

**TEKNOFEST**  
**HAVACILIK, UZAY VE TEKNOLOJİ**  
**FESTİVALİ**

**ÇEVRE VE ENERJİ TEKNOLOJİLERİ**  
**YARIŞMASI**

**PROJE DETAY RAPORU**

**TAKIM ADI: Hidrojen Gücü**

**PROJE ADI: Hidrojenin Depolanması İçin Çevreci ve Düşük  
Maliyetli Malzemelerin Sentezi Ve Yeni Yöntemlerin Geliştirilmesi**

**BAŞVURU ID: #71609**

1. Proje Özeti (Proje Tanımı)	2
2. Problem/Sorun	2
3. Çözüm	3
4. Yöntem	3
4.1 Kullanılan Cihazlar	3
4.2 Kullanılan Kimyasallar	3
4.3 Aktif Karbon Sentezi	3
4.4 FTIR-ATR Analizi	3
4.5 BET Yüzey Alanı Analizi	5
4.6 Hidrojen Gazı Eldesi	5
4.7 Depolanan Hidrojen Gazının Tayini	5
5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü	6
6. Uygulanabilirlik	6
7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması	6
8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)	7
9. Riskler	7
10. Kaynakça ve Rapor Düzeni	7

## 1. Proje Özeti (Proje Tanımı)

Enerji, canlı hayatının devamlılığı için en çok ihtiyaç duyulan kaynaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının içerisinde hidrojen doğaya zarar vermemesi, ucuz olması, yanan ürün atığının su olması, diğer enerji türlerine dönüştürülüp kullanılabilmesi, içerisinde karbon bulunmaması ve ağır olmaması gibi özellikleriyle ön plana çıkmaktadır. Ancak depolanmasında kullanılan yöntemlerin yüksek maliyet ve risk barındırmasından dolayı enerji sektöründe verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. Yüksek basınçlı tanklarda veya çok düşük sıcaklıkta sıvı halde depolanması gerekmektedir. Ancak yüksek basınçlı tanklar güvenlik açısından risk oluşturmakta, düşük sıcaklıkta depolanması ileri düzey bir yalıtım gerektirdiği için çok yüksek maliyetlidir. Bu nedenle hidrojenin depolanmasında verimi yüksek ve maliyeti düşük yöntemlerin arayışına girilmiştir. 11. kalkınma planında ülkemizin öncelikli alanları arasında yer alan hidrojen gazının depolanmasında yaşanan problemleri çözebilmek için çalışmamızda hidrojen gazının atık malzemelerin geri dönüşümü ile sentezlenen aktif karbonların yüzeyinde adsorplanarak depolanması yöntemi önerilmektedir. Bu şekilde hem atık malzemeler geri dönüştürülerek katma değeri olan ürünler elde edilmiştir hem de geleceğin enerji kaynağı olarak görülen hidrojenin depolanmasında çok daha düşük maliyetli ve yüksek verimli bir yöntem geliştirilmiştir.

## 2. Problem/Sorun

Birçok bilim insanı, mühendisler, araştırma merkezleri, üniversiteler ve firmalar fosil yakıtların neden olduğu çevresel problemlerin çözümü için hidrojen enerjisini görmektedirler.

Hidrojen, bugün kullanılan sistemler ile maliyet, çevresel etkiler ve kullanım verimliliği açısından karşılaştırıldığında 21. yüzyılın sonunda fosil yakıt sistemlerinin yerini alabilecek en önemli alternatif enerji taşıyıcısı olarak dikkat çekmektedir. Hidrojen, güneşin ömrü olarak tahmin edilen 5 milyar yıl boyunca gündemde olacak bir enerji kaynağı olarak tanımlanmasına rağmen, yüksek

basıncılı tanklarda veya çok düşük sıcaklıklarda sıvılaştırılarak depolanabildiğinden hali hazırda verimli bir şekilde kullanılamamaktadır. Yapılan çalışmada da atık ürünler değerlendirilip mikro ve mezo gözenekli aktif karbonlar sentezlenerek bu gözeneklerde hidrojenin depolanması ve depolanan hidrojen miktarının belirlenmesi için alternatif olabilecek düşük riskli, düşük maliyetli ve yenilikçi bir çözüm üretmeyi hedefliyoruz (Kınav,2007).

### 3. Çözüm

Bu çalışmada hidrojen depolamada kullanılan yüksek maliyet ve risk içeren yöntemlere alternatif olarak hidrojen bir katı yüzeyine adsorplanarak depolanması sağlanmıştır ve adsorplanan hidrojen miktarı gravimetrik olarak belirlenmiştir. Bunun için tekstil atıklarından fiziksel ve kimyasal aktivasyon işlemleri sonrasında 700 °C'de piroliz edilerek sentezlenen aktif karbonun hidrojen depolama kapasitesi tespit edilmiş ve ticari aktif karbon örnekleri ile kıyaslanmıştır. Hidrojen, NaBH<sub>4</sub> çözeltisinden elde edilmiştir. Gün gün kütle ölçümleri yapılarak bizim sentezlediğimiz aktif karbon ve ticari aktif karbon örneklerinin hidrojen depolama kapasiteleri belirlenmiştir. Çalışmamızın 2. kısmında ise Aurdino sensörler aracılığıyla depolanan hidrojenin miktarının tespiti için düşük maliyetli bir sistem geliştirilmiştir.

### 4. Yöntem

#### 4.1 Kullanılan Cihazlar

Laboratuvar tipi öğütücü, Etüv, FTIR Spektroskopisi, Kül Fırını, pH metre, Saf su cihazı, BET Yüzey Alanı Ölçüm Cihazı

#### 4.2 Kullanılan Kimyasallar

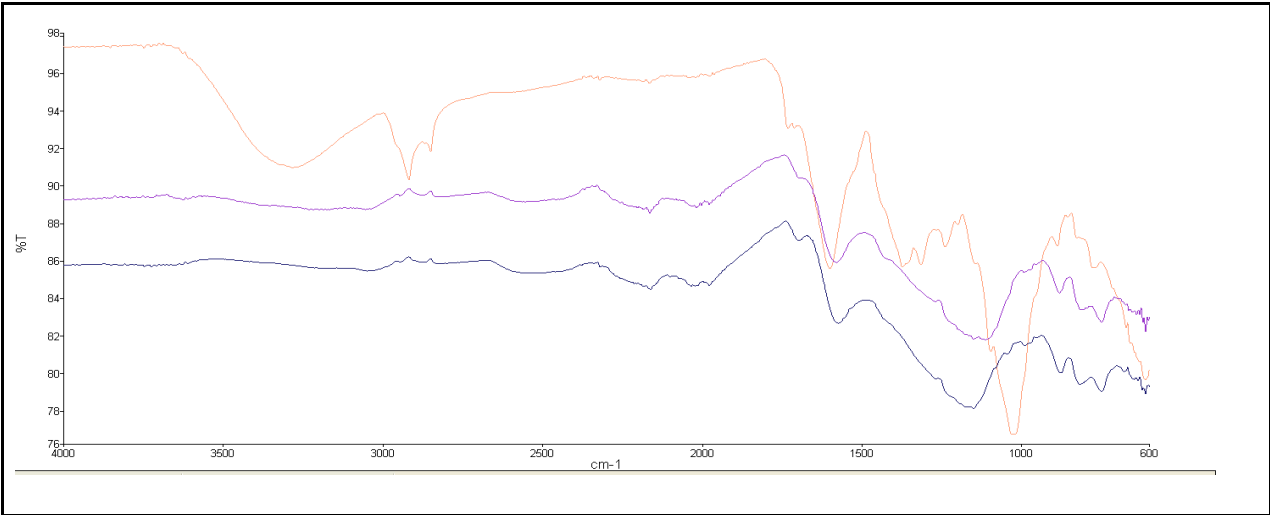
ZnCl<sub>2</sub>, NaOH, Saf Su, HCl, NaBH<sub>4</sub> KOH.

#### 4.3 Aktif Karbon Sentezi

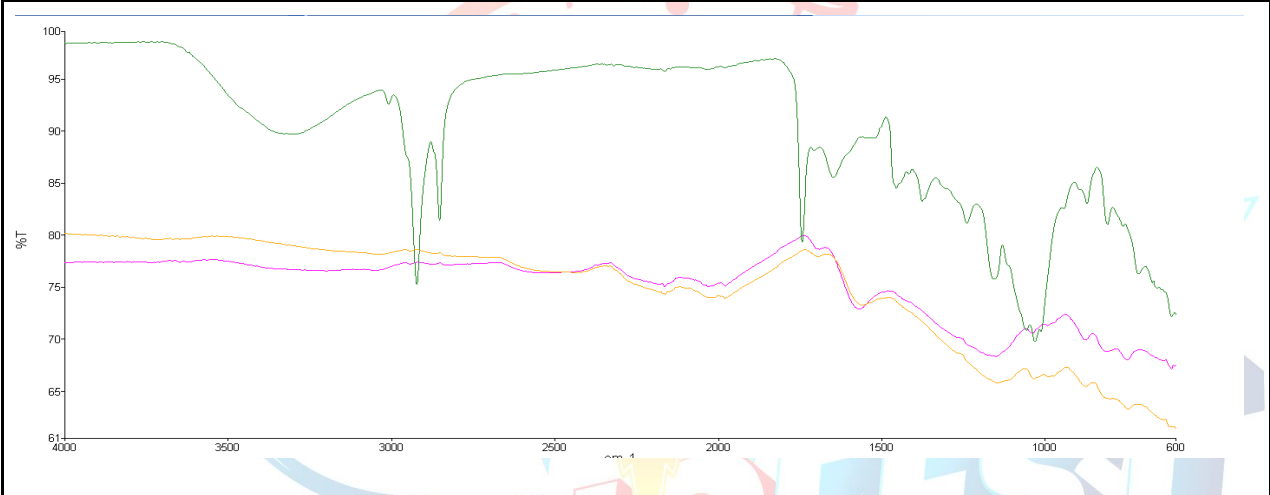
Etüvde 48 saat etüvde kurutulan ve 500 µm'lik elekten elenmiş olan 16 g tekstil atığı kimyasal aktivasyon ajanı olarak kullanılan 1M ve 5M'lık 50 mL KOH ve ZnCl<sub>2</sub> çözeltileri ile ısıtılarak oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Aktivasyon ajanı olarak KOH, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ve ZnCl<sub>2</sub> seçilmesinin sebebi mikro ve mezo gözenekli sahip aktif karbonlar elde edebilmektir. Aktivasyon ajanları ile ısıtılan örnekler 24 saat boyunca 110°C'de etüvde kurutulduktan sonra 700°C'de 10 psi'lık sabit N<sub>2</sub> gazı akışı altında 2 saat boyunca paslanmaz çelik reaktör kabında piroliz edilmiştir. İşlem sonucunda azot gazı altında soğutulan aktif karbon porselen havanla ezilerek parçalanmıştır. Sentezlenen aktif karbon örnekleri 0,5M'lık HCl ve NaOH çözeltileri ile yıkandıktan sonra saf suda kaynatılıp, manyetik karıştırıcıda 250 rpm hızında 15 dakika karıştırılarak yıkanıp safsızlıklardan arındırılmıştır. Bu işlemlerin ardından 100 µm filtre kâğıdı yardımı ile süzülüp etüvde 105 °C'de iki saat boyunca kurutulmuştur. Sonrasında distile su ile 3-4 kere yıkanan örnekler 110°C'de 24 saat boyunca kurutulmuştur ve aktif karbon sentezi gerçekleşmiştir. Bu işlemler sonucunda iki farklı derişimde üç farklı aktivasyon ajanı kullanılarak toplam altı adet numune elde edilmiştir (Sabaz,2018).

#### 4.4 FTIR-ATR Analizi

Örneklerin FTIR-ATR spektrumları, Perkin Elmer Spektrum 100 cihazı kullanılarak 650-4000 cm<sup>-1</sup> dalga boyu aralığında alınmıştır (Türkyılmaz, 2011).



Resim 1: Ham tekstil Atığı ve KOH ile aktive edilerek sentezlenen aktif karbonlara ait FTIR spektrumu



Resim 2: Ham tekstil Atığı ve ZnCl<sub>2</sub> ile aktive edilerek sentezlenen aktif karbonlara ait FTIR spektrumu

#### Örneklere ait FTIR Spektrumlarında

- 3300 ve 1000 cm<sup>-1</sup> civarında çıkan bant (O-H) titreşimlerine,
- 2900-1900 aralığında görülen bantlar ise alkil ve alken gruplarındaki (C-H) titreşimlerine,
- 1700 cm civarındaki bant (C=O) bağlarına, 1600-1500 cm civarında görülen bantlar ise aromatik gruplardaki (C=C) yapılarına,
- 1300-1200 cm civarındaki bantlar (C-O) titreşimlerine, C-N ve C-O gerilmelerine aittir.
- 800 cm civarındaki pikler ise aromatik yapıda bulunan C-H titreşimlerini ifade etmektedir.

#### Sentezlenen aktif karbonlara ait FTIR Spektrumlarında

- Kimyasal ve fiziksel aktivasyon yöntemi ile sentezlenen aktif karbonların FTIR spektrumlarına bakılarak aromatik yapılarının içerdiği C=C ve C=O titreşimleri sonucunda oluşan 2000-1600 cm<sup>-1</sup> aralığında bulunun band şiddetlerine ve sayılarında artış gözlenmiştir. 3400-3300 cm<sup>-1</sup> aralığında ham bitkisel atıklarda rastlanılan O-H titreşim bandına sentezlenen aktif karbonlara ait spektrumlarında rastlanılmamaktadır. Ham maddenin içerdiği oksijenin karbonizasyon yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Bitkisel



atıklardaki aromatik yapılar kırıldıktan sonra geriye karbon yüzdesi fazla olan katı fazda bir madde kalmıştır. Bu da beklenen bir sonuçtur (Luh, 2001).

#### 4.5 BET Yüzey Alanı Analizi

Aktif karbonların BET yüzey alanı, Quantachrome Nova 2200e serisi cihaz yardımıyla ölçülmüştür. 250°C’de 24 saat degaz edilen örneklerin analizi yapılmıştır. Saf azot gazının adsorbat olarak kullanımı sayesinde sıvı azot ortamında (77 K) yüzey alanı ölçümü sağlanmıştır (Sabaz,2018).

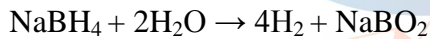
**Tablo 1:** Sentezlenen Aktif Karbonların ve ticari aktif karbonun BET yüzey alanı analizi

	1M KOH	5M KOH	1M ZnCl <sub>2</sub>	5M ZnCl <sub>2</sub>	Ticari Aktif Karbon
BET Yüzey Alanı	691	987	786	1235	595

Sentezlediğimiz aktif karbonların neredeyse kütlesiyle aynı miktarda hidrojen adsorblama kapasitesine sahip olduğu gözlenmiştir. BET yüzey alanı analizlerinden yola çıkılarak sentezlediğimiz aktif karbonlarda mikro ve mezo gözenekli yapıların oluştuğu söylenebilmektedir. Böylelikle sadece yüzeyde değil aktif karbonun içine de nüfuz ederek hidrojen gazı depolandığı görülmüştür.

#### 4.6 Hidrojen Gazı Eldesi

Bu projede çözelti olarak tepkimeye girdiğinde H<sub>2</sub> açığa çıkaran NaBH<sub>4</sub> kullanılmıştır. Bu tepkimenin denklemi ise aşağıdaki gibidir.



#### 4.7 Depolanan Hidrojen Gazının Tayini

50 ml suda 1 gram NaBH<sub>4</sub> çözülerek bu çözelti hazırlanmıştır. Elde ettiğimiz aktif karbonlar cam tüpler içine koyup içinde çözelti bulunan erlenlere yerleştirilmiştir. Adsorplanan H<sub>2</sub> miktarını ölçmek için öncelikle aktif karbonlar belirli aralıklarla sistemden çıkartılıp hassas terazide ölçüm yapılmıştır. Diğer bir taraftan da aynı sistem tekrar kurularak her bir erlen Arduino ağırlık sensörü ve SparkFun Ağırlık Sensör Kuvvetlendirici ile uygun kodlar yazılarak bir sistem kurulmuştur ve iki taraftan elde edilen ölçüm sonuçları kıyaslanmıştır. Bu şekilde farklı aktivasyon ajanları kullanılarak sentezlenen aktif karbonların iki farklı sistem kullanılarak miktarları tespit edilmiştir. Her iki yöntemde de birbirine çok yakın sonuçlar alınmıştır. Bu nedenle ilk defa projemizde geliştirmiş olduğumuz bu sistemin çok daha düşük maliyetle yüksek verimli bir ölçüm performansı gösterdiğini söyleyebiliriz.

Tablo 2: Sentezlenen Aktif karbon örneklerinin Adrorpladığı Hidrojen Yüzdeleri

	1M KOH	5M KOH	1M ZnCl <sub>2</sub>	5M ZnCl <sub>2</sub>	Ticari Aktif Karbon
Gravimetrik Yöntem	%73,82	%87,12	%75,16	%95,24	%70,00

Arduino Sensör	%73,75	%88,05	%75,98	%95,32	%70,00
----------------	--------	--------	--------	--------	--------

### 5. Yenilikçi (İnovatif) Yönü

Yapılan literatür taramasında tekstil atıklarından aktif karbon sentezlenerek hidrojen depolamada kullanılması ile ilgili çalışmaya rastlanmamıştır. Ayrıca çalışmamızda hidrojen üretimi için  $\text{NaBH}_4$  kullanıldığından ve dünya bor rezervlerinin %72 sinin ülkemizde bulunduğundan bu çalışma geliştirilerek ülke ekonomisine katma değer sağlanacağı söylenebilir. Bununla birlikte çalışmamızda hidrojen depolama kapasitesi hem hassas teraziyle hem de Arduino ağırlık sensörü ve SparkFun Ağırlık Sensör Kuvvetlendirici ile ölçülerek bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistemin benzeri de literatürde bulunmamaktadır. Kullandığımız yöntem yüksek maliyetli cihazların kullanımına alternatif olarak görülebilir. Ayrıca yapılan çalışmada çok yüksek miktarda atık oluşturan tekstil fabrikalarındaki atık malzemeleri aktif karbon ürünlerine dönüştürerek hem geri dönüşüm sağlanmış hem üstün özellikli ürünler sentezlenmiş hem de bu ürünler ile hidrojenin depolanmasına yenilikçi ekonomik ve yüksek verimli bir alternatif sunulmuştur.

### 6. Uygulanabilirlik

Bu projede atık malzemeler kullanılması sebebiyle bu malzemelerin aktif karbon üretimi için toplanması projeye büyük katkı sağlayacaktır. Üretilen ve depolanan bu hidrojen enerjisi temiz bir enerji olmakla beraber fosil yakıtlara bağımlılıktan kurtulmamızı sağlamaktadır. Ayrıca yenilenebilir bir enerji kaynağı olduğundan karbon ayak izini düşürerek atmosfere salınan zararlı gazların miktarını azaltabiliriz. Uygulanmasında zahmetli yöntemler veya çok düşük sıcaklıklar gerekmediğinden kolaylıkla hidrojen enerjisine ihtiyaç duyulan her alanda uygulanabilir nitelikte bir çözüm üretilmiştir.

### 7. Tahmini Maliyet ve Proje Zaman Planlaması

TARİH	YÖNTEM BASAMAKLARI	MALZEME	DENEY ORTAMI	MALİYET
02.07.2020 - 01.08.2020	Aktif Karbon Sentezi ve yorumlanması	Ettüv, 500 $\mu\text{m}$ 'lik elek, atık kabuklar, $\text{ZnCl}_2$ çözeltisi, $\text{N}_2$ gazı, çelik reaktör kabı, porselen havan, $\text{HCl}$ çözeltisi, beher, manyetik karıştırıcı, 100 $\mu\text{m}$ filtre kağıdı	Şehit Prof. Dr. İlhan Varank BİLSEM Kimya Lab.	50 TL
15.09.2020	FTIR-ATR Analizi ve yorumlanması	Perkin Elmer <u>Spektrum 100</u>	Balıkesir Üniversitesi Fizikokimya Lab.	-
30.10.2020	BET Yüzey Alanı Analizi ve yorumlanması	Quantachrome Nova 2200e	Balıkesir Üniversitesi Fizikokimya Lab.	-
06.11.2020	Hidrojen Gazı Eldesi ve yorumlanması	$\text{NaBH}_4$ , $\text{H}_2\text{O}$	Şehit Prof. Dr. İlhan Varank BİLSEM Kimya Lab.	20 TL
13.12.2020 - 20.01.2021	Depolanan Hidrojen Gazının Ölçümü ve yorumlanması	Cam tüp, <u>erlanmayer</u> , hassas terazi, $\text{NaBH}_4$	Şehit Prof. Dr. İlhan Varank BİLSEM Kimya Lab.	40 TL

AYLAR										
İşin Tanımı	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Ocak
Literatür taraması	X	X	X							
Veri toplanması			X	X						
DeneySEL Çalışmalar				X	X	X				
Raporlama						X	X	X	X	X

## 8. Proje Fikrinin Hedef Kitle (Kullanıcılar)

Günümüzde ülkelerin gelişmişlik düzeylerinin en önemli ölçütlerinden birinin enerji kullanımı ve ithalatı olduğu, fosil yakıtların rezervlerinin tükenmekte olduğu ve yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ihtiyaç göz önüne alındığında yapmış olduğumuz çalışmanın oldukça geniş bir alanda uygulanabilir olduğunu söyleyebiliriz. Projemizde geliştirilen ürün ve yöntemler fosil yakıt kaynaklarının yerini alabilecek potansiyelde olduğu için enerji kullanımını ve depolanmasını gerektiren birçok alana hitap etmektedir. Yaptığımız çalışma sayesinde geleceğin yenilenebilir enerji kaynağı olarak görülen hidrojen enerjisinin üretimi ve depolanmasında karşılaşılan problemlere yenilikçi ve düşük maliyetli çözümler getirerek çok geniş alanlarda kullanılabilirliğinin önünü açacaktır.

## 9. Riskler

Bu proje için planlanan yöntem hidrojen depolamada kullanılan çok büyük hacimli depoların veya yüksek basınçlı tankların getirdiği risk faktörlerini bertaraf etmekle birlikte kurduğumuz sistemde önemli bir risk faktörü barındırmamaktadır. Sadece aktif karbon sentezi yapılan odanın piroliz esnasında iyi havalandırılması gerekmektedir. Kütle ölçüm sonuçlarının güvenilirliğinin artırılması için de oda sürekli sabit sıcaklıkta tutulmuştur.

## 10. Kaynakça ve Rapor Düzeni

Abacıoğlu, G. M. (2015). Farklı Koşullarda Üretilen Aktif Karbonun Hidrojen Gazı Depolama Kapasitesinin Gravimetrik Yöntemle İncelenmesi, (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Aslan, Ö. (2007). Hidrojen Ekonomisine Doğru. İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 6(11), 283-298.

Bolgaz, M. T. (2008). Pamuk Sapından İyi Nitelikli Aktif Karbon Üretim Şartlarının Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.

Çepik, B. (2015). Sürdürülebilir Kalkınma Çerçevesinde Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Politikaları. (Doktora Tezi). Maltepe Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Geylan, F.M. (2016). Zeytin Yaprağından Nano-Aktif Karbon Üretimi Ve Bazı Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi. (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Kınav, E. (2007). Hidrojenin Ulaşımında Yakıt Olarak Kullanılması: Hibrit Elektrikli Şehir İçi Kişisel Ulaşım Aracı Konsepti. (Yüksek Lisans Tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri

Enstitüsü, İstanbul.

Korkmaz, Ş. (2019). Biyolojik Yöntemle Üretilmiş Gümüş Nanopartikül Bağlı Aktif Karbonun Karakterizasyonu Ve Adsorpsiyon Özelliklerinin İncelenmesi. (Doktora Tezi). Yalova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yalova.

Luh, B. S. (2001). Rice Production, Cereal Processing Technology. Wood head Publishing, Canada.

Mormillan, M. ve Veziroglu, T. N. (2002). Current Status of Hydrogen Energy. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 141-179.

Öztürk, M. Özek, N. ve Yüksel, Y. E. (2010). Doğalgazdan Hidrojen Üretilmesi Ve Salınan Karbondioksitin Tutulması. SDU International Technologic Sciences, 2(2), 1-13.

Şen, N. (2009). Fındık Kabuklarından Aktif Karbon Elde Edilmesi ve Karakterizasyonu. (Yüksek Lisans Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Sabaz, P. (2018). Hidrojen Depolama İçin Mandalina Kabuğundan Aktif Karbon Üretimi. (Yüksek Lisans Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

Türkyılmaz, A. (2011). Bazı Bitkisel Atıklardan Aktif Karbon Eldesi ve Yüzey Özellikleri. (Doktora Tezi). Balıkesir Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.

