

HİDROELEKTRİK SANTRALLER İÇİN ELEKTROMEKANİK EKİPMAN TEDARİK SÜRECİ VE KALİTE YÖNETİMİ

Ozan KORKMAZ, Mehmet KÜÇÜKBEYCAN, Sümer YÜKSEL

Enerji Merkezi, Ankara
syuksel@enerjimerkezi.com.tr

ÖZET

Her hidroelektrik santral projesi için projeye özgü hidrolik düşü ve tasarım debisi bulunmaktadır. Projede kullanılacak türbin tipi, o projeye özgü bu iki parametreye göre seçilmektedir. Türbin tip seçimi için yapılan analizlerde projenin yıllık ortalama su debisi ile maksimum ve minimum su debileri çok kapsamlı bir şekilde incelenmelidir. Türbin seçiminde dikkat edilmesi gerekli bir diğer faktör türbin dönüş hızıdır. Projeye uygun daha yüksek devirli türbin seçimi ile hem türbin hem de generator maliyetleri düşürülebilmektedir. Öte yandan, yanlış devir seçimi elektromekanik teçhizat maliyetlerinde önemli artışlar doğurabilir. Bu kapsamda, seçilecek türbin tipi ve ünite sayısı hem elektromekanik ekipman fiyatını doğrudan etkileyecek hem de seçim sonucuna göre santral inşaat maliyetleri önemli ölçüde etkilenebilecektir. Elektromekanik teçhizatın seçiminde dikkat edilmesi gereken önemli kriterlerden bir diğeri de türbin verimlilik eğrileridir. Verim eğrileri öncelikle hidroelektrik santrallerin projelendirme aşamasında değerlendirilmelidir. Yapılan debi analizleri ve piyasa fiyatlarını yansıtan işletme çalışmaları sonucunda türbin tipi ve ünite sayısı optimizasyonu yapılmalıdır. Santralde suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine çevirecek en önemli ekipman olan elektromekanik teçhizat ihale süreçlerinin konusunda tecrübeli bir ekip tarafından yönetilmesi kalite, zaman ve maliyet dengesinin sağlanması açısından önemlidir. Elektromekanik teçhizat henüz satın alırken kazanmak için idari şartnameler ve projenin ihtiyaçlarını yansıtan özel teknik şartnameler uluslararası teknik literatüre uygun olarak hazırlanmalıdır. Dünyada elektromekanik teçhizat üretimi konusunda faaliyet gösteren fabrikaların tasarımları ile paralel olarak verim farklılıkları bulunmaktadır. Tedarikçi seçimi sırasında türbin verim eğrisi ve projenin yıllık akış grafiği çalışılarak analiz edilmelidir. Elektromekanik teçhizat tedarikçisi ile sözleşme aşamasına gelindiğinde performans garantileri tanımlanmalıdır. Alım döneminde ise sözleşme yönetimi ile yatırımcı üzerindeki riskler doğru şekilde tedarikçilere dağıtılmalıdır. Elektromekanik Ekipmanın Kalite Yönetimi kapsamında ise fabrika testleri, saha testleri ve işletmeye alma testler teknik şartnamelere ve uluslararası standartlara (IEC) uygun olarak yapılmalıdır. Bu testler arasında malzeme kontrol testleri, mekanik deneyleri, tahribatsız muayene testleri (Non-Destructive Tests, NDT), korozyona karşı koruma ve boya testleri, hidrostatik/Yağ basınç testleri, gözle muayene ve boyut kontrolü, fonksiyon testleri, su sızdırmazlık testleri ve işletmeye alma testleri bulunmaktadır.

GİRİŞ

Santralde suyun potansiyel enerjisini elektrik enerjisine çevirecek en önemli ekipman olan elektromekanik teçhizat ihale süreçlerinin konusunda tecrübeli bir ekip tarafından yönetilmesi kalite, zaman ve maliyet dengesinin sağlanması açısından önemlidir. Elektromekanik teçhizat henüz satın alırken kazanmak için idari şartnameler ve projenin ihtiyaçlarını yansıtan özel teknik şartnameler uluslararası teknik literatüre uygun olarak hazırlanmalıdır.

Net hidrolik düşü ve debiye bağlı olarak türbin tip seçimi yapılmış, minimum debiye bağlı olarak ünite sayısı belirtilmiş, kısaca

kesin projesi tamamlanmış hidroelektrik santralinde elektromekanik teçhizatın tedarik süreci ve kalite yönetimi önemlidir.

Elektromekanik teçhizatın tedarik sürecinde kesin projesi tamamlanmış bir projenin elektromekanik teçhizat teknik ve idari şartnamelerinin hazır olması gerekmektedir.

Elektromekanik teçhizatın tedarik sürecinde eğer kesin proje tamamlanmamış ise eldeki mevcut teknik veriler kullanılarak zaman kazanmak için teminci firmalardan bütçe teklifleri alınabilir. Bu süreç EM temincilerinin tekliflerini temin süresi, verim vs. gibi konularda aynı düzeye getirip

mukayeseyi yapabilmek için zaman kazandırabilir.

Teknik ve idari şartnameler hazırlandıktan sonra EM temincileri arasından seçilecek firmalara (short list) gönderilir ve revize fiyat teklifleri istenir. Firmaların incelemeleri sonucunda idari ve teknik şartnamede belirtilen hususlar ile ilgili herhangi bir itirazları varsa bunların müzakerelerine başlanır. Bu süreçte teknik yönden EM temincisi ile teknik ve maliyet açısından müzakere yapabilmek için kesin proje hazırlanması sırasında projeye en uygun türbin tipinin ve ünite sayısının seçilmiş olması, gelen debi ve ve düşüye bağlı olarak işletme çalışması ile maliyet optimizasyonun yapılmış olması gerekmektedir. Her hidroelektrik santral projesi için projeye özgü hidrolik düşü ve tasarım debisi bulunmaktadır. Projede kullanılacak türbin tipi, o projeye özgü bu iki parametreye göre seçilmektedir. Türbin tip seçimi için yapılan analizlerde projenin yıllık ortalama su debisi ile maksimum ve minimum su debileri çok kapsamlı bir şekilde incelenmelidir. Türbin seçiminde dikkat edilmesi gerekli bir diğer faktör türbin dönüş hızıdır. Projeye uygun daha yüksek devirli türbin seçimi ile hem türbin hem de generatörü maliyetleri düşürülebilmektedir.

Öte yandan, yanlış devir seçimi elektromekanik teçhizat maliyetlerinde önemli artışlar doğurabilir. Bu kapsamda, seçilecek türbin tipi ve ünite sayısı hem elektromekanik teçhizat temin fiyatını doğrudan etkileyecek hem de seçim sonucuna göre santral inşaat maliyetleri önemli ölçüde etkilenebilecektir.

Teknik ve idari şartnamelerin müzakere sürecinin tamamlanmasından sonra EM temincisi ile müzakere sürecinde mutabık kalınan teknik ve İdari metin üzerinden sözleşme imzalanır.

TASARIM SÜRECİ

Sözleşmenin imzalanmasından sonra mutabık kalınan iş programına göre EM temincisi santral yerleşim projelerini ve

Hidrolik yükleri işverene gönderir. Santral mimari projeleri, cebri boru en kesit projeleri ve proje debi süreklilik eğrisi EM temincisine gönderilerek bu projeye benzer ve işletmeye alınmış, çalışan bir projeden tasarımı alınarak EM teçhizatının genel yerleşiminin yapılması, santral hidrolik yüklerinin verilmesi istenir. Büyük ölçekli santrallerde türbin model testi yapılarak, tasarım bu model test sonuçlarına göre yapılır. Küçük ölçekli santrallerde bu tasarım benzer, işletmeye alınmış bir proje tasarımı temel alınarak yapılmaktadır. EM ihale sürecinde ve teknik şartnamenin müzakereli sırasında EM temincisi bu benzer projeye göre türbin ağırlıklı ortalama verim tablosunu işverene sunacak ve bu verimi garanti edecektir.

İMALAT SÜRECİ

1- Malzeme Kontrolleri

İmalat süreci başlamadan önce sipariş edilen malzemenin teknik şartnameye uygun olup olmadığı kontrol edilir. Malzeme sertifikaları imalatçıdan istenir. İşveren gerekli görürse malzemelerden numune alarak (darbe-çentik testi,kopma testi vs.) yapabilir. Çelik döküm ve çelik sac malzemelerde ultrasonik test yapılabilir. Başlıca malzeme testleri aşağıda belirtilmiştir:

- Malzemelerin mekanik mukavemet testleri,
- Malzemelerin laminasyon kontrolü için ultrasonik testleri,
- Bütün döküm malzemeler ilgili standartlara uygun olarak test edilecektir.

2- Fabrika Testleri

Tasarımın teknik şartnameye uygunluğu işveren tarafından onaylandıktan sonra

imalatçı teknik şartnamede belirtilen standartlara veya muadili standartlara göre imalata başlayacaktır. EM temincisi teknik şartnamede belirtilen fabrika testleri ile ilgili olarak fabrika test prosedürü (ITP) hazırlayarak işverenin onayına sunulmalıdır. Buna göre fabrika testleri aşağıdaki bileşenlerden oluşmalıdır:

Türbin Çarkı Testleri

- Türbin çarkı kanatları, özellikle akış yüzeyleri, düzgünlük için kontrol edilmelidir.
- Çark yüzeyi sıvı penetrasyon veya magnetik partikül testine tabi tutulmalıdır.
- Bu kontrollerde tespit edilen şüpheli yerler

Türbin Şaftı Testleri

- Şaftın yüzey düzgünlüğünün kontrol edilmelidir.
- Şaftın % 100 ultrasonik kontrol edilmelidir.
- Türbin imalatçısının standartlarına ve ilgili standartlara göre shaft çatlakları ve diğer kusurlar açısından kontrol edilmelidir.

Fabrika testlerinde yapılacak test prosedürleri aşağıda belirtilmiştir:

- a. Malzeme testleri ve sertifikaları
- b. Ön ısıtma ve/veya ısıtma işlem prosedürleri
- c. Gözle kontrol
- d. Ölçü kontrolleri
- e. Kaynak kontrolleri (NDT) Tahribatsız muayene testleri.
 - i. UT (Ultrasonik kontrol ASME sec. V. Art. 5)
 - ii. PT (Liquid dye penetration control) (ASME sec. VIII. Div. 1 Appendix. 7)

iii. RT (Röntgen) (ASME sec. VIII. Div. 1)

iv. MT (Magnetic particular) (ASME sec. VIII. Div. 1 Appendix. 7)

f. Hidrostatik ve sızdırmazlık testleri: (ASME boiler and Pressure vessel code or similar standards)

g. Boya testleri (Corrosion and protection and painting DIN 55928)

h. Yüzey pürüzlülük kontrolleri

i. Ön montaj kontrolleri (Preassembly control)

MONTAJ VE ŞANTIYE İŞLERİ

Türbin ve ilgili ekipman işveren'in kontrolünde aşağıdaki testlere tabi tutulacaktır.

1- Kaynak Kontrolü

Şantiyede yapılan bütün kaynaklar % 100 radyografi ile kontrol edilecektir. Emme borusu, türbin muhafazası ve diğer şantiyede yapılan kaynaklar % 100 ultrasonik muayene edilecektir. Bu kontrollerde şüpheli görülen yerler ve çapraz kaynaklar radyografi veya boya penetrasyon testine tabi tutulacaktır.

2- Hidro Statik Basınç Testleri

Salyangoz basınç testi:

Montaj mesnetlerinin tamamen bağlanıp sabit duruma getirilmesinden sonra salyangoz su ile doldurularak hidrostatik basınç testine tabi tutulacaktır.

Test basıncı, su darbeleri işletme basıncının % 150'sinden az olmayacaktır. Maksimum test basıncına, her bir kademeye minimum 10 dakikada ulaşılacak şekilde üç kademede çıkılacak ve her kademede 15 dakika beklenilecektir. Maksimum test basıncında en az bir saat süreyle beklenilecektir.

Test basıncı, işletme basıncının % 150'sinden az olmayacaktır. Maksimum test basıncına, her bir kademeye minimum 10 dakikada ulaşılacak şekilde üç kademede

çıkılacak ve her kademede 15 dakika beklenilecektir. Maksimum test basıncında en az bir saat süreyle beklenilecektir.

Açıklıkların kontrolü:

Kılavuz kanat açıklıklarının kontrol edilecektir. Servomotor stroku ile kılavuz kanat açıklığının uyum kontrolü yapılacaktır. Başlatma ve yüksüz işleme için kılavuz kanat açıklıklarının tespiti yapılacaktır. Türbin elle çalıştırmaya başlatılacak; başlatma ve yüksüz çalışma için kılavuz kanat açıklığı otomatik kontrol açısından tespit edilecektir.

3- Hız Regülatörünün Ayarlanması ve Kontrolü

Türbin şaftı; salınım yönünden, generatör şaftı ile birlikte, düşük hızda dönerken, en az üç yerden kontrol edilecektir. Yatak sıcaklıkları, salyangoz su ile doldurulduktan sonra, türbin ve generatör hız regülatörünün elle kumanda edilmesi ile düşük, orta ve nominal hızda kontrol edilecektir. Kablo bağlantılarının kontrolü yapılacaktır.

4- İlk Çalıştırma Testleri

İlk çalıştırma sırasında yapılacak test ve kontroller şunlardır:

- Bütün elle ve otomatik kontroller, alarmlar, göstergeler ve kilitlemeler, teçhizat ilk defa çalıştırılmadan önce, mümkün olan en büyük aralıktaki doğru işletme için test edileceklerdir.
- Türbin sızdırmazlık kelepçesi, generatör şaftına bağlanmadan önce aşağı indirildiğinde (eğer uygun ise) düşeylik kontrolü.
- Generatör veya generatör şaftına bağlanmadan önce (özellikle taşıyıcı yatak yastığının yay mesnetleri alanı) taşıyıcı yatak mesnedinin düzgünlüğü kontrolü.
- Uygun olan yerlerde, generatör alt kılavuz yatak yastıkları, uygun ölçü aletleri ile altı noktada şaft flambajını ölçmek için,

generatör alt kılavuz yatak yastıkları gevşetilmiş olarak ve böylece elde edilmiş olan hareket ekseninin türbin eksenine ile üst üste gelmesini kontrol için, yüksek basınçlı yağ enjeksiyon teçhizatının yardımı ile generatör rotorunun dönmesi.

- Türbin kılavuz yatak yastıkları gevşetilmiş vaziyette şaftlar bir arada bağlandıktan sonra, bir önceki test tekrarlanacaktır.
- Uygun ölçü aleti ile boşalma esnasında, normal hızın % 10 - % 20 sinde taşıyıcı yatak bileziğinin aşınmasının kontrolü.
- Salmastra kutusu suyu kesilmiş olarak, ana şaftın bakım sızdırmazlık keçesinin çalışmasının kontrolü.
- Ana giriş vanası açık, generatör frenleri bırakılmış ve taşıyıcı yatağa yüksek basınç yağı alınmış iken, yavaş dönmeye başlama için herhangi bir eğilimin kontrolü.
- Yavaş hızda bir veya iki dönüşü izin verecek, üniteyi elle kontrol altında ilk harekete başlatılarak ve tekrar frenler kullanarak, herhangi bir mekanik sürtme veya gürültü kontrolü.
- Taşıyıcı yatak imalatçısının gerekli görülmüş olduğu gibi ve yatak ısılarının her kademede dengelenmesine izin vererek hızı kademeli olarak tam hıza gelinceye kadar arttırarak yatak çalışmasının kontrolü. Rotor balansına dikkat edilecek ve gerekirse düzeltilecektir.
- Ünite durdurulduğu zaman, gereken hızda, otomatik fren uygulamasının ve bütün diğer hızların kontrolü.
- Aşırı hız açma cihazı çalışmazken, yük atmada en büyük geçici rejim hızının % 5 üzerine kadar kademeli olarak hızı, normal değerin üzerine yükselterek her kademede hızın dengelenmesine izin verilecek ve tekabül eden kılavuz kanat açıklığı ölçülecek, kılavuz kanat açıklığına denk

gelen hız model test eğrisi ile karşılaştırılacaktır.

- Aşırı hız açma cihazının ve ana giriş vanasının tatminkar açısının hız ayarının kontrolü.
- Regülatör çalışır vaziyette ve hız seviye ayarı merkezi pozisyonda iken, yük sınırlayıcısı, kılavuz kanat açıklığının takriben %20sine ayarlanarak, ünite çalıştırılacak ve hız seviye kontrolünün, hızın projelendirme alanını verdiği kontrol edilecek.
- Hız seviye kontrolü değiştirilerek ünite dalgalanmadan, hızını yeni değere değiştirdiği kontrol edilecek.
- Generatör kısa devre yapılmış ve ikaz edilmiş iken, izolasyon direncinin periyodik olarak ölçülmesi ile ısı testini ve tatminkar kararlar elde edilinceye kadar polarizasyon indeksi sağlanacak.
- Generatör kısa devre karakteristikleri ölçülecek ve aşağıdakiler kontrol edilecek :
 - Stabilité için generatör sirkülasyon akımı,
 - Aşırı akım koruması.
 - Daimi ölçü aygıtlarının hassasiyeti
- Şalt sahasında kısa devreli stabilité için aşağıdaki korumalar kontrol edilecek:
 - Aşırı akım
 - Eğimlendirilmiş generatör transformatör diferansiyel koruması
 - Generatör sirkülasyon akımı
- Sıra ile baranın her fazını topraklayarak bara korumasının çalıştığının kontrolü.
- Tatminkar generatör izolasyon bilgileri için gerilim transformatörlerini devreden çıkarılacak, yıldız noktası bağlantısı kaldırılacak ve rotor ve stator üzerinde aşırı gerilim testleri yapılacaktır.

• Yedek dizel ile koruma ve tatminkar çalışma kontrol edilecek.

• Generatör terminallerine eş zamanda kısa devre uygulanarak azaltılmış gerilimle transient ve sab-transient reaktansları saptanacak. Uç sargı hareketi kontrol edilecek ve gerekirse düzeltilecek.

• Rotor toprak kaçağı koruması kontrol edilecek.

• İzolasyonun gerilimini ölçme vasıtası ile, açık devredeki nominal gerilim için ikaz ayarlanmış iken bütün yataklar endükte edilmiş akımlar için kontrol edilecek.

• İç ihtiyaç ve generatör transformatörlerinin ani olarak artan magnetik dengesinin kontrolü.

• Rotor balansı kontrol edilecek ve yüksüz hızda, belirtilmiş olan değeri elde etmek için gerekli olduğu gibi düzeltilecek.

• Hatlara giden bütün çıkış bağlantıları gerekli olduğu gibi kaldırılarak, şalt sahasının yüksek gerilim kısımlarına, gerilimi yavaşça yükselterek ve 15 dakika tutarak, 220 kV verilecek ve aşağıdakiler kontrol edilecek:

– Gerilim transformatörü çıkışları ve faz ilişkileri

– Gerilim transformatörünün faz dönüşünü ve generatör şalt teçhizatı ve iç ihtiyaç transformatörü üzerindeki alçak gerilim ve gerilim transformatörleri arasındaki bağlantı

5- İşletmeye Alma Testleri

Yüksüz hızda:

• Generatör rotorunun altında ve üstünde ve türbin yatağının yakınında şaft fl ambajı ölçülecek. Basınç artışı kontrol edilecek ve eş zamanda açmış olan iki üniteye tekabül eden değerler hesaplanacak. Eğer gerekli ise, kılavuz kanadı kapama zamanı ayarlanacak.

- Türbin giriş vanası açılarak basınç yükselmesi kontrol edilecek ve eş zamanda açılmış olan iki üniteye tekabül eden değerler hesaplanacak. Eğer gerekli ise, giriş vanası zamanlaması ayarlanacak.

% 25 yükte:

- Ünite nominal gücünün % 25'ine yüklenerek aşağıdaki metotlarla durdurmaya başlatılacak (her-biri için iki defa):
 - Generatör devre kesicisini açarak yük atma: Yüksüz pozisyondaki hızda kılavuz kanatlarının kapandığı kontrol edilecek.
 - Benzeştirilmiş olan yatak aşırı ısı vasıtası ile ünite açması: Yüksüz hızda nominal güçte, ünitenin yük boşalttığını ve sonra generatör devre kesicisi açmalarını ve kılavuz kanatların, türbin giriş vanasının kapadığı kontrol edilecek.
 - Elektrik arızasını benzeştirerek ünite açması: Generatör devre kesici açmaları ve kılavuz kanatları ve türbin giriş vanası kapanması hemen kontrol edilecek.
 - Her testte en büyük hızı ve basınç yükselmesi ölçülecek. Verilerin garanti edilmiş olan değerlerin içerisinde olduğu kontrol edilecek.

% 50 , % 75 ve % 100 Yükte:

- Nominal gücün birbiri ardına % 50, % 75 ve % 100 üne artırarak yukarıdaki testler (her biri için bir defa) tekrar edilecek. Şaft akımları ölçülecek ve garantilere göre hız ve basınç yükselmesi kontrol edilecek. Aniden durmuş olan iki ünite için tekabül eden değerler hesaplanacak. Eğer gerekli ise, kılavuz kanat kapaması ayarlanacak. Yük atması ve arıza açması, genel olarak IEC 545'e uygun olarak yapılacaktır.
- Gerekli olan yerlerde, testler mevcut yük koşullarında yer alabilir ve yüklenici onaylanmak üzere, test servisi süresinin sonundan önce sunulmuş olan hesapların

garanti edilmiş olan değerlere uyduğunu teyit edecektir.

- Generatör, IEC'ye uygun olarak gömülmüş olan ısı detektörü metodu kullanılarak, ısı yükselmesi için test edilecektir.

- Tam otomatik ünite kontrol sistemi ünite kontrol panosundan ve (eğer daha önce tamamlanmamışsa) kontrol odasından işletmeye açılacak.

KAYNAKLAR

1. ASME-American Society of Mechanical Engineer
2. ASTM-American Society for Testing and Materials Standards
3. AWS-American Welding Society
4. IEC-International Electrotechnical Commission
5. USBR-United States Department of the Interior Bureau of Reclamation
6. Experiences of the writers