



ENDÜSTRİYEL BACALARDA TİTREŞİM KONTROLÜ

Control of Vibration-Dampers for Industrial Steel Chimneys

Muammer Akgün

ÖZET

Titreşim damperleri, bacaların çalışması esnasında oluşan bacaya zarar verebilecek titreşimlerin etkisini azaltmak amacıyla yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, damperlerin sönümlenme sisteminin prensibi anlatılmıştır. Bununla birlikte damperin kütlesi, rijitliği ve vorteks etkisi ile bacanın üst noktasında oluşan genliğin bacaya etkisi irdelenmiştir. Titreşim damperlerinin boyutları ve son olarak kullanılmakta olan bazı damper sistemleri tanımlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Titreşim damperi, Sönümlenme sistemi, damper sistemleri, genlik, rijitlik

ABSTRACT

In the past there have been attempts to control wind response of chimneys using strakes, perforated screens, rubber mountings, hanging chain dampers and tuned mass dampers. However, a systematic and detailed study on latest designed vibration dampers at chimney top is not seen in literature. In the present paper, principle of the damping system is discussed. Mass and stiffness of the damper are calculated. Amplitude of the top of chimney during vortex shedding is calculated. Results thus obtained have been discussed. Some latest damping systems have also been presented for authenticity.

Key Words: Vibration-Dampers, Damping system, Damper systems, Amplitude, Stiffness.

1. GİRİŞ

Endüstriyel baca sistemi tasarımı yaparken rüzgar ve deprem etkisi mutlaka dikkate alınmalıdır. Bacalar yüksek hızlı rüzgardan kaynaklı vorteks salınımı ve deprem esnasında oluşan salınımlardan dolayı devrilme ihtimaline karşı güvenli hale getirilmelidir. Bununla birlikte bacalarda düzenli bir salınımın olması normaldir ancak düzensiz titreşimlerden kaynaklanan salınımlardan kaçınılmalıdır. Büyük ölçekli salınımlar baca sisteminin güvenliği ve bütünlüğü açısından bir tehdit olmakla birlikte, sistemdeki ekipmanların ve çevredeki insanlar için de ciddi tehlike oluşturmaktadır. Bu problemi aşmanın en uygun yolu, tasarım aşamasında rüzgar ve varsa deprem yüklerinin hesaba eklenmesi ile mümkündür. Bu sorunun çözümü genellikle titreşim sönümleyici damperlerin sisteme ilave edilmesi ile sağlanabilir [2,3].

Bu damperler, baca sisteminde oluşan hareketin tersi yönünde kuvvet oluşturmaktadırlar. Bu sönümleyici damperler; sıvı, kuru sürtünme esaslı ya da yüzeyler arasında kayan vb. tipleri bulunmaktadır[3]. Bu çalışmada baca sistemlerinde oluşan titreşimleri kontrol etmek için kullanılan çeşitli titreşimli damperleri tanımlanmıştır. Bu damperler kendi kendini taşıyan ya da halatlarla gerilmiş serbest duran bacalara uygundur.

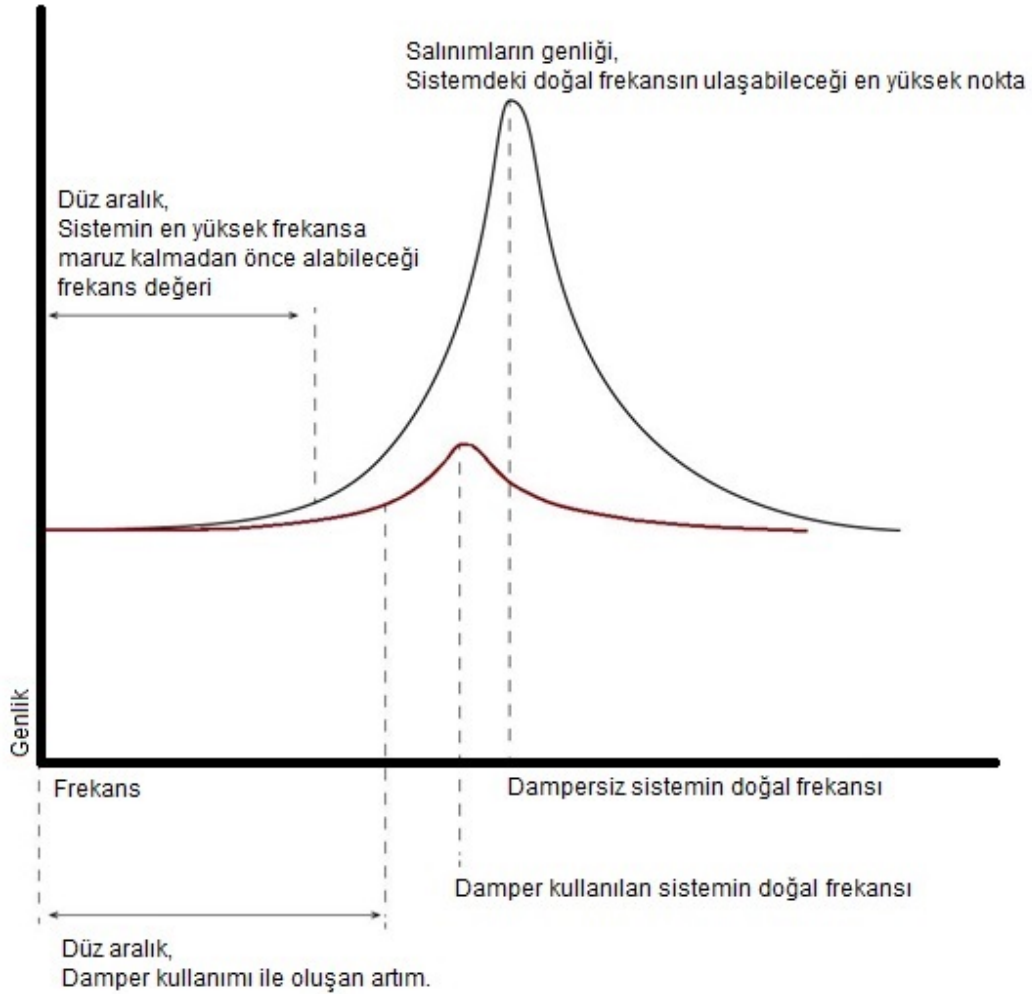
2. BACALARDA TİTREŞİM SİSTEMİNİN PRENSİBİ

Bacalarda titreşim, rüzgarın oluşturduğu vortekslerden kaynaklanmaktadır. Vortekslere bağlı oluşan kuvvetler baca ile aynı frekansa sahip olması durumunda baca sisteminde kolaylıkla rezonans oluşturabilirler. Baca sisteminde oluşan genlik ve gerilim artar ve bu da sistemdeki malzemenin yorulmasına ve hatta devrilmesine sebep olabilir [4,5].

Bacalar için rüzgarın oluşturduğu vorteks kuvvetleri Reynolds sayısına göre değişim göstermektedir.

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (1)$$

V= Rüzgar hızı [m/s]; D= Baca çapı [m]; ν = Kinematik viskozite [m^2/s].



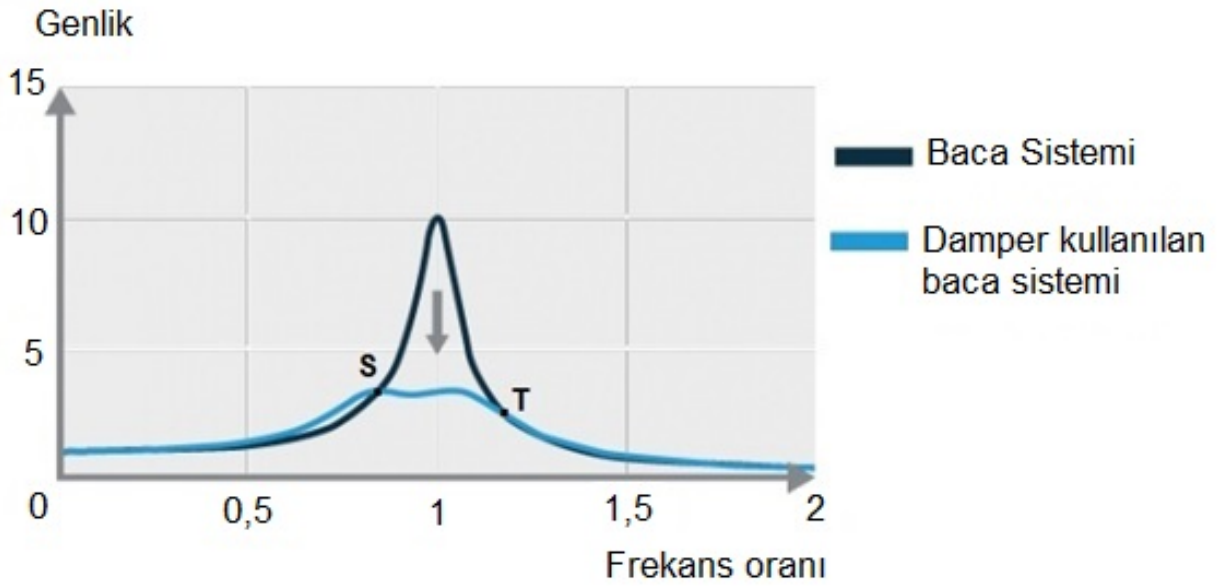
Şekil.1- Damper uygulanan ve damper uygulanmayan bir baca sistemin verdiği dinamik tepki.

Vorteks kuvvetleri, Reynolds sayılarının kritik altı ve kritik ötesi olması durumuna göre değişim göstermektedir.

- Kritik altı aralığı : $Re < 3 \cdot 10^5$
- Kritik aralığı : $3 \cdot 10^5 < Re < 3 \cdot 10^6$
- Kritik üstü aralığı : $Re > 3 \cdot 10^6$

Kritik aralık değeri olan $3 \cdot 10^5 < Re < 3 \cdot 10^6$ aralığında, baca etrafındaki oluşan türbülans, vorteks kuvvetlerini düzensiz hale getirir. Oluşan bu düzensizlik ancak damperleme elemanları ile giderilebilir[1]. Vorteks kuvvetlerinin oluşturduğu türbülans sonucu meydana geldiğinde oluşan titreşim, malzeme yorulması kaynaklı çatlakların veya yapısal bozulmaların oluşmasına neden olabilmektedir. Damper sisteme aynı frekansta karşı kuvvet oluşturduğu için oluşacak salınımları önemli ölçüde azaltmaktadır. Damper sisteminin teorisi Şekil 1'de görülmektedir.

Dikey ekseninde baca sisteminin dinamik hareketi ve statik hareketi arasındaki fark görülmektedir. Yatak eksenine ise bacanın yük frekansı ile rezonans frekansı görülmektedir. Siyah çizgi ile bacada sönümleyici damper olmadan, kırmızı çizgi ile bacanın damper kullanılması durumunda hareketi görülmektedir.



Şekil.2- Damper uygulanması ile oluşan sönümlenme etkisi.

Yükün frekansı, baca sisteminin frekansına eşitlenirse baca sisteminin genliği çok artar. Uygun damper sistemi tasarlanırsa genlik dalganın yatay S ve T noktalarındaki tanjantı ile sınırlandırılabilir. Genlik, statik genliğin üç katından fazlaya çıkmaz[4]. Bu oluşan salınımların ve gerilimlerin uygun bir ölçüde azaltılması ve sönümlenmenin artırılması olarak değerlendirilmelidir.

Sönümlenme sistemi olmadan maksimum S ve T genliğine sahip bacanın tek serbestlik dereceli sistemini değiştirmek için gerekli koşullar aşağıdaki gibidir. Şekil 3'te baca sisteminde baca frekansının f_{baca} , damper sisteminin de f_{damper} olduğu durumda aralarındaki rezonans frekansı:

$$\frac{f_{damper}}{f_{baca}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{m_1}{m_2}}} \quad (1)$$

olarak hesaplanır.

$$m_1 = \frac{\int_0^h m(z) \cdot Y^2(z) \cdot dz}{Y_{max}^2} \quad (2)$$

Damper sisteminin rijitliği:

$$k_2 = k_1 \cdot \frac{1}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \quad (3)$$

Sönümlenme:

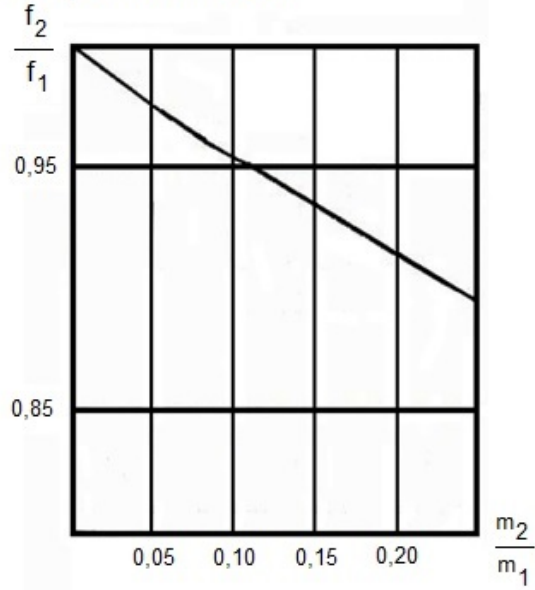
$$C_2 = \frac{C_{2cr}}{1 + \frac{m_1}{m_2}} \sqrt{\frac{3m_2}{8m_1}} \quad (4)$$

$$C_{2cr} = 2 \cdot \sqrt{m_2 \cdot k_2} \quad (5)$$

m_2 damperin kütlesi ve k_2 ise damperin rijitliğidir. C/C_{cr} ise damper oranıdır.

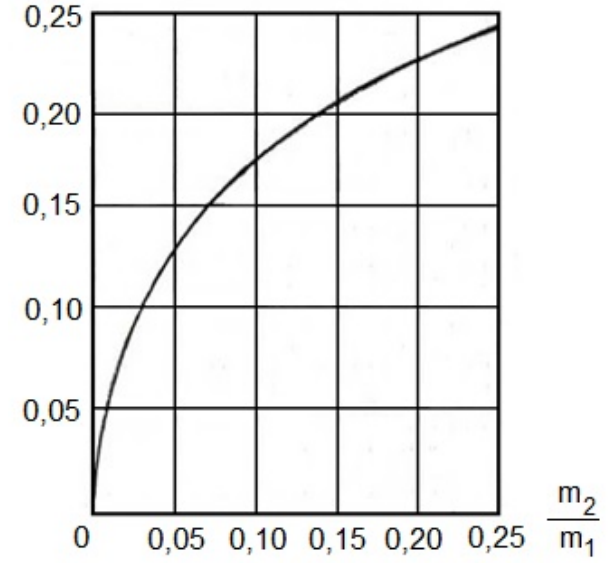
Frekans oranı

Damper / Baca Sistemi



Şekil.3- Damper frekansı

Damper oranı



Şekil.4- Damperlerde sönümlenme

Tek dereceli serbest dinamik sistemlerde damper sönümlenme oranı aşağıda açıklanmaktadır.

- Oran 1 ise, kütlelerin yer değiştirdikten sonra hareketi bu konumu geçmeden ilk konumuna geri dönecektir.
- Oran 0 ise, sönümlenme olmayacaktır ve baca sistemi ilk konumundan hareket ederek diğer tarafa gider ve hareket devam edecektir.
- Tek serbestlik derecesindeki sistemlerde damper sönümlenme oranını belirlemenin en kolay yolu, Baca sisteminin ilk hareketinden itibaren oluşan salınımın %50 oranda azalınca kadar salınım sayısına n dersek, bu durumda sönümlenme oranı $0.11/n$ 'dir.

Kritik rüzgar hızı;

$$V_{kritik} = C_r \cdot f_d \quad (6)$$

$C_r = 5$ 'tir. (C_r , Strouhal sayısının tersidir.)

3. BACA SİSTEMİNİN HAREKETİ

Vorteks salınımı sırasında bacada oluşan genlik mutlaka hesaplanmalıdır. Strouhal Sayısı 0,2, maksimum genliği y ; bacanın rijitliği k , ağırlığı m , damper oranı C/C_{cr} , rezonans esnasında baca sisteminde oluşan kuvveti F olması durumunda bacanın en üst kısmında oluşan genlik aşağıdaki gibi hesaplanır: [7,9]

$$y = \frac{F}{\left(2.k.\frac{C}{C_r}\right)} \quad (7)$$

Bu esnada frekansı

$$F = \frac{1}{2.\pi} \sqrt{\frac{k}{\frac{m.h}{4}}} \quad (8)$$

Ve genliği ise;

$$\frac{y}{d} = \frac{8.C_L}{S_{CR}} \quad (9)$$

$$S_{CR} = \frac{4.\pi.\frac{C}{C_{cr}}}{\rho.d^2} \quad (10)$$

şeklinde hesaplanır. Bu denklemde m baca yüksekliğinin üçte birine karşılık gelen birim ağırlıktır. Bacanın üst noktasında oluşan hız ise;

$$V = \omega.y = \frac{8,1.\pi.C_L.d_f}{S_{cr}.f_d} \quad (11)$$

Kritik rüzgar hızı, 5. f_d ile bulunur. Eğer Scruton sayısı 7'den büyükse bacanın salınımı artmaya başlar ve bacaya gelen yük artar. Scruton sayısı 15'ten büyük olması durumunda salınım çapın yüzde beşinden daha az olur ve sisteme etkisi yok denebilir[10]. Normal olarak damper sönümlenme oranı C/C_r yüzde 3'ten ve Scruton sayısı 15'ten büyük olmalıdır.

4. DAMPERLERİN ÖZELLİKLERİ

4.1 Damperlerin boyutları

- Damper vorteksin oluşturduğu kuvvetini dengeleyecek bir karşı kuvvet oluşturmak zorundadır.

Kuvvet:

$$\frac{1}{2} \rho.V_c^2.C_L = \frac{1}{2}.1,25.25.d^3.\frac{h.\omega^2}{4.\pi^2} = 0,08.\omega^2.d^3.h \quad (12)$$

ile bulunabilir.

$$F_{Damper} = m.e.\omega^2 \quad (13)$$

Vorteksin oluşturduğu kuvvet dikkate alınır;

$$me = 0,08. d^3. h \quad (14)$$

olursa vorteks kuvveti dengelenebilir.

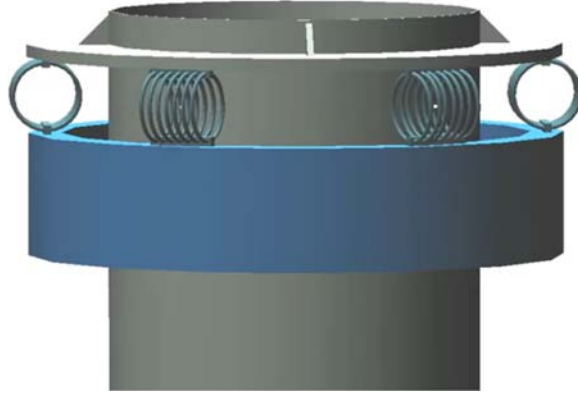
Burada; m damper kütlesi ve e ise eksantriklidir.

Kütlenin ağırlığı 0.08'e yakın olmalıysa, kütlenin (kg) değerinde

$$m \geq d^3. h \quad (15)$$

olmalıdır.

Uygulamada çeşitli tipte damperler mevcuttur. Genellikle çelik ve sıvı uygulamalar kullanılmaktadır. Sıvı uygulamalarda dikdörtgen kesitli kap içerisinde hareket eden sıvı, cidarlara çarpar ve vorteks kaynaklı harekete karşı bir kuvvet oluşturarak titreşimi engeller. Damperin kütlesi, damper bünyesinde kullanılan sıvı kütlesinden çok daha küçüktür, bu nedenle büyük bacalar için çelik kullanılacaktır. (50 m. yüksekliğinde 1.5 m., çapındaki baca sisteminde kullanılan damper kütlesi 169 kg'dır.) [5].



Şekil.5- Sıvı damper uygulaması.

Çelik malzemeden yapılmış bir damper bobini, bir kap içinde hareket eden sıvının frekansı, damper boyutuna bağlı olacaktır. Sıvı damper için kullanılan kabın uzunluğu ve genişliği aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$L = \sqrt{\frac{g.h}{2.f}} \quad (16)$$

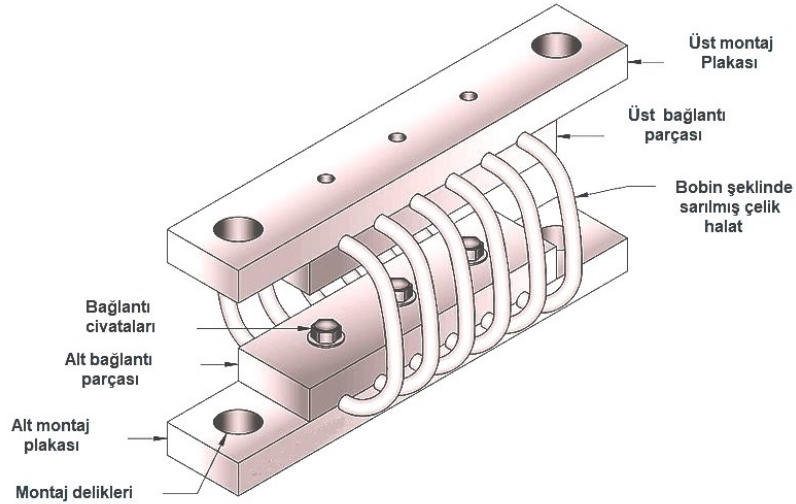
f: Frekans g: yerçekimi ivmesi 9,81 m/s²

Baca sisteminde kullanılabilecek sarkaç damperin yarıçapı;

$$R = \frac{g}{(2.\pi.f)^2} \quad (17)$$

Sarkaç olarak çelik halatlar ya da hidrolik amortisörler kullanılabilir.

Bir baca sisteminde oluşan salınımların sönümlenmesi için çelik tel sarılarak suretiyle sistemde oluşan enerji giderilebilir (Şekil.6).



Şekil.6- Çelik malzemedен yapılmış bir damper bobini.

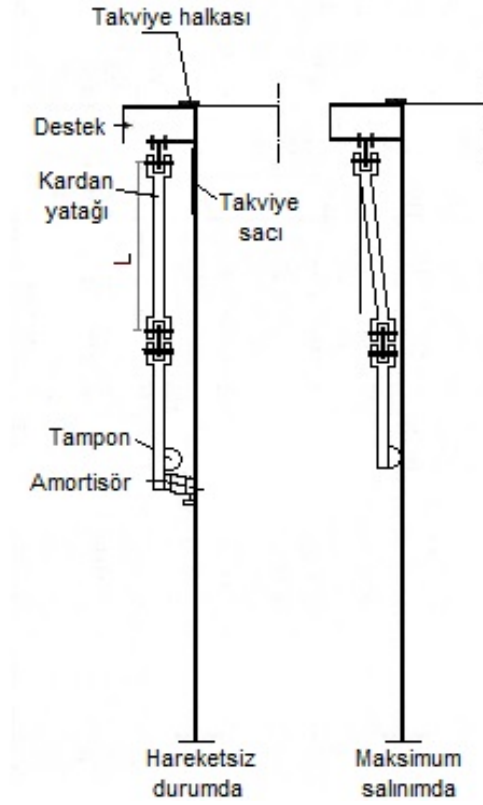
Damperlerin boyutları denklem (1) ve (2) ile belirlenir. Damper kütesinin bacanın toplam ağırlığına ilave edilerek sistemindeki titreşimin sönümlenmesinin hesaplanması gerekir. Oluşan titreşimlerin sönümlenmesi, iki serbestlik dereceli dinamik denge denklemleri ile çözümlenerek hesaplanabilir.

Büyük çaplı bir baca için damper seçilecekse süspansiyon özelliği olan amortisörlere sahip damperli baca ile sallanan kütle arasındaki hareketin sınırlandırılması gerekir. Bu baca sistemlerinde kullanılan amortisörler sadece 100 mm içeri ve dışarı veya özel bir kasa ile 150mm içeri ve dışarı hareket kabiliyetine sahiptir.

Büyük çaplı çelik bacalarda damper olarak çelik halkalı bobin, menteşeli ve asılan amortisör uygulamaları ile oluşan titreşimler kolaylıkla sönümlenebilir. Bu amortisörler 200-3000 Ns/m, 900-1400 Ns/m ve 400-5000 Ns/m sönümlenme değerlerinde üretilmektedir.

2, 3, 4 veya 6 amortisörden oluşan kombinasyon ile büyük çaplı baca sistemlerinde oluşabilecek titreşimin sönümlenme için çözüm mümkündür[5]. Amortisörlü damper uygulaması, Şekil 7'de gösterilmiştir.

Bacanın üst kısmına monte edilen damper kütesi baca sisteminin toplam kütesinin yaklaşık% 10'u kadardır.

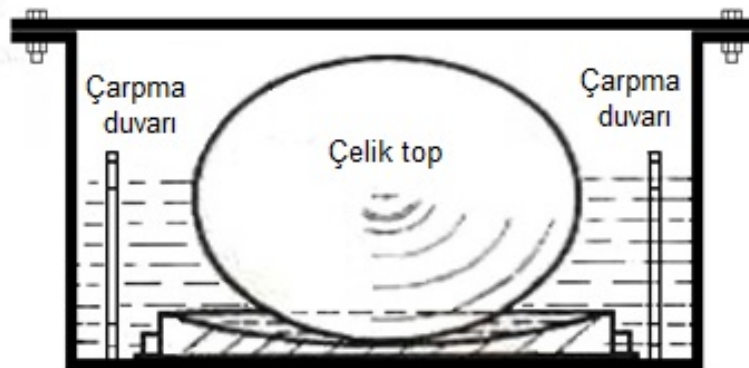


Şekil.7- Amortisörlü damper çalışma prensibi

5. DAMPER SİSTEMİ ÖRNEKLERİ

Aşağıdaki damper sistemleri en son tasarımlardır. Her sistemin kendine göre avantaj ve dezavantajları vardır.

Treatner Sistemi: Sistem, değiştirilebilir çelik top, çelik top yatağı, silikon yağı, sönümlleme halkası (çarpma duvarı) ve çevresel etkilere karşı korunaklı dış kutudan oluşmaktadır.



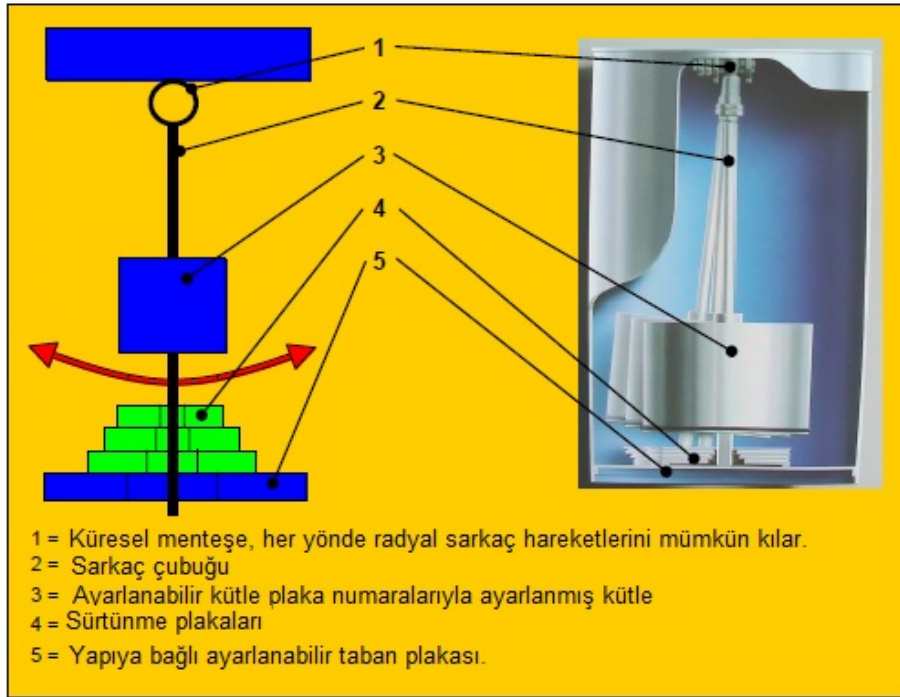
Şekil.8- Traetner Sistemi

Hirsch Sistemi: Bu sistem, çift eksenli sarkaç, halka şeklinde bir sarkaç ağırlığı, halka kütlesi ve yatak borusu arasına sarkaç hareketlerinin sönümlenmesi için yay bobinden oluşur.



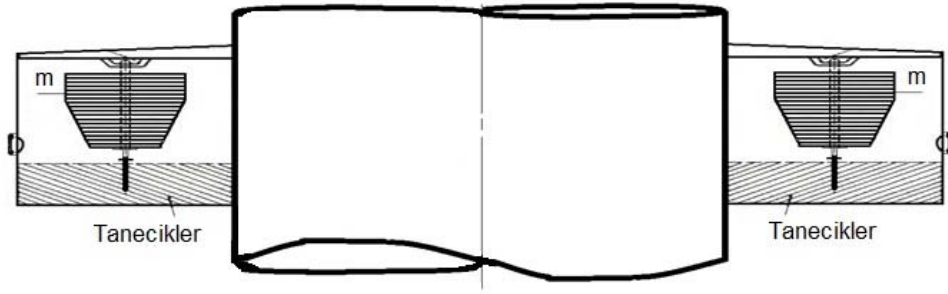
Şekil.9- Hirsch Sistemi

Petersen Sistemi: Bu sistem, çifte eksenli sarkaç bağlı süspansiyon ucunda sallanan kütle ve çelik sürtünme plakalarından oluşmaktadır.



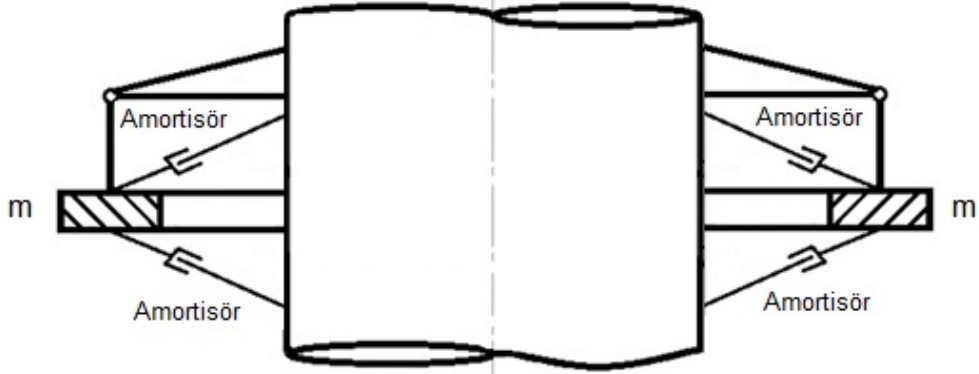
Şekil.10- Petersen Sistemi

Langer Sistemi: Bu sistem, çifte eksenli sarkaca bağlı sallanan kütleden oluşur. Kütlelerin sarkaç ile birlikte oluşturduğu salınım hareketleri plastik tanecikler arasında sürtünerek sönmektedir.



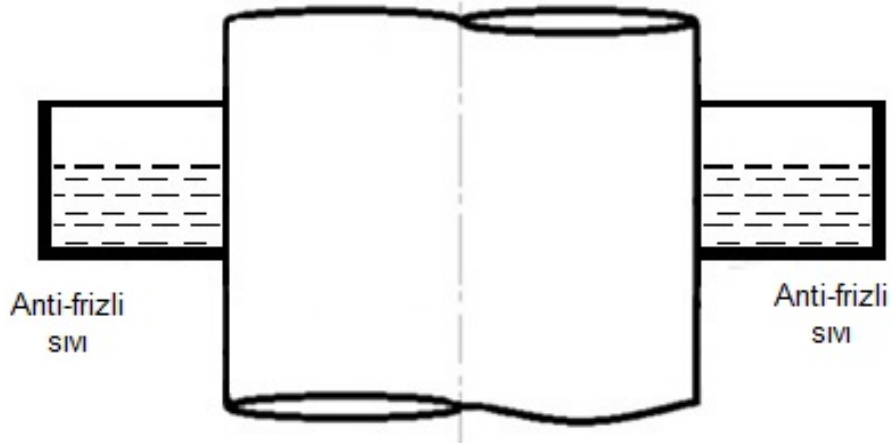
Şekil.11- Langer Sistemi

Reutlinger Sistemi: Bu sistemde çifte eksenli sarkaca bağlı sallanan kütlelerden oluşur. Kütlelerin sarkaç ile birlikte oluşturduğu salınım hareketleri özel hidrolik amortisörlerle sönmülmektedir.



Şekil.12- Reutlinger Sistemi

Verwiebe Sistemi: Bu sistemde dairesel halka şeklinde kesit içerisinde belli bir yüksekliğe kadar dolduran anti-frizli sıvıdan oluşmaktadır.



Şekil.13- Verwiebe Sistemi

6. DAMPER SİSTEMLERİNİN YANLIŞ AYARLANMASI

Damperlerin optimal frekans ve sönülmeye ayarlanması her zaman mümkün değildir. Baca sisteminde oluşan frekansın sönümlenmesi değişkenlik gösterebilir. Bu nedenle herhangi bir olumsuz etki oluşmaması için sönümlenme hesaplamalarının iyi yapılması önemlidir. Eğer damper rezonans frekansı optimal değerin yüzde 10 dışındaysa baca sisteminin sönümlenen frekans değeri yüzde 20 azalır. Kritik sönümlenmenin yapılabilmesi için gereken sönümlenme miktarı minimum yüzde 3'tür. Damper sistemindeki sönümlenme değeri, 0.1 ile 0.2 Hz değerine yakın olmalıdır. Eğer sönümlenmenin değeri bundan fazla ise baca sisteminde oluşan titreşim çok değişmemektedir. [10,12,13]

SONUÇ

Rüzgar ve deprem kaynaklı titreşimlerinin sönümlenmesi için gereken minimum sönümlenme yüzde 3'tür [11]. Su ile yapılan damperlerin donmaya karşı korunmasına ihtiyaç durmaktadır. Uzun bacalarda lineer olmayan bobinler ya da hidrolik şok önleyiciler kullanılarak oluşan titreşimler sönümlenmebilir. Bacanın temelinde oluşan gerilim değişimlerinin düzenli test edilmesi önemlidir. Bu testler damperin uygunluğunu ve damper sisteminin etkisini ölçebilmemizi sağlamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] SOLARI, G. – The role of analytical methods for evaluating the wind-induced response of structures, Journal of Wind Engineering in Industrial Aerodynamics, 90, 1453-1477, (2002).
- [2] B.N.PRITCHARD, (1984), "Steel chimney oscillations: a comparative study of their reported performance versus predictions using existing design techniques", Engineering Structures, vol.6, pp.315-323.
- [3] O.R.JAISWAL, VASALASRINIVAS, (2006), "Pendulum type tuned mass damper to control along and across wind response of tall chimneys", Third National Conference on Wind Engineering, N.Delhi, pp.162-171.
- [4] DEN HARTOG,(1985), "Mechanical Vibrations", Dover Publications: New York. ASHRAE Fundamentals
- [5] B.J.VICKERY, (Dec1983), "Simplified approaches to the evaluation of the across-wind response of chimneys", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol14, Issue1-3, pp.153-166.
- [6] M.ZDRAVKOVICH, (1981), "Review and classification of various aerodynamic and hydrodynamic means for suppressing vortex shedding", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol7, Issue2,pp.145-189.
- [7] IS:6533-1989(PartII), "Code of Practice for Design and Construction of Steel Chimney, Structural Aspect", Bureau of Indian Standards.
- [8] www.mecaenterprises.com
- [9] F. RICCIARDELLI, (2001), "On the amount of tuned mass to be added for reduction of the shedding induced response of chimneys", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol.89(14-15), pp.1539-1551.
- [10] KLAUS K.KAEMMER, (2005), The CICIND Chimney Book, International Committee on Industrial Chimneys: Germany.
- [11] H.VAN KOTEN, Calculation of Damping of Chimneys, CICIND Report 17-1.
- [12] H. RUSCHEWEYH, GALEMANN T., (1996), "Full-scale measurement of wind-induced oscillations of chimneys", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol65, pp.55-62.
- [13] R.CIESIELSKI, A.FLAGA,J.KAWECKI, (1996), "Aerodynamic effects on an on-typical steel chimney 120 m high", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol65, pp.77-86.
- [14] M.J.KR.GUPTA, (July 2009), "Design of Vibration-Dampers for Steel Chimneys with Latest Features", International Journal on Design and Manufacturing Technologies, Vol.3, No.2.



ÖZGEÇMİŞ

Muammer AKGÜN

1990 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesinden, 1995 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine-Enerji Anabilim Dalından Yüksek Mühendis olarak mezun olmuştur. Aynı yıl Doktora programına başlamış ancak tez aşamasından doktora programını bırakmıştır. 1992-1998 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi Makina Fakültesi Araştırma Görevlisi, 1998-2009 yılları arasında Üniversal Kazan firmasında 2009-2011 yılları arasında Emel Kazan firmasında çalışmıştır. 2013-2020 yılları arasında Bacader Genel Koordinatörü olarak görev yapmıştır. Halen MMO İstanbul Şubesinde Kazan ve Basıncılı Kaplar komisyon başkanlığı yapmaktadır. MMO İstanbul Şubesi bünyesinde yayınlanan “Kızgın Sulu, Kızgın Yağlı, Buharlı Isıtma Sistemleri” kitabının altı bölümünün yazarı ve son üç baskısının da editörü, ISKAV bünyesinde yayınlanan “Endüstri Kazanları” kitabının bir bölümünün yazarı ve “Sıcak Su Kazanları” kitabının üç bölümün yazarı ve kitabın son baskısının editörüdür. İMSAD Yapı Malzemeleri Komisyonu ile birlikte “Yapı Malzemeleri Yönetmeliği Rehber Kitap” ve Çevre Dostu Malzemeler Komisyonu ile “Sürdürülebilir İnşaat Malzemeleri Sözlüğü” çalışmalarına katkı sağlamıştır. Yayınlanmış pek çok makalesi, teknik yazıları bulunmaktadır.