

MAGNETOHİDRODİNAMİK (MHD) JENERATÖRLERİN
ENERJİ TASARRUFUNDAKİ ÖNEMİ

Halil ÇETİN, M.Emin YILDIZ
E.Ü. Mühendislik Fakültesi, KAYSERİ

ÖZET

Bu çalışmada MHD dönüşüm prensipleri fiziksel olarak incelenerek, bir MHD jeneratörü deşarj kanalında elektrik üretimi izah edilmiştir. Ayrıca literatürde Ohm kanunu esas alınarak çıkarılan; voltaj düşümünün, iyonlaşmış gazın elektron sıcaklığına bağlılığı ifadesi, temel plazma denklemlerinden hareket edilerek çıkarılmıştır.

MHD sistemlerinde dönen mekanik kısımların olmayışı ve iyonlaşmış gazın deşarj kanalında 2500 - 3000°C gibi bir hayli yüksek sıcaklıklarda genişletilmesi, termodinamik verimliliği, konvensiyonel sistemlere göre önemli ölçüde artıran faktörlerdir.

Bu dönüşüm tekniğini kullanarak konvensiyonel güç üretim sistemlerinde, enerji dönüşüm verimini % 70'lere çıkarmak mümkündür.

THE IMPORTANCE OF MHD JENERATÖR
IN ENERGY CONSERVATION

SUMMARY

In this work, the electricity production in the discharge channel of an MHD jeneratore are explained by studying the MHD convension prenciples theoretically. In addition to this, in literature the relationship between the temperature of the ionized gaseous and the voltage drop obtained by using Ohm's law, is obtained from the main plasma equations.

Hawing no rotating mechanical parts in MHD systems and being highly expanded of the ionized gasesus as 2500-3000°C in the discharge channel are the main factors increasing the thermodynamics efficiency compared with the conventional systems significatly.

It is possible to increase the efficiency up to 70 %, using such a tech-
nic.

1- GİRİŞ

Enerji tasarrufunu incelerken üretim ve tüketim sahalarını bir bütün olarak düşünmek gerekir.

Bu çalışmada; Ülkemizde şimdiye kadar değinilmeyen üretim alanındaki tasarruf ele alındı. Üretim alanındaki enerji israfını konvansiyonel enerji dönüşüm sistemlerindeki kayıplar ve verimsizlik olarak tanımlamak mümkündür. Mevcut güç üretim tesislerinde verim % 30-40 mertebesindedir. Tüketim alanında alınacak bazı tedbirlerle, bu verimin % 20 si kadar bir tasarruf sağlanabilir. Bu ise toplam enerjinin sadece % 6 sı demektir.

Halihazırda mevcut konvansiyonel güç üretim tesisleri ve nükleer santrallarda enerji dönüşümü; türbin sistemleri içinde olmaktadır. Enerjinin büyük bir kısmı, dönen mekanik kısımlar ve türbin kanatları arasında kaybolmaktadır. MHD dönüşüm teknolojisi ile mekanik hareketli kısımlar ortadan kaldırılmakta ve kanal girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkları 1500-2000°C gibi çok yüksek değerlerde tutularak verim limiti % 70 lere çıkarılmaktadır.

Bugün başta A.B.D. ve Sovyetler Birliği olmak üzere pek çok ülke MHD sistemleri üzerine çalışmaktadır. Sovyetler Birliği Sibirya'da bulunan zengin kömür yataklarını değerlendirmek için 1990 dan sonraki yıllarda kömür esaslı bütün termik santrallarını MHD ile beraber çalıştırmayı planlamıştır [1]. Ayrıca A.B.D., Sovyetler Birliği ve Avrupa devletleri ilk kömür, tabii gaz ve Nükleer MHD üzerine ortak çalışmalar yapmaktadırlar.

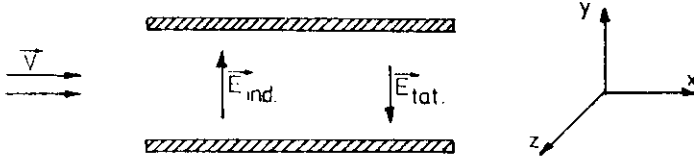
Konvansiyonel güç üretim tesislerine ve nükleer santrallara yapılan yatırımlar, onlardan alınan verim ile mukayese edilirse, MHD esaslı enerji üretim tesisleri ve gelişmiş nükleer santrallarının yeri daha iyi anlaşılmalı olacaktır.

2- MHD DÖNÜŞÜM PRENSİPLERİ

MHD jeneratörleri; plasma haline getirilmiş bir gaz içindeki kutuplaşmış yükleri, iletken elektrodlarla elektrik enerjisine çeviren sistemlere denilir.

İçinde iyonize olmuş bir gazın süratle aktığı bir kanalda; Ohm kanunundan hareket edilerek I akımı ve J akım yoğunluğu kolayca bulunabilir. İletken bir gaz bir B magnetik alan içinde q elektrik yükü ile v hızıyla

hareket ederse, yük üzerine sarfedilen güç Lorentz kanununa göre;
 $\vec{F} = nq \vec{v} \times \vec{B}$ endüklenen elektrik alanı ise $\vec{E}_{ind} = \vec{v} \times \vec{B}$ olacaktır.



Şekil-1: Elektrotlar elektrik alanları

Şekil-1'de görüldüğü gibi; iki düzlem veya plâka arasında hissedilebilir bir elektrik iletkenliği elde etmek için, x - istikametinde v hızıyla akan, yeterince yüklü taneciklere sahip olan bir gazın, içinde bulunduğu durumu göz önüne alalım. Negatif -Z istikameti içinde bir B magnetik alanı ile, negatif y-istikametinde bir E_{tat} . elektrik alanı tatbik edilsin. Magnetik alan E_{tat} . elektrik alanına zıt istikamette bir E_{ind} . elektrik alanı meydana getirecektir.

$$\vec{J}_{ind.} = G \vec{E}_{ind.} \quad (2.1)$$

Plâklar arasında birim alan başına meydana gelen toplam akım;

$$\vec{J} = G (\vec{E}_{tat.} + \vec{E}_{ind.}) \quad (2.2)$$

$$\vec{E}_{ind} = \vec{v} \times \vec{B} \quad \text{olduğundan}$$

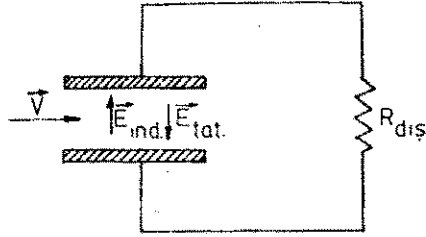
$$\vec{J} = G (\vec{E}_{tat.} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (2.3)$$

skaler formda

$$J = G (vB - E_{tat}) \quad (2.4)$$

olarak yazılabilir.

Burada J; pozitif y-istikameti içindeki akım yoğunluğudur. v plakalar arasında akan gazın hızıdır. Şimdi elektrik enerjisi üretimde MHD akımlarının kullanılmasını göz önüne alalım.



Şekil-2: Elektrotlar ile bir dış yükün bağlantısı

Şekil-2'de görüldüğü gibi elektrotlar harici bir yük direnci ile bağlanmış olsunlar. Pozitif y-istikameti içinde endüklenen elektrik alanı sebebiyle, kağıt istikameti içine yeni bir B mağnetik alanı tatbik edilecektir. Bu durumda, harici güç kaynağı olmadığından, tatbik edilen elektrik alan; yük direnci içinden akımın geçmesiyle voltaj düğümüne sebep olacaktır. Tatbik edilen alan Endüklenen alandan daha küçüktür.

Voltaj düşümüyle, iyonize olmuş gazın sıcaklığı arasındaki ilişkiyi temel plazma denklemleriyle açıklayabiliriz. Bunun için Poisson denkleminin küresel koordinatlardaki öz fonksiyon açılımı kullanılırsa [2]

$$\nabla^2 V(r) = - \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (2.5)$$

Küresel koordinatlardaki radyal bileşen alınır ve $\rho = -e n^-$ yazılırsa,

$$\frac{\delta}{\delta r} \left[r^2 \frac{V(r)}{r} \right] = \frac{e n^-}{\epsilon_0} r^2 \quad (2.6)$$

denklemini elde edilir.

(2.6) denkleminin r üzerinden integrali alınır,

$$V(r) = \frac{e n^- r^2}{6 \epsilon_0} \quad (2.7)$$

ifadesi elde edilir. Burada V(r) kutuplar arasındaki potansiyel farkı, e elektron yükü, n⁻ elektron yoğunluğu, ε₀ dielektrik sabiti, r Debye yarıçapıdır [3].

$$r_D = 3 \left[\frac{k_B T_e}{e^2 n^-} \right]^{1/2}$$

Bu ifade (2.7) ifadesinde yerine konulursa

$$V(r) = \frac{3}{2 e} k_B T_e \quad (2.8)$$

elde edilir. Bu ifade de k_B Boltzmann sabiti, T_e elektron sıcaklığıdır.

$$\frac{3}{2} \frac{k_B T_e}{e} = A \quad (2.9)$$

bir sabite eşit olduğundan

$$V = A T_e \quad (2.10)$$

olarak yazılabilir.

Yukarıdaki ifadeden, elektronlar arasından voltaj farkının iletken gazın sıcaklığına bağlı olarak artacağı açıkça görülmektedir.

Gazların İletkenliği:

MHD jeneratörlerinde kullanılacak olan gazı seçebilmek için, gazların iletkenliği konusu iyi bilinmelidir.

Bir gazın bir akımı iletebilmesi için hissedilebilir sayıda yüklü tane-ciğe sahip olması gerekir. İyonize olmuş gaz moleküllerinin herbirinde elektron ve pozitif olarak yüklü bir iyon vardır. Bu gibi iyonize olmuş bir gaz akımı ve plazmanın iletkenliği elektronlar sebebiyle olmaktadır. Atomun kendi çekirdeğinden bir elektronu tamamen uzaklaştırmak için gerekli olan enerjiye iyonlaşma enerjisi adı verilir. Genellikle eV olarak ifade edilir ($1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$ Joule). İyonlaşma enerjisi verilen bir atomun çekirdeğine elektronu tutan kuvvetlere bağlıdır. Tablo-1'de gazların iyonlaşma enerjileri verilmektedir.

Tablo I : Gazların İyonlaşma Enerjileri

<u>Gaz</u>	<u>İyonlaşma Enerjisi (eV)</u>	<u>Katkı</u>	<u>İyonlaşma Enerjisi (eV)</u>
He	24.46	Na	5.12
Ne	21.47	K	4.32
Ar	15.68	Cs	3.87
Kr	13.93	Ba	5.19
He	15.13		
H ₂	16.6		
N	14.48		
N ₂	15.51		
O	13.55		
O ₂	15.51		

Saha [4] klasik termodinamikten faydalanarak, gazların iyonlaşma yüzdesini; sıcaklığın ve basıncın fonksiyonu olarak aşağıdaki şekilde ifade etmiştir.

$$\frac{\alpha^2}{1 - \alpha^2} C \frac{T^{5/2}}{P} e^{- (VE)_1 / k_B T} \quad (2.11)$$

α = Gaz içinde iyonize olan atomların oranı
 $(VE)_1$ = İyonlaşma enerjisi [eV]

$k_B = 1.38 \times 10^{-23}$ J/°K Boltzman sabiti

P = Gaz basıncı [Atm.]

C = Gazın özelliğine bağlı bir sabit

C = 3.16×10^{-7} Argon için

Az iyonize olmuş bir gazda ($\alpha < 10^{-4}$), σ elektrik iletkenliği ile α arasındaki bağıntı Gombel [5] tarafından verilmiştir.

$$\sigma = 3.34 \times 10^{-12} \frac{\alpha}{Q T^{1/2}} \text{ Ohm cm}^{-1} \quad (2.12)$$

Burada Q = Elektron-atom tesir kesiti.

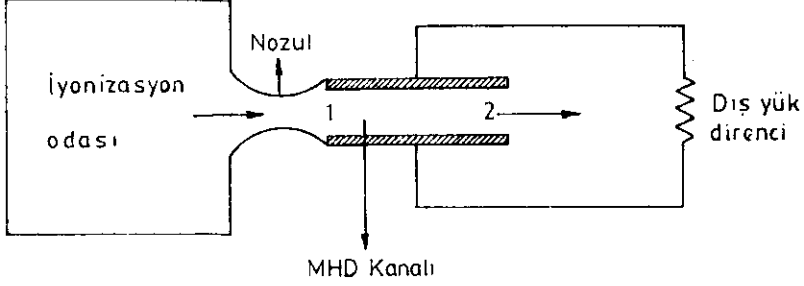
ÖRNEK-1: 5000 ve 7500°K için Ar'nun iyonlaşma yüzdesi ve elektriksel iletkenliği hesaplanırsa:

$Q = 1 \times 10^{-16}$ cm ²	(Ar'nun tesir kesiti)
$\alpha = 3.36 \times 10^{-7}$	7500°K için
$\sigma = 1.59 \times 10^{-4}$ Ohm.Cm ⁻¹	$\alpha = 2.23 \times 10^{-4}$
	$\sigma = 8.6$ Ohm m ⁻¹

bulunur. Başarılı bir MHD çalışması için en az 10 Ohm.m⁻¹ olmalıdır. Bu gibi yüksek iyonlaşma sıcaklıklarına malzemelerin dayanması mümkün değildir. Gazın 2000°K gibi çok daha düşük sıcaklıklarda iyonlaşabilmesi gereklidir. Düşük iyonlaşma derecelerine sahip olan malzemeler ile, bu gibi yüksek iyonlaşma derecelerine sahip olan gazlar karıştırılarak iyileştirilir. Böyle bir malzeme Cs veya K olabilir. % 1 lik bir potasyum ile Argonun katıklanması ile Argonun iletkenliğini (10 - 100) Ohm.m⁻¹ ma çıkarmak mümkündür. Sezilebilir bir iletkenlik elde etmek için katık malzemenin konsantrasyonu % 1 veya daha az olmalıdır.

3- MHD GÜÇ JENERATÖRLERİ

İlk olarak Şekil-3'de görülen sabit hızlı bir elektrik güç jeneratörünü inceleyelim. Jeneratör esas olarak iyonlaşma odası, nozul ve içinde gücün üretildiği kanal olmak üzere üç kısımdan meydana gelmiştir.



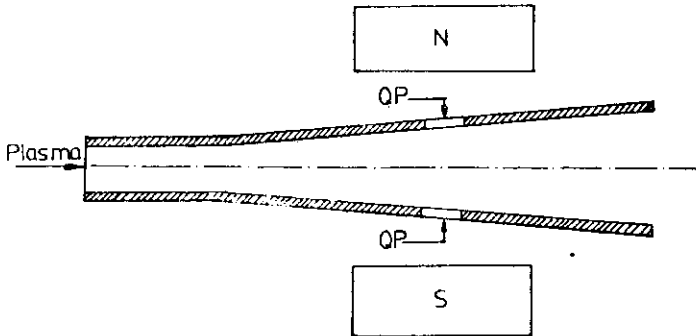
Şekil-3: MHD Güç Jeneratörü

Kanalın alt ve üstü iletken elektrotlardan meydana gelir.

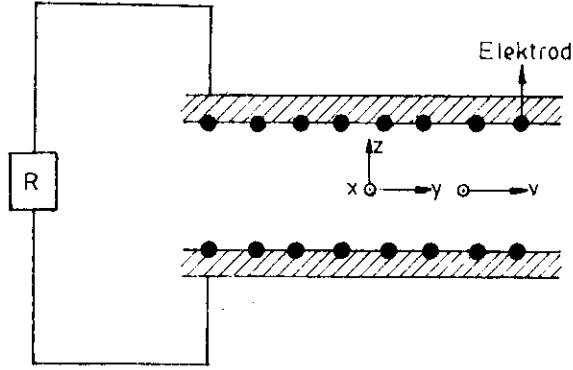
Elektrod malzemeleri olarak termiyonik emisivitesi çok iyi olan yüksek sıcaklığa dayanıklı Tungsten, Rhenium, Tantalum ile bunların karbonatları, nitratları ve boratları kullanılmaktadır.

Duvar malzemeleri olarak; akışkanın korrozif etkisine ve yüksek sıcaklığa dayanıklı MgO , Al_2O_3 , Strontiumzirkonat $SrO.ZrO_2$, ThO_2 gibi malzemeler kullanılmaktadır. Seramik oksitler cazip görünmesine rağmen birkaç haftalık bir ömrü vardır. Şayet duvar malzemeleri olarak paslanmaz çelik kullanılan yüzeyi Gallium gibi yüksek sıcaklığa dayanıklı elektriksel izolatörlerin kullanılması gerekmektedir. Bu malzemelerin her biri birbirine göre avantaj ve dezavantajlara sahiptir.

Şekil-4 ve şekil-5'de bir MHD kanalının üstten ve yandan görünüşleri verilmektedir.



Şekil-4: Jeneratör kanalının üstten görünüşü



Şekil-5 : Jeneratör kanalının yandan görünüşü

MHD Jeneratörleri doğru akım ürettiklerinden, sistemden bir d.c/a.c dönüştürücüsü kullanmak gerekir. 4 sınıfa ayrılırlar.

a- Lineer Jeneratörler

Kanalın kesiti homojendir. Ayrıca sabit halde plasmanın nötr durumda olduğu kabul edilir.

b- Vorteks Jeneratörler

Ortak eksenli iki silindirden meydana gelmiştir. İçteki silindir çapı dıştaki silindir çapından çok daha küçük yapılmıştır. Bu suretle plazma akımı jeneratöre girmeden önce çok sayıda dönüş yapmış olacaktır. Plazma içteki silindir yüzeyi boyunca spiral olarak çekilerek, dıştaki silindir içine teğetsel olarak verilmiştir. Manyetik alan plazma akışına dik aksenal olarak tatbik edilmiştir.

c- Dış Akımlı Radyal Jeneratörler

Gazların iç silindirden dış bölgeye enjekte edilmiş olduğu jeneratörlerdir.

d- Halka Koridorlu Jeneratörler

Bu jeneratörde tek bir halkalı elektrod bulunmaktadır. Manyetik alan radyaldır.

MHD Jeneratörünün Hareket Denklemleri

B Manyetik alanı negatif-z istikametinde tatbik edilmiştir. Gaz sabit özgül ısıları ile, mükemmel olarak kabul edildi. Yani iletkenliği arttırmak için ilave edilen katkı maddelerinin gazın özelliklerini değiştirmedeği, gazın iletkenliğinin skaler bir sabit olduğu kabul edilmiştir.

Sabit hızlı bir akım içinde basınç ve sıcaklık değişimleri ve jeneratörde güç üretimi için gerekli olan kanal geometrisinin ne olduğunu araştıralım. Sabit hız halinde, süreklilik, momentum ve enerji denklemleri aşağıdaki denklemlere indirgenecektir [6].

$$\frac{d\rho}{\rho} + \frac{dA}{A} = 0 \quad (3.1)$$

$$\frac{dP}{dx} = - j_y B \quad (3.2)$$

$$\rho v \frac{dh}{dx} = - jE \quad (3.3)$$

veya mükemmel bir gazda, sabit özgül ısılar için

$$\rho v c_p \frac{dT}{dx} = - jE \quad (3.4)$$

Yukarıdaki denklemleri çözmek için, harici yük karakteristiğini tayin etmek gerekir. Meselâ; yük içinden geçen elektrik alanını açık devre halindeki elektrik alanına oranını K olarak tarif edelim. $K = E/VB$ olarak yazılabilecektir.

$$K = \frac{\text{Faydalı elektrik çıkış gücü}}{\text{Toplam üretilen elektrik gücü}}$$

$$= \frac{Ej}{vBj} = \frac{E}{vB} \quad \text{veya} \quad \rho c_p \frac{dT}{dx} = K \quad \text{olur.} \quad (3.5)$$

plasmada I^2R veya joule ısısı şeklinde kayıplar olacağından K, birden daha küçük olacaktır. Momentum ve enerji denklemleri birleştirilirse,

mükemmel gaz için $P = \gamma RT$ yazılabileceğinden,

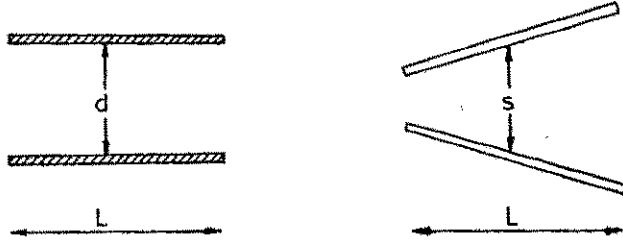
$$K \frac{dP}{dT} = \frac{P}{RT} C_p$$

$$K \frac{dP}{P} = \frac{C_p}{R} \frac{dP}{T} = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{dT}{T}$$

olacaktır. Bu denklem 1 ve 2 arasında integre edilirse

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{\gamma}{(\gamma-1)K}} \quad (3.6)$$

ifadesi elde edilir. İzantropik olmayan akış halinde, gerçek sıcaklık oranı, aynı basınç oranı için, izantropik sıcaklık oranlarından daha küçüktür. Şekil-6'da sabit ve değişken kanal kesitleri görülmektedir.



Şekil-6: Sabit ve değişken kanal kesitleri

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{P_1 T_2}{P_2 T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{[k(\gamma-1)/\gamma]-1} \quad (3.7)$$

Şayet basınç oranı verilirse, kanal çıkış kesiti tayin edilebilir. Birim elektrod alanı başına J akımı;

$$J_y = G(vB - E) \quad (3.8)$$

$$J_y = G v B (1 - K)$$

$$I = G v B (1 - K) L \frac{S_1 + S_2}{2} \quad (3.9)$$

Burada I harici yolu içinden geçen toplam akımdır. Birim hacim başına faydalı çıkış gücü;

$$jE = G v^2 B^2 (1 - K) K \quad (3.10)$$

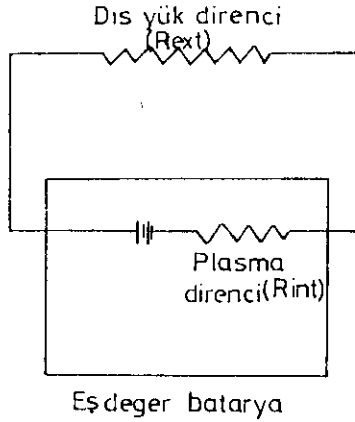
Toplam çıkış gücü:

$$P = G v^2 B^2 (1 - K) K L d \frac{S_1 + S_2}{2} \quad [\text{kW}] \quad (3.11)$$

Max. güç için

$$\frac{dP}{dK} = 0 \quad \text{dan} \quad K = \frac{1}{2} \quad \text{bulunur.}$$

Bu ise plasma ve yük direncinin birbirine eşit olduğunu göstermektedir. Buna göre MHD devresi Şekil-7'de görüldüğü gibi bir batarya devresine eşdeğer olacaktır.



Şekil-7: Eşdeğer batarya devresi

MHD Jeneratörlerinde Verim:

Deşarj kanalı giriş ve çıkış enerjileri yazılırsa,

$$E_G = E_{kin.1} + E_{term.1} \quad \text{Giriş Enerjisi}$$

$$E_G = E_{kin.2} + E_{term.2} \quad \text{Çıkış Enerjisi}$$

$$E_F = E_{elek.} \quad \text{Faydalı Enerji}$$

$$E_K = E_{term.} + E_{Joule} \quad \text{Kayıp Enerji}$$

Jeneratörde güç ifadesi $P = J.E$ olduğundan verim ifadesi

$$\text{MHD} = \frac{P_{elek.}}{P_{kin} + P_{term.} + P_{Joul}}$$

olarak yazılabilir.

$$P_{elek.} = v^2 B^2 L.d(1 - K) K \left(\frac{S_1 + S_2}{2} \right) [kw] \quad \text{Çıkış enerjisi}$$

$$P_{term.} = m C_p (T_1 - T_2) \quad \text{Elektrik enerjisine dönüşümünde kullanılan termal enerji (P_{iyon})}$$

$$P_{iyon} = J.E_{iyon}$$

$$P_{kin} = \frac{1}{2} m V^2 \quad \text{Gazın kinetik enerjisi}$$

$$P_{Joul.} = V^2 \quad \text{Joule kayıpları}$$

Termal enerji, jeneratör kanalında T_e elektron sıcaklığına bağlı olarak elektrik enerjisine dönüşecektir. Kanal çıkışındaki termal enerji bir türbojeneratörde elektrik enerjisine çevrilerek verimi artırmak mümkündür.

ÖRNEK-2: Akışkan olarak He kullanılan bir MHD jeneratöründe Gunson[7] tarafından verildiğine göre,

Jeneratör çıkış gücü	: 315.5 [MW]
Voltaaj düşümü	: 11550 [V]
Verim	: % 80
Giriş Kesiti	: 813 x 1448 [mm ²]
Jeneratörün toplam uzun.	: 27.43 [m]
Jeneratör girişinde	: $P_1 = 4.425 \text{ atm}, T_1 = 1340^\circ\text{C}, V_1 = 1775 \text{ [m/s]}$

$$M_1 = 0,75$$

Jeneratör çıkışında : $P_2 = 1.892 \text{ atm}$ $T_2 = 954^\circ\text{C}$, $M=0,86$

Tatbik edilen mağ.alan: $E_{\text{tat.}} = 10 \text{ [Wb/m}^2\text{]}$

Halbuki Rankin çevrimine göre çalışan buhar, Brayton Joule çevrimine göre çalışan gaz türbünlerinde verim % 30-35 civarındadır.

MHD Jeneratöründe Kayıplar:

- 1- Mağnet kayıplar
- 2- Elektriksel kayıplar

Elektriksel kayıplar, jeneratörün giriş ve çıkışında girdap akımları ile birleşen uç kayıplardır. Ayrıca elektrodların çevresindeki etkiler ve plasmanın elektriksel özellikleri içinde türbülanslar ile birleşen kararsızlıklardır.

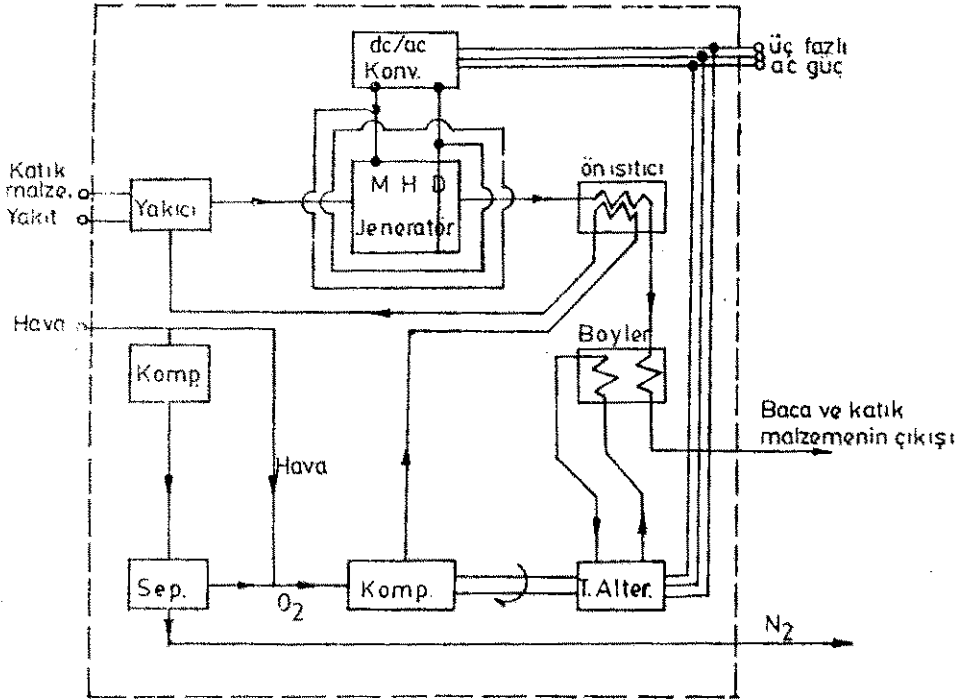
MHD Güç Üretim Sistemleri

4 tip MHD güç üretim sistemi vardır. Bunlar;

- 1- Geri kazanmasız açık devreli sistemler
- 2- Geri kazanmalı açık devreli sistemler
- 3- İki akışkan kullanılan sistemler
- 4- Kapalı devreli sistemler

Açık devreli sistemde, yakıt ön ısıtmasız olarak ilâve edilen oksitleyici ile yanar. Oksitleyici olarak genellikle oksijen, yakıt olarak da ekonomik sebeplerle fosil yakıtlar kullanılır. Kullanılan akışkan bir nozul ile hızlandırılarak jeneratörden atmosfere atılır. Katkı malzeme geri alınamaz. Bu sistemde verim düşüktür. Oksijen pahalı bir oksitleyicidir.

Bunun yerine Şekil-8'de görülen sistem ile hava oksitleyici olarak kullanılabilir.



Şekil-8: Açık devreli bir MHD sistemi yakıt olarak kömür kullanılmaktadır.

Havanın bir ön ısıtıcı ile termal iyonlaşması sağlanabilir. Katkı malzeme geri alınabilir. Kullanılan akışkan ısısını geri almak için bir buhar türbin sistemi gereklidir. Böyle bir sistemi gereklidir. Böyle bir sistemde yakıt genellikle kömürdür. Külür siklonlu bir yanıcı taraftan uzaklaştırılır. Bu sistemde tahmini verim % 56'dır.

Kapalı devreli sistemde; bir ısı eşanjörü içinde çalışan plazma bir nozul içerisinde genişletilir. Sonra jeneratör içerisinden geçer ve tekrar geri ısı eşanjörü içine pompalanır. Böyle bir sistemde ısı kaynağı nükleer reaktör olabilir.

4- UYGULAMA ALANLARI

A.B.D. firmaları MHD jeneratörlerini kullanan 30 dan fazla uygulama alanı teklif etmişlerdir. Sovyetler Birliği güçleri 30 MW civarında olan portatif MHD jeneratörlerini sismik araştırmalarda kullanmaktadır.

Ayrıca çok kısa sürede devreye girme kabiliyetleri olduğundan böyle küçük MHD sistemleri hastahane, havaalanı gibi yerlerde, konvensiyonel enerji dönüşüm sistemlerine göre daha kullanışlı olmaktadır.

İnsanlığı asıl ilgilendiren enerji üretim sahasında uygulanmasını ise üç kategoride inceleyebiliriz.

a- Fosil Esaslı MHD Sistemleri

Fosil - esaslı bir MHD sisteminde; gaz veya plazma olarak yüksek sıcaklıklarda yanma yakıt gazları kullanılır. Gaz hindeki yanma ürünlerine iyonlaştırma maksadı ile Potasyum ve Sezyum gibi katkı maddeleri ilave edilir. Sovyetler Birliği U-500 ile 250 MW lık MHD-Buhar türbin devresi üzerinde çalışmaktadır. Aynı şekilde U.S. ve diğer Avrupa ülkelerinin çalışmaları bulunmaktadır. Sovyetler Birliği 1990 sonraki yıllarda, 10-15 GW lık tabii gazlı - MHD santrallerinin işletilmesini planlamıştır. (1 GW = 10⁶ MW)

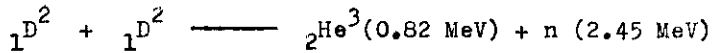
b- Nükleer MHD Teknolojisi

Fast breeder reaktörlerde yüksek sıcaklıklarda kullanılan metal soğutucular MHD dönüşümü için kaynak olabilir.

Normal şartlarda sıkıştırılamaz akışkan olarak bilinen sıvı-metallerin hızlandırılması prensibinden hareket ederek Nükleer - MHD teknolojisi ile gelişmiş nükleer santraller kurulması üzerine çalışılmaktadır. Deşarj kanalı çıkışında uygun bir akış miktarı elde etmek için asal gaz akışkanlar ve likid-gaz faz değişim kombinasyonları kullanılır.

Gelişmiş nükleer reaktörler üzerine A.B.D. ve Sovyetler Birliğinde çalışmalar yapılmaktadır.

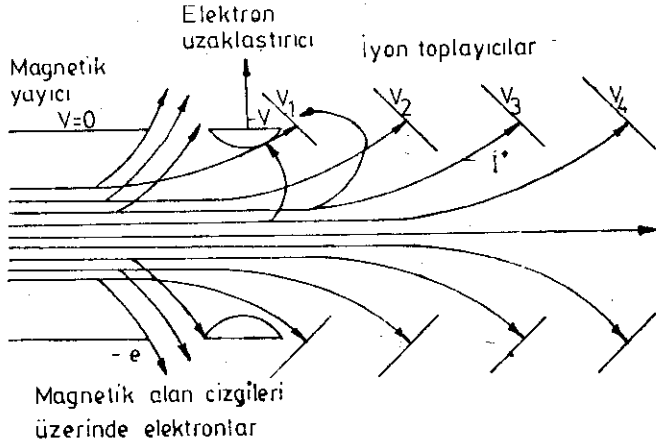
c- (Fusion) MHD Teknolojisi



reaksiyonun başlayabilmesi için 4×10^8 °K sıcaklığa ihtiyaç vardır. Bu gibi yüksek sıcaklıklarda fusion enerjisi, yüksek enerjili iyonlar şeklinde olduğundan iyonları doğrudan doğruya elektrik enerjisine dönüştürmek mümkün olabilecektir.

Bu maksatla Lawrence Livermore U.S. araştırmacıları ile Novosibirsk de Sovyet araştırmacıları tarafından birbirlerinden habersiz olarak tandem Mirror Fusion Makinası (TMX) geliştirilmiştir.

Enerjinin tamamı yüksek hızlı taneciklerle (Nötronlar, He iyonları ve kağan yakıt iyonları) taşınacaktır. Reaksiyondan kağan iyonların kinetik enerjisi, konvertörlerle direkt olarak elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Şekil-9'da bir MHD konvertörünün nasıl çalıştığı gösterilmiştir.



Şekil - 9: Fusion reaktörlerinde bir direkt MHD dönüştürücüsünün şeması

Fusion plasmasından kağan yüksek hızlı tanecikler bu taneciklerin akış bölgesi dışına yayılmış olan bir magnetik alan boyunca akacaklardır. Yükleri dengeli olan elektronların uzaklaştırılması ile büyük bir elektrik alanı meydana gelir ve iyon demeti süratle yayılır. Daha sonra iyonların uygun bir şekilde yerleştirilmiş olan elektrodlar ile çarpışması neticesi bir elektrik akımı meydana gelecektir. Bu elektrodlar plasma iyonları ile kesilmiş olduklarından pozitif olarak tutulurlar. Bir MHD konvertöründe magnetik alan, plasma tanecikleri istikametindedir. Elektronların çoğu magnetik alan sifonlarının istikametinde yavaşca bükülmüşlerdir. İyonlar ise çok az perturbasyona uğrarlar. Negatif elektrodlar ($-V$) kalan elektronları geri iter. İyon demetine çok süratli bir şekilde çarpan elektronların yok olmasıyla meydana gelen yük, iyonların toplanmasıyla pozitif olarak yüklenmiş olan ($+V$) elektrodları ile çarpışır. Elektrodlar üzerine toplanmış olan voltaj düşümleri iyon konvertörü D-T mirror reaktörü için gerekli olan elektrik enerjisinin birbuçuk mislini verebilecektir. D-D reaksiyonunu kullanan reaktörlerde daha da fazla olabilecektir.

5- SONUÇLAR

MHD sistemlerinin gelişmesinde karşılaşılan en büyük güçlüklerden birisi, elektrod ve deşarj kanalının yüksek gaz sıcaklıkları ve gazların korrozif etkilerine dayanabilmesi gerekmektedir.

Diğer bir problem ise $8-10 \text{ Wb/m}^2$ gibi büyük manyetik alanlar meydana getiren manyetik Joule ısıları sebebiyle ısı kayıplarını minimuma indirmek ve elektrik akım kayıplarını önlemek için, yapılması gereken süperiletken manyetin yapısıdır.

Önümüzdeki 10 yıl içinde süperiletken manyet ile yüksek sıcaklığa dayanıklı kanal ve elektrod malzemelerinin geliştirilmesiyle bu problemlere çözüm getirilebilecektir.

Hali hazırda mevcut termik ve Nükleer Santrallerin çok düşük verimle çalıştığı düşünülürse, MHD jeneratörlerinin önemi daha da artacaktır.

KAYNAKLAR

- 1- Freeman, M. Soviet Announce Gmmercial MHD Program, Fusion Magazine of The Fusion Energy Foundation, Vol. 3,5, (1980), S.25-28
- 2- Yıldız, M.E. İyonosfer Plazması, Doktora Tez Çalışmaları, Yıldız Üniv., İstanbul, 1984.
- 3- Hora, H. Physics of Laser Driven Plasmas, University of New South Wales, Kensington-Sydney-Australia,1981.
- 4- Saha, M. Ionization in the Solar Chromosphere, Philosophical Magazine, Vol. 40, (1920), S. 472 - 488.
- 5- Cambel, A. Plasma Physics and Magnetofluidmechanics. Chapter 7, New York, Mc Graw Hill Inc., 1963.
- 6- Sutton, G.W. Direct Energy Conversion, Chapter 4, Mc Graw Hill Inc., 1966.
- 7- Gunson, W.,Smith, E. E.,Tsu, T.C. and Wright, J.H., Nucleonics, Vol. 21, 7, (1963), S. 43.
- 8- Jakson, J.D. Classical Electrodynamics, John Wiley, USA, 1976.

- 9- Çetin, H. Fusion Reaktörlerinde Blanket Dizaynı, Doktora tez çalışmaları, İzmir, 1981.
- 10- Kerrebrock, J. Magneto hydrodynamic Generators with Nonequilibrium Ionization, AIAAJ, Vol. 3, April (1965), S-591.
- 11- Kettani, M.A. Plasma Engineering John Wiles sons, New York, 1973.
- 12- Wetzer, J.M. Asymmetrical Abel Inversion of MHD Generator Discharges, Trans. Plasma Science, Vol. PS-11,2, (1983) S. 72-75