

# TEKNOFEST

## HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ FESTİVALİ

### ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ YARIŞMASI PROJE DETAY RAPORU

**TAKIM ADI: VORTEX**

**PROJE ADI: Biyogaz Reaktöründe Yeni Tip Mekanik**

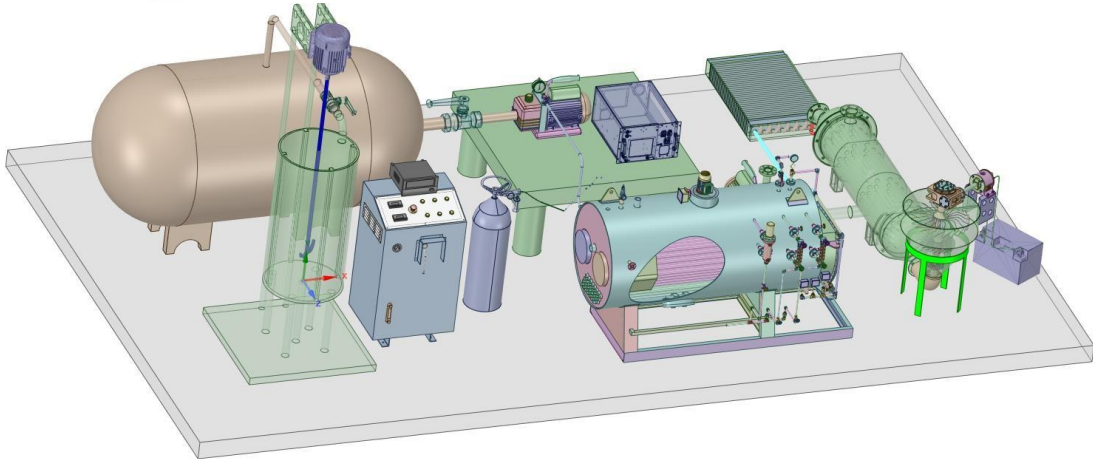
**Karıştırıcı ile Sığır Gübresinden Biyogaz Elde Edilen Biyogazın**

**Girdap Türbini Vasıtasıyla Elektrik Enerjisine Dönüştürülmesi**

**BAŞVURU ID: 52142**

## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Artan enerji tüketimi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının ve geliştirilmesinin önemini artırmıştır. Anaerobik çürütme sürdürülebilir enerjinin doğal bir çeşididir. Anaerobik çürütme, çamur hacmini azaltmak ve çamurla ilgili kokuları gidermek için çamurdaki organik bileşikleri yenilenebilir enerjiye (biyogaz) dönüştürme kabiliyeti nedeniyle atık su-çamur yönetiminde yaygın olarak kullanılan bir teknolojidir. Biyogaz, mikroorganizmalarla organik maddelerin anaerobik çürümesiyle elde edilen yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Bu işlem yaygın olarak bir çeşit çürütme tankı olarak adlandırılan geniş çap/yükseklik oranlarına sahip kapalı silindirik içinde gerçekleştirilir [1, 2]. Ülkemizce bolca bulunan hayvansal kaynaklı atık gübrelerin değerlendirilmesi fikrinden yola çıkarak tarımsal kesimlerde yaşayan insanların kendi kendilerine yetebilmesi amacıyla bu proje yazılmıştır. Mevcut proje özellikle sığır gübresinin kolaylıkla bulunabildiği tarımsal kesimlerde bir evin elektrik ihtiyacını karşılamak üzere küçük boyutlu biyogaz reaktörü tasarımı yapılmasını amaçlamaktadır. Tasarlanan reaktörden elde edilen biyogaz miktarının en yüksek seviyede olup Vortex gaz türbininden elde edilen elektriğin de aynı şekilde veriminin yüksek tutulması proje için esastır. Sistem Şekil 1'de görüldüğü gibidir. Sırasıyla yeni tip pervaneli karıştırıcı reaktöründe sığır gübresi karıştırılarak biyogaz üretilmektedir ve başka bir tanka aktarılıp depolanmaktadır. Ardından biyogaz yanma odasına aktarılıp orda su buharlaştırılmaktadır. Buhar Vortex gaz türbininde hızlandırılıp dinamo sayesinde elektrik üretilmektedir. Türbin çıkışı su buharı yoğunlaştırılarak tekrar yanma odasına verilip sistemin devamlılığı sağlanmaktadır. Bu şekilde atık olan sığır gübresinden biyogaz üretimiyle elektrik üretilip yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji sağlanmaktadır.



Şekil 1 Biyogaz reaktöründen Vortex gaz türbiniyle elektrik üretilen sistemin tam hali

## 2. Problem/Sorun:

Ülkemizde genel olarak hayvansal gübre işlem görmeden bekletilmekte veya yakılarak verimsiz bir şekilde kullanılmaktadır. Usulüne uygun olarak yakılmamış olarak kullanılan hayvansal gübreler, tarlalarda böcek larvaları ve çeşitli hastalıklara doldurmaktadır. Besihane atığı hayvan (çiftlik) gübresinin besihanelerde hayvanlara vurulan tüm ilaç atıklarını taşıdığını, hayvanların bağırsaklarında salgılanmakta olan enzimlerin de bu atıkların içerisinde bulunduğunu bilinmektedir. Bu enzimlerin bir kısmı toprak ve bitki için son derece zararlıdır. Tarımsal bölgelerde hayvan ahırından çıkarılan taze hayvan gübrelerinin direkt tarlaya

uygulanması sonucu topraklar tahrip edilmektedir. Yapılan bu yanlış uygulamalar sonucu toprakta ve o toprağa ekilen bitkilerde ortaya çıkan hastalıkları önleyebilmek için genellikle bilinçsiz, ağır ve yüksek dozlarda tarım ilacı kullanılmakta, bu ise durumu daha da vahim bir hale getirmektedir[3]. Hayvancılığın gelişmiş olduğu ülkemizde buradan elde edilen gübrenin değerlendirilmemesi çok vahim bir durumdur. Başta sığır gübresi olmak üzere özellikle kış aylarında elde edilen tonlarca miktarda gübre tarımsal kesimlerde kıyılarda köşelerde atıl şekilde yaz aylarına kadar bekletilerek koku salınımı yapmakta bilinçsiz bir şekilde yakılan gübre ise hem üstünde olduğu toprağa hem de etrafında yaşayan canlılara zarar vermektedir. Bu şekilde ekosistemi bozmakla birlikte çevre kirliliğine sebebiyet vermektedir.

### 3. Çözüm

Enerjinin dünyamızda çok büyük bir problem olduğunu, kullanılan enerji kaynaklarının yetersizliği, fosil yakıtların çevremize ve doğal yaşama olumsuz etkilerinin yanı sıra tükenip bitmesidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan gübre sadece ısınma için yakacak olarak kullanılmasından başka teknolojik açıdan kullanılmaması çok vahim olmasının aksine coğrafyamızda erişebilir olması da bizim için bir avantajdır. Projenin başarıya ulaşması durumunda, gelecekte Türkiye sınırları içerisinde imal ederek başta köyler ve hayvancılık faaliyetleri gösteren illerimizdeki belediyeler olmak üzere ihtiyaç duyulan her yerde elektrik enerjisinin üretilip kullanılması projenin temel amacı olarak görülmektedir. Ayrıca atıl olan hayvansal gübrenin atık olarak bakılmasından ziyade bu sistem ile biyogaz olarak faydalanıp elektrik enerjine dönüştürülmesi hem çevreci, doğal yaşamın seyrine müdahalede bulunmaya hem de başlangıç yatırımının az maliyetli olması ülkemize katacağı artı bir değer olmaktadır. Bu avantajlar yenilenebilir enerji sektöründe farklı bir boyut açacağı öngörülmektedir. Mevcut proje özellikle sığır gübresinin elektrik üretimini amaçlamaktadır. Sistem Şekil 1’de görüldüğü gibidir. Şekil 2’de katı modeli ve prototipi gösterilen yeni tip pervaneli karıştırıcı reaktöründe sığır gübresi karıştırılarak biyogaz üretilmektedir. Üretilen gaz miktarı ölçülerek otomatik kontrol cihazıyla sistemin türbin hızı değişmektedir. Bu gaz başka bir tankta depolanmaktadır. Ardından biyogaz yanma odasına aktarılıp orda su buharlaştırılmaktadır. Buhar Vortex gaz türbininde hızlandırılıp dinamo sayesinde elektrik üretilmektedir. Türbin çıkışı su buharı yoğunlaştırılarak tekrar yanma odasına verilip sistemin devamlılığı sağlanmaktadır. Bu şekilde atık olan sığır gübresinden biyogaz üretimiyle elektrik üretilip yenilenebilir ve sürdürülebilir enerji sağlanmaktadır. Tarımsal yerleşim birimlerinde her evde küçük bir biyogaz reaktörünün olması durumunda tonlarca gübrenin büyük potansiyeli elektrik enerjisine çevrilebilecektir. Bu şekilde küçük bir evin günlük elektrik ihtiyacının karşılanması amaçlanmaktadır.

### 4. Yöntem

Biyogaz tankının içindeki organik maddelerin çürümesi ve biyokütle hacmini homojenize edebilmek için optimum koşulların bilinmesi karıştırma işleminin doğru yapılması ile ilgilidir ki, bu ise biyogaz üretimini etkilemektedir [4] . Karıştırma işlemi sonucunda biyokütle hacmi ne kadar homojen olursa, biyogaz üretimi de o derece artmaktadır. Karıştırıcı tabanlı mekanik karıştırıcılar, birim hacimde tüketilen enerji açısından en verimli karıştırma aletleridir. Çürütücüde karıştırmanın özelliklerini anlamak ve endüstriyel ölçekte yüksek verimli

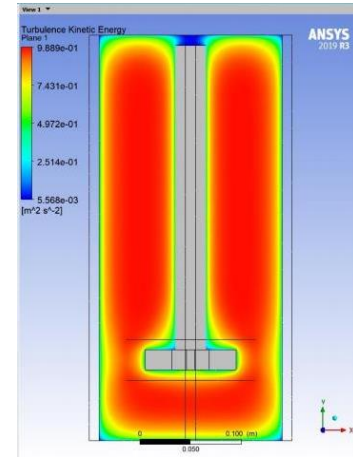


kariştırma elde etmek için farklı kariştırma rejimlerinin test edilmesi ekonomik olarak mümkün değildir. Laboratuvar ölçekli deneyler için hesaplamalı akışkanlar dinamiği (HAD) yazılımlarıyla simülasyon modelleri anaerobik çürütücüdeki karişımı tam anlamıyla ve akış davranışını araştırmak için uygun yaklaşımlardır [5]. HAD süreklilik ve momentum gibi temel korunum denklemlerinin yanı sıra türbülans denklemlerini çözebilmeyi sağlayan bir mühendislik aracıdır. HAD tekniği kullanılarak kariştırmalı tank reaktörünü simüle etmek için kariştırmalı tank reaktörünün pervanesinin hareketi ve sıvı ile katı arasındaki arayüz gibi farklı özellikler dikkate alınmıştır. HAD yönteminin kullanılmasının yararlarından bir tanesi de çok sayıda deney yapmak için gereken zamanı kısaltmasıdır. İçinde pervane bulunan kariştırmalı tank reaktörünü tasarlamak için kütle ve momentumun korunumu, türbülans kinetik enerji, güç tüketimi, kariştırma süresi, ısı ve kütle transferi ve pervanenin mekanik özellikleri dahil olmak üzere farklı parametreler dikkate alınmıştır.

$$\frac{d(\rho\vec{u})}{dt} + \text{div}(\rho\vec{u}\vec{u}) = -\text{div}(P) + \text{div}(\tau) + \rho\vec{g} \quad (1) \quad \frac{d(\rho k)}{dt} + \text{div}(\rho\vec{u}k) = \text{div}\left(\frac{\mu_T}{\sigma_k} \text{div}(k)\right) + G_k + \rho\varepsilon \quad (2)$$

Biyogaz reaktörü ve Vortex tüpünün simülasyonları için yukarıdaki (1) ve (2) denklemleri kullanılmıştır. [6]. Optimizasyon çalışmaları devam etmekte olan biyogaz reaktörünün 4 ve 6-kanatlı pervaneli tank reaktörlerinin yer aldığı 'Biyogaz Reaktöründeki Pervanenin Akış Karakteristiğinin İncelenmesi' başlıklı bildiri 8-10 Eylül 2021 tarihlerinde Uluslararası Katılımlı 23. Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi'nde (ULIBTK 2021) Gaziantep'te sunulacaktır.

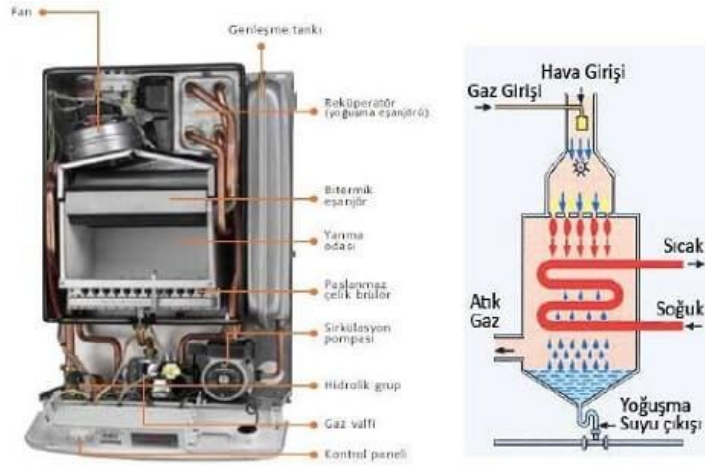
Bazı analiz görüntüleri Şekil 3'te verilmiştir. Akış vektörlerinin en önemli açıklaması, her iki pervane için de radyal jet pervane yatay düzleminden kayda değer bir açıyla ayrılması ve radyal jetin reaktör yan duvarının yakınında iki akıma bölünmesidir. Her akış pervanenin altında ve üstünde bir sirkülasyon döngüsü oluşturmaktadır. Pervane tarafından sağlanan enerji, oluşan döngülerle ilişkilidir. Açısal hız artarken tüm pervaneler için türbülans yoğunluğu da artmaktadır. Türbülans kinetik enerjisini artırmak kariştırma süresi ve diğer türbülans parametrelerini iyileştirmektedir.



**Şekil 2. Biyogaz reaktörünün prototipi ve katı modeli** **Şekil 3. HAD simülasyon sonuçları**

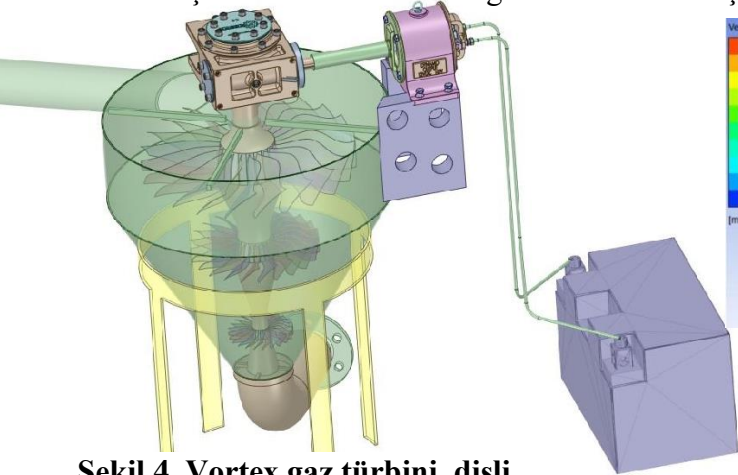
Biyogaz reaktöründe en yüksek gaz üretimi elde edilmektedir. Depolanan gaz yanma odasına aktarılacaktır. Buradaki yanma odası, daha iyi anlaşılması adına Şekil 5'te görülen çalışır haldeki kullanılmayan eski bir kombinin bazı parçaları kullanılarak oluşturulmakta ve bu Şekilde projeye geri dönüşüm konusunda bir artı değer katmaktadır. Söz edilen parçalar ve işlevleri [7]; Fan: Hermetik ve yoğuşmalı kombilerde dışarıdan temiz havayı alarak brülörde

yanma oluşmasına yardımcı olan parçadır. Prostatat: Fandan aldığı pozitif basınç ile atık gaz sisteminde sorun olup olmadığını elektronik karta bildiren parçadır. Ana Eşanjör: Brülörden aldığı su ile içinden geçen suyu ısıtma görevinde olan parçadır. Brülör: Gaz armatüründen gelen gazı hava ile doğru şekilde karıştırarak yanmanın oluşmasını sağlayan parçadır. Gaz Valfi: Tesisattan aldığı gaz ile anakartan komut alarak belirli

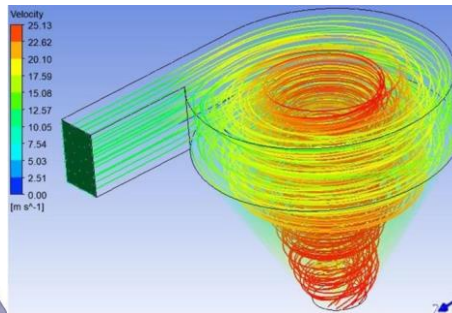


**Şekil 5. Kombi parçaları**

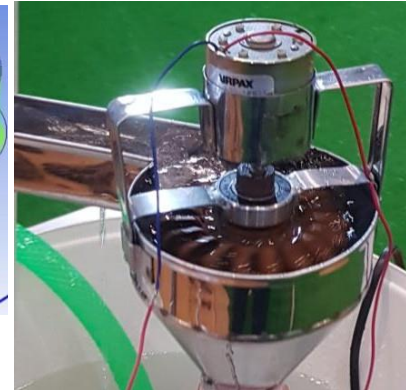
bir oranda brülöre gönderen ve brülörde yanma oluşturan parçadır. Genleşme Tankı: Kombi çalıştıkça içinde bulunan su genleşmeye uğrar. Su hacminde artma ve çoğalma olur. Su hacmi çoğaldıkça su basıncı yükselir. Yüksek basınç kombi ve tesisata zarar vereceği için bu zararın önüne geçmek adına mevcut olan parçadır. Pompa: Kombi içinde ve tesisatta bulunan suyu elektronik karttan aldığı komut ile kombi ve tesisat içinde dolaştıran parçadır. Elektronik Kart: Kombinin beyni görevindedir. Kombi içerisinde yer alan parçaların tümü çalışmak için emri elektronik karttan alır. Ardından su buharı Vortex gaz türbininde giriş hızı iki katına çıkacak şekildedir ve Şekil 4'te katı modeli görülmektedir. Türbinde oluşan açısız momentum dinamo aracılığıyla elektrik enerjisine dönüşmekte ve tüp çıkışı yoğunlaştırılarak pompa vasıtasıyla tekrar yanma odasına gönderilip sistemde bir devamlılık oluşturulmaktadır. Vortex türbinine yoğunlaşacak olursak, 2020 Teknofest Gaziantep Çevre ve Enerji Teknolojileri Yarışmasında Vortex takımı olarak finale kalarak 8. olduğumuz Şekil 5'te görülen Vortex su türbininden yola çıkarak tarafımızca bir gaz türbinine dönüştürülmüştür.



**Şekil 4. Vortex gaz türbini, dişli kutusu, dinamo ve akünün katı**



**Şekil 5. Vortex türbini simülasyonu ve prototipi**



## 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Günümüzde büyük ölçekli biyogaz reaktörleri mevcut olmasına rağmen küçük boyutlu ve herkesin kullanabileceği, maliyeti düşük bir biyogaz reaktörü bulunmamaktadır. Ayrıca burada tasarımı yapılan reaktörün çürütücü tankında bulunan karıştırıcı yeni tip iki kanca pervane, kullanılmayan eski ama çalışır vaziyette olan kombi parçaları, su buharını kendine has



geometrisiyle hızlandırıp, üç fazlı pervane yapısıyla elektriğin üretilmesini sağlayan çeşitli hesaplamalı akışkanlar dinamiği simülasyonları sonucu tasarlanmış olan Vortex gaz türbini sisteme bakıldığında zaman hem entegre sistem olarak hem de bazı parçalar anlamında yenilikçi yönleriyle ön plana taşımaktadır.

## 6. Uygulanabilirlik

Tasarımına çalışılan ürünün öncelikli kullanım alanı ülkemizde ihtiyaç miktarı büyük önem taşıyan elektrik üretimi ve ulaşımı üzerine olacaktır. Tasarlanan biyogaz reaktörünün protopi yapımı için karıştırıcı pervane, tank ve karıştırma işlemi için motor yeterlidir. Yanma odası tasarımı için önceki bölümlerde ayrıntılı açıkladığımız kombi parçaları ve Vortex türbini için öncül olarak 3 boyutlu yazıcıdan yararlanılarak proje tamamlanacaktır. Öncül bir tahmin yapmak gerekirse; altı-sekiz aylık bir elektrik faturası miktarı ile böyle bir sistem yaptırılabilir.

## 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

### İş Paketleri

#### **Kavram Geliştirme, Literatür Taraması v Pazar Araştırması**

**1.1.Pazar araştırması**  
Başarılı bir iş stratejisi geliştirmek; işin, piyasanın ve müşterilerin kapsamlı bir şekilde anlaşılmasını gerektirmektedir. Piyasa dinamiklerini çok iyi takip etmek, rekabetçi ortamda uzun vadeli dayanabilmek, dış çevrede oluşan hızlı gelişmelere tepki verebilmek için Pazar araştırmalarının doğru ve sağlıklı yapılması gerekir. Bu süreçte çeşitli piyasalardaki talep koşulları, belirli mallara ilişkin satış tahminleri ve yeni pazarların geliştirilmesi konularında araştırma yapılacaktır.

#### **Patent ve Tasarım Araştırması**

Tasarım tescil işlemlerinde Türk Patent Enstitüsü tarafından en çok üzerinde durulan husus “yenilik” olmaktadır. Her ne kadar tasarımlar belirli koşullarda kategorize ediliyor olsa da yenilik araştırması hem son derece güç hem de meşakkatli bir çalışmayı zorunlu kılmaktadır.

#### **Tasarım**

Önceki bölümlerde ayrıntılı biçimde anlatılan ve tasarlanan sistemin tamamı Şekil 1’de gözükmekte olup Spaceclaim programında tarafımızca modellenmiştir.

#### **Tasarım Doğrulama ve Analizler**

Tasarlanan bu modeller doğrultusunda dinamik ve statik analizler yapılacaktır. Statik analizler, kararlı yük altında direğin oluşacak yüklere dayanıp dayanamayacağına göre sonuçları verir. Statik analizler zamandan bağımsızdır. Zamana bağlı yük koşullarının değişiminden dolayı oluşan yüklemelerde statik analizler yeterli olmamaktadır. Bunun için dinamik analizler yapılmalıdır. Türbinin dinamik davranışlarını belirlemek için kullanılan bir yöntemdir ve zamana bağlıdır. Türbinin dinamik analizinde; atalet ve sönümlenme büyük rol oynar. Titreşim özellikleri, harmonik yüklerin etkisi, rastgele (random) yüklerin etkisi, zamanla değişen yüklerin etkisi türbinin dinamik analizi çalışmasında önemli rol oynarlar. Akış laboratuvarında hız ölçümleri ve dinamik testlere dahil olacaktır.

#### **Tasarım Optimizasyonu**

Kullanılan malzemelerin mukavemet değerleri, çevreye uyumluluğu, kullanılacak parçaların ekonomik boyutu, ürünün performansı, kalitesi, görünüşü vb. özellikler tasarımlar sonucu karar verilip, prototip imalatı için en uygun koşullar ve değerler kullanılacaktır.

## Prototip İmalat

Üretim yöntemleri arasında en uygun yöntemin, kaliteli ve ucuz işçilikle, düşük maliyette yüksek performans gösterecek ürün elde edilebilecek şekilde seçilmesine dikkat edilerek ABS Flement kullanılması istenilen profili daha doğru bir şekilde ortaya konulacağı düşünülmektedir. Malzeme olarak birkaç seçenek bulunup tarafımızdan kullanılması ön görülmüş olanlar; çelik sac, alüminyum sac, ABS Flement ve CPE'dir. Malzemelere göre alınacak analizler doğrultusunda değerlendirilip, hangi üretim yönteminin kullanılacağına karar verilecektir.

## Fonksiyon Testleri

Modeller doğrultusunda dinamik ve statik analizlerin ve testlerin yapılmasıyla birlikte prototip ürünün fonksiyonlarını yerine getirip getirmediğinin kontrolleri yapılacaktır. Bunun için biyogaz reaktöründe üretilen gaz miktarı, yanma odasındaki verimi ve Vortex gaz türbininin dönüşü ile dinamodan alınan güç miktarı ölçümü ve akü dolun miktarı, elde edilen maksimum hız ölçümü gibi bir dizi ölçümler gerçekleştirilecektir.

## İş-Zaman Çizelgesi

İş Paketi Ad/Tanım	2021 MAYIS	2021 HAZİRAN	2021 TEMMUZ	2021 AĞUSTOS	2021 EYLÜL
Kavram Geliştirme, Literatür Taraması ve Pazar Araştırması					
Tasarım doğrulama, analizler					
Tasarım optimizasyonu					
Prototip imalat ve Fonksiyon testleri					

## Proje İçin Maliyet Analizi;

Parça No	Adet	Parça Adı	Açıklama	Birim Fiyat (TL)	Toplam Fiyat (TL)
1	1	Biyogaz tankı	Biyogaz rektör tankı	1000	1000
2	1	Biyogaz karıştırıcı	Karıştırıcı pervane	750	750
3	4	Depolama tankı	Biyogaz depolama tankı	1500	1500
4	1	Akü	7000 mah (şarj edilebilir)	350	350
5	1	Dinamo(redüktörlü)	Redüktörlü DC dinamo	400	400
6	1	Akım düzenleyici	Akım düzenleyici	150	150
7	4	ABS filament	3-B baskı için	115,75	463
8	1	3-B yazıcı hizmeti	Vortex tüpü yapımı	200	200
9	1	2. El kombi Parçaları	Yanma odası için	1500	1500
10	2	Pompa	Devir daim için	250	500
11	5	Gaz boruları	Devir daim tesisatı	100	500
12	1	Bağlantı kabloları	Elektrik enerji iletimi için	100	100
13	1	Sturdy Power Tools 3000 Watt Karıştırıcı	Biyogaz reaktörünün motor ve karıştırıcısı	355	355
<b>GENEL TOPLAM</b>					<b>7268</b>

Sayfa kısıtlamasından ötürü istenilen bazı tablolar verilememiştir.

## 8.Proje Fikrinin Hedef Kitlesi (Kullanıcılar):

Hedeflenen sektör genel olarak enerji sektörü olup sektör içerisinde yükselişte olan yenilenebilir enerji üzerine yapılan çalışmalar ana faaliyet alanımız olacaktır. Enerji sektörü Türkiye'nin dünya pazarları içerisinde en kapsamlı faaliyet içerisinde olduğu alanlardandır. Günümüz teknolojisi ve çevresel sorunlar sebebi ile yeşil enerjinin önem kazanmış olması, enerji maliyetlerinin daha yüksek ve karlı oluşu bu alanı cazip kılmaktadır. Günümüzde enerji firmalarının yoğun olarak ilgi gösterdiği projeler olarak elektrik üreten solar güneş pilleri, hidroelektrik santralleri, rüzgâr türbinleri, termik santraller, jeotermal santrallerdir. Bunun sebebi ise sektör üzerine ürün çeşitliliğinin olmayışıdır. Sektörde tercih edilen elektrik üretim sistemlerinin tamamı ilk yatırım maliyeti çok yüksek sistemlerdir. İçlerinde çevreci sistem olarak ilgi gören güneş panelleri dahi kurulum maliyeti sonrası ömürleri uzun olmayan ve gölgede ya da çok güneşli günlerde ısınmadan dolay verimsiz çalışmakta olan sistemlerdir. Kullanılan ürün çeşitliliğinin sınırlı oluşu tüm enerji firmalarını var olan ürünleri kullanmayı zorunlu kılmaktadır. Çalışılacak ürün ve sunulacak hizmetler enerji firmalarının bu sorununa çözüm geliştirmeyi sağlamış olduğu hizmetlere katkı sağlamayı amaçlamaktadır. Bunların yanı sıra köyler ve belediyeler üzere şahsa ve topluma hizmet amacıyla ihtiyaç duyulan enerji ihtiyacının karşılanması hedeflenmektedir. Ülkemizde özellikle Doğu illerinde yaygın olarak yapılan hayvancılık faaliyetleri bulunmaktadır. Sığır gübresi ve çeşitlerinden etrafa yaydığı koku ve atık olarak görülmesinden ötürü yapılacak proje bunları ortadan kaldırıp elektrik enerjisi üretecektir.

## 9.Riskler

Ülkemiz yenilenebilir enerjiyle ilgili ürünlere aç olmasına rağmen bu konuda çok çekingen davranmaktadır. Bunu açacak olursak gün geçtikçe dünyada artan enerji ihtiyacını gidermek için yeni alternatifler üretilirken, ülkemizde bu konuyu hiç önem gösterilmemektedir. Bu durum yeni çıkartacağımız ürünün önemini anlaşılamayacağı bir de javantajdır. Ürünün yarışmada görüldükten sonra fikrin çalınıp benzer ürünlerin çıkarılması olası bir durumdur.

## 10.Kaynakça

- [1] Mao, C., Feng, Y., Wang, X. and Ren, G., 2015, Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 540–555.
- [2] Tobo, Y. M., Bartacek, J., Nopens, I., 2020, Linking CFD and kinetic models in anaerobic digestion using a compartmental model approach, *Processes*, 8(6), 703.
- [3] <https://cevizwiki.com/toprak-duzenleyiciler/#more-11>
- [4] Daniel-Gromke, J., Rensberg, N., Denysenko, V., Stinner, W., Schmalfuß, T., Scheftelowitz, M., Nelles, M. and Liebetau, J., 2018, Current developments in production and utilization of biogas and biomethane in Germany, *Chemie Ingenieur Technik*, 90(1–2), 17–35.
- [5] Wu, B., 2011, CFD investigation of turbulence models for mechanical agitation of non-Newtonian fluids in anaerobic digesters, *Water Res*, 45(5), 2082–2094.
- [6] Mousavi, S.E., Choudhury, M.R. and Rahaman, M.S., 2019, 3-D CFD-PBM coupled modeling and experimental investigation of struvite precipitation in a batch stirred reactor, *Chemical Engineering Journal*, 361, 690–702.
- [7] <https://kombihocasi.com/kombi-parcalari-kombi-calisma-sistemi/>