

**T.C.
ISPARTA UYGULAMALI BİLİMLER ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**BİYOKÜTLE OLARAK TATLI SORGUM BİTKİSİ KULLANAN
5MW ELEKTRİK KAPASİTELİ BİYOKÜTLE SANTRALİNİN
İNCELENMESİ**

Aysu YOLCU

**Danışman
Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**

ISPARTA - 2019



© 2019 [Aysu YOLCU]

TEZ ONAYI

BİYOKÜTLE OLARAK TATLI SORGUM BİTKİSİ KULLANAN 5MW ELEKTRİK KAPASİTELİ BİYOKÜTLE SANTRALİNİN İNCELENMESİ

Aysu YOLCU tarafından hazırlanan bu tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **Prof. Dr. Reşat SELBAŞ**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

Üye **Prof. Dr. İbrahim ÜÇGÜL**
Süleyman Demirel Üniversitesi

Üye **Prof. Dr. Ahmet KABUL**
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi

İmza
.....

.....
.....
.....

Yukarıdaki Jüri kararı Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun / /
tarih ve / sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Prof. Dr. Yusuf UÇAR
Enstitü Müdürü

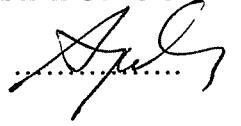
ETİK BEYANI

Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak ve bilimsel ahlak ve geleneklere aykırı düşecek bir yol ve yardıma başvurmaksızın hazırladığım bu tez çalışmasında;

Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde ve ortaya çıkan sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, tezimle ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara katlanacağımı bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

09/08/2019

Aysu YOLCU



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Biyokütle Enerjisi	5
1.1.1. Biyokütle enerjisinin kaynakları	6
1.1.1.1. Bitkisel biyokütle kaynakları	6
1.1.1.2. Hayvansal kaynaklar	7
1.1.1.3. Şehir ve endüstri atıkları kaynakları	7
1.2. Tatlı Sorgum Bitkisi.....	8
1.3. Biyokütlenin Enerjiye Dönüştürülmesi.....	9
1.4. Biyokütlenin Termal Parçalanması	11
1.4.1. Piroliz	11
1.4.2. Karbonlaştırma	12
1.4.3. Gazlaştırma	12
2. KAYNAK ÖZETLERİ	14
3. MATERYAL VE YÖNTEM	16
3.1. Genel Kabuller	16
3.2. Biyokütle Santrali Çalışma Prensibi	16
3.2.1. Biyokütle enerjisinin faydaları	17
3.2.2. Biyokütle enerjisinin zararları.....	17
3.3. İdeal Rankine Çevrimi	17
3.4. İdeal Rankine Çevrimine Göre Çalışan Bir Güç Santralinin Akış Şeması	19
3.5. 5 MW Kapasiteli bir Biyokütle Santrali için Yapılan Hesaplamalar	19
3.6. Projenin Ekonomik Analizi	24
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	25
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	29
KAYNAKLAR	30
EKLER.....	32
EK A. Çizelgeler	33
ÖZGEÇMİŞ	43

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYOKÜTLE OLARAK TATLI SORGUM BİTKİSİ KULLANAN 5MW ELEKTRİK KAPASİTELİ BİYOKÜTLE SANTRALİNİN İNCELENMESİ

Aysu YOLCU

**Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Enerji Sistemleri Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Günümüzde artan nüfus ve üretimle birlikte artan enerji ihtiyacını karşılamak için birçok enerji santrali yatırımı hızla devam etmektedir. Ancak küresel ısınma ve hava kirliliği gibi nedenler fosil yakıtla çalışan konvansiyonel termik elektrik santrallerinin yerine doğaya daha az zararı olan sürdürülebilir ve alternatif yakıtlı santrallerin geliştirilmesini önemli kılmıştır.

Projede geliştirilecek olan tasarım metodolojisi ile tatlı sorgum bitkisinin yakılması amaçlı kullanılacak bir yakma ve buhar kazanı geliştirilecek ve buna bağlı olarak da elektrik enerjisinin üretebileceği bir pilot enerji santrali faaliyete geçirilecektir. Biyokütlenin (tatlı sorgum) içindeki uçucuları gidermek optimizasyon çalışmaları yapılacak, yanma işleminin yapılacağı kazan ünitesi, eşanjörler, boru hatları, kurum tutucu ünite, ıslak filtre ünitesi, ekonomizer ünitesi, degazör ve kondens tank sistemleri geliştirilecektir. Proje genelinde yapılacak olan çalışmalarda üretim kapasitesine bağlı olmaksızın tatlı sorgum bitkisi ile enerji üretim tesisi üzerine metodoloji ve uygulama çalışmaları da gerçekleştirilecektir. Kızgın buhardaki ısı enerjisini önce mekanik enerjiye ardından da elektrik enerjisine çevirecek olan buhar türbini ise tedarik edilip sisteme entegre edilecektir.

Geliştirilen buhar kazanı ile kurulacak olan tesisin çevreci bir yolla elektrik üretmenin yanı sıra tarım atıklarının bertarafı ile tarım sektörüne çevresel ve ekonomik katkıları da olacaktır. Ayrıca proje, ülkemize bu alanda önemli bir bilgi birikimi sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir enerji, Biyokütle enerjisi, Enerji üretimi, Enerji bitkisi, Tatlı sorgum

2019, 43 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF 5 MW ELECTRIC CAPACITY BIOMASS POWER PLANT USING THE SWEET SORGUM IN BIOMASS

Aysu YOLCU

**Isparta University of Applied Sciences
The Institute of Graduate Education
Department of Energy Systems Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Reşat SELBAŞ

Today, increasing population and production with increasing energy needs are revealed. However, global warming and air pollution have led to the development of sustainable and alternative fuel power plants, which are less harmful to nature than conventional thermal power plants that operate in fossil fuel. The optimization of volatiles within the biomass (sweet sorghum) will be carried out and the boiler unit, heat exchangers, pipelines, soot-holding unit, wet filter unit, economizer unit, degasser and condensate tank systems will be developed. In the works to be carried out throughout the project, methodology and application studies will be carried out on the power plant with sweet sorghum plant, regardless of production capacity. The steam turbine, which will convert the heat energy in hot steam to mechanic energy and then to electric energy, will be supplied and integrated into the system.

The plant, which will be installed with the steam boiler, will produce electricity in an environmentally friendly way as well as the disposal of agricultural wastes and the transformation of agricultural sectors and their economic environment. The project is also important to our country in this field.

Key Words: Renewable energy, Biomass energy, Energy plant, Energy production, Sweet sorghum

2019, 43 pages

TEŞEKKÜR

Bu araştırma için bana yön veren, karşıma çıkan tüm zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Reşat SELBAŞ'a teşekkürlerimi sunarım. Araştırmanın yürütülmesine yardım eden değerli eşim Ahmet ARSLAN'a, değerli Teknik Ofis Müdürüm Osman KAÇAR'a ve Proje Müdürüm Murat TOPALFAKIOĞLU'na çok teşekkür ederim.

Ayrıca tezimin imalat aşamasındaki desteklerinden dolayı KA Mühendislik Elektrik Mekanik İnşaat Taahhüt Proje Tic. A.Ş. şirketine ve Sayın Cem KARABAL'A teşekkürlerimi sunarım.

Tezimin her aşamasında beni yalnız bırakmayan aileme sonsuz sevgi ve saygılarımı sunarım.

Aysu YOLCU
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 1.1. Doğa.....	2
Şekil 1.2. Bitkisel döngü.....	2
Şekil 1.3. Biyokütle enerjisi.....	2
Şekil 1.4. Biyokütle çevrimi.....	5
Şekil 1.5. Tatlı sorgum.....	8
Şekil 1.6. Biyokütleden biyoyakıt üretim sıralaması	10
Şekil 3.1. İdeal rankine çevrimi t-s diyagramı	18
Şekil 3.2. İdeal rankine çevrimi	19
Şekil 3.3. İdeal rankine çevrimi t-s diyagramı	23



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1. Kabuller.....	19
Çizelge 3.2. Değerler.....	22
Çizelge 3.3. Projenin ekonomik analizi	24
Çizelge 4.1. Tatlı sorgum bitkisi üzerinde yapılan analizler.....	26
Çizelge 4.2. Kuru bazda yapılan analiz sonuçları	26
Çizelge 4.3. Analiz sonuçları	27
Çizelge A1. Properties of saturated water - pressure table (SI)	33
Çizelge A2. Properties of superheated steam (SI)	35



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

h_1	Türbin çıkışında doymuş sıvı entalpisi
h_2	Pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvının entalpisi
h_3	Türbin girişinde kızgın buharın entalpisi
h_f	Türbin çıkışında doymuş sıvı-buhar karışımının entalpisi
h_{fg}	Türbin çıkışında doymuş sıvı-buhar karışımının entalpisi
m_{buhar}	Buharlı güç santralinin buhar kapasitesi
P_1	Türbin çıkışında doymuş sıvının basıncı
P_2	Pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvı basıncı
P_3	Türbin girişinde kızgın buharın basıncı
P_4	Türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının basıncı
q_{φ}	Sistemden elde edilen enerji
q_g	Sisteme verilen enerji
Q_{kazan}	Katı yakıtlı buhar kazanının kapasitesi
s_3	Türbin girişinde kızgın buharın entropisi
s_4	Türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının entropisi
s_f	Türbin çıkışında doymuş sıvı entropisi
s_{fg}	Türbin çıkışında doymuş sıvı-buhar karışımının entropisi
T_3	Türbin girişinde kızgın buharın sıcaklığı
v_1	Türbin çıkışında doymuş sıvının özgül hacmi
$V_{yakıt}$	Buhar kazanı katı yakıt miktarı
W_{net}	Elde edilen net iş
$W_{pompa,g}$	Pompada yapılan iş
$W_{türbin}$	Türbinde yapılan iş
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
Hth	Sistem verimi

1. GİRİŞ

Dünyada enerji ihtiyacını karşılamak için çoğu ülke fosil yakıtları kullanmaktadır. Kömür, doğalgaz ve petrol gibi fosil yakıtlar adı verilen bu kaynaklar sınırlıdır. Sürekli kendini yenileyemezler ve bir gün tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalacaklardır. Bu sorun bizleri yeni enerji kaynakları aramaya itmiştir. Yenilenebilir Enerji ise, kısa sürede kendini yenileyebilen, doğada var olan çevre dostu enerjidir. Bu enerji kaynaklarının en yaygın örnekleri, güneş enerjisi, rüzgar enerjisi, jeotermal enerji, biyokütle enerjisi, hidrolik enerji ve hidrojen enerjileridir. Yenilenebilir enerji kaynakları tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendini yenileyebilen kaynaklardır. Mesela güneş enerjisi ile çalışan bir sistem, güneşin enerjisini tüketir ancak güneşin kendi enerjisi karşısında çok küçük bir orana tekabül etmektedir. Bu da güneşin ne kadar büyük bir enerji kaynağı olduğunu ortaya çıkarmaktadır. En büyük yenilenebilir enerji kaynağı güneşten gelen enerjidir. Yenilenebilir enerjinin; insanlar, canlılar veya tesisler tarafından tamamiyle tüketilmesi mümkün değildir (Anonim, 2019b).

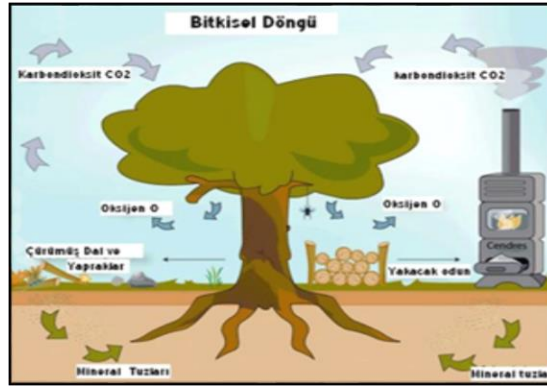
Fosil yakıtlar çok uzun yıllardır kullanılmaktadır. Şu an için yenilenebilir enerji kaynakları gibi görünse de kısa sürede tükenme tehlikesi ile karşı karşıya kalabilir. Nüfusun artması, sanayinin git gide büyümesi enerji ihtiyacını daha da arttırmaktadır. Bu sorun güneş enerjisinin yanında başka yenilenebilir enerji kaynaklarından da aktif bir şekilde yararlanılması gerektiğini göstermektedir. Çevre dostu biyokütle enerjisi sürdürülebilir yenilenebilir enerji kaynaklarının başında gelmektedir.

Her yerde elde edilebilir olması, özellikle kırsal bölgelerin ekonomik ve sosyal gelişmelerine yardımcı olması bakımından çok önemli bir enerji kaynağı olarak görülmektedir. Biyokütle için özel yetiştirilen mısır, buğday gibi bitkiler, otlar, yosunlar, gübreler ve sanayi atıkları, evlerden atılan meyve ve sebze artıkları kaynak olarak kullanılmaktadır. Petrol, doğalgaz ve benzeri fosil yakıtlar hem çevreye zarar vermesi hem de küresel ısınmayı arttırması, git gide tükeniyor olması gibi önemli nedenlerden dolayı bu sorunu çözmesi için biyokütle enerjisi önem kazanmaktadır (Anonim, 2019a).

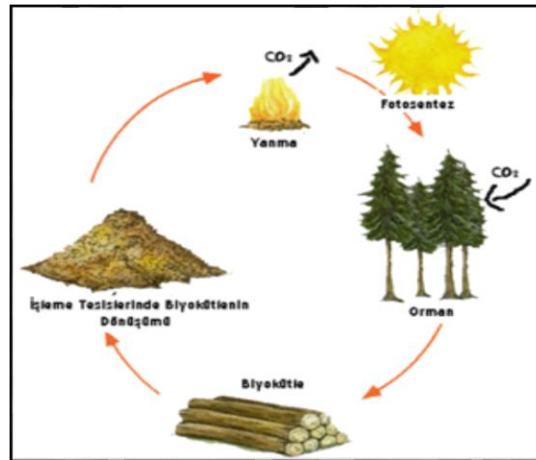


Şekil 1.1. Doğa

Biyokütle, şu an yaşamakta ya da yakın zamanda yaşamış olan canlılardan fosil haline dönüşmemiş olan tüm biyolojik maddelere verilen genel addır. Bitkiler sadece birer besin kaynağı değil, çevre dostu olmasının yanında tükenmez birer enerji kaynağıdır.



Şekil 1.2. Bitkisel döngü (YEGM, 2019)



Şekil 1.3. Biyokütle enerjisi (YEGM, 2019)

Fosil yakıtlar bitkilerin milyonlarca yıl toprakların altında kalması ile oluşur. Daha önce tanımlanan biyokütle ile benzer özellikleri gösterirler. Ancak yerin altında sıcaklık ve basınca maruz kaldığı için yapıları değişmiştir ve yakıldıkları zaman havaya birçok zararlı madde bırakırlar. Çok uzun zamandır yerin altında olan bu birikimin bu kadar kısa bir zamanda yakılması ise havadaki karbondioksit dengesini bozacağı için küresel ısınmaya neden olur.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'ndan (ETKB) alınan verilere göre Türkiye'de 2017 yılında 289 milyar 975 milyon 177 bin kilovatsaat elektrik harcanırken, bu rakam 2018 yılında yüzde 0.75 artarak 292 milyar 171 milyon 619 bin kilovatsaate çıkmıştır. 2017 yılında en çok elektriğin tüketildiği ay 28 milyar 265 milyon 839 bin kilovatsaatle temmuz oldu. En düşük tüketim ise 22 milyar 667 milyon 309 bin kilovatsaatle ekim ayında gerçekleşti. Türkiye'nin elektrik üretimi de geçen yıl önceki yıla göre yüzde 1.11 artışla 293 milyar 779 milyon 208 bin kilovatsaat olarak gerçekleşti. Üretim 2017'de 290 milyar 546 milyon 214 bin kilowattsaat olarak kayda geçmişti. Fosil yakıtların kullanımı küresel ısınmanın farkındalığı ile son zamanlarda azalma yönünde olsa da hala enerji üretiminde bu kaynaklar belirleyici olmaktadır. Araştırmalara göre 2018 yılında kasım ayında toplam elektrik üretiminin %25.5'unu doğalgaz, %11.4'u petrol %10'u kömür ve %0,3'sini de diğer fosil yakıtlar oluşturmaktadır. Toplamda %47.2'sini fosil yakıtlar oluşturmaktadır. 2017 yılı sonunda 242 doğal gaz çevrim santrali sayısı 2018 yılında 250'ye çıkmıştır. Fakat santrallerin kurulu güç kapasitesi 23.1 GWh'tan 22.4 GWh'a inerek %1.7 oranında azalmıştır. Yine de kaynak oranında düşününce doğal gaz çevrim santrali %29'luk payı ile birinci sıradadır.

Türkiye İstatistik Kurumu verilerine göre (TÜİK), Türkiye'nin 2018 yılındaki toplam ithalatı 2017 ile karşılaştırıldığında %4.6 azalışla 223 milyar 39 milyon 38 bin dolar oldu. 2017'de 37 milyar 204 milyon 849 bin doları bulan enerji ithalatı, 2018 yılında % 15.6 artarak 42 milyar 999 milyon 451 bin dolara çıktı.

Türkiye, enerji konusunda dışa bağımlılığın en fazla olduğu ülkeler arasında yer almaktadır. Yukarıda verilen Türkiye elektrik üretim rakamları incelendiği zaman ülkemiz elektrik üretiminde ithal ürünlerin önemli bir yer kapladığı görülmektedir. Bu durum sebebiyle alternatif elektrik üretim yöntemleri önem kazanmaktadır. Proje

kapsamında geliştirilecek olan pilot tesis ve kullanılacak tatlı sorgum bitkisi, ülkemizde yerli kaynaklarla elektrik üretim payını arttıracaktır. Böylece ülkemiz elektrik üretimine bağlı ithalat değerleri düşürülecektir. Ayrıca tatlı sorgum bitkisi üretimi gerçekleştirilerek katma değeri yüksek endüstri bitkileri üretim miktarı da arttırılacaktır.

Tatlı sorgum bitkisi başta Brezilya ve ABD olmak üzere birçok ülkede yaygın olarak yetiştirilmekte olan bir C4 bitkisidir. Soğuğa ve kuraklığa dayanıklı olması ve yüksek oranda şeker barındırması sebebiyle, gıda sektöründe, biyoetanol üretiminde ve elektrik üretiminde biyokütle olarak sıklıkla kullanılmaktadır. Tatlı sorgum bitkisinin ülkemiz iklim şartlarının elveriş olmasına karşın üzerinde yeterli araştırmaların yapılamamış olması sebebiyle uygulama alanı oldukça kısıtlıdır. Bu nedenle ülkemizde tatlı sorgum ile elektrik üretimi yapan bir santral tesisi bulunmamaktadır. Bu yönüyle projede geliştirilecek olan pilot tesis ülkemiz için bir ilk özelliği taşıyacaktır. Ayrıca proje sürecinde geliştirilecek olan pilot tesis ve tesise ait tasarım metodolojisi de ülkemizde sadece tarımsal üretim çalışmalarıyla sınırlı kalan tatlı sorgum bitkisi için önemli bir akademik ve uygulama birikimi sağlayacaktır. Böylece tatlı sorgum bitkisi ile çalışan buhar kazanı biyokütle elektrik santrali pilot tesisi ve onun tasarım metodolojisi ülkemizde önemli bir yenilik olarak yer alacaktır.

Proje, dünyada oldukça fazla bilinen buna karşın ülkemizde yeterli bilinirliğinin olmadığı bu bitki için önemli bir ulusal uygulama örneği olacaktır. Proje çalışmaları sonucunda ortaya çıkacak çıktılar, ilerleyen dönemlerde bitki üzerinde yapılacak akademik ve sektörel uygulamalar için önemli bir temel olacaktır.

Proje sonucunda geliştirilecek olan pilot tesisin yakıt ihtiyacının karşılanması için gerekli olacak tatlı sorgumun elde edilebilmesi için bitki ekimi yapılacak ve böylece şimdiye kadar araştırma amaçlı küçük miktardaki üretimin aksine ülkemizde ilk defa tatlı sorgum bitkisinin ticari amaçlı üretilmesi de sağlanacaktır.

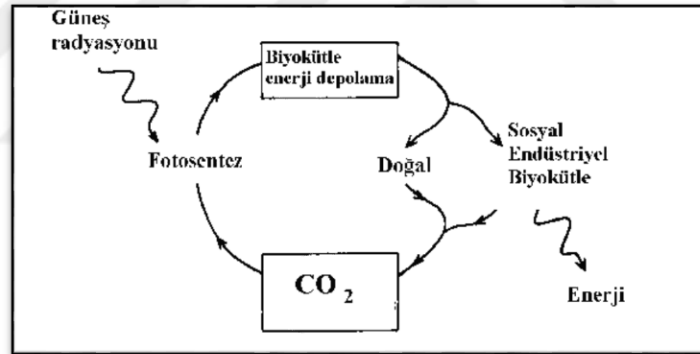
Ülkemiz yıllık elektrik üretiminin %40.88'i doğalgaz çevrimli termik santrallerde gerçekleştirilmektedir. Bunun yanında biyogazla elektrik üretimi toplam üretimin sadece %0.69'luk dilimini oluşturmaktadır. Ülkemiz doğalgaz rezervlerinin yetersizliği sebebiyle 2013 yılında 45.2 milyar metreküp doğalgaz ithalatı yapılmış ve

bu ithalatın değeri yaklaşık 26 milyar doları bulmuştur. İthal edilen doğalgazın 21.6 milyar metreküpü ise santrallerde elektrik üretimi için kullanılmıştır.

Proje kapsamında geliştirilecek biyokütle ile çalışan buhar çevrimli santral ülkemizin toplam biyogazla elektrik üretimi oranını arttıracaktır. Böylece doğalgazla elektrik üretiminin toplam elektrik üretimindeki oranı azaltılacak ve buna bağlı olarak da doğalgaz ithalatı azaltılacaktır. Ayrıca santral için gerekli olan tatlı sorgum bitkisinin yetiştirilmesi ve tedarik edilmesi konularında bölge çiftçisinin ekonomik anlamda gelişim göstermesi de sağlanacaktır (EMO, 2018).

1.1. Biyokütle Enerjisi

Biyokütle, bitkilerin güneş ışınlarını fotosentez ile kimyasal enerjiye çevirmesi sonunda oluşan biyolojik kütleye verilen addır. Şekil 1.4'te doğal biyokütle çevrimi görülmektedir.



Şekil 1.4. Biyokütle çevrimi (Erdoğan ve Seçgin, 2008)

Biyokütle enerjisi, artıkların organik madde içermesi, çevre dostu olması, kırsal bölgelerin sosyal ve ekonomik açınsındaki kalkınmasını sağlaması bakımından önemlidir. Dünyada gelişmekte olan ülkelerde kullanılan en yaygın olan kaynak biyokütledir.

Dünya'da tüketilen enerjinin %13'ü, gelişmekte olan ülkeler için ise enerji tüketiminin yaklaşık %44'ü biyokütle enerjisinden sağlanmaktadır. Biyokütle temiz bir kaynak olması, çevreye zarar vermemesi, her yerde yetişebilmesi, yetiştiği bölgede istihdam sağlaması bakımından diğer enerji türleri ile rekabet etmektedir. Biyokütle kaynağı

olarak kullanılan odun, hayvan ve bitki artıkları ülkemizde çok uzun zamandan beri ısıtma amacıyla kullanılmaktadır (Erdoğan, 2008).

1.1.1. Biyokütle enerjisinin kaynakları

Biyokütle kaynaklarının aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

1.1.1.1. Bitkisel biyokütle kaynakları

Bu kaynaklara; ağaçlar, ormandaki türler ve enerji bitkileri gibi örnek olarak verebiliriz. Tezin de konusu olan tatlı sorgum, mısır, şeker kamışı gibi bitkiler enerji bitkileridir. Bu bitkiler suyu ve karbondioksiti kullanmada iyidirler. Susuzluğa karşı dirençlidir ve fotosentez verimleri yüksektir. Ayrıca bu enerji bitkilerinden alkol ve yakıt da üretilmektedir. Günümüzde ülkemizde de; bitki kabukları ve artıkları enerji üretmek için kullanılmaktadır. Biyokütleyi yaktığımız zaman elde ettiğimiz verim neredeyse orta sınıf bir kömürün yanma verimi ile eşdeğerdir ve kömür ile karşılaştırıldığında çok daha az kül ve kükürt oluşturur. Fakat biyokütlenin olumlu özellikleri dışında enerji olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Biyokütle kaynakları yoğundur, depolama ve nakliye gibi maliyetleri de bulunmaktadır. Ayrıca alan başına verimi de düşüktür.

Çok uzun zamandır özellikle kırsal alanlarda yoğun olmak üzere odun ve bitki artıkları ısınmak için kullanılmaktadır. 1997 yılındaki verilere göre odunun birincil enerji kaynaklarının toplam enerji tüketimi içindeki oranı %8.1'dir. Ancak bitki ve hayvan artıklarının payı %2.3'te kalmıştır. Odunun bir biyokütle kaynağı olarak işlenmesindeki en yaygın kullanım şekli pirolizdir. Piroliz oksijensiz bir ortamda ve yüksek sıcaklıkta yapılır. Piroliz sırasında odun kömürü ile asetik ve formik asit metanol, aseton ve formaldehit gibi ürünler de elde edilmektedir. Pirolizin verimli olabilmesi için odunun tamamen kuru olması ve 150-200°C'a kadar ön ısıtmaya yapılması gereklidir.

Günümüzde bazı ülkelerde bitkilerden elde edilen etil alkol ve metil alkol petrol ürünleri yerine kullanılmaya başlanmıştır. Etil alkol, metil alkole göre daha çok tercih

edilmektedir Metil alkolün üretilmesi ve kullanılması bazı sorunlara sebebiyet vermektedir.

1.1.1.2. Hayvansal kaynaklar

Hayvansal atıkların geneline gübre adı verilir. Hayvansal gübrenin samanla karıştırıldıktan sonra açık bir ortamda kurutulmasına tezek adı verilir. Tezek yıllardır kırsal bölgelerde ısınma amacı ile kullanılır.

Gübreden oksijensiz bir ortamda fermentasyon yoluyla biyogaz elde edilir. Dünyada epeyce yaygın olan bu yöntem ülkemizde de yavaş yavaş yaygınlaşmaya başlamıştır. Atıklardan metan oluşması bakteriler tarafında ve 2 adımda gerçekleşmektedir. İlk olarak organikler, asit bakterileri yardımıyla uçucu yağlı asitlere dönüşür. Daha sonra ise üreyen bu asitler metan bakterileri yardımı ile metan haline gelir. Böylece metan, karbondioksit, az miktarda da hidrojen, sülfür ve su oluşur.

Biogazın ısı değeri içinde bulundurduğu metana bağlı olarak değişir. Biyogaz üretimi yaparken kesikli besleme yöntemi ile, fermentasyon tankı içerisine taze gübre verilir ve tanka kesinlikle hava girmemesi gerekmektedir. Tank bu şekilde kapatılır. Oksijensiz bir ortamda fermentasyon yolu ile elde edilen biyogaz, boru yardımıyla gazometre kabına aktarılır. Tankın içine ilk gübre eklendikten 15 gün sonra biyogaz üreilmeye başlanır ve 60 gün kadar sürer. Bu süre sonucunda da verim git gide azalır. Bu sebeple yeniden taze gübre eklenmesi gereklidir.

Araştırma sonucunda fermente edilen gübrenin edilmeyen gübreyle oranla %25 daha verimli olduğu ortaya çıkmıştır.

1.1.1.3. Şehir ve endüstri atıkları kaynakları

Şehir ve endüstri atıklarının geneline çöp de denilebilir. Çöplerin depolandığı yerlerde ve evsel atık su arıtma çamurları organizmalar tarafından ayrıştırılır ve metan gazına dönüştürülür. Ancak metan gazı çevreye zarar verir ve sera etkisinin oluşmasında etkilidir. Bu sebeple sondaj borularıyla kontrol altına alınarak belirli bir bölgede toplanmaktadır. Toplanan gazlar önce arıtılıp sonra gaz jeneratörüne gönderilir. Gaz

jenaratöründen de elektrik üretilir. Bir başka uygulama alanı ise doğalgaz sistemleridir. Ancak gazın temizlenme işlemi maliyetli olduğu için pek tercih edilen bir uygulama değildir. Ayrıca otomobillerde yakıt olarak ve saf metan olarak kimya sanayinde kullanılabilir.

Çöplerin içerisindeki bileşenler; metan, karbondioksit, nitrojendir. Türkiye'nin ilk çöp gaz santrali Bursa Demirtaş'ta kurulmuştur. Maliyeti 2 milyon dolardır ve 1.4 MW gücündedir. Santralden yılda yaklaşık 10 milyon kW/h elektrik üretimi yapılması planlanmaktadır.

1.2. Tatlı Sorgum Bitkisi

Tatlı Sorgum bitkisi, bilimsel adı *Sorghum bicolor* L. Moench olan Gramineae familyasından C4 fotosentezine sahip tek yıllık bir enerji bitkisidir. C4 karbon tutulumu mekanizması bitkilerin fotosentezleri sırasında karbondioksiti tutan ve şeker oluşturan biyokimyasal mekanizmalardan biridir. Orta seviyeli bileşikler 4 karbon atomu içerir, bu yüzden C4 bitkileri olarak isimlendirilirler.



Şekil 1.5. Tatlı sorgum (Bitkicenter, 2019)

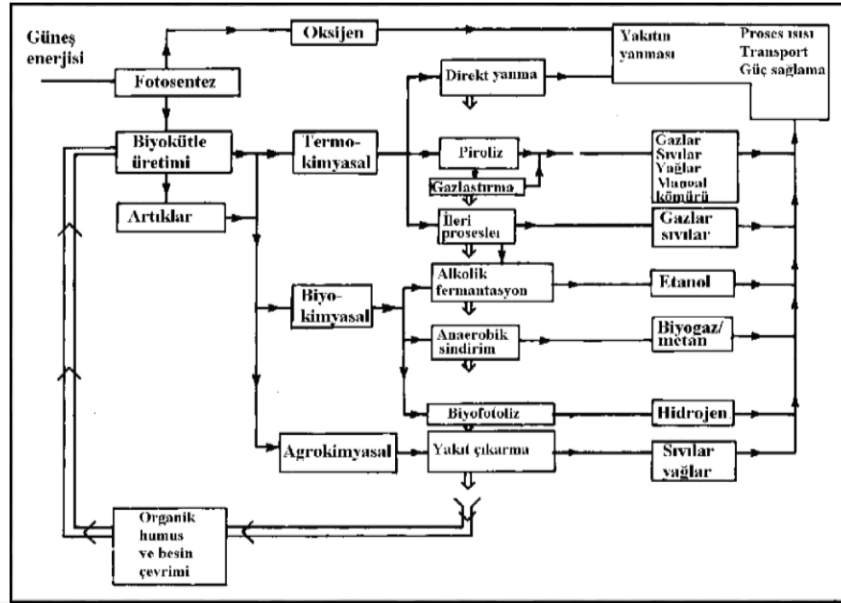
Şekil 1.5'te tatlı sorgum bitkisi gösterilmektedir. Orijini Kuzey ve Doğu Afrikadır. Yüksek büyüme hızına sahiptir. Aynı zamanda çok etkili bir kök sistemine sahiptir. Bu kök sistemi sayesinde kuraklığa dayanıklıdır ve su gereksinimi düşüktür. Enerji bitkisi olmasının dışında, konsantre şurup olarak iyi bir şeker kaynağıdır. Bunların dışında insan beslenmesinde ve hayvan yemi olarak da kullanılabilir. Tatlı

sorgum sapında, içerdği şeker nedeniyle, 150 yılı aşkın süredir bilimsel araştırmaların konusu olmuştur. Tatlı sorgum, dünyada özellikle diğer şeker kaynaklarının üretiminin zor ve imkansız olduğu alanlarda önem kazanmıştır. Yüz yılı aşkın süredir de konsantre şurup üretiminde kullanılmaktadır. Dünyada 1973 ve 1976 yılları arasında yaşanan petrol krizleri, enerji ve taşımacılık gibi stratejik sektörleri, petrol bağımlılıklarını azaltmak için alternatif yakıt arayışı içine sokmuştur. Yakıt ve yakıt katkıları olarak kullanmak için etil alkol (etanol) elde edilebilen tatlı sorgumun, ticari olarak üretilmesi yeniden gündeme gelmiştir. Brezilya 1975’de, öncelikle tatlı sorgumdan alkol üretimi amacıyla ulusal bir alkol programı ortaya koymuştur. Program gereği olarak, 1987’de 3 milyona yakın alkolle çalışan otomobil için, tatlı sorgumdan yaklaşık 14 milyon m³ alkol üretimi gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmalara göre, 1 dekar alanda yetiştirilen tatlı sorgumdan, yaklaşık olarak 700-1200 kg şeker üretilebilmektedir. Elde edilen şeker, fermantasyon yoluyla, etil alkole dönüştürülerek, enerji elde etmek için de kullanılabilir. Tatlı sorgumdan yılda, dekar başına 200-300 kg petrol eşdeğeri etil alkol ve şekeri alınmış posa kısmından ise, 600-900 kg petrol eşdeğeri yakıt elde edilebilmektedir. Posasının enerji değeri yaklaşık olarak 15 900–18 000 kJ/kg’dır. Mısır, şeker kamışı ve şeker pancarına göre 1/2-1/3 oranında daha az gübre ve sulama gibi girdilere ihtiyaç duyması; tatlı sorgumun bu bitkiler ile olan rekabet şansını artırmaktadır. Bu ucuz maliyet, yenilenebilir enerji kaynağı olarak tatlı sorgumun önemini daha da artırmaktadır.

Biyokütle enerjisi, karbon içeren her türlü bitkisel ve hayvansal atığın yakılmasıyla elde edilmektedir. Enerji üretme prensipleri termik santrallerle aynıdır. Temel farklılıkları yakıt türleridir. Günümüzde Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin %2-3’ü biokütleden karşılanmaktadır. Dünya Enerji Konseyi raporlarında 2020 yılında göre modern biokütle ile sağlanacak enerji; Jeotermal enerjinin 6.4 katı, rüzgar enerjisinin 2.6-3 katı, güneş enerjisinin 1.6-2.2 katı olabilecektir. Biyokütle enerjisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

1.3. Biyokütlenin Enerjiye Dönüştürülmesi

Biyokütle organik maddelerden ve sudan oluşmaktadır. Şekil 1.6’da biyokütleden biyoyakıt üretim üretim işlemleri sırasıyla gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Biyokütleden biyoyakıt üretim sıralaması (Çetiner, 2019)

Biyokütleden enerji üretirken dikkat edilmesi gereken unsurlar; ekonomik olması, yenilenebilir kaynaklardan üretilmesi, doğanın denge ve bütünlüğüne zarar vermemesi ve çevre kirliliğine yol açmaması olarak sıralanabilir. Enerjiye dönüştürürken kullanılan sistemin hızlı ve kolay bir şekilde uygulanabilmesi gerekmektedir. Atıkların en kolay ve en çabuk bir şekilde enerjiye dönüştürülmesi ancak onları direkt yakma ile mümkündür. Bu da çevre kirliliği demektir. Ayrıca bu enerjinin sürekli olması gerekmektedir.

Direkt yakma işleminin iki alternatifi vardır. Bu işlemler piroliz ve gazlaştırma işlemleridir. Bu işlemler sayesinde katı yakıtlar sıvı ve gaz yakıtlara dönüşebilmektedir. Ayrıca işlem sonunda cüruf ve kül dışında hava ile belirli bir basınç altında yanar gaz üretilmektedir. Bu gaz teknoloji alanında da kullanılabilir ancak bazı özelliklerin bilinmesi çok önemlidir. Bu özellikler nem oranı, karbon/nitrojen oranı (C/N)'dır.

Biyokütle içerisinde %35'ten fazla su bulunduruyor ise elektrik üretimi için uygun olmamaktadır. Ancak içinde yüksek oranda şeker var ise alkol ve anerobik fermantasyon için uygun olmaktadır. Bu oranların yanında parça büyüklüğü de dikkat edilmesi gereken bir konudur. Yakma işlemi için nem oranının %8 ile %15 arasında olması uygundur. Parça boyutu ise örneğin ocak ateşi ve pişirme sobasına göre

farklılık göstermektedir. Ocak ateşinde 50-100 cm arası değişirken, pişirme sobasında 15-35 cm idealdir.

Gazlaştırma işleminde nem oranı çok önemlidir ve iyi ayarlanması gerekir. Kurutma işlemi ile içindeki nem miktarı ayarlanabilir.

1.4. Biyokütlenin Termal Parçalanması

Biyokütlenin termal parçalanması üç farklı yöntem ile gerçekleştirilmektedir.

1.4.1. Piroliz

Oksijensiz bir ortamda organik maddelerin ısıtılması ile ortaya çıkan termal parçalanmaya piroliz adı verilmektedir. Oksijensiz bir ortamda 500-600°C dereceye kadar yapılan ısıtmada; gaz bileşenleri, uçucu maddeler kül açığa çıkmaktadır. Daha da yüksek sıcaklığa çıkılırsa ise gazın içindeki bileşenler ve odun gazı açığa çıkmaktadır. Odunun pirolizi 4 ana bölgeye ayrılmaktadır.

- 1) Birinci Bölge: 200°C'a kadar
- 2) İkinci Bölge: 200-280°C arası
- 3) Üçüncü Bölge: 280-500°C arası
- 4) Dördüncü Bölge: 500°C'in üstü

Birinci bölgede su, CO₂, formik asit ve asetik asit açığa çıkar. İkinci bölgede su buharı, formik asit, asetik asit, bir miktar CO ve glioksal açığa çıkar, reaksiyon hala endotermiktir ve gazların büyük bir kısmı yanamaz haldedir. Üçüncü bölgede yoğun bir ekzotermik reaksiyon başlar. 280-400°C arasında yaklaşık 880 kJ/kg ısı açığa çıkarak, yanabilir gazlar CO ve CH₄ olup formaldehid, formik ve asetik asit, metanol ve sonraki aşamada bir miktar H₂ açığa çıkmaktadır. Küçük katran damlaları gaz akımı ile nakil edilir. Dördüncü bölge burada reaksiyonlar yoğun olarak devam eder. Yüksek sıcaklıkta yanabilen maddeler, CO, H₂, metanol ve aseton oluşur. Karbonla su buharının temasından da CO ve H₂ elde edilmektedir. (Olgun, Doğru, Howarth; 2000)

1.4.2. Karbonlaştırma

Bu işlemde; organik maddeler havasız bir ortamda kimyasal parçalanmaya başlarlar. Bu işlem de farklı sıcaklık bölgelerinde gerçekleşir. Su yaklaşık 170°C dereceye buharlaşır. 180°C derece ve daha yüksek sıcaklıklarda odun bileşenleri parçalanmaya başlar. 200-350°C sıcaklıklar arasında ekzotermik boşalma reaksiyonları meydana gelerek asetik asit, katran, CO, metanol ve su açığa çıkar. 350°C' nin üstündeki sıcaklıklarda da ek katran ürünleri oluşmaktadır. 500°C'in üstündeki sıcaklıklarda çatlama süreci ve dehidrasyon tepkimeleri oluşmaktadır. Odunun cinsine ve karbonlaştırma işleminin sıcaklığına göre ortaya çıkan odun kömürü kuru odunun yaklaşık %28-38'i arasında değişiklik göstermektedir. Odun kömürünün kalori değeri 30kJ/kg' dır.

Gaz bileşenlerinin karbonlaşma işlemi sonucu yüzde olarak değerleri yaklaşık olarak %50 CO₂, %35 CO, %10 CH₄ ve %5 hidrokarbon ve H₂'dir. Gaz karışımının yaklaşık kalori değeri 8.9 MJ/m³'dür. Odunun karbonlaştırılmasındaki sıvı ürünler ise sulu kısım ve katrandır. (Olgun, Doğru, Howarth; 2000)

1.4.3. Gazlaştırma

500°C sıcaklığa kadar olan süreç piroliz evresi olup; karbon, gazlar ve katran elde edilmektedir. Isıtma işlemi 1000°C'a kadar çıktığında ise karbon da su buharı ile tepkimeye girer ve CO ve H₂ üretilir. Bu işlemde nem oranının %30'u geçmemesi önemlidir. Nem oranı ile gazın kalorifik değeri ters orantılıdır. Hacimsel olarak CO ve CO₂ miktarı da nem oranı ile gazın kalorifik değeri gibi ters orantılıdır.

Kömür ve biyokütlenin gazlaştırılması çok eskiden beri bilinen bir teknolojidir. İşlem sonucunda ortaya çıkan yanabilir gaz karışımı, içten yanmalı motorlarda benzin ve dizel yakıt olarak kullanılabilir.

Benzin ve motorin ile karşılaştırıldığında daha ucuz ve güvenilir bir yakıt olmasına rağmen yıllarca motorlarda kullanılmamıştır. Ancak benzinin daha bulunmadığı yıllarda ve özellikle de II. Dünya savaşı sırasında oldukça fazla kullanılmıştır. Burada nispeten daha az tercih edilmesindeki en önemli faktör; petrol mamullerine göre

retilmesi ve depolanmasının daha zor olması, gaz üretilen sistemlerin çalışabilmesi için farklı üniteler gerekmesidir.

Gazlaştırıcı bir sistemde en önemli problem gaz üretmek değildir. Üretilmiř olan gazın motorların (içten yanmalı) kullanabileceği biçimde hem fiziksel hem de kimyasal özelliklerini sağlaması gerekmektedir. Petrol kökenli yakıtlar sıvı halde emilmektedir ve homojendir. Ayrıca hem kimyasal hem de fiziksel özellikleri zamanla değişiklik göstermez. Benzin ve dizel motorlarının ihtiyaı olan petrol kökenli yakıt bir depodan sıvı halde emilir. Bu yakıtlar homojen olup bileşenleri zamanla değişmez. Bu sebeple motorlarda yakılmasında ve sistemin çalıştırılmasında bir problem oluşturmaz. Ancak gazlaştırıcıda üretilen yanabilen homojen değildir ve zamanla gazın fiziksel ve kimyasal özellikleri değişiklik gösterebilir. Gazlaştırıcı ile içten yanmalı motor arasında bir depolama tankı yoktur. Üretilen gazın yakılmadan önce iyice temizlenmesi gerekmektedir.

Son yıllarda üretilen bu gazlar başarılı bir şekilde motor uygulamalarında kullanılabilinmektedir. Artık motor üzerinde yapılacak küçük değişiklikler ile içten yanmalı motorlarda da kullanılabilmesi mümkündür.(Olgun, Doğru, Howarth; 2000)

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Bassam (1998), “Energy Plant Species: Their Use and Impact on Environment and Development” adlı çalışmasında biyokütle enerjisinin gelişmekte olan ülkelerde yenilenebilir enerji kaynağı olarak kullanılmaya başlandığını ve oldukça önem taşıdığını anlatmaktadır. Enerji kaynaklarımızı hangi ürünlerin oluşturduğunu, üretimi arttırmak için neler yapılabilir, ülke ve kalkınmaya etkilerini işlenmiştir. Ayrıca bu çalışma tüm potansiyel enerji mahsullerini kapsamaktadır. Her ana tür için kısa bir açıklama vermektedir. Ekolojik gereklilikleri, üretim yöntemlerini, mahsul yönetimini, rotasyonu ve üretimini, hasat, taşıma ve depolama, işleme ve kullanım yöntemlerini ana hatlarıyla belirtir.

Öztürk ve Eren (2011), “Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum Üretiminde Enerji Kullanımı” adlı çalışmalarında, kuru biyokütle üretmek amacı ile, tatlı sorgum üretiminde kullanılan enerji girdi ve çıktıları belirlenerek, üretimin enerji etkinliğinin saptanması amaçlanmıştır. Buna göre enerji etkinliği; enerji üretkenliği, özgül enerji, enerji verimliliği, ve net enerji üretimi değerlerine bağlı olarak belirlenmiştir. Çalışma sonucunda belirlenen bulgulara bağlı olarak, mevcut üretimin iyileştirilmesine yönelik çözüm önerileri sunulmuştur. Tatlı sorgum üretiminde, 9135 kg/ha kuru biyokütle verimi için, enerji verimliliği 11.38, özgül enerji 1.63 MJ/kg, enerji üretkenliği 0.61 kg/MJ ve net enerji üretimi 154391.27 MJ/ha olarak hesaplanmıştır.

Karayilmazlar, Saraçoğlu, Çabuk ve Kurt (2011), “Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi” adlı çalışmalarında Dünyadaki nüfusun git gide artması ve gelişen teknolojiyle birlikte enerjiye olan ihtiyaç günden güne artmaktadır. Bu ihtiyaç yeni enerji kaynakları arama ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Bu bağlamda şu anki enerji kaynaklarına ek olarak biyokütle enerjisi bu soruna alternatif çözümler aranmıştır. Biyokütle enerjisi çevreye zarar vermeyen, sürdürülebilir ve yenilenebilir enerji üretimi ve çevre yönetimini sağlayan, sosyal-ekonomik kalkınmayı hedefleyen özellikleri ile dünyada geniş çaplı bir uygulama alanı bulmuştur. Böylece ülkemizde de biyokütlenin enerji üretiminde değerlendirilmesi konusu önem kazanmıştır. “Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi” adlı çalışmalarında biyokütle yetiştiriciliğinin ülkemizdeki potansiyeli hakkında bilgiler verilmiştir ve bu

kapsamda biyokütlenin enerji üretiminde nasıl değerlendirilmeli sorusu cevaplanmıştır.

Yapraklı ve Bayramoğlu (2014), “Biyokütle Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Etkileri: TRA1 Bölgesi Üzerine Bir Saha Araştırması” adlı çalışmalarında bir biyokütle santralinin çevreye etkilerini araştırmışlardır. Bu çalışma TRA 1 bölgesi üzerinde yani Erzincan, Erzurum ve Bayburt illerinde yapılmıştır. Bu çalışmaya göre İlave gelir artışı, İstihdam artışı, Toprak Verimliliğinin Artması, Atıkların Taşınması Depolama ve Nakliye gibi Hizmet Sektörlerinin Gelişimi ve Dışarıya Göçün Azalması gibi onularda minimum %40’ın üzerinde olumlu etkilere ulaşmışlardır.

Kaya ve Koç (2015), “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi” adlı çalışmalarında, Türkiye’de enerji üretimi ve enerji santralleri maliyetleri ile ilgili genel bir değerlendirme yapılmıştır. Bu amaçla, Türkiye’de elektrik enerjisi üretimi değerlendirilmiş olup, Türkiye’nin 2014 yılı Ekim ayı sonu itibarıyla kurulu gücü, Türkiye’de inşa halindeki enerji santralleri ve Türkiye’nin enerji santral hedefleri incelenmiştir. Enerji üretim maliyetlerine etki eden faktörler (santralin kuruluş maliyeti, işletme-bakım maliyeti vb.) araştırılmış, santrallerin birim enerji üretim maliyetleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre, Santral tiplerinin sabit işletme maliyetleri değerlendirildiğinde, en yüksek olan santraller sırasıyla, biyokütle enerji santrali (105.63 \$/kW-yıl), jeotermal enerji santrali (100 \$/kW-yıl) ve nükleer santral (93.28 \$/kW-yıl); düşük olan santraller ise sırasıyla, doğalgaz yakıtlı termik santral (13.17 \$/kW-yıl), hidroelektrik santral (14.13 \$/kW-yıl) ve güneş enerji santrali (24.69 \$/kW-yıl) şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Santral tiplerinin değişken işletme maliyetleri değerlendirildiğinde ise değişken işletme maliyeti yüksek olan santraller biyokütle enerji santrali (5.26 \$/MWh) ile kömür yakıtlı linyit santral (4.47 \$/MWh), düşük olan santraller ise nükleer santral (2.14 \$/MWh) ile doğalgaz yakıtlı linyit santral (3.6 \$/MWh) olduğu belirlenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasının teorik çalışmalar kısmında; çalışmayla ilgili genel kabuller, sistemde etkili büyüklükler, sistemin çalışma prensibi ve sistemin güç üretimi akış şeması detaylı olarak çalışılmıştır.

3.1. Genel Kabuller

Bu tez çalışması kapsamında, sistemde gerekli olan gücün üretilebilme şartlarına bağlı olarak uygun kabuller yapılmıştır. Bu kabuller aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. Tasarlanan sistem için hesaplamalar, bu biyokütle santrali için enerji kaynağı olarak düşünülen Tatlı Sorgum bitkisinin Trakya Bölgesi'nde yetiştirileceği varsayılarak hesaplamalar bu doğrultuda yapılmıştır.
2. Üretim kapasitesi 5 MW olan bir biyokütle enerji santrali incelenmiştir.
3. Enerji kaynağı olarak kullanılan tatlı sorgum bitkisinin kalorifik değeri 3801 kcal/kg olarak alınmıştır.
4. Sistemin yıllık 7500 saat çalışacağı varsayılmıştır.
5. 1 Dekar alanda 1.5 ton tatlı sorgum bitkisinin yetiştirileceği kabul edilmiştir.

3.2. Biyokütle Santrali Çalışma Prensibi

Organik maddeyi enerjiye dönüştürürken kullanılan en yaygın yollardan biri de yanma işlemidir.

Yanan maddeler, elektrik üretmek için kullanılan şaftları döndürmek için kullanılabilen, ısı şeklinde depolanmış kimyasal enerjiyi serbest bırakır. “Biyokütleden nasıl elektrik üretilir?”e dair işlemler aşağıdaki şekildedir.

1. Enerji güneşten gelir, bitkilere aktarılır sonra da depolanır. Bitkiler kesildiğinde ya da öldüğünde, saman ve diğer bitki maddeleri Bunker makinesine konulur.
2. Bunlar, buharı serbest bırakarak kazandaki suyu ısıtmak için yakılır.
3. Oluşan buhar boruların yardımı ile buhar türbinlere yönlendirilir.
4. Buhar jeneratörlerdeki kanatları döndürür.

5. Türbinin dönmesi sonucunda oluşan elektrik enerjisi daha sonra kullanılmak için şebekeye gönderilir.

3.2.1. Biyokütle enerjisinin faydaları

- Organik maddeler tükenme tehlikesi ile karşı karşıya değildir,
- Kırsal bölgelerde sosyal ve ekonomik olarak katkı sağlar,
- Zararlı gazların salınımını azaltarak çevreye zarar vermesine engel olur,
- Her yerde yetiştirilebilir,
- Fosil yakıtlara göre maliyeti düşüktür,
- Yerli ekonomiye destek verir,
- Güvenlidir.
- Çevre kirliliği oluşturmaz.
- Depolanabilir.
- Sera etkisi oluşturmaz.
- Asit yağmurlarına neden olmaz.
- Gelişmekte olan ülkeleri için büyük bir problem olan kırsal bölgelerden büyük kentlere göçü engellemek mümkün olabilir.

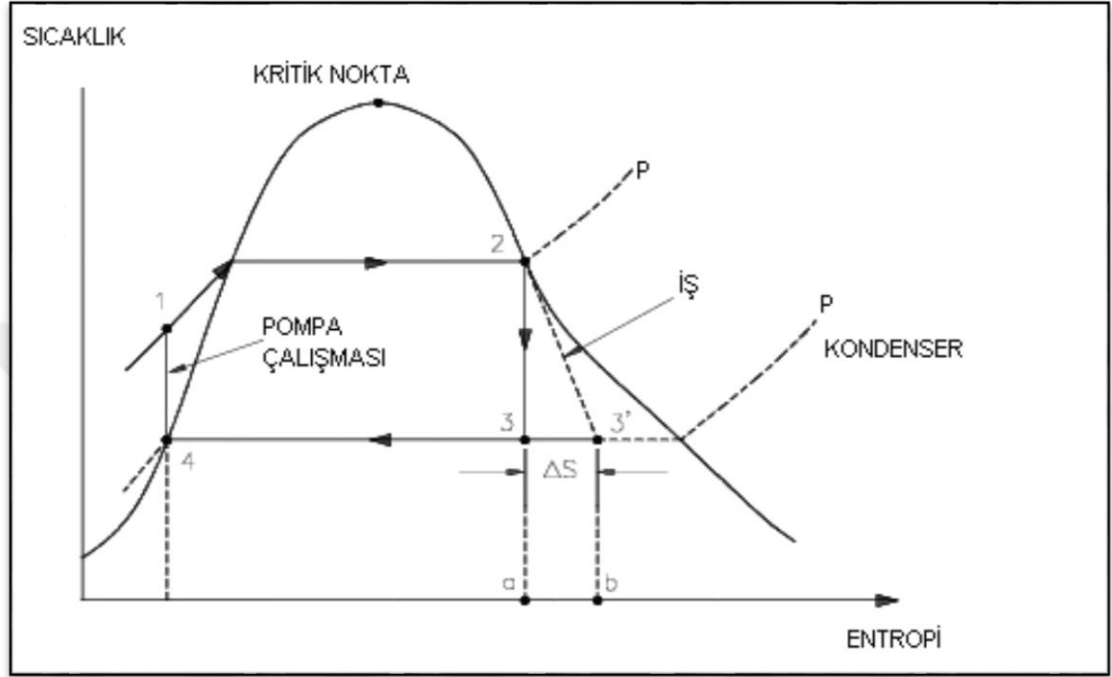
3.2.2. Biyokütle enerjisinin zararları

- Tamamı ile temiz değildir,
- Su ihtiyacı fazladır,
- Fosil yakıtlar ile kıyaslandığında verim olarak daha düşüktür.

3.3. İdeal Rankine Çevrimi

Adını William John Macquorn Rankine'den alan rankine çevrimi termodinamik bir çevrimdir. Maksimum verimi de diğer çevrimler gibi, Carnot çevriminin de maksimum verimli olması ile elde edilmektedir. Buhar kullanan enerji santralleri için en ideal çevrim rankine çevrimidir. Suyun kızgın buhar haline gelmesi ve tekrar kondenserde doymuş sıvı haline gelmesi Carnot çevriminde uygulamada karşılaşılan zorlukları da ortadan kaldırır. Bu çevriminin aşamaları dört adımda gerçekleşir, her bir adımda çalışma akışkanının hal değişimleri gösterilmiştir. Rankine çevriminde

şartların ideal şartlar olduğu varsayılır. Ancak gerçek şartlarda çevrimin pompa ile sıkıştırma ve türbinde genişleme aşamaları izentropik değildir. Bu aşamalarda izentropide artış meydana gelir. Bundan dolayı gerçekte pompa için gereken güç ihtiyacı artar ve türbinden elde edilen iş azalır.



Şekil 3.1. İdeal rankine çevrimi t-s diyagramı (Anonim, 2019c)

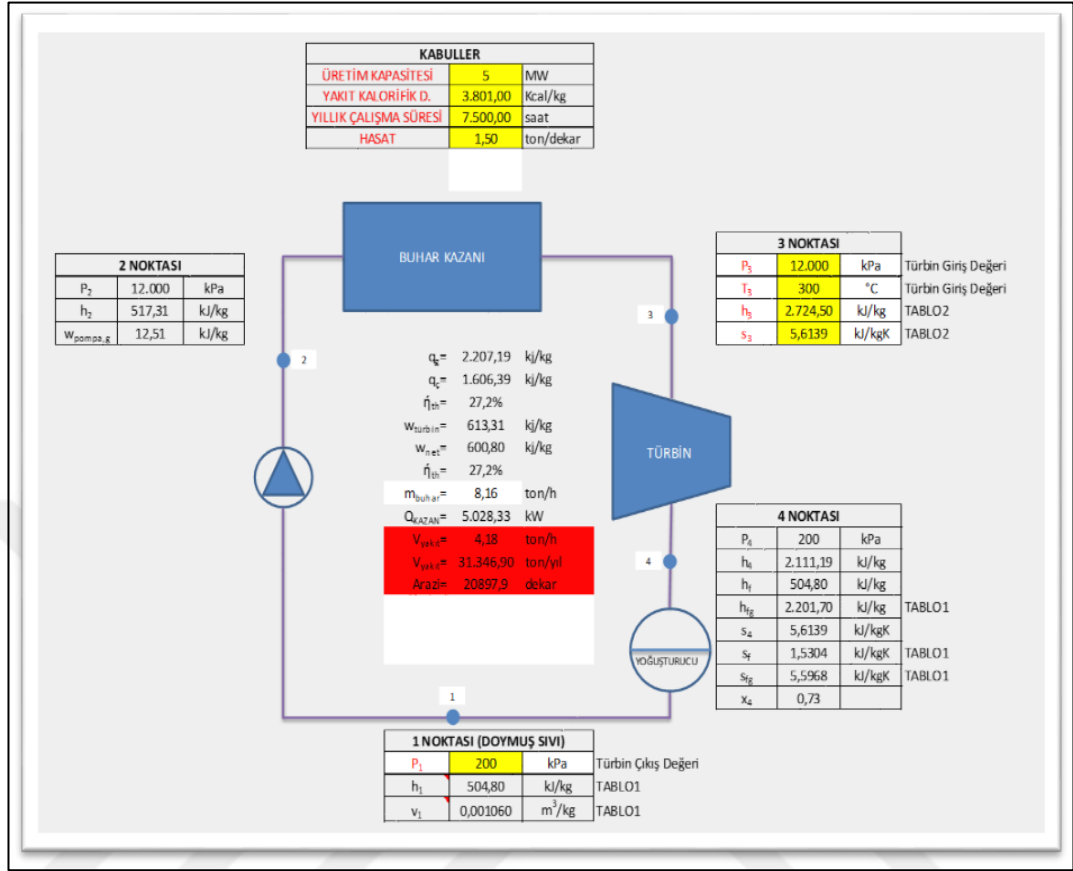
4-1 İlk olarak çalışma akışkanı, düşük basıncı, yüksek basınca pompalanır. (İdeal şartlarda ve izentropik olarak) Pompalamak için güce ihtiyaç duyulmaktadır. (Örnek olarak elektrik veya mekanik güç)

1-2 Yüksek basınca sahip olan sıvı önce ısıtıcıya girer, sonra bir dış ısı kaynağıyla sabit basınç altında kızdırılmış buhar haline gelene kadar ısıtılır. Genel olarak bir dış ısı kaynağı olarak, kömür veya doğal gaz kullanılır.

2-3 Kızgın buhar, türbin boyunca genişler. Daha sonra güç çıkışı oluşur. (İdeal şartlarda izentropik genişleme) Bu olayda buhar basınç ve sıcaklık kaybeder.

3-4 Buhar daha sonra kondensere girerek, doymuş sıvı haline gelene kadar soğutulur. Soğuyan sıvı tekrar pompaya girer ve çevrim yinelenir.

3.4. İdeal Rankine Çevrimine Göre Çalışan Bir Güç Santralinin Akış Şeması



Şekil 3.2. İdeal rankine çevrimi

3.5. 5 MW Kapasiteli bir Biyokütle Santrali için Yapılan Hesaplamalar

Çizelge 3.1. Kabuller

KABULLER		
ÜRETİM KAPASİTESİ	5	MW
YAKIT KALORİFİK D.	3801	Kcal/kg
YILLIK ÇALIŞMA SÜRESİ	7500	saat
HASAT	1.50	ton/dekar

1 NOKTASI (DOYMUŞ SIVI)

P_1 = Türbin çıkışında doymuş sıvının basıncı (kPa)

h_1 = Türbin çıkışında (200 kPa) doymuş sıvı entalpisi (kJ/kg)

v_1 = Türbin çıkışında (200 kPa) doymuş sıvının özgül hacmi (m³/kg)

2 NOKTASI (SIKIŞTIRILMIŞ SIVI)

$$W_{\text{pompa,g}} = v_1 \times (P_2 - P_1) \quad (3.1)$$

Yukarıdaki denklemde pompada yapılan iş özgül hacmin pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvı basıncından türbin çıkışında doymuş sıvının basıncının çarpılması ile bulunur.

$W_{\text{pompa,g}}$ = Pompada yapılan iş (kJ/kg),

P_2 = Pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvı basıncı (kPa)

h_2 = Pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvının (12000 kPa basınçta) entalpisi (kJ/kg)

$$h_2 = h_1 + W_{\text{pompa,g}} \quad (3.2)$$

Pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvının (12000 kPa basınçta) entalpisi (3.2) denklem ile tanımlanmıştır. Türbin çıkışında (200 kPa) doymuş sıvı entalpisi ile pompada yapılan iş toplanır.

3 NOKTASI (KIZGIN BUHAR)

P_3 = Türbin girişinde kızgın buharın basıncı (kPa)

T_3 = Türbin girişinde kızgın buharın sıcaklığı (°C)

h_3 = Türbin girişinde (12000 kPa basınçta, 300 °C) kızgın buharın entalpisi (kJ/kg)

s_3 = Türbin girişinde (12000 kPa basınçta, 300°C) kızgın buharın entropisi (kJ/kg.K)

4 NOKTASI (DOYMUŞ SIVI-BUHAR KARIŞIMI)

$$x_4 = \frac{(S_4 - S_f)}{S_{fg}} \quad (3.3)$$

h_4 = Türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının entalpisini bulabilmek için (3.3) denklemde x_4 bulunmalıdır.

$$h_4 = h_f + x_4 \times h_{fg} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklem ile (3.4) türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının entalpisini bulabilmek için önce türbin çıkışında doymuş sıvı-buhar karışımının entalpisi x_4 ile çarpılır sonra türbin çıkışında doymuş sıvı entalpisi ile toplanır.

P_4 = Türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının basıncı (kPa)

s_4 = Türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının entropisi (kJ/kg.K)

s_f = Türbin çıkışında (200 kPa basınçta) doymuş sıvı entropisi (kJ/kg.K)

s_{fg} = Türbin çıkışında (200 kPa basınçta) doymuş sıvı-buhar karışımının entropisi (kJ/kg.K)

h_{fg} = Türbin çıkışında (200 kPa basınçta) doymuş sıvı-buhar karışımının entalpisi (kJ/kg)

h_f = Türbin çıkışında (200 kPa basınçta) doymuş sıvı entalpisi (kJ/kg)

$$q_g = h_3 - h_2 \quad (3.5)$$

Sisteme verilen enerji yukarıdaki denklem ile (3.5) türbin girişinde kızgın buharın entalpisi ile pompa çıkışında sıkıştırılmış sıvının entalpisi arasındaki farktan hesaplanır.

q_g = Sisteme verilen enerji (kJ/kg)

$$q_{\phi} = h_4 - h_1 \quad (3.6)$$

Sistemden elde edilen enerji yukarıdaki denklem ile (3.6) türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının entalpisi ile türbin çıkışında doymuş sıvı entalpisi arasındaki farktan bulunur.

$$W_{\text{türbin}} = h_3 - h_4 \quad (3.7)$$

Türbinde yapılan iş yukarıdaki (3.7) denklem ile türbin girişinde kızgın buharın entalpisinden türbin çıkışında doymuş sıvı buhar karışımının entalpisi çıkarılarak bulunur.

$$W_{net} = W_{turbin} - W_{pompa,g} \quad (3.8)$$

Yukarıdaki denklemde (3.8) elde edilen net iş türbinde yapılan işten pompada yapılan iş çıkarılarak bulunur.

q_{ϕ} = Sistemden elde edilen enerji (kJ/kg)

W_{turbin} = Türbinde yapılan iş (kJ/kg)

W_{net} = Elde edilen net iş (kJ/kg)

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{q_g} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki denklemde (3.9) sistem verimi elde edilen net işin sisteme verilen enerjiye oranı ile bulunur.

η_{th} = Sistem verimi (%)

m_{buhar} = Buharlı güç santralının buhar kapasitesi ton/h

Q_{kazan} = Katı yakıtlı buhar kazanının kapasitesi (kW)

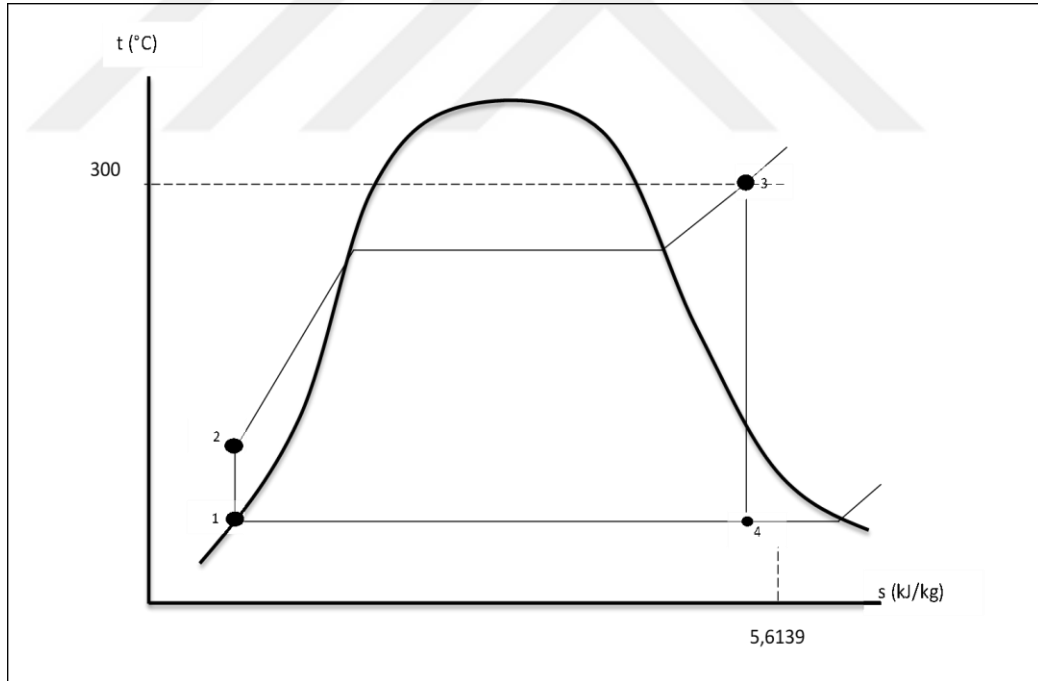
$v_{yakıt}$ = Buhar kazanı katı yakıt miktarı (ton/h)

Çizelge 3.2. Değerler

P_1	200 (Türbin giriş değeri)	kPa
h_1	504.80	kJ/kg
v_1	0.001060	m ³ /kg
P_2	12000	kPa
$W_{pompa,g}$	12.51	kJ/kg
h_2	517.31	kJ/kg
P_3	12000 (Türbin giriş değeri)	kPa
T_3	300 (Türbin giriş değeri)	°C
h_3	2724.50	kJ/kg
s_3	5.61	kJ/kg.K
P_4	200 (Türbin giriş değeri)	kPa
s_4	5.61	kJ/kg.K

Çizelge 3.2. Değerler (Devam)

h_4	2111.19	kJ/kg
s_f	1.53	kJ/kg.K
s_{fg}	5.60	kJ/kg.K
h_{fg}	2201.70	kJ/kg
h_f	504.80	kJ/kg
q_g	2207.19	kJ/kg
q_{ϕ}	1606.39	kJ/kg
$W_{\text{turbın}}$	613.31	kJ/kg
W_{net}	600.80	kJ/kg
η_{th}	27.2	%
m_{buhar}	8.16	ton/h
Q_{kazan}	5028.33	kW
$V_{\text{yakıt}}$	31346.90	ton/yıl
Arazi	20897.90	dekar



Şekil 3.3. İdeal rankine çevrimi t-s diyagramı

3.6. Projenin Ekonomik Analizi

Çizelge 3.3. Projenin ekonomik analizi

GİDERLER				
AÇIKLAMA	MİKTAR	BİRİM	BİRİM FİYAT USD	TUTAR USD
TESİS İLK YATIRIM GİDERİ				
BUHAR TÜRBİNİ	1	set	1.457.029.37	1.457.029.37
BUHAR KAZANI				
ATIK ISI KAZANI				
BACA VE FİLTRE GRUBU				
BORU DEVRESİ				
KABLO DEVRESİ				
ELEKTRİK KUMANDA ELEMANLARI				
ENERJİ BİTKİSİ ÜRETİMİ İLK YATIRIM GİDERİ				
ARAZİ + İNŞAAT MALİYETİ	1	set	342.657.34	342.657.34
TOHUM	1	set/yıl	50.000	50.000
DAP GÜBRESİ				
ÜRE				
TESİS İŞLETME GİDERİ				
Tesis Müdürü/İşletme Mühendisi	1	Kişi/yıl	36.000	36.000
Bakım Teknisyenleri	4	Kişi/yıl	12.000	48.000
Zıraat Mühendisi		Kişi/yıl		
Tarım Arazisi Sorumlusu (Kahya)	1	Kişi/yıl	12.000	12.000
Hasat Maliyeti	1	set/yıl	75.000	75.000
Nakliye ve Sevkiyat Maliyeti	1	set/yıl	75.000	75.000
Yıllık Bakım Maliyeti	1	set/yıl	15.000	15.000
Tesis Enerji ve Yaşam Maliyetleri	1	set/yıl	30.000	30.000
				2.140.686.71

1 Dolar = 5.2366 TL (05.02.2019 Tarihli merkez bankası dolar kuru)

Toplam yatırım maliyeti = 11 209 920.04 TL

Proje yıllık mali kazanç;

Saatlik elektrik üretimi = 850 kWh

Yıllık çalışma saati = 7500 (h)

Yıllık üretim = 6 375 000 kWh/yıl

Elektrik satışı = 6375 MWh/Yıl

Elektrik satış birim fiyatı = 133 \$/MWh

Yıllık mali kazanç = 847 875 \$/yıl

Yıllık mali kazanç = 4 439 982.225 TL/Yıl

Basit geri ödeme süresi = 2.52 Yıl

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Ülkemizde biyokütle ile elektrik üretimi yapan santrallerde yakıt olarak genellikle evsel atıklar, ayçiçeği, kolza, kanola, mısır, şeker pancarı, şeker kamışı ve hayvansal atıklar kullanılmaktadır. Proje konusu biyokütle tatlı sorgum bitkisi ise ülkemiz iklim şartları uygun olmasına rağmen yeterli çalışmaların ve bilinirliğinin olmaması sebebiyle yetiştirilememekte ve biyoyakıt olarak kullanılmamaktadır. Başta Brezilya olmak üzere birçok ülkenin biyoyakıt olarak kullandığı tatlı sorgum bitkisi proje kapsamında yakıt olarak kullanılmıştır.

Proje kapsamında incelenen biyoyakıtlı çevrim santrali için çalışmalara enerji kaynağı olarak kullanılacak tatlı sorgum bitkisinin biyokütle özelliklerinin araştırılmasıyla başlanmıştır. Tatlı sorgum bitkisi üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar çalışmalarıyla santral kapasitesi için kritik öneme sahip olan uçucu madde, nem, kül, karbon ve kükürt değerleriyle birlikte bitkinin alt ve üst ısı değerleri incelenmiştir. Ayrıca yine bitkiye ait yanma sonrası ortaya çıkan karbon, kükürt, kül gibi tasarım parametreleri analiz edilmiştir. Bunların yanı sıra kazan ve yanma odası tasarımının gerçekleştirilebilmesi için ilk deformasyon sıcaklığı, kül erime sıcaklığı gibi değerler incelenmiştir.

Kavramsal tasarım sürecinde yapılacak araştırmalarla tatlı sorgum bitkisinin biyoyakıt olarak kullanıldığı buhar çevrimli santraller araştırılmış teknolojinin mevcut durumu incelenmiştir. Yapılan araştırma faaliyetleri sonucunda buhar kazanı ve tesisle alakalı tasarım metodolojisi ve genel çalışma prensibi geliştirilmiştir. Tatlı sorgum bitkisi bünyesinde yüksek oranda uçucu madde bulunması yanma verimini düşürmüştür. Bu problemin çözülebilmesi için optimum yanma şeklini belirleme çalışmaları yapılmış, bunun için bitkinin normal hali ve işlenmiş hali ile gerçekleştirilen yanma çalışmalarından elde edilecek sonuçlar değerlendirilmiş ve kalorifik değeri üzerine etkileri araştırılmıştır. Biyokütle optimum nem değerine indirilerek daha küçük kazan hacminde daha yüksek kalori elde edilmesine odaklanılmıştır. Nemin giderilmesi aşamasında endirekt evaporatif soğutma ile hem kondenser veriminin artışı sağlanacak hem de nem giderilmiş olacaktır.

Çizelge 4.1’de tatlı sorgum bitkisinin biyokimyasal özelliklerine bakıldığında, alt ve üst ısı değerlerinin orijinal bazda 996 ve 1446 cal/g olduğu tespit edilmiştir. Gerçekleştirilecek kurutma ve sıkıştırma yöntemleri ile bu değer iki katına çıkartılabilmektedir.

Çizelge 4.1. Tatlı sorgum bitkisi üzerinde yapılan analizler

ANALİZLER	BİRİMİ	ORJİNAL BAZDA	HAVADA KURU BAZDA	KURU BAZDA
Nem	%	71.38	5.4	-
Kül	%	1.95	6.46	6.82
Uçucu Madde	%	21.06	69.62	73.58
Sabit Karbon	%	5.1	18.52	19.6
Toplam Kükürt	%	0.05	0.18	0.19
Alt Isıl Değer	%	996	3566	3801
Üst Isıl Değer	%	1446	3843	4062

Çizelge 4.2’ye bakıldığında tatlı sorgum bitkisinin kuru bazda yapılan karbon, hidrojen, azot, kül ve oksijen yüzdeleri gösterilmektedir. Orijinal bazda toplam karbon oranının %5.61 , uçucu madde oranının %25.37 olduğu tespit edilmiştir. Bitkinin bünyesinde yüksek miktarda uçucu madde bulundurması sebebiyle yanma şeklinin tesis verimi için kritik bir öneme sahip olduğu yargısına ulaşılmıştır.

Çizelge 4.2. Kuru bazda yapılan analiz sonuçları

ANALİZLER	BİRİMİ	KURU BAZDA
C (Karbon)	%	46.17
H (Hidrojen)	%	5.41
N (Azot)	%	1.31
S (Kükürt)	%	0.19
Kül	%	6.82
O (Oksijen)	%	40.1

Çizelge 4.3'te tatlı sorgum bitkisinin ilk deformasyon sıcaklığı, yumuşama sıcaklığı, yarıküre sıcaklığı ve erime sıcaklığı gösterilmektedir. Ayrıca bitkinin ilk deformasyon sıcaklığının 1002°C, erime sıcaklığının ise 1117°C olduğu belirlenmiştir. Bitkinin yakılacağı yanma ünitesi tasarımları ve elde edilecek enerji çevrimlerinin geliştirilmesi süreçlerinde bu değerler dikkate alınmalıdır.

Çizelge 4.3. Analiz sonuçları

ANALİZLER	BİRİMİ	SONUÇ
IDT (İlk Deformasyon Sıcaklığı)	°C	1002
ST (Yumuşama Sıcaklığı)	°C	1041
HT (Yarıküre Sıcaklığı)	°C	1075
FT (Erime Sıcaklığı)	°C	1117

Tatlı sorgum bitkisinden yakıt ve yakıta ek olarak kullanmak için etil alkol elde edilmektedir. Bu sebeple ticari olarak kullanılması gündemdedir. 1975 yılında Brezilya tatlı sorgumdan alkol üretmek amacı ile ulusal düzeyde bir program oluşturmuştur. Programa göre, 1987 yılında 3 milyona civarında alkol ile çalışan otomobiller için, tatlı sorgumdan yaklaşık olarak 14 milyon m³ alkol üretilmiştir. Araştırmalara göre, 1 dekar alanda yetişen tatlı sorgum bitkisinden, yaklaşık olarak 750-1250 kg'a kadar şeker üretimi yapılabilmektedir. Üretilen bu şeker, fermantasyon ile etil alkole dönüştürülür ve enerji elde etmek için kullanılır. Ayrıca bu bitki diğer enerji bitkileri ile kıyaslandığında su ihtiyacı daha az olduğu ve kullanılan gübre miktarı daha az olduğu için önemi git gide artmaktadır.

Tatlı sorgumdan yılda, dekar başına 200-300 kg petrol eşdeğeri etil alkol ve şeker alınmış posa kısmından ise, 600-900 kg petrol eşdeğeri yakıt elde edilebilmektedir. Tatlı sorgumun posasının enerji değeri yaklaşık 15 900–18 000 kJ/kg'dır.

Biyokütle enerjisi, karbon içeren her türlü bitkisel ve hayvansal atığın yakılmasıyla elde edilmektedir. Enerji üretme prensipleri termik santrallerle aynıdır. Temel farklılıkları yakıt türleridir. Günümüzde Avrupa Birliği kapsamında enerji tüketiminin %2-3'ü biokütleden karşılanmaktadır. Dünya Enerji Konseyi raporlarında 2020 yılında göre modern biokütle ile sağlanacak enerji; Jeotermal enerjinin 6.4 katı, rüzgar

enerjisinin 2.6-3 katı, güneş enerjisinin 1.6-2.2 katı olabilecektir. Biyokütle enerjisine olan ilgi her geçen gün artmaktadır.

Proje kapsamında karşılaşılabilecek başlıca riskler tatlı sorgumdan kaynaklıdır. Sorgumun görece düşük kül erime noktasından kaynaklı uygun yakma sisteminin geliştirilememesi ve bunun neticesinde fırın içinde cüruf birikmesi, sorgumun neminin alınması sırasında yüksek enerji sarfıyatı başlıca riskleri oluşturmaktadır.

Bu risklere önlem olarak sorguma yüksek kül erime sıcaklığına sahip kil, kiremit tozu gibi malzemeler karıştırılabilir. Diğer taraftan sorgum nemi güneş enerjili sistemler ile kurutularak daha düşük maliyetlerde proses gerçekleştirilecektir.

Ünite içinde bulunacak damla tutucular yeterli kapasitede su buharı tutabilecektir. Elektrik üretim ünitesi de yapılan tasarımların ışığında geliştirilerek sisteme uygun olan buhar türbini entegre edilmelidir. Degazör ünitesinde ısı kayıplarının minimize edilmesi için 50 mm taş yünü üzerine alüminyum gofrajlı sac kullanılması öngörülmüştür.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Proje kapsamında incelenen yaklaşık olarak 5 MW kazan kapasiteli biyoyakıtlı (yakıt olarak tatlı sorgum bitkisi kullanılan) enerji santralinde kazana 2207.19 kJ/kg enerji girmekte ve 1606.39 kJ/kg enerji çıkmaktadır. Türbinde yapılan iş 613.31 kJ/kg, pompada yapılan iş ise 12.51 kJ/kg olarak bulunmuştur. Bu durumda yapılan net iş 600.8 kJ/kg olmaktadır. Sistemin verimi %27.2 olmaktadır.

Tasarlanan bu enerji santralinde saatte 850 kW elektrik üretimi yapılabilmektedir. Santralin yılda 7500 saat çalışacağı kabul edilirse yıllık toplam 6 375 000 kWh elektrik üretimi ön görülmektedir.

Yukarıda bahsedilen miktarda elektrik üretiminin gerçekleştirilebilmesi için 1 dekar arazide 1.5 ton tatlı sorgum bitkisinin üretileceği kabul edilmiştir. Bu durumda yaklaşık 5 MW kapasiteli bir kazan için saatte 4.18 ton, yılda 31346.90 ton tatlı sorgum bitkisinin yakıt kaynağı olarak kullanılması gerektiği hesaplanmıştır. Bu miktarda yakıtın elde edilebilmesi için yaklaşık olarak 20897.9 dekar araziye ihtiyaç duyulmaktadır.

Bu proje kapsamında numune olarak tatlı sorgum bitkisi yetiştirilmiş ve yakıt kalorifik değeri için laboratuvara gönderilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre yakıtın kalorifik değeri 3801 Kcal/kg olarak alınmıştır.

Uygulamanın yatırım maliyeti yaklaşık olarak 11 209 920 04 TL olmaktadır. Proje ile yıllık 4 439 982 225 TL mali kazanç sağlanabilmekte ve sistem kendini 2.52 yılda amorti etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonim (2019a). <https://www.enerjisistemlerimuhendisligi.com/biyokutle-enerjisi.html> (Son erişim tarihi: 28.05.2019)
- Anonim (2019b). http://www.yegm.gov.tr/genc_cocuk/Yenilenebilir_Enerji_Nedir.aspx (Son erişim tarihi: 30.05.2019)
- Anonim (2019c). https://www.wikizero.com/tr/Dosya:Rankine_cycle_layout.png (Son erişim tarihi: 30.05.2019)
- Bassam, N. E. (1998). *Energy Plant Species: Their Use and Impact on Environment and Development*. Earthscan.
- Bilirgen, Ü., (2019). Sektörelbakış<https://assets.kpmg/content/dam/kpmg/tr/pdf/2019/03/sektorel-bakis-2019-enerji.pdf> (Son erişim tarihi: 28.05.2019)
- Çengel, Y. A. & Boles, M. A. (1996). *Mühendislik yaklaşımıyla Termodinamik*. Literatür Yayıncılık, İstanbul, 397-426.
- Çetiner, C., (2019). www.kimyamuhendisi.com (Son erişim tarihi: 30.05.2019)
- EİGM (2019). http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/biyokutle_enerjisi.aspx (Son erişim tarihi: 30.05.2019)
- Erdoğan, C. & Seçgin, B. (2008). Yenilenebilir Enerjiler. <http://www.yildiz.edu.tr/~oscg/AlanegitimindeBitirmeProjeleri/YenilenebilirEnerjiler.pdf> (Son erişim tarihi: 30.05.2019)
- Eren, Ö. & Öztürk, H. H. (2011). *Çukurova Bölgesinde Tatlı Sorgum (Sorghum Bicolor (L.) Moench) Üretiminde Yaşam Döngüsü Enerji ve Çevresel Etki Analizi*. (Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü)
- ETKB, (2017). Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. <https://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik> (Son erişim tarihi:30.05.2019)
- Karayılmazlar, S., Saraçoğlu, N., Çabuk, Y. & Kurt R. (2011). Biyokütlenin Türkiye’de Enerji Üretiminde Değerlendirilmesi. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 13(19), 63-75.
- Kaya, K. & Koç, E. (2015). Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi, *Mühendis ve Makina*, 56(660), 61-68.
- Ongun, H., Doğru, M. & Howard, C. (2000). Katı atıkların enerji dönüşümünde kullanılması ve gazlaştırıcılar, 18, 2-6. http://www1.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/45aa1dd24987bf1_ek.pdf.

Yapraklı, S. & Bayramoğlu T. (2014). Biyokütle Enerjisi Potansiyeli ve Ekonomik Etkileri: TRA1 Bölgesi Üzerine Bir Saha Araştırması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, Journal of Graduate School of Social Sciences*, 18(2), p319-336. 18p.

Youth For Habitat, (2009). <http://www.agacler.net/forum/enerji-bitkileri/18198.htm>
(Son erişim tarihi: 28.05.2019)



EKLER

EK A. Çizelgeler



EK A. Çizelgeler

Çizelge A1. Properties of saturated water - pressure table (SI)

P kPa	T °C	Specific Volume, m ³ /kg			Internal Energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/(kg·K)		
		v_L	v_{LV}	v_V	u_L	u_{LV}	u_V	h_L	h_{LV}	h_V	s_L	s_{LV}	s_V
1,0	6,9696	0,001000	129,19	129,19	29,287	2354,8	2384,1	29,288	2484,0	2513,3	0,1059	8,8678	8,9737
1,5	13,021	0,001001	87,970	87,971	54,634	2337,9	2392,5	54,635	2469,8	2524,4	0,1954	8,6304	8,8258
2,0	17,497	0,001001	66,997	66,998	73,364	2325,2	2398,6	73,366	2459,2	2532,6	0,2603	8,4613	8,7216
2,5	21,080	0,001002	54,248	54,2491	88,353	2315,1	2403,5	88,356	2450,7	2539,1	0,3116	8,3295	8,6411
3,0	24,083	0,001003	45,660	45,661	100,92	2306,7	2407,6	100,92	2443,7	2544,6	0,3541	8,2214	8,5755
3,5	26,677	0,001003	39,473	39,474	111,77	2299,4	2411,2	111,77	2437,5	2549,3	0,3904	8,1299	8,5203
4,0	28,966	0,001004	34,797	34,798	121,34	2293,0	2414,3	121,35	2432,2	2553,5	0,4222	8,0503	8,4725
4,5	31,018	0,001005	31,136	31,137	129,93	2287,2	2417,1	129,93	2427,3	2557,2	0,4506	7,9799	8,4305
5,0	32,881	0,001005	28,190	28,191	137,72	2281,9	2419,6	137,72	2422,8	2560,5	0,4761	7,9169	8,3930
5,5	34,589	0,001006	25,767	25,768	144,86	2277,0	2421,9	144,87	2418,7	2563,6	0,4994	7,8598	8,3592
6,0	36,167	0,001006	23,737	23,738	151,46	2272,5	2424,0	151,47	2415,0	2566,5	0,5208	7,8075	8,3283
6,5	37,635	0,001007	22,013	22,014	157,60	2268,4	2426,0	157,61	2411,5	2569,1	0,5406	7,7594	8,3000
7,0	39,008	0,001008	20,528	20,529	163,35	2264,5	2427,9	163,35	2408,3	2571,6	0,5590	7,7148	8,2738
7,5	40,299	0,001008	19,236	19,237	168,75	2260,9	2429,6	168,76	2405,1	2573,9	0,5763	7,6731	8,2494
8,0	41,518	0,001008	18,102	18,103	173,85	2257,5	2431,3	173,85	2402,3	2576,1	0,5925	7,6342	8,2267
8,5	42,673	0,001009	17,098	17,099	178,68	2254,1	2432,8	178,68	2399,4	2578,1	0,6078	7,5975	8,2053
9,0	43,771	0,001009	16,202	16,203	183,27	2251,0	2434,3	183,27	2396,8	2580,1	0,6223	7,5629	8,1852
9,5	44,817	0,001010	15,398	15,399	187,64	2248,1	2435,7	187,65	2394,4	2582,0	0,6361	7,5301	8,1662
10	45,817	0,001010	14,673	14,674	191,82	2245,2	2437,0	191,83	2392,0	2583,8	0,6493	7,4989	8,1482
15	53,983	0,001014	10,022	10,023	225,97	2221,9	2447,9	225,98	2372,2	2598,2	0,7550	7,2516	8,0066
20	60,073	0,001017	7,6489	7,6499	251,44	2204,5	2455,9	251,46	2357,4	2608,9	0,8321	7,0747	7,9068
25	64,980	0,001020	6,2038	6,2048	271,97	2190,3	2462,3	271,99	2345,4	2617,4	0,8933	6,9365	7,8298
30	69,114	0,001022	5,2288	5,2298	289,27	2178,4	2467,7	289,30	2335,3	2624,6	0,9441	6,8231	7,7672
35	72,700	0,001024	4,5252	4,5262	304,28	2168,0	2472,3	304,32	2326,4	2630,7	0,9878	6,7266	7,7144
40	75,877	0,001026	3,9930	3,9940	317,59	2158,8	2476,4	317,64	2318,5	2636,1	1,0261	6,6427	7,6688
45	78,736	0,001028	3,5759	3,5769	329,58	2150,4	2480,0	329,62	2311,3	2640,9	1,0603	6,5684	7,6287
50	81,339	0,001030	3,2398	3,2408	340,49	2142,8	2483,3	340,54	2304,8	2645,3	1,0912	6,5016	7,5928
60	85,949	0,001033	2,7314	2,7324	359,84	2129,2	2489,0	359,90	2293,1	2653,0	1,1454	6,3856	7,5310
70	89,956	0,001036	2,3644	2,3654	376,68	2117,3	2494,0	376,75	2282,9	2659,6	1,1920	6,2869	7,4789
80	93,511	0,001038	2,0866	2,0876	391,63	2106,7	2498,3	391,71	2273,6	2665,3	1,2330	6,2009	7,4339
90	96,713	0,001041	1,8688	1,8698	405,11	2097,1	2502,2	405,20	2265,3	2670,5	1,2696	6,1247	7,3943
100	99,632	0,001043	1,6933	1,6943	417,41	2088,3	2505,7	417,51	2257,6	2675,1	1,3027	6,0562	7,3589
101,32	100,00	0,001043	1,6727	1,6737	418,96	2087,1	2506,1	419,06	2256,6	2675,7	1,3069	6,0476	7,3545
125	105,99	0,001048	1,3742	1,3752	444,25	2068,9	2513,2	444,38	2240,7	2685,1	1,3741	5,9100	7,2841
150	111,38	0,001053	1,1584	1,1595	467,02	2052,4	2519,4	467,18	2226,2	2693,4	1,4338	5,7894	7,2232
175	116,07	0,001057	1,0027	1,0038	486,89	2037,8	2524,7	487,08	2213,3	2700,4	1,4851	5,6866	7,1717
200	120,24	0,001060	0,8848	0,8859	504,59	2024,8	2529,4	504,80	2201,7	2706,5	1,5304	5,5968	7,1272
225	124,01	0,001064	0,7923	0,7934	520,59	2012,9	2533,5	520,83	2191,2	2712,0	1,5708	5,5172	7,0880
250	127,44	0,001067	0,7177	0,7188	535,22	2001,9	2537,1	535,49	2181,3	2716,8	1,6075	5,4454	7,0529
275	130,61	0,001070	0,6563	0,6574	548,73	1991,8	2540,5	549,02	2172,3	2721,3	1,6411	5,3800	7,0211
300	133,56	0,001073	0,6048	0,6059	561,29	1982,2	2543,5	561,61	2163,7	2725,3	1,6721	5,3200	6,9921
325	136,31	0,001076	0,5609	0,5620	573,04	1973,3	2546,3	573,39	2155,6	2729,0	1,7009	5,2645	6,9654
350	138,89	0,001079	0,5232	0,5243	584,10	1964,8	2548,9	584,48	2147,9	2732,4	1,7278	5,2129	6,9407
375	141,33	0,001081	0,4903	0,4914	594,56	1956,7	2551,3	594,96	2140,6	2735,6	1,7531	5,1646	6,9177
400	143,64	0,001084	0,4614	0,4625	604,47	1949,0	2553,5	604,91	2133,6	2738,5	1,7770	5,1191	6,8961

Çizelge A1. Properties of Saturated Water - Pressure Table (SI) (Devam)

425	145,84	0,001086	0,4357	0,4368	613,91	1941,7	2555,6	614,37	2126,9	2741,3	1,7996	5,0762	6,8758
450	147,94	0,001088	0,4129	0,4140	622,93	1934,7	2557,6	623,42	2120,5	2743,9	1,8211	5,0356	6,8567
475	149,94	0,001090	0,3923	0,3934	631,56	1927,8	2559,4	632,07	2114,2	2746,3	1,8415	4,9971	6,8386
500	151,87	0,001093	0,3738	0,3749	639,84	1921,4	2561,2	640,38	2108,2	2748,6	1,8610	4,9604	6,8214
550	155,49	0,001097	0,3415	0,3426	655,48	1908,9	2564,4	656,08	2096,8	2752,9	1,8977	4,8917	6,7894
600	158,86	0,001101	0,3145	0,31560	670,05	1897,3	2567,3	670,71	2086,0	2756,7	1,9315	4,8286	6,7601
650	162,020	0,001104	0,2915	0,2926	683,71	1886,2	2569,9	684,42	2075,8	2760,2	1,9631	4,7699	6,7330
700	164,98	0,001108	0,2717	0,2728	696,58	1875,8	2572,4	697,35	2066,0	2763,3	1,9925	4,7154	6,7079
750	167,790	0,001111	0,2544	0,2555	708,76	1865,8	2574,6	709,59	2056,6	2766,2	2,0203	4,6642	6,6845
800	170,44	0,001115	0,2393	0,2404	720,33	1856,3	2576,6	721,23	2047,7	2768,9	2,0464	4,6161	6,6625
850	172,97	0,001118	0,2258	0,2269	731,37	1847,1	2578,5	732,32	2039,1	2771,4	2,0712	4,5706	6,6418
900	175,39	0,001121	0,2138	0,2149	741,92	1838,3	2580,2	742,93	2030,7	2773,6	2,0948	4,5274	6,6222
950	177,70	0,001124	0,2030	0,2041	752,03	1829,8	2581,8	753,10	2022,6	2775,7	2,1173	4,4863	6,6036
1000	179,92	0,001127	0,1933	0,1944	761,75	1821,6	2583,3	762,88	2014,8	2777,7	2,1388	4,4471	6,5859
1100	184,10	0,001133	0,1764	0,1775	780,14	1805,9	2586,0	781,38	1999,8	2781,2	2,1793	4,3736	6,5529
1200	188,00	0,001138	0,1622	0,1633	797,31	1791,1	2588,4	798,68	1985,6	2784,3	2,2167	4,3059	6,5226
1300	191,64	0,001144	0,1501	0,1512	813,44	1777,1	2590,5	814,93	1972,1	2787,0	2,2515	4,2430	6,4945
1400	195,08	0,001149	0,1397	0,1408	828,67	1763,6	2592,3	830,28	1959,1	2789,4	2,2842	4,1841	6,4683
1500	198,33	0,001154	0,1305	0,1317	843,12	1750,8	2593,9	844,85	1946,7	2791,5	2,3150	4,1288	6,4438
1600	201,41	0,001159	0,1225	0,1237	856,88	1738,4	2595,3	858,73	1934,6	2793,3	2,3441	4,0766	6,4207
1700	204,35	0,001163	0,1155	0,1167	870,02	1726,6	2596,6	872,00	1923,0	2795,0	2,3717	4,0272	6,3989
1800	207,15	0,001168	0,1092	0,1104	882,61	1715,1	2597,7	884,71	1911,7	2796,4	2,3980	3,9801	6,3781
1900	209,84	0,001172	0,1035	0,1047	894,70	1704,0	2598,7	896,92	1900,7	2797,6	2,4231	3,9353	6,3584
2000	212,42	0,001177	0,09841	0,09959	906,33	1693,2	2599,5	908,69	1890,0	2798,7	2,4471	3,8925	6,3396
2250	218,45	0,001187	0,08753	0,08872	933,70	1667,5	2601,2	936,37	1864,4	2800,8	2,5032	3,7926	6,2958
2500	223,99	0,001197	0,07875	0,07995	958,98	1643,3	2602,3	961,97	1840,2	2802,2	2,5544	3,7016	6,2560
2750	229,11	0,001207	0,07151	0,07272	982,53	1620,5	2603,0	985,85	1817,2	2803,0	2,6016	3,6178	6,2194
3000	233,89	0,001217	0,06544	0,06666	1004,6	1598,7	2603,3	1008,3	1795,0	2803,3	2,6454	3,5401	6,1855
3250	238,37	0,001226	0,06027	0,06150	1025,5	1577,7	2603,2	1029,5	1773,6	2803,1	2,6865	3,4673	6,1538
3500	242,60	0,001235	0,05582	0,05705	1045,3	1557,6	2602,9	1049,6	1753,0	2802,6	2,7251	3,3989	6,1240
3750	246,59	0,001244	0,05194	0,05318	1064,2	1538,1	2602,3	1068,8	1732,9	2801,7	2,7616	3,3341	6,0957
4000	250,39	0,001252	0,04852	0,04977	1082,2	1519,3	2601,5	1087,2	1713,4	2800,6	2,7962	3,2727	6,0689
5000	263,98	0,001286	0,03815	0,03944	1147,8	1448,7	2596,5	1154,2	1639,5	2793,7	2,9201	3,0524	5,9725
6000	275,62	0,001319	0,03112	0,03244	1205,4	1383,9	2589,3	1213,3	1570,6	2783,9	3,0266	2,8620	5,8886
7000	285,86	0,001352	0,02602	0,02737	1257,5	1322,7	2580,2	1267,0	1504,8	2771,8	3,1211	2,6919	5,8130
8000	295,04	0,001384	0,02214	0,02352	1305,5	1264,1	2569,6	1316,6	1441,2	2757,8	3,2066	2,5365	5,7431
9000	303,38	0,001418	0,01906	0,02048	1350,3	1207,3	2557,6	1363,1	1378,9	2742,0	3,2855	2,3916	5,6771
10.000	311,03	0,001452	0,01658	0,01803	1392,8	1151,4	2544,2	1407,3	1317,2	2724,5	3,3591	2,2548	5,6139
11.000	318,11	0,001488	0,01450	0,01599	1433,3	1096,2	2529,5	1449,7	1255,7	2705,4	3,4287	2,1238	5,5525
12.000	324,71	0,001526	0,01273	0,01426	1472,4	1041,0	2513,4	1490,7	1193,8	2684,5	3,4953	1,9968	5,4921
13.000	330,89	0,001566	0,01121	0,01278	1510,5	985,20	2495,7	1530,9	1130,9	2661,8	3,5595	1,8723	5,4318
14.000	336,70	0,001610	0,009870	0,01148	1547,9	928,40	2476,3	1570,4	1066,7	2637,1	3,6220	1,7491	5,3711
15.000	342,19	0,001657	0,008683	0,01034	1585,0	870,00	2455,0	1609,8	1000,3	2610,1	3,6837	1,6255	5,3092
16.000	347,39	0,001710	0,007600	0,009310	1622,1	809,20	2431,3	1649,5	930,80	2580,3	3,7452	1,4999	5,2451
17.000	352,34	0,001770	0,006603	0,008373	1659,9	744,90	2404,8	1690,0	857,10	2547,1	3,8073	1,3704	5,1777
18.000	357,04	0,001840	0,005665	0,007505	1698,9	675,70	2374,6	1732,0	777,70	2509,7	3,8714	1,2340	5,1054
19.000	361,52	0,001925	0,004756	0,006681	1740,3	599,00	2339,3	1776,8	689,40	2466,2	3,9393	1,0862	5,0255
20.000	365,80	0,002036	0,003838	0,005874	1786,0	510,10	2296,1	1826,7	586,90	2413,6	4,0146	0,9184	4,9330
21.000	369,88	0,002200	0,002820	0,005020	1841,4	396,00	2237,4	1887,6	455,20	2342,8	4,1062	0,7079	4,8141
22.000	373,77	0,002702	0,000952	0,003654	1953,4	142,80	2096,2	2012,8	163,60	2176,5	4,2866	0,2530	4,5486
22.055	373,98	0,00311	-	0,00311	2017	-	2017	2086	-	2086	4,409	-	4,409

Çizelge A2. Properties of superheated steam (SI)

<i>P</i>	<i>T</i>	<i>v</i>	<i>u</i>	<i>h</i>	<i>s</i>
kPa	°C	m ³ /kg	kJ/kg	kJ/kg	kJ/(kg·K)
10					
	(45,82)	(14,674)	(2437,0)	(2583,8)	(8,1482)
	50	14,869	2443,1	2591,8	8,1731
	100	17,196	2515,0	2687,0	8,4471
	150	19,513	2587,4	2782,5	8,6873
	200	21,826	2660,8	2879,0	8,9030
	250	24,136	2735,5	2976,9	9,0995
	300	26,446	2811,7	3076,2	9,2808
	350	28,755	2889,5	3177,0	9,4494
	400	31,063	2968,8	3279,4	9,6075
	450	33,372	3049,7	3383,4	9,7565
	500	35,680	3132,4	3489,2	9,8979
	550	37,988	3216,7	3596,6	10,032
	600	40,296	3302,8	3705,7	10,161
	650	42,604	3390,6	3816,7	10,285
	700	44,912	3480,2	3929,4	10,404
	750	47,220	3571,6	4043,8	10,518
	800	49,527	3664,8	4160,1	10,629
	850	51,835	3759,7	4278,1	10,737
50					
	(81,33)	(3,2408)	(2483,3)	(2645,3)	(7,5928)
	100	3,4188	2511,2	2682,1	7,6941
	150	3,8895	2585,2	2779,7	7,9394
	200	4,3560	2659,4	2877,2	8,1572
	250	4,8205	2734,5	2975,6	8,3548
	300	5,2840	2811,0	3075,2	8,5367
	350	5,7469	2888,9	3176,2	8,7057
	400	6,2094	2968,3	3278,8	8,8640
	450	6,6717	3049,3	3382,9	9,0132
	500	7,1338	3132,0	3488,7	9,1547
	550	7,5958	3216,4	3596,2	9,2894
	600	8,0577	3302,5	3705,4	9,4182
	650	8,5195	3390,4	3816,4	9,5417
	700	8,9813	3480,1	3929,1	9,6606
	750	9,4430	3571,5	4043,6	9,7754
	800	9,9047	3664,7	4159,9	9,8863
	850	10,366	3759,6	4277,9	9,9938
100					
	(99,63)	(1,6943)	(2505,7)	(2675,1)	(7,3589)
	100	1,6961	2506,3	2675,9	7,3609
	150	1,9364	2582,4	2776,1	7,6129
	200	2,1723	2657,6	2874,8	7,8335
	250	2,4061	2733,3	2973,9	8,0325
	300	2,6388	2810,1	3073,9	8,2152
	350	2,8709	2888,2	3175,3	8,3846
	400	3,1027	2967,7	3278,0	8,5432
	450	3,3342	3048,9	3382,3	8,6927
	500	3,5655	3131,6	3488,2	8,8342
	550	3,7968	3216,1	3595,8	8,9690

	600	4,0279	3302,3	3705,0	9,0979
	650	4,2590	3390,2	3816,1	9,2216
	700	4,4900	3479,8	3928,8	9,3405
	750	4,7210	3571,3	4043,4	9,4553
	800	4,9519	3664,5	4159,7	9,5662
	850	5,1828	3759,4	4277,7	9,6738
101,33					
	(100,00)	(1,6737)	(2506,1)	(2675,7)	(7,3545)
	150	1,9108	2582,3	2776,0	7,6066
	200	2,1436	2657,5	2874,8	7,8273
	250	2,3744	2733,3	2973,8	8,0264
	300	2,6041	2810,0	3073,9	8,2090
	350	2,8332	2888,1	3175,2	8,3785
	400	3,0619	2967,7	3278,0	8,5371
	450	3,2904	3048,9	3382,3	8,6865
	500	3,5187	3131,6	3488,2	8,8281
	550	3,7469	3216,1	3595,8	8,9629
	600	3,9750	3302,2	3705,0	9,0918
	650	4,2030	3390,2	3816,1	9,2154
	700	4,4310	3479,8	3928,8	9,3344
	750	4,6590	3571,3	4043,4	9,4492
	800	4,8869	3664,5	4159,7	9,5601
	850	5,1148	3759,4	4277,7	9,6677
200					
	(120,24)	(0,8859)	(2529,4)	(2706,5)	(7,1272)
	150	0,9597	2576,7	2768,6	7,2793
	200	1,0803	2653,9	2870,0	7,5059
	250	1,1988	2730,8	2970,5	7,7078
	300	1,3162	2808,2	3071,4	7,8920
	350	1,4329	2886,7	3173,3	8,0624
	400	1,5493	2966,6	3276,4	8,2216
	450	1,6655	3047,9	3381,0	8,3714
	500	1,7814	3130,8	3487,1	8,5133
	550	1,8973	3215,4	3594,9	8,6483
	600	2,0130	3301,7	3704,3	8,7773
	650	2,1287	3389,7	3815,4	8,9011
	700	2,2443	3479,4	3928,3	9,0201
	750	2,3599	3570,9	4042,9	9,1350
	800	2,4755	3664,1	4159,2	9,2460
	850	2,5910	3759,1	4277,3	9,3536
300					
	(133,56)	(0,6059)	(2543,5)	(2725,3)	(6,9921)
	150	0,6339	2570,7	2760,9	7,0779
	200	0,7163	2650,2	2865,1	7,3108
	250	0,7963	2728,2	2967,1	7,5157
	300	0,8753	2806,3	3068,9	7,7015
	350	0,9536	2885,3	3171,3	7,8729
	400	1,0315	2965,4	3274,9	8,0327
	450	1,1092	3047,0	3379,7	8,1830
	500	1,1867	3130,1	3486,1	8,3252
	550	1,2641	3214,7	3594,0	8,4604
	600	1,3414	3301,1	3703,5	8,5895

	650	1,4186	3389,1	3814,7	8,7134
	700	1,4958	3478,9	3927,7	8,8325
	750	1,5729	3570,5	4042,3	8,9475
	800	1,6500	3663,8	4158,8	9,0585
	850	1,7271	3758,8	4276,9	9,1661
400					
	(143,64)	(0,4625)	(2553,5)	(2738,5)	(6,8961)
	150	0,4708	2564,4	2752,8	6,9300
	200	0,5342	2646,4	2860,1	7,1699
	250	0,5951	2725,6	2963,6	7,3779
	300	0,6548	2804,4	3066,3	7,5654
	350	0,7139	2883,8	3169,4	7,7378
	400	0,7726	2964,3	3273,3	7,8982
	450	0,8311	3046,0	3378,5	8,0489
	500	0,8894	3129,3	3485,0	8,1914
	550	0,9475	3214,1	3593,1	8,3268
	600	1,0056	3300,5	3702,7	8,4561
	650	1,0636	3388,6	3814,1	8,5801
	700	1,1215	3478,5	3927,1	8,6993
	750	1,1794	3570,1	4041,8	8,8143
	800	1,2373	3663,4	4158,3	8,9254
	850	1,2951	3758,4	4276,5	9,0331
600					
	(158,86)	(0,3156)	(2567,3)	(2756,7)	(6,7601)
	200	0,3520	2638,5	2849,7	6,9658
	250	0,3938	2720,3	2956,6	7,1806
	300	0,4344	2800,5	3061,2	7,3716
	350	0,4742	2880,9	3165,4	7,5459
	400	0,5137	2961,9	3270,2	7,7076
	450	0,5529	3044,1	3375,9	7,8591
	500	0,5920	3127,7	3482,9	8,0022
	550	0,6309	3212,7	3591,2	8,1380
	600	0,6697	3299,3	3701,2	8,2676
	650	0,7085	3387,6	3812,7	8,3918
	700	0,7472	3477,6	3925,9	8,5112
	750	0,7859	3569,2	4040,8	8,6264
	800	0,8246	3662,7	4157,4	8,7376
	850	0,8632	3757,8	4275,7	8,8453
800					
	(170,44)	(0,2404)	(2576,6)	(2768,9)	(6,6625)
	200	0,2607	2630,2	2838,8	6,8151
	250	0,2931	2714,8	2949,3	7,0373
	300	0,3241	2796,6	3055,9	7,2319
	350	0,3544	2877,9	3161,4	7,4084
	400	0,3843	2959,6	3267,0	7,5713
	450	0,4139	3042,2	3373,3	7,7237
	500	0,4433	3126,1	3480,7	7,8673
	550	0,4726	3211,3	3589,4	8,0036
	600	0,5018	3298,1	3699,6	8,1335
	650	0,5310	3386,6	3811,4	8,2579
	700	0,5601	3476,7	3924,7	8,3775
	750	0,5892	3568,4	4039,8	8,4928

	800	0,6182	3661,9	4156,5	8,6041
	850	0,6472	3757,1	4274,9	8,7120
1000					
	(179,92)	(0,1944)	(2583,3)	(2781,2)	(6,5529)
	200	0,2059	2621,5	2827,4	6,6932
	250	0,2326	2709,2	2941,9	6,9235
	300	0,2579	2792,7	3050,6	7,1219
	350	0,2825	2874,9	3157,3	7,3005
	400	0,3066	2957,2	3263,8	7,4648
	450	0,3304	3040,3	3370,7	7,6180
	500	0,3541	3124,5	3478,6	7,7622
	550	0,3776	3210,0	3587,6	7,8989
	600	0,4011	3297,0	3698,1	8,0292
	650	0,4245	3385,5	3810,0	8,1538
	700	0,4478	3475,7	3923,6	8,2736
	750	0,4711	3567,6	4038,7	8,3890
	800	0,4944	3661,2	4155,5	8,5005
	850	0,5176	3756,4	4274,0	8,6084
1500					
	(198,33)	(0,1317)	(2593,9)	(2791,5)	(6,4438)
	200	0,1324	2597,5	2796,1	6,4536
	250	0,1519	2694,6	2922,4	6,7077
	300	0,1696	2782,5	3036,9	6,9168
	350	0,1866	2867,2	3147,1	7,1011
	400	0,2030	2951,2	3255,7	7,2687
	450	0,2192	3035,4	3364,2	7,4242
	500	0,2351	3120,4	3473,1	7,5699
	550	0,2510	3206,5	3583,0	7,7076
	600	0,2668	3294,0	3694,2	7,8386
	650	0,2825	3382,9	3806,6	7,9639
	700	0,2981	3473,4	3920,6	8,0841
	750	0,3137	3565,6	4036,1	8,1999
	800	0,3293	3659,3	4153,2	8,3116
	850	0,3448	3754,8	4272,0	8,4198
2000					
	(212,42)	(0,09959)	(2599,5)	(2798,7)	(6,3396)
	250	0,1114	2678,8	2901,6	6,5438
	300	0,1254	2771,8	3022,7	6,7651
	350	0,1386	2859,4	3136,6	6,9556
	400	0,1512	2945,1	3247,5	7,1269
	450	0,1635	3030,5	3357,5	7,2845
	500	0,1757	3116,3	3467,7	7,4318
	550	0,1877	3203,1	3578,4	7,5706
	600	0,1996	3291,0	3690,2	7,7024
	650	0,2114	3380,3	3803,2	7,8283
	700	0,2232	3471,1	3917,6	7,9490
	750	0,2350	3563,5	4033,5	8,0651
	800	0,2467	3657,5	4150,9	8,1771
	850	0,2584	3753,1	4269,9	8,2855
2500					
	(223,99)	(0,07995)	(2602,3)	(2802,2)	(6,2560)
	250	0,08698	2661,7	2879,1	6,4069

	300	0,09888	2760,8	3008,0	6,6424
	350	0,1097	2851,4	3125,8	6,8395
	400	0,1201	2938,9	3239,2	7,0146
	450	0,1301	3025,5	3350,9	7,1746
	500	0,1400	3112,2	3462,2	7,3235
	550	0,1497	3199,6	3573,8	7,4634
	600	0,1593	3288,0	3686,3	7,5960
	650	0,1688	3377,7	3799,8	7,7225
	700	0,1783	3468,8	3914,7	7,8436
	750	0,1878	3561,4	4030,9	7,9601
	800	0,1972	3655,6	4148,6	8,0724
	850	0,2066	3751,4	4267,9	8,1810
3000					
	(233,89)	(0,06666)	(2603,3)	(2803,3)	(6,1855)
	250	0,07056	2643,1	2854,8	6,2857
	300	0,08113	2749,2	2992,6	6,5375
	350	0,09052	2843,2	3114,8	6,7420
	400	0,09935	2932,7	3230,7	6,9210
	450	0,1079	3020,5	3344,1	7,0835
	500	0,1162	3108,1	3456,6	7,2339
	550	0,1244	3196,1	3569,1	7,3750
	600	0,1324	3285,0	3682,3	7,5084
	650	0,1404	3375,1	3796,4	7,6355
	700	0,1484	3466,5	3911,7	7,7571
	750	0,1563	3559,4	4028,3	7,8739
	800	0,1642	3653,8	4146,3	7,9865
	850	0,1720	3749,7	4265,8	8,0954
4000					
	(250,39)	(0,04977)	(2601,5)	(2800,6)	(6,0689)
	300	0,05882	2724,4	2959,7	6,3598
	350	0,06644	2826,1	3091,8	6,5811
	400	0,07340	2919,8	3213,4	6,7688
	450	0,08002	3010,3	3330,4	6,9364
	500	0,08642	3099,7	3445,4	7,0902
	550	0,09268	3189,0	3559,7	7,2335
	600	0,09884	3278,9	3674,3	7,3687
	650	0,1049	3369,8	3789,5	7,4970
	700	0,1110	3461,8	3905,7	7,6195
	750	0,1170	3555,2	4023,0	7,7371
	800	0,1229	3650,0	4141,7	7,8503
	850	0,1288	3746,3	4261,7	7,9596
5000					
	(263,98)	(0,03944)	(2596,5)	(2793,7)	(5,9725)
	300	0,04530	2697,0	2923,5	6,2067
	350	0,05193	2808,0	3067,7	6,4482
	400	0,05781	2906,5	3195,5	6,6456
	450	0,06330	2999,8	3316,3	6,8187
	500	0,06856	3091,1	3433,9	6,9760
	550	0,07367	3181,8	3550,2	7,1218
	600	0,07869	3272,8	3666,2	7,2586
	650	0,08362	3364,5	3782,6	7,3882
	700	0,08850	3457,1	3899,7	7,5117

	750	0,09334	3551,0	4017,7	7,6300
	800	0,09815	3646,3	4137,0	7,7438
	850	0,1029	3742,9	4257,5	7,8536
6000					
	(275,62)	(0,03244)	(2589,3)	(2783,9)	(5,8886)
	300	0,03615	2666,3	2883,2	6,0659
	350	0,04222	2788,9	3042,2	6,3322
	400	0,04739	2892,7	3177,0	6,5404
	450	0,05214	2989,1	3301,9	6,7195
	500	0,05665	3082,4	3422,3	6,8805
	550	0,06100	3174,6	3540,6	7,0287
	600	0,06525	3266,6	3658,1	7,1673
	650	0,06942	3359,1	3775,6	7,2982
	700	0,07353	3452,4	3893,6	7,4227
	750	0,07760	3546,8	4012,4	7,5418
	800	0,08164	3642,5	4132,3	7,6561
	850	0,08565	3739,5	4253,4	7,7664
7000					
	(285,86)	(0,02737)	(2580,2)	(2771,8)	(5,8130)
	300	0,02946	2631,4	2837,6	5,9293
	350	0,03523	2768,5	3015,1	6,2269
	400	0,03993	2878,4	3157,9	6,4474
	450	0,04416	2978,1	3287,3	6,6329
	500	0,04813	3073,6	3410,5	6,7978
	550	0,05194	3167,2	3530,8	6,9486
	600	0,05565	3260,3	3649,8	7,0889
	650	0,05927	3353,6	3768,5	7,2211
	700	0,06284	3447,6	3887,5	7,3466
	750	0,06636	3542,6	4007,1	7,4665
	800	0,06985	3638,7	4127,6	7,5815
	850	0,07331	3736,1	4249,2	7,6922
8000					
	(295,04)	(0,02352)	(2569,6)	(2757,8)	(5,7431)
	300	0,02426	2590,5	2784,6	5,7901
	350	0,02995	2746,7	2986,3	6,1286
	400	0,03431	2863,5	3138,0	6,3630
	450	0,03816	2966,9	3272,2	6,5554
	500	0,04174	3064,6	3398,5	6,7243
	550	0,04515	3159,8	3521,0	6,8778
	600	0,04845	3254,0	3641,5	7,0200
	650	0,05166	3348,1	3761,4	7,1535
	700	0,05482	3442,8	3881,4	7,2800
	750	0,05793	3538,3	4001,7	7,4007
	800	0,06101	3634,9	4122,9	7,5163
	850	0,06406	3732,6	4245,1	7,6275
10.000					
	(311,03)	(0,01803)	(2544,2)	(2724,5)	(5,6139)
	350	0,02242	2698,1	2922,2	5,9425
	400	0,02641	2832,0	3096,1	6,2114
	450	0,02975	2943,6	3241,1	6,4194
	500	0,03278	3046,2	3374,0	6,5971
	550	0,03563	3144,6	3500,9	6,7561

	600	0,03836	3241,1	3624,7	6,9022
	650	0,04101	3337,1	3747,1	7,0385
	700	0,04359	3433,1	3869,0	7,1671
	750	0,04613	3529,7	3991,0	7,2893
	800	0,04863	3627,2	4113,5	7,4062
	850	0,05110	3725,7	4236,7	7,5184
15.000					
	(342,19)	(0,01034)	(2455,0)	(2610,1)	(5,3092)
	350	0,01147	2519,3	2691,3	5,4404
	400	0,01565	2739,9	2974,7	5,8799
	450	0,01845	2879,9	3156,6	6,1410
	500	0,02080	2997,3	3309,3	6,3452
	550	0,02292	3104,9	3448,8	6,5201
	600	0,02490	3207,9	3581,5	6,6767
	650	0,02679	3308,6	3710,5	6,8204
	700	0,02862	3408,3	3837,6	6,9544
	750	0,03039	3507,8	3963,7	7,0808
	800	0,03213	3607,6	4089,6	7,2009
	850	0,03384	3708,1	4215,6	7,3158
20.000					
	(365,80)	(0,005874)	(2296,1)	(2413,6)	(4,9330)
	400	0,009946	2617,9	2816,9	5,5521
	450	0,01270	2806,8	3060,8	5,9026
	500	0,01477	2944,1	3239,4	6,1417
	550	0,01655	3063,0	3393,9	6,3355
	600	0,01817	3173,3	3536,7	6,5039
	650	0,01969	3279,2	3672,9	6,6557
	700	0,02113	3382,8	3805,5	6,7955
	750	0,02253	3485,4	3936,0	6,9263
	800	0,02388	3587,8	4065,4	7,0498
	850	0,02521	3690,3	4194,4	7,1673
25.000					
	500	0,01112	2886,1	3164,2	5,9616
	550	0,01272	3018,6	3336,5	6,1778
	600	0,01413	3137,3	3490,4	6,3593
	650	0,01542	3249,0	3634,5	6,5198
	700	0,01664	3356,8	3773,0	6,6659
	750	0,01781	3462,7	3908,0	6,8012
	800	0,01894	3567,6	4041,1	6,9282
	850	0,02003	3672,3	4173,1	7,0485
30.000					
	500	0,008676	2823,2	3083,5	5,7936
	550	0,01016	2972,0	3276,8	6,0362
	600	0,01143	3100,1	3443,1	6,2324
	650	0,01258	3218,0	3595,5	6,4022
	700	0,01365	3330,4	3740,1	6,5547
	750	0,01467	3439,7	3879,8	6,6948
	800	0,01564	3547,3	4016,7	6,8254
	850	0,01659	3654,2	4151,8	6,9484
35.000					
	600	0,009511	3061,9	3394,7	6,1174
	650	0,01056	3186,5	3556,0	6,2971

	700	0,01152	3303,6	3706,9	6,4563
	750	0,01243	3416,5	3851,6	6,6012
	800	0,01330	3526,9	3992,2	6,7355
	850	0,01413	3636,0	4130,4	6,8614
40.000					
	650	0,009046	3154,5	3516,3	6,2012
	700	0,009930	3276,6	3673,8	6,3673
	750	0,01075	3393,1	3823,3	6,5171
	800	0,01154	3506,4	3967,8	6,6551
	850	0,01229	3617,7	4109,2	6,7838



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Aysu YOLCU

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir, 1991

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : aysu-yolcu@hotmail.com

Taranmış
Fotoğraf
(3.5cm x 3cm)

Eğitim Durumu

Lise : Söke Cumhuriyet Anadolu Lisesi, 2009

Lisans : SDÜ, Enerji Sistemleri Mühendisliği, 2014

Mesleki Deneyim

KA Mühendislik (2016.....halen)