

# HİDROJEN ENERJİSİYLE ÇALIŞAN ARACIN TASARIMI VE İMALATI

Mücahit EGE<sup>1</sup>, Mehmet TURPÇU<sup>1</sup>, Arif ÇEBER<sup>1</sup>  
Nihat AKKUŞ<sup>1</sup> Garip GENÇ<sup>2</sup>, Ersin TOPTAŞ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Marmara Üniversitesi, Tek. Eğt. Fak., Mekatronik Bölümü, Göztepe Kampüsü, 34722, İSTANBUL

<sup>2</sup>Marmara Üniversitesi, Tek. Bil. Mes. Yüksekokulu, Makine Bölümü, Göztepe Kampüsü, İSTANBUL

## ÖZET

Bu çalışmada alternatif enerji kaynaklarından hidrojen enerjisi ile çalışan prototip bir aracın tasarımı ve üretimi yer almıştır. Araçta temiz enerji kullanımının yanı sıra enerji kaybını minimum seviyede tutan tasarımlar yapılmıştır. Rüzgar sürtünmesinden kaynaklanan kayıpları azaltmak için gövde yağmur damlası formunda aerodinamik hesapları yapılarak oluşturulmuştur. SolidWorks programında çizilen modelin Cosmos programında FEA analizleri yapılarak gövde üzerinde düzeltmelere gidilmiştir. Ağırlığını azaltmak için gövdenin büyük bir bölümü infüzyon tekniği ile cam elyaf kullanılarak şekillendirilmiştir. Mekanik yapıda alüminyum malzemeler kullanılmıştır. Sürtünmelerin minimum seviyeye çekilmesi için mekanik hesaplamalar ve analizleri yapılmıştır. Verimi yüksek ağırlığı düşük motor ve yakıt pili sisteme dahil edilmiş, gerekli enerji dönüşümleri en az enerji kaybıyla gerçekleştirilmiştir. Enerji sisteminde güç, verim, tork, açısal hız, ivme değerleri çıkartılmış ve üzerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Tasarım sonuçları ve çıkarılan parametre değerlerinin sonuçları karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Hidrojen, Hidrojen Enerjisi, Yakıt Pili, Cam elyaf, Araç Verimi

## 1. GİRİŞ

Hidrojen evrende en fazla bulunan ve atomik kütle ağırlığı en az olan elementtir. Hidrojenin herhangi kimyasal bir reaksiyonda veya direk olarak bir uygulamada kullanılması sonucunda çevreye zarar vermemesi ve fosil yakıtlara göre en az 3 kat enerji yoğunluğuna sahip olması önemli özelliklerindedir. Bu özelliklerine istinaden hidrojen günümüzde, özellikle otomotiv endüstrisinde tercih edilen alternatif bir enerji kaynağı haline gelmiştir.

Devletlerin bu konuyla ilgili yüksek araştırma bütçeleri ayırması, sektördeki büyük otomotiv şirketlerinin hidrojenle ilgili Ar-Ge çalışmalarına ağırlık vermeleri, üniversite öğrencilerinin de bu konuyla ilgili geleceğe yönelik bir bilincin oluşturulmasını sağlamıştır. Marmara Üniversitesi bünyesinde yürütülen “Hidrojen Enerjili Araç Tasarımı ve İmalatı” projesi, öğrencilerin hidrojen teknolojisini yakından tanımalarını ve bu teknolojiyle geleceğin enerji kaynakları hakkında yeterli bilinci kazanmalarını amaçlamaktadır. Bu doğrultuda hidrojenle çalışan bir araç tasarlanmış ve çeşitli proje yarışmalarına katılmak üzere üretimi gerçekleştirilmiştir.

Proje kapsamında tasarlanan araç, üretilirken Fransa’da düzenlenen Shell Eco-marathon yarışlarının ölçütleri esas alınmıştır. Yarışta temel amaç, en az yakıtla en fazla yolu gitmektir. Bu sebeple araçların ne kadar hızlı gittiği önemli değildir. Bu amaç doğrultusunda tasarlanacak aracın verimliliğinin en üst düzeyde tutulması ve buna bağlı olarak, hafif, aerodinamik yapı bakımından ideal ve sürtünme değerlerinin asgari seviyede olması gerekmektedir.

Yapılan çalışmada üretilecek aracın öngörülen süre içerisinde tamamlanabilmesi ve beklenen sonuçları vermesi adına yapılan çalışmalar 3 ana başlık altında toplanmıştır:

- 1- Gövde tasarımı ve imalatı
- 2- Mekanik tasarım ve imalatı
- 3- Enerji sistemi tasarımı ve imalatı

Gövde üretiminde cam elyaf ve polyester kullanılarak kompozit bir yapı elde edilmiştir. Mekanik yapı aracın ağırlığı göz önünde bulundurularak sadece tekerlek ve motor bağlantıları için kullanılmıştır. Yine bu doğrultuda aracın gövdesi aynı zamanda taşıyıcı şase olarak tasarlanmış, metal profil kullanımı asgari düzeyde tutulmuştur. Enerji sisteminde hidrojeni kimyasal bir tepkimeye sokarak elektrik enerjisi elde eden yakıt pili, yüksek hacimli metal hibrit hidrojen depolama tankları, DC motor ve ara dönüştürücü, düzenleyici elemanlar kullanılmıştır.

## 2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

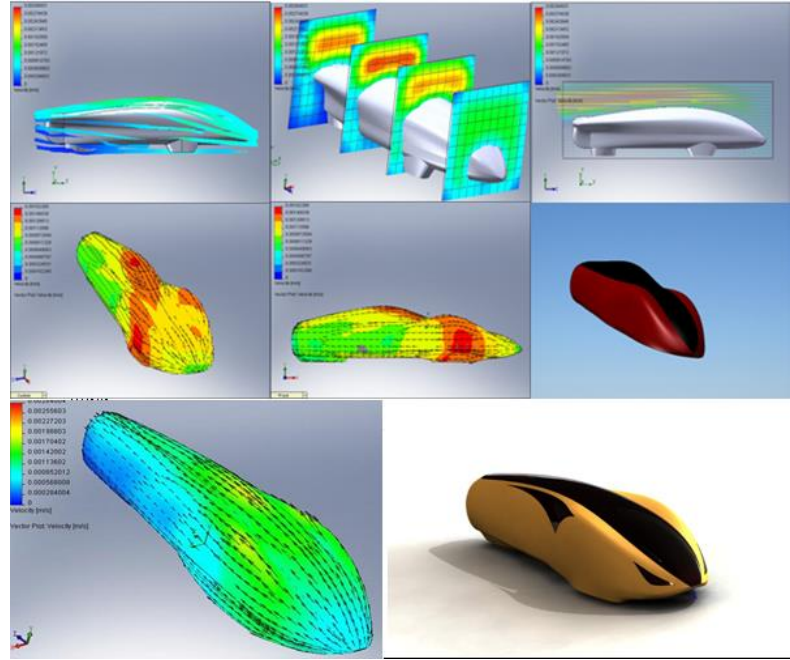
### 2.1. Gövde Tasarımı ve İmalatı

Aracın gövdesinin tasarımı ve imalatı sürecinde aşağıdaki işlem basamakları sırasıyla uygulanmıştır.

1. Gövde tasarımı
2. Modelin oluşturulması
3. Kalıbın çıkarılması
4. Gövde imalatı
5. Camların montajı

#### 2.1.1. Gövde Tasarımı

İlk olarak SolidWorks 2007 tasarım programında katı model çalışması yapılarak en uygun aerodinamik yapı üzerinde çalışıldı. Su damlasının yapısı temel alınarak çeşitli çizim çalışmaları yapıldı ve uygun görülen çalışmalar Cosmos programında rüzgar testine tabi tutularak incelendi. Bu incelemeler sonucunda araç tasarımı nihai şeklini kazandı. Araç yapısı olarak su damlasına benzetildi ve olabildiğince ön yüzey alanı küçültüldü. Böylece rüzgar direnci en aza çekildi ve aerodinamik olarak en uygun yapı oluşturuldu.



Şekil 1. Katı model çalışmaları ve analizleri

#### 2.1.2. Modelin Oluşturulması

Tasarım işleminden sonra dış gövdenin düzgün ve tasarlanan yapının birebir aynısı olması için CNC tezgâhında model çalışması yapıldı (şekil 2). CNC tezgâhının parça işleme boyutları esas alınarak model strafor bir malzemeden 8 parça halinde işlendi. Bu parçalar daha sonra tutkalla yapıştırılarak aracın birebir modeli elde edildi.

Model CNC tezgahında işlendikten sonra, model üzerinde zımpara işlemi uygulanarak yapıştırılmadan dolayı oluşan bozukluklar giderildi. Ardından 300 gr'lık cam elyaf ile BR400 polyester reçine modelin üst ve yan kısımlarına uygulandı.



**Şekil 2.** Aracın CNC işleme tezgahından elde edilen modeli



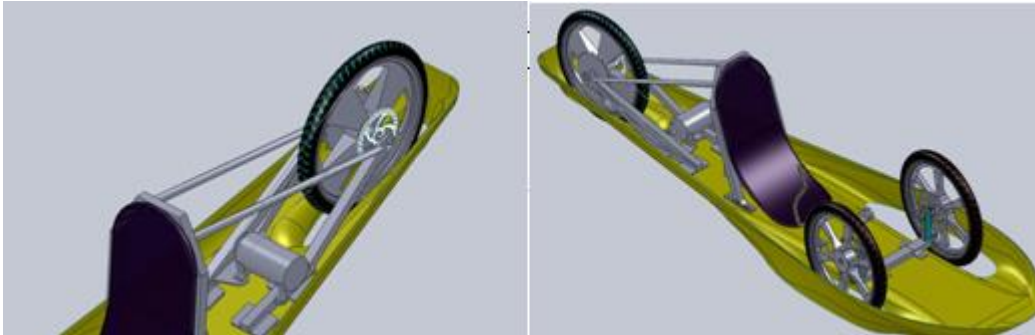
**Şekil 3.** İnfüzyon yöntemi ile alt gövdenin imalatı

### 2.1.3. Gövde İmalatı

2 parça halinde üretilecek olan gövdenin üst kısmı yüzey alanının büyük olması sebebiyle el yatırma yöntemi ile üretilmiş, alt kısım ise gövde yapısını oluşturmakla birlikte taşıyıcı şase görevini de üstleneceği için infüzyon yöntemi ile üretilmiştir (şekil 3). İnfüzyon yöntemi ile imal edilen ürün el yatırma yöntemine göre 3 ile 4 kata kadar daha hafif ve her noktada eşit kalınlık ve yoğunluğa sahiptir.

### 2.2. Mekanik Tasarımı ve İmalatı

Gövde yapımına başlamadan önce gerçeğiyle birebir boyutlarda demir profiller kullanılarak prototip bir araç üretildi (şekil 4). Böylece tekerlek dönüş açıları, mekanik bağlantılar, sürücünün oturma pozisyonu ve görüş alanı gibi testler gerçek üretimden önce görülmüş oldu. Daha önce 90x75x250 cm boyutlarında tasarlanan gövde, 70x70x270 cm olarak değiştirildi. Ayrıca daha önce hesaplanan enerji sistemi değerleri ile pratikte ölçülen değerler karşılaştırılarak değerlendirildi.



**Şekil 4.** Mekanik tasarım

### 2.3. Enerji Sistemi Tasarımı

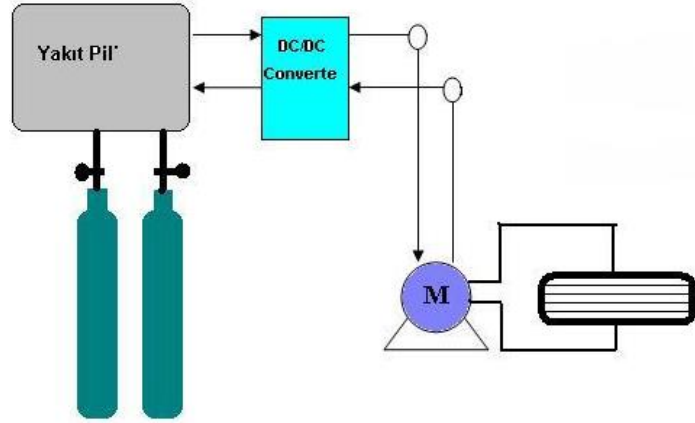
Aracın enerji sistemi bağlantıları şekil 5'de görülmektedir. Sistem genel olarak hidrojenin katı olarak depo edildiği metal hidrit depolama tanklarından, hidrojen atomlarının elektrik enerjisine dönüştürüldüğü yakıt pilinden, yakıt pilinden elde edilen gerilimin regüle edildiği DC/DC

dönüştürücüden ve son olarak motor sürücüsünden oluşmaktadır. Ayrıca sensör ile kontrolü sağlanan, tehlike anında gazın akışını durduran bir valf ve motor enerjisini kesecek bir röle sisteme dahil edilmiştir.

Çıkışı 50V olan yakıt pilinin gerilimi DC/DC dönüştürücü ile 24 V, 15 A olarak ayarlanır. 36 V gerilime kadar kullanılabilen bir motor sürücüsü ile 24 V 10 A'lık motora yol verilir.

Enerji sisteminde kullanılan malzemeler aşağıdaki gibidir.

1. Hidrojen yakıt pili
2. Hidrojen tüpü
3. DC motor ve motor sürücüsü
4. Hidrojen bağlantı seti
5. Hidrojen sensörü
6. Hidrojen Valfi
7. Motor sürme rölesi
8. Hidrojen debi ölçer



**Şekil 5.** Enerji sistemi bağlantı seması

Enerji sisteminin hesaplanması ve belirlenmesi aracın 10 saniyede 40 km/sa hıza çıkacağı ve yine bu hızda sabit olarak gideceği varsayılarak gerçekleştirildi. Bu varsayım düzenlenen yarışları tamamlamak için gerekli olan minimum hız limitidir. Ayrıca uygun dişli ve çark oranları, motorun devir, tork ve güç değerleri ve bunlara bağlı olarak yakıt pilinin tespiti yapılmış, bunun için kullanılan hesaplama yöntemlerine ait detaylar 9 numaralı referanstan ulaşılabilmektedir.

En son olarak aracı hareket halindeyken sabit hızda tutmak için gerekli olan güç aşağıdaki denklem yardımıyla bulundu.

$$P(\tau) = -\frac{\alpha_{\max} x \tau^2}{\tau_s} + \alpha_{\max} x \tau \quad (1)$$

(Denklemden kullanılan ifadeler: **P**:Güç,  **$\alpha_{\max}$** :Maksimum açısal hız, **t**:zaman,  **$\tau$** :Tork anlamındadır)

Sonuç olarak kalkış anında motorun ihtiyaç duyduğu maksimum tork 3,52 Nm, maksimum güç 312,4 W bulunmuştur. Hareket halinde iken aracı maksimum hızda tutmak için 0,143 Nm motor torku ve 48,57 W motor gücü yeterli olmaktadır. Yani aracın kalkış anında ihtiyaç duyduğu değerlerde bir motor alınması ve buna göre bir yakıt hücresi seçilmesi uygun olacaktır. Yukarıdaki formülasyon Visual Basic 6.0 kullanılarak bir form üzerinde (Şekil 6) araç üzerindeki değişkenler hesaplandı ve bu yolla sonuçların değerlendirilmesine olanak sağlandı

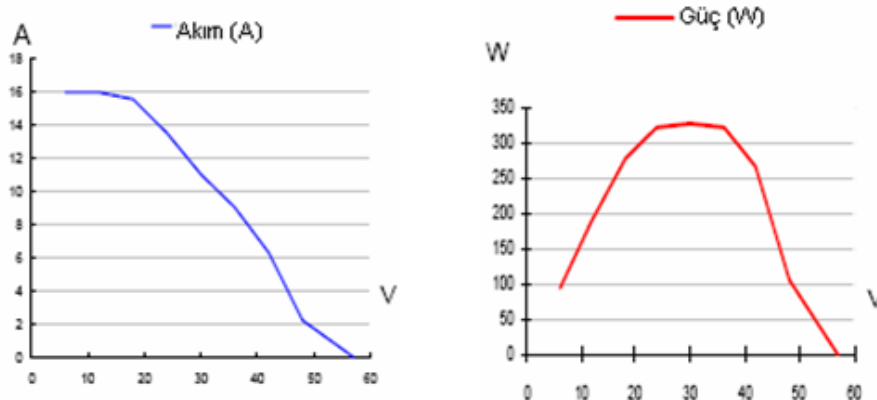
Marmara Üniversitesi (TARGEK)	
<b>Araç Bilgileri</b>	<b>Çıktı Parametreleri</b>
Araç Kütlesi (kg): <input type="text" value="100"/>	Maximum Hız (m/s): <b>11.111111111111111</b>
Araç Ön Yüzey Alanı (metrekare): <input type="text" value="0.35"/>	Lastik Çevre Uzunluğu (m): <b>1.57</b>
<b>İvme ve Kuvvet Bilgileri</b>	Maximum Hıza Ulaşmak İçin Gerekten Lastik Devir Sayısı (rpm): <b>424.628450106157</b>
Süre (sn): <input type="text" value="10"/>	Motor Dişlisi Devir Sayısı (rpm): <b>3397.02760084926</b>
Maximum Hız (km/sa): <input type="text" value="40"/>	İvme (metre/saniye kare): <b>1.1111111111111111</b>
Rüzgarın Hızı (km/sa): <input type="text" value="10"/>	Araçın İvmeye Bağlı Kuvvet Değeri (Newton): <b>111.11111111111111</b>
<b>Kayıp Kuvvet Parametreleri</b>	Rüzgarın Maximum Hızda Uyguladığı Sürtünme Kuvveti (Newton): <b>14.8804012345679</b>
Tekerlek Sürtünme Katsayısı: <input type="text" value="0.001"/>	Tekerlek Sürtünme Kuvveti (Newton): <b>2.23456790123457</b>
Rulman Kayıp Kuvveti (Newton): <input type="text" value="1"/>	Toplam Kuvvet (Newton): <b>114.345679012346</b>
Hava Direnci Katsayısı: <input type="text" value="0.38"/>	Tekerlek Çark Kuvveti (Newton): <b>178.665123456791</b>
<b>Dişli Oranları ve Tekerlek</b>	Rüzgarın Hızı (m/s): <b>2.77777777777778</b>
Tekerlek Çapı (cm): <input type="text" value="50"/>	<b>Kuvvet,Tork,Güç</b>
Tekerleğe Bağlı Dişli Çapı (cm): <input type="text" value="32"/>	Motor Kalkış Torkı (Nm): <b>3.57330246913582</b>
Motora Bağlı Dişli Çapı (cm): <input type="text" value="4"/>	Maksimum Hızda Gerekli Tork (Nm): <b>.566092785493827</b>
	Maksimum Hız (radyan/saniye): <b>355.555555555556</b>
	Maksimum Güç (Kalkış Gücü) (Watt): <b>317.626886145407</b>
	Hareket Anında Güç (Hız Koruma Gücü) (Watt): <b>169.390488598246</b>
	<b>Eğim</b>
	Eğim Miktarı (derece): <input type="text" value="17"/>
	Eğim Kaynaklı Çekme Kuvveti (Newton): <b>292.371704398515</b>
	Negatif İvme (metre/saniyekare): <b>2.92371704398515</b>

Şekil 6. Aracın Dinamik Parametrelerini Hesaplayan Program

## 2.4. Hidrojen Donanımı

**2.4.1. Hidrojen Yakıt Pili;** Hidrojen yakıt pili, hidrojenle oksijenin birleşmesi sonucu elektron elde eden elektrokimyasal dönüştürücü bir cihazdır. Hidrojenin kimyasal enerjisini doğrudan elektriğe çevirir. Yakıt pilleri batarya gibi çıkışından elektrik verirler, ancak sürekli yakıtla beslenmeleri gerekir.

Çeşitli yapılarda üretimleri mevcuttur. Bu projede proton değişimli membran (PEM) tipi yakıt pili kullanıldı. Grafikten de görüldüğü gibi yakıt pilinin maksimum gücü 330W dır. Bu da kalkış anında motorun ihtiyacı olan maksimum gücü sağlamaktadır. Hafif olması ve boyutunun küçük olması da önemli avantajlarıdır. Araçta motor çeşidi olarak DC motor kullanılmıştır.



Şekil 7. Yakıt Pilinin Akım (A), Gerilim (V) ve Güç (W) Eğrileri

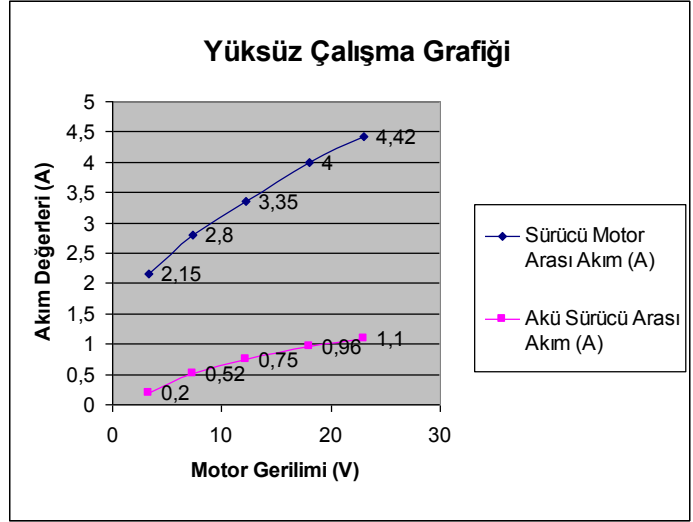
**2.4.2. Bağlantı Seti;** Hidrojen bağlantı seti hidrojen tüpü ile yakıt pili arasındaki bağlantı için kullanılır. Bağlantı noktaları ve kullanılan hortumun özelliği özel üretim olup hiçbir şekilde hidrojen çıkışına izin vermeyecek şekildedir. Hidrojen atomunun en küçük element oluşu ve yakıcı özelliği olması bu bağlantı setlerinin önemini göstermektedir.

**2.4.3. Hidrojen Sensörü;** Hidrojen sensörü laboratuvar ortamında ya da araç içinde güvenli bir çalışma yapmak için gerekli görülmüştür. Hidrojen gazı renksiz ve kokusuz olduğu için herhangi bir kaçak anında anlaşılması çok zordur. Ayrıca kullanılan gazın yakıcı özelliğinden dolayı hidrojen sensörünün kullanımı olası tehlikeleri önlemek için önemli bir ihtiyaçtır. Projede kullanılan sensör havada % 4 hidrojen olması durumunda sesli ve ışıklı uyarı vermektedir. Çalışma sıcaklığı - 20 ile +40 C arasındadır.

### 3. SONUÇ

Dünyamızda hızla tükenmekte olan ve çevreye büyük zarar veren fosil kaynaklar yerine alternatif enerji kaynaklarına yönelim başlamıştır.

Bu nedenle projede hidrojen enerjisiyle çalışan prototip bir araç geliştirildi ve üretimi üç aşamada gerçekleştirildi. Bu aşamalar sırayla gövde tasarımı, mekanik tasarım ve enerji ünitesi tasarımıdır. Çalışmalarımızda enerji tasarrufu esas alınmış olup tasarımlar en az yakıtla maksimum yol alma amacına göre yapılmıştır.



**Şekil 8.** Motorun Ölcülen Yüksüz Çalışma Grafiği



**Şekil 9.** Üretilen prototipin fotoğrafı

## **REFERANSLAR**

- [1] Sapru, K., Ramachandran, S., Tan, Z.: “An Integrated PV- Electrolysis Metal Hydride Hydrogen Generation and Storage System”, Energy Conversion Devices Inc, USA, **2000** pp. 125-129
- [2] Heung, L. K.: “Cost effectiveness of CO<sub>2</sub> mitigation in transport” Third Annual BCC Conference , Savannah River Technology Center, **2003**
- [3] A. W. McClaine, R. W. Breault, C. Larsen, R. Konduri, J. Rolfe, F. Becker, G. Miskolczy,; “Hydrogen Transmission/Storage with Metal Hydride-Organic Slurry and Advanced Chemical Hydride/Hydrogen, For PEMFC Vehicles”, Proceedings of the 2000 U.S. DOE Hydrogen Program Review NREL/CP-570-28890, **2000**
- [4]L. K. Heung, T. Motyka, W. A. Summers, “Hydrogen Storage Development for Utility Vehicles”, Savannah River Technology Center, Westinghouse Savannah River Company, USA, **1999**
- [5] D. J. Chato, M. V. Dyke, J. C. Batty, S. Schick, “Status and Design Concepts for the Hydrogen On-Orbit Storage and Supply Experiment”, NASA/TM—**1998**–206615 USA
- [6] Intel, VRM 9.0 DC-DC Converter Design Guidelines, 2002
- [7] Y.Kishinevsky, S.Zelingher,; “Coming Clean with Fuell Cells”, Power and Energy Magazine, IEEE, Vol 1, Nov.-Dec. **2003** P: 20 - 25
- [8] Nexa Power Modul datasheet, **2007**, pp 110-134
- [9] N. Akkus,;“Hidrojen enerjisiyle çalışan aracın tasarımı ve imalatı”, FEN - KPS - 120707- 0151, Marmara üniversitesi Bilimsel araştırma projeleri Komisyon başkanlığı, **2008**