

METAL HİDRİD YATAKLARDA HİDROJEN
SOĞURULMASININ SAYISAL ANALİZİ

Muhittin BİLGİLİ

134139

YÜKSEK LİSANS TEZİ
(MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ)

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2003
ANKARA

134139
GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Muhittin BİLGİLİ tarafından hazırlanan METAL HİDRİD YATAKLARDA HİDROJEN SOĞURULMASININ SAYISAL ANALİZİ adlı bu tezin yüksek lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.



Prof.Dr. Ö. Ercan ATAER
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından Makina Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yalçın Göğüş 

Üye : Prof. Dr. Ö. Ercan Ataer 

Üye : Doç. Dr. Şenol Başkaya 

Üye : _____

Üye : _____

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	v
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	vii
EKLERİN LİSTESİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR	xi
1. GİRİŞ	1
2. HİDROJEN ENERJİSİ ve DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ	4
2.1. Türkiye'de Yapılan Çalışmalar	5
2.2. Hidrojen Üretimi	7
2.3. Bu Konuda Yapılan Çalışmalar	8
2.3.1. Metal-hidrojen sistemleri	9
2.4. Hidrojen Depolama Yöntemleri	14
2.4.1. Metal hidrid tanklar	15
2.4.2. Sıkıştırılmış hidrojen	17
2.4.3. Sıvı hidrojen	20
2.4.4. Bağ enerjisi olarak depolanan hidrojen	23
2.4.5. Karbon ve nano tüpler	23
2.4.6. Cam mikro kürecikler (glass microsphere)	31

2.4.7. Sıvı taşıyıcı depolama (liquid carrier storage)	32
2.4.8. Hidrokarbonlar.....	32
2.4.9. Sentetik karbon	34
3. MATEMATİKSEL MODEL	35
3.1. Geometri	35
3.2. Kabullenmeler	36
3.3. Fiziksel Soğurma (absorpsiyon)	36
3.4. Gözeneklilik.....	37
3.5. Darcy Yasası	37
3.6. Matematik Modellemede Temel Denklemler	39
3.7. Başlangıç ve Sınır Şartları	42
4. SAYISAL YÖNTEM ve PHOENICS YAZILIMI	44
4.1. PHOENICS'in Yapısı.....	44
4.2. Problemin Tanımlaması	46
4.3. Problemin Hücre Dağılımı	47
4.4. Hücre Dağılımından Bağımsızlık Testi	49
5. SONUÇLAR.....	53
5.1. Metal Yatak İçindeki Sıcaklık ve H/M Oranlarının Değişimleri.....	55
5.2. Geometrinin H/M Değerlerine Etkisi	64
5.3. Mg ile LaNi ₅ 'in Hidrojen Depolama Açısından Karşılaştırılması	65
6. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI, İLERİDE BU KONUDA YAPILMASI GEREKEN ÇALIŞMALAR	67
KAYNAKLAR	69
EKLER.....	75
ÖZGEÇMİŞ	144

METAL HİDRİD YATAKLARDA HİDROJEN
SOĞURULMASININ SAYISAL ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Muhittin BİLGİLİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2003

ÖZET

Hidrojen, hidrojen enerjisi, hidrojen enerjisi depolama da kullanılan farklı yöntemler açıklanmış ve bunlardan alternatif bir yöntem olan hidrojenin metal hidridlerde depolanması üzerinde bir matematiksel model oluşturulmuştur. Çalışmada gözenekli metal yataklarda hidrojen gazı soğurulması ısı ve kütle transferi yönünden, iki boyutlu olarak silindirik koordinatlarda sayısal olarak analiz edilmiştir. Yüksek soğutma etkisi için eş merkezli iki silindir arasındaki gözenekli metal ortam seçilmiş ve metal yatak, iç ve dış yüzeylerden sıvı akışkan ile soğutulmuştur. Gözenekli metal ortam olarak, Lantanyum-Nikel (LaNi_5) metal yatak seçilmiş ve hidrojen soğurulmasının sayısal olarak analizi yapılmıştır. Radyal ve aksenal yönlerde metal hidrid sıcaklıklarının zamanla ve konumla değişimleri ve hidrojen / metal (H/M) oranlarının zamanla değişimleri Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) programı kullanılarak hesaplanmıştır. Hidrid oluşumunun soğuk yüzeyler üzerinde daha hızlı şekilde meydana geldiği gözlenmiştir. Sonuçlar literatürde farklı geometriler ve metal ortamlar için verilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 920
Anahtar Kelimeler : Hidrojen Soğurulması, Hidrojen Enerjisi, Metal Hidrid, Matematiksel Modelleme.
Sayfa Adedi : 144
Tez Yöneticisi : Prof. Dr. Ö. Ercan ATAER



**NUMERICAL ANALYSIS OF HYDROGEN ABSORPTION
IN METAL HYDRIDE BEDS
(M.Sc. Thesis)**

Muhittin BİLGİLİ

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY
July 2003**

ABSTRACT

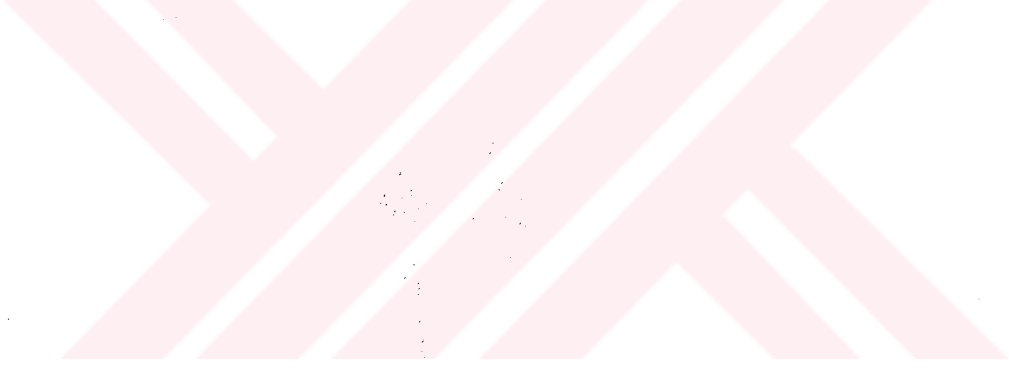
Hydrogen, hydrogen energy, different storage methods of hydrogen energy were summarized and a mathematical model was developed on an alternative method of hydrogen storage in metal hydrides. Two dimensional heat and mass transfer were analyzed for hydrogen absorption in porous metal beds using cylindrical coordinates. For high cooling rates an annular geometry was selected for the porous metal bed, and the bed was cooled by fluid on both internal and external surfaces. Absorption process was analyzed numerically for the porous Lanthanum Nickel (LaNi_5) metal bed. The variations of the metal hydride temperature and hydrogen / metal (H/M) atomic ratio were calculated in the radial and axial directions by using a Computational Fluid Dynamics (CFD) program. It has been observed that hydride formation takes place faster near the cold boundaries. The results were also compared with numerical outcomes given in the literature for different geometries.

Science Code : 920
Key Words : Hydrogen Absorption, Hydrogen Energy, Metal
Hydride, Mathematical Modelling.
Page Number : 144
Adviser : Prof. Dr. Ö. Ercan ATAER



TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danışmanım Prof. Dr. Ö. Ercan ATAER'e yine kıymetli tecrübelerinden faydalandığım Doç. Dr. Mahmut D. MAT'a, ayrıca tüm çalışma arkadaşlarıma ve manevi destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli aileme teşekkürü bir borç bilirim.



ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Bazı yakıtların enerji yoğunlukları	4
Çizelge 2.2. Çeşitli hidrojen depolama ortamlarının hidrojen içerikleri ve enerji yoğunlukları	5
Çizelge 2.3. Aynı miktarda hidrojen içeren tipik depolama tank hacimlerinin karşılaştırılması	16
Çizelge 2.4. Bazı metal hidridlerin hidrojen depolama karakteristikleri	16
Çizelge 2.5. Hidrojen ile çalışan bir aracı 640 km götürmek için gereken hidrojen miktarları ve karşılaştırılması	23
Çizelge 2.6. 640 km mesafe için bazı nano karbon tabanlı depoların özellikleri	29
Çizelge 2.7. Yakıt olarak hidrokarbon kullanan bir taşıtın deposunun 640 km mesafe için karşılaştırılması	33
Çizelge 3.1. Seçilen geometrilerin boyutları.....	35
Çizelge 4.1. Analizde kullanılan LaNi ₅ ve hidrojenin genel özellikleri.....	51

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Hidrid oluşum süreci	10
Şekil 2.2. Gopal ve Murty'nin tek boyutlu fiziksel modeli	11
Şekil 2.3. Çeşitli ebatlardaki metal-hidrid tanklar	16
Şekil 2.4. Hidrojen gazının depolanmasında kullanılan kompozit silindir	19
Şekil 2.5. Bir sıvı hidrojen deposunun şematik kesiti	22
Şekil 2.6. Karbon nano fiberler	30
Şekil 2.7. Mikro kürecikler içinde hidrojenin yüksek basınçta saklanması	31
Şekil 3.1. Geometri-1, geometri-2 ve geometri-3 üç boyutlu görünüşleri	35
Şekil 3.2. Darcy'nin süzme deneyinin şematik diyagramı	38
Şekil 3.3. Analizde kullanılan metal-hidrid yatak geometrisi	39
Şekil 4.1. PHOENICS'in temel yapısı	45
Şekil 4.2. Hidrojen–metal yatak problem geometrisi y-z eksenindeki hücre dağılımı	48
Şekil 4.3. Metal yatağın hücre dağılımının üç boyutlu görünümü	48
Şekil 4.4. Sıcaklık dağılımları için hücre dağılımından bağımsızlık testi	50
Şekil 4.5. H/M oranları için hücre dağılımından bağımsızlık testi	50
Şekil 5.1. Geometri-1 için reaktör içindeki sıcaklık dağılımının değişimi.....	53
Şekil 5.2. Geometri-2 için H/M oranının reaktör içindeki dağılımının değişimi.	54
Şekil 5.3. Geometri-3 için H/M oranının reaktör içindeki dağılımının değişimi	54

Şekil 5.4. Geometri 1'in $r=15\text{mm}$ 'de H/M oranlarının farklı zaman dilimlerinde aldığı değerlerin aksenal yöndeki değişimi	55
Şekil 5.5. Geometri 1'in $z=16\text{mm}$ 'de H/M oranlarının farklı zaman dilimlerinde aldığı değerlerin radyal yöndeki değişimi.....	57
Şekil 5.6. Geometri 2'de $z/L=0.01807$ aksenal konumunda metal yatak sıcaklığının zaman ile değişimi (farklı radyal konumlarda).....	58
Şekil 5.7. Geometri 2'de $z/L=0.602$ aksenal konumunda metal yatak sıcaklığının zaman ile değişimi (farklı radyal konumlarda).....	58
Şekil 5.8. Geometri 2'de $z/L=0.95$ aksenal konumunda metal yatak sıcaklığının zaman ile değişimi (farklı radyal konumlarda).....	59
Şekil 5.9. Geometri 2 metal yatak sıcaklığının $r = 0.01073$ m radyal konumunda farklı aksenal bölgelerde zaman ile değişimi	59
Şekil 5.10. Geometri 2 metal yatak sıcaklığının $r = 0.01466$ m radyal konumunda farklı aksenal bölgelerde zaman ile değişimi	60
Şekil 5.11. Geometri 2 metal yatak sıcaklığının $r = 0.018844$ m radyal konumunda farklı aksenal bölgelerde zaman ile değişimi	60
Şekil 5.12. Geometri 2 için H/M oranının $r=0.01466\text{m}$ radyal konumunda farklı aksenal konumlardaki zamanla değişimi.....	61
Şekil 5.13. Geometri 2 için H/M oranının $r=0.01466$ m radyal konumunda farklı zaman dilimlerinde aksenal yönde değişimi.....	62
Şekil 5.14. Geometri 2 için H/M oranının $z/L=0,488$ aksenal konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi	62
Şekil 5.15. Geometri 3 için H/M oranının $z/L=0,488$ aksenal konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi	63
Şekil 5.16. Geometri 3 için H/M oranının $r=0,0135$ aksenal konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi	63
Şekil 5.17. Geometrinin H/M oranına etkisi	64
Şekil 5.18. Geometrinin H/M oranına etkisi	65
Şekil 5.19. Mg hidrid için H/M oranlarının zaman ile değişimi.....	66

EKLERİN LİSTESİ

Ek	Sayfa
Ek-1. Malzemelerin termofiziksel özellikleri ve hesaplamalarda kullanılan veriler	74
Ek-2. Örnek Q1 kütüğü	75
Ek-3. Örnek GROUND dosyası	78
Ek-4. Örnek RESULT kütüğü	94
Ek-5. 15 Şubat 2003 tarihli Hürriyet gazetesinden bir yazı.....	129
Ek-6. Kaynaklar 3 nolu referansa ait internet sitesi.....	131
Ek-7. Kaynaklar 6 nolu referansa ait internet sitesi.....	132
Ek-8. Kaynaklar 15 nolu referansa ait internet sitesi	133
Ek-9. Kaynaklar 17 nolu referansa ait internet sitesi	134
Ek-10. Kaynaklar 19 nolu referansa ait internet sitesi	135
Ek-11. Kaynaklar 22 nolu referansa ait internet sitesi	136
Ek-12. Kaynaklar 23 nolu referansa ait internet sitesi	137
Ek-13. Kaynaklar 24 nolu referansa ait internet sitesi	138
Ek-14. Kaynaklar 26 nolu referansa ait internet sitesi	139
Ek-15. Kaynaklar 30 nolu referansa ait internet sitesi	140
Ek-16. Kaynaklar 60 nolu referansa ait internet sitesi	141
Ek-17. Kaynaklar 61 nolu referansa ait internet sitesi	142
Ek-18. Kaynaklar 69 nolu referansa ait internet sitesi	143

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
a_k	Birleştirilmiş taşıma ve difüzyon katsayısı
a_o	Kararsız şartlarda taşıma katsayısı
C_p	Özgül ısı (J/kg.K)
E_a	Aktivasyon Enerjisi (J/mol)
h	Isı transfer katsayısı (W/m ² K)
H/M	Hidrojen metal atom oranı
ΔH	Reaksiyon ısısı (J/mol)
k	Isı iletim katsayısı (W/m.K)
\dot{m}	Hidrojen soğurma miktarı (kg/m ³ .s)
M	Molekül ağırlığı (kg/mol)
P	Basınç (Pa)
r	Radyal yön (m)
r_i	İç yarıçap (m)
r_o	Dış yarıçap (m)
R	Gaz sabiti (J/kg.K)
L	Metal yatağın boyu (m)
t	Zaman (s)
T	Sıcaklık (K)
V	Hız (m/s)
u_r	Gaz hızının radyal bileşeni (m/s)
u_z	Gaz hızının aksenal bileşeni (m/s)
ρ	Yoğunluk (kg/m ³)
ϵ	Gözeneklilik

ϕ	Genel değişken
ϕ_p	Bilinmeyen hücre değeri

Alt İndisler

e	Etken
eq	Denge
f	Soğutucu akışkan
g	Gaz
o	İlk durum
s	Katı
sat	Doymuş

1. GİRİŞ

Dünyanın fosil yakıtları hızlı bir şekilde azalmaktadır, bu yakıtların neden olduğu global kirlilik doğal dengeyi bozmakta ve dünyada yaşayan canlıların sağlığını tehdit etmektedir. Dünyanın artan enerji ihtiyacına karşın azalan enerji kaynakları, gereksinimleri karşılayabilecek ve global kirliliğin azalmasını önleyebilecek yeni çözümler bulmak için bilim adamlarını doğada bol miktarda bulunan ve çevreci olan alternatif yakıtlar üzerinde araştırma yapmaya itmiştir. Bu çözümlerden birisi de hidrojen enerjisinin kullanımınıdır. Hidrojen enerjisi verimli ve boldur. Hammaddesi, dünyada bol miktarda bulunan sudur. Hidrojen enerjisi otomotiv sektöründen, hava taşımacılığına kadar tüm sanayi sektörünün enerji ihtiyacını karşılayabilecek potansiyele sahiptir. Yakılmasıyla direk yakıt olarak kullanılacağı gibi ayrıca yakıt hücresi kullanan araçlarda enerji kaynağı olarak da kullanılabilir (1).

Doğada bileşikler halinde bol miktarda bulunan hidrojen serbest olarak bulunmadığından doğal bir enerji kaynağı değildir. Bununla birlikte hidrojen birincil enerji kaynakları ile değişik hammaddelerden üretilmekte ve üretiminde dönüştürme işlemleri kullanılmaktadır. Bu nedenle elektrikten neredeyse bir asır sonra teknolojinin geliştirdiği ve geleceğin alternatif enerjisi olarak yorumlanan bir enerji kaynağıdır.

Hidrojen karbon içermediği için fosil yakıtların neden olduğu çevresel sorunlar yaratmaz. Isınmadan elektrik üretimine kadar çeşitli alanların ihtiyacına cevap verebilecektir. Gaz ve sıvı halde olacağı için uzun mesafelere taşınabilecek ve iletimde kayıplar olmayacaktır.

2010 yılından itibaren hidrojenin ticari amaçlar için kullanılması düşünülmektedir. Maliyet göz önüne alınarak ilk yıllarda benzinden 1,5 – 5,5 kadar daha pahalı olması beklenmektedir. Fakat gelecek yıllarda çevresel katkıları da göz önüne alındığı zaman bu maliyetin çok daha aşağılara çekilmesi hesaplanmaktadır (2).

Hidrojen enerjisi, yüksek ısısal değeri ve çevreyi kirletmemesi nedeniyle fosil yakıtların yerini alacak önemli alternatif enerji kaynağı olarak dikkati çekmektedir. Özellikle depolamadaki sorunlar ve hidrojeni kullanan teknolojinin yeterli düzeye ulaşamaması nedeniyle kullanımı günümüzde istenilen düzeyde değildir.

Hidrojen gazının yüksek basınçta depolanması en eski ve en çok kullanılan yöntemdir. Özellikle son yıllarda kompozit malzeme teknolojisi bu yöntemi tekrar güncel hale getirmiştir. Hidrojenin sıvı olarak depolanmasının yüksek maliyeti nedeniyle uzay araçları ve bazı roketler dışındaki uygulamalarda sıvı hidrojenin depolanması tercih edilmemektedir.

Hidrojen en hafif element olduğu için depolanması araçlarda kullanımda önemli bir sorun oluşturmaktadır. Araçlarda hidrojen genellikle kryojenik sıvı, düşük sıcaklıkta sıkıştırılmış gaz veya ortam sıcaklığında sıkıştırılmış gaz olarak kullanılmaktadır. Son yıllarda gelişen iki teknoloji ilerisi için ümit vermektedir. Bu metotlardan biri hidrojenin bazı metal alaşımları ile reaksiyona girip bileşik oluşturması ilkesine dayanan metal hidrid teknolojisi, diğeri de hidrojenin nano boyutlardaki karbon tüp veya fiber ortamlarda depolanmasıdır. Daha küçük hacimli, daha hafif ve emniyetli depo geliştirmek için yoğun çalışmalar devam etmektedir.

Bazı metal alaşımların hidrojenle bileşik oluşturarak küçük bir hacimde yüksek miktarda hidrojen depolaması (metal-hidridler) mümkündür. İstenilen miktarda hidrojen, metal-hidrid yatak ısıtılarak dışarı alınabilmektedir. Metal hidrid yataklar aynı hacimde sıkıştırılmış gaz tanklarına göre daha fazla hidrojen depolayabilmektedir. Sistem düşük basınçla çalıştığı için diğer depolama metotlarına göre daha güvenlidir. Fakat bu sistemlerin ağır olmaları önemli bir dezavantaj oluşturmaktadır (1-3).

Bu çalışmada hidrojenin depolanmasında kullanılan farklı yöntemler incelenip, hidrojeni depolamada alternatif bir yöntem olan metal hidridler dikkate alınıp, gözenekli metal ortam olarak Lantanyum-Nikel (LaNi_5) ortamında hidrojenin depolanması silindirik koordinatlarda sayısal olarak bir sayısal akışkanlar dinamiği programı yardımı ile incelenmiştir.



2. HİDROJEN ENERJİSİ ve DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ

Enerji denilince, önemli bir nokta da kullanılan enerji kaynağının içerdiği enerji yoğunluğudur. Bu nokta, hidrojen enerjisi diğer enerji türleri ile karşılaştırıldığında yüksek oranda enerji ihtiva eden bir enerji türüdür. Çeşitli yakıtların birim kütle başına enerji yoğunluklarının karşılaştırılması Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Bazı yakıtların enerji yoğunlukları (4).

Yakıt	Enerji yoğunluğu (Yanma ısısı) (MJ.kg ⁻¹)
Hidrojen	141,90
Metan	55,55
Etan	51,92
Propan	50,39
Benzin	47,27
Doğalgaz	47,21
Gazyağı	46,00
Ham petrol	45,55
Benzen (benzene)	42,29
Kömür	31,38
Etanol	29,70
Metanol	22,69
Amonyak	20,54
Odun	17,12

Hacimsel yoğunluk açısından hidrojeni depolamada en avantajlı yöntem metal hidridlerdir. Yüksek oranda hacimsel yoğunluğa sahip olmaları metal hidridlerin tercih edilmesinde etkili olmaktadır. Çeşitli hidrojen depolama ortamlarının hidrojen içerikleri ve enerji yoğunlukları Çizelge 2.2'de verilmiştir.

Bu çizelgede de görüleceği gibi, metal hidridlerin birim hacimde saklayabildiği hidrojen atomları gaz ve sıvı hidrojen depolamaya göre daha fazladır.

Çizelge 2.2. Çeşitli hidrojen depolama ortamlarının hidrojen içerikleri ve enerji yoğunlukları (5).

Ortam	Hidrojen içeriği (% ağırlık)	Hacimsel yoğunluk (H atom litre ⁻¹) (x10 ¹⁹)	Enerji yoğunluğu	
			(MJ.kg ⁻¹)	(MJ.litre ⁻¹)
Gaz H ₂ (150 atm)	100,00	0,5	141,90	1,02
Sıvı H ₂ (-253°C)	100,00	4,2	141,90	9,92
MgH ₂	7,65	6,7	9,92	14,32
VH ₂	2,10	11,4	-	-
Mg ₂ NiH ₄	3,60	5,9	4,48	11,49
TiFeH _{1.95}	1,95	5,5	2,47	13,56
LaNiH _{6.7}	1,50	7,6	1,94	12,77
ZrMn ₂ H _{3.4}	1,75	6,0	-	-
ZrMn ₂ Fe _{0.8} H _{3.4}	1,38	4,8	-	-

2.1 Türkiye'de Yapılan Çalışmalar

Türkiye'nin henüz ulusal bir hidrojen enerjisi programı bulunmamaktadır. 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı, Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu'nun yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları raporunda hidrojen enerjisi geleceğin enerjisi olarak tanınmakla birlikte, Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından saptanan 1993-2003 yılı ulusal bilim ve teknoloji politikasında, hidrojen enerjisi öncelikli alanlar arasına girememiştir (6). Bu konu üzerinde araştırma kuruluşları ve çeşitli üniversiteler tarafından sınırlı şekilde çalışma yapılmaktadır. Türkiye'de hidrojenin taşınması, saklanması, üretimi ve diğer

konuları ile ilgili olarak değişik üniversitelerde yapılan araştırma-geliştirme çalışmaları aşağıda özetlenmiştir.

- Değişik gaz karışımları ve hidrojenin boru ile taşınması
- Hidrojen-metan kombinasyonunun yakılması
- Sıvı hidrojen tanklarında basınç yükselmesinin incelenmesi
- Doğalgaz motorlarında yakıtta hidrojen katılmasının etkileri
- Hidrojen eldesi için güneş pillerinin kullanımı
- Hidrojenin fotokimyasal yolla üretimi

Miami Üniversitesi, Temiz Enerji Enstitüsü (Clean Energy Research Institute) Müdürü Prof. Dr. Nejat Veziroğlu 'nun İstanbul'da bir Uluslararası Hidrojen Enerji Teknolojileri Merkezi (ICHET) kurulması için yaptığı girişim, Birleşmiş Milletler UNIDO Endüstriyel Kalkınma Kurulunun 20-22 Kasım 1996 tarihinde Viyana'da yapılan toplantısında kabul edilmiştir. Alınan bu karar çerçevesinde UNIDO gözetiminde özerk bir kurum olarak çalışacak ICHET in amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında, hidrojen enerjisi alanında bir köprü oluşturmak ve bu konuda işbirliği içinde uygulamalı araştırma-geliştirme çalışmaları yapmaktır. ICHET 'in çalışmaları arasında, hidrojen enerjisi konusunda konferanslar ve eğitim programları düzenlemek, danışmanlık yapmak da bulunmaktadır. ICHET projesi, geleceğin enerjisi olarak kabul edilen hidrojen enerjisi konusunda Türkiye'nin önde olmasını ve zaten var olan güneş enerjisi potansiyelini en iyi şekilde kullanmasını sağlayacak önemli bir girişimdir. Türkiye gibi fosil yakıt kaynakları sınırlı bir ülke için ileride güneş-hidrojen sistemine geçmek uygun bir seçenektir. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş panelleri yardımıyla suyun elektrolizi ile hidrojen üretiminde 1 m³ sudan yaklaşık 108 kg hidrojen elde edilmekte olup, bu da enerji olarak 420 litre benzine eş değerdir. Ancak, bu projenin gerçekleşmesi için gereken parasal destek henüz sağlanmış değildir (6).

Yukarıda sayılanlara ek olarak, Türk sanayiinde hidrojen oldukça büyük miktarlarda üretilip, kullanılmakta veya çevreye atılmaktadır. Hidrojenin kullanıldığı sanayii sektörleri ve yaklaşık üretilen hidrojen tutarları aşağıda verilmiştir:

- Suni gübre sanayii (25 000m³)
- Bitkisel yağ (margarin) üretimi (16 000m³)
- Petrol arıtım tesisleri (rafineri) (1 200m³)
- Petro-kimya endüstrisi (30 000m³)
- Hidrojen ile hayvansal yağ üretimi (200-300m³)
- Çeşitli yerlerde kullanılmak üzere basınçlı silindirlerde gaz veya sıvı hidrojen üretimi (6 000m³)

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) Hidrojen Grubu Yönetim Kuruluna, 1995-1996 tarihleri arasında kısa bir süre katılan Türkiye, bu grup içinde güneşle hidrojen elde edilmesi konusundaki teknik çalışmalara katılmış, ancak daha sonra bu katılımdan vazgeçmiştir. Türkiye'nin geleceğin enerjisi olarak kabul edilen hidrojen enerjisi konusunda IEA şemsiyesi altında oluşan bu gruptaki çalışmalara devam etmesi ülkenin alt yapı olanakları göz önüne alındığında, zaman açısından erken görünmekle beraber, UNIDO tarafından İstanbul'da kurulması öngörülen Uluslararası Hidrojen Enerji Merkezi Projesi, bu görüşü değiştirecek boyuttadır. Bu şartlar altında, Hidrojen enerjisi konusunda, ülke çapında yapılan bireysel çalışmaları organize etmek ve ulusal bir hidrojen enerjisi programı oluşturmak çok yararlı olacaktır (6).

2.2. Hidrojen Üretimi

Hidrojen genellikle, doğal gaz veya diğer petrol ürünlerinden kimyasal yöntemlerle veya suyun elektrolizi ile elde edilmektedir. Özellikle güneş pilleri gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektriği verimli bir şekilde kullanabildiği için, elektroliz metodu son yıllarda büyük önem kazanmıştır.

Suyun elektrolizi asitik veya bazik bir sıvı içerisinde yerleştirilmiş iki elektrot arasına, elektrik akımı uygulanmasıyla gerçekleşir. Bu işlem sonucu katotta hidrojen ve anotta da oksijen oluşmaktadır.

Çok geniş kapasite aralığında hidrojen üreten santraller kurmak mümkündür. Güneş pilleri gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen elektrik, hidrojen üretimi için önemli bir kaynak oluşturmaktadır. Suyun elektrolizi için düşük voltajlı ve yüksek akım şiddetli doğru akım gerekmektedir. Dolayısıyla güneş pillerinden elde edilecek elektrik herhangi bir değişikliğe uğramaya gerek duymadan doğrudan elektrolizde kullanılabilir.

2.3. Bu Konuda Yapılan Çalışmalar

Libowitz ve Blank (7), güneş enerjisinin depolanması ile uygulamalarda, metal hidridlerin temel özelliklerini incelemişlerdir. Temel bir hidridin oluşum entalpisi ısı sağlamak için ve ikincil hidrid veya sıkıştırılmış gazın, hidrojen depolamak için kullanıldığı çeşitli tasarımları incelemiş ve değerlendirmişlerdir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar mevcut teknoloji ile metal hidrid temelli sistemlerin duyulur ısı veya faz değişimli depolamaya göre daha pahalı olduğu gözlenmiştir. Metal hidrid sistemlerinin avantajları incelenmiş, diğer ısı depolama sistemleri ile ekonomik açıdan rekabet edecek sistem için teknolojik gelişmeler tavsiye edilmiştir.

Günümüzde, ısı enerjisini depolanması için 3 yöntem vardır:

- (1) Duyulur ısı depolama (sensible heat)
- (2) Faz değişimi ile ısı depolama (phase change)
- (3) Bağ enerjisi ile ısı depolama (bond energy)

Yüksek ısı kapasiteli duyulur ısı depolama malzemeleri uzun zaman periyotlarında su ve kaya yataklar gibi ısıyı tutma özelliğine sahiptirler. Faz değişim malzemeleri erime ve buharlaşmada olduğu gibi, fiziksel değişimin

entalpisinden yararlanırlar. Buna karşın bağ enerjisi ile depolamada hidrojen metal tarafından soğurulmaktadır. Çalışmada metal ve hidrojen gazının etkileşiminin çeşitli bağ enerjisi sistemlerindeki durumu ile ilgilenilmiştir.

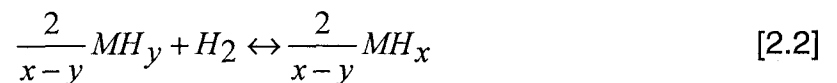
2.3.1. Metal-hidrojen sistemleri

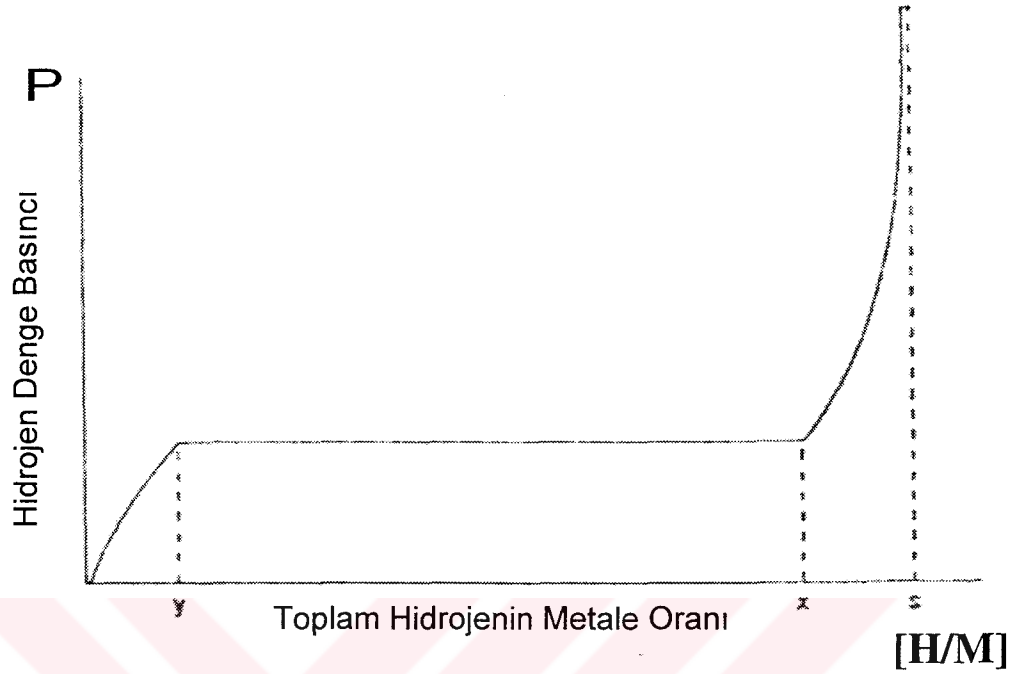
Yüksek hidrojen yoğunluklarından dolayı metal hidridler, hidrojenin bir yakıt olarak depolanması için geniş çapta incelenmektedirler. Bu uygulamada, hidrojeni serbest bırakmada enerji ihtiyacını azaltmak için düşük oluşum ısılarındaki hidridler tercih edilirler. Metal ve alaşımların büyük çoğunluğu hidrojen ile tersinir olarak reaksiyona girer.



burada hidrid MH_x , belirli bir kimyasal bileşiktir ve x 'in değeri kullanılan metal veya alaşım (M)'a bağlıdır. Şekil 2.1'de görüldüğü gibi hidrid oluşumu süresince hidrojen, metal veya alaşımda katı çözelti oluşturmak için ilk olarak soğurulur. y noktasında, metal hidrojen ile doymuş hale geldiğinde, hidrid fazı oluşur. Hidrojenin ilave edilmesi ile, ısı aktarımı ile metal hidride dönüşmeye devam eder. Sabit sıcaklıkta, iki fazın olduğu bölgede basınç sabit kalır ve bu sabit basınç, hidridin ayrılma basıncı olarak ifade edilir. x noktasında, metal fazı tamamen hidrid fazına dönüşür ve hidrojen basıncı artarken, hidrid stoikiometrik karışım, s noktasına yaklaşır.

Eş. 2.1'de metal içerisinde hidrojenin çözülebilirliği ihmal edilmiştir. Eğer çözülebilirlik ihmal edilemez ise Eş. 2.1 aşağıdaki şekilde yazılabilir.



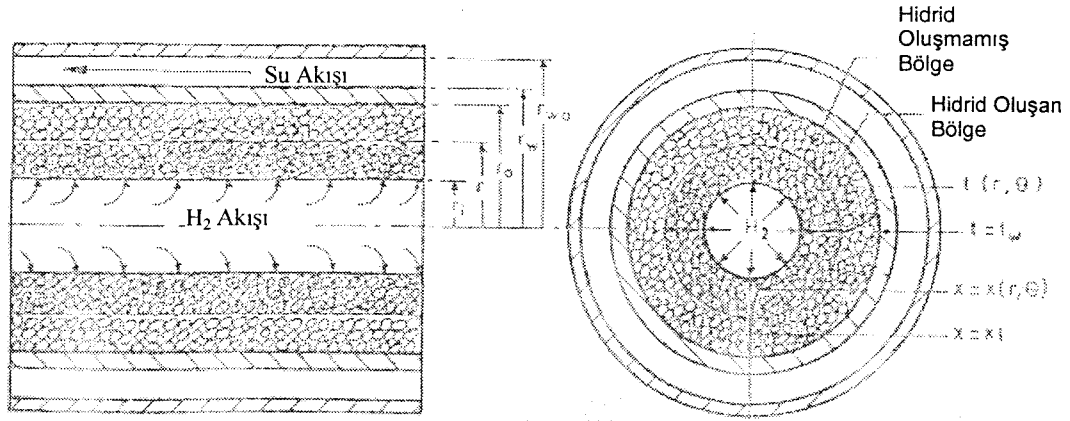


Şekil 2.1. Hidrid oluşum süreci (7).

Eşitlik 2.2, düşük hidridin yüksek hidride dönüşümü için de uygulanabilir. Burada y , düşük hidride hidrojenin çözülebilirlik limitini göstermektedir.

Dehidrid sırasında ters yönde bir süreç oluşur ve bu süreç esnasında çevreden ısı emilir. Bu hidrojen bırakılması süreci esnasında gözlemlenen ayrılma basıncı, bazen aynı sıcaklıktaki soğurma basıncından daha düşüktür. Bu sapma etkisi önemlidir ve bunun varlığı henüz net olarak anlaşılmış değildir. Herhangi bir özel uygulama önerildiğinde, bu durum dikkatli bir şekilde düşünülmelidir (7).

Gopal ve Murty (8), iç içe yerleştirilmiş iki silindir arasındaki metal hidrid yataklarda ısı ve kütle transferi için tek boyutlu analitik model geliştirmişlerdir. Değişik ortalama sıcaklık ve hidrojen konsantrasyonları için sonuçlar boyutsuz formda, farklı alaşımlar ve çalışma şartları için elde edilmiştir. Bu korelasyonların uygulanması, bir $\text{LaNi}_{4.7}\text{Al}_{0.3}$ yatağı için örnek olarak verilmiştir.



Şekil 2.2. Gopal ve Murty'nin tek boyutlu fiziksel modeli (8).

Bu çalışmada geliştirilen modelin özellikleri geometri açısından çalışmamızdaki modele benzemektedir. Gopal ve Murty, çalışmalarında tek boyutlu ve radyal yönde bir çözüm elde etmişlerdir. Gopal ve Murty'nin çalışmalarındaki fiziksel model Şekil 2.2'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi sistem 3 konsantrik silindirden oluşmaktadır. İçteki silindir, alaşımdan veya alaşıma hidrojen şarjının olduğu yüzeyleri, bu içteki yüzey ile dış yüzey arasında kalan kısım ise alaşım ile doludur. Soğutma akışkanı olarak su kullanılmıştır. Su, hidrojenin şarj yönüne ters yönde akmaktadır.

Ben Nasrallah ve Jemni (9), bir metal hidrojen reaktörde dinamik ısı ve kütle transferinin iki boyutlu analizini yapmışlardır. Çalışmada bir matematiksel model oluşturulmuş ve model sonlu hacimler yöntemi ile sayısal olarak çözülmüştür. Sayısal simülasyonun amacı; (a) sıcaklık ve basıncın zamanla değişimini, (b) konumla H/M değişimini, (c) hidridin reaktör içindeki yoğunluğunu (d) geometri, giriş basıncı ve giriş sıcaklığı gibi parametrelere karşı hassasiyetini belirlemek olmuştur. Bu simülasyon ile belirli parametrelerin etkisi ve yerel ısı denge varsayımının geçerliliği gösterilmiştir.

Bir başka çalışmada Ben Nasrallah ve Jemni (10), metal hidrojen reaktörlerde ısı ve kütle transferini analiz etmek için, aşağıdaki varsayımları kullanmışlardır:

- i) Katı ve gaz aynı sıcaklıktadır.
- ii) Reaktördeki basınç değişim etkisi ihmal edilebilir.
- iii) Hidrojen konsantrasyonunun denge basıncı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir.

Bu çalışmada yukarıda verilen varsayımlarla ve varsayımlar kullanılmadan elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırarak varsayımların geçerliliği test edilmiştir. LaNi_5 hidrojen reaktörü için, sonuçlar bu varsayımların geçerliliğini yaklaşık bütün koşullarda sağladığını göstermiştir.

Jemni ve arkadaşları (11), metal hidrojen reaktör ($\text{LaNi}_5\text{-H}_2$) üzerinde teorik ve deneysel çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmanın ilk amacı deneysel olarak efektif ısı iletim katsayısını, reaktör etrafındaki akışkan ve hidrid yatak arasındaki iletim, denge basıncı ve reaksiyon kinetiğinin ifadesi, ilk şart sıcaklığı ve uygulanan hidrojen basıncının geçici gelişimini belirlemektir. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki karşılaştırma ile teorik modelin geçerliliğini test etmek ise çalışmanın ikinci amacı olmuştur.

Fernandez ve Sanchez (12), hidrojenin magnezyum tarafından soğurulması ve bırakılmasının kinetiğini hacimsel teknik kullanarak incelemişlerdir. Deneysel veriler soğurma ve bırakma proseslerinin her ikisi için adım belirleme oranını (rate determining step) tespit etmek için analiz edilmiştir. Reaksiyonun itici kuvveti (driving force) ve aktivasyon enerjisi için bir ifade elde etmek için çalışmışlardır. Ayrıca magnezyumun aktivasyon enerjisini soğurulma esnasında 90 ± 10 [kJ/mol H] olarak belirlemişlerdir.

Magnezyumun hidrojen depolama uygulamaları için cazip bir malzeme olduğu bilinmektedir. Bunun ana nedeni ise Mg'un hafif bir metal olmasıdır. MgH_x diğer hidrojen depolamada kullanılan metal bileşenleriyle karşılaştırıldığında çok olumlu değerler aldığı gözlemlenmektedir. Bunun yanında ilaveten MgH_x 'in hacimsel yoğunluğu ($6,7 \times 10^{19}$ H atom litre⁻¹) sıvı hidrojenin hacimsel yoğunluğundan ($4,2 \times 10^{19}$ H atom litre⁻¹) oldukça iyi

düzydedir. Ayrıca Mg ucuzdur ve yeryüzünde bol miktarda bulunmaktadır. Bütün bu özellikler MgH_x 'in hidrojen depolama sistemleri için, özellikle sistemin ağırlığının önemli olduğu taşıtlara özgü uygulamalarda çok ilgi çekici bir malzeme yapmaktadır. Taşıtlarda yakıt hücrelerinin kullanımı petrol yakıtlarına yeni bir alternatiftir ve MgH_x gibi verimli ve hafif H_2 kaynaklarına ihtiyaç olacaktır. Fakat, MgH_x ile ilgili iki temel problem pratik uygulamalardaki kullanımını engellemektedir: İlk olarak, MgH_x kararlı bir bileşik değildir, herhangi bir depolama uygulaması için düşük denge basıncı ve yüksek çalışma sıcaklığına sahiptir. Hidrojenin soğurulması/bırakılması esnasındaki iyi olmayan kinetiği Mg'un pratik uygulamalarda kullanımını kısıtlayan ikinci önemli etkidir (12).

Ağırlıkça yaklaşık % 2,4 oranında hidrojen soğuran $LaMg_2Cu_2$ hazırlanışı esnasında yeni bir altıgen metaller arası faz ortaya çıkmıştır. Hidridin ayrılma basıncı $170\text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta yaklaşık olarak 0,4 atm'e ulaşmaktadır (13).

Hidrojen-Metal Hidrid (H_2 -MH) sistemlerinin hidrid dehidrid reaksiyonları kompleks gaz-katı reaksiyonudur. Reaksiyon tersinir ve bazı diğer kendine özgü termodinamik ve kinetik karakteristikler gösterir. H_2 -MH sistemleri hidrid ve dehidrid reaksiyonları oran eşitlikleri metal hidridlerin nadir özellikleri dikkate alınarak çıkartılmıştır. Reaksiyon miktarının sıcaklık ile değişimi üstüne, bir özgül miktar katsayısı tanımlanmıştır. Oran eşitliklerinin vasıtasıyla, farklı faz bölgelerinde esas kinetik davranış bazı parametreleri kullanılarak ayrılabilir. $LaNi_{4.7}Al_{0.3}$ -H sisteminin reaksiyon kinetiği, farklı faz bölgelerinde adım metodu (step-wise) yöntemi ile belirlenmiştir. Hidrid ve dehidrid reaksiyonlarının, farklı faz bölgelerinde oldukça farklı şekilde ilerlediği belirlenmiştir. Bununla birlikte reaksiyon mertebesi (reaction order), görünür oran sabiti (apparent rate constant), görünür aktivasyon enerjisi (apparent activation energy) ve oran kontrol adımları faz bölgeleriyle değişmesine rağmen, bunlar verilen faz bölgesinde içinde sabit alınmaktadır. Dehidrid reaksiyonun görünür aktivasyon enerjisi hidrid reaksiyonunkinden daima daha büyüktür (14).

2.4. Hidrojen Depolama Yöntemleri

Hidrojen enerjisi yüksek ısı değeri ve çevreyi kirletmemesi nedeniyle fosil yakıtların yerini alacak en önemli alternatif enerji kaynağı olarak dikkati çekmektedir. Fakat özellikle depolamadaki sorunlar ve hidrojeni kullanan teknolojinin yeterli düzeye ulaşamaması nedeniyle kullanımı günümüzde istenilen düzeyde değildir.

Hidrojenin en hafif element olması nedeniyle küçük depolarda verimli bir şekilde depolanması sorun oluşturmaktadır.

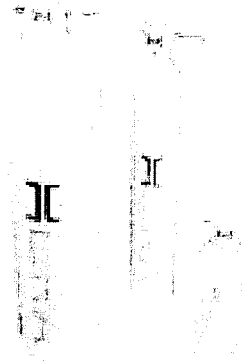
Hidrojen üretildikten sonra ki soru, hidrojeni nasıl depolayabiliriz olmaktadır. Hidrojen her bir yöntem için özel avantaj ve dezavantajları olan çeşitli yollarda saklanabilir. Bir depolama yöntemi seçmek için genelde kriter güvenli ve kullanımı kolay olan bir metot belirlemektir. Aşağıda sıralanan farklı depolama metotları bugün mümkün olan yöntemlerdir ve bunlara ek olarak bazı teknikler hala araştırma ve geliştirme aşamasındadır (15).

1. Metal hidrid tanklar
2. Sıkıştırılmış hidrojen
3. Sıvı hidrojen
4. Kimyasal olarak saklanan hidrojen
5. Karbon ve nanotüpler
6. Cam mikro kürecikler (glass microsphere)
7. Sıvı taşıyıcı depolama (liquid carrier storage)
8. Hidrokarbonlar

2.4.1. Metal hidrid tanklar

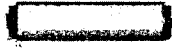
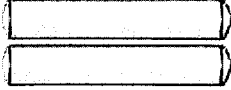


Metal hidridler metalik alaşımların özel bileşimleridir ve süngerin suyu emmesine benzer nitelikte davranırlar. Metal hidridler, hidrojeni soğurma (absorption) ve daha sonra geri bırakmak için oda sıcaklığında veya tankı

ısıtmak suretiyle az bulunur özelliğe sahiptirler (15). Bazı alaşımlar hidrojen ile reaksiyona girip hidrojen soğururken ısı açığa çıkarmaktadır. Basınç düşürülüp sistem ısıtıldığında istenilen miktarda hidrojen açığa çıkmaktadır. Son yıllarda yakıt depolarından başka tekrar doldurulabilir piller, ısıtma ve soğutma sistemlerinde de metal hidrid teknolojisinin kullanımı önem kazanmıştır. Metal hidridler önemli ölçüde hidrojen soğurmaktadır. Örneğin bir metal hidrid depo aynı hacimli bir sıkıştırılmış hidrojen deposuna göre 100 kat daha fazla hidrojen depolayabilmektedir. Bu alaşımlar genellikle kendi başına hidrojen soğuran bir A metalini (La, Ti, Zr, Mg, Ca gibi nadir toprak elementleri) ve hidrojen soğuramayan B metalinden (Fe, Ni, Mn, Co) oluşmaktadır (16). Soğurulan hidrojenin toplam miktarı genellikle toplam tank ağırlığının % 1-2 oranları civarındadır. Bazı metal hidridler kendi ağırlıklarının % 5-7'si arasında depolama özelliğine sahiptirler. Fakat bu özellik 250 °C dereceye veya daha yukarı sıcaklıklara ısıtıldıkları zaman geçerlidir. Soğurulan gaz hacmi metalin hacmine göre oldukça düşüktür, fakat hidridler sabit hacimde hidrojen depolaması gerektiğinde yüksek hidrojen içeriği ile alternatif bir çözüm sunmaktadırlar.



Şekil 2.3. Çeşitli ebatlardaki metal hidrid tanklar (17).

Çizelge 2.3. Aynı miktarda hidrojen içeren tipik depolama tank hacimlerinin karşılaştırılması (kg hidrojen) (17).

			
Metal Hidridler	Sıkıştırılmış @ 165 bar	Sıkıştırılmış @ 345 bar	Sıkıştırılmış @ 690 bar

En çok kullanılan hidrid sistemleri Fe-Ti, La-Ni ve Mg hidridlerdir. Metal hidridlerin kütlece enerji yoğunlukları 1-9,2 MJ/kg ve hacimsel enerji yoğunlukları 0,4-14,32 MJ/litre arasında değişmektedir (5, 18). Bazı metal hidridlerin hidrojen depolama özellikleri Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Bazı metal hidridlerin hidrojen depolama karakteristikleri (18).

Alaşım	Hidrojen depolama kapasitesi (%)	Desorpsiyon basıncı (bar)	Desorpsiyon sıcaklığı (°C)	Reaksiyon ısısı (kJ/mol)
MgH ₂	7,6	1,0	290	-74,5
Fe _{0,8} Ni _{0,2} TiH ₆	5,5	1,0	80	-
Mg ₂ NiH ₄	3,6	1,0	250	-64,5
Ti _{0,9} Zr _{0,1} Mn _{0,15} V _{0,2} Cr _{0,4} H _{3,2}	2,1	9,0	20	-29,3
Ti _{0,98} Zr _{0,02} V _{0,45} Fe _{0,10} Cr _{0,05} Mn _{1,5} H _{3,4}	2,1	10,0	24	-
TiFeH _{1,9}	1,8	10,0	50	-23,0
TiFe _{0,85} Mn _{0,15} H _{1,9}	1,8	5,0	40	
TiMn _{1,5} H _{2,47}	1,8	7,0	20	-28,5
Ti _{0,8} Zr _{0,2} Cr _{0,8} Mn _{1,2} H _{3,6}	1,8	5,0	20	-28,9
Ti _{0,8} Zr _{0,2} Mn _{1,8} Mo _{0,2} H _{3,0}	1,7	≈58	20	-7,0
MmNi _{4,5} Mn _{0,5} H _{6,6}	1,5	≈58	50	-4,2
LaNi ₅ H _{6,7}	1,4	≈58	50	-7,2
MmNi ₅ H _{6,3}	1,4	493	50	-6,3
LaNi _{4,6} Al _{0,4} H _{5,5}	1,3	≈29	80	-9,1
TiCoH _{1,4}	1,3	≈15	130	-1,38

Metal hidridler sabit basınçta güvenli olarak hidrojeni depolama avantajını sunmaktadırlar. Metal hidrid depolama tanklarının ömrü direk olarak depolanan hidrojenin saflığına bağlıdır. Alaşımlar sünger gibi davranırlar ve hidrojen soğururlar, fakat aynı zamanda tanka hidrojen ile birlikte verilen farklı atık partikülleri de soğururlar. Sonuçta tanktan açığa çıkan hidrojen son derece saftır, fakat tankın ömrü ve hidrojen depolama yeteneği geride bıraktığı atıklar ve önceden hidrojen tarafından doldurulan metaldeki boşlukları doldurduğu için azalır.

2.4.2. Sıkıştırılmış hidrojen

Sıkıştırılmış gaz olarak basınçlı tanklarda depolama metodu iyi bilinen bir depolama yöntemidir. Hidrojen yüksek basınç tanklarının içine sıkıştırılır. Bu süreci gerçekleştirmek için enerji gereklidir ve sıkıştırılan gazın doldurduğu bu hacim genellikle oldukça geniştir. Bu hidrojenin geleneksel benzin tanklarına göre düşük enerji yoğunluğuna sahip olması ile sonuçlanır. Bir hidrojen gaz tankı bir benzin tankının depoladığı enerjiye eşit miktarda enerji ihtiva ettiğinde benzin tankından 3000 kez daha büyük olacaktır (15).

Hidrojen günümüzde genellikle 50 litrelik silindirik depolarda 200-250 bar basınç altında depolanmaktadır. Fakat depolama basıncı 600-700 bar' a kadar çıkabilmektedir. 50 litrelik tanklarda bile depolansalar hidrojen çok hafif olduğu için hacimsel enerji yoğunluğu çok düşüktür. Diğer taraftan yüksek basınçtan dolayı depolama tankları ağır olmaktadır (19).

Hidrojen çok yüksek basınç ve çok düşük sıcaklıklarda ideal gaz özelliği göstermektedir, dolayısıyla belli bir basınç ve sıcaklıktaki molekül sayısı ve kütlesi ideal gaz denkleminde hesaplanabilir.

$$n = \frac{PV}{R_u T} , \quad m = n M \quad [2.3]$$

bu denklemde, n ; hidrojenin mol sayısı, M ; molekül ağırlığı, R ; evrensel gaz sabitidir. Hidrojenden elde edilecek enerji,

$$E = m \Delta H \quad [2.4]$$

bağıntısı ile hesaplanabilir. Bu bağıntıdaki ΔH hidrojen gazının yanma ısını vermektedir ve bu değer hidrojen için 140 [MJ/kg]' dir.

Hidrojenin hacimsel enerji yoğunluğu,

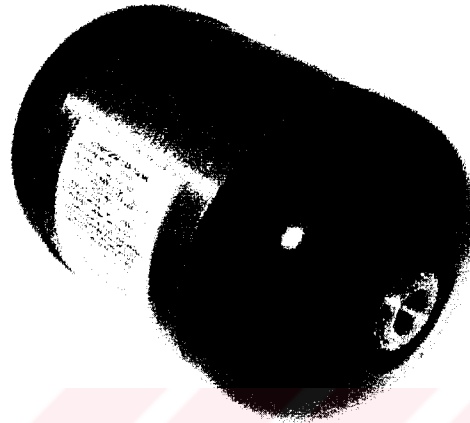
$$W_{Hacimsel} = \frac{E}{V} = \frac{\Delta HP}{nR_u T} = \frac{P \Delta H}{RT} \quad [2.5]$$

bağıntısı ile hesaplanır. Bu bağıntıda görüldüğü gibi enerji yoğunluğu basınçla artmaktadır. Fakat basınçtaki artış depo malzemesinin dayanımı ile sınırlıdır. MAN'ın hidrojen enerjisi ile çalışan deneme otobüsünün deposu 9 adet 172 litre hacimde ve 250 bar basıncında tanktan oluşmaktadır. Bu sistem 30 kg hidrojen gazı depolayabilmektedir. Bu gazdan 46 GJ'lük bir enerji elde edilmekte, fakat gazı 250 bar'a sıkıştırmak için 40 MJ enerji gerekmektedir (20).

Basıncılı kabın ağırlıkça enerji yoğunluğu depo malzemesinin cinsine bağlıdır. Çelik tankların ağırlıkça enerji yoğunluğu 0,45 Wh/kg'dır (21). Bu da yaklaşık olarak depolanan hidrojenin, deponun ağırlığının % 1,1'ne karşılık geldiğini göstermektedir.

Uygulamada basınçlı depo malzemesi olarak ostenitik çelik ve alüminyum alaşımları kullanılmaktadır. Fakat bu depoların dezavantajı çok ağır olmalarıdır. Depolanan hidrojenin tüm deponun ağırlığına göre oranı % 2-3 civarındadır. Depoların bu dezavantajları kompozit malzeme kullanılarak giderilebilir. Bu depolarda hidrojen ile temas eden ince bir metal tabakası ve

bunu takiben karbon fiberi ile güçlendirilmiş polimer zarf gelmektedir. Böyle bir kaptaki hidrojen ağırlık oranı % 5'e çıkmaktadır. Daha gelişmiş depolarda metal zarf yerine çok tabakalı polimer kullanılmaktadır.



Şekil 2.4. Hidrojen gazının depolanmasında kullanılan kompozit silindir (22).

Depolama tankı malzemesi olarak kompozit malzemelerin kullanılması gaz hidrojen depolamanın tekrar önem kazanmasına neden olmuştur (23). Karbon kompozit malzeme kullanarak Quantum Technology firması ağırlıkça %11,3 hidrojen miktarına (5,02 kWh/kg) ulaşmışlardır (23). Quantum Technology firmasının geliştirdiği depo Şekil 2.4'de görülmektedir.

Sıkıştırılmış gaz kullanan hidrojen taşıtına örnek olarak Daimler-Chrysler firmasının California yakıt pili programı kapsamında geliştirilen California-Necar verilebilir. Bu araca 35 MPa basıncında 3 hidrojen tankı yerleştirilmiştir. Bu tanklara sadece 1,8 kg hidrojen depolanabilmektedir. Aracın bu yakıtla alabileceği mesafe 110 km olmaktadır. Ayrıca Honda'nın hidrojen taşıtı FCX-V3 250 bar basınçta 100 litre hacminde yakıt deposu kullanmaktadır. Ford firması, yakıt-hücreli hidrojen aracı FOCUS FCV'de, yakıt olarak sıkıştırılmış hidrojen gazı kullanmaktadır. Ford firması bu aracı 2004'den sonra satışa sunmayı planlamaktadır (24).

Gazı sıkıştırmak veya sıvılaştırmak pahalıdır. Hidrojen yüksek basınç tanklarına sıkıştırılabilir, burada aynı hacime ilave edilen her bir ft^3 için 14,7 psi'lık diğer bir atmosfer basıncı gerektirir. Yüksek basınç tankları 6000 psi' kadar ulaşırlar ve bu yüzden periyodik olarak test edilmeli ve güvenlikleri denetlenmelidir (15).

Büyük miktarlarda hidrojen gazı ucuz ve kolay bir şekilde yeraltı mağaralarına depolanabilmektedir. Tuzlalar, maden yatakları, doğal mağaralar, hidrojen depolama amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin Almanya'nın Kiel şehrinde 1971'den beri 1330 m derinliğindeki bir mağarada hidrojen depolanmaktadır. Yeraltı mağaralarında hidrojen gazı basıncı 80-160 bar arasında değişmektedir. Hacimsel enerji yoğunluğu yaklaşık 250-465' kWh/m^3 'tür. Her yıl toplam hidrojenin yaklaşık % 1-3'ü mağaralardan sızıntı sebebiyle kaybolmaktadır (25).

2.4.3. Sıvı hidrojen

Hidrojen çevre koşullarında sıvı fazda bulunmaz, fakat oldukça düşük sıcaklıklarda sıvı halde bulunur. Hidrojen sıvı olarak 20 K'de saklanmalıdır. Hidrojeni sıvı olarak depolamak, öncelikle hidrojeni sıvı halde tutmak için gereken sıcaklığa getirmekle mümkün olur. Bu ise hidrojeni sıkıştırma ve soğutma süreci sonunda gerçekleşir. Soğutma ve sıkıştırma süreci için enerjiye ihtiyaç vardır. Sıvı hidrojenin depoladığı enerjinin yaklaşık % 30'u depolama sürecinde kullanılmaktadır. Depolama tankları sıcaklık değişimlerinden korunmak için yalıtılır ve basınç altında depolamak için mukavemeti güçlendirilirler (15).

Sıvı hidrojen depolama ile ilgili limitler, tank güvenliğini devam ettirmek ve sıvı hidrojenin gerektirdiği depolama sıcaklığını korumanın fonksiyonudur. Hidrojeni sıvı faza getirebilmek için gerekli olan enerji, depolama basıncı ve sıcaklığında uzun süre koruyabilecek olan tankı birleştiren sıvı halde hidrojen depolama diğer yöntemler ile karşılaştırıldığında oldukça pahalı bir

yöntemdir. Sıvı hidrojen depolama merkezli çalışmalar, kompozit tank malzemelerinin gelişimi yönünde daha hafif ve dayanıklı tanklar ile hidrojeni sıvılaştırmada geliştirilmiş metotlar şeklinde sonuçlanmaktadır (15).

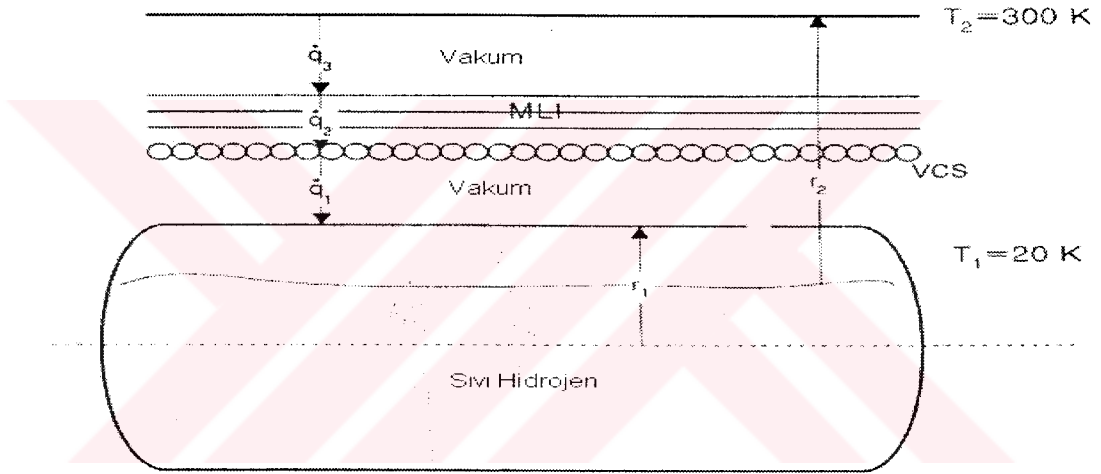
Sıvı hidrojen uzay teknolojisinde ve bazı roketlerde yakıt olarak uzun yıllardır kullanılmaktadır (26). Sıvı hidrojenin yoğunluğu 71 kg/m^3 'dür. 900 bar basınç altında sıkıştırılmış hidrojen gazı da bu yoğunluğa sahiptir. Hidrojeni sıvı olarak depolama metodunda gaz sıkıştırmaya göre çok daha düşük basınçlarda çalışıldığı için daha emniyetlidir. Fakat hidrojenin düşük sıcaklıklarda sıvı halde bulunması (20,25 K) dolayısıyla sıvı hidrojen depolarında ısı izolasyon ön plana çıkmaktadır. Ayrıca hidrojenin bu sıcaklığa soğutulması işlemi uzun zaman gerektirmektedir. Hidrojeni sıvılaştırmak için 11 kWh/kg enerji gerekmektedir. Bu enerji hidrojenin yakıt enerjisinin % 28'i civarındadır. Fakat hidrojenin kg başına en fazla enerji veren yakıt olduğu düşünülürse özellikle uzay araçları ve roketlerde sıvılaştırma masrafları göz ardı edilmektedir. Diğer taraftan sıvı hidrojenin depolanması da çok zordur ve pahalı depolar gerekmektedir. Ayrıca hidrojeni bu sıcaklıkta tutmak için çok kalın bir ısı izolasyonu gerekmektedir (27).

Sıvı hidrojen kroyojenik kabiliyete sahip bir basınçlı kapta saklandığında sadece basınçsız kaba göre 1/5 kadar bir izolasyon gerektirmekte daha fazla sıvı hidrojen depolamakta ve depolama süresi uzamaktadır (28, 29). Berry ve Aceves (29), yüksek basınçlı kapta saklanan sıvı hidrojenin kap içinde (taşıtta kullanılmazsa) kalma süresinin önemli ölçüde arttığını göstermiştir. Bu tip bir depoyu Daimler-Benz firmasının hidrojen ile çalışan aracı NECAR 4 kullanmaktadır (30).

Depolama tankı ile beraber sıvı hidrojenin ağırlıkça hidrojen oranı yaklaşık %26 civarındadır. Ağırlıkça enerji yoğunluğu $13,8 \text{ kWh/kg}$, hacimsel enerji yoğunluğu ise 2760 kWh/m^3 civarındadır (31).

Sıvı hidrojenin büyük tanklarda günlük olarak yaklaşık %0,06 ve küçük tanklarda %3 kadar bir kısmı buharlaşarak kaybolmaktadır. Bu durum iyi bir izolasyon ile azaltılabilir (32).

Bir sıvı hidrojen tankında aynı anda birden fazla izolasyon tekniği uygulanmaktadır. Bunlar vakum izolasyonu buharla soğutulan radyasyon kalkanı, çok katlı ısı izolasyondur. Bu izolasyon tabakaları Şekil 2.5'de gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Bir sıvı hidrojen deposunun şematik kesiti.

Vakum izolasyonu taşınım ve iletimle ısı transferini önlemek amacıyla yapılmaktadır. Taşınım ile ısı transferi yaklaşık olarak gaz yoğunluğu ve basıncı ile doğru orantılıdır. Gazlarda iletimle ısı transferi tamamen moleküler bir hareket olduğu için ortamdaki madde miktarının azaltılması iletimle ısı transferini önemli ölçüde azaltmaktadır.

General Motors geçen yıllarda yakıt pili ile çalışan HydroGen1 imal etmiştir ve bu araç temel olarak Opel Zafira'da kullanılmaktadır. Yakıt olarak sıvı hidrojen kullanılmaktadır. Aracın deposu 60 litre ve cam fiberle izole edilmiştir. Depo arka koltuğun altına yerleştirilmiştir. Volkswagen firmasının

aracı Bora Hymotion 49 litreli düşük sıcaklıkta sıvı hidrojen kullanmaktadır. Bu dolu depo ile 355 km yol alabilmektedir (24).

Çizelge 2.5. Hidrojen ile çalışan bir aracı 640 km götürmek için gereken hidrojen miktarları ve karşılaştırılması (33, 34).

Depo tipi	Hacim (litre)	Kütle (kg)	H ₂ (kg)	E/V (MJ/litre)	E/m (MJ/kg)	Çalışmadığı günler
300 bar basınç	200	31	5	3,4	22	Sınırsız
344 bar	237	37	5	2,5	16	
200 bar				1,4	9,2	
Sıvı H ₂	135	31	5	4,4	19	0-7

2.4.4. Bağ enerjisi olarak depolanan hidrojen

Evrende bol bulunan element olarak, hidrojen birçok bileşik içinde yer almaktadır. Bu bileşiklerin çoğu hidrojen depolama metodu olarak kullanılırlar. Hidrojen ihtiva eden kararlı bir bileşiği oluşturmak üzere kimyasal reaksiyon sonucunda hidrojen biraraya getirilir. İkinci reaksiyon hidrojenin serbest bırakılması ile oluşur ve bu hidrojen bir yakıt hücresinde kullanılır. Çalıştırılan gerçek reaksiyon depolama bileşiğinin türüne göre değişir.

Çeşitli tekniklerin bazı özellikleri amonyak çatlama, kısmi oksidasyon, metanol çatlama v.b. Bu metotlar, talep doğrultusunda hidrojen üretimi olduğundan, üretilen hidrojenin saklanması için gerekli bulunan depolama ünitesine olan ihtiyacı ortadan kaldırmaktadır (15).

2.4.5. Karbon ve nano tüpler

Karbon nano tüpler, iki nanometre olan mikroskopik karbon tüplerinde, tüp yapısı içinde ve tüp üzerindeki mikroskopik gözeneklerde hidrojeni depolarlar. Metal hidridlere benzer olarak, hidrojeni depolama ve serbest bırakma mekanizmasında, karbon nano tüplerin avantajı depolayabildikleri

hidrojen miktarıdır. Karbon nano tüpler kendi ağırlıklarının % 4,2'den % 6,5'e kadarını hidrojen ile depolama kabiliyetine sahiptirler.

Karbon malzemelerin gövde ağırlıklarının % 6,5'i oranında depolama kapasitesine sahip olması ulaşımda kullanım için çok pratik olacağını göstermektedir (15). Bugün karbon nano tüpler ve hidrojen depolama kapasiteleri araştırma geliştirme aşamasındadır. Bu umut verici teknoloji üzerindeki araştırmalar, imalat tekniklerinin geliştirilmesi ve karbon nano tüplerin ticari yönden ilerleyebilmesi için bu alanlara odaklanmış durumdadır.

Karbonun en çok bilinen iki formu elmas ve grafitir. Elmasta karbon atomları üç boyutta da simetrik olarak dizilmişlerdir. Grafit yapıda ise karbon atomları iki boyutlu hekzagonal yapıdadır. Karbon ayrıca başka yapılar da oluşturur;

- *Nano tüpler:* Tekli veya çoklu grafit yapının çok dengeli tüp halinde biraraya gelmesinden oluşmuşlardır. Nano ipler ise nano tüplerden meydana gelen çok güçlü iplikçiklerdir.
- *Nano fiberler:* Birçok grafit tabakasının bir araya gelerek oluşturdukları ipliksi yapıdır ve bu ipliklerin çapı genellikle 1 mikrometreden küçüktür.
- *Aktif karbon:* Tamamen saf grafitlerden oluşmuş parçacıklardır.
- *Karbon fiberler:* Yüksek karbon içeriğine sahip polimerlerdir.

Elmas kaplama, grafit fiber, nano-tüp iplikçileri formundaki karbon, yüksek ısı dengesi ve birim kesit başına yüksek mukavemetle ve yüksek basınçlara dayanıklı hafif tankların imalatında dikkati çekmektedir. Gözenekli bir maddenin mikro gözenekleri arasında (gözenek çapı 2 nm'den düşük) gazlar katı yüzeyler tarafından soğurulmaktadır (33-41).

2.4.5.1. Aktif karbon

Yüksek gözenekli ve dolayısıyla yüksek yüzey alanına sahip karbon yapı aktif karbon olarak adlandırılır. Hidrojen bu yapının makroskopik gözenekleri arasında depolanmaktadır. Fakat bu gözeneklerin yalnızca bir kısmı içine hidrojen atomu soğuracak kadar küçüktür. Genellikle depolama için basınç gerekir.

Düşük sıcaklıklarda ve 45-60 bar basıncında aktif karbon yapıya % 5,2 kadar hidrojen depolanabilmektedir. Oda sıcaklığı ve 60 bar basınçta bu oran % 0,5 düşmektedir (35). Aktif karbon depolama yönteminin pratik uygulamalarda kullanılması oldukça zordur.

Aktif karbon düşük sıcaklık ve yüksek basınçta önemli ölçüde hidrojen depolamaktadır (36). Gözenekli ve toz şeklindeki karbonun hidrojen soğurması karbonla hidrojen atomlarının ilgisinden kaynaklanmaktadır. Chahine ve arkadaşları (37) ve Young (36, 38) 5 bar basınç ve 77 K sıcaklığında bir litre karbona 35 g hidrojen emdirmeyi başarmışlardır. Bu kütleli olarak %10-15 hidrojen miktarına karşılık gelir.

Yakıt pili kullanan araçlarda önemli parametrelerden biri de deponun ne kadar zamanda doldurulabileceğidir. Schwarz (39) aktif karbon içeren bir deponun %4 hidrojen ağırlık oranının 20 dakikadan daha kısa bir sürede doldurulduğunu göstermiştir.

Aktif karbon sistemlerinin soğurma verimi metal hidridlerle aynı miktardadır. Deponun tasarımı, izolasyonu ve malzemenin pahalıya mal olması önemli dezavantajdır.

2.4.5.2. Karbon nano tüpler

Karbon, özellikle yüksek oranda gözenekli çok küçük parçacıklar haline getirilebilmesi ve karbon atomları ile gaz molekülleri arasında oluşan çekim kuvveti nedeniyle gaz depolamaya en elverişli maddelerden biridir.

Nano tüpler birçok özel üstün özelliklere sahiptirler. Örneğin elastiklik modülü çelikten beş kat daha fazladır. Ayrıca tüpün yapısına bağlı olarak bazıları yarı iletken bazıları da iletken olarak davranırlar. Bu özellikleri dolayısıyla nano-tüp kullanarak elektronik cihazları mikro ve nano boyutlara indirebilmek mümkündür.

Hidrojen, nano tüplere kimyasal veya fiziksel yollarla depolanmaktadır. Hidrojen tüp cidarlarının dışına H-C bağıyla bağlanarak veya tüpün içine H-H bağlarıyla bağlanarak depolanmaktadır. Hidrojenin tüpün iç yapısında soğurulması (absorbsiyonu) mümkün fakat kararlı bir yapı oluşturmamaktadır (40).

İki veya daha fazla tek tüp Van der Waals çekim kuvveti ile birleştirilerek çok cidarlı nano tüpler oluşturulabilir. Bu yapıda hidrojen tüp cidarları arasında depolanmaktadır. Hidrojen tüplerin çapının büyümesine neden olmakta bu nedenle çok cidarlı nano tüpler tek cidarlı tüplere nazaran daha kararsız bir yapıya sahiptirler (41).

Karbon nano tüpleri 1991'de Lijima (42) tarafından geliştirilmiştir. Karbon nano tüpler cidarların yapısına göre sınıflandırılmaktadır.

- 1- Tek cidarlı (SWNT)
- 2- Çok cidarlı nano tüpler (MWNT)

Tek cidarlı nano tüpler çapı ve boyu birkaç mikrometreden oluşan grafit levhalardan oluşmaktadır. Birçok nano yapı 10 ila 100 paralel tüpün biraraya

gelmesinden oluşan iplikçiklerdir. Nano tüpler katalitik Ni-Y karışımı bulunduğu ortamda deşarj metodu ile üretilmektedir. Fakat üretim sırasında sistemde başka formlarda karbon yapı ve metalik parçacıklar da oluşmaktadır. Bu yapılar birçok metotla elimine edilip saf karbon nano yapı elde edilir.

Karbon nano tüplerde hidrojen soğurulması katı karbon yüzeylerin yakınlarında gerçekleşmektedir. Soğurma işlemi karbon atomlarının hidrojen moleküllerine uyguladığı Van Der Wall's kuvveti ile gerçekleşmektedir. Bu nedenle soğurma işlemi kimyasal değil fiziksel bir olaydır.

Verilen bir sıcaklıkta soğurularak depolanan hidrojen miktarı sadece basıncın bir fonksiyonudur. Basınç düşürüldüğünde istenilen miktarda hidrojen açığa çıkar. Nano yapı basınçlı tanklarda kullanılmakta dolayısıyla soğurulan hidrojen gaz halinde depolanan hidrojene katkı sağlamaktadır.

Dillion ve arkadaşları (43), tek cidarlı nano tüplerde hidrojen soğurulmasını deneysel olarak incelemişlerdir. Yapılan çalışmalar (40,41) tek cidarlı nano tüplerin ağırlıkça % 14'e kadar hidrojen depoladığını göstermiştir. Fakat çok cidarlı nano tüplerde bu miktar % 7,7'ye düşmektedir. Chen ve arkadaşları (44) içerisine alkali element yerleştirilen nano tüpler atmosferik basınçta %20 ağırlık oranında hidrojen depolayabileceğini göstermiştir. Fakat bu yapı ortam sıcaklığında kararlı değildir. Kararlı yapı için yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmaktadır. Alleman ve arkadaşları (45) tek cidarlı nano tüplere 0,67 bar basınç ve 600 K sıcaklıkta % 7 ağırlık oranında hidrojen depolamıştır. Cheng ve arkadaşları (46) atmosferik basınç ve oda sıcaklığında nano tüplere % 3,3 ağırlık oranında hidrojen depolanabileceğini göstermişlerdir. Bu oran az bir ısıtma ile % 4,2'ye çıkmaktadır.

Nano tüplerin en büyük dezavantajları üretim maliyetlerinin oldukça yüksek olmasıdır. Şu anda nano tüplerin fiyatı 100-1000 \$/g civarında değişmektedir.

Fakat yakın bir gelecekte yeni ve ucuz üretim yöntemlerinin gelişmesiyle nano tüpler yaygın olarak kullanılabilir olacaktır.

Katı ve sıvı fazlar arasındaki çekim kuvvetleri nedeniyle nano tüplerde soğurulan hidrojen, normal şartlarda hidrojen gazının sahip olduğu yoğunluktan çok daha yoğundur. Yüksek basınçlarda, mikro gözeneklerdeki hidrojen standart sıvılaştırma sıcaklığından çok daha yüksek sıcaklıklarda yoğunlaşabilmektedir. Bu da sistemin depolama kapasitesini önemli ölçüde arttırmaktadır (47). Bu sıcaklık 55 bar'da 77 K kadar çıkabilmektedir (38). Dillon ve arkadaşları (43) tek cidarlı karbon nano tüplerin oda sıcaklığında (300 K) aynı miktarda hidrojen soğurduğunu gözlemlemiştir. Rodriguez ve arkadaşları 20 bar basınç altında karbon nano fiberlere ağırlıklarının % 70'i kadar hidrojen depolamayı başarmaları yakıt pilleri kullanan taşıt endüstrisinde önemli bir gelişme oluşturmuştur. Tan ve arkadaşları (48), atmosfer basıncı ve oda sıcaklığında nano grafit fiberler içine ağırlıkça % 14 hidrojen depolamayı başardığını açıklamışlardır. Bu bulgular pratiğe uygun maliyetle kullanılabilirse, bu durum hidrojen ile çalışan araçlarda önemli bir gelişme olacaktır. 1997'den sonra nano tüp sentezleme ve saflaştırma metodlarındaki gelişmelerle çok daha saf ve kaliteli nano tüp sistemleri elde edilebilmektedir: Liu ve grubu (49) değişik bir saflaştırma metodu ile elde ettiği nano tüplere % 8 oranında hidrojen depolamıştır. Ye ve grubu (50) özel bir teknikle nano tüplerin uçlarını kapatarak hidrojenin tüpün içine girmesini engellemiş ve bu durumda hidrojen soğurma miktarı arttırılmıştır.

Çok cidarlı nano tüpler eş merkezli nano tüplerden oluşmaktadır. Bu tüplerin sayısı 2'den 50'ye kadar çıkabilir. Çok cidarlı nano tüplerin çapları 2-20 nm ve boyları da yaklaşık olarak 1 μm 'dir.

Çizelge 2.6'da bazı karbon nano tüp sistemlerinin depo olarak kullanıldığında gerekecek kütle ve işgal edeceği hacim verilmiştir. Görüldüğü gibi özellikle Li emdirilmiş nano tüplerin işgal ettikleri hacim önemli ölçüde azalmaktadır.

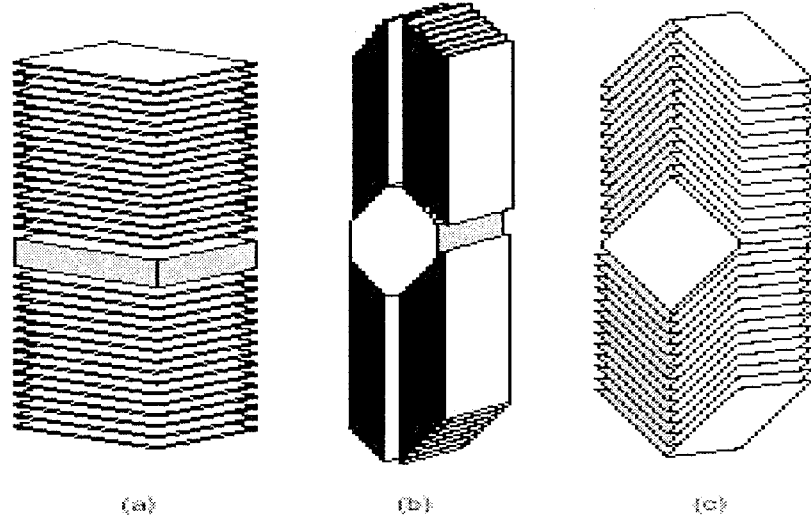
Çizelge 2.6. 640 km mesafe için bazı nano karbon tabanlı depoların özellikleri (44)

Depo	Hacim (litre)	Ağırlık (kg)	H ₂ (kg)	E/V (MJ/litre)	E/m (MJ/kg)
Li emdirilmiş karbon nano fiber	33	43	5	15	11
Li emdirilmiş grafit	23	66	5	22	7,8
K emdirilmiş karbon nano-fiber	51	66	5	10	7,8
K emdirilmiş grafit	118	206	5	4,8	2,8
30 wt% karbon nano fiber	24	35	5	28	19
Tek cidarlı nano tüp			5	3,4-6,0	1,9-4,7

2.4.5.3. Grafit nano fiberler

Karbon ve nano fiberler hidrokarbonlar veya karbon monoksitin metal katalizörler üzerinde ayrıştırılması ile elde edilirler. Fiberler belli bir yönde yerleştirilmiş grafit parçalardan oluşmuştur. Nano fiberlerin boyları 5-100 mikron ve çapları 5-100 nm arasında değişmektedir. Bu elemanların birleştirilmesiyle birçok farklı şekiller elde etmek mümkündür. Nano fiberlerin belki de en önemli özellikleri birçok köşelerinin olmasıdır. Bu köşeler özellikle soğurma olayı için fiziksel veya kimyasal etkileşim bölgeleri oluşturmaktadır. Karbon nano tüplerin bir çok uygulama alanları vardır. Bunlar, seçici soğurma elemanı, katalitik destek elemanı, vb (51). Literatürde karşılaşılan nano fiber türleri Şekil 2.6'da görüldüğü gibi 3 ayrı gruba ayrılabilir.

1. Levha yapısı
2. Şerit
3. Balık kılıcı



Şekil 2.6. Karbon nano-fiberler: (a) Levha yapı, (b) Şerit yapı, (c) Balık kılıçığı.

Nano fiberlerde hidrojenin soğurulmasını etkileyen en önemli faktör yüksek yüzey alanıdır. Hidrojen grafit tabakaları arasında yerleşir. Rodriguez ve arkadaşları (51,53) özellikle levha ve balık kılıçığı yapıdaki karbon nano fiberlerin % 50-60 oranında hidrojen depolayabildiğini rapor etmişlerdir. Fakat aynı sonuçları elde etmeye çalışan Ahn ve arkadaşları (54) sadece % 0,08 oranında hidrojen depolamayı başarmışlardır. Aradaki farkı Rodriguez ve arkadaşları kullandıkları su buharı ile açıklamışlardır. Kullandıkları su buharı karbon tabakalar arasında genişleterek birkaç katman halinde hidrojen depolanmasına imkan vermiştir.

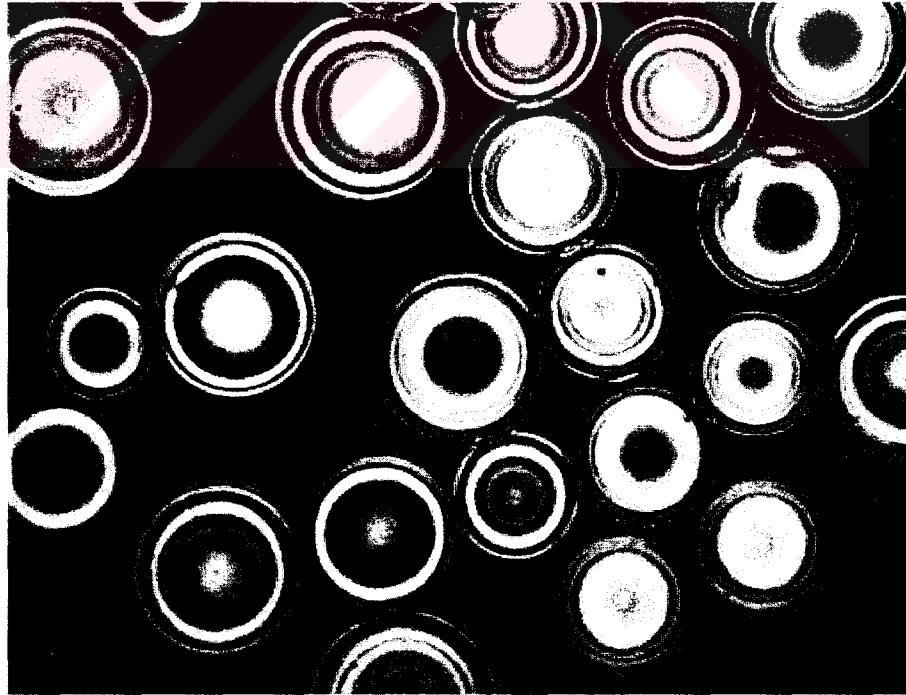
Gupta ve Srivastava (55) ısı parçalama metodu ile nano fiberlere % 10 ağırlık oranında hidrojen depolamayı başarmıştır. Fan ve arkadaşları (56) yine su buharı ile genişletilmiş fiberlere % 13 oranında hidrojen depolamıştır.

Yapılan birçok çalışma ortam sıcaklığı ve 100 bar civarındaki basınçla nano-fiberlere % 0,7-1,5 arasında hidrojen depolanabildiğini göstermişlerdir (57-58). Nano fiberleri üzerine dünyada yoğun çalışmalar devam etmektedir.

2.4.6. Cam mikro kürecikler (glass microspheres)

İçi boş küçük cam küreler güvenli olarak hidrojeni saklamak için kullanılabilirler. Cam küreler çapları 25 μm ve 500 μm arasında değişen cam baloncuklardır. Çeper kalınlıkları 1 μm civarındadır. Bu kürelere yüksek basınç ve 200-400 $^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta hidrojen depolanmaktadır. Yüksek sıcaklık cam cidarını geçirgen hale getirmektedir. Cam küreler duvarların geçirgenliğini artırmak için ısıtılır ve yüksek basınç hidrojen gazı içine daldırılarak doldurulurlar. Daha sonra, hidrojeni cam kürelerin içinde saklayabilmek için, küreler soğutulur. Ardından sıcaklıktaki bir artış küreler içindeki hapsedilen hidrojeni açığa çıkaracaktır (15, 59).

Mikroküreler oldukça güvenli olan bir potansiyele sahiptirler, kirlenme sorunu yoktur ve güvenlik toleransını artıran düşük basınçta hidrojen içerirler (15).



Şekil 2.7. Mikro kürecikler içinde hidrojenin yüksek basınçta saklanması (60).

CEA tarafından güç lazerleri üzerinde yapılan deneyler sırasında geliştirilen, hidrojenin yüksek basınçta mikro kürecikler içinde depolanması gelecekte kullanılabilir tekniklerden biridir (15).

2.4.7. Sıvı taşıyıcı depolama (liquid carrier storage)

Bugünkü toplumda yaygın olan, fosil yakıtlar içinde mevcut bulunan hidrojen için kullanılan teknik bir terimdir. Her ne zaman benzin, doğalgaz, metanol v.b. hidrojen için kaynak olarak kullanılırsa, fosil yakıtları geliştirmek gerekir. Geliştirme süreci, orijinal fosil yakıttan hidrojeni çıkarır. Geliştirilmiş hidrojen bazı tip yakıt hücrelerini olumsuz yönde etkileyen aşırı karbon monoksitten temizlenir ve yakıt hücresi tarafından kullanılır.

Geliştiriciler (reformers) bu aralar, bu alanda prototip üzerinde çalışan birçok şirketle testlerin beta aşamasındadırlar (15).

2.4.8. Hidrokarbonlar

Metanol, etanol gibi hidrokarbonlu yakıtlar birim hacimde ve aynı basınçta saf sıvı hidrojenden daha fazla hidrojen içermektedirler (61). Hidrokarbonlardan yüksek sıcaklıktaki su buharı kullanılarak hidrojen ayrıştırılabilir. Bu işlem sonucunda içerisinde % 70-75 oranında hidrojen olan yakıt jeti, karbondioksit, karbon monoksit, ve su oluşur (62). Metanol diğer hidrokarbonlu yakıtlara göre çok daha kolay şekilde yaklaşık 200-300 °C'de ayrılmakta ayrıca daha az emisyon oluşturmaktadır. Bu yakıtların kullanılabilmesi için sülfür oranı 0,5 ppm'den küçük olmalıdır. Ayrıca platin elektrot kullanan yakıt pillerinde karbon monoksitin giderilmesi için ayrı bir ayrıştırma işlemi uygulanması gerekmektedir.

Metanol ve hidrokarbonlu yakıtlar ilk nesil hidrojenli araçlar için iyi bir alternatif oluşturmaktadır. Metanol kullanımı ile ağır, pahalı hidrojen depoları ve hidrojen gazı dolum istasyonlarına gerek kalmayacaktır. Diğer taraftan metanolün atmosferik şartlarda sıvı olması nedeniyle şu anda kullanılan

benzin dolum altyapısını kullanma imkanı vardır. Bu yakıtın en önemli dezavantajı araca yerleştirmek zorunda olunan geliştirici cihazıdır. Bu cihaz hem sistemi daha kompleks hale getirmekte hem de masraflarını artırmaktadır.

Çizelge 2.7. Yakıt olarak hidrokarbon kullanan bir taşıtın deposunun 640 km mesafe için karşılaştırılması (33).

Depo tipi	Hacim (litre)	Ağırlık (kg)	E/V (MJ/litre)	E/M (MJ/kg)
Metanol	62	46	11	11
Benzin	39	29	17	23
Hidrokarbon			16-32	15-35

Daimler-Chrysler son çıkardığı hidrojenle çalışan araçlar NECAR 5 ve Commender 2 jipi metanol kullanmaktadır. İlk nesil hidrojen araçlarının gaz ve sıvı hidrojen kullandığı fakat bu iki yakıt cinsinin alt yapı eksikliği dolayısıyla metanol kadar yaygın olmayacağı, metanol kullanan araçların mevcut dolum istasyonlarını kullanacağı için kullanıcılar alışkanlıklarını değiştirmeden yeni sisteme adapte olabilecekleri düşünülmektedir (30). Necar 5'in metanol ayrıştırıcı sistemi 280°C'de çalışmaktadır. Daimler-Chrysler, yakıt pili araçlarında metanol kullanmaya başlamış olmasına rağmen metanol yerine direkt benzin ve ayrıştırıcı kullanan sistemler üzerinde araştırmalar yürütülmektedir. Ford firması da metanol yerine normal benzin kullanmayı planlamaktadır. Çizelge 2.7'de benzinle metanol karşılaştırılmıştır. Görüldüğü gibi benzinin enerji yoğunluğu daha fazla olduğu için depo boyutları ve ağırlığı metanole göre önemli ölçüde azalmaktadır. Hidrojen-yakıt pili sistemlerinde benzin bile kullanılsa CO₂ emisyonu içten yanmalı motorlara göre aynı enerji miktarı için en az % 50 azalmaktadır (63).

Bockris (63) hidrokarbon yakıt pili sistemlerindeki CO₂ emisyonunu sıfıra indirmek için atmosferdeki CO₂'nin kullanımını önermektedir. Bu metotla havanın CO₂'si KOH ile reaksiyona girerek karbon karışımı oluşturmakta ve

elde edilen bileşikten hidrojen ve CO₂ elde edilmektedir. Fakat metanol oluşumu için 3 hidrojen 1 CO₂ molekülü gerekmektedir. Kalan iki hidrojen molekülünün suyun elektrolizi ile elde edilmesini önermektedir.

Metanolü direkt kullanan yakıt pili teknolojisi aracı üzerinde yakıt ayrıştırma sistemi bulunan sistemlere göre oldukça basitleştirmekte fakat bu teknoloji halen gelişme aşamasındadır. Bu teknolojinin 2010'dan önce tam anlamıyla kullanılabilir hale gelmesi zor görünmektedir. Direkt metanol kullanan yakıt hücreleri atık olarak su ve bir miktarda hidrokarbon çıkarmaktadır. Dolayısıyla henüz sıfır emisyon teknolojisi demek zordur.

2.4.9. Sentetik karbon

Sentetik karbon molekülleri genellikle top şeklindedir ve formülleri C₆₀, C₇₀'dir. Bu moleküller



şeklinde reaksiyona girerler. Bu yapıların en kararlıları, C₆₀H₂₄, C₆₀H₃₆ ve C₆₀H₄₈ 'dir. C₆₀H₄₈ ağırlıkça % 6,3 oranında hidrojen depolayabilmektedir.

Chen ve arkadaşları (64), sentetik karbonların 25 bar basınç ve 180 °C civarında sıcaklıkta % 6 hidrojen depolayabildiğini göstermiştir. C ve H atomları arasındaki atomik bağ çok güçlü olduğu için hidrojeni tekrar geri alabilmek için yaklaşık 400 °C sıcaklık gereklidir.

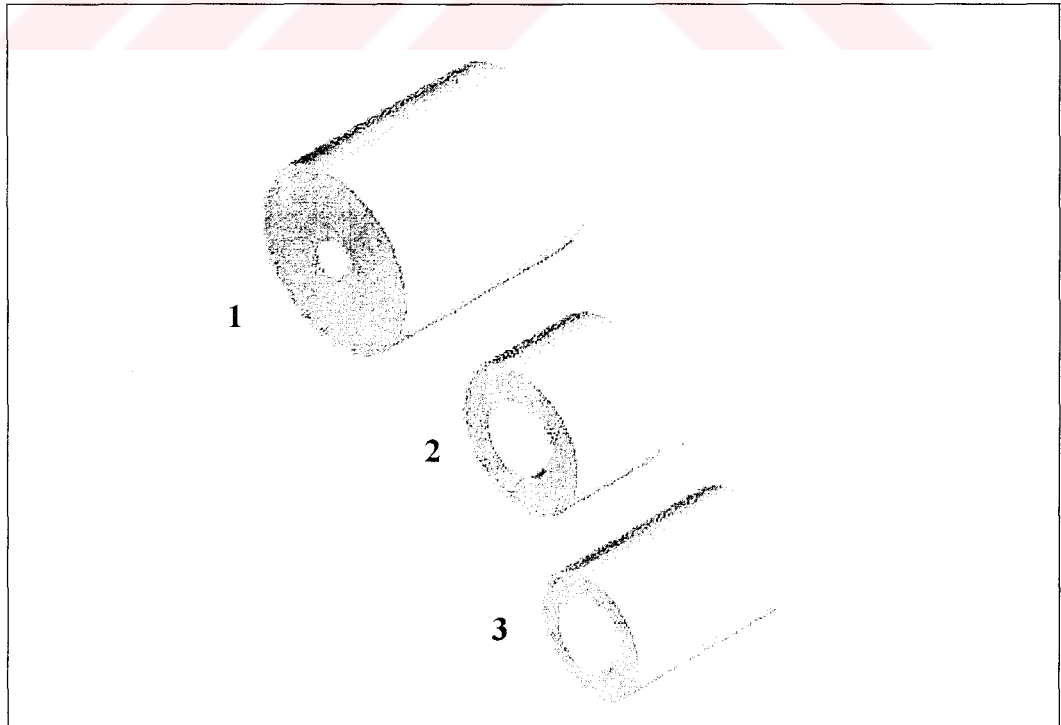
3. MATEMATİKSEL MODEL

3.1. Geometri

Çözümü yapılan problemde başlangıçta seçilen geometrinin boyutları Şekil 3.1'de 1 ile gösterildiği gibi iç yarıçap $R_i=5$ mm, dış yarıçap $R_o=25$ mm, yükseklik $H=60$ mm olarak belirlenmiştir. Şekildeki geometri 2'de $R_i=10$ mm, $R_o=20$ mm, yükseklik $H=30$ mm olarak, geometri 3'de ise $R_i=10$ mm, $R_o=17$ mm, $H=50$ mm olarak seçilmiştir. Yukarıda belirtilen üç ayrı geometriye ait boyutlar Çizelge 3.1'de verilmiştir. Aynı zamanda bu üç geometrinin üç boyutlu izometrik görünümleri Şekil 3.1'de görülmektedir.

Çizelge 3.1. Seçilen geometrilerin boyutları

Boyut (mm)	Geometri-1	Geometri-2	Geometri-3
R_i	5	10	10
R_o	25	20	17
H	60	30	50



Şekil 3.1. Geometri-1, geometri-2 ve geometri-3 üç boyutlu görünümleri.

3.2. Kabullenmeler

Literatürdeki sayısal çalışmaların çoğunda, hidrid/dehidrid süreçleri bir iç ısı kaynağı bulunan zamana bağımlı ısı iletim problemi ve değişken fiziksel parametreler olarak kabul edilmiştir.

Analizde problemi basitleştirmek için aşağıdaki varsayımlar yapılmıştır :

- i) Sıcaklık ve konsantrasyon r ve z eksenleri boyunca değişmektedir,
- ii) Başlangıçta hidrojenin ve metal yatağın sıcaklığının sabit ve eşit olduğu,
- iii) Metal yatağın gözenekliliğinin homojen ve sabit olduğu,
- iv) Metal yatağın soğutulan iç ve dış yüzeylerindeki ısı transferi katsayılarının sabit olduğu,
- v) Metal yatağa şarj edilen hidrojen ile şarj edilen sınır yüzey arasındaki ısı transferi katsayısının sabit olduğu,

varsayılmıştır.

3.3. Fiziksel Soğurma (absorpsiyon)

Fiziksel soğurma olayı ilk kez 1814'de Saussure tarafından tanımlandı. Deneylerinde, aktive edilmiş karbon partikülleri klor içeren küçük bir şişeye konuldu. Daha sonra şişedeki gazın yeşil rengi kaybolduğu gözlemlendi. Şişenin ısıtılmasıyla yeşil renkteki klor gazı tekrar ortaya çıktı. Bu katı yüzey üzerinde gazın toplanması olayı "soğurma (absorpsiyon)" olarak bilinmektedir (65).

3.4. Gözeneklilik

Gözeneklilik (ϵ) veya hacimsel gözeneklilik bir makroskopik gözenekli ortamın özelliğidir. Gözenek hacminin (V_v), ortamın toplam hacmine (V_b) oranı olarak tanımlanır.

$$\epsilon = \frac{V_v}{V_b} = \frac{(V_b - V_s)}{V_b} \quad [3.1]$$

V_s , hacim içindeki katının hacmidir. Gözeneklilik boyutsuz bir özelliktir ve yüzde olarak ifade edilir.

3.5. Darcy Yasası

Homojen gözenekli ortamdan viskoz akışları belirlemek için Darcy tarafından 1856 yılında deneyler yapılmış ve deneyler Darcy yasası ile sonuçlanmıştır. Gözenekli ortamda gaz akışını tanımlayan çeşitli modeller vardır. Bunların arasında, kılcal boru modeli en basit olarak düşünülebilir. Bu modelde, gözenekli bölge, tüp demetinin geçirgenliği gerçek ortaminkine eşit olan doğru dairesel kılcal tüpler ile karakterize edilir. Böylece, doğru şeklindeki dairesel tüplerden yalnız biri için basınç kaybı kararlı bir boru içinde akış için kullanılan Hagen-Poiseuille eşitliği ile tanımlanabilir. Bununla birlikte Darcy yasası eylemsizlik etkilerini dikkate almaz (65). Darcy'nin deney düzeneğinin şematik görünüşü Şekil 3.2'de verilmiştir. Homojen filtre yatak (homogeneous filter bed) test kesitinde L boyunda ve sabit A kesit alanlı sıkıştırılmaz akışkan ile doldurulur. Verilen akış oranı (debi) için basınç farkı manometredeki akışkan seviyesinin farkı olan Δh ile ölçülür. Deneysel değişkenleri değiştirerek, Darcy yasası

$$Q = -\frac{KA\Delta h}{L} \quad [3.2]$$

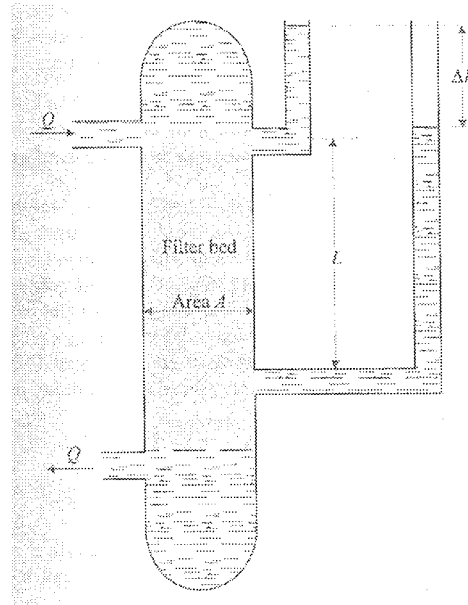
şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdaki Q hacimsel debi ve K gözenekli bölgenin ve akışkanın özelliklerine bağlı bir sabittir. Bu eşitlikteki Δh , basınç farkı ΔP ile bağlantılı olarak ifade edilebilir. Buna ek olarak, gözenekli bölgenin etkisini akışkanın etkisinden ayırabilmek için K sabiti, gözenekli bölgenin özgül geçirgenliğinin (k) akışkanın mutlak viskozitesine (μ) oranı olarak yazılabilir. Böylece Eş.3.2

$$Q = -\frac{k}{\mu} A \frac{\Delta P}{L} \quad [3.3]$$

şeklini alır ve differansiyel formda ise,

$$U = -\frac{k}{\mu} \frac{dP}{dz} \quad [3.4]$$

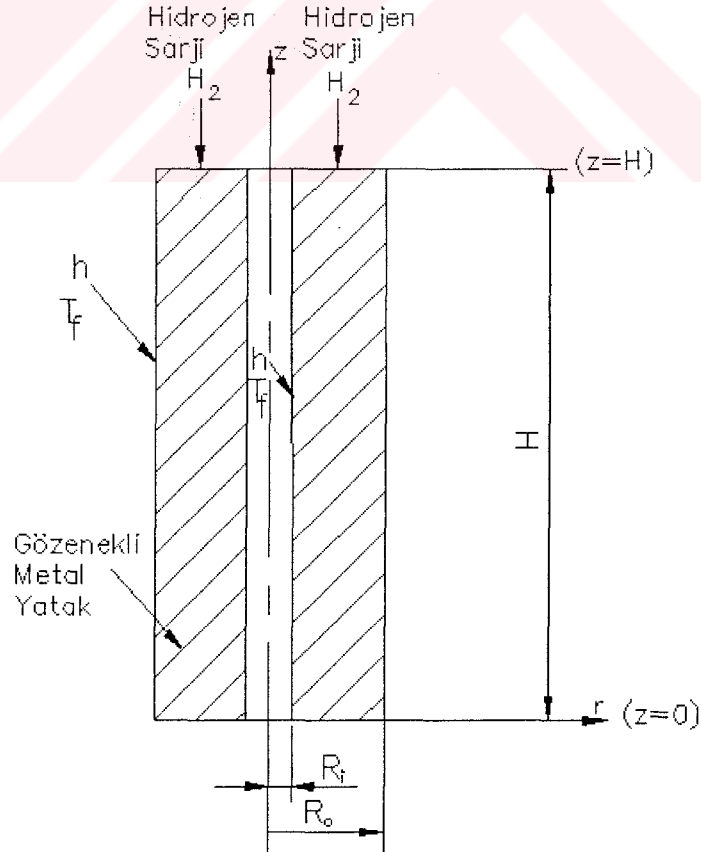
şeklinde yazılır. Burada U akışkanın yüzeysel hızıdır. Bu yukardaki son iki eşitlik Eş. 3.3 ve Eş. 3.4 Darcy yasasının en sık kullanılan biçimleridir. Darcy yasasının analizinde yerçekimi etkileri ihmal edilmiştir (65).



Şekil 3.2. Darcy'nin süzme deneyinin şematik diyagramı (65)

3.6. Matematik Modelde Kullanılan Denklemler

Metal-hidrid oluşumu için ilk olarak Şekil 3.3'de gösterilen bir metal ortam model olarak seçilip, incelenmiştir. Bu sistemlerden birinin boyutlarını deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırmak için Jemni (9,10) kullandığı 25 mm yarıçapında ve 60 mm yüksekliğinde gözenekli LaNi_5 alaşımdan yapılmış bir tanka benzer şekilde seçilmiştir. Bu metal yatak hidrojenin soğurulması esnasında açığa çıkan ısıyı ortamdaki atabilmek için hem iç yüzeyden hemde dış yüzeyden soğutucu akışkan ile soğutulmuştur. Model aksel yönde simetrik geometriye sahiptir ve Şekil 3.3'de görülen içi boş silindirin kesiti alınan metal yatağın aksel yönde yarısı için modelleme yapılmıştır. Ayrıca, yerçekimi etkisi ihmal edildiğinden hidrojen şarjının üst veya alt yüzeyden yapılması sonuçları etkilemeyecektir. Metal-hidrid yataklarda hidrojen soğurulmasını karakterize eden diferansiyel denklemler aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.3. Analizde kullanılan metal hidrid yatak geometrisi.

Hidrojen depolamak için metal yatak içinde ve yüzeyinde temel denklemler ısı ve kütle transferi ve kimyasal reaksiyonu karakterize eden denklemlerdir.

Hidrojen için, silindirik koordinatlarda iki boyutlu kütle korunumu denklemi

$$\varepsilon \frac{\partial \rho_g}{\partial t} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \rho_g u_r) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_g u_z) = -\dot{m} \quad [3.5]$$

şeklinde ifade edilir.

Katı metal yatak için kütle dengesi yazılmak istenirse, katının yoğunluğundaki değişim bize kütle değişimini verecektir :

$$(1 - \varepsilon) \frac{\partial \rho_s}{\partial t} = \dot{m} \quad [3.6]$$

Gözenekli ortamdaki problemin çözümünde momentum denklemleri yerine Darcy yasası uygulanır ve gaz hızları Darcy yasası kullanılarak hesaplanmaktadır. Eş. 3.4'te verilen Darcy yasası tekrar yazılırsa,

$$U = - \frac{k}{\mu_g} \frac{dP}{dz} \quad [3.7]$$

Bu ifadedeki μ_g hidrojenin moleküler viskozitesi, k gözenekli ortamın geçirgenliğidir.

Enerji denklemi ise,

$$\begin{aligned} (\rho C_p)_e \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r k_e \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_e \frac{\partial T}{\partial z} \right) - (\rho_g C_p u_r) \frac{\partial T}{\partial r} - (\rho_g C_p u_z) \frac{\partial T}{\partial z} \\ + \dot{m} (\Delta H - T (C_{pg} - C_{ps})) \end{aligned} \quad [3.8]$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdaki u_r , u_z sırasıyla r ve z yöndeki hız bileşenleridir. ρ_e , C_{pe} , k_e ve \dot{m} sırasıyla efektif yoğunluk, özgül ısı, ısı iletim katsayısı ve hidrojen soğurma miktarıdır. Bağıntıdaki $(\rho C_p)_e$ değeri;

$$(\rho C_p)_e = (\varepsilon \rho_g C_{pg} + (1-\varepsilon) \rho_s C_{ps}) \quad [3.9]$$

bağıntısı kullanılarak hesaplanır. Buradaki ε ortamın gözenekliliğidir. Etken ısı iletim katsayısı,

$$k_e = \varepsilon k_g + (1-\varepsilon) k_s \quad [3.10]$$

bağıntısı ile ifade edilir. Bu bağıntıdaki k_g gaz fazının, k_s ise katı fazının ısı iletim katsayısıdır. Jemni ve Nasrallah (9-11) hidrojen soğurma miktarının reaksiyon oranıyla doğrudan ilgili olduğunu açıklamıştır ve bunu

$$\dot{m} = -C_a \exp\left(-\frac{E_a}{RT_s}\right) \ln\left(\frac{P_g}{P_{eq}}\right) (\rho_{ss} - \rho_s) \quad [3.11]$$

bağıntısı ile ifade etmiştir. Bu bağıntıdaki C_a malzemeye bağlı sabit, ρ_{ss} katı fazın doymuş şartlardaki yoğunluğu ve P_{eq} denge basıncıdır. Denge basıncı van't Hoff denklemi ile,

$$\ln P_{eq} = A - \frac{B}{T} \quad [3.12]$$

şeklinde ifade edilir. Bu bağıntıdaki A ve B malzeme sabitleridir ve değerleri $A=100.75$ ve $B=31896.25$ olarak önerilmiştir (9-11).

3.7. Başlangıç ve Sınır Şartları

Başlangıçta, hidrid yatağın homojen sıcaklık ve basınçta olduğu, aksenel yönde herhangi bir gaz şarjının başlamadığı, gaz ve katı yoğunluğunun sabit olduğu kabul edilmiştir.

$$t = 0 \text{ 'da } P(T_0,0)=P_0, \quad T(r,z,0)=T_0, \quad u_z = 0, \quad \rho_g=\rho_{g0}, \quad \rho_s=\rho_{s0} \quad [3.13]$$

Silindirik hidrid yatağın iç ve dış yüzeyleri, sıcaklığı T_f olan soğutucu akışkan ile soğutulmakta ve $R_o > r > R_i$ aralığındaki üst yüzeyden sabit basınç ve konsantrasyonda $20 \text{ }^\circ\text{C}$ 'deki hidrojen gazı şarj edilmektedir. Buna göre sınır şartları aşağıdaki şekilde yazılabilir :

Basınç ve sıcaklık için,

$$\text{Silindirin } z = 0 \text{ 'da } \frac{\partial T}{\partial z}(r,0) = 0, \quad \frac{\partial P}{\partial z}(0,t) = 0 \quad [3.14]$$

İç boş silindirin iç ve dış yüzeylerinden taşıma ile olan ısı transferi için sınır şartları;

$$\text{Silindirin iç yüzeyinde (} r = R_i \text{ 'de) } -k \frac{\partial T}{\partial r}(R_i, z, t) = h [T(R_i, z, t) - T_f] \quad [3.15]$$

$$\text{Silindirin dış yüzeyinde (} r = R_o \text{ 'da) } -k \frac{\partial T}{\partial r}(R_o, z, t) = h [T(R_o, z, t) - T_f] \quad [3.16]$$

şeklinde yazılır. Bu bağıntıdaki h gözenekli metal yüzeydeki ısı transferi katsayısıdır.

Hidrojenin şarj edildiği girişte, şarj edilen hidrojen sıcaklığı başlangıçta sabit olarak kabul edilmesine karşın metal yataktaki hidrojen soğurulması sonucunda açığa çıkan ısıdan dolayı metal yatak ısınmaktadır. Bu yüzden, hidrojenin şarj edildiği giriş yüzeyinde, metal yatak ile hidrojen arasında bir ısı

transferi katsayısına ihtiyaç vardır. Bu ısı transfer katsayısı $h_{z=H}$ olarak tanımlanırsa sınır şartı,

$$z = H \text{ 'de } -k \frac{\partial T}{\partial z}(r, H, t) = h_{z=H} [T(r, H, t) - T_{H_2}] \quad [3.17]$$

şeklinde yazılabilir. Eş. 3.15, Eş. 3.16 ve Eş. 3.17 yeniden düzenlenirse, içi boş silindirin iç yüzeyindeki sınır şartı aşağıdaki şekli alır.

$$r = R_i \text{ 'de } -k \frac{\partial T}{\partial r}(R_i, z, t) + hT(R_i, z, t) = hT_f \quad [3.18]$$

Aynı şekilde silindirin dış yüzeyindeki sınır şartı,

$$r = R_o \text{ 'da } -k \frac{\partial T}{\partial r}(R_o, z, t) + hT(R_o, z, t) = hT_f \quad [3.19]$$

ve hidrojenin şarj edildiği yüzeydeki sınır şartı ise,

$$z = H \text{ 'de } -k \frac{\partial T}{\partial z}(r, H, t) + h_{z=H} T(r, H, t) = h_{z=H} T_{H_2} \quad [3.20]$$

şeklinde elde edilirler.

4. SAYISAL YÖNTEM ve PHOENICS YAZILIMI

Çözüm metodu problemi karakterize eden diferansiyel denklemlerin sonlu kontrol hacmi üzerinden integrasyonu ve genel cebirsel forma dönüştürülmesini içerir. Genel cebirsel hal,

$$a_p \phi_p = \sum a_k \phi_k + a_o \phi_p^o + b \quad [4.1]$$

şeklinde gösterilebilir. Bu ifadedeki, ϕ genel bir değişkeni (T, u_r , u_z vb gibi) temsil etmektedir, ϕ_p bilinmeyen düğüm noktası, ϕ_p^o ϕ_p 'nin daha önceki zaman diliminde aldığı değer, a_o süreksiz adveksiyondan kaynaklanan bir katsayı, a_k adveksiyon katsayılarını ve b ise lineerleştirilmiş kaynak terimlerinin bir bileşenini temsil etmektedir.

Linerize edilmiş eşitliklerden oluşan bu sistem bir tahmin ve doğru (SIMPLEST) algoritması ile çözülür. PHOENICS çözüm için kullanılır ve kullanıcıya ana programın mantığına uygun şekilde bir kod ile program içinde bulunmayan kaynak terimlerini eklemesine olanak sağlar (66).

4.1. PHOENICS'in Yapısı

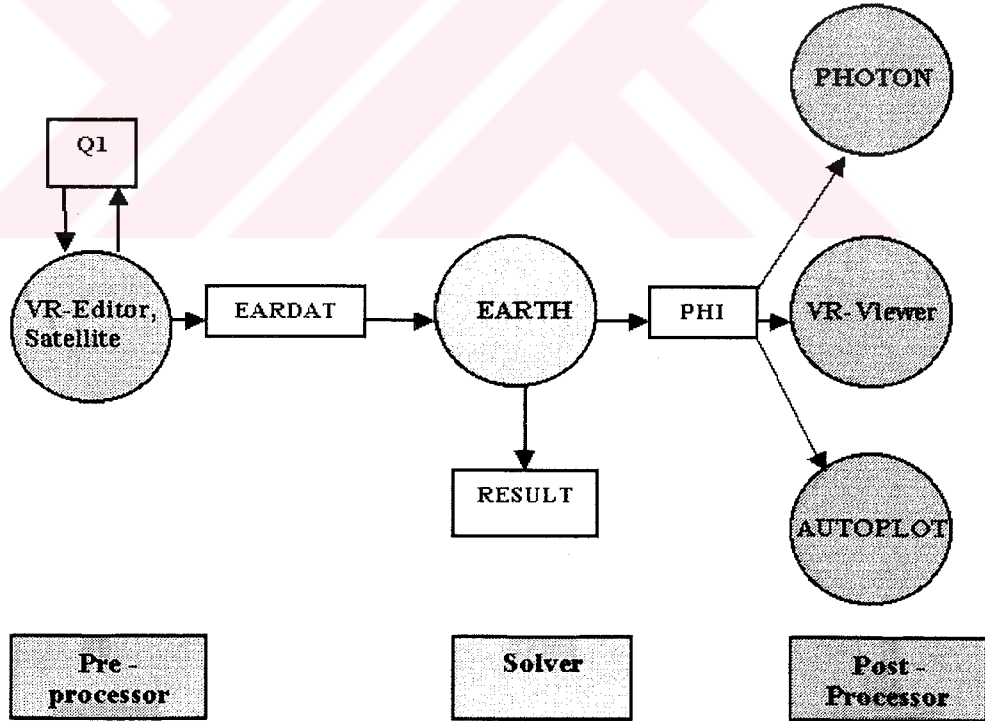
PHOENICS bir Sayısal Akışkanlar Dinamiği (SAD) yazılımıdır. PHOENICS akış problemlerinden yanma problemlerine kadar birçok fiziksel olayı modellemede veya çözümede kullanılabilen bir programdır. PHOENICS'in hangi alt kısımlardan oluştuğuna genel hatlarıyla görmek için maddeler halinde,

- PHOENICS'in gezegenler gibi bir düzeni olup, altprogramların bir öz merkezi ile anılan EARTH ve SATELLITE programı Virtual Reality (VR) ara yüzü veya farklı bir şekilde diğer girdileri belirli bir akış düzeninde kabul eder.
- EARTH ve SATELLITE farklı programlardır.

- SATELLITE veri hazırlama programı; EARTH'ün okuyacağı bir veri dosyası hazırlar.
- PHOENICS kullanıcıları temel olarak SATELLITE ile çalışırlar, fakat kontrollu bir şekilde EARTH'de ulaşabilirler.
- GROUND, kullanıcıların kendilerinin özel yenilikleri eklemek istediğinde ulaşabildiği EARTH'ün altprogramıdır.

Aşağıdaki şekilde PHOENICS'in üç ana fonksiyonu görülmektedir.

1. Ön işlemci - problem tanımlama
2. Çözücü - simülasyonu
3. Son işlemci – Sonuçların sunumu



Şekil 4.1. PHOENICS'in temel yapısı

4.2. Problemin Tanımlanması

Problem tanımlama normal olarak aşağıdaki gibi ifadeler hazırlamadan oluşur:

- Geometri, biçim, boyutlar ve nesnelerin pozisyonları ve olayın gerçekleştiği boşluklar,
- Malzeme, termodinamik, taşınım ile akışkan ve katının diğer nitelikleri ile ilgili özellikler,
- Prosesler, örneğin: malzemenin reaktif olup reaktif olmadığı; türbulansın modellenip modellenmeyeceği, modellenecek ise hangi model ile modelleneceği, sıcaklığın hem akışkan hemde katı için hesaplanıp hesaplanmayacağı, katı içindeki gerilmelerin dikkate alınıp alınmayacağı,
- Ayrıklaştırma (discretization) olarak tanımlanan hücre dağılımı, çözüm alanını ve zamanı bölmenin önemi ve biçimini,
- Similasyonun hızı, doğruluğu, ve ekonomikliğine etki eden diğer sayısal (örneğin fiziksel olmayan) parametreler.

Problem çözümlerinde hazırlanan Q1 kütüğünün içerdiği bilgiler genel olarak;

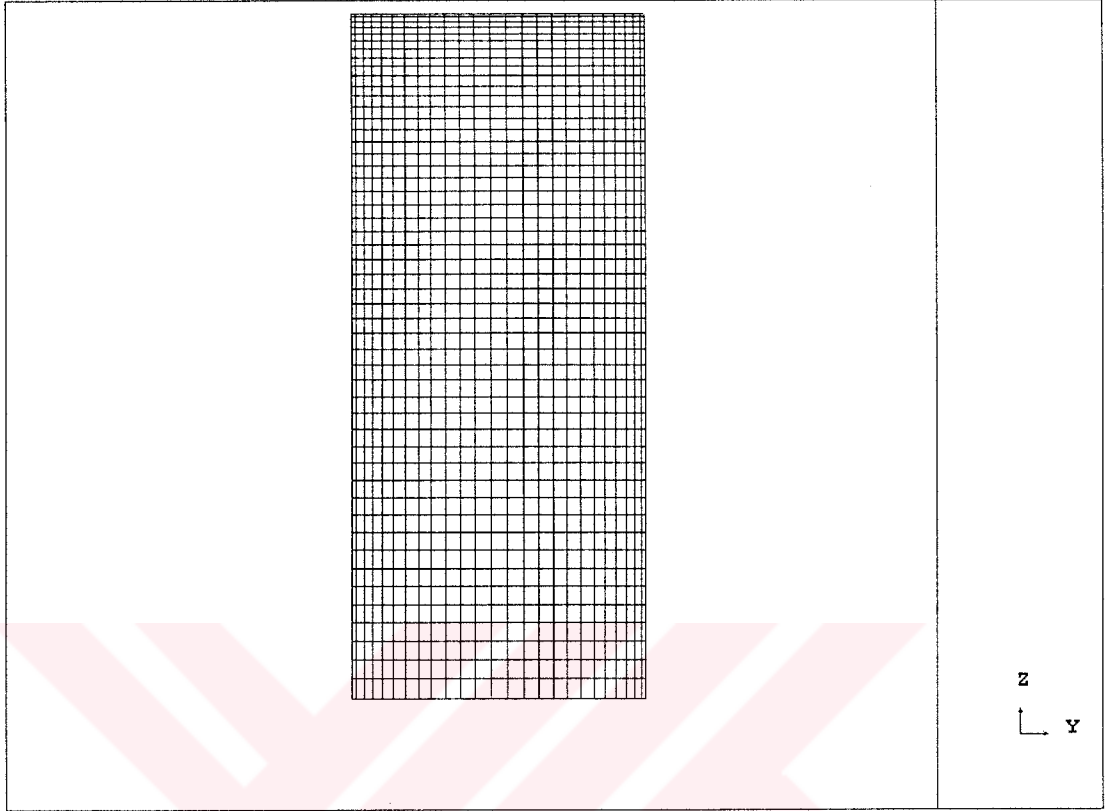
- Problemi tanımlayan başlık,
- Problemin geometrisi ve hücre yapısı,
- Çözümü elde edilmesi istenen değişkenler,
- Her değişken için çözülmesi istenen denklem biçimi,
- Uygulanması istenilen sayısal çözüm metodu,
- Ortamın termodinamik ve fiziksel özellikleri,
- İterasyonda bağımlı değişken için kabul edilen dağılımlar,
- Problemin sınır şartları,
- Çözüm kontrolünde kullanılan parametreler,
- Nasıl bir çıktı istenildiği.

4.3. Problemin Hücre Dağılımı

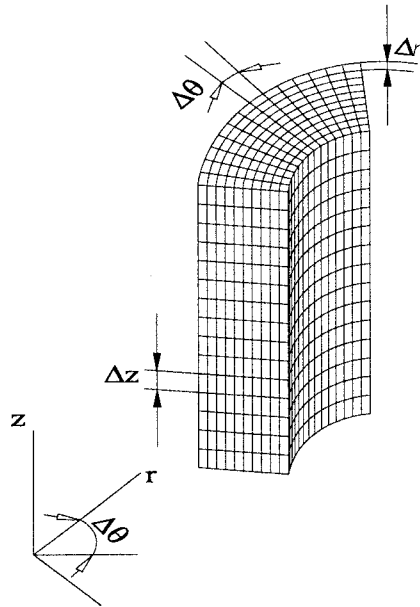
Öncelikle problemin çözümü iki boyutlu silindirik koordinatlarda ısı ve kütle transferi ile birlikte kimyasal reaksiyon içeren bir fiziksel olay olarak düşünülür. Bu fiziksel olayın çözümüne başlamadan önce kullanılan hücre dağılım yapısı Şekil 4.2'de görülmektedir. İki boyutlu silindirik koordinatlarda hücre boyutlarının her üç ekseninde de yakın büyüklüklere sahip olması problemin çözümünde önem arz etmektedir. Bu yüzden açısız yöndeki çözüm alanında çok küçük bir açı değeri ($\Delta\theta$) seçilip çözümler elde edilmiştir. Her üç eksenindeki hücre boyutlarının çok değişik büyüklüklerde seçilmesi çözümün ırsamasına neden olabilmektedir. Bu yüzden hücre dağılımı problem çözümüne başlanmadan önce dikkat edilmesi gereken önemli bir noktadır. Bununla birlikte hücre dağılımında sınırlara yakın olan iç ve dış yerlerde daha sık hücre konumlandırarak değişimlerin fazla olduğu bu bölgelerde daha hassas sonuç elde edebilmeye çalışılmıştır. y-z düzlemindeki örnek hücre dağılımı Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Şekil 4.2'de PHOTON'da alınan hücre dağılımı, problemdeki z eksenine göre simetriklikten dolayı y-z düzleminde sadece bir yarısı gösterilmiştir.

Hücre yapısı üç boyutlu olarak Şekil 4.3'de görülmektedir. Analiz iki boyutlu olmasına karşın Şekil 4.3'de hücre dağılımı üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Sistemde açısız yönde değişiklik yoktur. Dolayısıyla analiz iki boyutta gerçekleştirilmiştir. Şekil üç boyutlu gösterilmesine karşın θ yönünde çözülen parametrelerde değişiklik yoktur. Burada her üç eksenindeki hücre boyutları sırasıyla $\Delta\theta$, Δr ve Δz şeklinde gösterilmiştir.

Bu tür problemlerin analizinde çözümün yakınsanması gerekir. Elde edilen sonuçların kararlı şartlardaki sonuçlar olduğu RESULT kütüğünde görülmektedir. Örnek olarak 500 saniye şarj süresi için RESULT kütüğü Ek 4'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Hidrojen–metal yatak problem geometrisi y-z eksenindeki hücre dağılımı.

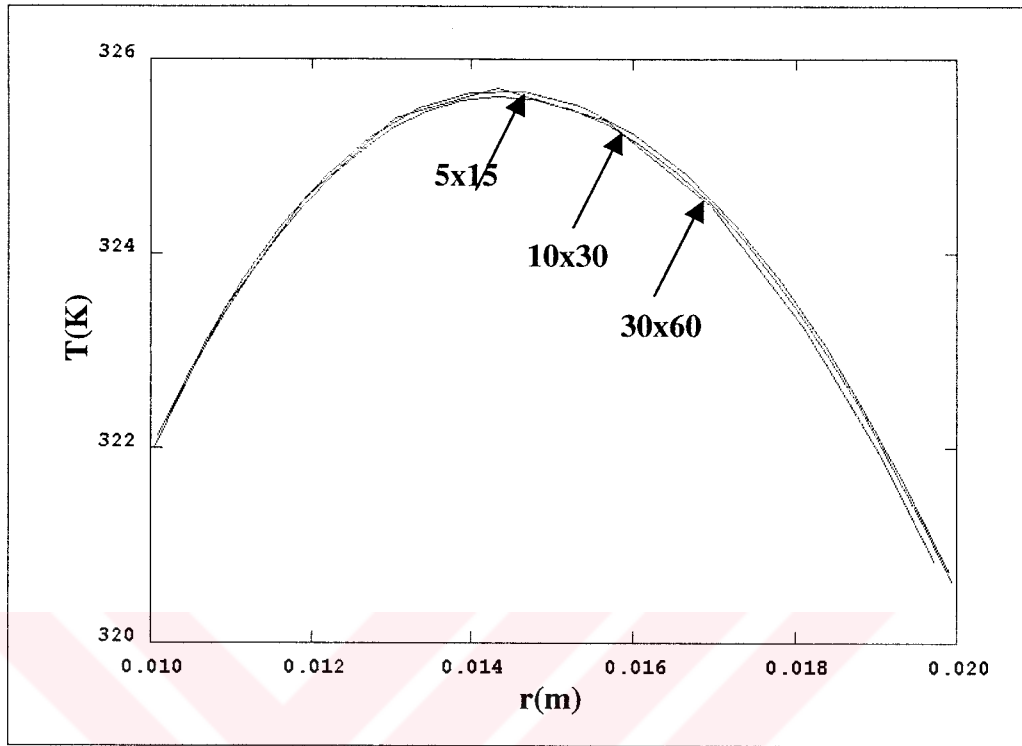


Şekil 4.3. Metal yatağın hücre dağılımının üç boyutlu görünümü.

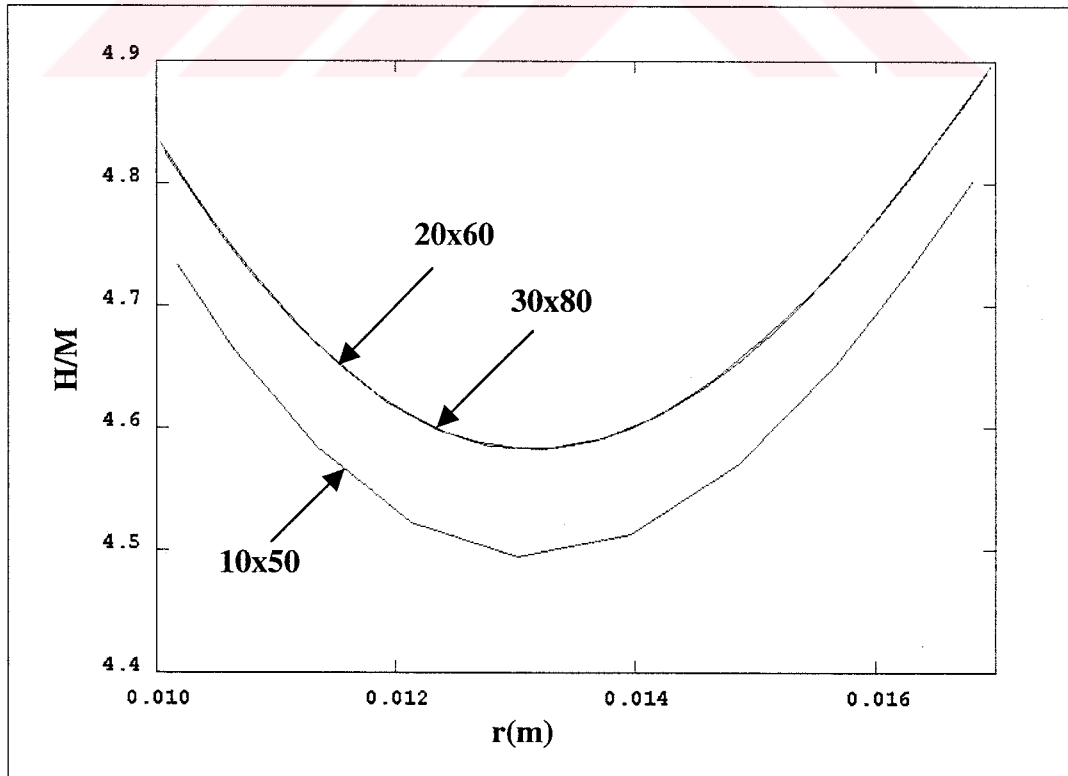
4.4. Hücre Dağılımından Bağımsızlık Testi

İlk elde edilen sonuçlar neticesinde problemin çözümünün hücre dağılımından bağımsız (grid independence test).olduğunu gösterebilmek için farklı hücre sayılarında çözüm alanı içerisindeki radyal yöndeki sıcaklık değişimleri elde edilmiştir. Bu teste ait elde edilen eğriler Şekil 4.4'de gösterilmiştir. Geometri 2 için üç farklı hücre dağılımı seçilerek test edilmiştir. İlk denenen hücre dağılımda radyal yön 10 hücreye, aksenal yönde 30 hücreye bölünmüştür. İkinci denemede, radyal yön 20, aksenal yön 60 hücreye bölünmüştür. Üçüncü denemede ise, radyal yön 30, aksenal yön 60 hücreye bölünmüştür. Metal yatak içinde radyal yöndeki sıcaklık değişimlerini gösteren eğrilerden görüleceği üzere farklı hücre dağılımlarında eğriler hemen hemen çakışmaktadır. Dolayısıyla, sıcaklık çözümlerinin hücre sayısından bağımsız olduğunu kontrol edilmiş olmaktadır.

Hidrid/Metal oranlarının çözümünde de hücre dağılımdan bağımsızlık testi geometri 3 için yapılmış olup ilk hücre dağılımı radyal yön 10, aksenal yön 50 hücreye bölünmüş, ikinci çözümde radyal yön 20, aksenal yön 60, üçüncü çözümde radyal yön 30, aksenal yön 80 hücreye bölünmüştür (Şekil 4.5) Değişik hücre dağılımları ile elde edilen çözümler sonucunda ilk seçilen hücre dağılımında diğer eğriler ile benzer bir değişim göstermesine karşın H/M değerleri daha düşük değerlere sahiptir. Bununla birlikte ikinci ve üçüncü olarak seçilen hücre dağılımlarında çok benzer bir dağılım gösterip sonuçlar hemen hemen çakışmaktadır. Diğer çözümlerde ve ileriki bölümlerde elde edilen sonuçlarda, ikinci ve üçüncü hücre dağılımları sonucunda elde edilen H/M oranları çok yakın değerlere sahip olduğundan, ikinci hücre dağılımı seçilerek diğer problemlerin çözümünde gereksiz zaman kaybindan kaçınılmıştır. Çünkü problemin çözüm süresini etkileyen parametrelerden ikisi de radyal ve aksenal yöndeki hücre sayılarıdır.



Şekil 4.4. Sıcaklık dağılımları için hücre dağılımından bağımsızlık testi



Şekil 4.5. H/M oranları için hücre dağılımından bağımsızlık testi.

Çizelge 4.1'de ise analizde kullanılan LaNi_5 ve hidrojenin genel özellikleri belirtilmiştir. Daha detaylı özellikleri gösteren parametreler Ek 1'de verilmiştir. Isı transfer katsayıları sabit alındı. Isı transferi katsayısı hidrojenin metal yatağa girişindeki sınır hücrelerinde $50 \text{ W/m}^2\text{K}$, metal ortamın soğutucu akışkan ile soğutulan iç ve dış yüzeyleri üzerindeki hücrelerde ise $500 \text{ W/m}^2\text{K}$ olarak alınmıştır.

Çizelge 4.1. Analizde kullanılan LaNi_5 ve hidrojenin genel özellikleri.

<i>LaNi₅</i>	
Yoğunluk, ρ (kg/m^3)	4200
Özgül Isı, C_p (J/kg.K)	419
Isı İletim Katsayısı, k (W/m.K)	1,087
Reaksiyon Isısı, ΔH (J/mol H_2)	-10
<i>Hidrojen</i>	
Yoğunluk, ρ (kg/m^3)	0,0838
Özgül Isı, C_p (J/kg.K)	14,89
Isı iletim katsayısı, k (W/m.K)	$0,761147 \times 10^{-4}$

Belirtilen sınır şartları ve seçilen çözüm geometrisi ile uygulanan çözüm programı ile elde edilen sonuçlar öncelikli olarak metal yatak içindeki sıcaklık dağılımının zamanla değişimi ve hidrid/metal oranlarının konum ve zamanla değişimi üzerine sonuçlar elde edilmeye çalışılmıştır.

LaNi_5 için etken ısı iletim katsayısı Eş. 3.10 kullanılarak, hidrojen ve metal için ısı iletim katsayılarını denklemden yerine yazılırsa,

$$k_e = (0.505)(0.761147 \times 10^{-4}) + (1 - 0.505)(1.6)$$

$$k_e = 0.79204 \left[\frac{\text{W}}{\text{m.K}} \right]$$

değeri elde edilir. Görüldüğü gibi LaNi_5 'in $\epsilon=0.505$ için ısı iletim katsayısı oldukça düşüktür.

Diğer taraftan magnezyum için etken ısı iletim katsayısı,

$$k_e = \varepsilon k_g + (1 - \varepsilon) k_s \quad [3.10]$$

magnezyum için gözeneklilik oranını $\varepsilon=0.505$ olarak alıp, hidrojen ve magnezyumun ısı iletim katsayılarını Eş. 3.10'da yerine yazarsak,

$$k_e = (0.505).(0.761147 \times 10^{-4}) + (1 - 0.505)(156) \left[\frac{W}{m.K} \right]$$

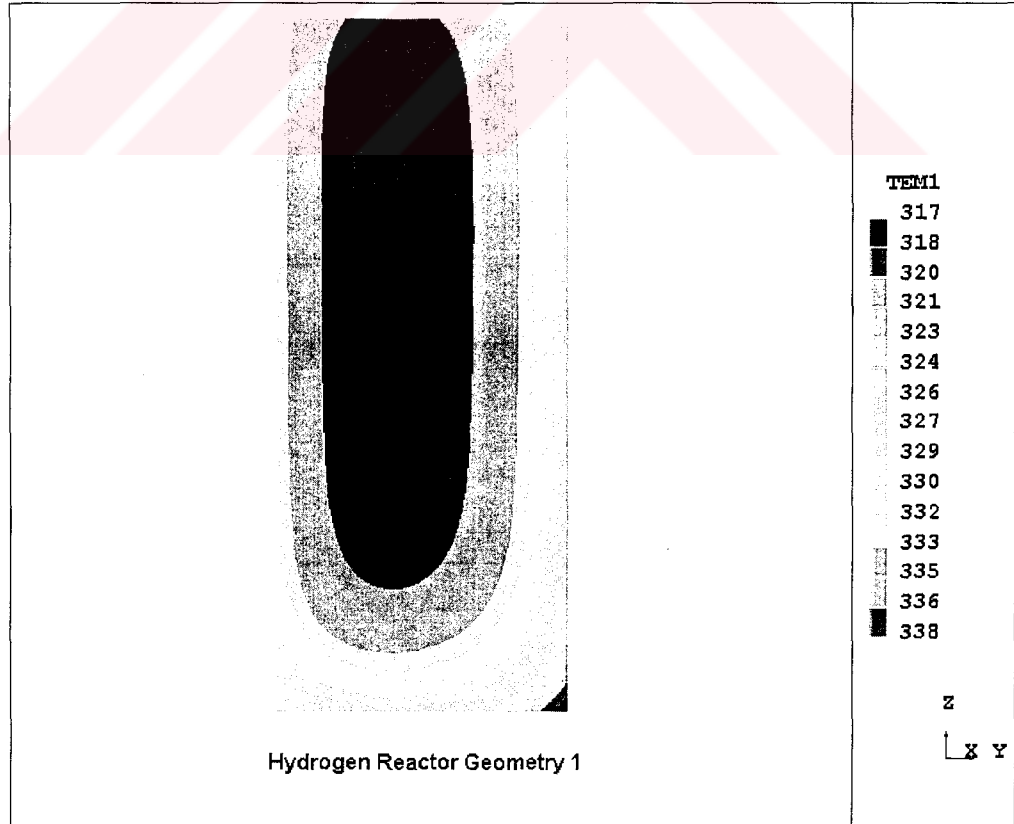
$$k_e = 77.22004 \left[\frac{W}{m.K} \right]$$

değeri hesaplanır. Hesaplanan bu değer $LaNi_5$ 'in etken ısı iletim katsayısı ile karşılaştırıldığında oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu yüksek ısı iletim katsayısı magnezyum tabanlı metal hidridlerde metal yatak içinde oluşan ısının rahat bir şekilde dışarı atılması yönünde kolaylık sağlayacaktır.

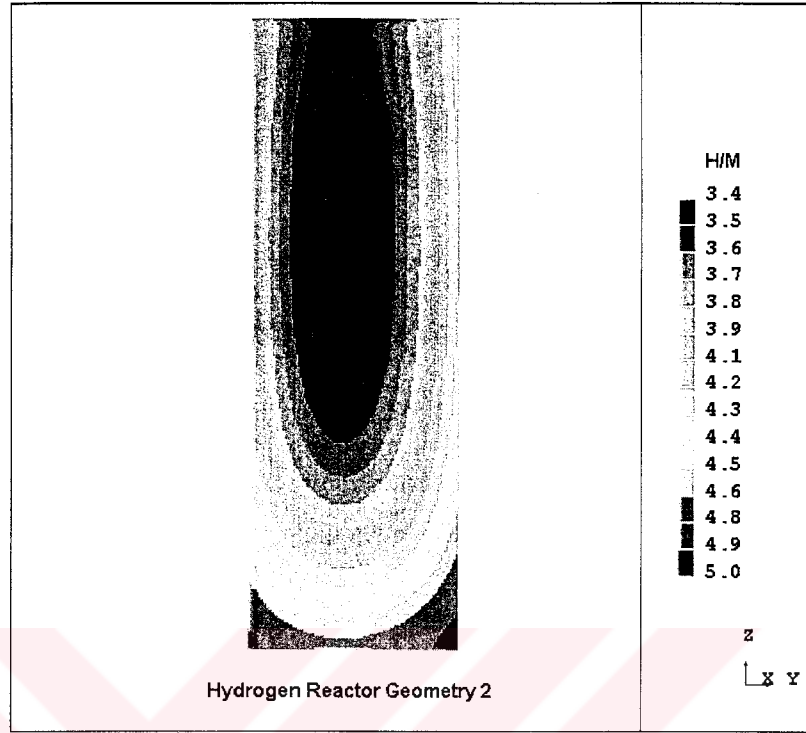
5. SONUÇLAR

Belirlenen geometriler ve sınır şartları eşliğinde hazırlanan Q1 ve GROUND dosyaları ile birlikte kullanılan PHOENICS yazılımı yardımıyla metal hidrid yatak içindeki sıcaklık ve şarj sürelerine ait sonuçlar elde edilmiştir.

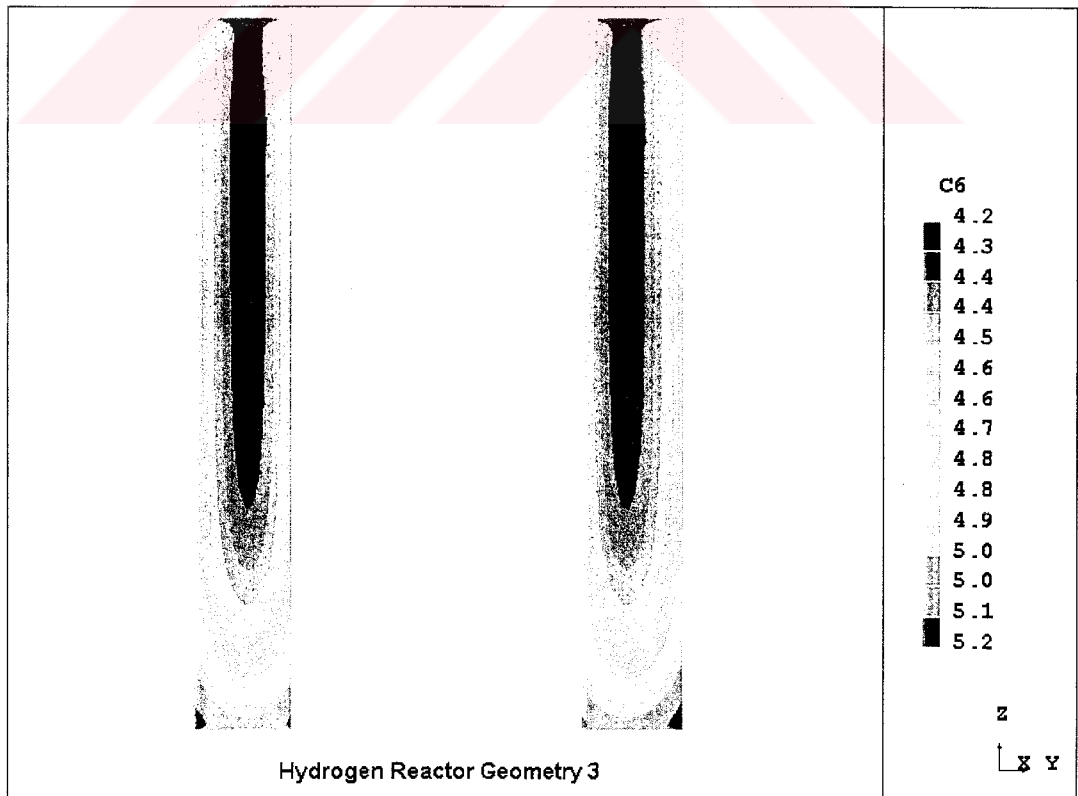
İlk olarak, çözülen geometrilerden geometri 2 için reaktör içindeki sıcaklık değişimini görmek için yazılımın PHOTON kısmının kullandığı ara yüzü gösteren örnek ekran aşağıdaki şekilde görülmektedir. Burada dış yüzeylere göre daha yüksek sıcaklıktaki iç kısım kırmızı renkte, iç kısma göre daha düşük sıcaklıkta bulunan sınırlara yakın bölgeler turuncu, yeşil ve en düşük sıcaklıklardaki bölgeler ise mavi renk şeklinde dağılmaktadır. Şekil 5.2 ve Şekil 5.3 'de ise H/M oranları geometri-2 ve geometri-3 için soğutulan yüzeylere yakın bölgelerdedir.



Şekil 5.1. Geometri-1 için reaktör içindeki sıcaklık dağılımının değişimi



Şekil 5.2. Geometri 2 için H/M oranının reaktör içindeki dağılımının değişimi.

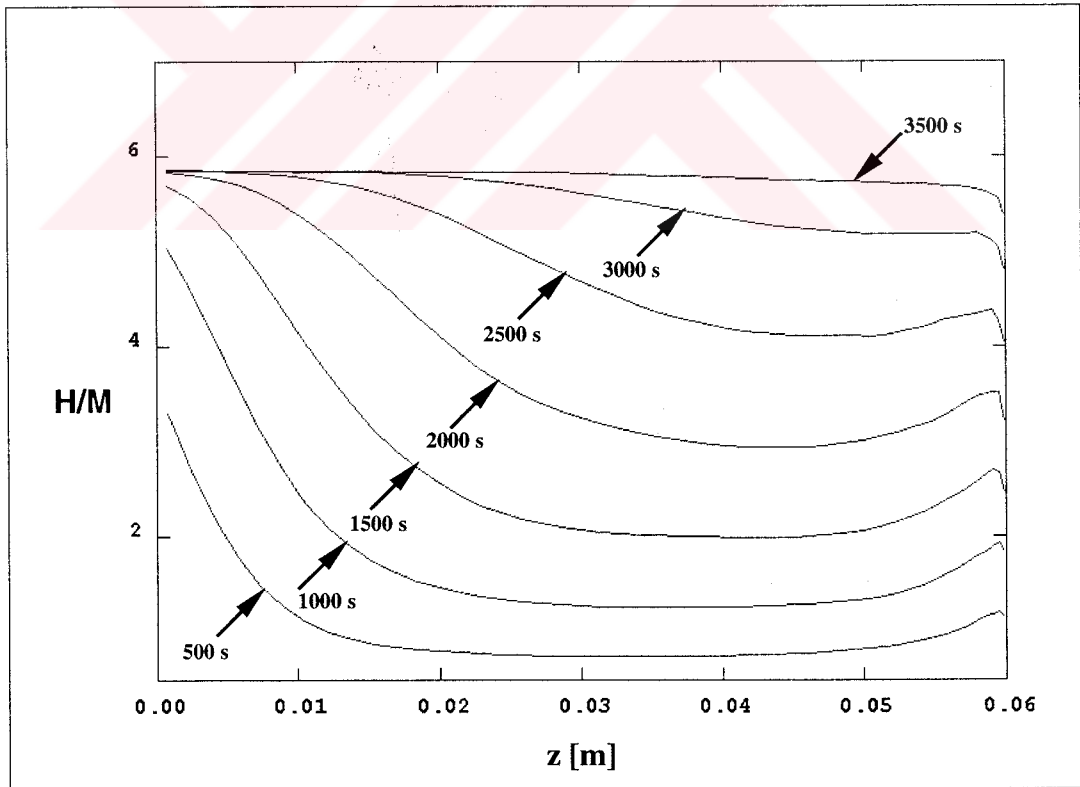


Şekil 5.3. Geometri 3 için H/M oranının reaktör içindeki dağılımının değişimi.

Eksenel simetriden dolayı bir yarısı çözülen içi boş silindirin Şekil 5.3'deki H/M oranlarının dağılımında silindirin her iki yarısının da çözümü gösterilirken Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de sadece içi boş silindirin çözümü yapılan bir yarısı için dağılımlar gösterilmiştir.

5.1. Metal Yatak İçindeki Sıcaklık ve H/M Oranlarının Değişimleri

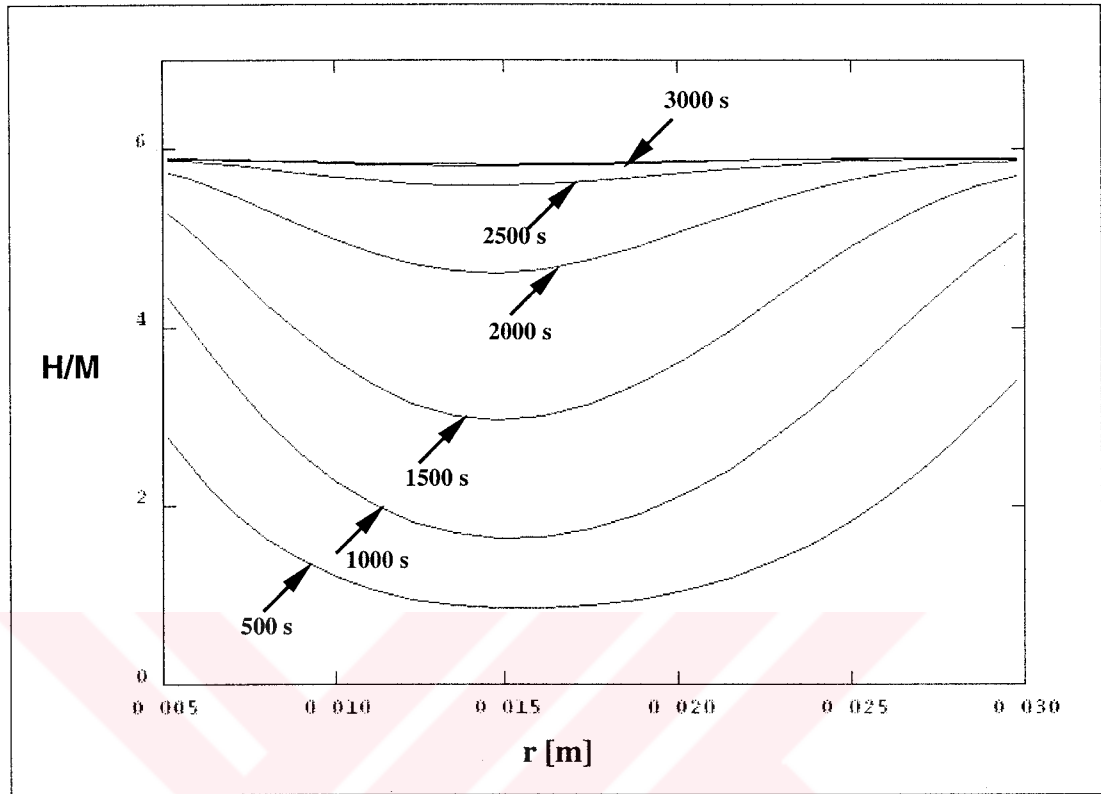
Şekil 5.4'de bulunan eğrilerden görüldüğü gibi, başlangıçta 500 saniye sonunda eksenel yöndeki H/M oranı gösteren eğride şarj olan bölgeye yakın yerlerde yüksek H/M oranlarına sahip iken, artan z değerlerinde bu oranlar azalmaktadır. 1000 saniye sonunda oranlar benzer nitelikte bir değişim göstermektedir. Sadece hidrojenin şarj edildiği giriş bölgelerinde yüksek H/M oranları 500 saniye sonundaki H/M oranlarına göre daha geç azalmaktadır.



Şekil 5.4. Geometri 1'in $r=15\text{mm}$ 'de H/M oranlarının farklı zaman dilimlerinde aldığı değerlerin eksenel yöndeki değişimi.

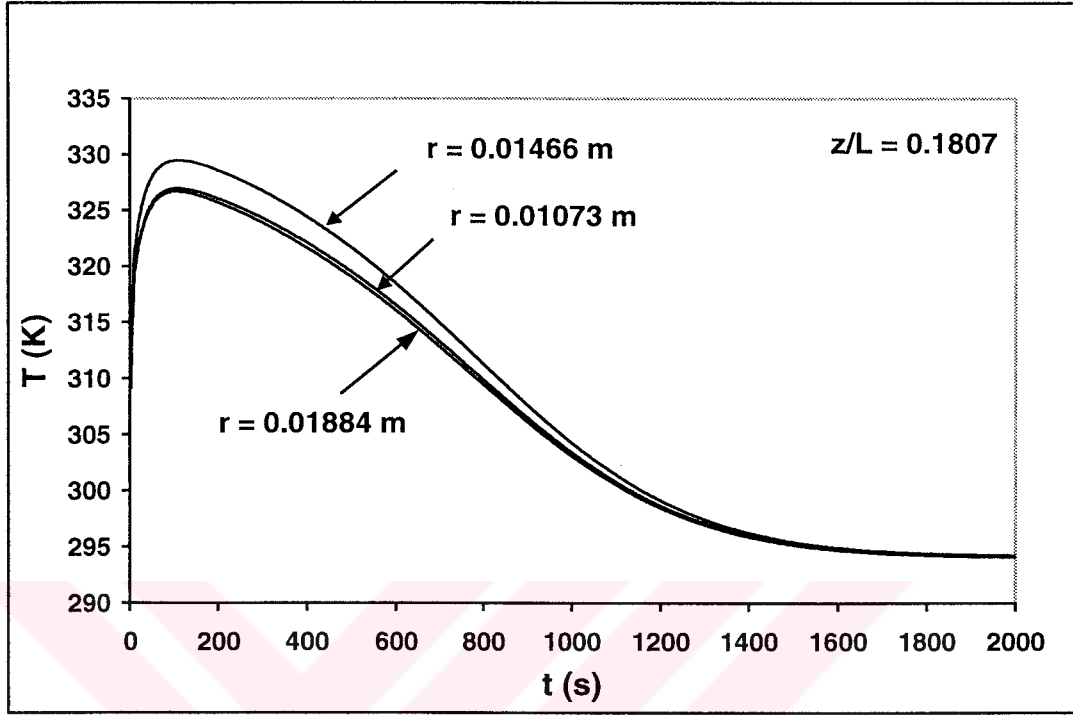
Kısa zaman dilimlerinde (500 s ve 1000 s gibi) z değerlerinin küçük olduğu konumlarda, yüksek H/M oranları olmasına rağmen yüksek z değerlerinde H/M oranı azalmaktadır. Bununla birlikte uzun zaman periyotlarında bu düşüş azalmakta ve 3500 saniye civarlarında ise azalma sona ermektedir. Başka bir ifade ile sistem kararlı hale gelmektedir ve depolayabileceği hidrojeni kendi bünyesine almış bulunmaktadır.

Şekil 5.5'de görülen eğriler, metal yatak içinde H/M oranlarının radyal yöndeki değişimini göstermektedir. Başlangıçta 500 saniye sonunda radyal yöndeki H/M oranı yaklaşık olarak $r=0.016$ m radyal konumunda en düşük değerine sahiptir. Bununla birlikte, iç ve dış yüzeylere yakın konumlarda H/M oranlarının değerleri artmaktadır. Diğer zaman dilimleri sonundaki H/M oranlarının değişimleri de benzer değişim göstermektedir. Kısa zaman aralıklarında, soğutma etkisinin az olduğu iç kısımlardaki H/M değerleri düşüktür. Bununla birlikte, uzun zaman aralıklarında (3500 s, 4000 s) radyal yöndeki hidrid metal oranı değişimi azalarak sabit bir değere yaklaşmakta ve metal yatak içinde 6'ya yakın bir değere ulaşmaktadır.

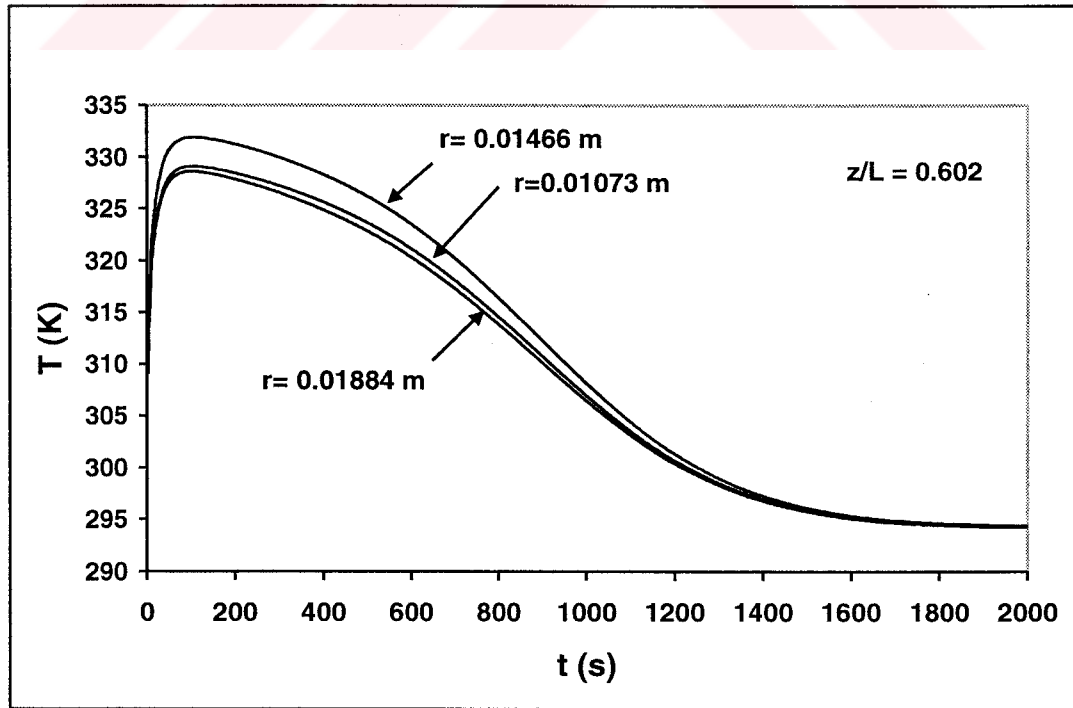


Şekil 5.5. Geometri 1'in $z=16\text{mm}$ 'de H/M oranlarının farklı zaman dilimlerinde aldığı değerlerin radyal yöndeki değişimi.

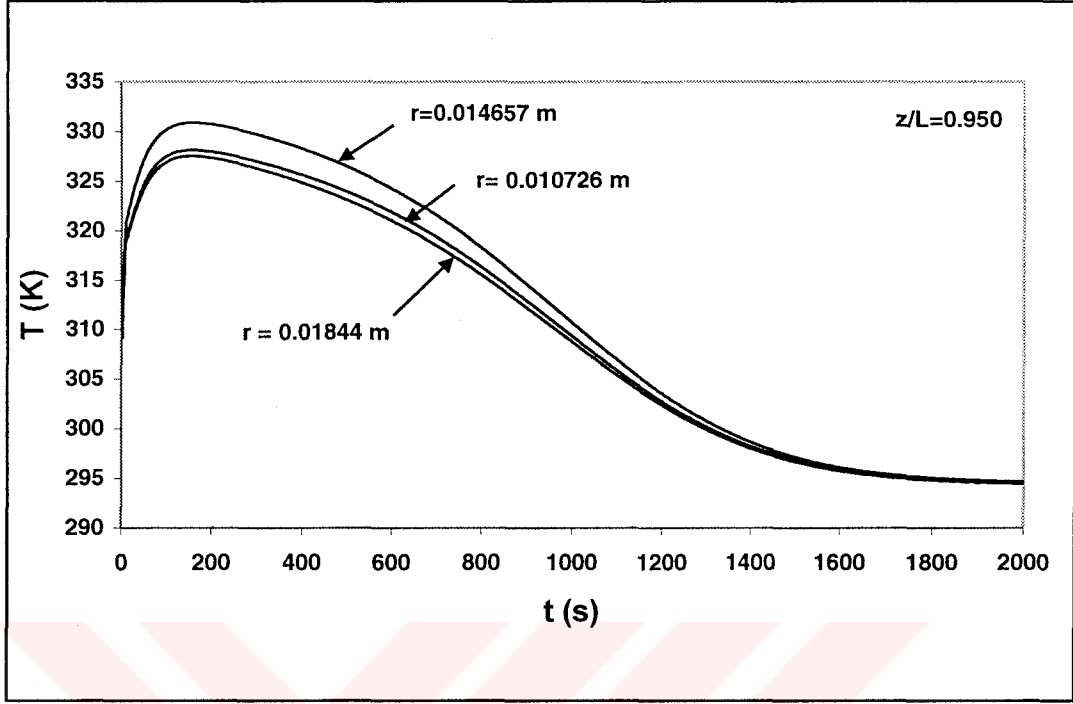
Öncelikle sıcaklık dağılımı için hidrojenin şarj edildiği yüzeye yakın olan bir aksenal konum seçilip o kısımdaki sıcaklık değişimi belirlenmiştir. Geometri 2 için sıcaklık dağılımı $z/L=0,1807$ aksenal bölgesinde farklı radyal konumlarda elde edilmiştir (Şekil 5.6). Ardından $z/L=0,602$ aksenal bölgesi için Şekil 5.7'de görülen eğriler elde edilmiştir. Soğurma olayının başladığı ilk zamanlarında yüksek sıcaklıkta bulunan metal yatak içinde zamanla sıcaklık soğutmanın da etkisi ile 1700 saniye civarlarında sabit bir değer almaktadır. Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'den de görüleceği üzere soğutulan yüzeylere yakın olan radyal konumdaki hücrelerdeki sıcaklıklar daha düşüktür. Şekil 5.8'de Geometri 2 için $z/L=0,950$ aksenal konumundaki sıcaklık değişimi, Şekil 5.9'da $r=0,01073$ m sabit radyal konumda farklı aksenal konumlardaki sıcaklık değişimleri, Şekil 5.10'da $r=0,01466$ m radyal konumundaki sıcaklık değişimleri, Şekil 5.11'de $r=0,01884$ m radyal konumundaki sıcaklık değişimleri gösterilmiştir.



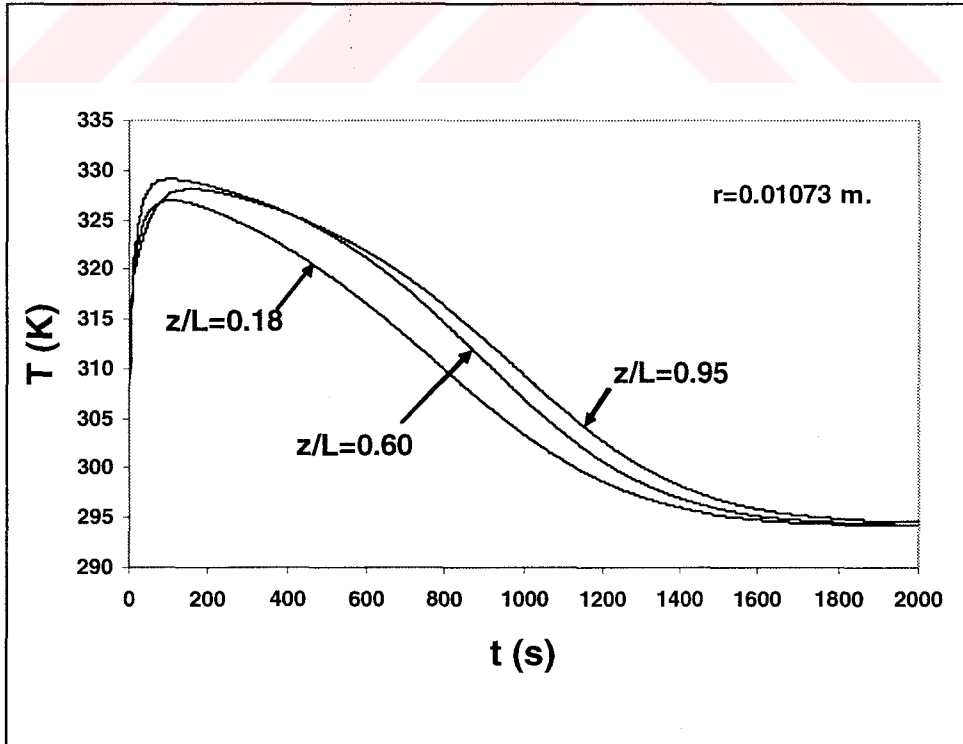
Şekil 5.6. Geometri 2'de $z/L=0.1807$ aksenal konumunda metal yatak sıcaklığının zaman ile değişimi (farklı radyal konumlarda).



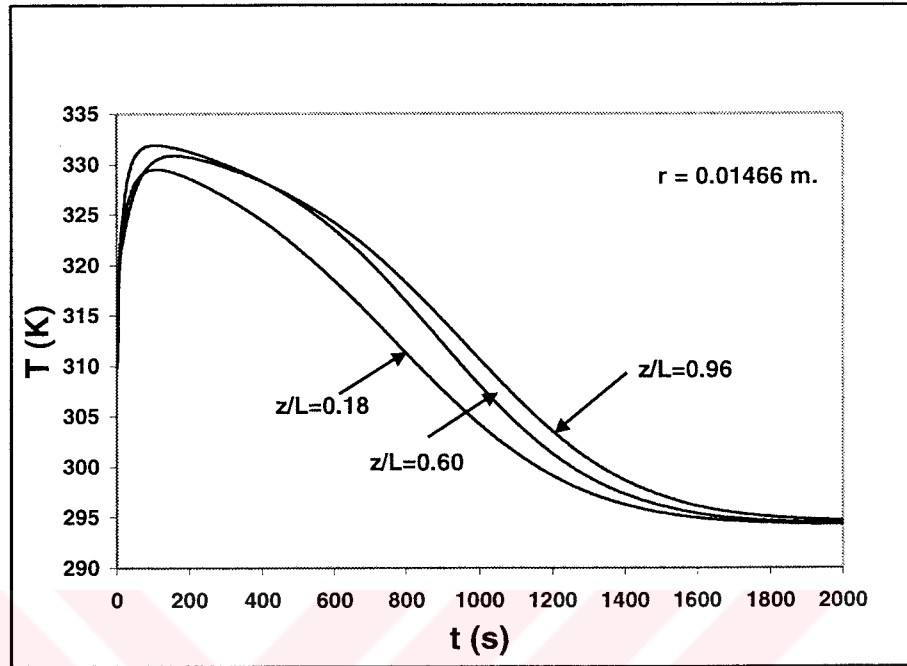
Şekil 5.7. Geometri 2'de $z/L=0.602$ aksenal konumunda metal yatak sıcaklığının zaman ile değişimi (farklı radyal konumlarda).



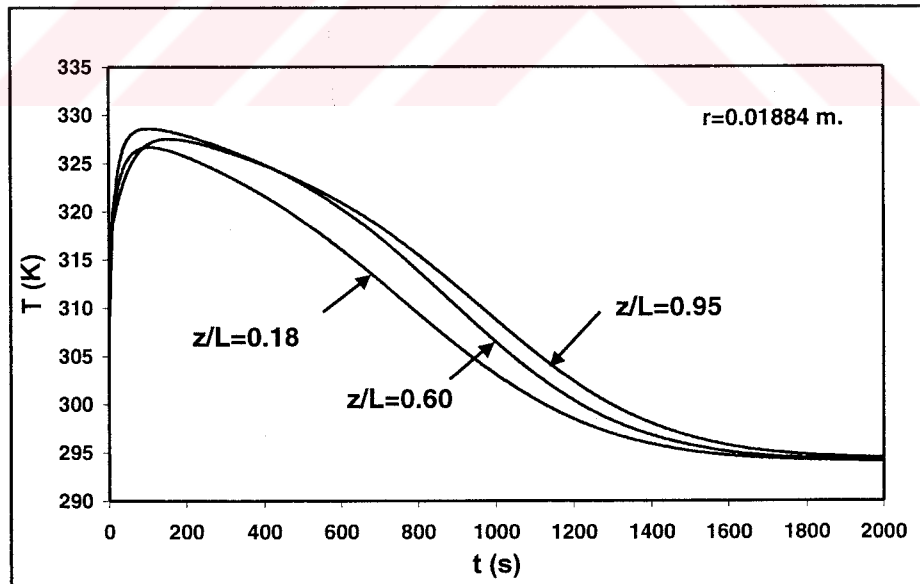
Şekil 5.8. Geometri 2'de $z/L = 0.95$ aksel konumunda metal yatak sıcaklığının zaman ile değişimi (farklı radyal konumlarda).



Şekil 5.9. Geometri 2'de metal yatak sıcaklığının $r = 0.01073$ m radyal konumunda farklı aksel bölgelerde zaman ile değişimi.



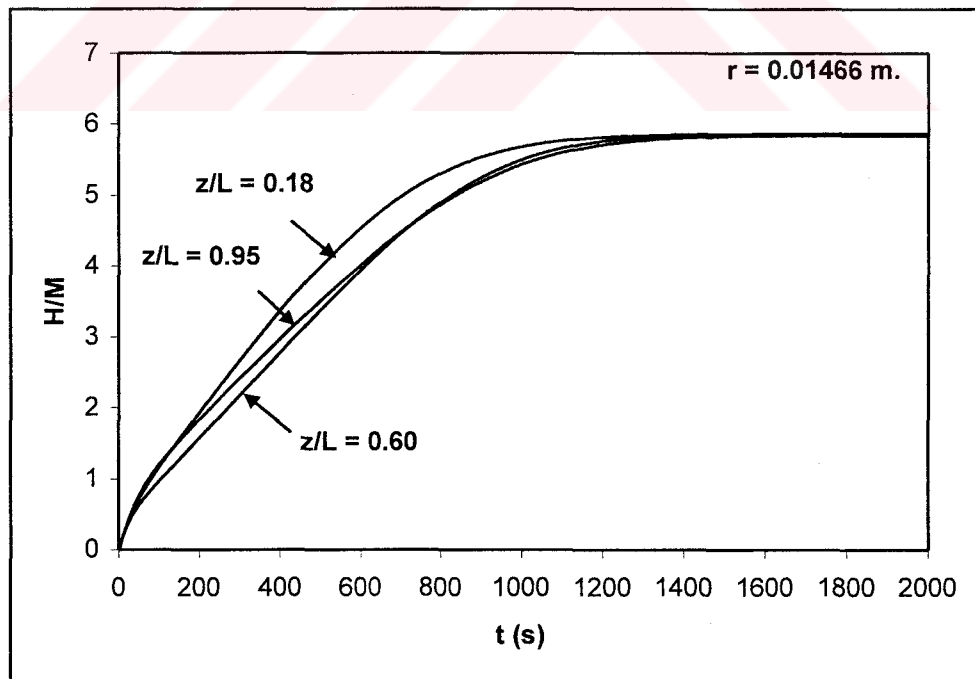
Şekil 5.10. Geometri 2'de metal yatak sıcaklığının $r = 0.01466$ m radyal konumunda farklı aksenal bölgelerde zaman ile değişimi.



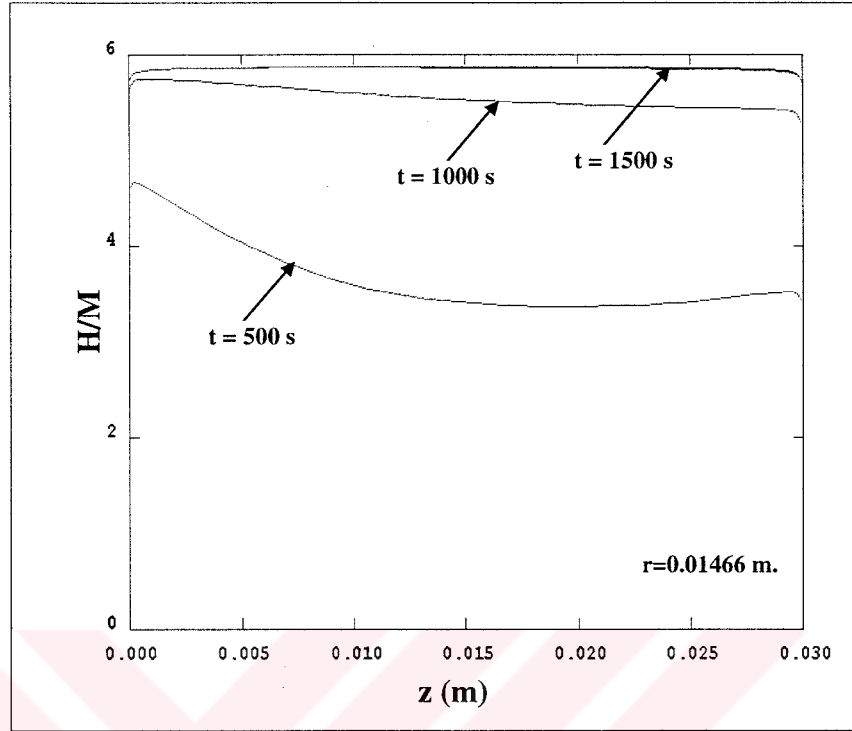
Şekil 5.11. Geometri 2 metal yatak sıcaklığının $r = 0.018844$ m radyal konumunda farklı aksenal bölgelerde zaman ile değişimi.

Geometri 2 için radyal $r=0,01466$ m'de farklı aksenal konumlardaki H/M oranının zamanla değişimi Şekil 5.12'de verilmiştir. Şekil 5.13'de H/M

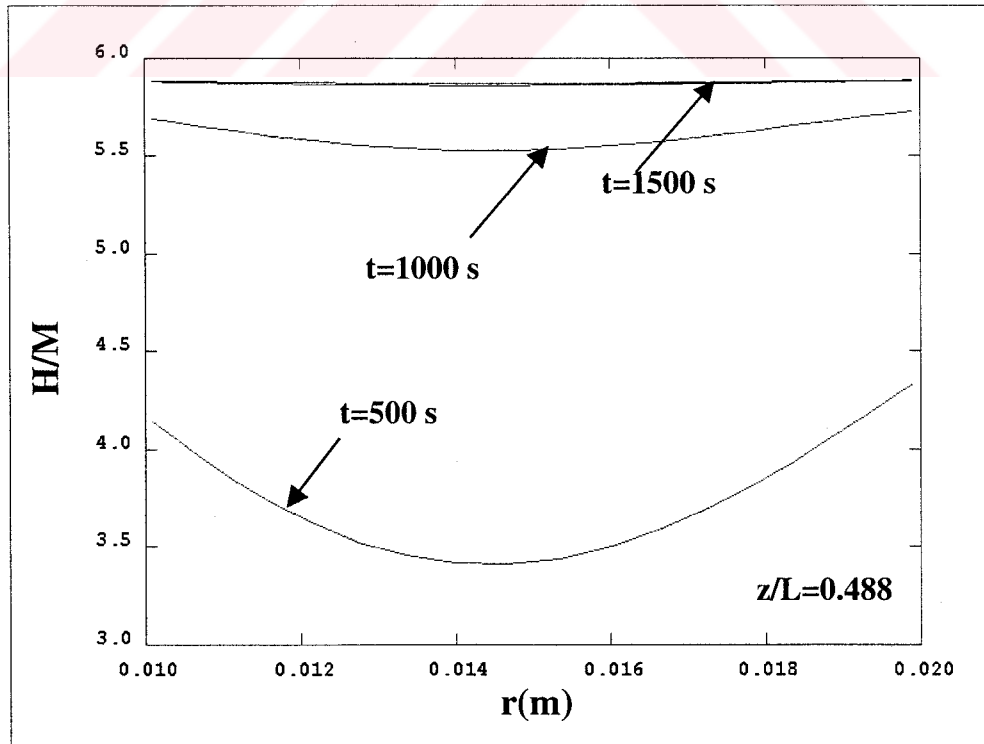
oranının $r=0,01466$ m radyal konumunda farklı zaman dilimlerinde aksenal yönde değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.14'de H/M oranının $z/L=0,488$ aksenal konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi belirlenmiştir. Bu şekilden de görüleceği üzere, H/M oranları, soğutulan iç ve dış yüzeylere yakın yerlerde iç kısımlara göre daha yüksek değerlere sahiptir. Şekil 5.15'de geometri 3 için H/M oranının $z/L=0,488$ aksenal konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.14 ile Şekil 5.15'i $t=1000$ saniye zaman dilimi sonundaki H/M oranları bakımından karşılaştırdığımızda geometri 3'deki H/M oranının 5,8'den daha yüksek değer aldığı görülmekte, fakat Şekil 5.14'deki aynı zaman dilimi sonundaki H/M oranına ait eğri ise daha düşük değerler almaktadır. Geometri 3 için H/M oranının $r=0,0135$ m radyal konumunda, farklı zaman dilimlerinde aksenal yönde değişimi Şekil 5.16'da gösterilmiştir. Bu şekilden de görüldüğü gibi aksenal yöndeki H/M oranları 1500 saniye sonunda H/M oranındaki değişim azalmakta ve sabite yakın bir değer almaktadır.



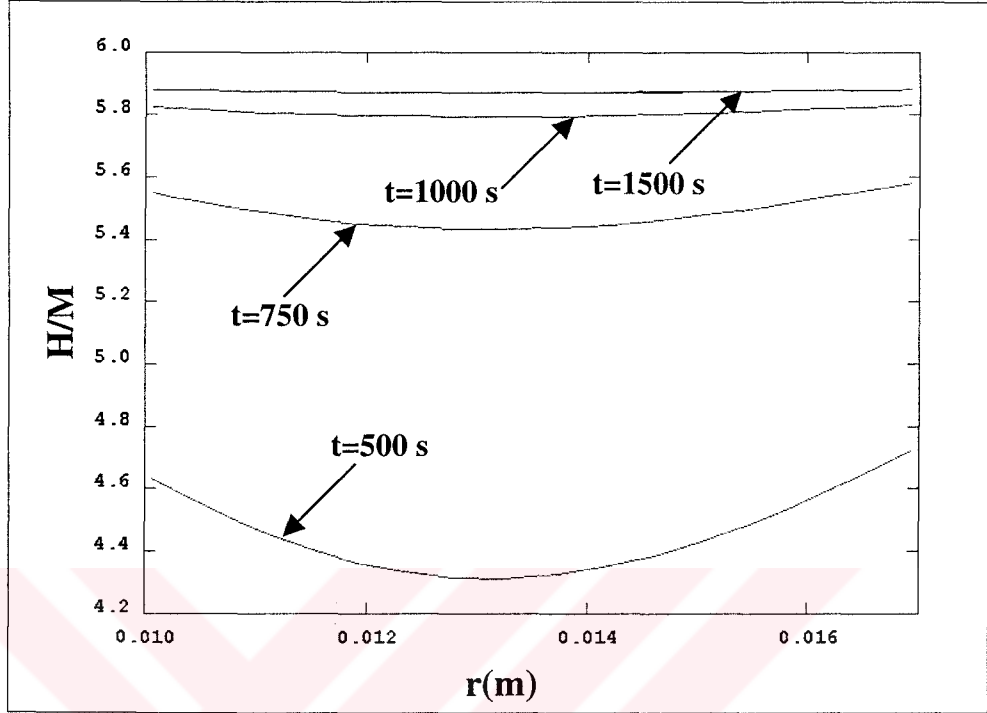
Şekil 5.12. Geometri 2 için H/M oranının $r=0.01466$ m radyal konumunda farklı aksenal konumlardaki zamanla değişimi.



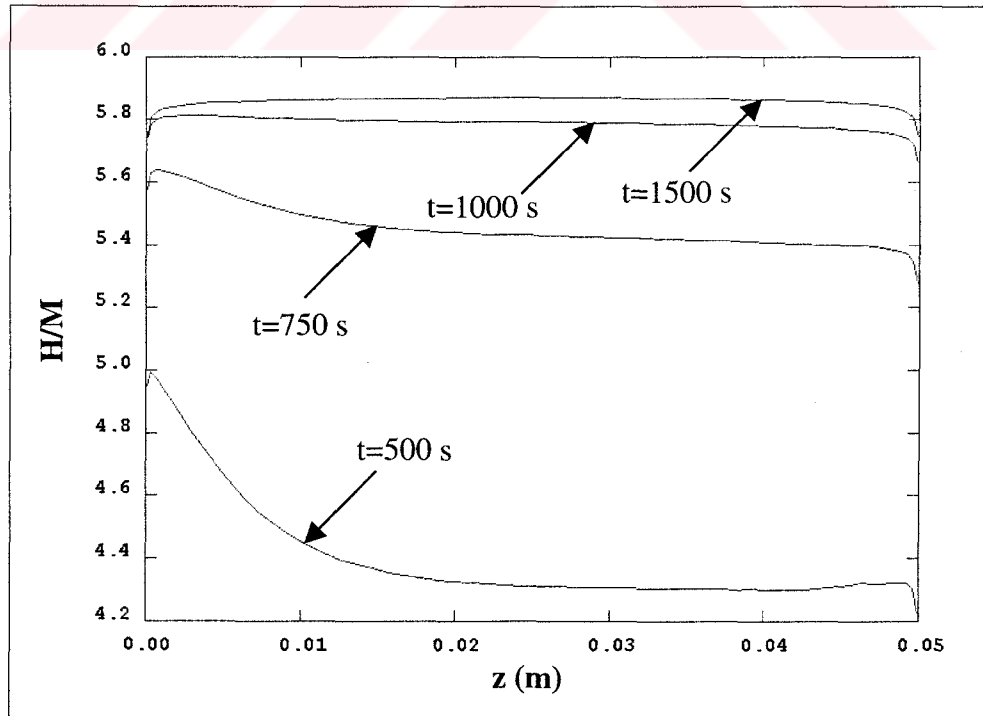
Şekil 5.13. Geometri 2 için H/M oranının $r=0.01466$ m radyal konumunda farklı zaman dilimlerinde aksel yönde değişimi.



Şekil 5.14. Geometri 2 için H/M oranının $z/L=0,488$ aksel konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi.



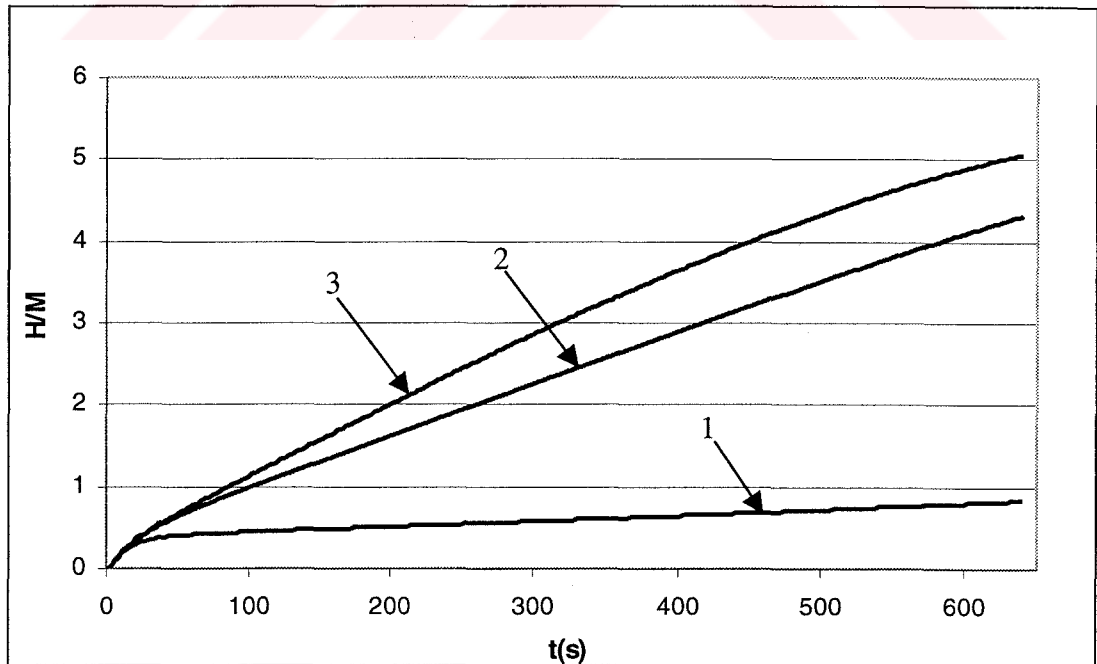
Şekil 5.15. Geometri 3 için H/M oranının $z/L=0,488$ aksenal konumunda farklı zaman dilimlerinde radyal yönde değişimi.



Şekil 5.16. Geometri 3 için H/M oranının $r=0,0135$ m radyal konumunda farklı zaman dilimlerinde aksenal yönde değişimi.

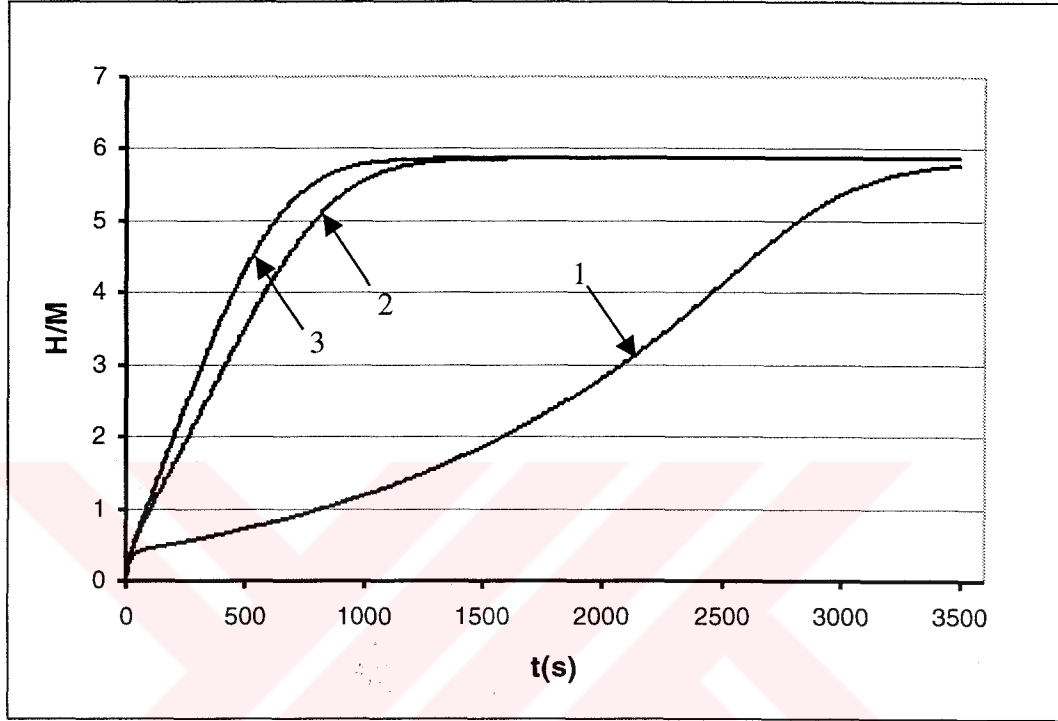
5.2. Geometrilerin H/M Değerlerine Etkisi

3 farklı geometri için yapılan çözümlerde elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir. Soğurma olayının gerçekleştiği ilk 650 saniyelik zaman diliminde en hızlı soğurma Şekil 5.17'den de görüleceği üzere geometri 3'de gerçekleşmiştir. Grafiklerde gösterilen H/M oranları, radyal yönde iç ve dış yarıçapa eşit uzaklıkta olan içteki bir hücrede, aksenal yönde hücreler ise yine orta noktalardadır. Bununla birlikte, hidrojenin metal yatak içine tamamen şarj olması için geçen süreler bazında bir karşılaştırma yapıldığında Geometri 3'ün Geometri 1'e oranla yaklaşık olarak 2,8 kat daha çabuk sürede şarj olduğu görülmektedir. Geometri 2 ve Geometri 3'ün aralarındaki bu fark ise çok daha düşüktür (Şekil 5.18). Fakat metal hidrid yatak hacmi açısından baktığımızda Geometri 1'in Geometri 2'ye göre 4 kat daha büyük bir hacme sahip olması bu süreyi etkileyen önemli bir parametredir. Buradan şu sonuçta çıkabilir, metal yatak hacmindeki 4 kat azalış şarj süresini 2,8 oranında bir azalma göstermektedir.



Şekil 5.17. Geometrinin H/M oranına etkisi (t=650 saniye sonunda).

Eğriler üzerinde gösterilen sayılar ise, 1, 2, 3 sırasıyla geometri 1, geometri 2, geometri 3'ü temsil etmektedir.



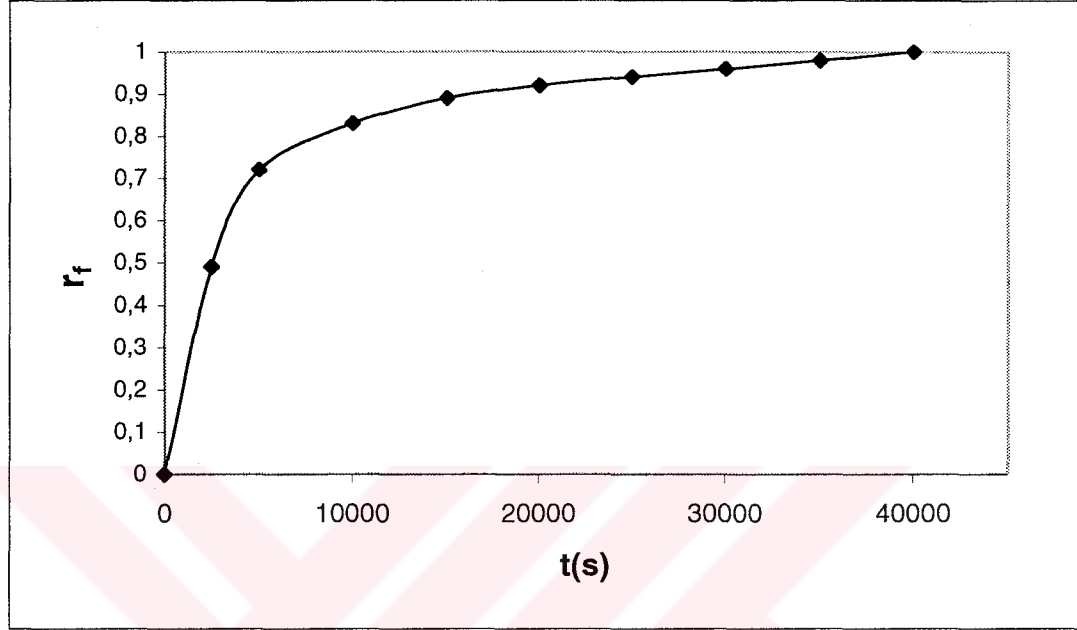
Şekil 5.18. Geometrinin H/M oranına etkisi (t=3500 saniye sonunda).

5.3. Mg ile LaNi₅'in Hidrojen Depolama Açısından Karşılaştırılması

Saf magnezyum da hidrojen depolama ortamı olarak kullanılabilir ve saf magnezyumun depolama özellikleri lantanyumun nikelin (LaNi₅) özellikleri ile karşılaştırıldığında oldukça farklı olduğu görülür. Saf magnezyumun şarj süresi LaNi₅'e göre daha uzun bir süre alırken yaklaşık 40000 saniye, LaNi₅ daha kısa zamanda şarj olabilmektedir (12, 67). Diğer taraftan, magnezyum daha fazla miktarda hidrojeni (%7.6) kendi içinde depolayabilmektedir. Magnezyumun hidrojeni soğurma oranının zamanla değişimi Şekil 5.19'da verilmiştir. Bu şekildeki y eksenini şarj olan hidrojen oranını göstermektedir. Bu oran tam şarj olma manasındaki 1 değerine yaklaşık 40 000 saniye sonunda ulaşmaktadır.

Şekil 5.19'dan da görüleceği üzere şarj etme süresinin uzun olması Mg için istenilmeyen bir özelliktir. Mg bu istenilmeyen özelliği literatürde bazı katkı

maddeleriyle azaltılabilmektedir (12, 67). Literatürde bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.



Şekil 5.19. Mg hidridin reaksiyona giren oranının zaman ile değişimi.

Ancak magnezyumun bu uzun şarj olma süresini kısaltan katkı maddeleri ile hidrojenin depolanmasında alternatif yöntem olan metal hidridler magnezyumun sahip olduğu yüksek hidrojen depolama kapasitesi ile daha fazla tercih edilen hidrojen depolama tekniği olacaktır.

6. SONUÇLARIN TARTIŞILMASI, İLERİDE BU KONUDA YAPILMASI GEREKEN ÇALIŞMALAR

Bu çalışma kapsamında öncelikle hidrojen enerjisi ve bu enerjinin depolanmasındaki değişik yöntemler incelenmiştir. Metal hidrid ortamlarda hidrojen depolanması üzerinde bir model oluşturarak bu modelin depolayabileceği hidrojen oranlarının, bu oranların seçilen geometriye bağımlılığı ve reaktör içindeki sıcaklık dağılımları belirlenmiştir.

Bu noktada metal hidrid ortamların hidrojen depolama karakteristiklerinin bağlı olduğu değişkenlerden biri de reaktör yatak sıcaklığıdır. Bu yüzden yapılan çalışmada, farklı bölge ve kesitlerde sıcaklık değişimleri incelenmiştir. Bu sıcaklık değişimlerinin hidrid oluşumundaki etkisi ve metal yatak içindeki etkin soğutma ile şarj süresindeki değişimler incelenmiştir. Ayrıca farklı geometriler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda Geometri 3'ün en kısa sürede şarj olduğu görülmüştür.

Matematik modeli oluştururken kullandığımız PHOENICS programı çoğu mühendislik uygulamasının analizde kullanılabilecek geniş tabanlı bir program olup, bazı fiziksel olayların çözümünde mevcut yapısı yetersiz kalabilmektedir. Buna rağmen kullanıcı tarafından kendi kodunu oluşturmasına izin veren GROUND kısmı kullanıcıya tanıtması gereken parametreler de olarak sunmaktadır. Kendi oluşturduğumuz modelde denge basıncı, hidrojenin soğurulması esnasında açığa çıkan ısı ve H/M oranlarının hesaplanmasında GROUND yapısı kullanılmıştır. Örnek bir GROUND dosyası Ek 3'de verilmiştir.

Bunlarla birlikte H/M oranları soğutulan, düşük sıcaklıkta bulunan bölgelerde, daha yüksek değerlere sahip olmaktadır. Diğer bir ifade ile soğutulan bölgelerde hidrojenin soğurulması daha hızlı bir şekilde gerçekleşmektedir. Ayrıca magnezyum gibi farklı malzemeler ile de daha fazla oranda hidrojen depolanabileceği literatürdeki çalışmalardan görülmüştür. Fakat magnezyum

gibi hafif ve yüksek hidrojen depolayabilen malzemelerin şarj ve deşarj sürelerinde yapılacak iyileştirmeler magnezyum tabanlı malzemelerin ileride öne çıkmasını sağlayacaktır.

Çalışma kapsamında belirlenen geometrilere metal ortama şarj edilen hidrojen basıncı sabit bir değer alınarak sonuçlara ulaşılmıştır. Fakat hidrojen basıncının farklı değerleri için H/M oranlarının ne şekilde değiştiği incelenmesi gereken konular arasındadır. Böylelikle H/M oranlarının metal yatağa şarj edilen hidrojen basıncına bağımlılığında bu şekilde belirlenebilir ve farklı basınçlar sonundaki şarj süresinin değişimi incelenebilir. Düşük şarj süresine sahip metal hidridler pratik uygulamalarda kullanım açısından kolaylıklar sağlayacaktır. Şarj edilen hidrojen konsantrasyonunun H/M oranları ve şarj süresine etkisi incelenmesi gereken konulardan bir diğeridir.

Hidrojen, fosil kökenli yakıtların belli bir süre sonra tükenecek olması ve bu yakıtların kullanımının çevreye olan zararları nedeniyle en önemli alternatif yakıttır. Yakın bir gelecekte hidrojen ile çalışan araçlar, güç santralleri yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanacaktır. Dolayısıyla ülkemizin hidrojen çağında etkin olabilmesi için araştırma ve geliştirme çalışmalarının hızlandırılması ve bu çalışmaların desteklenmesi gerekmektedir.

Sonuçta, enerjinin büyük bir güç olduğu dünyamızda artan enerji ihtiyaçları buna karşın azalan fosil enerji kaynakları gözönüne alındığında alternatif enerji kaynaklarından hidrojen enerjisi kapasitesi ve kullanım alanları ile büyük ilgi alanına sahiptir. Fakat bu enerji kaynağının depolanmasında ortaya çıkan sorunlar çözümlendiğinde çoğu sektörün ihtiyaçlarına cevap verebilecek bir alternatif olacaktır. Petrol bakımından büyük miktarda rezervlere sahip olan ülkelerden biri olan S. Arabistan'dan da hidrojen üretimi üzerine büyük yatırımların yapılmaktadır. Bu yatırımlar yakın gelecekte hidrojenin enerji ihtiyacını karşılamada önemli bir yer tutacaktır. Fakat ülke olarak bizim de bu gelişmeleri yakından takip edip bu enerji kaynağına gereken ilgiyi göstermemiz gereklidir.

KAYNAKLAR

1. Bockris, J. O'M. and Veziroğlu, T.N. with Smith, D., "Solar Hydrogen Energy - The Power to save the Earth", *Maxwell Macmillan Pergamon*, London, 3-34 (1991)
2. <http://www.angelfire.com/scifi/nuclear220/sec555.htm#HİDROJEN ENERJİSİ> (23.09.2002)
3. http://www.tubitak.gov.tr/btpd/btspd/platform/enerji/bolum6_7.html (12.10.2002)
4. Selvam, P., Viswanathan, B., Srinivasan, V., "Metal hydrides an emerging energy storage media", *20th National seminar on effective energy management* (1987)
5. Bolcich, J.C., Yawny, A.A., Corso, H.L., Peretti, H.A., Ayala, C.O., "Anelastic studies in a magnesium composite containing hydrided laves phase particles", *International Journal of Hydrogen Energy*, 19: 605-609 (1994)
6. <http://www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/hidrojen/trcalismalar.html> (18.10.2002)
7. Libowitz, G.G. and Blank, Z., "An Evaluation of the use of Metal Hydrides for Solar Thermal Energy Storage", *Intersoc. Energy Convers. Eng. Conf.*, 11th Proc., American Inst. of Chemical Engineers, 1802 (1976)
8. Gopal, M.R., Murty, S.S., "Prediction of heat and mass transfer in annular cylindrical metal hydride beds", *International Journal of Hydrogen Energy*, 17 (10): 795-805 (1992)
9. Jemni, A., Ben Nasrallah, S., "Study of two-dimensional heat and mass transfer during absorption in a metal-hydrogen reactor", *International Journal of Hydrogen Energy*, 20 (1): 43-52 (1995)
10. Jemni, A., Ben Nasrallah, S., "Heat and mass transfer models in metal-hydrogen reactor", *International Journal of Hydrogen Energy*, 22 (1): 67-76 (1997)
11. Jemni, A., Ben Nasrallah, S., Jilani, L., "Experimental and theoretical study of a metal-hydrogen reactor", *International Journal of Hydrogen Energy*, 24 (7): 631-44 (1999)
12. Fernandez, J.F. and Sanchez, C.R., "Rate Determining step in the absorption and desorption of hydrogen by magnesium", *Journal of Alloys and Compounds*, 340: 189-198 (2002)

13. Kadir, K., Tanaka, H., Sakai, T., and Uehara, I., "Hydrogen Behavior in the La-Mg-Cu System", *Journal of Alloys and Compounds*, 289: 66–70 (1999)
14. Wang, X.L. and Suda, S., "Kinetics of the Hydriding – Dehydriding Reactions of the Hydrogen – Metal Hydride Systems", *International Journal of Hydrogen Energy*, 17 (2): 139-147 (1992)
15. http://www.fuelcellstore.com/information/hydrogen_storage.html (20.10.2002)
16. Ananmi, A., Visintin, A., Petrov, K., Srinivasan, S., Reilly, J.J., Johnson J.R., Schwarz, R.B., and Desch, P.B., "Alloys for hydrogen storage in nickel/hydrogen and nickel/metal hydride batteries", *Journal of Power Sources*, 47 (3): 261-275 (1994)
17. <http://www.herahydrogen.com> (02.12.2002)
18. T- Raissi, A., Banerjee, A., and Sheinkopf, K., "Metal hydride storage requirements for transportation applications, **31st Intersociety Energy Conversion Engineering Conference**, 4: 2280-2285 (1996)
19. <http://www.e-sources.com/hydrogen/storage.html> (09.01.2003)
20. Wurster, R., and Altman, M., Hydrogen storage alternatives- a technological and economic assesment, KFB-Meddelande, Report no:27 (1999)
21. Nitcsh, J., Hydrogen as an Energy Carrier: Technologies, Systems, Economy, *Springer-Verlag*, Germany (1988)
22. <http://www.qtw.com/pdf/TriShield.pdf> (10.02.2003)
23. <http://www.qtw.com/home.shtml> (08.02.2003)
24. <http://www.gkss.de/Themen/W/WTP/wasserstoff/eSpeicher.html> (12.03.2003)
25. Padro, C. and Putsche, V., "Survey of the Economics of Hydrogen Technologies", Technical Report, *National Renewable Energy Laboratory*, Colorado, USA (1999)
26. <http://www.cea.fr/gb/institutions/clefs44/an-clefs44/clefs4464a.html> (08.02.2003)

27. Sherif, S., Veziroğlu, T.N., and Zeytinoğlu N., "Liquid Hydrogen: Potential Problems and Proposed Research Program", *International Journal of Hydrogen Energy*, 22 (7): 683-688 (1997)
28. Aceves, S.M., Berry, G.D., and Rambach, G.D., "Insulated Pressure Vessels for Hydrogen Storage Technologies", *International Journal of Hydrogen Energy*, 23 (7): 583-591 (1998)
29. Berry, G.D. and Aceves, S.M., "Onboard storage alternatives for hydrogen vehicles", *Energy & Fuels*, 12 (1): 49-55 (1998)
30. <http://www.daimlerchrysler.com> (05.02.2003)
31. Hottinen, T., "Technical review and economic aspects of hydrogen storage technologies", M.S. Thesis, *Helsinki University of Technology* (2001)
32. Tegström, O., "Hydrogen projects running in Europe, in water and energy 2001, needs, development, utilization", *A.A. Balkema Publishers*, Rotterdam, 459-472, Netherlands (1996)
33. Klos, H., Technical and practicability of carbon nanostructures hydrogen storage systems, *12th World Hydrogen Conference*, 2: 893-898 (1998)
34. Berry, G.D. and Aceves, S.M., "Onboard storage alternatives for hydrogen vehicles", *Energy and Fuels*, 12: 370-376 (1998)
35. Bose, T., Chanine, R., Poirier, E., "Hydrogen adsorption in carbon nanostructures", *International Journal of Hydrogen Energy*, 26: 831-835 (2001)
36. Young, K.S., "Hydrogen fuel storage using activated carbon for vehicles", *Proceedings-Society of Automotive Engineers*, 911703, 69-72 (1991)
37. Chahine, R., Bose, T.K., Veziroğlu, T.N., Derive, C., and Pottier, J., "Low pressure adsorption storage of hydrogen", *9th World Hydrogen Energy Conference*, Hydrogen Energy Progress IX, 2 (1993)
38. Young, K.S., "Advanced composites storage containment for hydrogen", *International Journal of Hydrogen Energy*, 17 (7): 505-507 (1992)
39. Schwarz, J.A., "Activated carbon-based hydrogen storage systems", *Department of Energy / National Renewable Energy Laboratory (DOE/NREL)*, Hydrogen Program Review Proceedings (1994)
40. Lee, S., Lee, Y., "Hydrogen Storage in Single-Walled Carbon Nanotubes", *Applied Physics Letters*, 76 (20): 2877-2899 (2002)

41. Bae, D., Bok, J., Choi, Y.C., Choi, Y.G., Frauenheim, T., Kim, N., Lee, S., Lee, Y., Nahm, K., Park, K., Park, Y., Yu, S., "Hydrogen adsorption and storage in carbon nanotubes", ***Synthetic Metals***, 113: 209-216 (2000)
42. Iijima, S., ***Nature***, "Needles in a carbon haystack", 354: 56 (1991)
43. Dillon, A. C., Jones, K. M., and Heben, M. J., "Carbon nanotube materials for hydrogen storage", ***Department of Energy/National Renewable Energy Laboratory (DOE/NREL)***, Hydrogen Program Review (1996)
44. Chen, P., Lin, J., Tan, K., Wu, X., "High H₂ uptake by Alkali-Doped Carbon Nano-tubes under Ambient Pressure and Moderate Temperatures", ***Science***, 285: 91-93 (1999)
45. Alleman, J., Dillon, A., Gennet, T., Jones, K., Parilla, P., "Carbon nanotube materials for hydrogen storage", ***Proceedings of the 2000 DOE/NREL Hydrogen Program Review*** (2000)
46. Cheng, H., Cong, H., Fan, Y., Liu, C., Liu, M., "Hydrogen Storage in Single Walled Carbon Nanotubes at Room Temperature", ***Science***, 286: 1127-1129 (1999)
47. Dillon, A., Heben, M., "Hydrogen Storage Using Carbon adsorbents: Past, Present and Future", ***Applied Physics A***, 72: 133-142 (2001)
48. Tan, K.L., Chen, P., Wu, X., Lin, J., "High H₂ uptake by alkali-doped carbon nanotubes under ambient pressure and moderate temperatures", ***Science***, 285: 91-93 (1999)
49. Liu, C., Fan, Y.Y., Liu, M., Cong, H.T., Cheng, H.M. and Dresselhaus, M.S., "Hydrogen Storage in single-walled carbon nanotubes at room temperature", ***Science***, 286: 1127-1129 (1999)
50. Ye, Y., Ahn, C.C., Witham, C., Fultz, B., Liu, J., Rinzler, A.G., Colbert, D., Smith, K.A., and Smalley, R.E., "Hydrogen adsorption and cohesive energy of single-walled carbon nano-tubes", ***Applied Physics Letters***, 74 (16): 2307-2309 (1999)
51. Darkim, F.L., Malbrunot, P., Tartaglia, G.P., "Review of hydrogen storage by adsorption in carbon nano-tubes", ***International Journal of Hydrogen Energy***, 27: 193-202 (2002)
52. Baker, R., Hidalgo, R., Park, C., Rodriguez, N., Terry, R., "Hydrogen Storage in Graphite Nano-fibers", ***Proceedings of the 1998 U.S. DOE Hydrogen Program Review***, USA, (1998)

53. Baker, R., Chambers, A., Park, C., Rodriguez, N., Terry, R., "Hydrogen Storage in Graphite Nano-fibers", *J. Physical Chemistry B*, 103 (2): 277-281 (1999)
54. Ahn, C.C., Ye, Y., Ratnakumar, B.V., Witham, C.K., Bowman, R.C. Jr., and Fultz B., "Hydrogen Desorption and Adsorption Measurements on Graphite Nanofibers", *Applied. Physics Letters*, 73: 3378-3380 (1998)
55. Gupta, B.K., and Srivastava, O.N., "Synthesis and hydrogenation behavior of graphitic nano-fibers", *International Journal of Hydrogen Energy*, 25 (9): 825-830 (2000)
56. Fan, Y.Y., Liao, B., Liu, M., Wei, Y.L., Lu, H.M., and Cheng, H.M., *Carbon*, 37:1649-1652 (1999)
57. Ye, Y., Ahn, C.C., Witham, C., Fultz, B., Liu, J., Rinzler, A.G., Colbert, D., Smith, K.A., and Smalley, R.E., "Hydrogen Adsorption and cohesive energy of single-walled carbon nanotubes", *Applied Physics Letters*, 74 (16): 2307-2309 (1999)
58. Bose, T.K., and Chahine, R., "Hydrogen Storage Systems", *Sixth Canadian Hydrogen Workshop Proceedings*, (1994)
59. Morgan, D., Sissine, F., "Hydrogen: Technology and Policy", *Congressional Research Service*, Report for Congress, USA (1995)
60. <http://www.cea.fr/gb/institutions/clefs44/an-clefs44/clefs4462a.html> (05.03.2003)
61. Hart, D., Hydrogen Energy- A Brief Introduction, E-sources, <http://www.e-sources.com/hydrogen/powgen.html> (06.04.2003)
62. Jamal, Y. and Wyszynski, M. L., "On board generation of hydrogen rich gaseous fuels: A review", *International Journal of Hydrogen Energy*, 19 (7): 557-572 (1994)
63. Bockris, J.O'M., "Hydrocarbons as hydrogen storage materials", *International Journal of Hydrogen Energy*, 24: 779-780 (1999)
64. Chen, F., Li, W., Loufty, R., Murpy, R., Wang, J., "Hydrogen Storage in Fullerenes and in an Organic Hydride", *Proceedings of the 1998 U.S. DOE Hydrogen Program Review*, USA (1998)
65. Fan, L.S. and Zhu, C., "Principles of Gas-Solid Flows", 223-224, *Cambridge University Press*, USA (1998)

66. Versteeg, H.K. and Malalasekera W., "An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method", **Addison Wesley Longman Limited**, England (1996)
67. Mat, M.D. and Kaplan M., "Numerical study of hydrogen absorption in an Lm-Ni₅ hydride reactor", **International Journal of Hydrogen Energy**, 26 (9): 957-963 (2001)
68. Incropera, F.P. and De Witt, D.P., "Fundamentals of Heat and Mass Transfer", **John Wiley & Sons Inc.**, Third Edition, New York (1993)
69. <http://www.webelements.com> (10.11.2002)
70. Çengel, Y., Boles, M.A., "Thermodynamics An Engineering Approach", Second Edition, **Mcgraw-Hill**, USA (1994)
71. 15 Şubat 2003 tarihli Hürriyet gazetesi

EKLER



Ek 1. Malzemelerin ısı fiziksel özellikleri ve hesaplamalarda kullanılan veriler (68, 69, 70).

Özellikler	Lantanyum Nikel (LaNi ₅)	Magnezyum (Mg)	Hidrojen (H ₂)
Yoğunluk, ρ (kg/m ³)	4230	1738	0.0838
Özgül ısı, C_p (J/kg.K)	419	1024	14.89
Isı iletim katsayısı, k (W/m.K)	1.6	156	0.761147×10^{-4}
Aktivasyon enerjisi, E_a (J/mol H ₂)	25817	90000	-
Molekül ağırlığı, M (kg/mol)		24.32×10^{-3}	2.016×10^{-3}
Reaksiyon enerjisi H (J/mol H ₂)	10		
Soğutucu akışkan ile ısı taşıma katsayısı, h (W/m ² K)	500	500	-
Hidrojen ile reaktör yüzeyi arasındaki ısı taşıma katsayısı, h (W/m ² K)	50	50	-
Gözeneklilik, ε (%)	50.5		
Gaz sabiti, (R_{H_2}) [J/kg.K]			4124.0
Referans kinematik viskozite, ν [m ² /s]	-	-	111×10^{-6}
Dinamik viskozite, μ [N.s/m ²]	-	-	89.6×10^{-7}
Isıl yayılım sabiti, α [m ² /s]		87.6×10^{-6}	

EACT (Activation Energy of Mg = 90 +10 kJ/mol H₂)

RUH (Universal Gas Constant of Hydrogen = 4124.0 J/kg.K)

RHOH (Density of Hydrogen =0.0838 kg/m³)

RSS (Density of saturated solid = 4160*1,06= 4410)

Ek-2 Örnek Q1 kütüğü

TALK=F;RUN(1, 1)

GROUP 1. Run title and other preliminaries

(Geometri 2 için ri=10, ro=20, H=30mm için)

TEXT(Hydrogen Reactor Geometry 1)

REAL(TOUT,TIN)

REAL(XCOF,HREAC)

TOUT=293.

TIN=310.

XCOF=-30.

HREAC=10.0

STEADY=F;GRDPWR(T,250,500.,1.0)

GROUP 3. X-direction grid specification

CARTES=F;XULAST=0.01

GROUP 4. Y-direction grid specification

GRDPWR(Y,-20,0.010,1.4)

RINNER=0.010

GROUP 5. Z-direction grid specification

GRDPWR(Z,-60,0.030,1.4)

SOLVE(P1,V1,W1)

SOLVE(TEM1,C1,C2)

TERMS (C1 ,N,N,Y,Y,Y,N)

TERMS (C2 ,N,N,N,Y,Y,N)

STORE(C3,C4,C5,C6,C7)

NAME(C3)=KUTLE

NAME(C4)=HM

NAME(C5)=EQP

GROUP 9. Properties of the medium (or media)

RHO1=4000.

PRNDTL(TEM1)=-.002

PRNDTL(C1)=-200.

CP1=1500.

ENUL=1.E-6

FIINIT(C1)=1.0

FIINIT(C2)=4160.

FIINIT(TEM1)=TIN

FIINIT(KUTLE)=0.0

FIINIT(HM)=0.0

FIINIT(EQP)=1.E6

FIINIT(P1)=0.0

FIINIT(V1)=0.0

FIINIT(W1)=0.0

GROUP 13. Boundary conditions and special sources

REAL(HCOF)

HCOF=500.

REAL(HCOF1)

HCOF1=50.

PATCH(GIRIS,HIGH,1,1,1,NY,NZ,NZ,1,LSTEP)

COVAL(GIRIS,C1,FIXVAL,1.0)

COVAL(GIRIS,TEM1,HCOF1,TOUT)

COVAL(GIRIS,P1,FIXVAL,0.0)

PATCH(COLDW,LOW,1,1,1,NY,1,1,1,LSTEP)

COVAL(COLDW,TEM1,HCOF,TOUT)

PATCH(ICDUVAR,SOUTH,1,1,1,1,1,NZ,1,LSTEP)

COVAL(ICDUVAR,TEM1,HCOF,TOUT)

WALL(DUVIC,SOUTH,1,1,1,1,1,NZ,1,LSTEP)

PATCH(DUVAR,NORTH,1,1,NY,NY,1,NZ,1,LSTEP)

COVAL(DUVAR,TEM1,HCOF,TOUT)

PATCH(SINKC1,VOLUME,1,1,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)

COVAL(SINKC1,C1,FIXVAL,GRND)

WALL(CIDAR,NORTH,1,1,NY,NY,1,NZ,1,LSTEP)

WALL(UCIDAR,LOW,1,1,1,NY,1,1,1,LSTEP)

***SINK FOR C2

PATCH(SINKC2,VOLUME,1,1,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)

COVAL(SINKC2,C2,FIXFLU,GRND)

PATCH(REACHEAT,PHASEM,1,1,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)

COVAL(REACHEAT,TEM1,FIXFLU,GRND)

DARCON=4.

PATCH(DARCY,PHASEM,1,1,1,NY,1,NZ,1,LSTEP)

COVAL(DARCY,V1,DARCON,0.000E+00)

COVAL(DARCY,W1,DARCON,0.000E+00)

GROUP 16. Termination of iterations

RG(1)=XCOF

RG(2)=HREAC

**Set the number of iterations to be performed at each forward

GROUP 23. Field print-out and plot control

LSWEEP=15

TSTSWP=-1

VARMIN(P1)=0.0

RELAX(TEM1,FALSDT, 1.)

RELAX(C1 ,FALSDT, 1.)

RELAX(C2 ,FALSDT, 1.)

RELAX(P1 ,LINRLX, .7)

RELAX(V1 ,FALSDT, 0.01)

RELAX(W1 ,FALSDT, 0.01)

ENDIT (P1) = 1.000000E-05

ENDIT (V1) = 1.000000E-05 ;ENDIT (W1) = 1.000000E-03

ENDIT (C1) = 1.000000E-03 ;ENDIT (C2) = 1.000000E-03

ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03

IXMON=NX/2

IYMON=NY/2

IZMON=NZ/2

**Settings to secure PHOTON-plottable print-out

STOP

Ek-3 Örnek bir "Ground.for" dosyası

```

C.... FILE NAME GROUND.FTN-----230597
      SUBROUTINE GROUND
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/satear'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/grdloc'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/satgrd'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/grdear'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/grdbfc'

COMMON/GENI/NXNY,IGFIL1(8),NFM,IGF(21),IPRL,IBTAU,ILTLS,IGFIL(15
),
      1
ITEM1,ITEM2,ISPH1,ISPH2,ICON1,ICON2,IPRPS,IRADX,IRADY,IRADZ,IVF
OL
      COMMON/DRHODP/ITEMP,IDEN/DVMOD/IDVCGR
CXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX USER
SECTION STARTS:
C
C 1 Set dimensions of data-for-GROUND arrays here. WARNING: the
C corresponding arrays in the MAIN program of the satellite
C and EARTH must have the same dimensions.
      PARAMETER (NLG=100, NIG=200, NRG=200, NCG=100)
C

COMMON/LGRND/LG(NLG)/IGRND/IG(NIG)/RGRND/RG(NRG)/CGRND/C
G(NCG)
      LOGICAL LG
      CHARACTER*4 CG
C
C 2 User dimensions own arrays here, for example:
C DIMENSION GUH(10,10),GUC(10,10),GUX(10,10),GUZ(10)
      DIMENSION ORHM(60)
C
C 3 User places his data statements here, for example:
C DATA NXDIM,NYDIM/10,10/
C
C 4 Insert own coding below as desired, guided by GREX examples.
C Note that the satellite-to-GREX special data in the labelled
C COMMONs /RSG/, /ISG/, /LSG/ and /CSG/ can be included and
C used below but the user must check GREX for any conflicting
C uses. The same comment applies to the EARTH-spare working
C arrays EASP1, EASP2,...EASP20. In addition to the EASPs,
C there are 10 GRound-earth SPare arrays, GRSP1,...,GRSP10,
C supplied solely for the user, which are not used by GREX. If
C the call to GREX has been deactivated then all of the arrays

```

```

C   may be used without reservation.
C
C*****
C
C   IXL=IABS(IXL)
C   IF(IGR.EQ.13) GO TO 13
C   IF(IGR.EQ.19) GO TO 19
C   GO TO (1,2,3,4,5,6,25,8,9,10,11,12,13,14,25,25,25,25,19,20,25,
C   121,23,24),IGR
C   25 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 1. Run title and other preliminaries
C
C   1 GO TO (1001,1002,1003),ISC
C
C   1001 CONTINUE
C
C * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
C--- Use this group to create storage via MAKE, GXMAKE etc which it is
C   essential to dump to PHI (or PHIDA) for restarts
C   User may here change message transmitted to the VDU screen
C   IF(.NOT.NULLPR.AND.IDVCGR.EQ.0)
C   1 CALL WRYT40('GROUND file is GROUND.F of: 230597 ')
C
C   RETURN
C * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
C--- Use this group to create storage via GXMAKE which it is not
C   necessary to dump to PHI (or PHIDA) for restarts
C
C   1003 CONTINUE
C   GO TO 25
C   1002 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 2. Transience; time-step specification
C
C   2 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 3. X-direction grid specification
C
C   3 CONTINUE
C   RETURN

```



```

C*****
C
C--- GROUP 4. Y-direction grid specification
C
  4 CONTINUE
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 5. Z-direction grid specification
C
  5 CONTINUE
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 6. Body-fitted coordinates or grid distortion
C
  6 CONTINUE
  RETURN
C*****
C * Make changes for this group only in group 19.
C--- GROUP 7. Variables stored, solved & named
C*****
C
C--- GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices
C
  8 GO TO (81,82,83,84,85,86,87,88,89,810,811,812,813,814,815,816)
  1,ISC
  81 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
C For U1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  82 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
C For U2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  83 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
C For V1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  84 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
C For V2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  85 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
C For W1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD
  RETURN

```

```

86 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 -----
C For W2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD
RETURN
87 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 --- Volumetric source for gala
RETURN
88 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 --- Convection fluxes
C--- Entered when UCONV =.TRUE.; block-location indices are:
C LD11 for east and north (accessible at the same time),
C LD12 for west and south (accessible at the same time),
C LD2 for high (which becomes low for the next slab).
C User should provide INDVAR and NDIREC IF's as appropriate.
RETURN
89 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 --- Diffusion coefficients
C--- Entered when UDIFF =.TRUE.; block-location indices are LAE
C for east, LAW for west, LAN for north, LAS for
C south, LD11 for high, and LD11 for low.
C User should provide INDVAR and NDIREC IF's as above.
C EARTH will apply the DIFCUT and GP12 modifications after the user
C has made his settings.
C
RETURN
810 CONTINUE
C * ----- SECTION 10 --- Convection neighbours
RETURN
811 CONTINUE
C * ----- SECTION 11 --- Diffusion neighbours
RETURN
812 CONTINUE
C * ----- SECTION 12 --- Linearised sources
RETURN
813 CONTINUE
C * ----- SECTION 13 --- Correction coefficients
RETURN
814 CONTINUE
C * ----- SECTION 14 --- User's own solver
RETURN
815 CONTINUE
C * ----- SECTION 15 --- Change solution
RETURN
816 CONTINUE
C * ----- SECTION 16 --- Change DVEL/DPs
RETURN
C

```

C * See the equivalent section in GREX for the indices to be
 C used in sections 7 - 16
 C
 C * Make all other group-8 changes in GROUP 19.
 C*****
 C
 C--- GROUP 9. Properties of the medium (or media)
 C
 C The sections in this group are arranged sequentially in their
 C order of calling from EARTH. Thus, as can be seen from below,
 C the temperature sections (10 and 11) precede the density
 C sections (1 and 3); so, density formulae can refer to
 C temperature stores already set.
 9 GO TO (91,92,93,94,95,96,97,98,99,900,901,902,903,904,905),ISC
 C*****
 900 CONTINUE
 C * ----- SECTION 10 -----
 C For TMP1.LE.GRND----- phase-1 temperature Index TEMP1
 RETURN
 901 CONTINUE
 C * ----- SECTION 11 -----
 C For TMP2.LE.GRND----- phase-2 temperature Index TEMP2
 RETURN
 902 CONTINUE
 C * ----- SECTION 12 -----
 C For EL1.LE.GRND----- phase-1 length scale Index LEN1
 RETURN
 903 CONTINUE
 C * ----- SECTION 13 -----
 C For EL2.LE.GRND----- phase-2 length scale Index LEN2
 RETURN
 904 CONTINUE
 C * ----- SECTION 14 -----
 C For SOLVE(TEM1)----- phase-1 specific heat
 RETURN
 905 CONTINUE
 C * ----- SECTION 15 -----
 C For SOLVE(TEM2)----- phase-2 specific heat
 RETURN
 91 CONTINUE
 C * ----- SECTION 1 -----
 C For RHO1.LE.GRND--- density for phase 1 Index DEN1
 RETURN
 92 CONTINUE
 C * ----- SECTION 2 -----
 C For DRH1DP.LE.GRND--- D(LN(DEN))/DP for phase 1
 C Index D1DP

```

RETURN
93 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
C For RHO2.LE.GRND--- density for phase 2      Index DEN2
RETURN
94 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
C For DRH2DP.LE.GRND--- D(LN(DEN))/DP for phase 2
C                                     Index D2DP
RETURN
95 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
C For ENUT.LE.GRND--- reference turbulent kinematic viscosity
C                                     Index VIST
RETURN
96 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 -----
C For ENUL.LE.GRND--- reference laminar kinematic viscosity
C                                     Index VISL
RETURN
97 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 -----
C For PRNDTL( ).LE.GRND--- laminar PRANDTL nos., or diffusivity
C                                     Index LAMPR
RETURN
98 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 -----
C For PHINT( ).LE.GRND--- interface value of first phase
C                                     Index FII1
RETURN
99 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 -----
C For PHINT( ).LE.GRND--- interface value of second phase
C                                     Index FII2
RETURN
C*****
C
C--- GROUP 10. Inter-phase-transfer processes and properties
C
10 GO TO (101,102,103,104,105),ISC
101 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
C For CFIPS.LE.GRND--- inter-phase friction coeff.
C                                     Index INTFRC
RETURN
102 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----

```

```

C   For CMDOT.EQ.GRND- inter-phase mass transfer  Index INTMDT
c   l0mdt=l0f(intmdt)
c   l0c2=l0f(c2)
c   l0r1=l0f(9)
c   l0vol=l0f(LVOL)
c   do i=1,nx*ny
c     f(l0mdt+i)= - cmdta * (phint(c2) - f(l0c2+i)) *
c     1          f(l0r1+i) * f(l0vol+i)
c   enddo
  RETURN
103 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
C   For CINT( ).EQ.GRND--- phase1-to-interface transfer coefficients
C                               Index COI1
  RETURN
104 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
C   For CINT( ).EQ.GRND--- phase2-to-interface transfer coefficients
C                               Index COI2
  RETURN
105 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
C   For CVM.EQ.GRND--- virtual mass coefficient
C                               Index LD12
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields
C                               Index VAL
  11 CONTINUE
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 12. Convection and diffusion adjustments
C
  12 CONTINUE
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 13. Boundary conditions and special sources
C                               Index for Coefficient - CO
C                               Index for Value      - VAL
  13 CONTINUE
  GO TO (130,131,132,133,134,135,136,137,138,139,1310,
  11311,1312,1313,1314,1315,1316,1317,1318,1319,1320,1321),ISC
130 CONTINUE
C----- SECTION 1 ----- coefficient = GRND

```

```

RETURN
131 CONTINUE
C----- SECTION 2 ----- coefficient = GRND1
RETURN
132 CONTINUE
C----- SECTION 3 ----- coefficient = GRND2
RETURN
133 CONTINUE
C----- SECTION 4 ----- coefficient = GRND3
RETURN
134 CONTINUE
C----- SECTION 5 ----- coefficient = GRND4
RETURN
135 CONTINUE
C----- SECTION 6 ----- coefficient = GRND5
RETURN
136 CONTINUE
C----- SECTION 7 ----- coefficient = GRND6
RETURN
137 CONTINUE
C----- SECTION 8 ----- coefficient = GRND7
RETURN
138 CONTINUE
C----- SECTION 9 ----- coefficient = GRND8
RETURN
139 CONTINUE
C----- SECTION 10 ----- coefficient = GRND9
RETURN
1310 CONTINUE
C----- SECTION 11 ----- coefficient = GRND10
RETURN
1311 CONTINUE
C----- SECTION 12 ----- value = GRND
c      this part is release of reaction energy

```

```

IF(NPATCH(1:8).EQ.'REACHEAT'.AND.INDVAR.EQ.LBNAME('TEM1'))
THEN

```

```

LVAL=L0F(VAL)
LC3=L0F(C3)
LOLDC3=L0F(OLD(C3))
NXNY=NX*NY
HREC=RG(2)
DO 3315 ICELL=1,NXNY
F(LVAL+ICELL)=ABS((HREC*F(LC3+ICELL)-F(LOLDC3+ICELL))/DT)
3315 CONTINUE
ENDIF

```

```

C
  IF(NPATCH(1:6).EQ.'SINKC1'.AND.INDVAR.EQ.C1) THEN

    LVAL=L0F(VAL)
    LMDOT=L0F(C3)
    LTEM=L0F(LBNAME('TEM1'))

    DO 4316 ICL=1,NXNY
      F(LVAL+ICL)=F(LMDOT+ICL)*8.314*F(LTEM+ICL)/1.E5

4316 CONTINUE
    ENDIF
  IF(NPATCH(1:6).EQ.'SINKC2'.AND.INDVAR.EQ.C2) THEN

    LVAL=L0F(VAL)
    LC3=L0F(C3)

    DO 5316 ICL=1,NXNY
      F(LVAL+ICL)=F(LC3+ICL)

5316 CONTINUE
    ENDIF

    RETURN
1312 CONTINUE
C----- SECTION 13 ----- value = GRND1
    RETURN
1313 CONTINUE
C----- SECTION 14 ----- value = GRND2
    RETURN
1314 CONTINUE
C----- SECTION 15 ----- value = GRND3
    RETURN
1315 CONTINUE
C----- SECTION 16 ----- value = GRND4
    RETURN
1316 CONTINUE
C----- SECTION 17 ----- value = GRND5
    RETURN
1317 CONTINUE
C----- SECTION 18 ----- value = GRND6
    RETURN
1318 CONTINUE

```

```

C----- SECTION 19 ----- value = GRND7
  RETURN
1319 CONTINUE
C----- SECTION 20 ----- value = GRND8
  RETURN
1320 CONTINUE
C----- SECTION 21 ----- value = GRND9
  RETURN
1321 CONTINUE
C----- SECTION 22 ----- value = GRND10
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.TRUE.
C
  14 CONTINUE
  RETURN
C*****
C* Make changes to data for GROUPS 15, 16, 17, 18 GROUP 19.
C*****
C
C--- GROUP 19. Special calls to GROUND from EARTH
C
  19 GO TO (191,192,193,194,195,196,197,198,199,1910,1911),ISC
  191 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 ---- Start of time step.
      IF(ISTEP.LT.6) LSWEEP=100
      IF(ISTEP.GE.6) LSWEEP=10
  RETURN
192 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 ---- Start of sweep.

  RETURN
193 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 ---- Start of iz slab.
c   this part calculates m and equilibrium pressure
    CALL FN25(P1,1.)

    LTEM=L0F(LBNAME('TEM1'))
    LRS=L0F(C2)
    LMDT=L0F(C3)
    LHM=L0F(C4)
    LEQP=L0F(C5)
    LP1=L0F(C1)
    LC6=L0F(C6)
    LC7=L0F(C7)
    LPG=L0F(P1)

```



```

C
  RHOH=0.5
  RUH=4.0
  NXNY=NX*NY
  RSS=4197.
  EACT=-5000.
  RU=8.314
  DO ICL=1,NXNY
    F(LPG+ICL)=RHOH*RUH*(F(LTEM+ICL)-293.)/1000.
    F(LPG+ICL)=AMAX1(F(LPG+ICL),0.0)
C    WRITE(30,*)F(LPG+ICL)
  ENDDO

  DO 5417 ICL=1,NXNY
    F(LHM+ICL)=(F(LRS+ICL)-4160.)/37
    F(LC6+ICL)=(F(LRS+ICL)-4160.)/6.27112
    F(LC7+ICL)=F(LRS+ICL)-4160.
    XHM=F(LHM+ICL)
    XTM=1./F(LTEM+ICL)-1./338.5

    F(LEQP+ICL)=1.0E8*EXP(-35885.0*XTM)
    IF(F(LEQP+ICL).GT.1.E8) THEN
      F(LEQP+ICL)=1.E8
    ENDIF
5417 CONTINUE

  DO 5416 ICL=1,NXNY
    F(LMDT+ICL)=-1.*RG(1)*EXP(EACT/(RU*F(LTEM+ICL)))
C    WRITE(66,*)F(LMDT+ICL),F(LTEM+ICL)
    F(LMDT+ICL)=F(LMDT+ICL)*(RSS-F(LRS+ICL))*0.5

    IF(ISTEP.EQ.1) THEN
      F(LEQP+ICL)=1.E8
    ENDIF
    AA=LOG(1.E8/F(LEQP+ICL))

    F(LMDT+ICL)=F(LMDT+ICL)*AA
C    F(LMDT+ICL)=-1.0*RG(1)*AA
C    WRITE(55,*)AA,F(LEQP+ICL),F(LMDT+ICL),F(LTEM+ICL)

5416 CONTINUE

  RETURN
194 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 ---- Start of iterations over slab.

```

```

RETURN
1911 CONTINUE
C * ----- SECTION 11---- After calculation of convection
C           fluxes for scalars, and of volume
C           fractions, but before calculation of
C           scalars or velocities
RETURN
199 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 ---- Start of solution sequence for
C                           a variable
RETURN
1910 CONTINUE
C * ----- SECTION 10---- Finish of solution sequence for
C                           a variable
RETURN
195 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 ---- Finish of iterations over slab.
RETURN
196 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 ---- Finish of iz slab.
C   THIS PART CALCULATES THE TOTAL HYDROGEN ABSORBED
C   *****

IF(ISWEEP.EQ.1) THEN
SUM=0.0
ENDIF
IF(ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN

LC7=L0F(C7)
DO 1545 ICL=1,NY
SUM=SUM+F(LC7+ICL)
1545 CONTINUE
IF(IZ.EQ.NZ) THEN
WRITE(25,*)DT*ISTEP,SUM*1.0E-3
ENDIF
C   WRITE(25,*)IZ,SUM
ENDIF
IF(IZ.EQ.5) THEN
IF(ISTEP.EQ.LSTEP.AND.ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
LHM=L0F(C4)
LTM=L0F(LBNAME('TEM1'))
LC6=L0F(C6)
DO IX=1,NX
write(55,1888)(F(LC6+IY+NY*(IX-1)),IY=1,NY)
1888 FORMAT(30F10.4)
WRITE(56,1888)(F(LTM+IY+NY*(IX-1)),IY=1,NY)
ENDDO

```

```

ENDIF
ENDIF
IF(IZ.EQ.20) THEN
IF(ISTEP.EQ.LSTEP.AND.ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
LHM=L0F(C4)
LTM=L0F(LBNAME('TEM1'))
LC6=L0F(C6)
DO IX=1,NX
write(65,1889)(F(LC6+IY+NY*(IX-1)),IY=1,NY)
1889 FORMAT(30F10.4)
WRITE(66,1889)(F(LTM+IY+NY*(IX-1)),IY=1,NY)
ENDDO

```

```

ENDIF
ENDIF

```

```

IF(IZ.EQ.35) THEN
IF(ISTEP.EQ.LSTEP.AND.ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
LHM=L0F(C4)
LTM=L0F(LBNAME('TEM1'))
LC6=L0F(C6)
do IX=1,NX
write(75,1887)(F(LC6+IY+NY*(IX-1)),IY=1,NY)
1887 FORMAT(30F10.4)
WRITE(76,1887)(F(LTM+IY+NY*(IX-1)),IY=1,NY)
ENDDO

```

```

ENDIF
ENDIF

```

```

IF (ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
LC6=L0F(C6)
LTM=L0F(LBNAME('TEM1'))

```

```

IF (IZ.EQ.5) WRITE(80,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
IF (IZ.EQ.5) WRITE(81,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
C IF (IZ.EQ.10) WRITE(82,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
C IF (IZ.EQ.10) WRITE(83,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
IF (IZ.EQ.15) WRITE(84,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
IF (IZ.EQ.15) WRITE(85,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
C IF (IZ.EQ.20) WRITE(86,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
C IF (IZ.EQ.20) WRITE(87,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
IF (IZ.EQ.25) WRITE(88,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
IF (IZ.EQ.25) WRITE(89,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
C IF (IZ.EQ.30) WRITE(90,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
C IF (IZ.EQ.30) WRITE(91,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)

```

```

IF (IZ.EQ.35) WRITE(96,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
IF (IZ.EQ.35) WRITE(97,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
C IF (IZ.EQ.40) WRITE(98,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
C IF (IZ.EQ.40) WRITE(99,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
IF (IZ.EQ.45) WRITE(92,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
IF (IZ.EQ.45) WRITE(93,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)
IF (IZ.EQ.55) WRITE(94,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY/2)
IF (IZ.EQ.55) WRITE(95,1954)DT*ISTEP,F(LC6+NY/2)

C
IF (IZ.EQ.5) WRITE(100,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.5) WRITE(101,1954)DT*ISTEP,F(LC6+3)
IF (IZ.EQ.15) WRITE(102,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.15) WRITE(103,1954)DT*ISTEP,F(LC6+3)
IF (IZ.EQ.25) WRITE(104,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.30) WRITE(105,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.35) WRITE(106,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
C IF (IZ.EQ.40) WRITE(107,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.45) WRITE(108,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.50) WRITE(109,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)
IF (IZ.EQ.55) WRITE(110,1954)DT*ISTEP,F(LTM+3)

IF (IZ.EQ.5) WRITE(111,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY-3)
C IF (IZ.EQ.10) WRITE(112,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY*10/25)
IF (IZ.EQ.15) WRITE(113,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY-3)
C IF (IZ.EQ.20) WRITE(114,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY*10/25)
IF (IZ.EQ.25) WRITE(115,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY-3)
C IF (IZ.EQ.30) WRITE(116,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY*10/25)
IF (IZ.EQ.35) WRITE(117,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY-3)
C IF (IZ.EQ.40) WRITE(118,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY*10/25)
IF (IZ.EQ.45) WRITE(119,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY-3)
C IF (IZ.EQ.50) WRITE(120,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY*10/25)
IF (IZ.EQ.55) WRITE(121,1954)DT*ISTEP,F(LTM+NY-3)

1954 FORMAT(2F10.4)
C write(20,*) IZ, ISTEP,F(LTM+NY/2)
ENDIF

IF(ISTEP.EQ.LSTEP.AND.ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
LC6=L0F(C6)
LTM=L0F(LBNAME('TEM1'))
LP1=L0F(P1)
5888 FORMAT(50F10.4)
WRITE(40,5888)(F(LTM+IY+NY*(NX/2-1)),IY=1,NY)
WRITE(45,5888)(F(LC6+IY+NY*(NX/2-1)),IY=1,NY)
WRITE(46,5888)(F(LP1+IY+NY*(NX/2-1)),IY=1,NY)
ENDIF

```

```

      IF(ISWEEP.EQ.LSWEEP) THEN
      LC6=L0F(C6)
      NXNY=NX*NY
      SUMC=0.0
      DO ICL=1,NXNY
      SUMC=SUMC+F(LC6+ICL)
      ENDDO
      ORTC6=SUMC/NXNY
      ORHM(IZ)=ORTC6
C    WRITE(15,*)DT*ISTEP

      ENDIF

      RETURN
197 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 ---- Finish of sweep.

      RETURN
198 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 ---- Finish of time step.

      SUMS=0.0
      DO I=1,NZ
      SUMS=SUMS+ORHM(I)
      ENDDO
      SUMH=SUMS/NZ
      WRITE(15,*)DT*ISTEP,SUMH

C
      RETURN
C*****
C
C--- GROUP 20. Preliminary print-out
C
      20 CONTINUE
      RETURN
C*****
C--- GROUP 21. Special print-out to screen
      21 CONTINUE
      GO TO 25
C*****
C* Make changes to data for GROUP 22 only in GROUP 19.
C*****
C
C--- GROUP 23. Field print-out and plot control
      23 CONTINUE

```

RETURN

C*****

C

C--- GROUP 24. Dumps for restarts

C

24 CONTINUE

END



Ek-4 Örnek RESULT Kütüğü

Oluşturduğumuz grafiklerde her zaman dilimi ve geometri için bir RESULT kütüğü bulunmaktadır. 500 saniye sonundaki sonuç kütüğü daha az yer kapladığı için eklerde bu RESULT kütüğüne yer verilmiştir.

```

*****
Group 1. Run Title and Number
*****
*****
TEXT(Hydrogen Reactor Geometry 2)

*****
*****

IRUNN      =          1 ;LIBREF =          14
*****
Group 2. Transience
STEADY     =          F
* Set overall time and no. of steps
TFIRST    = 0.000000E+00 ;TLAST  = 5.000000E+02
LSTEP     =          250
TFRAC ( 1) = 4.000000E-03 ;TFRAC ( 2) = 8.000000E-03
TFRAC ( 3) = 1.200000E-02 ;TFRAC ( 4) = 1.600000E-02
TFRAC ( 5) = 2.000000E-02 ;TFRAC ( 6) = 2.400000E-02
TFRAC ( 7) = 2.800000E-02 ;TFRAC ( 8) = 3.200000E-02
TFRAC ( 9) = 3.600000E-02 ;TFRAC (10) = 4.000000E-02
TFRAC (11) = 4.400000E-02 ;TFRAC (12) = 4.800000E-02
TFRAC (13) = 5.200000E-02 ;TFRAC (14) = 5.600000E-02
TFRAC (15) = 6.000000E-02 ;TFRAC (16) = 6.400000E-02
TFRAC (17) = 6.800000E-02 ;TFRAC (18) = 7.200000E-02
TFRAC (19) = 7.600001E-02 ;TFRAC (20) = 8.000001E-02
TFRAC (21) = 8.400001E-02 ;TFRAC (22) = 8.800001E-02
TFRAC (23) = 9.200001E-02 ;TFRAC (24) = 9.600000E-02
TFRAC (25) = 1.000000E-01 ;TFRAC (26) = 1.040000E-01
TFRAC (27) = 1.080000E-01 ;TFRAC (28) = 1.120000E-01
TFRAC (29) = 1.160000E-01 ;TFRAC (30) = 1.200000E-01
TFRAC (31) = 1.240000E-01 ;TFRAC (32) = 1.280000E-01
TFRAC (33) = 1.320000E-01 ;TFRAC (34) = 1.360000E-01
TFRAC (35) = 1.400000E-01 ;TFRAC (36) = 1.440000E-01
TFRAC (37) = 1.480000E-01 ;TFRAC (38) = 1.520000E-01
TFRAC (39) = 1.560000E-01 ;TFRAC (40) = 1.600000E-01
TFRAC (41) = 1.640000E-01 ;TFRAC (42) = 1.680000E-01
TFRAC (43) = 1.720000E-01 ;TFRAC (44) = 1.760000E-01
TFRAC (45) = 1.800000E-01 ;TFRAC (46) = 1.840000E-01
TFRAC (47) = 1.880000E-01 ;TFRAC (48) = 1.920000E-01
TFRAC (49) = 1.960000E-01 ;TFRAC (50) = 2.000000E-01
TFRAC (51) = 2.040000E-01 ;TFRAC (52) = 2.080000E-01
TFRAC (53) = 2.120000E-01 ;TFRAC (54) = 2.160000E-01
TFRAC (55) = 2.200000E-01 ;TFRAC (56) = 2.240000E-01
TFRAC (57) = 2.280000E-01 ;TFRAC (58) = 2.320000E-01
TFRAC (59) = 2.360000E-01 ;TFRAC (60) = 2.400000E-01
TFRAC (61) = 2.440000E-01 ;TFRAC (62) = 2.480000E-01
TFRAC (63) = 2.520000E-01 ;TFRAC (64) = 2.560000E-01
TFRAC (65) = 2.600000E-01 ;TFRAC (66) = 2.640000E-01

```

TFRAC (67) = 2.680000E-01 ;TFRAC (68) = 2.720000E-01
TFRAC (69) = 2.760000E-01 ;TFRAC (70) = 2.800000E-01
TFRAC (71) = 2.840000E-01 ;TFRAC (72) = 2.880000E-01
TFRAC (73) = 2.920000E-01 ;TFRAC (74) = 2.960000E-01
TFRAC (75) = 3.000000E-01 ;TFRAC (76) = 3.040000E-01
TFRAC (77) = 3.080000E-01 ;TFRAC (78) = 3.120000E-01
TFRAC (79) = 3.160000E-01 ;TFRAC (80) = 3.200000E-01
TFRAC (81) = 3.240000E-01 ;TFRAC (82) = 3.280000E-01
TFRAC (83) = 3.320000E-01 ;TFRAC (84) = 3.360000E-01
TFRAC (85) = 3.400000E-01 ;TFRAC (86) = 3.440000E-01
TFRAC (87) = 3.480000E-01 ;TFRAC (88) = 3.520000E-01
TFRAC (89) = 3.560000E-01 ;TFRAC (90) = 3.600000E-01
TFRAC (91) = 3.640000E-01 ;TFRAC (92) = 3.680000E-01
TFRAC (93) = 3.720000E-01 ;TFRAC (94) = 3.760000E-01
TFRAC (95) = 3.800000E-01 ;TFRAC (96) = 3.840000E-01
TFRAC (97) = 3.880000E-01 ;TFRAC (98) = 3.920000E-01
TFRAC (99) = 3.960000E-01 ;TFRAC (100) = 4.000000E-01
TFRAC (101) = 4.040000E-01 ;TFRAC (102) = 4.080000E-01
TFRAC (103) = 4.120000E-01 ;TFRAC (104) = 4.160000E-01
TFRAC (105) = 4.200000E-01 ;TFRAC (106) = 4.240000E-01
TFRAC (107) = 4.280000E-01 ;TFRAC (108) = 4.320000E-01
TFRAC (109) = 4.360000E-01 ;TFRAC (110) = 4.400000E-01
TFRAC (111) = 4.440000E-01 ;TFRAC (112) = 4.480000E-01
TFRAC (113) = 4.520000E-01 ;TFRAC (114) = 4.560000E-01
TFRAC (115) = 4.600000E-01 ;TFRAC (116) = 4.640000E-01
TFRAC (117) = 4.680000E-01 ;TFRAC (118) = 4.720000E-01
TFRAC (119) = 4.760000E-01 ;TFRAC (120) = 4.800000E-01
TFRAC (121) = 4.840000E-01 ;TFRAC (122) = 4.880000E-01
TFRAC (123) = 4.920000E-01 ;TFRAC (124) = 4.960000E-01
TFRAC (125) = 5.000000E-01 ;TFRAC (126) = 5.040000E-01
TFRAC (127) = 5.080000E-01 ;TFRAC (128) = 5.120000E-01
TFRAC (129) = 5.160000E-01 ;TFRAC (130) = 5.200000E-01
TFRAC (131) = 5.240000E-01 ;TFRAC (132) = 5.280000E-01
TFRAC (133) = 5.320000E-01 ;TFRAC (134) = 5.360000E-01
TFRAC (135) = 5.400000E-01 ;TFRAC (136) = 5.440000E-01
TFRAC (137) = 5.480000E-01 ;TFRAC (138) = 5.520000E-01
TFRAC (139) = 5.560001E-01 ;TFRAC (140) = 5.600000E-01
TFRAC (141) = 5.640000E-01 ;TFRAC (142) = 5.680000E-01
TFRAC (143) = 5.720000E-01 ;TFRAC (144) = 5.760000E-01
TFRAC (145) = 5.800000E-01 ;TFRAC (146) = 5.840001E-01
TFRAC (147) = 5.880000E-01 ;TFRAC (148) = 5.920000E-01
TFRAC (149) = 5.960000E-01 ;TFRAC (150) = 6.000000E-01
TFRAC (151) = 6.040000E-01 ;TFRAC (152) = 6.080000E-01
TFRAC (153) = 6.120000E-01 ;TFRAC (154) = 6.160001E-01
TFRAC (155) = 6.200000E-01 ;TFRAC (156) = 6.240000E-01
TFRAC (157) = 6.280000E-01 ;TFRAC (158) = 6.320000E-01
TFRAC (159) = 6.360000E-01 ;TFRAC (160) = 6.400000E-01
TFRAC (161) = 6.440001E-01 ;TFRAC (162) = 6.480000E-01
TFRAC (163) = 6.520000E-01 ;TFRAC (164) = 6.560000E-01
TFRAC (165) = 6.600000E-01 ;TFRAC (166) = 6.640000E-01
TFRAC (167) = 6.680000E-01 ;TFRAC (168) = 6.720001E-01
TFRAC (169) = 6.760001E-01 ;TFRAC (170) = 6.800000E-01
TFRAC (171) = 6.840000E-01 ;TFRAC (172) = 6.880000E-01
TFRAC (173) = 6.920000E-01 ;TFRAC (174) = 6.960000E-01
TFRAC (175) = 7.000000E-01 ;TFRAC (176) = 7.040001E-01
TFRAC (177) = 7.080000E-01 ;TFRAC (178) = 7.120000E-01
TFRAC (179) = 7.160000E-01 ;TFRAC (180) = 7.200000E-01
TFRAC (181) = 7.240000E-01 ;TFRAC (182) = 7.280000E-01


```

TFRAC (183) = 7.320001E-01 ;TFRAC (184) = 7.360001E-01
TFRAC (185) = 7.400000E-01 ;TFRAC (186) = 7.440000E-01
TFRAC (187) = 7.480000E-01 ;TFRAC (188) = 7.520000E-01
TFRAC (189) = 7.560000E-01 ;TFRAC (190) = 7.600001E-01
TFRAC (191) = 7.640001E-01 ;TFRAC (192) = 7.680000E-01
TFRAC (193) = 7.720000E-01 ;TFRAC (194) = 7.760000E-01
TFRAC (195) = 7.800000E-01 ;TFRAC (196) = 7.840000E-01
TFRAC (197) = 7.880000E-01 ;TFRAC (198) = 7.920001E-01
TFRAC (199) = 7.960001E-01 ;TFRAC (200) = 8.000000E-01
TFRAC (201) = 8.040000E-01 ;TFRAC (202) = 8.080000E-01
TFRAC (203) = 8.120000E-01 ;TFRAC (204) = 8.160000E-01
TFRAC (205) = 8.200001E-01 ;TFRAC (206) = 8.240001E-01
TFRAC (207) = 8.280001E-01 ;TFRAC (208) = 8.320000E-01
TFRAC (209) = 8.360000E-01 ;TFRAC (210) = 8.400000E-01
TFRAC (211) = 8.440000E-01 ;TFRAC (212) = 8.480000E-01
TFRAC (213) = 8.520001E-01 ;TFRAC (214) = 8.560001E-01
TFRAC (215) = 8.600000E-01 ;TFRAC (216) = 8.640000E-01
TFRAC (217) = 8.680000E-01 ;TFRAC (218) = 8.720000E-01
TFRAC (219) = 8.760000E-01 ;TFRAC (220) = 8.800001E-01
TFRAC (221) = 8.840001E-01 ;TFRAC (222) = 8.880001E-01
TFRAC (223) = 8.920000E-01 ;TFRAC (224) = 8.960000E-01
TFRAC (225) = 9.000000E-01 ;TFRAC (226) = 9.040000E-01
TFRAC (227) = 9.080001E-01 ;TFRAC (228) = 9.120001E-01
TFRAC (229) = 9.160001E-01 ;TFRAC (230) = 9.200000E-01
TFRAC (231) = 9.240000E-01 ;TFRAC (232) = 9.280000E-01
TFRAC (233) = 9.320000E-01 ;TFRAC (234) = 9.360000E-01
TFRAC (235) = 9.400001E-01 ;TFRAC (236) = 9.440001E-01
TFRAC (237) = 9.480001E-01 ;TFRAC (238) = 9.520000E-01
TFRAC (239) = 9.560000E-01 ;TFRAC (240) = 9.600000E-01
TFRAC (241) = 9.640000E-01 ;TFRAC (242) = 9.680001E-01
TFRAC (243) = 9.720001E-01 ;TFRAC (244) = 9.760001E-01
TFRAC (245) = 9.800000E-01 ;TFRAC (246) = 9.840000E-01
TFRAC (247) = 9.880000E-01 ;TFRAC (248) = 9.920000E-01
TFRAC (249) = 9.960001E-01 ;TFRAC (250) = 1.000000E+00

```

```
*****
```

Group 3. X-Direction Grid Spacing

```

CARTES = F
NX = 1
XULAST = 1.000000E-02

```

```
*****
```

Group 4. Y-Direction Grid Spacing

```

NY = 20
YVLAST = 1.000000E-02
RINNER = 1.000000E-02 ;SNALFA = 0.000000E+00
YFRAC ( 1) = 1.990536E-02 ;YFRAC ( 2) = 5.253056E-02
YFRAC ( 3) = 9.267013E-02 ;YFRAC ( 4) = 1.386290E-01
YFRAC ( 5) = 1.894646E-01 ;YFRAC ( 6) = 2.445579E-01
YFRAC ( 7) = 3.034641E-01 ;YFRAC ( 8) = 3.658440E-01
YFRAC ( 9) = 4.314292E-01 ;YFRAC (10) = 5.000000E-01
YFRAC (11) = 5.685708E-01 ;YFRAC (12) = 6.341559E-01
YFRAC (13) = 6.965359E-01 ;YFRAC (14) = 7.554420E-01
YFRAC (15) = 8.105354E-01 ;YFRAC (16) = 8.613710E-01
YFRAC (17) = 9.073299E-01 ;YFRAC (18) = 9.474694E-01
YFRAC (19) = 9.800946E-01 ;YFRAC (20) = 1.000000E+00

```

```
*****
```

Group 5. Z-Direction Grid Spacing

```

PARAB = F
NZ = 60

```

```

ZWLAST = 3.000000E-02
ZFRAC ( 1) = 4.275632E-03 ;ZFRAC ( 2) = 1.128346E-02
ZFRAC ( 3) = 1.990536E-02 ;ZFRAC ( 4) = 2.977723E-02
ZFRAC ( 5) = 4.069662E-02 ;ZFRAC ( 6) = 5.253056E-02
ZFRAC ( 7) = 6.518348E-02 ;ZFRAC ( 8) = 7.858258E-02
ZFRAC ( 9) = 9.267014E-02 ;ZFRAC (10) = 1.073990E-01
ZFRAC (11) = 1.227298E-01 ;ZFRAC (12) = 1.386290E-01
ZFRAC (13) = 1.550676E-01 ;ZFRAC (14) = 1.720202E-01
ZFRAC (15) = 1.894646E-01 ;ZFRAC (16) = 2.073807E-01
ZFRAC (17) = 2.257505E-01 ;ZFRAC (18) = 2.445579E-01
ZFRAC (19) = 2.637882E-01 ;ZFRAC (20) = 2.834277E-01
ZFRAC (21) = 3.034641E-01 ;ZFRAC (22) = 3.238859E-01
ZFRAC (23) = 3.446825E-01 ;ZFRAC (24) = 3.658441E-01
ZFRAC (25) = 3.873613E-01 ;ZFRAC (26) = 4.092258E-01
ZFRAC (27) = 4.314292E-01 ;ZFRAC (28) = 4.539641E-01
ZFRAC (29) = 4.768233E-01 ;ZFRAC (30) = 5.000000E-01
ZFRAC (31) = 5.231767E-01 ;ZFRAC (32) = 5.460359E-01
ZFRAC (33) = 5.685709E-01 ;ZFRAC (34) = 5.907743E-01
ZFRAC (35) = 6.126387E-01 ;ZFRAC (36) = 6.341560E-01
ZFRAC (37) = 6.553175E-01 ;ZFRAC (38) = 6.761141E-01
ZFRAC (39) = 6.965360E-01 ;ZFRAC (40) = 7.165723E-01
ZFRAC (41) = 7.362119E-01 ;ZFRAC (42) = 7.554421E-01
ZFRAC (43) = 7.742496E-01 ;ZFRAC (44) = 7.926194E-01
ZFRAC (45) = 8.105355E-01 ;ZFRAC (46) = 8.279798E-01
ZFRAC (47) = 8.449325E-01 ;ZFRAC (48) = 8.613711E-01
ZFRAC (49) = 8.772702E-01 ;ZFRAC (50) = 8.926010E-01
ZFRAC (51) = 9.073299E-01 ;ZFRAC (52) = 9.214175E-01
ZFRAC (53) = 9.348166E-01 ;ZFRAC (54) = 9.474695E-01
ZFRAC (55) = 9.593034E-01 ;ZFRAC (56) = 9.702228E-01
ZFRAC (57) = 9.800947E-01 ;ZFRAC (58) = 9.887166E-01
ZFRAC (59) = 9.957244E-01 ;ZFRAC (60) = 1.000000E+00
*****
Group 6. Body-Fitted Coordinates
*****
Group 7. Variables: STORED,SOLVED,NAMED
ONEPHS = T
NAME( 1) =P1 ;NAME( 5) =V1
NAME( 7) =W1 ;NAME(16) =C1
NAME(17) =C2 ;NAME(18) =KUTL
NAME(19) =HM ;NAME(20) =EQP
NAME(21) =C6 ;NAME(22) =C7
NAME(149) =SPH1 ;NAME(150) =TEM1
* Y in SOLUTN argument list denotes:
* 1-stored 2-solved 3-whole-field
* 4-point-by-point 5-explicit 6-harmonic averaging
SOLUTN(P1 ,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(V1 ,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(W1 ,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(C1 ,Y,Y,N,N,N,Y)
SOLUTN(C2 ,Y,Y,N,Y,N,Y)
SOLUTN(KUTL,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(HM ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(EQP ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(C6 ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(C7 ,Y,N,N,N,N,Y)
SOLUTN(SPH1,Y,N,N,N,N,N)
SOLUTN(TEM1,Y,Y,N,N,N,Y)
*****

```

Group 8. Terms & Devices

* Y in TERMS argument list denotes:

* 1-built-in source 2-convection 3-diffusion 4-transient

* 5-first phase variable 6-interphase transport

TERMS (P1 ,Y,Y,Y,Y,Y,N)

TERMS (V1 ,Y,Y,Y,Y,Y,N)

TERMS (W1 ,Y,Y,Y,Y,Y,N)

TERMS (C1 ,N,N,Y,Y,Y,N)

TERMS (C2 ,N,N,N,Y,Y,N)

TERMS (TEM1,N,Y,Y,Y,Y,N)

DIFCUT = 5.000000E-01 ;ZDIFAC = 1.000000E+00

GALA = F ;ADDDIF = F

ISOLX = 0 ;ISOLY = -1 ;ISOLZ = -1

Group 9. Properties

RHO1 = 4.000000E+03 ;TMP1 = 0.000000E+00

EL1 = 0.000000E+00

TSURR = 0.000000E+00 ;TEMPO = 0.000000E+00

PRESSO = 0.000000E+00

DVO1DT = 0.000000E+00 ;DRH1DP = 0.000000E+00

ENUL = 1.000000E-06 ;ENUT = 0.000000E+00

PRNDTL(V1) = 1.000000E+00 ;PRNDTL(W1) = 1.000000E+00

PRNDTL(C1) = -2.000000E+02 ;PRNDTL(TEM1) = -2.000000E-03

PRT (V1) = 1.000000E+00 ;PRT (W1) = 1.000000E+00

PRT (C1) = 1.000000E+00 ;PRT (TEM1) = 1.000000E+00

CP1 = 1.500000E+03 ;CP2 = 4.181800E+03

Group 10. Inter-Phase Transfer Processes

Group 11. Initialise Var/Porosity Fields

FIINIT(P1) = 0.000000E+00 ;FIINIT(V1) = 0.000000E+00

FIINIT(W1) = 0.000000E+00 ;FIINIT(C1) = 1.000000E+00

FIINIT(C2) = 4.160000E+03 ;FIINIT(KUTL) = 0.000000E+00

FIINIT(HM) = 0.000000E+00 ;FIINIT(EQP) = 1.000000E+06

FIINIT(C6) = 1.000000E-10 ;FIINIT(C7) = 1.000000E-10

FIINIT(SPH1) = 1.000000E-10 ;FIINIT(TEM1) = 3.100000E+02

No PATCHes yet used for this Group

INIADD = T

FSWEEP = 1

NAMFI =CHAM

Group 12. Patchwise adjustment of terms

Patches for this group are printed with those

for Group 13.

Their names begin either with GP12 or &

Group 13. Boundary & Special Sources

PATCH(GIRIS ,HIGH , 1, 1, 1, 20, 60, 60, 1, 250)

COVAL(GIRIS ,P1 , FIXVAL , 0.000000E+00)

COVAL(GIRIS ,V1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)

COVAL(GIRIS ,W1 , 0.000000E+00, 0.000000E+00)

COVAL(GIRIS ,C1 , FIXVAL , 1.000000E+00)

COVAL(GIRIS ,TEM1, 5.000000E+01, 2.930000E+02)

PATCH(DUVIC ,SWALL , 1, 1, 1, 1, 1, 60, 1, 250)

COVAL(DUVIC ,W1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)

```

PATCH(CIDAR ,NWALL , 1, 1, 20, 20, 1, 60, 1, 250)
COVAL(CIDAR ,W1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)

PATCH(UCIDAR ,LWALL , 1, 1, 1, 20, 1, 1, 1, 250)
COVAL(UCIDAR ,V1 , 1.000000E+00, 0.000000E+00)

PATCH(COLDW ,LOW , 1, 1, 1, 20, 1, 1, 1, 250)
COVAL(COLDW ,TEM1, 5.000000E+02, 2.930000E+02)

PATCH(ICDUVAR ,SOUTH , 1, 1, 1, 1, 1, 60, 1, 250)
COVAL(ICDUVAR ,TEM1, 5.000000E+02, 2.930000E+02)

PATCH(DUVAR ,NORTH , 1, 1, 20, 20, 1, 60, 1, 250)
COVAL(DUVAR ,TEM1, 5.000000E+02, 2.930000E+02)

PATCH(SINKC1 ,VOLUME, 1, 1, 1, 20, 1, 60, 1, 250)
COVAL(SINKC1 ,C1 , FIXVAL , GRND )

PATCH(SINKC2 ,VOLUME, 1, 1, 1, 20, 1, 60, 1, 250)
COVAL(SINKC2 ,C2 , FIXFLU , GRND )

PATCH(REACHEAT,PHASEM, 1, 1, 1, 20, 1, 60, 1, 250)
COVAL(REACHEAT,TEM1, FIXFLU , GRND )

PATCH(DARCY ,PHASEM, 1, 1, 1, 20, 1, 60, 1, 250)
COVAL(DARCY ,V1 , 4.000000E+00, 0.000000E+00)
COVAL(DARCY ,W1 , 4.000000E+00, 0.000000E+00)
XCycle = F
EGWF = F
*****
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
*****
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 15 ;ISWC1 = 1
LITHYD = 1 ;LITFLX = 1 ;LITC = 1 ;ITHC1 = 1
SELREF = T
RESFAC = 1.000000E-03
*****
Group 16. Terminate Iterations
LITER (P1 ) = 20 ;LITER (V1 ) = 10
LITER (W1 ) = 10 ;LITER (C1 ) = 20
LITER (C2 ) = 20 ;LITER (TEM1) = 20
ENDIT (P1 ) = 1.000000E-05 ;ENDIT (V1 ) = 1.000000E-05
ENDIT (W1 ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (C1 ) = 1.000000E-03
ENDIT (C2 ) = 1.000000E-03 ;ENDIT (TEM1) = 1.000000E-03
*****
Group 17. Relaxation
RELAX(P1 ,LINRLX, 7.000000E-01)
RELAX(V1 ,FALSDT, 1.000000E-02)
RELAX(W1 ,FALSDT, 1.000000E-02)
RELAX(C1 ,FALSDT, 1.000000E+00)
RELAX(C2 ,FALSDT, 1.000000E+00)
RELAX(KUTL,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(HM ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(EQP ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(C6 ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(C7 ,LINRLX, 1.000000E+00)
RELAX(SPH1,LINRLX, 1.000000E+00)

```

```

RELAX(TEM1,FALSDT, 1.000000E+00)
OVRRLX = 0.000000E+00
EXPERT = F ;NNORSL = F
*****
Group 18. Limits
VARMAX(P1 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(P1 ) = 0.000000E+00
VARMAX(V1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(V1 ) = -1.000000E+06
VARMAX(W1 ) = 1.000000E+06 ;VARMIN(W1 ) = -1.000000E+06
VARMAX(C1 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(C1 ) = -1.000000E+10
VARMAX(C2 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(C2 ) = -1.000000E+10
VARMAX(KUTL) = 1.000000E+10 ;VARMIN(KUTL) = -1.000000E+10
VARMAX(HM ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(HM ) = -1.000000E+10
VARMAX(EQP ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(EQP ) = -1.000000E+10
VARMAX(C6 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(C6 ) = -1.000000E+10
VARMAX(C7 ) = 1.000000E+10 ;VARMIN(C7 ) = -1.000000E+10
VARMAX(SPH1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(SPH1) = -1.000000E+10
VARMAX(TEM1) = 1.000000E+10 ;VARMIN(TEM1) = -1.000000E+10
*****
Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
USEGRD = T ;USEGRX = T
RADIA = 0.000000E+00 ;RADIB = 0.000000E+00
EMISS = 0.000000E+00
RG( 1) = -3.000000E+01
RG( 2) = 1.000000E+01
*****
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
*****
Group 21. Print-out of Variables
INIFLD = F ;SUBWGR = F
* Y in OUTPUT argument list denotes:
* 1-field 2-correction-eq. monitor 3-selective dumping
* 4-whole-field residual 5-spot-value table 6-residual table
OUTPUT(P1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(V1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(W1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(C1 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(C2 ,Y,N,Y,Y,Y,Y)
OUTPUT(KUTL,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(HM ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(EQP ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(C6 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(C7 ,Y,N,Y,N,N,N)
OUTPUT(SPH1,N,N,Y,Y,N,N)
OUTPUT(TEM1,Y,N,Y,Y,Y,Y)
*****
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 10 ;IZMON = 30
NPRMON = 10000 ;NPRMNT = 1 ;TSTSWP = 1001
UWATCH = F ;USTEER = F
HIGHLO = F
*****
Group 23. Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 15 ;NUMCLS = 5
NTPRIN = 250 ;ISTPRF = 1 ;ISTPRL = 10000
NYPRIN = 4 ;IYPRF = 1 ;IYPRL = 20
NZPRIN = 12 ;IZPRF = 1 ;IZPRL = 10000
XZPR = F ;YZPR = T

```

```

IPLTF  =      1 ;IPLTL  =      15 ;NPLT   =      1
ISWPRF =      1 ;ISWPRL = 100000
ITABL  =      1 ;IPROF  =      1
ABSIZ  = 5.000000E-01 ;ORSIZ  = 4.000000E-01
NTZPRF =      1 ;NCOLPF =      50
ICHR   =      2 ;NCOLCO =      45 ;NROWCO =      20
  No PATCHes yet used for this Group
*****
  Group 24. Dumps For Restarts
SAVE   =      T ;AUTOPS =      F ;NOWIPE =      F
NSAVE  =CHAM

```

```

*** grid-geometry information ***

```

```

X-coordinates of the cell centres

```

```

5.000E-03

```

```

Y-coordinates of the cell centres

```

```

9.953E-05  3.622E-04  7.260E-04  1.156E-03  1.640E-03
2.170E-03  2.740E-03  3.347E-03  3.986E-03  4.657E-03
5.343E-03  6.014E-03  6.653E-03  7.260E-03  7.830E-03
8.360E-03  8.844E-03  9.274E-03  9.638E-03  9.900E-03

```

```

Z-coordinates of the cell centres

```

```

6.413E-05  2.334E-04  4.678E-04  7.452E-04  1.057E-03
1.398E-03  1.766E-03  2.156E-03  2.569E-03  3.001E-03
3.452E-03  3.920E-03  4.405E-03  4.906E-03  5.422E-03
5.953E-03  6.497E-03  7.055E-03  7.625E-03  8.208E-03
8.803E-03  9.410E-03  1.003E-02  1.066E-02  1.130E-02
1.195E-02  1.261E-02  1.328E-02  1.396E-02  1.465E-02
1.535E-02  1.604E-02  1.672E-02  1.739E-02  1.805E-02
1.870E-02  1.934E-02  1.997E-02  2.059E-02  2.120E-02
2.179E-02  2.237E-02  2.295E-02  2.350E-02  2.405E-02
2.458E-02  2.509E-02  2.559E-02  2.608E-02  2.655E-02
2.700E-02  2.743E-02  2.784E-02  2.823E-02  2.860E-02
2.894E-02  2.925E-02  2.953E-02  2.977E-02  2.994E-02

```

```

X-coordinates of the (higher) cell faces

```

```

1.000E-02

```

```

Y-coordinates of the (higher) cell faces

```

```

1.991E-04  5.253E-04  9.267E-04  1.386E-03  1.895E-03
2.446E-03  3.035E-03  3.658E-03  4.314E-03  5.000E-03
5.686E-03  6.342E-03  6.965E-03  7.554E-03  8.105E-03
8.614E-03  9.073E-03  9.475E-03  9.801E-03  1.000E-02

```

```

Z-coordinates of the (higher) cell faces

```

```

1.283E-04  3.385E-04  5.972E-04  8.933E-04  1.221E-03
1.576E-03  1.956E-03  2.357E-03  2.780E-03  3.222E-03
3.682E-03  4.159E-03  4.652E-03  5.161E-03  5.684E-03
6.221E-03  6.773E-03  7.337E-03  7.914E-03  8.503E-03
9.104E-03  9.717E-03  1.034E-02  1.098E-02  1.162E-02
1.228E-02  1.294E-02  1.362E-02  1.430E-02  1.500E-02
1.570E-02  1.638E-02  1.706E-02  1.772E-02  1.838E-02
1.902E-02  1.966E-02  2.028E-02  2.090E-02  2.150E-02
2.209E-02  2.266E-02  2.323E-02  2.378E-02  2.432E-02
2.484E-02  2.535E-02  2.584E-02  2.632E-02  2.678E-02
2.722E-02  2.764E-02  2.804E-02  2.842E-02  2.878E-02
2.911E-02  2.940E-02  2.966E-02  2.987E-02  3.000E-02

```

```

--- INTEGRATION OF EQUATIONS BEGINS ---

```



```
*****
TIME STP=      1 SWEEP NO=   100 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.000000E+00 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      2 SWEEP NO=   100 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 4.000000E+00 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      3 SWEEP NO=   100 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 6.000000E+00 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      4 SWEEP NO=   100 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 8.000000E+00 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      5 SWEEP NO=   100 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 9.999999E+00 DT      = 1.999999E+00

*****
TIME STP=      6 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.200000E+01 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      7 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.400000E+01 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      8 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.600000E+01 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=      9 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.800000E+01 DT      = 1.999998E+00

*****
TIME STP=     10 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.000000E+01 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=     11 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.200000E+01 DT      = 2.000000E+00

*****
TIME STP=     12 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.400000E+01 DT      = 2.000000E+00
```

```
*****
TIME STP=    13 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.600000E+01 DT      = 2.000000E+00
```

```
*****
TIME STP=    14 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.800000E+01 DT      = 2.000000E+00
```

```
*****
TIME STP=    15 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 3.000000E+01 DT      = 1.999998E+00
```

```
*****
TIME STP=    16 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 3.200000E+01 DT      = 2.000002E+00
```

```
*****
TIME STP=    17 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 3.400000E+01 DT      = 2.000000E+00
```

```
*****
TIME STP=    18 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 3.600000E+01 DT      = 1.999997E+00
```

```
*****
TIME STP=    19 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 3.800000E+01 DT      = 2.000008E+00
```

```
*****
TIME STP=    20 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 4.000000E+01 DT      = 2.000000E+00
```

```
*****
TIME STP=    21 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 4.200000E+01 DT      = 1.999997E+00
```

```
*****
TIME STP=    22 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 4.400000E+01 DT      = 2.000000E+00
```

```
*****
TIME STP=    23 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 4.600000E+01 DT      = 2.000000E+00
*****
```


TIME STP= 24 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.800000E+01 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 25 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 5.000000E+01 DT = 2.000000E+00

TIME STP= 26 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 5.200000E+01 DT = 2.000000E+00

TIME STP= 27 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 5.400000E+01 DT = 2.000000E+00

TIME STP= 28 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 5.600000E+01 DT = 2.000000E+00

TIME STP= 29 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 5.799999E+01 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 30 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 5.999999E+01 DT = 2.000000E+00

TIME STP= 31 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 6.199999E+01 DT = 2.000000E+00

TIME STP= 32 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 6.400000E+01 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 33 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 6.599999E+01 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 34 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 6.800000E+01 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 35 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 7.000000E+01 DT = 1.999997E+00

```
*****
TIME STP=    36 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 7.200000E+01 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    37 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 7.400001E+01 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    38 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 7.600001E+01 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    39 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 7.800002E+01 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    40 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 8.000002E+01 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    41 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 8.200002E+01 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    42 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 8.400002E+01 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    43 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 8.600003E+01 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    44 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 8.800003E+01 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    45 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 9.000004E+01 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    46 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 9.200004E+01 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    47 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
```

TIME = 9.400004E+01 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 48 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 9.600005E+01 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 49 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 9.800005E+01 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 50 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.000001E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 51 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.020001E+02 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 52 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.040001E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 53 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.060001E+02 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 54 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.080001E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 55 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.100001E+02 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 56 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.120001E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 57 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.140001E+02 DT = 1.999997E+00

TIME STP= 58 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.160001E+02 DT = 1.999997E+00

```
*****
TIME STP=    59 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.180001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    60 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.200001E+02 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    61 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.220001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    62 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.240001E+02 DT      = 1.999997E+00

*****
TIME STP=    63 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.260001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    64 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.280001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    65 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.300001E+02 DT      = 1.999989E+00

*****
TIME STP=    66 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.320001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    67 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.340001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    68 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.360001E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    69 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.380001E+02 DT      = 1.999989E+00

*****
TIME STP=    70 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.400001E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    71 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.420001E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    72 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.440001E+02 DT      = 1.999989E+00
```

```
*****
TIME STP=    73 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.460001E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    74 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.480001E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    75 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.500001E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    76 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.520000E+02 DT      = 1.999989E+00
```

```
*****
TIME STP=    77 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.540000E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    78 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.560000E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    79 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.580000E+02 DT      = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP=    80 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.600000E+02 DT      = 1.999989E+00
```

```
*****
TIME STP=    81 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.620000E+02 DT      = 2.000004E+00
*****
```

TIME STP= 82 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.640000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 83 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.660000E+02 DT = 1.999989E+00

TIME STP= 84 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.680000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 85 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.700000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 86 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.720000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 87 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.740000E+02 DT = 1.999989E+00

TIME STP= 88 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.760000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 89 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.780000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 90 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.800000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 91 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.820000E+02 DT = 1.999989E+00

TIME STP= 92 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.840000E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 93 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 1.860000E+02 DT = 2.000004E+00

```
*****
TIME STP=    94 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.880000E+02 DT      = 1.999989E+00

*****
TIME STP=    95 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.900000E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    96 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.920000E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    97 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.940000E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=    98 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.960000E+02 DT      = 1.999989E+00

*****
TIME STP=    99 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 1.980000E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=   100 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.000000E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=   101 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.020000E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=   102 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.039999E+02 DT      = 1.999989E+00

*****
TIME STP=   103 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.059999E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=   104 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
TIME      = 2.079999E+02 DT      = 2.000004E+00

*****
TIME STP=   105 SWEEP NO=    10 ZSLAB NO=    30 ITERN NO=    1
```

TIME = 2.099999E+02 DT = 1.999989E+00

TIME STP= 106 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.119999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 107 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.139999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 108 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.159999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 109 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.179999E+02 DT = 1.999989E+00

TIME STP= 110 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.199999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 111 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.219999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 112 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.239999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 113 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.259999E+02 DT = 1.999989E+00

TIME STP= 114 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.279999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 115 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.299999E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 116 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.319999E+02 DT = 1.999989E+00


```
*****
TIME STP= 117 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.339999E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 118 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.359999E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 119 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.379999E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 120 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.399999E+02 DT = 1.999989E+00

*****
TIME STP= 121 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.419999E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 122 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.439999E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 123 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.459999E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 124 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.479998E+02 DT = 1.999989E+00

*****
TIME STP= 125 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.499998E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 126 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.519998E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 127 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.539998E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 128 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.559998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 129 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.579998E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****  
TIME STP= 130 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.599998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 131 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.619998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 132 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.639998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 133 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.659998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 134 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.679998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 135 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.699998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 136 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.719998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 137 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.739998E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****  
TIME STP= 138 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.759998E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 139 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 2.779998E+02 DT = 2.000064E+00  
*****
```

TIME STP= 140 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.799998E+02 DT = 1.999944E+00

TIME STP= 141 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.819998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 142 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.839998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 143 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.859998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 144 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.879998E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 145 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.899998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 146 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.919998E+02 DT = 2.000064E+00

TIME STP= 147 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.939998E+02 DT = 1.999944E+00

TIME STP= 148 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.959998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 149 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.979998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 150 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 2.999998E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 151 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.019997E+02 DT = 1.999974E+00

```
*****
TIME STP= 152 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.039997E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 153 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.059997E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 154 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.079998E+02 DT = 2.000064E+00

*****
TIME STP= 155 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.099997E+02 DT = 1.999944E+00

*****
TIME STP= 156 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.119997E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 157 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.139997E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 158 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.159997E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 159 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.179997E+02 DT = 1.999974E+00

*****
TIME STP= 160 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.199997E+02 DT = 2.000004E+00

*****
TIME STP= 161 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.219998E+02 DT = 2.000064E+00

*****
TIME STP= 162 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.239997E+02 DT = 1.999944E+00

*****
TIME STP= 163 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
```

TIME = 3.259997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 164 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.279997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 165 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.299997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 166 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.319997E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 167 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.339997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 168 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.359997E+02 DT = 2.000064E+00

TIME STP= 169 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.379997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 170 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.399997E+02 DT = 1.999944E+00

TIME STP= 171 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.419997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 172 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.439997E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 173 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.459996E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 174 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.479996E+02 DT = 2.000004E+00

```
*****
TIME STP= 175 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.499996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 176 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.519997E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****
TIME STP= 177 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.539996E+02 DT = 1.999944E+00
```

```
*****
TIME STP= 178 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.559996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 179 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.579996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 180 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.599996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 181 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.619996E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 182 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.639996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 183 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.659997E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****
TIME STP= 184 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.679997E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 185 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.699996E+02 DT = 1.999944E+00
```

```
*****
TIME STP= 186 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.719996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 187 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.739996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 188 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.759996E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 189 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.779996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 190 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.799996E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****
TIME STP= 191 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.819996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 192 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.839996E+02 DT = 1.999944E+00
```

```
*****
TIME STP= 193 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.859996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 194 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.879996E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 195 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.899995E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 196 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.919995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 197 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.939995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
```

TIME STP= 198 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.959996E+02 DT = 2.000064E+00

TIME STP= 199 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.979996E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 200 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 3.999995E+02 DT = 1.999944E+00

TIME STP= 201 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.019995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 202 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.039995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 203 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.059995E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 204 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.079995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 205 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.099996E+02 DT = 2.000064E+00

TIME STP= 206 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.119996E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 207 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.139996E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 208 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.159995E+02 DT = 1.999944E+00

TIME STP= 209 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.179995E+02 DT = 2.000004E+00


```
*****  
TIME STP= 210 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.199995E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****  
TIME STP= 211 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.219995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 212 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.239995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 213 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.259995E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****  
TIME STP= 214 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.279995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 215 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.299995E+02 DT = 1.999944E+00
```

```
*****  
TIME STP= 216 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.319995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 217 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.339995E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****  
TIME STP= 218 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.359995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 219 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.379995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****  
TIME STP= 220 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1  
TIME = 4.399995E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****  
TIME STP= 221 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
```

TIME = 4.419995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 222 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.439995E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 223 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.459995E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 224 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.479995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 225 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.499994E+02 DT = 1.999974E+00

TIME STP= 226 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.519994E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 227 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.539995E+02 DT = 2.000064E+00

TIME STP= 228 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.559995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 229 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.579995E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 230 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.599994E+02 DT = 1.999944E+00

TIME STP= 231 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.619994E+02 DT = 2.000004E+00

TIME STP= 232 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.639994E+02 DT = 1.999974E+00

```
*****
TIME STP= 233 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.659994E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 234 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.679994E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 235 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.699995E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****
TIME STP= 236 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.719995E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 237 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.739994E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 238 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.759994E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 239 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.779994E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 240 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.799994E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 241 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.819994E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 242 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.839994E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****
TIME STP= 243 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.859994E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 244 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.879994E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 245 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.899994E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 246 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.919994E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 247 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.939993E+02 DT = 1.999974E+00
```

```
*****
TIME STP= 248 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.959993E+02 DT = 2.000004E+00
```

```
*****
TIME STP= 249 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.979994E+02 DT = 2.000064E+00
```

```
*****
TIME STP= 250 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 30 ITERN NO= 1
TIME = 4.999993E+02 DT = 1.999944E+00
```

```
*****
TIME STP= 250 SWEEP NO= 10 ZSLAB NO= 1 ITERN NO= 1
TIME = 4.999993E+02 DT = 1.999944E+00
```

```
FLOW FIELD AT ITHYD= 1, ISWEEP= 10, ISTEP= 250
YZPR IX= 1
```

```
Field Values of P1 :
IY= 20 8.169E-03 2.623E-02 2.913E-02 3.070E-02 3.171E-02
IY= 16 1.070E-02 2.798E-02 3.095E-02 3.254E-02 3.374E-02
IY= 12 1.128E-02 3.001E-02 3.327E-02 3.480E-02 3.620E-02
IY= 8 1.134E-02 3.025E-02 3.374E-02 3.532E-02 3.670E-02
IY= 4 1.083E-02 2.870E-02 3.217E-02 3.384E-02 3.504E-02
IZ= 1 13 25 37 49
```

```
Field Values of V1 :
IY= 19 2.707E-05 8.313E-06 6.136E-06 5.415E-06 7.595E-06
IY= 15 3.777E-06 3.784E-05 3.562E-05 3.095E-05 3.849E-05
IY= 11 1.277E-06 1.928E-05 2.519E-05 2.248E-05 2.349E-05
IY= 7 -1.520E-06 -1.700E-05 -1.141E-05 -7.009E-06 -1.106E-05
IY= 3 -2.346E-07 -2.176E-05 -1.617E-05 -1.281E-05 -1.767E-05
IZ= 1 13 25 37 49
```

```
Field Values of W1 :
IY= 20 1.735E-05 -1.915E-04 -1.663E-04 -1.731E-04 -2.295E-04
```

IY=	16	3.811E-08	-6.122E-05	-4.876E-05	-3.914E-05	-6.209E-05
IY=	12	-1.427E-07	5.794E-05	2.946E-05	2.202E-05	3.975E-05
IY=	8	-1.329E-07	8.176E-05	6.879E-05	6.277E-05	9.147E-05
IY=	4	6.784E-07	-3.757E-06	2.920E-05	3.843E-05	3.748E-05
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of C1 :

IY=	20	3.013E+00	3.321E+00	3.561E+00	3.511E+00	3.400E+00
IY=	16	3.300E+00	3.710E+00	3.950E+00	3.854E+00	3.703E+00
IY=	12	3.524E+00	4.003E+00	4.221E+00	4.053E+00	3.869E+00
IY=	8	3.533E+00	4.014E+00	4.224E+00	4.042E+00	3.862E+00
IY=	4	3.322E+00	3.739E+00	3.979E+00	3.870E+00	3.716E+00
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of C2 :

IY=	20	4.191E+03	4.189E+03	4.187E+03	4.187E+03	4.187E+03
IY=	16	4.190E+03	4.188E+03	4.185E+03	4.184E+03	4.185E+03
IY=	12	4.189E+03	4.186E+03	4.183E+03	4.182E+03	4.182E+03
IY=	8	4.189E+03	4.186E+03	4.182E+03	4.181E+03	4.182E+03
IY=	4	4.190E+03	4.187E+03	4.185E+03	4.184E+03	4.184E+03
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of KUTL:

IY=	20	1.155E+02	1.256E+02	1.335E+02	1.311E+02	1.269E+02
IY=	16	1.259E+02	1.396E+02	1.472E+02	1.431E+02	1.374E+02
IY=	12	1.339E+02	1.500E+02	1.564E+02	1.496E+02	1.427E+02
IY=	8	1.342E+02	1.503E+02	1.564E+02	1.490E+02	1.423E+02
IY=	4	1.266E+02	1.405E+02	1.480E+02	1.433E+02	1.375E+02
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of HM :

IY=	20	8.365E-01	7.910E-01	7.424E-01	7.305E-01	7.364E-01
IY=	16	8.108E-01	7.463E-01	6.782E-01	6.613E-01	6.703E-01
IY=	12	7.871E-01	7.036E-01	6.099E-01	5.861E-01	5.982E-01
IY=	8	7.855E-01	7.005E-01	6.036E-01	5.779E-01	5.893E-01
IY=	4	8.071E-01	7.395E-01	6.644E-01	6.435E-01	6.523E-01
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of EQP :

IY=	20	1.663E+04	7.275E+04	2.216E+05	3.339E+05	3.570E+05
IY=	16	2.982E+04	1.447E+05	4.866E+05	7.584E+05	8.152E+05
IY=	12	4.954E+04	2.601E+05	9.919E+05	1.621E+06	1.749E+06
IY=	8	5.207E+04	2.743E+05	1.074E+06	1.791E+06	1.943E+06
IY=	4	3.383E+04	1.668E+05	5.997E+05	9.787E+05	1.061E+06
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of C6 :

IY=	20	4.936E+00	4.667E+00	4.380E+00	4.310E+00	4.345E+00
IY=	16	4.784E+00	4.403E+00	4.002E+00	3.902E+00	3.955E+00
IY=	12	4.644E+00	4.151E+00	3.599E+00	3.458E+00	3.529E+00
IY=	8	4.634E+00	4.133E+00	3.561E+00	3.410E+00	3.477E+00
IY=	4	4.762E+00	4.363E+00	3.920E+00	3.797E+00	3.849E+00
IZ=		1	13	25	37	49

Field Values of C7 :

IY=	20	3.095E+01	2.927E+01	2.747E+01	2.703E+01	2.725E+01
IY=	16	3.000E+01	2.761E+01	2.509E+01	2.447E+01	2.480E+01
IY=	12	2.912E+01	2.603E+01	2.257E+01	2.168E+01	2.213E+01

```

IY= 8 2.906E+01 2.592E+01 2.233E+01 2.138E+01 2.181E+01
IY= 4 2.986E+01 2.736E+01 2.458E+01 2.381E+01 2.414E+01
IZ= 1 13 25 37 49

```

Field Values of TEM1:

```

IY= 20 3.128E+02 3.169E+02 3.200E+02 3.212E+02 3.214E+02
IY= 16 3.144E+02 3.188E+02 3.223E+02 3.236E+02 3.238E+02
IY= 12 3.158E+02 3.205E+02 3.244E+02 3.258E+02 3.261E+02
IY= 8 3.160E+02 3.207E+02 3.246E+02 3.261E+02 3.264E+02
IY= 4 3.148E+02 3.192E+02 3.229E+02 3.243E+02 3.246E+02
IZ= 1 13 25 37 49

```

Whole-field residuals before solution
with resref values determined by EARTH
& resfac= 1.000000E-03

variable	resref	(res sum)/resref
P1	9.842E-11	4.826E+09
V1	9.228E-14	6.462E+05
W1	4.380E-12	1.184E+06
C1	1.934E-02	0.000E+00
C2	3.139E-07	8.105E-01
TEM1	4.863E-05	2.916E+02

!! Zero nett sources are not printed !!!

```

Nett source of V1 at patch named: GIRIS ==-4.571E-02
Nett source of V1 at patch named: UCIDAR ==-1.366E-10
Nett source of V1 at patch named: DARCY ==-8.553E-09
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-4.570964E-02
nett sum=-4.570964E-02

```

```

Nett source of W1 at patch named: GIRIS ==-1.105E-02
Nett source of W1 at patch named: DUVIC = 2.035E-08
Nett source of W1 at patch named: CIDAR = 4.539E-08
Nett source of W1 at patch named: DARCY ==-1.507E-12
pos. sum= 6.574149E-08 neg. sum=-1.104892E-02
nett sum=-1.104886E-02

```

```

Nett source of R1 at patch named: GIRIS ==-1.900E+03
pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum=-1.899802E+03
nett sum=-1.899802E+03

```

```

pos. sum= 0.000000E+00 neg. sum= 0.000000E+00
nett sum= 0.000000E+00

```

```

Nett source of C2 at patch named: SINKC2 = 6.450E-06
pos. sum= 6.449719E-06 neg. sum= 0.000000E+00
nett sum= 6.449719E-06

```

```

Nett source of TEM1 at patch named: GIRIS ==-9.254E+08
Nett source of TEM1 at patch named: COLDW ==-1.654E-02
Nett source of TEM1 at patch named: ICDUVAR ==-4.196E-02
Nett source of TEM1 at patch named: DUVAR ==-7.999E-02
Nett source of TEM1 at patch named: REACHEAT = 1.161E-01
pos. sum= 1.160646E-01 neg. sum=-9.253937E+08
nett sum=-9.253937E+08

```

spot values vs sweep or iteration number

IXMON= 1 IYMON= 10 IZMON= 30 TIMESTEP= 250

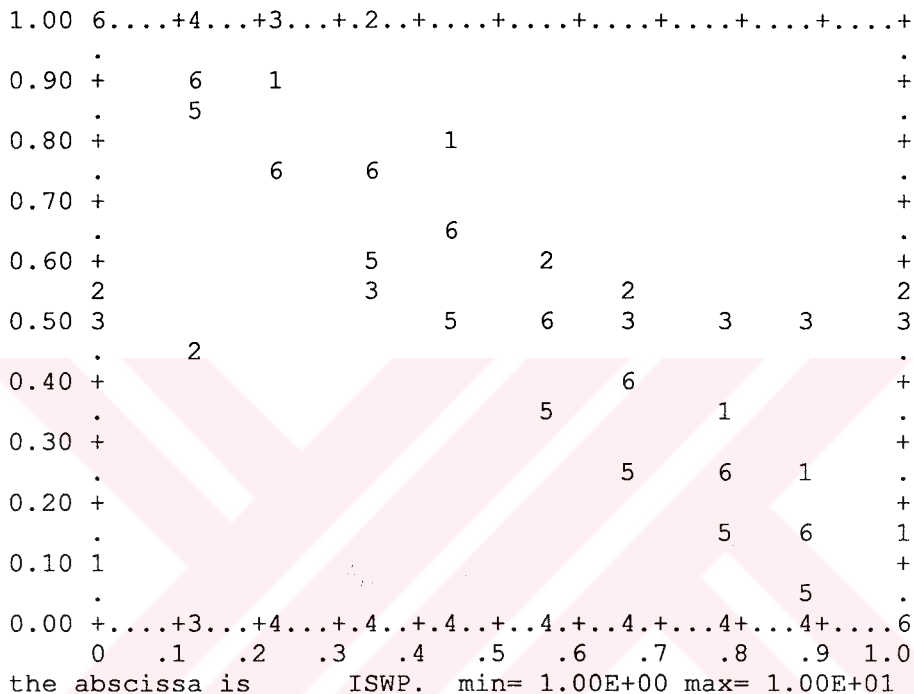
Variable 1 = P1 2 = V1 3 = W1 4 = C1 5 = C2
 Minval= 3.454E-02 1.635E-05 3.872E-05 4.176E+00 4.181E+03
 Maxval= 6.543E-02 1.637E-05 5.349E-05 4.181E+00 4.181E+03
 Cellav= 4.099E-02 1.636E-05 4.626E-05 4.177E+00 4.181E+03
 Variable 6 = TEM1
 Minval= 3.257E+02
 Maxval= 3.257E+02
 Cellav= 3.257E+02



the abscissa is ISWP. min= 1.00E+00 max= 1.00E+01

 residuals vs sweep or iteration number

Variable 1 = P1 2 = V1 3 = W1 4 = C1 5 = C2
 Minval= 2.229E+01 1.337E+01 1.060E+01 -4.605E+01 -2.101E-01
 Maxval= 2.233E+01 1.339E+01 1.726E+01 2.972E+01 3.026E+00
 Variable 6 = TEM1
 Minval= 5.675E+00
 Maxval= 6.024E+00



 SATLIT RUN NUMBER = 1 ; LIBRARY REF.= 14
 Run completed at 16:57:07 on Wednesday, 24 July 2002
 MACHINE-CLOCK TIME OF RUN = 709 SECONDS.
 TIME/(VARIABLES*CELLS*TSTEPS*SWEEPS*ITS) = 3.939E-05

Ek- 5 15 Şubat 2003 tarihli Hürriyet gazetesi

YENİ BİNYILIN YILDIZI HİDROJEN OTOMOBİLLER (71)

George Bush, çevre kirliliğini büyük ölçüde azaltması beklenen hidrojen yakıt projesine hız verirken, otomobil devleri daha şimdiden geleceğin otomobilleri için kolları sıvadı.

ABD Başkanı George Bush'un önceki ay yaptığı "Ulusa Sesleniş" konuşmasında hidrojeni geleceğin enerji kaynağı olarak göstermesiyle başlayan tartışmalar, Bush'un Washington'da hidrojen enerjisinin kullanım alanlarını konu alan bir tanıtıma katılmasıyla daha da alevlendi. Toplantı sırasında hidrojen enerjisi ile çalışan kamera ve cep telefonlarını basın mensuplarına gösteren George Bush, "Geleceğimiz için hidrojen yakıtına güvenmeliyiz" dedi. Çevreciler ve Kongre'deki Demokratlar ise bunun ABD Başkanı'nın yeni bir aldatmacası olduğunu savunuyor.

Dev Proje

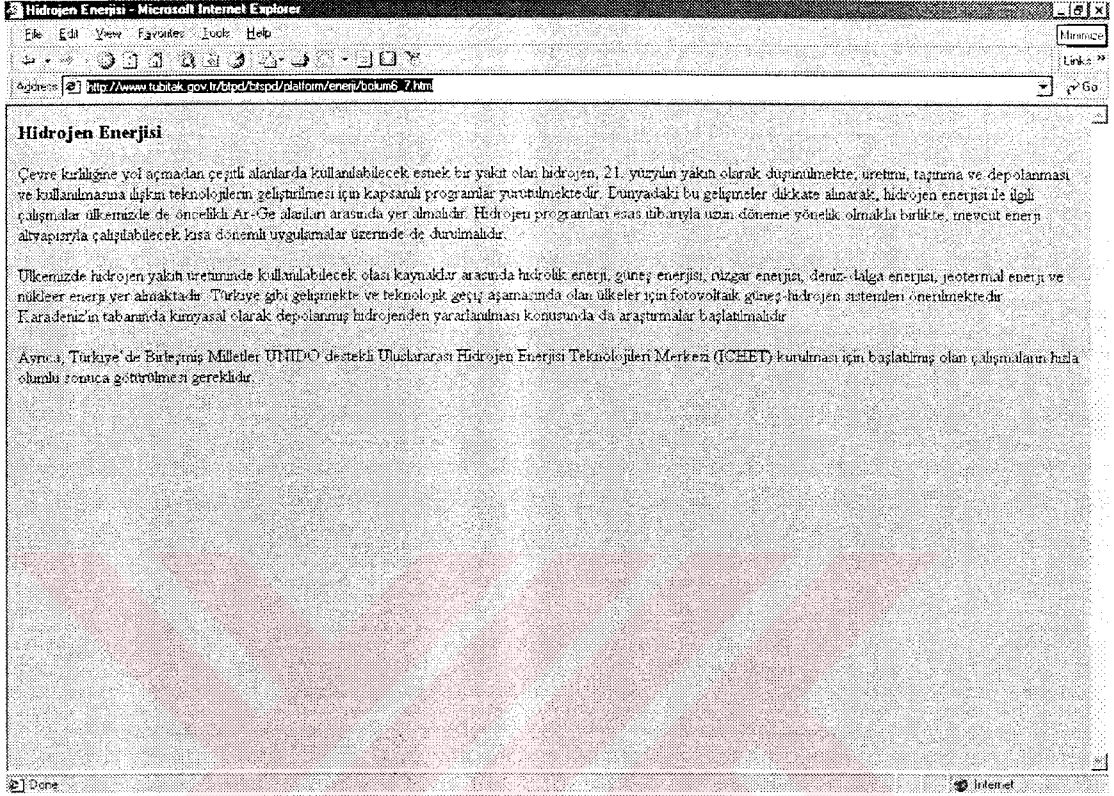
Hidrojen girişimine iyimser bakanlar da yok değil. Tasarıyı destekleyenler hidrojen enerjisinin kullanımı ile hava kirliliğinin önlenmesinin yanısıra Amerika'nın petrole olan talebinin büyük ölçüde azalacağını ifade ediyor. Özellikle ekonomi kurmaylarından gelen bu destek mesajlarını arkasına alan Bush, Washington'daki konuşmasında, Belki biz değil ama torunlarımız bu temiz enerji kaynağı ile çalışan otomobilleri kullanacak, bizim görevimiz bu yatırımı zamanında yapmaktır" diyerek konu ile ilgili kararlılığını ortaya koydu. ABD Başkanı, Kongre'den yaklaşık 1.2 milyar dolarlık yasa teklifi için destek istedi. Hidrojen enerjisi ile çalışan iki otomobili ile California'da testler yürüten Japon devi Toyota'nın Amerika Ofisi Başkan Yardımcısı James Press, "Bu bir hayal değil, tam anlamıyla bilim ve gerçek gerçekliktir" diyerek Amerikan Başkanı'na tam destek verdi. Toyota'nın yanısıra önceki yıl Hidrojen kullanan otomobili ile Amerika'yı baştan aşağıya turlayan Daimler Chrysler ve konu ile

ilgili çalışmalar yürüten General Motors, Mercedes, Ford, Nissan, Honda gibi otomobil devleri de ABD Başkanı'nın yaklaşımını olumlu karşıladı.

Hidrojen dünyada en çok bulunan element olarak biliniyor. Sıkıştırılmış hidrojenin bir "yakıt pili" içerisinde oksijen ile reaksiyona girmesi sonucunda hiç bir zararlı yönü olmayan su üretilirken tepkime sırasında ısı ve elektrik ortaya çıkıyor. İşte bu elektrik, televizyonlardan motosikletlere, radyolardan küçük mutfak aletlerine kadar birçok alete güç sağlamakta kullanılabilir. Bilim adamları ise bu tür bir enerjinin en geniş kullanım alanını otomobiller olarak gösteriyor. Diğer kaynaklar ile kıyaslandığında en temiz üretim şekli olan hidrojenin otomobillerin yarattığı çevre kirliliğine çare olabileceği ifade ediliyor.

Bunun önündeki en büyük engel ise hidrojenin depolanma zorluğu. Hidrojen, otomobillerde ancak 'reformer' adı verilen bir araç sayesinde depolanabiliyor. Reformer, hidrokarbon ve alkol yakıtları gerektiğinde hidrojene dönüştürerek asıl reaksiyonun başlamasına yardımcı oluyor. Ancak bu dönüşüm sırasında ısı ve diğer gazlar üretmesi otomobilin verimliliğini olumsuz etkiliyor (71).

4 kişilik Honda FCX	
Azami hız	150 km/h.
Tek depo ile gidilen mesafe	355 km.
Honda motoru	60 kW (azami)
Yakıt	Hidrojen
Depo	156.6 litre (yüksek basınç)

Ek-6 Kaynaklar 3 nolu referans ait internet sitesi

Ek-7 Kaynaklar 6 nolu referansa ait internet sitesi

http://www.southtechhab.org.tr/iz/yayinlar/enerji/hidrojen/tccalismlar.html - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address http://www.southtechhab.org.tr/iz/yayinlar/enerji/hidrojen/tccalismlar.html

TÜRKİYE'DE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Türkiye'nin henüz ulusal bir Hidrojen Programı bulunmamaktadır. 7. Beş Yıllık Kalkınma Planı Genel Enerji Özel İhtisas Komisyonu'nun yeni ve yenilenebilir enerji kaynakları raporunda hidrojen enerjisi geleceğin enerjisi olarak tanımlanmış ve Bilim ve Teknoloji Yüksek Kurulu tarafından saptanan 1993-2003 yılı ulusal bilim ve teknoloji politikasında, hidrojen enerjisi öncelikli alanlar arasına girememiştir. Bu konu üzerinde araştırma kuruluşları ve çeşitli üniversiteler tarafından sınırlı şekilde çalışma yapılmaktadır. Türkiye'de hidrojenin taşınması, saklanması, üretimi ve diğer konuları ile ilgili olarak değişik üniversitelerde yapılan araştırma-geliştirme çalışmaları aşağıda belirtilmiştir.

- Değişik gaz karışımları ve hidrojenin boru ile taşınması
- Hidrojen-metan kombinasyonunun yakılması
- Sıvı hidrojen tanklarında basınç yükselmesini incelemesi
- Doğal gaz motorlarında yakıtta hidrojenin katılmasının etkileri
- Hidrojen ekdesi için güneş pillerinin kullanımı
- Hidrojenin fotokimyasal yolla üretimi

Uzun yıllardan beri Miami Üniversitesi, Termik Enerji Enstitüsü Müdürlüğü görevini yürüten Prof. Dr. Nejat-veziroğlu'nun İstanbul'da bir uluslararası Hidrojen Enerji Teknolojileri Merkezi (ICHET) kurulması için yaptığı girişim, Birleşmiş Milletler-UNIDO Endüstriyel Kalkınma Kurulunun 20-22 Kasım 1996 tarihinde Viyana'da yapılan toplantısında kabul edilmiştir. Alınan bu karar çerçevesinde UNIDO görevinde ozerk bir kurum olarak çalışacak ICHET'in amacı, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasında, hidrojen enerjisi alanında bir köprü oluşturmak ve bu konuda işbirliği içinde uygulamalı araştırma-geliştirme çalışmaları yapmaktır. ICHET'in çalışmaları arasında, hidrojen enerjisi konusunda konferanslar ve eğitim programları düzenlemek, danışmanlık yapmak da bulunmaktadır. ICHET projesi, geleceğin enerjisi olarak kabul edilen hidrojen enerjisi konusunda Türkiye'nin önde olmasını ve zaten var olan güneş enerjisi potansiyelini en iyi şekilde kullanmasını sağlayacak önemli bir girişimdir. Türkiye gibi fosil yakıt kaynakları sınırlı bir ülke için ileride güneş-hidrojen sistemine geçmek son derece uygun bir seçenektir. Güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren güneş panelleri yardımıyla suyun elektrolizi ile hidrojen üretiminde 1m² sudan yaklaşık 100 kg hidrojen elde edilmekte olup, bu da enerji olarak 420 lt. benzine eş değerdir. Ancak, bu projenin gerçekleşmesi için Türkiye tarafından yapılması gereken parasal

Done Refresh

Ek-8 Kaynaklar 15 nolu referansa ait internet sitesi

The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window displaying the FuelCellStore.com website. The address bar shows the URL: http://www.fuelcellstore.com/information/hydrogen_storage.html. The website header includes the FuelCellStore logo and the tagline "Technology to transform everyday life". A navigation menu contains links for HOME, PRODUCTS, INFO, CONTACT, and EMPLOYMENT. A search box is also present.

The main content area is titled "Hydrogen Storage" and contains the following text:

Once hydrogen is generated, the question becomes: How do we store the hydrogen? Hydrogen can be stored in a variety of ways, each with specific advantages and disadvantages. The overall criteria for choosing a storage method should be safety and ease of use. Listed below are the different storage methods available today in addition to some techniques that are still in the research and development stage.

The following storage methods are listed:

- [Metal Hydride Tanks](#)
- [Compressed Hydrogen](#)
- [Liquid Hydrogen](#)
- [Chemically Stored Hydrogen](#)
- [Carbon nanotubes](#)
- [Glass Microsphere](#)
- [Liquid Carrier Storage](#)

Under the "Metal Hydride Tanks" link, there is a bullet point and a partial sentence:

- **Metal Hydride Tanks**
Metal hydrides are specific combinations of metallic alloys that act similar to a sponge soaking up water. Metal hydrides posses the

The browser's status bar at the bottom shows "Done" and "Internet".

Ek-9 Kaynaklar 17 nolu referansa ait internet sitesi



Ek-10 Kaynaklar 19 nolu referansa ait internet sitesi

Hydrogen storage and transportation technology - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address http://www.e-sources.com/hydrogen/storage.html

E-sources special topic: hydrogen

[About E-sources](#)
[Biomass](#)
[Fuel Cells](#)
[Hydrogen](#)
[Internet Resources](#)
[Energy Efficiency](#)
[Web sites](#)
[Home](#)

Storing and Transporting Hydrogen

Introduction

Since hydrogen is one of the lightest elements and has very small molecules it can escape from tanks and pipes more easily than conventional fuels. However, if it is to be used as a fuel for transport or power generation then there must be ways of storing it cost-effectively. There is also a need to get it from the place where it is generated to the place where it is used.

Storing hydrogen can be done in three main ways: in compressed form, liquid form and by chemical bonding.

Compressed hydrogen

Compressing hydrogen is similar to compressing natural gas, though as hydrogen is less dense the compressors need better seals. Hydrogen is normally compressed to between 200 and 250 bar for storage in cylindrical tanks of up to 50 litres. These tanks may be made from aluminum or carbon/graphite compounds and can be used for either small industrial projects or transportation. If the compressed hydrogen is to be used on a larger scale then pressures of 500-600 bar may be employed, though some of the largest compressed hydrogen tanks in the world (about 15,000 cu metres) use pressures of only 12-16 bar.

Liquid hydrogen

Internet

Ek-11 Kaynaklar 22 nolu referansa ait internet sitesi



Ek-12 Kaynaklar 23 nolu referansa ait internet sitesi

Quantum Technologies - Home - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address http://www.quantum.com/home.shtml

QUANTUM TECHNOLOGIES

"FUEL SYSTEM TECHNOLOGIES FOR ALTERNATIVE PROPULSION AND ENERGY IN EMERGING GLOBAL MARKETS"

ABOUT QUANTUM CORE COMPETENCIES COMPETITIVE ADVANTAGES NEWS & EVENTS INVESTOR RELATIONS CAREER OPPORTUNITIES CONTRACT SERVICES CONTACT US

Search: GO

QUANTUM is a global thermoelectric combustion info
NOTE: The above link will take you to the EEC website.

QUANTUM NEWS EVENTS

A QUANTUM LEAP IN ADVANCED FUEL SYSTEM TECHNOLOGIES

QUANTUM CORE COMPETENCIES

FUEL STORAGE
FUEL METERING
ELECTRONIC CONTROLS
SYSTEM INTEGRATION

ALTERNATIVE FUEL VEHICLES FUEL CELL APPLICATIONS REFINING UPPER TIER FUEL

QUANTUM is a Tier One supplier to Original Equipment Manufacturers (OEMs) for engineered fuel delivery and fuel storage systems.

Hydrogen, compressed natural gas (CNG) and liquid propane gas (LPG) handling and gaseous fuel storage system technologies are provided by QUANTUM to manufacturers of fuel cell engines and internal combustion engines.

QUANTUM's core competencies include: gaseous fuel storage, fuel metering, electronic controls and fuel system integration. These core competencies are applied to alternative fueled vehicles, fuel cell applications and refueling infrastructure.

QUANTUM Technologies, Inc., (NASDAQ: QTWW) focuses on enabling fuel system technologies for alternative propulsion and energy in emerging global markets.

QUANTUM TECHNOLOGIES, INC.
17872 CARTHURWAY ROAD
IRVINE, CA, USA 92614
(949) 399-4800

Error 04: Unknown property name
Background-image

Done Internet

Ek-13 Kaynaklar 24 nolu referansa ait internet sitesi

Hydrogen at GKSS: Storage Alternatives - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address <http://www.gkss.de/Themen/W/WT/WT/wasserstoff/Speicher.html>

contact **hydrogen storage** **fuel cells** **clean energy supply** **lab class**

Hydrogen Storage: Metal Hydrides in Comparison to Alternative Solutions for Emission-Free Vehicles

Storage Alternatives

At room temperature, hydrogen is gaseous and occupies a large volume: per 100 km about 1.2 kg of hydrogen are consumed, this equals 13.500 liters of gaseous hydrogen. Therefore, hydrogen storage in small tanks, especially for mobile applications, is difficult. There are several alternatives with specific advantages and drawbacks. The different reversible storage alternatives are compared with respect to tank volume and weight in this diagram. Efficiencies are already included in the calculations.

Details for the different Alternatives:

- > chemically as hydrocarbon (Methanol)
- > on-board production using chemical
- > hydrogen in pressurized gas containers
- > gaseous storage in carbon nanotubes
- > liquid hydrogen in cryo-tanks
- > **solid state storage in reversible metal hydrides**

Hydride Research at GKSS

Together with industrial partners GKSS concentrates on the development of light metal hydrides, that have advantages over the other alternatives with respect to volume, safety and geometrical

Tank Weight and Volume for 300 km Range

Storage Alternative	Weight (kg)	Volume (liters)
H ₂ -Gas	395	13500
Liquid H ₂	86	140
MgH ₂	73	176
Mg ₂ NiH ₄	83	315
Other		435

Opening page: <http://www.gkss.de/Themen/W/WT/WT/wasserstoff/Speicher.html> Link-Zone

Ek-14 Kaynaklar 26 nolu referansa ait internet sitesi

Clefs 44 How to stock hydrogen safely and efficiently? - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

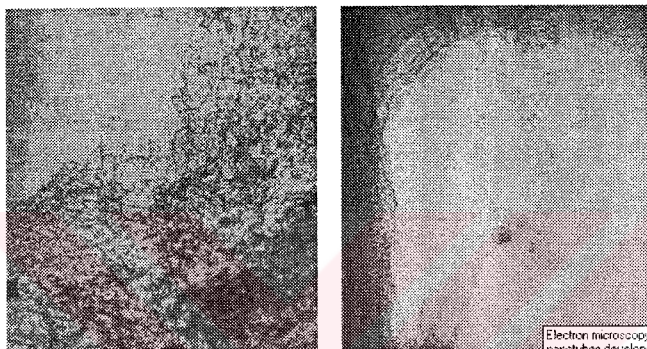
Address http://www.cea.fr/gb/institutions/clefs-44/an-clefs-44/clefs4464a.html

from research to industry

Library

back to contents page 64 / 97

HYDROGEN STORAGE
How to stock hydrogen safely and efficiently?

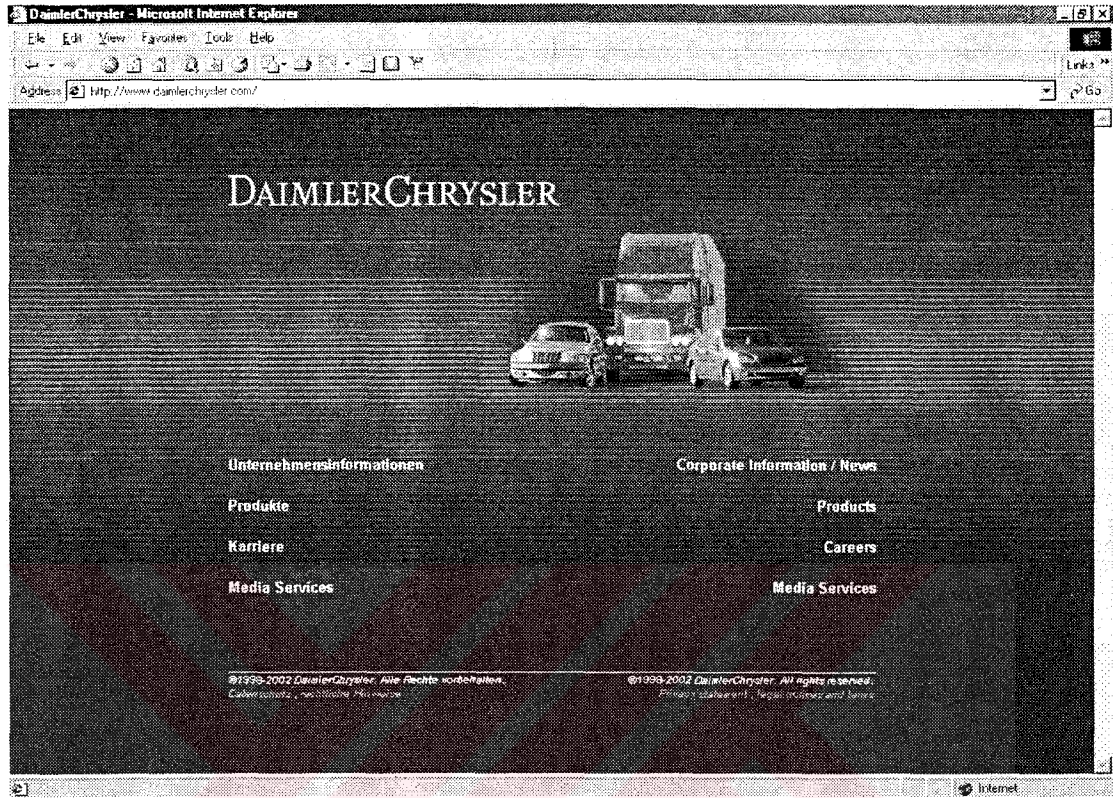


Electron microscopy images, transmitted from carbon nanotubes developed by high temperature catalytic decomposition. Left: an overall view (x 6 000), right: a close-up view of a nanotube (x 150 000).

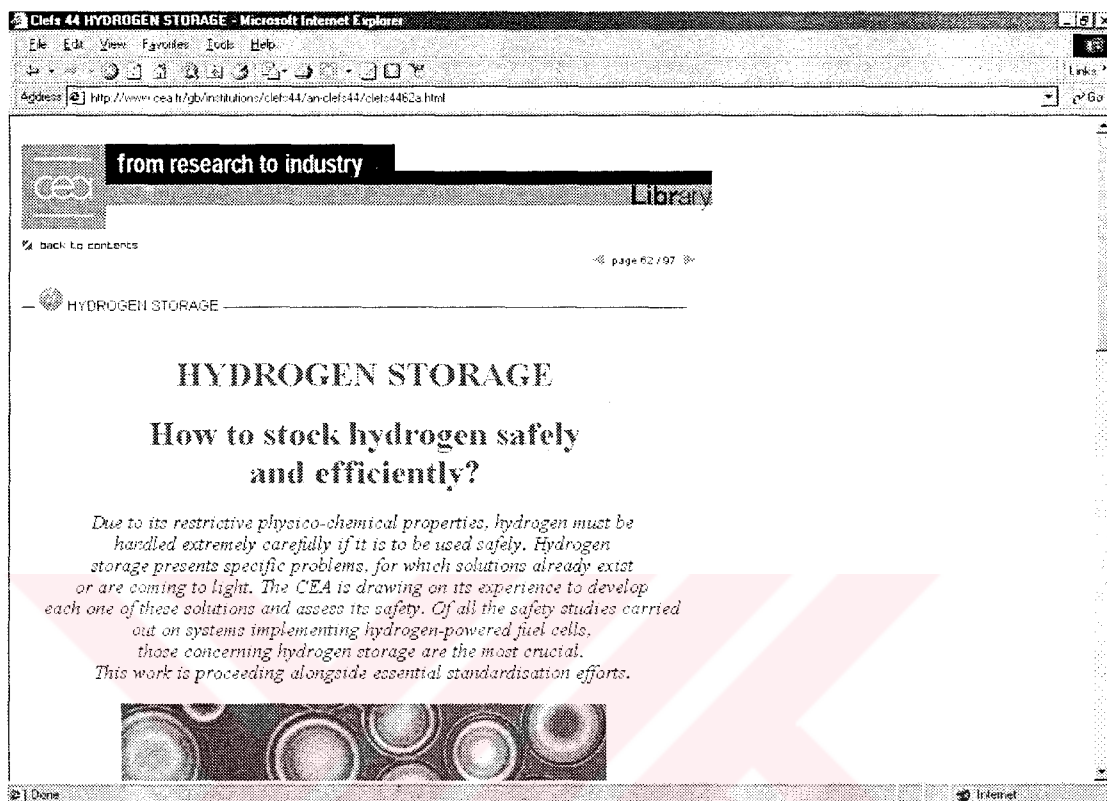
Electron microscopy images, transmitted from carbon nanotubes developed by high temperature catalytic decomposition. Left: an overall view (x 6 000), right: a close-up view of a nanotube (x 150 000).

Internet

Ek-15 Kaynaklar 30 nolu referansa ait internet sitesi



Ek-16 Kaynaklar 60 nolu referansa ait internet sitesi



Clets 44 HYDROGEN STORAGE - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address <http://www.cea.fr/gbr/institutions/clets-44/an-clets44/clets4462a.html>

from research to industry Library


back to contents page 62 / 97

HYDROGEN STORAGE

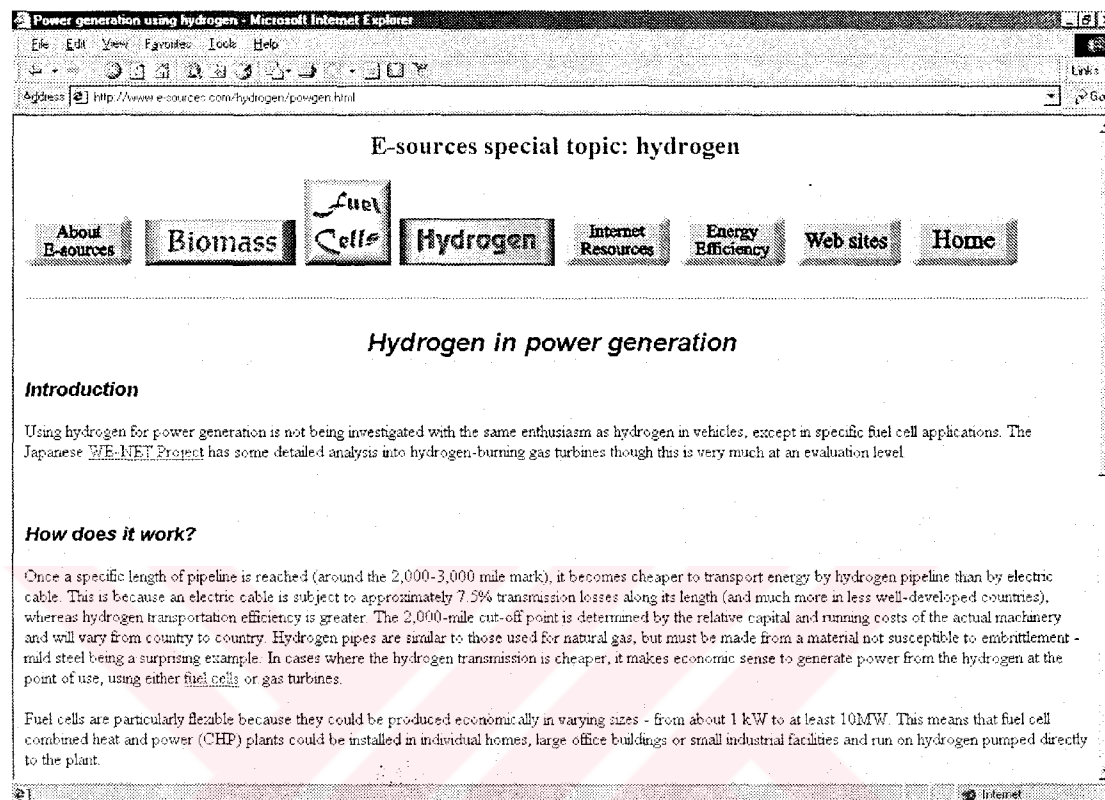
HYDROGEN STORAGE

How to stock hydrogen safely and efficiently?

Due to its restrictive physico-chemical properties, hydrogen must be handled extremely carefully if it is to be used safely. Hydrogen storage presents specific problems, for which solutions already exist or are coming to light. The CEA is drawing on its experience to develop each one of these solutions and assess its safety. Of all the safety studies carried out on systems implementing hydrogen-powered fuel cells, those concerning hydrogen storage are the most crucial. This work is proceeding alongside essential standardisation efforts.



Ek-17 Kaynaklar 61 nolu referansa ait internet sitesi



The screenshot shows a Microsoft Internet Explorer browser window with the title "Power generation using hydrogen - Microsoft Internet Explorer". The address bar shows the URL "http://www.e-sources.com/hydrogen/powgen.html". The website content includes a navigation menu with buttons for "About E-sources", "Biomass", "Fuel Cells", "Hydrogen", "Internet Resources", "Energy Efficiency", "Web sites", and "Home". The main heading is "E-sources special topic: hydrogen". Below this, the section "Hydrogen in power generation" is introduced. The "Introduction" section states that hydrogen power generation is not being investigated with the same enthusiasm as hydrogen in vehicles, except in specific fuel cell applications. The Japanese WE-NET Project is mentioned as having detailed analysis into hydrogen-burning gas turbines. The "How does it work?" section explains that once a pipeline length of 2,000-3,000 miles is reached, it becomes cheaper to transport energy by hydrogen pipeline than by electric cable. It also notes that fuel cells are particularly flexible because they can be produced economically in varying sizes, from about 1 kW to at least 10MW.

Power generation using hydrogen - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address <http://www.e-sources.com/hydrogen/powgen.html> Go

E-sources special topic: hydrogen

About E-sources Biomass Fuel Cells Hydrogen Internet Resources Energy Efficiency Web sites Home

Hydrogen in power generation

Introduction

Using hydrogen for power generation is not being investigated with the same enthusiasm as hydrogen in vehicles, except in specific fuel cell applications. The Japanese [WE-NET Project](#) has some detailed analysis into hydrogen-burning gas turbines though this is very much at an evaluation level

How does it work?

Once a specific length of pipeline is reached (around the 2,000-3,000 mile mark), it becomes cheaper to transport energy by hydrogen pipeline than by electric cable. This is because an electric cable is subject to approximately 7.5% transmission losses along its length (and much more in less well-developed countries), whereas hydrogen transportation efficiency is greater. The 2,000-mile cut-off point is determined by the relative capital and running costs of the actual machinery and will vary from country to country. Hydrogen pipes are similar to those used for natural gas, but must be made from a material not susceptible to embrittlement - mild steel being a surprising example. In cases where the hydrogen transmission is cheaper, it makes economic sense to generate power from the hydrogen at the point of use, using either [fuel cells](#) or gas turbines.

Fuel cells are particularly flexible because they could be produced economically in varying sizes - from about 1 kW to at least 10MW. This means that fuel cell combined heat and power (CHP) plants could be installed in individual homes, large office buildings or small industrial facilities and run on hydrogen pumped directly to the plant.

Internet

Ek-18 Kaynaklar 69 nolu referansa ait internet sitesi

Chemistry: WebElements Periodic Table - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address http://www.webelements.com/

Chemistry: WebElements Periodic Table: Home page

Pro Home Scholar Home Books WebElements CD Chemdex Chemputer Feedback Help

WebElements

WebElements™ Periodic table (professional edition)

See also: WebElements Scholar Edition - for chemistry and other students at universities and schools.

Select an element from the periodic table.

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18														
Period 1	1 H	2 He																														
Period 2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne														
Period 3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar														
Period 4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr														
Period 5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe														
Period 6	55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
Period 7	87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
	89 Fr	90 Ra	91 Ac	92 Th	93 Pa	94 U	95 Np	96 Pu	97 Am	98 Cm	99 Bk	100 Cf	101 Es	102 Fm	103 Md	104 No	105 Lr	106 Rf	107 Db	108 Sg	109 Bh	110 Hs	111 Mt	112 Ds	113 Rg	114 Cn	115 Nh	116 Fl	117 Mc	118 Lv	119 Ts	120 Og

http://www.webelements.com/webelements/elements/text/Key.html

ÖZGEÇMİŞ

1978 yılında Ankara'da doğan Muhittin BİLGİLİ, ilk ve ortaokulu Kızılcahamam'da, Liseyi ise Ankara Etlik Lisesi'nde tamamlamıştır. Ardından 1995 yılında lisans eğitimine başladığı Gazi Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden Haziran 2000 tarihinde mezun olmuştur. Şubat 2001 tarihinde Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Kasım 2001 tarihinde araştırma görevlisi olarak başladığı görevini Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünde halen sürdürmektedir.