

Hidroelektrik Santrallerde Erken Uyarıcı Bakıma Yönelik Türbin Denetleme ve Gözetleme Sistemleri

Emre ORHON
Makina Yüksek Mühendisi
Pro-Plan Ltd. Şti.
Emre@proplan.com.tr

GİRİŞ

Enerji santrallerinin en büyük önceliği üretimin sürekliliğidir. Ani arızalardan kaynaklanan beklenmeyen duruşlar ciddi üretim kayıplarına yol açabilir. Bunun önüne geçebilmek için makina parametrelerinin sürekli olarak izlenmesi ve analizi sayesinde olası arızalar erkenden tespit edilir, hasar gerçekleşmeden önce bakım planlaması yapılır.

Türbin-generatör sistemlerinin sürekli olarak izlenmesinde kullanılan “Türbin Denetleme ve Gözetleme Sistemleri”, makinaları koruma ve arızalar gerçekleşmeden önce erken uyarı verme özelliğine sahiptirler. Bu kapsamda, vibrasyon başta olmak üzere generatör hava aralığı, manyetik akı, kısmi deşarj, aksel yatak pozisyonu, devir hızı, faz, proses değerleri ve verim gibi parametrelerin izlenmesi ve analizi sayesinde türbin sürekli olarak kontrol altında tutulmaktadır (Şekil 1).

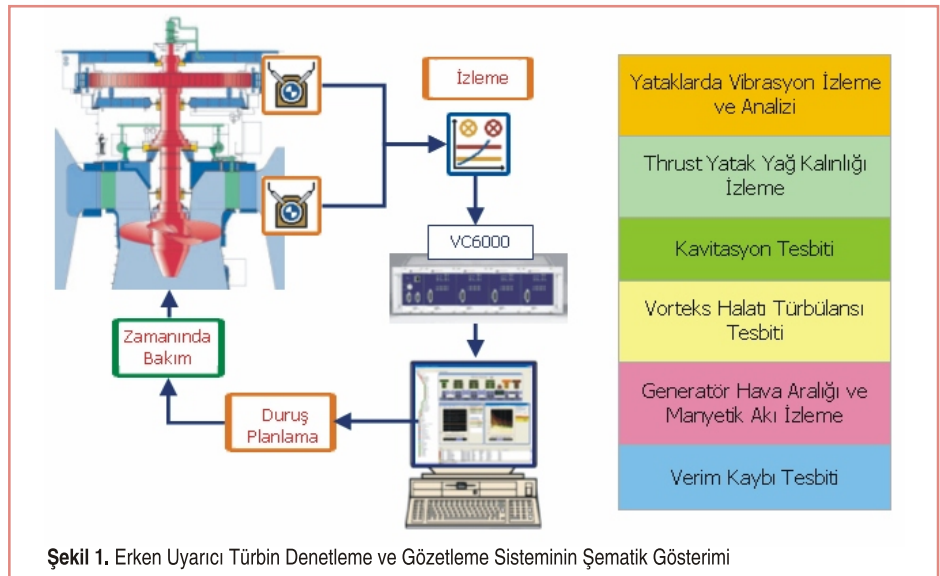
Makina arızaları ile ilgili erken uyarı verme özelliğine sahip en önemli parametre vibrasyondur.

Balanssızlık, kaplin ayarsızlığı, mekanik gevşeklik, yatak yağlama problemleri, çatlak oluşumu gibi arızalar ilk baş gösterdikleri andan itibaren makinanın vibrasyon imzasında kendilerini göstermektedirler. Bu tip arızalar genellikle aniden oluşmamakta, zaman içerisinde gelişen bir seyir izlemektedirler. Vibrasyon seviyeleri sürekli olarak takip edilerek, hasara sebebiyet verilmeden ve makinanın duruşunu gerektirecek vibrasyon seviyelerine ulaşılmadan arızalar erkenden tespit edilebilmektedir. Arıza analizi sonucunda sorunlu olduğu teşhis

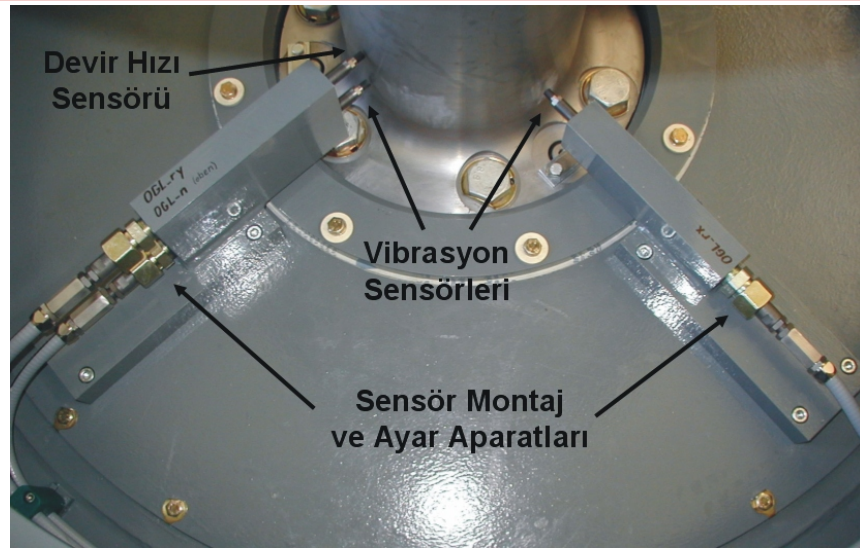
edilen makina parçalarının yedeklerinin temin edilerek zamanında değiştirilmeleri ile üretim kesinti süresinin en aza indirilmesi ve ikincil arızaların azaltılması sağlanır. Bu sayede fabrika üretimi en az kayba uğramış olur. Bugüne kadar elde edilen sonuçlara bakılarak, bakıma yönelik erken uyarıcı sistemlerin kendilerini fazlasıyla amorti ettiği söylenebilir.

Makinaları sürekli (online) olarak izlemede üç strateji mevcuttur:

- 1- Koruyucu: Makinalara zarar verebilecek anlık vibrasyon



Şekil 1. Erken Uyarıcı Türbin Denetleme ve Gözetleme Sisteminin Şematik Gösterimi



Şekil 2. Hidroelektrik Türbinde İzafi Şaft Vibrasyonlarını Ölçen 90 Derece Açılı "Temassız Yer Değişimi Sensörleri" ve Aynı Prensipte Çalışan Devir Hızı Sensörüne Ait Montaj Örneği.

değişimlerinin hızla belirlenerek önlem alınmasını sağlamaktadır. Bunu gerçekleştirebilmek için kalıcı olarak makina üzerine yerleştirilen sensörlere ve bu sensörlerden gelen toplam titreşim seviyelerinin önceden belirlenen alarm limitleriyle sürekli karşılaştırılmasına ihtiyaç vardır. Bu limitlerin aşılması halinde sistem çeşitli ikaz veya trip (acil kapatma) rölelerini aktive ederek makinaı durdurur ve bu sayede büyük bir hasarın önüne geçilmiş olur.

- 2- Erken Uyarıcı: Koruyucu izlemeye ilaveten, makina durumunda oluşan en küçük değişikliklerden, mümkün olan en erken uyarıyı alabilmeyi sağlayan analitik izleme yöntemidir. Sürekli izleme sistemlerinde dişli kutuları, rulmanlar, kaymalı yataklar, rotor, stator, kanat vs. üzerinde oluşabilecek arızaları teşhis için özel geliştirilmiş frekans analizi, orbit, kalkış-duruş esnasında vektör analizi gibi yöntemler bulunmaktadır. Bu sistemler uzun yıllar boyunca tüm vibrasyon verilerini veritabanında saklayabilmektedirler.
- 3- Entegre: Erken uyarıcı sisteme, DCS sisteminden alınan sıcaklık, basınç, akış, yük gibi bilgilerin de dijital

olarak girilmesiyle entegre bir izleme sistemi oluşturulur. Bu sayede tüm ölçülen parametrelerin birbirleriyle ilişkilendirilmesi ve verimin hesaplanmasıyla birlikte makina performansının izlenmesi mümkün olmaktadır (1, 2).

Koruyucu sistem, gözetleme ve denetleme sistemine ait temel donanımı teşkil etmekte, erken uyarıcı sistem ve entegre sistem ise buna ilave edilen, erken arıza teşhis yeteneklerine sahip bilgisayar yazılımını içermektedir.

ISO 7919-5 uluslararası standardında, hidroelektrik santrallerde ve pompa istasyonlarındaki makina gruplarında vibrasyon izlemenin ne şekilde yapılması gerektiği açıklanmaktadır (3). Bu standarda göre türbinin her yatağında izafi şaft titreşimleri ve mutlak yatak titreşimi ölçümleri önerilmektedir. İzafi şaft titreşimleri, birbirlerine 90 derece açı yapacak şekilde radyal olarak yerleştirilmiş, yatak ile şaft arasındaki izafi mesafe değişimini ölçen "yer değişimi sensörleri" ile ölçülmektedir. Bu

sensörler şafta temas etmemekte olup, eddy-current prensibi ile çalışmaktadırlar (Şekil 2). Yatağa monte edilen birbirine dik iki sensör sayesinde "kinetik şaft yörüngesi (orbit)" ölçülebilmektedir.

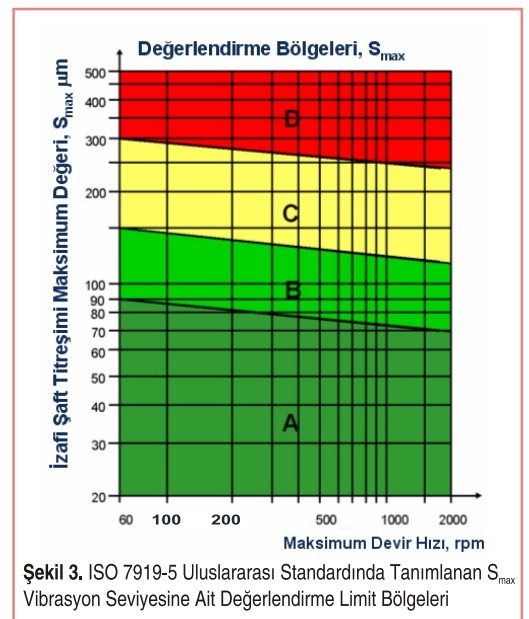
ISO 7919-5 standardında şaftın merkez noktasının maksimum titreşim genliği S_{max} olarak tanımlanmaktadır ve farklı devir hızlarına sahip makinalarda S_{max} vibrasyon seviyesinin mikrometre cinsinden hangi limitler dahilinde olması gerektiği 4 farklı bölge (zone) tanımlanarak verilmiştir (Şekil 3).

A bölgesi: Yeni devreye alınmış makinaların titreşimleri normal olarak bu bölgede olmalıdır.

B bölgesi: Bu bölgedeki titreşimler, makinanın uzun dönem durmaksızın çalışması için kabul edilebilir seviyededir.

C bölgesi: Makinanın titreşimlerinin bu bölgede olması, makinanın uzun dönem çalışması için elverişli değildir. Genelde makina bu bölgede kısa süre çalıştırılır ve ilk fırsatta durdurularak bakıma alınır.

D bölgesi: Bu bölge dahilindeki titreşimler makinaı kalıcı hasar



Şekil 3. ISO 7919-5 Uluslararası Standardında Tanımlanan S_{max} Vibrasyon Seviyesine Ait Değerlendirme Limit Bölgeleri

oluşturmak için yeterli düzeyde olup, makinanın bu bölgede çalışmasına izin verilemez.

ISO 7919-5 standardında, S_{max} parametresine ilaveten, makina yatak muhafazalarına yerleştirilen sensörlerle mm/s RMS cinsinden “mutlak yatak titreşimleri” ölçülmesi önerilmektedir. Hidroelektrik türbinler genellikle düşük devirde dönmektedirler. Devir hızındaki ilk harmonik bileşeni sağlıklı bir şekilde ölçebilmek için düşük frekanslarda ivmeölçerlere kıyasla çok daha yüksek elektrik sinyali üreten elektromanyetik hız sensörleri kullanılmalıdır. İvmeölçerlerin düşük frekans bölgesinde kullanımı, sinyalin gürültü eşiği altında kalmasına ve dolayısıyla yanlış ölçümlerin alınmasına yol açabilmektedir. Elektromanyetik hız sensörlerinin kullanılmayacağı tek bölge statorun içidir. Hız sensörleri stator içerisindeki elektromanyetik dalgalardan etkilenmektedir.

Dolayısıyla, stator içerisinden alınacak “stator çekirdek vibrasyonlarının” ölçümünde ivmeölçer (accelerometer) kullanılması gerekmektedir.

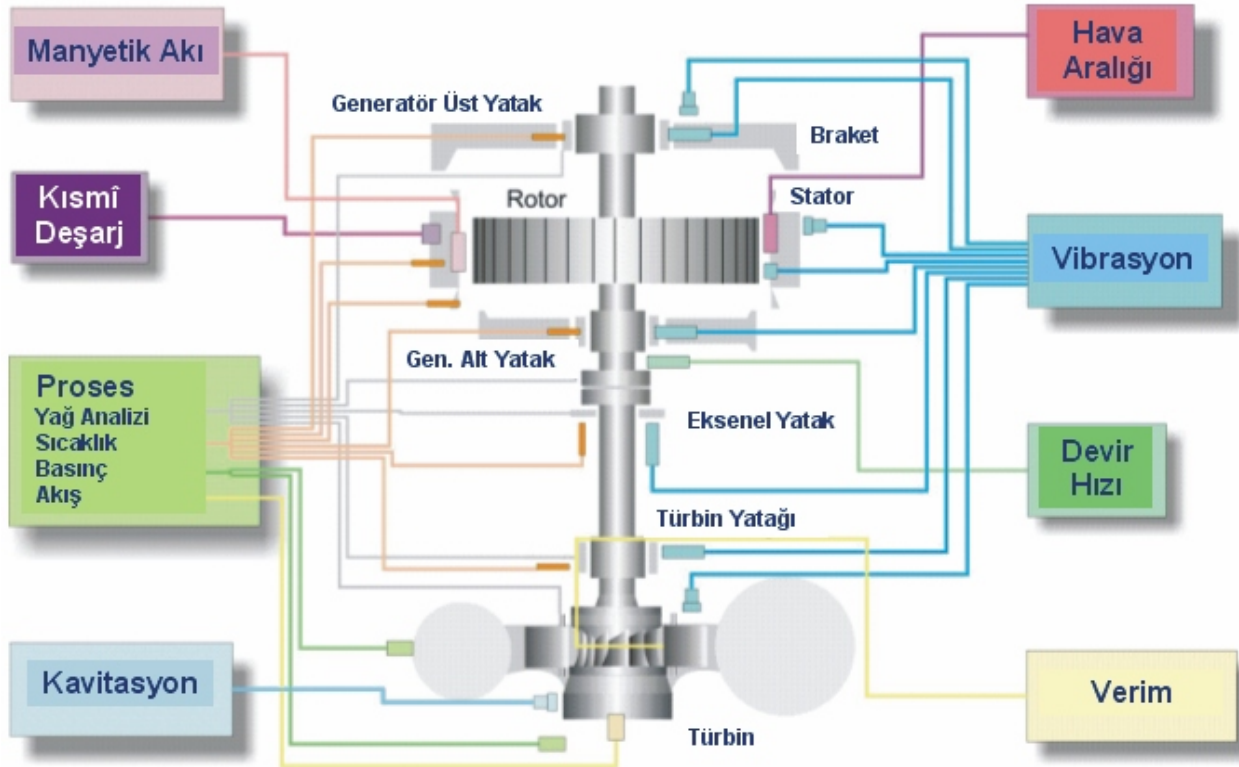
Hidrolik makinalardaki arızaların büyük çoğunluğu vibrasyon izleme yoluyla tespit edilebilmekte olup, akış ve elektromanyetik kökenli arızaların tespiti için vibrasyon beraberinde ilave bazı ölçümlere başvurulmaktadır. Bunların başlıcaları; generatörde “Hava Aralığı”, “Kısmî Deşarj” ve “Manyetik Akı”, türbinde ise “Kavitasyon” izleme teknikleridir. Özellikle büyük güce sahip türbinlerde bu ölçümlerin tümüne başvurulmaktadır. Bunun yanı sıra yağ analizi, basınç, sıcaklık, debi ve verim gibi proses parametreleri, tüm diğer ölçümlerle ilişkilendirilerek arıza tespiti amaçlı analizleri daha efektif hale getirmektedir (Şekil 4).

Hidrolik makinalarda karşılaşılabilen arızalar “mekanik”, “elektrik” ve “hidrolik” olarak 3 grupta

toplanmaktadır. Çizelge 1’de, hidrolik türbin-generatör sisteminde karşılaşılabilecek arızaların neler olabileceği ve bunları teşhis edebilmek için hangi izleme yöntemlerinin kullanıldığı görülmektedir.

Generatördeki en önemli ölçümlerden biri, rotor ile stator arasındaki “hava aralığı” ölçümüdür (Şekil 5). Bu ölçüm birçok generatör arızası ile ilgili erken uyarı verme özelliğine sahiptir. Generatör içerisine çepeçevre monte edilmiş kapasitif hava aralığı sensörleriyle, her bir kutup geçişi sırasındaki hava aralığı ölçülerek izlenebilmektedir (Şekil 6). Rotorda kutupların yerinden oynaması, gevşek ve eğrilmiş rotor çubukları, merkez çizgisinde kayma ve statorda eğrilik gibi arızalar bu yöntemle teşhis edilebilmektedir (4).

Stator çekirdek titreşimlerinin ölçümü, stator bileşenlerinin hem mekanik hem



Şekil 4. Hidrolik Türbin-Generatörde Kurulabilecek Sürekli Denetim ve Gözetleme Sistemine Ait Ölçüm Parametreleri.

Çizelge 1. Hidrolik Türbin-Generatör Sisteminde Karşılaşılabilecek Arızalar ve İzleme Teknikleri.

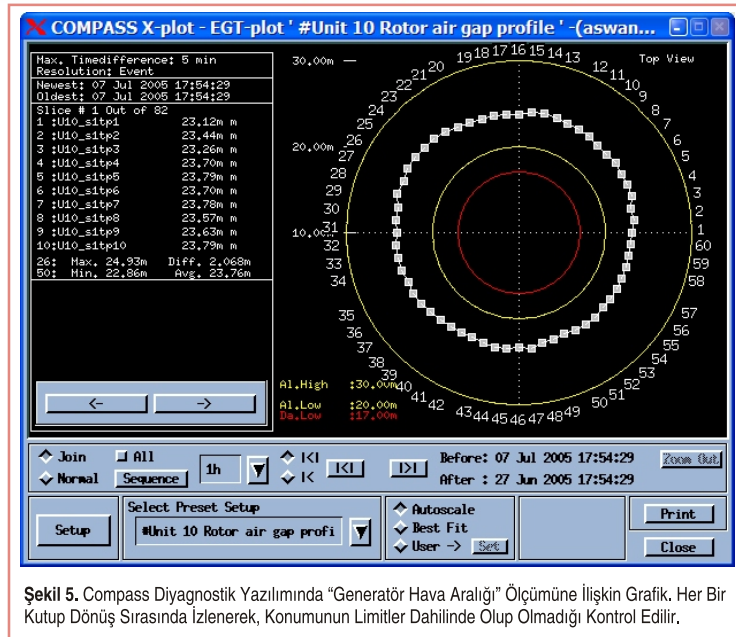
Olası Arızalar	İzleme Teknikleri						
	Vibrasyon	Hava Aralığı	Kısmi Deşarj	Manyetik Akı	Proses (Yağ, sıcaklık, basınç, akış)	Performans	Kavitasyon
Mekanik	Dengesizlik (mek., elektr., hydr.)	✓				(✓)	
	Kaplin Ayarsızlığı	✓					
	Rotor sürtünmesi	✓				✓	
	Gevşek dengeleme kütleleri	✓					
	Rezonans	✓				✓	
	Temel problemleri	✓	✓				
	Sismik ve yerleştirme problemleri	✓	✓				
Generatör	Oluk ve korona deşarjı, ark oluşumu			✓	✓		
	Stator çekirdek titreşimleri	✓					
	Stator çubuk titreşimleri	(✓)		✓		✓	
	Gevşek/kısa devreli stator çubukları				✓	✓	
	Tabakalararası çekirdek kısa devreleri		(✓)			✓	
	Stator çub. bir kısmının hava aralığı içinde olması		✓				
	Çekirdek havalandırması					✓	
	Dönel çekirdek akımları				✓		
	Hava aralığında anormallikler		✓		✓	✓	
	Rotor kutbunun çemberden sapması		✓				
	Hava aralığına kutup/çubuk göçü		✓				
	Statorun çemberden sapması		✓				
	Kısa devreli alan sargısı/çubuk sargıları/teller				✓		
	Stator çerçevesinin hareketi	✓					
Yatak	İkazda hava aralığı	✓					
	Eksenel yatakta (thrust) aşınma	✓					
	Gevşek yataklar	✓					
	Yağ kirlenmesi ve girdabı	✓				✓	
Türbin	Yağlamada eksiklik	(✓)					
	Gevşek çark	✓				✓	
	Kırık kanat	✓					
	Ayar kanadı kırılması	✓				✓	
	Su kapısı aşınması	(✓)				(✓)	
Performans	Türbin kanadında kavitasyon	(✓)				✓	✓
	Performansta azalma	(✓)	✓			✓	
	Hidrodinamik problemler	✓				✓	

de elektriksel durumu ile ilgili bilgiler vermektedir.

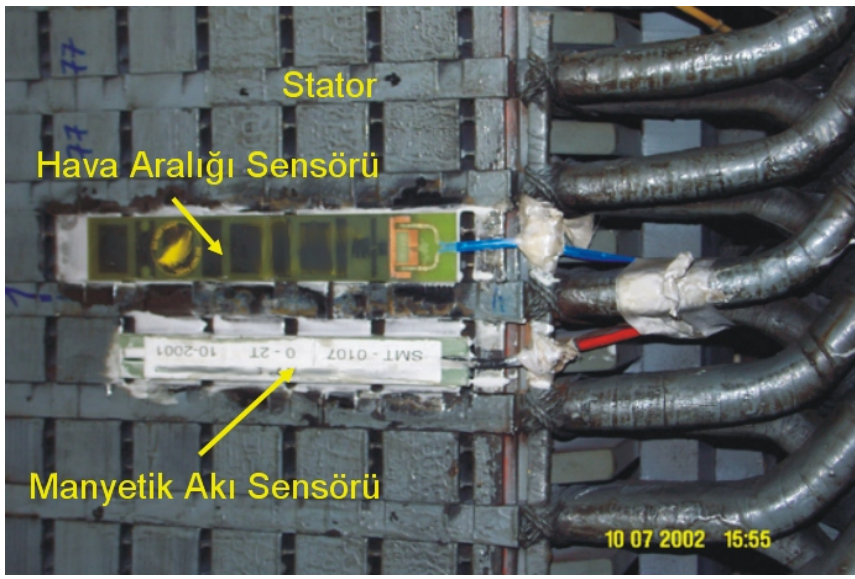
Araştırmalar, hidroelektrik generatörlerdeki arızaların yüzde 40'ının stator sargı izolasyonlarının bozulmasından kaynaklandığını göstermektedir. Kısmi deşarj analizinde, sargı izolasyonunun durumu, statora yerleştirilen kapasitif sensörlerle ölçülmektedir.

Manyetik akı ölçümü ile generatördeki manyetik dengesizlikler izlenebilmekte, bu sayede uç sargılardaki kısa devreler ve sıcak bölgeler belirlenebilmektedir.

Eksenel (thrust) yataklarda, eksenel doğrultudaki yer değişiminin belli



Şekil 5. Compass Diyagnostik Yazılımında "Generatör Hava Aralığı" Ölçümüne İlişkin Grafik. Her Bir Kutup Dönüş Sırasında İzlenerek, Konumunun Limitler Dahilinde Olup Olmadığı Kontrol Edilir.



Şekil 6. Statora Monte Edilmiş Olan "Hava Aralığı" ve "Manyetik Akı" Sensörleri.

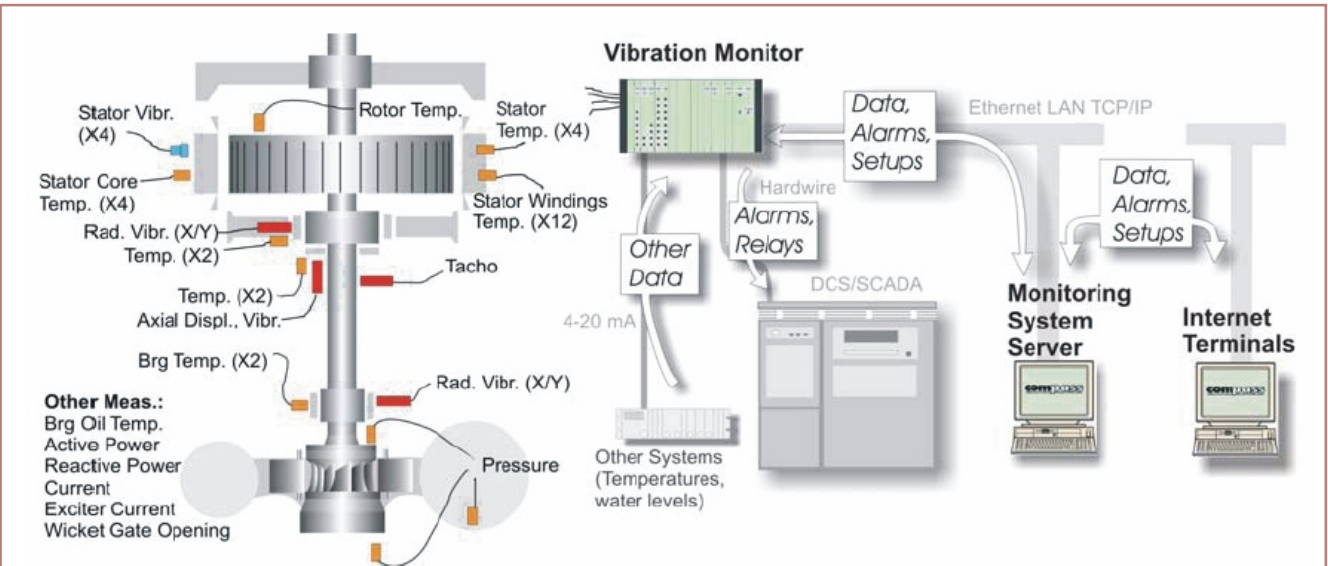
limitleri aşmaması gerekmektedir. Bu limitler aşıldığı takdirde, çok hızlı aşınma özelliğine sahip thrust yataкта ciddi hasarlar meydana gelmektedir. Türbin denetleme ve gözetleme sistemleri, thrust yatakların pozisyonunu sürekli olarak izleyen sensörler içermektedirler. Bu sensörler, thrust yatağa eksenel doğrultuda yerleştirilmiş iki veya üç adet eddy-current tip yer değişimi sensörleridir. Bu sensörlerle hem eksenel yer değişimi bilgisi

sayesinde thrust yatağın yağ filmi kalınlığı izlenmekte hem de eksenel vibrasyonlar izlenerek akış kuvvetinin bu yöndeki bileşenin makinayı eksenel titreşime zorlayıp zorlamadığı kontrol edilmektedir.

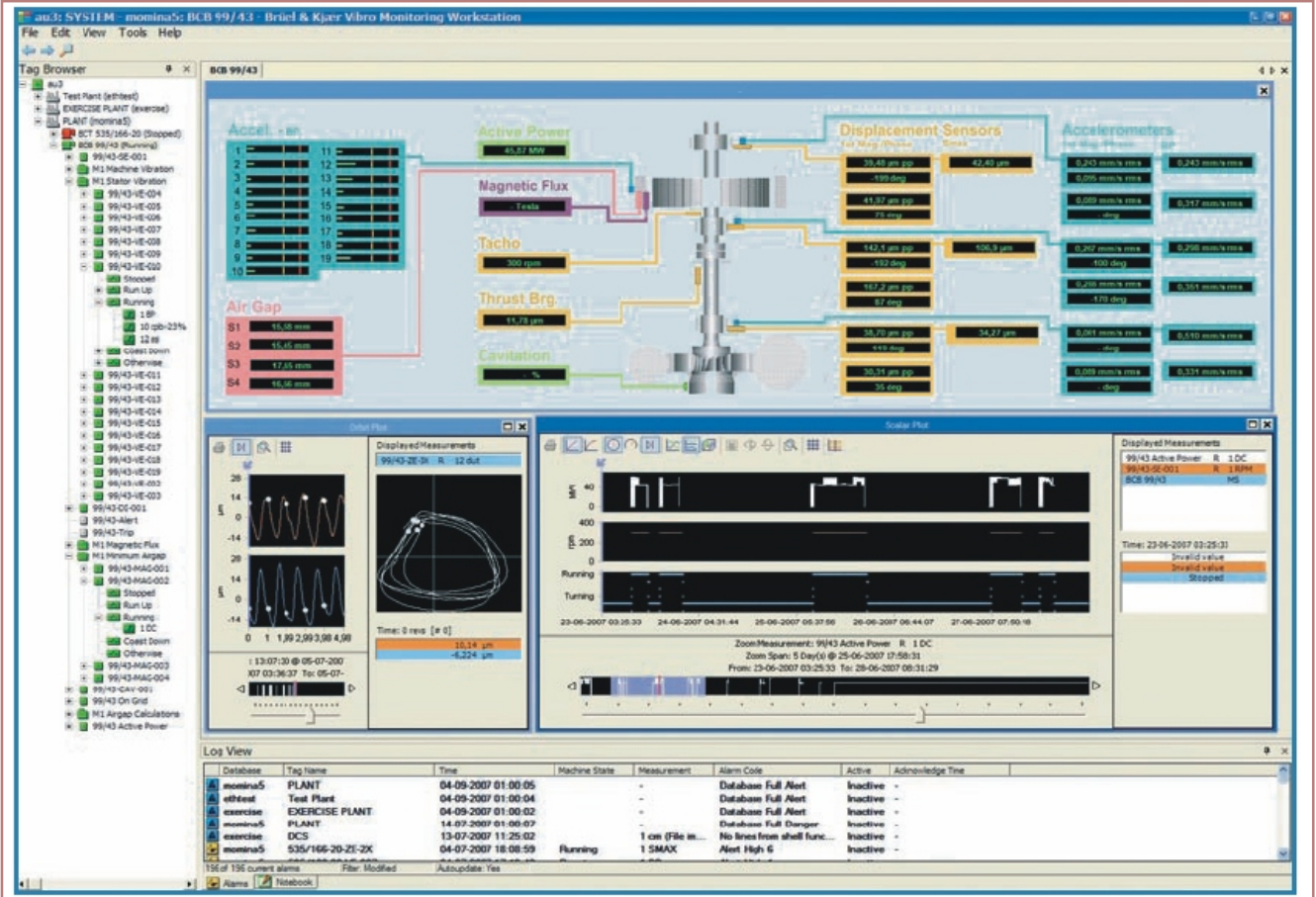
Yukarıda listelenen ölçümlerin yanı sıra türbin devir hızı sensöründen elde edilen faz bilgisi arıza teşhisinde çok önemli rol oynamaktadır. Kalkış duruş esnasında alınan vibrasyon ölçümleri ile

faz bilgisinin ilişkilendirilmesi yoluyla elde edilen genlik-faz diyagramları sayesinde rezonans tespiti ve şaft çatlağı tespiti yapılabilmektedir. Generatör hava aralığı ölçümünde, limit dışına çıkan kutbun hangi sayılı kutup olduğu, Pelton türbinlerinde püskürtülen su jeti ile kepeçlerin arasındaki açının hangi kepeçte ayarsız olduğu faz bilgisi sayesinde tespit edilebilmektedir. Bu sayede bu tip arızaların giderilmesi çok kısa duruşlarla mümkün olabilmektedir. Ayrıca balanssızlık, kaplin ayarsızlığı, mil eğikliği gibi mekanik arızaların da teşhisinde faz bilgisi kullanılmaktadır.

Günümüzün erken uyarıcı izleme sistemleri, kullanıcılara modern teknolojinin imkânlarını sunarak maliyetleri ve harcanan zamanı en aza indirmektedir. Bu bağlamda "Uzaktan İzleme" konsepti en etkili ve popüler çözüm olarak öne çıkmaktadır. Makinaya ait vibrasyon, manyetik akı, kısmi deşarj, hava aralığı gibi veriler santraldeki bilgisayarın veritabanında saklanmakta ve güvenlik duvarları bulunan internet erişimi sayesinde bu verilere internet bağlantısı bulunan her yerden erişilebilmektedir (Şekil 7 ve 8). Bu sayede, yurdun çeşitli bölgelerine yayılmış olan ve genellikle ulaşımı zor



Şekil 7. Brezilya'daki Itumbiara (6x347 MW) Hidroelektrik Santralinde Kurulu Compass Türbin Denetleme Ve Gözetleme Sisteminin Genel Şeması. Sistem Santralde Kurulu Bulunan DCS/Scada Sistemiyle Veri Alışverişi Yapmakta, Ayrıca Yerel Ağ ve İnternet Üzerinden Verilerin Online Olarak İzlenmesini Sağlamaktadır.



Şekil 8. Compass Türbin Denetleme ve Gözetleme Sistemine Ait Uzaktan İzleme Ekranı. Makina Temsili Resmi Üzerinde Vibrasyon, Hava Aralığı, Manyetik Akı ve Proses Değerleri Anlık Olarak İzlenmekte, Aynı Pencerede Orbit ve Trend Analizleri Görüntülenmektedir. (5).

noktalarda bulunan hidroelektrik santrallerin tümü, merkez ofisindeki bir kullanıcının bilgisayarından izlenebilmekte ve analiz edilebilmektedir. Böylece hem zaman alıcı seyahatler en aza indirgenmekte hem de her santralde bu iş için uzman personel barındırmak yerine, merkezi bir ofiste bulunan uzman ekip tarafından analiz faaliyetleri daha sağlıklı bir şekilde yürütülebilmektedir. Hatta santrali işleten firma, online izleme sisteminde arşivlenen verilerin analiz ve değerlendirmesi için bu konuda uzman başka bir firmayla anlaşarak haftalık ve/veya aylık raporlar şeklinde “uzaktan izleme ve analiz hizmeti” alımı yoluna gidebilmektedir.

Erken uyarıcı bakımda önemli bir yer teşkil eden ve dünya çapında uzun yıllardır etkinliğini ve güvenilirliğini kanıtlamış türbin denetleme ve gözetleme sistemleri, santral yatırım maliyeti içerisinde çok küçük bir paya sahip olmakla beraber, türbine ve santrale büyük bir değer katmakta ve kendi yatırım maliyetini çok kısa sürede amorti etmektedir.

KAYNAKÇA

1. Lamy, S.L., Stenzel, J.N., Hastings, M., “Installing an Integrated Turbine-Generator Monitoring System”, HRW Magazine, Vol.8, No.3, July 2000
2. Schübl, A., Hastings, M., “Integrated Vibration and Process Monitoring at

Momina Klisura, Bulgaria”, Hydropower & Dams Journal, Vol.15, Issue 2, 2008

3. ISO 7919-5, “Mechanical vibration -- Evaluation of Machine Vibration by Measurements on Rotating Shafts -- Part 5: Machine Sets in Hydraulic Power Generating and Pumping Plants”
4. Ignjatovic, B., Albjanic, R., Boskovic, B., Hastings, M., “Permanently Installed Vibration and Air Gap Monitoring System at Djerap I Hydro Power Station”, Hydro 2005 Conference, Austria, s.83-86, 2005
5. Uptime Magazine, Brüel & Kjær Vibro, 2007/02