Çelik Malzemeyle Yapılmış Stadyum Tribün Çatısının Taşıyıcı Sisteme Bağlı Maliyet Karşılaştırılmasının Yapılması

Celalettin Kozanoğlu[1], Recep SUK[2*]

[1]Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, TÜRKİYE,
Tel:+90 236 2012301, celal.kozanoglu@cbu.edu.tr
[2*]Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat mühendisliği Bölümü, 45140, Manisa, TÜRKİYE,
Telefon: +90 236 201 2301, recepsuk@hotmail.com
*İletişimden sorumlu yazar / Corresponding author

Geliş / Recieved: 29 Mayıs (May) 2015
Kabul / Accepted: 1 Eylül (September) 2015
DOI: http://dx.doi.org/10.18466/cbujos.21274

Özet

Bu çalışmada, çelik malzeme ile yapılması planlanan bir stadyum tribün çatısının makaslı ve dolu gövdeli taşıyıcı sistemlerle dizayn edilmesi ve buna bağlı maliyet karşılaştırmaları ortaya konulmaktadır. Ele alınan yapının statik hesapları, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS498)'de yer alan yükler ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY-2007)'de yer alan Eşdeğer deprem yükü yöntemi ve mod birleştirme yöntemi kullanılarak yapılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizlerde Sap 2000 programından yararlanılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu çelik yapılarda taşıyıcı sistem seçiminin maliyeti önemli derecede etkilediği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler —Stadyum, çelik yapı, Makaslı sistem, Dolu gövdeli sistem, maliyet.

Structural Cost Comparison of Steel Stadium Roof

Abstract

In this study, that is put forward that designing a steel stadium tribune roof with truss and solid webbed system and comparing related cost. The statical calculation of aforementioned building has been accomplished with design loads taken from Design Loads for Buildings (TS498) and Equivalent seismic load method and mode superposition method taken from Turkish Earthquake Code 2007 (DBYBHY-2007) and the results obtained have been compared. Sap 2000 program has been used in the analyses. As a result of comparison, it is established that choosing load-bearing system in steel constructions affects the cost of structure significantly.

Keywords — Stadium, steel Construction Trust system, Solid webbed system, Cost.

1 Giriş

Bir yapının taşıyıcı sisteminin belirlenmesinde yapının kullanım amacı, zemin durumu, yapının bulunduğu bölgenin depremselliği, yük durumu, yapının yapılacağı bölge ve o bölgenin kaynakları gibi pek çok faktör etki etkili olmaktadır.

Stadyum çatıları, çoğu zaman hem büyük açıklık geçen konsollu yapıları hem de maruz kaldıkları yükler göz önüne alındığında çok büyük iç gerilmelere maruz kalırlar. Bu bakımdan bu iç kuvvetlere karşı koyacak taşıyıcı sistemlerinin seçimi çok büyük önem kazanmaktadır. Günümüzde gelişen yapı teknolojisi ve bilgisayar yazılımları sayesinde büyük zorlamalara maruz kalan bu yapılar ön germeli, art germeli, betonarme, asma sistemler veya çelik sistemlerle geçilebilmektedir. Bu sistemlerin seçiminde etkili olan en büyük faktör maliyet olmaktadır.

Ülkemizde ve Dünyada stadyum çatılarına bakıldığı zaman genellikle çelik yapıların tercih edildiği görülmektedir. Bunun başlıca sebebi çelik malzemenin dış yüklere karşı yüksek dayanımının yanında dizaynda bol miktarda çeşitliliğe olanak sağlamasıdır. Bu sebepten dolayı statik açıdan problem oluşturmayan doğru geometrinin seçilmesi çoğu zaman maliyette büyük avantajlar sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada, çelik stadyum çatısı hem makaslı hem de dolu gövdeli olarak tasarlanmıştır. Zati ,kar, ve rüzgar yükleri TS498'de belirtildiği gibi deprem yükleri ise DBYBHY-2007'e uygun olarak alınmıştır. Yapı elemanlarında oluşan gerilmeler ve deplasman değerleri Sap2000 programı yardımıyla hesaplanmıştır[1,2,3].

Çelik yapının maliyetinin hesaplanmasında Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2015 yılı yapı işleri inşaat birim fiyat tarifleri eki fiyat listesinde yer alan Y.23.101 poz numaralı birim fiyat analiz ve yapım şartları esas alınmıştır.
Y.23.101 numaralı poz uyarınca, her çeşit profil, çelik çubuk, çelik, saçlarla projesine göre her yükseklik ve açıklıkta karkas inşaat yapılması, parçaların perçin, bulon ve kaynakla eklenmesi, bütün aksamın yerine monte edilmesi, her türlü malzeme ve zayiatı, inşaat yerindeki yükleme, yatay ve düşey taşıma, taşıyıcı iskele veya kaldırma tertibatı, boşaltma, işçilik, müteahhit genel giderleri ve kârı dâhil, (boya bedeli hariç) yapılması ve yerine konulması, 1 kilogram fiyatı: yaklaşık 4tl dir [9].

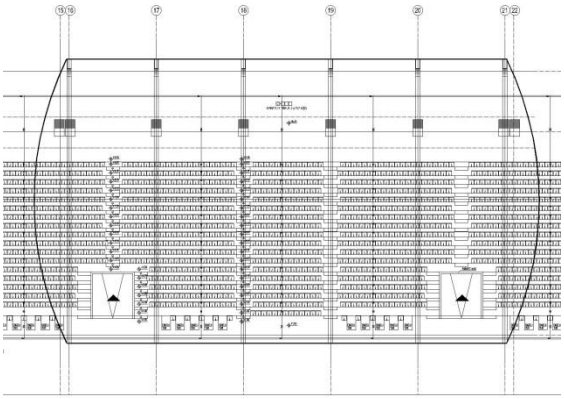
2 Yapı Hakkında Bilgi

Maliyet karşılaştırmalarını yapmak üzere makaslı ve dolu gövdeli taşıyıcı sisteme ait iki çelik stadyum çatısı incelenmiştir. Yapı yarım daire formunda 22 m konsol uzunluğuna sahip, 22 m yüksekliğinde, 5 açıklıklı ,her bir açıklık arası 8m olan X yönünde alt ucu zemine ve konsol başlangıç noktasından serbest mesnetle bağlı, Y yönünde merkezi çaprazlı bir sistemden oluşmaktadır.

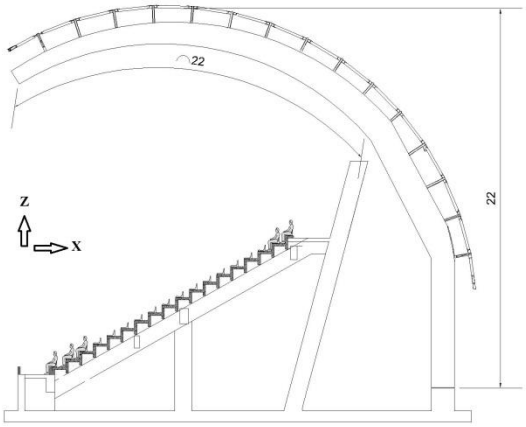
Makaslı ve dolu gövdeli sistemde, X yönündeki ana taşıyıcı konsollar yekpare elemanlar olarak düşünülmüştür, fakat boyutları taşıma ve montaj için çok büyük olduğu için belli bölgelerde moment aktaran ekler oluşturulmalıdır. Y yönünde bulunan tüm çaprazlar moment aktarmayan birleşim araçları kullanılarak bağlanmıştır. Her bir konsol taşıyıcı ayağının orta noktasında bulunan kolon ile çatı birleşimi moment aktaracak şekilde düşünülmüştür. Makaslı Sistemde, makas aralarındaki tüm elemanlar mafsallı olarak düşünülmüştür.

Yapının yapılacağı bölgenin depremselliği, zemin durumu ,denizden yüksekliği ile ilgili bilgiler aşağıdaki gibidir.

Deprem bölgesi =1
Zemin sınıfı =Z3
Yapının denizden yüksekliği =300 m
Tüm Çelik yapı elemanlarında St 37 çeliği kullanılmıştır. Yapının plan ve kesit görünüşü aşağıdaki gibidir. Global eksen takımı Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Stadyum tribün çatısı plan görünüşü



Şekil 2. Stadyum tribün çatısı kesit görünüşü

3 Yapıya Etki Eden Yükler

3.1 Zati Yükler

Stadyum çatısını oluşturan tüm çelik elemanlar ve birleşim elemanları zati yük olarak alınmıştır. Çelik birleşim elemanlarının ağırlığı tüm yapı ağırlığının %10'u olduğu kabul edilmiştir. Kaplama olarak membran kullanıldığından kaplama yükü 0,10 kN/m² olarak alınmıştır.

3.2 Hareketli Yükler

Hareketli yükler, yapı elemanlarına zaman zaman etkiyen ve yer değiştiren yüklerdir[2]. Stadyum çatılarına etkiyen en önemli hareketli yüklerden biri kar yüküdür. Kar yükleri yapının bulunduğu bölgenin meteorolojik ve coğrafi şartlarına bağlıdır[2].

Kar yüklerinin (p_k) hesaplanmasında aşağıdaki denklemler kullanılır.

$$P_k = m \times pk_0 \quad (3.1)$$

Burada, $m = 1 - \frac{\alpha - 30°}{40°}$ α=çatı eğimi, 30° den az eğimli çatılarda m=1 alınır.

TS EN 1991-1-4'de tarif edilen Çift eğimli Sundurma çatı çözümünden yola çıkılarak, Kırma çatıya benzetilen stadyum çatının her iki taraftaki eğimi= α=23° olarak hesaplanmıştır [12]. (Şekil 4), α=30° 'nin altında olduğu için m=1, yapının denizden yüksekliği 300 m ve 1. Bölgede yer almasından dolayı pk_0 = 0,75 kN/m² alınmıştır.(TS498 Çizelge 4)

$P_k = m \times pk_0$ formülünden,

P_K=1×0,75=0,75 Kn/m² olarak alınmıştır.

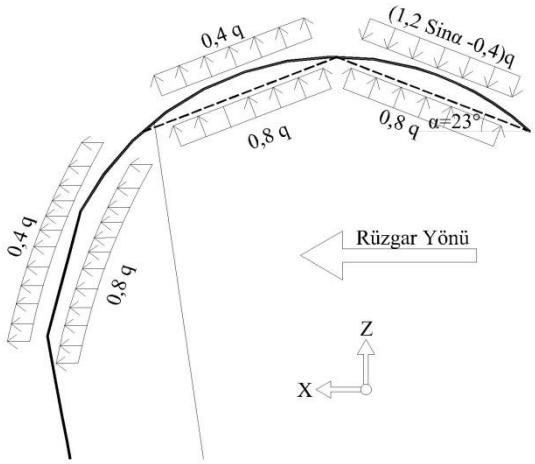
Şekil 3. Kar yükünden dolayı çökmüş stadyum çatısı

3.3 Rüzgar Yükleri

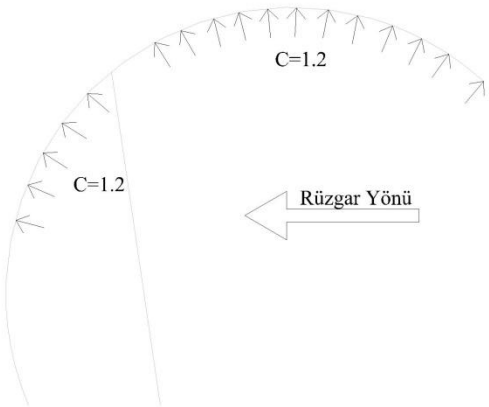
Rüzgar yükü hesabı yapının geometrisine bağlıdır. Basınç, emme ve Sürtünme etkileri birleştirilerek hesaba alınır. Bir yapının bütününde rüzgar yükü bileşkesinin büyüklüğü [2];

$$W = C_f . q . A \quad kN \quad (3.2)$$

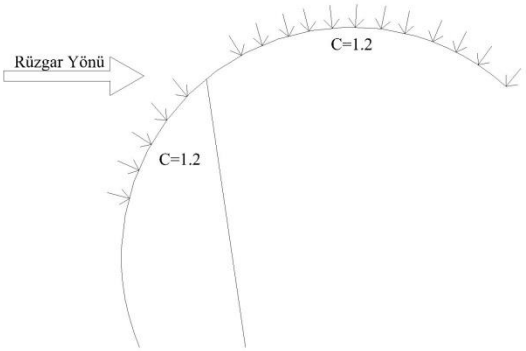
Formülü ile bulunur.
Burada;
C_f= Aerodinamik yük katsayısı
q= (Emme hız basıncı) Kn/m²
A= Etkilenen yüzey alanı, m²
C_f=Yük katsayısı'nın belirlenmesi yapı geometrisine ve rüzgar esiş yönüne bağlıdır.



Şekil 4. Stadyum çatısı için (C_f) kat sayısı gösterimi [8].



Şekil 5. Rüzgar yönü saha içerisinden tribüne doğru



Şekil 6. Rüzgar yönü saha dışarısından tribüne doğru

Yapının şekline ve rüzgar yönüne bağlı olarak C_f katsayıları, Şekil 5'deki gibi rüzgarın saha içerisinden tribüne doğru esme durumunda iç tarafta oluşan basınç ve dış tarafta oluşan emme toplanarak C_f=0,8+0,4=1,2 olarak hesaplanmıştır. Şekil 6'daki gibi rüzgarın saha dışarısından tribüne doğru esme durumunda ise C_f=0,4+0,8=1,2 olarak hesaplanmıştır. Eğimli çatıya benzetilmiş olan yüzeyler de rüzgarın ilk eğimli yüzeye temas ettiği kısımda C_f=(1,2 sinα-0,4) değeri kadar basınç veya emme oluşmaktadır. α=23° için, C_f=1,2×sin23–0,4=0,069 olarak hesaplanır. Fakat rüzgarın saha dışından esmesi durumunda aynı yüzeyde C_f=0.4 kadar emme oluşmaktadır. Emniyetli tarafta kalmak için x yönünde esen rüzgar için eğimli yüzeylerde C_f=0,4 emme olarak kabul edilmiştir. Bu bölgelerde toplam C_f=0,8+0,4=1,2 olarak alınmıştır. Rüzgarın y yönünde esmesi durumunda C_f katsayıları daha olumsuz bir durum oluşturmayacaktır.

Çizelge 1. Yüksekliğe bağlı olarak rüzgar hızı ve emme [2].

Zeminden Yükseklik m	Rüzgar Hızı V m/s	Emme q Kn/m²
0-8	28	0,5
9-20	36	0,8
21-100	42	1,1
>100	46	1,3

Yapının zeminden yüksekliği yaklaşık 20 m olmasından dolayı Çizelge 1'den q= 0,8 kN/m² olarak alınır.

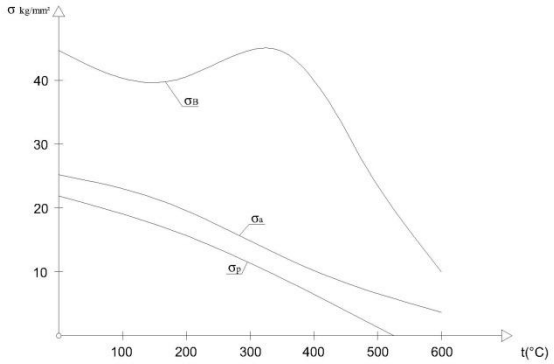
Rüzgar yükleri aşıklara yayılı yük olarak atanmıştır. İki aşık arası mesafe 2,5 m ise, bir aşığa gelen rüzgar yükü ortalama, denklem (3.2)'den W= 1,2.0,8.2,5=2,4 kN/m olarak hesaplanır.

3.4 Aydınlatma Yükleri

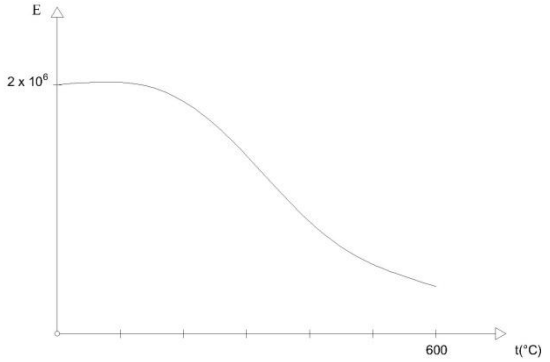
Stadyum yapılarında aydınlatma ekipmanlarının bir kısmı çatılara yerleştirildiğinden, aydınlatma yükleri ölü yük olarak alınmıştır. Aydınlatma yükü çatı uç bölgesi boyunca 0,5 kN/m olarak alınmıştır.

3.5 Isı Farklılıkları

Çelik malzemesinde, ısı yükseldikçe mukavemetinde ve elastik modülünde hızlı düşüşler görülür [4].



Şekil 7. Gerilme – Sıcaklık ilişkisi [4].



Şekil 8. Elastisite modülü – Sıcaklık ilişkisi[4].

Çelik iyi bir ısı ileticisi olduğundan, ısı nedeniyle mukavemeti zayıflayan bölge hızla yayılır. Bu sebepten dolayı sıcaklık ve ısı farklılıkları çelik yapıda hesaba katılmıştır[4].

Yapının yapılacağı ilde yaşanan hava koşulları göz önüne alınarak, en yüksek sıcaklık 30° ve en düşük sıcaklık -1 ° olarak ölçülmüştür. ısı farklılığı 31° olarak alınmıştır.

3.6 Deprem Yükleri

Binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman tanım Alanında hesap yöntemleridir. Verilen yöntemler, tüm binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılabilir[1].
Deprem yükleri, DBYBHY-2007 madde 2.8.5'e göre eşdeğer ve mod birleştirme yöntemlerine göre hesaplanıp, taban kesme kuvvetleri dengelenecektir. Yapının dizaynı mod birleştirme yöntemine göre yapılacaktır.

3.6.1. Eşdeğer deprem yöntemi

$$Vt=W.S(T).A_0.I/R \quad (3.3)$$

Burada,
Vt = Taban kesme kuvveti.
W = Yapı ağırlığı
S(T) = Spektrum katsayısı.
A_0 = Etkin yer ivmesi katsayısı.
I = Bina Önem katsayısı.
R = Taşıyıcı sistem davranış katsayısı.

W yapı ağırlığı;

$$W=g+n.q \quad (3.4)$$

Denklemiyle hesaplanmaktadır. g, yapının zati ağırlığı ve ölü yükler toplamıdır.

Çizelge 2. Hareketli yük katılım katsayısı (n) [1].

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.6
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.3

Çizelge 3'den spor tesisleri için hareketli yük katılım katsayısı n=0,6 olarak alınır.
W=g+0,6q =408,9557 ton bulunur.

Spektrum katsayısı S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T'ye bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır[1].

$$(ST)=1+1.5\ T/TA \quad (0\leq T\leq TA) \quad (3.5)$$

$$(ST)=2.5\ (TA<T\leq TB) \quad (3.6)$$

$$(ST)=2.5(TB/T)^{0.8} \quad (TB<T) \quad (3.7)$$

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^{N} m_i\, d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^{N} F_{fi}\, d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.8)$$

Doğal titreşim periyodu (T) , denklem (3.8) aracılığı ile

T_x=0,2397 sn

T_y=0,8280 sn olarak bulunmuştur.

Çizelge 3. Spektrum karakteristik periyotları (TA,TB) [1].

Yerel zemin sınıfı	TA (saniye)	TB (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Yapının yerel zemin sınıfı Z3 olduğu için TA=0,15 TB=0,60 olarak alınmıştır.

T_x=0,2397 sn ve $TA<Tx<TB$ olduğundan, denklem (3.6)'dan S(T)= 2,5 olarak bulunur.

Ty=0,8280 sn. ve TB<Ty olduğundan Denklem (3.7)'dan S(T)= 2,5 . $(0,60/0,8280)^{0,8}$ = 1,932 olarak bulunur.

Çizelge4. Etkin yer ivmesi katsayısı (A_0) [1].

Deprem Bölgesi	A_0
1	0,40
2	0,30
3	0,20
4	0,10

Yapının Yapıldığı bölge 1. Derece deprem bölgesinde yer aldığından dolayı A_0=0.40 olarak alınmıştır.

Çizelge 5. Bina önem katsayısı (I) [1].

Bina kullanım amacı veya türü	Bina önem katsayısı (I)
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2

Spor tesisleri için Bina önem katsayısı (I)=1,2 alınmıştır.

Yapının Süneklik düzeyi;

Birinci ve ikinci deprem bölgelerinde, bina önem katsayısı I = 1,2 ve I=1 olan çelik binalarda HN≤16 m olmak koşulu ile, sadece süneklik düzeyi normal çerçevelerden oluşan taşıyıcı sistemler kullanılabilir. Bu koşul dışında kalan çelik binalarda süneklik düzeyi yüksek kabul edilecektir[1].

Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R);

Her iki yönü de süneklik düzeyi yüksek olarak kabul edilen yapıda taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R) aşağıdaki gibi belirlenmiştir.

Ele alınan stadyum çatısı x yönünde, *DBYBHY-2007 Tablo 2.5.* Çelik yapılar için Taşıyıcı sistem davranış katsayısı (R)'de belirtildiği gibi, "Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar" gibi düşünülebilir[1]. Bu duruma bağlı olarak Süneklik düzeyi yüksek sistemler için x yönünde, taşıyıcı sistem davranış katsayısı R=4 alınmıştır.
y yönde deprem yüklerinin tamamı çaprazları merkezi sistemle taşıtıldığı süneklik düzeyi yüksek binalar için R=5 alınmıştır. [1].

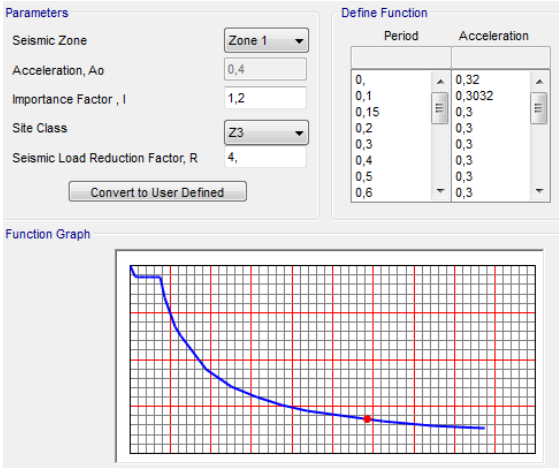
$Vt=W.S(T).A_0.I/R$ formülünden,

Vt_x = 408,955.2,5.0,4.1,2/4 = 122,69 Ton.
Vt_y = 408,955.1,932.0,4.1,2/5 = 75,85 Ton.
Olarak hesaplanmıştır.

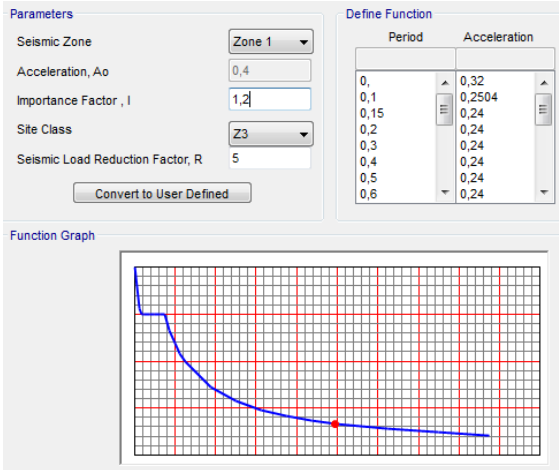
3.6.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir[1].

Modal analiz için sap 2000 programında tanımlanmış olan "response spectrum TSC-2007" modülü kullanılmıştır.



Şekil 9. X yönü için ivme spektrumu [3].



Şekil 10. Y yönü için ivme spektrumu [3].

R=4' için Şekil 9, R=5' için Şekil 10 kullanılmıştır.
Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, y , göz önüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman %90'ından daha az olmaması gerekmektedir[1].

$$\sum_{n=1}^{Y} M_{xn} = \sum_{n=1}^{Y} \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^{N} m_i$$

$$\sum_{n=1}^{Y} M_{yn} = \sum_{n=1}^{Y} \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^{N} m_i \quad (3.9)$$

Mod birleştirme yöntemine göre elde edilen taban kesme kuvvetleri;

V_{tx}=20,176 ton.
V_{ty}=8,40 ton.

Mod birleştirme yönteminde elde edilen değerler, eşdeğer deprem yöntemine kıyasla çok küçük çıkmıştır. Eşdeğer taban kesme kuvvetleri ile mod birleştirme taban kuvvetlerinin dengelenmesi aşağıdaki gibi yapılacaktır.
Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, bina toplam deprem yükü VtB'nin, eşdeğer deprem yükü yönteminde bina toplam deprem yükü Vt'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda (VtB < βVt), Mod Birleştirme yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yer değiştirme büyüklükleri, Denk.(3.10)'e göre büyütülecektir[1].

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (3.10)$$

A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denk.(10)'da β=0.90, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise β=0.80 alınacaktır[1].

Yapıda A1 Düzensizliğinin araştırılması;
Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelenmeye oranını ifade eden burulma düzensizliği kat sayısı ηbi'nin 1,2 den büyük olması durumu. $\eta bi=(\Delta i)_{max}/\Delta i)ort > 1,2$. Göreli kat ötelenmelerinin hesabı ±%5 ek dış merkezlilik etkileride göz önüne alınarak yapılmıştır[1].

$$\eta bi=(\Delta i)_{max}/\Delta i)ort > 1,2 \quad (3.11)$$

X yönü için;

$(\Delta i)_{max}$=0,009452 m

$(\Delta i)_{min}$=0,008776 m

$(\Delta i)_{ort}$= 0,009114 m

ηbi=0,009452/0,009114= 1,03 < 1,2

Y yönü için;

$(\Delta i)_{max}$=0,000157 m

$(\Delta i)_{min}$=0,00144 m

$(\Delta i)_{ort}$= 0,0001505 m

ηbi=0,000157/0,0001505= 1,04 < 1,2

A1 Düzensizliği yoktur.

B2 Düzensizliğinin araştırılması;

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama göreli kat ötelemesi oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı;

$$\eta_{ki}=(\Delta_i/h_i)ort/(\Delta_{i+1}/h_{i+1})>2.0 \quad (3.12)$$

veya

$$\eta_{ki}=(\Delta_i/h_i)ort/(\Delta_{i-1}/h_{i-1})>2.0 \quad (3.13)$$

Göreli kat ötelenmelerinin hesabı ±%5 ek dış merkezlilik etkileri de göz önüne alınarak yapılmıştır[1]. Tek katlı yapıda B2 düzensizliği yoktur.
B3 Düzensizliği araştırılması;
Söz konusu yapıda, taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, yada üst kattaki perdelerin altta kolonlara oturtulması durumu olmadığı için B3 düzensizliği yoktur.[1].
Yapıda, A1,B2, veya B3 düzensizliklerinden hiçbiri bulunmadığı için β=0.80 alınmıştır.
Mod birleşmede kullanılacak taban keme kuvvetleri Eşdeğer deprem yükünün %80' i olacak şekilde aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.
Buna göre, x yönünde , VtB = 122,69 ton olarak bulunmuştu. Bu değer denklem (3.10)'da belirtildiği gibi dengelenerek 122.67×0,80=98,136 ton. Olarak hesaplanmıştır.

y yönünde, 94,81×0,80 = 75,848 ton olarak hesaplanmıştır.

Sap 2000 programında hesaplanan, mod birleştirme yöntemine ait taban kesme kuvvetleri arttırılarak yukarıda hesaplanan değerlere yaklaştırılmıştır. Ayrıca kütle katılım oranı %90'ın üzerinde olacak şekilde mod sayısı düzenlemiştir.

4 Kombinasyonlar

Kombinasyonlar, yapının maruz kalacağı en olumsuz durumlar göz önüne alınarak aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Düşey Yük Birleşimleri

$G+Q$ (4.1)

$G+ısı$ (4.2)

Düşey yük + Deprem Birleşimleri

$G+Q\pm E_{x1}\pm 0,3E_y$ (4.3)

$G+Q\pm E_{x2}\pm 0,3E_y$ (4.4)

$G+Q\pm 0,3E_x\pm E_{y1}$ (4.5)

$G+Q\pm 0,3E_x\pm E_{y2}$ (4.6)

$0,9G\pm E_{x1}\pm 0,3E_y$ (4.7)

$0,9G\pm E_{x2}\pm 0,3E_y$ (4.8)

$0,9G\pm 0,3E_x\pm 0,3E_{y1}$ (4.9)

$0,9G\pm 0,3E_x\pm 0,3E_{y2}$ (4.10)

Düşey yük + Rüzgar birleşimleri

$G+Q\pm W_x$ (4.11)

$G+Q\pm W_y$ (4.12)

$0,9G\pm W_x$ (4.13)

$0,9G\pm W_y$ (4.14)

Burada,

G = Sabit yüklerden oluşan iç kuvvetler.

Q = Hareketli yüklerden oluşan iç kuvvetler.

Ex1,Ex2= (x) Doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

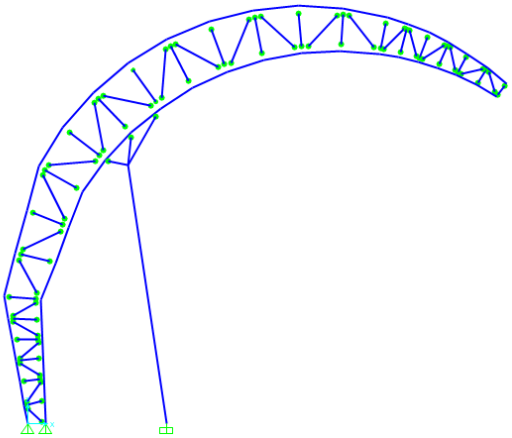
Ey1,Ey2= (y) Doğrultusunda kat kütle merkezinin, bu doğrultuya dik doğrultudaki bina genişliğinin +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara uygulanan deprem yüklerinden oluşan iç kuvvetler.

Wx,Wy = Sırasıyla (x) ve (y) doğrultularındaki rüzgar yüklerinden oluşan iç kuvvetlerdir[11].

5 Taşıyıcı Sistem Dizaynı

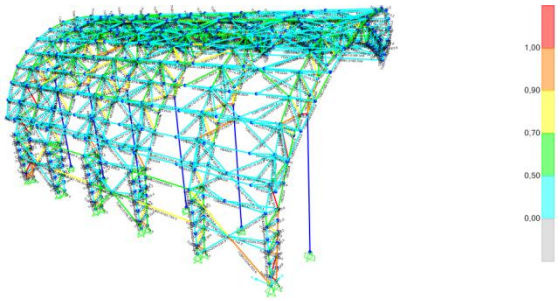
5.1 Makaslı Sistem Dizaynı

Yapının taşıyıcı sistemini oluşturan dairesel kolonlar şekil 11'de görüldüğü gibi makaslı tasarlanmıştır. Makasın iç kısmındaki elemanlar mafsallı olarak teşkil edilmiştir.



Şekil 11. Makaslı sistem taşıyıcı kolon

Makaslı sistem gerilme ve deplasmanları, bölüm 3'de bahsedilen yükler , ve bölüm 4' de yer alan kombinasyonlar kullanılarak Sap 2000 programında analiz edilmiştir. Dizayn kodu olarak AISC-ASD89 kullanılmıştır. Gerilme sonuçları Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. AISC-ASD89'a göre gerilme dağılımı

Gerilmelerin 1'in altında olduğu görülmektedir.

Konsol uç deplasmanları için British National Annex 1993-1-1 den faydalanılmıştır. Buna göre, konsol ucunda düşey ve yatay deplasman limiti, Değişken yükler altında L/180, ayrıca sabit yükler altında ise yine L/180 olarak kabul edilmiştir[6].

$L/180$ (5.1)

Burada, L konsol boyudur.
L : 2200 cm
Deplasman limiti : 2200 / 180 = 12,22 cm dir.
Yatay Deplasman limitleri, DBYBHY-2007, madde 2.10 a göre belirlenmiştir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (5.2)$$

Burada Δι, ardaşık iki kat arsındaki yer değiştirme farkını ifade eden azaltılmış göreli kat ötelenmesidir. di ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için i'inci ve (i-1)'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yer değiştirmeleri göstermektedir.

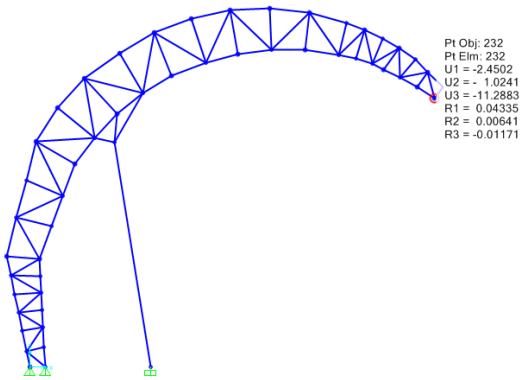
$$\delta_i = R\,\Delta_i \quad (5.3)$$

Burada δ i , her bir deprem doğrultusu için binanın i' inci katındaki kolon veya perdeler için etkin göreli kat ötelenmesidir.

$$\frac{(\delta_i)_{max}}{h_i} \leq 0.02 \quad (5.4)$$

hi = 2200 cm, R = 5

Δ limit = 2200 x 0,02 / 5 = 8,8 cm
Denklem (5.4)'de verilen koşulun binanın herhangi bir katında sağlanmaması durumunda , taşıyıcı sistemin rijitliğini arttırarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.
Şekil 13'de yapının yapının y yönündeki deplasmanı U2= 1,024 cm, Δ limit=8,8 cm'den küçük olduğu için uygundur.



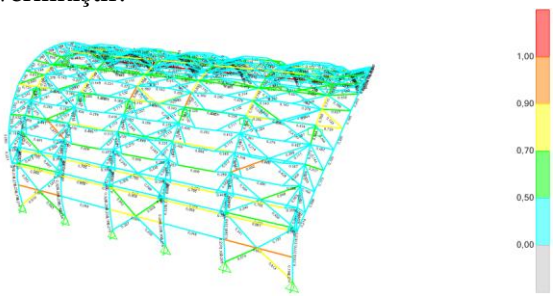
Şekil 13. Deplasman değerleri

Makaslı sistem için yapılan analiz sonrasında gerilmelerin ve deplasman değerlerinin uygun olduğu görülmüştür. U3 düşey deplasman değeri 11,28 cm sınır değer olan 12,22 cm ye çok yakındır.

5.2 Dolu Gövdeli Sistem Dizaynı

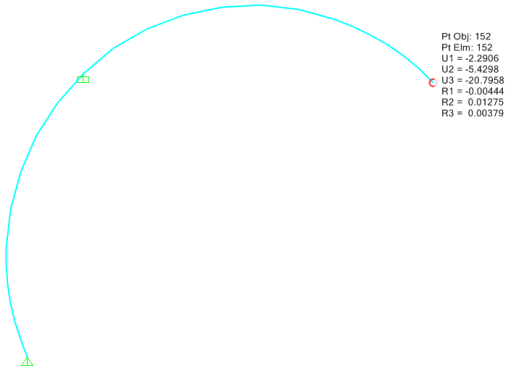
Bu bölümde sistemdeki aşıklar ve yükler değişmeden, sadece ana taşıyıcı kolonlar dolu gövdeli olarak dizayn edilecektir. Kolon kesitlerinin değişken olmadığı kabul edilecektir.
Deprem yükü hesabı sistemin ağırlığına bağlı olduğu için, taban kesme kuvvetleri yeniden hesaplanmıştır.
Dolu gövdeli makas dizaynında, deplasmanlar makaslı sistemin deplasmanıyla yakın olacak şekilde dizayn edilmiştir.
En uygun Profilin tespitinin yapılabilmesi için gerilme ve deplasmana bağlı denemeler yapılmıştır.
I 1300/500/50 yapma profilin gerilme ve deplasman hesapları,

Bölüm 4'de belirtilen kombinasyonlar altında sap 2000 programında statik hesabı yapılan sistemin gerilme dağılımı şekil 14'de verilmiştir.



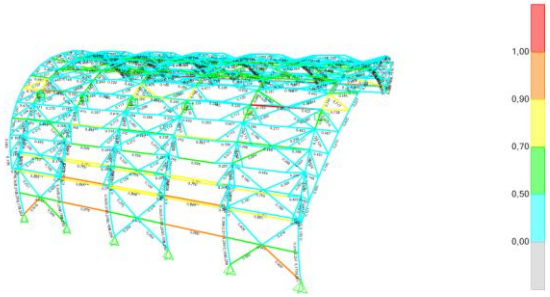
Şekil 14. 1300/500/50 Profiline göre gerilme dağılımı

Şekil 14'de gerilme dağılımı 1' in altında olduğu görülmektedir.
I 1300/500/50 profili kullanılan sistemde deplasman değerlerinin araştırılması,



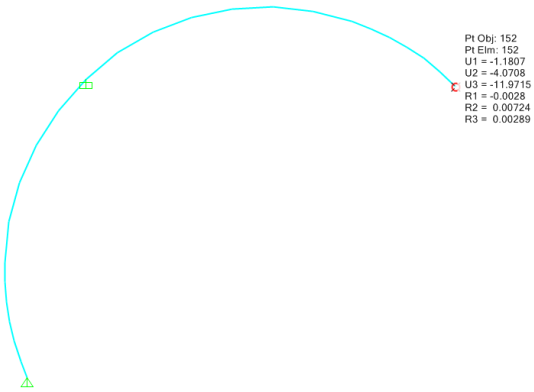
Şekil 15. 1300/500/50 Profiline deplasman

Konsolda oluşan deplasman U3= 20,79 cm olduğu görülmektedir. Bu değerin Sınır değer olan L/180, 2200/180=12,22 cm den fazla olduğu görülmektedir.
Deplasman değerinin düşürülebilmesi için profil kalınlaştırma yoluna gidilmiştir.
I 1500/500/50 profili kullanılarak gerilmeler ve deplasmanlar kontrol edilecektir.



Şekil 16. 1500/500/50 Profiline Göre gerilme dağılımı

Şekil 16'ya göre I 1500/500/50 yapma profilinde gerilmelerin 1'in altında olduğu görülmektedir.



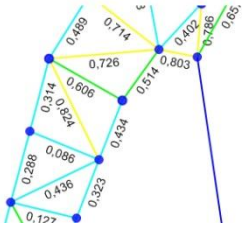
Şekil 17. 1500/500/50 Profiline deplasman

Konsolda oluşan deplasman U3= 11,97 cm olduğu görülmektedir. Bu değerin Sınır değer olan L/180, 2200/180=12,22 cm den az olmasından dolayı uygun olduğu gözükmektedir.

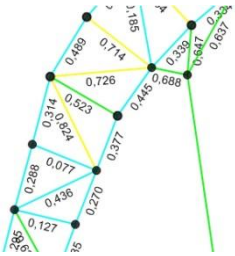
6 Yapının Farklı Bir Koşulda Analiz Edilmesi Durumu

Ele alınan yapı, zemin sınıfı "Z3" ve 2. Dereceden deprem bölgesi için analiz edilmiş ve zemin sınıfının "Z3" olduğu 1. Derece deprem bölgesi durumla kıyaslanmıştır.

2. Derece deprem bölgesinin seçilmesi durumunda özellikle depremli kombinasyonlardan etkilenen çubukların gerilmelerinde bir miktar düşüş olduğu görülmüştür. Bunun başlıca sebebi 2. Derece deprem bölgelerinde etkin yer ivme katsayısı (A_0) = 0,30 olarak alınmasıdır. A_0 değerine bağlı olarak taban kesme kuvveti ve yapıya etkiyen toplam deprem yükü azalmaktadır. Deplasman değerleri kontrol altında tutulmak şartıyla gerilme değerleri düşen elemanların kesitleri düşürülerek maliyet bir miktar daha düşürülebilmektedir.



Şekil 18. 1.Derece deprem bölgesinde oluşan gerilme dağılımı



Şekil 19. 2.Derece deprem bölgesinde oluşan gerilme dağılımı

Şekil 18 ve 19'da aynı elemanların farklı zeminlerdeki gerilmeleri görülmektedir.

7 Bulgular

Ele alınan yapıda, yapılan dizayn sonucunda makaslı ve dolu gövdeli sisteme ait çelik miktarları ve 2015 birim fiyatlarına göre maliyetleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Çizelge 6. Makaslı sistemde tonaja bağlı maliyet

Çelik Türü	Çelik Ağırlığı (Kg)	2015 (Malzeme + İşçilik Birim Fiyat) (TL)	Fiyat (TL)
St 37	89388	4	357.552

Çizelge 7. Dolu Gövdeli sistemde tonaja bağlı

Çelik Türü	Çelik Ağırlığı (Kg)	2015 (Malzeme + İşçilik Birim Fiyat) (TL)	Fiyat (TL)
St 37	271093	4	1.084.372

Makaslı ve dolu gövdeli sistemlerle yapılan hesaplar sonucunda, makaslı sitemin maliyet fiyatı 357.552 tl, dolu gövdeli sistemin fiyatı 1.084.372 tl olarak bulunmuştur. Dolu gövdeli sistemin maliyet fiyatı yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu görülmüştür.

Bu fiyatlar, çelik yapının yapılacağı bölgeye göre de değişiklik göstermektedir. Çeliğin kolay temin edildiği bölge veya ülkelerde çelik yaygın olarak kullanıldığı için daha zor temin edilen bölgelere kıyasla daha ucuza temin edilebilmektedir.

8 Sonuçlar

Bu çalışmada, 22 m'lik konsol boyu ve yükleriyle büyük gerilmelere maruz kalan bir çelik stadyum çatısından yola çıkılarak, çelik yapılarda seçilen taşıyıcı sisteme bağlı maliyetin ne derece önemli olduğu ortaya konulmuştur.

Dolu gövdeli sistemde gerilmelerin çok düşük olmasına karşın konsol boyundan kaynaklanan yüksek deplasman değerleri kesitlerin arttırılmasına sebep olmuştur. bu durum maliyeti bir miktar daha arttırmıştır.

Dolu gövdeli sistem, bu tarz bir yapıda ekonomik çıkmamış olsa da başka mimari şekillerde daha ekonomik çıkabilir. Bu sebepten dolayı pek çok taşıyıcı sistem çeşitliliğine sahip olan çelik yapılarda maliyet açısından en uygun taşıyıcı sistemin araştırılmasında fayda olacaktır.

Farklı deprem bölgelerinde aynı yük ve şartlara maruz kalan yapılar üzerine yapılan analiz sonucunda, deprem bölgesi durumu ve yapıda oluşan gerilme miktarlarının doğru orantılı olduğu görülmüştür. Diğer bir deyişle bir bölgenin depremselliği arttıkça gerilmelerde ona bağlı artmaktadır. Buna bağlı olarak aynı koşullara sahip yapıların farklı deprem bölgelerinde maliyetleri farklılık göstermektedir.

9 Referanslar

[1] Bayındırlık ve iskan bakanlığı, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar hakkında Yönetmelik , 2007; 159.

[2] TS498, 2000. Türk Standartları Ensütüsü, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Ankara, 2000; 20.

[3] SAP2000. Integrated finite element analysis and design of structures basic anlysis reference manual, computers and Structures Inc. Berkeley (CA,USA).

[4] Odabaşı, Y. Ahşap ve Çelik yapı Elemanları. Çağlayan Beta basım yayım dağıtım, İstanbul, 2000; 138.

[5] TS648, 2000. Türk Standartları Ensütüsü, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara, 1980;48.

[6] BS NA EN 1993-1-1, British Standard, UK National Annex to Eurocode 3. Design of steel structures. General rules and rules for buildings, U.K, (2005), 18s.

[8] Topçu, A. Betonarme 2, Eskişehir Osman Gazi Üniversitesi, Eskişehir, 2008; 50.

[9] 2015 yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri, T.C Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2014 yılı Yapı işleri inşaat Birim Fiyat Tarifleri eki Fiyat Listesi, Ankara, 2014; 90.

[10] Özmen, G., Orakdöken, E., Darılmaz, K. Örneklerle Sap 2000-V12. Birsen Yayınevi , İstanbul, Türkiye, 2009; 490.

[11] Aydınoğlu, N., Celep, Z., Sucuoğlu, H. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik Açıklamalar Ve Örnek Kitabı. Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı , İstanbul, Türkiye, 2009; 639.

[12] TS EN-1991-1-4, Türk Standartları Ensütüsü,Yapılar Üzerindeki etkiler-Genel etkiler-Rüzgar etkileri , Ankara, 2007; 122.