

LAZERLİ GEOMETRİK ÖLÇÜM TEKNİKLERİ

Emre ORHON

ÖZET

Endüstriyel tesislerdeki makinalarda “geometrik ölçümler” makina sağlığı açısından önem teşkil etmektedir. Örneğin, yeni kurulacak olan veya bakım sebebiyle demonte edildikten sonra yerine tekrar monte edilecek olan makinaların düzlemsel bir temele sahip olması, türbin yatak göbeklerinin merkezlerinin birbirleriyle doğrusal olarak hizalı olması, rüzgar türbinlerinin kuleye montajında çembersel düzlüğün sağlanması, hidroelektrik türbin şaftlarının doğrusal ve şakulde olması gereklidir. Aksi takdirde makinalar titreşimli çalışacak, aşınmalar baş gösterecek ve makina ömrü kısılacaktır. Bu bildiri kapsamında doğrusallık, çembersel-dikdörtgensel düzlük ve yatak göbeği hizalama gibi geometrik ölçümler tanıtılarak lazerli ölçüm tekniklerine ve sanayideki uygulama alanlarına değinilecektir.

Anahtar Kelimeler: Doğrusallık, düzlemsellik, hizalama, merkezleme, diklik, şakul, lazer

ABSTRACT

Geometrical measurements is essential for the health of industrial machinery. For example, newly installed machines and reassembled repaired machines shall have flat foundations, turbine bore centers shall be aligned in a straight line, circular flatness shall be obtained at the wind turbine tower flanges, hydro unit shafts have to be plumb. Otherwise machines will vibrate, wear and due to these effects machine life will be shorter. In this paper, geometrical measurements such as straightness, flatness and bore alignment will be explained and laser based measurement techniques and industrial applications will be presented.

Key Words: Straightness, flatness, alignment, bore alignment, perpendicularity, plumbness, laser.

1. GİRİŞ

Büyük çaplı sanayi tesislerinde üretim sürekliliğinin sağlanabilmesinin başlıca koşullarından biri makina sağlığının proaktif bakım yöntemleri ile güvence altına alınmasıdır. Proaktif bakım çerçevesinde titreşim izleme, yağ analizi, termal analizler, dengeleme (balans) ve kaplin ayarı (şaft hizalama) yer almaktadır. Kaplin ayarı işlemi bir çeşit geometrik ölçüm olup, kuvvet makinası ile iş makinasının şaftlarının eş eksenli hale getirilmesini amaçlamaktadır. Geçmişte komparatör kullanılarak yapılan kaplin ayar işlemi günümüzde lazerli teknolojiler kullanılarak daha hızlı ve hassas hale getirilmiştir. Kaplin ayarı işlemi, yaygın kullanımı nedeniyle geometrik ölçümler içerisinde başlıbaşına ayrı bir yere sahiptir. Dolayısıyla bu sunum kapsamında kaplin ayarı konusuna değinilmeyecek olup, bunun dışındaki geometrik ölçümlerinden bahsedilecektir.

Makinaların monte edilecekleri zeminde seviye farklılıklarının olmaması, türbinlerde şaftı kılavuzlayan yatakların merkezlerinin tek bir doğru üzerinde olması, düşey hidroelektrik türbinlerde şaftın kendi içerisinde doğrusallığı, şakulde olması ve taşıyıcı yatağın şafta dik olması gerekmektedir. Aksi

takdirde makinadaki dengesiz kuvvetlerden ötürü titreşimler, aşırı gerilmeler ve ısınmalar oluşacak ve makinanın sağlıklı çalışma ömrü olumsuz etkilenecektir. Bu sebeple makinaların ilk kurulumları esnasında ve bakım için sökülen makinaların tekrar montajının yapılması sırasında geometrik ölçümlerden yararlanılması gereklidir.

2. GEOMETRİK ÖLÇÜMLER

Geometrik ölçümler doğrusalılık ve düzlemsellik ana başlıklarında toplanabilir. Her iki yöntemde de belli bir referans (örneğin yerçekimi doğrultusu veya sabit bir nokta/düzlem) kabul edilerek veya kabul edilmeksizin ölçümler alınabilir.

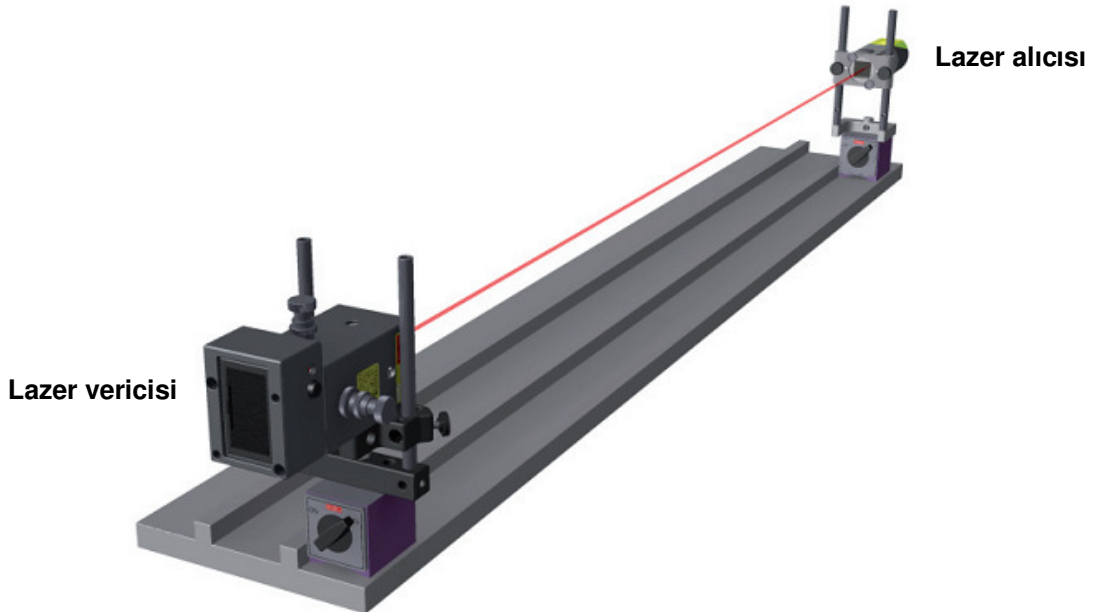
2.1. Doğrusallık

Doğru, iki nokta arasındaki en kısa mesafe olarak tanımlanmaktadır. Doğrusallık ölçümleri, üç veya daha fazla noktanın aynı doğru üzerinde olduğunun kontrolü amaçlıdır.

Bir shaftın veya bir makina parçasının doğrusal olup olmadığının kontrolü için, doğrusal olduğundan emin olunan bir çizgiye ve bu çizgi ile ölçüm yapacağımız parça arasındaki dik mesafeyi ölçmeye ihtiyaç vardır. Eskiden doğrusal olduğundan emin olunan çizgiyi teşkil etmek için gergin bir ip kullanılırdı. İp, doğrusalılığı ölçülecek makina parçasına paralel halde gerilir ve ip ile parça arasındaki dik mesafeler parça boyunca yeterli miktarda noktadan ölçülerek parçanın doğrusalıktan sapma profili çıkarılırdı.

Lazerli yöntemde ise lazer ışını ipin yerini almıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, lazer vericisi ölçülecek parçanın bir tarafına sabitlenir ve lazer ışını mümkün mertebe parçaya paralel olarak ayarlanır. Lazer alıcısı (dedektör) ise parça boyunca doğrusal olarak gezdirilerek çeşitli noktalarda ölçümler alınır. Alınan ölçümler bilgisayarda veya ölçüm cihazının ekranında çizdirilir.

Eğer lazer alıcısı 2 düzlemliyse, 2 düzlemde (örneğin yatay ve düşeyde) doğrusalılık ölçülmesi mümkündür. Bunun için alıcının ölçülecek her iki yönde hareketinin kısıtlanması gereklidir (Şekil 1'de olduğu gibi). Eğer alıcının hareketi tek yönde kısıtlı ise (örneğin sadece düşey doğrultuda sabitleniyor ve yatayda hareket serbestliğine sahipse), sadece hareketi kısıtlı olan yöndeki doğrusalılık ölçülebilir.



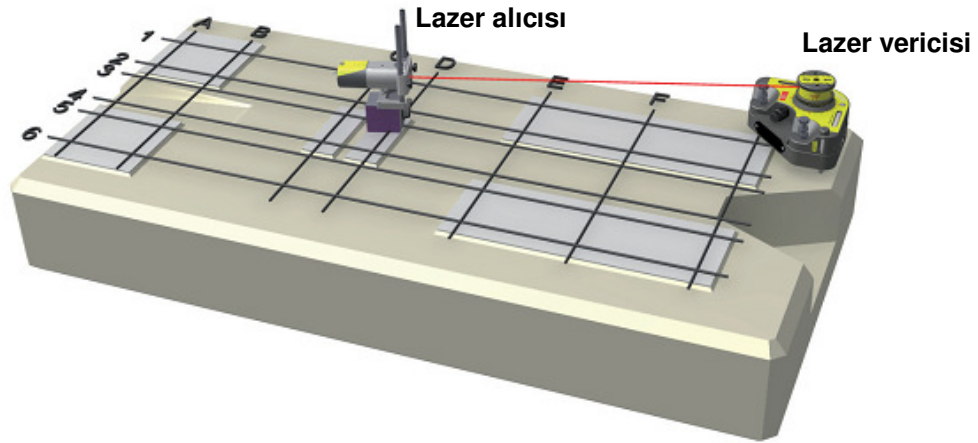
Şekil 1. Lazerli doğrusalılık ölçümü.

Çıkan sonuç, ölçüm alınan noktaların birbirlerine göre izafi konumlarını göstermektedir. Doğrusallıktan sapan noktalar şim vs. eklenerek veya taşlanarak düzeltilebilir. Bunun için ölçüm noktalarından iki noktayı referans kabul etmek ve diğer noktaları bu iki noktaya izafi olarak çizdirmek gereklidir. Örneğin ilk ölçüm ve son ölçüm referans (sıfır) kabul edilir ve diğer noktalar şim eklenerek veya taşlanarak bu iki referans noktasından geçen doğru üzerine getirilmeye çalışılır.

2.2. Düzlemsellik

Mükemmel bir düzlemde girinti ve çıkıntılar yoktur. Düzleme yandan bakıldığında düz bir çizgi görülür. Makinaların sağlıklı çalışabilmeleri için oturdukları zeminin düzlemselliği önemlidir.

Düzlemsellik ölçümü Şekil 2'de görüldüğü gibi döner kafalı bir lazer vericisi ve bir lazer alıcısı ile yapılmaktadır. Lazer vericisi düzlem dışı bir noktaya sıkıca sabitlenir ve lazer vericisinin döner kafasından çıkan lazerin süpürdüğü alanın düzleme mümkün mertebe paralel olması verici üzerindeki ayar vidaları vasıtasıyla sağlanır. Lazer alıcısı yüzey üzerinde ızgara halinde belirlenen ölçüm noktalarına sabitlenir, lazerin alıcının yatay olarak merkezine vurması sağlanır ve düşeyde ölçüm değeri okunur. Her nokta için yapılan ölçümlerden sonra noktaların birbirlerine göre izafi konumları elde edilmiş olur.



Şekil 2. Lazerli düzlemsellik ölçümü.

2.3. Diğer Geometrik Ölçüm Kıstasları

Makina montajlarında doğrusallık ve düzlemsellik ölçümleriyle birlikte gözetilebilecek diğer kıstaslar diklik, şakul ve terazidir.

2.3.1. Diklik

Diklik, iki doğru veya düzlem arasında 90 derece açının var olması ile sağlanmaktadır. Örneğin konik dişlilerin şaft eksenlerinin birbirlerine dik olması istenir, düşey hidroelektrik türbin şaftının taşıyıcı yatak ringine dik olması istenir, vs.

2.3.2. Şakul

Bir doğru yer çekimine paralel ise "şakuldedir". "Şakul" yapı ustalarının kullandığı en eski aletlerdendir. Ucuna bir ağırlık bağlı bir ipin serbestçe hareketsiz şekilde tutulması ile yerçekimine paralel bir doğru elde edilir. Bu sayede duvarcılar yeryüzüne dik ve düz duvarlar örmeyi başarabilmişlerdir.

Düşey hidroelektrik makina şaftları gibi düşey doğrultuda monte edilmiş uzun şaftların şakulde olması gereklidir.

2.3.3. Terazî

Bir düzlem şakul doğrusuna dik ise "terazidedir". Bir başka deyişle yere paralel bir düzlem terazide bir düzlemdir. Bir düzlemin terazide olup olmadığı hassas su terazileri ile kontrol edilebilir.

3. GEOMETRİK ÖLÇÜMLERİN SANAYİDEKİ UYGULAMALARI

Doğrusallık ve düzlemsellik ölçümlerinin sanayide çeşitli uygulamaları mevcuttur. Bunlardan en genel kullanıma sahip olanları aşağıda dört madde halinde sunulmuştur.

3.1. Makina Zeminlerinin Düzlemselliği

Yeni bir makinanın fabrikadaki yerine yerleşiminden önce düzlemsellik ölçümleri yapılmalıdır. Makina temele doğrudan ankraj civatalarıyla sabitleniyor ise temelin düzlemselliği, yaylar üzerindeki bir çerçeve yardımıyla sabitleniyorsa hem zeminin hem de çerçevenin düzlemselliği kontrol edilir. Eğer makinanın civata bağlantılarının veya yayların bağlantılarının yapılacağı noktalar düzlemden sapma gösteriyorlarsa noktalara şim eklenmesi vasıtasıyla düzlemsellik sağlanır. Aksi takdirde düzlemden sapmalar nedeniyle total ayak, yayların sıkışması veya fazlaca serbest kalması gibi sorunlar yaşanabilir.

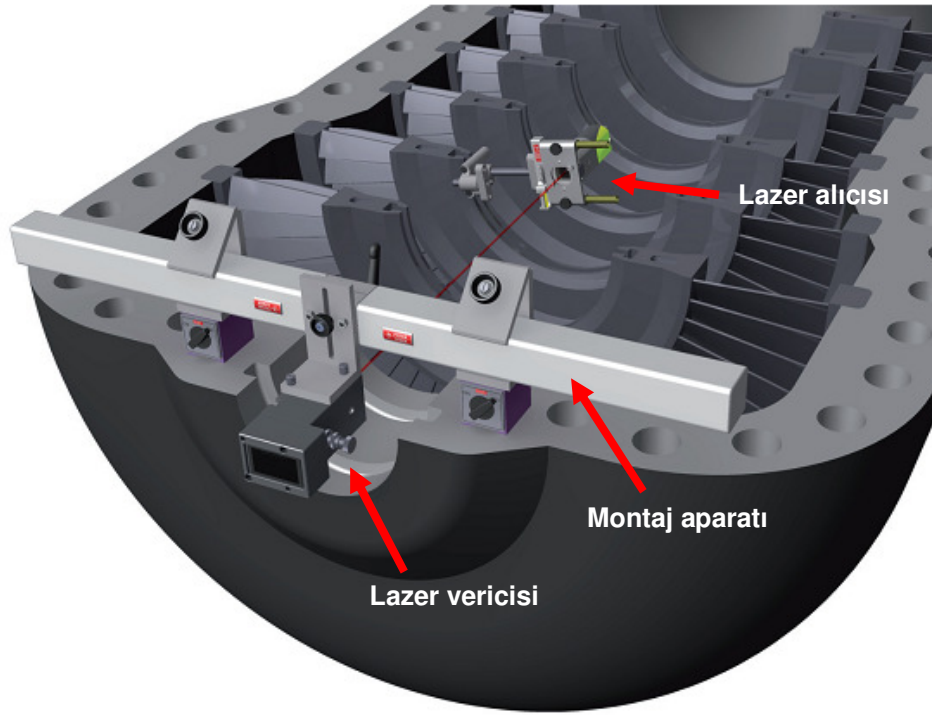
3.2. Türbin Yataklarının Merkezlenmesi

Türbinler gibi kaymalı yataklara sahip makinalarda şaftın yatak içerisinde sağlıklı dönebilmesi için yatak göbeği merkezleme (bore alignment) işlemi önem arz etmektedir. Yatak göbeği merkezleme işlemi de doğrusallık ölçümünün bir şekli olup, yatak göbeklerinin merkezlerinin bir doğruya göre yatay ve düşey eksendeki konumunu ölçüp sonra da yatakları her iki eksende ayarlayarak bu doğru ile çakıştırma amacını taşımaktadır.

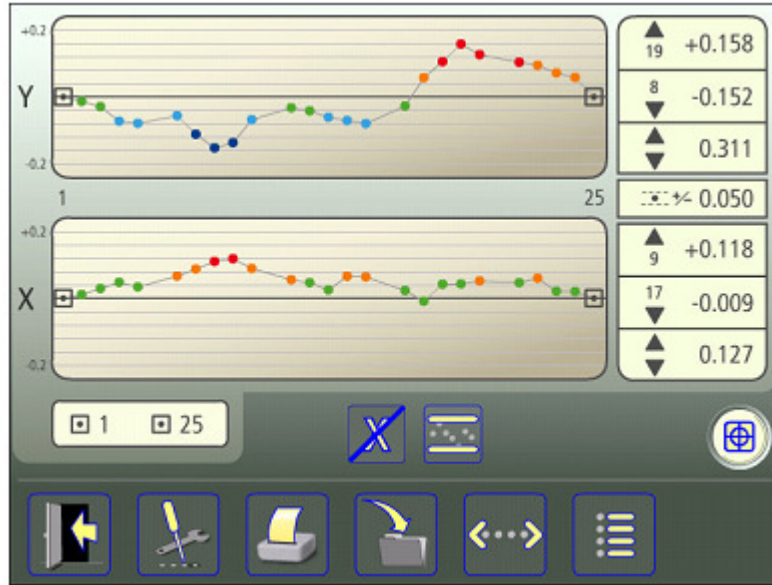
Hizalama işlemi için iki referans noktasına ihtiyaç vardır. Yatak göbekleri bu iki referans noktasından geçen doğru ile çakışacak şekilde ayarlanır. Referans noktaları genellikle türbine ait iki adet yatak göbeğinin merkezi olarak belirlenmektedir. Ayarlama işlemi sonucunda yatak göbeği merkezleri, referans olarak belirlenen iki nokta arasından geçen doğru ile çakışacaktır.

Şekil 3'te yatak göbeği merkezleme ölçümünden bir temsili resim bulunmaktadır. Lazer ünitesi türbinin bir tarafına, ayarlanacak yatakların üzerine gelmeyecek şekilde yerleştirilir. Lazer alıcısı her ölçüm noktasından çembersel olarak en az 3 ölçüm alacak şekilde dolaştırılarak tüm yataklar ve diyaframlar ölçülür.

Cihaz ekranından alınan bir ölçüm sonucu örneği Şekil 4'te görülmektedir. Üstteki grafik düşey yöndeki, alttaki grafik ise yatay yöndeki ölçümleri göstermektedir. Bu örnekte en baştaki ve en sonraki ölçüm noktaları referans (sıfır) kabul edilmiş ve diğer noktaların bu referans noktalarına göre izafi pozisyonları çizdirilmiştir. Bir noktanın toleranslar dahilinde olup olmadığı renklerle anlaşılmaktadır.



Şekil 3. Yatak göbeği merkezleme ölçümü kurulumu.



Şekil 4. Yatak göbeği merkezleme için ölçüm sonucu örneği.

Yatak göbeği merkezleme ölçümleri farklı referanslara göre yapılabilmektedir:

1. Yatak göbeği merkezlerinden ikisi referans kabul edilerek diğer yatakların buna göre ayarlanması
2. Şaft dönel eksenini referans kabul edilerek yatakların bu eksene göre ayarlanması
3. Yatak göbeği merkezlerinden ikisi referans kabul edilerek şaft dönel ekseninin buna göre ayarlanması

3.3. Düşey Hidroelektrik Türbinlerde Hizalama ve Şakul

Düşey hidroelektrik türbinlerde olası geometrik sorunlar şunlardır:

1. Sabit parçaların eksenlerinin çakışmaması
2. Yatakların veya şaftın çembersellikten sapması
3. Taşıyıcı yatak ringi ile şaft ekseninin diklikten sapması sonucu statik kaçıklık
4. Şaftta doğrusalıktan sapma (eğik şaft veya kaplin ayarsızlığı)
5. Şaftın şakulden sapması (taşıyıcı yatak ringinin teraziden sapması)

3.3.1. Sabit Parçaların Eksenlerinin Çakışmaması

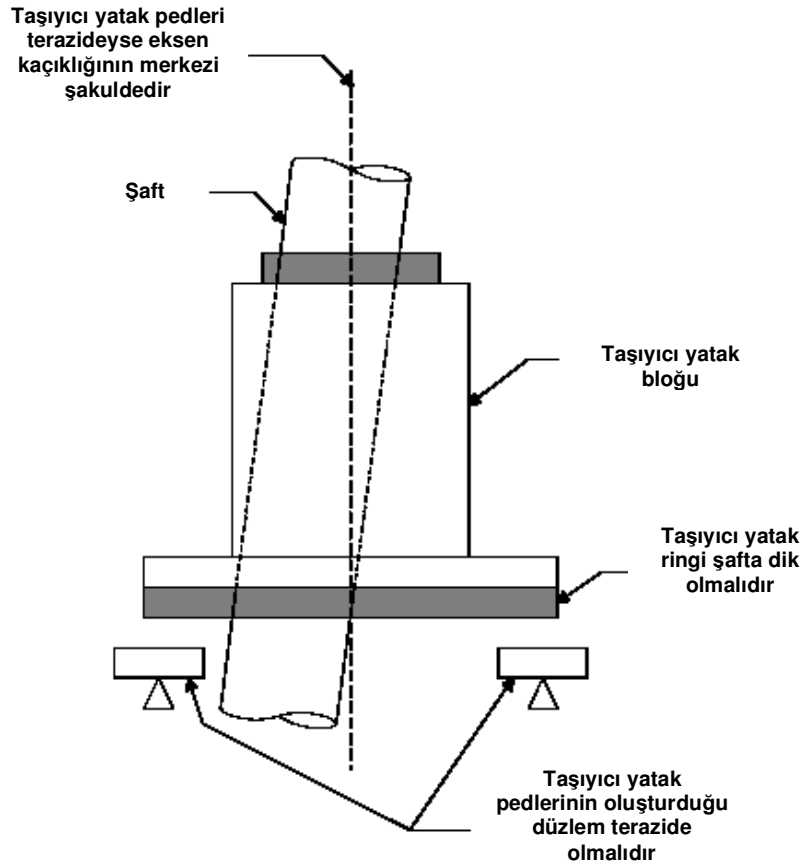
Türbindeki sabit parçaların merkezlerinin düz bir doğru teşkil etmesi gerekir. Yataklardaki ve türbin salmastrasındaki boşlukların (clearance) ve generatör hava aralığının ölçümü ile bu elemanların merkezlerinin şaftta izafi konumu belirlenebilir.

3.3.2. Yatakların Veya Şaftın Çembersellikten Sapması

Yatak, şaft gibi herhangi bir yuvarlak parçanın mükemmel bir çemberden sapması yağ filmi düzensizliklerine, titreşime ve aşınmalara yol açacaktır.

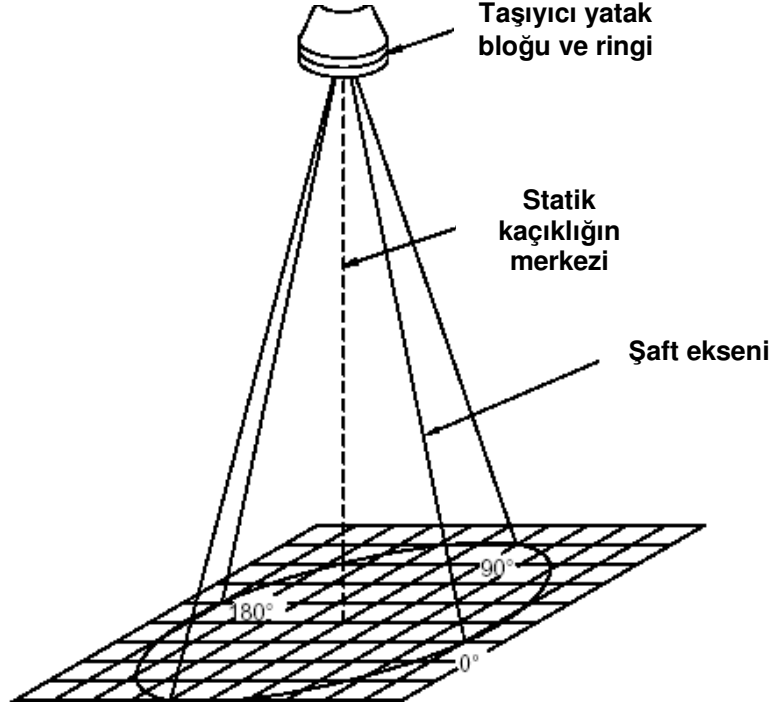
3.3.3. Taşıyıcı Yatak Ringi İle Şaft Ekseninin Diklikten Sapması Sonucu Statik Kaçıklık

Şekil 5'te taşıyıcı yatak ile şaftın durumu görülmektedir. Taşıyıcı yatak ringi şaft eksenine dik değilse şaft Şekil 6'daki gibi bir koni çizecektir. Bu konik kaçıklık statik kaçıklık (static runout) olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 5. Düşey hidroelektrik türbinde taşıyıcı yatak ve şaftın durumu [1].

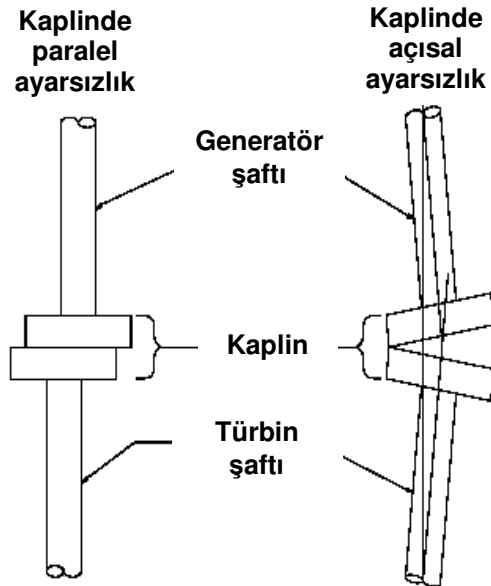
Statik kaçıklık belli bir tolerans dahilinde olmalıdır. Taşıyıcı yatak ile şaftın birbirine dikliği ne kadar iyi seviyede ise statik kaçıklık o derece düşük olacaktır. Makinanın sağlıklı çalışabilmesi için statik kaçıklık konisinin ortasından geçen doğrunun şakulde olması gereklidir.



Şekil 6. Düşey hidroelektrik türbin şaftının statik kaçıklığı (runout) [1].

3.3.4. Şaftta Doğrusallıktan Sapma

Generatör ve türbin şaftlarının eş eksenli olması gereklidir. Şaftın doğrusallıktan sapmasının nedeni şaftın kendi içerisindeki eğikliği olabileceği gibi, genellikle karşılaşılan sorun Şekil 7'de görülen paralel ve açısal kaplin ayarsızlığıdır.



Şekil 7. Hidroelektrik türbin şaftında hizalama problemleri [1].

3.3.5. Şaftın Şakulden Sapması

Şakul çizgisi tüm ölçümler için referans teşkil etmektedir. Amaç şaftın kendisini şakule getirmek değil, taşıyıcı yatak yüzeyini teraziye getirmektir. Eğer taşıyıcı yatak diski şafta tamamen dik ise, şaft şakule geldiğinde taşıyıcı yatak diski de terazide olacaktır. Statik kaçıklığının merkezi şakule getirilir.

3.3.6. Düşey Hidroelektrik Türbinlerde Geometrik Ölçümlerin Alınması

3.3.6.1. Doğrusallık Ölçümü

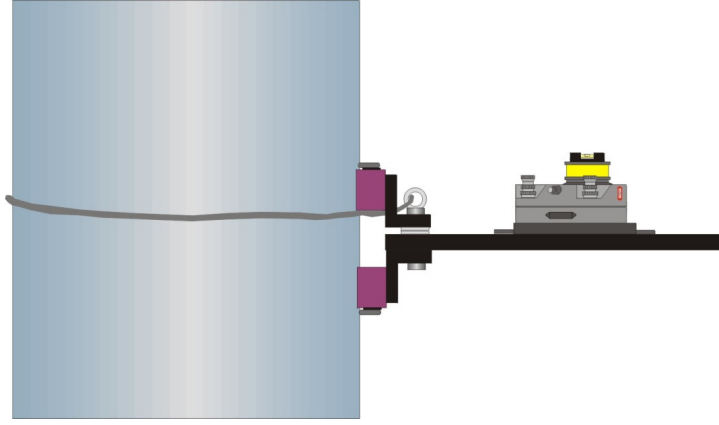
Geleneksel metotta şakul olarak kullanılan ağırlık bağlı 4 piyano teli şaft etrafında 90 derece açıyla sallandırılır. Tellerin ucundaki ağırlıklar yağ dolu kovaların içerisinde askıda durur (Şekil 8). Şaft boyunca çeşitli noktalarda piyano telleri ile şaft arası mesafe mikrometre ile ölçülerek kaydedilir. Sonrasında tüm ölçümler grafik olarak çizdirilerek şaftın doğrusallığı ve şakul durumu belirlenir.



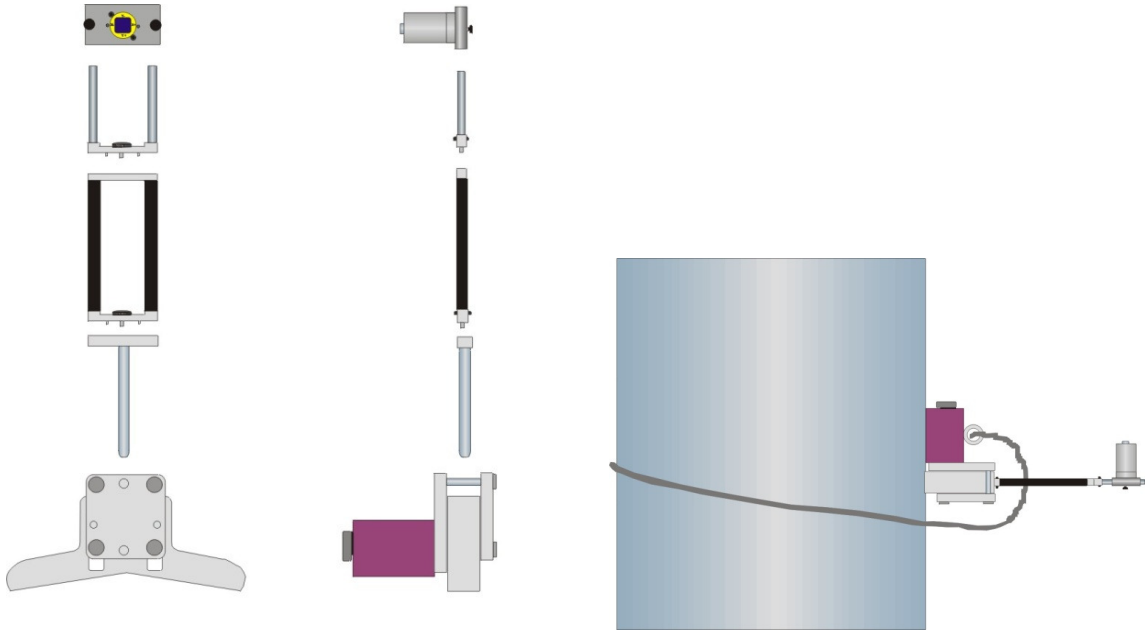
Şekil 8. Düşey şaftta doğrusallık ve şakul ölçümü için eski yöntem ölçüm kurulumu [1].

Lazerli yöntemde ise düşey doğrultuda lazer ışını veren bir lazer vericisi ve bir lazer alıcısı kullanılır. Lazer vericisi Şekil 9'da görüldüğü gibi şafta bir kemer ve manyetik ayak yardımı ile sabitlenebileceği gibi, türbin kılavuz yatağı zemininde sabit bir yüzeye de yerleştirilebilir. Lazer ışınının şakulde olması gereklidir. Bunu sağlamak için lazer vericisinin üzerinde kalibrasyonu yapılmış olan birbirine dik yönde 2 adet su terazisi ve vericinin her iki doğrultuda açısını ayarlamaya yarayan 2 adet hassas ayar vidası mevcuttur. Bu sayede lazerin 1 metrede 0.02 milimetre hassasiyetle şakule ayarlanması sağlanmaktadır.

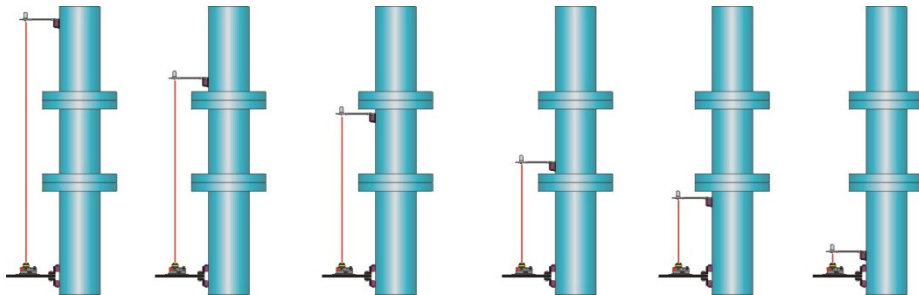
Lazer alıcısı şafta fikstürlerle bağlanarak şaftın her segmentinden 2 adet ölçüm alacak şekilde Şekil 11'de görüldüğü gibi dolaştırılır. Ölçüm noktaları kaplinlere yakın olarak seçilir. Lazer ünitesi şaftın etrafında 90 derece açılarla dört pozisyonda yerleştirilerek ölçümler tekrarlanır. Örneğin şaftta 3 segment varsa, şaftın her tarafında 6 ölçüm olmak üzere toplam 24 ölçüm alınır. Ölçümler Kuzey-Güney ve Doğu-Batı doğrultularında çizdirilerek şaftın doğrusallıktan sapması kontrol edilir.



Şekil 9. Lazer vericisinin şafta bağlantı şekli.



Şekil 10. Lazer alıcısının montaj fikstürü (solda), şafta bağlantı şekli (sağda).

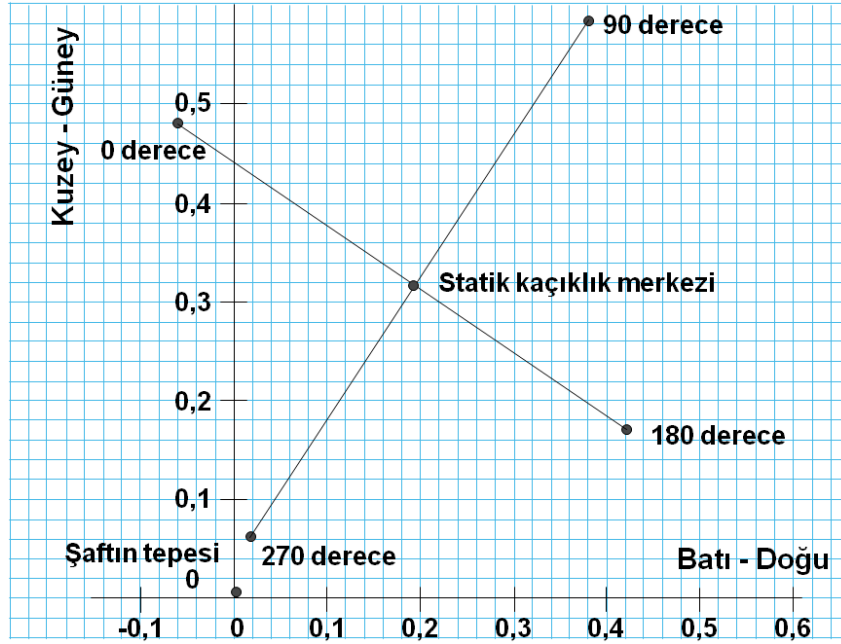


Şekil 11. Lazer alıcısının şaft boyunca gezdirilerek ölçümlerin alınması.

3.3.6.2. Statik Kaçıklık ve Şakul Ölçümü

Statik kaçıklık (runout) ve şakul ölçümü için tüm kılavuz yataklar şafttan uzaklaştırılır, salmastralar sökülür. Şaftın serbest olduğundan ve sadece taşıyıcı yatak tarafından düşey olarak taşınmakta olduğundan emin olunur. Lazer vericisi ve alıcısı doğrusallık ölçümünde olduğu gibi şafta yerleştirilir. Doğrusallık ölçümünden farklı olarak şaft başına iki farklı yükseklikten ölçümler alınır (ölçüm noktaları birbirlerinden mümkün mertebe uzak olmalıdır) ve şaft 90 derece döndürülerek dört farklı şaft pozisyonunda ölçümler tekrarlanır. Prosedür şu şekildedir:

1. Lazer vericisi şaftın kuzey tarafındaki zemine sabitlenir ve lazer ışını şakule alınır.
2. Lazer alıcısı ile şaftın en alt ve alt üst noktalarından ölçüm alınır ve kaydedilir.
3. Şaft 90 derece pozisyonuna döndürülür.
4. Lazer alıcısı ile şaftın en alt ve alt üst noktalarından tekrar ölçüm alınır ve kaydedilir.
5. Şaft 180 derece ve 270 derece pozisyonlarına döndürülerek ölçümler tekrarlanır.
6. Lazer vericisi şaftın güney tarafındaki zemine sabitlenir ve lazer ışını şakule alınır.
7. 2, 3, 4 ve 5 no'lu adımlar güney pozisyonu için tekrarlanır.
8. Şaftın doğu ve batı tarafları için de ölçümler tekrarlanır.
9. Sonuçlar tabloya aktarılır ve bilgisayar yardımıyla çizdirilir.



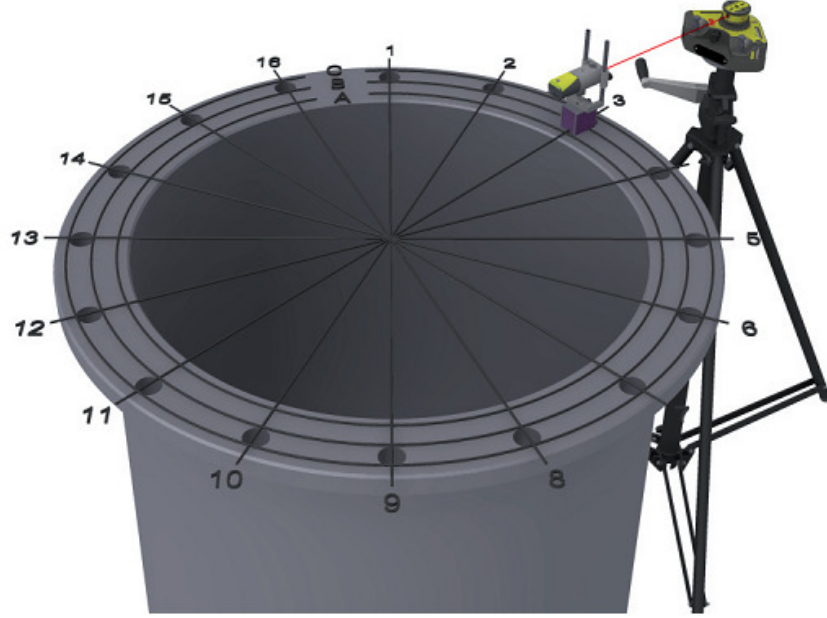
Şekil 12. Statik kaçıklık (runout) ölçümü.

Şekil 12'deki örnekte statik kaçıklık ölçüm sonucu görülmektedir. Statik kaçıklık merkezinin şaftın tepe noktasından sapması şaftın şakulden sapma miktarını ifade etmektedir. Bu ölçüm sonuçlarından hareketle, taşıyıcı yatak pedlerinin yükseklik ayarı ile statik kaçıklık merkezi şakule getirilir. Statik kaçıklığın toleranslar dışında olması halinde şaftın doğrusallığı, kaplin ayarı ve taşıyıcı yatak ringiyle şaft ekseninin birbirlerine dikliği kontrol edilmelidir.

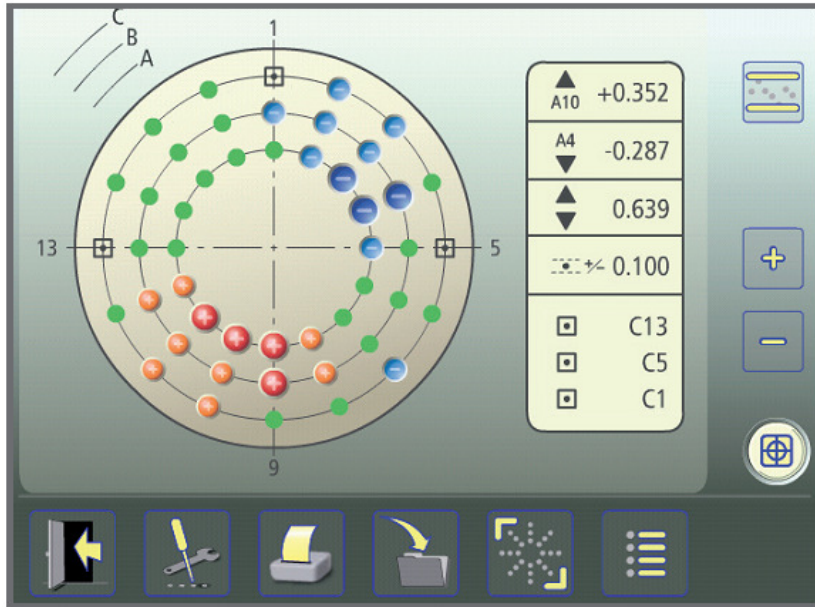
3.4. Rüzgar Türbini Kulelerinde Çembersel Düzlemsellik

Rüzgar türbinlerinin makina dairesi yüksek bir kulenin tepesine monte edilmektedir. Makina dairesinin kulenin tepesine düzgün yerleşebilmesi için kulenin tepesindeki montaj flanşının çembersel düzlemselliği haiz olması gerekmektedir.

Şekil 13'te görüldüğü gibi, düzlemsellik ölçümünde kullanılan döner kafalı bir lazer verici düzlemin dışında sabit bir noktaya yerleştirilir. Lazer alıcısı ise flanş üzerinde tanımlanan çeşitli noktalardan düşey yönde ölçüm alır. Şekil 13'teki örnekte flanş üzerinde iç içe 3 çember ve her çemberde 16 ölçüm noktası olmak üzere toplamda 48 ölçüm noktası tanımlanmıştır. Ölçüm sonuçlarının grafiksel gösterimi Şekil 14'te görülmektedir.



Şekil 13. Rüzgar türbini kulesi flanşında çembersel düzlemsellik ölçümü.



Şekil 14. Çembersel düzlemsellik ölçüm sonucu örneği.

SONUÇ

Bu bildiri kapsamında anlatılan lazerli geometrik ölçüm yöntemlerinin sanayide yaygın kullanımı ile titreşimlerin, aşırı ısınmaların ve aşınmaların önüne geçilerek makinaların daha sağlıklı çalışması, verimin artması, plansız duruşların en aza indirilmesi ve bakım sonrası montaj işlemlerinin çok daha kısa sürmesi ile bakım maliyetlerinde azalma ve üretim sürekliliğinde artış sağlanacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] TEMPLE, D., DUNCAN W., CLINE R., "Alignment of Vertical Shaft Hydrounits", United States Department of the Interior Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
[2] <http://www.fixturlaser.com.tr>

ÖZGEÇMİŞ

Emre ORHON

1978 yılı İstanbul doğumludur. 1999 yılında İTÜ Makina Fakültesini bitirmiş, aynı üniversitede "Makina Dinamiği Titreşim ve Akustik" yüksek lisans programını 2009 yılında tamamlamıştır. 2000 yılından bu yana Pro-Plan firmasında titreşim ve akustik konularında çalışmakta olup, bu süre zarfında birçok sanayi tesisinde titreşim izleme sistemi kurulumları ve titreşim ölçüm-analiz eğitimleri gerçekleştirmiştir.