



# ENDÜSTRİYEL BACALAR VE SAHA UYGULAMALARI

*Industrial Chimney & Applications*

**Oğuz ALTIPARMAK**  
**Muammer AKGÜN**

## ÖZET

Endüstrinin gelişmesi ile birlikte çelik bacaların yapımı hız kazanmaya başladı. Çelik bacaların beton bacalara olan avantajları daha fazla olduğundan özellikle baca yüksekliklerinin arttığı uygulamalarda tercih edilir hale gelmiştir. Çelik baca sistemleri, kullanım amaçlarına göre çeşitli konstrüksiyonlarda, aynı dış geometrik şekil ve ölçülerde yapılabilmektedirler. Bu çalışmada kullanımı yaygın hale gelen çelik bacaların çeşitleri, dizaynı, projelendirilmesi, imalatı ve uygulama sahaları dikkate alınarak teknolojik son gelişmeler değerlendirilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Endüstriyel Çelik Bacalar, Çelik baca sistemleri, Dizayn, Uygulama

## SUMMARY

Manufacturing of steel chimneys have had a run-up with the development of the industry. Steel chimneys are favored over the concrete ones due to their advantages, especially when the chimneys are higher. Steel chimney systems are manufactured according to their intended purposes. In this paper, the steel chimney types, their designs, their manufacturing and applications are explained and the latest developments in these subjects are evaluated.

Key words : Industrial Steel Chimneys, Steel Chimney Systems, Design, Applications.

## GİRİŞ

Hızla gelişen baca sektöründe firmalar verimli, ekonomik, çevreci sistemler üretmek için kıyasıya mücadele etmektedirler. Bu süreçte yakıcı cihazlarda enerji üretmek için yanma sonucu oluşan duman gazlarını atmosfere atmak için bacalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle endüstriyel kazan uygulamalarında sistemin verimli çalışması yanında yangın ile yapı sağlamlığı ve benzeri yönlerden bacanın;

- 1- Kesitin belirlenmesi,
- 2- Yüksekliğinin belirlenmesi,
- 3- Malzemesinin seçimi,
- 4- Konstrüksiyonu

oldukça önemlidir[7].

## 1- ÇELİK BACALARIN DİZAYN KRİTERLERİ

Çelik baca; yanma sonucu meydana gelen duman gazlarını atmosfere güvenli bir şekilde atan veya endüstriyel atık gazların yanması için gerekli taze havayı sağlayan yapı malzemesidir.



Endüstriyel kazanların ve tesislerin bacaları çelik, beton ve tuğladan yapılabilir. Son yıllarda özel prosesler dışında tuğla baca uygulamaları ortadan kalkmıştır. Çelik bacaların kesit ve yükseklik hesabı TS EN 13384-1 ve TS EN 13384-2 ye göre, imalat ve montajı TS EN 13084-7 ile Eurocode 3 standartlarına göre yapılmaktadır. Ayrıca ülkemizde endüstriyel bacalarla ilgili olarak “Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği” göz önünde bulundurulmak zorundadır.

## 1.1- ÇELİK BACALARIN AVANTAJ VE DEZAVANTAJLARI

**Tablo1.**Çelik Bacaların avantaj ve dezavantajları

Çelik bacaların avantajları	Çelik bacaların dezavantajları
<ul style="list-style-type: none"><li>Baca iç yüzeyi pürüzlü olmadığı için baca sürtünme kaybı azdır.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Dış ortam şartlarına beton ve tuğla bacalar gibi dayanıklı değildir.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Aşınma sorunu çok düşük düzeyde olduğundan yüksek baca gazı hızlarına çıkılabilir.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>Korozyona dayanıklı değildir. Ekstra işlem gerektirir. Kumlama, boya vb.</li></ul>
<ul style="list-style-type: none"><li>Küçük çaplarda imal edilebilir.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>Sızdırma ihtimali yoktur.</li></ul>	
<ul style="list-style-type: none"><li>Baca içi çabuk ısındığı için hızla çekiş sağlanır.</li></ul>	

## 1.2- ÇELİK BACALARIN SINIFLANDIRMASI

Çelik Bacalar;

**Tablo2.** Çelik Bacaların Sınıflandırması

1- Cidar Sayısı	<ul style="list-style-type: none"><li>Tek Cidar Bacalar</li><li>Çift Cidar Bacalar</li></ul>
2- Kuruluş (Dikiliş) Şekline göre	<ul style="list-style-type: none"><li>Serbet Duran Bacalar</li><li>Gerdirilmiş Bacalar</li><li>Desteklenmiş Bacalar</li></ul>

şeklinde sınıflandırılır.

## 1.3- ÖZELLİKLER

### 1.3.1- Malzeme[4,5]

Çelikler, TS EN 13084-7 standardında Çizelge 1–4’te verilen çeliklerin kullanılması kabul edilir. Bundan başka EN 13084-6, Madde 4’e uygun başka çeliklerin kullanılması da kabul edilir.

Kaplama sistemleri, EN 13084-1, EN 13084-6 ve EN 1993-3-2’ye uygun olmalıdır. Bütün kaplamalar malzeme imalatçısının talimatlarına göre uygulanmalıdır. Yalıtım malzemesi, EN 13084-1, Madde 4.4’te verilen şartlara uygun olmalıdır. Giydirme kaplama malzemesi, maruz kalacağı ortama uygun olmalıdır.

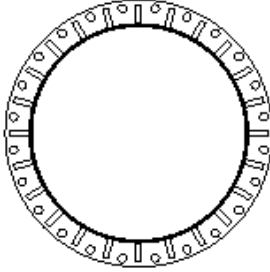
### 1.3.2- Konstrüksiyon

Bacanın her bir parça ile bağlantılarının yapılmasını belirleyen işletme şartlarıdır. Özellikle ısı, kimyasal ve mekanik etkiler mutlaka dikkate alınmalıdır.

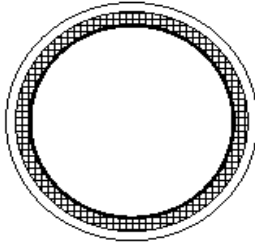
Çelik Bacaların yapımında dikkat edilecek hususlar[6];

- Baca çapı ne kadar büyük olursa, bacanın stabilitesi o kadar rahat sağlanır.
- Baca malzemesi et kalınlığı (  $t$  mm ) ve baca yarıçapı (  $r$  mm) arasındaki ilişki  $r/t \leq 160$  olmalıdır. Bu oran  $r = \max 1120$  mm olması şartları için geçerlidir.
- İzoleli bacalarda her metre baca yüksekliğinde duman gazı sıcaklık düşümü  $1/w_o = \Delta T$  olur.  
Burada;  $w_o$  : bacadaki duman gazı hızı (m/s)  
 $\Delta T$  : 1 metre bacadaki sıcaklık düşümü ( °C)
- Baca izole edilecekse; Yalıtım sistemi seçiminde, aşağıdaki özellikler dikkate alınmalıdır:
  - i) Sistemin uzun dönem yapısal kararlılığı. Yalıtım malzemesinin, ortaya yalıtılmamış yüzeyler çıkaracak şekilde, sarkmaması önemlidir.
  - ii) Sistemin ısı iletkenliği,
  - iii) Sistemin kullanım sırasında maruz kalacağı sıcaklıklardaki performansı ve bütünlüğü,
  - iv) Yalıtım malzemesinin ve desteklerinin aside direnci ve nem emiciliği. Bu, sınırlı miktarlarda baca gazının, yalıtımın soğuk tarafına geçince yoğuşacak şekilde astara nüfuz edebileceği tuğla astarlarda önemlidir,
  - v) Sistemin erişilebilirliği.  
Isı yalıtım malzemesi yanmaz olmalıdır.
- Bacada paratoner, baca ucu ışıklandırması, renkli baca çizgileri, iç ışıklandırma, ölçü alma yeri (sıcaklık ve çekiş ölçüm yerleri gibi), topraklama tesisatı unutulmamalıdır.
- Bacanın boyuna uzamaları ve iç çapların çapsal genişlemeleri dizayn esnasında göz önünde bulundurulmalıdır.
- Üç veya daha fazla bacanın bir araya getirildiği sistemlerde baca merdiveni taşıyıcı çelik bacanın içinden veya dışından yapılabilir.

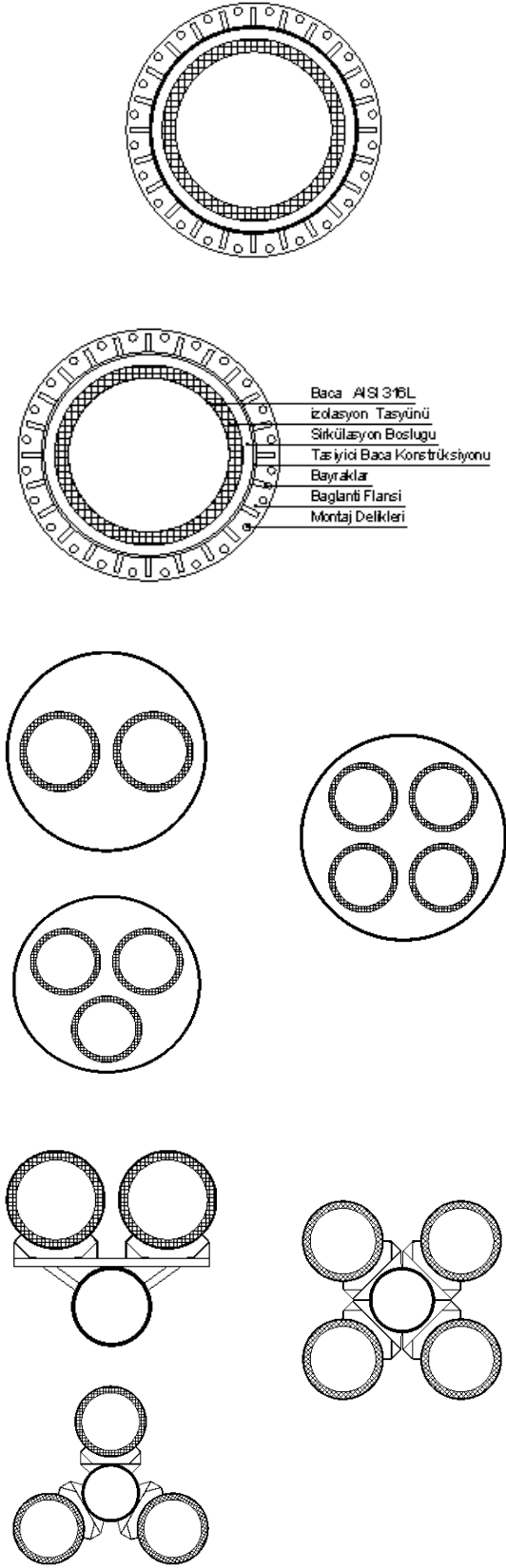
### 1.3.2.1- Serbest Duran Bacaların Yapım Şekilleri



- **İzolesiz çelik baca;** Tek kazanı olan veya duman gazlarında yoğuşma ihtimali olmayan tesislerde.



- **İzoleli çelik baca;** Yoğuşma ihtimali olmayan ve doğal çekişin iyi sağlanması istenen çok soğuk bölgelerdeki tesislerde.



- **İzoleli Paslanmaz çelik baca;** Yoğuşmanın yüksek olduğu tesislerde. En içte 316 L kalite paslanmaz çelik, içte izolasyon malzemesi, dışta taşıyıcı çelik bacadan oluşmaktadır.

- **Havalandırılmalı çelik baca;** Duman gazlarının yanında kazan dairesinde oluşan kirli havanın atılması için baca içine boşluk açılarak yapılan baca.

- **Çoklu baca sistemleri;** Tesiste birden fazla kazan varsa, bunları bir araya getiren sistemdir. Duman gazlarının yanında kazan dairesinde oluşan kirli havanın atılması için baca içine boşluk açılarak yapılan baca.

Şekil 1. Serbest Duran Bacaların Yapım Şekilleri

### 1.3.2.2- Taşıyıcı Baca, Bağlantılar Ve Açıklıklar

Atık gaz boruları ile diğer konstrüksiyon parçalarının cidar kalınlıkları en az 1,5 mm olmalıdır. Atık gazla temas eden yüzeyler için korozyon zammı dikkate alınmalıdır. Korozyon zammı ile birlikte karbon çeliğinden yapılan taşıyıcı bacanın kalınlığı en az 5 mm. olmalıdır. İşletme mukavemeti kontrolü yapılacak taşıyıcı parçaların vidalı bağlantıları, ön gerilmeli bağlantılar şeklinde gerçekleştirilmiş olmalıdır. Ankraj civataları için ön gerilmeli bağlantı özelliği aranmaz. Ön gerilmemiş vidalı bağlantılar ve ankraj civataları, somun gevşemesine karşı emniyetli olmalıdır.

Açıklıklardan (adam delikleri, duman yolu girişleri vb.) doğan enine kesit zayıflamaları, yorulmaya karşı direncin ve mukavemetin sağlanması için yeterli takviyelerle dengelenmelidir. Açıklığın büyüklüğüne ve biçimine göre takviyeler, mesela halka takviye, taşıyıcı ara parçası kullanılabilir. Ayrıca açıklığın çerçevesi yeterli stabiliteye sahip olmalıdır. Bu amaçla açıklığın kenar bölgesi takviye edilmiş olmalıdır. Takviye boyu, mümkün olduğunca fazla bölgenin taşımaya katılması gerektiği dikkate alınarak seçilmelidir. Çevre eğilmelerinin karşılanması için, delik kenarına ve boyuna takviyelerin ucuna, halka takviyeler yerleştirilebilir. Enine kuvvetlerin karşılanması emniyet altına alınmış olmalıdır.

### 1.3.2.3- Gaz Sızdırmazlığı Ve Isı Yalıtımı

Çift cidarlı bacalardaki iç boruların ve tek cidarlı bacalardaki atık gaz (taşıyıcı) boruların birleştirme yerleri gaz sızdırmaz olmalıdır. Duman gazlarının kondensi çeliğin korozyonuna neden olabileceksen, duman gazı geçen parçaların ısı yalıtımı, asit çığ noktası sıcaklığının altına düşmeyecek şekilde yapılmalıdır.

Yalıtım malzemeleri; kaymamalı, düşmemeli ve üst üste binmemelidir. Isı köprüsü oluşumu engellenmelidir.

İzolasyon dizaynı için dikkat edilmesi gerekenler[7];

- Yakma havası fazlalığı ve duman gazındaki kükürt miktarı dikkate alınarak yapılan asit yoğunlaşma sıcaklığı hesabına 10 °C kadar güvenlik sıcaklığı ekleyerek baca sıcaklığının düşmemesi gereken limiti bulunur.
  - 1- Yakıt sıvı veya gaz yakıt ise, kükürt ağırlığı oranı 0,5'ten fazla ise, 175 °C
  - 2- Yakıt katı yakıt ise, kükürt ağırlığı oranı 0,5'ten fazla ise, 135 °C
  - 3- Yakıt katı kükürt ağırlığı oranı 0,5'ten fazla ise, 100 °C
- Dış hava sıcaklığı minimum kış sıcaklığına göre dikkate alınmalı, bir ay boyunca her gece ölçüm alınarak ortalama sıcaklık elde edilmelidir.
- Rüzgar hızı 5 m/s olarak ön görülmelidir.

Duman gazı ile temasta olan metalin sıcaklığı tahmin edilen en yüksek duman gazı sıcaklığına göre de kontrol edilmelidir. Bu kontrol için aşağıdaki dizayn parametreleri dikkate alınır.

- Tahmin edilen en yüksek dış hava sıcaklığı
- Sıfır rüzgar hızı

Gerekli izolasyon kalınlıkları için izolasyon malzemelerinin iletkenlik değerlerinin bilinmesi gerekir. Aynı zamanda izolasyon malzemelerinin su ile temasını engellemek için kaplama malzemesi kullanılmalıdır.

### 1.3.2.4- Yüksek Sıcaklıklardaki Baca Gazları Ve Baca Yangını

İzolasyonsuz baca yapılması durumunda; bacanın metal sıcaklığı içinden 5 m/s ila 15 m/s geçen gazın sıcaklığının dış hava sıcaklığı ile yaklaşık ortalamasıdır. Dumangazı hızı 15 m/s üzeri olması veya izolasyonlu baca yapılması durumunda baca metalinin sıcaklığını bulmak için ısı transferi hesapları yapılması gerekir. Hesaplanan metal sıcaklığı, metalin sıcaklık limitlerine yakın ise oksitlenme olmaz. Bu durumda uygun metal kullanılması önemlidir[1].

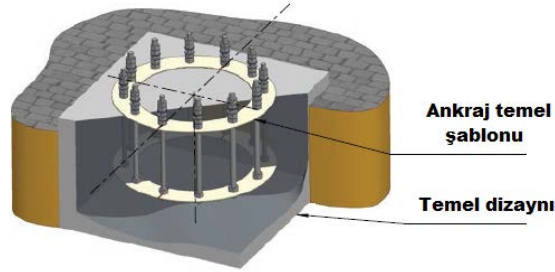
Baca yangınları aşağıdaki nedenlerle oluşur.

- Yanmamış yakıtların baca ile dışarı atılması
- Kurum, sülfür ve diğer atıklar

### 1.3.2.5- Temel Ve Ankrajlama

Temeli yapısı ısıl ve kimyasal etkilerden korunmalıdır. Beton kaide yapımında, betona zarar verici sular ve zeminler dikkate alınmalıdır. Betonla temas eden çelik parçaların yüzeyleri, arazi seviyesinden en az 30 cm. yukarıda olmalıdır.

Serbest duran bacaların temelleri statik hesaplamalar ve yapı kurallarına göre hazırlanır. Ankraj bulonları önceden hazırlanır ve betonarme temel donatısının içine şablon aracılığı ile yerleştirilir. Ankraj bulonlarının temel içine girecek kısımlarında her yöne doğru kancalar kaynatılır. Bulonların en üst kısmında alt ve üst olmak üzere iki adet şablon flanş bulunur. Bu flanşlara ankraj bulonları somun ve pullarla sabitlenir. Ankraj bulonlarının çevresi de halka şeklinde sac ile çevrelenir.



Şekil.2. Beton Kaide Detayı

### 1.3.2.6- Donanım

6 metreden daha yüksek çelik bacalarda tırmanma merdiveni ve personelin düşmesine karşı emniyet tedbiri olmalıdır. Dış merdiven, zeminden 4 metre yükseklikte veya bina çatısından 1 metre yüksekte başlanmalıdır. Merdivenlerde basamak aralığı baca çıkışına kadar aynı olmalıdır.

Tırmanma merdivenlerinin basamak genişliği en az 2x150 mm., merdiven basamak çapı ise en az 22 mm. yapılıdır. Sahanlığa geçişte basamak ile basamağı çevreleyen elemanlar arasındaki geçiş alanı, en az 700x700 mm. 'ye eşit olmalıdır. Dinlenme mesafeleri en az 10 metrede bir olmalıdır. Sahanlıkların boyları en az 300 mm., genişlikleri en az 400 mm. dir. Dinlenme sahanlıkları, 250 mm ±20 mm. eksen mesafesinde, genişliği en az 130 mm. boyu en az 300 mm. olan 2 adet basma alanları şeklinde düzenlenir. Dinlenme sahanlıklarına emniyetli bir şekilde erişilmelidir. Baca temizleme ve ölçüm işleri için, iskele ve durma alanları tesis edilmelidir. Bunlar baca ağzından 1,5 metreden daha aşağıya kurulmamalı ve asgari ölçüleri 300 x 400 mm. olmalıdır. İskele ve durma alanları, personelin düşmesine karşı emniyet tedbirleri tam anlamıyla alınmalıdır.

### 1.3.2.7- Korozyon

Duman gazları içerisindeki kükürt oksitlerin kondensasyonu ile oluşan sülfirik asitin baca cidarlarına etkimesi bacalarda oluşan en genel korozyon halidir.

Sülfirik asitin yoğuşma sıcaklığı, yaklaşık 65 °C'dir. Duman gaz sıcaklığı, her şartta asit yoğuşma sıcaklığının 10 °C üzerinde olması gerekmektedir.

Klorürler, birçok katı ve sıvı yakıtlarda bulunurlar. Serbest klorür iyonları su buharı ile temas ederse hidroklorik asit meydana gelir. Hidroklorik asitin en yüksek kondensasyon sıcaklığı 60°C'dir. Duman gazı sıcaklığı bu sıcaklığın altına düşmesi durumunda ciddi korozyon problemleri oluşur[1].



Duman gazlarından kaynaklanan korozyona karşı alınacak tedbirler;

- Yalıtım, kaplama veya dış örtü ile korozyona karşı koruma.
- Saç kalınlığına korozyon zammı ilave edilerek emniyetli boyutlandırma.
- Uygun paslanmaz çelik seçimi.

### 1.3.3- Taşıma Kapasitesi

#### 1.3.3.1-Yük Kabulleri[3]

Bacaların hesabında daima, değişken ve özel yükler dikkate alınmalıdır.

Daimi yükler;

- **Öz ağırlık:** Bacadaki yapı elemanlarının öz ağırlıkları, teknik resimleri yardımıyla özgül ağırlıkları da dikkate alınarak hesaplanmalıdır.
- **Ön gerilme kuvveti:** Gerdirilmiş bacalarda ön görülme kuvveti, rüzgarsız, buzsuz ve  $\pm 10$  °C'den farklı ise bu fark ön gerilme kuvvetinin ayarlanmasında dikkate alınmalıdır.

Değişik yükler;

- **Rüzgar yükü:** Yapılan muayene sonucunda bulunan titreşim değerleri hesaplanan değerlerden fazla olduğunda gerekli tedbirler alınmalıdır. Tedbirlerin alınmasına takiben yapılan titreşim testleri sonucunda hesaplanan değerler aşılmamalıdır.
- **Personel ve kar yükü:** Sahanlıklar için kar yükü dahil edilerek eşit ölçüde dağıtılmış 2 kN/m<sup>2</sup>'lik personel yükü kabul edilmelidir. Merdiven korkuluklarının boyutlandırılması için yatay olarak içeriye veya dışarıya etki eden ve doğrudan korkuluk kirişine uygulanan 0,5 kN/m'lik bir yük kabul edilmelidir.
- **Buz yükü**
- **Isıl yük:** Duman gazı taşıyan ısıya karşı yalıtılmış boru ile taşıyışı borunun duvar sıcaklıkları hesaplanmalıdır.

Özel Yükler;

- **Deprem yükü**
- **Düzensiz yükler** (Darbe neticesi veya işletme şartlarının bozulması vb.)
- **Yerel konum ve işletme şartlarından kaynaklanan yükler**

#### 1.3.3.2- Kesme Büyüklüklerinin Tayini

Kesme büyüklükleri, yukarıda tanımlanan yükler esas alınarak aşağıda belirtilen iki kombinasyon için tayin edilir.

- Ana kombinasyon (Daimi ve değişken yükler)
- Özel kombinasyon (Daimi, değişken ve bir özel yük)

**Tablo3.** Uygulamalardaki Yük Arttırım Katsayıları

Ana kombinasyon	Öz ağırlık uygun etki etmediğinde	$\gamma_f=1,35$
	Öz ağırlık uygun etki ettiğinde	$\gamma_f=1,00$
	Ön gergi kuvveti	$\gamma_f=1,00$
	Diğer yükler	$\gamma_f=1,5$
Özel kombinasyon	Bütün yükler	$\gamma_f=1,00$

Taşıyıcı borunun kesme büyüklükleri aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$\frac{h}{r} \geq 0,14 * \frac{r}{t} + 10 \quad (\text{mm}) \quad (1)$$

Burada; h: Taşıyıcı boru uzunluğu,  
r : Taşıyıcı boru ortalama yarıçapı,  
t : Taşıyıcı boru ortalama kalınlığıdır.

Serbest duran bacalarda momentler;

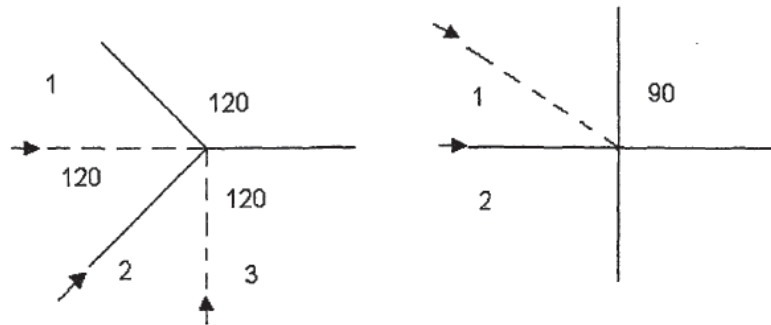
- $\varepsilon$  : Sütun tanım sayısı,  $\varepsilon < 0,8$  ve
- Baca tepesinde etkiyen konsantre yükler, taşıyıcı borunun %10 undan küçük olduğunda aşağıdaki denkleme göre hesaplama yapılmalıdır.

$$M'' = M' * \left(1 + \frac{\varepsilon^2}{8}\right) \quad (\text{kgm}) \quad (2)$$

$$\varepsilon = h_f * \sqrt{\frac{N_o}{EI_o}} \quad (3)$$

Burada:  $h_f$  : Taşıyıcı borunun zeminden yüksekliği  
 $N_o$  : Ankastre kesitte boyuna etkiyen kuvvet  
 $EI_o$  : Ankastre kesitin eğilme katılığı  
 $M''$  : İkinci mertebeye göre moment  
 $M'$  : Birinci mertebeye göre moment

Gerdirmiş bacalarda; çok yüksek bacalar, küçük çaplı olanlar genelde üç adet çelik halat gerilimli statik hesabı baca rüzgar yüküne karşı güvenceye alınır. Kesme büyüklüklerinin hesabında en büyük zorlamaları belirlemek için genelde birçok rüzgar yönü incelenir. Simetrik gerdirmelerde, baca bacalar aşağıdaki şekilde verilen rüzgar yüklerinde incelenir.



Şekil 3. Gerdirmiş bacalarda incelenecek rüzgar yükleri

Taşıyıcı borunun zorlanmalarının hesabında en uygunsuz yöndeki en büyük kesme büyüklükleri esas alınmalıdır. Temele etkiyen kesme büyüklükleri  $\gamma_f=1,0$  değeri dikkate alınarak hesaplanır.

Ana kombinasyon kesme büyüklükleri aşağıdaki şekilde hesaplanır.



$$S_x = \frac{S_y - S_o}{1,5} + S_o \quad (\text{kgm}) \quad (4)$$

Burada ;  $S_x$  : Kullanım şartlarında yapıya etkiyen kesme büyüklüğü,  
 $S_y$  :  $\gamma_f$  katı yük etkisinde kesme büyüklüğü,  
 $S_o$  : Gerdirilmiş sistemlerde ön gerilmeden kaynaklı oluşan kesme büyüklüğü

Zemin basıncı, kazık kuvvetleri ve temel kesme büyüklükleri, etkiyen en büyük moment ve enine kuvvetler ile en küçük ve en büyük boyuna kuvvetler açısından kontrol edilmelidir.

### 1.3.3.3- Taşıyıcı Baca Ve Temel Kontrolü

Hesaplanan kesme büyüklüklerinin, boruların maksimum taşıma kapasitesine dayanabilecekleri sınır kesme büyüklüklerinden büyük olmadığını gösteren bir taşıma emniyeti kontrolü yapılmalıdır. Bu sınır kesme büyüklükleri, akma sınırını aşmamak kaydı ile elastisite teorisine göre hesaplanmalıdır.

$$\frac{r}{t} < 130 \text{ ise,} \quad (\text{mm}) \quad (5)$$

Rüzgar basıncının homojen olmayan dağılımı dolayısıyla çevredeki eğilme zorlaması kontrolü yapılmayabilir.

Burada:  $r$  : Boru yarıçapı,  
 $t$  : Boru cidar kalınlığı,

İşletme mukavemeti yönüyle incelenecek yapı elemanları, devamlı veya uzun bir süre 100 °C'nin üzerinde bir T sıcaklığına maruz kalacaksa, müsaade edilebilir titreşim gerilme aralığı aşağıdaki denklemle bulunur.

$$\Delta\sigma_T = \frac{1300 - T}{1200} \Delta\sigma \quad 100 \leq T \leq 500 \text{ °C} \quad (6)$$

Burada;

$\Delta\sigma_T$  : T °C sıcaklığında müsaade edilebilir titreşim gerilme aralığı,  
 $\Delta\sigma$  : Normal sıcaklığında müsaade edilebilir titreşim gerilme aralığı,

Temel kontrolü, kullanma koşullarında belirlenen kesme büyüklükleri ile yapılır. Enine titreşim incelemesi ile elde edilen kesme büyüklükleri enine titreşimlerin statik yük gibi değerlendirilerek boy (temelin zemine kadar) tatbik edilmesiyle hesaplanır.

Kayma emniyetinin kontrolünde, sadece beton ve toprak arasındaki sürtünme hesaba katılmalıdır. Derin olmayan temellerde kaldırmaya karşı emniyet katsayısı en az 1,5 alınmalıdır.

## 2. ENDÜSTRİYEL ÇELİK BACALARDA RÜZGAR YÜKLERİ

Bacaya gelen rüzgar yükü, bacanın bulunduğu arazinin yüksekliğine bağlı olarak rüzgar hızının büyüklüğüne göre değişim gösterir. Rüzgar hızından başka birçok faktör rüzgar yüküne yerel topoloji, türbülans seviyesi, civardaki yapılar (örneğin, bina veya başka baca), hava yoğunluğu, şekil faktörü, titreşimin doğal frekans değeri, sönümlenme ve kütle miktarı, titreşim biçiminin konfigürasyonu, boru, platform ve merdiven etkisi etki etmektedir.



### 3. ENDÜSTRİYEL ÇELİK BACANIN DİZAYNI

#### 3.1. Kesme kuvveti, Moment

$$\text{Kendi kendini taşıyan bacaya gelen kesme kuvveti;} \quad V_T = W_m \cdot d \cdot h \quad (\text{kg}) \quad (7)$$

$W_m$  : Rüzgar yükü ( $\text{kg/m}^2$ ),  $d$  : Bacanın dış çapı (izolasyondahil) (m),  $h$  : Baca yüksekliği (m)

$$\text{Moment;} \quad M = W_m \cdot d \cdot h \cdot h_M \quad (\text{kgm}) \quad (8)$$

$h_M$  : Moment kolu (m)

$$\text{Gerilim,} \quad S = 1000 \cdot M / r^2 \pi t \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (9)$$

$t$  : Bacanın cidar kalınlığı (mm)  
 $r$  : bacanın ortalama yarıçapı (mm)

$$\text{Gerekli cidar kalınlığı;} \quad t = 1000 \cdot M / r^2 \pi S E_k \quad (\text{mm}) \quad (10)$$

$E_k$  : Kaynak verim katsayısı

#### 3.2. Ağırlık Yüğü

Baca ağırlığı; taşıyıcı gövde, şapka, fırlatmabaşlığı veya jetkap, iç baca, flanşlar, yalıtım malzemesi, boru bağlantı ağızları, taban plakası, bağlama palkası, bağlama bayrakları, diğer malzemeler ile birlikte buraya kadar belirtilen malzemelere %6 oranında kaynak vb. ağırlıklar eklendikten sonra ısı yalıtımı, yangın yalıtımı, platform, merdiven, borulama ve diğer ağırlıkların toplamından oluşur.

$$\text{Bacanın toplam ağırlığından oluşan bası gerilimi;} \quad S_A = G_T / \zeta_t \quad (\text{kg/mm}^2) \quad (11)$$

$G_T$ : Toplam baca ağırlığı (kg)  
 $\zeta_t$  : Taşıyıcı bacanın ortalama çevresi (mm)

#### 3.3. Titreşim

Rüzgar nedeniyle bacalarda oluşan titreşim yorulmaya neden olacağı için titreşim periyodu ile sınırlanması gerekir. Bacada oluşan titreşim periyodu;

$$T = 0,0002151 \left( \frac{h}{d} \right)^2 \sqrt{\frac{G_z \cdot d}{t}} \quad (\text{s}) \quad (12)$$

İzin verilen en büyük titreşim periyodu;

$$T_a = 0,80 \cdot \sqrt{\frac{G_T \cdot h}{V_{g_e}}} \quad (\text{s}) \quad (13)$$

$g_e$  : 9,81  $\text{m/sn}^2$

$G_z$  : Yüksekliğin her metresi için baca ağırlığı (kg)

#### 3.4. Deprem Yüğü

$$C_d = C_{d0} \cdot C_{d1} \cdot C_{d2} \cdot C_{d3} \quad (14)$$

$$C_{d2} = \frac{1}{(0,8+T-T_0)} \quad C_d < \frac{C_{d0}}{2} \text{ olamaz } C_{d2} \text{ en fazla } 1,0 \text{ alınır.}$$

$C_d$  : Deprem yükü katsayısı

$C_{d0}$  : Deprem bölge katsayısı

$C_{d1}$  : Yapı tipi katsayısı

$C_{d2}$  : Yapı dinamik katsayısı

$C_{d3}$  : Yapı önem katsayısı

**Tablo 4.** Deprem katsayıları

Deprem Bölgesi	C <sub>do</sub>
1	0,10
2	0,08
3	0,06
4	0,03
Yapı tipi katsayısı C <sub>d1</sub>	
Yapı tipi ( En büyük deprem yükü katsayısı C <sub>d</sub> = 0,30)	C <sub>d1</sub>
Bağımsız zemin üstü hazneleri	3,00
Binalardan başka yapılar, bacalar,kuleler	2,00
Yapı önem katsayısı C <sub>d3</sub>	
Yapı önem tipi	C <sub>d3</sub>
Bir deprem süresince yada hemen sonra kullanılması zorunlu yapılar (PTT, İtfaiye, Radyo evleri, santraller, pompa istasyonları, rafineriler vb.)	1,5
Halkın az yığıldığı yapılar (Özel konutlar, oteller,işyerleri, lokantalar, endüstri yapıları vb.)	1,0

### 3.5. Esnek Denge (Kararlılık)

Eksenel sıkıştırma altındaki bir baca dengesizlik nedeni ile iki şekilde hasara uğrayabilir.

- Bütün bacanın burkulması
- Yerel burkulma

Cidar kalınlığı ince olan bacalarda (cidar kalınlığı baca yarıçapının %10'dan az ise) bütün bacanın bozulmasına yeterli olmayan yüklerde yerel bozulmalar görülebilir. Dengesizlikte gövdenin yuvarlaklığının bozuk olması önemli bir etkidir. Bu riski engellemek için boyuna destekler çevresel desteklere göre bacayı daha iyi korur.

### 3.6. Eğilme (Bel verme)

Bacalar 50 metre yükseklikte 250 mm. eğilmeyi geçmeyecek şekilde tasarlanmalıdır. Rüzgar yükü nedeniyle oluşan eğilme aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$y = \frac{W_m \cdot d_1 \cdot h^4 \cdot 10^9}{8 \cdot E \cdot I} \quad (15)$$

- W<sub>m</sub> : Rüzgar yükü (kg/m<sup>2</sup>),  
d<sub>1</sub> : Bacanın çapı (izolasyon dahil) (m)  
h : Bacanın yüksekliği (m)  
E : Esneklik modülü (kg/mm<sup>2</sup>)  
I : Atalet momenti (mm<sup>4</sup>)

### 3.7. Gerilmelerin Bileşkesi

Gerilmelerin birlikte etkilemesi için oluşan bileşkelerinin göz önüne alınması gereklidir. Bu hesaplamalar esnasında rüzgar yükü ve deprem yükünün aynı anda oluşmayacağı var sayılır. Bu nedenle rüzgar veya deprem yüklerinin büyük olanı hesaplamalara katılır.

Rüzgar yükü veya deprem yükü, dış basınç ve baca ağırlığının birleşmesinden doğan gerilim aşağıdaki gibi incelenebilir.

Gerilim durumu

Rüzgar alan taraf

- (+) Rüzgar nedeniyle gerilim
- (-) Dış basınç nedeniyle gerilim
- (-) Ağırlık nedeniyle gerilim

Rüzgar almayan taraf

- (-) Rüzgar nedeniyle gerilim
- (-) Dış basınç nedeniyle gerilim
- (-) Ağırlık nedeniyle gerilim

Artı (+) işaret çekmeyi eksi (-) işaret ise basıyı gösterir. Gerilimlerin toplamı sonucunda çekme veya bası durumu olup olmadığı anlaşılır.

Aşağıdaki noktalardaki gerilimler hesaplanmalıdır.

- Baca tabanında,
- Baca çapının veya et kalınlığının değiştiği noktalarda.

### 3.8. Bağlantı Civataları ve Taban Plakası Tasarımı

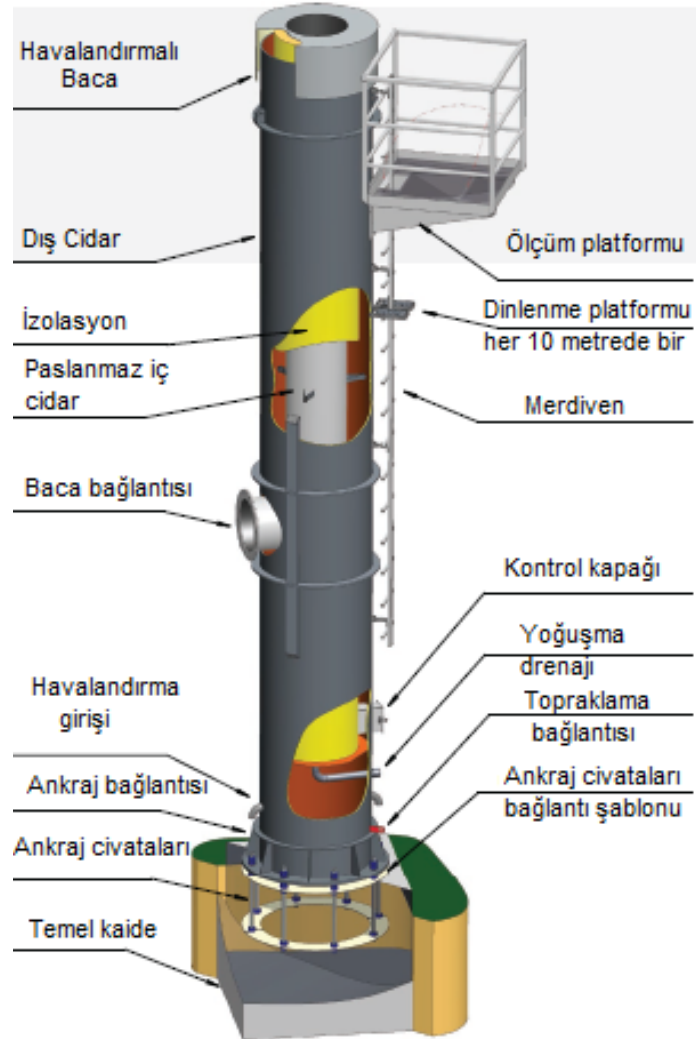
Bacalar beton temele veya diğer tabanlara bağlama civataları ve taban plakaları ile bağlanmalıdır. Kullanılacak cıvata sayısı dördün katları ve en sekiz adet olmalıdır.

Taban plakasının tasarımında dikkatedilmesigereken hususlar;

- Taban plakasının basma yüzeyi, temelin üzerine gelen düzgün bir şekilde dağıtmalıdır. Temel için taşıma yükünün geçilmesini önleyecek boyutta olmalıdır.
- Taban plakasının et kalınlığı, rüzgar veya deprem nedeniyle oluşan bükme gerilimine dayanacak şekilde seçilmelidir.

## 4. UYGULAMA SAHALARI

Özellikle endüstriyel uygulamalarda; İlaç , Kimya, Cam ile Gıda endüstrilerinde ve Güç santrallerinde oldukça uygulama alanı bulmaktadırlar. Günümüzde 150 metreyi geçen yüksekliklerde ve muhtelif çaplarda endüstriyel çelik baca üretimi yapılmaktadır.



Şekil 4. Endüstriyel Çelik Baca (Havalandırmalı Baca) Uygulaması

## SONUÇ

Günümüze gelene kadar çelik bacalarda pek çok problem yaşanmıştır. Bu süreçte özellikle dizayn kriterleri geliştirilmiş, üretilen bacalar üzerinde gözlemler, testler, ölçümler ve hesaplamalar yapılarak güvenli çalışan baca uygulanmaya başlamıştır. Burada en önemli konu, hangi tip bacanın hangi durumda seçileceğine karar verilmesidir. Doğru bir seçimin yapılması, bacanın güvenli olarak çalışması üzerine etkisi büyüktür. Aşağıdaki unsurlara dikkat edilerek bacanın seçilmesi daha uygun olacaktır.

- Eğer yakıt bünyesindeki kükürt konsantrasyonu %0,5'i geçiyorsa ve duman gazı sıcaklığı 300°C'nin altında ise, çelik bacalar asite dayanıklı tuğla ile kaplanmalıdır. Çelik ile tuğla katmanı arasına havalandırma boşluğu bırakılmalıdır. Eğer bacada yalıtım yapılması gerekirse, yalıtım tuğla ile çelik arasına yapılmalıdır.
- Eğer duman gazı sıcaklığı, asit yoğunlaşma sıcaklığının üzerinde ve metal sıcaklığı 400 °C'nin üzerinde ise bacaya çelik takviye yapılması tavsiye edilir. Eğer metal sıcaklığı, 400 °C'nin üzerinde ise paslanmaz veya alaşımlı çelik kullanılması gerekir.
- Eğer duman gazı sıcaklığı, , 400 °C'nin üzerinde ise refrakter tuğla kullanılması, paslanmaz veya alaşımlı çelik kullanılması gerekir. Her iki durumda da izolasyon dışarıdan yapılmalıdır.
- Eğer baca yangını riski yüksek ise çelik bacalar, 50 mm. kalınlığında refrakter malzeme ile korunmalıdır.
- Eğer baca içerisinde yüksek sıcaklık ve patlama riski var ise kullanılan refrakter malzeme zarar görebilir. Bu durumda refrakter malzemenin iç ve dış kısmı çelik malzeme ile korunmalıdır.
- Eğer duman gazı sürekli sülfür kondensasyonu oluşturuyorsa, metal bacaların dayanımı daha uzundur. Daha uzun dayanım istenmesi durumunda, krom-nikel alaşımları veya titanyum içeren malzemeler kullanılabilir.
- Paslanmaz çeliklerin sülfürik asit dayanımları, karbon çeliklerle hemen hemen aynıdır. Ancak sürekli olarak asidik ortama maruz kalan bacaların üst kısımlarında paslanmaz çelik kullanımı oldukça avantajlıdır. Özellikle AISI316L paslanmaz malzeme kullanımı, karbon çeliklere göre daha avantajlıdır.

Diğer bir parametre de bacanın ekonomik olarak müşteriye maliyetidir. Eğer çelik baca tek parça halinde üretilecek ve sevk edilecekse ekonomik açıdan çok büyük bir maliyet oluşturmaz. Ancak büyük çaplı ve yüksek bacaların maliyetleri oldukça yüksektir. Günümüzde bacaların yükseklikleri 400 metrelere ulaşmış olmasına rağmen çelik bacalarda ulaşılan en fazla yükseklik 150 metreler mertebesinde dir. Çünkü 150 metreden sonra beton bacaların maliyetleri daha ekonomiktir.

## KAYNAKLAR

- [1] SCHAFER, W.; Schorsteinfragen in derHeizungstechnik,KramerVerlag, Dusseldorf, 1994
- [2] EN 1991-1-5. Eurocode 1 – Actions on structures – Part 1-5: General actions – Thermal actions, 2005.
- [3] EN 1993-3-2. Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 3-2: Towers, masts and chimneys – Chimneys, 2006.
- [4] EN 13084-1. Free-standing chimneys – Part 1: General requirements, 2007.
- [5] EN 13084-7. Free-standing chimneys – Part 7: Product specifications of cylindrical steel fabrications for use in single wall steel chimneys and steel liners, 2005.
- [6] The CICIND Chimney Book. Industrial Chimneys of Concrete or Steel, CICIND, Zurich, 2005.
- [7] ALTIPARMAK,O; “Endüstriyel Çelik Bacaların Statik, Dinamik ve Çap Hesabının Yapıllarak Dizaynı ve Projelendirilmesi”, Haziran 2001.



## ÖZGEÇMİŞ

### Oğuz ALTIPARMAK

1968 yılı İstanbul doğumludur. 1990 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 2001 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri enstitüsünden Yüksek Lisans derecesi alarak yüksek mühendis olmuştur. 1994 yılından bu güne kadar Rotek Enerji ve Baca Sistemleri firmasında çalışmaktadır.

### Muammer AKGÜN

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Enerji Anabilim Dalından mezun olmuştur. 1992-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi olarak, 1998-2013 yılları arasında kazan ve basınçlı kap sektöründe Ar&Ge, Tasarım, Üretim ve Şantiye montaj alanlarında çeşitli projelerde çalışmıştır. 2013 yılından beri, Bacader Genel Koordinatörü olarak görev yapmaktadır. Sektörel dergilerde yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazısı bulunmaktadır. Ayrıca yaklaşık 4 yıldır bir sektörel dergide köşe yazısı yazmaktadır.