

# RÜZGÂR ÖLÇÜM DİREĞİ İMALATINDA VE MONTAJINDA DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR

Burak KATIPOĞLU<sup>1</sup>

## ÖZET

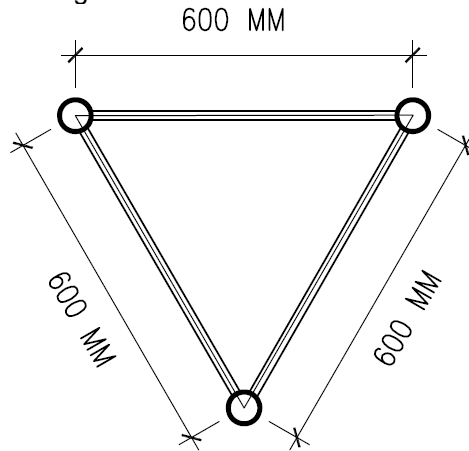
- Giriş
- Modüller
- Yan Kollar
- Yan Kol Uzunluklarının Belirlenmesi
- Kaldırma İşlemi
- Çalışma Şartları
- Sonuç
- Kaynaklar
- Özgeçmiş

## GİRİŞ

Rüzgar ölçüm direkleri Rüzgar Enerjisi Endüstrisinden ön çalışma yapabilmek için dikilen güvenilir ölçüm platformlarıdır. Fakat gerek dinamik yüklere maruz kalmaları gerekse buldukları zorlu tabiat şartları nedeniyle klasik yapılardan farklı şekilde inşa edilmeleri ve bakım gerektirirler.

## MODÜLLER

Rüzgar ölçüm direkleri modüller halinde üretilmektedir. Her modül 3 metre boyunda ve 0.5 m-0.6m aralığında değişen genişlikte üçgen kafes konstrüksiyondan oluşmaktadır. Taban bir üçgen levhadan oluşmakta ve üçgenin köşeleri dik olarak yerleştirilen 3 adet çelik ana boru, kafes sistemin ana gövdesini oluşturmaktadır. Bu gövdeler eşit açılı üçgen gönye şeklindeki bu iki demir tabanlara arasında dikey olarak ilk önce kaynaklanır ve daha sonra ana gövde boruları arasında ilave parçalar ile kaynak yapılarak yapı birbirine bağlanır.



Şekil 1. Tipik bir modül kesiti

<sup>1</sup> DEWI Danışmanlık

Kaynaklar gaz altı kaynak tekniği ile ilave parçalar ile kaynaklanmalıdır. Kafes direğin salınımlara ve periyodik yüklere dayanacak şekilde olması gerektiği düşünülmelidir. Bağlantılar yorulmaya dayanımlı yapılırsa ana gövdenin riski azalacaktır. Yorulma geçirdiği tespit olunan bağlantılar böylece direğin ikinci bir kullanımı halinde değiştirilebilir. Aksi takdirde yorulmayı ana gövde alacak ve herhangi bir ağır yük durumunda (kar, tipi, yüksek rüzgâr hızı) riski artıracaktır.

Modül "Z" seklini oluşturacak biçimde 3 demir çubuğun kaynak yapılmasıyla bağlanmaktadır. "Z" sekli tekrarlanarak modülün bir yüzü tamamlanır. Çubukların dikey kaynak mesafesi modülün dayanımı göz önünde bulundurularak seçilir. Bu seçim yapıldıktan sonra çalışanların modülde rahat çalışmaları ve tırmanmaları için mesafelerin çok büyük bırakılmaması gerekmektedir. Rüzgâr ölçüm direkleri insanları çalıştırdıkları ve tamir yaptıkları bir ortamdır. Yatay çubukların kalınlıkları ortalama bir insanın ağırlığını herhangi bir plastik deformasyona uğramadan taşıyacak şekilde seçilmelidir.

Vida veya halat deliklerin açılmasında dikkat edilecek husus kesinlikle çapak ve cüruftan temizlenmiş durumda olmalarıdır. Zor çalışma şartlarında ve hava koşullarında vida geçmemesi, çapaklar ve birbirine zor oturan parçalar iş hızını aksatan öncelikli etmenlerdir. Kablolar için geçiş kanallarının açılması ve rahat hareket etmeleri içi mesafe bırakılması önemlidir. Rüzgâr direklerinin dinamik yapılar olduğu ve data toplayıcıya bağlanan 50'm üzerinde uzunluktaki kabloların bu esneyen ve hareket eden yapıya uyum sağlaması gerektiğinden bu geçişlerin kablo hareketine izin verecek şekilde tasarlanmaları gereklidir.

Direkler ağır hava şartlarına; yağmura ve toz ve kirlenmeye karşı da dayanıklı olmak zorundadır. Yağmurun iç direğe nüfuz etmesini engellemek için boya ile koruyucu bir katman atılır. Dikkat edilmesi gereken nokta boyanan kısımların daha önce açılmış vida delikleri gibi kanalları işgal etmemesidir. Boya, taşıma ve nakliye sırasında oluşabilecek çiziklere karşı dayanıklı olmak zorundadır.

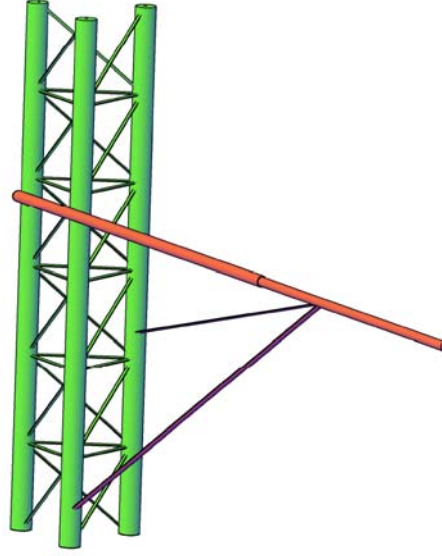
Yan kolların korunması ayrıca önemlidir. Cihazların değişken yapıları dolayısıyla yeterince uyumlu yapılmaya çalışılan kollar bazı kurulumlarda yağmur suyunu sızdırmaktadırlar. Yağmur tahliye deliklerini kol atlarına açılması ve kolların içerisinin paslanarak çürümesini engellemek önemlidir. Ne yazık ki plastik alçı kullanmak kabloların rahat hareketini engellediği için mümkün değildir.

Anti-pas ve kir tutmayan boyalar direk boyası olarak tercih edilmektedir. Çift renkli modül sistemi direğin yüksekliğinin nicel olarak belirlenmesinde kullanılır.

Modül boyaları kırmızı-beyaz şeklinde boyanır. Bu şekilde direk dikilmesinden sonra fotoğraflarda her modül seçilebilmekte ve herhangi bir sorun olduğu takdirde yükseklik tahmini çalışanlar tarafından gözle yapılabilmektedir. Direklerin boyutlarının 100 metreyi geçtiği düşünülürse çevrede karşılaştırılacak başka bir yapı olmadığından dolayı optik illüzyonun etkisi daha kolay anlaşılabilir.

## YAN KOLLAR

Yan kolların ana gövde bağlantıları tüm ana gövdeyi bağlayacak şekilde vida kelepçe olarak tasarlanır. Montaj sırasında kolaylık sağlamakta, parçaların oturmasını kolaylaştırmaktadır. Yan kol uzantıları kuleye kesit olarak yukarıdan bakıldığında üçgen olan formun bir kenarına paralel olarak sabitlenir. Alt destek kolu aynı şekilde 1-1.5 metre aşağıdan bağlantılı olacak şekilde bağlanır. İkinci bir yan destek ana kol ile aynı yükseklikte düzlemde fakat en yakın diğer ana dikey boruya bağlanır. Bu şekilde salınımla karşı dirençli, kendi ağırlığı altında bozulmaya uğramaya, ataleti yüksek bir yapıya ulaşılır (Bakınız Şekil 2). Yan kollar ve üzerine yerleştirilen cihaz en alt modüle temsili olarak bağlanarak denener. Bu alt modülde yan kollar kaldırma mekanizması yardımıyla yukarı çıkarılmadan önce bütün parçaların uyumluluğu da test edilmiş olur.



Şekil 2. Yan Kol Bağlantısı

Yan kollar vinç yardımıyla bağlı olarak yukarıya -çıkartılır. Sarkıtılan kabloların ana gövdeye olan bağlantısı kritiktir. Kablolar aşağı sarkıtılırken her modül başına plastik kelepçe kullanılarak ana gövdeye bağlanmalıdır. Modül başlarındaki disklerde geçişlerde kabloların biraz serbest bırakılarak bir dirsek yaratılması bu geçiş bölgesinde sürtünmeden dolayı kabloların zarar görmesini engellemek için gereklidir.

Gerdirme kabloları cihaz kollarında geçmemelidir ve belli bir mesafe, yaklaşık 2m yükseklik, modüller üstte veya altta olacak şekilde bağlantı noktası ile kollar arasında bırakılmalıdır. Bu şekilde gerdirilen kabloların yan kollar ile etkileşime girmesi önlenir. Mesafe kısaldığı takdirde fiziksel bir temas olmasa dahi kabloların çarpan serbest akış yan kollarında harmonik salınıma yol açabilir.

Cihaz bakımı ve cihazların değiştirilmesi en çok karşılaşılan sorunlar arasındadır. Bu tip sorunlarda ölçüm direğinin cihaz değişimine ve cihazdan çıkan kabloların kontrol edilmesine uygun olması gerekmektedir. Bunun yanında bu kabloların dış etkenlerden korunması ve düzenli olması içinde gerekli tasarım detaylarının yapılması gerekir. Direğin aşırı durumları için taşıyabileceğin ağırlık bilinmeli ve çalışanların bu konuda bilgilendirilmesi gerekir.

## YAN KOL UZUNLUKLARININ BELİRLENMESİ

Yan kolların uzunlukları ve ağırlıkları nedeniyle mekanik yorulmaya tabi olmaktadır. Yan kol uzunlukları IEC standartlarına [1] göre belirlenmekte ve gövdenin yatay rüzgâr geçirgenliğiyle ilişkilendirilmektedir. Gövdenin rüzgâr geçirgenliği (porozite) azaldıkça rüzgâr tarafından katı bir madde olarak algılanmakta ve kollardeki ölçüm cihazlarına olan etkisi artmaktadır. Bu sebepten dolayı yan kolların gövdeden olan mesafelerinin uzaması gerekmektedir. IEC Standartlarına göre geçirgenlik şu şekilde hesaplanmaktadır;

t:Geçirgenlik ( $t \leq 1$ )

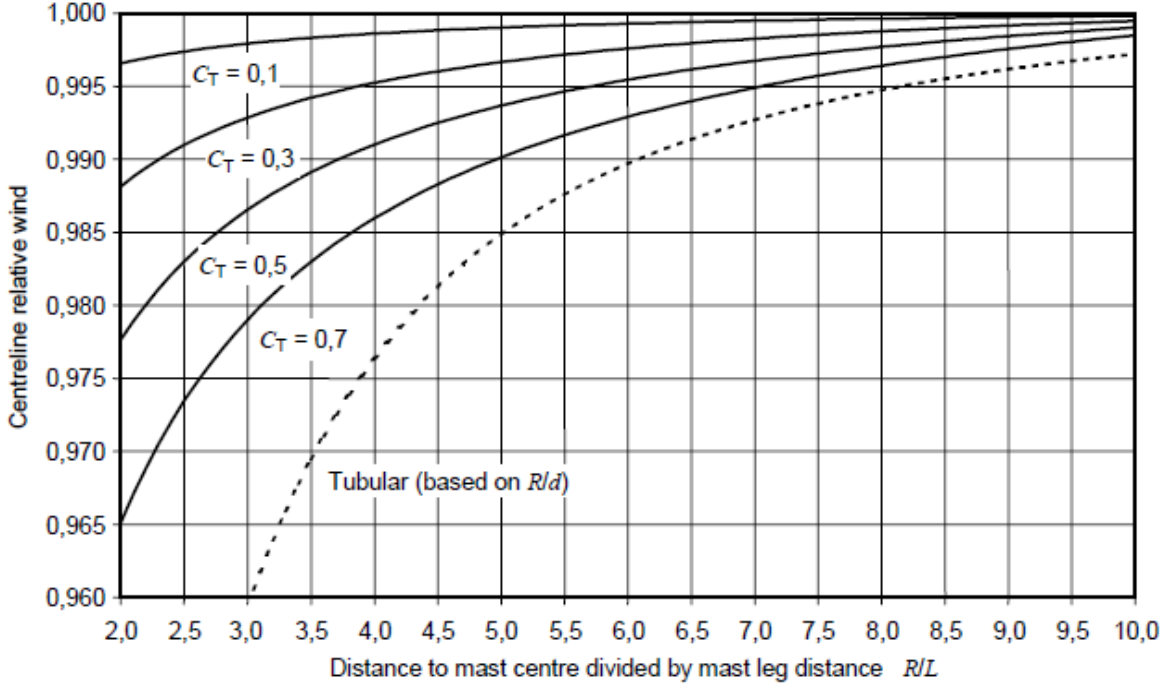
$$t = \frac{\text{Direğin Ön Kesit Alanının Düşük Kütlesi Kısmı}}{\text{Tüm Ön Kesit Alanı}}$$

Geçirgenlik değeri elde edildikten sonra İtki Sabiti (Thrust Coefficient)  $C_T$  hesaplanır.

$$C_T = 2,1 \times (1 - t) \times t$$

(Formülün Geçerlilik aralığı  $0.1 < t < 0,3$ )

$C_T$  değeri hava hacminin cisim etrafından geçerken karşılaşıldığı direnç olarak düşünülebilir. Bu formülle hesaplanan  $C_T$  değerlerinin  $t=0.5$  değerini aştıktan sonra yükselmesi gerekirken küçülmektedir. Bu da fiziksel olarak daha dolu bir kesit alanının daha az rüzgâr direncine maruz kaldığını belirttiği için mantıksız ve geçersizdir.



**Grafik 1.** IEC Standartlarına Göre Ayak Mesafesi/Kol Uzunluğunun Değişimi (Grafik IEC Standartlarından Alınmıştır [1]). X Eksen: Ayak Mesafesi/Kol Uzunluğu, Y Eksen: Serbest akımının Etkilenme Yüzdesi

Dizaylarda  $C_T$  değerleri 0.4 ile 0.5 arasında değişmektedir. 0.5  $C_T$  değeri üzerinde olan dizaynlar için normlarda özel bir kural geliştirilmiştir.  $C_T=0.5$  ve serbest akım hızı %99.5 iken R/L oranı 5,7 olarak verilmektedir. Örnek vermek gerekirse 500mm'lik bir ayak açıklığı durumunda (Üçgen tabanın bir kenarı=L) yan kol açıklığı (R), ve dolayısıyla yerleştirilen ölçüm cihazı merkez noktadan 500mm x 5.7=2.35m uzakta olmak zorunda olmalıdır.

Günümüzde ağır şartlar direklerine olan talep ve yükselen direk boyları nedeniyle geçirgenlik ve dolayısıyla  $C_T$  değerleri yükselmekte ve buna bağlı olarak yan kollar uzamaktadır. Mevcut  $C_T$  değerlerinin 0.5'i aştığı takdirde verilen tablo geçerliliğini yitirse dahi belli bir başlangıç noktası teşkil etmesi açısından mühendislerimizin kabuller yapmasını kolaylaştırmaktadır.

$C_T$  değerinin yükselmesi halinde yan kol uzunluklarının bu zorunlu uzamadan etkilenmemesi için serbest akım kabulünü %99.5 den %99'a indirerek tabloda başka bir eğriye geçmek bazı durumlarda mantıklı olabilir. Bu kabulün altında yatan gerçek zaten aşırı derece uzayan bir yan kolun salınımına yol açabileceği ve hassasiyetinin bu durumda otomatik olarak %0.05 azalacağı düşünülebilir. Fakat bu tip bir seçimde ölçüm hassasiyeti ve yan kolun yapısal dayanım açısından hesabının yapılması önem kazanmaktadır.



sabitlenen modüle bağlanmıştır. Üst kısmında ise merdaneden gelen çelik halat kafa kısmı yardımcıyla aşağıya sarkıtılır. “Asansör”ün asli görevi modül yukarıya doğru çekilirken mevcut ulaşılan direk yüksekliğinden modülü daha yukarı çekebilmek ve endüstriyel tırmanış elemanlarının modülü mutlak yerine oturturken rahat çalışmasını sağlamaktır. Merdanenin bu sistemdeki görevi ise vinç tarafından verilen çelik halat payını kontrolünün sağlanması ve halatın kilitlenerek bu payın istenilen şekilde yukarıda tırmanışçılar tarafından modülün yerleştirilmesinde kullanılmasını sağlamaktır. Modül sabitlendikten sonra “Asansörün” ayak kısmı gevşetilir ve bir üst modüle kaydırılır. Bu kaydırma işlemi sırasında halat payı merdane ile kontrol edilir. Ayaklar tekrar sabitlenir ve kaldırma işlemi tekrar gerçekleştirilir.

Kaldırma işlemi sırasında her modül ana kablolardan ince olan yardımcı bir takım kablo (her köşe için bir adet, toplam 3 adet olmak üzere) ile yukarı gönderilir. Bu üç kablo ve kılavuz adı verilen modüle bağlanan başka bir ip halat yardımcıyla modül yukarı çekilirken modül hareketi halat ve kılavuzun ucundaki çalışanlar tarafından kontrol altında tutulur. Ana kablolar takılmadan önce yardımcı kablolar inşa halindeki modülleri sabit tutar. Yüksekliğe göre 5 veya 6 modül üst üste yerleştirilerek her bir modülü kafa noktasından yardımcı halatlar ile sabitlenir. Bir gruptaki beşinci (veya altıncı)son modülün bir önceki modüle vidalanması ile kuleye kalıcı şekilde monte edilecek 3 ana çelik halat vinç yardımcıyla yukarı çıkarılır. Bu ana halatlar son modülün kafasına bağlandıktan sonra yardımcı çelik halatlar sökülerek vinç yardımcıyla aşağıya gönderilir.

Modül başına vinçten beklenen dikey çekiş gücü basit üçgensel bağıntılarla bulunabilir. Basit olarak vinç halatı ve vinç modülün ağırlığının en az 1.5 katını kendi başına dikeyde çekebilecek durumda olmalıdır. Halat ve vinç bu kadar yük çekmek zorunda kalmasa da hava şartları ve değişen koşulların(özellikle sıcaklık ) ani yüklemelere neden olabileceği veya limitlerinde kullanılan bir halatın birkaç kullanım sonunda zayıflama gösterebileceği düşünülmelidir.

Gerilimin dengeli dağılması için triflorların doğru bağlanması ve kapmaların bağlı oldukları kablodan kaymaması çok önemlidir. Her gerdirmenin bağlı olduğu kablo personel tarafında yan ayak noktalarında kontrol altında tutulmalı ve kaldırma sırasında direktteki modüllerin eğilmesine veya yatay hareketine mani olmalıdır.

Gerilimin dengeli dağılması için direk 3 ayrı birbirine120 açı yapacak yönden yere bağlanır. Yaklaşık her 15 metre modül yüksekliği için bir takım ana kablo kullanmak modüller arasında bükülmeleri ve eğilmeleri önlemek için önemlidir. Kabloların direğe bağlantı noktaları yan kollarla aynı açıda olmamalıdır ve minimum şekilde hakim rüzgarı etkilemelidir. En üst kademede kablo olmadığı için tepe anemometreden gelen bozulmamış ölçümün değeri daha kolay anlaşılabilir.

Dikim sırasında modüller bağlı oldukları kablolar dahilinde eğilip bükülebilirler. Bu genelde “diz” dediğimiz şekilde iki modül arasında gerçekleşebilir veya son modüllerde bir eğim değişimi olarak gerçekleşebilir. Rüzgâr hızında dalgalanma olduğu durumlarda bu tip durumlar kulede stabilite sorununa yol açabilir. Genel olarak çözüm halat gerginliklerinin belirli bir seviyede tutularak bu tip modül hareketlerine mahal vermemektir.

Rüzgâr Hızölçer veya Yön algılayıcıları gibi cihazlar yerleştirilirken daha önceden bahsedilen kabloların zarar görmemesi ve korunması fikri ön plana çıkar. Bağlantılar gene olarak vidayla gerçekleştirilir ve kabloların korunma için gövdeye ulaşmaya kadar kısmen yan kolların içerisinden geçirmek gerekmektedir. Bu aşamada yağmur tahliye kanalları bu işlemi gerçekleştirirken işi kolaylaştırıcı etkenlerdendir.

Yıldırım çubuğunun yerleştirilmesi önemli bir aşama teşkil eder. Yıldırım çubuğu tüm direk elemanlarından daha yüksek olmalıdır. Tepe anemometreye çubuk tarafından gelecek rüzgar akışını etkilese de bu cihazdan yüksekte ve diğer cihazlara bir koni şeklinde yıldırım koruması sağlayacak şekilde yapılır. Demir sivri bir çubuk olan yıldırım çubuğu bakır bir kabloya bağlanır. Cihazlara zarar vermemesi için bu bakır kablo ana gövdeden sarkıtılmaz, bunu yerine yan ana halatlardan biri yardımcıyla yan ayak bağlama yerine indirilir. Burada açılan bir çukurun içine yerleştirilmiş bakır bir kabloya bağlanır.

## ÇALIŞMA ŞARTLARI

Yüksek rüzgâr kule inşasını yavaşlatan veya durduran en önemli etmenlerden biridir. Rüzgâr hızının 10 m/s'yi aştığı durumlarda çalışmalar kesilmekte ve endüstriyel tırmanış elemanları geri çağırılmaktadır. Yüksek rüzgâr hızlarında takım halinde çalışan 3 tırmanış elemanın iletişimde zorluklar ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda modülerin yukarıya çekilmesinde rüzgâr şiddetlendikçe kılavuz ve yardımcı halatlar ile modülün çıkışını kontrol etmek zorlaşmaktadır. Yağış durumunda ise yıldırım tehlikesi sebebiyle çalışmalar kesilmektedir.

Kafes direklere tırmanan veya sadece datalogger yüksekliğine kadar tırmanan personel tırmanış ile ilgili güvenlik kriterlerini sağlaması zorundadır.

Endüstriyel dağcı ekip yukarıda çalışırken kesinlikle kule dibinde iş yapmaktan kaçınmak ve her durumda baret takmak gerektiğinde ciddi yaralanmaları önleyen basit tedbirlerdir.

## SONUÇ

Rüzgâr Ölçüm Direkleri gerek inşa edilmek zorunda oldukları zorlu ortamların ve bu tip yerlerin beraberinde getirdiği kısıtlamalar dolayısıyla günümüzde mühendisler için hala zorlu bir problem oluşturmaktadır. Aktif servis süresince maruz kaldığı güçler ve insan faktörü de eklendiğinde çözülmesi gereken sorunlar. Hassas ölçüm gereklilikleri piyasada günden güne artarken bu yapılar ileriki yıllarda da bilinen statik yapılardan çok daha farklı bir yaklaşım gerektireceklerdir. Bunun yanında günümüzde bilgi birikimi ve devam ettirilen araştırma geliştirme çalışmalarıyla güvenilir ve dayanıklı ölçüm direklerini zamanında inşa etmek mümkün olabilmektedir. Gelecekte rüzgâr ölçüm direği problemleri çok yönlülüğünü koruyacaktır.

## KAYNAKÇA

[1] International Standart IEC 61400-12-1 First Edition 2005-12