

YILDEZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Doğru Akım, Ene, Nak, Türk. Uyg.

Yüksek Lisans Tezi

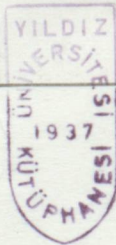
Mustafa Dumlupınar

1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot	R 152 128
Alındığı Yer	FEN BİL. ENS.
Tarih	17.04.1992
Fatura	- - - - -
Fiyatı	20.000.₺.
Ayniyat No	1/2
Kayıt No	48339
UDC	621.3 378.242
Ek	

7

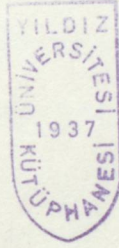


YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No 46117

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOĞRU AKIMLA ENERJİ NAKLİNİN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik Mühendisi Mustafa DUMLUPINAR

İSTANBUL-1989

İ Ç İ N D E K İ L E R

1. GİRİŞ.....	1
2. TÜRKİYE'NİN ENERJİ POLİTİKASI VE ELEKTRİK ENERJİSİ	
ÜRETİM TÜKETİM DURUMU.....	2
2.1. Enerji sektörünün kurumsal yapısı.....	2
2.2. Türkiye elektrik enerjisi tüketiminin gelişimi....	3
2.3. Elektrik enerjisi üretim hedef ve programları.....	18
2.4. Elektrik enerjisi açısından dünyadaki yerimiz.....	19
2.5. Elektrik enerjisi üretim ve talep değerlendirmesi.	23
3. YÜKSEK GERİLİM ALTERNATİF AKIMLA (HVAC) ENERJİ NAKLİ...	25
3.1. HVAC Enerji naklinde gerilim seviyesi	27
3.2. Stabilité.....	31
3.3. Kısa devre arızaları ve topraklamalar.....	32
3.4. Transient olayları ve izolasyon.....	33
4. YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIMLA (HVDC) ENERJİ NAKLİ.....	36
4.1. Bir HVDC istasyonunun ana elemanları.....	36
4.2. HVDC' nin teknik özellikleri.....	39
4.3. HVDC sistemlerden beklenen ekonomik avantajlar....	46
4.4. AC sistemlerin HVDC sistemler ile bağlanması.....	55
4.5. HVDC' nin sistem şekline bağlı avantajları.....	56
5. HVDC'NİN TÜRKİYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ.....	58

ÖZET

Enerji nakil gücü ve mesafesinin çok büyük miktarlara doğru (2000 MW, 1400 KM gibi) artması, mevcut HVAC sistemlerinde önemli problemlerin çıkmasına ve dolayısıyla yeni seçeneklerin gündeme gelmesine sebep olmuştur.

Büyük güçlü ve uzun mesafeli enerji naklinin HVDC ile gerçekleştirilmesi, HVAC 'den kaynaklanan problemlerin getirdiği bir alternatiftir. HVDC uzun mesafede kablo ile enerji nakli ve deniz altı enerji naklinde ise tek çözümdür.

Bu tezde öncelikle Türkiye'nin enerji politikası, mevcut durumu ve planlanan yatırımı ile incelenmiştir. Daha sonra genel özellikleri ile HVAC ele alınmış ve tanıtılmıştır. Yüksek gerilim doğru akım ile enerji naklinin HVDC avantajları ve sakıncaları mümkün olduğu kadar ele alınmış ve bilhassa sistem güvenilirliği, kontrol edilebilirliği ve maliyet açısından incelenmiştir. Son bölümde ise HVDC 'nin ülkemizde uygulanabilirliği ile ilgili olarak teklifler ve yorumlar getirilmiştir.

SUMMARY

Increasing of the transmission power and distance, have caused important problems in existing HVAC systems. Because of this, it has been necessary to be found new alternatives. Installation HVDC lines, which is long distance and high power transmission is result of the problems in HVAC. HVDC is only solution for long distance cable transmission and undermarine transmission.

In this thesis firstly, the energy policy of Turkey, has been researched with present state and planned investment. Later general purposes and properties of HVDC has been introduced and exemplified. The advantages and disadvantages of HVDC transmission has been examined especially for system safety, reliability, control and cost properties. In last chapter, it has been given some advises and comments for operations of HVDC transmission in Turkey.

1. GİRİŞ

Dünyanın bir çok ülkesi gibi Türkiye'de bir yandan artan nüfus öte yandan sanayileşme, enerji türlerine olan ihtiyacı hızla artırmıştır. Elektrik enerjisinin üretildiği birincil enerji kaynakları ile bu enerjiyi kullanan sanayi alanları arasındaki büyük mesafeler ve gelişmelerin sonucu artan güç talebi sebebiyle enerji nakil hatlarının gerilim seviyeleri yükselmiştir. Günümüzde elektrik enerjisinin elde edilmesi nakli ve dağıtılması alternatif akımla yapılmaktadır. Bunun sebebi alternatif akımın iki önemli özelliğidir.

1. Gerilimin ekonomik çalışma bakımından lüzumlu çeşitli değerlere çok kolay ve hemen hemen kayıpsız bir şekilde yükseltip alçaltılması.

2. Devrenin kesilmesi akımın sıfır geçme anında meydana geldiğinden iletim sistemleri üzerinde bağlama (şalt) istasyonlarının kurulabilmesi ve bu suretle interkonnekte bağlantısının mümkün olması. (14)

Elektrik enerjisini santrallerde elde etme ve şebekede dağıtım bakımından, alternatif akımın doğru akımdan üstün olduğu bir gerçektir. Ancak günümüzde çok büyük güçlerin üretilmesi ve bu güçlerin çok uzun mesafelere iletilmesi gereği doğmuştur. Yapılan araştırmalar sonucu 750 MW'ın üzerindeki güçlerin 450 km'lik mesafelere iletilmesinde doğru akımın alternatif akımdan daha ekonomik olduğu anlaşılmıştır. Böylece HVDC enerji nakli gündeme girmiştir.

Hızla gelişen ülkemiz için HVDC ile enerji nakli gereklidir? Acaba ekonomik gereklilik ve teknik yeterlilik var mıdır? Ülkemizin Enerji politikası nedir? Enerji sektöründe ülkemizdeki kurumsal yapı ve organizasyon, enerji yatırımlarımız ve yatırım planlarımız nasıldır?

HVDC ile Enerji naklinin ülkemizde uygulanabilirliğini incelemeye bu son soru ile başlayalım.

2. TÜRKİYE'NİN ENERJİ POLİTİKASI VE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM;TÜKETİM DURUMU

2.1. Enerji Sektörünün Kurumsal Yapısı

Ülkemizin maden, fosil, yakıtlar ve su gibi doğal kaynaklarının sanayi ihtiyaçlarına ve kamu yararına uygun bir şekilde geliştirilmesini, işletilmesini ve kullanılmasını sağlamak görevini Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı üstlenmiştir.

Bakanlık kuruluş amacına uygun olarak her türlü enerji, su, maden ve petrol kaynaklarının modern teknik gereklere ve ekonomik anlayışa uygun bir şekilde araştırılması, geliştirilmesi, işletilip üretilmesi, değerlendirilmesi dağıtımı ve kontrolü ile tabii kaynakların korunması bakımından plan, poğram ve projeleri hazırlamak tabii kaynak ürünlerinin kamu ihtiyacı ve milli güvenlik gereğince üretim, iletim, dağıtım, stoklama ve tüketim hizmetlerinin genel politikasını tespit ve uygulamasını izlemek, elde edilen ürün veya hizmetlerin fazlasının ihracı, yetersiz hallerde ithali ile fiat tarifelerinin genel politikasını tesbit etmek.

Tabii kaynaklardan yararlanmak için yürürlükteki mevzuata uygun olarak arama ve işletme haklarının verilmesini, kontrol denetimi ve gözetimi yapmak.

Bağlı ve ilişkili kuruluşlar arası ve bu kuruluşlarla diğer bakanlık ve kuruluşlar arası ilişkilerde nazım ve koordinatör görevlerini yapmak, çalışmalarını yakından izleyerek ve inceleyerek yürürlükteki mevzuat ve kalkınma planı ve programlarına uygunluğunu sağlamak üzere örgütlenmiştir. (1)

Bu bakanlığa bağlı kuruluşlar: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Elektrik İşleri Etüd İdaresi Müdürlüğü, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Petrol İşleri Genel Müdürlüğü'dür. İlgili kuruluşlar ise; Türkiye Elektrik Kurumu Genel Müdürlüğü, Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu Genel Müdürlüğü, Türkiye Elektromekanik Sanayii Genel Müdürlüğü'dür. Ülkemizin Enerji Politikası bu kurum ve kuruluşlarca yürütülmektedir.

2.2. Türkiye Elektrik Enerjisi Tüketiminin Gelişimi (1950-1980)

Ülkemizde üretilmekte olan tüm enerji kaynakları yurt içinde tüketilmektedir. Üretim seviyeleri yurtiçi talebini karşılamaya kafi gelmeyen ham petrol 1955 yılından, taşkömürü 1973 yılından, elektrik enerjisi ise 1975 yılından beri ithal edilmektedir. Ancak günümüzde elektrik enerjisi üretimimiz yeterli olmaya başlamış ve ithalat durdurulmuştur. Bu kaynaklara ilaveten doğal gaz ithalatına da başlanmıştır.

Tüketimimiz içerisinde üretimde olduğu gibi önemi artan kaynağımız 1950 yılında toplam birincil enerji tüketimi içerisinde ihmal edilebilecek düzeyde bir pay alan hidrolik enerji, 1980 li yıllarda ağırlığını hissettirmeye başlamıştır.

Son otuz beş yıl içerisinde yıllık tüketim artışları yönünden hidrolik enerji % 19 ile en yüksek olduğu dönem ise 1970-1975 dönemidir. Otuzbeş yıllık ortalama artış % 5,2 olarak gerçekleşmiştir.

Enerji tüketimimizin tüketici sektörlerle dağılımı, çizelge (2.1) ve çizelge (2.2) de incelenmektedir. Enerji tüketimi, konut sektöründe yoğunlaşmaktadır. Konut sektörünü, sanayi ve ulaştırma sektörleri izlemektedir. Son onbeş yıllık gelişim incelendiğinde, konut ve ulaştırma sektörlerinin paylarında azalma olurken, sanayi ve petrokimyanın nafta tüketiminden etkilenen enerji dışı sektörlerinde artmalar kaydedildiği izlenmektedir. Enerjinin tüketici sektörlerden produktif sektörlerle kayması olumlu bir gelişme olarak mütalaa edilebilir. Birincil enerjinin ikincil enerjiye çevrimi sırasında oluşan kayıpları içeren çevrim sektörü payında, elektriğin toplam tüketim içerisindeki artışına paralel bir artış izlenmektedir. (2)

Nihai enerji tüketiminin kaynaklara dağılımı, çizelge (2.3) den de açıkça görüldüğü gibi, payda düşme olmasına rağmen nihai enerji tüketimine en yüksek katkı petrol ile sağlanmaktadır. Bunu kömür ve elektrik izlemektedir. Elektrik enerjisinin nihai enerji tüketimi içerisindeki payı hızla artmaktadır. Kömürdeki düşmeler

son yıllardaki linyit üretim artışları ile yükselmeye geçmiştir. Bunlara bağlı olarak ticari enerji tüketimi, nihai enerji tüketimi içerisinde giderek daha büyük pay almaktadır.

Elektrik enerjisi tüketiminin 1950 yılından itibaren gelişimi çizelge (2.4) de, tüketimin sektörlere dağılımı çizelge (2.5) ve (2.6) da verilmiştir.

Elektrik enerjisi brüt arzı, (üretim+ithalat) 1950-1985 döneminde % 11,6 oranında artmıştır. 1970-1985 dönemindeki artış oranı % 10,1 olarak gerçekleşmiştir. 1975 yılından itibaren, önce Bulgaristandan daha sonra ise Rusyadan elektrik ithal edilmeye başlanmıştır. Sistemdeki hat kayıplarına gelince, dünya standartlarına göre oldukça yüksek hat kayıpları oluşmaktadır. Sektörel enerji talebi çizelge (2.7) de verilmiştir.

Çizelge 2.1 SEKTÖREL GENEL ENERJİ TÜKETİMİ (Bin TEP)

	1970	1975	1980	1981	1982	1983	1984	1985
Konut	8408	11055	13155	13017	13893	13808	14436	15117
Sanayi	4444	6312	7788	8017	8637	8751	9189	9445
Ulaştırma	3141	5164	5281	5423	5769	5956	6123	6257
Tarım	514	701	963	993	1241	1322	1447	1501
Enerji Dışı	410	757	960	1072	1121	1220	1237	1520
Nihai Enerji Tüketimi	16917	23989	28146	28522	30662	31057	32432	33840
Çevrim ve İç Tüketimler	2511	4359	5801	5956	6432	6703	7100	7637
Birincil Enerji Tüketimi	19427	28348	33946	34478	37094	37760	39532	41477

Kaynak: ETKB, APK

Cizelge 2.2 SEKTÖREL ENERJİ TÜKETİMİ
PAYLARI (%)

	1970	1975	1980	1985
Konut	50	46	46	45
Sanayi	26	27	28	28
Ulaştırma	19	21	19	18
Tarım	3	3	3	4
Enerji Dış.	2	3	4	5
Nihai Enerji				
Talebi	100	100	100	100
Çevrim	13	15	17	18
Birincil Enerji	100	100	100	100

Cizelge 2.3 NİHALİ ENERJİ TÜKETİMİNİN KAYNAKLARA GÖRE
DAĞILIMI (%)

	1970	1975	1980	1985
Kömür	20.6	18.5	18.5	23.2
Petrol	40.2	47.9	46.1	43.9
Tabii Gaz	—	—	0.1	0.1
Havagazı	0.3	0.2	0.2	0.1
Elektrik	3.7	4.8	6.3	7.7
Ticari Enerji	64.8	71.4	71.3	75.0
Ticari Olmayan Enerji	35.2	28.6	28.7	25.0
Nihai Enerji Tüketimi	100.0	100.0	100.0	100.0

Çizelge 2.4 ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN SEKTÖREL DAĞILIMI
(1970-1985)

	Konut ve Hizmetler				Sanayi				Toplam	
	Ev	Resmi Daire	Sokak Aydın.	Hizmetler	Toplam	İmalat	Madencilik	Toplam	Ulaştırma	Tarım
										Net Tüketim
1970	907.2	301.8	141.4	817.6	2168.0	4522.2	504.0	5023.8	80.0	36.0
1971	1047.4	342.4	163.3	949.9	2503.0	5096.9	565.4	5662.3	83.0	41.0
1972	1224.3	393.5	190.9	1117.3	2926.0	5820.4	645.6	6466.0	88.0	47.0
1973	1391.1	490.6	216.9	1225.9	3324.5	6356.2	705.1	7061.3	90.3	54.3
1974	1495.8	524.9	222.4	1402.5	3645.6	6938.9	620.2	7559.1	96.6	57.4
1975	1892.5	565.9	250.6	1874.7	4583.7	8071.6	660.6	8732.2	101.2	74.6
1976	2316.4	565.6	295.8	2193.8	5371.6	9802.7	687.2	10489.9	112.5	104.9
1977	2673.6	554.6	254.8	2278.5	5761.5	11241.1	720.5	11961.6	116.8	129.9
1978	2951.1	600.6	276.6	2469.1	6297.4	11664.7	720.1	12384.8	121.1	130.5
1979	3201.3	622.0	290.5	2764.5	6878.3	11762.0	750.7	12512.7	123.1	149.0
1980	3496.0	648.0	289.6	2879.9	7313.5	12253.4	782.0	13035.4	128.3	155.2
1981	3660.4	699.9	301.1	3110.7	7772.1	13235.0	844.7	14079.7	138.5	167.7
1982	3922.3	756.2	322.0	3360.8	8361.3	14299.3	912.6	15211.9	149.7	181.1
1983	4056.9	782.2	333.0	3476.0	8648.1	14789.8	944.0	15733.8	154.9	187.4
1984	4561.8	843.4	366.6	3944.8	9716.6	16638.1	1061.4	17699.5	174.2	210.8
1985 (G)	6849.7	920.5	393.4	2483.4	10647.0	18201.9	1161.1	19363.0	189.1	236.6

Kaynak: TEK Genel Md.

Çizelge 2.5 ELEKTRİK ENERJİSİ BİLANÇOSU (Gwh)

	<u>Brüt Üretim</u>	<u>İthalat</u>	<u>Brüt Arz</u>	<u>İç İhtiyaç</u>	<u>Net Arz</u>	<u>Şebeke Kaybı</u>	<u>Net Tüketim</u>
1950	789.6	—	789.6	61.4	728.2	49.4	678.8
1955	1579.8	—	1579.8	109.8	1470.0	122.7	1347.3
1960	2815.1	—	2815.1	140.4	2674.7	278.9	2395.8
1965	4952.7	—	4952.7	218.2	4734.5	497.7	4236.8
1970	8623.0	—	8623.0	448.4	8174.6	866.3	7307.8
1971	9781.1	—	9781.1	508.6	9272.5	983.2	8289.3
1972	11241.9	—	11241.9	584.6	10657.3	1130.0	9527.3
1973	12425.2	—	12425.2	611.7	11813.5	1283.4	10530.1
1974	13477.0	—	13477.0	631.4	12845.6	1486.9	11358.7
1975	15622.8	96.2	15719.0	592.1	15126.9	1635.2	13491.7
1976	18282.8	332.2	18615.0	823.7	17791.3	1712.4	16078.9
1977	20564.6	492.2	21056.8	1010.0	20046.8	2078.0	17968.8
1978	21726.1	621.0	22347.1	1225.9	21121.2	2187.4	18933.8
1979	22521.9	1044.3	23566.2	1340.3	22225.9	2562.8	19663.1
1980	23275.4	1341.2	24616.6	1248.3	23368.3	2736.2	20632.1
1981	24672.8	1616.1	26288.9	1317.0	24971.9	2813.9	22158.0
1982	26551.5	1773.4	28324.9	1354.5	26970.4	3066.4	23904.0
1983	27346.8	2220.8	29567.6	1680.2	27887.4	3163.2	24724.2
1984	30613.5	2653.0	33266.5	1890.7	31375.8	3574.7	27801.1
1985	34213.0	2137.3	36350.3	1998.9	34351.4	3915.7	30435.7

Kaynak: TEK Genel Müdürlüğü

Çizelge 2.6 ELEKTRİK ENERJİSİ TÜKETİMİNİN SEKTÖREL DAĞILIMI (%)

Yıl	Konut ve Hizmetler	Sanayi*	Ulaştırma	Tarım	Toplam
1970	29.7	68.7	1.1	0.5	100.0
1971	30.2	68.3	1.0	0.5	100.0
1972	30.7	67.9	0.9	0.5	100.0
1973	31.6	67.0	0.9	0.5	100.0
1974	32.1	66.5	0.9	0.5	100.0
1975	34.0	64.6	0.8	0.6	100.0
1976	33.4	65.2	0.7	0.7	100.0
1977	32.0	66.6	0.7	0.7	100.0
1978	33.3	65.4	0.6	0.7	100.0
1979	35.0	63.6	0.6	0.8	100.0
1980	35.4	63.2	0.6	0.8	100.0
1981	35.1	63.5	0.6	0.8	100.0
1982	35.0	63.6	0.6	0.8	100.0
1983	35.0	63.6	0.6	0.8	100.0
1984	35.0	63.6	0.6	0.8	100.0
1985	35.0	63.6	0.6	0.8	100.0

(*) İmalat Sanayi + Madencilik Sektörlerini kapsamaktadır.

Çizelge 2.7 ELEKTRİK TALEBİ (Gwh)

	Brüt Talep	Net Talep	Sanayi	Ev/Hiz.	Ulaştırma	Tarım
1986	41000	34472	21766	12211	228	267
1987	46000	38754	24281	13895	276	302
1988	51620	43611	27114	15826	334	337
1989	57950	49125	30297	18040	404	384
1990	65000	55250	33808	20527	485	430
1991	72150	61327	37598	22694	559	476
1992	80100	68085	41828	25093	641	523
1993	88900	75565	46523	27737	735	570
1994	98675	83873	51743	30660	842	628
1995	109530	93100	57545	33890	963	702
1996	119060	101810	63096	36897	1073	744
1997	129420	111300	69152	40153	1193	802
1998	140675	121670	75788	43695	1327	860
1999	152910	133020	83063	47552	1475	930
2000	166220	145425	91036	51739	1648	1002
2005	229845	203430	133854	65644	2642	1290
2010	317900	286140	196834	93379	4254	1673

Kaynak : ETKB (APK) ve TEK

Ülkemiz enerji kaynakları açısından zengin ülkeler grubuna girmemektedir. Hemen hemen tüm konvansiyonel enerji kaynakları ile yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarımız olmasına karşın, bu kaynaklar nitelik ve miktar olarak yeterli bulunmamaktadır.

Kaynak Rezervlerimiz toplu olarak çizelge (2.8) de verilmektedir.

Kömür kaynaklarımızdan linyit rezervlerimiz, nisbi olarak yüksek olmasına karşın, rezervin yarısına yakın kısmı ortalama 1100 kcal/kg ısı değerli Elbistan havzasına aittir. Buna karşılık taşkömürü rezervlerimiz, nisbeten kısıtlıdır. Kömür rezerv grubu içerisinde mütalaa ettiğimiz, ısı değeri düşük, çeşitli işletme zorlukları bulunan bitümlü şeyl rezervlerimiz toplamı 1,5 milyar ton mertebesinde bulunmaktadır. (1)

Yenilenebilir kaynaklar grubunda yer alan hidrolik enerji, jeotermal ve güneş enerjisi potansiyeli açısından varlıklı ülkeler arasında yer almaktayız.

Çizelge 2.8 TÜRKİYE ENERJİ REZERVLERİ (MAYIS 1986 İTİBARIYLA)

	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Taşkömürü (Bin ton)	174.879	432.514	769.408	1.376.771
Linyit (Bin ton)				
Elbistan	2.526.808	1.232.000	—	3.758.808
Diğer	3.377.895	585.261	121.688	4.084.844
Toplam	5.904.703	1.817.261	121.688	7.843.652
Asfaltit (Bin ton)	38.317	28.655	8.300	75.272
Bitümlü Şeyl (Bin ton)	807.684	717.600	—	1.525.284
Toplam Kömür (Bin Ton Petrol Eşdeğeri)	1.495.238	659.013	509.397	2.663.648
Petrol (Bin Ton)	20.296	—	—	20.296
Doğal Gaz (Milyon m ³)	15.013	—	16.169	31.182
Uranyum (Ton)	8.830*	—	—	8.830
Toryum (Ton)	380.000*	—	—	380.000
Hidrolik (twh/yıl)	118	—	—	118
Jeotermal (MW/yıl)				
Elektrik	—	—	—	4.500
Isı	—	—	—	31.100
Güneş (Bin TEP/yıl)				
Elektrik	—	—	—	8.8
Isı	—	—	—	26.4

* / Görünür + Muhtemel

Nükleer yakıt hammaddelerinden olan uranyum rezervleri kıstıtlı olmasına karşılık, henüz nükleer teknolojisi ticari hale getirilmemiş olan toryum kaynaklarımız bir hayli zengindir.

Petrol ve doğalgaz rezervlerimiz ise, belirlenmiş görünür-hale getirilmiş bölümü yine oldukça düşüktür.

Ülkemiz elektrik enerjisi sektörünün kurulu gücünü oluşturan üretim birimleri, genel olarak ikiye ayrılabilir. Bu ayrımda sözü edilen kaynaklar termik ve hidrolik enerjiden oluşmaktadır. (2)

Ülkemiz hidrolik enerji açısından, 26 akarsu havzasından 21 inde kurulu güce ilişkin ekonomik potansiyel bulunduğundan zengin ülkeler arasında sayılabilir. Özellikle Doğu ve Güneydoğu Anadolu ile Doğu Karadeniz bölgeleri hidrolik enerji yönünden zengin yörelerimiz arasındadır.

Ortalama akış koşullarından Türkiye su kuvvetinin "Brüt Potansiyeli" 430 milyar kwh/yıl "Teknik Potansiyel"i 215 milyar kwh/yıl olarak belirlenmiştir. Ancak ekonomiklik açısından yapılan hesaplarda yararlanılabilir hidrolik potansiyelin 118 milyar kwh/yıl

civarında olduğu saptanmıştır. Bu potansiyel, Dünya HES potansiyelinin yaklaşık % 1:2 sine tekabül etmektedir.

Çizelge (2.9) de ülkemizin hidroelektrik potansiyeli, çizelge (2.10) de ise hidrolik potansiyelin havzalara dağılımı görülmektedir. (2)

Çizelge 2.9 TÜRKİYE HİDROELEKTRİK POTANSİYELİ

	Güç (MW)	Ort. Enerji (Gwh)	Güvenilir Enerji (Gwh)
Brüt Potansiyel	—	430.000	—
Teknik Potansiyel	—	215.000	—
Ekonomik Potansiyel			
— Büyük HES Proj.	31 290	112 927	75 152
— Küçük HES Proj.	1 410	5 073	3 376
TOPLAM HES	32 700	118 000	78 528

Kaynak: DSİ Gn. Md., EİE Gn. Md.

Çizelge 2.10 HİDROLİK POTANSİYELİN HAVZALARA DAĞILIMI

Havza Adı	Kurulu Güç (MW)	Ortalama Enerji (Gwh)	Oran (%)	Güvenilir Enerji (Gwh)
Susurluk	577	1 427	1,26	1 063
Kuzey Ege	20	52	0,05	32
Gediz	235	422	0,37	213
Büyük Menderes	263	984	0,87	352
Batı Akdeniz	585	2 115	1,87	1 085
Antalya	1 207	4 319	3,96	1 958
Sakarya	1 061	2 211	1,96	1 548
Batı Karadeniz	523	2 090	1,85	1 295
Yeşilırmak	1 214	4 993	4,42	3 923
Kızılırmak	2 328	7 748	6,86	4 917
Konya-Kapalı	30	76	0,07	45
Doğu Akdeniz	849	2 838	2,51	1 465
Seyhan	1 937	7 025	6,22	3 247
Asi	183	415	0,37	15
Ceyhan	1 034	4 052	3,59	2 563
Fırat	8 601	34 870	30,88	28 066
Doğu Karadeniz	3 514	11 772	10,42	6 201
Çoruh	2 877	10 106	8,95	7 237
Aras	764	2 608	2,31	1 788
Van Gölü Kapalı	60	237	0,21	156
Dicle	3 367	12 415	11,00	8 120
Büyük HES Toplamı	31 228	112 775	100,00	75 289
Diğer Küçük HES	1 472	5 225	—	3 239
Toplam HES	32 700	118 000	—	78 528

Kaynak: DSİ Gn. Md.

Hidrolik enerji üretim güç ve hedefleri Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nün orta ve uzun dönemli programlarında yer alan santraller dikkate alınarak hesaplanmıştır.

1986-2010 dönemi hidrolik enerji güç ve üretim değerleri çizelge (2.11) de verilmektedir.

Çizelge 2.11 HİDROLİK ENERJİ GÜÇ VE ÜRETİM HEDEFLERİ

	Hidrolik Güç (MW)	Hidrolik Üretim (Gwh)
1986	3886	12822
1987	4498	17778
1988	5920	23413
1989	7005	25982
1990	8099	30783
1991	9608	37802
1992	11534	43774
1993	13515	49349
1994	14910	54351
1995	15840	58646
1996	16551	61084
1997	17550	64567
1998	20177	71811
1999	23122	79839
2000	23708	81446
2005	23948	82493
2010	26684	96154

Kaynak : TEK Gn. Md., ETKB (APK)

Ülkemizde mevcut taşkömürü, linyit, asfaltit ve bitümlü şeyl toplam rezervi çizelge (2.8) de de görüldüğü gibidir. 1,5 milyar ton petrol eşdeğeri toplam 2,7 milyar TEP dur. Dünya kömür rezervi içerisinde %3 lük pay almaktadır. Bu değer küçümsenecek bir değer değildir. (6)

Taşkömürü:

Ülkemizde Karadeniz sahilinde bulunan Zonguldak Havalisi taşkömürü havzasından çıkarılmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde kullanılması ekonomik olmayıp, taşkömürüne dayalı kurulu güç sürekli azalmaktadır. 1950 yılında toplam elektirik enerjisi üretimi içerisinde % 68 pay alan taşkömürü e dayalı elektrik enerjisi üretimi % 2 seviyesine düşmüştür.

Linyit:

Ülkemizde linyit kömürüne Trakya ve Anadolu'nun hemen her yerinde rastlanmaktadır. Türkiye'nin neojen sahası toplam yüz ölçümü 109 km² dir. Halen bu miktarın yaklaşık dörtte birinin etüdü tamamlanmıştır.

Önemli linyit yatakları itibariyle belirlenmiş olan linyit rezervleri çizelge (2.12) de verilmiştir.

Linyit üretiminde yatağın durumuna göre hem yer altı, hem de yer üstü işletmeciliği uygulanmaktadır. Üretimde özellikle sonbir kaç yılda büyük artışlar kaydedilmiştir.

Linyit üretim hedefleri, kamu kesimi ve Özel kesim için ayrı ayrı belirlenmiştir. Kamu kesiminde TKİ Genel Müdürlüğünün sanayi ve teshin için öngördüğü üretimler kurumun öngördüğü şekilde alınmış, TKİ Genel Müdürlüğünce santraller için öngörülen kömür üretimi TEK Genel Müdürlüğü'nün santral programlarından farklı olduğundan ve linyit kömüründe üretimin talebe eşit olması gereğinden hareketle, santraller için linyit üretimi TEK programına göre belirlenmiştir.

Linyit kömürü üretim hedefleri çizelge (2.13) da verilmektedir. Toplam Türkiye üretiminin 1986 yılında 44 milyon tondan, 1990 yılında 67 milyon tona, 2000 yılında ise 80 milyon tona yükselmesi hedeflenmiştir.

Asfaltit:

Asfaltit kömürleri ülkemizde daha çok Güneydoğu Anadolu Bölgesinde havzalanmıştır. Linyit Kömürlerimize nazaran kalori değerleri daha yüksek olan bu kömürler (2600-5536 kcal/kg) Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizin ısınma ihtiyaçlarında kullanılmaktadır.

Bitümlü Şeyl:

Ülkemizde bitümlü şeyl daha çok Orta Anadolu ve Trakya bölgelerimizde yörelenmiştir.

Çizelge 2.12 LİNYİT REZERVLERİ (Bin ton)

Saha Adı	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Topl
Ankara-Beypazarı (A,Alts,B)	328.000	35.550	40.500	404.050
- Çanakkale-Çan	88.378	—	—	88.378
- Çankırı-Orta	123.165	—	—	123.165
- Konya(B.K.Dilen Aydancık ve S.Akçalar, Eğirler,Ilgın,Kurugöl)	234.791	97.431	—	332.222
- Kütahya,Seyitömer	205.128	—	—	205.128
- Kütahya,Tunçbilek	280.669	46.882	—	327.551
- Manisa,Soma (Eynez,Evcı,Merk., Darkale,Işıklar)	300.161	126.000	—	426.161
- Manisa,Deniz	154.474	—	—	154.474
- K.Maraş,Elbistan	2.526.808	1.232.000	—	3.758.808
- Muğla,İlisamlar	104.376	—	—	104.376
- Muğla,Eskihisar	119.616	—	—	119.616
- Sivas-Kalburçayırı, Etyemez,Kangal	199.907	—	—	199.907
Diğer	1.238.730	279.398	81.188	1.599.316
TOPLAM	5.901.703	1.817.261	121.688	7.843.652

Kaynak: MTA Gn. Md.

Çizelge 2.13 LİNYİT KÖMÜRÜ ÜRETİM HEDEFLERİ (Bin ton)

	Kamu Sektörü		Özel Sektör	Toplam
	Toplam	TKİ(Prg)		
1986	38951	37663	5000	43951
1987	47185	51071	5000	52185
1988	54741	56395	5500	60241
1989	58709	59656	5500	64209
1990	61062	60447	6000	67062
1991	62070	60547	6000	68070
1992	62123	60597	6500	68623
1993	61221	59997	7000	68221
1994	61322	59797	7000	68322
1995	61475	59947	7500	68975
1996	61023	59497	7500	68523
1997	61525	59497	7500	69025
1998	60422	58897	8000	68422
1999	62094	58847	8000	70094
2000	72319	58847	8000	80319
2005	142967	—	9500	152467
2010	156396	—	11000	167396

Kaynak : ETKB (APK), TKİ, TEK

Kalori değeri 1000-1200 kcal/kg civarında olan bu kömürlerin çıkarma ve işletme sorunları bulunmaktadır. Beypazarı bitümlü şeylleri üzerinde kazma, yakma ve kullanma etüdüleri sürdürülmektedir. Sahalar itibarıyla bitümlü şeyl rezervleri çizelge (2.14) de verilmektedir.

Çizelge 2.14 BİTÜMLÜ ŞEYL REZERVİ (Bin ton)

Saha Adı	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam
Ankara-Beyşehir	327 684	—	—	327 684
Kütahya-Seyitömer	480 000	—	—	480 000
Bolu-Göynük	—	400 000	—	400 000
Niğde-Ulukışla	—	130 000	—	130 000
Bahçeşir-Burhaniye	—	15 600	—	15 600
Bolu-Mengen	—	50 000	—	50 000
Iznit-Bahçeşir	—	42 000	—	42 000
Bolu-Himmetoğlu	—	80 000	—	80 000
TOPLAM	807 684	717 600	—	1 525 284

Kaynak : MTA Gn. Md.

Halen teknolojik yönden çeşitli sıkıntıları bulunan bitümlü şeyl üretimi konusundaki sorunların çözümünden sonra değerlendirme programı hazırlanacaktır.

Petrol:

Yukarıda belirtildiği gibi yetersiz olan petrol rezervimiz yüzünden özellikle diğer sektörlerde zorunlu kullanılması gereken petrol ithal yoluyla sağlanmaktadır. Önceleri kolay ve düşük tesis masrafları gerektirdiğinden petrole dayalı elektrik santralleri kurulmuş ancak 1973 petrol şokundan sonra elektrik enerjisi üretimi için petrol kullanılmasından büyük ölçüde kaçınılmış ve gün geçtikçe bu alandaki tüketim azaltılmıştır. Söz konusu santraller ancak puant yük santralleri olarak kullanılmaktadır. (3)

Doğal Gaz:

Ülkemizde keşfedilen yedi doğal gaz sahasından Hami tabat, Kumrular, Umurca ve Kandamış Trakya bölgesinde diğerleri Güneydoğu Anadolu Bölgesinde bulunmaktadır. 1985 yılında keşfedilen Kandamış sahasının durumu yapılan testlerden sonra belirlenecektir.

Nükleer Yakıt:

Ülkemiz 8850 ton olarak belirlenmiş uranyum rezervi, Dünya rezervi içerisinde % 0.1 pay almaktadır. Toryum rezervlerimizin Dünyü rezervleri içerisindeki payı ise % 54 tür.

Uranyum:

Türkiye'de uranyum aramaları 1955-1956 yıllarında başlamış ve işletme olanakları, ekonomisinin teknolojik göz önünde bulundurulmadan belirlenmiş olan rezerv miktarları çizelge (2.15) de verilmiştir.

Çizelge 2.15 URANYUM REZERVİ (Ton)

Saha Adı	Görünür + Muhtemel	Tenör (%)
Salihli-Köprübaşı	3040	0,045
Uşak-Güre-Fakılı	510	0,045
Aydın-Koçarlı-Demirtepe	1730	0,09
Aydın-Koçarlı-Küçükçavdar	500	0,04
Yozgat-Songun-Temrezli	2500	0,10
Ayvack-Küçükkuyu	250	0,80
Giresun-Şebinkarahisar	300	0,04
TOPLAM	8630	

Kaynak: MTA Gn. Md.

Toryum:

Ülkemizde Eskişehir-Sivrihisar Kızılcaören'de yapılan ara-
malar neticesinde bu yörelerimizde zengin toryum yatakları belir-
lenmiştir. Bu havzadaki toryum rezervi 380.000 ton (görünür+Muhtemel) olup, Dünya rezervlerinin % 54 ünü oluşturmaktadır. Ancak toryuma dayalı nükleer santraller henüz ticari anlamda olmayıp, deneme safhasındadır. Bu santrallerin ekonomik olarak üretime geçmeleri ile ülkemizde bol miktarda bulunan bu kaynak önem kazanabilecektir. Nükleer enerji güç ve üretim hedefleri çizelge (2.16) da yer almaktadır. (4)

Çizelge 2.16 NÜKLEER ENERJİ GÜÇ VE ÜRETİM HEDEFLERİ

Yıl	Nükleer Güç (MW)	Nükleer Üretim (Gwh)
1995	650	1950
1996	650	2925
1997	650	3900
1998	650	3900
1999	650	3900
2000	650	3900
2005	1400	8400
2010	5750	3-1500

Kaynak : TEK Gn.Md., ETKB (APK)

Jeotermal Enerji:

1962 yılından bu yana MTA Genel Müdürlüğüne yapılan çalışmalar sonucunda, Türkiye'nin jeotermal enerji yönünden çok zengin olduğu belirlenmiştir. Bununla ilgili olarak pilot bölge olarak seçilen Denizli-Kızıldere sahasındaki etüdler olumlu netice vermiş ve bu sahada 20 MW gücünde bir elektrik santrali kurulmuştur.

Kızıldere sahasının yanısıra Aydın-Germencik, Çanakkale-Tuzla, İzmir-Seferihisar, Nemrut-Zilan-Süphan-Tendürek, Nevşehir-Acıgöl havzaları elektrik üretimi yönünden elverişli sahalar olarak belirlenmiştir. Havza bazında belirlenememiş olmakla birlikte Türkiye'nin elektrik üretimine elverişli jeotermal potansiyeli 4500 MW olarak tesbit edilmiştir. (5)

Elektrik Enerjisi Üretim Hedef ve Programları:

Türkiye Elektrik Kurumu Genel Müdürlüğü'nün orta ve uzun vadeli elektrik enerjisi programında yer alan santraller gözönüne alınarak düzenlenen elektrik enerjisi üretim hedefleri çizelge (2.17) de verilmektedir.

Türkiye kurulu gücü yatırım programlarında yer alan ve inşaatları halen sürdürülmekte olan projelerin devreye girmeleri ile 1990 yılında 16.395 MW'e yükselmektedir.

1985 seviyesine göre 7276 MW'lık ek güç devreye girmektedir. 1990 yılı kurulu güç termik-hidrolik dengesi % 50 dir. Orta ve uzun dönemli planlarda yer alan tesislerin programlandıkları tarihlerde devreye girmeleri ile kurulu gücümüz 2000 yılında 38.853 MW'a 2010 yılında ise 64.449 MW'a yükselmektedir. Üretimin 1985-1990 yılları arasında % 17 oranında artarak 1985 yılında 34.213 Gwh'dan 1990 yılında 76.259 Gwh'a yükselmesi programlanmıştır. Üretimin beş yıl içinde ikiye katlanması öngörülmüştür. Halen inşaatları sürdürülen ve yatırım programlarında yer alan 1990 yılına kadar devreye girecek termik ve hidrolik santrallerimizin listesi çizelge (7.12)de verilmiştir. 1990-2000 döneminde üretim artışı ise yıllık ortalama % 8,2 dir. 1990 yılında üretimin % 40'ı

hidrolik kaynaklarla karşılanırken bu oran 2000 yılında % 49'a yükselmektedir. 2010 yılında (hidrolik güç oranı % 60) talep tahminine göre halen termik ve hidrolik programlarda yer almayan 16-000 Gwh'lik (2760 MW) tesise ihtiyaç duyulmuştur. 2010 yılında programlarda yer alan hidrolik santral üretimi 96.153 Gwh'dir. Gerekli tesis, kaynağı belirlenene kadar geçici olarak hidrolik üretime ilave edilmiştir. Fark nükleer, taşkömürü santrali veya hidrolik üretim olabilir. (4)

Çizelge 2.17 TÜRKİYE ELEKTRİK ENERJİSİ KURULU GÜÇ VE ÜRETİM HEDEFLERİ

	Kurulu Güç (MW)			Üretim Kapasitesi (Gwh)		
	Termik	Hidrolik	Toplam	Termik	Hidrolik	Toplam
1986	5673	3886	9559	25778	12822	38600
1987	6700	4498	11197	35756	17778	53533
1988	7482	5920	13402	40591	23413	64004
1989	7961	7005	14966	43467	25982	69449
1990	8296	8099	16395	45477	30783	76259
1991	8488	9608	18096	46627	37802	84429
1992	8593	11534	20126	47254	43774	91028
1993	8645	13515	22160	47568	49349	96917
1994	8708	14910	23618	47947	54351	102298
1995	9905	15840	25745	55128	58646	113774
1996	11448	16551	27999	64386	61084	125470
1997	12160	17550	29710	68661	64567	133227
1998	12700	20177	32878	71901	71811	143712
1999	13524	23122	36646	76842	79839	156680
2000	15145	23708	38853	86571	81446	168017
2005	28095	23948	52043	164269	82493	246761
2010	35095	29354*	64449	206271	112153*	318424

Kaynak : TEK Gn. Md., ETKBK(APK)

7.3 Elektrik Enerjisi Açısından Dünyadaki Yerimiz

Elektrik Enerjisi açısından dünya ülkeleri içerisinde Türkiye'nin yeri çizelge (7.13) de incelenmektedir.

Fert başına elektrik enerjisi tüketim seviyesine göre yapılan sıralamada Türkiye'nin oldukça geri sıralarda olduğu, dünya kurulu gücü ve üretiminin ancak binde üçünü sağladığı gözlenmektedir. Dünya kişi başına ortalama elektrik tüketiminin üçte birinin ülkemizde tüketildiği, İspanya, Yunanistan, Libya, Portekiz

Çin, Pakistan, Hindistan gibi ülkelerin ise ülkemizden daha düşük seviyede elektrik tükettiği görülmektedir. Tüm dünyü ülkeleri içe-risinde yapılan sıralamada, Türkiye fert başına elektrik tüketimi açısından 99. sırada yer almaktadır.

Çizelge 2.18 İNŞAATI SÜRDRÜLEN SANTRALLAR
(1990 YILINA KADAR DEVREYE ALINACAKLAR)

Santral Adı	Güç (MW)	Ort. Üretim (Gwh)	Devreye Giriş Tarihi
Termik Santrallar			
Hamitabat D.G. 2,3,4	3 x 100	3 x 600	4.6.8/1986
Soma B4	165	990	4/1986
Çayırhan 1,2	2 x 150	2 x 900	12/1986, 4/1987
Yeniköy 1,2	2 x 210	2 x 1260	11/1986, 5/1987
A.Elbiistan A3, A4	2 x 340	2 x 1950	2/1986, 11/1986
Kangal 1,2	2 x 150	2 x 900	9, 12/1987
Hamitabat K.Ç.	2 x 100	2 x 600	5,5/1987
Y.Çatalağzı B	150	900	12/1987
Seyitömer 4	150	900	4/1988
Orhaneli	210	1260	12/1988
Kemerköy 1,2	2 x 210	2 x 1260	8,12,1989
Nükleer 1	650	3900	1/1995
Hidrolik Santrallar			
Tercan	15	30	6/1986
Kızıldere	4	15	4/1986
Köklüce 1,2	2 x 45	2 x 294	10,12/1987
Karakaya 1,6	6 x 300	7354	3,5,10/1987
Kapulukaya 1,3	3 x 18	190	3,8/1988, 1/1989
Kılıçkaya 1,2	2 x 60	2 x 166	12/1986, 3,6/1987
Karacaören 1,2	2 x 16	2 x 71	9,12/1988
Menzelet 1,4	4 x 30	4 x 83	3,6,9,12/1988
Adıgüzel 1,2	2 x 31	2 x 140	9,11/1987
Koçköprü	9	24	3/1987
Zernek	4	13	9/1987
Altınkaya 1,1	4 x 175	1632	9,12/1987, 3,6/1988
Çatalan 1,3	3 x 51	3 x 170	8,10,12/1989
Cezende 1,3	3 x 50	3 x 176	6,9,12/1988
Manavgat	40	220	9/1988
Mercan	18	48	1/1989
Tokma	14	67	1/1989
Küplü	17	31	1/1989
Doğançay	17	148	1/1989
Yenice	33	122	12/1989
Çayköy	14	35	1/1990
Derbent	56	257	1/1990
Lamas 4	17	103	1/1990
Atatürk 1,8	8 x 300	8900	4,8/1990
			4,5,9/1991
			1,5,9/1992

Çizelge 2.19 ÜLKELERİN ELEKTRİK ÜRETİM VE TÜKETİMLERİ (1983Yılı)

	Kurulu Güç (Gw)	Üretim (Twh)	Tüketim (Twh)	Fert başına Tüketimi (Kwh/kışı)
Dünya	2251	8797	8790	1876
Kanada	90	408	372	14896
ABD	675	2368	2403	10280
F.Almanya	87	374	384	6265
SSCB	294	1408	1385	5072
Japonya	160	602	602	5067
İngiltere	66	276	276	4949
Fransa	78	283	270	4971
Bulgaristan	13	43	45	4910
İtalya	51	183	194	3428
Romanya	18	70	72	3185
Yugoslavya	15	72	73	3177
Suudi Arabistan	9	32	32	3071
İspanya	32	115	113	2935
Yunanistan	6	22	24	2454
Libya	1	7	7	2319
Portekiz	6	18	19	1960
İrak	2	14	14	935
İran	12	80	30	703
Türkiye	7	27	30	625
Suriye	2	6	6	615
Mısır	6	23	23	528
Çin	84	351	352	334
Pakistan	5	20	20	204
Hindistan	42	148	148	202
Afganistan	0,3	1	1	72
Etiyopya	0,3	0,8	0,8	22

Kaynak: Birleşmiş Milletler, World Energy Statistics, 1983.

Elektrik Enerjisi Talebinin Gelişimi:

Enerji taleplerinin önümüzde yirmibeş yıllık dönemdeki gelişimi, MAED Enerji talep modeli ile senaryolar halinde belirlenmiştir.

Model, esas olarak ülkenin sosyol, ekonomik ve teknolojik sistemini detaylı inceleyerek, bunların orta ve uzun dönemli enerji talebi üzerindeki etkilerini incelemektedir.

Çalışma iki senaryo esas alınmıştır.

Orta senaryoda beş yıllık kalkınma planları ile yıllık dönemlerdeki hedefleri esas alınmış, ekonomik yapıdaki değişimin planlarda öngörülen hedefler doğrultusunda olacağı, geçmişteki gelişimin ve beş yıllık dönemlerdeki hedeflerin aynı öncelik ve yapıda 2010 yılına kadar devam edeceği düşünülmüştür.

Yüksek Senaryo da ise ekonomik ve sosyol kalkınma hedefleri Beşinci Beş yıllık Planın üzerinde belirlenmiş daha hızlı bir kalkınma, hızlı yapısal değişim, enerjinin daha etkin ve verimli kullanımı, kojenerasyon, toplu ısıtma sistemleri, güneş enerjisi, gibi yeni enerji sistemlerinin daha hızlı bir şekilde kullanıma girmeleri gibi kabuller esas alınmıştır.

Halen yüzde 55 olan kır nüfusun toplam nüfus içindeki payının 2000 yılında % 49 a düşeceği

Toplam nüfus içinde aktif nüfus oranının 1985 te yüzde 57 den 2000 de % 60 a çıkacağı

İstihdam oranının % 58 den 2000 yılında orta senaryoda % 72 ye, Yüksek Senaryoda % 78 e ulaşacağı belirlenmiştir.

Bu ekonomik ve sosyol kabullerin yanısıra enerji tüketimi yoğun olan sanayi, konut/hizmetler, ulaştırma, tarım gibi sektörlerle ilgili olarak "birim tüketim değişimleri" enerji tasarrufu ilkelerinin yanısıra, mekanizasyon ve daha ağır sanayie geçiş, yatırım malları üreten sanayinin büyük ölçüde belirleyen bu parametreler dikkatlice seçilmiştir.

Elektrik enerjisi talebimizin orta senaryoya göre yılda % 11.7 artışla 1990 yılında 65.000 Gwh'a, % 11. artışla 1995 yılında 110.000 Gwh a % 8.6 artışla 2000 yılında 166.000 Gwh a ulaşması beklenmektedir. Yüksek Senaryo da 2000 yılında 197.000 Gwha ulaşmaktadır. Fert başına elektrik tüketimi ise Orta Senaryo'da

1983 yılında 625 kwh den 1990 yılında 1189 kwh, 2000 yılında 2467 kwh a çıkmaktadır. Dünya ülkelerinin fer başına brüt elektrik tüketimlerinin verildiği çizelge (7.13) incelendiğinde 2000 yılında Libya ve Yunanistanın 1983 yılı seviyelerine ulaşabileceğimiz, İtalya seviyesinin ise çok altında kalacağımız gözlenmektedir. (1)

8.1.2. Elektrik Enerjisi Üretim ve Talep Değerlendirmesi

Elektrik enerjisi, üretim ve talep durumu, çizelge (2.20) de irdelenmektedir. Çizelgede görüldüğü gibi halen inşaatları sürdürülen ve orta dönem programlarında yer alan projelerimiz, 1992 yılına kadar , ortalama enerji bazında, talebi yedekli olarak karşılayabilmektedir. 1992 yılından sonra ise yedek kafi gelmemektedir. En az % 10 üretim yedeğini sağlayarak sistem güvenliğini korumak amacıyla yeni projelerin programlara alınması gerekmektedir.

Türkiye'de 1983 yılında toplam kurulu güç 6935 MW ve elektrik üretim kapasitesi 27 milyar kwh kadardır. Alçak tahmin olarak kabul edilen bir projeksiyona göre elektirik talebini 6 kat artırmak suretiyle 2000 yılında en az 162 milyar kwh olması öngörülmektedir.

Türkiye'de çok zengin linyit rezervleri ile büyük bir hidrolik potansiyelin bulunduğu malumdur. Bugün % 15 kadarını kullanmakta olduğumuz hidrolik potansiylelimizden yılda 100 ila 108 milyar kwh enerji üretmek mümkün gözükmektedir. Çoğu düşük kaliteli olan linyit rezervlerimizden de yılda 60-70 milyar kwh enerji üretilebileceği tahmin edilmektedir. Bütün bunların Türkiye'nin ilerideki elektrik ihtiyacını karşılamakta yetersiz olduğu çizelge (2.20) den açıkça görülmektedir. (7)

Çizelge 2.20 ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM-TALEP İRDELEMESİ

Yıl	Üretim (Ortalama Enerji)		Talep	İthalat	Yedek	
	MW	Gwh	Gwh	Gwh	Gwh	%
1986 (Prog)	9 559	38 600	40 600	2 000	—	—
1987	11 197	53 533	46 000	900	8 439	15
1988	13 402	64 004	51 620	—	12 384	19
1989	14 966	69 449	57 950	—	11 499	16
1990	16 395	76 259	65 000	—	11 259	15
1991	18 096	84 429	72 150	—	12 279	15
1992	20 126	91 028	80 100	—	10 928	12
1993	22 160	96 917	88 900	—	8 017	8
1994	23 618	102 298	98 675	—	3 623	3
1995	25 745	113 774	109 530	—	4 244	4
1996	27 999	125 470	119 060	—	6 410	5
1997	29 710	133 227	129 420	—	3 807	3
1998	32 878	143 712	140 675	—	3 037	2
1999	36 646	156 680	152 910	—	3 770	2
2000	38 853	168 017	166 220	—	1 797	1
2010	64 449	318 424	317 900	—	524	0,2

Kaynak: ETKB, (APK)

Çizelge (8.4) ve Şek (8.2) nin incelenmesinden görüleceği gibi ortalama enerjiye göre 1992 yılı civarında yetersiz bir üretim kapasitesi görülmektedir. Güvenilir enerjiye göre durum incelendiğinde 1992 de açık % 11 dir. 1998 de de aynı mertebeden açıklarla karşılaşılır. Dolayısıyla Türkiye'nin 1990 lardan öteye üretim-tüketim dengesi, nükleer enerjiye başvurmadan açıksız kapatılamaz. Normal olarak takip edilmesi gereken nükleer enerji geliştirilmesi 1984 yılında TAEK tarafından teklif edilmiş olduğu gibi olmalıdır.

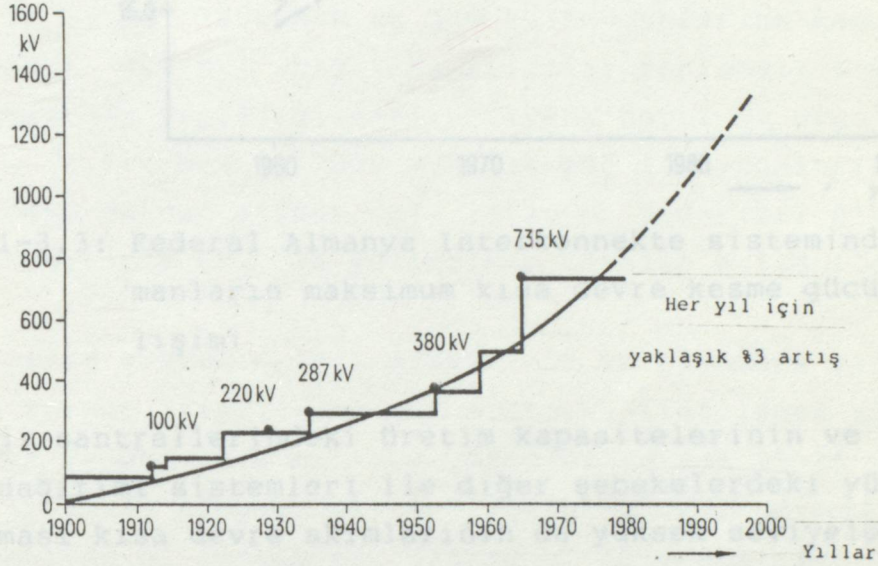
3. YÜKSEK GERİLİM ALTERNATİF AKIMLA (HVAC) ENERJİ NAKLİ

Elektrik Mühendisliğinde iletim denildiğinde genellikle yüksek gerilim akla gelir. Yüksek gerilim, elektrik enerjisi naklinde karşılaşılan ekonomi probleminin tabii bir sonucudur.

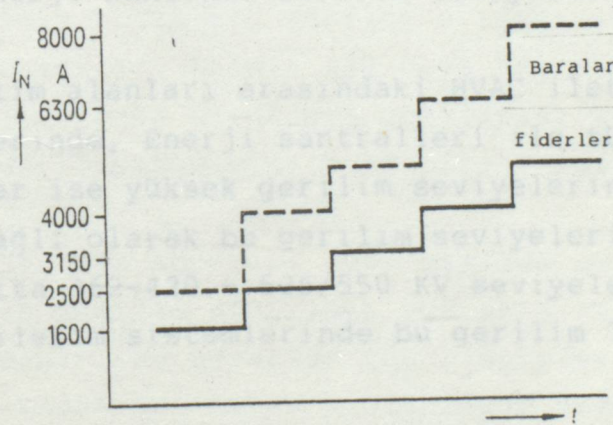
Bilindiği gibi elektrik enerjisi bakır veya alüminyum iletkenlerle taşınır. İletkenlerin; $R=K.l/q$ formülü ile ifade edilen dirençleri, iletkenin yapısına, uzunluğuna ve kesitine bağlıdır. İletkenlerin sahip olduğu bu R direnci enerji nakil hatlarında $P=R.I^2$ formülü ile ifade edilen kayıplara sebep olmaktadır. Kayıpları en az seviyede tutmanın iki yolundan birincisi iletkenin R direncini azaltmaktır. Bu yol kilometrelerce uzanan iletkenin kesitini artırmak demektir ki son derece masraflıdır. İkinci yol ise iletim hattından akan akımı azaltmaktır. Belli bir gücü uzun mesafelere taşımak için akım küçültülürken aynı oranda gerilim büyütülür. Böylece yüksek gerilimli enerji nakil hatlarındaki kayıplar da akımın karesi ile orantılı bir şekilde azaltılmış olur.

Elektrik Enerjisi kullanımının sanayiden, tarıma, ulaştırma dan haberleşmeden ev eşyalarına, sağlık ve bilgi işlem cihazlarına kadar çok çeşitli alanlara yaygınlaşması elektrik enerjisine talebi Megavatlara hatta Gigawatlara çıkarmıştır. Dolayısıyla üretim santrallerinden tüketim bölgelerine nakledilen enerji de Megawattlar mertebesine ulaşmıştır. Çok büyük miktarlardaki bu enerji verimli bir şekilde taşımak için yüksek gerilim kademeleri kullanılmaktadır. Güç talebinin ve dolayısı ile güç sistemlerinin büyümesi kullanılan iletim geriliminin seviyesindeki artışla karakterize edilebilir. Şekil (3.1), AC iletim hatlarındaki gelişmeleri yıllara bağlı olarak göstermektedir. İletim gerilimlerinin yılda % 3 civarında arttığı dikkate alınır sa 2000 li yıllarda 1500 KV'un üzerindeki gerilim seviyelerine ihtiyaç duyulacaktır. Bu sebeple 1500 KV'un üzerindeki gerilim seviyelerinin ARGE ve deneme çalışmaları devam etmektedir. (1)

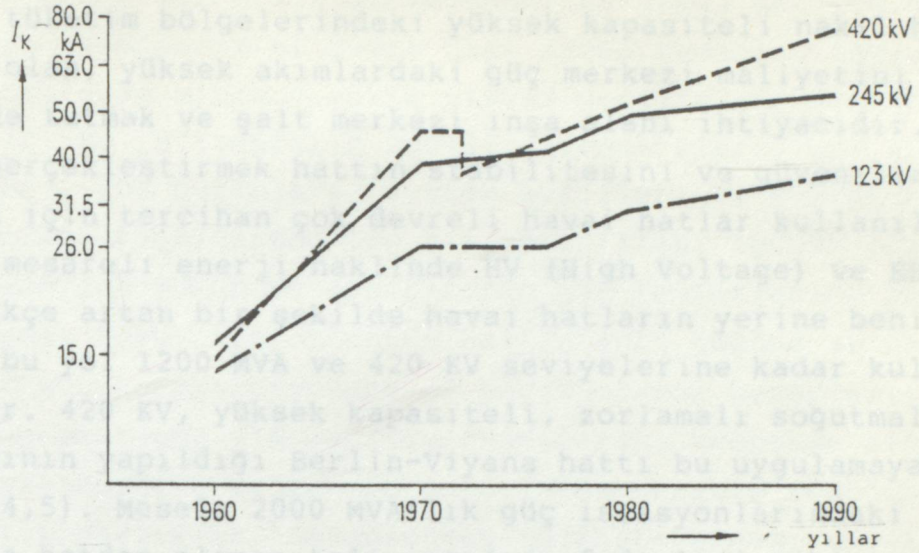
Avrupa Interkonnektif sisteminde Tüketim alanları ile enerji santralleri arasındaki mesafe genellikle 100 km den daha az olduğu için 420 KV'un üzerindeki iletim gerilimlerine pek fazla ihtiyaç duyulmaz.(2) Bununla birlikte artan güç taleplerini karşılamak üzere çok yüksek akım seviyeleri mevcuttur. Şekil 3.2 Son yıllarda şalt merkezlerinin nominal akımlarındaki artışı göstermektedir.



Şekil-3.1: AC güç sistemlerinde Enerji nakil geriliminin gelişmesi



Şekil -3.2: Son yıllarda Şalt merkezlerinde gözlenen nominal akımın gelişimi



Şekil-3.3: Federal Almanya Interkonnekte sistemindeki elemanların maksimum kısa devre kesme gücünün gelişimi

Enerji santrallerindeki üretim kapasitelerinin ve Enerji iletimi ve dağıtım sistemleri ile diğer şebekelerdeki yük yoğunluğunun artması kısa devre akımlarının da yüksek seviyelere ulaşmasına sebep olmuştur. Kısa devre akımlarındaki bu artışı göstermek üzere Şekil-3.3'de Federal Almanya Interkonnektif sistemi örnek olarak verilmiştir.

3.1. HVAC Enerji Naklinde Gerilim Seviyeleri:

Enerji Tüketim alanları arasındaki HVAC iletim hatları orta gerilim seviyelerinde, Enerji santralleri ile tüketim alanları arasındaki hatlar ise yüksek gerilim seviyelerindedir. İletilen güce ve mesafeye bağlı olarak bu gerilim seviyeleri 123-145 KV tan 245-300 KV'a ve hatta 362-420 - 525/550 KV seviyelerinde olabilir. Çok uzun mesafeli iletim sistemlerinde bu gerilim 765/800 KV olabilmektedir.

500-1500 Km'lik uzun mesafeli ve büyük güçlü enerji nakil hatları maliyetten dolayı genellikle EHV (Extra High Voltage) veya UHV (Ultra High Voltage) gerilim seviyesine sahiptirler. Bu gerilim seviyelerinde karşılaşılan temel problemler gerilim regülasyonu, transient olaylar, reaktif güç kompanzasyonu, stabilite ve izolasyon problemleridir. Diğer taraftan yalnızca 5-50 km'lik

yakın mesafeli tüketim bölgelerindeki yüksek kapasiteli nakil hatlarında önemli olan, yüksek akımlardaki güç merkezi maliyetini düşük değerlerde tutmak ve şalt merkezi inşa alanı ihtiyacıdır. Optimum tevsi gerçekleştirmek hattın stabilitesini ve güvenilirliğini artırmak için tercihan çok devreli havai hatlar kullanılmaktadır. Kısa mesafeli enerji naklinde HV (High Voltage) ve EHV kabloları gittikçe artan bir şekilde havai hatların yerine benimsenmektedir ve bu yol 1200 MVA ve 420 KV seviyelerine kadar kullanışlı olmaktadır. 420 KV, yüksek kapasiteli, zorlamalı soğutmalı kablo uygulamasının yapıldığı Berlin-Viyana hattı bu uygulamaya bir örnektir. (4,5). Mesela 2000 MVA'lık güç istasyonlarındaki bağlantılar veya hatdan alınan tali istasyon fiderleri gibi çeşitli özel uygulamalarda SF_6 ile yalıtılmış baralar kullanılmaktadır. (6)

Güç iletim sistemlerinin dizaynında ve planlama çalışmalarında, artış durumu, iletilecek güç miktarı, iletilecek güç mesafeleri, teknik ve ekonomik optimum çözümler ve son 15-25 yıldan bu yana enerji nakli konusundaki gelişmeler gözönüne alınmalıdır. Yaygın bir şekilde kullanılan AC sistemleri dışındaki alternatifler ve HVDC kombinasyonlarının çözüm açısından uygunluğu araştırılmalıdır. Şekil 35'de Ekonomik HVAC enerji nakil gerilimi, nakil gücü ve mesafenin fonksiyonu olarak verilmiştir.

Güç taleplerinin hızlı bir şekilde arttığı yerlerde ara gerilimler bazen terkedilir. Mesela 420 veya 525/550 KV gerilimlerden biri kullanılır, daha küçük ara gerilimler kullanılmaz ve 123 KV veya 145 KV gerilim seviyelerinden birisi kullanılır.

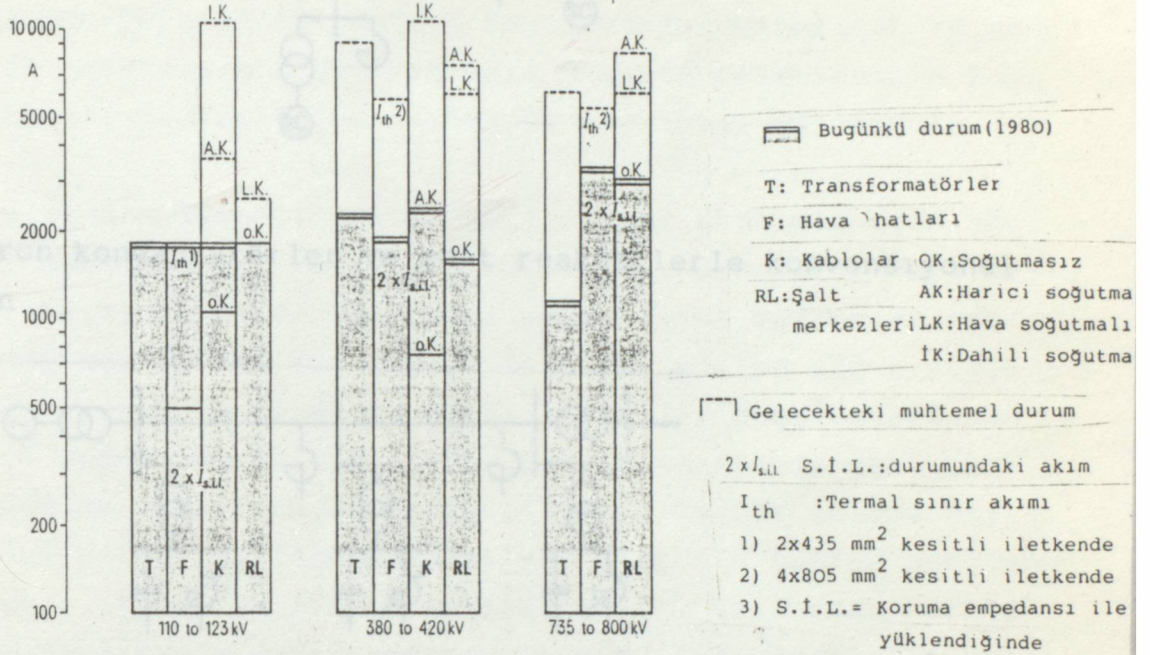
Verilen bir gerilim seviyesi için maximum uygulama akımı, enerji nakil hattının gerilim sınırları yük akış analizi hesap metodları ile hesaplanır. Bu hesaplar güç sistemlerinin en iyi şekilde işletilmesi kadar gelecekte sistemlerde meydana gelebilecek gelişmelerin planlanması yönünden de çok önemlidir. Bu çalışmalarda şunlar hesaplanır. Normal çalışma esnasında söz konusu olabilecek maksimum sürekli yük, maksimum yüklenme ve sistem kom-

ponetlerinde herhangi bir arıza sırasındaki en büyük gerilim düşümünün, cihazın (komponentin) devre dışı kalma zamanına bağlı fonksiyonu ve beklenen minimum yükte sistem geriliminin ulaşacağı maximum değerdir. Bu çalışmaların önemli parametreleri ise; generatörün değerleri, yük durumları, sistem şekilleri ve sistem empedanslarıdır. Gerilim regülasyonu ile sıkı bir ilişki içinde olan reaktif güç, yalnızca yükün ve generatörün güç faktörlerine bağlı olarak hesaplanmaz fakat aynı zamanda hattın şarj gücüne ve baralardaki reaktif güç kompanzasyonuna da bağlı olarak hesaplanır. Reaktif güç kompanzasyonu ile gerilim düşümlerini kompanze etmek tem mümkündür. Generatörlerin ve transformatörlerin gerilim regülasyonunda getirdiği kolaylıkları da düşünmek (dikkate almak) gerekir. Büyük yüklerdeki reaktif güç şartları genellikle paralel elemanlar bağlanarak sağlanabilir. Reaktif güç ekipmanlarının kullanılması yükü azaltılmasına yardımcı olduğu gibi gerilim stabilitesini de sağlar. Reaktif güç kompanzasyonunun değişik metodları da şematik olarak şekil-3.6'de gösterilmiştir. Sistemin çeşitli noktalarındaki gerilimin faz kontrolü ile reaktif güç kontrolünün birlikte yapılabilmesi için bir HVDC hat veya "quadrature" regülasyon trafosu vasıtası ile aktif güç kontrolü yapılması gerekir.

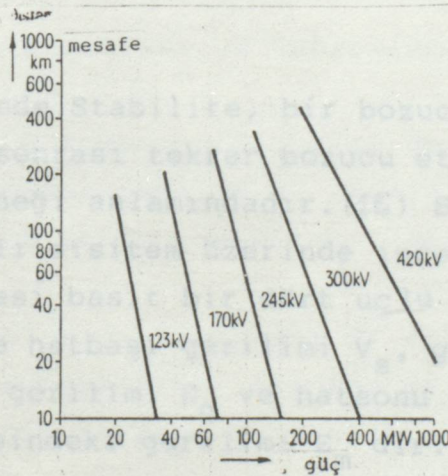
Reaktif güç kompanzasyonu için anahtarlanan ve/veya direkt sabit olarak bağlanan L veya C elemanları trafoların ikinci tarafına (sekonderine) veya yüksek gerilim baralarına veya kablolara bağlanabilir. Bütün şalt cihazları maksimum işletme gücünü taşıyabilecek ve kontrol edebilecek kapasitede ve yapıda olmalı, trafolar havai hatlar, kablolar L ve C elemanları beklenmeyen yüklere ve arızalara karşı koyabilmelidir. Havai hatların yüklenebilme sınırı, hattın uzunluğu stabilite, anahtarlanabilme, generatör değerleri sıcaklık sınırı gibi faktörlere bağlıdır. Sistem şekli max güç durumuna ve en uygun çalışma şartlarına göre belirlenmelidir.

Planlama çalışmalarında en önemli husus maliyettir. Bu şartın gerçekleşmesi için bazı kestirme çözümler öngörülebilir. Mesela önce ara istasyonların bir kısmı planlanır, daha sonra da gerek-

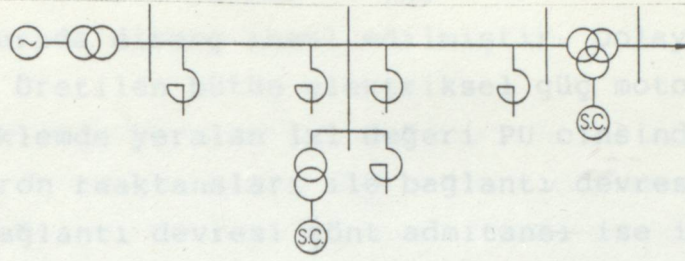
tikçe sisteme ilaveler veya değişiklikler yapılabilir.



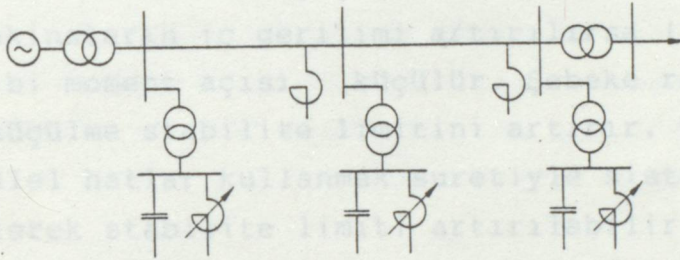
Şekil-3.4: Güç sistemlerinde kullanılan cihazların akım kapasiteleri



Şekil-3.5: Gücün ve mesafenin fonksiyonu olarak enerji nakil gerilimleri



Senkron kondansatörler ve şönt reaktörlerle konvansiyonel kompanzasyon



Statik kompanzatörler ve şönt reaktörler vasıtası ile kompanzasyon

Şekil-3.6: Reaktif güç kompanzasyonu metodları

3.2 Stabilite

Güç sistemlerinde Stabilite, bir bozucu etkiye maruz kalan sistemin bozucu etki sonrası tekrar bozucu etki öncesi çalışma şartlarına dönme yeteneği anlamındadır. (15) Sürekli hal stabilitesi genellikle iki makinalı sisitem üzerinde incelenir. İki makinalı sistemin eşdeğer devresi basit bir dört uçlu devre olarak düşünülebilir. Sürekli halde hatbaşı gerilimi V_s , genaratörün senkron reaktansı gerisindeki gerilimi E_g ve hatsonu gerilimi V_R , Motorun senkron raktansı gerisindeki gerilimi E_m dir. Bu durumda Motora transfer edilen güç:

$$P_m = \frac{IE_g I. l E_m l}{l x l} \sin \quad (1)$$

olarak bulunur. Maksimum güç ise:

$$P_{m, \max} = \frac{1Eg1.1Em1}{1x1} \quad (2)$$

bulunur. Burada direnç ihmal edilmiştir. Dolayısıyla I^2R kayıpları yoktur. Üretilen bütün elektriksel güç motora transfer edilmektedir. Denklemden yeralan $1x1$ değeri PU cinsinden genaratör ve motorun senkron reaktansları ile bağlantı devresi reaktansının toplamıdır. Bağlantı devresi şönt admitansı ise ihmal edilmiştir.

Bir sistemin sürekli stabilite limitini artırmak için gerekenler (1) denkleminde kolayca görülebilir. Genaratör veya Motor veya her ikisinin birden uyartımı artırılırsa makinalar arasında transfer edilen max güç artar. Transfer edilen güç artırılmaksızın makinaların iç gerilimi artırılırsa (1) denkleminde görüleceği gibi moment açısı küçülür. Şebeke reaktansındaki herhangi bir küçülme stabilite limitini artırır. Tekbir taşıma hattı yerine paralel hatlar kullanmak suretiyle sistemin toplam reaktansı küçültülerek stabilite limiti artırılabilir. Hatlardan herhangi biri arızalandığında diğer hat mevcut gücü taşıyacağından paralel hatların tesisi bağımlılığı da azaltır. Bazen de hatlarda gerilim regülasyonunu iyileştirmek veya hat reaktansını küçültmek suretiyle stabilite limitini artırmak için seri kondansatörler kullanılır.

3.3 Kısa Devre Arızaları ve Topraklamalar

Sistemdeki bütün komponentler, kısa devre arızaları sırasında meydana gelen en yüksek gerilim ve akımların sebep olduğu termik ve dinamik etkilere karşı koyabilmesi gerekir.

Federal Almanya da ve İsveçteki HV şebekelerinde (245kV ve daha büyük gerilimli şebekelerde) meydana gelen arızalar, arıza tipine göre şu oranlarda meydana gelmiştir:

Üç faz arızası : % 3

Üçfaz-toprak arızası: %1'den daha az

İki faz- toprak arızası : % 7- 12

İki faz arızası : % 4 ile % 15

Tek faz - toprak arızası : % 75- % 80

Toprak bağlantıları, bir faz toprak arızası sırasında akan akıma göre hesaplanır. Bir faz toprak arızasında sıfır sequence empedansı ile birlikte seri olarak toplanan pozitif ve negatif sequence empedansının belirlediği üç fazlı kısa devrede meydana gelir.

Kısa devre arızalarının özel bir problemi de, kısa devre akımının yüksek DC bileşeninin olması ve uzun süreli zaman sabiti dolayısı ile, arıza esnasında devre de olan bir güç istasyonunun arıza akımı süresince devreden çıkarılması veya arıza akımının kesilmesinin çok zor olmasıdır. Bu şekildeki bir arızada arıza akımının sıfırdan geçiş noktası mevcut değildir.

Bu tip bir arızanın kesilmesinde en büyük problem kesici cihazlarda meydana gelen yüksek ark gerilimidir. Bu problemi ortadan kaldırmak üzere SF₆ gazı kullanılmaktadır.

3.4. Transient Olayları ve İzolasyon

Aşırı gerilimler üç kategoride toplanabilirler (şalt cihazlarının dizaynı amacı ile)

1. Yıldırımın sebep olduğu aşırı gerilimler. Gerilim seviyesi çok yüksek, devam süresi çok kısadır, durağan (tek) dalgadır. Dalga uzunluğu mesela; 1/50 μ S civarındadır.

2. Anahtarlama aşırı gerilimi, nispeten uzun süreli durağan dalgadır. Mesela 250/2500 μ S

3. Birkaç saniye veya daha uzun süreli ve şebeke frekanslı aşırı gerilimler

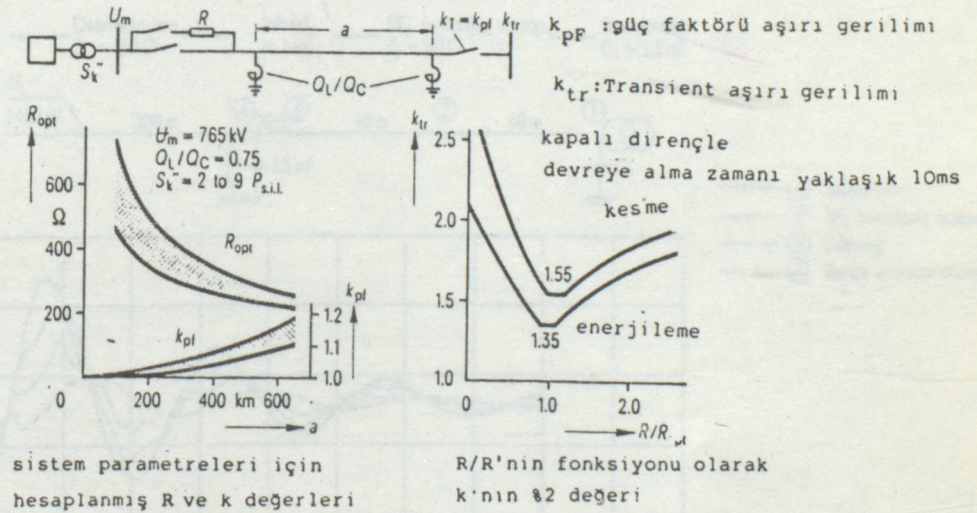
Yıldırımın meydana getirdiği aşırı gerilimler intensity ve frekansı ile bilinmektedir ve bu bilgiler koruma ölçümlerindeki teorik çalışmalarda avantajlı bir şekilde kullanılmaktadır.

İkinci tip aşırı gerilimler sistemdeki şalt cihazlarının açılıp kapanması sırasında meydana gelir. Bu tip aşırı gerilimlerin önlenmesi, sebeplerine bağlı olarak aşağıdaki gibi gruplandırılabilir.

Aşırı gerilimler hattın enerjilenmesi veya devre dışı bırakılması esnasında meydana gelmişse; kapama direnci (closing rezistar) vasıtasıyla bu tip aşırı gerilimler sınırlandırılabilir. Şekil 3.7

Yükün azaltılması ile oluşan yüksek gerilimler şönt kompanzatorlarla ve/veya hat, her iki ucundan aynı anda devre dışı yapılarak sınırlandırılabilir.

Modern devre kesiciler küçük kapasitif akımları ark yapmaksızın kesebilirler. Küçük endüktif akımların kesilmesi ise reaktör veya transformatörlerin off konumuna getirilmelerinde olduğu gibi "surge arrester"lerle desteklenirler.



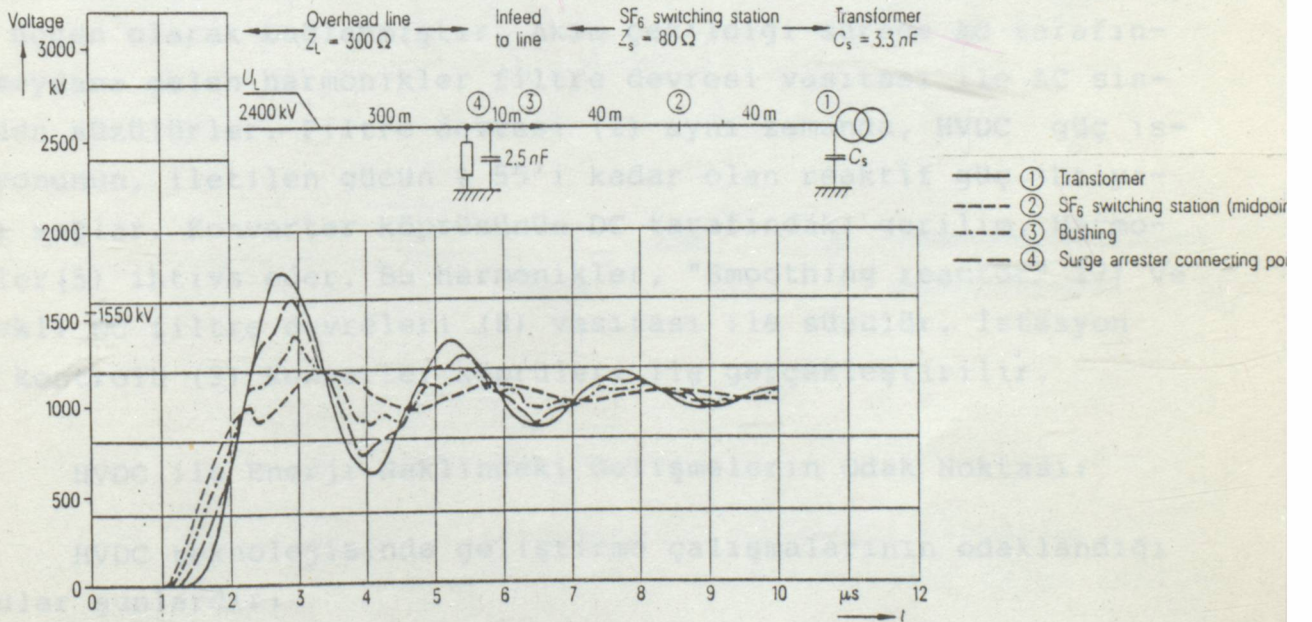
Şekil- 3.7: Closing rezistörleri vasıtasıyla aşırı gerilimlerin sınırlandırılması

Transformatörlerin enerjilenmesi esnasında meydana gelen rezonans aşırı gerilimleri, sistem konfigürasyonunun (şeklinin) değiştirilmesi ile bastırılabilir.

Sistemde bir hata meydana gelmesi veya hatanın giderilmesi esnasında meydana gelen aşırı gerilimler, mesela toprak arızası, tabii topraklama yapılarak azaltılabilir veya küçük toprak hata faktörü ile ($\leq 1,4$) sınırlanabilir.

Elektrik cihazları için elektrik tesislerinin güç seviyelerine göre selektif koruma yapılabilir. ve "surge arrester" lerle bu koruma desteklenebilir. Şekil- 3.8 de yıldırımın sebep olduğu bir transient aşırı geriliminin değişimi görülmektedir.

Anahtarlama aşırı gerilimleri, nominal çalışma gerilimini artırdığı için önemlidir. Bu artışın sebep olduğu elektrik gerilim (stronkh) ark mesafesi ile lincer olarak artmaz. Dolayısıyla faz iletkenleri arasında meydana gelen anahtarlama aşırı gerilimi iletken ile toprak arasında meydana gelen den daha büyüktür.



Şekil-3.8: Yıldırımın sebep olduğu transient aşırı geriliminin bir enerji nakil sisteminin çeşitli noktalarındaki değişimi

4. YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIMLA (HVDC) ENERJİ NAKLİ

Enerji nakil hatlarının besleme sürekliliği ve ekonomik verimliliği, elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden müşterilere iletilmesinde en önemli faktörlerdir. Enerji nakil hatlarında gözlenen problemler için bulunacak çözümler ekonomik açıdan geçerli, teknik açıdan yeterince güvenli, çevre kanunlarına ve ekolojik gereklere uygun olmak zorundadır. Bu çok dikkatli ve itinalı sistem dizaynı gerektirir. Komponentlerinin seçimi de ayrıca ve özellikle önemlidir. Teknik ve ekonomik avantajları ile nakil hatlarındaki bir çok problemin çözülmesinde etkin olan HVDC bu gün dünyanın pek çok bölgesinde uygulanmaya konmuştur. Bu metodun geliştirilmek üzere tartışılan yönleri; daha düşük maliyet, basit teknoloji, yüksek güvenilirlik ve sınırlı bakımdır.

4.1. Bir HVDC İstasyonunun Ana Elemanları

HVDC enerji naklinin uygulaması ve bir HVDC istasyonunun en önemli elemanları şekil-4.1 de gösterilmiştir. Sistemin kalbi konverter köprüleridir. (4). Konverter transformatörü (3), AC sistemin (1) nominal gerilimini tristörlere uygun bir gerilime dönüştürür. Konverter transformatörünün 12 fazı yıldız yıldız ve yıldız üçgen olarak bağlanmıştır. Akım çekildiği sürece AC tarafında meydana gelen harmonikler filtre devresi vasıtası ile AC sistemden süzülürler. Filtre devresi (2) aynı zamanda, HVDC güç istasyonunun, iletilen gücün % 55'i kadar olan reaktif güç ihtiyacını sağlar. Konverter köprüsünün DC tarafındaki gerilim, Harmonikler (5) ihtiva eder. Bu harmonikler, "Smoothing reactor" (7) ve gerekli DC filtre devreleri (8) vasıtası ile süzülür. İstasyon güç kontrolü (9) Konverter köprüleri ile gerçekleştirilir.

HVDC ile Enerji Naklindeki Gelişmelerin Odak Noktası:

HVDC teknolojisinde geliştirme çalışmalarının odaklandığı konular şunlardır:

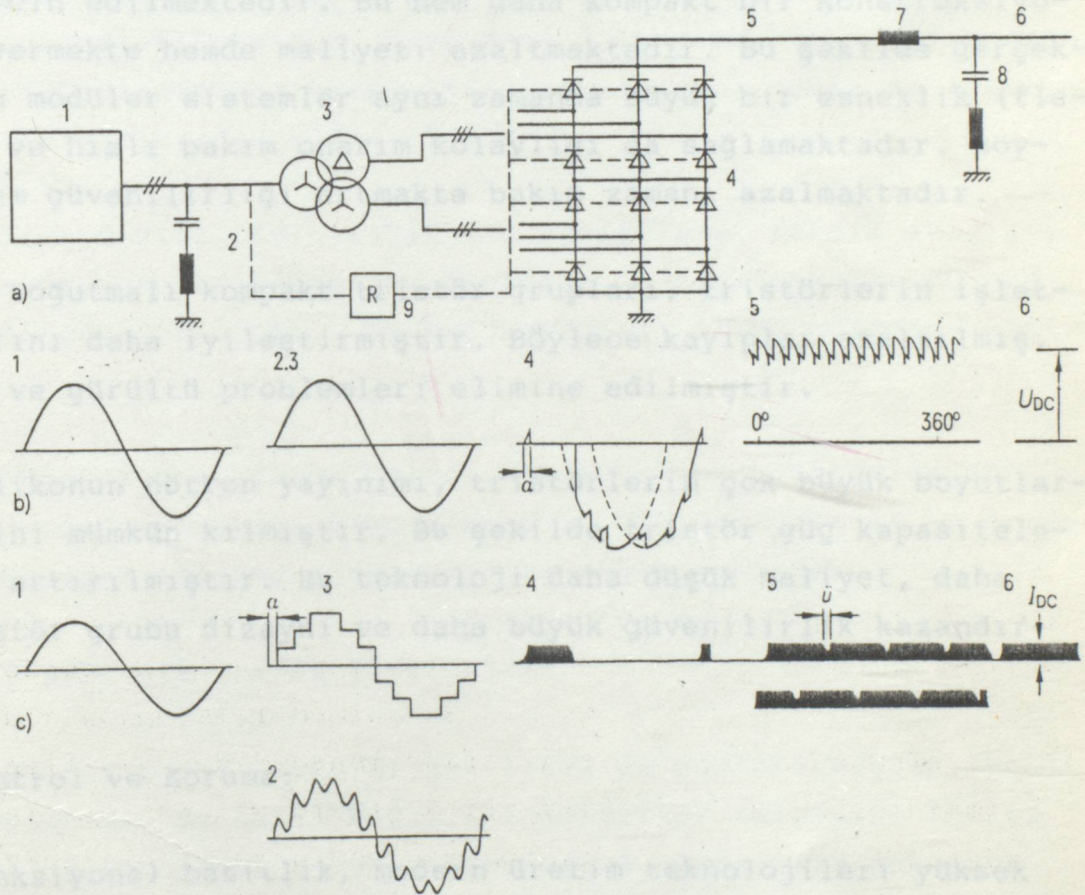
Dizayn Basitliđi

Yeni Teknolojilerin Uygulanabilirliği

Güvenilirliđin Artırılması

Bakım ihtiyacının azaltılması

HVDC Sistem AC sistem elemanlarının üstüne inşa edilmektedir. Bu sebeple HVDC sistemin, AC sisteme etkisi çok önemlidir. HVDC, bu konuda çalışan teknik elemanların yeni yeni anlamaya başladıkları bir konudur. Tamamlanmış sistemlerden kazanılan tecrübelerin analizi ve şebeke analizörleri üzerindeki çalışmaların sonuçlanması ile AC sistemlerle birleştirilen HVDC sistem komponentlerinin ve sistemlerin performanslarının artırılması mümkün olacaktır.



Şekil- 4.1: Bir HVDC istasyonunun en önemli elemanlarını ve sistemin çeşitli noktalarındaki dalga şekilleri

Tristör Grupları:

Tristörler kapılarından kontrol edilebilen silikon doğrultuculardır. Diotlar gibi tek yönlü akım akıtırlar. Normalde kesim de olan tristörler kapılarına tetikleme palsi uygulandığında ilettime geçerler. İçinden akan akımın sıfır olmasıyla da tekrar kesime giderler.

HVDC sistemlerinde yüksek gerilim değerlerine ulaşabilmek için tristörler seri bağlanmaktadır. Ayrıca On iki palsli konverter uygulamaları için de tristör grupları gerekmektedir.

Tristör gruplarının konstrüksiyonunda genellikle kule tipi dizayn tercih edilmektedir. Bu hem daha kompakt bir konstrüksiyona imkan vermekte hemde maliyeti azaltmaktadır. Bu şekilde gerçekleştirilen modüler sistemler aynı zamanda büyük bir esneklik (flexibility) ve hızlı bakım onarım kolaylığı da sağlamaktadır. Böylece sistem güvenilirliği artmakta bakım zamanı azalmaktadır.

Su soğutmalı kompakt tristör grupları, tristörlerin işletme şartlarını daha iyileştirmiştir. Böylece kayıplar azaltılmış, toz (kir) ve gürültü problemleri elimine edilmiştir.

Silikonun nötron yayını, tristörlerin çok büyük boyutlarda üretimini mümkün kılmıştır. Bu şekilde tristör güç kapasiteleri 15 kat artırılmıştır. Bu teknoloji daha düşük maliyet, daha basit tristör grubu dizaynı ve daha büyük güvenilirlik kazandırmıştır.

Kontrol ve Koruma:

Fonksiyonel basitlik, modern üretim teknolojileri yüksek standartlar, HVDC nakil sistemlerinin en önemli bölümü olan tristör gruplarının güvenilirliğini artırmıştır. Programlanabilir kontrol cihazlarının kullanılmasıyla da sistemin tasarım ve işleyiş esnekliği (flexibilitesi) artmıştır. Bütün bunlara basitleştirilmiş

koruma kavramı ve AC sistemlerle koruma koordinasyonu da ilave edilince sistem berraklık kazanmış, gerekli işletme güvenilirliği sağlanmıştır.

AC Filtre Devreleri:

AC filtrelerin geliştirilmesiyle, harmoniklerin süzülmesinde büyük ilerlemeler sağlanmıştır. Cabora-Bassa HVDC sisteminde olduğu gibi, 5., 7., 11. ve 13. harmonikleri iyi bir şekilde süzebilmek için altı palsli uygulama gerekmiştir. Filtreler yükte ayar özelliklerini de sağlamıştır. 12 palsli uygulama 5. ve 7. harmonik filtrelerine olan ihtiyacı ortadan kaldırmıştır. Filtrelerin geliştirilmesinde son adım, bu tip filtrelerin high-pass filtrelerle gerçekleştirilmesidir. High-pass filtreler ilk defa Nelson River II HVDC sisteminin kuzey istasyonunda daha sonra da Acaray ve Dürnhor projelerinde kullanıldı.

Filtre devrelerinin sayısının azaltılması teknik avantajlarla beraber yer ihtiyacını ve fiatları da azaltmıştır. Bu gün filtrelerin güvenilirliği birkaç komponent ilave edilerek artırılmıştır.

Konverter transformatörleri ve smoathing reaktörler HVDC istasyonlarının en pahalı elemanlarıdır. Özel cihazlarla bu trafoların maksimum işletme güvenilirliği sağlanmaktadır.

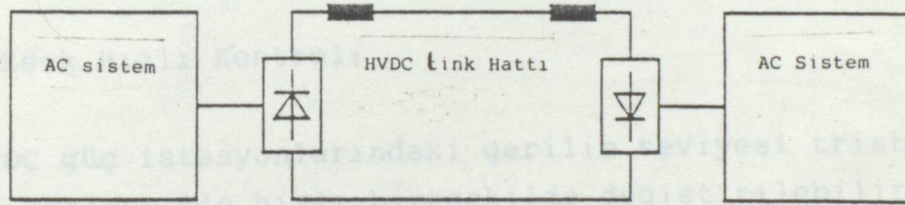
4.2 HVDC'nin Teknik Özellikleri

HVDC'nin temel prensibi Şekil-4.2 de gösterilmiştir. Basit bir HVDC sistemi, de hatta bağlı iki konverter istasyonu ihtiva eder. Şekil-4.2b, oldukça basit bir duruma getirilmiş şekliyle bir HVDC sisteminin eşdeğer devresini göstermektedir. Burada konverter istasyonları $U_R(\alpha)$ ve $U_I(\gamma)$ gerilim kaynakları ile gösterilmiştir. İstasyondaki gerilimin dalga şekli ise Şekil-4.2c de verilmiştir. İstasyondaki gerilim-"Ripl" lar ihtiva eden bir dc gerilimdir. Rippl'lar HVDC nin hat tarafındaki "smoothing reactor" lar vasıtası ile süzülmeaktadır.

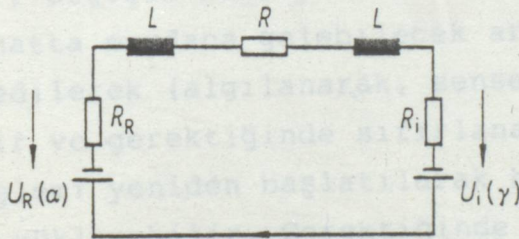
Konvertörlerdeki gerilim tristörlerin tetikleme açıları ile çok hızlı bir şekilde değiştirilmektedir.

Uzun İletim Mesafesi:

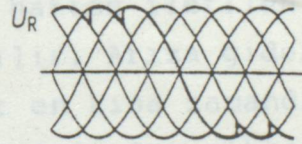
HVDC'nin sürekli hal uygulamasında yalnızca hattın omik direnci ile iki terminal istasyonunun omik dirençleri etkilidir. Bu sebeple iletim hattında reaktif güç ile ilgili hiçbir problem meydana gelmez. Böylece DC sistemlerin AC enerji nakil sistemlerine iki önemli avantajı söz konusu olmaktadır. Bunlar sürekli hal stabilitesi ve transient stabilitesidir. HVDC hatlarda iletim mesafesi yalnızca ekonomik verimlilikle sınırlıdır. Uzun mesafelerde HVDC ekonomik bakımdan tercih edilmektedir. Mesela Cabora Basa HVDC Sistemi (1) 2000 MW enerjiyi 1400 km'den daha uzak mesafeye



a)



b)



c)

Şekil-4.2: Bir HVDC Hattının eşdeğer devresi

- a) AC sistemlerin HVDC Link bağlanması
- b) DC devrenin basitleştirilmiş eşdeğer devresi
- c) İstasyon geriliminin dalga şekli (12 pılslı)

iletmektedir. Bu sistemden daha büyük HVDC sistemler de mevcuttur. Günümüzde yirmidört HVDC sistemi devreye alınmıştır ve hali hazırda çalışmaktadır, dokuz sistemin ise inşası devam etmektedir. (Bakınız: Tablo 4.1)

Farklı Frekansa Sahip Sistemlere Bağlanabilirlik:

İki AC sistem bir HVDC vasıtası ile birbirlerine bağlandığında AC sistemler frekansları (50-60 Hz), faz sıraları, faz sayıları faz farkları açısından birbirlerinden tamamen bağımsız olarak çalışabilirler. Böylece HVDC, farklı frekansa sahip AC sistemlerin birbirlerine bağlanmasında kullanılabilir. Buna örnek olarak çift hatlı Acaray (2)-Dürnrhor(3) hattını verebiliriz. Japonya'da Sakuma Güç İstasyonu 50 Hz ile 60 Hz lik sistemler arasında da bağlantı sağlamaktadır.

Yüksek Hızlı Kontrol:

HVDC güç istasyonlarındaki gerilim seviyesi tristörlerin tetikleme açıları ile hızlı bir şekilde değiştirilebilir. Bu HVDC hattı ile nakledilen gücün hızlı bir şekilde değiştirilmesine imkan verir. Değişim hızı yalnızca hattın zaman sabiti ile sınırlıdır. DC hatta meydana gelebilecek arızalar koruma sistemi tarafından hissedilerek (algılanarak, sense) hattan iletilen akım kontrol edilebilir ve gerektiğinde sıfırlanabilir. Arıza giderildiği zaman iletim işlemi yeniden başlatılarak hat en kısa zamanda tam kapasite ile yüklenebilir. Gerektiğinde bu işlemler sıkça tekrar edilebilir. Kısa devre akımı nominal akımın iki veya üç mislinde sınırlandırılabilir. Böylece HVDC sistem, AC sistemler tarafından beslenen kısa devre akımlarının ihmal edilebilir seviyelere indirilmesine yardım edecektir.

HVDC'nin AC Sistemlerdeki Yük Akışına Etkisi:

Yüksek hızlı kontrol AC sistemlerde gerilimden ve frekanstan

bağımsız olarak arzu edilen transmisyon gücünün set edelimesini ve bu değerinde sabit kalmasını mümkün kılar. Aynı şekilde HVDC sistemi, AC sistemin yük akışını kontrol etmek üzere kullanılabilir. Kontrol ölçüleri AC sistemlerdeki stabiliteyi pozitif yönde etkiler

Tablo 4.1 İnşa edilmiş olan veya inşa edilmeye alınan HVDC sistemleri

Sistem	Uygulama Tarihi (Yıl)	Kapasite (MW)	DC Gerilimi (kV)	Gerilim Düşürme Mesafesi (km)	İzolasyon
Moscow-Kashira, USSR (Deneme)	1950	30	200	113 (hava hattı)	Cival
	1954	20	100	98 (kablo)	Cival
	1970	30	150		
Green-Channel, İngiltere-Viyana	1961	160	3100	65 (kablo)	Cival
Volgograd-Donbass, USSR	1962	750	2400	472 (hava hattı)	Cival
Kapiti-Skan, Danimarka-İsviçre	1965	250	2250	95 (hava hattı)	Cival
				85 (kablo)	
Sakuma 1, Japonya	1965	300	2x125	0	Cival
Yeni Zelanda	1965	600	7 250	567 (hava hattı)	Cival
				78 (kablo)	
Sardinia-İtalya	1967	200	300	290 (hava hattı)	Cival
				120 (kablo)	
Vancouver Stage 111, Kanada	1968-1969	312	7260	41 (hava hattı)	Cival
				32 (kablo)	
Panama Interlink Hattı 1, ABD	1970	1449	2400	1354 (hava hattı)	Cival
Levi River, Kanada	1972	320	2x80	0	Trist
					izole
Nelson River Bipole 1, Kanada	1973	480	150	890 (hava hattı)	Cival
Nelson River Bipole 1, Kanada	1973-1975	1080	300		
	1977	1620	450		
Kingsnorth, İngiltere	1975	640	266	82 (3 arastasyon)	Cival

Tablo 4.1 İnşa edilmekte olan veya işletmeye alınan HVDC sistemleri

Sistem	Uygulama Yılı	Kapasite (MW)	DC Gerilim (KV)	Nakilmesafesi (km)	Dönüştürücü Tipi
Moscow-Kashira, USSR (Deneme)	1950	30	200	113 (hava hattı)	Civalı arktüpü
	1954	20	100	98 (kablo)	Civalı arktüpüve tristör
	1970	30	150		
Cross-Channel, İngiltere-Fransa	1961	160	+100	65 (kablo)	Civalı arktüpü
Volgograd-Donbass, USSR	1962	750	-400	472 (hava hattı)	Civalı arktüpü
Konti-Skan, Danimarka-İsveç	1965	250	+250	95 (havahattı)	Civalı arktüpü
			+	85 (kablo)	
Sakuma I, Japonya	1965	300	2x125	0	Civalı arktüpü
Yeni Zellanda	1965	600	-250	567 (havahattı)	Civalı arktüpü
			+	38 (kablo)	
Sardinia-İtalva	1967	200	200	290 (hava hattı)	Civalı arktüpü
				120 (kablo)	
Vancouver Stage III, Kanada	1968-1969	312	-260	41 (hava hattı)	Civalı arktüpü
			+	32 (Kablo)	
Pasifik İntertie Hattı 1, ABD	1970	1440	+400	1354 (Havai hat)	Civalı arktüpü
Eel River, Kanada	1972	320	2x80	0	Tristör, havasoğutmalı izoleli
Nelson River Bipole I, Kanada	1973	810	-150	890 (Havai hat)	Civalı ark tüpü
			-	300	
Nelson River Bipole I, Kanada	1073-1975	1080	-300		
	1977	1620	-450		
Kingsnorth, İngiltere	1975	640	-266	82 (3 arastasyon)	Civalı ark tüpü
			+		

Sistem	Uygulama Yılı	Kapasite (MW)	DC gerilim (kV)	Nakil mesafesi (km)	Dönüştürücü tipi
Cabora-Bassa, Mozambik-Güney Afrika	1975	960	+ 266	1410 (Hava hattı)	Tristör, Havasoğutmalı izoleli
	1977	1440	+ 266		
			+ 533		
Vancouver Stages IV ve Kanada	1976	552	+ 260	41 (Hava hattı)	Tristör, Havasoğutmalı, izoleli
			- 140	32 (Kablo)	
	1978	792	+ 260		
			- 280		
Stegall, ABD	1976	100	50	0	Tristör, Havasoğutmalı, izoleli
Square Butte, ABD	1977	500	-250	745 (Hava hattı)	Tristör, Havasoğutmalı, izoleli
Skagerrak, Norveç-Danimarka	1977	500	-250	100 (Hava hattı)	Tristör, Havasoğutmalı, izoleli
				130 (Kablo)	
EPRI Compact Substation, ABD	1979	100	100 (Toprakla 0.6 (Kablo) 400 kV)		Tristör, freconsoğutmalı ve SF ₆ izolasyonlu
CU Project	1979	1000	-400	656 (Hava hattı)	Tristör, havasoğutmalı, izoleli
Inga-Shaba Stage I, Zaire	Bilinmiyor	560	-500	1700 (hava hattı)	Tristör, Havasoğutmalı, izoleli
Nelson River Bipole II, Kanada	1978	900	-250	920 (Hava hattı)	Tristör, Susoğutmalı, Hava izoleli
Shin-Shinama, Japonya	1978	150	125	0	Tristör, yağsoğutmalı, izolasyonlu
Hakkaido-Honshu, Japonya	1979	150	-250	124 (Hava hattı)	Tristör, havasoğutmalı izolasyonlu
				44 (Kablo)	

Sistem	Uygulama Yılı	Kapasite (MW)	DC gerilimi (kV)	Nakil mesafesi (km)	Dönüştürücü Tipi
Itaipu	1983	6300	+550	785 (havahattı)	Tristör, susoğutmalı ve hava izolasyonlu
Chateauguay, Kanada	1984	1000	146	805 (havahattı) 2 Hat	Tristör, susoğutmalı ve izolasyonlu
Oklaunion, ABD	1984	200	82	Back-to-Back	Tristör, havasoğutmalı
Eddy County, ABD	1984	200	82	Back-to-Back	izolasyonu
Walker County, ABD	1985	520	450	157 mil (havahattı)	" "
Madawaska, Kanada	1985	350	130.48	Back-to-Back	Tristör, havasoğutmalı
Miles city, Kanada	1985	200	82	Back-to-Back	izolasyonlu
Intermountain Power Project, ABD	1985	3200	+500	507.5 (havahattı)	" "
NEPSO-HQ, ABD-Kanada	1986	690	-450	65 mil (havahattı)	Tristör susoğutmalı, hava izoleli
					Tristör, havasoğutmalı ve izoleli

4.3 HVDC Sistemlerden Beklenen Ekonomik Avantajlar:

HVDC iletiminin teknik karakteristikleri bize, çok önemli ekonomik avantajlar da sağlayacağını göstermektedir.

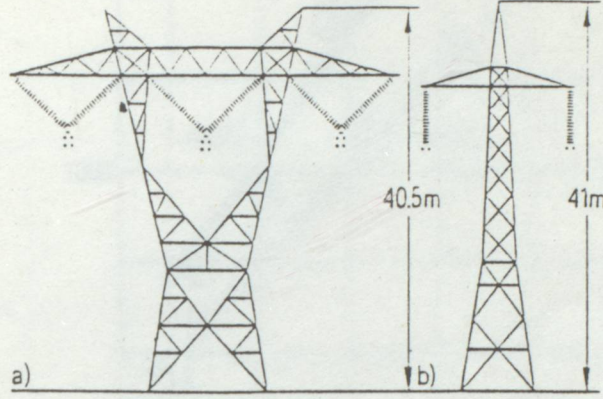
Uzun Mesafelere Enerji Nakli

HVDC iletim hattının istasyon maliyeti HVAC den daha fazla olmasına karşılık hat maliyeti daha azdır. Çünkü basit iki iletken ile daha hafif ve kısa direkler kullanılır, işletme maliyeti reaktif güç iletilmediği için daha düşüktür ve skinn efekt olayı yoktur. Şekil-4.3 de transmisyon kapasitesi aynı olan 800 kV AC ve $\pm$ 500 KV DC hatlarında kullanılabilen iki direk karşılaştırılmıştır. Şekil-4.4 de ise her iki sisteminde mesafeye bağlı olarak karşılaştırması yapılmıştır. Şekildeki kritik mesafe 500 ila 800 km dir. HVDC istasyonlarındaki gelişmeler önümüzdeki yıllarda kritik mesafeyi, HVDC nin avantajına olacak şekilde değiştirecektir. Ayrıca HVDC ile enerji stabiliteyi sağlamak ve reaktif gücü kompanze etmek üzere pahalı cihazlar gerektirmeden taşınabilmektedir. Bu da enerji taşıma sisteminin güvenilirliğini artırmaktadır. Şekil-4.4 de gösterilen kritik mesafeler projedeki özel şartlara (mesela iletilen güç, kayıp tahmini, konstrüksiyon durumu, transmisyon emniyeti gibi) bağlı olarak değişebilir.

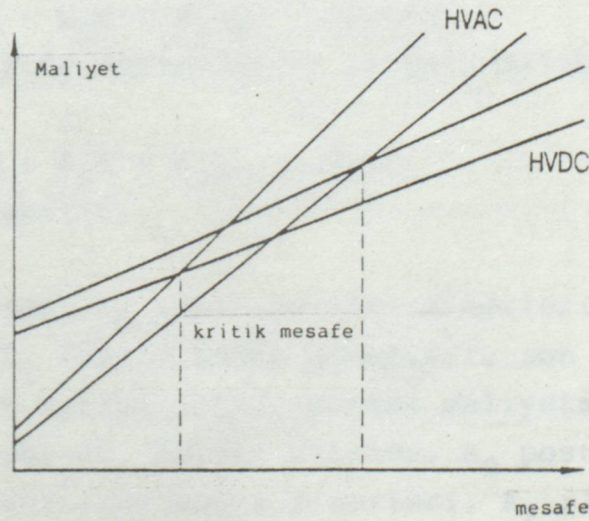
Hattın Geçtiği Alan Genişliği (Right-of-way)

Aynı hattın geçtiği alan genişliğinde HVDC nakil hatları, HVAC nakil hatlarına göre daha fazla nakil kapasitesine sahiptir. Hattın geçtiği güzergah boyunca ayrılan alanlar ilave masraflar gerektirir veya çevre faktörleri sebebiyle havai hatlarınkonstrüksiyon maliyetini artırır. HVDC, birim hattın geçtiği alan genişliği başına nakil kapasitesini artırmaktadır. Şekil-4.5 HVDC ve HVAC sistemlerinin right-of-way genişliğine bağlı olarak iletim kapasitesini göstermektedir.

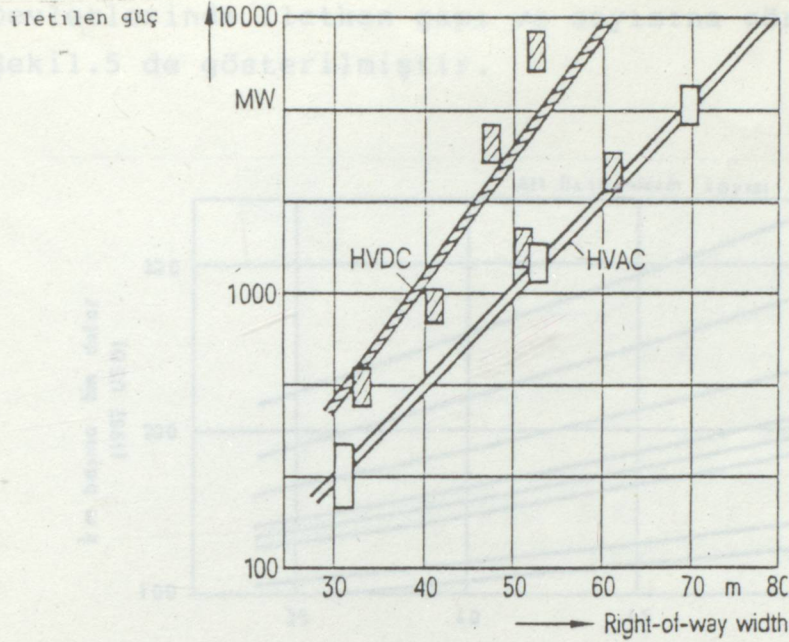
Şekil-4.5 HVAC ve HVDC nakil hatlarının mesafeye bağlı olarak karşılaştırılması



Şekil-4.3: Transmisyon kapasitesi aynı olan 800KV AC ve $\pm$ 500KV DC hatların karşılaştırılması



Şekil-4.4 HVAC ve HVDC nakil hatlarının mesafeye bağlı olarak karşılaştırılması



Şekil-4.5: HVAC ve HVDC için hattın geçtiği alan genişliğine bağlı ekonomik nakil gücü mukayesesi

4.4. HVDC'nin Getirdiği Mali Külfet ve İlave Kayıplar

Bir doğru akım enerji iletim hattına ilişkin birim uzunluk için maliyet fonksiyonu

$$L = L_0 + L_1 U + L_2 q + J_0 \frac{I^2}{q} \quad (\text{TL/km}) \quad (4.1)$$

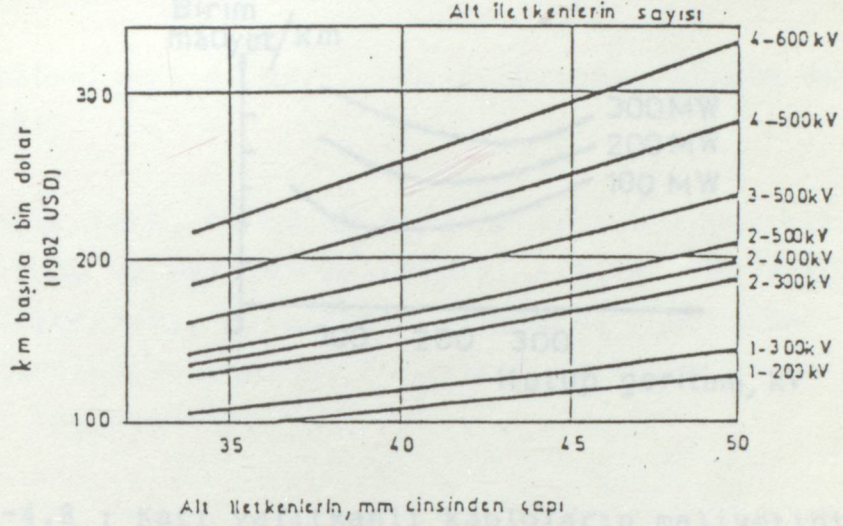
ve indirici transformator merkezlerine ilişkin maliyet fonksiyonu

$$A = A_0 + A_1 U + A_2 P + A_3 I \quad (\text{TL}) \quad (4.2)$$

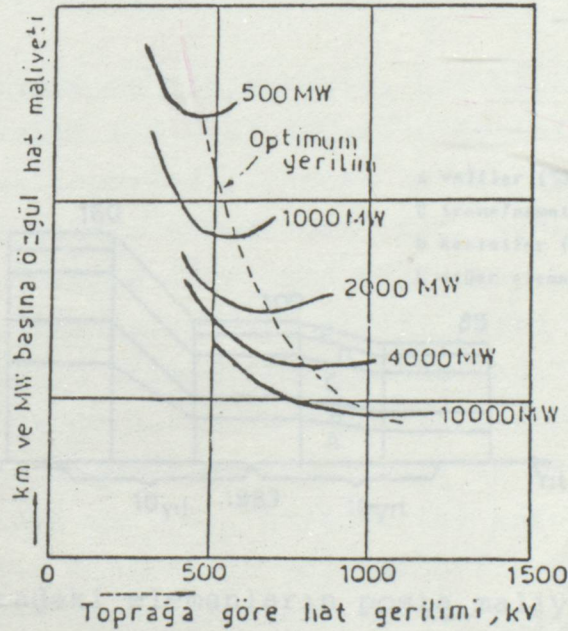
olarak genelleştirilebilir.

(4.1) ifadesinde, L_0 sabit maliyet giderlerini, L_1 gerilime bağlı giderleri, L_2 kesite bağlı giderleri, son terim ise hat (Joule) kayıplarından ortaya çıkan işletme maliyetini göstermektedir. (4.2) ifadesinde de, benzer biçimde, A_0 postanın sabit tesis giderlerini, A_1 gerilime bağlı giderleri, A_2 iletilen güce bağlı giderleri ve A_3 de akıma bağlı giderleri göstermektedir.

Sözkonusu maliyet fonksiyonları, ülkelerin ekonomik yapılarıyla yakından ilgilidir. Örneğin 1982 fiyatlarına göre, Amerika Birleşik Devletlerinde iletken çapı ve sayısına göre maliyetin değişimi Şekil.5 de gösterilmiştir.

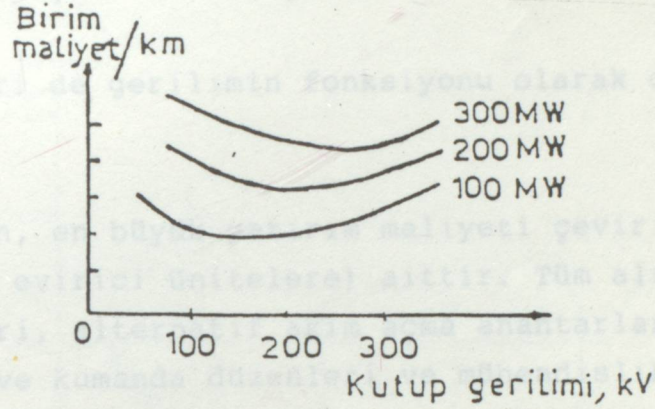


Şekil -4.6: İletken çapına ve sayısına bağlı olarak birim uzunluk için hat maliyetinin değişimi.



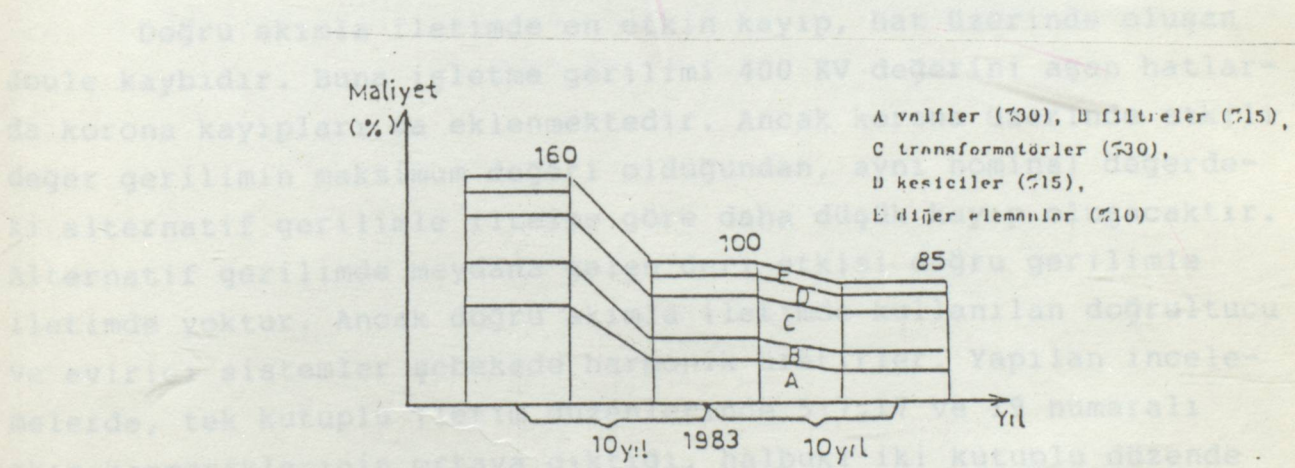
Şekil-4.7: Güç ve optimum gerilim kademelerinin değişimi

Öte yandan gerilim seviyesinin seçimi bir optimizasyon sorunu-
dur. Bu yüzden kayıplar için maliyetleri içeren ve tesisin tüm
boyunca gözönüne alınması gereken maliyetleri de düşünmek
gerekir. Şekil 4.2 de 1000 kilometrelik bir iletim mesafesinde güç
ve optimal gerilimin değişimi verilmiştir.



Şekil-4.8 : Katı yalıtkanlı kabloların maliyetinin gerilimle değişimi.

Doğru Akımlı Enerji İletim Sistemlerinde Harmonikler:



Şekil-4.9: Postadaki elemanların posta maliyetindeki payları.

Öte yandan gerilim seviyesinin seçimi bir optimizasyon sorunudur. Bu yüzden kayıplar için maliyetleri içeren ve tesisin tüm ömrü boyunca gözönüne alınması gereken maliyetleri de düşünmek gerekir. Şekil 4.2 de 1000 kilometrelik bir iletim mesafesinde güç ve optimal gerilimin değişimi verilmiştir.

Kablo maliyetleri de gerilimin fonksiyonu olarak değişmektedir. (Şekil-4.8:)

İstasyonlar için, en büyük yatırım maliyeti çevirici merkezlere (doğrultucu ve evirici ünitelere) aittir. Tüm alternatif ve doğru akım filtreleri, alternatif akım açma anahtarları, şönt kapasitörler, kontrol ve kumanda düzenleri ve mühendislik hizmetleri bu maliyet içersindedir.

Şekil 4.9 da istasyon maliyetlerinin ünitelere göre dağılımı gösterilmiştir. Şekil 4.10 da ise iki kutuplu bir çevirici istasyona ilişkin birim maliyet görülmektedir.

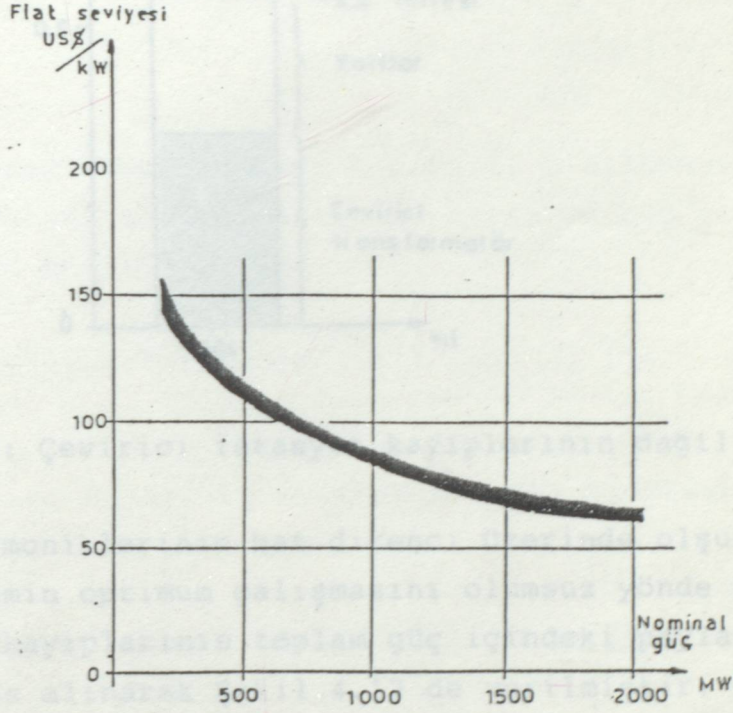
Doğru Akımla Enerji İletim Sistemlerinde Harmonikler:

Doğru akımla iletimde en etkin kayıp, hat üzerinde oluşan Joule kaybıdır. Buna işletme gerilimi 400 KV değerini aşan hatlarda korona kayıpları da eklenmektedir. Ancak korona üzerinde etkili değer gerilimin maksimum değeri olduğundan, aynı nominal değerdeki alternatif gerilimle ilteime göre daha düşük kayıp oluşacaktır. Alternatif gerilimde meydana gelen deri etkisi doğru gerilimle iletimde yoktur. Ancak doğru akımla iletimde kullanılan doğrultucu ve evirici sistemler şebekede harmonik üretirler. Yapılan incelemelerde, tek kutuplu iletim düzenlerinde 5,7,17 ve 19 numaralı akım harmoniklerinin ortaya çıktığı, halbuki iki kutuplu düzende bu dereceden harmoniklerin oluşmadığı gözlenmiştir. Şekil-4.11 de tek ve çift kutuplu iletim düzenlerindeki harmonik akım değişimleri gösterilmiştir/10/.

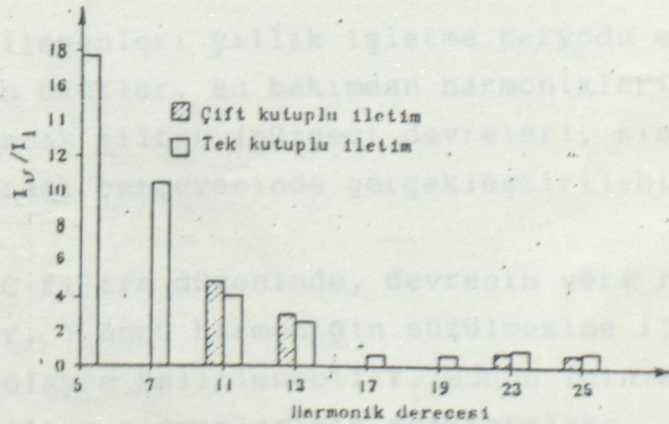
Harmonikler gözönüne alındığında, altı-yollu bir çeviricide akımın, I_1 temel bileşen cinsinden etkin değeri

$$I = I_1 \left[1 + \left(\frac{1}{5} \right)^2 + \left(\frac{1}{7} \right)^2 + \left(\frac{1}{11} \right)^2 + \dots \right]^{1/2} \quad (4.3)$$

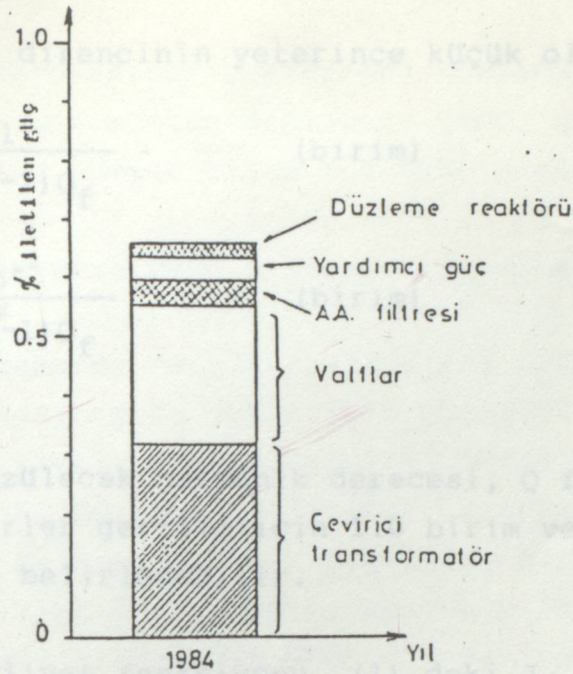
olarak ifade edilebilir /5/.



Şekil-4.10:İki kutuplu bir çevirici istasyonda birim maliyetin güce bağlı değişimi.



Şekil- 4.11: Tek ve iki kutuplu düzenlerde akım harmonikleri.



Şekil- 4.12: Çevirici istasyon kayıplarının dağılımı

Bu akım harmoniklerinin hat direnci üzerinde oluşturduğu ek kayıplar, sistemin optimum çalışmasını olumsuz yönde etkiler. Çevirici istasyon kayıplarının toplam güç içindeki payları 1984 yılı değerleri esas alınarak Şekil 4.12 de verilmiştir. Harmoniklerin etkinliğinde bu kayıplar daha da büyüyecektir.

Harmoniklerin Azaltılması İçin Alınacak Önlemlerin Getirdiği İlave Kayıplar:

Harmonik akım bileşenleri yıllık işletme periyodu esnasında ek kayıp enerjiye neden olurlar. Bu bakımdan harmoniklerin sözlmesi gerekir. Tasarlanacak filtre (süzgeç) devreleri, sistem üzerindeki yük akışı programı çerçevesinde gerçekleştirilebilir /11/.

Seri bağlı R-L-C filtre düzeninde, devrenin seri rezonansa gelme koşulu kullanılır. γ 'üncü harmoniğin süzülmesine ilişkin filtre parametreleri kolayca belirlenebilir. Bunun için ω temel frekans olmak üzere, filtre elemanlarının reaktansları

$X_L = \omega L, X_C = -1/\omega C$ ile

$$\gamma^2 = \frac{-X_C}{X_L} \quad (4.4)$$

yazılabilir. Filtre direncinin yeterince küçük olduğu kabulü ile

$$X_L = \frac{1}{(\gamma^2 - 1)Q_f} \quad (\text{birim})$$

$$X_C = \frac{-\gamma^2}{(\gamma^2 - 1)Q_f} \quad (\text{birim}) \quad (4.5)$$

yazılabilir /10/.

Burada, süzülecek harmonik derecesi, Q filtrenin reaktif gücüdür. Temel değerler gerilim için 1.0 birim ve güç için 100 MVA seçilmiş ise, Q_f de belirlenebilir.

Filtrenin maliyet fonksiyonu, (1) deki J_0 ile

$$F = F_0 + J_0 F_S \quad (4.6)$$

şeklinde yazılabilir. Burada F_0 filtrenin tesis giderlerini, F_S ise filtrenin kayıplarını göstermektedir.

Filtrenin kayıplarının ihmal edilebildiği durumlarda

$$F \cong F_0 \quad (4.7)$$

olacaktır.

HVDC ile Kablolu Enerji Nakli

Havai hatlarda anlatılan şartlarla, kablo ile enerji nakil sistemi de yapılabilir. HVDC ile enerji nakil sistemlerindeki kablo sayısı benzer AC sistemlerden daha azdır. DC enerji naklinde, kablo daha iyi işletme özelliklerine sahip olur. Çünkü HVDC de kablo boyuna bağlı reaktif güç problemi yoktur. Buna ilave olarak dielektrik kayıpları da ihmal edilebilir. Bu özellikler HVDC sistemin HVAC sistemden daha ekonomik olduğu kritik bir mesafeyi gündeme getirir. Bu mesafe, uygulamaya bağlı olarak 30 ila 60 km arasında değişmektedir. 40 km den sonra HVAC kablolar, reaktif güç komkompansasyonu yapacak ara istasyonlar kurmak şartıyla tesis edilebilirler.

Denizaltı kablolarında reaktif güç kompanzasyonu yapacak ara istasyonlar tesis etmek mümkün değildir. HVDC, uzun mesafeli deniz altı enerji iletimini mümkün kılan tek teknik çözümdür.

4.4 AC Sistemlerin HVDC Sistemleri ile Bağlanması

HVDC, aynı zamanda farklı frekanslara sahip sistemlerin birbiri ile bağlanmasında da tek teknik çözümdür. Aynı frekanslarda işletilen fakat farklı frekans kontrol metodlarını kullanan bir AC link hattının, her iki tarafındaki sistemde tam olarak koordinasyonlu değilse çalışması mümkün değildir. Burada da HVDC, interkonnekte edilmiş sistem uygulamasını mümkün kılan bir çözümdür. Interkonnekte edilmiş sistemlere HVDC'nin getirdiği en önemli avantajlardan biri genaratör kurulu güç kapasitesinin korunmasını sağlamaktır. Korunan bu kapasitenin sağladığı kazanç , HVDC hatlarının maliyetini olumlu yönde etkileyecektir.(6)

Değişik güç sistemlerinin birbirlerine bağlı olduğu hallerde (mesela: Hidroelektrik santrali ile termoelektrik santralinin bağlı olduğu bir interkonnektif sistem uygulamasında) HVDC, her durum için en uygun üretim dengesini sağlayabilir. Eğer bir sistemdeki hidroelektrik enerji üretiminde bir artış varsa bu düşük maliyetli enerji diğer sistemlere iletilebilir. Veya hidroelektrik santrallerde su depolamak gerekiyorsa bunun için gerekli olan enerji sistemdeki termoelektrik santrallerden karşılanabilir. Bu durumda söz konusu olan kazançlarda HVDC'nin maliyetini azaltan faktörlerdir.

HVDC Sistemlerin AC sistemlere Entegrasyonu

AC Sistemlerin geliştirilmesinde sık sık yük akış inşa edilerek ve/veya regülasyon transformatörleri ile çözülmek zorundadır. Bu durumda HVDC bir çok avantajlar ihtiva eden alternatif bir çözümdür. Bu avantajları kontrol özelliklerinden dolayı sağlar. HVDC ile nakledilen enerji, sistemdeki şartlara bağlı olmadan kontrol edilebildiği için AC sistemlerden daha üstün performansa sahiptir.

4.5. HVDC'nin Sistem Şekline Bağlı Avantajları:

Tablo 4.2 HVDC sistem şekillerinin ekonomik ve teknik avantajlarını göstermektedir. Tabloda ele alınan HVDC şekilleri (metodları) Uzun mesafe enerji nakli, kablo ile enerji nakli, inter-konnektif sistem uygulaması ve AC sistemlere HVDC integrasyonu'dur.

ENERJİ NAKİL METODLARI

TEKNİK ÖZELLİKLERİ

EKONOMİK AVANTAJLARI

Uzun mesafe enerji nakli

- . Sınırsız enerji nakil mesafesi
- . Stabilitate problemi yoktur
- . Havai enerji nakil hatlarına ve kablo hatlarına kolaylıkla uygulanabilme
- . Nakil sisteminde reaktif güç problemi yoktur
- . AC sistemlerin frekansından bağımsızdır.

Kablo ile Enerji Nakli

- . Teknik açıdan tek çözüm
- . Düşük nakil masrafı vardır
- . Küçük right-of-way mesafesi gerektirir

İnterkonnektif Sistem operasyonu

- . AC sistemlerin frekansından bağımsızdır.
- . Sistem şartlarından bağımsız yüksek hızlı kontrol imkanı verir
- . AC sistemin kısıdevre gücünü artırmaz

- . AC sistem kapasitesini ve rezerv kapasiteyi korur
- . AC sistemin performansını artırır

AC sisteme İntegrasyon

- . AC sistemlerin frekansdan bağımsızdır
- . Sistem şartlarından bağımsız yüksek hızlı kontrol imkanı verir
- . AC sistemin kısıdevre gücünü artırmaz.
- . Havai enerji nakil hatlarına ve kablo hatlarına kolaylıkla uygulanabilme

- . AC sistemin daha iyi işletilmesini sağlar
- . AC sistem kapasitesini ve rezerv kapasiteyi korur
- . AC sistemin performansını artırır
- . AC sistemin daha iyi işletilmesini sağlar
- . İyi bir yük akış kontrolü sağlar
- . Küçük right-of-way mesafesi gerektirir

Tablo 4.2 : HVDC'nin sistem şekline bağlı avantajları

5. HVDC nin TÜRKİYE' DE UYGULANABİLİRLİĞİ

İkinci bölümde incelendiği gibi ülkemiz elektrik enerjisi açısından dünya ülkeleri arasında ön sıralarda değildir. Türkiye, tüm dünya ülkeleri arasında yapılan sıralamada fert başına elektrik tüketimi açısından 99.sırada yer almaktadır. Orta ve uzun dönemli planlarda yer alan tesislerin programlandıkları tarihlerde devreye girmeleri halinde kurulu gücümüz 38853 MW'a, 2010 yılında ise 64449 MW'a yükselecektir. Üretimin ise 1985-1990 yılları arasında % 17 lik bir artışla 1985 yılındaki 34213 GW'den 1990 yılında 76259 GW'A yükselmesi programlanmıştır. Üretimin 5 yıl içerisinde 2'ye katlanması öngörülmüştür.

Bu üretim artışını sağlamak üzere 12 termik santral ve 25 hidroelektrik santrali inşası devam etmektedir. Bu santraller 1990 yılına kadar devreye alınacaklardır (çizelge 2.18). 1990 yılına kadar devreye alınacak santraller arasında 8900 GWh üretim kapasitesiyle ATATÜRK, 1632 GWh üretim kapasitesiyle ALTINKAYA, 7354 GWh üretim kapasitesiyle KARAKAYA hidra-elektrik santralleri gibi büyük kapasiteli santraller de bulunmaktadır. Bütün bu santraller ülkemizin hidro-elektrik enerji açısından büyük potansiyellere sahip doğu kesiminde bulunmaktadır. Ülkemizde sanayi tesis ve yatırımları ise batı anadolu bölgesinde ve İstanbul izmit civarında yoğun olarak kümelenmiştir. Dolayısıyla enerji üretim santralleri ile tüketim bölgeleri arasında (mesela: Keban-Ümraniye) 800 km den fazla mesafe bulunmaktadır.

Ülkemizin mevcut 380 kV AC akım enerji nakil hatları tablo 5.1 de verilmiştir.

TABLO 5.1 380 kV,AC enerji nakil hatları

Adı	Uzunluk (km)
Gölbaşı-Ümraniye	355
Keban-Ankara	550
Gökçekaya-Ümraniye	216
Seydişehir-Seyitömer	310
Gölbaşı-Gökçekaya	167
Gökçekaya-Seyitömer-İzmirli	435
Adapazarı-Ereğli	113
Tunçbilek-Seyitömer	42
H.Uğurlu-Çarşamba (batı)	19
Çarşamba-H.Uğurlu (doğu)	19
Soma-Aliağa	82
Aliağa-İzmirli	48
Bursa-Tunçbilek	88
Çarşamba-Kayabaşı	124
Keban-Elbistan	170
Elbistan-Erzin	188
Babaeski-İkitelli	150

Kaynak : TEK Türkiye Elektrifikasyon Haritası 1983

Tablodan da görüldüğü gibi 6 hat hariç enerji nakil hattı mesafeleri 100 km'nin üzerindedir. Keban Ankara hattı 550 km, Gölbaşı-Ümraniye, Seydişehir-Seyitömer, Gökçekaya-Seyitömer-İzmirli hatları ise 300 km'nin üzerindedir.

Keban hidro-elektrik santralının üretim kapasitesi 6220 GWh, kurulu gücü 1370 MW tır. 1370 MW kurulu gücü ve 550 km hat uzunluğunu tablo 4.1 deki hatlarla karşılaştırdığımızda bu hattın mesafe açısından 7. sırada güç açısından ise 5. sırada olduğunu görürüz. Bu mesafe ve güç değerleri için HVDC ne kadar ekonomiktir? Bunu aşağıdaki örnek sayısal uygulama ile görebiliriz.

-5.1. Sayısal Bir Uygulama

Doğru akımla enerji iletiminin Türkiye'deki uygulanabilirliğini ekonomik açıdan ortaya koymak için, seçilen belirli bir güzergah-
ta yüksek gerilim doğru akımla enerji iletiminin tasarımı ve proje-
si yapılmıştır. Söz konusu güzergahta bulunan mevcut alternatif
akım sistemine ilişkin teknik özellikler aşağıda verilmiştir. /16/

İşletme gerilimi, $U=380$ kV

İletken tipi $= 954$ MCM (Cardinal, Tek Yönetmeliği).

İletken çapı, $= 30,4$ mm.

İletkenin birim ağırlığı. $g= 1.83$ kg/m

Akım taşıma kapasitesi, $I_{max} = 1090$ A

(Bu değer güneş etkisi yokken, emisyon faktörü 0,5 rüzgar
hızı 0,6 m/s, çevre sıcaklığı 25° C ve iletken sıcaklığı 75° C
iken geçerlidir).

İletkenin toplam kesiti, $q=546.2$ mm²

İletkenin doğru akım direnci (20° C de).

$R_{DC} = 0,058$ Ω /km

İletkenin alternatif akım direnci (75° C de).

$R_{AC} = 0,073$ Ω /km

Direk açıklığı, $a = 350$ m

Direk Modeli Şekil-5.1.

Toplam direk ağırlığı (III. Bölge için), $G_{direk} = 7300$ kg.
Güzergah uzunluğu, $l = 100$ km.

Alternatif akım sistemi üzerinde 1000 A lik yük akımı se-
çilecek olursa, iletilecek aktif güç ,P

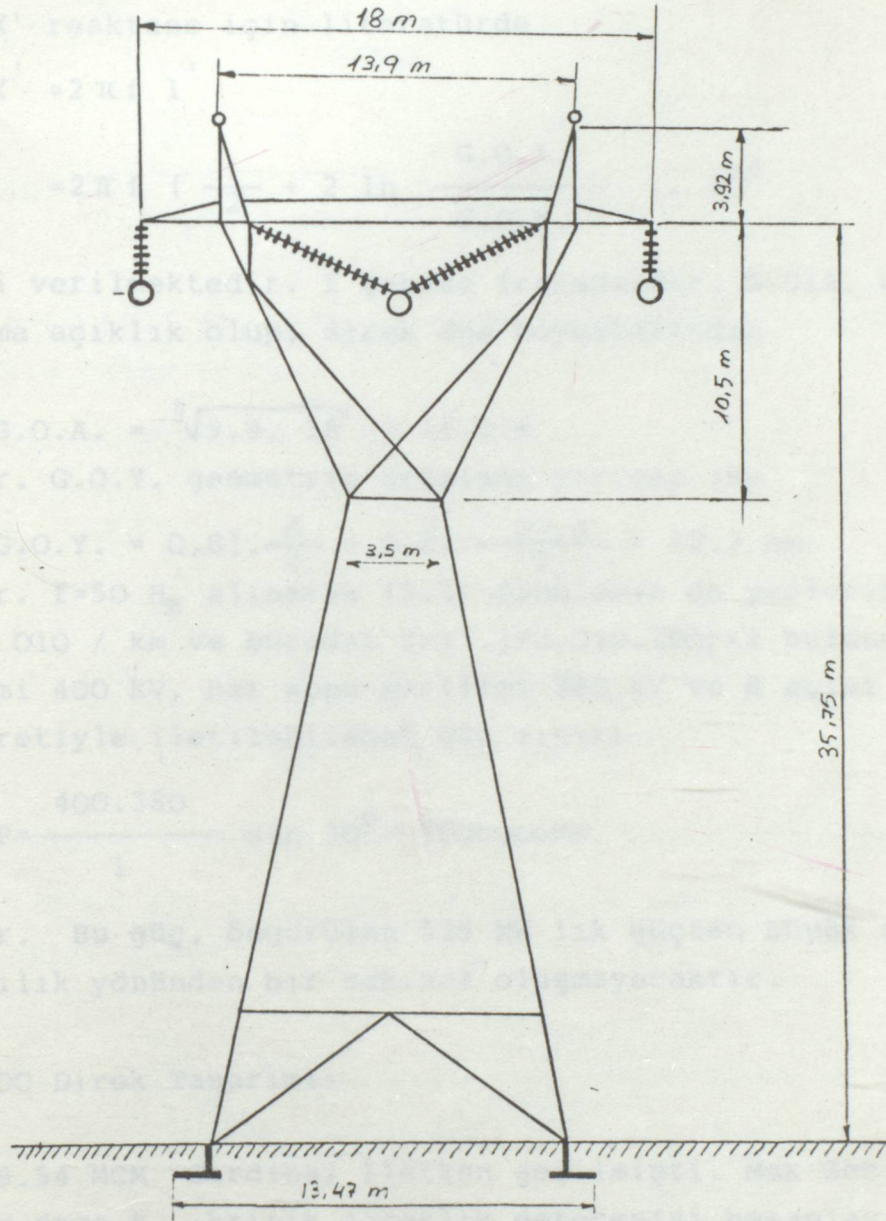
$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi = \sqrt{3} . 380 . 1000 . 0,8 = 525 \text{ MW}$$

bulunur. Güç katsayısı için ortalama 0,8 değeri alınmıştır.

İletkenin taşıyacağı maksimum akım kapasitesi aşılmadığı için
(1090 A > 1000 A). İletken bu güçle yüklenebilir. Kararlılık açı-
sından da bir kontrolün yapılması zorunludur. Buna göre hat ba-
şı ve hat sonu iki nokta arasın da iletilebilecek güç

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta \quad (5.1)$$

bağıntısıyla hesap edilir. δ açısı hat başı ve hat sonu gerilim



Şekil-5.1. Alternatif akım enerji iletim sisteminde kullanılan direk modeli (Direk tipi "Taşıyıcı" olup, III. Buz Bölgesinde bulunduğu kabul edilmiştir) /16/

fazörleri arasındaki açı olup, U_1 ve U_2 hat başı ve hat sonu gerilimleridir. X hat reaktansı ise

$$X = X' - 1 \quad (5.2)$$

şeklindedir. X' , hattın birim uzunluğunun reaktansı (Ω/km ve l hat uzunluğudur (km).

X' reaktans için literatürde

$$X' = 2 \pi f l'$$

$$= 2 \pi f \left(\frac{1}{2} + 2 \ln \frac{\text{G.O.A.}}{\text{G.O.Y.}} \right) \cdot 10^4 \quad (5.3)$$

ifadesi verilmektedir. f şebeke frekansıdır. G.O.A. geometrik ortalama açıklık olup, direk ana boyutlarından

$$\text{G.O.A.} = \sqrt[3]{9.9 \cdot 18} = 11.3 \text{ m}$$

bulunur. G.O.Y. geometrik ortalama yarıçap ise

$$\text{G.O.Y.} = 0,81 \cdot \frac{d}{2} = 0,81 \cdot \frac{30,4}{2} = 12.3 \text{ mm}$$

bulunur. $f=50 \text{ Hz}$ alınarak (5.3) denklemin de yerlerine konulursa $X' = 0,010 / \text{km}$ ve buradan $X=x' \cdot (=0,010 \cdot 100)=1$ bulunur. Hat başı gerilimi 400 KV, hat sonu gerilimi 380 kV ve δ açısı 30° alınmak suretiyle iletebilecek güç sınırı

$$P = \frac{400 \cdot 380}{1} \sin 30^\circ = 760000 \text{ MW}$$

bulunur. Bu güç, öngörülen 525 MW lık güçten büyük olduğu için kararlılık yönünden bir sakınca oluşmayacaktır.

DC Direk Tasarımı:

9.54 MCM Cardinal İletken seçilmişti. Max Sehimin tayin etmeden önce t_{kr} kritik sıcaklık derecesini hesaplayalım:

$$t_{kr} = \frac{\sigma_{\max} \cdot \epsilon_e}{\epsilon_t} \cdot \frac{\gamma_b}{\gamma_i + \gamma_b} - 5 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

$$\sigma_{\max} = 10 \text{ kg/mm}^2$$

$$\epsilon_t = 1,95 \cdot 10^{-5} \text{ } 1/^\circ\text{C}$$

$\xi_e = 1/5000 \text{ mm}^2/\text{kg}$ seçelim.

$$\gamma_i = \frac{g_i}{q} = \frac{1,83}{546,2} = 3,35 \times 10^{-3} \text{ kg/mm}^2$$

$$\gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0,3 \sqrt{30,4}}{546,2} = 3,02 \times 10^{-3}$$

$$t_{kr} = \frac{10. \quad 1}{1,95 \cdot 10^{-5} \cdot 5000} \cdot \frac{3,02 \cdot 10^{-3}}{3,02 \cdot 10^{-3} + 3,35 \cdot 10^{-3}} = 43,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$43,6 > 40^\circ\text{C}$ ($t_{kr} > t_{max}$) olduğu için maksimum Şehim -5°C buz yüklü halde oluşur.

Kritik Direk Açıklığı Kontrolü:

$$a_{kr} = 2 \cdot \sigma_{max} \frac{6 \xi_t (t_2 - t_1)}{2^2 - 1^2}$$
$$= 2 \cdot 10 \frac{6 \cdot 1,95 \cdot 10^{-5} (-5 + 25)}{(6 \cdot 37 \cdot 10^{-3})^2 - (3 \cdot 02 \cdot 10^{-3})^2} = 173 \text{ m}$$

$a = 350 \text{ m}$ alıyoruz (1km'de 3 direk kabul ediyoruz)

$173 \text{ m} < 350 \text{ m}$ ($a_{kr} < a$) olduğu için max gerilme -5°C buz yüklü halde oluşur.

$$f_{max} = \frac{(\gamma_i + \gamma_b) a^2}{8 \cdot \sigma_{max}} = \frac{6,37 \cdot 10^{-3} \cdot 350^2}{8 \cdot 10} = 9,8 \text{ m}$$

HVDC Direk Ana Boyutlarının Belirlenmesi:

HVDC enerji iletimi için şekil 5.2 de gösterilen direk seçelim. Toprak tel: 70 mm² galvanizli çelik tel, (g=65,8 mm², d=10,5 mm, g_c =0,525 kg/m) alınabilir.

İletim gerilimi U=400 kV (Gerilimin tam sürülmüş olduğunu kabul ediyoruz).

İletkenler arası minimum mesafe:

$$D_1 = 0,5 \sqrt{I_{\max}} + 1,2$$

(Yukarıdaki formül kuvvetli Akımın etkisiyle yavaş yavaş alınıp $1/\sqrt{2}$ Sayısı, de formül ikinci üyesi eklenmiştir).

$$D_1 = 0,5 \sqrt{10 \cdot 3,5} + \frac{400}{\sqrt{2} \cdot 150} = 1,88 + 1,88 = 3,8 \text{ m.}$$

İletkenle demir aksam arası minimum mesafe:

$$D_2 = \frac{U}{\sqrt{2} \cdot 150} + 0,05 = 2 \text{ m}$$

İzalatör Seçimi:

Mekanik Yüden: $7,5 \cdot 10^4 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 9,5 \cdot 10^4 \text{ kg}$
(1 saatlik kontrol yükü)

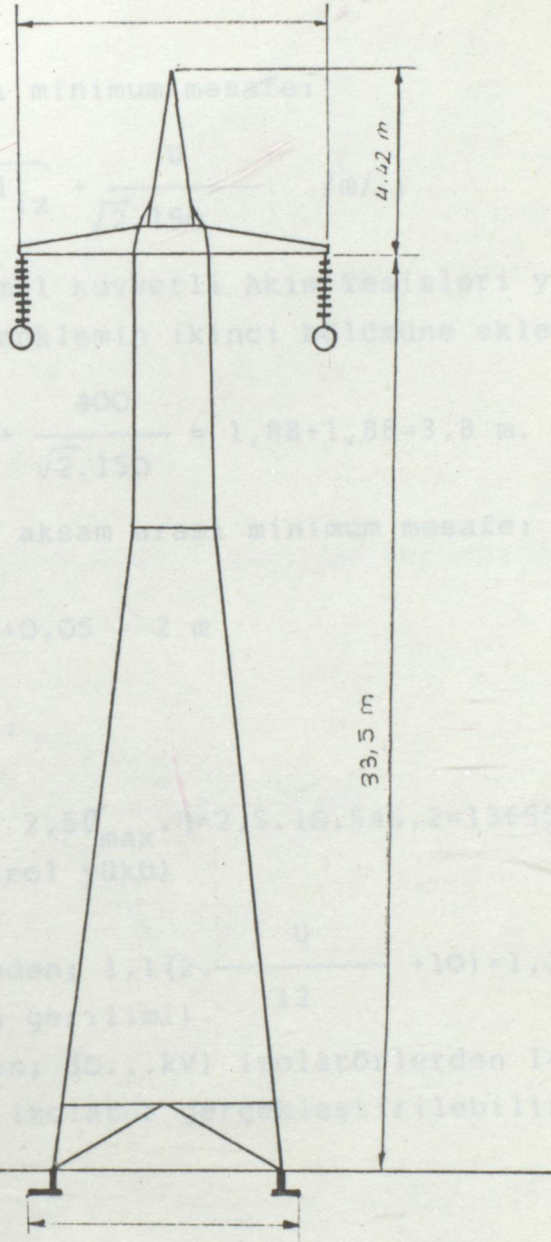
Elektriksel Yüden: $1,1 \cdot 10^4 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 1,3 \cdot 10^4 \text{ kg}$
(Yağ ark etkisi göz ardı)

K7 tipi (6,3 ton, 10 kV) izolatörlerden 14 tane kullanılabilir.

$g_{\text{iz}} = 16 \text{ kg/21cm}$

$1_{\text{iz}} = 0,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 \cdot 1,1 = 0,13 \text{ m}$

$D_{\text{iz}} = 0,13 \cdot 14 \cdot 16 = 27,5 \text{ kg}$



Şekil-5.2. HVDC direği

HVDC enerji iletimi için şekil 5.2 de gösterilen direği seçelim. Toprak teli 70 mm^2 galvanizli çelik tel, ($g=65,8 \text{ mm}^2$, $d=10,5 \text{ mm}$, $g_t = 0,525 \text{ kg/m}$) alınabilir.

İletim gerilimi $U=400 \text{ kV}$ (Gerilimin tam süzölmüş olduğunu kabul ediyoruz).

İletkenler arası minimum mesafe:

$$D_1 = 0,5 \sqrt{f_{\max} + l_{iz}} + \frac{U}{\sqrt{2.150}} \quad /m/$$

(Yukarıdaki formül kuvvetli Akım Tesisleri yönetmeliğinden alınıp $1/\sqrt{2}$ Sayısı, denklemin ikinci bölümüne eklenmiştir).

$$D_1 = 0,5 \sqrt{10+3,5} + \frac{400}{\sqrt{2.150}} = 1,88+1,88=3,8 \text{ m.}$$

İletkenle demir aksam arası minimum mesafe:

$$D_2 = \frac{U}{\sqrt{2.150}} + 0,05 = 2 \text{ m}$$

İzalatör Seçimi:

Mekanik Yönden: $2,5 \sigma_{\max} \cdot g = 2,5 \cdot 10 \cdot 546,2 = 13655 \text{ kg}$
(1 saatlik kontrol yükü)

Elektriksel Yönden: $1,1 \left(2 \cdot \frac{U}{12} + 10 \right) = 1,1 \left(\frac{2 \cdot 400}{12} + 10 \right) = 633 \text{ kV}$
(Yaş ark atlama gerilimi)

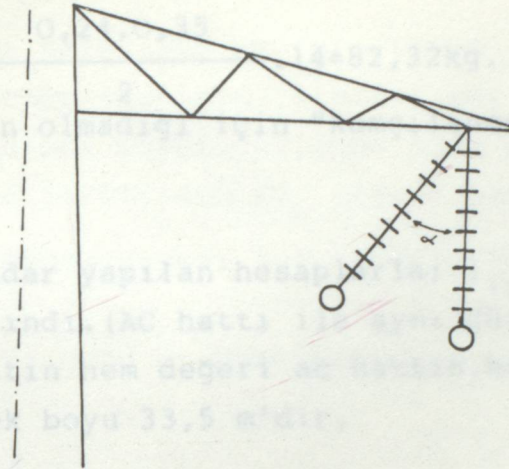
K7 tipi (6,8 ton; 30...kV) izolatörlerden 14 eleman kullanılarak uygun zincir izolatör gerçekleştirilebilir.
(Şekil:-5.3).

$g_{iz} = 16 \text{ kg/Zincir}$

$l_{iz} = n \cdot B \cdot l, l = 14 \cdot 0,24 \cdot 1,1 = 3,5 \text{ m}$ (Şekil-5.3)

$G_{iz} = n \cdot g_{iz} = 14 \cdot 16 = 224 \text{ kg.}$

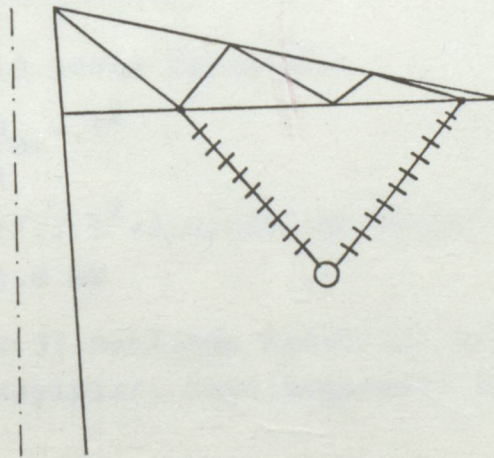
$W_{iz} = G_{iz} \cdot h = 224 \cdot 30,4 \cdot 10^{-3} = 6808,96 \text{ kg.}$



Şekil-5.3

İzolatörler Şekil-5.4'deki gibi bağlandığından

$$(Giz)_{Toplam} = 224 \times 2 = 448 \text{ Kg.}$$



Şekil-5.4

$$\tan \alpha = \frac{W_i + W_{iz} / 2}{G_i + G_{iz} / 2} \quad (\text{Şekil-5.3})$$

$$W_i = C.Q.d.10^{-3}$$

$$= 1.53.30,4.10^{-3}.350 = 564 \text{ kg.}$$

$$W_{iz} = 1.70. \frac{B.D}{2} . n$$

$$= 2.70. \frac{0,24.0,35}{2} . 14 = 82,32 \text{ kg.}$$

Üst üste iletken olmadığı için "kamçılanma" kontrolüne gerek yoktur.

Buraya kadar yapılan hesaplarla; $l_{iz} = 3,5 \text{ m}$, $f_{\max} = 10 \text{ m}$. bulundu. hem $= 20 \text{ m}$ alındı. (AC hattı ile aynı güzerhag söz konusu olduğu için, dc hattın hem değeri ac hattın, hem ile aynı alındı) Bu durumda direk boyu $33,5 \text{ m}$ 'dir.

Ekonomik Yönden Karşılaştırma:

Elektriksel Yönden,

Joule Kayıpları:

$$P_{kac} = 3R_{ac}.I^2$$

$$R_{ac} = r'.l = 0,073.100 = 7,3 \Omega/\text{faz}$$

$I = 1000 \text{ A}$ alınmıştı

$$P_{kac} = 3.7,3.(1000)^2 = 21,9 \text{ MW}$$

DC Hattın joule kayıpları:

$$P_{kdc} = 2.R_{dc}.I^2$$

$$R_{dc} = r'.l$$

$$P_{kdc} = 2.r'.l.I^2 = 2.0,059.100(1000)^2$$

$$P_{kdc} = 11,8 \text{ MW}$$

HVDC enerji naklinde konvertör kayıpları da söz konusu olmaktadır. Bu kayıpları hava soğutmalı sistem için 1 kW/MW alabiliriz.

(Kaynak: BBC Power transmission Nilson River HVDC Converter stations)

HVDC Hattı ile nakledilen güç: 525 MW 'ti Konverter istasyonlarındaki kayıp güç: 525 kW

Korona Kayıpları:

Şekil-5.5 yardımıyla

AC KORONA KAYBI: 380 kV için $140 \text{ kW/mil} = 87 \text{ kW/km}$

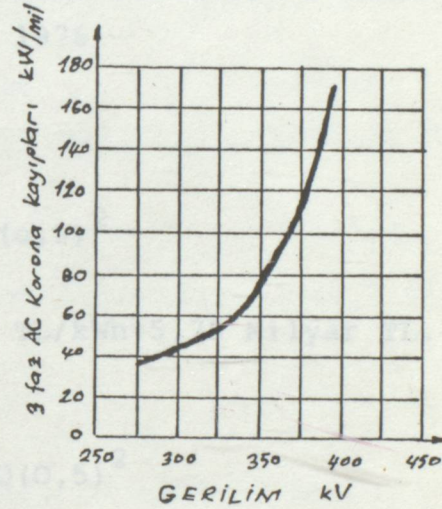
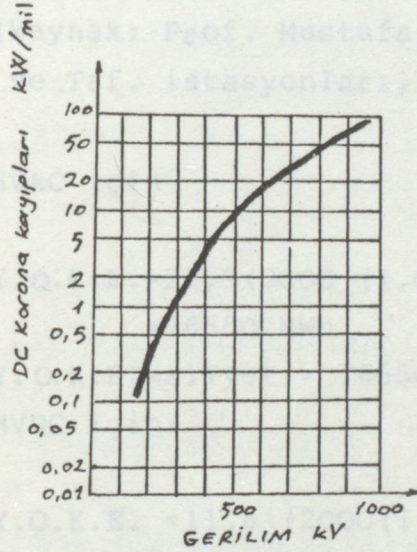
(Bu değer üç faz için, 1 mil=1,609 km)

Toplam korona kaybı: $87 \cdot 100 = 8700 \text{ kW}$

DC KORONA KAYBI: 400 KV_b için $5 \text{ kW/mil} = 3,1 \text{ kW/km}$

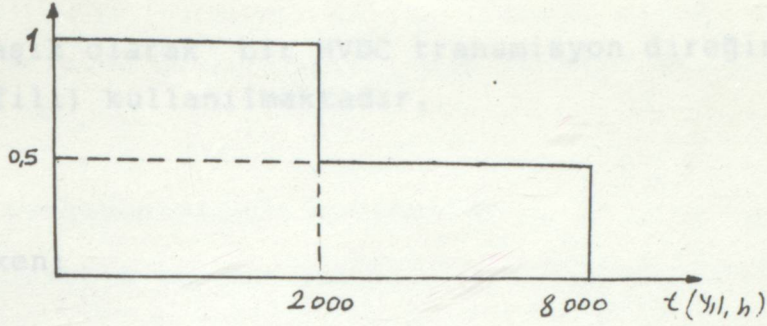
Toplam korona kaybı: $3,1 \cdot 100 = 310 \text{ kW}$

Şekil-5.5: HVDC ve HVAC hatların korona kayıpları



Yıllık Ortalama Kayıp Enerji:

Yıllık yükleme (brm)



Şekil -5.6. Yıllık ortalama kayıp enerji

(kaynak: Prof. Mustafa Bayram. Elk. Tesisleri Dersleri sant-raller ve Trf. istasyonları, İ.T.Ü., 1976)

HVAC için

$$Y.O.K.E. = 21,9 (2000 (1,0)^2 + 6000 (0,5)^2) \\ = 76650 \text{ MWh}$$

$$Y.O.K.E. \text{ Maliyeti} = 76650 \text{ MWh} \cdot 75 \text{ TL/kWh} = 5,75 \text{ Milyar TL.}$$

HVDC için:

$$Y.O.K.E. = 11,8 (2000 (1,0)^2 + 6000 (0,5)^2) \\ = 40,4 \text{ MWh}$$

$$Y.O.K.E. \text{ Maliyeti} = 40,4 \text{ MWh} \cdot 75 \text{ TL/kWh} = 3,03 \text{ Milyar TL.}$$

Mekanik Yönden karşılaştırılması

III. Bölgede 1 km'de 3 direk olduğu kabul edilerek HVAC'ye ilişkin direk demir ağırlığı 22 ton/km alınabilir. (Kaynak: H. Dengiz Enerji Hatları Mühendisliği)

III. Bölgede HVDC'ye ilişkin bir direğin ağırlığı:

Direkte kullanılan toplam L profili:

Traverslerde: 200 kg

Köşegenlerde : 4000 kg

Dikmelerde: 990 kg

Bağlantı v.b.(%10): 519

TOPLAM: 5709

Yaklaşık olarak bir HVDC transmisyon direğinde 5700 kg demir (L Profili) kullanılmaktadır.

İletken:

HVDC ve HVAC Hatlarında MCM 954 Cardinal iletken kullanılmıştır.

İletkenin birim ağırlığı: 1,83 kg/mt

Birim fiyatı= 2850 TL/kg

Hat uzunluğu= 100 km

AC Hat için kullanılan iletken =549 ton

AC hat için kullanılan iletken maliyeti =1564,65 Milyon TL.

DC Hat için kullanılan iletken =366 ton

DC hat için kullanılan iletken maliyeti =1043,1 Milyon TL.

TRİSTÖR GRUPLARI:

Bir tristörün özellikleri (ABB, CS 1104-50 Lol):

$V_{ORM}/V_{RRM} = 5000 \text{ V}$

$I_{TRMS} = 3200 \text{ A}$

$I_{TAVM} = 1300 \text{ A}$

$F = 30 \text{ KN}$

Birim fiyatı = 5 Milyon TL (5000 DM)

Konverter Tipi = Üç fazlı köprü

Gerilimi = $\pm 400 \text{ kV}$

Bir tristör grubunda

kullanılan tristör sayısı = $400 \text{ kV}/5 \text{ kV} = 80 \text{ adet}$

HVDC Hattın her iki tarafındaki

HVDC istasyonunda kullanılan

tristörlerin toplam sayısı = $2.2.6.80 = 1920$ adet

(Formül=HVDC istasyon sayısı.(+400KV olduğu için). Bir kon-
verterdeki tristör grubu sayısı. Bir tristör grubundaki tristör
sayısı).

HVDC istasyonlarında kullanılan

tristörlerin toplam maliyeti = 5 Milyon TLx1920=9,6 Milyar TL.

HVDC İstasyonu Toplam maliyeti = 120,5 Milyar TL (250 Mil-
yâr Swidishkr).

(Kaynak: HOCHSPANNUNGS-GLEICHSTROM-KURZKUPPLUNG-DURNROHR
December 1979).

(Not: \$ 1,00 =Swedish kr 4,15, \$1,00=2000 TL alınmıştır).

Şekil -5.6: HVAC ve HVDC'nin 100 km için kullanılan mal-
zemeler ve kayıplar açısından karşılaştırılması

Açıklama	HVAC	HVDC
Toplam direk ağırlığı	2190 ton	1710 ton
iletken uzunluğu	300 km	200 km
iletken ağırlığı (954MCM:1,83kg/m)	549 ton	366 ton
Joule kayıpları	21,9 MW	11,8 MW
Yıllık Enerji Kaybı	76,7 GW	40,4 GW
Kullanılan toplam tristör	-	1920 adet

Ek-1'de L= 100 km. L= 355 km (Gölbaşı Ümraniye Hattı),
L= 550 km (Keban-Ankara Hattı L =905 (Keban-Ümraniye Hattı) ve
L =1017 km (Atatürk Barajı İzmir) Güzergahları için bilgisayar-
la HVAC ve HVDC'nin karşılaştırmaları yapılmıştır.Nakledilen güç
525 MW ve gerilim 380 kVAC,+400 kV DC'dir.

5.2 SONUÇ

HVDC enerji nakli yüksek güç ve uzun mesafeler için HVAC enerji naklinden çok daha ekonomiktir. Ek-1'de bazı güzergahlar için hesaplanmış HVAC ve HVDC maliyetlerini karşılaştırdığımızda bunu açıkça görürüz.

Belirli bir gerilim seviyesi ve nakil gücü için konverter tesisi maliyetinin sabit olduğunu söyleyebiliriz. 7400 kV, 525 MW'lık bir tesisin konvertör tesisleri tahmini 50 Milyar TL. civarında ek mali külfet getirmektedir. Bununla birlikte diğer bütün ekonomik parametrelerde HVDC enerji nakli avantajlıdır. Mesafe uzadıkça bu avantaj daha da artmaktadır. Tablo-5.6'da çeşitli güzergahlar için direk, iletken ve kayıp enerji maliyetleri karşılaştırılmıştır. HVDC enerji naklinde direk maliyeti %22, iletken maliyeti %33 ve yıllık enerji kaybı %47 daha azdır.

Güzergah	Mesafe (km)	Malzeme	HVAC Maliyeti (Milyar TL)	HVDC Maliyeti (Milyar TL)
Gölbaşı- Ümraniye	355	Direk	4,400	3,432
		İletken	1,565	1,043
		Y.T.Enerji kaybı	5 751	3 045
Keban- Ankara	550	Direk	15,620	12,184
		İletken	5,554	3,703
		Y.T.Enerji Kaybı	20 416	10 810
Keban- Ümraniye	905	Direk	24,200	18,877
		İletken	8,605	5,737
		Y.T.Enerji Kaybı	31630	16747
Atatürk HES İzmir	1017	Direk	39,820	31,062
		İletken	14,160	9,440
		Y.T.Enerji Kaybı	52046	27557
Atatürk HES İzmir	1017	Direk	44,748	34907
		İletken	15,912	10,608
		Y.T.Enerji Kaybı	58488	30968

Tablo-5.7: HVAC direk ve iletken maliyetinin HVDC direk iletken ve konvertör maliyetine oranı (Milyar TL) (Konverter maliyeti yaklaşık 50 Milyar TL)

Güzergah	Mesafe (km)	HVAC Tesis Maliyeti	HVDC Tesis Maliyeti	HVDC/HVAC Tesis M. oranı
Gölbaşı-Ümraniye	355	21,174	65,887	3,11
Keban-Ankara	550	32,805	74,614	2,27
Keban-Ümraniye	905	53,980	90,502	1,67
Atatürk HES-İzmir	1017	60,560	95,515	1,57

Tablo-5.7 de görüldüğü gibi Atatürk HES-İzmir güzergahı için 525 MW enerji nakletmek üzere +400 kV'luk bir HVDC tesisi düşünülürse bu tesis aynı güzergah için düşünülecek aynı güç ve gerilime sahip bir HVAC enerji nakil tesisinden sadece %57 daha pahalı olacaktır. Bununla birlikte Yıllık ortalama enerji kaybı %47 daha azalacaktır. Bu yılda 27520 Milyar TL tasarruf demektir. Atatürk HES-İzmir güzergahı için HVAC ve HVDC sistemlerinin maliyetleri arasındaki 34,955 MilyarTL farkı 27520 Milyar TL'lik bu tasarruf ile karşılaştırılırsa HVDC nin tartışmasız olarak ekonomik olduğu söylenebilir.

HVDC hatların büyük güçlü uzun enerji nakitlerinde görülen bu ekonomikliğinin yanısıra özellikle kontrol edilebilme açısından getirdiği avantajlar göz önünde bulundurularak gerek mevcut gerekse planlanan güç itibarıyla ülkemizde de uygulanması gerektiği söylenebilir.

Ancak yıllardır kurulmuş sistem olan HVAC konusunda işletme, bakım ve onarım bakımından tecrübeli ve bilgili personel mevcut olmasına karşın nispeten yeni bir sistem olan HVDC'de personelin yeniden eğitilmesi veya başka elemanlarla takviye edilmesi gerekecektir.

REFERANSLAR

Çevirici sistemlerin arıza yapma ihtimali daha fazladır. Çevirici sistemlerdeki 1920 tane tristör 1920 tane arıza ihtimali demektir. Ancak günümüzde güç elektroniği sanayii hızla gelişmekte büyük mesafeler katetmektedir. HVDC sistemlerde kullanılan modüler sistemler de tamir ve bakım süresini kısaltmaktadır.

4. Elektrik üretim programı çalışmaları, TEK, Ankara 1986
5. Yeni enerji kaynakları potansiyeli ve enerji tasarrufları uygulaması çalışmaları, EİE, Ankara 1986
6. APK planlama çalışmaları, EYKE, Ankara 1986
7. Nükleer enerjinin gelişmesi ve Türkiye, AYBERG N., YAVUZ N., 1st. 1986
8. Siemens Power Eng., High-Voltage Technology Vol III 1981
9. Aspect the future of AC-EHV transmission in Germany, CIGRE Report, Bush H.G., 1978
10. Clearance of short circuit with delayed current current zeros in the Icaipo 350 kV-substation IEEE Trans. on power Appar Syst. Summer Meeting 1979
11. HVDC to illuminate darkest Africa IEEE Spectrum, Klein M., 1979
12. Planning and implementation of a long distance HVDC transmission system, Pöyh D., Ziegler W., Siemens Power Eng. 1979
13. Interconnection of power systems via HVDC links, HARDING C.F., Pöyh D., 1980
14. Doğru akımla enerji iletiminde ilave özellikler, Y. S., 1st. 1980
15. Güç Sistemleri Analizi, ÇAKIR prof. Dr. H., 1st. 1986
16. Enerji Hatları Mühendisliği, DENGİZ N., Ank. 1981.

R E F E R A N S L A R

1. Türkiye'de Elektrik Enerjisi Sorunu, KARAMAN F. T., İst. 1987
2. Türkiye'nin bugünkü ve gelecekteki enerji durumu, AYBAR E. N., SARAL R., FİKRET H., İzmir 1986
3. Enerji politikaları, ETKB , Ankara 1985
4. Uzun vadeli üretim programı çalışmaları, TEK, Ankara 1986
5. Yeni enerji kaynakları potansiyeli ve enerji tasarrufu uygulaması çalışmaları, EİE , Ankara 1986
6. APK planlama çalışmaları, ETKB , Ankara 1986
7. Nükleer enerjinin gelişmesi ve Türkiye , AYBERS N., YAVUZ H., İst. 1986
8. Siemens Power Eng., High-Voltage Technology Vol III 1981
9. Aspect the future of AC-EHV transmission in Germany. CIGRE Report, Bush H.G., 1978
10. Clearance of short circuit with delayed current current zeros in the Itaipu 550 kV-substation IEEE Trans. on power Appar Syst. Summer Meeting 1979
11. HVDC to illuminate darkest Africa IEEE Spectrum, Klein M., 1974
12. Planning and implementation of a long distance HVDC transmission system, Povh D., Ziegler W., Siemens Power Eng. 1979
13. Interconnection of power systems via HVDC links, HARDERS C.F., POVH D. , 1980
14. Doğru akımla enerji iletiminde işleme özellikleri, AY S., İst. 1980
15. Güç Sistemleri Analizi, ÇAKIR Prof. Dr. H., İst. 1986
16. Enerji Hatları Mühendisliği, DENGİZ H. Ank. 1981.

ÖZGEÇMİŞ

Mustafa DUMLUPINAR , 1963 yılında Erzurum'un Aşkale ilçesinde doğmuştur. İlköğretimine Bolu'nun Düzce ilçesinde başlamış, Çankırı'nın Ovacık ilçesinde bitirmiştir. Orta öğrenimini Çankırı Merkez ortaokulunda tamamladıktan sonra 1977 yılında Kastamonu Abdurrahmanpaşa Lisesi'ne girmiştir. 1980 yılında bu liseden mezun olmuştur. 1981 yılında SDMMMA Elektrik Müh. bölümüne girmiş, 1982 yılında İDMMA'ya yatay geçiş yapmıştır. 1986 yılında bu bölümden mezun olmuştur.

1987 yılında Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Müh. Bölümüne araştırma görevlisi olarak girmiştir. Halen bu görevi yürütmektedir.


```

10 REM ***** HVDC NIN TURKIYE'DE UYGULANABİLİRLİĞİ *****
20 REM *** LAZİ BUZERGAHLAR İCİN HVAC VE HVDC NİN KARŞILAŞTIRILMASI ***
30 REM
40 REM ***** değişkenler *****
50 U=330000 : KD=30.4 : S1=1.83 : IM=1090 : KQ=346.2
60 RDC=.058 : RAC=.075 : G1=400000 : U2=330000 : ESE=1/5000
70 K=.3 : B=.24 : G12=16 : IBF=2250 : P1=3.141592
80 A=350 : GDAC=7300 : BU=1017 : I=1000 : CF1=.3
90 F=50 : E=9 : TOMAX=10 : EBST=.0000195
100 TMAX=40 : T1=-5 : T2=25 : KA=350 : N=13
110 C=1 : G=33 : D=.33 : HEM=20 : DBF=2000
120 AKK=87 : DRK=3.1 : TTF=9.6E+09 : EF=75
130 A=
140 REM ***** Hesaplar *****
150 P=GQR(3)*U*1*CF1/1000000
160 GDY=.81*KD/2
170 GDA=(E+E*B+E*I)^(1/3)
180 XU=2*3.14*F*(.3+2*LOG(GDA/GDY))* .0001
190 X=XU*BU
200 X=1
210 P1=U1*U2*SIN(P1/6)/(X*1000000)
220 GANAB=K*SOR(KD)/KQ
230 GANAI=G1/KQ
240 TXR=(TOMAX*ESE/EBST)*GANAB/(GANAI+GANAB)*5
250 GANAI=GANAB
260 GANAB=GANAB+GANAI
270 AKRT=2*TOMAX*SOR(.5*EBST*(T2-T1)/(GANAB*2-GANAI*2))
280 FMAX=(GANAI+GANAB)*A/2/5*TOMAX
290 REM HVDC Direği ana boyutları *****
300 L12=N*B*1.1
310 D1=.3*SOR(FMAX*L12)*G1/1000000*100*1000
320 D2=U1/(SOR(2)*150*1000)*.25
330 BG12=N*G12
340 BG12=BG12*2
350 W12=1*70*B*D*N/E
360 W1=D*B*KD*.001
370 TANG1=(G1+W12/3)/(S1+G12/3)
380 DB=FMAX+HEM+L12
390 REM ***** BİR BİREK İCİN L DEĞERİ HESABI YAPILIRSA *****
400 TL=200*D2/E
410 KL=4000*DB/33.3
420 DL=900*DB/33.3
430 TF=(TL+KL+DL)*1.16
440 STD=TF*BU*1000/A
450 TDFD=STD*DBF
460 TIUA=STD
470 TIUD=GDY
480 TINA=TIUA*G1
490 TIMD=TIUD*G1
500 TIFA=TINA*IM
510 TIFD=TIMD*IM
520 TAK=AKK*BU
530 TDK=DRK*BU

```

EK-1


```

10 REM ***** HVDC 'NIN TURKIYE'DE UYGULANABILIRLIGI *****
20 REM *** BAZI GUZERGAHLAR ICIN HVAC VE HVDC 'NIN KARSILASTIRILMASI ***
30 REM
40 REM ***** degiskenler *****
50 U=380000! : KD=30.4 : GI=1.83 : IM=1090 : KQ=546.2
51 RDC=.058 : RAC=.073 : U1=400000! : U2 =380000! : EBSE=1/5000
52 K=.3 : B=.24 : GIZ=16 : IBF=2850 : PI=3.141592
60 A=350 : GDAC=7300 : GU=1017 : I=1000 : CFI=.8
70 F=50 : E=9 : TOMAX=10 : EBST=.0000195
80 TMAX=40 : T1=-5 : T2=25 : KA=350 : N=14
90 C=1 : Q=53 : D=.35 : HEM=20 : DBF=2000
100 AKK=87 : DKK=3.1 : TTF=9.6E+09 : EF=75
110 A$="
120 REM *****
130 REM ***** Hesaplar *****
140 REM *****
150 P=SQR(3)*U*I*CFI/1000000!
160 GOY=.81*KD/2
170 GOA=(E*E*2*E)^(1/3)
180 XU=2*3.14*F*(.5+2*LOG(GOA/GOY))* .0001
190 X=XU*GU
200 X=1
210 P1=U1*U2*SIN(PI/6)/(X*1000000!)
220 GAMAB=K*SQR(KD)/KQ
230 GAMAI=GI/KQ
240 TKR=(TOMAX*EBSE/EBST)*GAMAB/(GAMAI+GAMAB)-5
250 GAMA1=GAMAB
260 GAMA2=GAMAB+GAMAI
270 AKRT=2*TOMAX*SQR(6*EBST*(T2-T1)/(GAMA2^2-GAMA1^2))
280 FMAX=(GAMAI+GAMAB)*A^2/(8*TOMAX)
290 REM HVDC Diregi ana boyutlari *****
300 LIZ=N*B*1.1
310 D1=.5*SQR(FMAX+LIZ)+U1/(SQR(2)*150*1000)
320 D2=U1/(SQR(2)*150*1000)+.05
330 BGIZ=N*GIZ
340 BGIZ=BGIZ*2
350 WIZ=1*70*B*D*N/2
360 WI=C*Q*KD*.001
370 TANAL=(WI+WIZ/2)/(GI+GIZ/2)
380 DB=FMAX+HEM+LIZ
390 REM ***** BIR DIREK ICIN L DEMIRI HESABI YAPILACAK *****
400 TL=200*D2/2
410 KL=4000*DB/33.5
420 DL=990*DB/33.5
430 TP=(TL+KL+DL)*1.16
440 GTD=TP*GU*1000/A
450 TDFD=GTD*DBF
460 TIUA=GU*3
470 TIUD=GU*2
480 TIMA=TIUA*GI
490 TIMD=TIUD*GI
500 TIFA=TIMA*IBF
510 TIFD=TIMD*IBF
520 TAKK=AKK*GU
530 TDKK=DKK*GU

```



```

540 RACT=RAC*GU:RDCT=RDC*GU
550 PKAC=3*RACT*I^2
560 PKDC=2*RDCT*I^2
570 TIKa=P*.001
580 TYKGA=PKAC+TAKK
590 TYKGD=PKDC+TDKK+TIKA
600 YOKEA=TYKGA*(2000+6000*.5^2)
610 YOKED=TYKGD*(2000+6000*.5^2)
620 EMA=YOKEA*EF
630 EMD=YOKED*EF
640 INPUT"PRINTER (P) / EKRAN (E)";C$
650 IF C$="P" THEN GOSUB 1100 ELSE GOSUB 670
660 END
670 REM ***** SONUCLAR *****
675 CLS
680 PRINT A$
685 PRINT
690 PRINT"GUZERGAH UZUNLUGU L= "GU" KM ICIN SONUCLAR : "
700 PRINT A$
710 PRINT P1" > "P" (MW) OLDUGU ICIN STABILITE SINIRI ASILMAZ "
720 PRINT TKR" > "TMAX" ( C) OLDUGU ICIN MAX. SEHIM -5 DERECEDE BUZ YUKLU
OLUSUR"
730 PRINT AKRT" < "A " (m) OLDUGU ICIN MAX. GERILME -5 DERECE BUZ YUKLU
LUSUR"
740 PRINT"UST USTE ILETKEN OLMADIGI ICIN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK YOK
750 PRINT"hem="HEM "mt (AC HAT ILE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)"
760 PRINT A$
770 PRINT
780 GTD=GTD/1000:PRINT"GUZERGAHDAKI TOPLAM DIREK AGIRLIGI (TON)="GTD
790 PRINT"DIREK BIRIM FIATI (TL)="DBF
800 TDFA=22*GU*DBF/1000:PRINT"TOPLAM HVAC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= "T
805 TDFD=TDFD/1000000!:PRINT"TOPLAM HVDC DIREK MALIYETI (MILYON TL)="TDF
810 PRINT A$
820 PRINT
830 PRINT"HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)="TIMA
840 PRINT"HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)="TIMD
850 TIFA=TIFA/1000:PRINT"HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= "
860 TIFD=TIFD/1000:PRINT"HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= "
870 PRINT A$
880 PRINT"Devam icin [ENTER]'a basiniz":INPUT" ",B$
885 CLS
890 PRINT"HVAC ICIN KORONA KAYBI (kW)="TAKK
900 PRINT"HVDC ICIN KORONA KAYBI (kW)="TDKK
910 PRINT A$
920 PRINT
930 PRINT"TOPLAM TRISTOR MALIYETI = 9.6 Milyar TL"
940 PRINT"TOPLAM TRISTOR ADEDI = 1920 "
950 PRINT"TRISTOR BIRIM FIATI = 5 Milyon TL"
960 PRINT A$
970 PRINT
980 PKAC=PKAC/1000000!:PRINT"AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW) ":"PKAC
990 PKDC=PKDC/1000000!:PRINT"DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW) ":"PKDC
1000 PRINT"TOPLAM TRISTOR KAYIPLARI (hava sogutmali) (MW)= " TIKa
1010 PRINT"YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)"
1020 YOKEA=YOKEA/1E+09:PRINT"HVAC HAT ICIN ="YOKEA
1030 YOKED=YOKED/1E+09:PRINT"HVDC HAT ICIN ="YOKED

```



```

1040 PRINT A$
1050 PRINT
1060 PRINT"YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALİYETİ (MİLYAR TL)"
1070 EMA=EMA/1E+09:PRINT"HVAC HATTIN ="EMA
1080 EMD=EMD/1E+09:PRINT"HVDC HATTIN ="EMD
1090 RETURN
1100 REM *****
1110 REM ***** PRINTER *****
1120 REM *****
1135 LPRINT
1140 LPRINT"GUZERGAH UZUNLUGU L= "GU" KM İCİN SONUÇLAR : "
1145 LPRINT:LPRINT:LPRINT
1150 LPRINT A$
1155 LPRINT
1160 LPRINT P1" > "P" (MW) OLDUGU İCİN STABİLİTE SINIRI ASILMAZ "
1170 LPRINT TKR" > "TMAX" ( C) OLDUGU İCİN MAX. SEHİM -5 DERECEDE BUZ YU
E OLUSUR"
1180 LPRINT AKRT" ( "A " (m) OLDUGU İCİN MAX. GERİLME -5 DERECE BUZ YUK
OLUSUR"
1190 LPRINT"UST USTE İLETKEN OLMADIGI İCİN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK Y
1200 LPRINT"hem="HEM "mt (AC HAT İLE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)"
1210 LPRINT A$
1220 LPRINT
1230 GTD=GTD/1000:LPRINT"GUZERGAHDAKI TOPLAM DİREK AĞIRLIĞI (TON)="GTD
1240 LPRINT"DİREK BİRİM FİATİ (TL)="DBF
1250 TDFA=22*GU*DBF/1000:LPRINT"TOPLAM HVAC DİREK MALİYETİ (MİLYON TL)=
1255 TDFD=TDFD/1000000!:LPRINT"TOPLAM HVDC DİREK MALİYETİ (MİLYON TL)="T
1260 LPRINT A$
1270 LPRINT
1280 LPRINT"HVAC İCİN TOPLAM İLETKEN MİKTARI (TON)="TİMA
1290 LPRINT"HVDC İCİN TOPLAM İLETKEN MİKTARI (TON)="TİMD
1300 TİFA=TİFA/1000:LPRINT"HVAC İCİN TOPLAM İLETKEN MALİYETİ (MİLYON TL)
1310 TİFD=TİFD/1000:LPRINT"HVDC İCİN TOPLAM İLETKEN MALİYETİ (MİLYON TL)
1320 LPRINT A$
1330 LPRINT
1340 LPRINT"HVAC İCİN KORONA KAYBI (kW)="TAKK
1350 LPRINT"HVDC İCİN KORONA KAYBI (kW)="TDDK
1360 LPRINT A$
1370 LPRINT
1380 LPRINT"TOPLAM TRİSTOR MALİYETİ = 9.6 Milyar TL"
1390 LPRINT"TOPLAM TRİSTOR ADEDİ = 1920 "
1400 LPRINT"TRİSTOR BİRİM FİATİ = 5 Milyon TL"
1410 LPRINT A$
1420 LPRINT
1430 PKAC=PKAC/1000000!:LPRINT"AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW):";PKAC
1440 PKDC=PKDC/1000000!:LPRINT"DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW):"PKDC
1450 LPRINT"TOPLAM TRİSTOR KAYIPLARI (hava soğutmalı) (MW)= " TİKA
1460 LPRINT"YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)"
1470 YOKEA=YOKEA/1E+09:LPRINT"HVAC HAT İCİN ="YOKEA
1480 YOKED=YOKED/1E+09:LPRINT"HVDC HAT İCİN ="YOKED
1490 LPRINT A$
1500 LPRINT
1510 LPRINT"YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALİYETİ (MİLYAR TL)"
1520 EMA=EMA/1E+09:LPRINT"HVAC HATTIN ="EMA
1530 EMD=EMD/1E+09:LPRINT"HVDC HATTIN ="EMD

```


GUZERGAH UZUNLUGU L= 100 KM ICIN SONUCLAR :

75999.99 > 526.5435 (MW) OLDUGU ICIN STABILITE SINIRI ASILMAZ
 43.69279 > 40 (C) OLDUGU ICIN MAX. SEHIM -5 DERECEDE BUZ YUKLU HALDE
 211.0597 < 350
 (m) OLDUGU ICIN MAX. GERILME -5 DERECE BUZ YUKLU HALDE OLUSUR
 UST USTE ILETKEN OLMADIGI ICIN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK YOKTUR.
 hem= 20 mt (AC HAT ILE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)

GUZERGAHDAKI TOPLAM DIREK AGIRLIGI (TON)= 1716.178
 DIREK BIRIM FIATI (TL)= 2000
 TOPLAM HVAC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 4400
 TOPLAM HVDC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 3432.357

HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 549
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 366
 HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 1564.65
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 1043.1

HVAC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 8700
 HVDC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 310

TOPLAM TRISTOR MALIYETI = 9.6 Milyar TL
 TOPLAM TRISTOR ADEDI = 1920
 TRISTOR BIRIM FIATI = 5 Milyon TL

AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 21.9
 DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 11.6
 TOPLAM TRISTOR KAYIPLARI (hava sogutmali) (MW)= .5265435
 YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)
 HVAC HAT ICIN = 76.68045
 HVDC HAT ICIN = 40.60109

YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALIYETİ (MILYAR TL)
 HVAC HATTIN = 5751.034
 HVDC HATTIN = 3045.081

GUZERGAH UZUNLUGU L= 355 KM ICIN SONUCLAR :

75999.99 > 526.5435 (MW) OLDUGU ICIN STABILITE SINIRI ASILMAZ
 43.69279 > 40 (C) OLDUGU ICIN MAX. SEHIM -5 DERECEDE BUZ YUKLU HALDI
 211.0597 < 350
 (m) OLDUGU ICIN MAX. GERILME -5 DERECE BUZ YUKLU HALDE OLUSUR
 UST USTE ILETKEN OLMADIGI ICIN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK YOKTUR.
 hem= 20 mt (AC HAT ILE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)

GUZERGAHDAKI TOPLAM DIREK AGIRLIGI (TON)= 6092.433
 DIREK BIRIM FIATI (TL)= 2000
 TOPLAM HVAC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 15620
 TOPLAM HVDC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 12184.87

HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 1948.95
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 1299.3
 HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 5554.508
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 3703.005

HVAC ICIN KORDNA KAYBI (kW)= 30885
 HVDC ICIN KORDNA KAYBI (kW)= 1100.5

TOPLAM TRISTOR MALIYETI = 9.6 Milyar TL
 TOPLAM TRISTOR ADEDI = 1920
 TRISTOR BIRIM FIATI = 5 Milyon TL

AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 77.745
 DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 41.18
 TOPLAM TRISTOR KAYIPLARI (hava sogutmali) (MW)= .5265435
 YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)
 HVAC HAT ICIN = 272.2156
 HVDC HAT ICIN = 144.1339

YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALIYETİ (MİLYAR TL)
 HVAC HATTIN = 20416.17
 HVDC HATTIN = 10810.04

GUZERGAH UZUNLUGU L= 550 KM ICIN SONUCLAR :

75999.99 > 526.5435 (MW) OLDUGU ICIN STABILITE SINIRI ASILMAZ
 43.69279 > 40 (C) OLDUGU ICIN MAX. SEHIM -5 DERECEDE BUZ YUKLU HAL
 211.0597 < 350

(m) OLDUGU ICIN MAX. GERILME -5 DERECE BUZ YUKLU HALDE OLUSUR
 UST USTE ILETKEN OLMADIGI ICIN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK YOKTUR.
 hem= 20 mt (AC HAT ILE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)

GUZERGAHDAKI TOPLAM DIREK AGIRLIGI (TON)= 9438.981
 DIREK BIRIM FIATI (TL)= 2000
 TOPLAM HVAC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 24200
 TOPLAM HVDC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 18877.96

HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 3019.5
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 2013
 HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 8605.575
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 5737.05

HVAC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 47850
 HVDC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 1705

TOPLAM TRISTOR MALIYETI = 9.6 Milyar TL
 TOPLAM TRISTOR ADEDI = 1920
 TRISTOR BIRIM FIATI = 5 Milyon TL

AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 120.45
 DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 63.8
 TOPLAM TRISTOR KAYIPLARI (hava sogutmali) (MW)= .5265435
 YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)
 HVAC HAT ICIN = 421.7425
 HVDC HAT ICIN = 223.306

YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALIYETİ (MILYAR TL)
 HVAC HATTIN = 31630.69
 HVDC HATTIN = 16747.95

GUZERGAH UZUNLUGU L= 905 KM ICIN SONUCLAR :

75999.99 > 526.5435 (MW) OLDUGU ICIN STABILITE SINIRI ASILMAZ
 43.69279 > 40 (C) OLDUGU ICIN MAX. SEHIM -5 DERECEDE BUZ YUKLU HALI
 211.0597 < 350
 (m) OLDUGU ICIN MAX. GERILME -5 DERECE BUZ YUKLU HALDE OLUSUR
 UST USTE ILETKEN OLMADIGI ICIN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK YOKTUR.
 hem= 20 mt (AC HAT ILE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)

GUZERGAHDAKI TOPLAM DIREK AGIRLIGI (TON)= 15531.41
 DIREK BIRIM FIATI (TL)= 2000
 TOPLAM HVAC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 39820
 TOPLAM HVDC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 31062.83

HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 4968.45
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 3312.3
 HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 14160.08
 HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 9440.055

HVAC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 78735
 HVDC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 2805.5

TOPLAM TRISTOR MALIYETI = 9.6 Milyar TL
 TOPLAM TRISTOR ADEDI = 1920
 TRISTOR BIRIM FIATI = 5 Milyon TL

AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 198.195
 DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 104.98
 TOPLAM TRISTOR KAYIPLARI (hava sogutmali) (MW)= .5265435
 YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)
 HVAC HAT ICIN = 693.9581
 HVDC HAT ICIN = 367.4398

YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALIYETİ (MILYAR TL)
 HVAC HATTIN = 52046.86
 HVDC HATTIN = 27557.99

GUZERGAH UZUNLUGU L= 1017 KM ICIN SONUCLAR :

75999.99 > 526.5435 (MW) OLDUGU ICIN STABILITE SINIRI ASILMAZ
43.69279 > 40 (C) OLDUGU ICIN MAX. SEHIM -5 DERECEDE BUZ YUKLU HALI
211.0597 < 350

(m) OLDUGU ICIN MAX. GERILME -5 DERECE BUZ YUKLU HALDE OLUSUR
UST USTE ILETKEN OLMADIGI ICIN KAMCILANMA KONTROLUNE GEREK YOKTUR.
hem= 20 mt (AC HAT ILE DC HATTIN GUZERGAHLARI AYNI)

GUZERGAHDAKI TOPLAM DIREK AGIRLIGI (TON)= 17453.53
DIREK BIRIM FIATI (TL)= 2000
TOPLAM HVAC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 44748
TOPLAM HVDC DIREK MALIYETI (MILYON TL)= 34907.06

HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 5583.33
HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MIKTARI (TON)= 3722.22
HVAC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 15912.49
HVDC ICIN TOPLAM ILETKEN MALIYETI (MILYON TL)= 10608.33

HVAC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 88479
HVDC ICIN KORONA KAYBI (kW)= 3152.7

TOPLAM TRISTOR MALIYETI = 9.6 Milyar TL
TOPLAM TRISTOR ADEDI = 1920
TRISTOR BIRIM FIATI = 5 Milyon TL

AC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 222.723
DC HATTIN JOULE KAYIPLARI (MW): 117.972
TOPLAM TRISTOR KAYIPLARI (hava sogutmali) (MW)= .5265435
YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI (GWh)
HVAC HAT ICIN = 779.8401
HVDC HAT ICIN = 412.9131

YILLIK TOPLAM ENERJİ KAYBI MALIYETİ (MILYAR TL)
HVAC HATTIN = 58488.01
HVDC HATTIN = 30968.48



