

2019



KIRGIZİSTAN-TÜRKİYE MANAS ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSI VE
MATLAB İLE SİMÜLASYONU**

Hazırlayan

Nakılay İrisbay kızı

Danışman

Prof. Selahattin Gültekin

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2019

BİŞKEK, KIRGIZİSTAN

**YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSININ
MATLAB İLE SİMÜLASYONU**

Nakılay İrisbay kızı

KIRGIZİSTAN TÜRKiYE MANAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSI VE
MATLAB İLE SİMÜLASYONU

Hazırlayan

Nakılay İrisbay kızı

Danışman

Prof. Selahattin Gültekin

Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2019

KIRGIZİSTAN / BİŞKEK

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmada tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçlar tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Nakılay Irısbay kızı

İmza:

ПЛАГИАТ ЖАСАЛБАГАНДЫГЫ ТУУРАЛУУ БИЛДИРҮҮ

Мен бул эмгекте алынган бардык маалыматтарды академиялык жана этикалык эрежелерге ылайык колдондум. Тагыраак айтканда, бул эмгекте колдонулган, бирок мага тиешелүү болбогон маалыматтардын бардыгын тиркемеде так көрсөттүм жана башка булактардан плагиат жасалбагандыгына ынандырып кетким келет.

Ырысбай кызы Накылай

Колу:

YÖNERGEYE UYGUNLUK

«Yakıt Hücresinin Performansı ve MATLAB ile Simülasyonu» konulu Yüksek Lisans tezi, Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Tez Hazırlama ve Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Nakılay Irısbay kızı

Prof. Selahattin GÜLTEKİN

İmza:

İmza:

Kimya Mühendisliği ABD Başkanı
Prof. Selahattin GÜLTEKİN

İmza:

НУСКАМАГА ТУУРА КЕЛҮҮСҮ

«Күйүүчү отун элементтеринин өндүрүмдүүлүгү жана аны MATLAB программасында моделдөө» атындагы магистратуралык квалификациялык бүтүрүү иши, Кыргыз-Түрк “Манас” Университети Жогорку Билим Берүү жана Квалификациялык Бүтүрүү Иштерин 100 жана Жазуу Нучкамагына ылайык жасалды.

Ырысбай кызы Накылай

Проф. Др. Селахаттин Гүлтекин

Колу:

Колу:

Химия Инженерлиги Билим Багыты Башчысы
Проф. Др. Селахаттин Гүлтекин

Колу:

KABUL VE ONAY

Prof. Dr. Selahattin GÜLTEKİN danışmanlığında Nakılay İrisbay kızı tarafından hazırlanan “Yakıt Hücresinin Performansı ve MATLAB ile Simülasyonu” konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

..... / / 2019

JÜRİ:



Danışman: Prof. Dr. Selahattin GÜLTEKİN

Komisyon başkanı: Prof. Dr. Jumanazarova Asılkan Zulpukarovna

Üye: Dr.Doç. İbraev Kuban Sagmoviç

Üye: PhD.Prof. Dr. Osman Tutkun

Üye: PhD.Prof. Dr. Nahit Aktaş

Üye: Dr . Doç. Sartova Külümkan Abdikerimovna

Üye: Dr Doç. Borkoev Bakıt Mametisakoviç

Üye: PhD. Öğretmen Majitova Ayçürök Taşmatovna

ONAY:

Bu tezin kabülü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / / 2019

Doç. Dr. Dağıstan Şimşek

Enstitü Müdür

КАБЫЛ АЛУУ ЖАНА ЧЕЧИМ

Проф. Др. Селахаттин Гүлтекин жетекчилигинде Ырысбай кызы Накылай тарабынан даярдалган «**Күйүүчү отун элементтеринин өндүрүмдүүлүгү жана аны MATLAB программасында моделдөө**» темасындагы магистрдик иш комиссия тарабынан Кыргыз-Түрк “Манас” университетинин Табигый илимдер институтунун Химиялык Технология багытында магистрдик иш болуп кабыл алынды.

..... / / 2019

Комиссия:



Илимий жетекчи: Проф. Др. Селахаттин Гүлтекин

Төрайым: х.и.д. Проф. Др. Жуманазарова Асылкан Зулпукаровна

Мүчө: х.и.к., доцент. Ибраев Кубан Сагынович

Мүчө: PhD. Проф. Осман Туткун

Мүчө: PhD. Проф. Нахит Акташ

Мүчө: х.и.к., доцент. Сартова Күлүмкан Абдыкеримовна

Мүчө: х.и.к., доцент. Боркочев Бакыт Маметисакович

Мүчө: PhD, ага окутуучу Мажитова Айчүрөк Ташматова

ЧЕЧИМ:

Бул бүтүрүү иши, Институт Башкаруу Кеңешинин датасындагы жана номерлүү чечими менен кабыл алынды.

..... / / 2019

Доц. Др. Дагыстан Шимшек

Институт Мүдүрү

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca farklı bakıő açıları ve bilimsel katkılarıyla beni aydınlatan, yakın ilgi ve yardımlarımı esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr Selahattin Gültekin'e teşekkür ederim.

Deneysel çalıőmalarım sırasında karşılaőtığım zorlukları aőmamda yardımlarından dolayı Asistent Kalbekov Alimjana teşekkür ederim.

Bu tez çalıőmasına maddi destek veren Kırgızistan Türkiye Manas Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne (Proje No: 2012 FBE 01) teşekkür ederim.

Nakılay ırısbay kızı

Bişkek, / / 2019

YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSI VE MATLAB İLE SİMÜLASYONU

Kırgızistan Türkiye Manas üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü

Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2019

Danışman: Prof. Dr. Selahattin Gültekin

KISA ÖZET

Yakıt hücresi günümüzdeki enerji kaynaklarına en iyi bir alternatif olduğundan dolayı bunun çalışmasını anlamak çok önemlidir. Bu çalışmada, yakıt hücresinin performans simülasyonu, MATLAB programlama dili ile yapılmıştır. Çalışma esnasında, aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Yakıt hücresinde oluşan reaksiyon ekzotermik olduğundan dolayı sıcaklık artması performans üzerine etki yapar. Reaksiyon heterojen bir reaksiyon olduğundan reaktantların kısmi basınçlarının artması hücrenin potansiyelini artırır. Hücrede oluşan proses ilerledikçe yani akım arttıkça, bazı kayıplar olduğundan dolayı çıkış voltaj yani hücre potansiyeli gittikçe düşer. Hücrenin gücü ise, matematiksel olarak iki karşı yöndeki vektörlerden olduğundan, belli bir noktada maksimuma ulaşır ve sonra düşer. Bu sonuçlardan belli oluyorki, yakıt pillerinin performans simülasyonu yapılması önemlidir.

Anahtar Kelimeler: Yakıt pili, simülasyon, matris laboratuvarı (MATLAB), alternatif enerji, Butler-Volmer denklemi, Nernst denklemi, elektrik enerji.

Күйүүчү отун элементтеринин өндүрүмдүүлүгү жана аны MATLAB программасында моделдөө

Кыргыз-Түрк «Манас» университети, Табигый илимдер институту,

Магистрдик иш, Июнь 2019

Илимий жетекчи: Проф.Др. Селахаттин Гюлтекин

Кенири Аннотация

Отун элементи, бүгүнкү күндөгү энергетикалык ресурстарга өтө жакшы бир альтернатива болгондуктан мунун иштөөсүн түшүнүү өтөө маанилүү. Бул изилдөөдө, отун элементинин иштөөсүнүн симуляциясы MATLAB программалоо тили менен жасалды. Изилдөөдөн төмөнкү жыйынтыктар табылды. Отун элементиндеги реакция экзотермикалык реакция болгондуктан, температуранын жогорулашы элементтин иштөөсүнө таасирин тийгизет. Реакция гетерогендик реакция болгондуктан, реактанттардын жарым-жартылай басымын жогорулатуу элементтин потенциалын арттырат. Элементтеги процесс илгерилеген сайын башкача айтканда агым арткан сайын кээ бир жоготуулар болгондуктан чыгыштагы чыңалуу башкача айтканда элемент потенциалы илгерилеген сайын азаят. Элементтин күчү математикалык жактан эки бир-бирине карама каршы векторлордон болгондуктан белгилүү бир чекитте максимумга чыгат жана андан кийин түшөт. Бул жыйынтыктардан белгилүү болгондой, отун элементтеринин иштөөсүнүн симуляциясын жасоо өтө маанилүү

Негизги сөздөр: Отун элементи, симуляция, матрикалык лаборатория (MATLAB), алтернативдик энергия, Батлер-Вольмер тендемеси, Нернстс тендемеси, електрик энергия.

Производительность топливного элемента и моделирование с помощью MATLAB

Кыргызско-Турецкий университет “Манас”, Институт Естественных Наук

Магистерская диссертация, Июнь 2019

Руководитель: Проф. Др. Селахаттин Гюльтекин

Аннотация

Поскольку топливный элемент является лучшей альтернативой сегодняшним источникам энергии, очень важно понять его работу. В этом исследовании симуляция работы топливного элемента было выполнено с использованием языка программирования MATLAB. В ходе исследования были получены следующие результаты. Поскольку реакция в топливном элементе является экзотермической, повышение температуры влияет на производительность. Поскольку реакция представляет собой гетерогенную реакцию, увеличение парциальных давлений реагентов увеличивает потенциал элемента. По мере развития процесса в элементе, то есть при увеличении тока, возникают некоторые потери, поэтому выходное напряжение или потенциал элемента постепенно уменьшаются. Сила элемента математически состоит из двух противоположных векторов, таким образом, достигая максимума в определенной точке и затем падая. Из этих результатов очевидно, что важно моделировать работу топливных элементов.

Ключевые слова: Топливный элемент, моделирование, матричная лаборатория (MATLAB), альтернативная энергия, уравнение Батлера-Вольмера, уравнение Нернста, электрическая энергия.

PEM Fuel Cell Performance and Simulation Using MATLAB

Kyrgyz-Turkish Manas university, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.S. Thesis, June 2019

Supervisor: Prof. Dr. Selahattin GÜLTEKİN

Abstract

As the fuel cell is the best alternative to today's energy sources, it is very important to understand its operation. In this study, the simulation of the performance of the fuel cell was carried out with MATLAB programming language. During the study, the following results were obtained. Because the reaction in the fuel cell is exothermic, the increase in temperature affects the performance. Since the reaction is a heterogeneous reaction, increasing the partial pressures of the reactants increases the potential of the cell. As the process in the cell progresses, as the current increases, some losses occur, so the output voltage or the cell potential decreases gradually. The power of the cell is mathematically composed of two opposing vectors, thus it reaches a maximum at a certain point and then drops. It is obvious from these results that it is important to simulate the performance of fuel cells.

Key words: Fuel cell, simulation, matrix laboratory (MATLAB), alternative energy, Butler-Volmer equation, Nernst equation, electrical energy.

İÇİNDEKİLER

YAKIT HÜCRESİNİN PERFORMANSI VE MATLAB İLE SİMÜLASYONU

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK SAYFASI.....	ii
YÖNERGEYE UYGUNLUK SAYFASI.....	iii
KABUL VE ONAY SAYFASI.....	iv
TEŞEKKÜR.....	vi
KISA ÖZET.....	vii
GENİŞ ÖZET (Kırgızça).....	viii
ÖZET (Rusça).....	x
ÖZET (İngilizce).....	xi
İÇİNDEKİLER.....	xii
KISALTMALAR VE SİMGELER.....	xv
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xvii

GİRİŞ.....	1
------------	---

2. BÖLÜM LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2. Literatür Araştırma.....	5
2.1 Yakıt pilin keşfedilmesi.....	5
2.2 Yakıt pili.....	5
2.3 Yakıt pili sistemi.....	8
2.4 Yakıt pilin avantaj ve dezavantajı	10
2.5 Yakıt pil çeşitleri.....	11
2.6 Yakıt hücrelerinde kullanılan membranlar.....	12
2.7 Yakıt hücresi membranlard aranılan özellikler.....	13

2.8 Yakıt pil yaparken kullanılan membranlar ve membran malzemeleri çeşitleri:.....	15
---	----

3. BÖLÜM HİDROJEN

3.Hidrojen.....	16
3.1 Hidrojen özellikleri.....	16
3.2 Hidrojen bir yakıt olarak.....	16
3.3 Hidrojen Yakıtının Özellikleri.....	18
3.4 Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitleri.....	20

4. BÖLÜM MATERİAL VE YÖNTEM

4.1 Kullanılan aletler ve simülasyon yöntem.....	22
4.2 Matlab nedir nerelerde kullanılır.....	24

5. BÖLÜM SONUÇ VE TARTIŞMA

5. Sonuç ,tartışma ve öneriler.....	25
5.1 Öneriler.....	31
5.2 Sonuç.....	31

6. KAYNAKLAR.....	33
YÜKSEK LİSANS TEZİNDE YAYINLANAN MAKALE.....	35
ÖZGEÇMİŞ.....	36

KISALTMALAR VE SİMGELER

Sembol	Anlamı	Birimi
NASA	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi	
<i>MATLAB</i>	MATLAB programlama dili	
<i>LPG</i>	Sıvılaştırılan petrol gazı	
<i>F</i>	Faraday sabiti	<i>C/mol</i>
<i>T</i>	Sıcaklık	<i>K</i>
ΔT	Sıcaklık değişimi	<i>K</i>
ΔS	Entropi değişimi	<i>J/kg</i>
ΔH	Entalpi değişimi	<i>J/s (kJ/s)</i>
<i>E</i>	Potansiyel	<i>V</i>
<i>H</i>	Entalpi	<i>J/s (kJ/s)</i>
<i>S</i>	Entropi	<i>J/kg</i>
<i>P</i>	Basınç	<i>atm (bar)</i>
<i>P_o</i>	Başlangıçtaki sıcaklık	<i>atm (bar)</i>
<i>v_i</i>	<i>i</i> maddesinin hacimsel akışı	<i>m³/s</i>
<i>C_P</i>	<i>özgül ısı kapasitesi</i>	<i>J/(K.g)</i>
ΔG	Gibbs serbest enerjisi	<i>J (kJ)</i>
<i>a, b, c</i>	katsayılar	
η	Verimlilik	<i>%</i>
<i>ln</i>	Doğal logaritma	
<i>T</i>	Mutlak sıcaklık	<i>K</i>
<i>R</i>	Gaz sabiti	<i>J/K.mol</i>
<i>n</i>	Elektron sayısı	<i>Elektron sayısı/mol</i>

TABLULAR LİSTESİ

Tablo2.1 Karşılaştırma.....	11
Tablo 3.1 Hidrojen özellikleri.....	16
Tablo3.2 Hidrojen ve diğer yakıtların karşılaştırılması.....	18
Tablo 3.3 Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerine bakıldığında.....	21

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1 Yakıt pilin genel yapısı.....	8
Şekil 2.2 Yakıt pil sistemi.....	9
Şekil 3.1 Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerine bakıldığında.....	21
Şekil 5.1 Özgül ısının sıcaklığa göre değişimi.....	25
Şekil 5.2 Sıcaklığın etkisi. 4. (a), (b), (c)	27
Şekil 5.3 Sıcaklığa bağlı potansiyel kaybı.....	28
Şekil 5.4 Teorik potansiyele kısmi basınçların etkileri.....	29
Şekil 5.5 Yakıt hücresinin aşırı potansiyeli.....	30
Şekil 5.6 Yakıt hücresinin güç değişimi.....	31



**KIRGIZISTAN TÜRKİYE MANAS ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
DANIŞMAN GÖRÜŞ**

YÜKSEK LİSANS ÖĞRENCİSİNİN

Adı Soyadı: Nakılay İrisbay kızı

Yüksek lisans tez konusu: Yakıt Hücresinin Performansı ve MATLAB ile Simülasyonu

Danışman Görüşü:

Nakılay İrisbay kızı, bu tezi çalışırken önce MATLAB paket programını iyi bir şekilde öğrendi. Daha önce böyle bir programı hiç kullanmamıştı. Daha sonra da üç fazlı reaktör olan yakıt hücrelerinin (pillerinin) kimyasal reaksiyon mühendisliği açısından çalışma prensibini öğrenip ona paralel elektrokimyasal reaksiyonların çalışmasını yaptı.

Özellikle, yakıt pillerindeki termodinamiksel prensiplerin MATLAB ile simülasyonunu gerçekleştirdi.

Genel olarak, kabul edilebilecek bir performans sergiledi ve bunu bağlı başarılı bir tez hazırladı.

Ben, kendisine ömür boyu başarı ve mutluluklar diliyorum.

Danışmanın;

Adı Soyadı : Selahattin Gültekin

Ünvanı : PROF. DR.

Çalıştığı Yer : MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, Kimya Mühendisliği Bölümü

Tarih : 21 / 06 / 2019

İmza :

GİRİŞ

Son zamanlarda enerjiye olan ihtiyaç gün artıka çok artıyor. Bu ihtiyacları karşılamak çok önemlidir. Onun için alternatif bir kaynak bulmak ya da alternatif enerji kaynağını kullanmak daha avantajlıdır. Alternatif enerji kaynakların sıralarsak petrol, nükleer, kömür, doğal gazı ve yenilebilir enerji kaynakları bellidir. Burada bir sorun var ama zaman gittikçe bu enerji kaynakların kullanım ömürleri bitiyor, hem de tehlikeli ve zararlı tarafları yoktur. Onun için uygun hemde zararı az olan alternatif yakıt bulmak önem taşımaktadır. Bu soruna cevap olarak alternatif yakıt pili yakıt piller uygun olarak görölmektedir. Yakıt pillerin %80 oranda çalışmak mümkündür. Makine motorlarında şunda kullanılmaktadır. Araba kullanımında atık olarak su çıkması da çok önemlidir ve avantajlıdır. Verimliliği ise ideal olan Carnot %54 danda yüksek olmaktadır. Bunlara bakacak olursa yakıt pilleri daha avantajlı olduğunu görmek mümkündür. Yakıt pillernin yapmak çok avantajlı ama fiyatı pahalı olduğu sorun olmaktadır. Mesela, bir yakıt pilinde reaksiyonunda katalizör tabakası üzerinde meydana gelen reaksiyon çok yavaştır ve bunu hızlandırmak gerek. Bu hızlandırmak için gerekli olan katalizör ise çok pahalıdır. Yakıt pillerinde genelde platin katalizör kullanmak daha iyidir. Çünkü platin katalizörü yakıt hücresinde membranın işlevi protonu anot bölgesinden katot bölgesine iletmektir. Yani platin membranı anodu katot bölgesine geçmemesine engen olması daha yüksektür. Bununla birlikte yakıt pilin avantajı çoktur. Son gelişmelerde uzay araçlarında çok kullanılmakta. Enerji olarak önemli olması görölmektedir. Yakıt pilinin performansı simülasyonunun yapılması bu alana bir katkı sunacaktır. Bu sebeple yakıt pilleri hakkında araştırma yapmak daha verimlidir. Yakıt piilerin kullanımda daha bir avantajı ise hidrojeni kolaylıkla ve güvenli olarak her yere taşınabilmeli. Her yerde (sanayide, evlerde, taşıtlarda) kullanılabilmesi depolanabilmesi. Birim kütle başına yüksek ısıl değerde, temiz, güvenli hafif, olmalı ısı elektrik ve mekanik enerjiye kolaylıkla dönüşebilmesi. Yakıt pillerinde kullanılan nafiyon membranların, yüksek verimlilikte enerji üretmesi çok ekonomik olma avantajlara sahiptir. Düşük nem hem de yüksek sıcaklıkta iletkenliğinin düşük olması yani iletkenlik özelliği zayıf olması demektir. Membranın daha bir değişikliği ise hücre verimini azaltan yüksek metanol geçirgenliği.

Konunun önemi

Dünya çapında enerjiye olan ihtiyaç bilim adamların düşünmeye zorlamaktadır. Onun için ihtiyacı yani sorunu çözmek için gerekli olan enerji kaynağı yakıt pillerin araştırmak. Bu yakıt pillerin avantajı ise atık olarak saf su çıkması çok önem taşımaktadır. Hem enerji almayla birlikte çevre kirliliğine de sebep olmamaktadır. Bu yakıt pilin çalışma verimliliği ise %80 göstermektedir toplam verimliliğe ve %40-60'lık elektriksel verimliliğe ulaşabilir. Kirlilik ve çevreye zararlı gaz emisyonlarının azaltılması ise çok önemli hatta faydalı olduğuna da sebep olmaktadır.

Yakıt hücresinin teorik potansiyeli aşağıdaki gibidir.

$$E = -\frac{\Delta G}{nF}; \quad \Delta G \text{ ve } F \text{ (Faraday) } 25 \text{ }^\circ\text{C için bilinir, daha sonra}$$

$$E = -\frac{\Delta G}{nF} = \frac{237}{2 \cdot 96485} = 1.23 \text{ V } 25 \text{ }^\circ\text{C'de yakıt hücresinin teorik}$$

potansiyeli 1.23 V olarak bulunur.

$$\text{Verimlilik ise } \eta = \frac{237}{286} = \% 83 \text{ 'dür.}$$

Ancak sıcaklığın etkisi büyüktür. Yakıt hücresinin Gibbs serbest enerjisi entalpi ve entropiye bağlı olduğundan, bu iki parametre de özgül ısının fonksiyonlarıdır ve özgül ısı da sıcaklığa bağlıdır. Özgül ısının sıcaklığa bağlılığını gösteren formül:

$$C_p = a + bT + cT^2$$

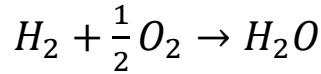
Burada a , b ve c sabitlerdir.

$$h_T = h_{25} + \int_{25}^T C_p dT; \quad s_T = s_{25} + \int_{25}^T \frac{C_p}{T} dT; \quad (4)$$

Yakıt pilin potansiyeli Gibbs serbest enerjine direkt bağlıdır. Gibbs serbest enerjisi ise sıcaklığa bağlıdır.

$$E = -\frac{\Delta G}{nF}; \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Yakıt hüresinde gerçekleşen reaksiyonlar gaz fazı reaksiyonları olduğu için sistemdeki basıncın potansiyel üzerindeki etkisini belirleme önemlidir. Basıncın etkisini görebilmek için, Nernst denklemi kullanılabilir.



reaksiyonu için ideal gaz denkleminde teorik potansiyel denklemine (Nernst denklemi) basıncı eklediğimizde, denklem şöyle olur:

$$\Delta G = \Delta G_o + RT \ln \left(\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} P_{O_2}^{0.5}} \right), \quad \text{ve} \quad E = E_o + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{P_{H_2} P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}} \right)$$

Yakıt hüresinde oluşan reaksiyonun kinetiğine baktığımızda, bunun elektrokimyası çok karmaşıktır. Yakıt hüresindeki proses sırasında bazı kayıplar (aşırı potansiyelden dolayı) vardır. Temel olarak, bunlar: aktivasyon potansiyeli (Tafel denkleminde), Ohmik potansiyel (Ohm yasasından) ve konsantrasyon potansiyelidir. Butler-Volmer denklemi, yukarıda belirtilen aşırı potansiyeli içeren yakıt hüresinin elektrokimyasını tanımlamak için kullanılır [11-14]:

$$i = i_o \left\{ \exp \left[\frac{-a_{Rd} F (E - E_r)}{RT} \right] - \exp \left[\frac{-a_{Ox} F (E - E_r)}{RT} \right] \right\}$$

Tezin amacı

Yakıt hücresinin performansının matlab ile simülasyonu adlı yüksek lisans tezinin amacı, alternatif bir yakıt ve enerji sistemi olan yakıt hücrelerini, matlab programıyla simülasyonun incelenmesidir.

Bu hedeflere ulaşılması için yapılması gereken işler şunlardır:

1. Literatür araştırması
2. Yakıt hücresinin performansının matlab ile simülasyonu

2.BÖLÜM

2. LİTERATÜR ARAŞTIRMA

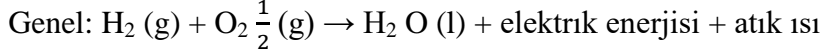
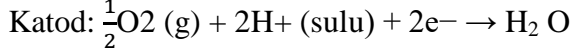
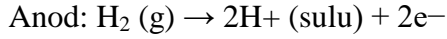
2.1 Yakıt pilin keşfedilmesi

Yakıt pili, ilk kez 1958 yılında NASA'nın uzay programında Apollo, Gemini, ve Space Grove tarafından H₂-O₂ pili üzerinde yapılmıştır. Yapıldığı çalışmalar sırasında suyun elektrolizinin ters reaksiyonu sonucunda sabit akım ve gücün üretildiğini fark eden Grove, tesadüfen çok büyük bir buluş gerçekleştirmiştir. 1893 yılında Friedrich Wilhelm Ostwald, yakıt pili içinde her elemanın görevini ve etkisini araştırmıştır. William W. Jacques 1896 yılında elektrolitli yakıt pillerinin temelini atarak kömürün elektrokimyasal enerjisinden faydalanarak doğrudan elektrik üretmeyi amaçlamıştır. 1900 yılında, ünlü bilim adamı Nernst'in başlattığı katı oksit elektrolit ile çalışan yakıt hücresi projesini, Emil Baur 1937 yılında başarıya ulaştırmıştır. Yakıt pilin günümüzdeki konumuna gelmesini sağlayan en önemli çalışma 1939 yılında Thomas Bacon tarafından alkalın yakıt pilleri üzerinde yapılan çalışmalar olmuştur. Bu çalışmanın önemini anlayan Pratt Whitney şirketi bu projeye lisans vererek NASA programlarında kullanılmasını sağlamıştır. 1950 yılında uzay çalışmalarındaki yarış ile yakıt pillerine olan ilgi arttı ve 1958 yılında NASA H₂-O₂ pilini uzay araçlarında kullanmaya başladı. 1980'de petrol krizleri sonrası hidrojen ve hidrojenli yakıt pilleri büyük önem kazandı.

2.2. Yakıt pilleri

20. yüzyılın ikinci yarısında sanayideki gelişme enerji tüketiminde hızlı bir artışa yol açmıştır. Yakıt pilinin kullanımındaki kaba denilebilecek mekanizma ortadan kalkmaktadır. Bu mekanizmaların yol açtığı titreşim, gürültü, mekanik kayıplar, kopukluk yapı, yüksek sıcaklık ve zararlı emisyonlardan kurtulmak mümkündür. Yakıt pilinin kullanımında en uygun olan hidrojenin yakıt olarak kullanımı halinde reaksiyon sonrası emisyon olarak su oluşmaktadır. Yüksek verimlilik ancak yakıt pili 100°C'nin altındaki sıcaklıklarda çalıştırılması ile mümkündür ve bu sıcaklıklarda titreşim oluşmaz.

YAKIT HÜCRESİNDEKİ KİMYASAL REAKSİYON



Yakıt pili, uygun bir yakıt ve oksitleyicinin elektrokimyasal bir reaksiyonu ile elektrik enerjisinin üreten bir sistemdir. Yakıt pilleri, elektrokimyasal bir proses ile elektrik ürettiği için bakımdan piller ve aküler ile benzerik gösterirler. Piller ve aküler, içerisinde depolanmış olan enerjiyi elektrokimyasal bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştürülmesidir. Hidrojen ve oksijen arasındaki elektrokimyasal tepkime ile yüksek verimde elektrik enerjisi elde edilen yakıt pilleri, kendini meydana getiren yakıt hücreleri sayesinde yakıt kimyasal enerjisini elektrolit sistemde sürekli olarak elektrik enerjisine çevirirler. Bu nedenle, yakıt pilleri elektrokimyasal piller olarak da adlandırılırlar. Atık olarak su ve ısı elde edilmesi ve emisyon seviyesinin minimum düzeyde tuttuğu için yakıt hücrelerini avantajlı kılmaktadır [12].

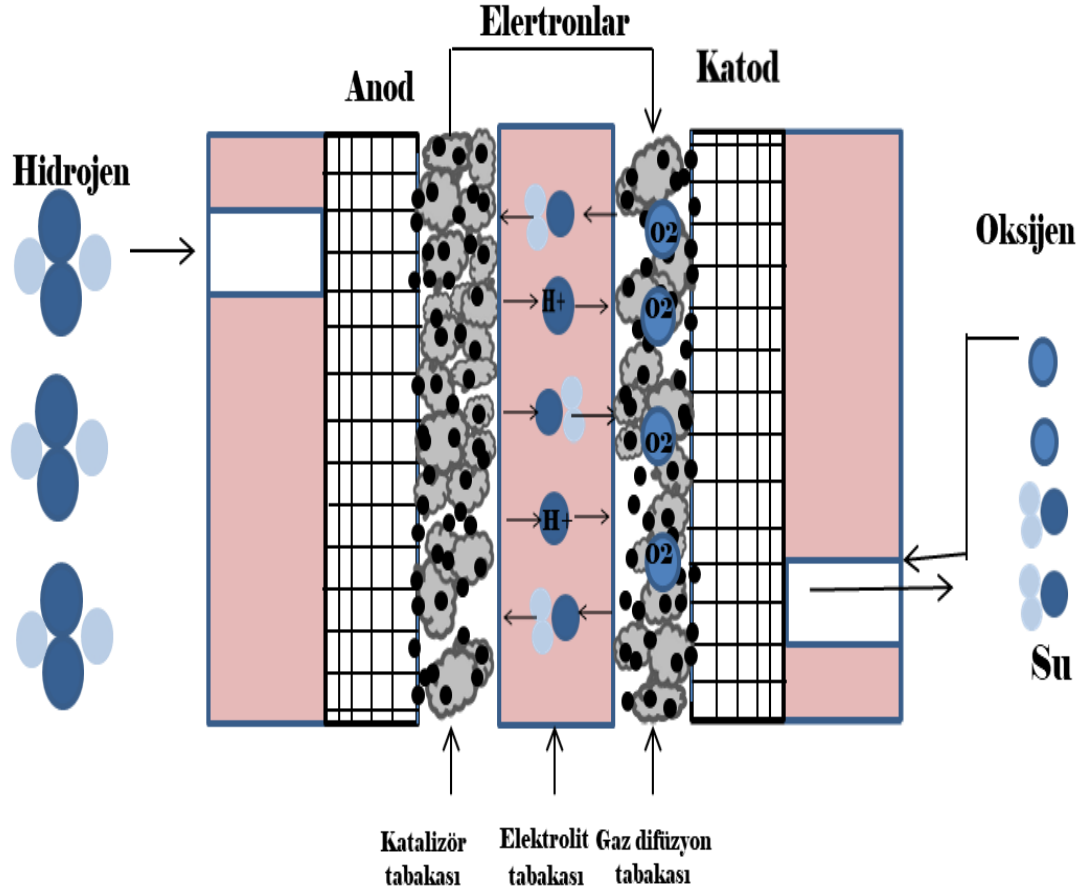
- Ulaşım uygulamaları
- Otobüs, kamyon ve arabalar
- Havaalanlarında bulunan terminal içi ulaşım araçları
- Taşınabilir /portatif uygulamalar
- Dizüstü bilgisayarlar
- Cep telefonları
- Cep bilgisayarları
- Konut uygulamaları
- Uzay sanayisi
- Askeri uygulamalar

Yakıt pillerinde, sisteme yakıt beslendiği sürece yakıt pili kesintisiz olarak elektrik üretebilmektedirler.

Niğe Ömer Halisdemir Üniversitesinde yürütölen çalışmada, yerli imkanlarla lityum bataryalardan 10 kat daha fazla enerji üretebilen hidrojen yakıt pilleri geliştirilmiştir.

“Prof. Dr. Nejat Veziroğlu Temiz Enerji Uygulama ve Araştırma Merkezi ile Vestel Savunma Sanayinin iř birliğinde, yaklaşık 15 yıldır devam eden Ar-Ge çalışmaları sonucunda, enerji yoğunluğu lityum bataryadan 10 kata kadar daha fazla, tamamen sessiz çalışan ve yüzde 50 verimle elektrik enerjisi elde edilebilen hidrojen yakıt pillerine ticari boyut kazandırılmıştır.” [15]

“Yakıt pillerini, arabalarda dizel, benzinli veya LPG’li araçlarda olduğu gibi tek depoda ve hidrojenin dakikalar içerisinde doldurulması sağlanarak bin kilometre menzile sahip olacak şekilde kullanmak mümkün. Yakıt pilleri insansız hava araçlarının havada kalma sürelerini 3 kata kadar uzatabilir. Taşınabilir versiyonlarıyla askerimizin batarya yerine yüzde 80 daha az yük ile daha fazla görev yapmasını sağlayabiliriz. Ayrıca evlerimizde hem elektrik üretilmesini hem de ısınmayı yakıt pilleri ile daha ucuza ve daha verimli bir şekilde sağlayabiliriz. Hidrojenin en önemli özelliklerinden birisi ise suyun olduğu her yerden güneş ve rüzgar enerjisiyle üretilebilir olmasıdır. Hidrojenin yakıt pillerinde kullanılması sonucu çevreye sadece atık olarak saf su çıkmaktadır.” [15]

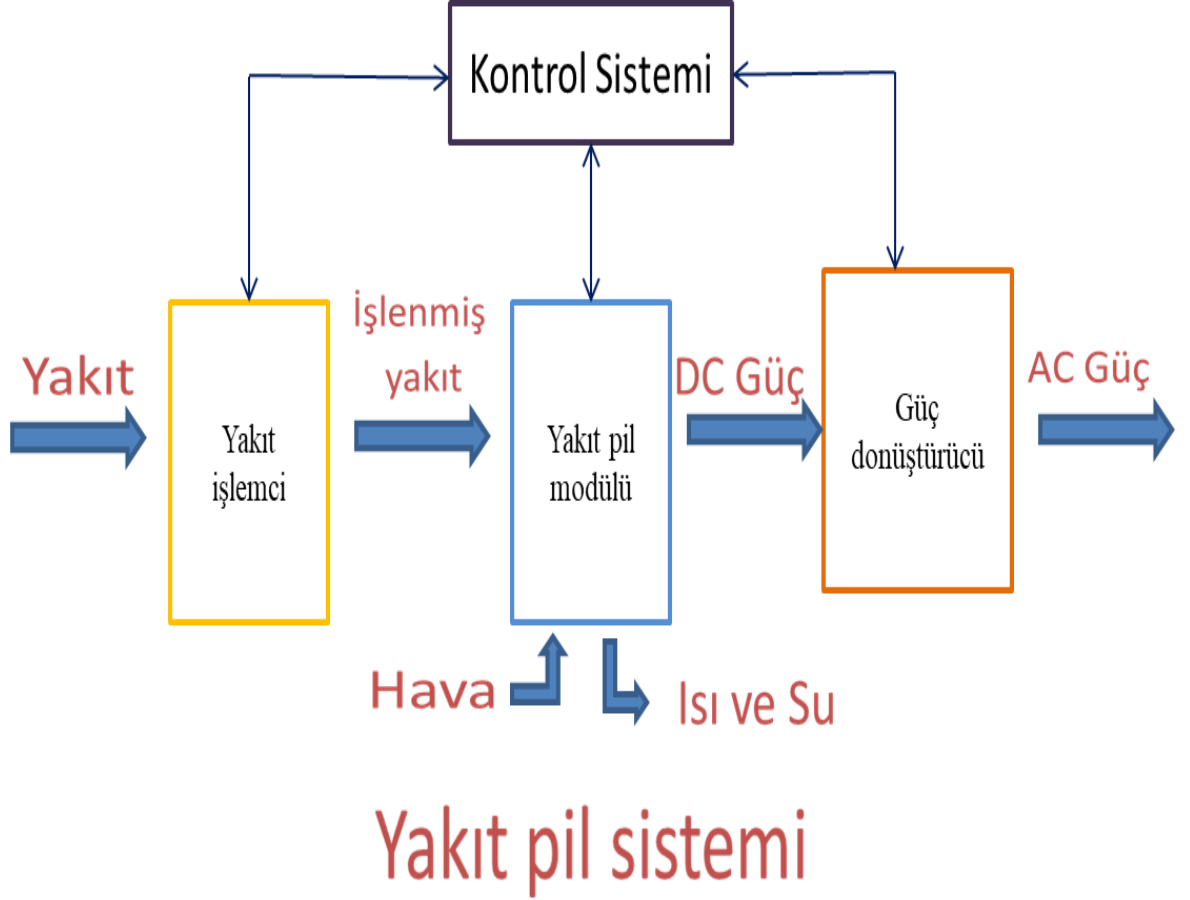


Şekil 2.1 Yakıt pilinin genel yapısı

2.3 Yakıt Pili Sistemi

Genel olarak bir yakıt pili sistemi, aşağıdaki birimlerden oluşmaktadır. Bunlar; yakıt işleme ünitesi, güç üretim sistemi, güç dönüştürücü, kontrol sistemi. Yakıt İşleme Ünitesi, yakıtın yakıt piline gönderilmesi öncesinde hazırlandığı hem hidrojen ve ya kullanılan yakıttan hidrojenin ayrıştırıldığı ünedir.

Güç Üretim Sistemi olarak isimlendirilen bölüm bir veya birden fazla yakıt pili yığınınından meydana gelmektedir.



Şekil 2.2 Yakıt pili sistemi

Güç Dönüştürücü ünitesinde hücrede üretilen doğru akım ticari kullanım için alternatif akıma çevrilir. Kontrol Sistemi ünitesinde sistemin tüm işlemler denetlenir ve kontrol edilir.

Ayrıca pek çok yakıt pili sisteminde yardımcı elemanlar olarak adlandırılan bazı komponentler de söz konusudur. Bunlar; fan, kompresör, nem ünitesi, ısı değitirici, DC/AC dönüştürücü vb.

2.4 Yakıt pilinin avantaj ve dezavantajı

- ❖ Yüksek enerji verimliliği
- ❖ Harekerli parça içermeme
- ❖ Sessiz çalışma
- ❖ Modüler olma
- ❖ Kompakt yapıda olma
- ❖ Yüksek güvenilirlik
- ❖ Geniş yakıt seçenekleri ile çalışabilmesi
- ❖ Düşük emisyon içermeleri
- ❖ Hızlı enerji sağlamaları
- ❖ Kojenerasyona uyumlu olma gibi özellikleri
- ❖ Hidrojen depolanması

- ❖ **Dezavantajı ise:**
- ❖ Yüksek maliyet
- ❖ Hidrojen kullanımı halinde yüksek yakıt fiyatı
- ❖ Kullanım ömürlerinin tam olarak belirlenmemektedir
- ❖ Kullanılan katalizörün pahalı olması
- ❖ Hidrojeni depolamak oldukça güç olması

Yakıt hücrelerinin diğer güç kaynaklarıyla karşılaştırması

Tablo2.1 Pil Çeşitlerinin Karşılaştırılma [12]

Pil çeşitleri	Ağırlık (lb)	Enerji (Wsaat)	Hacmi (Litre)
Yakıt hücresi	9.5	2190	4.0
Çinko hava hücresi	18.5	2620	9.0
Diğer pil türleri	24	2200	9.5

2.5 Yakıt pili çeşitleri

Yakıt pilleri çalışma sıcaklık aralığına göre; düşük ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri olarak sınıflandırılır. Fakat günümüzde daha çok bu sınıflandırma yerine yakıt pilleri elektrolit kısmını oluşturan malzeme cinsine göre farklı tiplere ayrılır. Bu çeşitlilik temel çalışma prensibini etkilemez, ancak performansları çalışma koşulları ve uygulama alanlarının farklılaşmasına yol açar.

Uygulamada en sık karşılaşılan yakıt pili çeşitleri şunlardır:

- Alkalin Yakıt Pili
- Proton Dönüşüm Zarlı (PEM) Yakıt Pili
- Fosforik Asit Yakıt Pili
- Erimiş Karbonat Yakıt Pili
- Katı Oksit Yakıt Pili
- Direkt Metanol Yakıt Pil

2.6 Yakıt hücrelerinde kullanılan membranlar

Polimer elektrolit membran yakıt pillerinde veya proton değiştirici membran yakıt hücreleri (PEMYH); alışma koşulları, uygulanabilirliği, yüksek verimi gibi özellikleri nedeniyle en çok üzerinde durulan yakıt pilidir. Proton değişim membran yakıt hücrelerinin en önemli elemanı proton iletim özelliğine sahip polimer membrandır.

Polimer elektrolit membran yakıt hücresinde membranın çalışması protonu anot bölgesinden katot bölgesine iletmektir. Hidrojen, elektronunu platin ile asidik membran üzerindeki aktif sitelerinki genelde sülfon (-SO₃H⁺) gruplarıdır, temas ettiği yerlerde verir. Membran bünyesindeki su molekülleri, proton ile zayıf bağlar oluşturarak hidrojen iyonunun anot bölgesinden katot bölgesine iletmesini sağlar. Membran üzerindeki aktif siteler sadece hidrojenden elektronun koparılması, membran bünyesindeki su ise, hidrojen iyonunun anottan katoda ilerlemesi ile önemlidir.

Polimer elektrolit olarak kullanılan membranlar ile ayırma proseslerinde kullanılan membranlar arasında büyük farklılık vardır. Ayırma proseslerinde ortamdaki gazlar geçirilirken yakıt hücrelerinde kullanılan membranlarda gazların geçişi istenmez. Yakıt hücresinde kullanılan membranların gazları iyonlarına ayırıp o şekilde iletmeleri istenir. Böylece elektrik enerjisi elde edilir. Membranlar yakıt hücrelerinde elektrolit olarak bulunmalarının yanı sıra; ayırma işlemleri ve sıvı saflaştırma gibi çok çeşitli amaçlar için kullanılabilirler.

şimdi en kullanılan DuPont tarafından üretilen Nafion adlı perflorosülfonik asit kopolimer kullanılarak hazırlanan polimer elektrolit membran yakıt hücrelerinde en çok tercih edilen membrandır. Nafion'un yakıt hücreleri uygulamalarında iyi kimyasal ve fiziksel özellikleri olmasına rağmen kullanımları sınırlayan üç teknik problem vardır.

- ❖ Yüksek maliyet
- ❖ Düşük nem ya da yüksek sıcaklıkta iletkenliğinin düşük olması
- ❖ Membran hücre verimini azaltan yüksek metanol geçirgenliği

Bu sebeplerden dolayı Nafion yerine farklı polimerlerden oluşan membran sentezleri yapılmaktadır.

Yakıt hücrelerinde kullanılmakta olan membranların:

organik,

inorganik

kompozit membranlar olmak üzere 3'e ayrılır.

- Organik membranlar özellikler araştırarak olursak: ucuz olması, kolay işlenebilir ve şekil verilebilir olması gibi avantajları arasında sayılır. Bunun yanı sıra, termal ve mekanik dayanımının az olması nedeniyle bu membranlara alternatif olabilecek membranlar geliştirilmiştir.
- İnorganik membranların özellikleri araştırarak olursak: ise uzun ömürlü olması, yüksek basınç altında mekanik kararlılığının iyi olması, organik çözücülere karşı kimyasal kararlılığının iyi olması, gözenek boyutlarının ve dağılımının iyi kontrolü gibi avantajlarının yanında; maliyetinin yüksek olması nedeniyle tercih edilmezler.
- Kompozit membranların özellikleri araştırarak olursak: hem organik hem de inorganik yapıları bünyesinde beraber bulundurduğu için her ikisinin özellikleri taşımakla beraber, sülfonasyon gibi bir takım işlemlerle istenilen özellik kazanılarak daha etkin duruma getirilebilir.

2.7 Yakıt hücresi membranlarda aranılan özellikler

Membranın yüksek proton iletkenliğine, düşük elektrik direncine sahip olması ve su miktarının mümkün olduğunca düşük olması istenir. Ayrıca sisteme verilen diğer kimyasallara karşı dayanıklı olmalı ve onlarla kimyasal tepkimeye girmemelidir. Membran uzun süreli ve sürekli çalışmaya, sistemdeki yüksek sıcaklık ve basınç gibi çalışma işlemlerine, mekanik dayanıklılığa sahip olmalıdır. Membran sentezinin parasal boyutu göz önünde bulundurulursa; membran için seçilen ve yapıyı oluşturan maddeler ucuz ve kolay sağlanabilir olmalıdır.

- **İletkenlik:** İletkenlik, iyon değiştiren membranların kullanımını etkileyen en önemli özelliklerden biridir. İyon değiştiren membranların iletkenliğini etkileyen birkaç faktör vardır. Bunların en önemlileri; iyon boyutu, iyon tipi ve membranın taşıyıcı kısmıdır. En çok iletkenliğe sahip membran elektrolitler, hareketli iyonu hidrojen olan ve taşıyıcısı su olanlardır. Yakıt hücreleri için gözlenen en iyi

membran tipi, gerekli güç miktarına çıkabilmek için, hareketli iyonu hidrojen olan ve taşıyıcısı su olan membran elektrolitlerdir.

- **Su Geçirgenliği** : Yakıt hücreleri uygulamalarında su geçirgenliği verimi etkileyen önemli parametrelerden biridir. Su, hücrede temas halindeki iyonların sebep olduğu elektro-ozmotik geçişle ve hücrenin anot ve katot bölgelerinde oluşan konsantrasyon farkından dolayı difüzyon ile iletilir. PEM yakıt hücrelerinde su transferinin önemi; göç eden iyonların, suyu membranın bir ucundan diğerine taşımamasından kaynaklanmaktadır. Bu durum suyun az olduğu bölgelerde daha yüksek dirence sebep olmaktadır. İyon değiştiren membranların, yakıt hücrelerinde elektrolit olarak kullanılmasında, membranın dehidrasyon özelliğinin membranın fiziksel boyutları ve elektrolit direnci üzerindeki etkisi çok önemlidir.
- **Kimyasal Dayanıklılık** : İyon değiştiren membranların değişik kimyasal ortamlardaki dayanıklılıkları hakkında bilgi literatürde çok azdır. Bununla birlikte yakıt hücrelerinde oksitleyicilere karşı dayanıklılıkları çok önemlidir. Membran, yakıt olarak saf hidrojen kullanmayan sistemlerde yan ürün olarak açığa çıkan CO ve CO₂ gibi maddelerle aktifliğini kaybetmektedir ve yakıt hücresinde kullanılamaz hale gelmektedir.
- **Mekanik Özellikler: Proton** iletkenliğini sağlayan aktif grupların membran yapısı yüksek konsantrasyonu, membranda mekanik zayıflık yaratmaktadır. Bu sebeple yakıt hücreleri uygulamalarında bir avantaj sağlayan yüksek yoğunluktaki aktif grup bulunduran membranların mekanik olarak güçlendirilmeye ihtiyacı vardır. Bir membranın elektrokimyasal araçlarda proton iletken olarak kullanılabilmesi için;

2.8 Yakıt pil yaparken kullanılan membranlar ve membran malzemeleri çeşitleri:

- Nafion
- Poly(arylene ether)
- Poly(ether sulfone) membranlar
- Polyimide membranlar
- Poly phthalazinone ether ketone membranlar
- Poly sulfone membranlar
- Poly vinylidene fluoride membranlar
- Poly benzimidazole membranlar
- Polytetrafluoroethylene (PTFE) membranlar
- Poly(ether ether ketone) (PEEK) membranlar
- Polivinil alkol (PVA) membranlar
- Polistiren membranlar

3.BÖLÜM

HİDROJEN

3.1 Hidrojen özellikleri

Doğadaki en hafif element olan hidrojen, 1766 yılında İngiliz bilim adamı Sir Cavendish tarafından keşfedilmiştir. Renksiz, kokusuz, tatsız hidrojen periyodik tabloda “H” sembolü ile ifade edilmektedir. Atom ağırlığı 1.00797 kg/ kmol ve atom sayısı 1 olan elementtir. Hafif olması nedeniyle (0°C ve atmosfer şartlarında 1 litre hidrojen 0.0898 gr kütleli) yeryüzünde serbest halde çok az bulunur. Hidrojen sıvılaştırılması oldukça güç olan bir elementtir. Yaklaşık olarak 20 K sıcaklık ve 2 bar basınçta sıvı faza geçer. Oldukça iyi bir ısı iletkenliği vardır.

3.2 Hidrojen bir yakıt olarak.

Özellikle içten yanmalı motorlar için büyük önem taşıyan yakıtların bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikleri sıralarsak.

Tablo3.1 Hidrojenin özellikleri

Özellikler	Sayısı	Birimi
Molekül ağırlığı	2.016	Kg/kmol
Yoğunluğu	0.0838	Kg/m ³
Üst ısı değeri (kütleli)	141.9	MJ/kg
Üst ısı değeri (hacimsel)	11.89	MJ/m ³
Alt ısı değeri (kütleli)	119.9	MJ/kg
Alt ısı değeri (hacimsel)	10.05	MJ/m ³
Kaynama sıcaklığı	20.3	K
Sıvı yoğunluğu	70.8	Kg/m ³
Kritik noktadaki sıcaklık	32.94	K

Kritik noktadaki basınç	12.84	bar
Kritik noktadaki yoğunluk	31.40	Kg/m ³
Kendiliğinden tutuşma sıcaklığı	858	K
Havada tutuşma limitleri	4-75	% hacimsel
Havada stokiometrik karışım	29.53	% hacimsel
Havadaki alev sıcaklığı	2318	K
Difüzyon katsayısı	0.61	cm ³ /s
Özgül ısısı	14.89	KJ/kg .K

- Kolaylıkla ve güvenli olarak her yere taşınabilmeli
- Her yerde (sanayide, evlerde, taşıtlarda) kullanılabilmesi depolanabilmesi
- Birim kütle başına yüksek ısıl değerde, temiz, güvenli hafif, olmalı
- Isı elektrik ve mekanik enerjiye kolaylıkla dönüşebilmesi
- Yüksek verimle enerji üretilebilmesi ve ekonomik olmalı

Bir yakıtta ideal şartlarda yukarıdaki özellikler istenilir. Ama gerçekte bu özelliklerin tamamına sahip bir yakıt yoktur. Hidrojen bu kategoriye en uygun olan yakıttır.

Hidrojen çok hafif bir gaz olması nedeniyle herhangi bir durumda ortamdan uzaklaşır ve tehlike riskini azaltır. Uygun şartlar sağlandığında sıvı ve gaz fazında depolanarak tankerler ve boru hatlarıyla da sevk edilebilecek bir yakıttır.

Hidrojen kimyasal yapısı itibariyle karbon ve kükürt içermemesi, zararlı olan atıklar CO, CO₂ ve SO₃ oluşumundan da önler. Ama havadaki azot ile NO_x oluşumu sorun olmaktadır.

Geniş bir mesafede tutuşabilmesi, geniş bir aralıkta düzgün olarak yanmasına yol açar. Hidrojende NO_x oluşumunu minimum orana indirmek için karışım yardımıyla yanma sağlanabilir. Hidrojenin yüksek bir alev hızına sahip olması, ideale yakın yanma sağlayarak ısı verimi arttırır. Düşük alev parlaklığı ile yanıyor olması, radyasyon yolu ile gerçekleşen ısı transferini azaltacaktır.

Hidrojenin en yüksek yanma sıcaklığı olan 2318°C'ye %29 hacimsel hidrojen /hava karışım oranında ulaşılır.

3.3 Hidrojen Yakıtının Özellikleri

Sıvı ve gaz olarak kullanılabilen hidrojen bu özelliğiyle göze batıyor. Gaz halindeki hidrojen, aynı hacimdeki havadan yaklaşık 14 kat daha hafiftir. İçten yanmalı motorlarda kullanılan yakıtlarla karşılaştığımızda, sıvı hidrojenin sıvı hidrokarbon yakıtlara göre 10 kat daha hafif, gaz halindeki hidrojenin ise metan, doğal gaz vb. gaz halindeki yakıtlardan yine 10 kat daha hafif olduğu görülmektedir.

Tablo 3.2 Hidrojen ve diğer yakıtların karşılaştırılması

Özellik	Benzin	Metan	Hidrojen
Yoğunluk (kg/m ³)	4.4	0.65	0.0838
Sabit basınçtaki özgül ısı (kJ/kg.K)	1.20	2.22	14.89

Hava içindeki difüzyonu (cm ² /s)	0.05	0.16	0.61
Havada ateşlenme sınırı (% hacim)	1.0-7.6	5.3-15.0	4-75
Havada ateşlenme enerjisi (mJ)	0.24	0.29	0.02
Ateşlenme sıcaklığı (°C)	228-471	540	585
Havada alev sıcaklığı (°C)	2197	1875	2045
Alev yayılması (emisivitesi) %	34-43	25-33	17-25
Isıl kapasitesi (MJ/kg)	45.5	50	141.9
(MJ/m ³)	38.65	23	11.89
Patlama enerjisi (gr TNT/kg)	0.25	0.19	0.17

Oksitleyici olarak hava yerine oksijen kullanılırsa bu değer, 3000°C'ye çıkar. Hidrojenin kendilğinde tutaşma sıcaklığı yüksektir. Buna rağmen hidrojen-hava karışımlarının tutuşurken gerekli enerji miktarı diğer yakıtlara göre oranla oldukça düşüktür. Kütleli olarak hidrojenin ısıl değerce rakipsizdir, hacimsel ise oldukça düşük ısıl değerdedir. Hidrojen, petrol kökenli motor yakıtlarına oranla birçok önemli avantaja sahiptir.

Bu avantajlar:

- ❖ Yüksek alev hızı ve tutuşma yeteneği,
- ❖ Düşük ateşleme enerjisi gerektirmesi,

- ❖ Geniş tutuşma ve yanma sınırları,
- ❖ Yüksek ısı değeri ve termik verim,
- ❖ Kirlenici egzoz gazı emisyonlarının azlığı,
- ❖ Sahip olduğu yüksek oktan sayısı nedeni ile vuruntuya karşı dirençli olması,
- ❖ Benzin ve dizel ile birlikte çeşitli karışımlarında çift yakıtlı motor olarak çalışabilme olanağına sahip olması

Hidrojen evrende bolca bulunan bir madde olup, tüm maddelerin yaklaşık olarak $\frac{3}{4}$ 'lük bir oranını kapsamaktadır. Atmosferde yaklaşık olarak on binde yedi oranında bulunmaktadır. Bu sebeple hidrojen üretilmelidir. Hidrojenin yerel kaynakları fosil yakıtlar ve su olarak bilinmektedir. Günümüzde hidrojen genellikle doğalgaz, petrol ve kömür gibi fosil yakıtlardan üretilmektedir. Uzay programları dışında şimdiye kadar hidrojen bir yakıt ya da enerji taşıyıcısı olarak pek kullanılmamıştır. Bazı kimyasal ve metalürjik uygulamalarla rafinerilerde ham petrol yükseltgenmesi gibi işlemlerde kullanılmıştır. Dünya çapında yıllık hidrojen üretimi 40 milyon ton civarındadır. Bir enerji taşıyıcısı olarak hidrojen ileriki yıllarda çok daha fazla miktarlarda üretilmeye ihtiyaç duyulacaktır.

3.4 Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitleri

Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerine bakıldığında ilk sırayı petrol almakta sırasıyla kömür ve doğal gaz gelmektedir. 2015.yılına bakıldığında

Tablo 3.3 Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerine bakıldığında

DÜNYA GENELİNDE TÜKETİLEN ENERJİ ÇEŞİTLERİNE		
1	Enerji çeşiti	Faiz oranı (%)
2	Petrol	32.8
3	Kömür	29
4	Doğal gaz	24.2
5	Hidroelektrik	6
6	Nükleer	4.5
7	Yenilebilir enerji	2.7



Şekil 3.1 Dünya genelinde tüketilen enerji çeşitlerine bakıldığında

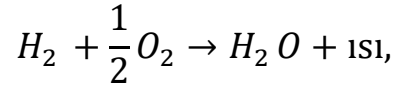
4.BÖLÜM

4. MATERIAL VE YÖNTEM

4.1 KULLANILAN ALETLER VE SİMÜLASYON YÖNTEMİ

MATLAB yazılımını kullanılarak genel performans simülasyonu yapılmıştır [7,8].

Önce yakıt pilinin termodinamiğine bakılmıştır. Burada sadece yakıt hücresindeki reaksiyonun termodinamiğini göz önüne aldığımızda:



$$\Delta H = h_{H_2O} - h_{H_2} - h_{O_2} = -286 \frac{kJ}{g} - 0 - 0 = -286 \frac{kJ}{g}$$

Ancak her kimyasal reaksiyonda bir miktar entropi değişimi olur ve bu nedenle hidrojenin enerjinin bir kısmı elektriğe dönüştürülemez. Bu yüzden aşağıdaki ifadeleri yapabiliriz [9,10].

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

$$\Delta S = s_{H_2O} - s_{H_2} - s_{O_2}$$

25° C'de (= 298,15 K), $237 \frac{kJ}{g}$ ve $286 \frac{kJ}{g}$ electrical elektrik enerjisine ve kalan $49 \frac{kJ}{g}$ ise ısıya dönüşür.

Yakıt hücresinin teorik potansiyeli aşağıdaki gibidir.

$$E = -\frac{\Delta G}{nF}; \quad \Delta G \text{ ve } F \text{ (Faraday) } 25 \text{ }^\circ\text{C için biliniyor, daha sonra}$$

$$E = -\frac{\Delta G}{nF} = \frac{237}{2 \cdot 96485} = 1.23 \text{ V } 25 \text{ }^\circ\text{C'de yakıt hücresinin teorik}$$

potansiyeli 1.23 V olarak bulunur.

Verimlilik ise $\eta = \frac{237}{286} = \% 83$ 'dür.

Ancak sıcaklığın etkisi büyüktür. Yakıt hücresinin Gibbs serbest enerjisi entalpi ve entropiye bağlı olduğundan, bu iki parametre de özgül ısının fonksiyonlarıdır ve özgül ısı da sıcaklığa bağlıdır. Specific ısının sıcaklığa bağlılığını gösteren formül:

$$C_p = a + bT + cT^2$$

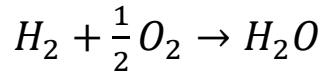
Burada a , b ve c sabitlerdir.

$$h_T = h_{25} + \int_{25}^T C_p dT; \quad s_T = s_{25} + \int_{25}^T \frac{C_p}{T} dT;$$

Yakıt pilin potansiyeli Gibbs serbest enerjine direkt bağlıdır. Gibbs serbest enerjisi ise sıcaklığa bağlıdır.

$$E = -\frac{\Delta G}{nF}; \quad \Delta G = \Delta H - T\Delta S$$

Basıncın potansiyele olan etkisine bakmak, gaz fazı reaksiyonu olduğu için, çok önemlidir. Basıncın etkisini görebilmek için, Nernst denklemi kullanılır.



reaksiyonu için ideal gaz denkleminde teorik potansiyel denklemine (Nernst denklemi) basıncı eklediğimizde, denklem şöyle olur:

$$\Delta G = \Delta G_o + RT \ln \left(\frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} P_{O_2}^{0.5}} \right), \quad \text{ve} \quad E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln \left(\frac{P_{H_2} P_{O_2}^{0.5}}{P_{H_2O}} \right)$$

Yakıt hücresinde oluşan reaksiyonun kinetiğine baktığımızda, bunun elektrokimyası çok karmaşıktır. Yakıt hücresindeki proses sırasında bazı kayıplar (aşırı potansiyeden dolayı) vardır. Temel olarak, bunlar: aktivasyon potansiyeli (Tafel denkleminde), Ohmik potansiyel (Ohm yasasından) ve konsantrasyon potansiyelidir. Butler-Volmer denklemi, yukarıda belirtilen aşırı potansiyeli içeren yakıt hücresinin elektrokimyasını tanımlamak için kullanılır [11-14]:

$$i = i_0 \left\{ \exp \left[\frac{-a_{Rd} F (E - E_r)}{RT} \right] - \exp \left[\frac{-a_{Ox} F (E - E_r)}{RT} \right] \right\}$$

4.2 MATLAB NEDİR NERELERDE KULLANILIR?

MATLAB, genellikle pozitif bilim ve mühendislik hesaplamaları için kullanılan bir bilgisayar programıdır. Amerika Birleşik Devletleri merkezli MathWorks firması tarafından geliştirilen MATLAB, aynı zamanda bir programlama dilidir. İngilizce “Matrix Laboratory” kelimelerinin birleştirilmesi ile oluşmuş olan MATLAB, isminden de anlaşılacağı gibi matris tabanlı bir çalışma sistemine sahiptir.

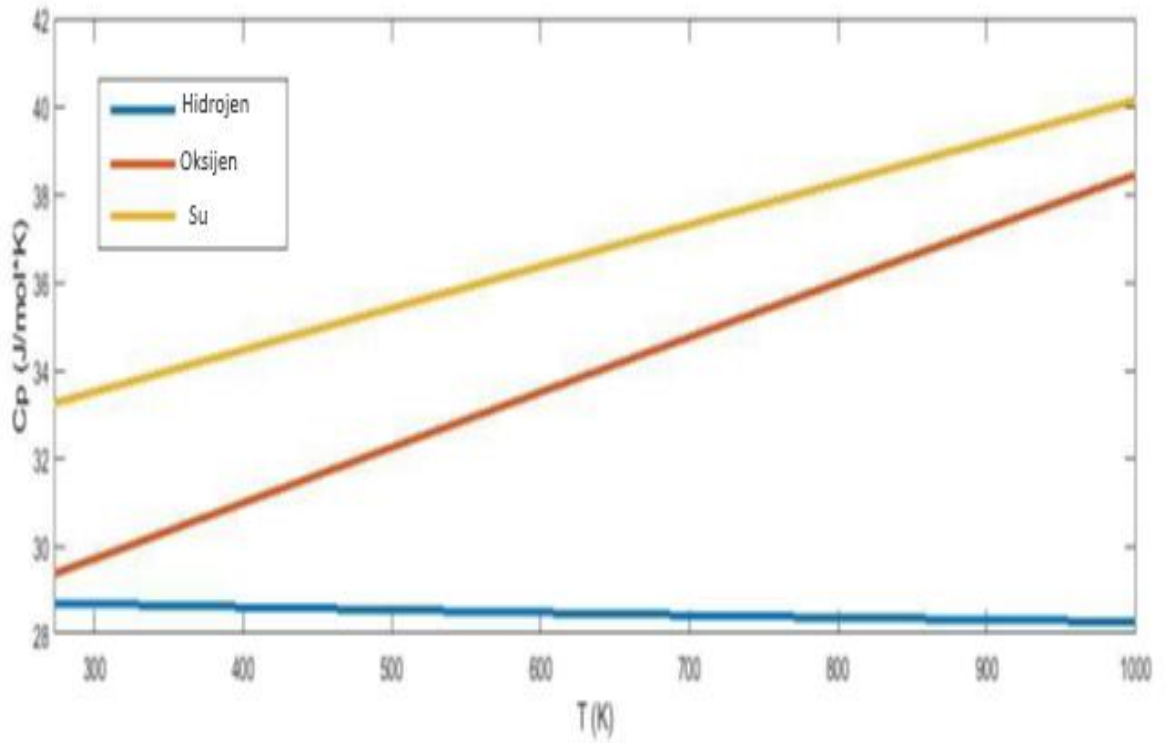
- Lineer cebir,
- istatistik,
- optimizasyon,
- nümerik analiz,
- optimizasyon,
- fourier

analizi gibi pek çok matematiksel hesaplamaların etkili ve hızlı şekilde yapılmasına olanak sağlayan MATLAB programı aynı zamanda 2D ve 3D grafik çizimi için de kullanılır.

5.BÖLÜM

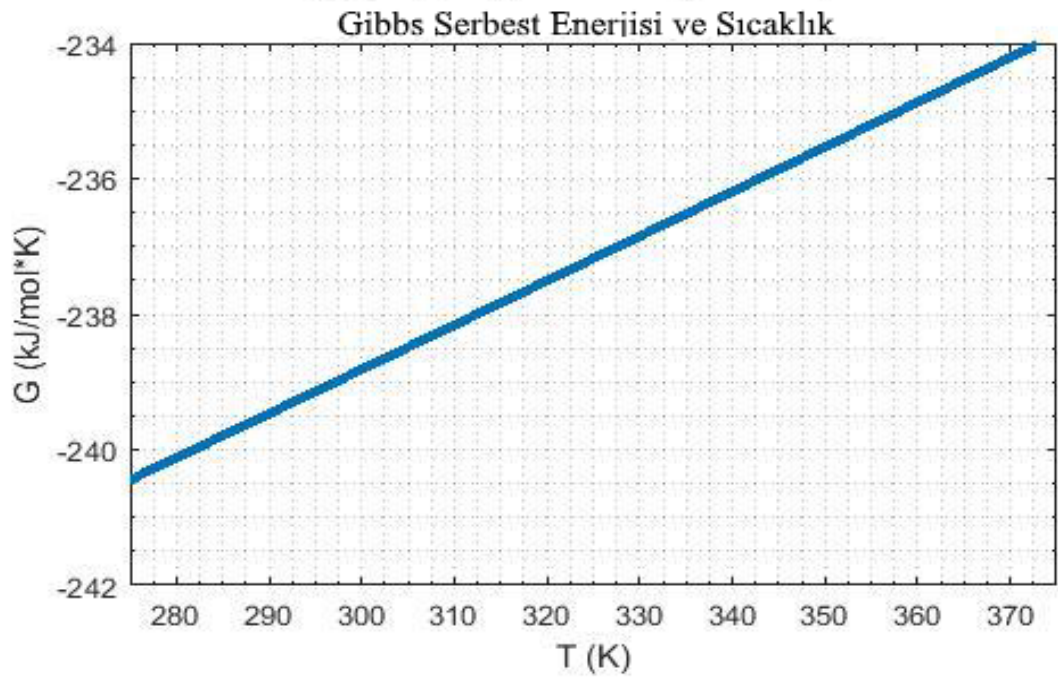
5. SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Yukarıda belirttiğimiz gibi sıcaklık etkisi çok önemlidir. Yakıt pildeki oluşan reaksiyon ekzotermik olduğundan dolayı sıcaklık artışı olumsuz yönde etkilenir. Reaksiyon entalpisi ve entropisi özgül ısıya bağlıdır. Bu yüzden önce özgül ısının değişimine bakalım. Sıcaklığın artması, suyun ve oksijenin özgül ısılarını olumlu etkiler ama hidrojenin özgül ısısını biraz ters yönde etkiler.



Şekil 5.1 Özgül ısının sıcaklığa göre değişimi.

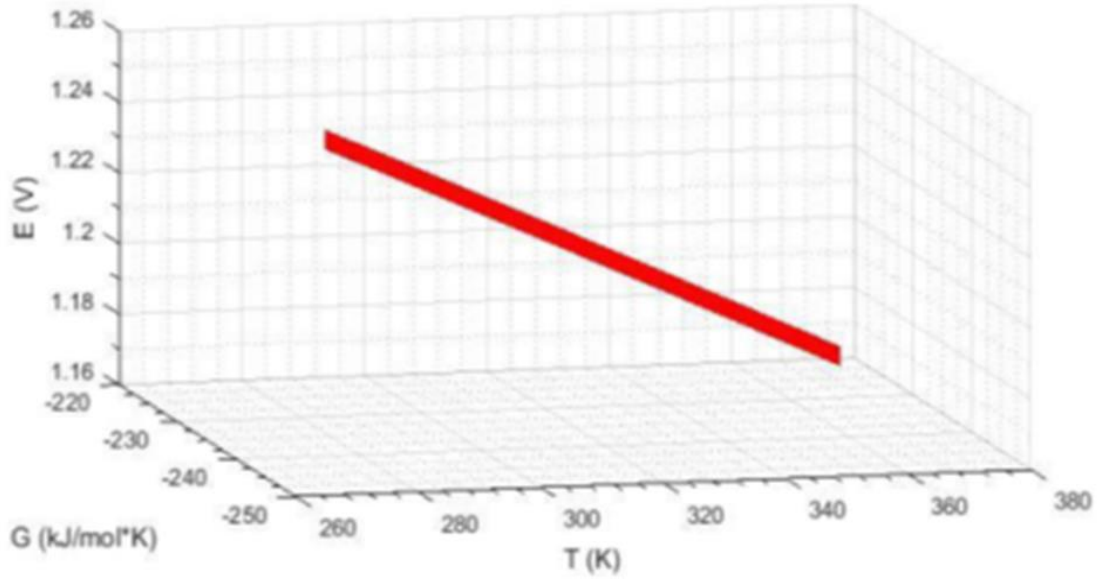
Gibbs serbest enerjisi, entalpi, entropi ve sıcaklığa bağlı olduğundan dolayı bunları birlikte çözerek simüle ettiğimizde, Şekil 4'den gözdüğümüz gibi sıcaklık arttıkça, Gibbs serbest enerjisi azalmakta (a) ve teorik potansiyel de sırasıyla azalmaktadır (b).



a)



b)



(c)

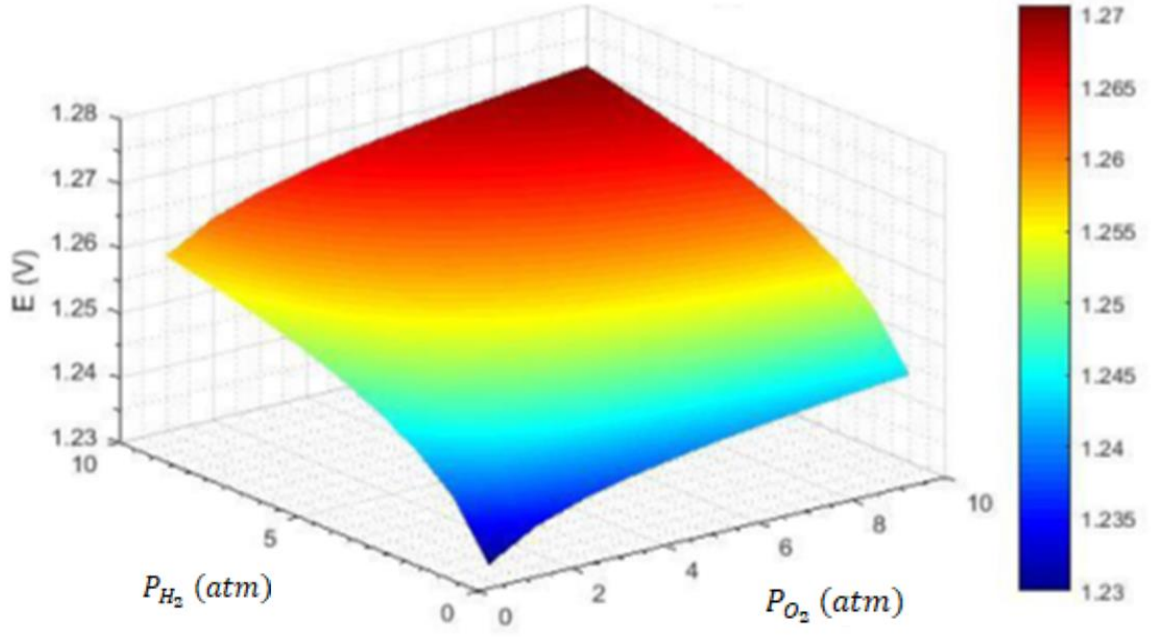
Şekil 5.2 (a), (b), (c) - Sıcaklığın etkisi.

Gibbs serbest enerjisinin entalpi (H), sıcaklık (T) ve entropinin (S), üç faktörün fonksiyonunun birleşimiyle hesaplanması nedeniyle, demek ki matematiksel ispata gerek duymadan, kendisinin de bir durum fonksiyonu olduğunu anlamak mümkündür. Bir sistemin belli bir durumdaki serbest enerjisini direkt olarak ölçebilmemiz mümkün değil. Bu nedenle Gibbs serbest enerjisini de, faktör eden diğer fonksiyonları gibi, değerindeki değişimler üzerinden (ΔG) hesaplayabiliriz. Gibbs serbest enerjisi, entalpi, entropi ve sıcaklığa bağlı olduğundan dolayı bunları birlikte çözerek gerek olduğundan dolayı simüle ettiğimizde sıcaklık arttıkça, Gibbs serbest enerjisi azalmakta (a) ve teorik potansiyel de sırasıyla azalmaktadır. Teorik potansiyel kaybı da, sıcaklık arttıkça daha büyük olabilir. Sıcaklığa göre doğrusal olarak artar.



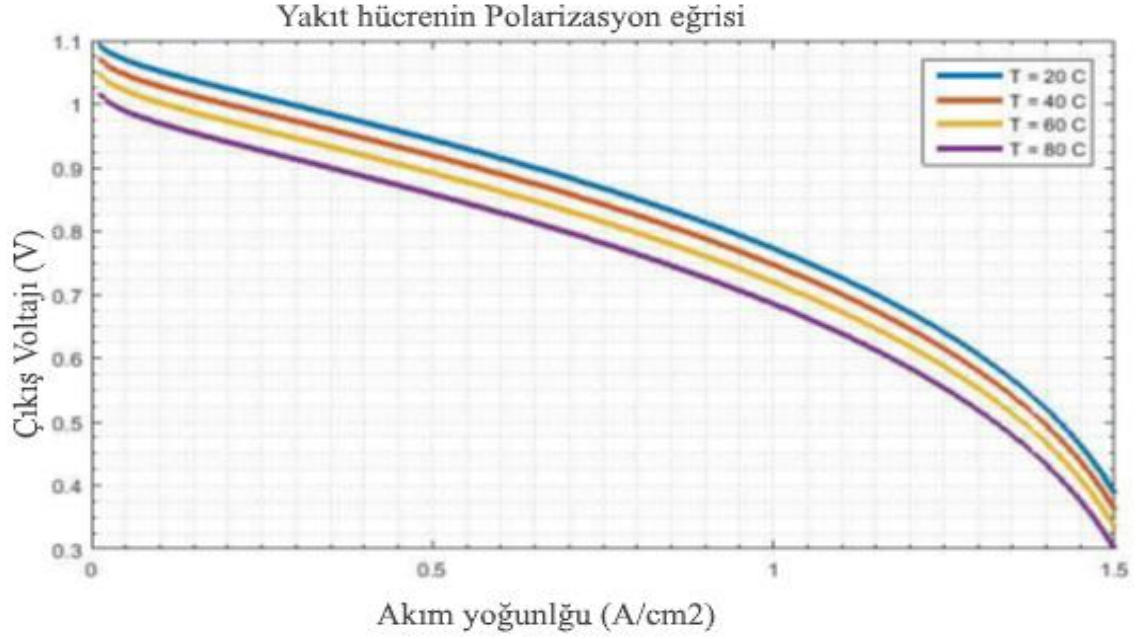
Şekil 5.3 Sıcaklığa bağlı potansiyel kaybı.

H_2 ve O_2 kısmi basınçlarının artması kesinlikle yakıt hücresinin potansiyelini artıracaktır. Bu şekilde fark edecek olursak sıcaklık arttıkça potansiyel farkında artmasına neden olmaktadır. H_2 'nin kısmi basıncının artması potansiyeli daha fazla etkileyecektir. Çünkü H_2 elektrodundaki reaksiyon hız tayin edici adımdır. Sıcaklık yükseldikçe potansiyel gid gide arttır.



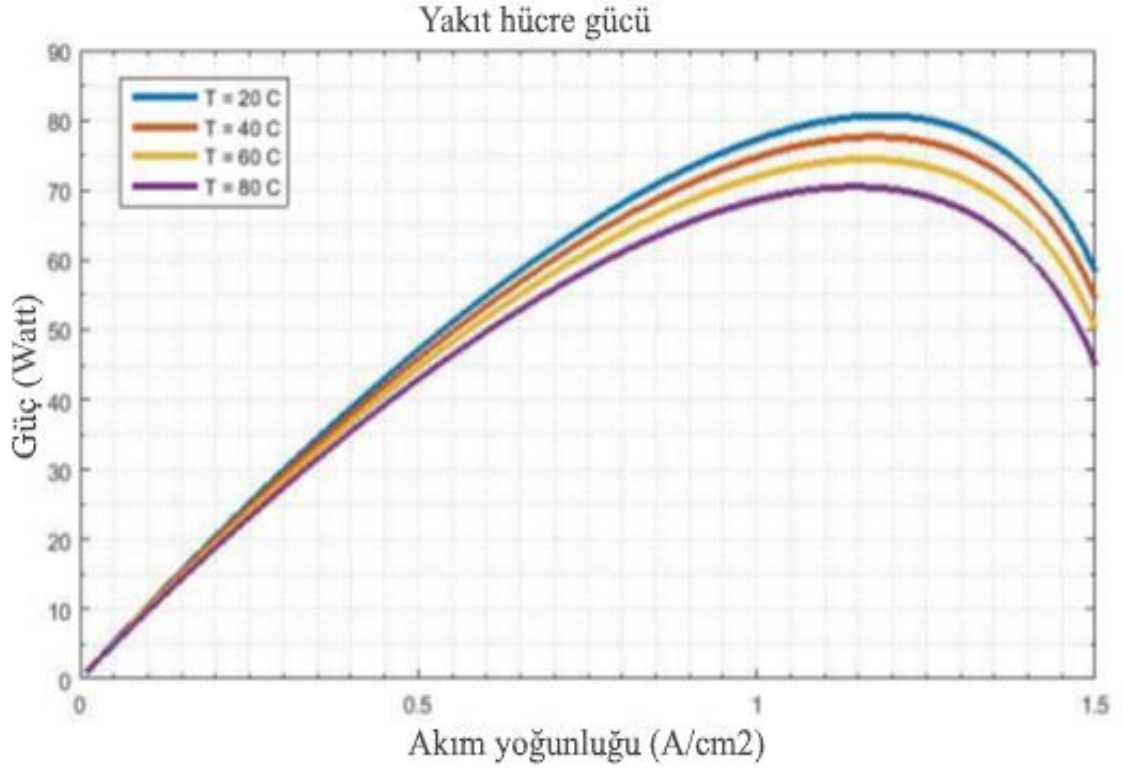
Şekil 5.4 Teorik potansiyele kısmi basınçların etkileri.

Butler-Volmer denklemini kullanarak reaksiyonun kinetiğinin simülasyonun yaparsak, gördüğümüz gibi, yakıt pilinden çıkan voltaj gittikçe azalır. Yakıt pillerinde hidrojenin basıncın potansiyelde değişimin görmeye mümkündür. Aynı şekilde oksijeninde basıncın potansiyelde değişimin görebiliriz. Bu da, akım yoğunluğunu arttırmanın potansiyel veya çıkış voltajının kaybına neden olduğu demektir. H_2 ve O_2 kısmi basınçlarının artması kesinlikle yakıt hücresinin potansiyelini arttıracaktır. H_2 'nin kısmi basıncının artması potansiyeli daha fazla etkileyecektir. Çünkü H_2 elektrodundaki reaksiyon hız tayin edici adımdır.



Şekil 5.5 Yakıt hücrenin aşırı potansiyeli.

Bu grafikte gösterdiğimiz gibi mavi olan çizgi $T=20^{\circ}\text{C}$, kırmızı olan çizgisi ise $T=40^{\circ}\text{C}$, sarı çizgisi $T=60^{\circ}\text{C}$, mor çizgisi ise $T=80^{\circ}\text{C}$ bu grafikte sıcaklık arttıkça çıkış voltajı akım yoğunluğuna göre düşmektedir. Yakıt hücrenin gücü ise, belirli akım yoğunluğunda maksimum noktaya ulaşacak ve sonra inecektir (Şekil 8).



Şekil 5.6 Yakıt hücrenin güç değişimi.

Şekil 5.6 Yakıt hücrenin güç değişiminde ise yakıt hücrenin gücü ise, belirli akım yoğunluğunda maksimum noktaya ulaşacak ve sonra inecektir.

5.1 Öneriler

- Yakıt hücrenin simülasyonu çeşitli sıcaklıklarda simülasyon yapıldı.
- Yakıt hücrenin simülasyonu yaparak %80 verimlilik alındı.
- Yakıt pillerin enerji almada sıcaklığın etkisi çok önemli olduğuna emin olundu.

5.2 Sonuç

Sonuç olarak yukarıda belirttiğimiz gibi sıcaklık etkisi çok önemlidir. Yakıt pildeki oluşan reaksiyon ekzotermik olduğundan dolayı sıcaklık artışı olumsuz yönde etkilenir. Reaksiyon entalpisi ve entropisi özgül ısıya bağlıdır. Bu yüzden önce özgül ısının değişimine bakalım. Sıcaklığın artması, suyun ve oksijenin özgül ısılarını olumlu etkiler ama hidrojenin özgül

ısını biraz ters yönde etkiler. Sonuçta, yakıt hücresinin elektrik elde etmede çok verimli olduğunu görüyoruz. Reaksiyonun termodinamiğine baktığımızda verimlilik % 80'in üzerindedir. Reaksiyon ekzotermik bir reaksiyon olduğundan, sıcaklıktaki artış olumsuz yönde etkilenecek ve verimlilik kaybına neden olacaktır. Reaksiyon katalitik bir reaksiyondur ve bu yüzden reaktantların kısmi basınçlarının artmaları verimliliği artırır. Mevcut hücre akım yoğunluğunu artırarak yakıt hücresinde aşırı hızlanma artmakta ve bunun sonucunda yakıt hücresi gücü maksimum noktaya ulaşacak ve düşmeye başlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] Department of Energy USA, *Fuel Cell System Cost – 2016*, 2016
- [2] EG&G Services, etc., *Fuel Cell Handbook, 5E*, 2000
- [3] Jiujin Zhang, *PEM fuel cell catalysis and catalyst layers*, 2008
- [4] M. T. M. Koper, *Fuel Cell Catalysis*, 2009
- [5] D. P. Wilkinson, ve ark., *Proton Exchange Membrane Fuel Cells*, 2010
- [6] G. Hoogers, *Fuel Cell Technology Handbook*, 2003
- [7] S. Gültekin, *MATLAB ile Kimya Mühendisliğinde Matematiksel Modelleme (Mathematical Modelling in Chemical Engineering using MATLAB)*, KTMÜ Yayını, Bişkek, 2017
- [8] S. Gültekin, ve ark., "Catalyst Deactivation", *Arabian Journal for Science and Engineering*, 12, 1 (1986) 59-72.
- [9] O. Levenspiel, *Understanding Engineering Thermo*, 1996
- [10] A. Kabza, *Fuel Cell Formulary*, 2016
- [11] D. Song, ve ark., "Numerical Optimization Study of the Fuel Cell Catalyst Layer of PEM Fuel Cell Cathod." *Journal of Power Source* 126 (2004) 104-111.
- [12] C. Spiegel, *PEM Fuel Cell Modeling and Simulation Using MATLAB*, 2008
- [13] M. J. Eslamibidgoli, ve ark., "How Theory and Simulation Can Drive Fuel Cell Electrocatalysis." *Nano Energy* 29 (2016) 334-361.
- [14] F. Barbir, *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*, 2005
- [15] <https://www.aa.com.tr/tr/bilim-teknoloji/yukse-verim,li-yerli-hidrojen-yakit-pilleri-gelistirildi/1294817>
- [16] FORD, <http://www.ford.com/en/innovation/>

engineFuelTechnology/fuelCells/default.htm

[17]. UTC FUEL CELL, <http://www.utcfuelcells.com>

[18] Zhang, Y., M. Ouyang, Q. Lu, J. Luo, and X. Li. A model predicting performance of proton exchange membrane fuel cell stack thermal system. *Appl. Thermal Eng.*

Vol. 24, 2004, pp. 501–513.

[19] <https://tr.betweenmates.com/difference-between-specific-heat-capacity-and-heat-capacity-10808>

[20] <https://argevetasarim.com/havanin-isi-kapasitesinin-sicaklikla-degisimi/>

YÜKSEK LİSANS TEZİNDE YAYINLANAN MAKALE

1. **İrisbay kızı N., Kalbekov A. Yakıt hücrelerinin performansının matlab program ile simülasyonu/ Известия вузов кыргызстана, №2, 2019, 85-90/ <http://www.science-journal.kg> e-mail: sje.kg.2009@mail.ru**
2. **Ырысбай кызы Н., Калбеков А. Отун элементинин matlab программасы менен иштөөсүнүн симуляциясы/Известия вузов кыргызстана, №2, 2019, 85-90/ <http://www.science-journal.kg> e-mail: sje.kg.2009@mail.ru**
3. **Ырысбай кызы Н., Калбеков А. симуляция работы топливного элемента с помощью программы matlab/ Известия вузов кыргызстана, №2, 2019, 85-90/ <http://www.science-journal.kg> e-mail: sje.kg.2009@mail.ru**
4. **Yrysbaı kuzy N., Kalbekov A. Simulation of fuel cell performance with program matlab/ Известия вузов кыргызстана, №2, 2019, 85-90/ <http://www.science-journal.kg> e-mail: sje.kg.2009@mail.ru**

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve soyadı	Nakılay İrisbay kızı
Uyruğu	Kırgız
Doğum yılı	28.03.1993
Cep Numarası	+996775230064
E-mail	nakilay_93@mail.ru

Eğitim

Ünvan	Yer	Yıl
Yüksek Lisans	Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2016-...
Lisans	Kırgızistan-Türkiye Manas Üniversitesi, Кыргыз- Түрк, Mühendislik Fakültesi, Kimya Mühendisliği Bölümü	2016
Okul	Gaz orto mektebi, Batken, Batken	2011

Yabancı Dil

-
- İngilizce
 - Türkçe
 - Rusça
 - Özbekçe
-