

# JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİ ELEKTRİK ve OTOMASYON SİSTEMİ PROJE YÖNETİMİ

Muammer ARGÜN

Argün Mühendislik Müşavirlik Ltd. Şti.

muammer.argun@emo.org.tr

## ÖZET

Sürdürülebilir enerji türü olarak jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi Ülkemizde gündemden güne hızla yaygınlaşmaktadır. 2008 yılında 80MW ile dünyada 14. sırada yer alan Ülkemiz, 2017 yılında 7. sıraya yükselmiştir. 2006 yılından günümüze işletmeye giren 33 Jeotermal Elektrik Santralin (JES) kurulu gücü 860,8 MW<sub>e</sub>'a ulaşmıştır. Bunlardan 29'u düşük ve orta entalpili jeotermal kaynaklar için uygun olan İki Akışkan Çevrimli (Binary) Santral tipinde tesis edilmiş ve böylece bu alanda bilgi birikimi oluşmuştur. Bu bildiri İki Akışkan Çevrimli JES yatırımının her aşamasında elektrik ve otomasyon sistemlerinde özen gösterilmesi gereken hususlar irdelenmiştir.

İki Akışkan Çevrimli JES, jeotermal akışkan ısısından Organik Rankin Çevrimi yardımı ile elektrik üreten (ORC) bölümü ile akışkanın sağlandığı üretim kuyuları, isale hatları, terfi pompaları ve geri-basım sistemi vb. yardımcı servisler (BOP) olarak iki bölümden oluşur. ORC paket olarak dış alımla temin edilmektedir. Dış alım görüşmelerinde firma seçimi, paket kapsamı, seçilen ORC yapılandırılması, performans garantileri, yerli üretim oranı, generatör karakteristikleri, tek hat şeması ile kontrol ve otomasyon mimarisi, garanti döneminde bakım anlaşması vb. hususlar ne kadar iyi tartışılırsa yatırımın başarısı artacaktır. Yardımcı servisler (BOP) bölümünde santralin sisteme erişimi, TEİAŞ ve/veya elektrik dağıtım firmaları ile bağlantı anlaşması, elektrik iletim hattının (EİH) projelendirilmesi, ana ekipmanların (OG hücreler, trafolar, topraklama dirençleri vb.) satın alımı, ihale dosyasının hazırlanması - yüklenici seçimi, büyük güçlü AG motorların gerilim ve frekans sürücülerinin seçiminde harmonik etkilerin

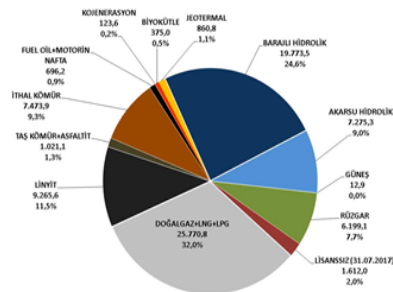
azaltılması, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB) proje dosyası, röle koordinasyonu, testler, geçici kabule hazırlık, işletme döneminde dikkat edilecek hususlar tartışılacaktır.

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz tektonik bölgede yer aldığından zengin jeotermal enerji kaynaklarına sahiptir. Buna karşın Ağustos-2017 tarihi itibarıyla toplam üretim kurulu gücün ancak %1,1'i jeotermal enerji kaynağı iken, toplam yıllık tüketimin %2'si olan 3.220.818.020 kWh'ı jeotermalden karşılanmaktadır [1].

Yenilenen enerji kaynaklarının emre amadelik oranı %30-40 kadar iken jeotermal enerji santralının yıllık üretimi %98 ve üstünde gerçekleşmektedir. Bu nedenle JES'ler temel yük santrali niteliğindedir. Yıllık

TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİ KURULU GÜCÜ – 2017 AĞUSTOS SONU



KURULU GÜÇ (08/2017) : 80.459,8 MW

60 saat bakım onarım çalışması dışında 8700 saat enerji üretim gözlenmiştir. RES ve GES santrallerinde üretilen enerjinin sistem stabilitesine olumsuz katkısına karşılık, jeotermal enerji santrali kaliteli enerji üretilir.

Yakın dönemde jeotermal santral yatırımlarının artması beklenmektedir.

### **1.1. Jeotermal Enerji Santral Çeşitleri**

Jeotermal rezervuarın akışkan sıcaklığına bağlı olarak JES tipi değişir. 180°C ve üstü sıcaklıklarda tek ve çift faz akışkanlı “flash” tipi santrallerde, sıvıdan ayrıştırılan buhar doğrudan buhar türbinine verilerek elektrik üretilir. Bu türe örnek 47,4 MW’lık Gürmat Germencik Santrali ile Zorlu Kızıldere JES’dir.

Jeotermal akışkan sıcaklığı 100-180°C aralığındaki düşük ve orta entalpili jeotermal kaynaklar için uygun olan “İki Akışkan Çevrimli (Binary) Santral” tipidir. Ülkemizde tesis edilen santrallerin çoğunluğu (29 adedi) bu türdür. İki Akışkan Çevrimli JES’de jeotermal akışkan ısısı, ısı değiştiricilerde pentan, izo-pentan, izo-bütan gibi sıvılaştırma ısısı düşük hidrokarbon yapıları ikinci bir akışkana yüklenir. Basınç altında türbinde genişleyen ikinci akışkanın enerjisi (motive fluid = moment sağlayan akışkan) türbin kanatlarını iterek dönme momentumuna dönüşür. Türbin çıkışından yeniden çevrime girmek üzere yoğunlaştırıcıda (kondenserde) sıvılaştırılarak Rankin çevrimi kapalı devre tekrarlanır, enerji üretimi sürdürülür.

### **1.2. İki Akışkan Çevrimli Santral Yapısı**

İki Akışkan Çevrimli JES iki döngüden oluşur. Biri yer altından üretim kuyusu ile sağlanan, ısıyı ileten jeotermal akışkan, diğeri ısıyı enerjiye dönüştüren düşük yoğunlaşma ısılı hidrokarbon türü pentan. Buna göre santral de iki bölümden oluşur.

- i) Elektrik Üretim Bölümü:** Akışkan ısıdan Organik Rankin Çevrimiyle elektrik üreten bölüm (ORC–Organik Rankin Çevrimi) ile
- ii) Yardımcı Servisler Bölümü:** Akışkanın sağlandığı üretim kuyuları, isale hatları, terfi pompaları ve geri basım (reenjeksiyon) sisteminden oluşan (BOP–Balance of Plant) bölümü.

## **2. ELEKTRİK ÜRETİM BÖLÜMÜ (ORC) TEMİNİ**

ORC paket olarak dış alımla temin edilmektedir.

### **2.1. Satıcı Firma Seçimi**

Bugüne kadar tesis edilen İki Akışkan Çevrimli JES elektrik üretim bölümü ORMAT (İsrail), Atlas Copco (ABD), EXERGY (İtalya) vb. firmalardan temin edilmiştir. Turboden (İtalya) firmasının da katılımı ile teklif veren firmalar arasındaki rekabet artmıştır. Firma seçimi, paket kapsamı, seçilen ORC yapılandırılması, performans garantileri, yerli üretim oranı, generatör karakteristikleri, tek hat şeması ile kontrol ve otomasyon mimarisi, garanti döneminde bakım anlaşması vb. hususlar ne kadar iyi tartışılır ve

sözleşmede yer alırsa, yatırımın başarısı o oranda artacaktır.

Yatırımcı firmalar sözleşme metnini hukuksal olarak yoğun inceledikleri halde, teknik koşullar genellikle satıcı firma tarafından tanımlanmakta, gözden kaçan hususlar, uygulama döneminde sorun yaratabilmektedir. Bu nedenle satıcı firma seçiminde sağlam bir teknik şartname ile işe başlanılmalıdır.

## 2.2. **ORC Paket Kapsamı**

ORC kapsamındaki temel ekipmanlar:

- Gaz türbini,
- Generatör,
- Isı değiştiricileri (Vaporizer, preheater, recuperator, reboiler vb.)
- Kondenser (Hava, su veya hibrit tipinde)
- Pentan ve pentan terfi pompaları,
- Elektrik ve Otomasyon Panelleri,
- Otomasyon sistemi donanımlarıdır.

ORC kapsamındaki mühendislik hizmetleri;

- ORC bölümünün detaylı mühendislik hizmetleri ve projeler ile,
- BOP bölümüne ait kavramsal tasarımdan (Conceptual design) oluşmaktadır.

Temel ekipmanlardan elektrik ve otomasyon panelleri, hava soğutmalı kondenserde çelik donanım projeler satıcı firmadan sağlanarak, yurt içinde üretilebilir.

## 2.3. **ORC Yapılandırılması (Konfigürasyon)**

Rankine çevriminde temel olay, türbin çıkışından yeniden çevrime girmek üzere kondensere gönderilen pentanın mümkün olduğunca düşük sıcaklıkta

yoğuşturulmasıdır. Bir başka deyişle kondenser tasarımı hayati önemdedir. Yaz döneminde ortam sıcaklığının artması sonucu oluşan ve %30'u aşan "yaz çökmesi" de göz önüne alındığında, kondenser (hava, su, hibrit) tipinde olabilir. Kondenser yerleşimi uygun yapılandırılmalı; santral alanı buna uygun seçilmelidir. Hava soğutmalı kondenselerde Satıcı Firmanın pentan difüzörü maliyet optimizasyonu için başvurduğu sırt-sırt kondenser yerleşim yerine, yan yana yerleşim tercih edilmelidir.

## 2.4. **Performans Garantileri**

Satıcı firma generatör terminalinden elde edilecek brüt güç ile, ORC bölümünde tüketilen enerji düşülerek, taahhüt ettiği net enerji miktarını belirtecektir.

İki Akışkan Çevrimli JES'de yaz çökmesi de dikkate alındığında, herhangi bir (t) anında taahhüt edilen performans yanında, mutlaka bir yıllık üretim (kWh) bazında performans garantisi de sağlanmalıdır. Böylece yaz çökmesinin ne kadar dikkate alındığı ortaya çıkabilecektir.

Performans ölçümünde kullanılacak düzeltme eğrilerinin de (correction curves) titizlikle incelenmesi gereklidir. Performans garantisinin sağlanamadığı durumlarda uygulanacak cezai şartlar ve yükümlülükler sözleşmede belirtilmelidir.

## 2.5. **Yerli Üretim Oranı**

Önceleri bütün ORC bölümü yurt dışından temin edilirken, YEKDEM yerli katkı teşvikinin çok yüksek tespiti sonucu, bazı satıcı firmalar Türkiye'de gaz türbini imalatına başlamıştır. Yerli

türbin yapımı tamamen montaj sanayi niteliğindedir. Yerli proje, AR-GE vb. çalışmaları yapılmamaktadır. Generatör güç elektroniği konusunda da teşvik almak için çalışmaktadırlar.

Ancak *yerli katkı ilave fiyatı* örneğin türbin için 1,3 cent/kWh olarak belirlenmiştir. Beş yıllık destekleme döneminde sadece türbin için ilave ödenecek yerli katkı tutarı, türbin bedelini aşmaktadır. Bu nedenle firma seçiminde Yerli Katkı İlave Fiyatları gerçekçi değerlendirilmelidir. Artan döviz kurları ve gelişen enerji üretim yatırımları sonucu YEKDEM'in yeniden şekillenmesi muhtemeldir.

#### **2.6. Generatör Karakteristikleri**

Generatör ORC ekipmanları içinde ikinci önemli kalemdir. Generatör mutlaka tanınmış bir imalatçı ürünü olmalıdır. Güç faktörü 0.8 lag-L ve 0.9 lead-C seçilmesi faydalı olacaktır.

#### **2.7. Tek Hat Şeması**

Sözleşme aşamasında temel belgelerden biri tek hat şemasıdır (THŞ). Satıcı firmalar başlangıç aşamasını gerekçe yaparak, detaylı THŞ vermemektedir. Oysa bu aşamada THŞ üzerinde;

- ORC MCC panosunun çekmeceli tip olup olmadığı,
- Pano girişinin busbar'a uygunluğu,
- Bütün ORC yükleri ve bunlara ait fiderlerin değerleri,
- Panonun kısa devre dayanımı,
- Pentan pompalarını süren frekans konvertörlerinde harmonik bozulmayı sınırlayıcı "line side" ve "motor end side" reaktörlerin kullanılıp kullanılmadığı,
- Pentan pompaları büyük güçlü ise besleme geriliminin 690 V olarak

seçilip, seçilemeyeceği vb. hususlar etüt edilmeli ve sözleşmeye girmelidir.

#### **2.8. Kontrol ve Otomasyon Mimarisi**

Tek hat şeması kadar önemli diğer sözleşme dokümanı "Kontrol ve Otomasyon Mimarisi"dir (KOM). İki Akışkan Çevrimli JES, satıcı firmanın geliştirdiği bir yazılım yardımı ile *otomatik* olarak çalışır. Yazılım ne kadar gelişmiş, "fine tuning" imkanına sahip ve kullanıcı dostu ise santral verimi o oranda artacak, işletme sorunları azalacaktır. Ayrıca yazılımın güvenli bir firewall'a sahip olması, içinde çalıştığı programın gelişmiş ve güncellenebilir özellikte olması gereklidir.

Otomasyon sisteminin sıcak yedekli (hot redundant) özellikte ve güvenilir markalardan oluşmuş bir donanımına sahip olması ikinci bir zorunluluktur.

ORC bölümünde atex alanı içinde kalan türbin, generatör, ısı değiştiricileri vb. enstrüman I/O'ları, exproof remote I/O PLC panellerinde toplanıp, bir ethernet bus ile sıcak yedekli olarak kontrol odasına taşınmalıdır.

#### **2.9 Garanti Döneminde Bakım Anlaşması**

Satıcı firma ile yıllık toplam üretim (kWh) bazında performans garantisi anlaşması yapıldığında, aynı döneme ait "Bakım Anlaşması" yapılması faydalı olacaktır. Bakım anlaşmasında karşılıklı sorumluluklar, yedek parça temini, satın alınacak hizmetler ve bedelleri vb. hususların net olarak tanımlanması gereklidir.

### 3. YARDIMCI SERVİSLER BÖLÜMÜ (BOP)

Bu bölüm jeotermal akışkanın sağlandığı üretim kuyuları, isale hatları, terfi pompaları ve geri-basım (reenjeksiyon) sistemi ile üretilen enerjinin siteme iletimini sağlayan orta gerilim şalt hücreleri ve BOP SCADA sisteminden oluşur. Bu bölümde sadece elektrik otomasyon konuları irdelenecektir.

#### 3.1. Santralin Enterkonnekte Sisteme Erişimi

JES yatırımında fizibilitayı etkileyecek bileşenlerden biri üretilen enerjinin sisteme erişimi için yapılacak yatırımdır. 1-15 MW gücündeki santraller en yakın 3/0 AWG (pigeon) iletkenli ulusal dağıtım sistemine bağlanmalıdır. Bağlantı noktasında tesis edilecek kesici-ölçü kabine (KÖK) ENH'ı girdi/çıkı yapılarak Santralin hattın uç bölümünden gelebilecek arızalardan etkilenmesi önlenir.

15-25 MW Santral gücü diliminde, TEİAŞ 154/33 kV Trafo Merkezine (TM) bağlanmak uygun olacaktır. Bu halde de bağlantı hattı çok uzun ise, yatırım bedeli ile 154 / 33 kV TM yatırım bedeli mukayese edilmelidir.

Son dönemde EPDK tarafından yapılan bir düzenleme ile "kullanıcı tarafından tesis edilen bağlantı hatları, dağıtım varlığı sayılmış ve TEDAŞ tarafından devir alınarak bedeli yatırım programına uygun olarak, 12 eşit taksitle 1 yıl içinde yatırımcıya geri ödenmesi" karara bağlanmıştır. Böylece uzun hat yatırım bedelleri ile hat kayıpları da elektrik tarifesi içinden enerji kullanan aboneler üzerine aktarılmıştır.

#### 3.2. TEİAŞ/EDAŞ ile Bağlantı Anlaşması

Ön lisans alındığında bağlantı anlaşması için ilgili kuruluşa başvurmak gereklidir. 154 kV TM'ye ait 33kV bara, dağıtım şirketine verildiğinden OG'den bağlantı yapılacak santraller için, dağıtım firması ile "Dağıtım Sistemine Bağlantı Anlaşması" yapılacaktır. Bu anlaşmada;

- Anlaşma gücü,
- Tahsisi edilen güç (santral çalışmıyorken, iç tüketimde kullanılacak güç) ve
- Bağlantı gücü belirtilir.

#### 3.3. EİH Projesi

Üretim tesisleri Enerji İletim Hattı (EİH) Projeleri, TEDAŞ tarafından onaylanmaktadır. Ancak yukarıda bölüm 3.1'de belirtildiği şekilde Santralin Sisteme erişimi için "kullanıcı tarafından tesis edilen bağlantı hatları, dağıtım varlığı sayıldığından" ve TEDAŞ adına devir alınarak bedeli, Dağıtım Şirketi eliyle geri ödeneceğinden, bağlantı hattı projesinde önce Dağıtım Şirketi'nin ön inceleme keyfiyeti doğmuştur.

Santralin bağlantı noktası hakkında lisans başvuru sürecinde EPDK tarafından görüşü sorulan dağıtım şirketi, her santral için aynı ve kalıplaşmış olan "TM ile Santral arasında 2x (3x477 MCM) iletkenli ve/veya eşdeğeri yeraltı kablosu ile ENH'nın tesis edilmesi" ifadesine sadık kalarak, iletim hattının yaklaşık 70 MW kapasiteli, çift devre 2x477 MCM olmasını talep edebilmektedir. O havzada bu boyutta jeotermal rezervuar potansiyeli yok ise ve dağıtım şirketi tevsii alanı içinde değilse, çift devre hat

tesisinden kaçınmak gereklidir. Bu tür talepler EİH tesisinde yeni güçlüklerin doğmasına neden olabilecektir.

### **3.4. Ana Ekipmanların Temini**

Yardımcı servisler bölümünde yer alan ve üretim süreci uzun olan, aşağıdaki ekipmanlar

- Yükseltici trafo ve servis trafoları,
- 11kV ve 33 kV hücreler,
- Frekans konvertörleri,
- Trafo ve generatör nötr dirençleri,
- Bazı hallerde AG-OG enerji kabloları,

yatırımcı tarafından temin edilebilir. Bu amaçla ilgili kalemler için detaylı proje, teknik şartname ve satın alma dosyaları hazırlanarak, alıma geçilir. Teklifler aynı baza getirilerek satın alma gerçekleştirilir.

### **3.5. İhale Dosyasının Hazırlanması**

ORC ve BOP bölümlerine ait elektrik ve otomasyon işlerinin yapımı için yüklenici seçimi yapma üzere ihale dosyası hazırlanmalıdır. Dosyada yapılacak işler, tesis teknik şartnamesi, projeler, keşif listesi, teklif birim fiyat listesi ile termin programı yer almalıdır.

Yüklenici seçiminde tekliflerin aynı baza getirilmesi gereklidir. Jeotermal santral tesisinde OG-AG güç tesisatı kapsam ve bedel olarak daha büyük paya sahip olsa da yüklenici seçiminde otomasyon firmasının lider olması daha uygun olacaktır. Çünkü ORC ve BOP bölümleri tamamen otomatik çalışacaktır.

### **3.6. Büyük Güçlü AG Motorların Sürülmesi ve Harmonik Etkilerin Sınırlandırılması**

Santral kurulu gücüne bağlı olarak, pentan pompaları ile geri-basım pompaları gücü 400-800 kW mertebelerinde olabilmektedir. Bu motorların beslenmesinde enerji verimliliği de dikkate alındığında, frekans konvertörleri ile sürülmesi gerekli olmaktadır.

Bu tür büyük güçlü motorlar için öncelikle 400V yerine 690V gerilim kademesi seçilmeli ve akım değerleri düşürülmelidir. [2]

Ayrıca harmonik etkilerin azaltılması için, düşük harmonikli sürücüler çok pahalı olduğundan, standart sürücülerin giriş tarafına ve konvertör çıkışına (motor tarafına) %5L değerinde reaktör montajı faydalı olacaktır. Motor tarafındaki kablo uzunluğu fazla olduğunda, reaktör ve kablo empedansının yansıyan dalgaya neden olup olmadığı tahkik edilmelidir.

### **Kısa devre Hesapları ve Röle Koordinasyonu**

Enerji santralının güvenli şekilde çalışabilmesi için mutlaka sağlıklı bir kısa devre etüdü yapılması gereklidir. Bu etüde bağlı olarak ana teçhizatın seçimi yapılmalıdır.

Bir arıza halinde sadece ilgili fiderin açılarak, arızanın izole edilmesi, verimli bir santral işletmesi için hayati önemdedir. Bu da ancak korumada seçicilik ile sağlanabilir. Korumada seçicilik iyi bir röle koordinasyonu ile elde edilebilir.

### 3.7. *Testler, Geçici Kabule Hazırlık*

ETKB geçici kabul öncesinde tesis edilen ana teçhizatın fabrika test raporları (türbin, generatör, yükseltici trafolar vb.) hazır olmalıdır. Ayrıca akredite kuruluşlar eliyle enerji santralının topraklama direnci, akustik (gürültü) ölçümü, izolasyon ölçümleri vb. ölçümler yapılmalıdır.

## 4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada 2000 yılından günümüze Jeotermal Santral yatırımlarında yaşanan deneyimler anlatılmıştır.

Yatırımın başarısı;

- Dış alımla temin edilen ORC tedarik şartnamesinin özenli hazırlanması, teknik konuların detaylı tartışılması,
- Sisteme erişim konusunda Dağıtım Şirketi, TEDAŞ ve TEİAŞ ile iyi müzakere edilmesi,
- Gelişen teknolojiye uygun kontrol ve otomasyon mimarisi seçilmesi gereklidir.
- Gerçekçi bir yatırım planlaması ile kaliteli bir imalat sağlanmalıdır.

## KAYNAKLAR

[1] TMMOB EMO Enerji İstatistikleri  
[www.emo.org.tr/genel/bizden\\_detay.php?kod=88369](http://www.emo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=88369)

[2] P.F.Lionetto, R.Brambilla P.Vezzani E.Picatoste “Use of 690 V for LV Industrial Distribution Network to Save Capital Cost and Improve Network Efficiency”  
<http://ieeexplore.ieee.org/document/943549/>