

**T.C
HARRAN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BİYOETANOL ÜRETİM PROSESİNİN ENERJİ OPTİMİZASYONU
YAKLAŞIMI**

Mehmet Akif İLKHAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2021**

Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR danışmanlığında, Mehmet Akif İLKHAN'ın hazırladığı “**Biyoetanol Üretim Prosesinin Enerji Optimizasyonu Yaklaşımı**” konulu bu çalışma 12/01/2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR

Üye : Doç. Dr. Deniz UÇAR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Nurettin BEŞLİ

Bu Tezin Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım.

Doç. Dr. İsmail HİLALİ
Enstitü Müdürü

Bu çalışma GAPYENEV, HUBAK ve GAP BKİ Tarafından Desteklenmiştir.

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	v
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
1. GİRİŞ.....	7
1.1. Biyoetanol	7
1.1.1. Alternatif Bir Yakıt Olarak Biyoetanol	8
1.1.2. Şeker İçerikli Ham Maddeler	10
1.1.3. Nişastalı Ham Maddeler	11
1.1.4. Selülozik Ham Maddeler	12
1.1.5. Selülozdan Etanol Üretimi.....	14
1.1.5.1. Asit Hidrolizi	14
1.1.5.2. Enzimatik Hidroliz.....	17
1.1.5.3. Termaokimyasal Prosesler	18
1.2. Enerji Dengesi	19
1.3. Güneş Enerjisi.....	20
1.3.1. Termal Güneş Enerjisi	20
1.3.2. Fotovoltak Güneş Enerjisi	22
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	25
3.1. Biyoetanol Üretim Prototipi.....	26
3.2. Enerji Otomasyon Panosu	28
3.2.1. Kontrol Ünitesi	29
3.2.2. Güç Analizörü	31
3.2.3. Pompa Sürücüler (Frekans Kıyıcılar).....	31
3.2.4. Fotovoltaik Sistem Kurgusu.....	32
3.2.5. Termal Güneş Enerjisi Sistemi Kurgusu.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....	37
4.1. Deneysel Çalışmalar	37
4.2. Araştırma Bulguları	42
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	50
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	55
EK 1: SİSTEM TOPOLOJİSİ	56

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BİYOETANOL ÜRETİM PROSESİNİN ENERJİ OPTİMİZASYONU YAKLAŞIMI

Mehmet Akif İLKHAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR
Yıl: 2021, Sayfa: 60

Gelişmekte olan teknolojiler, şehirleşme, endüstriyel üretime geçiş gibi bir çok global dünya değişeniyle birlikte artan enerji tüketimleri nedeniyle enerji kaynağı olarak kullanılmakta olan fosil esaslı yakıtlara olan talebi arttırmaktadır. Fosil yakıtların dışa bağımlı ve maliyetli olması, yenilenebilir kaynak olmaması ve dolayısıyla belirli bir süre sonra tükenecek olması bir tarafa, bunların yakılması sonucu oluşan karbondioksitin oluşturduğu sera etkisiyle meydana gelmekte olan çevresel tehlikeler, yeni ve yenilenebilir alternatif enerji kaynaklarının önemini çok artırmıştır. Ülkemiz, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve yüksek potansiyeli ile zengin bir coğrafyaya sahiptir. Güneş enerjisi, hidrolik, biyokütle, rüzgar başta olmak üzere bir çok yenilenebilir enerji kaynağından faydalanabilme olanağı bulunmaktadır.

Yenilenebilir bir enerji kaynağı olan biyoetanol, karbonhidrat değeri yüksek hammaddelerden (şeker kamışı, mısır, algler, şeker pancarı) mikroorganizmaların yardımıyla fermantasyon yoluyla elde edilen çevre dostu sıvı bir yakıttır. Biyoetanol, dünya çapında birçok alanda kullanılmakta olup özellikle ulaşım için en yaygın kullanılan biyo-yakıttır.

Bu tez çalışmasında, biyoetanol üretiminde harcanan gömülü enerjinin azaltılması ve harcanacak olan nihai enerjinin tamamının yenilenebilir enerji kaynaklarından (termal güneş ve fotovoltaik) ile karşılanmasını sağlayacak olan bir otomatik kontrollü güç ünitesi kurgusu ve kurulumu gerçekleştirilmesi hedeflenmiştir. Bu çalışmada, öncelikle mevcut bir biyoetanol üretim prototipinin üretim prosesi için gerekli olan ısıtma yükünün optimizasyonu için gerekli çalışma senaryoları oluşturulmuştur. Bu senaryolar doğrultusunda ölçüm sistemleri, kontrolörler, enerji sistemleri ve veri depolama cihazları tedarigi yapılmış ve ilgili sistemlerin entegre çalışabilmesi için bir otomasyon yazılımı geliştirilmiştir. Ayrıca mevcut biyoetanol sisteminin enerji transferinde verimli tekniklerle donatılması ve proses ünitelerinin ısı kayıplarını engellemek için mekanik sistem yalıtımı yapılmıştır. Tamamlanan sistem ve yazılımlar sayesinde birim biyoetanol üretimi için harcanacak enerjinin (gömülü enerji) %40 oranında azaltılması sağlanmış ve geriye kalan %60'lık enerji ihtiyacının da bir başka yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden karşılanması için bir senaryo oluşturulmuştur. Bu sayede biyoetanolum gömülü enerjisi sıfırlanmış ve karbon-nötr bir etanol üretim modeli geliştirilmiştir.

ANAHTAR KELİMELEER: Biyoetanol, güneş, optimizasyon, verimlilik, karbon-nötr

ABSTRACT

MSc Thesis

ENERGY OPTIMIZATION APPROACH OF BIOETHANOL PRODUCTION PROCESS

Mehmet Akif İLKHAN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR
Year: 2021, Page: 60**

The environmental hazards arising from the greenhouse effect created by the carbon dioxide caused by the burning of these fossil based fuels, which are widely used today, being externally dependent and costly, not renewable, and therefore will be consumed after a certain period, have increased the importance of alternative energy sources. Our country has a rich geography with its diversity and high potential of renewable energy sources. It has the opportunity to benefit from many renewable energy sources such as solar energy, hydraulic, biomass and wind.

Bioethanol, a renewable energy source, is an environmentally friendly liquid fuel obtained from fermentation with high carbohydrate raw materials (sugar cane, corn, algae, sugar beet) with the help of microorganisms. Bioethanol is used in many fields worldwide and is the most widely used bio-fuel especially for transportation.

In this thesis, it is aimed to reduce the embedded energy spent in the production of bioethanol and to establish and install an automatic controlled power unit that will ensure that all of the final energy to be spent is obtained from renewable energy sources (thermal solar and photovoltaic). In this study, firstly, the working scenarios required for the optimization of the heating load required for the production process of an existing bioethanol production prototype were created. In line with these scenarios, measurement systems, controllers, energy systems and data storage devices are supplied and an automation software has been developed to enable the relevant systems to work integrated. In addition, the existing bioethanol system was equipped with efficient techniques in energy transfer and mechanical system insulation was made to prevent heat losses in the process units. Thanks to the completed systems and software, the energy consumed for unit bioethanol production (embedded energy) was reduced by 40% and a scenario was created to meet the remaining 60% energy need from solar energy, another renewable energy source. In this way, the embedded energy of bioethanol was zeroed and a carbon-neutral ethanol production model was developed.

KEYWORDS: Bioethanol, solar energy, optimization, efficiency, carbon-neutral

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans öğrenimim boyunca bana her türlü desteği gösteren saygıdeğer danışman hocam Prof. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR'e, çalışma hayatımın ilk dönemlerinde bana cesaret veren ve her türlü imkânı sağlayan ilk danışman hocam Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA'ya, tecrübesiyle bu çalışmada özverili yönlendirmeleri vesilesiyle Doç. Dr. Deniz UÇAR'a, GAPYENEV Merkezi akademik ve idari çalışanlarına ve hayatım boyunca bana maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen babama, anneme, kardeşlerim ve eşime en içten duygularıyla teşekkür eder, sevgilerimi sunarım.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1 ABD’de bir pompa istasyonundaki benzin çeşitleri ve uygulamadaki etanol oranları (O'Donnell, 2013)	9
Şekil 1.2 Brezilya’da 2002 ile 2007 yılları arasında etanol ile çalışabilen araç üretim % oranları (Wang ve ark., 2012)	11
Şekil 1.3 Selülozden etanol üretim süreci (Wei ve ark., 2015)	13
Şekil 1.4 Biyoyakıt yaşam döngüsü	20
Şekil 1.5 Bir güneş enerjisi kollektörünün ısı bilânçosu şeması (Uyarel ve Öz, 1987).....	21
Şekil 1.6 Fotovoltaik hücre çalışma prensibi	22
Şekil 3.1 Biyoetanol üretimi sürecinde kullanılan hammaddeler, işlemler ve yan ürünler	25
Şekil 3.2 Biyoetanol Üretim Prototipi Şeması	26
Şekil 3.3 400 L’lik Fermentör	27
Şekil 3.4 400 L’lik Damıtma Tankı.....	28
Şekil 3.5 Otomasyon Panosu.....	29
Şekil 3.6 Kontrol Ünitesi Şeması	30
Şekil 3.7 Kontrol Ünitesi.....	30
Şekil 3.8 Debi kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerle sağlanabilecek enerji tasarrufu oranı	31
Şekil 3.9 Frekans Kırıyıcılar (motor sürücüler).....	32
Şekil 3.10 Fotovoltaik Sistem Bağlantı Şeması	33
Şekil 3.11 Hibrit İnverter	34
Şekil 3.12 Termal Bağlantı Şeması	35
Şekil 4.1 Kontrol Ünitesi Çalışma Algoritması.....	38
Şekil 4.2 Güneş enerjisi termal sisteminin enerji üretim miktarı ve ihtiyaç duyulan enerjinin güneş enerjisinden karşılanma oranı	39
Şekil 4.3 Sistem Isı Enerjisi Akış Şeması	40
Şekil 4.4 Fotovoltaik Sistemi Aylık Enerji Üretim Değerleri (PVGIS (URL-2))	41
Şekil 4.5 Sistem Elektrik Enerjisi Akış Şeması.....	42
Şekil 5.1 Sistem Kazanım Diyagramı	50

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 1.1. Glikozdan etanol verimi (Badger, 2001).....	16
Çizelge 1.2. Ksilozdan etanol verimi (Badger, 2001)	16
Çizelge 2.1 Etanolün Net Enerji Üretim Değeri.....	23
Çizelge 4.1 Alkol saflaştırma sürecinde sistem optimizasyon çalışması detayları.....	43
Çizelge 4.2 Etanol kimyasal özellikleri.....	46



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

BTU	British Thermal Unit
EV	Enerji Verimliliği
LHV	Lower Heating Values (Alt Isıl Değeri)
NEV	Net Energy Value (Net Enerji Değeri)
PLC	Programmable Logic Controller (Programlanabilir Mantık Denetleyici)
SSR	Solid State Relay (Röle)
YE	Yenilenebilir Enerji



1. GİRİŞ

1.1. Biyoetanol

Biyoetanol; temelinde organik maddelerde bulunan karbonhidrat kaynağının mikroorganizmalar tarafından biyokimyasal olarak oksijensiz ortamda fermantasyon yolu ile dönüşüme uğratılması sonucunda elde edilen sıvı bir biyoyakıttır (İmrağ, 2006).

Yılmaz (2019) tarafından bildirildiğine göre; biyoetanol üretimi karmaşık bir prosestir. Enerji değeri yüksek hammaddelerin (şeker kamışı, mısır koçanı vb.) veya lignoselülozik biyokütle gibi biyolojik kaynakların mikroorganizmalar tarafından etanole dönüştürülmesi prensibine dayanır. Etanol üretimi hammaddelerin (1) sakkarifikasyonu yada ön işleme tabii tutulması, (2) fermantasyonu ve (3) fermantasyon sonucunda elde edilen çıkış suyundaki etanol saflığını arttırmak için distilasyon gibi bir dizi işleme tabi tutulması gerekir.

Küresel ısınma ve fosil yakıtlara bağımlılık konusundaki endişeler arttıkça, karbondioksit (CO₂) emisyonlarını azaltan yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılması da yaygın bir ilgi konusu haline geliyor. Yenilenebilir kaynaklar arasında yakıt olarak etanol kullanımı da yer almaktadır. Etanol yakıt genellikle bir "yeşil" enerji kavramı (yani, sera gazı emisyonlarının ve diğer çevresel etkilerin azaltılmasına katkıda bulunan verimli enerji kaynakları) ile ilişkilendirilir. Bununla birlikte, alternatif bir enerji kaynağı ararken, potansiyel çevresel faydaları ve dezavantajları doğru bir şekilde değerlendirmek için tüm üretim ve kullanım döngüsünü değerlendirmek gerekir (Marcelo E.ve ark., 2005).

Biyoetanolanun yukarıda sözü edilen üretim süreçlerinden de anlaşılacağı üzere enerji yoğun bir prosese sahiptir. Bir ürünlerdeki gömülü enerji; hammaddenin elde edilmesi, ulaştırılması ve işlenmesini, daha sonra da nihai ürünün üretiminde

harcanan direk ve dolaylı enerji ve tüketiciye ulaştırılması için harcanan enerjilerin toplamından oluşmaktadır.

Enerji yoğun yaşam döngüsü sebebiyle etanol üretimi, bilimsel ve siyasal gerekçelerle desteklenerek sürekli olarak eleştiriye maruz kalmış ve etanol üretiminin petrol kullanımını azaltmanın etkili bir yolu olmadığını iddia edilmektedir. Temelde yanlış olsa da, bu iddia, etanol üretimi ve kullanımına ilişkin kamu politikası tartışmalarının ön saflarında yer almıştır. Etanol eleştirisi şuna iniyor: Yapmak için sağladığından daha fazla enerji girdisi gerekiyor.

1.1.1. Alternatif Bir Yakıt Olarak Biyoetanol

1970'lerdeki küresel yakıt krizleri, birçok ülke arasında petrol ambargolarına ve kısıtlılarına karşı savunmasızlığı konusunda farkındalık yaratmıştır. İsrail ile Arap ülkeleri arasındaki savaşa destek vermek amacı ile arap ülkelerinin petrol satışını durdurması tüm dünyada etkileri olan bir krize sebep olmuştur. Bu yıllarda petrole alternatif yakıt imkanları araştırılmaya başlanmıştır.

Bu yıllarda alkollere özellikle atıfta bulunularak, alternatif yakıt kaynaklarının geliştirilmesine büyük önem verildi. %10 kuru etanol ve kurşunsuz benzin (E10) karışımı ABD'ye ticari olarak tanıtıldı ve esas olarak orta-batı eyaletleri başta olmak üzere ABD'nin çeşitli bölgelerinde pazarlanmaya devam edilmektedir. Dizel ile harmanlanmış etanol kullanımı 1980'lerde bir araştırma konusu olmuş ve etanol-dizel karışımlarının mevcut dizel motorlar için teknik olarak kabul edilebilir olduğu gösterilmiştir. O zamanki nispeten yüksek etanol üretim maliyeti, yakıtın yalnızca yakıt kıtlığı durumunda düşünülebileceği anlamına geliyordu. Son zamanlarda ekonomi etanol üretiminde çok daha elverişli hale geldi ve standart dizel ile rekabet edebilmektedir. Sonuç olarak, özellikle emisyon azaltımlarına vurgu yapılarak etanol-dizel karışımlarına ilgi yeniden artmıştır (Hansel ve ark., 2005).



Şekil 1.1 ABD’de bir pompa istasyonundaki benzin çeşitleri ve uygulamadaki etanol oranları (O'Donnell, 2013)

Etanolu bir yakıt genişletici veya ikame maddesi olarak çekici kılan ek bir faktör, yenilenebilir bir kaynak olmasıdır. Azalan fosil yakıt kaynakları ve çeşitli ülkelerin ithal edilen ham petrole artan bağımlılığı, biyoenerji kullanımının yaygınlaştırılmasına büyük ilgi uyandırmaktadır. ABD hükümetinin son 10 yılda biyoenerjiyi üç kat artırma taahhüdü, uygulanabilir biyoyakıt arayışına ivme katmıştır. Avrupa Birliği (AB) ayrıca, biyoyakıtların 2005 yılı sonuna kadar nakliye yakıtı olarak satılan benzin ve dizelin pazarının en az % 2'sini oluşturmasını sağlayan tedbirlerle birlikte biyoyakıt kullanımının teşvikine ilişkin bir önerge teklifini de kabul edilmiştir (Hansel ve ark., 2005).

20. yüzyılın son yirmi yılında, motor teknolojisinde de büyük gelişmeler meydana gelmiş ve araçlarda daha fazla yakıt ekonomisi sağlanmıştır. Motorlardan kaynaklanan emisyonların azaltılması, yeni motorların geliştirilmesinde önemli bir faktör haline geldi ve üreticiler, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve AB tarafından belirlenen emisyon standartlarını karşılamak için önemli ölçüde enerji ve kaynaklara odaklanmaktadır. Sonuç olarak, bu gereksinimleri karşılamanın bir yolu olarak geleneksel olmayan yakıtların kullanılması büyük ilgi uyandırmıştır (Hansel ve ark., 2005).

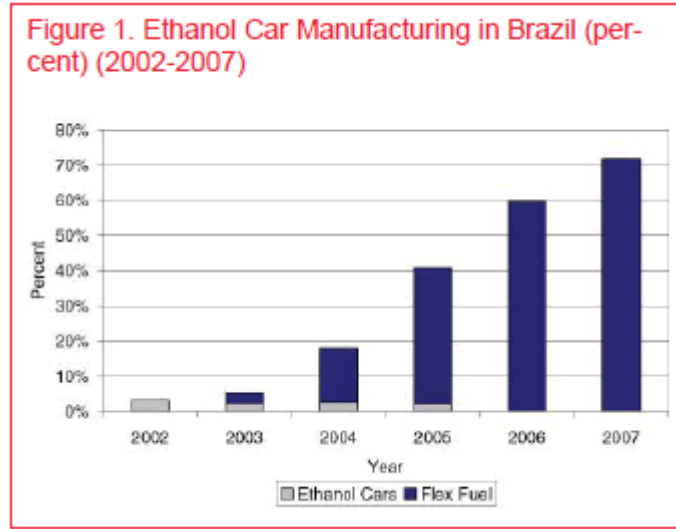
Etanol, petrolden sentetik olarak veya biyokütle materyallerinin fermantasyon yoluyla mikrobiyal dönüşümü ile yapılabilir. 1995 yılında, dünyadaki etanolün yaklaşık %93'ü fermantasyon yöntemiyle ve yaklaşık %7'si sentetik yöntemle üretilmekteydi. Fermantasyon yöntemi genellikle üç adım kullanır: (1) fermente olabilen şekerlerin bir

çözeltilisinin oluşturulması, (2) bu şekerlerin etanole fermantasyonu ve (3) etanolün genellikle damıtma yoluyla ayrılması ve saflaştırılması. Üretimde kullanılan ham maddeler sonraki bölümde özetlenmiştir.

1.1.2. Şeker İçerikli Ham Maddeler

Fermantasyon, fermente olabilen şekerleri gıda için kullanan ve bu süreçte etanol ve diğer yan ürünleri üreten mikroorganizmaları içerir. Bu mikroorganizmalar, tipik olarak en yaygın olanı glikoz olan 6 karbonlu şekerleri kullanabilir. Bu nedenle, yüksek seviyelerde glikoz veya glukoz öncü maddeler içeren biyokütle malzemeleri etanole dönüştürülmesi en kolay olanlardır. Bununla birlikte, şeker malzemeleri insan besin zincirinde yer aldığından, bu malzemeler genellikle etanol üretiminde kullanılamayacak kadar pahalıdır. Şeker besleme stoğuna bir örnek şeker kamışıdır (Galbe ve Zacchi, 2002).

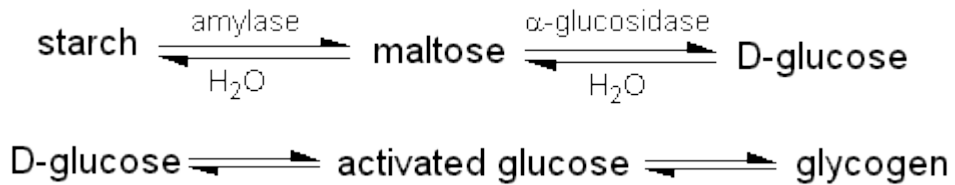
Brezilya, birkaç nedenden ötürü şeker kamışından başarılı bir yakıt etanol programı geliştirilmiştir. Bu sebepler (1) Brezilya, geleneksel olarak, ulaştırma yakıtları için büyük ölçüde ithal petrole dayanması ve bu durumun ülkede ciddi bir ekonomik buhrana sebep olması, (2) Brezilya'nın şeker kamışı üretimi için elverişli bir iklime sahip olması ve (3) Brezilya'da şeker pazarlarının zayıf olduğu dönemlerin halihazırda yaşanmış olması ve ülkenin bu duruma karşı stratejiler geliştirmiş olması. Sonuç olarak, Brezilya hükümeti endüstriyi destekleyen programlar oluşturmuş ve sonuçta Brezilya, yakıt etanol üretimi için şeker kamışı başarıyla üretilip kullanabilmiştir. Mantarlar, bakteriler ve maya mikroorganizmaları fermantasyon için kullanılabilir de, glikozu etanole fermente etmek için sıklıkla özel bir maya (Fırıncı mayası olarak da bilinen *Saccharomyces cerevisiae*) kullanılır. Teorik olarak, 100 gram glikoz, 51.4 g etanol ve 48.8 g karbon dioksit üretecektir. Bununla birlikte, pratikte, mikroorganizmalar, büyüme için glikozun bir kısmını kullanır ve gerçek verim %100'den azdır. Şekerler bakımından zengin diğer biyokütle hammaddeleri (sakkaritler olarak bilinen malzemeler) arasında şeker pancarı, tatlı sorgum ve çeşitli meyveler bulunur. Bununla birlikte, bu malzemelerin tümü insan besin zincirindedir ve bazı işleme kalıntıları dışında, genellikle yakıt etanol üretimi için kullanmak çok pahalı ve etik değildir (Wilson ve ark., 1982).



Şekil 1.2 Brezilya’da 2002 ile 2007 yılları arasında etanol ile çalışabilen araç üretim % oranları (Wang ve ark., 2012)

1.1.3. Nişastalı Ham Maddeler

Bir başka potansiyel etanol besleme stoku nişastadır. Nişasta molekülleri, uzun glikoz molekülleri zincirlerinden oluşur. Bu nedenle, nişastalı malzemeler, nişasta moleküllerini basit glikoz moleküllerine parçaladıktan sonra da fermente edilebilir. Nişastadan glikoza giden süreç aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir.

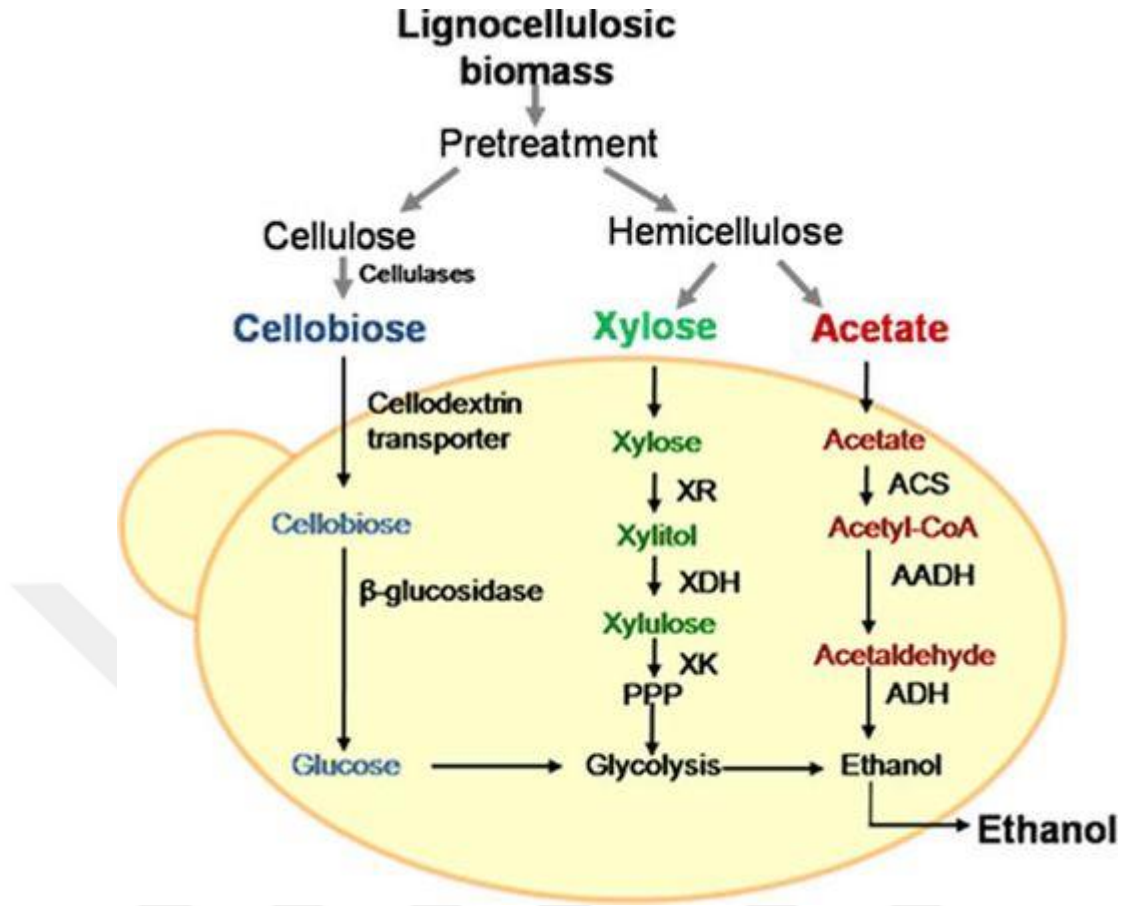


Etanol üretimi için dünya çapında yaygın olarak kullanılan nişastalı malzemelerin örnekleri arasında tahıl taneleri, patates, tatlı patates sayılabilir. ABD’de etanol üretimi için yaygın olarak kullanılan tahıl taneleri arasında mısır ve buğday bulunmaktadır. 1990 yılında dünyada yaklaşık 475 milyon ton mısır üretildi ve ABD’de yaklaşık 200 milyon ton üretildi. 1990’da ABD’de üretilen toplam mısırın yaklaşık 8 ila 9 milyon tonu veya %4’ü etanol üretim sürecine girmiştir. Bir ölçek mısır tanesi (% 15 nemde 25,3 kg) kullanılan teknolojiye bağlı olarak 9.4 ila 10.9 L

saf etanol üretebilir. Nişastalı malzemeler, nişastayı fermente olabilen şekerlere (şekere dönüştürme) parçalamak için su ile nişastanın reaksiyonunu (hidroliz) gerektirir. Tipik olarak hidroliz, nişastanın suyla bir bulamaç oluşturacak şekilde karıştırılmasıyla gerçekleştirilir; bu daha sonra karıştırılır ve hücre duvarlarını kırmak için ısıtılır. Isıtma döngüsü sırasında çeşitli zamanlarda kimyasal bağları kırarak spesifik enzimler eklenir.

1.1.4. Selülozik Ham Maddeler

Şeker malzemeleri gibi, nişastalı malzemeler de insan besin zincirindedir ve bu nedenle pahalıdır. Bu aşamada selülozik malzemeler devreye girmektedir. Selülozik malzemelerin örnekleri kağıt, karton, ahşap ve diğer lifli bitki malzemeleridir. Selülozik kaynaklar genel olarak çok yaygın ve bol miktarda bulunmaktadır. Bol ve insan besin zincirinin dışında olmaları, selülozik malzemeleri etanol üretimi için nispeten ucuz hammaddeler haline getirir. Selülozik malzemeler, lignin, hemiselüloz ve selülozdan oluşur ve bu nedenle bazen odun selülozik malzemeler olarak adlandırılır. Aşağıdaki şekilde selülozik maddelerden etanol üretim süreci şematik olarak sunulmuştur.



Şekil 1.3 Selülozden etanol üretim süreci (Wei ve ark., 2015)

Selüloz molekülleri, nişasta molekülleri gibi uzun glikoz molekülleri zincirlerinden oluşur, ancak farklı bir yapısal konfigürasyona sahiptir. Bu yapısal özellikler artı lignin ile kapsülleme, selülozik malzemelerin hidrolize edilmesini nişastalı malzemelere göre daha zor hale getirir. Hemiselüloz ayrıca uzun şeker molekülleri zincirlerinden oluşur; ancak glikoza (6 karbonlu veya heksoz şeker) ek olarak pentozlar (5 karbonlu şeker) içerir. Özetle hemiselülozun tam şeker bileşimi bitkinin türüne bağlı olarak değişebilir (Radhika ve ark., 2011).

Son zamanlarda, 5 karbonlu şekerleri nispeten yüksek bir verimlilikle etanole fermente edebilen özel mikroorganizmalar genetik olarak tasarlanmıştır. Bir örnek, Florida Üniversitesi tarafından geliştirilen, hem 5 hem de 6 karbonlu şekerleri fermente etme yeteneğine sahip, genetik olarak tasarlanmış bir mikroorganizmadır. Diğer araştırmacılar, mevcut şekerlerin en azından bir kısmını verimli bir şekilde fermente etme yeteneğine sahip mikroorganizmalar geliştirdiler. Bakteriler,

fermantasyon hızları nedeniyle araştırmacıların özel ilgisini çekti. Genel olarak bakteri, maya için saatlere kıyasla dakikalar içinde fermentasyonu gerçekleştirebilmektedir (Wiegel, 1982).

1.1.5. Selülozdan Etanol Üretimi

Yakıt kıtlığı zamanlarında etanol, ABD'de asit hidroliz teknikleri kullanılarak (ham maddenin asit kullanılarak etanole dönüşebilir formlara hidrolizi) selülozik biyokütle hammaddelerinden ticari olarak üretilmiştir. Günümüzde, daha yüksek etanol ve yakıt fiyatlarına sahip yerlerdeki bazı ülkeler, selülozik hammaddelerden etanol üretmektedir. Bununla birlikte, ABD'de selülozdan etanol üretmek için uygun maliyetli teknolojiler yeni ortaya çıkmaya başlamıştır. Üç temel selülozdan etanol üretim işlemi türü vardır:

1. Asit hidrolizi
2. Enzimatik hidroliz
3. Termokimyasal hidroliz

Her bir yöntem farklı süreçler içermektedir ve en yaygın olanı asit hidrolizidir. Hemen hemen her asit kullanılabilir; ancak sülfürik asit, genellikle en ucuz olduğu için en yaygın şekilde kullanılır.

1.1.5.1. Asit Hidrolizi

İki temel asit işlemi türü vardır: her biri farklı olan seyreltik asit ve konsantre asit. Seyreltik asit işlemleri, yüksek sıcaklık ve basınç altında gerçekleştirilir ve saniyeler veya dakikalar arasında reaksiyon sürelerine sahiptir, bu da sürekli işlemi kolaylaştırır. Örnek olarak, 0.22 dakikalık bir bekletme süresinde ve 237 °C (458 ° F) sıcaklıkta saf selüloz ile sürekli akışlı bir reaktörde % 1 sülfürik asit ile seyreltik bir asit işlemi kullanmak, % 50 şekerin üzerinde bir verim sağlamıştır. Bu durumda 0,9 t (1 ton) kuru odun, yaklaşık 189 L saf etanol verir (Taherzadeh ve Karimi, 2007).

Ancak bu tasarımda asit ile yüksek sıcaklık ve basıncın kombinasyonu, özel reaktör konfigürasyonları gerektirir. Seyreltik asit işlemlerinin çoğu, yaklaşık % 50'lik bir şeker geri kazanım verimliliği ile sınırlıdır. Bunun nedeni, en az iki reaksiyonun bu sürecin parçası olmasıdır. İlk reaksiyon selülozik malzemeleri şekere dönüştürür ve ikinci reaksiyon şekerleri diğer istenmeyen kimyasallara dönüştürür (Taherzadeh ve Karimi, 2007).

Maalesef ilk reaksiyonun oluşmasına neden olan koşullar, ikincinin oluşması için de doğru şartlardır. Böylece, selülozik moleküller parçalandığında, reaksiyon hızla şekerleri diğer ürünlere ayırmak için ilerler. Bu aşamada ortaya çıkan maddelerden en önemlisi plastik endüstrisinde kullanılan bir kimyasal olan furfuraldır. Şeker bozunması sadece şeker verimini azaltmakla kalmaz, aynı zamanda furfural ve diğer bozunma ürünleri fermantasyon mikroorganizmaları için zehirli olabilir. Seyreltik asit işlemlerinin en büyük avantajı, sürekli işlemeyi kolaylaştıran hızlı reaksiyon hızıdır. En büyük dezavantajları düşük şeker verimidir. Hızlı sürekli prosesler için, yeterli asit penetrasyonuna izin vermek için, besleme stoklarının da, maksimum partikül boyutunun birkaç milimetre aralığında olması için küçültülmesi gerekir. 5 karbonlu şekerler 6 karbonlu şekerlerden daha hızlı bozunduğundan, şeker bozulmasını azaltmanın bir yolu iki aşamalı bir sürece sahip olmaktır. İlk aşama, 5 karbonlu şekerleri geri kazanmak için hafif işlem koşulları altında gerçekleştirilirken, ikinci aşama 6 karbonlu şekerleri geri kazanmak için daha sert koşullar altında yürütülür. Ancak tüm bu yöntemlere rağmen şeker bozunması hala bir sorundur ve verimler yaklaşık 272 L/ton kuru odun ile sınırlıdır (Gupta ve Verma, 2015).

Konsantre asit prosesinde ise nispeten ılımlı sıcaklıklar kullanılır ve dahil olan tek basınç genellikle materyallerin tanktan kaba pompalanmasıyla oluşan basınçtır. Bir konsantre asit süreci ilk olarak USDA tarafından geliştirilmiş ve Purdue Üniversitesi ve Tennessee Valley Authority (TVA) tarafından daha da rafine edilmiştir. TVA konsantre asit prosesinde mısır sopası seyreltik (% 10) sülfürik asit ile karıştırılır ve ilk (veya hemiselüloz) hidroliz reaktöründe 2 ila 6 saat 100°C'ye ısıtılır. Düşük sıcaklıklar ve basınçlar şekerin bozulmasını en aza indirir. Konsantre işlemin birincil avantajı, hem hemiselüloz hem de selüloz şekerlerinin % 90'ından

fazlasına denk gelen yüksek şeker geri kazanım verimliliğidir. Kullanılan düşük sıcaklıklar ve basınçlar ayrıca fiberglas tanklar ve borular gibi nispeten düşük maliyetli malzemelerin kullanımına da izin verir. Ne yazık ki, nispeten yavaş bir süreçtir ve uygun maliyetli asit geri kazanım sistemlerinin geliştirilmesi zor olmuştur. Asit geri kazanımı olmadan, şeker solüsyonundaki asidi nötralize etmek için büyük miktarlarda kireç kullanılmalıdır. Bu nötralizasyon, büyük miktarlarda kalsiyum sülfat oluşturur, bu da bertaraf gerektirir ve ek masraf oluşturur.

Bazı varsayılan selüloz dönüştürme ve fermentasyon verimlilikleri kullanılarak, glikozdan etanol verimini gösteren Çizelge 1'de gösterildiği gibi mısır sosu (mısır bitkisinin yer üstü kısmı, başaklar) için glikozdan etanol verimleri hesaplanabilir. Benzer şekilde, ksilozdan etanol verimleri de gösterildiği gibi hesaplanabilir. Çizelge 2. Bu nedenle, bu örnekte, toplam kuru mısır koçan verimi / ton, yaklaşık 227 L (60 galon) etanoldur. Bu rakamlar aynı zamanda şeker dönüştürme ve geri kazanım verimliliklerinin ve fermantasyon verimliliklerinin ne kadar kritik olduğunu da göstermektedir. Her iki verimlilik için % 95'e ulaşılabiliriyorsa, verim yaklaşık 350 L / ton (103 galon etanol / ton) olacaktır (Badger, 2001).

Çizelge 1.1. Glikozdan etanol verimi (Badger, 2001)

Kuru mısır koçanı	1 ton (1000 kg)
Selüloz içeriği	x 0,45
Selüloz dönüşümü ve geri kazanım verimi	x 0,76
Etanol stokiometrik verimi	x 0,51
Glikoz fermentasyon verimi	x 0,75
Glikoz verimi	131 kg etanol=151 L (40 galon)

Çizelge 1.2. Ksilozdan etanol verimi (Badger, 2001)

Kuru mısır koçanı	1 ton (1000 kg)
Hemiselüloz içeriği	x 0,29
Hemiselüloz dönüşümü ve geri kazanım verimi	x 0,90

Etanol stokiyometrik verimi	x 0,51
Ksiloz fermentasyon verimi	x 0,50
Ksiloz verimi	66 kg etanol=76 L (20 galon)

1.1.5.2. Enzimatik Hidroliz

Diğer bir temel hidroliz yöntemi enzimatik hidrolizdir. Enzimler, bazı kimyasal reaksiyonların meydana gelmesine neden olan doğal olarak oluşan proteinlerdir. Ancak enzimlerin çalışması için hidrolize edilecek moleküllere erişim sağlamaları gerekir. Enzimatik işlemlerin etkili olabilmesi için, bu nedenle, lignoselülozun kristal yapısını kırmak ve selüloz ve hemiselüloz moleküllerini açığa çıkarmak için lignini çıkarmak için bir tür ön-muamele işlemine ihtiyaç vardır. Biyokütle malzemesine bağlı olarak, fiziksel veya kimyasal ön işlem yöntemleri kullanılabilir. Fiziksel yöntemler, yüksek sıcaklık ve basınç, öğütme, radyasyon veya dondurma kullanabilir ve bunların tümü yüksek enerji tüketimi gerektirir. Kimyasal yöntem, kristal yapıyı parçalamak ve çözmek için bir çözücü kullanılması prensibine dayanmaktadır. Sonuçta işlemiden geçmiş olan büyük moleküllerin enzimler yolu ile daha küçük yapılara dönüşmesi sürecinde enzimler rol alırlar (Walker ve Wilson, 1991).

Eğer enzimatik reaksiyonlar sonucunda oluşan monosakkaritler doğrudan fermentasyona katılıyorsa bu işleme de eş zamanlı sakkarifikasyon ve fermentasyon (simultaneous saccharification and fermentation) adı verilir. Sert kristal yapı nedeniyle, şu anda mevcut olan enzimlerin iyi sonuçlar elde etmesi için birkaç gün gerekir. Uzun işlem süreleri, reaktör kaplarını uzun süreler boyunca bağladığından, bu kaplar ya oldukça büyük olmalı ya da çok sayıda reaktör aynı anda kullanılmalıdır. Her iki seçenek de pahalıdır. Günümüzde enzimlerin maliyetleri de süreci etkileyen bir diğer parametredir. Bununla birlikte, daha ucuz enzimler geliştirilebilirse, enzimatik işlemlerin birçok avantajı vardır. Bu avantajlar:

(1) Enzimlerin verimlilikleri oldukça yüksektir ve yan ürün üretimleri kontrol edilebilir,

(2) Daha makul işlem koşulları (çok yüksek olmayan sıcaklık ve basınçlar) pahalı yapı malzemeleri gerektirmez,

(3) Proses enerji gereksinimleri nispeten düşüktür.

1.1.5.3. Termaokimyasal Prosesler

Halihazırda işlemlerinde termokimyasal reaksiyonlar kullanan iki etanol üretim süreci vardır. İlk sistem aslında hibrit bir termokimyasal ve biyolojik sistemdir. Bir örnek Fayetteville, Arkansas'ta Biyomühendislik Kaynakları tarafından geliştirilmekte olan bir süreçtir. Biyokütle malzemeleri önce termokimyasal olarak gazlaştırılır ve sentez gazı (hidrojen ve karbon oksitlerin bir karışımı) özel olarak tasarlanmış fermenterlerden köpürtülür. Sentez gazını dönüştürebilen bir mikroorganizma, fermente edicilere, etanole fermantasyona neden olmak için özel işlem koşulları altında verilir. İkinci termokimyasal etanol üretim sürecinde herhangi bir mikroorganizma kullanılmaz. Bu işlemde, biyokütle malzemeleri önce termokimyasal olarak gazlaştırılır ve sentez gazı, gazın etanole dönüştürülmesine neden olan katalizörler içeren bir reaktörden geçirilir. Yakıt üretimi amacıyla bu süreçleri geliştirmek üzere 2. Dünya Savaşı'nda Almanya tarafından yoğun bir çaba sarf edilmiştir. Bu tarihlerden beri, ticari olarak uygulanabilir termokimyasaldan etanole süreçler geliştirmek için çok çalışma yapılmıştır. %50'ye varan etanol verimleri sentez gazı-etanol prosesleri kullanılarak elde edilmiştir.

Sonuç olarak selülozdan etanol, selülozik malzemelerin yaygın bulunabilirliği, bolluğu ve nispeten düşük maliyeti nedeniyle büyük bir potansiyele sahiptir. Bununla birlikte, birkaç selülozdan etanol süreci teknik olarak uygulanabilir olmasına rağmen, uygun maliyetli süreçlerin gerçekleştirilmesi zor olmuştur. Ancak son zamanlarda ekonomik olarak uygulanabilir süreçler geliştirilmektedir.

Sayılan tüm bu süreçler sonucunda etanolün üretimi sonrasında saflaştırılması yüksek enerji gereksinimi gerektiren bir süreçtir. Distilasyon adı verilen bu süreçte etanol kaynama noktasına kadar ısıtılır ve kulelerde damıtım işlemi gerçekleştirilir.

Bu aşamada etanol konsantrasyonu yaklaşık %12 olan etanol su karışımı sıvı yaklaşık 80-90 derece sıcaklıklara kadar ısıtılır ve saflaştırma süreci başlar.

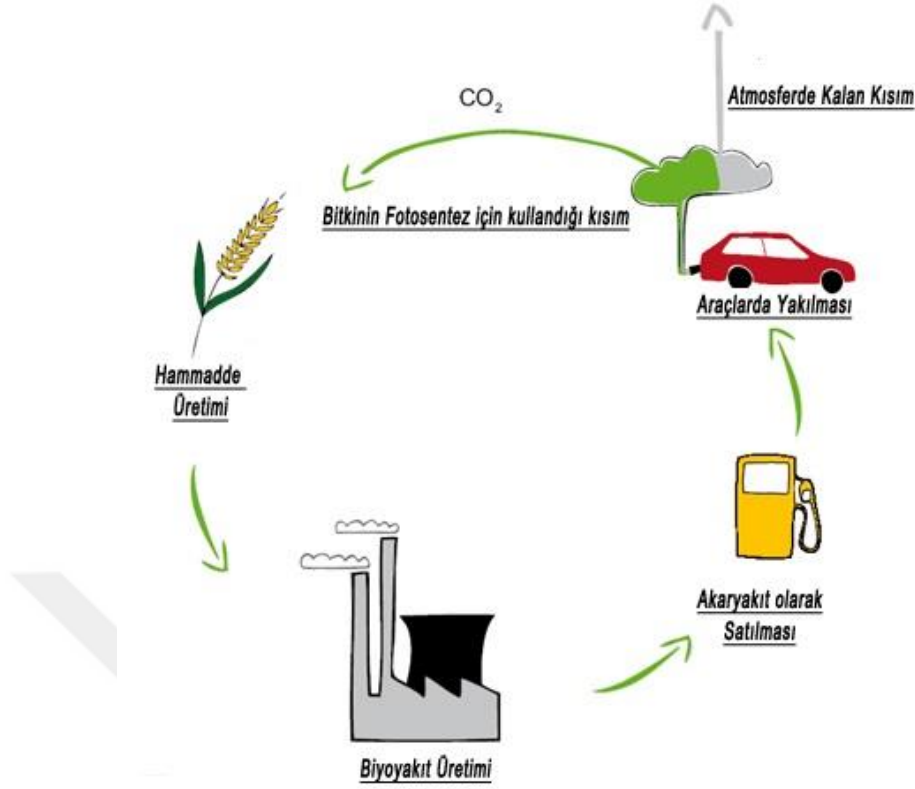
Bu saflaştırma sürecindeki yüksek enerji girdisi etanol üretim süreci üzerindeki en büyük ekonomik engeldir. Yapılabilecek ilk yarıtım maliyetleri ile bu enerjinin yenilenebilir enerji kaynaklarından (fotovoltaik paneller ve termal kollektörler) süreci daha karbon nötr hale getirebilecektir. Bu tez çalışmasında bu amaçla etanol üretim süreçleri irdelenmiş ve etanol saflaştırma için bir model yaklaşımı önerilmiştir.

1.2. Enerji Dengesi

Enerji dengesi (balans) dikkate alındığında; bir maddenin enerji kaynağı olarak kullanılabilmesi için net enerji değerinin (NEV) pozitif olması gerekmektedir. Yani, maddenin imalatı için kullanılan enerji girdisinin maddenin sağlayacağı enerji çıktısından küçük olması gerekmektedir.

Bir yenilenebilir enerji türü olarak tanımlanan biyoetanolün, tanımına uygun olarak sınıflandırılabilmesi için üretiminde sürdürülebilir yaklaşım geliştirilmesi gerekmektedir. Temelde sürdürülebilir bir yaklaşım geliştirilmesi için ise biyoetanolün gömülü enerjisinin asgari seviyede tutulması ve yine bu enerjinin sürdürülebilir bir kaynaktan temin edilmesi yoluyla mümkün olacaktır.

Etanolün Şekil 1.4'te gösterilen ve hammadde üretimiyle başlayan yaşam döngüsünde; tarımsal işletmelerde enerji bitkisi (mısır, çim, şeker pancarı, vb.) yetiştirmek için harcanan enerji (yakıt, makine amortismanı, gübre ve ilaç gömülü enerji, vb. dahil) miktarları, hammaddenin ekimi, zirai mücadelesi, biçimi ve endüstriyel tesise lojistiği de hesaplanmak koşulu ile dahil edilerek, endüstriyel proses ve nihai ürün lojistiğini kapsayacak şekilde bir bütün olarak gömülü enerji hesaplaması yapılmaktadır.



Şekil 1.4 Biyoyakıt yaşam döngüsü

1.3. Güneş Enerjisi

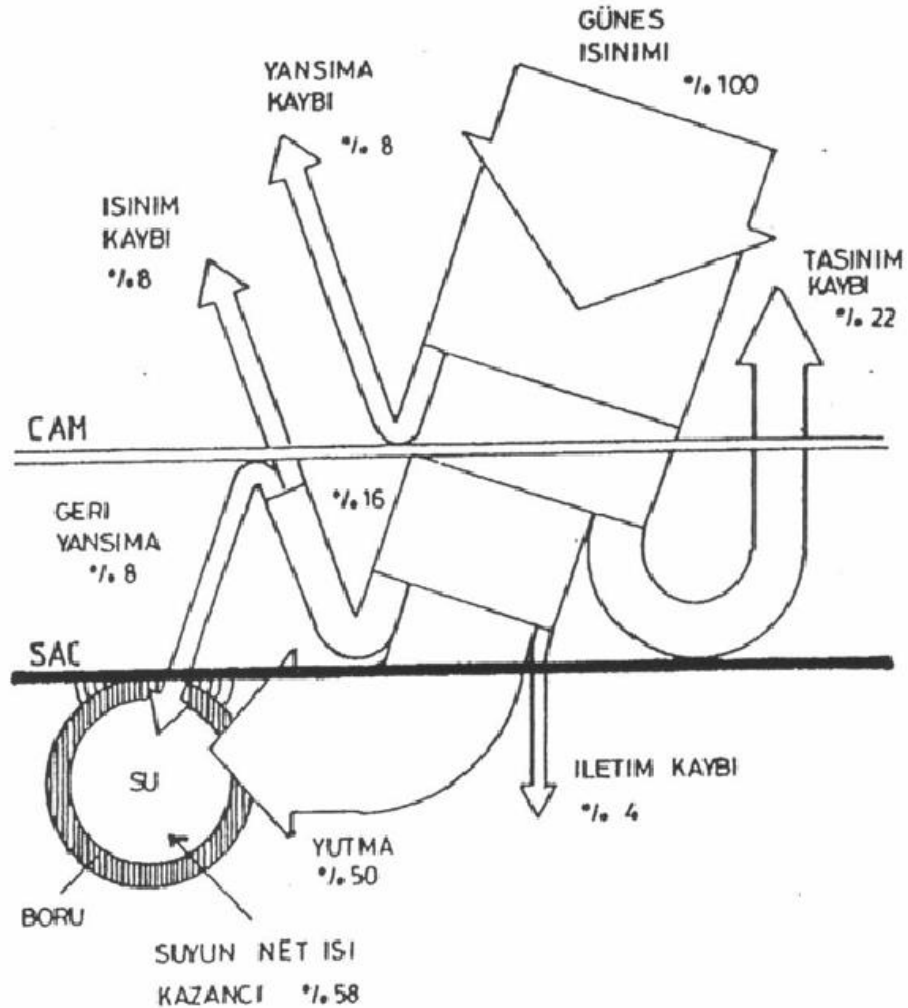
1.3.1. Termal Güneş Enerjisi

Güneş enerjisi sistemlerinin önemli bir kısmını termal güneş enerjisi teknolojileri oluşturmaktadır. Termal güneş enerjisi teknolojileri düşük, orta ve yüksek sıcaklık uygulamaları olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Düşük sıcaklık uygulamalarının en çok kullanılan örneği düzlemsel güneş kolektörleridir. Orta sıcak uygulamaları; parabolik çukur, fresnel kolektörler olarak adlandırılan çizgisel yoğunlaştırma yapan sistemlerdir. Yüksek sıcaklık uygulamaları parabolik çanak ve merkezi alıcılar olarak noktasal yoğunlaştırma yapan sistemlerdir (Yeşilata ve ark. 2011).

Güneş kolektörleri, güneş ışınımını toplayan ve onu güneş enerjisine dönüştüren düzeneklerdir. Düzlemsel veya vakum tüplü olmak üzere iki tip olarak

üretirler. Güneş kollektörlerinin önemli parçalarından bir tanesi yutucu plakalardır. Bu plakalar, aldıkları enerjiyi, içlerindeki borulardan geçen bir akışkana vererek, akışkanın sıcaklığını arttırlar. Sıcaklığı artan akışkan ise, kullanım amacına uygun olarak ya depolanıp kullanılır ya da çevrime geri gönderilir. Yutucu plakalar genellikle bakır, paslanmaz çelik ve alüminyumdan yapılırlar. Yüzeyleri, güneş ışınımı çok iyi yutan ve yayıcılığı çok az olan ve seçici yüzey olarak adlandırılan tabakalarla kaplıdır (Kaan, 2006).

Düzlemsel kollektörler, yüzeyine gelen güneş ışığını Şekil 1.5'te görüldüğü gibi, yüzey geçirgenlik oranları, absorber tutuculuk oranı ve yerleştirme açılarına bağlı olarak yaklaşık %58 oranında akışkana aktarabilmektedirler.

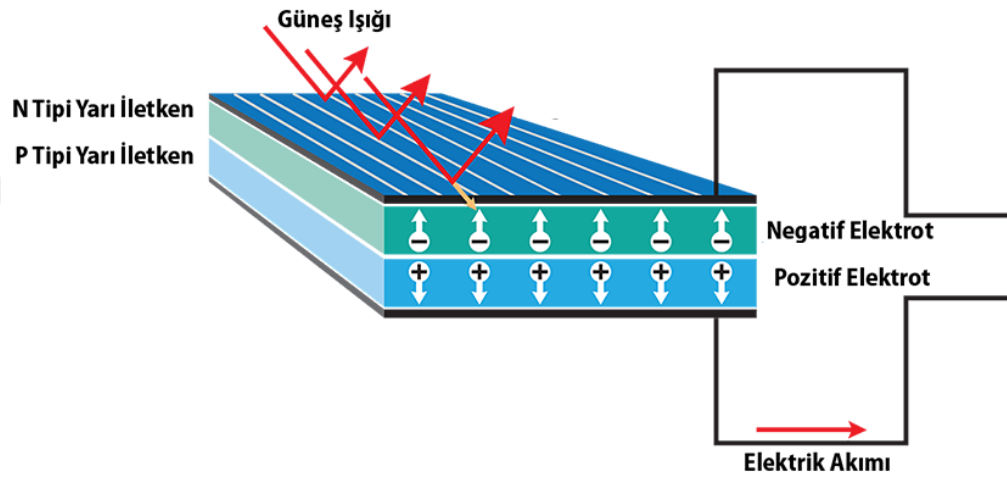


Şekil 1.5 Bir güneş enerjisi kollektörünün ısı bilançosu şeması (Uyarel ve Öz, 1987)

1.3.2. Fotovoltaik Güneş Enerjisi

“Fotovoltaik” sözcüğü, ışık anlamına gelen “foto” ve elektrik anlamına gelen “voltaik” sözcüklerinin birleşmesi ile oluşturulmuştur. İlk fotovoltaik panel hücresi 1954 yılında Amerika Birleşik Devletleri’ndeki Bell laboratuvarlarında bugünkü teknolojinin temeli atılmış geliştirilmeye başlanmıştır.

Fotovoltaik hücrelerin Şekil 1.6’da gösterildiği üzere, yapılarını oluşturan yarı iletken malzeme tarafından absorbe edilen güneş ışınları, p tipi yarı iletken maddeden elektron koparır. Enerji kazanan elektronlar p tipi yarı iletken n tipi yarı iletkene doğru akarlar. Bu sabit tek yönlü elektron akımı bir doğru akım oluşturur. Güneş panelleri üzerine düşen fotonları bu şekilde fotovoltaik ilke doğrultusunda elektrik akımına çeviren sistemlerdir.



Şekil 1.6 Fotovoltaik hücre çalışma prensibi

Bu çalışmanın amacı, biyoetanolün üretim aşamalarında harcanan gömülü enerjisinin minimize edilmesi ve tamamının yenilenebilir enerji ile karşılanabileceği bir enerji optimizasyonu gerçekleştirmektir. Bu doğrultuda; mevcut kurulu olan biyoetanol üretim prosesinde ısı kayıplarının engellenmesi, ısı transferinde ideal yöntem geliştirilmesi, ölçüme dayalı enerji tüketimi, frekans kısıyıcılar ile motor güç kontrolü, ısıl güç için termal güneş kollektörleri ve fotovoltaik güneş paneli entegrasyonları gerçekleştirilecektir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan birçok çalışmada; etanol üretimi için kullanılan hammaddeler referans alınarak analiz ve hesaplamalar gerçekleştirilmiş ve etanol üretiminin bir çok hammadde için pozitif net enerji değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Örnek olarak; Berkley Üniversitesi araştırmacıları tarafından yapılan literatür taramasında, farklı işlem süreçleri dikkate alınarak mısır bitkisi için aşağıdaki NEV çizelgesi oluşturulmuştur.

Çizelge 2.1 Etanolün Net Enerji Üretim Değeri

ETANOLÜN NET ENERJİ DEĞERİ: Çalışma Özetleri	
YAZAR ve TARİH	NEV (BTU)
Shapouri, et. al, (1995)	+20,436 (LHV)
Lorenz and Morris (1995) - Institute for LSR	+30,589 (LHV)
Agri. and Agri-Food, CAN (1999)	+29,826 (LHV)
Wang, et. al. (1999) – Argonne National Laboratory	+22,500 (LHV)
Pimentel and Patzak (2005)	-22,119 (LHV)
Shapouri, et. al, Update (2002) – USDA	+21,105 (LHV)
Kim and Dale (2002)	+23,866 (LHV)
Shapouri, et. al, (2004) – USDA	+30,258 (LHV)

Marcelo ve ark. (2005) tarafından yapılan bir çalışmada geçen; “Enerji dengeleri gibi, CO2 emisyonları da özellikle dönüştürme verimliliği ve mahsul verimi olmak üzere çeşitli değişkenlerden etkilenir. Bu tür değerler için farklı varsayımlar, farklı CO2 emisyon değerlerine neden olacaktır. Şeker kamışından türetilen etanol için, tarımsal girdiler daha büyük miktarda emisyondan sorumludur; mısırdan elde edilen etanol için emisyonların çoğu dönüşümden kaynaklanmaktadır” ifadeleri dikkate alındığında hammaddeye bağlı olarak proses kaynaklı enerji girdilerinin de değişken olduğu anlaşılmıştır.

Ethanol Across America'ya göre, etanol tesislerindeki enerji tüketimi istikrarlı ve dikkate değer bir düşüştü. Örneğin, fosil enerji ve elektrik için toplam enerji

kullanımı, Argonne Ulusal Laboratuvarı'ndaki Ulaşım Araştırma Merkezi tarafından analiz edilen anket verilerine göre kuru ve ıslak değirmenler için sırasıyla% 21,8 ve% 7,2 azalmıştır. Etanol endüstrisi büyüdükçe, verimlilik önemli ölçüde arttı (Bansal, 2016).

Valderrama ve ark. (2020) tarafından biyoetanolumun enerji ve su optimizasyonu üzerine yapılan bir çalışmada; MINLP formülasyonlarına dayalı matematiksel bir optimizasyonla bir ısı değişim ağıları entegrasyonu yapılmıştır. Sunulan sonuçlar, ısı değişim ünitesi sayısının% 53 ve endüstriyel soğutma hizmetlerinin maliyetinin% 19,25 oranında azaltılmasının mümkün olduğunu, bu da soğutma suyu tüketiminin azalması anlamına geldiğini göstermektedir.

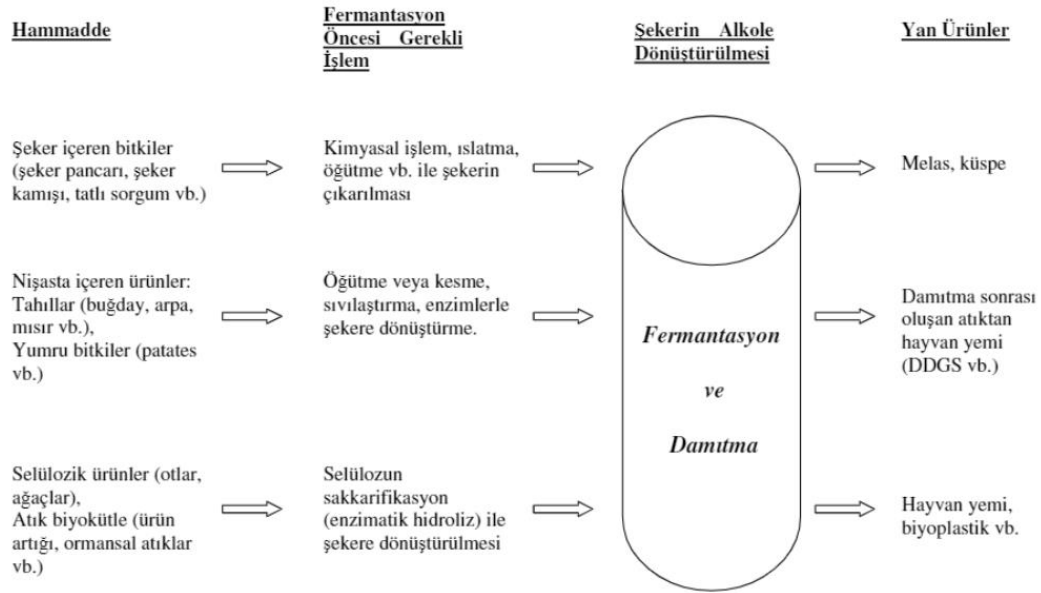
Etanol üretimi için yapılan bir başka enerji ve su optimizasyonu çalışması ise; optimizasyon tekniklerinin ve proses sistemleri mühendisliği metodolojilerinin doğru bir şekilde uygulanmasıyla, geçmişte literatürde karakterize edildiğinin aksine, büyük enerji tüketicileri olmayan mısır-etanol tesisleri veya daha az su gerektiren prosesler tasarlanmasının mümkün olduğunu göstermiştir (Grosman ve Martin, 2010).

Önceki çalışmalar dikkate alındığında; gerçekleştirilen bir çok çalışmada, tarımsal işletme süreçleri de dahil bir bütün olarak etanolün hayat döngüsü referans alınmış ve etanolün enerji ayak izi belirlenmiştir. Bu çalışmamız kapsamında ise; etanol hammaddesi olarak atık gıda ürünleri kullanıldığı için tarımsal süreçlerden kaynaklı herhangi bir enerji profili oluşmamaktadır. Ayrıca önceki çalışmalar sadece enerji dengesi belirleme üzerineyken bu çalışmada enerji dengesini pozitif almak için optimizasyon çalışmaları yürütülmüştür.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Etanol, alkoller diye anılan organik bileşikler sınıfından moleküler formülü C_2H_5OH olan ve doymuş bir hidrokarbon olan etanın (C_2H_6) altı hidrojeninden birinin yerine bir hidroksil grubunun (OH) geçmiş şekli olarak kabul edilir.

Çalışma kapsamında alkolik fermantasyon gerçekleştirilen bir prototip etanol üretim ünitesi üzerinde iyileştirme, geliştirme çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Fermantasyona dayalı etanol üretim prosesinde kullanılan hammaddeler, işlem süreçleri ve çıktıları ifade eden şema Şekil 3.1’de (Bulut, 2006) gösterilmektedir.



Şekil 3.1 Biyoetanol üretimi sürecinde kullanılan hammaddeler, işlemler ve yan ürünler

Alkolik fermantasyon yolu ile gerçekleştirilecek üretimde; şekerler başlıca olarak monosakkaritler (glikoz ve früktoz), kompleks enzim ihtiva eden maya mevcudiyetinde, etanol ve karbondioksit verecek şekilde bozunurlar:

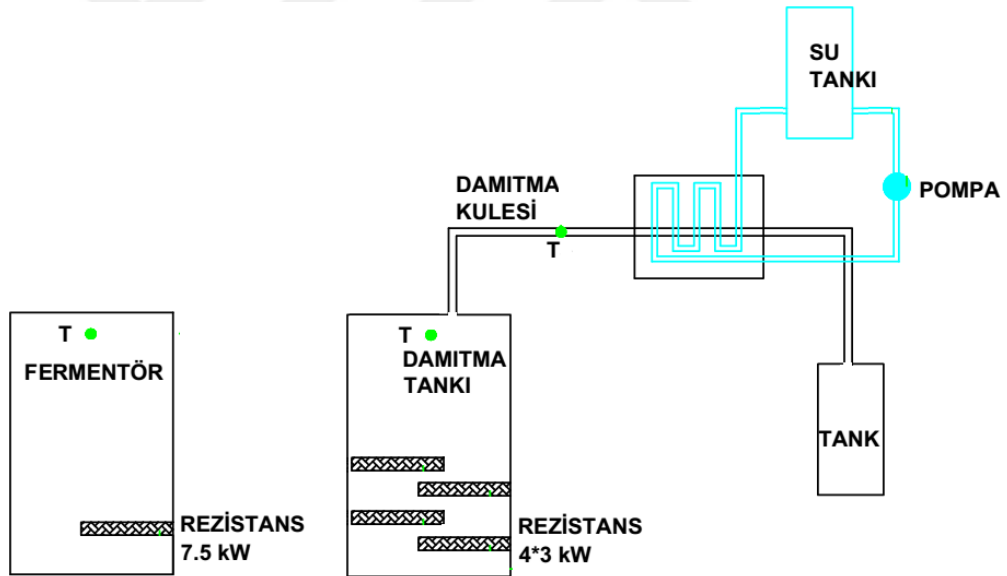


Çalışma kapsamında; herhangi bir enerji bitkisi kullanmak yerine gıda atıklarından nişasta içerikleri ürünlerin kurutma, öğütme, sıvılaştırma, enzimle şekere

dönüştürme ve fermantasyon yoluyla biyoetanole dönüşümü gerçekleştirilen bir işlem zinciri takip edilmiştir. Bu sayede; etanol üretimi için herhangi bir tarımsal işlem süreci gerçekleştirilmemiş ve hammadde için enerji ve su tüketimi olmaksızın bedelsiz ve hammadde kaynaklı gömülü karbon olmaksızın proses çevreci bir yaklaşım ile başlatılmıştır.

3.1. Biyoetanol Üretim Prototipi

Harran Üniversitesi GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi bünyesinde yer alan ve 2016 yılından bu yana gerçekleştirilmekte olan biyokütle araştırmalarına ev sahipliği yapan Biyokütle Laboratuvarı içerisinde, biyoetanol araştırmaları için tesis edilmiş olan bir protorip sistem üzerinde bu çalışma gerçekleştirilmiştir.

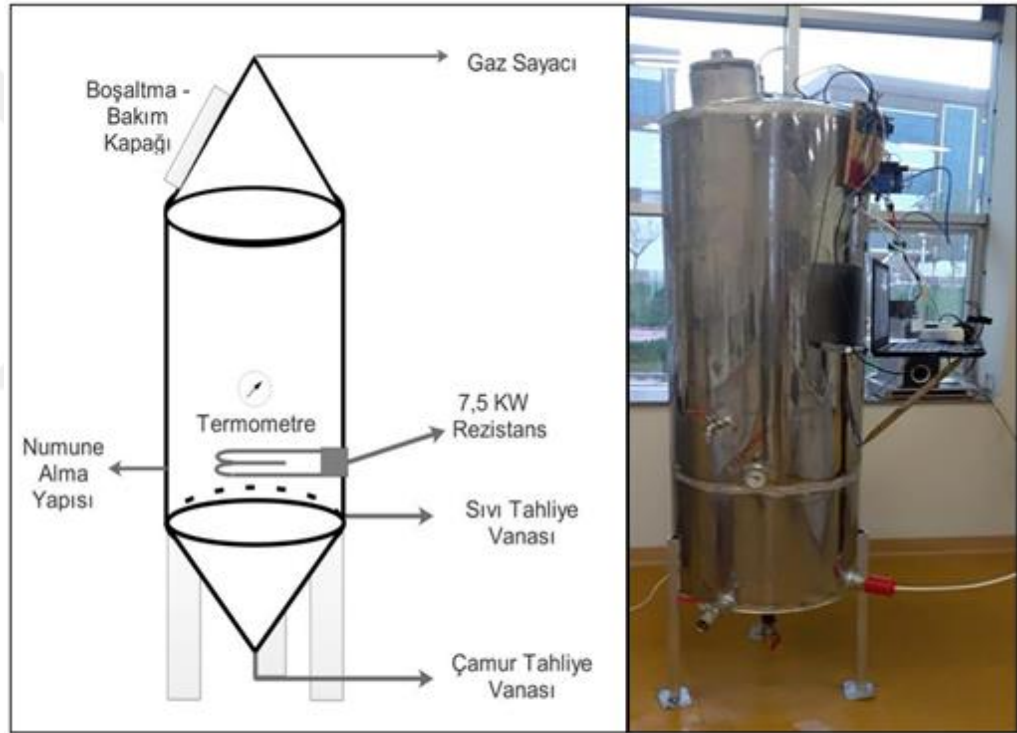


Şekil 3.2 Biyoetanol Üretim Prototipi Şeması

3.1.1. Fermentör

Fermentör, Şekil 3.3'te görüldüğü gibi, silindirik şekle sahip olup çapı 60 cm ve yüksekliği 140 cm'dir. Fermentörde alt taban ve üst tavan dışa doğru konik şekilde tasarlanmış olup konik kısmın yüksekliği 10 cm'dir. Alt konik tabanın

merkezinde ve reaktörün alt konik yapısının hemen üzerinde fermentörün tahliyesi için sırasıyla 1 ve yarım inç kalınlıkta paslanmaz küresel tahliye vanası bulunmaktadır. Fermentörden numune alınabilmesi için de tabanından 60 cm yükseklikte numune alma yapısı bulunmaktadır. Numune alma yapısının 20 cm altında ise termometre bulunmaktadır. Gerekğinde reaktörün ısıtılabilmesi için reaktörde 7500 Watt gücünde rezistans bulunmaktadır. Fermentörün üst koni yamacında ise gerektiğinde içine müdahale edilebilmesi için bir kapak ve tepe noktasında oluşan gazın toplanıp ölçülebilmesi için bir gaz tahliye borusu bulunmaktadır.

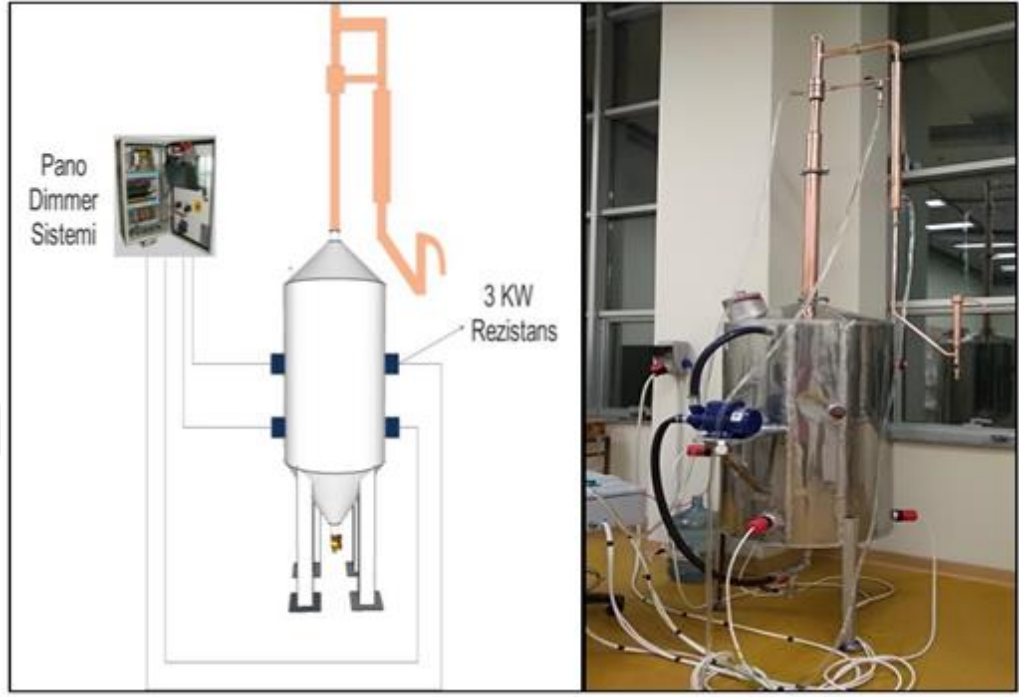


Şekil 3.3 400 L'lik Fermentör

3.1.2. Damıtma Tankı

Fermentörde oluşan etanolün saflaştırılabilmesi için Şekil 3.4'de görülen, 70 cm çapında ve 110 cm yüksekliğinde silindirik ve paslanmaz kromdan yapılmış damıtma tankı yapılmıştır. Fermentördekine benzer şekilde üst ve alt kısmı dışı doğru 10 cm yüksekliğinde konik yapıdadır. Damıtma tankı tabanında fermentörde olduğu gibi bir tahliye vanası mevcuttur. Reaktörde ısıtmanın yapılabilmesi için dört

adet 3000 Watt gücünde rezistans (toplam 12 kW) bulunmaktadır. Reaktörün tepe noktasında ise fermentördekine benzer şekilde bir kapak bulunmaktadır (T. Yılmaz, 2019).



Şekil 3.4 400 L'lik Damıtma Tankı

3.2. Enerji Otomasyon Panosu

Sensörler aracılığıyla üretim prosesinden bilgi toplama, depolama ve bilgi işleme yöntemiyle bünyesinde bulunan sürücü devreleri aracılığıyla sistemin sürekli olarak otomatik kontrollü ve enerji verimli olarak çalışmasına olanak sağlayacak olan ve Şekil 3.5'te gösterilen bir kontrol ünitesi tesis edilmiştir.



Şekil 3.5 Otomasyon Panosu

3.2.1. Kontrol Ünitesi

Kesintisiz, kaliteli ve ucuz enerjinin temini, aynı zamanda enerjinin optimum şekilde kullanılarak tasarruf sağlanması gelişim ve kalkınmanın temellerini oluşturur. Verimi arttırmanın en etkin yolu tüketilen enerjiyi kontrol etmektir. Yaygın enerji kaynaklarının kısıtlı olmasına karşın tüketimin hızla artması verimli enerji tüketiminin önemini ortaya koymaktadır (Üstünsoy ve ark., 2018).

Enerjinin verimli kullanılmasında en temel faktörler; ölçüm, analiz ve kontrol mekanizmalarına dayalı olup, temelde bu bileşenlerin oluşturduğu omurgaya otomasyon sistemi denilmektedir. Bu çalışmada tesis edilen kontrol panosunun temelini de bir otomasyon sistemi teşkil etmektedir. Sistemin ana kurgusu Şekil 3.6’da görüldüğü gibi kontrol ünitesi üzerine kurulu olup, sistem bileşenlerinden veri toplanması, verilerin analizi, kurgulanan senaryo üzerinden bileşen kontrolü ve nihai olarak verilerin kaydı ve scada üzerinde gösterimi Şekil 3.7’de görülen kontrol ünitesi ile sağlanmıştır.



Şekil 3.6 Kontrol Ünitesi Şeması



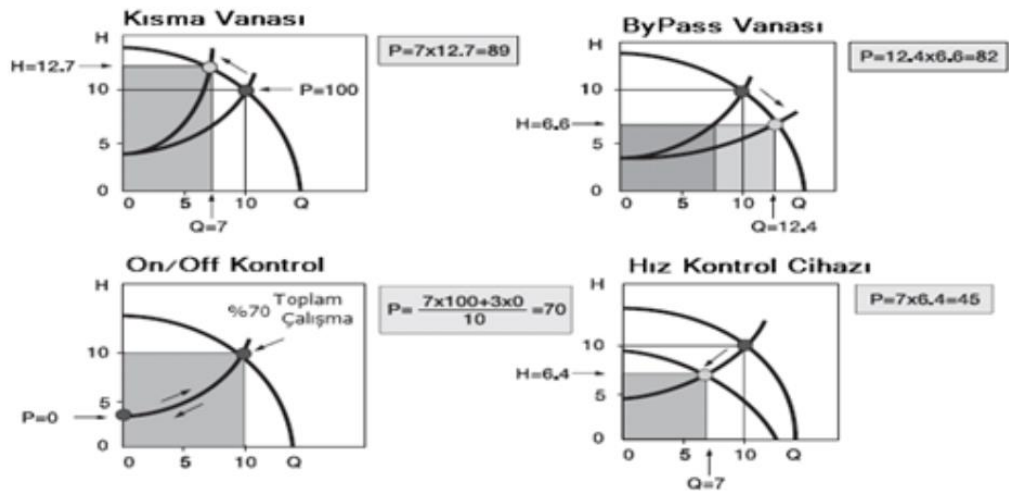
Şekil 3.7 Kontrol Ünitesi

3.2.2. Güç Analizörü

Tüketilen enerji parametrelerinin (gerilim, akım, harmonik, vb.) anlık olarak takibi, kayıt altına alınması ve kalite parametrelerinin bilinmesi enerjinin verimli kullanımının en önemli aşamasıdır. Verimliliğin sağlanması amacıyla enerji ölçümleri ve ilgili verilerin kontrol ünitesi için kullanılabilir veriye dönüştürülmesi amacıyla sisteme güç analizörü dahil edilmiştir.

3.2.3. Pompa Sürücüleri (Frekans Kıyıcılar)

Değişken debili sıvılarla enerji transferinin gerçekleştirildiği sistemde, debinin akışkan sıcaklığına bağlı olarak değiştirilmesi gerekmektedir. Debi değişimi için uygulanan yöntemlerin sistem hassasiyeti, güvenliği ve enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi ve doğru yöntemin uygulanması gerekmektedir. Termal güneş enerjisi sistemi üzerinden sisteme ısı enerjisi verilmek üzere kullanılacak sirkülasyon pompalarında otomasyon sistemi üzerinden hassas kontrol imkanı ve enerji verimli bir yöntem olarak debi kontrolü için frekans kıyıcılar kullanılmıştır. Frekans kıyıcıların diğer debi kontrol yöntemleriyle enerji kıyaslaması gerçekleştirilen çalışmanın sonuçlarını gösteren Şekil 3.8 (Şenol ve Karakuş, 2017) incelendiğinde, frekans kıyıcılarla (hız kontrol cihazları) gerçekleştirilen debi kontrolünün diğer yöntemlere göre daha verimli olduğu görülmektedir.



Şekil 3.8 Debi kontrol yöntemleri ve bu yöntemlerle sağlanabilecek enerji tasarrufu oranı

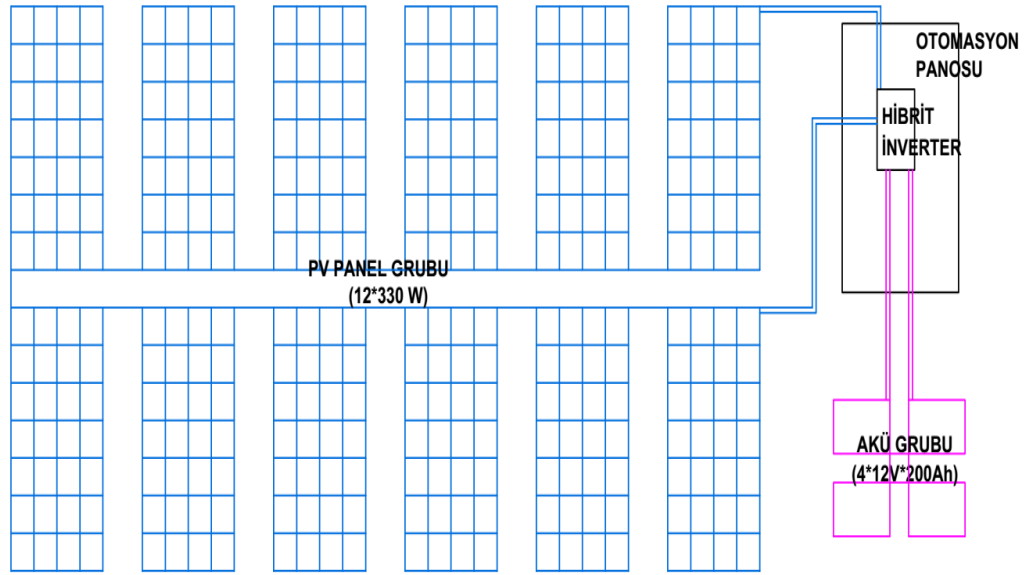
Verimliliğin sağlanması ve kontrollü enerji akışının gerçekleştirilebilmesi amacıyla bu çalışmada iki adet sirkülasyon pompasının debi kontrolünü sağlamak üzere Şekil 3.9’da görseli yer alan frekans kıyıcılar kullanılmıştır.



Şekil 3.9 Frekans Kıyıcılar (motor sürücüler)

3.2.4. Fotovoltaik Sistem Kurgusu

Sistemin genel enerji gereksinimini (kontrol ünitesi, bilgisayar, sirkülasyon pompaları, vb. bileşenlerin elektrik ihtiyacı) karşılamak ve termal sistemin yetersiz kalacağı durumlarda rezistanslar üzerinden ısı üretilmesi için gerekli olan elektrik enerjisinin üretilmesini sağlamak üzere aşağıda bileşenleri yazılı olan ve Şekil 3.10’da şematik olarak gösterilen fotovoltaik enerji sistemi kurgulanmıştır.



Şekil 3.10 Fotovoltaik Sistem Bağlantı Şeması

3.2.4.1. Fotovoltaik Panel

Yarı iletme malzemelerden üretilen fotovoltaik paneller, güneş ışığına maruz kalmaları neticesinde doğru akım üreten sistem bileşenleridir. Sistemin temel elektrik enerjisi ihtiyacını güneş enerjisinden karşılamak üzere 4 kWp gücünde bir fotovoltaik panel grubunun sisteme dahil edileceği kurgulanmıştır.

3.2.4.2. Hibrit İnverter

Fotovoltaik panellerden üretilen doğru akımın alternatif akıma dönüştürülerek sistem enerji beslemesi gerçekleştirilebilmesi amacıyla kontrol panosuna solar inverter dahil edilmiştir. Fotovoltaik panellerin kış koşullarında yetersiz kalabilme ihtimali de düşünülerek hibrit inverter kullanılmıştır. Bu sayede fotovoltaik paneller ve akü grubunun yetersiz kalması durumunda gereksinim duyulan fazla enerjinin şebekeden çekilmesi sağlanacaktır.



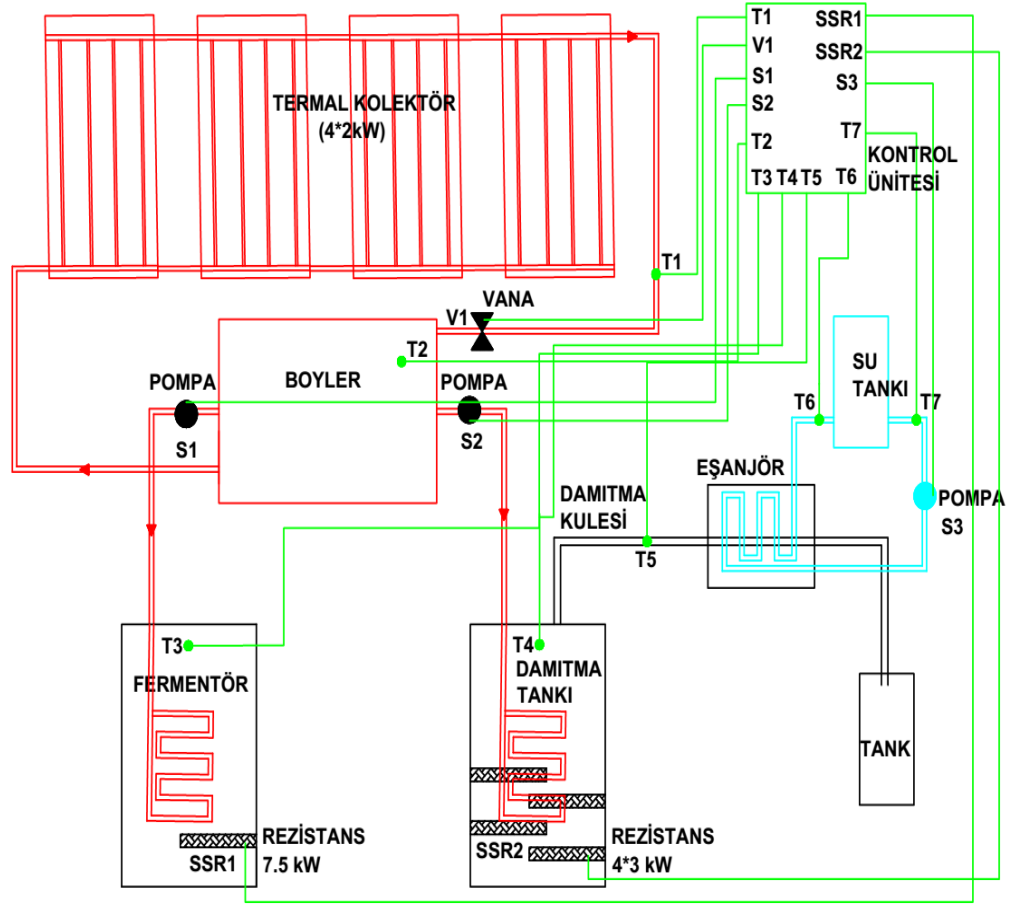
Şekil 3.11 Hibrit İnverter

3.2.4.3. Akümülatör

Güneşin olmadığı saatlerde (gece) sistemin elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak üzere sisteme jel akü grubu dahil edileceği kurgulanmıştır. Jel akülerde, silika ve sülfirik asit bileşiminden oluşturulmuş olan jel-elektrolit ortamda, akü içindeki iyon transferinin gerçekleşmesi sağlanmaktadır. Sistem için toplam gücü 9600 Watth olan 4 adet jel akü (12 V, 200 Ah) kurulması ve enerji şarjının fotovoltaiik panellerden sağlanması planlanmıştır.

3.2.5. Termal Güneş Enerjisi Sistemi Kurgusu

Biyoetanol üretim süreçlerinin en önemli enerji girdisi ısıdır. Prosesin ısııl enerji ihtiyacını karşılamak üzere aşağıda bileşenleri tanımlı olan bir termal güneş enerjisi sistemi kurgulanmıştır.



Şekil 3.12 Termal Bağlantı Şeması

3.2.5.1. Termal Güneş Kollektörü

Sistemin ısııl enerji ihtiyacını güneş enerjisinden karşılamak üzere sisteme düzlemsel tip termal kollektörün dahil edilmesi kurgulanmıştır.

3.2.5.2. Tek Serpantinli Boyler

Su ısıtıcı tanklar olarak bilinen boylerler, içlerinde bulunan serpantin (ısı değiştirgeci) aracılığıyla haznesinde bulunan akışkanı ısıtarak sistemin ihtiyaç duyacağı ısııl enerjisini depolamaya yaramaktadır. Sistem dahilinde 200 litrelik tek serpantinli yalıtımlı boyler kullanılmıştır.

3.2.5.3. Sirkülasyon Pompaları

Isı transferinin termal sistem üzerinden üretim prosesine aktarılması için termal sıvının sistem döngüsü oluşturulmalıdır. Birinci aşamada termal kollektörlerden boylere ısı transferi için doğal sirkülasyon ile sıvı akışı sağlanmaktadır. İkinci aşamada, boilerde toplanan ısının kapalı çevrim bir serpantin aracılığıyla prosese aktarılması sağlayan bir sirkülasyon pompası kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise; damıtma kulesinin soğutma suyu kontrolü için ikinci sirkülasyon pompası kullanımı gerçekleştirilmiştir.



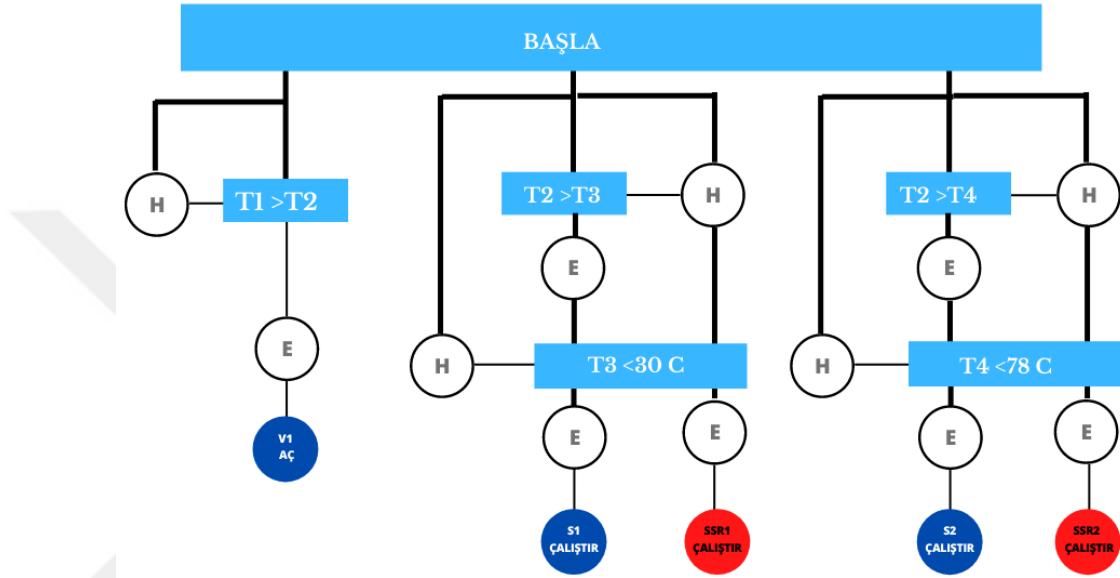
4. ARASTIRMA BULGULARI ve TARTISMA

4.1. Deneyisel Çalışmalar

Bu tez çalışması kapsamında tasarlanıp kurulan otomasyon panosu ile aşağıda yazılı olan işlem basamakları gerçekleştirilmektedir:

- Sıcaklık Ölçümleri: Termal kollektör giriş-çıkışları, boyler giriş-çıkışları, fermentör ve damıtma tankı üzerine yerleştirilmiş sıcaklık sensörleri ile sistem sıcaklık optimizasyonlarının gerçekleştirilmesi için veri toplanmaktadır. Toplanan veriler ile ısı transferi için gerçekleştirilen sirkülasyonların kontrolü gerçekleştirilmektedir. Ayrıca toplanan bu veriler işlenerek birim ürün üretimi için harcanan ısı gücü değeri hesaplanmaktadır.
- Güç Ölçümleri: Sistem bileşenlerinde tüketilen enerjinin tüm parametreleri ölçülerek kayıt altına alınmaktadır. Bu sayede birim ürün başına harcanan enerji miktarları hesaplanmaktadır.
- Kontrol sistemi: Üretim prosesinin temel enerji girdisi olan ısı enerjinin termal kollektörlerden sağlanabilmesi amacıyla, termal kollektörlerdeki akışkanın sıcaklığı boylerden fazla olduğu sürece boylere akış devam ettirilmektedir. Kollektör çıkış sıcaklığı boyler iç sıcaklığının altına düştüğünde akış sistem tarafından kapatılmaktadır. Boyler iç sıcaklığı prosesin ihtiyacı olan ısıyı karşılayacak seviyede olduğu sürece debisi sürücü tarafından kontrol edilmek üzere sirkülasyon pompası aracılığıyla kapalı çevrim ısı transferi sürdürülür. Boyler sıcaklığının yetersiz kaldığı durumlarda, fermentör ve damıtma tankı içerisinde yer alan rezistanslar, fotovoltaik sistem üzerinden elde edilen enerji ile beslenerek ısıtma ihtiyacı elektrikle karşılanır. Damıtma tankındaki ısı işlem ile birlikte damıtma kulesine doğru yükselen su ve etanol buhar karışımından su buharının ayrıştırılması ve etanolün damıtılması için kule üzerinde soğutma işlemi gerçekleştirilir. Soğutma suyunun debisi etanolün saflağını belirlemede önemli bir

faktör olduğu için soğutma işleminin kontrollü yapılması gerekmektedir. Kule giriş ve çıkışı ile soğutma suyunun sıcaklığı ölçülerek soğutma suyu debisi pompa sürücüsü aracılığıyla kontrol edilmektedir. Anlatılan senaryo için oluşturulan kontrol sistemi çalışma algoritması Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Kontrol Ünitesi Çalışma Algoritması

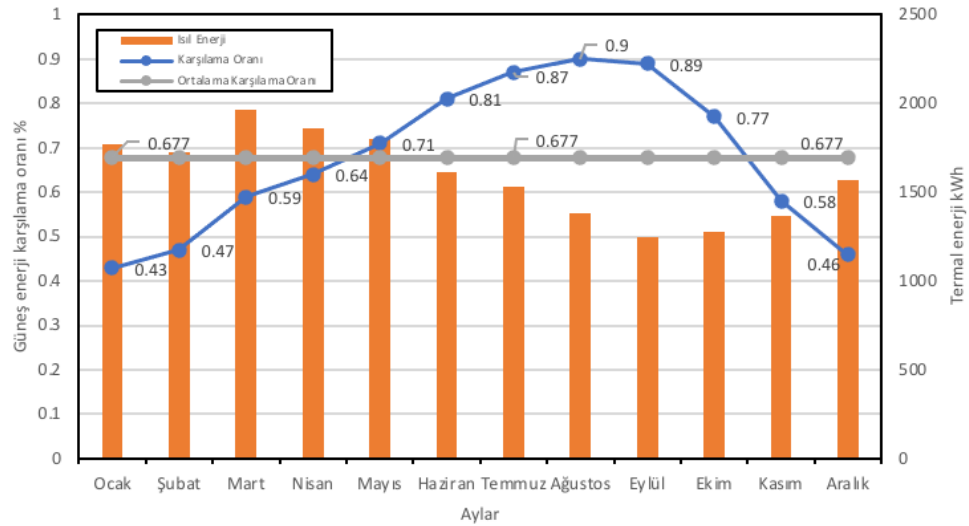
Termal Güneş Enerjisi Sistemi: Üretim prosesinin temel enerji girdisi olan ısı enerjisinin güneş enerjisinden karşılanabilmesi amacıyla bir termal güneş enerjisi sistemi tasarlanmıştır. Dengeli bir sistem tasarımı için günlük maksimum enerji ihtiyacı göz önünde bulundurularak hesaplama gerçekleştirilmiştir. Etanol üretim döngüsü için ön görülen 3 günlük işlem sürecinin ilk gününde Q_{Ft} değeri olan 38.718 kJ’lük enerji gereksinimi duyulurken ikinci ve üçüncü günlerde Q_{Dt} değerinde, yani 497.376 kJ’lük enerji ihtiyacı bulunmaktadır. Maksimum ihtiyacın olacağı bu iki günlük süreçte ortalama günlük 248.688 kJ’lük enerji ihtiyacı doğmaktadır. Sistem tasarımı da bu değer referans alınarak Denklem 4.1’de görülen formül ile hesaplanmıştır. Bu denklemlerde; m kütle (kg), c özgül ısı (kJ/kg°C), ΔT ise sıcaklık farkı (°C)’nı ifade etmektedir. Termal sistem akışkanı olarak su kullanılmış olup özgül ısı

değeri (c) 4,18 kJ/kg⁰C, sıcaklık farkı (ΔT) ise 58 °C olarak hesaba katılmıştır. Hesaplama neticesinde ısı enerjisinin sağlanabilmesi için su kütlesi hesaplanmıştır. Hesaplama neticesinde Denklem 4.2’de görüldüğü gibi 1025 kg/gün olarak hesaplanmıştır.

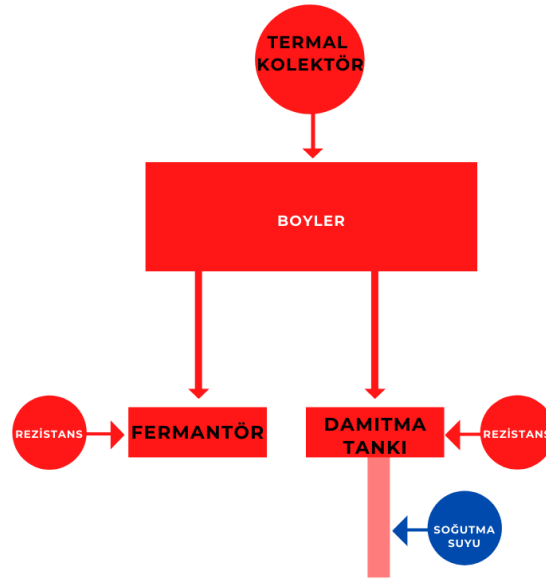
$$Q = m \times c \times \Delta T \quad (4.1)$$

$$m = 1025 \text{ kg} \quad (4.2)$$

Elde edilen bu veri ile GAPYENEV merkezi bünyesinde yapılan gerçek zamanlı ölçümlerle belirlenen 1930,4 kWh/m²-yıl ısıma almakta olan uygulama bölgesi için sistem kurgusunda; yüzey alanı 2 m² ve katalog değeri 2kW olan 8 adet kollektörün Şekil 4.3’te gösterildiği haliyle bir enerji akışı gerçekleştirebilecek şekilde kullanılması ön görülmüştür. Kurgulanan sistemin Solar Med Atlas (URL-1) uygulaması ile gerçekleştirilen simülasyonunda Şekil 4.2’de görüldüğü gibi prosesin ihtiyaç duyduğu yıllık ısı enerjisi ihtiyacının %67 oranında karşılanabileceği görülmüştür.



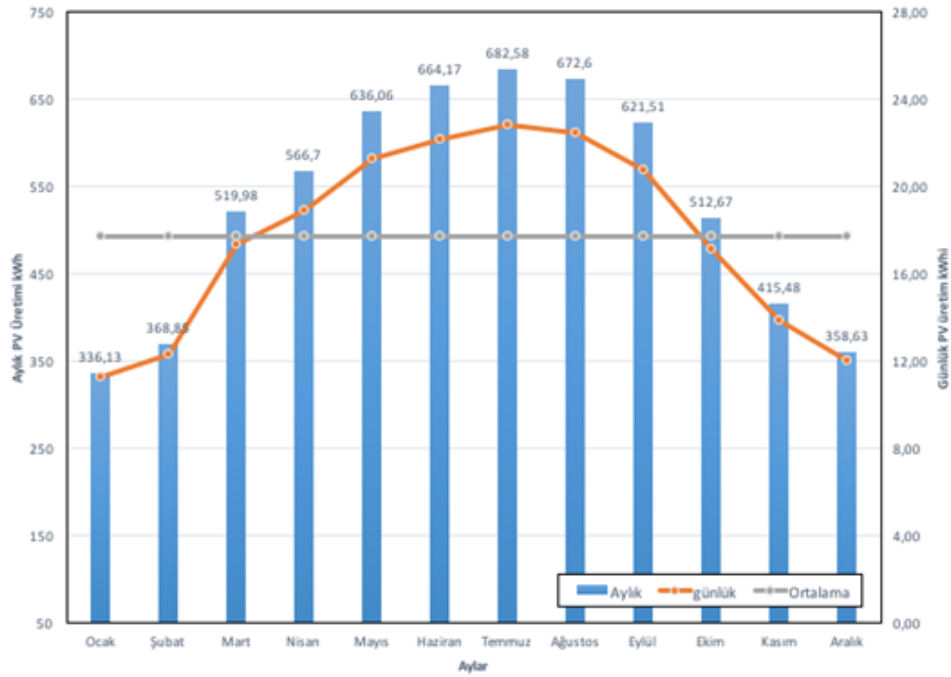
Şekil 4.2 Güneş enerjisi termal sisteminin enerji üretim miktarı ve ihtiyaç duyulan enerjinin güneş enerjisinden karşılanma oranı



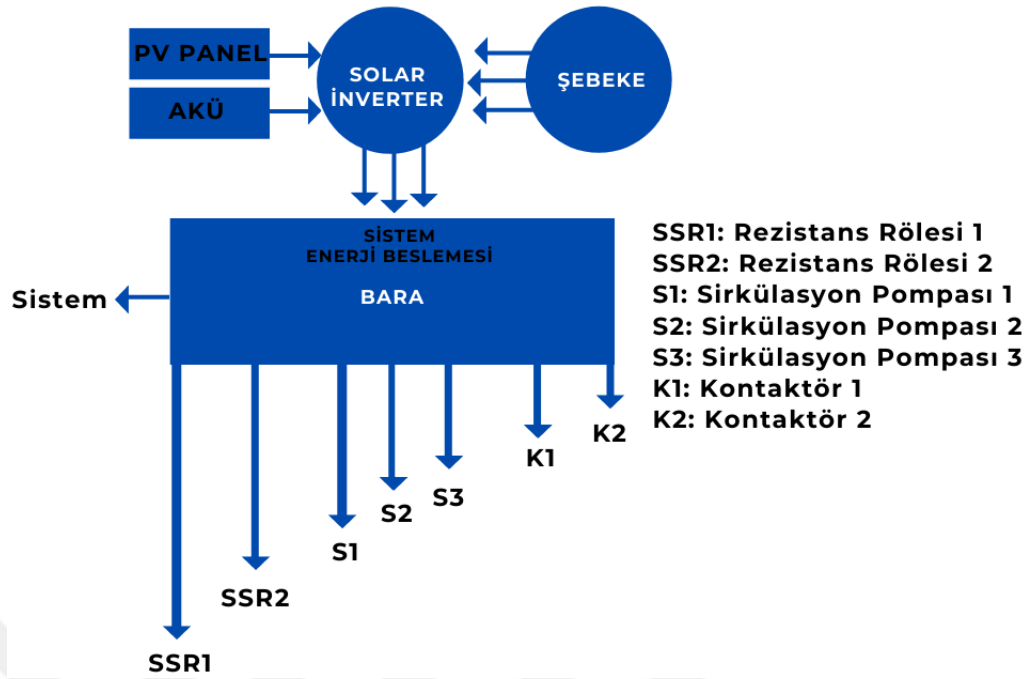
Şekil 4.3 Sistem Isı Enerjisi Akış Şeması

- Fotovoltaik Güneş Enerjisi Sistemi: Kurulan kontrol sistemi, sürücü ve sürkülasyon pompaları, kontaktörler, ölçüm, kayıt ve izleme sistemlerinin tamamı elektrik enerjisiyle çalışan sistemlerdir. Bu sistemlerin enerji ihtiyacını karşılamak üzere bir fotovoltaik sistem kurgulanmıştır. Temelde şebekeye ihtiyaç duymayacak şekilde kurgulanmış olan sistem, proses güvenliği açısından hibrit inverter aracılığıyla olağanüstü hallerde şebeke beslemesine olanak sağlayacak şekilde tertip edilmiştir. Kontrol sistemi ve bileşenlerinin saatlik ortalama enerji tüketim miktarları 350 Watt olup günlük toplam enerji ihtiyaçları 8400 Watt elektrik olmaktadır. Ayrıca, termal ısı gereksiniminin termal kollektörler aracılığıyla sağlanamadığı durumlarda gerekli ihtiyatlı (%15 (fermentasyonun tamamlanma enerjisi)) termal enerjinin de elektrik enerjisinden karşılanabilmesi için ihtiyaç duyulacak olan günlük 7,45 kW ($=536094(\text{kJ}) \cdot 0,15/3(\text{gün})/3600(\text{kJ/kWh})$) enerjinin dahil edilmesiyle toplamda 15.850 Wath elektrik enerjisinin Şekil 3.13'te bağlantı şeması verilen fotovoltaik sistemde üretilmesi ve gece tüketim miktarının akülerde depolanması planlanmıştır. PVGIS (URL-2) adlı programda gerçekleştirilen simülasyonun Şekil 4.4'te verilen sonuçlarına göre, uygulama bölgesinde günlük yaklaşık olarak 15.850

Watt enerji üretilebilmesi için 4 kWp gücünde fotovoltaik panel kurulması gerekmektedir. 4 kWp panel ile fotovoltaik sistemin günlük üretim ortalaması 17,4 kWh olarak gerçekleşecektir. Mart ayından Ekim ayına 8 ay (240 gün) günlük elektrik ihtiyacının tamamı kurgulanan Fotovoltaik sistemi ile karşılamak mümkün olmaktadır. Tüketim fazlası elektrik enerjisi akülerde depolanacaktır. Geri kalan diğer aylarda (kış döneminde) elektrik enerjisi kısmen Fotovoltaik sistemden karşılanmakta ve eksik kalan kısım elektrik şebekesinden takviye edilecektir. Bu çalışmada üretim, tüketim ve depolanması dikkate alınarak oluşturulan sistemin elektrik enerjisi akış şeması Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4 Fotovoltaik Sistemi Aylık Enerji Üretim Değerleri (PVGIS (URL-2))



Şekil 4.5 Sistem Elektrik Enerjisi Akış Şeması

4.2. Araştırma Bulguları

Bu tez çalışması kapsamında kullanılan GAPYENEV biyokütle laboratuvarında yer alan biyoetanol üretim prototipinde, üretim optimizasyonu manuel koşullarda, kısmi ölçüm ve gözleme dayalı olarak gerçekleştirilmekteydi. Sistem üzerinde gerçekleştirilen çalışmalardan edinilen geri bildirimleri ve bilimsel sonuçlar neticesinde bu tez çalışmasına konu olan araştırma ve geliştirme faaliyetlerine ihtiyaç duyulduğu anlaşılmıştır.

İlgili prototip üzerinde gerçekleştirilen yüksek lisans tez çalışmasına bakılacak olursa: Damıtma tankında çalışma prensibine göre damıtma verimini etkileyen birkaç parametre vardır. Buna göre reaktöre verilen güç, soğutma suyu sıcaklığı ve debisi ile ortam sıcaklığı damıtma verimine doğrudan etki eder. Eğer reaktöre çok fazla güç uygulanırsa, alkol ile birlikte su kaynaması da olacağından saflaştırma verimi düşer. Soğutma suyu sıcaklığı ve debisi de yeterli miktarda olmalıdır. Aksi halde refluks ünitesinde sıcaklık 78 °C’de sabit tutulamaz ve yoğunlaştırma ünitesinde alkol istenilen sıcaklığa düşmez (Yılmaz, 2019).

Damıtma tankı toplamda 12 kWh güce kadar çıkabilecek şekilde tasarlanmıştır. Damıtma süreci başlatıldığında 12 kWh toplam güç sıcaklığın reaktörde 94-95 °C'ye, damıtma kulesinde ise 78 °C'ye kadar çıkması için kullanılır. Ancak etanolün kaynaması başladığında 12 kWh'lık gücün 2.41 kWh'a düşürülmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu optimizasyon çalışmasına ait diğer detaylar aşağıdaki Çizelge 4'te sunulmuştur (Yılmaz, 2019).

Çizelge 4.1 Alkol saflaştırma sürecinde sistem optimizasyon çalışması detayları

Alkol Saflığı (%)	P (kWh)	Soğutma suyu	
		Sıcaklık (°C)	Debi (ml/dk)
94	2,70	30,4	3225,8
94,2	2,57	29,6	3448,2
94,5	2,51	30,1	3409,0
96	2,41	29,5	3496,5

Prototip sistemde optimizasyon amacıyla; yalıtımsız bir sistem üzerinde, rezistanslarda manuel dimerleme ve vana ile manuel soğutma suyu debisinin ayarlanması gerçekleştirilmekteydi. Anlık ölçümler ve kullanıcı inisiyatifine dayalı bu kurguda; fosil yakıtlara dayalı yüksek enerji tüketimi, ölçüm belirsizliği ve veri kaybı gibi problemler ile birlikte kararsız ve saflık oranları değişen bir nihai ürün üretimi gerçekleştirilmekteydi. Gerçekleştirilen ilgili çalışmada, proses döngüsünün tamamlanabilmesi amacıyla sisteme verilen enerji toplamı aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

Fermentörün başlangıç sıcaklığından rejim sıcaklığına ulaşmaya kadar gerekli olan enerji hesabı;

Fermentörde ısı enerjisi mevcut sistemde Denklem 4.3'de verilen formül ile hesaplanmıştır. Burada $P_{\text{rezistans}}$ elektrik direncinin gücünü, T ise çalışma süresini göstermektedir. Sistemde elektrik direncinin gücü 7500W ve çalışma süresi 1 saat olarak alındığında fermentör elektrik tüketimi denklem 4.4'te gösterildiği gibi 7500 Wh olarak hesaplanmıştır. Hesaplama başlangıç sıcaklığı 20°C ve rejim sıcaklığı 30 °C olarak alınmıştır.

$$P_F = P_{\text{rezistans}} * T \quad (4.3)$$

$$P_F = 7500 \text{ Wh} \quad (4.4)$$

Fermentörün rejim sıcaklığında sabit tutulması için gerekli enerji hesabı;

Fermentörü rejim sıcaklığında tutmak için gerekli olan enerji miktarı Denklem 4.5'te verilen formül ile hesaplanmıştır. Burada, T_{rejim} ise rejimde kalacağı çalışma süresini göstermektedir. Bu süre 24 saat ve rezistans dimerleme oranı %8,33 olarak alındığında fermentör elektrik tüketimi Denklem 4.6'da gösterildiği gibi 15000 Wh olarak hesaplanmıştır.

$$P_{\text{rejim}} = P_{\text{rezistans}} * T_{\text{rejim}} * \%_{\text{dimer}} \quad (4.5)$$

$$P_{\text{rejim}} = 15000 \text{ Wh} \quad (4.6)$$

Fermentör Toplam Enerji İhtiyacı;

Fermentörü rejim sıcaklığına yükseltmek ve rejimde tutmak için gerekli olan toplam enerji miktarı Denklem 4.7'de verilen formül ile hesaplanmıştır. Fermentörün toplam elektrik tüketimi Denklem 4.8'de gösterildiği gibi 22500 Wh olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerin Denklem 4.9'da verilen formüle göre hesabı yapıldığında, fermentör toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.10'da gösterildiği gibi 81.000 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$P_{Ft} = P_F + P_{\text{rejim}} \quad (4.7)$$

$$P_{Ft} = 22500 \text{ Wh} = 22,5 \text{ kWh} \quad (4.8)$$

$$1 \text{ kW} = 3600 \text{ kJ} \quad (4.9)$$

$$Q_{Ft} = 81000 \text{ kJ} \quad (4.10)$$

Damıtma tankının başlangıç sıcaklığından rejim sıcaklığına ulaşıncaya kadar gerekli olan enerji hesabı;

Damıtma tankının ısı enerjisi mevcut sistemde Denklem 4.11'de verilen formül ile hesaplanmıştır. Burada $P_{\text{rezistans}}$ elektrik direncinin gücünü, T ise çalışma süresini göstermektedir. Sistemde elektrik direncinin gücü 12000 W ve çalışma süresi 2 saat olarak alındığında damıtma tankı elektrik tüketimi denklem 4.12'de gösterildiği gibi

24.000 Wh olarak hesaplanmıştır. Hesaplamada başlangıç sıcaklığı 30°C ve rejim sıcaklığı 78 °C olarak alınmıştır.

$$P_D = P_{\text{rezistans}} * T \quad (4.11)$$

$$P_D = 24.000 \text{ Wh} \quad (4.12)$$

Damıtma tankının rejim sıcaklığında sabit tutulması için gerekli enerji hesabı;

Damıtma tankını rejim sıcaklığında tutmak için gerekli olan enerji miktarı Denklem 4.13'te verilen formül ile hesaplanmıştır. Burada, T_{rejim} ise rejimde kalacağı çalışma süresini göstermektedir. Bu süre 48 saat ve rezistans dimerleme oranı %20 olarak alındığında damıtma tankı elektrik tüketimi Denklem 4.14'te gösterildiği gibi 115200 Wh olarak hesaplanmıştır.

$$P_{\text{rejim}} = P_{\text{rezistans}} * T_{\text{rejim}} * \% \text{dimer} \quad (4.13)$$

$$P_{\text{rejim}} = 115.200 \text{ Wh} \quad (4.14)$$

Damıtma Tankı Toplam Enerji İhtiyacı;

Damıtma tankını rejim sıcaklığına yükseltmek ve rejimde tutmak için gerekli olan enerji miktarı Denklem 4.15'te verilen formül ile hesaplanmıştır. Fermentörün toplam elektrik tüketimi Denklem 4.16'da gösterildiği gibi 196.800 Wh olarak hesaplanmıştır. Bulunan değerin Denklem 4.17'de verilen formüle göre hesabı yapıldığında, fermentör toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.18'de gösterildiği gibi 708.480 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$P_{Dt} = P_D + P_{\text{rejim}} \quad (4.15)$$

$$P_{Dt} = 196800 \text{ Wh} = 196,8 \text{ kWh} \quad (4.16)$$

$$1 \text{ kW} = 3600 \text{ kJ} \quad (4.17)$$

$$Q_{Dt} = 708.480 \text{ kJ} \quad (4.18)$$

Sistem Toplam Enerji İhtiyacı;

Fermertör ve damıtma tankının proses döngüsünü tamamlamak için tükettikleri toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.19’da verilen formül ile hesap edilerek Denklem 4.20’de görüldüğü gibi 789.480 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$Q_t = Q_{Ft} + Q_{Dt} \quad (4.19)$$

$$Q_t = 789.480 \text{ kJ} \quad (4.20)$$

Sistem üzerinde gerçekleştirilen tam otomatik kontrol sistemi ve verimlilik tedbirleri sayesinde ürün kalitesi sağlanırken verimli ve yenilenebilir bir enerji akışı sağlanması hedeflenmiştir. Bu amaçla, öncelikli olarak sistemin birim ürün için ihtiyaç duyduğu termal ve elektriksel güç miktarları tespit edildi.

Çizelge 4.2 Etanol kimyasal özellikleri

Formülü	C ₂ H ₅ OH
Molekül Ağırlığı	46,07 g/mol
Özgül Ağırlığı	0,789 g/cm ³
Özgül Isı	2,5 kJ/kg ⁰ C

Çizelge 5’te verilen biyoetanol kimyasal özellikleri doğrultusunda; biyoetanol prosesinin fermentör ve damıtma tankı içerisinde ihtiyaç duyduğu ısı enerjisi miktarının hesaplanmasında; rejim sıcaklıklarına ulaşılan kadar gerekli olan enerji miktarı Denklem 4.1’de verilen formül ve rejimde tutmak için gerekli olan enerji miktarları ise Denklem 4.21’de verilen formülden yararlanılarak hesaplanmıştır. Bu denklemlerde; m kütle (kg), c özgül ısı (kJ/kg⁰C), ΔT sıcaklık farkı (⁰C), A yüzey alan (m²) ve U ise toplam ısı transfer katsayısı (W/m²K)’nı ifade etmektedir.

$$Q = A \times U \times \Delta T \quad (4.21)$$

Fermentörün başlangıç sıcaklığından rejim sıcaklığına ulaşmaya kadar gerekli olan enerji hesabı;

Tasarlanan yeni sistemde fermentörün başlangıç sıcaklık değerinden rejim sıcaklığına ulaştırılması için gereken ısı enerjisi Denklem 4.1’de verilen formül ile hesaplanmıştır. 400 litre hacme sahip fermentörün içinde bulunan karışımın ağırlığı 315,6 kg olup karışımın özgül ısı değeri 2500 j/kg °C olarak alındığında fermentör enerji ihtiyacı Denklem 4.22’de gösterildiği gibi 7.890 kJ olarak hesaplanmıştır. Hesaplama başlangıç sıcaklığı 20°C ve rejim sıcaklığı 30 °C olarak alınmıştır.

$$Q = 7.890 \text{ kJ} \quad (4.22)$$

Fermentörün rejim sıcaklığında sabit tutulması için gerekli enerji hesabı;

Tasarlanan yeni sistemde fermentörü rejim sıcaklığında tutmak için gerekli olan enerji miktarı Denklem 4.21’de verilen formül ile hesaplanmıştır. Fermentörün yüzey alanı 1,884 m² olup yapı malzemesi toplam ısı transfer katsayısı 16,3 W/m²K olarak alındığında, fermentör saatlik enerji ihtiyacı Denklem 4.23’te gösterildiği gibi 307 kcal Wh olarak hesaplanmıştır. Sistemin 24 saat rejimde kalması gerektiği için fermentör toplam rejim enerjisi Denklem 4.24’te verilen formül ile hesaplanarak Denklem 4.25’te görüldüğü gibi 7368 kcal olarak bulunmuştur. Denklem 4.26’daki eşitlik kullanılarak enerji dönüşümü gerçekleştirilen fermentör toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.27’de verildiği gibi 30.828 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$Q_h = 307 \text{ kcal/h} \quad (4.23)$$

$$Q_{\text{rejim}} = 24 * Q_h \quad (4.24)$$

$$Q_{\text{rejim}} = 7368 \text{ kcal} \quad (4.25)$$

$$1 \text{ kcal} = 4,184 \text{ kJ} \quad (4.26)$$

$$Q_{\text{rejim}} = 30828 \text{ kJ} \quad (4.27)$$

Fermentör Toplam Enerji İhtiyacı;

Fermentörü rejim sıcaklığına yükseltmek ve rejimde tutmak için gerekli olan toplam enerji miktarı Denklem 4.28’de verilen formül ile hesaplanmıştır. Fermentörün toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.29’da gösterildiği gibi 38.718 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$Q_{Ft}=Q_F+ Q_{rejim} \quad (4.28)$$

$$Q_{Ft} = 38.718 \text{ kJ} \quad (4.29)$$

Damıtma tankının başlangıç sıcaklığından rejim sıcaklığına ulaşınca kadar gerekli olan enerji hesabı;

Tasarlanan yeni sistemde damıtma tankının başlangıç sıcaklık değerinden rejim sıcaklığına ulaştırılması için gereken ısı enerjisi Denklem 4.1’de verilen formül ile hesaplanmıştır. 400 litre hacme sahip damıtma tankı içinde bulunan karışımın ağırlığı 315,6 kg olup karışımın özgül ısı değeri 2500 j/kg °C olarak alındığında fermentör enerji ihtiyacı Denklem 4.30’da gösterildiği gibi 37.872 kJ olarak hesaplanmıştır. Hesaplama başlangıç sıcaklığı 30°C ve rejim sıcaklığı 78 °C olarak alınmıştır.

$$Q = 37.872 \text{ kJ} \quad (4.30)$$

Damıtma tankını rejim sıcaklığında sabit tutulması için gerekli enerji hesabı;

Tasarlanan yeni sistemde damıtma tankını rejim sıcaklığında tutmak için gerekli olan enerji miktarı Denklem 4.21’de verilen formül ile hesaplanmıştır. Tankın yüzey alanı 2,42 m² olup yapı malzemesi toplam ısı transfer katsayısı 16,3 W/m²K olarak alındığında, saatlik enerji ihtiyacı Denklem 4.31’de gösterildiği gibi 2288 kcal Wh olarak hesaplanmıştır. Sistemin 48 saat rejimde kalması gerektiği için damıtma tankının toplam rejim enerjisi Denklem 4.32’de verilen formül ile hesaplanarak Denklem 4.33’te görüldüğü gibi 109.824 kcal olarak bulunmuştur. Denklem 4.26’daki eşitlik kullanılarak enerji dönüşümü gerçekleştirilen damıtma tankı toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.34’te verildiği gibi 459.504 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$Q_{rejim} = 2288 \text{ kcal/h} \quad (4.31)$$

$$Q_{rejim} = 48 * Q_h \quad (4.32)$$

$$Q_{rejim} = 109.824 \text{ kcal} \quad (4.33)$$

$$Q_{rejim} = 459.504 \text{ kJ} \quad (4.34)$$

Damıtma Tankı Toplam Enerji İhtiyacı;

Damıtma tankını rejim sıcaklığına yükseltmek ve rejimde tutmak için gerekli olan toplam enerji miktarı Denklem 4.35'te verilen formül ile hesaplanmıştır. Tankın toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.36'da gösterildiği gibi 497.376 kJ olarak hesaplanmıştır.

$$Q_{Dt}=Q_D+ Q_{rejim} \quad (4.35)$$

$$Q_{Dt} = 497.376 \text{ kJ} \quad (4.36)$$

Sistem Toplam Enerji İhtiyacı:

Gerçekleştirilen yeni kontrol ünitesiyle birlikte; Fermertör ve damıtma tankının proses döngüsünü tamamlamak için tükettikleri toplam enerji ihtiyacı Denklem 4.19'da verilen formül ile hesap edilerek Denklem 4.37'de görüldüğü gibi 536.094 kJ olarak hesaplanmıştır.

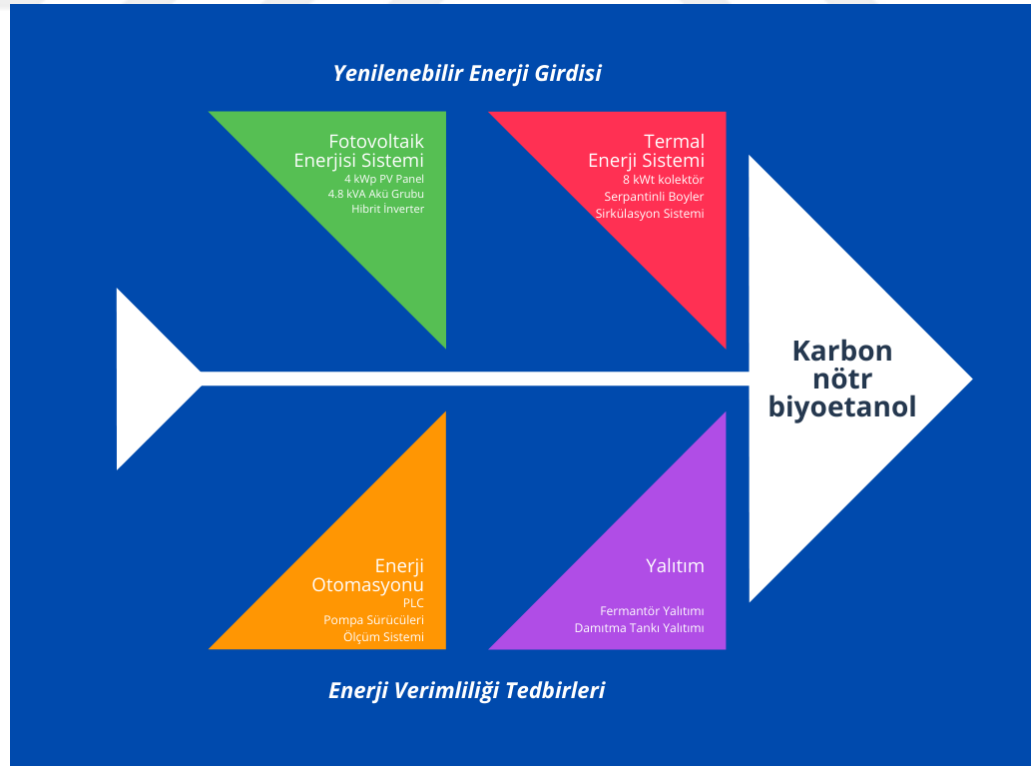
$$Q_t= 536.094 \text{ kJ} \quad (4.37)$$

72 saatlik bir işlem süreci sonunda biyoetanol eldesi sağlanabilmekte olup, sürecin başlangıcından sonuna kadar ihtiyaç duyulan toplam ısısal enerji girdisi teorik olarak $(Q_{Ft} + Q_{Dt})$ 536.094 kJ olarak hesaplanmıştır. Ancak mevcut sistemin otomasyonsuz haliyle gerçekleştirilen uygulamalı ölçümler neticesinde 789.480 kJ'lük bir enerji ile çalıştırıldığı hesaplanmıştır.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Fosil yakıta alternatif olarak biyoyakıtın araştırılmasının başlıca nedeni, çevre üzerinde daha az olumsuz etki ile yenilenemeyen enerjiden tasarruf etmektir. Pozitif bir Net Enerji Değeri (NEV), tüm süreçteki net enerji kazancının bir göstergesidir. Selülozik etanol üretimi durumunda, pozitif bir NEV, enerji çıktısının enerji girdisinden daha fazla olduğunu gösterir. Öte yandan, negatif bir değer, bir üretim sürecinin sürdürülemezliği anlamına gelecektir (Bansal, 2016).

Gerçekleştirilen bu tez çalışmasında; biyoetanolün pozitif bir NEV değerine ulaştırılması için enerji tüketimleri optimize edilmiş, enerji kayıpları minimize edilmiş, harici enerji girdilerinin tamamı yenilenebilir enerjiden karşılanan, her aşaması kontrollü, ölçülebilir, gözlemlenebilir ve kayıt altına alınabilir bir üretim prosesi kurgulanmış ve kısmen gerçekleşmiştir. Şekil 5.1 gösterilen sistem kazanımları ile birlikte karbon-nötr bir biyoetanol prosesi için kurgulanan esas yol haritası oluşturulmuştur.



Şekil 5.1 Sistem Kazanım Diyagramı

Etanolün sürdürülebilir bir gelecek için alternatif bir enerji kaynağı olabilmesi için başta atık ürünleri kullanarak geri kazanım sağlamak ve enerji yaşam döngüsü içerisinde sürekli pozitif net değere sahip bir üretim zinciri içerisinde tutulması gerekmektedir. Bu amaçlar doğrultusunda, enerji verimli endüstriyel proseslerin geliştirilmesi, başka yenilenebilir enerji kaynakları ile sistem enerji gereksinimlerinin karşılanması ve kontrollü, kaliteli ve karbon ayak izi olmayan bir sistem modeli oluşturulmuştur.

Çalışma kapsamında yapılan ilgili hesaplamalar kıyaslandığında; manuel sistemin olması gereken değerinin %47 oranında daha fazla enerji tükettiği hesaplanmıştır. Prosesin tam otomatik bir üretim prosesine dönüştürülmesi ile, mevcut tüketimin yaklaşık olarak %32 oranında azaltılabileceği görülmüştür. Bu sayede; birim biyoetanol üretimi için tüketilen 15.182 kJ/lt (4,2 kW/lt) enerjinin 9.565 kJ/lt (2,66 kW/lt) değerine düşürülerek spesifik kalori değeri 21.066 kJ/lt olan biyoetanolün NEV oranı %139'dan %220'ye yükseltebilme imkanı sağlanmıştır. Prosesin optimize edilmiş bu enerji ihtiyacının da termal ve fotovoltaik güneş enerjisi sistemleriyle karşılanması sayesinde gömülü enerjisi sıfırlanmış ve net enerji değeri spesifik enerji değerine ulaştırılmış bir karbon-nötr biyoetanol eldesi için bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Ölçüm, kontrol ve kayıt sistemi gerçekleştirilen bu çalışmada, yenilenebilir enerji desteği kurgu olarak tamamlanmış ancak sisteme dahil edilmemiştir. Bu çalışmayı takiben gerçekleştirilecek yeni çalışmalarda, sistemin optimize edilmiş olan enerji gereksinimi, yaklaşımda planlandığı gibi yenilenebilir enerji kaynağı olan güneş enerjisinden ısı (termal) ve elektrik (fotovoltaik) olacak şekilde karşılanabilecektir.

KAYNAKLAR

- BANSAL, A., ILLUKPİTİYA, P., TEGEGNE, F., and SİNGH, S., 2016, Energy Efficiency Of Ethanol Production From Cellulosic Feedstock, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58: 141-146.
- BULUT, B., 2006. Tarıma Dayalı Alternatif Yakıt Kaynaklarından Biyoetanol ve Türkiye için En Uygun Biyoetanol Hammaddesi Seçimi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 145s.
- DURANTE, D., SNELLER, T., 2009. Net Energy Balance of Ethanol Production. A publish of Ethanol Across America, <https://4-h.org/wp-content/uploads/2016/02/Ethanol-Fact-Book-1107.pdf>.
- EL-ZAWAWY, W. K., İBRAHİM, M. M., ABDEL-FATTAH, Y. R., SOLİMAN, N. A., & MAHMOUD, M. M., 2011. Acid and enzyme hydrolysis to convert pretreated lignocellulosic materials into glucose for ethanol production. Carbohydrate polymers, 84(3): 865-871.
- GALBE, M., and ZACCHİ, G., 2002. A review of the production of ethanol from softwood. Applied microbiology and biotechnology. 59(6): 618-628.
- GROSSMANN, I., MARTIN, M., 2010. Energy and Water Optimization in Biofuel Plants. Chinese Journal of Chemical Engineering, 18(6): 914—922.
- GUPTA, A., and VERMA, J. P., 2015. Sustainable bio-ethanol production from agro-residues: a review. Renewable and sustainable energy reviews, (41): 550-567.
- HANSEL, A. C., ZHANG, Q., and LYNE, P.W.L., 2005. Ethanol-diesel fuel blends-a review. Bioresource Technology, 96: 277–285.
- İMRAĞ, H., 2006. Benzinli Motorlarda Biyoetanol Kullanımının Motor Karakteristik Değerlerine ve Egzoz Emisyonlarına Etkilerinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir, 85s.
- BADGER, P. C., 2001. Ethanol From Cellulose: A General Review. Trends in new crops and new uses, 10-13 Novenber, Atlanta, s.17-21.
- KAAN, Ö., 2006. Düzlemsel Kollektörlerde Performans Arttırma Yöntemlerinin Deneyisel Olarak İncelenmesi Ve Maliyet Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, 95s.
- LAMBERT, R. O., MOORE-BULLS, M. R., and BARRİER, J. W., 1990. An evaluation of two acid hydrolysis processes for the conversion of cellulosic feedstocks to ethanol and other chemicals. Applied biochemistry and biotechnology, 24(1): 773-783.
- MARCELO, E., DIAS DE OLIVEIRA, BURTON E. VAUGHAN, AND EDWARD J., RYKIEL J.R., 2005. Ethanol as Fuel: Energy, Carbon Dioxide Balances, and Ecological Footprint. BioScience, Vol. 55, No. 7.
- MEKONNEN, M., ROMANELLI, T., RAY, C., HOEKSTRA, A., LİSKA, A., and NEALE, C., 2018. Water, Energy, and Carbon Footprints of Bioethanol from the U.S. and Brazil. Environ. Sci. Technol. 52: 14508–14518.
- O'DONNELL J. 2013. New research shows E15 fuel causes more damage to cars. USATODAY.<https://www.usatoday.com/story/money/cars/2013/01/29/ethanol-fuel-car-engines/1873733/>.

- PEREIRA, C., SLINGERLAND, M., HOGERVORST, S., LIER, J., and RABBINGE, R., 2019. A Sustainability Assessment of Bioethanol (EtOH) Production: The Case of Cassava in Colombia. *Sustainability* 2019, 11: s.3968-3390.
- RADHIKA, K., RAVINDER, R., and RAVINDRA, P., 2011. Bioconversion of pentose sugars into ethanol: a review and future directions. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 6(1): 8-20.
- SANT'ANNA, A. C., SHANOYAN, A., BERGTOLD, J. S., CALDAS, M. M., and GRANCO, G., 2016. Ethanol and sugarcane expansion in Brazil: what is fueling the ethanol industry?. *International Food and Agribusiness Management Review*, 19(1030-2017-2132): 163-182.
- SCHMER, M. R., VOGEL, K. P., MITCHELL, R. B., and PERRIN R. K., 2008. Net energy of cellulosic ethanol from switchgrass. *The National Academy of Sciences of the USA*, 105 (2): 464-469.
- ŞENOL, G. K., ve KARAKUŞ, C., 2017. Pompa ve Pompaj Sistemlerinde Enerji Tasarrufu Uygulamaları. *Mühendis ve Makina* cilt 58 (687): s. 1-16.
- TAHERZADEH, M. J., and KARİMİ, K., 2007. Acid-based hydrolysis processes for ethanol from lignocellulosic materials:a review. *BioResources*, 2(3), 472-499.
- UYAREL, A.Y., ÖZ, E. S., 1987. Güneş Enerjisi Uygulamaları. Birsan Yayını Evi, Ankara, 444s.
- ÜSTÜNŞOY, F., ve SAYAN, H., 2018. PLC Destekli SCADA ile Enerji Yönetimi İçin Örnek Laboratuvar Çalışması. *Journal of Polytechnic*, s.1007-1014.
- VALDERRAMA, C., QUINTERO, V., and KAFAROV, V., 2020. Energy and water optimization of an integrated bioethanol production process from molasses and sugarcane bagasse: A Colombian case. *Elsevier, Fuel*, Volue 260 (2020) 116314.
- VON SİVERS, M., and ZACCHİ, G., 1996. Ethanol from lignocellulosics: a review of the economy. *Bioresource Technology*, 56(2-3): 131-140.
- WALKER, L. P., and WILSON, D. B., 1991. Enzymatic hydrolysis of cellulose: an overview. *Bioresource technology*, 36(1), 3-14.
- WANG, M., HAN, J., DUNN, J. B., CAI, H., and ELGOWAINY, A., 2012. Well-to-wheels energy use and greenhouse gas emissions of ethanol from corn, sugarcane and cellulosic biomass for US use. *Environmental research letters*, 7(4): 045905.
- WEI, N., OH, J., MILLION, J. G., CATE, H. D. and JIN, Y., 2015. "Simultaneous Utilization of Cellobiose, Xylose, and Acetic Acid from Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production by an Engineered Yeast Platform" *ACS - Synthetic Biology*, 4 (6): s.707-713.
- WIEGEL, J., 1982. Ethanol from cellulose. *Experientia*, 38(2), 151-156.
- WILSON, J. J., KHACHATOURIANS, G. G., INGLEDEW, W. M., 1982. Schwanniomyces: SCP and ethanol from starch. *Biotechnology Letters*, 4(5): 333-338.
- YEŞİLATA, B., H. BULUT, ÇETİNER, C. ERSAVAŞ, A. 2011. Termal Güneş Enerjisi Teknolojileri Ve Gap Bölgesine Yönelik Fırsatlar. *Mühendis ve Makina*, 52(622): 47-56.
- YILMAZ, T., 2019. Atık Ekmeklerden Biyoetanol Üretim Sürecinde Halojen Etkisinin Araştırılması. *Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa*, 74s.

URL-1 <http://www.solar-med-atlas.org/solarmed-atlas/map.htm#c> 06.01.2021.
URL-2 <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis> 06.01.2021.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: Mehmet Akif İLKHAN
Uyruğu: T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi: Şanlıurfa / 24.09.1986
Telefon: 04143133000 - 3746
Faks: 04143133789
E-Posta: mailkhan@harran.edu.tr

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece **Adı, İlçe, İl, Bitirme Yılı**
Lise: Şanlıurfa Anadolu Lisesi, Merkez, Şanlıurfa, 2005
Üniversite: Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik
Elektronik Mühendisliği Bölümü, Merkez, Trabzon, 2010

İŞ DENEYİMİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017 -	Harran Üniversitesi Şanlıurfa Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu	Öğretim Görevlisi
2011-2017	Harran Üniversitesi GAP Yenilenebilir Enerji ve Enerji Verimliliği Merkezi	Proje Mühendisi

EK 1: SİSTEM TOPOLOJİSİ

