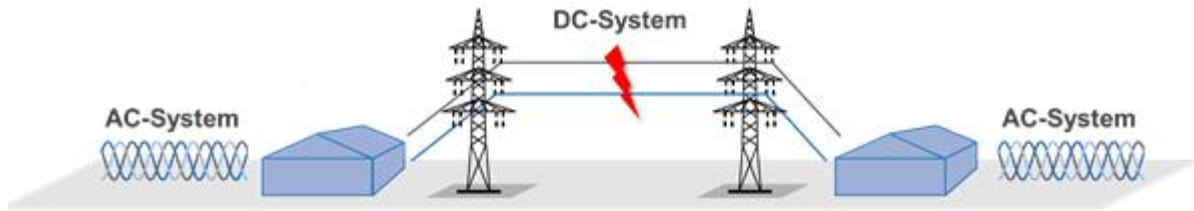


# TÜRKİYE'NİN HVDC YOL HARİTASI

## 1. HVDC TEKNOLOJİSİ:

Büyük miktarda elektrik gücünün kablo ya da iletim hatları ile iki farklı şebeke arasında DC güç olarak taşınmasını sağlayan teknolojilere HVDC sistemleri denir (Şekil 1). Güç sistemlerinin son yıllarda ciddi yapısal değişiklikler yaşamasından dolayı iletim sorunları oluşmaktadır. Elektrik şebekelerini daha kararlı ve güvenilir hale getirebilmek şebeke operatörlerinin ciddi bir görevi haline gelmiştir. Özellikle elektrik enerjisi tüketim talebinin artan nüfus ve teknoloji ile eksponansiyel olarak artması daha akıllı elektrik iletim sistemlerini kurmaya itmektedir. Bu zorlu görevi konvansiyonel sistemler ile çözmek imkansız hale gelmektedir.



**Şekil 1 – HVDC iletim sisteminin konfigürasyonu**

Pazarın ihtiyacını karşılamak için son yıllarda mühendisler alternatif çözümler bulmaya odaklanmıştır. Birçok Ar-Ge faaliyetlerinin sonucu olarak HVDC sistemlerinin avantajlı olduğu anlaşılmış ve bu alana yoğunlaşmıştır. Bilindiği gibi ilk kurulan elektrik şebekeleri DC sistemlerdir, hatta ilk iletim hatları da DC sistemlerdir. Ancak o dönemlerde gerilim seviyesinin arttırılamaması yüzünden verimli bir iletim yapılamamaktaydı. Tarihte "Akım Savaşları" olarak da bilinen AC ve DC sistemlerin yarışında DC sistemler iletim eksiklikleri yüzünden yenik düşmüş ve DC şebekeler deneysel çalışmalar haricinde tamamen ortadan kalkmıştır.

1970'li yıllarda güç elektroniği sistemlerinin gelişmesi (solid state semiconductor) DC sistemleri yeniden verimli hale getirmiş ve ticari olarak daha çok kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle thyristor tabanlı çeviricilerin geliştirilmesi yüksek DC gerilimler ile iletim sistemleri kurmayı mümkün kılmıştır. 2000'li yıllara kadar bu sistemler sadece zorunlu durumlarda kullanılmıştır (Uzun mesafeli güç iletimi ya da asenkron iki şebekenin birbirine bağlanması gibi). 2000'li yıllarda IGBT tabanlı çevirici sistemlerin geliştirilmesi HVDC iletim sistemlerine bir çok yetenek kazanmıştır. Bu yüzden HVDC iletim sistemleri daha cazip bir çözüm olmuştur.

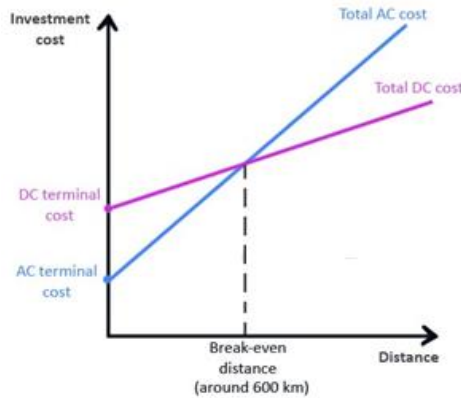
HVDC teknolojisinin önemli kilometre taşları:

- Hewitt's "mercury-vapour" çeviricisi - 1901
- 'Thyratron' deneyleri ve "mercury arc valves" teknolojisi - 1940
- Ticari HVDC iletim hattı, Gotland 1 - İsveç -1954

- "solid state semiconductor" teknolojisi - 1970
- Mikroişlemci tabanlı kontrol sistemine sahip HVDC teknolojisi - 1979
- (+/-) 600kV geriliminde HVDC teknolojisi, Itaipú /Brazil - 1984
- Aktif DC filtrelerin kullanılması (yüksek performansta) - 1994
- "Capacitor Commutated Converter" teknolojisinin kullanılması, Arjantin-Brezilya bağlantısı - 1998
- VSC-HVDC teknolojisinin kullanılması, Gotland/Sweden-1999
- "Multilevel VSC" teknolojisinin kullanılması, Transbay, San Francisco - 2005
- Offshore RES bağlantısında HVDC kullanılması, Borwin 1, 2009
- Ultra-HVDC (+/- 800 kV) teknolojisinin kullanılması, Jinping-Sunan, 2012
- 2\*1000MW gücünde VSC-HVDC teknolojisinin kullanılması, Inelfe, 2013

## 2. HVDC İLE HVAC SİSTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI:

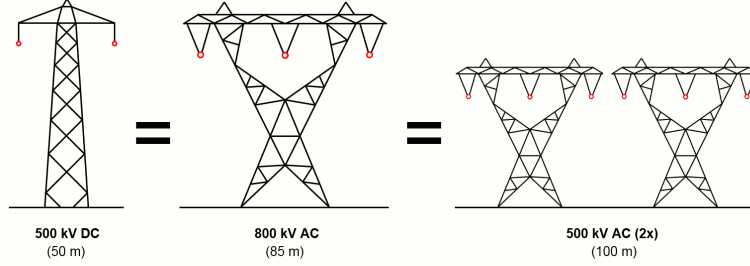
HVDC sistemler ile daha verimli güç iletimi yapılmasına karşın pahalı çevirici sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ekonomik analiz yapıldığı takdirde HVDC sistemler belli bir mesafeden sonra (breakeven distance) daha ekonomik iletim çözümleri sunmaktadır. Şekil 2'de de görüldüğü gibi uzun mesafelerde HVDC iletim sistemleri HVAC sistemlere göre daha ekonomiktir. Bu tablo projenin parametrelerine göre (gerilim seviyesi, akım seviyesi, iletim mesafesine vb.) değişeceği için genel bir tablo verilmektedir. Her proje için özel hesaplama yapılması gerekmektedir.



**Şekil 2 – HVDC ve HVAC iletim sistemlerinin ekonomik karşılaştırılması**

Günümüzde doğanın korunması daha önemli hale gelmektedir. Teknolojiler geliştirilirken ve uygulanırken çevreye olan etkileri minimum seviyede tutmak gerekmektedir. Özellikle ENTSO-E şebekesine dahil olan ülkeler için önemli bir şart olmaktadır. HVDC teknolojileri klasik HVAC çözümlerine göre çevre dostudur. Özellikle "Narrow right of way" olarak adlandırılan iletim hatlarının kapladığı alanlar

Şekil 3'de de görüldüğü gibi çok daha azdır. Bu da HVDC sistemlerin tercih edilmesinde önemli bir neden olmaktadır. Ayrıca HVDC sistemleri HVAC sistemlere göre daha az elektrik alanı, daha az corona etkisi ve daha az akustik gürültüye sebep olmaktadır [1].



**Şekil 3 – HVDC ve HVAC iletim kulelerin karşılaştırılması**

HVDC sistemlerin tercih edilme sebepleri:

- Doğaya daha az zarar vermesi
- Ekonomik olarak en ucuz çözüm olması
- Asenkron şebeke bağlantılarının mümkün olması
- Hızlı güç akışı kontrolü sağlanması
- Şebekenin kalitesini artırması (kararlılık, güç kalitesi vb.)

HVDC teknolojisi bazı şebeke operatörlerinin hala tam güvenini kazanamamıştır. Fakat HVAC ve HVDC teknolojileri Tablo 1'deki gibi kıyaslandığı takdirde HVDC teknolojisinin daha avantajlı olduğu görülecektir.

<b>HVDC iletim sistemleri</b>	<b>HVAC iletim sistemleri</b>
Düşük kayıplar	Skin efekti ve corona etkisi yüzünden daha fazla kayıplar
Daha iyi gerilim regülasyonu ve kontrol yeteneği	Limitli gerilim regülasyonu ve kontrol yeteneği
Daha fazla gücü daha uzun mesafede iletmeye yeteneği	Daha az güç iletimi
Daha az izolasyon gerekliliği	Daha fazla izolasyon gerekliliği
Daha güvenilirlik (Reliability)	Az güvenilirlik
Asenkron bağlantılar mümkün	Asenkron bağlantı mümkün değil
Daha az iletim hattı maliyeti	İletim hattı maliyeti yüksek
Daha ucuz, basit ve dar iletim hattı kuleleri	Daha pahalı ve geniş iletim hattı kuleleri

**Tablo 1 – HVDC ve HVAC sistemlerin kıyaslanması**

İtaipu HVDC bağlantısından edinilen tecrübeler ile HVAC ve HVDC sistemleri karşılaştırılmıştır [2]. Birbirine paralel olarak işletilen 765kV AC iletim hattının performansı ile +/- 600kV DC iletim hattının performansı karşılaştırılmıştır. Son 15 yılın analiz sonuçları değerlendirildiğinde, DC iletim sisteminde yıllık hata oranının **0.87** ve yıllık "Forced Energy Unavailability (FEU)" oranının **0.116** olduğu gözlenmiştir. Buna karşılık aynı analizde AC iletim sistemlerinin yıllık hata oranının **7.87** ve FEU% oranının **0.653** olduğu gözlenmektedir. Bu sonuçlar bize DC iletim sistemlerin AC iletim sistemlerine göre daha güvenilir olduğunu göstermektedir.

### **3. TÜRKİYE'DE HVDC SİSTEMLERİ:**

Bilindiği gibi Türkiye elektrik şebekesine bağlı çalışır halde bir tane HVDC sistemi bulunmaktadır. Gürcistan ile Türkiye arasında kurulu olan Karadeniz HVDC iletim hattı back-to-back topolojisine sahip olup 350MW iletim kapasitesine sahiptir. Gürcistan'dan ülkemize enerji transferi sağlayan bu sistem thyristor tabanlı bir teknolojidir.

ENTSO-E üyesi olan TEİAŞ ülkemizin elektrik şebekesinin kararlılığını artırmak için ENTSO-E üyesi olmayan komşu ülkeler ile back-to-back HVDC bağlantılar yaparak şebekenin kararlılığını ve güvenliğini artırmayı planlamaktadır. Uzun süredir üstünde çalışılan bu projeler komşu ülkelerin politik istikrarsızlıklarından dolayı bir süreliğine askıya alınmıştır. Bu da TEİAŞ'ı alternatif çözümler üretmeye zorlamıştır.

Ülkemizde HVDC teknolojisine ihtiyaç duyulan noktalar bellidir. İstanbul ve çevresinde bulunan sanayi bölgelerinin artan enerji talebini karşılamak için ülkemizde çeşitli elektrik enerjisi santralleri kurulmaktadır. Son dönemde özellikle artan yenilenebilir enerji santrallerine ek olarak Akkuyu Nükleer Santrali de ülkemizin artan enerji talebine karşılık verecektir. Ancak üretilen bu elektrik enerjisinin daha akıllıca iletimi gerekmektedir. 2015 yılında yaşanan 'black-out'da şebekemizin bu alanda zayıflıklarını göstermiştir.

Alternatif iletim yolları oluşturarak şebekemizin güvenilirliğini artırmak zorundayız. Gündemde olası 2 tane HVDC projesi bulunmaktadır. Akkuyu Nükleer Santralinde üretilen elektrik enerjisinin transferi ve Kıbrıs'ın elektrik enerjisi problemini çözmek için planlanan bir HVDC iletim hattı planlanmaktadır.

Her bir ünitesi 1200MWe gücünde olacak Akkuyu Nükleer Santrali toplamda 4 üniteden oluşacak olup 4800MWe gücüne sahip olacaktır. Bu gücün tüketimin yoğun olduğu İstanbul bölgesine iletileceği düşünüldüğü zaman en verimli çözümün HVDC sistemleri olduğu çok açık bir şekilde görülmektedir.

Olası bir Akkuyu-Istanbul HVDC iletim hattı farklı teknolojiler kullanılarak yapılabilir. Piyasada bulunan thyristor tabanlı HVDC sistemler ya da IGBT tabanlı HVDC sistemler uygulanabilir. HVDC Klasik olarak bilinen thyristor tabanlı sistemler iletim kapasitesi ve gerilim seviyesi olarak IGBT tabanlı sistemlere göre daha fazladır. Ancak teknolojilerin avantajları detaylı olarak analiz edilmelidir. HVDC klasik sistemleri "bulk power transmission" görevinde daha iyi olsa da yetenekleri limitlidir. İletim kapasitesi 12 GW ve gerilimi 1100kV seviyesine ulaşmıştır.

Özellikle thyristor modüllerinin switch-off yeteneği olmadığı için çeviricinin operasyon yeteneği limitlidir. Akımın yönünü değiştirmek için gerilimin polaritesini değiştirmek gerekir. Bu duruma ek olarak, Line Commutated Converter (LCC) olarak da bilinen thyristor tabanlı çeviriciler aktif ve reaktif güç kontrolü birbirine bağlıdır. Bu durumda da şebekeye katkıları göreceli olarak limitlidir. Bir diğer dezavantajı da DC şebekenin gerilim kontrolü mümkün olmadığı ve akımın yönünü değiştirmek için gerilimin polaritesini değiştirmek gerektiği için LCC çeviricileri ile DC şebekeler kurmak mümkün değildir. LCC tabanlı multi-terminal HVDC sistemlerinin dünya da örnekleri bulunsa da bu sistemler tam anlamıyla multi-terminal sistemler değildir. Akım yönleri sabittir ya da değişmesi için iletimin durması gerekir. Tam anlamıyla DC şebeke kurmak mümkün değildir. Ayrıca, HVDC Klasik sistemleri daha fazla yer kaplamaktadır. Kırsal bölgelerde bu sorun teşkil etmese de İstanbul gibi bir metropolde ciddi sorunlar oluşturabilir.

IGBT tabanlı HVDC sistemleri Voltage Source Converter (VSC) HVDC sistemleri olarak da bilinir. Pazardaki üreticilerin farklı ürünlerinin farklı isimleri bulunmaktadır. Ancak topolojisi aynı olduğu için bu ürünleri genel olarak VSC tabanlı HVDC sistemleri olarak adlandırabiliriz. IGBT'lerin switch-off yeteneği olduğu için "VSC-HVDC sistemlerine Self Commutated" HVDC sistemleri de denir. Reaktif ve aktif güç kontrolleri birbirinden bağımsız yapılabilir. Bu da HVDC istasyonunun STATCOM olarak da çalışmasını sağlar. Özellikle zayıf şebekeler de HVDC iletim sisteminin kurulmasına imkan verir. Bu sistemler de filtreler çok daha az (üreticisine göre olmayabilir) olduğu için kapladığı alan çok daha azdır. En önemli özelliği ise DC şebekelerin kurulması için elverişlidir. Yenilenebilir enerjinin payının yüksek olduğu şebekeler için iletim sistemlerinin kontrol yeteneğinin daha fazla olması büyük avantajdır. Bu da VSC-HVDC teknolojileri ile sağlanabilir. Özellikle Avrupa gibi yenilenebilir enerji payının yüksek olduğu bölgelerde elektrik şebekesinin kararlılığını ve güvenilirliğini artırmak için VSC-HVDC sistemleri kurulmaktadır. Bu sistemler offshore RES bağlantıları için tek çözümdür. RES sistemleri çok zayıf şebekeler olduğu için frekans ve gerilimin kontrol edilmesi zordur. Bu sorunu VSC sistemlerinin u/f kontrol yeteneği sayesinde çözmek mümkündür.

Süper şebekeler olarak adlandırılan DC şebekelerin yavaş yavaş kurulmaya başlandığı sektörde şebeke operatörleri planlarını bu doğrultuda yapmaktadır. Avrupa'daki şebeke operatörleri multi-terminal DC sistemlerini göz ardı ederek sistemler tasarladılar. Kurulan birçok HVDC sistemi point-to-point konfigürasyonuna sahip olup birbirinden bağımsız çalışmaktadır. Multi-terminal HVDC sistemin faydalarını gören şebeke operatörleri daha önce bir master plan yapmadıkları için pişmanlık içindedir. Kurulan HVDC sistemleri için standartlar belirlenmemiştir. Özellikle farklı DC gerilim seviyelerine ve farklı topolojilere sahip HVDC bağlantılarını birbirine bağlamak imkansız hale gelmiştir. Bu yapılan yanlışlardan ders çıkaran Avrupalı şebeke operatörleri, gelecek planlarına uygun olarak projeler geliştirmektedirler. HVDC master planı yapıp kurulan hatları geliştirerek DC şebekeler oluşturmaya çalışmaktadırlar. Aktif olarak çalışan HVDC

istasyonlarını yeni kurulacak olan HVDC istasyonları ile birleştirmek için birçok Ar-Ge çalışması da yürütmektedirler.

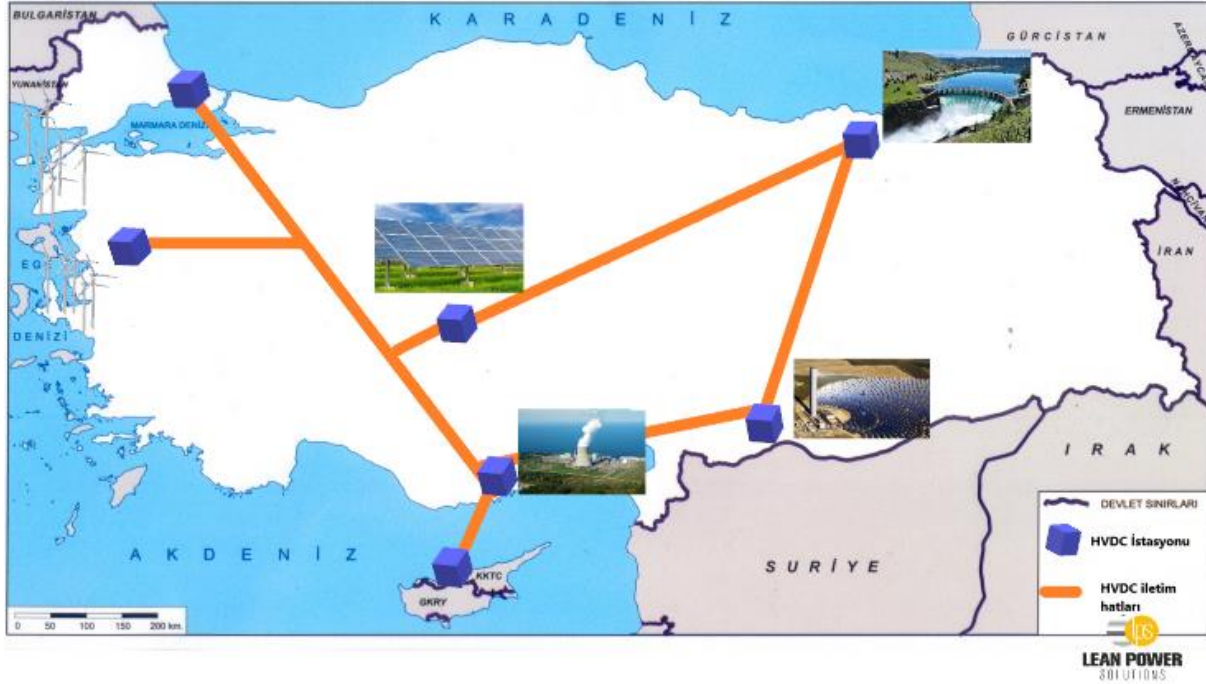
Türkiye’de HVDC sistemleri kurulmadan önce gelecekte kurulacak olan diğer HVDC sistemler belirlenip bir yol haritası çıkarılmalıdır. Kurulacak olan ilk proje bu doğrultuda geliştirilmesi gerekmektedir. Aksi halde daha sonradan kurulacak olan HVDC istasyonlarının birbiri ile olan entegrasyonu sorun olacaktır.

Elektrik şebekemizin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğunda birçok sebepten DC iletim sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

1. Nükleer santralde üretilen elektrik enerjisinin iletimi
2. Rüzgar Enerjisi Santralının yoğun olduğu bölgelerde elektrik enerjisinin iletimi ve şebekenin korunması
3. Güneş Enerjisi Santrallerinin yoğun olduğu bölgelerde elektrik enerjisinin iletimi ve şebekenin korunması
4. Asenkron şebekeler ile bağlantıların kurulması (İran, Suriye ve Irak)
5. Kuzey Kıbrıs’ın ihtiyacı olan elektrik enerjisinin karşılanması ve bu bölgede kurulacak olası yenilenebilir enerjinin ana karaya iletilmesi
6. Avrupa Birliği başta olmak üzere olası bir süper şebekeye bağlantı kurulması

Bu senaryolar düşünüldüğü zaman hepsini kapsayan bir master planı yapılması gerekmektedir. Oluşturulacak olan plan doğrultusunda adım adım projeler geliştirilmesi gerekmektedir. Türkiye’nin ihtiyaçları göz önünde bulundurularak örnek bir DC şebekesi sunulmuştur. Şekil 4’de gösterilen senaryo tamamen örnek olup DC şebekelerin faydalarını göstermek amaçlı yapılmıştır. İstanbul ile Akkuyu arasında yapılacak olan bir HVDC iletim hattı böyle bir senaryonun omurgasını oluşturabilir. İleriki zamanlarda kurulacak her HVDC istasyonu kurulu HVDC istasyonlarına entegre olarak bir DC şebeke oluşturulabilir. Bu sayede hem şebekemizin kararlılığı artırılabilir hem de enerji kaynaklarımızı daha verimli olarak kullanabiliriz.

Şekil 4’den de görüldüğü gibi enerji tüketim, üretim ve depo sistemlerini DC şebekeye bağlayarak çok güçlü bir elektrik şebekesine sahip olunabilir. Böyle bir sistemin kurulum maliyeti çok büyük olsa da sağladığı avantajlar ile uzun vade de şebeke operatörleri ve ülke çıkarları için daha faydalı ve ekonomik bir çözüm olacaktır. Bu yüzden kurulması planlanan ilk HVDC projeleri böyle bir master plan dahilinde yapılmalıdır.



#### **Şekil 4 – Türkiye'nin örnek DC şebeke senaryosu**

Türkiye şebekesinin ihtiyaçları göz önünde bulundurulduğu takdirde en öncelikli projeler Akkuyu-İstanbul iletim hattı ve Kuzey Kıbrıs-Türkiye bağlantı hattı olacaktır. Bu iki bağlantı karakteristik özellikleri açısından farklı türdedir.

#### **Akkuyu-İstanbul Hvdc Bağlantısı:**

Nükleer santralde üretilen elektrik enerjisini tüketim noktası olan İstanbul bölgesine taşınması amaçlanmaktadır. "Bulk power transmission" olarak da bildiğimiz bu tür HVDC bağlantıları iki tür HVDC teknolojisi kullanılarak da yapılabilir. Şimdiye kadar bu tarz bağlantılar HVDC Klasik sistemler kullanılarak yapılmıştır. Bunlara örnek olarak Brezilya, Kanada, Amerika ve Çin'den birçok örnek projeler verebiliriz. Özellikle Çin batısında üretilen elektrik enerjisini sanayisinin yoğun olarak bulunduğu batı şehirlerine iletmek için HVDC Klasik teknolojisini kullanmıştır. Halen bu alanda yeni yatırımlar yapmaya devam etmektedir. Gelişmekte olan ve enerji talebinin her gün arttığı diğer ülkelerde de benzer HVDC bağlantıları kurulmaktadır (Brezilya, Hindistan, Endonezya gibi.). HVDC Klasik teknolojisi ile iletim kapasitesi 12 GW seviyesine ulaşmıştır, hatta EHVDC olarak bilinen 1100kV DC gerilim seviyesine sahip HVDC bağlantıları kurulmaktadır. Bu teknoloji doyumluğa ulaşmış güvenilir sistemlerdir. Ancak, thyristorlerin kısıtlı yeteneklerinden dolayı daha az fonksiyona sahiptir.

Olası Akkuyu-İstanbul bağlantısında HVDC Klasik kullanıldığı zaman avantaj ve dezavantajları:

Avantajları:

1. Tek bir hat ile nükleer santralde üretilen tüm elektrik enerjisi İstanbul bölgesine iletilebilir

2. Kurulum maliyeti göreceli olarak daha düşüktür.
3. Kullanılacak teknolojilerin referans projeleri daha çok olacaktır.
4. Toplam kayıplar göreceli olarak VSC-HVDC sistemlere göre daha azdır.

Dezavantajları:

1. Daha fazla alan kapladığı için İstanbul bölgesinde sorun oluşturabilir.
2. Reaktif güç yeteneği limitlidir.
3. Multi-terminal yeteneği limitlidir. DC şebekelerde kullanılma olasılığı düşüktür.
4. XLPE DC kablosu kullanılamaz. Oil Impregnated DC kablosu kullanılabilir.

VSC-HVDC sistemleri göreceli olarak daha yeni teknolojiler olup halen birçok Ar-Ge çalışması devam etmektedir. Özellikle son 10 yılda birçok VSC-HVDC projesi gerçekleştirilmiştir. Özellikle offshore RES bağlantısı ve yer sorunu olan büyük şehirler arasında iletim yapılmasında tercih edilmiş olup son yıllarda artan kapasiteleri ile büyük miktarda güç iletiminde de kullanılmaya başlanmıştır. DC şebekeler oluşturmak için tek çözüm olduğu için şebeke operatörleri yeni planlarını VSC-HVDC ile yapmaktadırlar. Zayıf şebeke bağlantılarında tek çözüm olması yine tercih sebebi yapmaktadır. Olası bir Akkuyu-İstanbul HVDC bağlantısında VSC-HVDC teknolojisi ile iletim sistemi kurulabilir. VSC-HVDC çeviricilerinin güçleri sınırlandırıcı bir faktör olmaktadır. Dünyadaki örneklerine bakıldığı takdirde çalışan en büyük kapasiteli sistem Fransa ile İspanya arasında kurulu olan Inelfe projesidir. 2 tane 1GW DC bağlantısından oluşan sistem multilevel VSC topolojisi kullanılarak yapılmış monopol bir bağlantıdır. Güç elektroniği sistemlerindeki gelişmeler ile yeni topolojiler ortaya çıkmıştır. Almanya'da kurulmakta olan Ultrahigh Voltage DC projesinde 2 GW iletim kapasitesine ulaşılmıştır. Bipole ve multiterminal özelliklere sahip proje, Almanya'nın ve Avrupa'nın bu alanda en inovatif projesidir. Eğer VSC-HVDC teknolojisi Akkuyu-İstanbul bağlantısında da kullanılmak istenirse Ultrahigh Voltage DC bağlantısına benzer bir proje yapılabilir. Bipole özelliği ile iletim kapasitesi artırılacaktır ve "redundancy" özelliği kazanacaktır. Polelerden birinde hata olduğu takdirde diğer pole'dan iletim devam edecektir. Ayrıca multi-terminal yeteneği ile farklı istasyonlara bağlanabilecek ve bir DC şebeke oluşturulabilecektir.

Akkuyu-İstanbul bağlantısında VSC-HVDC kullanıldığı zaman avantaj ve dezavantajları:

Avantajları:

1. Daha az alan kaplayacaktır.
2. Reaktif güç yeteneği sayesinde şebekeyi güçlendirecektir.
3. Akım yönü çok hızlı değişebileceği için Akkuyu bölgesinde oluşan olası bir hatada İstanbul bölgesinden güç desteği hızlıca verilebilecektir.



4. DC şebeke oluşturmaya elverişli olacaktır.
5. DC-hatalardan sistem kapatılmadan korunma yeteneği olacaktır. (full-bridge topolojisi ya da DC breaker ile half-bridge topolojisi kullanılması gerekir)

Dezavantajları:

1. İletim kapasitesi daha limitli olacaktır.
2. Fiyat olarak daha pahalı olabilir (Seçilecek konfigürasyona göre değişir).

Bu avantaj ve dezavantajları göz önünde bulundurarak stratejimize göre iki farklı tercihte bulunabiliriz;

1. İleride farklı bir DC hat kurulmayacak ise ve yapılacak olan şebeke analizlerinde kurulacak HVDC Klasik hattının İstanbul bölgesinde sağlıklı sonuçlar vermesi durumunda Akkuyu-İstanbul HVDC hattı HVDC Klasik teknolojisi ile kurmak daha faydalı olacaktır.
2. Türkiye elektrik şebekesinin kararlılığını geliştirmek için birden fazla HVDC iletim hattı kurulacak veya şebekenin ihtiyacına göre başka bir HVDC istasyonu daha kurulacak ise VSC-HVDC teknolojisi kullanmak daha doğru bir karar olacaktır. Gelişmiş ülkelere baktığımız zaman kompleks şebekelerin ihtiyaçlarını karşılamak için bu doğrultuda ilerlemektedirler. Türkiye'nin de gelişmiş ülkelerin stratejisine benzer bir strateji izlemek faydalı olacaktır. Ancak karar da esas belirleyici etmen şebeke analizlerinin teknik sonuçlarıdır. Şebekenin neye ihtiyacı olduğunu anlamak için detaylı şebeke analizleri yapmak şarttır.

### **Kuzey Kıbrıs-Türkiye HvdC Bağlantısı:**

Kuzey Kıbrıs'ın elektrik enerjisi ihtiyacını karşılamak için Türkiye uzun yıllardır olası bir yüksek gerilim kablo bağlantısı kurmayı düşünmektedir. HVAC sistemler ile bu mümkün değildir. 50 km'den uzun iletim hatlarında AC kablunun kapasitensinden kaynaklanan kayıpların fazla olmasından dolayı kullanılamamaktadır. En verimli çözüm HVDC iletim sistemleridir.

HVDC Klasik teknolojisi ile bir iletim hattı kurmak Kıbrıs elektrik şebekesinin zayıflığından dolayı verimli bir çözüm olmayacaktır. VSC-HVDC teknolojisinin bağımsız reaktif güç yeteneği ve XLPE kablo kullanılabilir olmasından dolayı tek verimli çözüm olacaktır.

Bilindiği gibi VSC-HVDC teknolojisinde kullanılan half-bridge ve full-bridge olmak üzere iki farklı çevirici modül topolojisi bulunmaktadır. Kullanılan aplikasyon ve şebeke operatörünün beklentilerine göre farklı modül teknolojileri kullanılabilir. Full-bridge modüllerin DC Fault Ride Through (FRT) yeteneği olduğu için havai hatlarda tercih edilmektedir. Havai hatlarda half-bridge modülleri DC-Breaker kullanılarak da DC-FRT yeteneği kazanabilir. Pazardaki üreticiler farklı çözümler sunmaktadırlar. Ancak, full-bridge modüllerde 4 tane IGBT kullanıldığı için daha

çok anahtarlama kayıplarına yol açabilir. Üretici firmalar anahtarlama frekansını düşürerek ve farklı kontrol metotları kullanarak bu kayıpları azaltmaya çalışmaktadır. Olası bir Kıbrıs-Türkiye hattında güç iletimi kablo ile yapılacağı için DC hata oranı çok düşüktür. Bu nedenle DC-FRT yeteneğine gerek yoktur. Bu durumda half-bridge modüller ile VSC-HVDC bağlantısı yapılabilir.

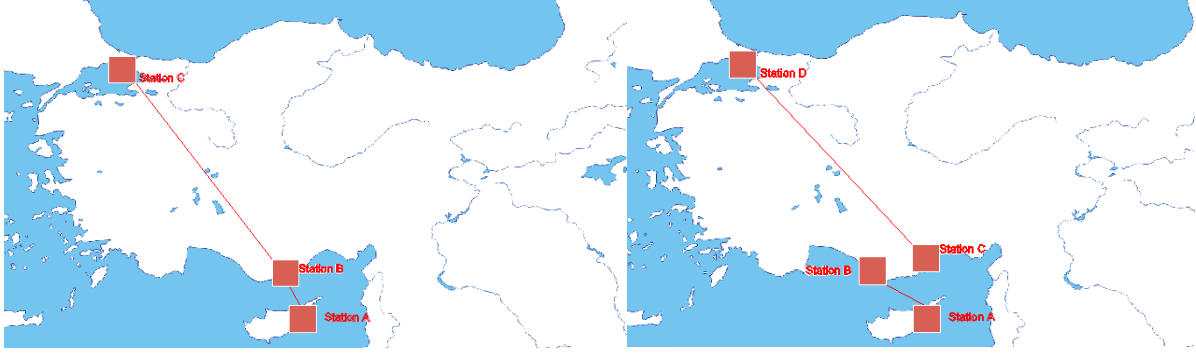
VSC-HVDC çeviricisi Kuzey Kıbrıs şebekesinin frekans ve gerilimini birbirinden bağımsız olarak destekleyecektir. Bu da zayıf bir şebeke için en iyi çözüm olacaktır.

Şu an Eurasia HVDC bağlantısı İsrail-Güney Kıbrıs-Yunanistan arasında kurulacaktır. Multi-terminal özellikte kurulacak olan projenin fizibilite çalışmaları yapılmaktadır. Güney Kıbrıs ve Kuzey Kıbrıs bir süredir şebekelerini senkronize olarak bağlamaya çalışmaktadır. Başarılı olarak 2 deneme yapılmıştır. Türkiye ile Kuzey Kıbrıs arasında kurulacak bir VSC-HVDC bağlantısı ile Avrasya (Eurasia) HVDC sistemine bağlanarak hayal edilen Desertec projesinin başlangıcı oluşturulabilir. Eurasia projesinin büyük bir kısmı Avrupa fonlarından desteklidir. Türkiye-Kuzey Kıbrıs HVDC iletim hattı Türkiye için Avrasya HVDC projesine dahil olmak için bir fırsat olabilir. Ayrıca Güney Kıbrıs ve Yunanistan'ın aldığı desteklerden Türkiye'nin de alma ihtimali bulunmaktadır.

Her ne kadar VSC-HVDC verimli tek çözüm olsa da son karar için detaylı şebeke analizleri yapılmak zorundadır. Analizler sonucu HVDC sistemin şebekeye faydaları net bir şekilde görülecektir.

### ***İstanbul-Akkuyu-Kıbrıs Multi-Terminal HvdC Bağlantısı:***

Türkiye'nin iki projeyi de gerçekleştireceğini düşünürsek, iki tane HVDC iletim hattı kurulması gerekecektir. Eğer iki tane "point-to-point" bağlantısı kurulursa toplamda 4 tane HVDC çevirici istasyonu kurulması gerekmektedir. Akkuyu bölgesi Kuzey Kıbrıs'a en yakın bölgede olduğu için Kıbrıs ile kurulacak HVDC bağlantısının Türkiye'de bulunacak HVDC çevirici istasyonu da Akkuyu bölgesinde ya da yakınında bulunacaktır. Bu durumda iki farklı HVDC projeleri doğru konfigürasyon ve teknoloji seçimi ile birleştirilerek bir multi-terminal HVDC sistemi kurulabilir. Şekil 5'den de görüldüğü gibi 4 tane HVDC istasyonu yerine 3 tane HVDC istasyonu kurularak tasarruf sağlanabilir. Ayrıca Türkiye'nin süper şebeke oluşturmasında büyük bir adım atmasını sağlanabilir. Türkiye'nin özellikle son yıllarda göstermiş olduğu teknolojik gelişmelere paralel olarak dünyada gelişen ve trend olan HVDC sektöründe önemli bir projeyi hayata geçirmiş olacaktır.



**Şekil 5 – Kuzey Kıbrıs – Akkuyu – İstanbul HVDC bağlantısı**

#### **4. SONUÇ:**

Türkiye'nin elektrik şebekesini güçlendirmek, daha verimli ve ekonomik elektrik iletimi yapabilmek ve asenkron bağlantılar ile enerji kaynağı alternatifleri yaratabilmek için HVDC sistemleri kurması gerekmektedir. Bu çerçevede bir strateji geliştirilip HVDC yol haritası yapılması gerekmektedir. Elektrik şebekesinin ihtiyaçları detaylı bir şekilde analiz edilip HVDC sistemleri için en uygun bağlantılar belirlenmelidir. HVDC bağlantıları tasarlanırken uygulanacak teknolojiler detaylı bir şekilde analiz edilmeli ve şebeke etkileri araştırılmalıdır. Yapılan analizler sonucu doğru teknoloji ve konseptler seçilmelidir. Şimdiye kadar üreticilerin ve şebeke operatörlerin yaptığı simülasyonların sonuçları gerçek sistemlere yakın sonuçlar vermektedir. Bu yüzden gerekli analizler için "transient" ve "stability" modelleri geliştirilmeli ve planlanan sistemlerin şebekeye katkıları incelenmelidir. Projelerin teknik boyutuna ek olarak ekonomik analizler yapıp HVDC sistemlerin ticari açıdan da fizibil olduğu onaylanmalıdır. Daha akıllı iletim sistemleri ve elektrik şebekelerine sahip olabilmek için ülkemizde HVDC alanında analizler yapıp pazardaki Ar-Ge çalışmalarının içinde yer almamız gerekmektedir.

#### **Referanslar**

- 1. New Comparison of HVDC and HVAC Transmission system Vahid Bahravesh, Nahid Abbaspour*
- 2. Comparison of the HVDC and HVAC Over-Head Transmission lines for the Itaipu system John Graham, Sergio E Santo, Abhay Kumar*

*Bu raporda sunulan HVDC projeleri olası senaryolar olup hiçbir gerçek projeyi temsil etmemektedir. Bu rapor yapılması ihtimal olan projeler için sadece bir ön çalışmadır.*

*Bu raporda yer alan görüşler Çalışma Grubu üyelerimize ait olup, DEK-TMK'nin resmi görüşü değildir. Rapordan kaynak gösterilmek şartı ile alıntı yapılabilir. Raporun tamamı ya da bir kısmı izinsiz yayımlanamaz.*