

# HİDROELEKTRİK SANTRALLARDA GENERATÖR HAVA ARALIĞI İZLEME SİSTEMLERİ

**<sup>1</sup>B. Emre Orhon**

<sup>1</sup>Makina Y. Mühendisi, Pro-Plan Ltd. Şti., [emre@proplan.com.tr](mailto:emre@proplan.com.tr)

## Özet

Generatörlerde, rotor dış çapı ile generatör iç çapı arasındaki mesafe “hava aralığı” olarak adlandırılır. Büyük hidroelektrik makinalarda stator ve rotor, çalışma koşullarındaki merkezkaç kuvvetleri, ısı ve manyetik kuvvetler nedeniyle şekil değişimine yatkındır. Bu nedenle hava aralığının izlenmesi, erken arıza teşhisi açısından önem arz etmektedir. Stator ve rotorda oluşabilecek dış merkezlilik (eksantrisite), çembersellikten sapma gibi sorunlar üretim verimini düşüreceği gibi, manyetik kökenli ısınmaların yol açtığı arızalara neden olabilmekte ve rotor kutuplarının stator duvarına çarpması gibi büyük hasarlara sebebiyet verebilecek boyutlara ulaşabilmektedir. Hava aralığı, stator iç duvarına bir veya birden fazla düzleme yerleştirilen çeşitli sayıda kapasitif sensörlerle ölçülmektedir. Her bir rotor kutbu ile sensör arası mesafe devir tetiklemeli ölçümler vasıtası ile takip edilebilmektedir. Bu sayede minimum hava aralığı değerinin yanısıra rotor şekli grafiği çıkarılabilmektedir. Çoklu hava aralığı sensörlerinden alınan veriler doğrultusunda stator şekli grafiği de elde edilebilmektedir. Hava aralığının sürekli olarak izlenerek farklı çalışma koşullarında hava aralığının ne şekilde değiştiğinin gözlenmesi, büyük hasarların önüne geçebilmek için makineyi servis harici etmek üzere makina operatörlerine gerekli bilgiyi sağlamakta ve hava aralığındaki anormalliklerin önceden belirlenebilmesi sayesinde durum bazlı erken uyarıcı bakıma imkan tanımaktadır. Bu çalışma kapsamında, hava aralığı ölçüm sistemleri ve dünyadaki uygulamaları tanıtılacak, Türkiye’deki bir hidroelektrik santralde yer alan 180 MW gücündeki bir üniteye ait uygulamaya ait bilgiler paylaşılacaktır.

**Anahtar kelimeler:** Hava aralığı, hidroelektrik, generatör, durum izleme sistemleri

## 1. Giriş

Durum izleme sistemleri, enerji santrallerinde üretim sürekliliğinin artırılması ve bakım maliyetlerinin düşürülmesinde kritik öneme sahiptir. Hava aralığı izleme, hidroelektrik makinalarda kullanılmakta olan durum izleme yöntemleri arasında önemli bir yer tutmaktadır ve makina hakkında diğer metodlarla elde edilemeyecek özgün bilgiler sağlar. Generatörde üretilen elektrik, rotor ve stator arasındaki hava aralığı üzerinden aktarılmaktadır. Makinanın sağlıklı davranışının sürdürülebilmesi, güvenilirliğinin, verimliliğinin ve üretilen elektriğin kalitesindeki sürekliliğinin sağlanması için hava aralığının izlenerek kontrol altında tutulması özellikle büyük çaplı rotora sahip hidroelektrik ünitelerde önem arz etmektedir. Rotor ve stator çemberselliği tespiti amaçlı olarak komparatör kullanımı gibi geleneksel yöntemlerle yapılan ölçümler ünitenin duruşunu gerektirmekte, tamamlanmaları günler almakta ve ciddi emek gerektirmektedirler. Bu nedenle generatör hava aralığı ölçümünün otomatizasyonu büyük yararlar sağlamıştır

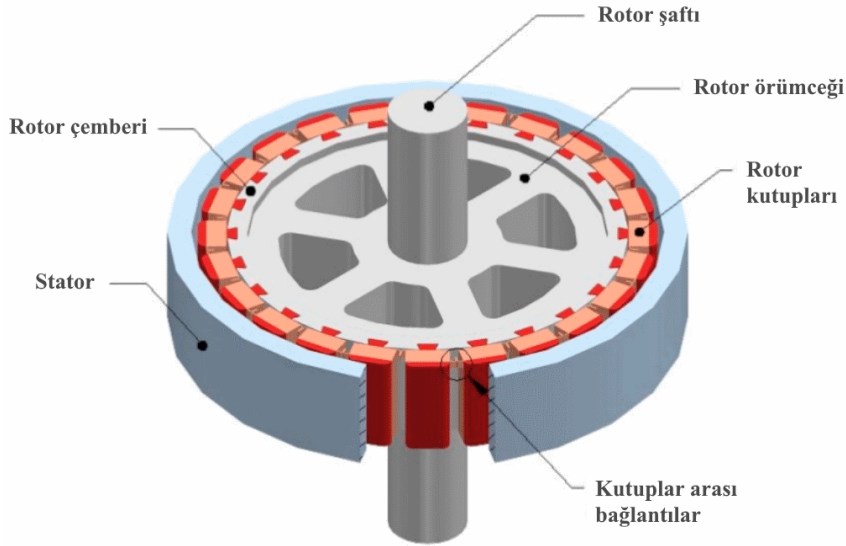
.Genellikle hidroelektrik ünitelerin rotor dönüş devirleri, buhar ve gaz türbinlerine nazaran çok daha düşük mertededir (genellikle 100 – 300 dev/dak aralığında). Generatör rotorunun türbin çarkına kaplin vasıtasıyla doğrudan bağlı olmasından ve arada dişli kutusu bulunmamasından ötürü, düşük devirli bir rotordan şebeke frekansında elektrik üretilebilmesi için rotorun çok sayıda kutba sahip olması gerekmektedir. Gerekli olan kutup sayısı, şebeke frekansının iki katının devir hızına bölünmesi ile bulunur. Örneğin şebeke frekansının 50 Hz olması halinde,  $166,66 \text{ dev/dak}$  ile dönen bir rotorun kutup sayısı;  $(50 \times 2) / (166,66 / 60) = 36$  adet olmalıdır. Bu gibi bir ünite rotor çapı 6 metre ve fazlası olabilmekte, hava aralığı ise 30 - 40 mm civarında olmaktadır. Büyük rotor çapları ile birlikte dar ve hassas hava aralıklarına sahip olmaları, hava aralığı ölçümünün özellikle hidroelektrik ünitelerdeki öneminin nedenini ortaya koymaktadır.

Otuz-kırk yıl gibi uzun bir süre boyunca faaliyette olan bir hidroelektrik ünite stator deformasyonları kritik seviyelere ulaşmış olabilir ve bu durum ünitenin plansız bir duruş sonucunda bakıma alınması ile birlikte uzun süreli üretim kayıpları ve büyük tamirat masrafları ile sonuçlanabilir. Hava aralığının sürekli olarak izlenmesi, yıllar boyunca gerçekleşen bu deformasyonları anlık olarak gözlemlemeyi sağladığı için zamanında uyarı vererek plansız duruşları önlemeye yardımcı olur.

Hava aralığı sensörlerinden elde edilen çıktılar vibrasyon izleme sisteminin çıktıları ile birlikte yorumlandığında makinanın dinamik davranışı hakkında bütünsel bir kavrayış elde edilebilir.

## 2. Hava Aralığı Ölçümü İle Teşhis Edilebilen Arızalar

Hidroelektrik üniteye ait generatör **Şekil 1**'de görülen bileşenlere sahiptir. Rotor kutupları, şafta rotor örümceği vasıtasıyla bağlı olan rotor çemberine monte edilmiş halde dönmektedirler. Sargıların bulunduğu stator duvarı ile kutuplar arasında çevresel olarak üniform olan bir "hava aralığı" mevcuttur.



**Şekil 1.** Hidroelektrik generatör bileşenleri [1].

Rotor ve stator arasındaki izafi konumun herhangi bir şekilde değişimi hava aralığının değişmesine neden olacaktır ve bu değişim generatörün mekanik, elektrik ve ısı dengelerini etkileyecektir [2]. Ünitenin tasarımında belirlenmiş olan nominal hava aralığının değişimine sebebiyet verebilecek birçok arıza tipi mevcuttur. Tüm bu arızaların genellikle yavaş gelişen nitelikte olduğu akıld tutulmalıdır. Arızalar rotor ve stator problemleri olarak ikiye ayrılabilir:

Rotor problemleri:

- Kutupların konumlarında değişim
- Rotor çemberinde gevşeklik
- Rotor çemberindeki deformasyon
- Rotor dönme merkezinde kaçıklık

Stator problemleri:

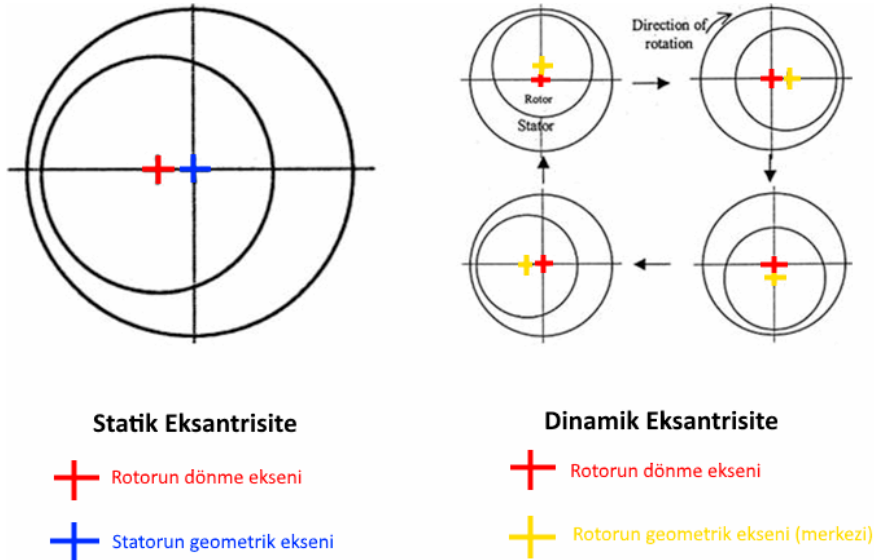
- Betonda genleşmeler (Alkali agrega reaksiyonu)
- Stator ankraj civatalarının ısıl genişlemeye izin vermemesi
- Stator çekirdeği ve çerçevesinin ayrışması

### 3. Dış Merkezlilik (Eksantrisite) Durumu ve Hava Aralığına Etkisi

Rotor ve statordeki problemler “statik” ve “dinamik” eksantrisite olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar.

Statik eksantrisite, rotorun dönme eksenini ile statorun merkezini çakışmaması şeklinde tanımlanmaktadır. Rotorun statorun bir tarafına daha yakın olması durumudur. Bu durumda rotor dönerken hava aralığı dinamik olarak değişmektedir, sabit bir eksantrisite olmaktadır. Bu sebeple buna “statik eksantrisite” denmektedir.

Diğer bir durum ise “dinamik eksantrisite” olarak adlandırılır ve rotorun dönme eksenini ile yine rotorun kendi geometrik eksenini çakışmaması durumudur. Rotor dönerken eksantrik dönmektedir ve stator duvarının iç kısmındaki tek bir noktadan bakıldığı zaman her turda bir rotorun stator duvarına yaklaşıp uzaklaşması gözlenmektedir. Bu yaklaşıp uzaklaşmanın yer değişimi genlik-zaman grafiği sinüsoidal niteliktedir. Yataklarda yapılan titreşim ölçümünde tıpkı balanssızlıktaki gibi devir hızındaki frekans bileşeninde baskın titreşimler görülecektir.



*Şekil 2. Generatörlerde statik ve dinamik eksantrisite.*

Şekil 2’de statik ve dinamik eksantrisite arasındaki fark görünmektedir. Soldaki büyük grafik statik eksantrisiteyi göstermektedir; rotorun dönme merkezi stator merkezine göre kaçık durumdadır. Tek bir hava aralığı sensöründen bakıldığında hava aralığı tek tur boyunca sabit kalmaktadır. Her bir sensörün okuduğu değer farklıdır, ancak tur boyunca değişmemektedir. Sağdaki dört grafik ise dinamik eksantrisite durumunda bir turda rotorun ne şekilde davrandığını göstermektedir. Tek bir hava aralığı sensöründen bakıldığında bir tur boyunca hava aralığı azalır artmaktadır, yani dinamik bir değişim söz konusudur.

Hidroelektrik generatörlerin ilk montajında veya yıllar sonra yapılan büyük revizyonlarda “statik eksantrisite” durumu iki ana pratik sebepten ötürü oluşabilir:

- 1 – Generatör kılavuz yatakları montaj sırasında bir tarafa doğru kayık monte edilmiştir ve bundan ötürü rotorun dönme merkezi statorun geometrik merkezinden uzaklaşmış ve eksantrisite oluşmuştur.
- 2 – Stator revizyonunda sargı paketlerinin değişimleri yapılırken, stator çemberinin merkezi ile rotor çemberinin merkezini çakışması sağlanamamıştır. Yani rotor ile stator arası dış merkezlilik (eksantrisite) oluşmuştur.



Santral yaşlandıkça ünitenin bağlı bulunduğu betonda oluşabilecek alkali agrega reaksiyonu gibi nedenlere bağlı genleşme ve çatlamlar da statorun şeklini etkileyeceği için statik eksantrisiteye sebebiyet verecektir. Statik eksantrisiteden ötürü generatörde oluşan manyetik dengesizlik, ikazlama geriliminin artışı ile birlikte şaftın manyetik kuvvetlerce hava aralığının düşük olduğu tarafa doğru çekilmesine sebebiyet vermektedir [2]. Bu nedenle yataklara aşırı yük binebilmekte, ikaz kısmında eksantrisite nedeniyle sürtmeler yaşanabilmektedir. Şaftın bir yöne kayması nedeniyle generatör yataklarında bulunan izafi şaft titreşimi sensörleri de şaftta sürterek hasar görebilmektedirler.

Dinamik eksantrisite ise; rotor kutuplarının yerel ısıl genleşmeler veya mekanik gevşeklik/kırılmalar nedeniyle yerlerinden oynaması, rotor çerçevesinin gevşekliği veya deformasyonu, şaft ile rotorun eş merkezli olmamasından ötürü oluşabilir. Her iki durum da üniteye enerji üretim veriminin düşmesine neden olmaktadır.

#### 4. Hava Aralığı İzleme Standartları

Önerilen hava aralığı tolerans değerlerini içeren bir kılavuz, Hydro-Québec elektrik şirketi ve Kanada Elektrik Derneği (The Canadian Electrical Association) tarafından hazırlanmıştır [3] (Tablo 1).

**Tablo 1.** Hydro-Québec elektrik şirketi ve The Canadian Electrical Association tarafından hazırlanan hava aralığı tolerans değerleri kılavuzu

Parametre	Kurulum toleransı	Kabul edilebilir seviye	Kritik seviye
Hava Aralığı Değişimleri	%13	%20	%30
Stator Çemberselliği	%7	%12	%20
Stator Eş Merkezliliği	%5	%7.5	%10
Rotor Çemberselliği	%6	%8	%10
Rotor Eş Merkezliliği	%1.2	%2.5	%4

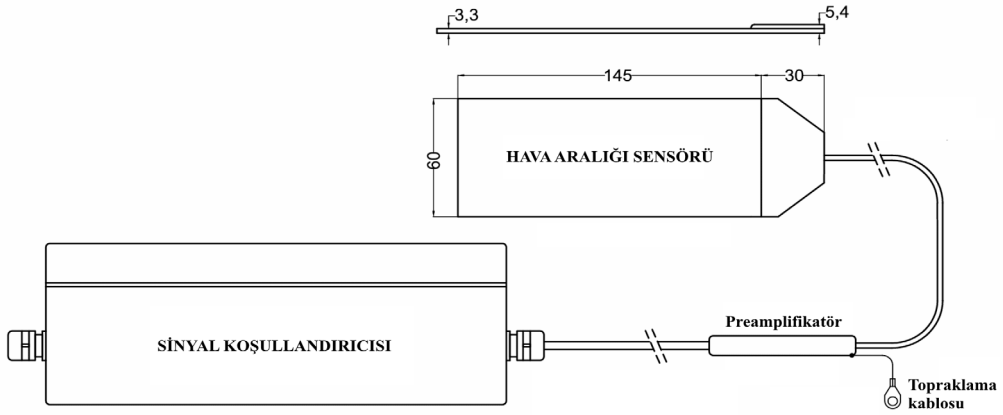
Tablodan görüldüğü üzere, büyük hasarlarla sonuçlanabilecek dinamik hava aralığı değişimlerine neden olması nedeniyle rotorla ilgili toleranslar daha düşük tutulmuştur.

#### 5. Dinamik Hava Aralığı İzleme Yöntemleri

Makina çalışır haldeyken hava aralığını izlemek “dinamik hava aralığı izleme” olarak adlandırılmaktadır. Rotorun bir turu boyunca ölçülen minimum hava aralığı değeri, ölçüm yapan sensörün bulunduğu noktada oluşan en düşük hava aralığına işaret etmektedir. Minimum hava aralığının sürekli olarak izlenmesi, rotorun statora çarpması gibi büyük hasarlarla neticelenebilecek durumların önüne geçmeyi sağlar. Ayrıca rotor ve stator şeklinin hava aralığı sensörlerinden elde edilen ölçüm değerleri kullanılarak belirlenmesi sayesinde generatördeki statik ve dinamik sorunlar ortaya çıkarılabilir. Hava aralığı geleneksel yöntemlerle (master, sentil kullanımı gibi) ölçülebilmektedir. Rotor ve stator şeklini de lazerli yöntemlerle belirlemek mümkündür. Ancak bu ölçümler makina durağan haldeyken yapılabildiği için sadece statik sorunların belirlenebilmesine yardımcı olabilirler. Makina çalışırken oluşabilecek dinamik durumlar ile elektromanyetik kuvvetler ve ısıl genleşmeler kaynaklı deformasyonlar makina servis dışıyken yapılan ölçümlerle belirlenemeyecektir. Dinamik hava aralığı ölçümünde kullanılan modern izleme sistemlerinden makinanın duruşunu gerektirmesizin zahmetsizce sonuç alınabilmekte ve makinanın durumu üretim sırasında her daim kontrol altında tutulduğu için olası arızaların gelişimleri anlık olarak takip edilebilmektedir.

#### 6. Hava Aralığı Sensörleri

Hava aralığı ölçümü için genellikle kapasitif prensiple çalışan temassız tip sensörler kullanılmaktadır. Ölçüm sisteminin üç ana bileşeni mevcuttur: Sensör, preamplifikatör ve sinyal koşullandırıcı (Şekil 3). Sensör, hava aralığında yer kaplamaması için mümkün mertebe ince (uygulamaya göre en kalın bölgesi 2-5 mm) olmaktadır.



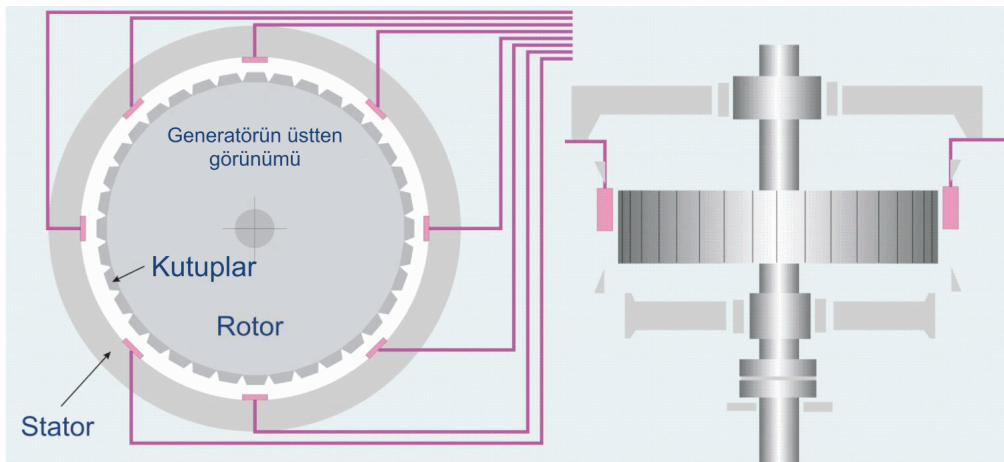
Şekil 3. 10-50 mm ölçüm aralığına sahip bir hava aralığı sensörü ölçüm zinciri [4].

Sensörlerin generatörde oluşabilecek yüksek sıcaklıklara (125°C civarı) dayanacak nitelikte olmaları gereklidir. Preamplifikatör ve sinyal koşullandırıcı ise elektronik bileşenler içerdikleri için 80°C civarı sıcaklıklara dayanabilmektedirler ve bu nedenle stator dışında yüksek ısıya uzak bölgelere yerleştirilmelidirler. Preamplifikatöre yakın bulunan topraklama kablosu stator üzerinde uygun bir noktaya bağlanmalıdır. Sensörün uygun şekilde topraklanması, ölçümün sağlıklı gerçekleşebilmesi için gereklidir.

Sensör ve koşullandırıcısı genellikle birlikte kalibre edildikleri için sensör değişimi durumlarında kalibrasyon işlemi sahada tekrar yapılmalıdır. Bunun için aralarındaki mesafe hassas olarak ayarlanabilen iki metal plaka kullanılabilir.

## 7. Hava Aralığı Ölçümünde Sensör Yerleşimi

Hava aralığı sensörleri generatör iç duvarına monte edilirler ve önlerinden geçen her bir kutup ile stator duvarı arasındaki mesafeyi ölçerler (Şekil 4). Hava aralığı ölçümü için sensörler “rotora monteli” ve “statora monteli” olacak şekilde iki farklı ölçüm metodolojisi mevcuttur. Pratik sebeplerden ötürü bunlardan “statora monteli” olan yöntem genellikle tercih edilmektedir.



Şekil 4. Hava aralığı sensörlerinin yerleşimi.

Sensörler generatörün üst seviyesine ve alt seviyesine yerleştirilebilmektedir. Sensör konfigürasyonu 1 veya 4 adet ile sınırlı ise sadece üst seviye düzlemi seçilmektedir. Üst seviye hava aralığı sensörünün, stator duvarının üst sınırı

rından itibaren 2 numaralı havalandırma deliğinin hemen altından başlayacak şekilde monte edilmesi önerilmektedir. Bu sayede sensör rotor kutbunun düzgün olan yüzeyini algılamaya yetecek derinlikte olacaktır.

### 7.1. Tek Sensörle Hava Aralığı İzleme

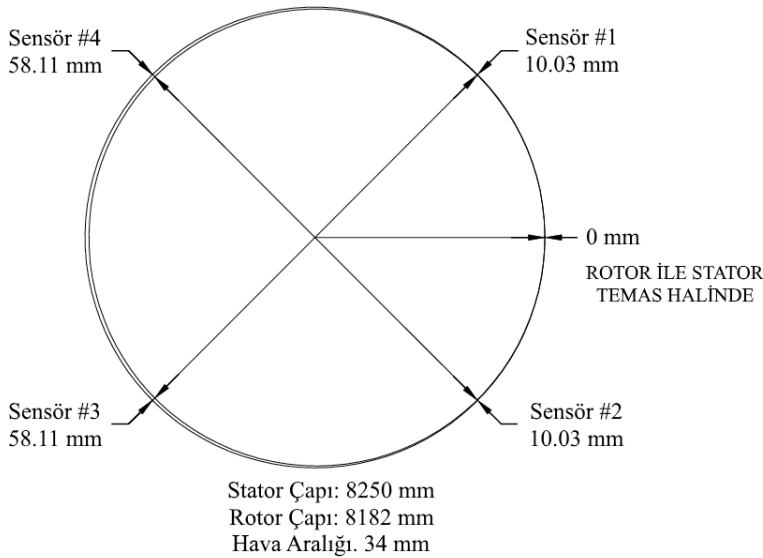
Generatör başına bir adet sensör kullanılarak hava aralığı izlendiğinde, rotor şeklinin zamana göre nasıl değiştiği hassas bir şekilde ölçülebilir. Eğer sensör bir devir tetiklemesi ile ilişkilendirilecek olursa hangi kutbun daha ileride, hangisinin daha geride olduğu belirlenebilir. Ancak tek sensörle izleme, statorun deformasyonu (çembersellikten sapması) veya dış merkezlilik (eş merkezlilikten sapma, eksantrisite) kaynaklı hava aralığı değişimleri hakkında bilgi vermeyecektir. Ayrıca statorun tek bir noktasında ölçülen minimum hava aralığı değeri, çevresel olarak tüm noktalarda oluşabilecek minimum değeri temsil etmeyecektir. Bu sebeple tek sensör uygulaması sadece rotor şekil değişimini algılamak için kullanılabilir.

### 7.2. Dört Veya Daha Fazla Sensörle Hava Aralığı İzleme

Ölçüm sisteminin, rotorun statora sensör bulunmayan bir noktadan çarpmasını algılayabilmesi ve stator kaynaklı hava aralığı değişikliklerinin belirlenebilmesi için çevresel olarak yerleştirilmiş belli adet sensöre ihtiyaç duyulmaktadır. Stator iç çapı ve yüksekliği göz önüne alındığında, önerilen hava aralığı sensör konfigürasyonu aşağıdaki gibi olmaktadır:

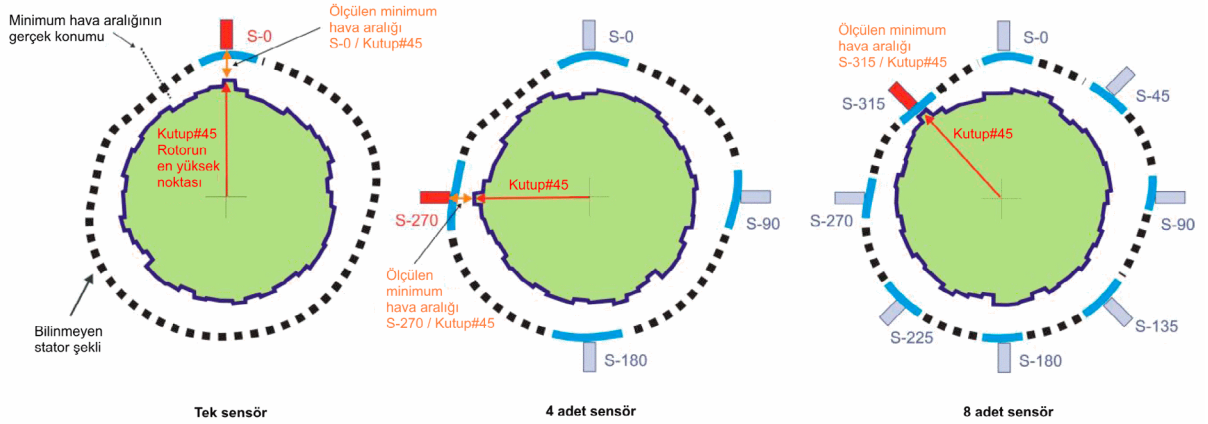
- Stator üst seviye hava aralığı: 8 metre çapa kadar 4 adet; 8 metre üzeri her 2 metre için +2 adet.
- Stator alt seviye hava aralığı: Rotor yüksekliği 1,5 metreden az ise: 0 veya 1 adet; 2,5 metreden az ise: 2 veya 4 adet; 2,5 metreden fazla ise: üst seviye ile aynı.

Seçilecek sensör adedini ve tipini belirlerken **Şekil 5**'teki örnekte görülen grafik hesaplama yöntemi kullanılabilir. Bu örnekte yer alan 4 sensörlü senaryoda rotor 1 ve 2 no'lu sensörlerin orta noktasından statora temas ettirilmiştir ve sensörlerin yer aldığı noktadaki hava aralıkları hesaplanmıştır. Sensör sayısı 6 ve 8 olacak şekilde senaryolar da denenebilir. Böylece optimum sensör adedi belirlenebilir ve gerekli ölçüm aralığına göre katalogdan sensör tipi seçilebilir.



**Şekil 5.** Hava aralığı sensör adedini ve tipini belirlerken başvurulabilecek grafik hesaplama.

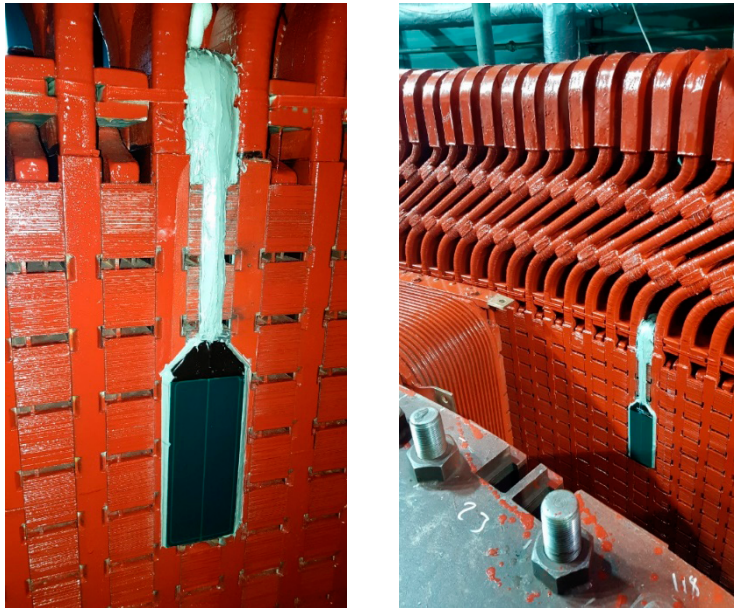
Çoklu sensörlü uygulamada her bir sensörden aynı rotor şekli (profili) eğrisi elde edilecektir. Buna ilave olarak stator için “dış merkezlilik” ve “çembersellikten sapma” değerleri yazılım tarafından yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Stator deformasyonu veya dış merkezlilik sorunu olduğu hallerde, sistemde kullanılan sensör sayısı arttıkça, ölçülen minimum hava aralığı değeri gerçek değere yaklaşacaktır (**Şekil 6**).



Şekil 6. Tekli ve çoklu sensör uygulamalarında ölçülen minimum hava aralığı [5].

## 8. Hava Aralığı Sensörü Montajı

Hava aralığı sensörleri stator duvarına yapıştırılarak monte edilirler. Kabloları soğutma kanalları veya sargı uçlarından dışarı doğru çekilir. Sensörlerin yerleşimi için en uygun durum, en az bir kutbun demonte olmasıdır. Sensörün stator iç duvarına montajı özel yapıştırıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Yüksek ısı ve mekanik dayanıma sahip olan ve aynı zamanda statordaki ısınmalar nedeniyle oluşabilecek küçük genleşmelerde esnek davranabilecek silikon bazlı yapıştırıcılar tercih edilmektedir. Sensör yapıştırıldıktan sonra kablosunun geçiş güzergahı da silikon ile kapatılır (Şekil 7).



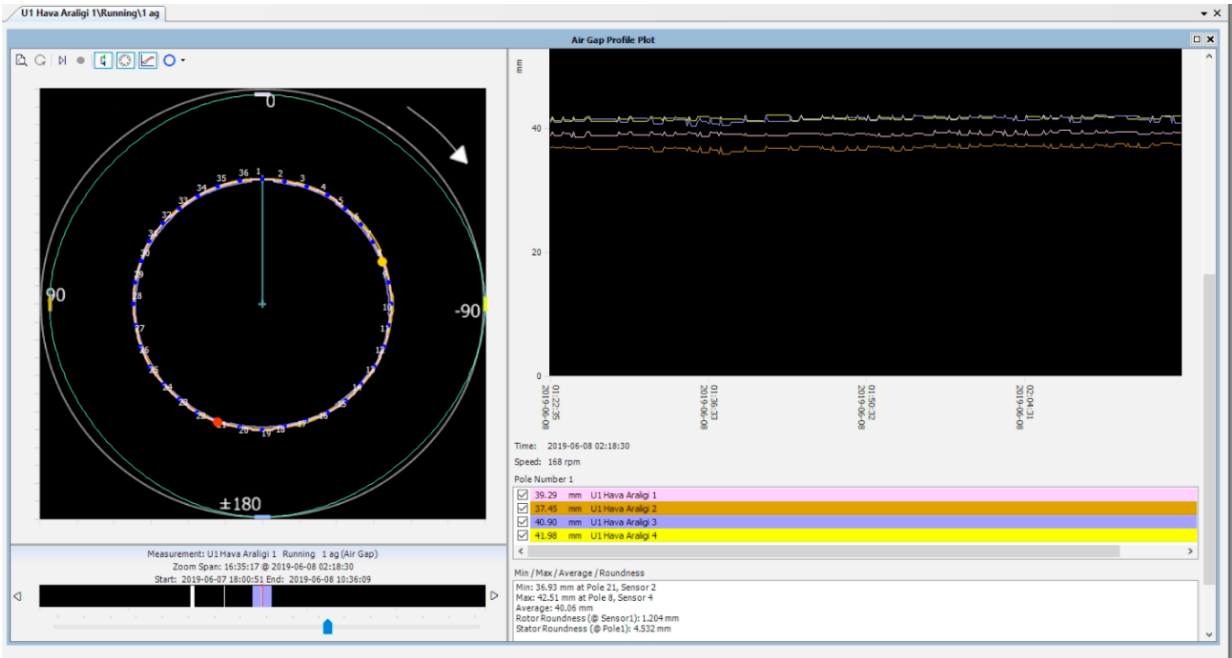
Şekil 7. İç çapı yaklaşık 8 metre olan bir statorda hava aralığı sensörü montajı.  
Hava Aralığı İzleme Sistemi Donanımı ve Yazılımı

Minimum hava aralığı parametresinin ölçümü basit bir elektroniğe sahip bir izleme sistemi ile gerçekleştirilebilmektedir. Aşağıda belirtilen arıza teşhisine yönelik diğer parametrelerin ölçümü ise titreşim izleme sistemleri gibi yüksek örnekleme hızlarına sahip veri toplama cihazları ve devir tetiklemeli ölçümler gerektirmektedir.

Dinamik hava aralığı izleme sisteminde ölçülebilen parametreler:

- Anlık hava aralığı: Her bir kutup her bir sensör önünden geçerken ölçülen hava aralığı değeri.
- Minimum hava aralığı: Bir tur boyunca ölçülen en düşük hava aralığı değeri.
- Maksimum hava aralığı: Bir tur boyunca ölçülen en yüksek hava aralığı değeri.
- Ortalama hava aralığı: Bir tur boyunca her bir kutbun hava aralığı ölçüm değerlerinin ortalaması.
- Minimum hava aralığı kutup numarası: Minimum hava aralığı değerinin tetkik edildiği kutup numarası.
- Maksimum hava aralığı kutup numarası: Maksimum hava aralığı değerinin tetkik edildiği kutup numarası.
- Rotor çemberselliği: Rotorun mükemmel çemberden sapma miktarı.
- Stator çemberselliği: Statorun mükemmel çemberden sapma miktarı (*yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir*).
- Rotor eş merkezlikten sapması
- Stator eş merkezlikten sapması

Genellikle sensörün ön yüzeyi ölçümün başlangıç noktası (0 mm) olarak kabul edilmektedir ve sensör koşullandırıcısının voltaj çıkışları buna göre olmaktadır. Sensörün kendi kalınlığının yanısıra, sensör stator duvarına yapıştırılırken arkasında belli bir silikon tabakası kalınlığı oluşmaktadır. Gerçek hava aralığının (true air gap) bulunabilmesi için bu kalınlıkların sensörün ölçeceği hava aralığı değerine eklenmesi gereklidir. Bu tip ayarlar sistem yazılımında yapılabilmektedir.



**Şekil 8.** 36 kutuplu bir ünitede hava aralığı profili grafiği (solda) ve 1 no 'lu kutba ait trend grafiği (sağda).

Türkiye'de yer alan 36 kutuplu, 8 metre çapa sahip 180 MW gücünde bir generatörde 4 adet hava aralığı sensörü ile yapılan sürekli izleme esnasında elde edilen hava aralığı profili grafiği **Şekil 8**'de görülmektedir. Soldaki polar grafikte her bir kutbun pozisyonu merkezden uzaklık şeklinde çizdirilmiş olup rotorun şekli görülmekte, grafikteki kırmızı renkli nokta hava aralığının minimum olduğu noktayı, sarı renkli nokta ise maksimum olduğu noktayı işaret etmektedir. En dış beyaz çember statorun sahip olması gereken mükemmel çember formunu, etrafındaki yeşil eğri ise hesaplanan stator şeklini göstermektedir. Sağ üstteki grafikte, seçilen kutba ait her bir sensörden alınan ölçüm değerlerinin zamana bağlı değişimi (trend) görülmektedir. Altında her bir hava aralığı sensörünün ölçüm değerleri yer almaktadır. Sağ kısımda en altta ise minimum ve maksimum değerlerin hangi sensörler tarafından hangi kutuplar geçerken ölçüldüğü, ortalama hava aralığı, hesaplanan rotor ve stator çembersellikten sapma değerleri bulunmaktadır.



## 9. Sonuç

Hava aralığı izleme sistemleri, generatör durumu ile ilgili olarak başka ölçüm yöntemleri ile elde edilemeyecek özgün bilgiler sunmaktadırlar. Hidroelektrik santrallerdeki büyük çaplı generatörler için bu bilgiler makina sağlığı ve üretim sürekliliği açısından hayati nitelikte olabilmektedir. Hava aralığı izleme sisteminin izafi shaft titreşimleri izleme sistemi ile entegre halde bulunması birçok avantajı beraberinde getirmektedir. Her iki ölçüm metodu ile elde edilen dinamik ve statik veriler aynı yazılımda eş zamanlı olarak değerlendirilebilir ve bunun yanısıra güç, ikazlama gerilimi gibi makinanın diğer parametreleri ile ilişkilendirilerek kullanıcının elinde erken arıza teşhisi amaçlı kullanılacak daha fazla gereç olması sağlanır. Böylece makina durumu hakkında bütünsel bir kavrayışa varılabilmesi kolaylaşır.

## 10. Kaynaklar

- [1] Moore, B. 2012. “The Effects of Cycling on Generator Rotors”, Proc. ASME. 44977; Volume 3: Thermal-Hydraulics; Turbines, Generators, and Auxiliaries, pp. 857-862.
- [2] Bissonnette, M.R., Stevenson, A., Wallman, R. 2006. “Case studies of problems diagnosed using on-line machine monitoring on hydro-generating machines”, HydroVision 2006
- [3] Canadian Electrical Association (CEA). 1989 (rev. 1998). “Hydroelectric Turbine Generator Units - Guide for Erection Tolerances and Shaft System Alignment, Part V”
- [4] Mikrotrend Ltd. 2018. “Air Gap Sensor AGS Installation and user manual”, <http://www.mikrotrend.com/ags-air-gap-sensor.htm>, 19.08.2019
- [5] Brüel & Kjær Vibro GmbH. “Air gap and magnetic flux monitoring with Compass”