SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg., c.7, s.1, ss. 171-188, 2019
Selcuk Univ. J. Eng. Sci. Tech., v.7, n.1, pp. 171-188, 2019
ISSN: 2147-9364 (Electronic)
DOI: 10.15317/Scitech.2019.191

PREFABRİKE YAPILARIN RÜZGÂR YÜKÜ GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİ

[1]Mehmet UZUN, [2]M. Tolga ÇÖĞÜRCÜ

[1]Karamanoğlu Mehmet Bey Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KARAMAN
[2]Konya Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, KONYA
[1]mehmetuzun@selcuk.edu.tr, [2]mtolgac@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 07.05.2018; Kabul/Accepted in Revised Form: 05.10.2018)

ÖZ: Türkiye'de ve Dünyada son yıllarda oluşan depremlerin özellikle prefabrike sanayi yapılarına verdiği hasarlar ciddi boyutlarda olmuştur. Prefabrike Bina sektörü bu depremlerde güvenini önemli derecede kaybetmiş, geniş ve ciddi hasarlarla tanışmıştır. Dünyada kullanılan birçok yönetmelik, prefabrike yapıların yapım aşamalarını ve gerekli olan sınır kuvvetlerini belirlese de bu tip yapıların en önemli aşaması olan montaj aşaması için yapılmış bir yönetmelik yoktur. Prefabrik yapılara sadece yatay yük olarak deprem yüklerinin etkimediği bunun yanında bölgesel olarak farklılıklar gösterse de yatay rüzgâr yüklerinin de bu yapıları önemli ölçüde etkilediği görülmüştür. Bu çalışmada, rüzgâr yükü etkisinde kalarak montaj ve işçilik hataları nedeni ile yıkılmış bir prefabrike sanayi yapısı incelenmiştir. Görülen hasarların neden-sonuç ilişkisi içinde değerlendirmesi yapılarak montaj aşamasında ve proje aşamasında dikkat edilmesi gereken hususlardan bahsedilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Hasar Türleri, Prefabrik Yapılar, Rüzgâr Yükü, Sanayi Yapıları

Determination of Wind Load Safety of Prefabricated Structures

ABSTRACT: The earthquakes in Turkey and in the world in recent years, especially given that the prefabricated construction industry has been in serious injury. Prefabricated Building's sector significantly lost confidence in this earthquake is met with extensive and serious damage. Many regulations used throughout the world, the most important stage of construction of prefabricated buildings and border forces, which sets forth the required structure such as a regulation, which is not made for the installation stage. Prefabricated structures that are affected by the earthquake load as horizontal load only if Although regional differences as well as the horizontal wind load has been shown to significantly affect these structures. In this study, the effect of wind loads remained mounting and workmanship have been destroyed because of a prefabricated industrial structure were investigated. Following the assembly stage performing in causation of damage assessment of the matters to be considered at the design stage and have been mentioned.

Keywords: Earthquake, Industrial Structures, Prefabricated Building, Type of Damages, Wind Load

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Rüzgâr tahmin edilmesi zor karmaşık bir yapıya sahip ve etkisi düzensiz yani rastgele olarak gerçekleşen bir doğa olayıdır. Rüzgârın bu güçlü etkisinden dolayı tasarım sırasında ve uygulama sırasında etkisi kesinlikle düşünülerek hareket edilmelidir. Rüzgâr, rüzgâr türbülansının ve rüzgâr hızı gradyanının hâkim olduğu atmosferik sınır tabakasının alt kısmında yer aldığından, binalara etkiyen rüzgâr basınçları oldukça dalgalanmaktadır. Doğal rüzgârın binalardaki yükleme etkileri, rüzgâr akışı

ile binanın çeşitli bileşenleri arasındaki oldukça karmaşık etkileşimli bir süreçtir (Özmen ve Baydar, 2016).

Sanayileşmenin gittikçe yoğunlaştığı ülkemizde, endüstri yapılarına olan ihtiyaç da giderek artmaktadır. Özellikle tek katlı geniş açıklıklı sanayi yapıları, hızlı üretim, imalatın fabrikada yapılması, duvarların gerektiğinde bölücü, gerektiğinde ise rijitleştirici eleman olarak kullanılabilmesi gibi avantajları nedeniyle prefabrike olarak çok fazla tercih edilir hale gelmiştir (Ekinci, 1995; Gönül ve Demirel, 2003; Ekinci ve diğ., 2007; Ekinci, 2008). Özellikle İkinci Dünya Savaşı sonrasında yıkılan kentlerin hızlıca yeniden imarı sırasında prefabrikasyon çok hızlı gelişme göstermiştir (Ersoy, 1987). Avantajları ve hızlı gelişimi sayesinde prefabrike yapıların endüstri yapıları içerisinde uygulama alanı %70 düzeylerine ulaşmıştır (Demirel ve Ulukavak, 1998; Gönül ve Demirel, 2003). Düşük katlı ve çatılı yapısal sistemler endüstri yapılarında olduğu gibi rüzgâr etkilerinde ciddi hasarlara maruz kalabilmektedirler (Huang ve diğ., 2016). Bunun önüne geçebilmek için rüzgâr etkisinin çok iyi anlaşılması gerekmektedir. Rüzgârın doğru bir şekilde yapı üzerindeki etkisinin ortaya konulması ise son derece önemlidir. Rüzgâr yapıya etki eden bir yük olmasına rağmen bu yükleme eşdeğer statik yük olarak ya da zaman tanım alanında tanımlı değişken yük olarak etki ettirilebilir. Ancak bu işlem sırasında rüzgârın rastgele davranışı unutulmamalıdır. Ayrıca son yıllarda yapılan araştırmalar binaların rüzgâr yönüne dik doğrultuda konumlandırılmasının ve burulma salınımının da rüzgârla aynı yönde olması kadar önemli olduğunu göstermiştir (Kurç ve diğ., 2012).

Tüm dünyadaki yapıların çoğunluğu düşük katlı konut, ticari ve diğer yapılar olarak sınıflandırılabilir. Bu yapıların çoğunluğu tayfunlar ve fırtınalar gibi yüksek şiddetli rüzgârlar sonucu hasar alabilmektedir. Rüzgârın yıkıcı etkisi ise binanın üzerinde ve etrafındaki hava akışından kaynaklanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre geçmiş yıllarda rüzgâr hasarı oluşan binaların çoğunluğunda hasar yapıların çatı kaplamasında oluşmaktadır (Kumar ve Stathopoulos, 1998). Yapılarda oluşan hasarlar rüzgâr hesabının önemini ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalar ile rüzgâr etkisi hesabında bazı yöntemler geliştirilmiştir. Gaussian tahmin yöntemi ise bunlardan biridir. Ancak güçlü rüzgârlar gibi çevresel yüklemelerin ölçülmesi Gaussian varsayımından önemli ölçüde sapmalar göstermektedir (Cope ve diğ., 2005).

Rüzgârın karmaşık yapısı ve etkilendiği çok fazla parametrenin olması konu ile ilgili çok fazla çalışmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Konu ile ilgili genel olarak çalışmalar maksimum emiş mekanizması, çatılarda çözüm üretilememiş konik girdaplar üzerine olmuştur (Özmen ve Baydar, 2016). Saathoff ve Melbourne maksimum çatı yüklemesi oluşum mekanizmasını araştırarak yüksek basınç oluşumu ve girdap oluşumu üzerine bir çalışma yapmışlardır (Saathoff ve Melbourne, 1989). Guirguisa ve diğ. bir rüzgar tüneli içinde tek taraflı eğimli çatı binalarının basitleştirilmiş modellerinden geçen rüzgar akışının özelliklerini incelemiştir (Guirguisa ve diğ., 2007). Ham ve Bienkiewicz, türbülans yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak ayrışma bölgelerindeki maksimum noktasının olasılıksal ve zamansal özelliklerini ele almıştır (Ham ve Bienkiewicz, 2003). Ayrıca aşırı rüzgâr olaylarında düşük katlı yapılara verilen zararı azaltma çabasıyla, standart yük hükümlerine alternatifler araştırılmaktadır (Rigato ve diğ., 2001; Sadek ve Simiu, 2002). Genel olarak geçmiş yıllardaki çalışmalarda rüzgâr yükünün hesaplanması üzerine çalışmalar yapılmıştır. Hesap yönteminin geliştirilmesi ve rüzgâr sırasındaki yapısal davranışın tahmin edilmesi en önemli çalışma konularından olmuştur. Ancak rüzgâr yükü etkisinde yapılarda oluşan hasarların montaj aşamasında oluşabileceği yönünde çalışmalara rastlanmamıştır.

Bu çalışmada, tek katlı geniş açıklıklı bir sanayi yapısı incelenmiştir. Yapı montaj aşamasında iken şiddetli rüzgâr etkisi ile hasar görmüştür. Yapının projeleri incelenmiş, yapısal modeli oluşturulmuş, yerinde hasarlı elemanlar incelenerek yapının hasar görme sebepleri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

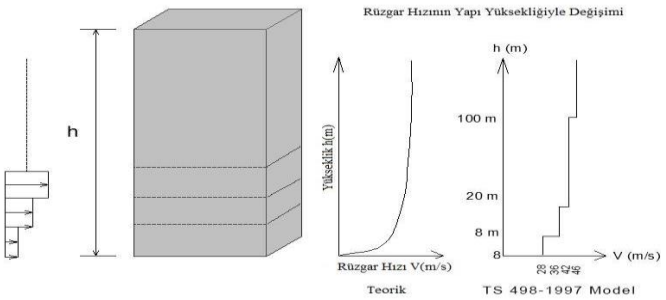
MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

Rüzgâr Yükü (Wind Load)

Rüzgâr, atmosferdeki havanın dünya üzerinde yüzeye yakın ve paralel, doğal ve genellikle yatay

olarak oluşan hareketleridir. Rüzgârın oluşmasının temel sebebi, atmosfer basıncının bölgeler arasında farklılık göstermesidir. Rüzgâr, alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır ve yüksek basınçlı alandan alçak basınçlı alana doğru hareket etmesiyle oluşur.

Rüzgâr yükü ise, çok yüksek olmayan yapılar için statik olduğu kabul edilen ve yapıya etki eden tüm rüzgâr yüklerinin vektörel toplamına eşittir. Bu yük, rüzgârın esiş yönünde çarptığı yapı yüzeylerinde basınç, terk ettiği arka yüzeylerde ve yalayıp geçtiği yüzeylerde emme kuvveti oluşur. Basınç ve emme kuvveti, rüzgârın hızına ve yapının geometrisine bağlı olarak değişir. Rüzgâr hızı belli bir yüksekliğe kadar artar daha sonra ise sabit kalır (Şekil 1).



Şekil 1. Rüzgâr hızının yükseklik ile değişimi
Figure 1. *Change of wind speed with height*

Prefabrike betonarme binalarda rüzgâr yükü hesabı (Wind load calculation in prefabricated reinforced concrete buildings)

Prefabrike betonarme ve ön gerilmeli betondan imal edilen yapıların hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları TS9967'de detaylı olarak verilmiştir. Türkiye de yapılan prefabrike yapıların tamamı bu standartlarda belirtilen kurallar ve sınırlara göre üretilmekte ve monte edilmektedir. Yapılan hesap ve analizlerde ayrıca TS498, TS500 ve 2007 deprem yönetmelikleri de kullanılmaktadır. Ayrıca Avrupa'da EUROCODE 1-EN 1991-1-1-4 2010:12 ve Amerika'da ASCE 7.05 yönetmelik ve kanunları, yapıların tasarımı ve analizinde etkitilmesi gereken karakteristik yükleri içermektedir.

TS 498 yönetmeliği'nde rüzgâr yükü (Wind load in TS 498 regulation)

Hesaplama için verilen açıklamalar bütün yapılar için geçerli olmakla beraber kendi şartnameleri veya standartları olan (köprü, vinçler, yüksek bacalar (fabrika bacası vs. gibi), radyo vs. yayın kuleleri ve yüksek gerilim hatları vb.) yapılar için geçerli değildir. Rüzgâr yükünü her yönde en büyük değerinde tesir eder şekilde göz önüne almalıdır. Rüzgâr doğrultusu genellikle yatay kabul edilir.

Rüzgâr yükü hesabı (Wind load calculation)

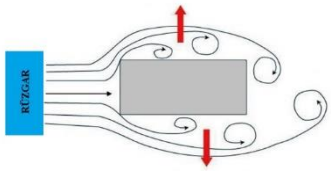
Rüzgâr yükü hesap değeri (W) (Wind load account value (W))

Rüzgâr yükü hesabı yapının geometrisine bağlıdır (Şekil 2, Şekil 3). Basınç, emme ve sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba alınır. Bir yapının bütününde rüzgâr yükü bileşkesinin büyüklüğü;

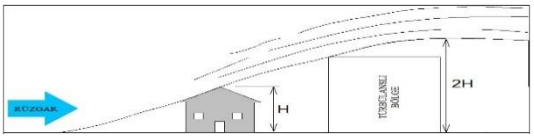
$$W = C_f.q.A \quad (kN), \tag{1}$$

formülü ile bulunur. Burada;
C_f=Aerodinamik yük katsayısı
q = Emme (hız basıncı)(kN/m^2)

A = Etkilenen yüzey alanı, (m^2)



Şekil 2. Rüzgâr yükü hesabı yapının geometrisine bağlıdır
Figure 2. *Wind load calculation depends on the geometry of the structure*



Şekil 3. Rüzgâr yükü hesabı yapının geometrisine bağlıdır
Figure 3. *Wind load calculation depends on the geometry of the structure*

Aerodinamik yük katsayısı (C_f) (Aerodynamic load rating (C_f))

Yük katsayısının (C_f) belirlenmesi yapı geometrisine ve rüzgârın esiş yönüne bağlıdır. Rüzgâr kanalı deneyinden bu katsayı elde edilir.

Rüzgâr basıncı (w) (Wind pressure (w))

Yapı üst yüzeyine tesir eden rüzgâr basıncı;

$$w = C_p.q \quad (kN/m^2) \tag{2}$$

formülü ile bulunur. Burada;
q = Rüzgar basıncı (kN/m^2)
C_p = Emme katsayısı

C_p, dikkate alınan yüzey için çeşitli esiş yönüne bağlı olarak belirlenir. Rüzgâr basıncı etki yüzeyine dik olarak etki eder.

Emme hesabı (Hız basıncı)(q) (Suction account (Speed pressure) (q))

$$q = \varrho * v^2 / 2g \quad (kN/m^2), \tag{3}$$

Çok yaklaşık olarak hava birim hacim ağırlığını $\varrho = 1{,}25\ kg/m^3$ alırsak hız (v) de m/s cinsinden yerine konursa

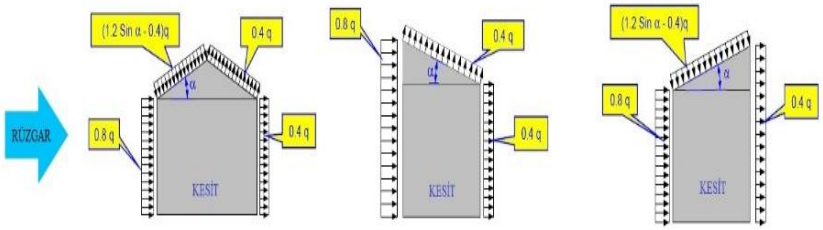
$$q = v^2/1600 \quad (kN/m^2) \tag{4}$$

bulunur.

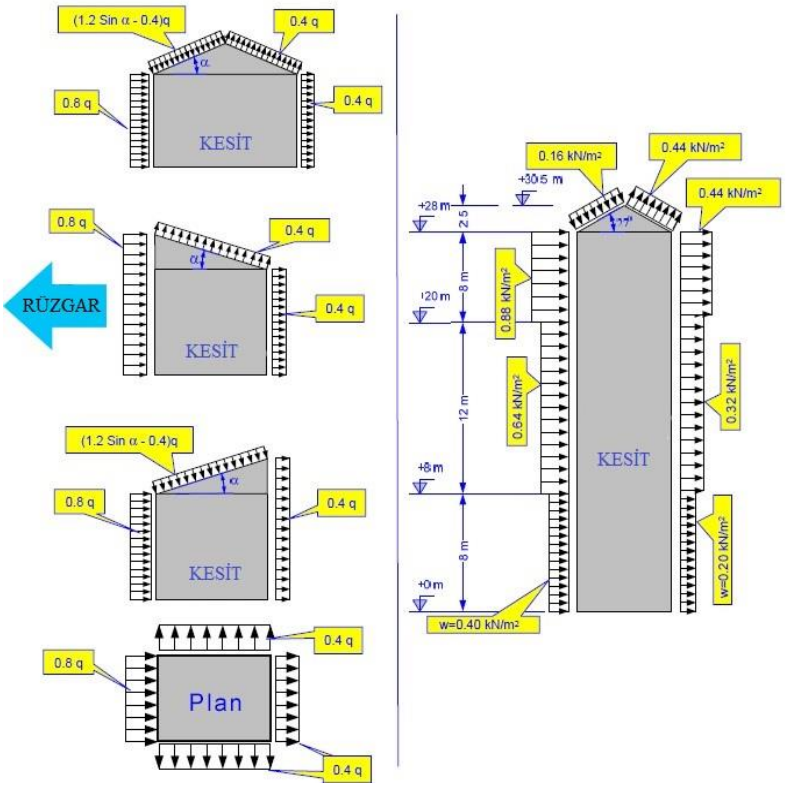
Çizelge 1. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgâr hızı ve emme oranları
Table 1. *Wind speed and suction rates depending on height*

Zeminden Yükseklik (m)	Rüzgâr Hızı (v) m/sn	Emme (q) kN/m²
0 - 8	28	0,5
9 - 20	36	0,8
21 - 100	42	1,1
> 100	46	1,3

Yerel topografik şartlar nedeniyle değişik rüzgâr hızları oluşabilir ve bu Çizelge 1 değerinden farklı olabilir. Yüksekte ve sarp bir yamaçtaki yapıda rüzgâr etkisi şiddetli olacağı düşüncesiyle emme q = 1,1 kN/m² alınmalıdır.



Şekil 4. Planda kare kesitli ve eğik çatılı kapalı yapılarda rüzgâr yükünün ana taşıyıcı sistem doğrultusunda dağıtımı
Figure 4. *Distribution of wind load on mainframe system in closed plan with closed and curved roofs*



Şekil 5. Dört tarafı kapalı yapılar ve dört tarafı kapalı yüksek yapılar
Figure 5. *Closed structures on four sides and closed structures on four sides*

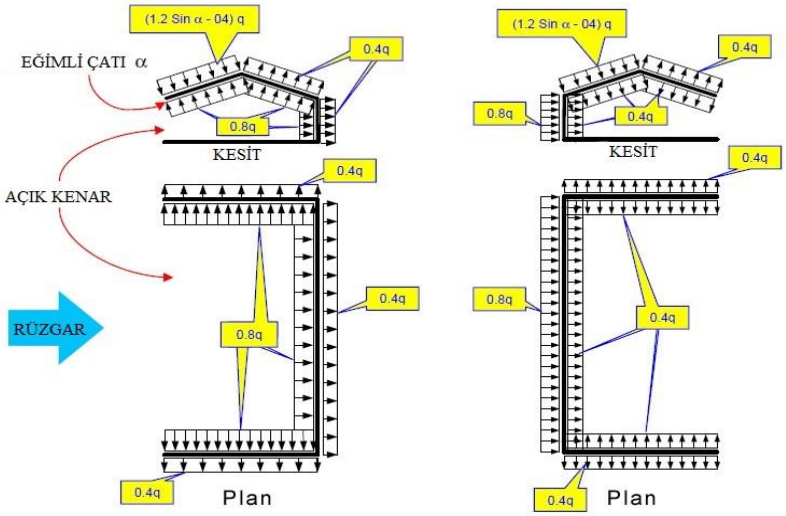
Çizelge 2. C katsayısı ve rüzgâr yükünün yapının etkilenen yüzeyinin birim alanına göre dağılımı(Basınç + Emme)

Table 2. *C coefficient and distribution of the wind load affected by the surface area of the structure (Pressure + Suction)*

Yapı Cinsi	Katsayı C	Rüzgâr Yükü W=c*q			
		q=0.50kN /m²	q=0.80kN /m²	q=1.10 kN/m²	q=1.30kN /m²
1.Düzlemsel Yüzeyler ile Sınırlandırılmış Yapı Elemanları					
1.1. Kapalı Yapı Elemanları					
1.1.1.Rüzgâr Yönüne Dikey Yüzeylerde					
a. Genel olarak	1.2	0.60	0.96	1.32	1.56
b. Kule tipi yapılarda(*)	1.6	0.80	1.28	1.76	2.08
1.1.2.Rüzgâr yönüne α açısı yapan eğimli yüzeylerde					
a. Genel olarak	1.2sin α	0.6 sin α	0.96sin α	1.32sin α	1.56sin α
b. Kule tipi yapılarda	1.6sin α	0.8 sin α	1.26sin α	1.32sin α	1.56sin α
1.2. Kapalı Olmayan Yapı Elemanlarında(**)**;** **1.1.1 ve 1.1.2 deki** verilen değerler geçerlidir. Yalnız gayri müsait durumu vermesi halinde bu yükler için ikinci bir hesap daha yapılmalıdır. Bu hesapta rüzgâr yükü çatı iç kısım yüzeyine dik olarak alınır.					
1.3. Zemin üzerinde serbest duran duvarlar; Genel olarak yüksekliği, ortama genişliğin 5 katı olan duvarlar	1.6	0.80	1.28	1.76	2.00
2. Taşıyıcı Sistemler ve Taşıyıcı Dolu Duvarlar					
2.1. Taşıyıcı bir duvar ardarda sürekli olan taşıyıcı duvarlardan en öndeki ve diğer duvarların etkilenecek kısmı için					
a. Rüzgar yönüne dikey yüzeylerde	1.6	0.80	1.28	1.76	2.00
b. Rüzgar yönüne α açısı yapan eğimli yüzeylerde	1.6sin α	0.8 sin α	1.28sin α	1.32sin α	1.56sin α
2.2. Ardarda olan taşıyıcı duvarlarda en öndeki duvar tarafından yüzeyi kapatılan ikinci taşıyıcı duvar ve diğerlerinin rüzgâr yönünde rüzgâra maruz kalmaları halinde					
a. taşıyıcı sistemdeki aralıkların sistem genişliğinden küçük olması ve taşıyıcı dolu duvarların taşıyıcı yüksekliğinden küçük olması halinde	0	0	0	0	0
b. taşıyıcı aralıkları büyük ise					
ı. Rüzgar yönüne dikey yüzeylerde	1.2	0.60	0.96	1.32	1.56
ıı. Rüzgâr yönüne α açısı yapan eğimli yüzeylerde	1.2sin α	0.60sin α	0.96sin α	1.32sin α	1.56sin α

(*) Bir yapının kule tipinde bir yapı olduğunun kabulü için cephelerin yüksekliği ortalama yapı genişliğinin en az 5 katı olmalıdır.

(**)Kapalı olmayan yapı elemanı demek, bir cephesinden veya bütün cephelerinden açık olan veya açılabilir şekilde olan veyahut bir veya birçok yerinden en az 1/3 oranında açıklıklar olan yapı demektir.



Şekil 6. Bir tarafı açılabilen veya açık yapı
Figure 6. *One side opening or open structure*

Eurocode 1- EN 1991-1-42010:12 rüzgar yükü hesabı (Eurocode 1- EN 1991-1-42010: 12 Wind load calculation)

Eurocode 1- EN 1991-1-42010:12 rüzgar yükü hesabında bir rehber niteliği taşımaktadır. Yapılara etki eden rüzgâr yükünün hesaplanmasında yapı yüksekliği ile ilgili yönetmelikte verilen sınır değer Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3. EN 1991 yapı yüksekliği limitleri
Table 3. *EN 1991 building height limits*

Yapı	**EN 1991-1-4 Sınırlandırması**
Binalar	Maksimum yükseklik 200 m
Viyadükler	Maksimum açıklık 200 m
Asma Köprüler/Gergi Askılı Köprüler	Özel olarak araştırılmalı
Üst Geçitler	Maksimum açıklık 30 m

Rüzgâr yükü yapının rüzgâra karşı göstereceği tepkiye göre iki gruba ayrılabilir:

- Yarı statik tepki
- Dinamik ve aeroelastik tepki

Rüzgâr hızı ve rüzgâr basıncı (Wind speed and wind pressure)

Bölgeye göre farklılık gösteren rüzgâr iklimi, az bitki örtüsüne sahip araziden 10 m yukarıda 10 dakikalık ana rüzgâr hızına bağlı değerler yardımı ile tanımlanır. Temel rüzgâr hızı ise aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$v_b = c_{dir} \times c_{season} \times v_{b,0} \quad (5)$$

Burada,
v_b : Temel rüzgâr hızı
c_{dir}: Yön katsayısı
c_{season}: Mevsimsel katsayı

$v_{b,0}$: Temel rüzgâr hızı temel değeri

c_{dir} ve c_{season} bölgelere göre değişkenlik gösterir ve çizelgeler halinde verilmiştir. Ancak genel olarak her iki değerde 1 alınabilir. Temel rüzgâr basıncı ile temel rüzgâr hızı arasındaki bağıntı ise aşağıdaki gibidir:

$$q_b = {}^{\rho}/_{2} \times {v_b}^2 \quad (6)$$

Burada,

ρ : Hava özgül ağırlığı (1.25 kg/m^3 alınabilir.)

q_b : Temel rüzgâr basıncı

Hız basıncının temel değeri kabul edilen yapının referans yüksekliğindeki değer değiştirilmek zorundadır. Eşdeğer yükseklikteki hız ve rüzgâr hızındaki ani değişimler arazinin pürüzlülüğüne bağlıdır. Yüksekliğe bağlı hız değişimleri ile tanımlanan pürüzlülük katsayısı eşdeğer yükseklikteki ana rüzgâr hızını elde etmek için hesaplanmalıdır.

$$v_m(z) = c_r(z) \times c_o(z) \times v_b \quad (7)$$

Burada,

$v_m(z)$: Ana rüzgâr hızı

$c_r(z)$: Pürüzlülük katsayısı

$c_o(z)$: Orografi katsayısı (genel olarak 1 alınabilir.)

Pürüzlülük katsayısı bir minimum yüksekliğe bağlıdır. Aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$c_r(z) = k_r \times \ln(z/z_o) \ , z \geq z_{min} \quad (8)$$

$$k_r = 0.19 \times (z/z_{o,II})^{0.07} \quad (9)$$

Burada,

k_r : Arazi katsayısı

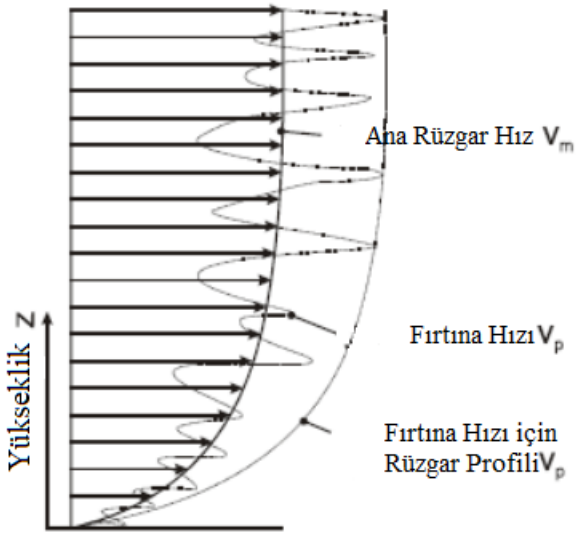
z_o : Pürüzlülük uzunluğu

z_{min}: Minimum yükseklik



Şekil 7. Temel rüzgâr hızı için Avrupa rüzgâr haritası

Figure 7. *European wind map for basic wind speed*



Şekil 8. Yüksekliğe (z) bağlı rüzgâr hızı değişimi
Figure 8. *Wind speed change due to height (z)*

Yukarıdaki formülde verilen parametreler Çizelge 4'te verilmiştir.

Çizelge 4. Arazi grupları
Table 4. *Land groups*

Arazi Grubu	Arazi karakteristiği	z_o (m)	z_{min} (m)
0	Deniz veya sahil bölgesi	0.003	1.0
I	Göller; engel olmayan	0.010	1.0
II	Zayıf bitki örtüsü; engel yüksekliğinin 20 katından daha az uzunluktaki izole edilmiş engel	0.050	2.0
III	Düzenli bitki örtüsü; Ormanlar, kenar mahalleler, köyler	0.300	5.0
IV	Ortalama yüksekliği en az 15 m olan binalarla en az %15'i kaplı olan alanlar	1.000	10.0

Fırtına hızı kabul edilen arazi grubuna bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v_p(z) = v_m(z) \times G \tag{10}$$

$$G = \sqrt{c_e(z)} = \sqrt{1 + 7 \times I_v(z)} = \sqrt{1 + 7 \times \frac{\sigma_v(z)}{v_m(z)}} = \sqrt{1 + \frac{7 \times k_I}{c_o(z) \times \ln(z/z_o)}} \quad ve \quad z \geq z_{min} \tag{11}$$

Burada,
G : Fırtına katsayısı
k_I : Türbülans katsayısı (genellikle 1 alınır.)

Fırtına basıncı aşağıdaki formül ile elde edilir:

$$q_p(z) = q_b(z) \times [c_r(z)]^2 \times [c_o(z)]^2 \times \left[1 + \frac{7 \times k_I}{c_o(z) \times \ln(z/z_o)}\right] \tag{12}$$

Burada $c_o(z) = k_I = 1.0$ alınabilir.

$$\underbrace{q_p(z)}_{maksimum\ basınç} = \underbrace{q_b}_{temel\ basınç} \times \underbrace{[c_r(z)]^2}_{rüzgar\ profili} \times \underbrace{\frac{7}{\ln(z/z_o)}}_{fırtına\ katsayısı\ çarpanı} \tag{13}$$

Rüzgâr yükünün hesaplanması (Calculation of wind load)

Rüzgar yükü aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$F_w = c_s \times c_d \times c_f \times q_p(z_e) \times A_{ref} \quad (14)$$

Burada,
F_w : Rüzgâr yükü
c_s : Boyut katsayısı (1.0 alınabilir.)
c_d: Dinamik katsayı (1.0 alınabilir.)
c_f: Kuvvet katsayısı
A_{ref} : Referans alanı
z_e : Yapının zemin seviyesinden maksimum yüksekliği

ASCE 7.05 rüzgâr yükü hesabı (ASCE 7.05 wind load calculation)

Tasarım rüzgâr yükü binalar ve diğer yapılar için aşağıda verilen yöntemlerden biri ile hesaplanmalıdır:

- **Yöntem 1:** Yüksekliği düşük basit diyaframlı yapılar için basitleştirilmiş yöntem.
- **Yöntem 2:** Düzenli bir şekli olan binalar ve yapılar için analitik yöntem.
- **Yöntem 3:** Geometrik olarak karmaşık binalar ve yapılar için rüzgâr tüneli yöntemi.

Yöntem 2: analitik yöntem (Method 2: analytical method)

Temel rüzgâr hızı hesaplamak için rüzgâr yön katsayısı ve rüzgâr önem katsayısı aşağıda verilen çizelgelerden alınmalıdır.

Çizelge 5. Rüzgâr yön katsayısı K_d
Table 5. *Wind direction coefficient*

Yapı Türü	Rüzgâr yön katsayısı K_d
Binalar	
- Ana rüzgâr yükü taşıyıcı sistem	0.85
- Bileşenler ve kaplamalar	0.85
Kemer Çatılar	0.85
Bacalar, tanklar ve benzer yapılar	
- Kare	0.90
- Altıgen	0.95
- Yuvarlak	0.95
İşaret Levhaları	0.85
Uzay Kafes Sistemler	0.85
Kafesli Kuleler	
- Üçgen, Kare, Dikdörtgen kesitler	0.85
- Diğer bütün kesitler	0.95

Çizelge 6. Binaların ve diğer yapıların sel, rüzgâr, kar, deprem ve buz yükleri için doluluk oranları sınıflandırması

Table 6. *Classification of occupancy rates for flood, wind, snow, earthquake and ice loads of buildings and other structures*

Yapı Türleri	**Doluluk Oranı Sınıfı**
İnsan hayatına göçme veya yıkım olaylarında çok az zarar gösteren binalar ve diğer yapılar: - Zirai tesisler - Bazı geçici tesisler - Küçük depolama tesisleri	I
Sınıflandırmada I, III, IV dışında kalan bütün binalar ve diğer yapılar	II
İnsan hayatına göçme veya yıkım olaylarında ciddi zarar gösteren binalar ve diğer yapılar: - 300'den fazla insanın bir alanda toplandığı binalar ve diğer yapılar - 150'den fazla kapasiteli bakım tesisleri olan binalar ve diğer yapılar - 250'den fazla kapasiteli ilk ve orta okul tesisleri olan binalar ve diğer yapılar - 500'den fazla kapasiteli kolejler veya yetişkin eğitim tesisleri içeren binalar ve diğer yapılar - İlk yardım veya cerrahi tesisi bulunmayan 50 veya daha fazla hasta kapasiteli sağlık tesisleri - Gözaltı merkezi ve hapishaneler Yıkılması veya göçmesi durumunda çok önemli bir ekonomik etkiye veya günden güne sivil hayatta kitlesel bozulmaya yol açacak, Sınıflandırmada IV'e girmeyen binalar ve diğer yapılar: - Enerji yönetim istasyonları - Su arıtma tesisleri - Kanalizasyon arıtma tesisleri - Telekomünikasyon merkezleri	III
Gerekli tesisler olarak tasarlanan binalar ve diğer yapılar: - İlk yardım ve cerrahi tesisi olan hastaneler ve diğer sağlık tesisleri - Yangın, Kurtarma, Ambulans ve polis istasyonları ve ilk yardım araçları garajları - Kasırga ve depremden sığınmak için tasarlanan acil sığınma evleri - Ulusal savunmada kritik bir önemi olan binalar ve diğer yapılar - Yangına müdahale için gerekli su basıncını sağlamayı sağlayan pompa yapıları ve su depolama tesisleri	IV

Çizelge 7. Rüzgâr önem katsayısı

Table 7. *Wind importance coefficient*

Sınıf	**Kasırga olmamaya eğilimli bölgeler ve kasırga olmaya eğilimli bölgeler V=85-100 mph ve Alaska**	**Kasırga olmaya eğilimli bölgeler V>100 mph**
I	0.87	0.77
II	1.00	1.00
III	1.15	1.15
IV	1.15	1.15

Çizelge 8'den maruz kalınan sınıf ve hız basıncı maruz kalma katsayısı yüzey pürüzlülüğü sınıfına bağlı olarak belirlenir (K_z ve K_h).

Çizelge 8. Hız basıncı maruz kalma katsayıları K_z ve K_h

Table 8. *Speed pressure exposure coefficients Kz and Kh*

Zeminden yükseklik (z) (m)	Maruz Kalma			
	B		C	D
	Durum 1	Durum 2	Durum 1 ve 2	Durum 1 ve 2
0-4.6	0.70	0.57	0.85	1.03
6.1	0.70	0.62	0.90	1.08
7.6	0.70	0.66	0.94	1.12
9.1	0.70	0.70	0.98	1.16
12.2	0.76	0.76	1.04	1.22
15.2	0.81	0.81	1.09	1.27
18	0.85	0.85	1.13	1.31
21.3	0.89	0.89	1.17	1.34
24.4	0.93	0.93	1.21	1.38
27.4	0.96	0.96	1.24	1.40
30.5	0.99	0.99	1.26	1.43
36.6	1.04	1.04	1.31	1.48
42.7	1.09	1.09	1.36	1.52
48.8	1.13	1.13	1.39	1.55
54.9	1.17	1.17	1.43	1.58
61.0	1.20	1.20	1.46	1.61
76.2	1.28	1.28	1.53	1.68
91.4	1.35	1.35	1.59	1.73
106.7	1.41	1.41	1.64	1.78
121.9	1.47	1.47	1.69	1.82
137.2	1.52	1.52	1.73	1.86
152.4	1.56	1.56	1.77	1.89

Yüzey Pürüzlülüğü (B): Tek ailelik mesken veya daha büyük alana sahip sayısız yakın aralıklı engelleri olan diğer alanlar, şehir ve kenar mahalle alanları, ağaçlık alanlar.

Yüzey Pürüzlülüğü (C): Genellikle yüksekliği 9.1 m'den az olan dağınık engelleri olan açık arazi.

Yüzey Pürüzlülüğü (D): Düz, engebe olmayan alanlar ve kasırgaya eğilimli alanlar dışındaki su yüzeyleri. Bu kategori pürüzsüz çamurlu alanları, tuzlu bölgeleri ve parçalanmamış buz yüzeyleri içerir.

Rüzgar yükü hesabında kullanılacak olan topografik katsayı K_{zt} genellikle 1.0 alınabilir.

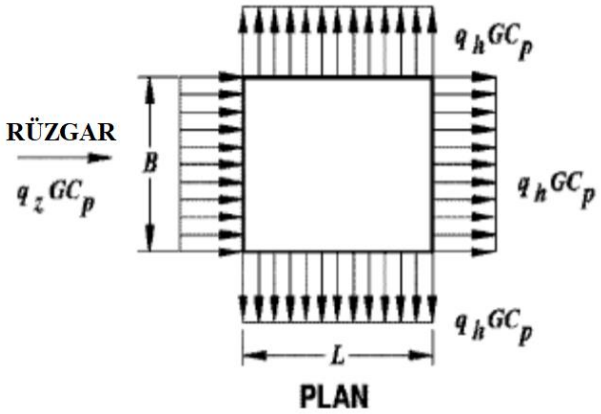
Rüzgâr yükü hesabında kullanılacak olan darbe etki katsayı G genellikle 0.85 alınabilir.

Dıştan gelen basınç katsayısı C_p aşağıdaki Çizelge 9'dan alınabilir.

Çizelge 9. Duvar basınç katsayısı C_p

Table 9. *Wall pressure coefficient Cp*

DUVAR BASINÇ KATSAYISI C_p			
YÜZEY	**L/B**	**C_p**	**HIZ BASINÇ TÜRÜ**
Rüzgâr tarafındaki duvar	Bütün değerler için	0.8	q_z
Rüzgâr altı tarafındaki duvar	0-1	-0.5	q_h
	2	-0.3	q_h
	≥4	-0.2	q_h
Yan duvar	Bütün değerler için	-0.7	q_h



Şekil 9. Rüzgâr yükü dağılımı

Figure 9. *Wind load distribution*

q_z ve q_h değerleri aşağıdaki formül ile hesaplanabilir:

$$q_z = q_h = 0.0047 \times K_z \times K_{zt} \times K_d \times V^2 \times I \quad \text{(kg/cm}^2\text{, V(km/h)} \tag{15}$$

Elde edilen parametreler kullanılarak tasarım rüzgâr yükü (F) aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$F = q_z \times G \times C_p \times A_f \tag{16}$$

Burada,

A_f : Tasarımda rüzgâr yönüne dik doğrultudaki duvar alanı (m^2)

Prefabrik Yapıların Projelendirme ve Montaj Aşamasında Yapılması Gerekenler (Things to do during the design and assembly phase of prefabric buildings)

Prefabrike yapılarda sorunların en yoğun yaşandığı süreci, montaj aşaması oluşturmaktadır. Yani, temel elemanlarının ve kiriş elemanlarının montajı prefabrikasyonda önemli bir sorundur. Doğru yerleştirilmeyen temel soketleri, özellikle diğer elemanların montajında, montaj toleranslarını etkilediği için sorunlar yaratmaktadır. Benzer durum, birleşim yerlerinde de karşımıza çıkmaktadır. Bunlara ilave olarak, yerinde döküm bağ hatıllarının, temel soketleriyle birlikte yapılması gerekirken, birçok yapıda, tüm montaj işlemlerinin bitirilmiş olmasına karşın halen yapılmamış oldukları da gözlemlenmiştir. Yapıların tamamlanması için girişimciye verilen resmi sürenin uzunluğu, yaptırımların yetersizliği, girişimcinin yeterli finansmana sahip olmaması ve bilgi eksikliği nedeniyle montaj süreci, çok uzayabilmektedir. Oysa üretici kuruluşların, montaj için önerdikleri süre ortalama olarak 10 gündür. Dolayısıyla; sistem bütünü içinde tamamen rijitleştirilemeyen yapı elemanları; kısa süre içinde zararsız olan, ancak, uzun süre içinde olumsuz olarak etkileyen hareketler ve yükler altında kalabilir.

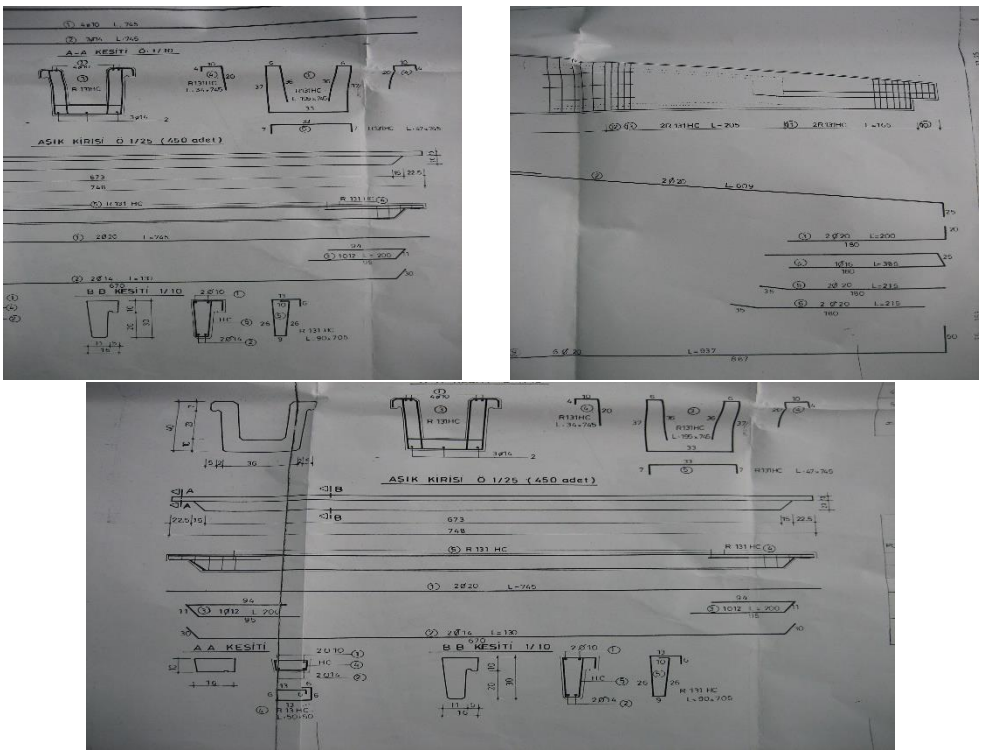
Birleşim bölgeleri zayıf prefabrike çerçevelerde gerekli önlemler alınmadığı takdirde şiddetli

depremler veya montaj aşamasında beklenmeyen yatay yük etkileri altında sorun çıkması kaçınılmaz olacaktır. Zayıf bağlantılı (mafsal gibi) çerçeveler yatay yükler altında yeterli stabiliteye sahip olmayacak ve yeterli enerjiyi tüketemeyecektir. Bu tür çerçevelerden oluşan yapıların yatay yükler etkisinde sağlıklı davranmalarını sağlamanın en uygun yolu, tüm yatay kuvvetleri alabilecek kapasitede perde duvarlar oluşturulmalıdır. Perde duvarların yapılması maliyetli olması nedeniyle tercih edilmediği durumlarda sistemin bir an önce projesine uygun hale getirilmesi için çalışılmalıdır. Montaj aşamasında kullanılan malzemeler projesine uygun seçilmeli ve uygulama aşaması çok çabuk tamamlanmalıdır. Birleşim noktalarında seçilen kamalar ve birleştirme malzemelerinin kalınlıkları uygun hesaplanmalı kesme kuvvetlerini ve sıyrılma boyu iyi hesaplanmalıdır. Bulon veya diğer birleştirme malzemeleri seçilirken işlem hızlı ve dayanıklı malzemeler ile yapılmalı boşluklar hemen doldurulmalıdır. Birleşme noktasının mafsallı davranmasına izin verilmemelidir. Herhangi bir rüzgâr anında yapacağı yatay yer değiştirmeler önceden hesaplanmalı ve bulon kalınlıkları ile boyları en kötü şartlara göre seçilmelidir. Eğer sistemde tüm yatay yükü alabilecek kapasitede perde duvar varsa, çerçeve elemanlarının bağlantılarının daha zayıf olmasında bir sakınca görülmeyebilir. Tek katlı çerçevelerde yapı perdesiz de olsa zayıf birleşimlere(mafsal gibi) izin verilebilir.

BULGULAR VE TARTIŞMA (FINDINGS AND DISCUSSION)

Montaj Hatası Sonucunda Rüzgâr Etkisinde Yıkılmış Bir Prefabrike Yapı Örneği (Example of a Prefabricated Building Destructed as a Result of Wind Failure)

Konya ili sınırları içerisinde bulunan bir prefabrik sanayi tesisi yapım aşamasında rüzgar yüküne maruz kalmıştır. Yapılan incelemelerde proje aşamasında özellikle makas kirişi ve aşık kirişlerinde yeterli tedbirlerin alındığı askı donatısı, kiriş uç bölgesi etriye sıklaştırmasının yapıldığı gözlemlenmiştir (Şekil 10).



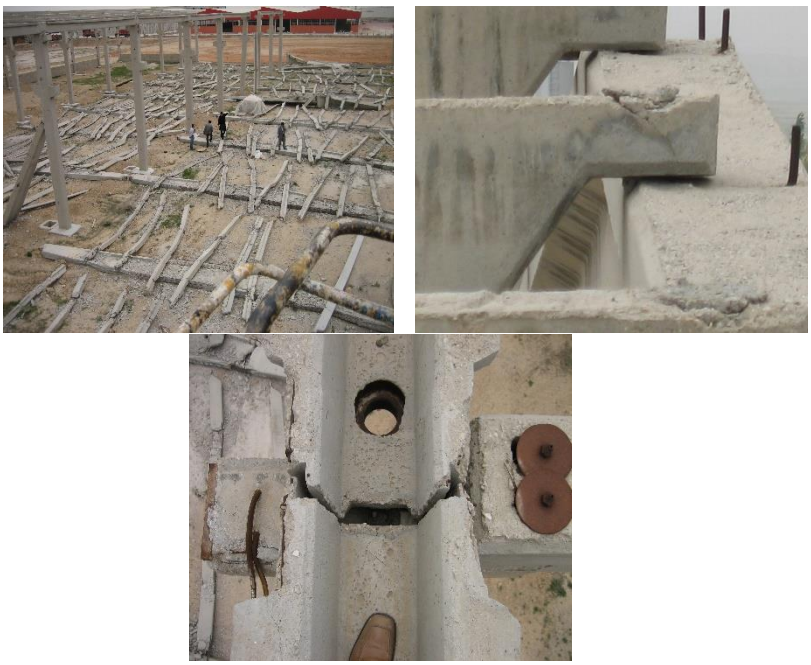
Şekil 10. Proje detayları
Figure 10. *Project details*

Sahada yapılan incelemelerde ise donatı detaylarının projeye uygun olduğu görülmüştür (Şekil 11).

Ancak makas ve aşık kirişlerinin çoğunluğunda uç bölgelerde kesme hasarları tespit edilmiştir (Şekil 12). Oluşan kesme hasarlarının yapı tamamlanmadan maruz kaldığı rüzgâr yükünün etkisi ile birleşim bölgelerinde zorlanmalara neden olmuştur. Bağlantıların doğru yapılmaması nedeni ile yapı elemanları bu bölgede kesme hasarına maruz kalmıştır (Şekil 13).



Şekil 11. Aşık kiriş donatı detayı
Figure 11. *Detail of beam girders*

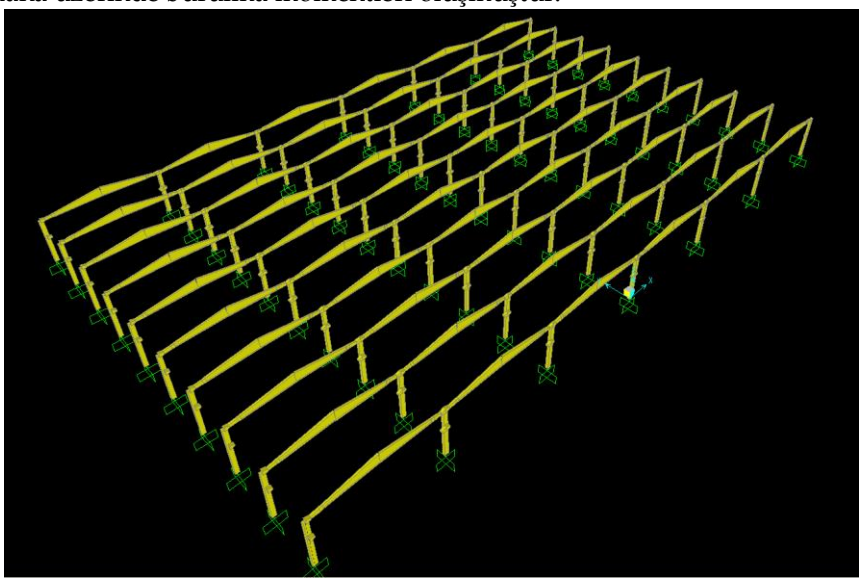


Şekil 12. Kirişlerde oluşan kesme hasarları
Figure 12. *Cutting damage to beams*

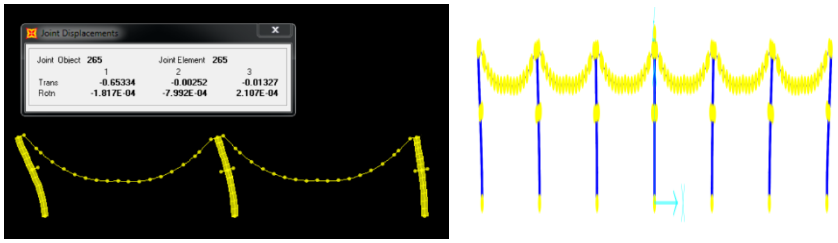


Şekil 13. Bağlantı bölgelerinde oluşan hasarlar
Figure 13. *Damage to the connection areas*

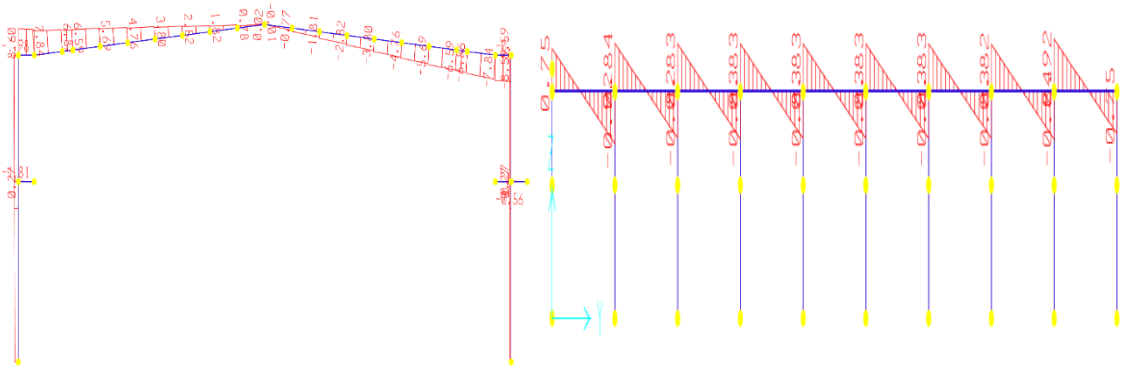
Sonlu elemanlar metodu ile yapının modeli oluşturularak (Şekil 14) yapılan analizde ise yapının aslında yeterli rijitlikte ve dayanımda olduğu ancak montaj sırasında yapılan hataların yapıda hasara neden olduğu gözlemlenmiştir. Yapım aşamasında 0.9G+1.3W rüzgar yüklemesine maruz bırakılan modelde aşıklarda oluşan yer değiştirmeler Şekil 15' de verilmiştir. Aşık ve makas uçlarında oluşan kesme kuvvetleri ise proje ile uyumlu olarak Şekil 16'da verildiği gibi elde edilmiştir. Ancak kiriş bağlantı noktalarındaki hatalar nedeni ile aşık kirişlerdeki zorlanmalar makas kirişlerde burulmalara neden olmuştur. Yapı modelinde doğru bağlantı modeli ile elde edilen burulma momenti (Şekil 17) değerlerinin çok daha üzerinde burulma momentleri oluşmuştur.



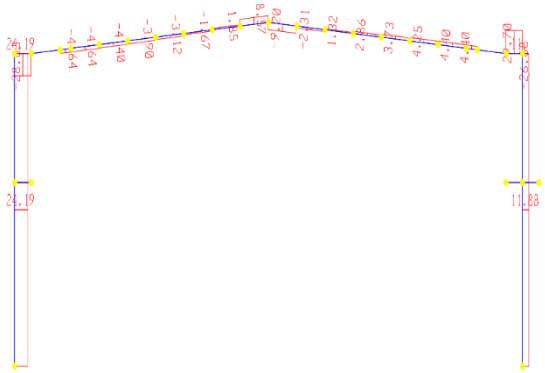
Şekil 14. Yapı modeli
Figure 14. *Building model*



Şekil 15. Aşıklarda oluşan yer değiştirmeler
Figure 15. *Displacements in beams*



Şekil 16. Aşık ve makas kiriş uçlarında oluşan kesme kuvvetleri
Figure 16. *Shear forces at beam ends*



Şekil 17. Makas kirişte oluşan burulma momenti
Figure 17. *Torsional moment in the shear beam*

SONUÇLAR VE ÖNERİLER (RESULTS AND RECOMMENDATIONS)

Sonuç olarak, betonarme ve prefabrike bir yapının deprem ve rüzgar dahil çeşitli yük etkileri altında sağlıklı bir davranış gösterebilmesi için, hesap yeterli değildir. Hesap kadar önemli olan, iyi bir sistem seçilmesi, boyutların doyurucu olması, donatının bilinçli detaylandırılması ve yapıma gereken özenin gösterilmesidir. Sistem seçimi, hesap ve detaylandırmada önkoşul, iyi bir davranış bilgisidir.

Ülkemizde gözlenen hasar ve göçmelerin çok büyük bir yüzdesi hesap yanlışlıklarından değil, sistem ve detay hataları ile özensiz yapımdan kaynaklanmaktadır [8]. Ülkemizde prefabrike elemanlarının kullanım potansiyelini artırmak amacı güden hazır proje uygulama yaklaşımını terk etmeli; malzeme ve iklim şartlarını dikkate alan yerel anlamda özel projeler hazırlama yöntemi benimsenmelidir.

Prefabrike sistemlerin en önemli konusu olan birleşim noktaları, elemanların cinsine ve birleşim yöntemlerine göre çok çeşitli olabilmektedirler. Yatay ve düşey yüklere karşı güvenli olma bu noktaların önemini artırmaktadır. Uygun bir birleşim; teknik, ekonomik ve estetik şartları aynı zamanda yerine getirebilmektedir. Prefabrike elemanlar arasında veya prefabrike elemanlarla yerine dökme beton arasındaki birleşimlerin ve bir birleşim çeşidi olan mesnetlerin projelendirilmesinde aşağıdaki hususlara çok dikkat edilmesi gerekir. Buna göre;

- Birleşim veya mesnet, etkisi altındaki normal kuvvet, eğilme ve burkulma momenti gibi zorlamaları, güvenlikle birleşen elemanların birinden ötekine aktarabilmelidir.
- Birleşim o yapının ömrü boyunca karşılaşacağı yükleri taşıyabilecek dayanımda olmalıdır.
- Birleşim noktaları sürekli bir davranış göstermelidir.
- Birleşimin süneklik katsayısı en az 4 olmalıdır.
- Birleşimin hareket serbestliği (hacim değiştirme) olmalıdır.
- Birleşim veya mesnetteki dönme, yer değiştirme ve deformasyonlarla, birleşen elemanların

birbirine göre deformasyonları kabul edilebilir, sınırlar içinde olmalıdır.
- Birleşim ve mesnetler kolayca kontrol edilmeli ve gerekiyorsa düzeltme yapılabilmelidir.
- Birleşim ve mesnetler korozyona karşı korunmalı ve yangına dayanıklı olmalıdır.
- Görünüş (estetik) olarak yapıya katkıda bulunmalıdır.
- Birleşim ve mesnet hesaplarında, sıcaklık değişimi ve sünme etkileri hesaba katılmalı ve bu hesaplar TS. 500'deki esaslara uygun olmalıdır.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

Cope, A. D., Gurley, K. R., Gioffre, M. ve Reinhold, T. A., 2005, Low-rise Gable Roof Wind Loads: Characterization and StochasticSimulation, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93 (2005), 719-738.

Demirel, F. ve Ulukavak, G., 1998, Endüstri Yapıları Üretiminde Kullanılan Prefabrike Betonarme İskelet Sistemler ve Ankara'dan Bir Örnek; ANKA-PVC, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 48, 12-16.

Ekinci, C. E., 1995, Avrupa Birliği'ne Tam Üyelik Sürecinde Türk Prefabrikasyon Sektörünün İncelenmesi, *Beton Prefabrikasyon Dergisi*, 35, 5-8.

Ekinci, C. E., Eminel, M. ve Özçetin, Z., 2007, Prefabrikasyonda Doğrular-Yanlışlar. 12. Beton Prefabrikasyon Sempozyumu. İstanbul, Türkiye**:** 1-9.

Ekinci, C. E., 2008, Bordo Kitap Yapı ve Tasarımcının İnşaat El Kitabı, *Ankara*, Data Yayınları, p.

Ersoy, U., 1987, Çerçeve Türü Prefabrike Yapılar için Hesap İlkeleri. 2. Prefabrikasyon Sempozyumu. Ankara.

Gönül, H. ve Demirel, F., 2003, Prefabrike Endüstri Yapıları Üzerine Bir Alan Araştırması: Diyarbakır Birinci Organize Sanayi Bölgesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 18 (1), 169-184.

Guirguisa, N. M., Abd El-Aziz, A. A. ve Nassief, M. M., 2007, Study of Wind Effects on Different Buildings of Pitched Roofs, *Desalination*, 209, 190-198.

Ham, H. J. ve Bienkiewicz, B., 2003, Characteristics of Roof Peak Pressures on Model of The TTU Test Building. 11th International Conference on Wind Engineering. Lubbock, TX**:** 957-964.

Huang, G., Luo, Y., Gurley, K. R. ve Ding, J., 2016, Revisting Moment-Based Characterization for Wind Pressures, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 151 (2016), 158-168.

Kumar, K. S. ve Stathopoulos, T., 1998, Power Spectra of Wind Pressures on Low Building Roofs, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 74-76, 665-674.

Kurç, Ö., Kayışoğlu, B., Shojaee, S. M. N. ve Uzol, O., 2012, Yüksek Binalarda Rüzgar Etkilerinin Rüzgar Tüneli Deneyleriyle Tespiti, *İMO Teknik Dergi*, 389, 6163-6186.

Özmen, Y. ve Baydar, E., 2016, Experimental Investigation of Wind Pressure Fields on Buildings with Gabled Roofs Having Different Pitch Angles, *Journal of Thermal Science and Technology*, 36 (2), 7-17.

Rigato, A., Chang, P. ve Simiu, E., 2001, Database-Assited Design, Standardization, and Wind Direction Effects, *Journal of Structural Engineering-ASCE*, 127 (8), 855-860.

Saathoff, P. J. ve Melbourne, W. H., 1989, The Generation of Peak Pressures in Separated/Reattaching Flows, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 32 (121-134).

Sadek, F. ve Simiu, E., 2002, Peak Non-Gaussian Wind Effects for Database-Assisted Low-Rise Building Design, *Journal of Engineering Mechanics-ASCE*, 128 (5), 530-539.