

**TRAKYA BÖLGESİNDE ÇELTİK SAPININ
BİYOKÜTLE POTANSİYELİ VE ENERJİ
DEĞERLERİNİN SAPTANMASI**

Tamer AKÇAY

**Yüksek Lisans Tezi
Biyosistem Mühendisliği
Danışman: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ
2014**

**T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**TRAKYA BÖLGESİNDE ÇELTİK SAPININ BİYOKÜTLE POTANSİYELİ VE
ENERJİ DEĞERLERİNİN SAPTANMASI**

**Prof. Dr. Türkan AKTAŞ
Yüksek Lisans Öğrencisi Tamer AKÇAY**

BIYOSİSTEM MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

TEKİRDAĞ-2014

Her hakkı saklıdır

**BU TEZ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
(BAP) BİRİMİ TARAFINDAN NKUBAP.00.24.YL.13.12. PROTOKOL NUMARALI
PROJE İLE DESTEKLENMİŞTİR.**

Prof. Dr. Türkan AKTAŞ danıŐmanlıđında, Tamer AKÇAY tarafından hazırlanan ‘‘Trakya Bölgesinde Çeltik Sapının Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Değerlerinin Saptanması’’ isimli bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği ile kabul edilmiştir.

Jüri baŐkanı : Prof. Dr. Birol KAYIŐOđLU *imza :*

ye : Prof. Dr. Türkan AKTAŞ (Danışman) *imza :*

ye: Prof. Dr. Abdullah SESSİZ *imza :*

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Prof. Dr. Fatih KONUKCU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TRAKYA BÖLGESİNDE ÇELTİK SAPININ BİYOKÜTLE POTANSİYELİ VE ENERJİ DEĞERLERİNİN SAPTANMASI

Tamer AKÇAY

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Biyosistem Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

Dünyadaki hızla artan nüfus ve sanayileşme ile paralel olarak artan enerji gereksinimini çevreyi kirletmeden ve sürdürülebilir olarak sağlayabilecek kaynaklardan belki de en önemlisi biyokütle enerjisidir. Biyokütle; tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo-ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeniyle uygun ve önemli bir enerji kaynağıdır. Hasattan sonra tarlada kalan bitki kalıntıları da ülkemiz için enerji üretiminde kullanılma potansiyeli oldukça yüksek olan biyokütle kaynakları arasında önemli bir yer tutmaktadır. Biyokütle ülkemizde çoğunlukla geleneksel yöntem olan ve düşük verimlilikte enerji eldesini sağlayan doğrudan yakma yöntemiyle değerlendirilmektedir. Öte yandan gelişmiş ülkelerde, modern biyokütle çevrim teknolojileri kullanılarak (termokimyasal veya biyokimyasal yöntemler gibi) çeşitli süreçlerde (havasız çürütme, piroliz, fermantasyon, gazlaştırma, hidroliz, biyofotoliz, esterleşme reaksiyonu) biyokütlenin yakıt kalitesi artırılıp alternatif biyoyakıtlar (biyogaz, çöpgazı, biyodizel, biyoetanol, sentetik yağ) üretilmektedir. Elde edilen bu yakıtlardan da ısıl ve elektriksel enerji elde edilmektedir. Trakya Bölgesindeki çeltik üretim süreci incelendiğinde hasattan sonra tarlada yüksek oranda kalan çeltik sapının toprak hazırlığını kesintiye uğratan en önemli etkenlerden birisi olduğu anlaşılmaktadır. Uygulamada; çeltik sapına, yeterli teknolojik altyapının olmaması nedeniyle, çok az talep olması, yüksek kül oranı (%18-20) sebebiyle kolay çürüyememesi ve toprağa karıştırılmasının maliyetinin yüksek olması nedeniyle, kanunen yasak olmasına rağmen, üreticiler tarafından çeltik anızını yakmak tek seçenek haline gelmiştir. Ancak, çeltik sapının yakılması ile toprakta azot, fosfor (\approx %25), potasyum (\approx %20) ve kükürt (%5-60) kayıpları meydana gelmektedir. Ayrıca, çevreye yaptığı hava kirliliği, yangın tehlikesi gibi olumsuz etkiler nedeniyle istenmeyen bir durumdur. Çeltik saplarının yakılması veya parçalanarak toprağa karıştırılmasındaki olumsuz yönler dikkate alındığında, bu biyokütlenin tarladan uygun olarak toplanıp sanayide çeşitli alanlarda değerlendirilmesinin gerekliliği hem çevre hem de bölge ekonomisine katkı yapması açısından göz ardı edilemeyecek düzeydedir. İçeriği açısından çeltik sapının termokimyasal yöntemler kullanılarak enerji üretiminde verimli bir şekilde kullanılacağı düşünülmektedir. Ülkemizde ve özellikle Trakya Bölgemizde çeltik tarla artıkları oldukça büyük biyokütle potansiyeline sahiptir. Ülkemizde mevcut olan biyokütle potansiyelinin; ısıl ve elektriksel eşdeğeri açısından incelenmesine ilişkin bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu tez ile Trakya Bölgesi için en önemli tarla artıklarından birisi olan çeltik

sapının biyokütle potansiyeli ısı ve elektriksel olarak Tekirdağ örneği için belirlenmiştir. Çeltik saplarının termokimyasal çevrim yöntemleri kullanılarak değerlendirilmesine yönelik karakterizasyonu yapmak amacıyla Osmancık çeşidine ait çeltik sap örnekleri 3 farklı lokasyondan toplanmış ve bu örnekler için proksimit (kısa) analizleri, elemental analizler ve ısı kapasite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çeltik saplarının toplandığı üretim alanında alınan toprak örnekleri de analiz edilerek, lokasyona bağlı olarak yakıt özelliklerinde önemli bir fark olup olmadığı belirlenecektir. Çalışma sonuçlarının; gelişmiş ülkelerin bazılarında ürün çeşidine bağlı olarak oluşturulmuş biyokütle kompozisyonu ve yakıt özellikleri ile ilgili bir veri tabanı oluşturulmasına da temel olacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Çeltik sapı, yakıt özellikleri, termokimyasal çevrim, karakterizasyon.

2014, 44 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF PADDY STALK BIOMASS POTENTIAL AND ENERGY VALUES IN THRACE REGION

Tamer AKÇAY

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Biosystem Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Türkan AKTAŞ

Biomass energy maybe is the the most important energy in the sources that can provide requirement energy without polluting the environment and as sustainable in parallel with the world's rapidly growing population and increasing industrialization. Biomass is an important and suitable energy resource due to its a renewable resource, it can be grewed up everywhere, especially it supports social-economic developments on the rural areas. Plant residues among biomass sources that remain in the field after harvesting have an important place inside the biomass resources which has a very high potential to use on producing energy for our country. In our country generally, biomass is evaluated using direct combustion method that is traditional method and provide energy with low productivity. On the other hand, in developed countries, using by modern biomass conversion technologies (thermochemical and biochemical methods, etc.) with various processes (anaerobic digestion, pyrolysis, fermentation, gasification, hydrolysis, biophotolysis, esterification reaction), rising up the fuel quality, the alternative biofuels (biogas, landfill gas, biodiesel, bioethanol, synthetic oil) are being producing. Thermal and electrical energy are obtained from these obtained fuels. When the paddy production process at Thrace Region is examined, it can understand that the paddy stalks, which high rately left on the field after harvesting, is one of the most important reason for soil preparation's interruption. Pratically for the paddy stalk, due to there is not enough technological infrastructure, there is less request, it can not languish easily due to high ash content (%18-20), and the costs of mixing to soil is very high, so; although prohibited by law, the burning of paddy stubble, it becomes only one option for the producers. But, by burning the paddy stalk, nitrogen, phosphorus (\approx %25), potassium (\approx %20) and sulfur (%5-60) losses are occured. Also, It's an unwanted situation due to negative effects to environment as air pollution, fire hazard. When the negative aspects of paddy stalk's burning or mixing it to soil by shearing is considered, the needing of the collecting this biomass from the fields and evaluating it in industry on various fields, terms to contribute for environment and region's economy, is important enough to not be ignored. It is thought that the content in terms of paddy stalk will be used efficiently in order to produce energy by using the thermo-chemical methods. The paddy field wastes in our country and Thrace Region has quite big biomass potential. There isn't any studying about investigating by thermal and electrical equivalent of available biomass potential in our country. On this thesis, the biomass potential of paddy stalk, which is one of the important field wastes for Thrace Region, were determined thermal and electrically for Terkirdağ sample. Osmancik variety paddy stalk samples were collected

from 3 different locations and for these samples, the proximate analysis, elemental analysis and heat capacity measurements were performed in order to do characterization of paddy stalks by using thermo-chemical conversion methods intended for evaluating. Also the soil samples ,which were taken from paddy stalk sample's field, will be analyzed, it will be determined depending on location that is there any important difference on the fuel properties or not. It was thought that the results of this study will be the principal in order to create a data base about biomass composition and fuel properties which was created at some of the developed countries depending on product variety.

Keywords: Paddy stalk, fuel properties, thermochemical conversion, characterisation.

2014, 44 pages

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÇİZELGE DİZİNİ	iv
ŞEKİL DİZİNİ	v
DENKLEMLER DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyokütle Kaynakları	2
1.1.1. Hayvansal Atıklar	2
1.1.2. Şehir ve Endüstri Atıkları	2
1.1.3.Bitkisel Kaynaklar	3
1.1.3.1. Tarımsal atıklar	3
1.2. Enerji Üretiminde Biyokütle Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Yönleri.....	4
1.3. Modern biyokütle çevrim teknolojileri.....	4
1.3.1. Termokimyasal dönüştürme metotları.....	5
1.4. Trakya Bölgesinde Tarımsal Atıkların Biyokütle Kaynağı Olarak Önemi ve Tezin Amacı	6
2. KAYNAK ÖZETLERİ	9
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER	14
3.1. Materyal.....	14
3.1.1. Bitkisel materyal	14
3.1.2. Toprak örnekleri.....	14
3.2. Yöntem	14
3.2.1. Çeltik sap örneklerinin toplanması ve toplam çeltik potansiyelinin hesaplanması	14
3.2.2. Çeltik sap örneklerinin analizlere hazırlanması.....	15
3.2.3. Toprak örneklerinin alınması ve toprak analizlerinin gerçekleştirilmesi.....	16
3.2.3.1. Toprak reaksiyonunun (pH) saptanması.....	16
3.2.3.2. Toprak tekstürün saptanması	17
3.2.3.3. Toprağın elektriksel iletkenliğinin saptanması	19
3.2.3.4. Organik madde miktarının saptanması	19
3.2.3.5. Toprağın % nem içeriğinin saptanması.....	21
3.2.3.6. Toprak örneğinin kireç içeriğinin saptanması	21

3.2.4. Çeltik sap örneklerinin yakıt özellikleri açısından karakterizasyonu.....	22
3.2.5. Çeltik güç üretim potansiyelinin hesaplanması.....	26
3.2.6. İstatiksel analizler.....	26
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	27
4.1. Toprak Örneklerine İlişkin Analiz Sonuçları	27
4.1.1. pH değerlerine ilişkin sonuçlar.....	27
4.1.2. Elektriksel iletkenlik değerlerine ilişkin sonuçlar.....	27
4.1.3. Organik madde değerlerine (%) ilişkin sonuçlar.....	28
4.1.4. Kireç değerlerine (%) ilişkin sonuçlar.....	29
4.1.5. Nem değerlerine (%) ilişkin sonuçlar.....	29
4.1.6. Tekstür sınıflarına ilişkin sonuçlar.....	30
4.2. Çeltik Sap Örneklerine İlişkin Analiz Sonuçları.....	30
4.2.1. Proksimit (kısa) analiz sonuçları.....	31
4.2.1.1. Nem içeriklerine (%) ilişkin sonuçlar.....	31
4.2.1.2. Kül içeriklerine (%) ilişkin sonuçlar	31
4.2.1.3. Uçucu madde içeriklerine (%) ilişkin sonuçlar	32
4.2.1.4. Sabit karbon değerlerine (%) ilişkin sonuçlar.....	33
4.2.2. Elemental analiz sonuçları	34
4.2.3. Isıl değerlere ilişkin sonuçlar.....	35
4.2.4. Çeltik sapı külünün ergime sıcaklığının değişimine ilişkin sonuçlar	36
4.2.5. Çeltik sapı biyokütlesinden güç üretim potansiyeline ilişkin sonuçlar.....	37
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	39
6. KAYNAKLAR.....	41
ÖZGEÇMİŞ.....	44

ÇİZELGE DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 2.1. Türkiye’de 1000 ha üzeri çeltik ekimi yapılan iller, ekiliş, üretim değerleri.....	10
Çizelge 2.2. Tarımsal atık kapasite çalışması varsayımları.....	12
Çizelge 2.3. Trakya bölgesi tarımsal atık elektrik üretim potansiyeli.....	13
Çizelge 3.1. Biyokütlelerin karakterizasyonu için kullanılmış olan analizler ve analiz yöntemleri.....	24
Çizelge 4.1. Biyokütle ve kömürün fiziksel ve yakıt özellikleri.....	30
Çizelge 4.2. Çeltik örneklerinin elemental analiz sonuçları	35
Çizelge 4.3. Çeltik sapı örneklerini ısı değerleri	36
Çizelge 4.4. Çeltik saplarına ait kül örneklerini kül ergime sıcaklığı sonuçları.....	37
Çizelge 4.5. Çeltik sapından güç üretimi ve güç üretim potansiyelinin hesaplanma aşaması ve sonuçlar.....	38

ŞEKİL DİZİNİ

	Sayfa No
Şekil 1.1. Biyokütle enerjisi kaynakları.....	1
Şekil 1.2. Türkiye toplam biyokütle potansiyeli haritası.....	2
Şekil 1.3. Bitkisel kaynaklara örnek tarlada kalan saplar.....	3
Şekil 1.4. Biyokütlenin doğrudan yakılması işleminde kullanılan soba örneği.....	5
Şekil 1.5. Gazlaştırmanın işleminin safhaları.....	6
Şekil 3.1. Çeltik saplarının toplanması.....	15
Şekil 3.2. Çeltik saplarının parçalanması.....	15
Şekil 3.3. Toprak örneğinin alınması.....	16
Şekil 3.4. Toprak reaksiyonunun saptanması - pH metre cihazı.....	16
Şekil 3.5. Toprak örneğinin ölçüm öncesi geçirdiği işlemler.....	17
Şekil 3.6. Toprak örneğinin tekstür değerlerinin ölçülmesi.....	18
Şekil 3.7. Tekstür üçgeni.....	19
Şekil 3.8. Toprak elektriksel iletkenliğinin kondüktometre cihazı ile ölçülmesi.....	19
Şekil 3.9. Toprak süspansiyonunun pembe renk alması.....	20
Şekil 3.10. Toprağın nem içeriğinin saptanması.....	21
Şekil 3.11. Toprak örneğinin kireç içeriğinin saptanmasında kullanılan kalsimetre cihazı.....	22
Şekil 3.12. Çeltik sap örneklerinin nem içeriklerinin belirlenmesi.....	23
Şekil 3.13. Kül fırını.....	23
Şekil 3.14. Kül ergime sıcaklığı analizinde kritik sıcaklık değerleri.....	25
Şekil 4.1. Toprak örneklerinin pH değerleri.....	27
Şekil 4.2. Toprak örneklerinin elektriksel iletkenlikleri.....	28
Şekil 4.3. Toprak örneklerinin organik madde içerikleri.....	28
Şekil 4.4. Toprak örneklerinin % kireç değerleri.....	29
Şekil 4.5. Toprak örneklerinin % nem değerleri.....	29
Şekil 4.6. Toprak örneklerinin tekstür sınıfları.....	30
Şekil 4.7. Çeltik biyokütle örneklerinin % nem içerikleri.....	31
Şekil 4.8. Çeltik biyokütle örneklerinin % kül içerikleri.....	32
Şekil 4.9. Çeltik biyokütle örneklerinin % uçucu madde içerikleri.....	33
Şekil 4.10. Çeltik biyokütle örneklerinin sabit karbon yüzdeleri.....	34

DENKLEM DİZİNİ

	Sayfa No
Denklem 1. Toprak örneğinin % kil içeriğinin hesaplanması.....	18
Denklem 2. Toprak örneğinin % mil içeriğinin hesaplanması.....	18
Denklem 3. Toprak örneğinin % kum içeriğinin hesaplanması.....	18
Denklem 4. Toprak örneğinin % organik madde-C içeriğinin hesaplanması.....	20
Denklem 5. Toprak örneğinin % organik madde içeriğinin hesaplanması.....	20
Denklem 6. Toprak örneğinin % nem içeriğinin yaş baza göre hesaplanması.....	21
Denklem 7. Toprak örneğinin % nem içeriğinin kuru baza göre hesaplanması.....	21
Denklem 8. Çeltik örneğinin % nem içeriğinin yaş baza göre hesaplanması.....	22
Denklem 9. Çeltik örneğinin % nem içeriğinin kuru baza göre hesaplanması.....	22
Denklem 10. Çeltik örneğinin % sabit karbon içeriğinin hesaplanması.....	24
Denklem 11. Çeltik örneğinin % oksijen içeriğinin hesaplanması.....	24
Denklem 12. Çeltik örneğinin güç üretim potansiyelinin hesaplanması.....	26
Denklem 13. Çeltik örneğinin termokimyasal yolla güç üretim potansiyelinin hesaplanması.....	26

1. GİRİŞ

Biyokütle; 100 yıllık periyottan daha kısa bir sürede yenilenebilen, karada ve suda yetişen bitkiler, hayvan atıkları, gıda endüstrisi ve orman yan ürünleri ile kentsel atıkları içeren tüm organik maddeler olarak tanımlanmıştır. Şekil 1.1’de bazı belli başlı biyokütle kaynakları görülmektedir. Bitkisel biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır.



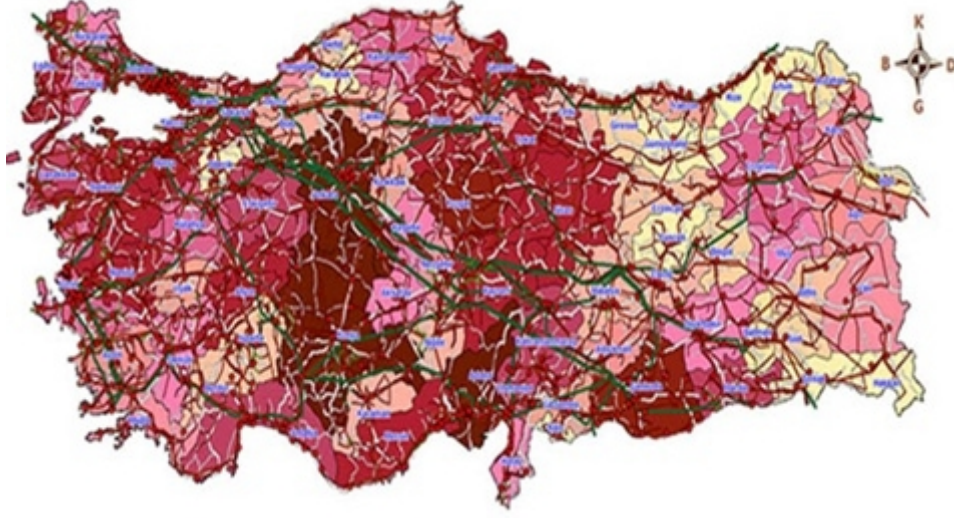
Şekil 1.1. Biyokütle enerjisi kaynakları

Çevreyi kirletmeyen yenilenebilir enerji kaynakları arasında, özellikle gelişmekte olan ülkeler için uygulama alanı en geniş olan enerji kaynaklarından birisi de biyokütledir.

Biyokütle yalnız yenilenebilir olması ile değil, her yerde yetiştirilebilmesi, sosyo-ekonomik gelişme sağlaması, çevrenin korumasına katkısı, elektrik enerjisi üretimi, kimyasal madde ve özellikle içten yanmalı motorlu taşıtlar için yakıt elde edilebilmesi nedeni ile stratejik bir enerji kaynağı sayılmaktadır.

Dünyada fosil enerji kaynaklarının ömürlerinin kısıtlı olması ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri nedeniyle biyokütle giderek önem kazanmaktadır.

Ülkemizde biyokütle açısından oldukça zengin bir durumdadır. Şekil 1.2’de Türkiye’nin toplam biyokütle haritası verilmiştir. Bu haritaya göre biyokütle potansiyelinin yüksek olduğu kısımlar; Türkiye’nin orta kısımları, Marmara Bölgesi, Kuzey Ege ile Karadeniz Bölgesi kıyıları ve Güneydoğu Anadolu Bölgesi’dir.



Şekil 1.2. Türkiye toplam biyokütle potansiyeli haritası (Anonim 2014a).

1.1. Biyokütle Kaynakları

Biyokütle kaynaklarını; bitkisel kaynaklar, hayvansal atıklar, şehir ve endüstri atıkları şeklinde sınıflandırılmaktadır.

1.1.1. Hayvansal Atıklar

Hayvansal gübrenin enerji eldesi amacıyla kullanımı söz konusudur. Hayvansal gübrenin geleneksel yöntemlerle değerlendirilmesinde, samanla karıştırılıp kurutulması suretiyle elde edilen tezeğin köylerde yakıt olarak kullanımı oldukça yaygındır.

Hayvansal gübrenin oksijensiz ortamda fermantasyonu ile üretilen biyogazın dünyada kullanımı da oldukça yaygındır. Biyogazın ısı değeri, karışımdaki metan yüzdesine bağlı olarak 1900 ile 27500 kJ/m³ arasında değişmektedir.

1.1.2. Şehir ve Endüstri Atıkları

Çöp depolama alanlarındaki katı, evsel ve endüstriyel atıklar, evsel atık su arıtma tesislerinde oluşan arıtma çamurları, aerobik organizmalarla metan gazına dönüştürülerek değerlendirilmektedir.

Elde edilen biyogazın doğal gaz dağıtım sisteminde kullanılması, gaz temizleme işleminin pahalı olması nedeniyle fazla uygulanmamaktadır. Depolama alanından oluşan 1 metreküp gazın ısı değeri ise yine çöpün bileşenlerine bağlı olarak 18- 27 MJ/m³ arasında değişmektedir.

1.1.3. Bitkisel Kaynaklar

Bitkisel kaynaklar olarak; orman ürünlerini, yetiştiricilik dönemi 5-10 yıl, verimlerinin ise 15-35 t/ha olan ağaç türlerini içeren enerji ormanlarını, enerji tarımı yetiştiriciliğine konu olan sorgum, şeker kamışı, mısır gibi C4 bitkilerini, buğday, arpa, çavdar, şeker pancarı gibi C3 bitkilerini, şeker ve nişasta ihtiva eden bitkileri (şeker pancarı, patates vb.), yağlı tohumlu bitkileri (kanola, aspir, ayçiçeği, soya vb.), bazı su otlarını ve algleri sayılabilmektedir. Şekil 1.3'de biyokütle kaynağı olarak değerlendirilebilecek tarla artıklarından örnek görülmektedir.



Şekil 1.3. Bitkisel kaynaklara örnek tarlada kalan saplar

Enerji Tarımı amaçlı yetiştirilen bitkiler, tarım ve orman artıkları enerji elde etmek amacıyla değerlendirilen bitkisel kaynaklardır. Bu biyokütle kaynaklarının ısıl değeri 3800-4300 kcal/kg arasında değişmektedir.

1.1.3.1. Tarımsal atıklar

Ülkemizde; tahıllar, yağlı tohumlar ve yumrulu ürünlerin üretimi yaygın olarak yapılmaktadır. Tahıllar Türkiye'nin orta, doğu ve güney bölgelerinde yaygın olarak yetiştirilmekteyken, ayçiçeği ise Trakya bölgesinde, pamuk ve mısır ise güney (güney ve güney batı Anadolu bölgelerinde) ve batı (Ege bölgesi) bölgelerinde yaygındır. Yumrulu bitkiler Marmara (patates) ve İç Anadolu (patates ve şeker pancarı) bölgelerinde yoğun olarak üretilmektedir. En yüksek tarla atık miktarının buğday ve arpa yetiştiriciliğinden açığa çıktığı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte, mısır ve pamuk yetiştiriciliğinde de önemli miktarda atık oluşmaktadır. Atıklar tarımsal üretimden sonra tarlada bırakılmaktadır. Tahıl samanı hayvan yemi ve hayvan altığı gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Endüstriyel tarımsal

ürünlerin üretiminden kalan başlıca atıkları da tarlada kalmaktadır. Bunlar; çeltik sapı, mısır sapı, ayçiçeği sapı, saman ve tütün sapı vb. atıklardır (Başçetinçelik vd. 2005).

1.2. Enerji Üretiminde Biyokütle Kullanımının Olumlu ve Olumsuz Yönleri

Enerji kaynağı olarak biyokütle kullanımının avantajlarının yanında dezavantajları da bulunmaktadır. Biyokütle enerjisinin olumlu yönleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Hemen her yerde yetiştirilebilir,
- Depolanabilir,
- Fosil yakıtlarda bulunan kanserojen madde ve kükürt biyokütle içinde olmadığından, çevre kirliliği oluşturmaz,
- Sera etkisi oluşturmaz,
- Asit yağmurlarına yol açmaz,
- Sosyoekonomik gelişmelerde önemlidir,
- Yetişmeleri için 5-35 °C arasında sıcaklık gerektirir,
- Düşük ışık şiddetleri yeterlidir,
- Her ölçekte enerji verimi için uygundur,
- Üretim ve çevrim teknolojileri iyi bilinir,
- Biyokütle kömür ve petrolden sonra Dünyanın 3. büyük birincil enerji kaynağıdır,
- Biyokütlenin kömürle birlikte yakılması oldukça ekonomik bir uygulamadır.

Biyokütlenin olumsuz yönleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Biyokütle atıkları geniş bir alana yayılmış olduğundan değerlendirme merkezlerine taşınması için ek bir masraf gerektirmesi,
- Biyokütle düşük çevrim verimine sahip olması, tarım alanları için rekabet oluşturmaması ve su içeriğinin fazla olması ,
- Enerji bitkileri dekarda yaş 20 ton, kuru 40 ton olarak üretilebilmekte, verimsiz topraklarda bu rakamlar düşmektedir.

1.3. Modern biyokütle çevrim teknolojileri

Enerji olarak biyokütle kaynakları; genellikle homojen olmayan bir yapıda, yüksek su ve oksijen içerikli, düşük yoğunluklu, düşük ısı değerlidir. Bu özellikler yakıt kalitesine olumsuz etki etmektedir. Biyokütlenin bu olumsuz özellikleri fiziksel süreçler ve dönüşüm prosesleri ile ortadan kaldırılabilir (Başçetinçelik vd. 2005).

Bu dönüştürme teknikleri;

- Fizikokimyasal dönüştürme,
- Biyokimyasal dönüştürme,
- Termokimyasal dönüştürmedir.

1.3.1. Termokimyasal dönüştürme teknikleri

Biyokütleyle uygulanan termokimyasal süreçlerin amacı, fosil yakıtlara alternatif, kararlı özelliklere sahip, kolay depolanabilir ve taşınabilir yakıtlara ulaşmaktır. Termokimyasal dönüştürme; doğrudan yakma, piroliz veya gazlaştırma yöntemleri ile yapılmaktadır.

Doğrudan yakma: Biyokütlenin doğrudan yakılarak enerji üretilmesi, bilinen en eski yöntem olmasına karşın, kullanılan basit yakma sistemlerinden dolayı, verimi oldukça düşük olan bir işlemdir. Son yıllarda verimi yükseltmek için yeni yakma sistemleri geliştirilmektedir. Modern yakma işleminde faydalanılan soba örneği Şekil 1.4'te verilmiştir.



Şekil 1.4. Biyokütlenin doğrudan yakılması işleminde kullanılan soba örneği

Piroliz: Organik maddelerin oksijensiz ortamda ısıtılmasıyla ortaya çıkan termal parçalanma sürecidir. Oksijensiz ortamda 500-600 °C'a kadar yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu yoğuşabilir maddeler, mangal kömürü ve kül açığa çıkar. Yüksek sıcaklığa çıktığında ise gaz bileşenleri ve odun gazı açığa çıkmaktadır.

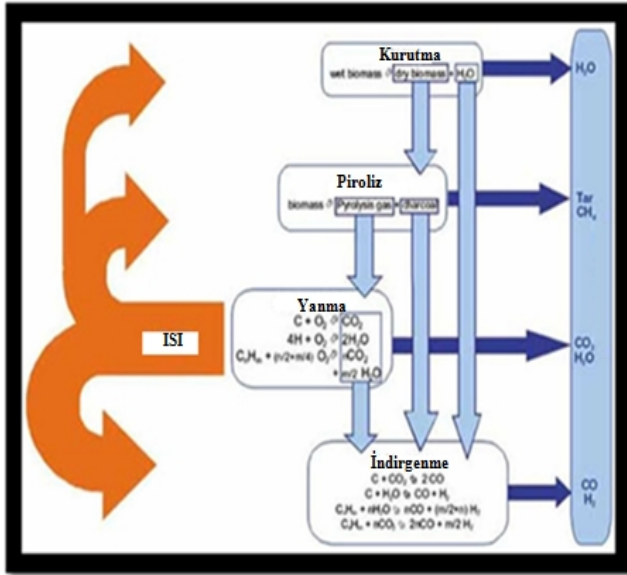
Piroliz işlemi 3 aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar; 1- Torrefaksiyon, 2- Yavaş Piroliz, 3- Hızlı Pirolizdir.

Piroliz sürecinde, oksijensiz ortamda karmaşık organik moleküller 400-600 °C sıcaklık bölgesinde parçalanarak yanmakta ve yanmaz gazlar, katran ve zift açığa çıkmaktadır.

Gazlaştırma: Biyokütlenin gazlaştırılması; katı yakıtların ısıl çevirim teknolojisiyle yanabilen bir gaza dönüştürülmesi işlemidir. Sınırlandırılmış oksijen, hava, buhar veya bunların kombinasyonları reaksiyonu başlatmaktadır.

Üretilen gaz karbonmonoksit, karbondioksit, hidrojen, metan, su ve azotun yanısıra kömür parçacıkları, kül ve katran gibi artıkları da içermektedir. Üretilen gaz temizlendikten sonra kazanlarda, motorlarda, türbinlerde ısı ve güç üretilmek üzere kullanılmaktadır (Anonim 2014b).

Gazlaştırma prosesi 4 safhada gerçekleşmektedir; 1- Oksidasyon, 2- Distilasyon, 3- Reaksiyon (Karbonlaştırma), 4- Gazlaştırma (İndirgenme). Şekil 6.6'da gazlaştırma işleminin safhaları görülmektedir.



Şekil 1.5. Gazlaştırmanın işleminin safhaları

1.4. Trakya Bölgesinde Tarımsal Atıkların Biyokütle Kaynağı Olarak Önemi ve Tezin Amacı

Bir tarım ülkesi olan ülkemiz tarımsal atıklar ve ürün atıkları açısından oldukça bol kaynaklara sahiptir. OECD ülkeleri arasında Türkiye, ürün atıklarından hesaplanan toplam enerji potansiyelinde 9.5 milyon ton petrol eşdeğeriyle (Mtoe) oldukça iyi durumdadır ve dördüncü sırada yer almaktadır. Özellikle hububat bitkilerinin katı atık miktarı 39.2-52.3 milyon ton arasında olup diğer bitki atıklarına kıyasla oldukça yüksektir. Örneğin bu değer, mısır için 3.8-4.8 milyon ton, şeker pancarı için 1.3-1.5 milyon ton ve patates için de 522-617 bin ton kadardır (Topal ve Arslan, 2008). Ülkemizde hasattan sonra tarlada kalan hububat

atıkları kanunen yasak olmasına rağmen çoğunlukla her yıl yakılarak yok edilmektedir. Trakya bölgesinde de bu durum değişmemektedir. Oysaki bölgede yoğun olarak üretimi yapılan çeltik, buğday gibi hububatların ve kanola, ayçiçeği gibi yağlı tohum bitkilerinin atıklarının peletlenerek, briketlenerek ısıtma amaçlı kullanımı veya çeşitli modern biyokütle çevrim teknolojileri kullanılarak biyokütle yakıt olarak değerlendirilme potansiyelinin yüksek olduğu açıktır.

Çeltik, buğdaygiller (*Poaceae*) familyasından mısır ve buğdaydan sonra en fazla ekimi yapılan otsu bir bitki türüdür ve dünyada yaşayan insanların yarısından fazlasının ana besinidir (Anonim 2014b). Çeltik (*oryza*), oldukça eski bir kültür bitkisidir. Güneydoğu Asya'da özellikle Hindistan ve Çin Hindi'ndeki kültür formlarının zenginliği nedeniyle, oryza cinsinin gen merkezinin de bu bölgeler olduğu görüşü yaygındır. Uzakdoğu'da yerli, Afrika'da yabani çeltik türleri mevcuttur. Çeltik, M.Ö. 3000 yıllarında Güney Hindistan'dan Çin'e yayılmış, Avrupa'ya M.Ö. 300 yıllarında girmiştir. Türkiye'ye yaklaşık 500 yıl önce güneyden girdiği sanılan çeltiğin, günümüzde Tekirdağ ve Edirne bölgelerinde üretiminin artması ile, hasat sonrası arazide kalan çeltik saplarının enerji olarak değerlendirilebilmesi konusu da önem kazanmıştır. Ürün hasat edildikten sonra tarlada kalan çeltik sapları, enerji açısından önemli bir biyokütle kaynağıdır.

Ülkemizde çeltik tüm bölgelerimizde yetiştirilmesine rağmen özellikle Marmara ve Karadeniz Bölgeleri ekiliş ve üretimde öne çıkmaktadır. Edirne, Tekirdağ, Samsun, Balıkesir, Çorum, Çankırı, Sinop, Çanakkale, Kastamonu, Diyarbakır, Bursa, İçel başta olmak üzere 35 ilde yaklaşık, 100.000 hektar ekim alanının üzerinde çeltik üretilmektedir (Elekçioğlu ve Tülek, 2009). Tekirdağ'da çeltik ekimi, özellikle Hayrabolu ve Malkara ilçelerinde yapılmakta ve son yıllarda ekim alanındaki artış ve ekonomik açıdan öneminin arttığı görülmektedir.

Trakya Bölgesinde son yıllarda çeltik üretiminin her aşamasında makine kullanımı oldukça yoğun hale gelmiştir. Çeltik mahsulünün tamamına yakın kısmı biçerdöver ile hasat edilmektedir. Bunun sonucu olarak biçerdöverin tarlada namlular halinde bıraktığı sap artıkları sorun olmaya başlamıştır. Ülkemizde ruhsatlı çeltik üreticileri göz önüne alındığında yılda yaklaşık 900.000 da alanda çeltik üretilmektedir. Tarlada sadece namlu halinde bırakılan sap miktarı ise yaklaşık 350 kg/da'dır. Bu verilerden yararlanarak basit bir hesaplama yapıldığında her yıl 315.000 ton çeltik sapının ülkemizde üretildiği ve hiç kullanılmadan yok edildiği ortaya çıkmaktadır (Sürek vd. 2007).

Ülkemizde pek çok tahılda olduğu gibi çeltik tarla atıklarının oluşturduğu biyokütle potansiyeli oldukça yüksektir. Fakat bu potansiyelin ısısal ve elektriksel eşdeğeri açısından

herhangi bir araştırmaya ve veriye rastlanmamıştır. Ülkemizde bulunan bu yüksek potansiyel henüz değerlendirilemediği gibi; hasattan sonra tarlada kalan hububat atıkları kanunen yasak olmasına rağmen çoğunlukla her yıl yakılarak yok edilmektedir. Diğer bölgelerimize göre en yüksek marinalaşma oranının olduğu ve modern sistemlerin kullanıldığı Trakya bölgesinde de bu durum değişmemektedir. Oysaki bölgede yoğun olarak üretimi yapılan tahıl bitkilerinin atıklarının peletlenerek, briketlenerek ısıtma amaçlı kullanımı veya çeşitli modern biyokütle çevrim teknolojileri kullanılarak biyokütle yakıt olarak kullanma potansiyelinin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu tezin amacı çeltik üretiminde en önemli sorunlardan biri olan ve kanunen yasak olmasına rağmen her yıl yakılarak yok edilen ve çevre kirliliğine neden olan çeltik saplarının; çeltik üretiminin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde enerji kaynağı olarak değerlendirilme potansiyelini termal ve elektriksel yönden belirlemek ve modern biyokütle çevrim yöntemleri için önemli olan yakıt özellikleri açasından karakterizasyonunu gerçekleştirmektir. Bu amaçla Tekirdağ örneği için çeltik biyokütle potansiyeli uygulamalı olarak saptanmış, proksimit analizleri (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon içeriği), elemental analizleri (C, H, N, S ve O₂) ve ısıl kapasiteleri saptanmıştır. Tekirdağ ilindeki hasat sonunda tarlada kalan ve enerji kaynağı olarak değerlendirilebilecek çeltiğin enerji eşdeğeri hem termal ve hem de elektriksel olarak saptanmıştır. Ayrıca çeltik sapının termokimyasal çevrim sistemlerinde kullanımında önemli faktörlerden birisi olan çeltik sapı külünün farklı sıcaklıklarda gösterdiği davranışlarda belirlenmiştir. Bu tür çalışmaların ülkemizde yaygın olarak üretilen diğer ürünler için de gerçekleştirilmesi ile; Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde gerçekleştirildiği gibi, ürün çeşitine bağlı olarak oluşturulmuş biyokütle kompozisyonu ve yakıt özellikleri ile ilgili bir veri tabanı (Anonim 2014c) oluşturulmasında bu araştırmanın bir başlangıç olması umulmaktadır

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Günümüzde biyokütle, tükenmez bir kaynak olması, her yerde yetiştirilebilmesi, özellikle kırsal alanlar için sosyo ekonomik gelişmelere yardımcı olması nedeni ile uygun ve önemli bir enerji kaynağı olarak kabul edilmekte ve dünya enerji tüketiminin yaklaşık %15'ini karşılamaktadır. Biyokütle enerjisi Türkiye'de klasik yöntemle dayanılarak yani genelde direkt yakılarak, daha çok ticari olmayan yakıt biçiminde kullanılmakta ve yerli enerji üretiminin dörtte birini karşılamaktadır. Oysaki modern biyokütle çevrim teknolojileri (termokimyasal ve biyokimyasal çevrimler) kullanılarak biyokütleden elde edilen enerjinin çeşitlendirilmesi (gaz, sıvı ve katı yakıtlar) ve dönüşüm verimin artırılması dünyada en çok önem verilen konulardan birisi haline gelmiştir. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, odun ile hayvan ve bitki atıklarını kullanan klasik biyokütle enerji üretiminin 2020 yılında 7530 Btep olmasını planlamıştır. Oysaki 2000 yılında 17 Btep ile başlayan modern biyokütle üretimi ile ilgili herhangi bir öngörü verilmemiştir. Ülkemizde klasik biyokütle enerji üretiminin giderek azaltılması ve modern biyokütle enerji üretiminin artırılması gerekmektedir (Atılgan 2000, Topal ve Arslan 2008).

Türkiye' nin nüfusu gün geçtikçe artmaktadır ve 2022 yılında %1' lik artışla 83,421 milyona ulaşacağı tahmin edilmektedir (Topal ve Arslan 2008). Nüfus artışı ve gelişen teknolojiye paralel olarak ülkemizde enerji tüketimi de hızla artmaktadır. Ülkemiz enerji ihtiyacını genel olarak fosil yakıtlardan karşılamaktadır ve özellikle petrol, doğalgaz ve kömür açısından dışa bağımlı durumdadır. Dünyadaki fosil yakıt rezervlerinin sınırlı ve bunların yakın bir gelecekte tükenecek olması, ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynakları arayışını hızlandırmıştır. Fosil yakıtlara bağımlılık ekonomiye yük oluşturmanın yanı sıra iklim değişikliğine neden olan sera gazlarının atmosferde birikmesine de yol açmaktadır. Ülkemizde diğer yenilenebilir enerji kaynaklarının yanı sıra biyokütle potansiyeli de oldukça yüksek düzeydedir. Konutlarda enerji tüketimi toplam enerji tüketim değerinin %32'si kadardır ve biyokütle kökenli yakıtların özellikle bu tüketimdeki payı %52 gibi yüksek bir orandır (Demirbaş 2001).

Temel biyokütle kaynakları bitki ve hayvan kaynaklı organik maddeler, ağaçlar, tarımsal ürünler, kereste fabrika atıkları veya hayvansal atıklardan oluşmaktadır. Ülkemizde hasattan sonra tarlada kalan tarımsal artıklarda önemli bir potansiyele sahiptir. Henüz yayınlanmamış olan 2012 verilerine göre Tekirdağ ilinde işlenen tarım alanları, 3.705.098 dekar ile % 58,69'luk oran ile çok yüksek bir düzeydedir. İşlenen bu tarım arazisinin %96.53'ü tarla arazisidir (Anonim 2013). Tekirdağ'da bu tarla alanında üretilen en önemli

tahıllardan biriside çeltiktir. 2010 verilerine göre 35 ilde çeltik tarımı yapılmaktadır ve Tekirdağ ili çeltik üretiminde alan olarak 7. sırada (2715 ha) olup, üretim miktarı olarak 6. sırada (26.330 ton) yer almaktadır (Sade vd. 2011).

Çizelge 2.1. Türkiye’de 1000 ha üzeri çeltik ekimi yapılan iller, ekiliş, üretim değerleri

İller	Ekili Alan (ha)	Üretim (Ton)	İller	Ekili Alan (ha)	Üretim (Ton)
Edirne	35.087	341.318	Diyarbakır	2.437	12.346
Samsun	14.463	125.182	Çankırı	2.229	18.291
Balıkesir	12.010	101.737	Bursa	2.217	16.820
Çanakkale	9.765	79.321	Sinop	2.016	18.901
Çorum	7.775	60.615	Kırklareli	1.444	15.488
Şanlıurfa	3.344	17.885	Diğer İller	3.498	25.766
Tekirdağ	2.715	26.330	Toplam	99.000	860.000

Üretim miktarı ve ekiliş alanı olarak çeltik tarımı yoğun olarak yapılsa da hasat sonucunda tarlada kalan saplar yeterince değerlendirilememektedir. Dünyada yaygın ve ülkemizde ise nadir olarak çeltik sapları genelde yapı malzemesi olarak, drenaj ve boru hattı konstrüksiyonlarında, plastik kalıp tozu olarak, malçlamada, kompost malzemesi olarak, fide yetiştirmede, hayvancılıkta altlık olarak, erozyon, eğimli alanlar, orman kontrolü ve toprak stabilizasyonunda, mantarcılıkta, paketleme malzemesi eldesinde, alkol ve fibertahta üretiminde, oksijensiz ortamda çürütülmesiyle metan gazı, gazlaştırma ile sentetik gaz elde edilmesi vb. alanlarında değerlendirilmektedir (Kayıoğlu ve ark. 2009).

Ülkemizde tarla artıklarından oluşan biyokütle potansiyelinin saptanmasına ve bunların değerlendirilmesine yönelik çok fazla çalışmaya rastlanmamıştır. Yapılan çalışmalarda ise kuru biyokütle potansiyeli için herhangi bir tarla ve laboratuvar çalışması yapılmadan değerlendirmeler teorik olarak istatistik ve önceki çalışmalardaki veriler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Koçer ve Ünlü (2007), Doğu Anadolu Bölgesinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimini araştırmışlardır. Bu çalışma kapsamında Doğu Anadolu Bölgesi’ndeki fizibilite çalışmalarına baz oluşturmak amacıyla bölgeye ait biyokütle potansiyeli 2003 yılına ait Başbakanlık Devlet İstatistik Enstitüsü istatistiksel verilerinden almışlardır. Bu verileri dikkate alarak; il bazında mevcut biyokütle potansiyelini meydana getiren tahıllar, baklagiller,

endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlar ve yumru bitkilerin ekildiği toplam alanları bulmuşlardır. Ekili toplam alana göre de bir yılda elde edilen ortalama kuru biyokütle miktarını ton olarak hesaplamışlar ve buna bağlı olarak da hesaplanan kuru biyokütle miktarının ortalama ısıl değeri $1 \text{ kcal} = 1.10^{-7} \text{ TEP}$ bağıntısı dikkate alınarak, TEP cinsinden hesaplamışlardır.

Kurt ve Nacar Koçer (2010), Malatya ilinin biyokütle potansiyeli ve enerji üretimine yönelik araştırmalarında, Malatya İli' ne ait biyokütle potansiyelini direkt 2007 yılına ait Türkiye İstatistik Kurumu, Bitkisel Üretim İstatistikleri Veri Tabanı' ndan almışlardır. Bu verileri kullanarak; 2007 yılında, Malatya ili bazında mevcut biyokütle potansiyelini meydana getiren tahıllar, baklagiller, endüstriyel bitkiler, yağlı tohumlar ve yumru bitkilerin ekildiği alanlar hektar cinsinden ayrı ayrı kullanarak toplam miktarları hesaplamışlardır. Bir hektar tarladan yılda ortalama 25–30 ton kuru biyokütle elde edildiği (ortalama 27,5 ton/ kuru biyokütle) kabullenilerek 2007 yılında Malatya kent merkezi ve ilçelerdeki bir yılda elde edilen ortalama kuru biyokütle miktarını ton olarak bulunmuştur. Kuru biyokütle için ısıl değeri teorik olarak 4000 kcal/kg kabul etmişlerdir. $1 \text{ kcal} = 10^{-7} \text{ TEP}$ olduğunu birim çevirme sisteminden tespit etmiş ve kuru biyokütle için enerji potansiyelini TEP cinsinden teorik olarak hesaplamışlardır. Yapılan çalışma ile kuru biyokütle için toplam enerji potansiyelini 1.596.786,4 TEP (ton eşdeğer petrol) olarak hesaplamışlardır.

Topal ve Topal (2012), Afyonkarahisar ili örneği için 2006-2010 yılları arasındaki ürün bitkilerinden yenilenebilir enerji kaynağı biyokütle enerjisi potansiyelini belirlemişlerdir. Bu amaçla, baklagiller, endüstriyel bitkiler, tahıllar, yem bitkileri, yağlı tohumlar ve yumru bitkiler esas alınmış ve hesaplamalar yapmışlardır. Ortalama biyokütle enerji potansiyelleri Mw olarak hesaplamışlardır. Afyonkarahisar ilinde tüm ürünlerden elde edilebilecek biyokütle enerji potansiyelini değerlendirmişler ve 2006 yılı için 57.185 MW, 2007 yılı için 58.100 MW, 2008 yılı için 51.230 MW, 2009 yılı için 49.161 Mw ve 2010 yılı için dea 53.329 MW enerji elde edilebileceğini tespit etmişlerdir.

Trakya Kalkınma Ajansı tarafından hazırlanmış olan TR21 Trakya Bölgesi Enerji Raporunda (Anonim 2012a), Trakya Bölgesinde yoğun olarak üretimi yapılmakta olan çeltik, buğday ve ayçiçeği tarla atıkları için teorik olarak hesaplanmış olan enerji potansiyelleri verilmiştir. Tarımsal atık olarak hasat sonrasında tarlada kalan veya fabrikada işleme sonucunda çıkan tarımsal atıkların (çeltik kavuzu, ayçiçeği kabuğu vs.) elektrik üretiminde değerlendirilmesi mümkündür. Elde edilen bu atıkların; katı olarak (biomass) veya gazlaştırılmak suretiyle sentez gazı halinde, fermantasyon sonrasında elde edilecek biyogaz olarak veya piroliz sonucunda elde edilen biyoyağ şeklinde değerlendirilmesi mümkündür.

Bölgedeki tarımsal atıkların toplam enerji kapasitesini belirleyebilmek için aşağıda verilen çalışma yapılmıştır. Bu amaçla, öncelikli olarak çalışmaya temel varsayımlar Çizelge 2.2.'de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Tarımsal atık kapasite çalışması varsayımları (Anonim 2012a).

Çeltik sapı AID (kcal/kg)	2500
Çeltik kabuğu AID (kcal/kg)	2500
Buğday sapı AID (kcal/kg)	2500
Ayçiçeği sapı AID (kcal/kg)	4100
Çeltik kabuğu/Çeltik üretim oranı	0,2
Çeltik sapı/Çeltik üretim oranı	1,5
Buğday sapı/Buğday üretim oranı	1
Ayçiçeği sapı/Ayçiçeği üretim oranı	0,5
Toplam çeltik kabuğu içerisinde elektrik üretiminde kullanılacak miktar	60%
Toplam çeltik sapı içerisinde elektrik üretiminde kullanılacak miktar	60%
Toplam buğday sapı içerisinde elektrik üretiminde kullanılacak miktar	60%
Toplam ayçiçeği sapı içerisinde elektrik üretiminde kullanılacak miktar	60%
Enerji çevrim verimi	40%
Yıllık çalışma saati	6500

Elektrik üretimi için belirlenecek kapasite seçilen yakma tekniğine göre farklılaşmaktadır. Herhangi bir yakıt kaynağının elektrik üretim potansiyelinin tespit edilebilmesi için öncelikle kaynaktan elde edilecek enerji miktarının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için kullanılacak olan iki değişken elektrik üretiminde kullanılacak atık miktarı ve atıkların alt ısıl değerleridir.

Çizelge 2.3'de Trakya bölgesinde çeltik sapı, çeltik kabuğu, buğday ve ayçiçeği atıklarından yıllık yaklaşık elde edilecek enerji değerleri verilmiştir. Bu değerler enerji üretimi için kullanılacak atık miktarları ile Çizelge 2.2'de verilen alt ısıl değerlerin (AID) çarpılması sonucu elde edilmiştir. Toplam atıkların %60'ının enerji üretiminde kullanılabileceği varsayılmıştır. Atıkların yanması sonucunda ortaya çıkan enerji yaklaşık olarak %40 verimle elektrik enerjisine dönüştürüleceği varsayılmıştır. Seçilecek olan türbinin teknolojisi ve büyüklüğüne göre bu verim oranı artabilir veya düşebilir. Bir biyokütle elektrik üretim tesisi bakım ve arıza durumları çıkartıldığı zaman yıllık 6500 saat çalışabilmektedir. Bu verilere göre 3 ana ürün atığı için hesaplanmış olan enerji potansiyel değerleri Çizelge 2.3'de görülmektedir. Çizelgeye göre; Edirne, Kırklareli ve Tekirdağ illerinden elde edilecek olan çeltik, ayçiçeği ve buğday atıklarının teorik olarak yaklaşık toplam 284-300 MW elektrik

üretim kapasitesi bulunmaktadır. Bunun karşılığı olarak yaklaşık 1844-2000 GWs yıllık elektrik üretimi yapılabilir durumdadır. Bu miktar ise; Türkiye toplam elektrik tüketiminin %0,9'una karşılık gelmektedir (Anonim 2012a).

Çizelge 2.3. Trakya bölgesi tarımsal atık elektrik üretim potansiyeli

	Edirne	Kırklareli	Tekirdağ	Toplam
Toplam çeltik sapı (ton/yıl)	568,773	27,71	33,155	629,637
Toplam çeltik kabuğu (ton/yıl)	75,836	3,695	4,421	83,952
Enerji üretimi için kullanılacak çeltik sapı (ton/yıl)	341,264	16,626	19,893	377,782
Enerji üretimi için kullanılacak çeltik kabuğu (ton/yıl)	45,502	2,217	2,652	50,371
Toplam buğday sapı (ton/yıl)	45174%	365,081	592,982	1,409,806
Enerji üretimi için kullanılacak buğday sapı (ton/yıl)	271,046	219,049	355,789	845,884
Toplam ayçiçeği sapı (ton/yıl)	120,209	65,455	126,736	312,389
Enerji üretimi için kullanılacak ayçiçeği sapı (ton/yıl)	75,125	39,267	76,041	187,433
Yıllık toplam enerji miktarı (Gcal) =	1,944,900	758,257	1,262,517	3,965,675
Yaklaşık çevrim verimi	40%	40%	40%	40%
Yıllık toplam çalışma saati	6500	6500	6500	6500
Yaklaşık teorik kurulu güç (MW) =	139	54	90	284
Yıllık elektrik üretim miktarı (GWs)	905	353	587	1,844

3. MATERYAL VE YÖNTEMLER

3.1. Materyal

3.1.1. Bitkisel materyal

Bu çalışmada kullanılmış olan çeltik sapı; çeltik üretiminin yoğun olarak gerçekleştirildiği Tekirdağ ilinin Hayrabolu ilçesinde tarlalardan toplanmıştır. Denemelerde; Trakya Bölgesinde ve diğer bölgelerimizde üretimi yaygın olarak yapılmakta olan Osmancık çeşidi çeltiğin ekili olduğu tarlalar seçilmiştir.

3.1.2. Toprak örnekleri

Farklı lokasyonların çeltik sap örneklerinin özelliklerinin toprak özelliklerine bağlı olarak değişip değişmediğini saptamak amacıyla sap örneklerinin toplandığı tarlalardan toprak örnekleri de 3 tekerrürlü olarak toplanmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Çeltik sap örneklerinin toplanması ve toplam çeltik potansiyelinin hesaplanması

Hasattan sonra tarlada kalan çeltik sapı atıklarının miktarının saptanması amacıyla 3 farklı lokasyondaki tarlanın farklı yerlerinden şansa bağlı olarak seçilen 1 m²'lik alandaki bitki artıkları toplanmış ve tartılmıştır (Şekil 3.1). Bu işlem tesadüf blokları deneme desenine göre üç tekrarlı olarak gerçekleştirilmiştir. Birim alandan elde edilen ortalama atık miktarı ve Tekirdağ Tarım İl Müdürlüğü'nün her bir ürüne ait ekim alanı verilerinden yararlanılarak toplam bitki atık miktarları hesaplanmıştır.

Çeltik sapı örnekleri çeltik üretimi yıldan yıla artan Tekirdağ'ın Hayrabolu ilçesinde 3 farklı lokasyondan toplanmıştır. Bu lokasyonlar 1, 2 ve 3 numaralı lokasyon olarak aşağıdaki şekilde kodlanmıştır.

- 1: Çıkrıkçı mevki
- 2: Doğucalı mevki
- 3: Küçükkaraklı mevki



Şekil 3.1. Çeltik saplarının toplanması

3.2.2. Çeltik sap örneklerinin analizlere hazırlanması

Çeltik sap örneklerinin analizlerde kullanılabilmesi için öncelikle parçalanması gerekmektedir. Bu işlem için N.K.Ü. Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarı'nda bulunan bıçaklı tip laboratuvar değirmeni kullanılarak, örneklerin standart metotlara göre 40 mesh büyüklüğüne parçalanma işlemi Şekil 3.2 'de görüldüğü gibi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.2. Çeltik saplarının parçalanması

3.2.3. Toprak örneklerinin alınması ve toprak analizlerinin gerçekleştirilmesi

Toprak örnekleri Tekirdağ'ın Hayrabolu ilçesinde çeltik sapı örneklerinin alınmış olduğu; Doğucalı mevki, Çıkrıkçı mevki ve Küçükkarakarlı mevkiinden alınmıştır. Şekil 3.3'de hasat edilmiş çeltik tarlasından toprak örneğinin alınması görülmektedir.



Şekil 3.3. Toprak örneğinin alınması

3.2.3.1. Toprak reaksiyonunun (pH) saptanması:

Toprak reaksiyonunun saptanması elektrometrik yolla yapılmıştır (Boyraz ve Cangir 2009). Şekil 3.4'de ölçümlerde kullanılan pH metre cihazı görülmektedir.



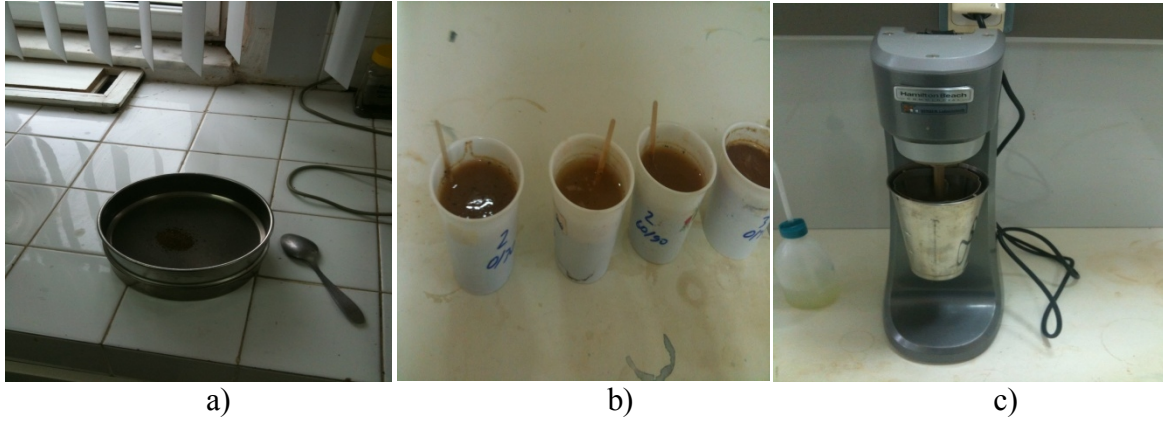
Şekil 3.4. Toprak reaksiyonunun saptanması - pH metre cihazı

20 g toprak örneği alınıp ve 50 ml'lik beherglas içerisinde konularak, üzerine toprak-su oranına göre arzu edilen miktarda saf su ilave edilmiştir. Zaman zaman çalkalanıp homojenize olması sağlanılmış, bu işleme 30 dakika devam edilmiştir. Toprak-çözelti karışımı bir saat kendi haline bırakılarak ve bu suretle çoğu materyalin çökmesi sağlanmıştır. Elektrodlar çözeltilere daldırılarak pH metreden pH değeri okunmuştur.

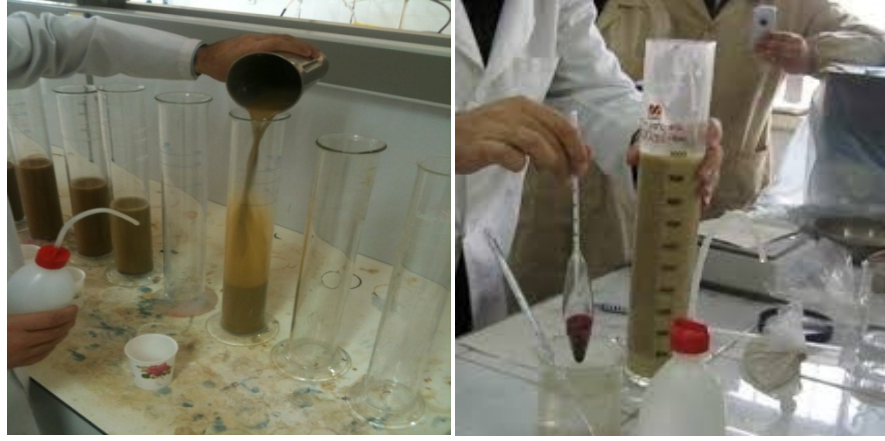
3.2.3.2. Toprak tekstürünün saptanması:

Toprak tekstürünün saptanması Bouyoucos Hidrometre Yöntemi ile yapılmıştır (Boyras ve Cangir 2009).

2 mm'den küçük hale getirilmiş toprak örneğinden (Şekil 3.5a) uygun miktarda (killi için 25 g, tınlı için 50 g ve kumlu için 100 g) bir alt örnek tartılarak bir beher içerisinde aktarılmış, eşit ağırlıkta ikinci bir alt örnek alınarak etüv kurusu ağırlığı tayin edilmiştir. Toprağın önemli miktarda organik madde ihtiva etmesi halinde; hidrojen peroksit ile muamele edilip organik maddenin oksidasyonu sağlanılır. Örnek üzerine 5 ml %100'lük kalgon çözeltisi ve yaklaşık 200 ml saf su ilave edilerek (Şekil 3.5b), elektrikli karıştırıcıda muamele edildikten sonra (Şekil 3.5c) (kumlar için 5, tınlı için 10 ve killi için 15 dk) sedimentasyon silindrine aktarılarak (Şekil 3.6a), silindir alt işaretine gelinceye kadar saf su ilave edilmiştir.



Şekil 3.5. Toprak örneğinin ölçüm öncesi geçirdiği işlemler; a) Eleklerden elenmesi, b) Toprak süspansiyonun hale oluşturulması, c) Elektrikli karıştırıcıda karıştırılması



a)

b)

Şekil 3.6. Toprak örneğinin tekstür değerlerinin ölçülmesi; a) Toprak süspansiyonunun sedimentasyon silindrine aktarımı, b) Hidrometre okumasının yapılması

Süspansiyon sıcaklığı sabitleşinceye kadar bekletildikten sonra sıcaklık kaydedilerek, pirinç karıştırma çubuğu ile süspansiyon yavaşça karıştırıldıktan sonra (Şekil 3.6b), 40. saniyede ilk hidrometre okuması yapılmıştır. Bu okuma süspansiyon içerisindeki ‘mil + kil’ ağırlığını verir. 2 saat sonra ise ikinci hidrometre okuması yapılmıştır ve bu okuma da süspansiyon içerisindeki ‘kil’ ağırlığını vermektedir. İkinci okumadan sonra süspansiyon sıcaklığı tekrar kaydedilmiştir.

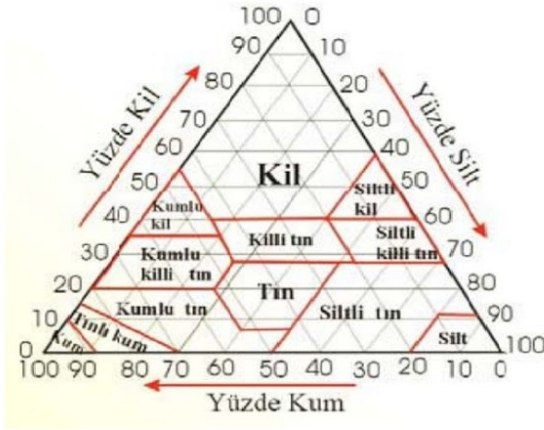
Etüv kurusu toprak örneği ağırlığının yüzdesi olarak kil, mil ve kum fraksiyonları ise aşağıdaki formüllerden hesaplanmıştır.

$$\%Kil = \frac{\text{Düzeltilmiş 2.okuma}}{\text{Etüv kurusu toprak ağırlığı}} * 100 \quad (1)$$

$$\%Mil = \frac{\text{Düzeltilmiş 1.okuma} - \text{Düzeltilmiş 2.okuma}}{\text{Etüv kurusu toprak ağırlığı}} * 100 \quad (2)$$

$$\%Kum = 100 - (\%Mil + \%Kil) \quad (3)$$

Son aşama olarak tekstür üçgeninden toprağın tekstür sınıfı tespit edilmiştir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Tekstür üçgeni

3.2.3.3. Toprağın elektriksel iletkenliğinin saptanması:

Toprağın elektriksel iletkenliğinin saptanması kondüktometre cihazı (Şekil 3.8) ile yapılmıştır (Boyras ve Cangir 2009).

İletkenlik köprüsü aygıtının elektrodu saf su ile yıkanarak ayarı yapıldıktan sonra, toprak ekstraktı ölçüm kabına aktarılmıştır. Aygıt elektrodu bu kaba daldırılarak, denge durumu elektriksel iletkenlik (EC) değeri mikromhos/cm ($EC_t \times 10^6$) olarak okunmuştur. Sonra termometre ile ekstraktın sıcaklığı (t) ölçülerek kaydedilmiştir. Sıcaklığa bağlı olarak çevirme faktörü (f_t) tespit edilerek ölçülen elektriksel iletkenlik değerinde sıcaklık düzeltmesi yapılmıştır.



Şekil 3.8. Toprak elektriksel iletkenliğinin kondüktometre cihazı ile ölçülmesi

3.2.3.4. Organik madde miktarının saptanması:

Toprağın organik madde miktarı hesaplanması Smith-Weldon Metodu ile yapılmıştır (Boyras ve Cangir 2009).

Toprak örneği ezilerek 0,5 mm'lik elekten geçirilmiş ve 2 g'dan fazla olmayacak şekilde (genellikle 1 g) alınmıştır. 500 ml lik erlenmayere konan toprak örneği üzerine, 10 ml $K_2Cr_2O_7$ çözeltisi ilave edilerek iyice çalkalanmıştır. Erlenmayere 20 ml konsantre H_2SO_4 ilave edilerek, tekrar çalkalanmış ve bir asbest levha üzerinde 15-20 dakika soğumaya terk edilmiştir. Karışıma 200 ml saf su ve daha sonra 25 ml demir sülfat çözeltisi ilave edilmiştir. Karışım $KMnO_4$ çözeltisi ile titre edilmiştir ve titrasyonun son noktası, Şekil 3.9'da görüldüğü gibi açık pembe rengin 30 saniye sabit kalması ile anlaşılır. Bütün çözeltileri aynı miktarda içeren, fakat toprak örneği bulunmayan bir kör örnek hazırlanmış ve $KMnO_4$ ile titre edilmiştir.



Şekil 3.9. Toprak süspansiyonunun pembe renk alması

Toprak örneğinin titrasyonu için kullanılan $KMnO_4$ miktarından, kör örneğin titrasyonu için kullanılan $KMnO_4$ miktarı çıkarılınca, aradaki fark organik karbonun oksidasyonu için sarfedilen miktarı göstermektedir. Yüzde organik-C aşağıdaki formül uyarınca hesap edilmiştir.

$$\%Org - C = \frac{\text{Toprak ör. için sarf. } KMnO_4 (\text{ml}) - \text{Örn. için sarf. } KMnO_4 (\text{ml})}{\text{Örnek (g)}} \times N \times \frac{12}{4000} \times \frac{1}{0,74} \times 100 \quad (4)$$

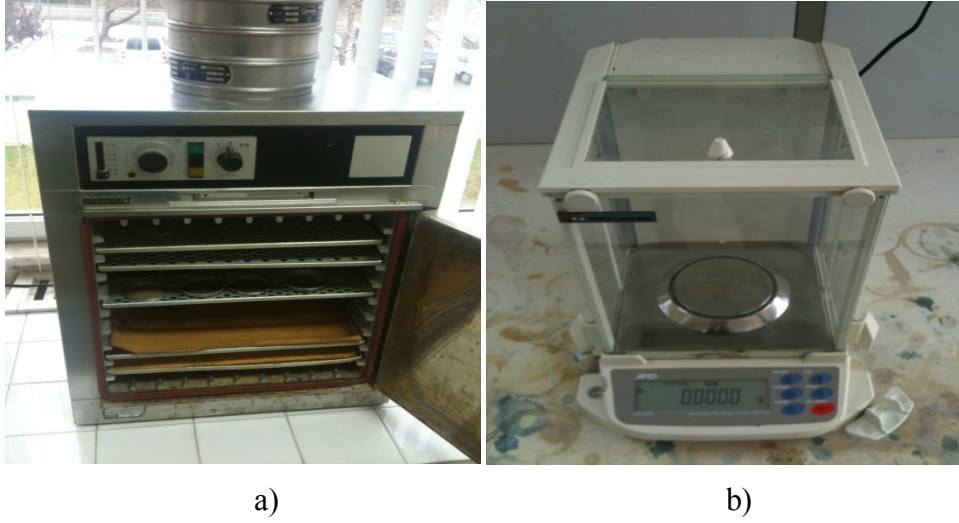
Organik madde miktarı ise aşağıdaki formülden hesaplanmıştır;

$$\text{Organik madde} = \% \text{ Organik-C} \times 1.724 \quad (5)$$

3.2.3.5. Toprağın % nem içeriğinin saptanması:

Toprağın %nem içeriği, kurutma fırını (Şekil 3.10) yöntemiyle hesaplanmıştır.

Numarası belli kurutma kapları iyice yıkanarak temizlendikten sonra kurutulup, boş darası alınmıştır. Kabin içerisine nem tayini yapılmak istenen örnekten 5-10 gr civarında tartılarak, örneğin “Hava Kuru Toprak Ağırlığı” (HKT) tartılıp kaydedilmiş ve önceden 105 °C ye ayarlanmış fırında ağırlığı sabit hale gelene kadar bekletilmiştir. Bu süre ortalama 24 saat civarındadır.



Şekil 3.10. Toprağın nem içeriğinin saptanması; a) Kurutma fırını, b) Hassas terazi

Kurutulan örnekler fırından çıkartıldıktan sonra desikatöre yerleştirilerek soğuması sağlanmış ve “ Fırın Kuru Toprak Ağırlığı” (FKT) tartılarak kaydedilmiştir.

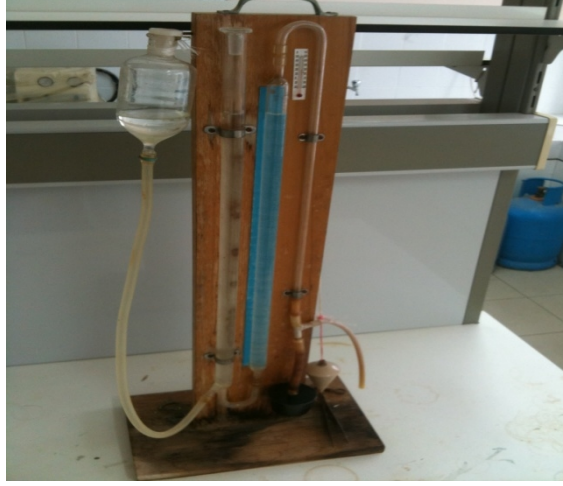
%Nem içeriği hesaplanması ise aşağıdaki formüllere göre yapılmıştır;

$$\%Nem \text{ (yaş baz)} = \frac{HKT-FKT}{HKT} * 100 \quad (6)$$

$$\%Nem \text{ (kuru baz)} = \frac{HKT-FKT}{FKT} * 100 \quad (7)$$

3.2.3.6. Toprak örneğinin kireç içeriğinin saptanması:

Toprağın % kireç içeriği Volumetrik Kalsimetre Metodu (Şekil 3.11) ile hesaplanmıştır (Boyras ve Cangir 2009);



Şekil 3.11. Toprak örneğinin kireç içeriğinin saptanmasında kullanılan kalsimetre cihazı

3.2.4. Çeltik sap örneklerinin yakıt özellikleri açısından karakterizasyonu

Biyokütlelerin yakıt özelliklerinin saptanması için kullanılacak olan standart metotlar Çizelge 3.1’de özetlenmiştir. Biyokütlenin dönüşüm işleminde yakıt özelliklerine etkili olan en önemli kimyasal özellikleri proksimit (kısa) ve elemental analiz yöntemleri ile belirlenen nem, kül, sabit karbon, uçucu madde, karbon, hidrojen, azot, sülfür, oksijen ve yüksek ısı içerik değerleridir (Telmo ve ark. 2010, García vd. 2012).

Nem içeriğinin saptanması için yaklaşık 5 g örnek 3 tekerrürlü olarak tartılmış ve $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıktaki kurutma fırınında 24 saat tutulmuştur (Şekil 3.12). Nem içeriği kurutmadan önceki ve kurutmadan sonraki örnek ağırlığına bağlı aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmıştır. Bu amaçla N.K.Ü. Ziraat Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarında bulunan etüv ve AND marka hassas terazi kullanılmıştır.

$$\% \text{ Nem (yaş baz)} = \frac{\text{yaş ağırlık} - \text{kuru ağırlık}}{\text{yaş ağırlık}} \quad (8)$$

$$\% \text{ nem (kuru baz)} = \frac{\text{yağ ağırlık} - \text{kuru ağırlık}}{\text{kuru ağırlık}} \quad (9)$$



Şekil 3.12. Çeltik sap örneklerinin nem içeriklerinin belirlenmesi

Kül içeriğinin saptanması amacıyla kül fırını kullanılmıştır. Standart metoda göre yaklaşık 2.5 g kuru örnek 10 °C/dk sıcaklık artışıyla 250° ye kadar ısıtılmıştır. Bu sıcaklıkta 3 saat bekletildikten sonra sıcaklık 575 °C' ye yükseltilerek örnekler bu sıcaklıkta da 3 saat bekletilmiştir. Daha sonra kademeli olarak soğuyan fırından alınan kül örneklerinin desikatörde oda sıcaklığına ulaşmaları sağlanmış, kül miktarları tartılmış ve sonuç % değerine çevrilmiştir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. Kül fırını

Uçucu madde ve sabit karbon yüzdelerini saptamak amacıyla örnekler 24 saat 105 °C' de kurutulmuştur. 0.8-1 g ağırlığında hazırlanacak olan örnekler seramik kaplara koyulmuş 600±50 °C'de 6 dakika ve hemen arkasından 950±20 °C'de 6 dakika tutulmuştur. Bu ısıl uygulamalardan sonra elde edilen örnekler soğuduktan sonra tartılmıştır. Uçucu madde miktarı ilk ve son örnek ağırlıklarının farkından hesaplanmıştır. Bu amaçla N.K.Ü. Ziraat

Fakültesi Biyosistem Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Baz marka BZ-44/M MFX K programlanabilir kül fırını ve hassas terazi kullanılmıştır (Şekil 3.13).

Sabit karbon yüzdesi (%SK) ise kül (%K) ve uçucu madde yüzdesine (%UM) bağlı olarak aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır.

$$\% SK = 100 - (\% K + \% UM) \quad (10)$$

Analizler için örneklerin hazırlanmasında; bıçaklı tip bir laboratuvar değirmeni kullanılmış ve örnekler standart metodlara göre 40 mesh büyüklüğünde öğütülmüştür.

Biyokütle örneklerinin elementel analizleri için (karbon, hidrojen, azot ve sülfür içerikleri), TÜBİTAK MAM'dan hizmet alımı yoluyla gerçekleştirilmiştir (elemental analiz cihazı kullanılarak). Oksijen içeriği ise karbon, hidrojen, azot, sülfür ve kül yüzdelere bağlı olarak aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$O\% = (100 - C\% - H\% - N\% - S\% - K\%) \quad (11)$$

Örneklerin ısı değerleride TÜBİTAK MAM'dan hizmet alımı yoluyla kalorimetre kullanılarak saptanmıştır.

Her analiz 3 tekerrürlü olarak gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.1. Biyokütlelerin karakterizasyonu için kullanılmış olan analizler ve analiz yöntemleri

Özellik	Standart Metod
Kalorimetre (enerji içeriği)	ASTM D5865, E711
Proksimit (kısa) analizler	
Nem	ASTM E871-82(2006), D4442-07
Kül	ASTM E830-87(2004), E1755-01(2007)
Uçucu madde	ASTM E872-82(2006), E897-88(2004)
Sabit karbon	Fark ile
Elementel analizler	
C, H, N, & S	ASTM D5373-08
O	Fark ile

Çeltik sapı külünün ergime sıcaklığının değişimi TÜBİTAK MAM'dan hizmet alımı yoluyla fuzibilite analiz metodları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sırasında piramit şekli verilmiş olan kül peletlerinin dirgeyici atmosfere sahip fırında kontrollü olarak ısıtılmaları sırasındaki şekil deformasyonu, büzülme ve akma gibi numunenin dış görünüşünde meydana gelen değişikliklerinin gözlenmesi gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde külün erimesi sırasında 4 kritik sıcaklık değeri saptanmaktadır (Tırıc 2014) (Şekil 3.14). Bunlar:

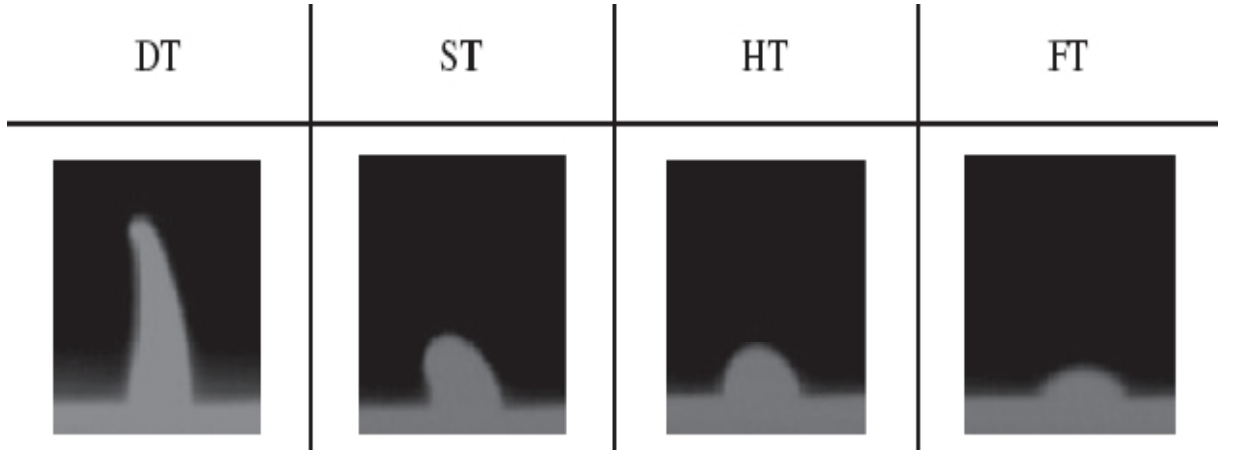
İlk Deformasyon Sıcaklığı (DT): Piramit tepesinde ilk yuvarlaşmanın olduğu sıcaklık derecesidir.

Yumuşama Sıcaklığı (ST): Piramitin yüksekliğinin genişliğine eşit olduğu durumdaki sıcaklık derecesidir.

Yarım Küre Sıcaklığı (HT): Piramit yüksekliğinin, genişliğinin yarısına eşit olduğu durumdaki sıcaklık derecesidir.

Akma Sıcaklığı (FT): 1,6 mm lik bir maksimum yüksekliği ile erimiş kütlenin nerdeyse düz tabaka olarak yayıldığı sıcaklık derecesidir.

FT değeri külün ergime sıcaklığı olarak kabul edilmektedir.



Şekil 3.14. Kül ergime sıcaklığı analizinde kritik sıcaklık değerleri

3.2.5. Çeltik güç üretim potansiyelinin hesaplanması

Bitki atıklarından termokimyasal metodlar kullanılması durumunda elektrik enerjisi olarak yıllık ne kadar güç üretimi ($E_{TC,i}$ (GW h/yıl) yapılabileceği aşağıdaki eşitlik kullanılarak tahmin edilecektir.

$$E_{TC,i} = (1/3600) * (q_i * Q_i * \eta_{TC}) \quad (12)$$

Bu eşitlikte:

Q_i : Biyokütlenin ısı içeriği (MJ/kg kuru madde),

q_i : Yıllık mevcut biyokütle tipi (Mg/yıl kuru madde),

η_{TC} : Termokimyasal çevrim etkinliği (-).

Termokimyasal çevrim yoluyla güç üretim potansiyeli P_i (MW_e) ise aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanacaktır:

$$P_i = (1000/8760) * (E_{TC,i}/h) \quad (13)$$

Bu eşitlikte:

h : yıllık kapasite faktörü (-)

Termokimyasal çevrim etkinliği, modern biyokütle direkt yakma ünitelerinin işleyişi dikkate alınarak %25 olarak kabul edilecektir. Yıllık kapasite faktörü ise %85 olarak kabul edilecektir (Matteson ve Jenkins 2007).

3.2.6. İstatiksel analizler

Tez çalışmasında kullanılmış olan, 3 farklı toprak örneği ve 3 farklı çeltik sapı örneği için elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıkların düzeyinin belirlenmesinde varyans analizi (anova-oneway) ve farklı grupların saptanması amacıyla LSD testi SPSS 18.0 paket programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

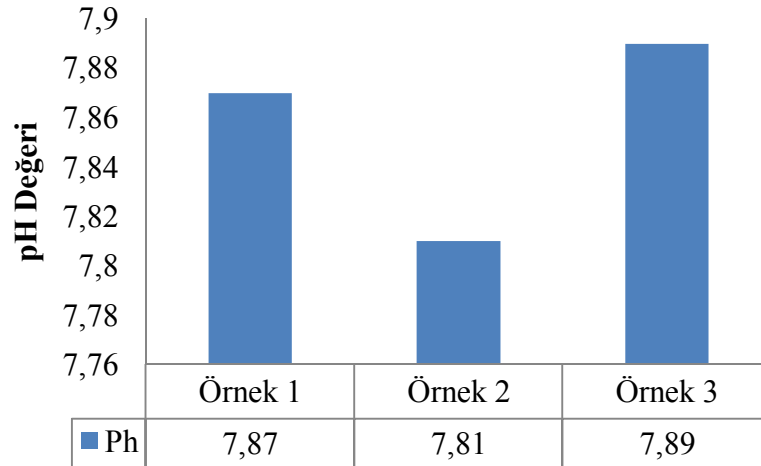
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Toprak Örneklerine İlişkin Analiz Sonuçları

Biyokütlenin yetiştirildiği toprağın özelliklerinin biyokütle özellikleri üzerine (özellikle kimyasal bileşenleri üzerine) oldukça etkili olduğu (Thy ve ark. 2013) tarafından bildirilmiştir. Bu farklılıklar özellikle gübreleme, yağış miktarı, hasat işlemi, ürün çeşitliliği ve iklim değişiklikleri gibi farklılıklardan kaynaklanmaktadır. Özellikle toprak özelliklerinin ve bileşeninin değişimi biyokütle özellikleri üzerinde etkili olmaktadır.

4.1.1. pH değerlerine ilişkin sonuçlar

Farklı tarlalardan alınmış olan toprak örneklerinin pH değerleri Şekil 4.1’de görülmektedir. pH değerine göre bu üç tarladaki toprağında hafif alkalin (pH değeri 7.4-7.8) ve orta alkalin (pH değeri 7.9-8.4) toprak özellikleri sınırlarında olduğu anlaşılmaktadır (Anonim 2014d). Bu değerler incelendiğinde; örnek 3’e ilişkin pH değerinin 7,89 ile en yüksek olduğu anlaşılmakla beraber, bu toprakların pH değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmamıştır ($P>0.01$). Bitki besin maddelerinin çoğunluğunun azami alınabilirliği 5.5 ile 6.5 arasındaki pH değerlerinde gerçekleştiği düşünüldüğünde bu topraklarda iyileştirme yapılması gerektiği önerilebilir.

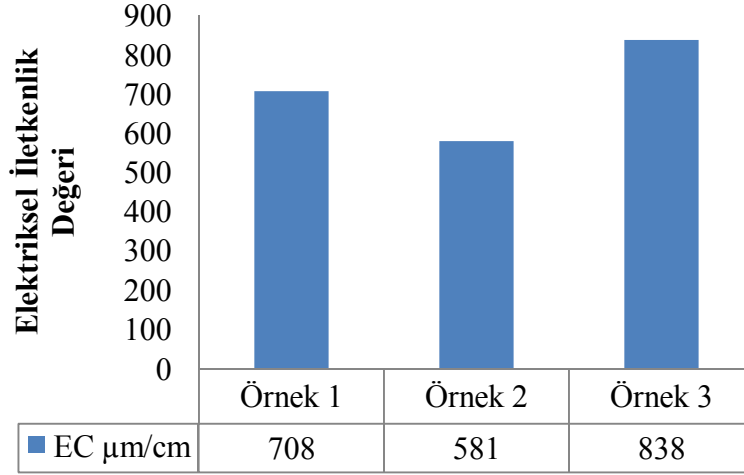


Şekil 4.1. Toprak örneklerinin pH değerleri

4.1.2. Elektriksel iletkenlik değerlerine ilişkin sonuçlar

Toprak örneklerinin elektriksel iletkenliklerinin değerleri Şekil 4.2’de verilmiştir. En düşük iletkenlik değeri örnek 2 için 581 $\mu\text{m}/\text{cm}$ ve en yüksek iletkenlik değeri ise örnek 3

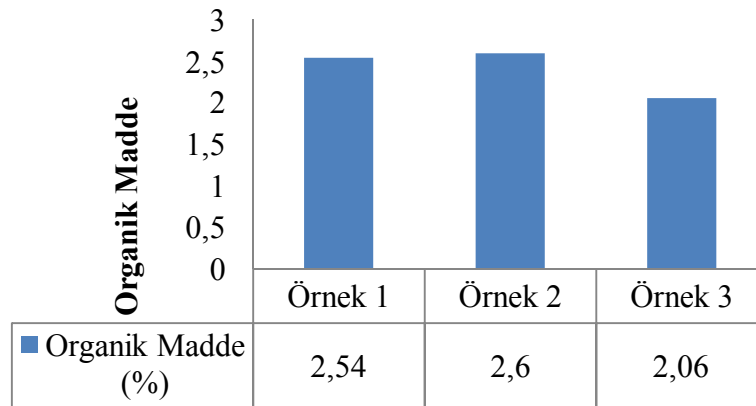
için 838 $\mu\text{m}/\text{cm}$ olarak saptanmıştır. Bu örneklerin elektriksel iletkenlik değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$). (Grisso ve ark. 2009) elektriksel konduktivite değerinin toprak partikül boyutu ve tekstürüne önemli derecede bağlı olduğunu belirtmişlerdir.



Şekil 4.2. Toprak örneklerinin elektriksel iletkenlikleri

4.1.3. Organik madde değerlerine (%) ilişkin sonuçlar

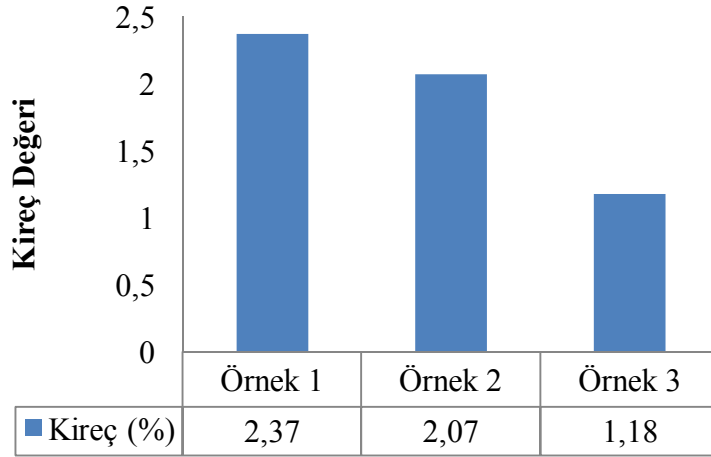
Toprakta bulunan organik madde toprakların fiziksel özelliklerini iyileştirerek bitkiler için uygun bir ortamın ortaya çıkmasını sağladığı ve aynı zamanda birçok bitki besin maddelerinin esas kaynağını oluşturduğundan dolayı biyokütle özelliklerine etkili olan bir faktördür. Organik madde içerikleri açısından toprak örnekleri incelendiğinde, örnek 3' ün en düşük, örnek 2'nin ise en yüksek organik madde içeriğine sahip olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4.3). Bu örneklerin organik madde içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P<0.01$).



Şekil 4.3. Toprak örneklerinin organik madde içerikleri

4.1.4. Kireç değerlerine (%) ilişkin sonuçlar

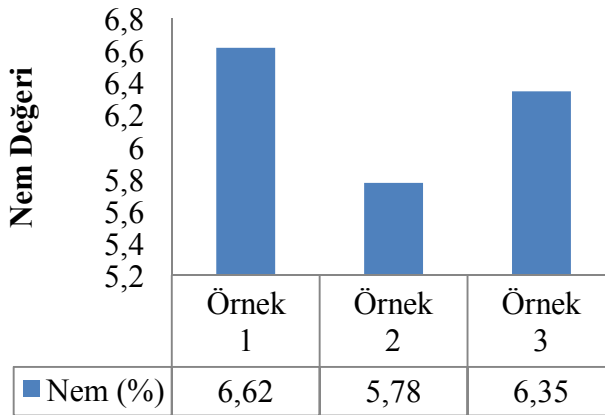
Toprak örneklerinde bulunan kireç içerikleri organik madde içeriğinde olduğu gibi en düşük 3 numaralı örnek için %1,18 olarak ve en yüksek 1 numaralı örnek için %2,37 olarak belirlenmiştir (Şekil 4.4). Bu örneklerin kireç içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$).



Şekil 4.4. Toprak örneklerinin % kireç değerleri

4.1.5. Nem değerlerine (%) ilişkin sonuçlar

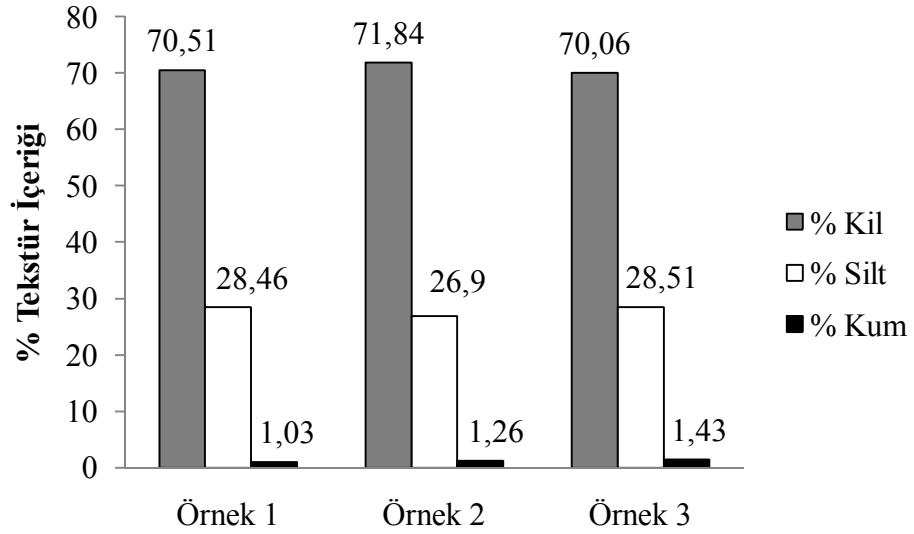
1 ve 3 numaralı toprak örneklerinin nem içerikleri (%6,62 ve %6,35) 2 numaralı örneğin nem içeriğine göre yüksek bulunmuştur (%5,78) (Şekil 4.5). 1 ve 3 numaralı örneklerde saptanan daha yüksek nem içeriğine karşılık bu örneklerin elektriksel iletkenliklerinin de 2 numaralı örneğine göre daha yüksek olduğu Şekil 4.2'den anlaşılmaktadır. Toprak örneklerinin nem içerikleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$).



Şekil 4.5. Toprak örneklerinin % nem değerleri

4.1.6. Tekstür sınıflarına ilişkin sonuçlar

Şekil 4.6'da görüldüğü gibi 1 numaralı örnek %70,51 kil, %28,46 silt ve %1,03 kum içermektedir. 2 ve 3 numaralı örnekler ise 1 numaralı örneğe kıyasla daha yüksek kum içermektedir. Bu sonuçlara göre üç toprak örneğinin de killi tekstür sınıfına girdiği söylenebilir. Kil içerikleri açısından toprak örnekleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemsiz bulunurken ($P>0.01$), silt ve kum içerikleri açısından bu farklar önemli bulunmuştur ($P<0.01$).



Şekil 4.6. Toprak örneklerinin tekstür sınıfları

4.2. Çeltik Sap Örneklerine İlişkin Analiz Sonuçları

Çeltik sapı biyokütlesinin fiziksel, kimyasal özelliklerinin ve yakıt olarak kullanımına ilişkin özelliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan analiz sonuçlarını kömür için saptanmış olan ve Çizelge 4.1'de verilmiş olan sonuçlarla karşılaştırmak yararlı olacaktır.

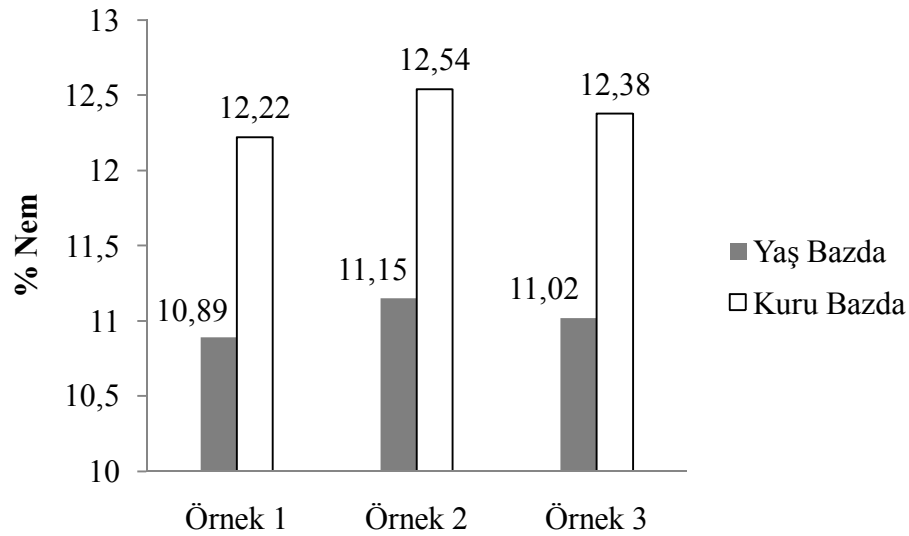
Çizelge 4.1. Biyokütle ve kömürün fiziksel ve yakıt özellikleri (Demirbaş 2004)

Özellik	Biyokütle	Kömür
Yakıt yoğunluğu (kg/m ³)	~500	~1300
C (karbon) içeriği (%)	42–54	65–85
O (oksijen) içeriği (%)	35–45	2–15
S (sülfür içeriği) (%)	Maksimum 0.5	0.5–7.5
Tutuşma sıcaklığı (°C)	145–153	217–322
Isıl değer (Mj/kg)	14-21	23-28

4.2.1. Proksimit (kısa) analiz sonuçları

4.2.1.1. Nem içeriklerine (%) ilişkin sonuçlar

Tüm çeltik sap örnekleri için nem içerikleri oldukça düşük düzeyde bulunmuştur (Şekil 4.7). Minimum nem içeriği 1 numaralı örnek için saptanırken (%10,89) maksimum nem içeriği ise 2 numaralı çeltik sap örneği için yaş baza göre %11,15 olarak saptanmakla beraber, sap örneklerinin nem içerikleri arasındaki farklar istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($P < 0.01$). Nem içerikleri incelendiğinde, çeltik sap örneklerinin oldukça yüksek maliyet ve enerji girdisine gereksinim duyan kurutma işlemi yapılmadan modern çevrim sistemlerinde kullanılabileceği açıktır. Araştırmalar, aşağı akışlı gazlaştırıcılar için maksimum nem içeriğinin (yaş baza göre) %35, yukarı akışlı gazlaştırıcılar için ise %60 olması gerektiğini göstermektedir (Bridgwater 2003, Svoboda 2009). Yakma işlemi doğal gaz veya herhangi diğer yakıt katkısı yapılmadan direkt yakma fırınları ve kazanlarda yapılacaksa maksimum nem içeriği %50 olarak bildirilmektedir (Jenkins ve ark. 1998).



Şekil 4.7. Çeltik biyokütle örneklerinin % nem içerikleri

4.2.1.2. Kül içeriklerine (%) ilişkin sonuçlar

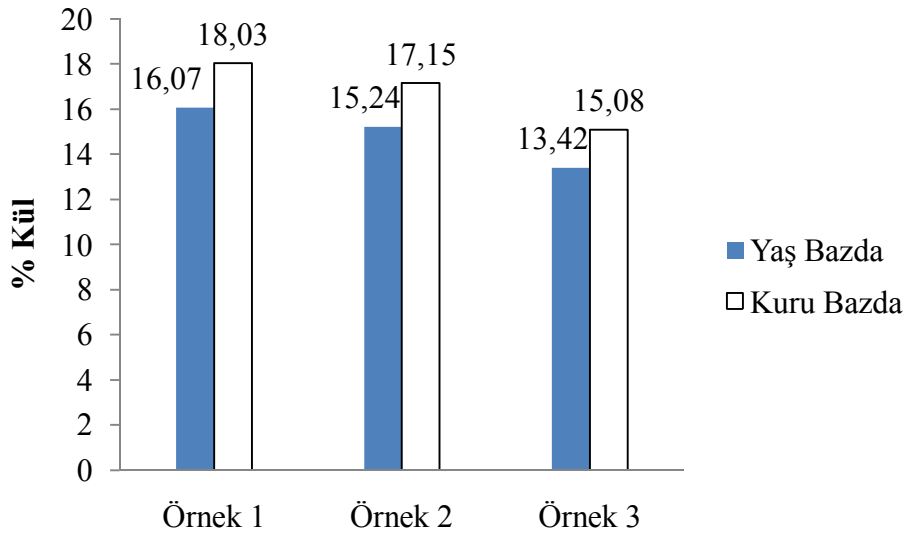
Biyokütlelerin kül içeriklerinin saptanması yakıcı tasarımlarının yapılması, yanma hacminin hesaplanması, gaz temizleme üniteleri ile kül boşaltma sistemlerinin tasarımı açısından büyük önem taşımaktadır.

Termokimyasal dönüşüm teknolojileri açısından yüksek kül içeriği istenmeyen bir özelliktir. Yüksek nem içeriğine benzer şekilde yüksek kül içeriğide tutuşma ve yanma problemlerine yol açmaktadır (Demirbaş 2004). Çeltik sap örneklerinin kül içeriği oldukça

yüksek bulunmuştur. Jenkins ve ark. (1998) Amerika'nın Kaliforniya eyaletindeki bazı biyokütle türlerinin (buğday sapı, çeltik kavuzu, çeltik sapı, şeker pancarı kalıntısı, yonca kalıntısı, kavak ağacı, badem kabuğu, badem çekirdeği kabuğu, zeytin çekirdeği vs.) karakterizasyonunu yapmış ve bu biyokütle kaynakları arasında en yüksek kül içeriğine çeltik kavuzunun (%20,26) ve bundan sonra da çeltik sapının (%18,67) sahip olduğunu saptamışlardır. Bunlara en yakın kül miktarı da dallı darı için %8,97 olarak saptanmıştır.

Çalışma kapsamında toplanan çeltik saplarının kül içeriklerinin %15.08-18.03 arasında değiştiği saptanmıştır (Şekil 4.8). Çeltik sapındaki yüksek kül içeriğinin çeltiğin termokimyasal çevrim teknolojileri kullanılarak enerji elde edilmesi sırasında karşılaşılan en önemli dezavantajlarından birisi olmakla beraber son yıllarda yapılan bazı çalışmalar; bu sap kalıntılarının doğal olarak yağmur sularıyla veya daha kontrol edilebilir şekilde yapay olarak suyla yıkayarak çeltik sapını oluşturan bileşenler üzerinde (özellikle kül içeriği ve silis içeriğinin düşürülmesi) etkili olunabileceği ve özellikle bölüm 4.2.4'de bahsedilecek olan kül ergime sıcaklığı üzerinde de iyileştirmeler yapılabileceğini göstermiştir (Jenkins vd. 1996, Bakker vd. 2003).

Farklı tarlalardan toplanmış olan çeltik saplarının kül içerikleri arasında farkların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P < 0.01$).

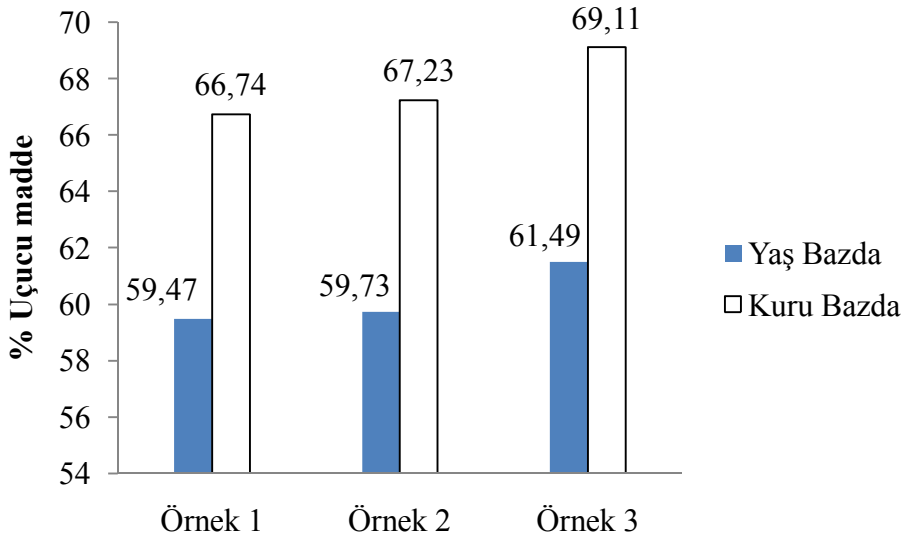


Şekil 4.8. Çeltik biyokütle örneklerinin % kül içerikleri

4.2.1.3. Uçucu madde içeriklerine (%) ilişkin sonuçlar

Çeltik sap örneklerinin uçucu madde içerikleri incelendiğinde 3 numaralı örnekte %69.11 (kuru baz) ile en yüksek uçucu madde içeriği saptanmış, bu değer %66,74 ile en

düşük örnek 1'de belirlenmiştir. Farklı tarlalardan toplanmış olan çeltik saplarının uçucu madde içerikleri arasında farkların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P < 0.01$). Jenkins vd. (1996) tarafından yapılmış olan araştırmada çeşitli odun bitkileri, tahıl sapları ve çekirdek kalıntıları gibi diğer biyokütle kaynaklarının uçucu madde içerikleri ile karşılaştırıldığında çeltik kavuzunun en düşük uçucu madde içeriğine sahip olduğu (kuru bazda %63,52) sapının içerdiği ve bunu çeltik sapının (kuru bazda %65,47) takip ettiği bulunmuştur. Öte yandan uçucu madde içeriği açısından çeltik sapının kömür türlerinden (maksimum %50) daha yüksek tepkime sağlayacağı söylenebilir (Yong 1996; Eriksson vd. 2012). Deng vd. (2013) buğday, pamuk, çeltik ve mısır sapları gibi biyokütle kaynaklarına farklı sıcaklıklarda su ile yıkama uygulaması yapmışlar (30, 60 ve 90 °C) ve uygulama sonunda bu biyokütlelerin uçucu madde içeriklerinde artış olduğunu belirlemişlerdir. Bu artış çeltik sapı için %64,74'den %68,16 değerine olmuştur. Yüksek uçucu madde içeriği yakıtın kolay yanmasını sağlayan önemli bir faktördür.



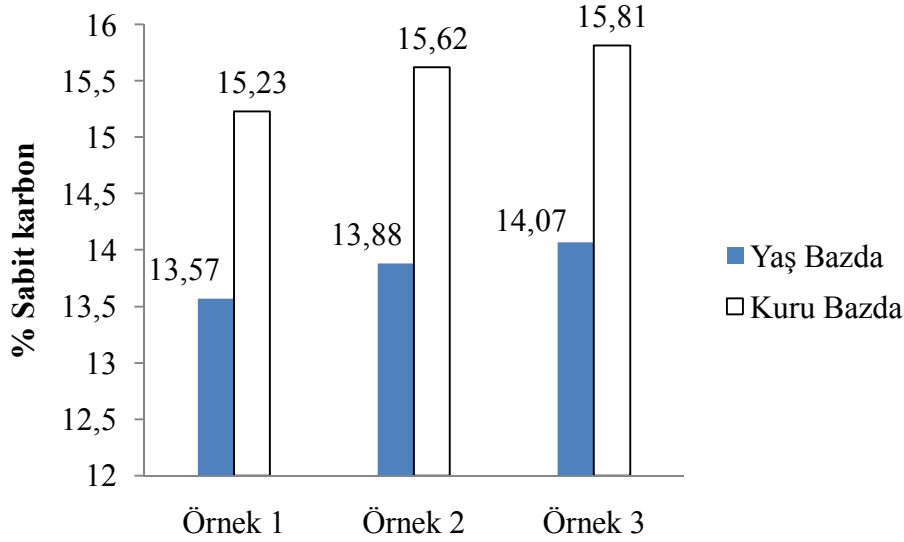
Şekil 4.9. Çeltik biyokütle örneklerinin % uçucu madde içerikleri

4.2.1.4. Sabit karbon değerlerine (%) ilişkin sonuçlar

Sabit karbon yüzdesi yanma sırasında ana ısı üretici görevini gördüğü için önem taşımaktadır. Biyokütlelerin sabit karbon yüzdeleri, biyokütlenin uçucumadde içeriği uzaklaştıktan sonra kalan katı yakıt olarak tanımlanmaktadır. Büyük bir kısmını karbon

oluşturmakla birlikte gazlarla birlikte uzaklaşmayan bir miktar hidrojen, oksijen, kükürt ve azotuda içermektedir. Sabit karbon biyokütlenin ısıl değeri hakkında yaklaşık bir tahmin verebilen bir veridir. Çizelge 4.1'de verilen ısıl değer sonuçları da bu ifadeyi desteklemektedir. Çeltik sap örneklerinin sabit karbon yüzdeleri incelendiğinde (Şekil 4.10) en yüksek sabit karbon oranının 3. örnekte %15,81 olarak (kuru baz) ve en düşük sabit karbon yüzdesinin ise 1 numaralı örnekte %15,23 olarak saptandığı görülmektedir. Jenkins vd. (1996) çeltik sapında sabit karbon yüzdesini %15,86 olarak bulmuştur. Çizelge 4.10'da her örnek için ölçülen ısıl değerler incelendiğinde sabit karbon yüzdesi en yüksek olan 3 numaralı örneğin ısıl değerinin en yüksek olduğu ve bunu örnek 2 ile örnek 1'in izlediği görülmektedir.

Çeltik örneklerinin ısıl değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak incelendiğinde bu farkların önemli olduğu saptanmıştır ($P < 0.01$).



Şekil 4.10. Çeltik biyokütle örneklerinin sabit karbon yüzdeleri

4.2.2. Elemental analiz sonuçları

Elementel analiz sonuçları yanma için gerekli hava miktarının, yanma gazı bileşimi ve hacminin hesaplanmasında kullanıldığı için biyokütle karakterizasyonunda önemli olan özelliklerdir. Genel olarak biyokütle elemental analiz sonuçları incelendiğinde biyokütleye bağlı olarak karbon yüzdesinin %47-54 (kuru ağırlık bazında) arasında, hidrojen yüzdesinin %5,6-7 aralığında ve oksijen yüzdesinin ise %40-44 aralığında değiştiği görülmektedir (Telmo ve ark. 2010). Bu farkın toprak özelliklerindeki ve gübreleme uygulamalarındaki değişimlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Biyokütle yandığı zaman oluşan ısının hemen hemen tamamı içerdiği karbon ve hidrojenin yanması sonucunda oluşmaktadır. Yanma

sırasında biyokütle içeriğinde bulunan azot ve sülfürün kısmen azot ve sülfür oksitlerine (NO_x and SO_x) dönüştüğü ve bu durumun hava kirliliği açısından istenmeyen bir durum olduğu bilinmektedir.

Çeltik sapı örneklerine ilişkin sonuçlar incelendiğinde (Çizelge 4.2) bu örneklerin elemental içerikleri arasında farklılıkların olduğu; istatistiksel olarak tüm örneklerdeki bu farklılıkların önemli ($P < 0.01$) belirlenmiştir.

En yüksek azot ve sülfür yüzdesi 1 numaralı örnekte ölçülürken, en yüksek C ve H içeriğinin 3 numaralı örnekte olduğu bulunmuştur (Çizelge 4.2).

Biyokütlelerden elde edilen yakıtların H/C ve O/C molar oranları elemental analiz sonuçları kullanılarak hesaplanmış ve Çizelge 4.2'de verilmiştir. Biyokütlelerdeki H/C molar oranı düştükçe, elde edilen yakıtlardaki aromatik bileşenlerin de arttığı bildirilmiştir (Özçiftçi ve Özbay 2013).

Çizelge 4.2. Çeltik örneklerinin elemental analiz sonuçları

Örnek	N (%)	C (%)	H (%)	S (%)	O (%)	H/C	O/C
Örnek 1	2,10	37,90	5,570	0,181	38,17	0,15	1,01
Örnek 2	1,83	36,02	5,249	0,134	41,52	0,15	1,15
Örnek 3	1,92	38,99	7,676	0,092	37,9	0,20	0,97

4.2.3. Isıl değerlere ilişkin sonuçlar

Biyokütlenin ısıl değeri, birim ağırlığının tamamen yanması sonucunda açığa çıkan ısı miktarıdır. Çeltik örneklerinin ısıl değerleri incelendiğinde en yüksek ısıl değer örnek 3 için 3554 cal/g (alt ısıl değer-kuru bazda) ve en düşük değer ise 3394 cal/g olarak 1 numaralı örnek için belirlenmiştir (Çizelge 4.3). Acar (2013) çeltik sapı için ısıl değer odundan daha yüksek olduğunu (2500 cal/g) ve yaklaşık 3455 olduğunu belirtmiştir (linyit kömürü için bu değer 4200 cal/g olarak verilmiştir). Bu açıdan bakıldığında çeltik sapının yakıt eldesi için kullanılma potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır.

Düşük ısıl değer alev stabilitesi problemine yol açmaktadır. Bu sebeple genelde düşük ısıl içerikli biyokütleler için; alev stabilitesi problemini aşmak ve korozyon etkisini azaltmak amacıyla yüksek kaliteli kömür ile karıştırılarak kullanımları önerilmektedir (Demirbaş 2004).

Çizelge 4.3. Çeltik sapı örneklerini ısı değerleri (cal/g)

	Örnek 1		Örnek 2		Örnek 3		YÖNTEM
	Yaş Bazda	Kuru Bazda	Yaş Bazda	Kuru Bazda	Yaş Bazda	Kuru Bazda	
Alt Isıl Değer	2965	3394	3051	3503	3101	3554	ASTM D 5865-13 ISO 1928-09
Üst Isıl Değer	3237	3633	3328	3746	3383	3802	ASTM D 5865-13

4.2.4. Çeltik sapı külünün ergime sıcaklığının değişimine ilişkin sonuçlar

Külün kökeni, biyokütlenin içerdiği mineral madde olduğundan, çıkan külün özellikleri biyokütlenin bileşimine ve yanmanın gerçekleştirildiği şartlara bağlıdır. Yakma sisteminin tasarımının yapılabilmesi, işletilebilmesi için kullanılacak biyokütlenin külünün özelliklerinin bilinmesi gereklidir. Biyokütlenin külünün bileşimi korozyon, aglomerasyon ve kabuk oluşumundada belirleyici rol oynamaktadır. Biyokütlenin külü, yüksek sıcaklıklara ısıtılırsa yumuşar ve akışkanlaşır. Biyokütlenin yakılması sırasında, erimiş veya yapışkan tortular, yanma hacmindeki ısı değiştirici yüzeylerde toplanır ve buda cüruflaşmaya yol açar. Sinterleşmiş malzemenin kazanın çeşitli kısımları üzerinde tortu oluşturması ile kirlenmeye neden olur (Tırıc 2014).

Çeltik sapı kül örneklerinin kül ergime sıcaklığı analiz sonuçları incelendiğinde; en yüksek ilk deformasyon sıcaklığı değerinin 3 numaralı örnek için 1247 °C olarak saptandığını, en düşük ilk deformasyon sıcaklığının ise 1 numaralı örnek için 1145 °C olarak belirlendiği Çizelge 4.4' de görülmektedir. İlk deformasyon sıcaklıklarına paralel olarak maksimum yumuşama sıcaklığı (1340 °C), maksimum yarıküre sıcaklığı ve erime sıcaklık değerleride 3 numaralı örnek için belirlenmiştir. Bu değerlere ilişkin minimum sıcaklıklar ise yarıküre sıcaklığı hariç örnek 1'de belirlenmiştir. Her bir çeltik sapı örneği için belirlenen bu sıcaklıklar arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P < 0.01$).

Çizelge 4.4. Çeltik saplarına ait kül örneklerini kül ergime sıcaklığı sonuçları

KÜL ANALİZLERİ	Örnek 1	Örnek 2	Örnek 3	YÖNTEM
IDT (İlk Deformasyon Sıcaklığı)	1145	1193	1247	ASTM D1857/D1857 M-04 (REAPP. 2010)
ST (Yumuşama Sıcaklığı)	1293	1302	1340	ASTM D1857/D1857 M-04 (REAPP. 2010)
HT (Yarıküre Sıcaklığı)	1419	1401	1468	ASTM D1857/D1857 M-04 (REAPP. 2010)
FT (Erime Sıcaklığı)	1485	>1500	>1500	ASTM D1857/D1857 M-04 (REAPP. 2010)

Yakma proseslerinde kül ergime noktasının bilinmesi çok önemlidir. Yanma sıcaklığının mutlaka kül ergime noktasının 250-300°C altında olması gereklidir. Aksi takdirde yatakta aglomerasyon oluşmakta ve yanma durmakta veya eriyen kül ısı değiştirici yüzeylerine yapışarak kirlenmeye ve ısı aktarım veriminin düşmesine neden olmaktadır. Bu veriye dayanarak; bu çalışmadaki çeltik sapı örneklerimiz için sistem içerisinde oluşacak sıcaklığın 1300 °C sıcaklığı geçmemesi gerektiği söylenebilir. Öte yandan çeltik sap örneklerinin oldukça yüksek kül içeriğine sahip olması ve bu külün de yaklaşık %75'inin SiO₂ olması (Jenkins ve ark. 1998) gibi sebeplerle çeltik sapı yapısındaki K₂O gibi alkaliler SiO₂ bağlarını kırarak daha düşük sıcaklıklarda (700-800°C) ergiyen ötektik yapılar oluşturmaktadır (Wang ve ark. 2007). Bu ötektik yapılar ergidiklerinde çeltik sapının içeriğindeki karbon dönüşümünü kısıtlamakta, aglomerasyona neden olmaktadır (Rozainee ve ark., 2008). Bunun önlenmesi ya da etkilerinin azaltılması için biyokütlenin gazlaştırma öncesinde yıkama gibi bazı ön işlemlerden geçirilerek yapısındaki alkalilerin yoğunluğunun azaltılması, katalizör kullanılması veya çalışma sıcaklıklarının düşük tutulması gibi (Kargbo ve ark. 2009, Baratieri ve ark. 2010, Deng vd. 2013) metodlar uygulanmalı ve bunlara yönelik çalışmalara hız verilmelidir.

4.2.5. Çeltik sapı biyokütlesinden güç üretim potansiyeline ilişkin sonuçlar

Bu tez çalışması kapsamında diğer potansiyel belirlemeye yönelik araştırmalardan farklı olarak; çalışma kapsamında ölçülen birim alandaki çeltik sapı biyokütle miktarı ve Tekirdağ ilindeki toplam çeltik ekim alanlarında dikkate alınarak Çizelge 4.5' de verilmiş olan hesaplama aşamaları kullanılarak, Tekirdağ ilinde çeltik sapından güç üretimi (GW h/yıl) ve güç üretim potansiyelinin (MW_e) belirlenmiştir. Sonuçlar Çizelge 4.5'de görülmektedir. Bu hesaplama sonuçlarına göre tarlada kalan çeltik saplarının %60'ının kullanımı ile çeltik sapından güç üretimi 39,39 GW h/yıl, güç üretim potansiyeli ise 5,29 MWe olarak

belirlenmiştir. Bu miktar ise; Tr21 Trakya Bölgesi Enerji Raporundaki verilere göre Türkiye toplam elektrik tüketiminin %0,019'una karşılık gelmektedir (Anonim 2012a). TÜİK verilerine göre Tekirdağ ilinin yıllık elektrik enerjisi tüketimi 5597, 514 GWh (Anonim, 2012b) olduğu hesaba katıldığında bu miktarın Tekirdağ ilinin toplam elektrik tüketiminin %0,7'sine karşılık geldiği anlaşılmaktadır.

Çizelge 4.5. Çeltik sapından güç üretimi (GW h/yıl) ve güç üretim potansiyelinin (MWe) hesaplanma aşaması ve sonuçlar

	Ölçülen ve hesaplanan değerler
A: Birim alandan elde edilen çeltik sapı miktarı (kg/m ²)	1,958 kg
B: Tekirdağ çeltik alanı (da) (Anonim 2012c)	37.800
Toplam çeltik sapı miktarı (Mg/yıl) (A*B*1000/1000)	74.012,400 Mg
Nem içeriği (%)	12,38
Kuru bazda çeltik sapı miktarı (Mg)	64849,67 Mg
Enerji üretimi için kullanılacak çeltik sapı (ton/yıl) (toplam çeltik sapının %60) (q _i) (Anonim 2012a)	38909,8 Mg
Çeltik saplarının alt ısı değer ortalaması (Mj/kg) (Q _i)	3484 cal/g=14,58 Mj/kg
Termokimyasal çevrim etkinliği (η_{TC}) (Matteson ve Jenkins 2007).	0,25
$E_{TC,i}=(1/3600) (q_i*Q_i*\eta_{TC})$ (Matteson ve Jenkins 2007).	39,39 (GW h/yıl)
h: yıllık kapasite faktörü (-): (Matteson ve Jenkins 2007).	0,85
Güç üretim potansiyeli P _i (MWe) $P_i=(1000/8760)*(E_{TC,i}/h)$ (Matteson ve Jenkins 2007).	5,29 MWe

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada; çeltik üretiminde en önemli sorunlardan biri olan ve genelde yakılarak yok edilmesinden dolayı çevre kirliliğine neden olan çeltik saplarının; çeltik üretiminin yoğun olarak yapıldığı bölgelerde enerji kaynağı olarak değerlendirilme potansiyelin belirlenmiş ve modern biyokütle çevrim yöntemleri için önemli olan yakıt özellikleri açısından karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla Tekirdağ örneği için çeltik biyokütle potansiyeli uygulamalı olarak saptanmış, proksimit analizleri (nem, kül, uçucu madde, sabit karbon içeriği), elemental analizleri (C, H, N, S ve O) ve ısıl değerleri saptanmıştır. Ayrıca çeltik sapının termokimyasal çevrim sistemlerinde kullanımında önemli faktörlerden birisi olan çeltik sapı külünün ergime sıcaklığı belirlenmiştir. Elde edilen veriler ışığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

- Hasattan sonra tarlada bırakılan bitki atıkları, bu çeşit biyokütlelerin ek kullanımı için oldukça yüksek potansiyel sunmaktadır. Özellikle de çiftçiler tarafından değerlendirilmeyen çeltik saplarının, termokimyasal çevrim teknikleri ile elektrik enerjisi elde etme için büyük katkılar sağlayabileceği düşünülmektedir.

-Tekirdağ ilinin Hayrabolu ilçesinde birbirine en uzak farklı 3 tarladan alınmış olan toprak örneklerinin analizleri sonucunda tüm örneklerin killi tekstür sınıfında olduğu saptanmakla beraber kil ve pH farklılıkları hariç; nem, elektriksel iletkenlik, organik madde içerikleri, kireç içerikleri, silt ve kum içerikleri gibi tüm diğer özellikleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak önemli olduğu saptanmıştır ($P<0.01$). Bu farklılıklar çeltik sap örneklerinin proksimit ve elemental analizler yoluyla saptanan özelliklerinde de farklılıklara sebep olmuştur.

- Çeltik sap örneklerinin nem içerikleri incelendiğinde, ek bir kurutma işlemi yapılmadan modern çevrim sistemlerinde kullanılabilirliği anlaşılmaktadır.

- Çeltik sapındaki yüksek kül ve silis içeriğinin azaltılması, uçucu madde miktarının artırılması amacıyla sap örneklerinin kontrol edilebilir şekilde yapay olarak hasattan önceki dönemlerde periyodik bir şekilde suyla yıkanması önerilebilir.

- Çeltik örneklerinin ısıl değerleri incelendiğinde tüm çeltik sapı örnekleri için minimum ısıl değerin 3394 cal/g olduğu belirlenmiştir. Linyit kömürü için bu değer 4200 cal/g olduğu dikkate alındığında çeltik sapının yakıt eldesi için kullanılma potansiyelinin yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca termokimyasal sistemler içerisinde yanma sırasında alev stabilitesi problemini aşmak ve korozyon etkisini azaltmak için çeltik sapının belli oranlarda yüksek kaliteli yakıt ile karıştırılarak pelet şeklinde kullanılması önerilmektedir.

- Korozyon, aglomerasyon ve kabuk oluşumunda biyokütlenin kül miktarı ve bileşimi belirleyici rol oynamaktadır. Çeltik sapı kül örneklerinin kül ergime sıcaklığı analiz sonuçları incelendiğinde; en yüksek ergime sıcaklığı 1500 °C üzerinde saptanırken, en düşük ergime sıcaklığı ise 1485 °C olarak saptanmıştır. Yanma sıcaklığının mutlaka kül ergime noktasının 250-300°C altında olması gereklidir. Fakat çeltik sapının yüksek oranda SiO₂ içermesinden dolayı 700-800°C'de dahi sistemde aglomerasyon (topaklaşma) oluşabilmektedir. Bunu önlemek amacıyla termokimyasal sistemlerde aglomerasyonu önleyecek yöntemler geliştirilmelidir (yıkama gibi bazı ön işlemlerden geçirilmesi, katalizör kullanılması veya çalışma sıcaklıklarının düşük tutulması ve buna yönelik mekanik tasarımların geliştirilmesi vs.).

-Araştırma sonucuna göre çeltik sapından güç üretimi 39,39 GW h/yıl, güç üretim potansiyeli ise 5,29 MWe olarak belirlenmiştir. Bu miktar ise; Türkiye toplam elektrik tüketiminin %0,019'una, Tekirdağ ilinin toplam elektrik tüketiminin ise %0,7'sine karşılık gelmektedir. Bu açıdan bakıldığında mevcut çeltik sapı potansiyelinin %60'ının kullanımı durumunda dahi, çeltik sapının termokimyasal yöntemlerle değerlendirilmesinin oldukça yüksek bir fayda sağlayacağı açıktır.

-Hammadde karakterizasyonuna ilişkin bu tür araştırmaların gerçekleştirilmesi ile; Amerika'da ve Avrupa ülkelerinde gerçekleştirildiği gibi, ürün çeşidine bağlı olarak oluşturulmuş biyokütle kompozisyonu ve yakıt özellikleri ile ilgili veri tabanları oluşturulmasında faydalı olacağı düşünülmekte ve ülkemizdeki diğer biyokütle kaynakları (atık odun, orman atıkları ve gıda endüstrisindeki diğer biyokütle kaynakları vs.) için de benzer çalışmaların yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Acar M (2013). Enerji Tarımı. <http://www.tusaf.org/TR/dosya/1-2591/h/mustafa-acar--antalya-tusaf.pdf>. Erişim Tarihi: 22 Temmuz 2014
- Anonim (2007). Hidrolik ve Yenilenebilir Enerji Çalışma Grubu, Biyokütle Enerjisi Alt Çalışma Grubu Raporu. Ankara.
- Anonim (2012a). Tr21 Trakya Bölgesi Enerji Raporu, Trakya Kalkınma Ajansı. Tekirdağ.
- Anonim (2012b). TÜİK verileri. Seçilmiş göstergelerle Tekirdağ 2012. <http://www.tuik.gov.tr/ilGostergeleri/iller/TEKIRDAG.pdf>. Erişim Tarihi: 21.01.2014.
- Anonim (2012c). Tekirdağ Tarım Raporu (Yayınlanmamış). Tekirdağ İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü, Tekirdağ.
- Anonim, (2014a). <http://www.teknodan.com.tr/EneBiyokutle.aspx>, Erişim tarihi: 23.07.2014.
- Anonim, (2014b). http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/biyo_gazlastirme.aspx, Erişim Tarihi: 23.07.2014.
- Anonim (2014c). (<http://www1.eere.energy.gov/bioenergy/databases.html>; <http://www.biodat.eu/pages/Home.aspx>). Erişim tarihi: 20.07.2014.
- Anonim (2014d). <http://www.balkansulphur.com/spesifications.html>. Erişim Tarihi: 20.07.2014.
- Atılğan İ (2000). Türkiye' nin enerji potansiyeline bakış. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi. 15(1): 31-47.
- Baratieri M, Pieratti E, Nordgreen T, Grigianti M (2010). Biomass Gasification with Dolomite as Catalyst in a Small Fluidized Bed Experimental and Modelling Analysis. Waste Biomass Valor. 1:283-291
- Başçetinçelik A, Öztürk H H, Karaca C, Kaçıra M, Ekinci K, Kaya D, Baban A, Güneş K, Komittil N, Barnes I, Nieminen M (2005) Türkiye'de Tarımsal Atıkların Değerlendirilmesi Rehberi. LIFE 03 TCY/ TR /000061, Adana. Türkiye.
- Boyras D, Cangir C (2009). Yıldız Orman Ekosisteminde Yer Alan Tipik Toprakların Sınıflandırılması ve Amenajmanları. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi (JOTAF). 6(1): 65-77.
- Bridgwater A V (2003). Renewable Fuels and Chemicals by Thermal Processing of Biomass. Chemical Engineering Journal. 91(2-3): 87-102.
- Demirbaş, A (2001). Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuels and Chemicals. Energy Convers. Mgmt. 42:1357-1378.
- Demirbaş, A. 2004. Combustion Characteristics of Different Biomass Fuels. Progress Energy Combust. Sci. 30:219-230.
- Elekçioğlu İH, Tülek A (2009). Çeltik Beyaz Uç Nematodu (*Aphelenchoides besseyi* Christie pv. *oryzae* Aphelenchida: Aphelenchoidae). 1. Çeltik Sempozyumu, 24-25 Eylül 2009 Tekirdağ. S: 39-48
- Eriksson D, F Weiland, H Hedman, M Stenberg, O Öhrman, T A Lestander, U Bergsten, M Öhman (2012). Characterization of Scots pine stump–root biomass as feed-stock for gasification. Bioresource Technology. 104: 729-736.

- García R, Pizarro C, Lavín AG, Bueno JL (2012). Characterization of Spanish Biomass Wastes for Energy Use. *Bioresource Technology*. 103: 249-258.
- Grisso R, M Alley, W G Wysor, D Holshouser, W Thomason (2009). Precision Farming Tools: Soil Electrical Conductivity. Virginia Cooperative Extension. Publication 442-508.
- Jenkins B M, L L Baxter, T R Jr Miles, T R Miles (1998). Combustion Properties of Biomass. *Fuel Processing Technology*. 54:17-46.
- Kargbo F R, Xing J, Zhang Y (2009). Pretreatment for energy use of rice straw: A review, *African Journal of Agricultural Research* Vol. 4 (13), pp. 1560-1565, December 2009 Special Review.
- Kayıoğlu B, Y Bayhan, M R Durgut (2009). Çeltikte Anız Sorunu ve Çözüm Önerileri. 1. Çeltik Sempozyumu, s:109-120, 24-25 Eylül, Tekirdağ-Edirne-İpsala.
- Koçer N N, A Ünlü (2007). Doğu Anadolu Bölgesinin Biyokütle Potansiyeli Ve Enerji Üretimi. *Doğu Anadolu Araştırmaları*.s: 175-181.
- Kurt G, Nacar Koçer N (2010). Malatya İlinin Biyokütle Potansiyeli ve Enerji Üretimi. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. 26(3): 240-247.
- Matteson G C, B M Jenkins (2007). Food and processing residues in California. Resource Assessment and Potential for Power Generation. *Bioresource Technology*. 98: 3098-3105.
- Özçifçi A, Özbay G (2013). Mobilya endüstrisi atıklarından katalitik piroliz yöntemi ile biyoyakıt üretimi, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*. 28(3), 473-479.
- Rozainee M, Ngo S P, Salema A A, Tan K G, Ariffin M, Zainura Z N (2008). Effect of fluidizing velocity on the combustion of rice husk in bench scale fluidized bed combustor for the production of amorphous rice husk ash, *Bioresource Energy* 99 (2008) pp. 703-713.
- Sade B, Soylu S, Sezer İ, Başer N, Sürek H, Şahin M, Yetiş T (2011). Ulusal Hububat Konseyi Çeltik Raporu. <http://www.pdd.org.tr/libs>.
- Sürek H, Beşer N, Kaya R (2007). Çeltikte Üstten Biçmenin Dane Verimi ve Bazı Agronomik Karakterlere Etkisi. *Türkiye VII. Tarla Bitkileri Kongresi*. (1):51-54. 25-27 Haziran, Erzurum.
- Svoboda K, Martinec J, Pohorely M, Baxter D (2009). Integration of Biomass Drying with Combustion/Gasification Technologies and Minimization of Emissions of Organic Compounds. *Chemical Papers*. 63(1): 15-25.
- Thy P, C. Yu B, Jenkins M, Leshner C E (2013)b. Inorganic composition and environmental impact of biomass feedstock. *Energy and Fuels* 27, 3969-3987.
- Telmo C, Lousada J, Moreira N (2010). Proximate Analysis, Backwards Stepwise Regression between Gross Calorific Value, Ultimate and Chemical Analysis of Wood. *Bioresour. Technol*. 101: 3808-3815.
- Tırıc Ç (2014). Biyokütle enerji içerikleri biyokütle karakterizasyonu. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü 2014 Kış Okulu. Ege Üniversitesi, İzmir.
- Topal, M., E. Arslan, 2008. Biyokütle enerjisi ve Türkiye. VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008 17-19 Aralık, s:241-248, İstanbul.

- Topal M, Arslan Topal EI (2012). Ürün Bitkilerinden Yenilenebilir Enerji Kaynağı Biyokütle Enerjisi Potansiyelinin Belirlenmesi: Afyonkarahisar İli Örneği (2006-2010). AKÜ FEBİD 12 (025401):1-11.
- Wang L, Weller C L, Jones D, Hanna M A (2007). Contemporary issues in thermal gasification of biomass and its application to electricity and fuel production. Biomass & Energy 32 (2008), pgs. 573-581.
- Yong L (1996). Laboratory Studies on Devolatilization and Char Oxidation under PFBC Conditions. 1. Volatile release and char reactivity. Energy Fuels. 10: 348-356.

ÖZGEÇMİŞ

Namık Kemal Üniversitesi öğrencisi Tamer AKÇAY; 07.11.1987 yılı İstanbul doğumlu olup, Lise eğitimini Vefa Poyraz Süper Lisesi'nde tamamlamıştır. Lisans eğitimini Namık Kemal Üniversitesi / Ziraat Fakültesi / Ziraat Mühendisliği Bölümü / Tarım Makineleri Anabilim Dalı'nda tamamlamış ve Yüksek Lisans'ta Namık Kemal Üniversitesi / Tarımda Enerji Anabilim Dalı'nda öğrenim görmüştür.