

TONOZ ÇATILI YAPILARA ETKİYEN RÜZGÂR YÜKÜ TESİRLERİNİN ASCE, AIJ, AS/NZS VE TS EN 1991-1-4 YÖNETMELİKLERİNE GÖRE KARŞILAŞTIRILMASI

Muhammed KARAGÖZ¹, H. Selim ŞENGEL^{2*}

¹Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Batı Meşelik Yerleşkesi, Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-0477-0809>

²Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, Batı Meşelik Yerleşkesi, İnşaat Müh. Bölümü, 26480 Eskişehir, ORCID No : <http://orcid.org/0000-0002-9103-8869>

DOI : <http://dx.doi.org/10.31796/ogummf.543384>

Anahtar Kelimeler	Öz
Rüzgâr Yüğü, TS EN 1991-1-4, ASCE 7.05, AIJ, AS/NZS.	<i>Mühendisler tarafından tasarımı yapılan binalar kullanıcılarına hizmet ettiği süre karşılaşacakları yükleri güvenli şekilde taşıyacak dayanımda tasarlanırlar. Yapıların ömürleri boyunca karşılaşacakları birçok yük etkisi vardır. Bunlardan bir tanesi de rüzgâr yüküdür. Bu çalışmada dikdörtgen taban alanı olan ve tonoz çatı tipinde çatısı bulunan bir yapı seçilmiş ve rüzgâr yükleri altında meydana gelen yük değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Binaya etkiyen rüzgâr yükleri TS EN 1991-1-4 (2007), ASCE 7.05 (2005), AIJ (2004), AS/NZS (2011) yönetmelikleri kullanılarak elde edilmiştir. Yükseklikleri 6m, 8m, 10m ve 12m olan ve tonoz çatı yüksekliği ise 1,5 metre olan yapı örnekleri kullanılmıştır. Rüzgâr etkisi sonucu ön duvarlardaki, arka duvarlardaki ve çatı yüzeylerindeki dış basınç katsayıları elde edilmiştir. Bu basınç katsayıları kullanılarak taban kesme kuvveti ve taban moment değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar birbiri ile kıyaslanmış ve sonuçlar hakkında yorumlar yapılmıştır.</i>

COMPARISON OF EFFECTIVE WIND LOADS ON VAULTED ROOFS ACCORDING TO ASCE, AIJ, AS/NZS AND TS EN 1991-1-4

Keywords	Abstract
<i>Wind Loads, TS EN 1991-1-4, ASCE 7.05, AIJ, AS/NZS.</i>	<i>The buildings designed by the engineers are designed in such a way as to carry the loads they will face safely as long as they serve their users. There are many load effects that the buildings will encounter during their lifetime. One of these is the wind load. In this study, a structure with a rectangular floor area and a vaulted roof type has been selected and the load values under the wind loads have been tried to be obtained. Wind loads acting on the building were obtained using TS EN 1991-1-4 (2007), ASCE 7.05 (2005), AIJ (2004), AS/NZS (2011) regulations. 6m, 8m, 10m and 12m height, and vaulted roof height of 1.5 m. The external pressure coefficients on the windward walls, leeward and roof surfaces were obtained as a result of the wind effect. By using these pressure coefficients, base shear force and base moment values have been tried to be obtained. The results were compared with each other and the results were commented on.</i>

Araştırma Makalesi	Research Article
Başvuru Tarihi : 22.03.2019	Submission Date : 22.03.2019
Kabul Tarihi : 13.06.2019	Accepted Date : 13.06.2019

1. Giriş

Tonoz çatılı yapılar özellikle geniş açıklıklı alan ve hacimler sağlayabilmesi sebebiyle endüstriyel amaçlı binalarda sıklıkla tercih edilen tiplerdir. Ayrıca aerodinamik avantajları sebebiyle daha ekonomik tasarımlar elde etme imkânı tanır. Havacılık sektörü, enerji sektörü vb. gibi sektörlerde yoğun şekilde kullanılmaktadır. Ayrıca mimari anlamda geleneksel dörtgen binalara da bir alternatif olması sebebiyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Büyük ve geniş açıklıklı

inşa edilebilen bu yapı tiplerinde rüzgâr yükü tasarımı oldukça önem arz etmektedir. Genişlik ve yükseklik oranı genellikle birin altında olan bu bina tipleri atmosferik sınır tabakasının altında kaldığından çevresindeki diğer binalardan kaynaklanan farklı rüzgâr etkilerine maruz kalmaktadır. Tabii ki yükseklikleri fazla olmayan bu binaların rüzgâr direnci tasarımı çok katlı yapıların rüzgâr yükü tasarımına göre daha basittir. Tonoz tipindeki yapılar belli bir yükseklikteki binaların üstünde olabileceği gibi, eğimi yer yüzeyinden

* Sorumlu yazar; e-posta : hasan2005selim@gmail.com

başlayacak şekilde de yapılabilmektedir. Bu çalışmada dikdörtgen taban alanına sahip, tonoz çatısı olan ve dört farklı yüksekliği bulunan yapının rüzgâr etkisi altında dış duvarları ve çatı yüzeylerinde meydana gelen rüzgâr yükleri hesaplanmıştır. Elde edilen rüzgâr yükleri ile bina tabanında meydana gelen taban kesme kuvveti ve taban moment değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Örnek yapı TS EN 1991-1-4 (2007), ASCE 7.05 (2005), AIJ (2004) ve AS/NZS (2011) yönetmelikleri kullanılarak çözülmüş ve dış basınç katsayıları ile rüzgâr yüklerinin bulunması amaçlanmıştır.

2. Bilimsel Yazın Taraması

Rüzgârın yapılar üzerindeki etkisinin anlaşılabilmesi için dinamik davranışının ve karakteristik özelliklerinin ortaya konulması gerekmektedir. Bilimsel deney metotları teknolojik imkânların artmasıyla çoğalmış ve 1960'lı yıllarda rüzgâr ile ilgili çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Durst (1960), açık alan ve arazi engebeleri bulunmayan bölgedeki maksimum rüzgâr hızı verilerini kullanmış ve çeşitli rüzgâr hızı ortalamaları ile saatlik ortalama rüzgâr hızı arasındaki bağlantıyı ortaya koymuştur. Davenport (1960), değişken yüksekliklerde kaydedilmiş rüzgâr kayıtlarını kullanarak rüzgâr spektrum yoğunluk fonksiyonu elde etmiş ve yoğunluk fonksiyonunu ifade eden bir denklem geliştirmiştir. Yıllar içinde rüzgâr ile ilgili bilgi birikiminin artması ve teknolojik imkânların artması ile birlikte rüzgâr ile ilgili araştırmaların merkezi rüzgâr tünellerine doğru kaymış ve bu yöntem ile rüzgâr etkileri daha hassas olarak elde edilebilmiştir. Holmes (2001), elliden fazla ülkedeki temel rüzgâr hızlarının kaynaklarını elde etmiş ve hız seviyelerine göre sınıflandırmıştır. Blackmore ve Tsokri (2006), tonoz çatılara etkiyen rüzgâr yükleri ile ilgili çalışmalar yapmış ve rüzgâr tüneli deneyleri ile bu çalışmaları desteklemişlerdir. Ayrıca rüzgâr tüneli çalışmaları ile yapıların çatı ve duvarlarında kullanılabilecek basınç katsayıları elde etmeye çalışmışlardır. Polat (2010), ülkemizde ise tonoz çatısı bulunan bir yapı üzerine etkiyen rüzgâr yükleri Eurocode 1-4 (2005) ve ASCE 7.05 (2005) yönetmelikleri kullanılarak hesaplanmış ve çatı yüzeylerinde oluşan dış basınç katsayıları elde edilmiştir. Gürses (2012), yapılara etkiyen rüzgâr yüklerini Eurocode 1-4 (2005) ve ASCE 7.05 (2005) yönetmelikleri ile elde etmeye çalışmış ve değerleri birbiri ile karşılaştırmıştır. Kwon ve Kareem (2013), yüksek yapılar üzerine etkiyen rüzgâr yüklerini dünya üzerinde en çok kullanılan yönetmelikler ile elde etmiş ve sonuçlar arasında kıyaslama yapmışlardır.

3. Yöntem

Bu bölümde dikdörtgen taban alanı olan ve tonoz çatı tipine sahip binalara etkiyen rüzgâr yüklerinin dört farklı yönetmelik ile elde edilmesi için izlenecek işlem

sırası, kullanılacak eşitlikler ve grafikler verilmiştir. Rüzgâr yükleri Türkiye Rüzgâr yönetmeliği TS-EN 1991-1-4 (2007) ile Amerika'da kullanılan ASCE 7.05 (2005) yönetmeliği ile Japonya'da kullanılan AIJ (2004) yönetmeliği ve Avustralya Yeni Zelanda tarafından kullanılan AS/NZS (2011) yönetmeliği ile elde edilmiştir (Karagöz, 2018).

3.1 TS-EN 1991-1-4'e Göre Rüzgâr Yükleri

Temel rüzgâr hızı değeri (V_b) (m/sn), aşağıda verilen Eşitlik (1) ile elde edilebilir. Bu değer basit rüzgâr hızı V_{b0} (m/sn), rüzgâr yön katsayısı C_{dir} ve mevsim katsayısı C_{season} değerine bağlıdır. Mevsim katsayısı ve rüzgâr yön katsayısı için yönetmelik "1" değerini önermektedir.

$$V_b = C_{dir} * C_{season} * V_{b0} \quad (1)$$

Ortalama rüzgâr hızı ($V_{m(z)}$)(m/sn), yerden z metre yükseklikte ölçülen bu değer arazi pürüzlülüğüne $C_{r(z)}$, arazi yükseltisine $C_{0(z)}$ ve bölgedeki temel rüzgâr hızı V_b (m/sn) değerine bağlıdır. Eşitlik (2) ile elde edilir.

$$V_{m(z)} = C_{r(z)} * C_{0(z)} * V_b \quad (2)$$

Tepe Rüzgâr Hız Basıncı $q_{p(z)}$ (KN/m²), z metre yükseklikteki ortalama ve kısa süreli hız değişkenlerini içeren değerdir ve Eşitlik (3) ile elde edilebilir.

$$q_{p(z)} = [1 + 7 I_{v(z)}] * \frac{1}{2} * \rho * V_{m(z)}^2 \quad (3)$$

$I_{v(z)}$ türbülans yoğunluğu değeri, ρ (kg/m³) ise hava yoğunluğu değeridir.

Bir yapıya veya bir yapısal bileşene etkiyen rüzgâr yükü aşağıda verilen Eşitlik (4) ile elde edilebilir.

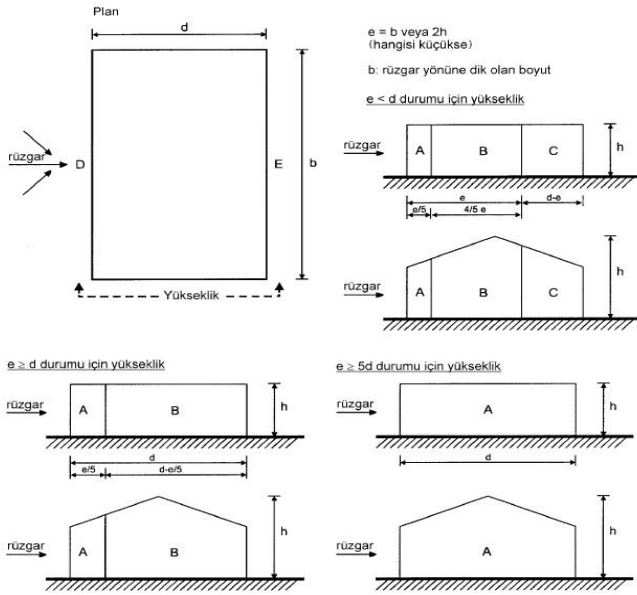
$$F_w = C_s C_d * C_f * q_{p(ze)} * A_{ref} \quad (4)$$

F_w (KN) yapıya etkiyen yatay yük, $C_s C_d$ yapısal katsayı, C_f basınç katsayısı, $q_{p(ze)}$ (KN/m²) tepe rüzgâr hız basıncı, A_{ref} (m²) rüzgârın etki ettiği referans alanıdır. Yüksekliği 15 metreden az olan binalar için $C_s C_d$ katsayısının "1" alınabileceği Eurocode 1-4 (2005) yönetmeliği tarafından bildirilmektedir. Eurocode 1-4 (2005) yönetmeliğine göre tonoz çatıya sahip dikdörtgen kesitli binaların düşey duvarlarında meydana gelen basınç katsayısı değerleri Tablo 1' de verilmiş ve basınç bölgeleri Şekil 1' de gösterilmiştir.

Tablo 1
Düşey Duvarlardaki Dış Basınç Katsayıları

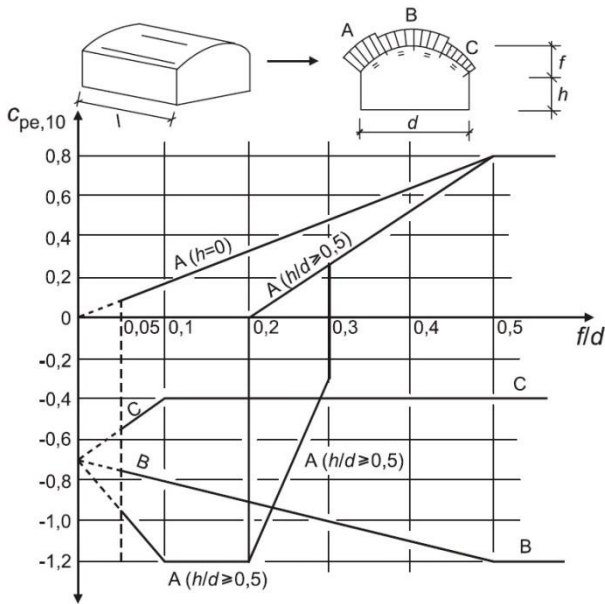
Bölge	A	B	C	D	E					
h/d	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
5	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,8	+1,0	-0,7		
1	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,8	+1,0	-0,5		
≤0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5	+0,7	+1,0	-0,3		

h: yapı yüksekliği, d: rüzgârın etki ettiği cephe genişliği, A, B, C, D, E duvar yüzeyindeki basınç alanları, $C_{pe,1}$ yerel bölgeler için basınç katsayısı, $C_{pe,10}$ tüm bölge için basınç katsayısı



Şekil 1. Düşey Duvarlar için Açıklamalar TS EN 1991-1-4 (2007)

Tonoz çatıların yüzeylerinde meydana gelen basınç katsayıları ise Şekil 2' de verilmiştir.



Şekil 2. Dikdörtgen Taban Alanı Olan Tonozlar İçin Dış Basınç Katsayıları TS EN 1991-1-4 (2007)

3.2 ASCE 7.05' e Göre Rüzgâr Yükleri

Z metre yükseklikte meydana gelen rüzgâr kaynaklı hız basıncı (q_z) (N/m^2) aşağıda verilen Eşitlik (5) ile elde edilebilir.

$$q_z = 0,613 * K_z * K_{zt} * K_d * V^2 * I \quad (5)$$

K_z ; rüzgâr basıncına maruz kalma katsayısı, K_{zt} ; topografya katsayısı, K_d ; rüzgâr doğrultu katsayısı, V (m/sn) basit rüzgâr hızı, I ; yapı önem katsayısıdır.

Rüzgârın yapılar üzerinde oluşturduğu yük etkileri aşağıda verilen Eşitlik (6) ile hesaplanabilir.

$$F = q_z * G * C_f * A_f \quad (6)$$

q_z ; rüzgâr hız basıncı (N/m^2), G ; fırtına etkisi faktörü, C_f ; yapılar için basınç katsayısı, A_f (m^2); referans yüzey alanıdır.

Binanın düşey duvarlarına etkiyen rüzgâr yüklerini ASCE 7.05 (2005) yönetmeliğine göre elde etmek için kullanılacak basınç katsayıları Tablo 2' de verilmiştir.

Tablo 2
Duvarlar İçin Dış Basınç Katsayıları, C_p

Yüzey	L/B	C_p	Hız Basıncı
Rüzgâra Dik Duvar	Tüm değerler	0,8	q_z
	0-1	-0,5	
Arka Duvar	2	-0,3	q_h
	≥ 4	-0,2	
Yan Duvarlar	Tüm değerler	-0,7	q_h

ASCE 7.05 (2005) yönetmeliğine göre çözüm yapılacak tonoz çatı yüzeylerinde meydana gelen basınç katsayıları için Tablo 3 kullanılmalıdır.

Tablo 3
Tonoz Çatı İçin Dış Basınç Katsayıları

Durumlar	Yükseklik Açıklık Oranı $r=f/D$	C_p		
		Rüzgâr Yönü Çeyreği	Merkez Ortası	Arka Çeyrek
Belirli Bir Yüks. Binanın Çatısı Olan Tonoz Zemin Seviyesinden Başlayan Tonoz	$0 < r < 0,2$	-0,9	-0,7-r	-0,5
	$0,2 \leq r < 0,3$	$1,5r-0,3$	-0,7-r	-0,5
	$0,3 \leq r \leq 0,6$	$2,75r-0,7$	-0,7-r	-0,5
	$0 < r \leq 0,6$	$1,4r$	-0,7-r	-0,5

3.3 AIJ' ye Göre Rüzgâr Yükleri

Japonya yönetmeliğine göre tasarım rüzgâr hızı değeri (U_H ; m/sn) Eşitlik (7) ile hesaplanabilir.

$$U_H = U_0 * K_D * E_H * k_{rw} \quad (7)$$

Burada; U_0 ; basit rüzgâr hızı (m/sn), K_D ; rüzgâr yön katsayısı, E_H ; rüzgâr hız profili katsayısı, k_{rw} ; rüzgâr dönüş periyodu katsayısıdır. Tasarım rüzgâr hızının bulunmasının ardından tepe rüzgâr hız basıncı değeri (q_H) (N/m^2) ise Eşitlik (8) kullanılarak bulunabilir. Burada ρ (kg/m^3) hava yoğunluğudur.

$$q_H = 1/2 * \rho * U_H^2 \quad (8)$$

Binalara etkiyen rüzgârın meydana getirdiği yük etkisi (W_D) aşağıda verilen Eşitlik (9) ile elde edilebilir. Burada C_D rüzgâr kuvvet katsayısı, G_D ise fırtına etkisi faktörü olarak adlandırılır. $A(m^2)$ referans yüzey alanıdır.

$$W_D = q_H * C_D * G_D * A \quad (9)$$

Rüzgârın dik geldiği ön duvar ile bina arka cephesindeki duvar için AIJ (2004) yönetmeliğinde verilen dış basınç katsayıları Tablo 4’ te verilmiştir.

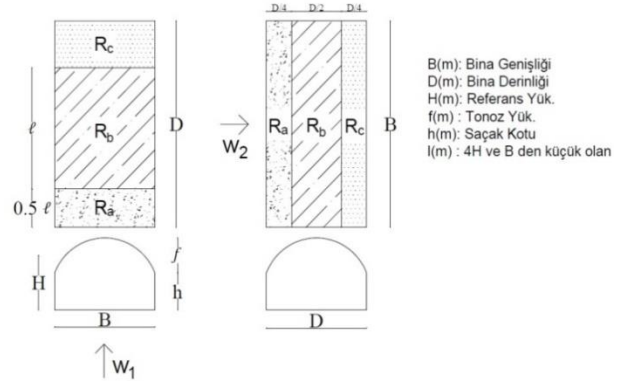
Tablo 4
45 m den az Yüksekliği Olan Binaların Dış Duvarlarına Etkiyen Dış Basınç Katsayısı AIJ (2004)

Rüzgârın Dik Etkilediği Duvar		Yan Duvarlar		
B/H ≤ 1	B/H > 1	S _a	S _b	S _c
0,8k _z	0,6	-0,7	-0,4	-0,2
Yan Duvarlar				
Rüzgâr Yönü	Çatı Açısı	L _a		L _b
W ₁	θ°	D/H ≤ 1	D/H > 1	B/H < 6
W ₂	θ ≤ 45	-0,6	-0,4	L _a
	θ < 20	-0,6	-0,4	bölgesi
W ₃	20 ≤ θ < 30	-0,6	-0,5	ile aynı
	30 ≤ θ ≤ 45	-0,6	-0,6	-1,0

Tonoz çatı yüzeylerinde meydana gelen basınç katsayıları ise Tablo 5’ te gösterilmiştir. Yüzey adlandırmaları ise Şekil 3’de belirtilmiştir.

Tablo 5
Tonoz Çatısı Bulunan Dikdörtgen Taban Alanlı Binaların Çatı Yüzeyleri için Dış Basınç Katsayıları

Rüz. Yön.	f/B	Alan R _a			Alan R _b			Alan R _c		
		h/B	h/B	h/B	h/B	h/B	h/B	h/B	h/B	h/B
		0	0,3	0,7	0	0,3	0,7	0	0,3	0,7
W ₁	0	-0,4	-0,9	-0,8	-0,4	-0,5	-0,4	-0,4	-0,3	-0,2
	0,1	-1,2	-1,1	-1,1	-0,7	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
	0,3	-1,1	-1,1	-1,1	-0,6	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
	0,4	-1,1	-1,1	-1,1	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4
W ₂	0	-0,4	-1,0	-0,9	-0,4	-1,0	-0,9	-0,4	-0,6	-0,9
	0,1	-0,5	-1,2	-1,5	-0,9	-1,0	-1,0	-0,5	-0,5	-0,5
	0,3	-0,1	-0,4	-0,9	-1,2	-1,4	-1,5	-0,5	-0,5	-0,5
	0,4	0,2	0	-0,5	-1,2	-1,3	-1,4	-0,5	-0,5	-0,5



Şekil 3. Tonoz Çatı Basınç Yüzey Adlandırmaları AIJ (2004)

3.4 AS/NZS' ye Göre Rüzgâr Yükleri

Yapının yapılacağı bölgeye ait tasarım rüzgâr hızı ($V_{des,\theta}$)(m/sn) aşağıda verilen Eşitlik (10) ile hesaplanabilir.

$$V_{des,\theta} = V_R * M_d * (M_{z,cat} * M_s * M_t) \quad (10)$$

Burada; V_R bölgede ölçülen basit rüzgâr hızı (m/sn), M_d ; rüzgâr yön katsayısı; $M_{z,cat}$; arazi ve yükseklik çarpanı, M_s ; engelleyici etki çarpanı, M_t ; topoğrafya çarpanıdır. Eşitlik (10) ile elde edilen tasarım rüzgâr hız değeri ($V_{des,\theta}$) Eşitlik (11) formülü ile rüzgâr hız basıncına dönüştürülebilir.

$$\rho = (0,5 * \rho_{air}) [V_{des,\theta}]^2 * C_{fig} * C_{dyn} \quad (11)$$

ρ ; (N/m²) rüzgârdan kaynaklanan rüzgâr hız basıncı, ρ_{air} (kg/m³) hava yoğunluğu, C_{fig} ; aerodinamik şekil faktörü C_{dyn} ise dinamik etki faktörüdür. C_{fig} ve C_{dyn} katsayıları yönetmelikler ve ülkelerin ulusal eklerinde verilen grafik ve formüller yardımıyla elde edilebilir.

AS/NZS (2011), yönetmeliğine göre rüzgârın etkilediği düşey duvarlara gelen rüzgâr yükünü bulmak için kullanılacak dış basınç katsayıları Tablo 6’ da verilmiştir.

Tablo 6
Dikdörtgen Kesitli Binaların Rüzgârın Dik Geldiği Cephesi için Dış Basınç Katsayıları

h	Dış Basınç Katsayısı (C _{p,e})
> 25.0 m	0.8 (rüzgâr hızı yükseklik ile değişken)
Normal binalar için	
> 25.0 m	0.8 (rüzgâr hızı yükseklik ile değiştiğinde) veya
< 25.0 m	0,7 (rüzgâr hızı z=h olarak kullanıldığında)
Yükseltilmiş yapılar için (viyadük gibi yapılar)	
	0.8 (h yüksekliğindeki rüzgâr hızı kullanılacak)

Rüzgârın etkidiği cephenin tam arkasındaki duvarda meydana gelen dış basınç katsayısı değerleri ise Tablo 7’de gösterilmiştir.

Tablo 7
Dikdörtgen Kesitli Binaların Arka Cepheleri İçin Dış Basınç Katsayısı

Rüzgâr Açısı	Çatı Tipi	Çatı Eğimi (derece)	d/b	Dış Basınç Katsayısı ($C_{p,e}$)
0°	Dört Kırım veya İki Kırım	<10	≤1	-0,5
			2	-0,3
			≤4	-0,2
0°	Dört Kırım veya İki Kırım	10 15 20	Tüm Değ.	-0,3
				-0,3
				-0,4
0°	Dört Kırım veya İki Kırım	≥25	≤0.1	-0,75
			≥0.3	-0,5
90°	İki Kırım	Tüm değerler	≤1	-0,5
			2	-0,3
			≤4	-0,2

Rüzgârın etkidiği cephenin sağ ve sol tarafından bulunan cephelerde rüzgâr yükünü bulmak için gerekli olan dış basınç katsayıları Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8
Dikdörtgen Kesitli Binaların Yan Cepheleri İçin Dış Basınç Katsayısı

Rüzgârın dik etkidiği cepheye yatay uzaklık	Dış Basınç Kat. $C_{p,e}$
0 - 1h	-0,65
1h-2h	-0,5
2h-3h	-0,3
>3h	-0,2

Tonoz çatı tipine sahip binaların çatı yüzeylerinde meydana gelen gerilmeleri elde etmek için kullanılması gereken dış basınç katsayıları Tablo 9’da verilmiştir.

Tablo 9
Dış Basınç Katsayıları Tonoz Çatılar

Çatı yük. Ve açıklık oranı (r/d)	Rüzgârın gel. Yönündeki çatı alanının $\frac{1}{4}$ ü (U)	Çatı orta bölgesi (T) Veya 0,0	Arka cepheye yakın çatı alanının $\frac{1}{4}$ ü (D)
0,18	(0,3-0,4h/r) veya 0,0	-(0,55+0,2h/r) Veya 0,0	-0,25(+0,2h/r) veya 0,0
0,5	(0,5-0,4h/r) veya 0,0		-(0,1+0,2h/r) veya 0,0

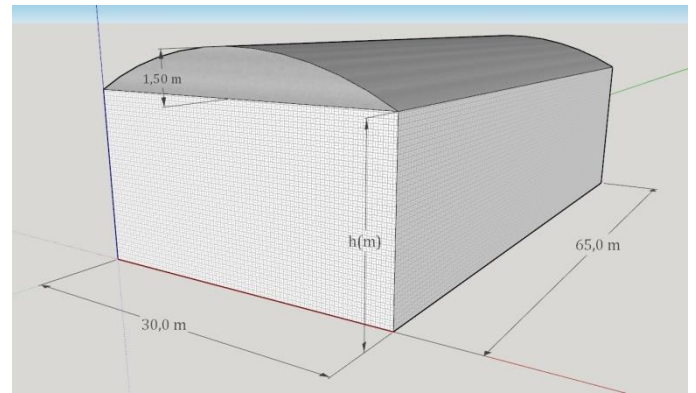
3.5 Tonoz Çatıya Sahip Bina Örnekleri

Dikdörtgen taban alanı olan ve tonoz çatısı bulunan binalarda rüzgârın meydana getirdiği yükleri incelemek için taban alanı 30mx65m olan örnek seçilmiştir. Tüm çözümlerde tonoz çatı yüksekliği 1,50m alınmıştır. Farklı yüksekliklerin sonuca etkisini görebilmek için bina yükseklikleri $h_1=6m$, $h_2=8m$, $h_3=10m$ ve $h_4=12m$ olarak seçilmiştir. Rüzgârın her iki cepheye etkidiği durum içinde çözüm yapılmıştır. Arazi tipi olarak çayır çimen bitki örtüsüne sahip, aralarında engel yüksekliğinin en az 20 katı mesafe bulunan arazi tipi seçilerek çözüm yapılmıştır. Örnekler dört farklı yönetmelik ile çözülmüş ve bina tabanında meydana gelen taban kesme kuvveti ve taban moment değeri elde edilmeye çalışılmıştır. Çözüm için kullanılacak basit rüzgâr hızı 40m/sn (3 sn lik ölçüm periyodu) olarak seçilmiştir. Rüzgâr hızlarının değişik ortalama sürelerle dönüştürülmesi Durst Eğrisi kullanılarak elde edilmiştir. Hava yoğunluğu işlemlerde 1,22 kg/m³ olarak kullanılmıştır. Yönetmelikler de farklı sayı ve isimde arazi kategorileri kullanılmıştır ve bu arazi kategorileri Tablo 10’da gösterilmiştir.

Tablo 10
Arazi Kategorileri

Arazi Kategorisi (AK)	TS EN 1991-1-4	ASCE 7.05	AIJ	AS/NZS
AK 1	-		V	4
AK 2	IV		IV	-
AK 3	III	B	III	3
AK 4	II	C	II	2
AK 5	I	D	I	1
AK 6	0	-	-	-

AK1=Yüksek binaların yoğun olduğu şehir merkezleri
AK2=kentsel alan AK3=banliyö bölgesi AK4=açık ve düz araziler
AK5=göller ve çok küçük engeller AK6=deniz ve sahil şeritleri



Şekil 4. Çözümü Yapılan Tonoz Çatılı Yapı Örneği

4. Bulgular

Taban alanı dikdörtgen (30m x 65m) olan ve tonoz çatı tipine sahip bina örneğine etkiyen rüzgâr yükleri TS EN 1991-1-4 (2007)'e göre elde edilmiş ve sonuçlar Tablo 11' de gösterilmiştir.

Tablo 11
Tonoz Çatısı Olan Dikdörtgen Taban Alanına Sahip Binanın TS EN 1991-1-4 (2007)' e Göre Sonuçları

TS EN 1991-1-4					
V ₀ (m/sn)		28,1			
Arazi kat.		II			
Tonoz yüks.(f)		1,5 m			
CsCd(Yapısal kat.)		1			
Bina yük. (h)		h=6m	h=8m	h=10m	h=12m
V _m (h+f) m/sn		26,75	28,01	29,02	29,87
qp(h+f)KN/m ²		1,046	1,117	1,176	1,226
30m	Taban kesme kuvveti(KN)	213,38	294,88	381,02	470,77
	Taban moment (KNm)	800,17	1400,68	2190,86	3177,69
65m	Taban kesme kuvveti(KN)	386,5	575,37	778,52	1009,7
	Taban moment (KNm)	1079,1	2192,75	3802,22	5902,41

TS EN 1991 1-4 (2007)'e göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde bina tepesinde meydana gelen rüzgâr hız basıncı değerinin en büyük değerlere bu yönetmelikte ulaştığı görülmektedir.

Şekil 4' de gösterilen örneğe etkiyen rüzgâr yüklerinin ASCE 7.05 (2005) yönetmeliği kullanılarak elde edilen yük değerleri Tablo 12' de verilmiştir.

Tablo 12
Tonoz Çatısı Olan Dikdörtgen Taban Alanına Sahip Binanın ASCE 7.05 (2005)' e Göre Sonuçları

ASCE - 7.05					
V ₀ (m/sn)		40m/sn			
Arazi kat.		C			
Tonoz yüks.(f)		1,5 m			
G _f (yapısal kat.)		1			
Bina yük. (h)		h=6m	h=8m	h=10m	h=12m
V _m (h+f) m/sn		-	-	-	-
qp(h+f)KN/m ²		0,785	0,825	0,859	0,888
30m	Taban Kesme kuvveti (KN)	156,73	212,46	270,87	331,47
	Taban moment (KNm)	565,81	990,18	1548,19	2245,27
65m	Taban Kesme kuvveti (KN)	333,54	482,81	631,58	787,56
	Taban moment (KNm)	981,85	1934,41	3195,18	4817,84

Tablo incelendiğinde ASCE 7.05 (2005) yönetmeliğinde tasarım rüzgâr hızı değerinin olmadığı görülmektedir.

Bu yönetmelikte basit rüzgâr hızı direkt olarak tepe hız basıncı denkleminin içerisinde yer alır. Hız basıncını elde etmek için tasarım rüzgâr hızı değerine ihtiyaç duyulmaz.

Şekil 4' de verilen yapı örneğine etkiyen rüzgâr yükünün AIJ (2004) yönetmeliğine göre elde edilen değerler Tablo 13' de gösterilmiştir.

Tablo 13
Tonoz Çatısı Olan Dikdörtgen Taban Alanına Sahip Binanın AIJ (2004)' ye Göre Sonuçları

AIJ					
V ₀ (m/sn)		28,1m/sn			
Arazi kat.		II			
Tonoz yüks.(f)		1,5 m			
G _D (Yapısal kat.)		1			
Bina yük. (h)		h=6m	h=8m	h=10m	h=12m
V _m (h+f) m/sn		26,79	27,75	28,65	29,26
qp(h+f)KN/m ²		0,437	0,470	0,497	0,522
30m	Taban kesme kuvveti (KN)	71,11	98,13	126,98	157,42
	Taban moment (KNm)	269,52	480,90	764,09	1123,62
65m	Taban kesme kuvveti (KN)	136,81	196,37	261,04	299,66
	Taban moment (KNm)	421,70	800,00	1373,81	1906,32

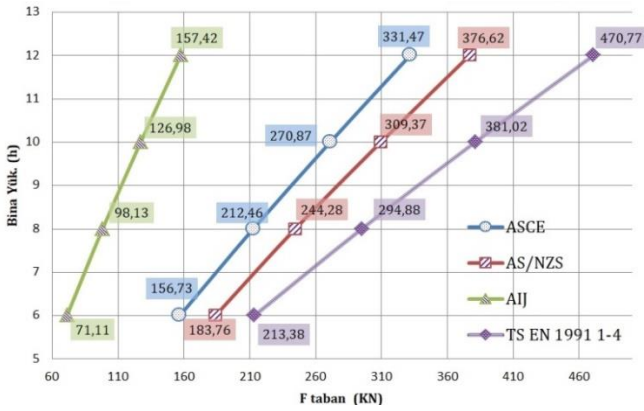
Şekil 4' de verilen yapı örneğine etkiyen rüzgâr yükünün AS/NZS (2011) yönetmeliğine göre elde edilen değerleri Tablo 14' de gösterilmiştir.

Tablo 14
Tonoz Çatısı Olan Dikdörtgen Taban Alanına Sahip Binanın AS/NZS (2011)' ye Göre Sonuçları

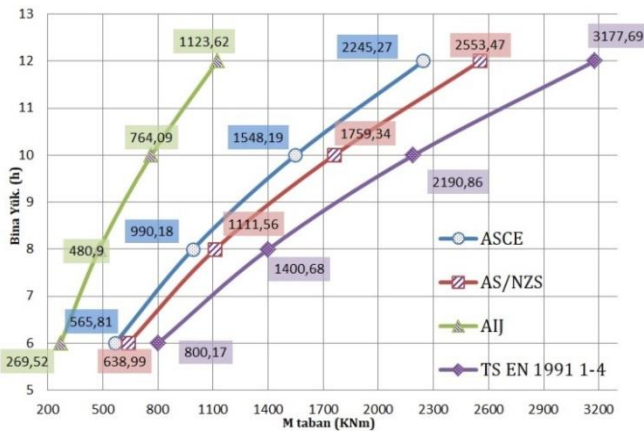
AS/NZS					
V ₀ (m/sn)		40m/sn			
Arazi kat.		2			
Tonoz yüks.(f)		1,5 m			
G _{dyn} (Yapısal kat.)		1			
Bina yük. (h)		h=6m	h=8m	h=10m	h=12m
V _m (h+f) m/sn		37,84	39,28	40,72	41,4
qp(h+f)KN/m ²		0,873	0,941	1,011	1,046
30m	Taban kesme kuvveti (KN)	183,76	244,28	309,37	376,62
	Taban moment (KNm)	638,99	1111,56	1759,34	2553,47
65m	Taban kesme kuvveti (KN)	392,39	534,85	695,27	861,19
	Taban moment (KNm)	1109,32	2053,07	3439,40	5192,52

Rüzgârın 30m lik cepheye dik geldiği durum için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Şekil 5'deki

grafikte, taban moment değerleri ise Şekil 6'da grafik üzerinde gösterilmiştir.



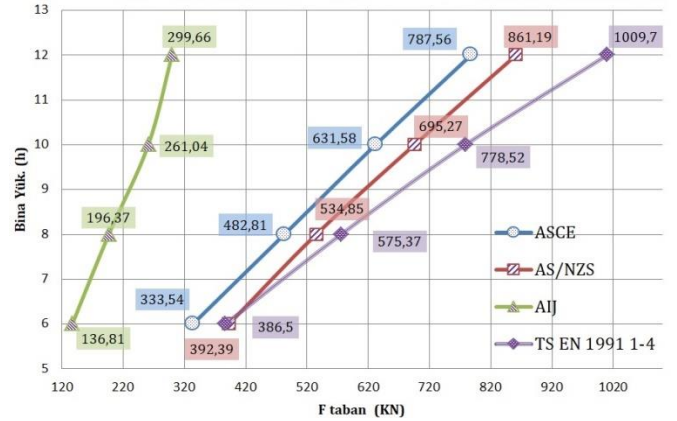
Şekil 5. Rüzgârın 30m lik Cepheye Dik Geldiği Durum İçin Taban Kesme Kuvvetleri Grafiği



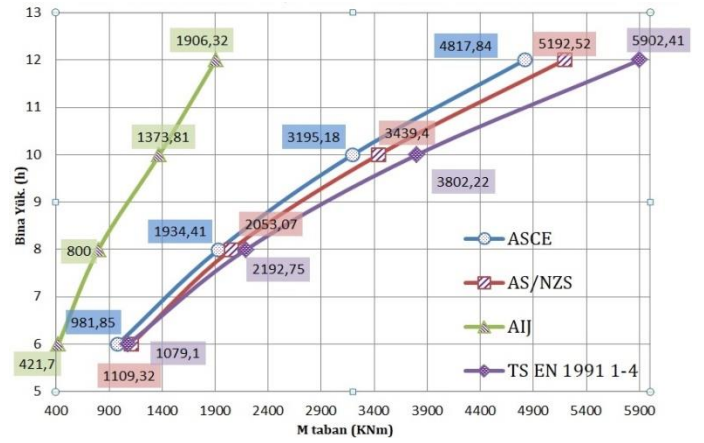
Şekil 6. Rüzgârın 30m lik Cepheye Dik Geldiği Durum İçin Taban Moment Değerleri Grafiği

Şekil 5 ve Şekil 6'da verilen grafikler incelendiğinde AIJ (2004) yönetmeliğine ait yük değerlerinin diğerlerine göre küçük olduğu görülebilmektedir. Aynı şekilde TS EN 1991 1-4 (2007) yönetmeliğinin değerlerinin de diğer değerlere göre büyüklüğü göze çarpmaktadır.

Rüzgârın 65m lik cepheye dik geldiği durum için elde edilen taban kesme kuvveti değerleri Şekil 7'de ve taban moment değerleri ise Şekil 8'de grafik üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 7. Rüzgârın 65m lik Cepheye Dik Geldiği Durum İçin Taban Kesme Kuvvetleri Grafiği



Şekil 8. Rüzgârın 65m lik Cepheye Dik Geldiği Durum İçin Taban Moment Değerleri Grafiği

Grafikleri incelendiğinde, yönetmeliklerin yük eğrilerinin sıralaması her iki durumda da değişmediği görülmektedir.

Elde edilen rüzgâr hız basınç değerleri incelendiğinde en yüksek değer TS EN 1991-1-4 (2007) yönetmeliğinde elde edildiği görülmektedir. Bunun başlıca sebeplerinden birisi hız basınç değerinin elde edilirken türbülans etkisinin de eşitlik içerisinde yer almasıdır. Elde edilen taban kesme kuvveti ve taban moment değerleri incelendiğinde en büyük değerlerin TS EN 1991-1-4 (2007) yönetmeliğinde elde edildiği görülmektedir. Büyüklük sırası ise sırasıyla AS/NZS (2011), ASCE 7.05 (2005) ve AIJ (2004) olarak ilerlemektedir. TS EN 1991-1-4 (2007) den elde edilen yük değerlerinin büyük olmasının en önemli nedeni bu yönetmelikte uygulanan rüzgâr yükleme profilinin diğerlerinden farklı olmasıdır. Diğer yönetmeliklerde her bir yüksekliğe gelen rüzgâr hız basınç değeri ile rüzgâr yükü bulunurken, TS EN 1991-1-4 (2007) de bina tepe noktasındaki hız basınç değeri bina tabanından tepe noktasına kadar olan bölgede kullanılır. Eğer

rüzgârın etkilediği cephe genişliği bina yüksekliğinden büyük ise tüm basınç hesapları en üst noktadaki rüzgâr basıncı ile yapılır. Bu hesap yöntemi diğer yönetmeliklere göre TS EN 1991 1-4 (2007)'ü güvenli tarafta bırakmaktadır. Rüzgâr yükleri en düşük olan yönetmelik ise AIJ (2004) yönetmeliğidir. Bu durumun ana nedeni rüzgâr hız basıncı değerinin diğer yönetmeliklere göre oldukça düşük kalmasıdır. Dört yönetmelik ile yapılan işlemlerde yapısal katsayı değeri "1" alınmıştır. Çünkü yapısal katsayı değeri yüksekliği fazla olan ve narin olarak nitelendirilebilecek yapılarda ciddi önem içermektedir. Yüksekliği fazla olmayan ve oldukça rijit kabul edilebilecek örneğimizde bu değer önemli minimum da kalmaktadır. Rüzgârın 30 m lik duvara dik etkilediği durum için çatı yüzeyinde meydana gelen basınç değerleri rüzgâr yönüne dik etki oluşturduğundan dikkate alınmamıştır. Yapıya ait ön duvar ve arka duvarlarda meydana gelen dış basınç katsayıları dört yönetmelikte de birbirine yakın değerlerde seyretmektedir. Beklenildiği gibi rüzgârın 65 m lik cepheden etkilediği durum için tonoz çatının ön kısmında dış basınç katsayısının değeri büyük, çatının arka tarafındaki kısımda ise dış basınç katsayısı değeri küçüktür. Çatı yüzeyinde oluşan dış basınç katsayısı değerleri yalnızca AIJ (2004) yönetmeliğinin bazı bölgelerinde 1(bir) değerinin üzerine çıkmıştır. Diğer yönetmeliklerdeki çatı dış basınç katsayıları tüm durumlar için daima bir değerinin altında kalmıştır.

5. Sonuçlar

Bu çalışmada taban alanı dikdörtgen olan (30mx65m), tonoz çatı tipinde çatısı bulunan bir yapıya etkileyen rüzgâr yükleri TS EN1991-1-4 (2007), ASCE 7.05 (2005), AIJ (2004) ve AS/NZS (2011) kullanılarak elde edilmeye çalışılmıştır. Rüzgârın bina üzerinde meydana getirdiği taban kesme kuvvetleri ve taban moment değerlerine ulaşmak hedeflenmiştir. Rüzgârın her iki yöndeki etkisini incelemek için hem 30m lik hem de 65m lik cepheye etkilediği durum için çözüm yapılmıştır. Çatı yüzeyinde meydana gelen basınç değeri tüm yönetmeliklerde çatı eğim açısına bağlı olarak hesaplanmaktadır. Güvenli tasarım düşünüldüğünde TS-EN 1991-1-4 (2007) yönetmeliği diğer yönetmelikler içerisinde en büyük tasarım değerlerini vermektedir. Tasarım değerlerinin büyüklüğü sırasıyla AS/NZS (2011), ASCE (2005) ve AIJ (2004) olarak devam etmektedir. Seçilen örneğin oldukça rijit bir yapı olmasından dolayı yapısal katsayı faktörü '1' olarak alınmıştır. Daha narin binalar seçilerek yapılacak çalışmalarda tasarım değeri büyüklük sırasının değişebileceği unutulmamalıdır. İncelenen dört yönetmelikte kullanılan farklı denklemler ve tablolar olsa da genel anlamda tüm yönetmeliklerde çok benzer hesap adımları izlenmiştir.

Çıkar Çatışması

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir.

Kaynaklar

- AIJ (2004). Recommendations for Loads on Buildings (RLB). Structural Standards Committee, Architectural Institute of Japan, Tokyo, Japan.
- ASCE 7-05 (2005). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. American Society of Civil Engineers (ASCE). Reston, Virginia.
- AS/NZS (2011). Structural Design Actions –Part 2: Wind Actions. Australian/New Zealand Standard (AS/NZS): Joint Technical Committee BD-006, Australia/New Zealand.
- Blackmore, P. A., & Tsokri, E. (2006). Wind loads on curved roofs. *Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics*, 94(11), 833-844. doi : <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2006.06.006>
- Davenport, A.G. (1960). Rationale for determining design wind velocities, *Journal of Structural Division*, 86(5), 39-68. Erişim adresi : <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=99336e1f0-58b1-4ebf-a638-2c165d85ce7d>
- Durst, C.S. (1960). Wind speeds over short periods of time. *The Meteorological Magazine*, 89(1056), 181-186. Erişim adresi : <https://www.depts.ttu.edu/nwi/Pubs/ReportsJournals/ReportsJournals/Windspeeds.pdf>
- Eurocode 1-4 (2005). Actions on Structures – Part 1-4: General Actions – Wind Actions. European Standard (Eurocode), European Committee for Standardization (CEN).
- Gürses, P. (2012). *Yapılara Etki Eden Rüzgâr Yüklerinin Eurocode 1-4 Ve ASCE 7-05 Standartları Kullanılarak Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Holmes, J.D. (2001). *Wind Loading on Structures*. London, UK: Spon Pres. Erişim adresi : https://www.academia.edu/17113803/Wind>Loading_of_Structures_by_JD_Holmes.
- Kwon, D. & Kareem, A. (2013). Comparative Study of Major International Wind Codes and Standards for Wind Effects on Tall Buildings, *Engineering Structures*, 51,23-35. doi : <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2013.01.008>
- Karagöz, M. (2018). *Çeşitli Yapılara Etkiyen Rüzgâr Yükü Tesirlerinin ASCE, AIJ, AS/NZS Ve Eurocode Yönetmeliklerine Göre Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Polat, Ö.O. (2010). *ASCE 7-05, Eurocode 1-4, Ve TSE 498 Yönetmelikleri Kullanılarak Yapılara Gelen Rüzgar Yüklerinin Karşılaştırılması* (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TS EN 1991-1-4 (2007). *Yapılar Üzerindeki Etkiler - Bölüm 1-4: Genel Etkiler-Rüzgar Etkileri (Eurocode 1)*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.