradation and the Amount of Heavy Metals Found in *Pseudevernia furfuracea* in Kayseri (Turkey). Ekoloji, (78), 82-88.
- Yıldız, A., Kanlıtepe-Vardar, Ç., Aksoy, A., Ünal, E., Yaşrin, N., Gürkan, B., Gürsu, G., Turan, A., Okus, F., Kunt, N. 2017. Biomonitoring of Heavy Metals by *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Aksaray city, Turkey. 10.13140/RG.2.2.35148.31362.

Yıldız, A., Vardar, Ç., Aksoy, A., Ünal, E. 2018. Biomonitoring of Heavy Metals Deposition with *Pseudevernia furfuracea* (L.) Zopf in Çorum City, Turkey. *Journal of Scientific Perspectives*, 1(2), 9-22.



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Rüya BALCI  
Doğum Yeri : ankaya  
Doğum Tarihi : 10.04.1993  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce

### **Eğitim Durumu**

Lise : TED Aliağa Koleji (İzmir) (2011)  
Lisans : Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Enerji Sistemleri Mühendisliği (2017)  
Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Biyoloji Anabilim Dalı (2017 - 2020)

### **Çalıştığı Kurumlar ve Yıl**

Life İklim ve Enerji (Ankara) 2017-2019

### **Ulusal Kongre Sunum**

**Erkan R.**, Budak Y., İskenderoğlu C., 2017. Development of 1 kW High Temperature PEM Fuel Cell – Photovoltaic Hybrid System for Micro-Cogeneration Applications, TüBiTAK, Selçuk Üniversitesi Poster Sunumu