



TONOZ BİÇİMLİ ÇİFT KATLI UZAY KAFES SİSTEMLERİN
-ÇEŞİTLİ KRİTERLER AÇISINDAN-
ETKİNLİĞİNİN KARŞILAŞTIRILMASINA YÖNELİK BİR ARAŞTIRMA

(A SEARCH FOR THE EFFECTIVENESS COMPARISON
-BY VARIOUS CRITERIA-
OF VAULT SHAPED DOUBLE LAYERED SPACE TRUSSES)

Atila ORBAY*, Kutluğ SAVAŞIR*

ÖZET/ABSTRACT

Uzay kafes sistemler, konvansiyonel sistemle yapılan ve aynı alanı örten büyük açıklıklı uygulamalara göre çok daha hafif olmakta ve ekonomik sonuçlar üretmektedir. Öte yandan, konvansiyonel sistemlerle geçilemeyen açıklıkları uzay kafes sistemler rahatlıkla geçebilmektedir. Böylece, uzay kafes sistemler en az malzeme ve en fazla verimin alındığı etkin strüktürler arasında mimaride önemli bir yer tutarlar. Sistemi oluşturan parçaların defalarca sökülüp takılabilmesi ve onarımının da kolay olması olumlu özelliklerindedir.

Çalışmada, tonoz biçimli tek eğriliği geometriye sahip çift katlı uzay kafes sistemler etkinlikleri ve ağırlıkları açısından karşılaştırılmıştır. Tonoz biçimindeki sistemlere eğriliğini veren yay; çember, parabol ve yarım elips geometrisinde alınmış ve bu formlar etkinliklerini belirleyen geometrik faktörler açısından incelenmişlerdir. Bu geometrik faktörler geçilen açıklık, sistemin geometrik yüksekliği ve sistemdeki çubuk elemanların boylarıdır. Bu geometrik koşullara bağlı olarak uygun form ve çözüm araştırılarak sonuçlar çıkarılmıştır. Çıkan sonuçlar grafik ve çizelgeler yardımıyla karşılaştırılarak sunulmuştur.

Space trusses are more economical and lighter structures than the ones that are built according to the conventional systems that cover the same large areas. Besides, space trusses can easily cover the spaces with large spans that can not be covered by conventional systems. Thus, in architecture, space trusses are in a special position among the effective structures that have best performance with least material. Mounting and dismounting of the pieces that form the system and the ease in repairing are the positive features of the system.

In the study, vault shaped single curvature double layered space trusses are compared by their effectiveness and weight. The arc that gives their curvature to the vault shaped systems is taken as circle piece, parabola and half ellipse forms. The effectiveness of these forms is investigated by various geometric factors. These geometric factors are the span covered, geometric height of the structural system and the lengths of the truss members. The most appropriate form and solution are searched and results are obtained with respect to those geometric factors. The results are presented and compared by the help of tables and graphics.

ANAHTAR KELİMELELER/KEYWORDS

Uzay kafes, Tonoz, Strüktür geometrisi, Çift katlı sistem, Büyük açıklık
Space truss, Vault surface, Structural geometry, Double layered system, Large span

1. GİRİŞ

Uzay kafes taşıyıcı sistemler, XX. yüzyılın başlarında geliştirilmiş olup, 1950'lerden sonra mimarlık dünyasında sıkça uygulanmıştır. Sistemin adındaki "uzay" kelimesi; sistemi oluşturan bileşenlerin tümünün tek bir düzlemde bulunmayıp, birbirini kesen birden fazla düzlemde bulunması sonucu oluşan üçüncü boyutu ifade etmektedir. Bileşenler tarafından meydana getirilen sistem kafes şeklinde olduğundan, bu sisteme uzay kafes taşıyıcı sistemler adı verilmektedir. Taşıyıcı sistemi oluşturan iki ana bileşen vardır: Bunlar; düğüm noktaları (küre elemanlar), çelik çubuklardır (boru elemanlar).

Genel olarak iki ana bileşenden kurulabilmesi, bu sistemleri prefabrikasyon için ideal kılmaktadır. Uzay kafes sistemleri oluşturan bileşenler, standart ölçü ve şekildedirler. Prefabrikasyonun hızlandığı son otuz yıllık dönemde uzay kafes sistemler etkin özellikleri bakımından mimaride önemli bir yer tutmaktadır. Aynı uzunluğa sahip olan bir çok çubuğun kullanılması sonucu sistem modüler olmaktadır. Bileşenler, klasik yapı sistemlerinde kullanılan bileşenlere göre hafif olmakla birlikte çok rijit üç boyutlu yapılar oluşturmaktadır. Seri üretim ile üretilen bu elemanlar fazla hünere istemeden kolay ve çabuk monte edilirler. Parçaların küçüklüğü ve hafifliği nedeni ile kolay taşınırlar ve fabrikalarda kalite kontrolünden geçtikleri için de boyutlarında, milimetrik duyarlılıklar vardır.

Uzay kafes sistemleri, özellikle geniş açıklıkları mekan ortasında kolon kullanmadan veya az sayıda kolon kullanarak örtmede son derece elverişlidir. Son yıllarda sergi salonları, kiliseler, yüzme havuzları, endüstri binaları, hangarlar, okul binaları ve alışveriş merkezleri vb. gibi geniş açıklıkları olan ve sık düşey taşıyıcı istenmeyen hacimleri örtmek için kullanılmışlardır. Doğru olarak planlandığı takdirde uzay kafes sistemler, çok büyük açıklık geçen diğer sistemlere göre daha az malzeme gerektirmektedir. Böylece daha ekonomik olmaktadır. Ayrıca sistemi oluşturan parçaların defalarca sökülüp takılabilmesi, dolayısıyla onarımının kolay olması da bir diğer olumlu özelliğidir.

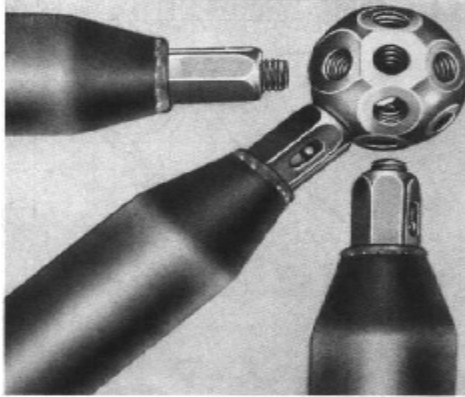
2. SİSTEMİ OLUŞTURAN BİLEŞENLER

2.1. Düğüm Noktaları

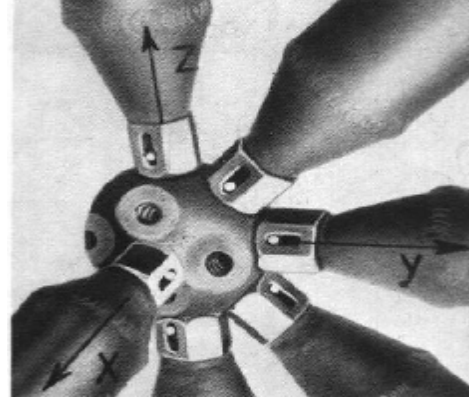
Düğüm noktaları, çelik çubukları bir noktada birleştirmeye yarayan ve sisteme gelen tüm dış yüklerin ilk etki ettiği uzay kafes sistem elemanlarıdır. Bu nedenden dolayı uzay kafes sistemlerin en önemli bileşenidir. Düğüm noktalarının farklı şekillerdeki çözümü, farklı sistemleri meydana getirmiştir. Bu sistemler düğüm noktalarının adlarıyla anılmaktadır. Bu sistemlerden en çok kullanılan beş tanesi 'Mero' Sistemi, İçi Boş Küre Sistemi, 'Triodetik' Sistem, 'Unibat' Sistemi ve 'Moduspan' Sistemi'dir. Aralarında en bilineni olan Mero Sistemi'nde kullanılan düğüm noktası örneği [MERO-RAUMSTRUKTUR] Şekil 1 ve Şekil 2'de görülmektedir.

2.2. Çubuk Elemanlar

Uzay Kafes Sistemlerin ikinci önemli bileşeni çelik çubuklardır. Düğüm noktası olarak kürelerin kullanıldığı sistemlerde çubuklar, iki ucuna konik parçaların kaynaklandığı borulardan ibarettir (Şekil 1, Şekil 2). Konik parçalar, çekme ve basınç kuvvetlerinin iletilmesinde kullanılmaktadır. Borular, düğüm noktaları gibi özel üretilen parçalar değildir. Piyasada rahatlıkla bulunan standart yapı profilleri arasından seçilirler. Borusan firmasının ürettiği ve uzay kafes sistemlerde kullanılabilecek çubuk bileşenlerin dış çap, et kalınlığı ve enkesit alanları Çizelge 1'de verilmiştir. Bu çubuklar projenin gerektirdiği uzunluklarda kesilerek sistemde kullanılırlar.



Şekil 1. Düğüm noktası ile çubukların birleştirilmesi



Şekil 2. Cıvatalar sıkıldıktan sonra sistemin görünüşü

Çizelge 1. Uzay kafes sistem hesabında kullanılan çubuklar (Kaynak: Borusan Kataloğu)

No	Dış Çap (cm)	Et Kalınlığı (cm)	Alan (cm ²)
1	2.13	0.265	1.5527
2	2.69	0.265	2.0189
3	3.37	0.325	3.1090
4	4.24	0.325	3.9973
5	4.83	0.325	4.5997
6	6.03	0.365	6.4960
7	7.61	0.365	8.3077
8	8.89	0.405	10.7958
9	11.43	0.450	15.5226
10	13.97	0.485	20.5467
11	16.51	0.485	24.4169
12	21.90	0.400	27.0177
13	21.90	0.500	33.6150
14	21.90	0.630	42.0977
15	21.90	0.710	47.2649
16	21.90	0.800	53.0301
17	21.90	0.880	58.1119
18	27.30	0.800	66.6018
19	27.30	0.880	73.0408
20	27.30	1.000	83.6239
21	32.39	0.880	87.1126
22	32.39	1.000	98.6146

3. STRÜKTÜR GEOMETRİSİ AÇISINDAN SINIFLANDIRMA

Uzay kafes sistemlerin strüktür geometrilerini incelemeyen önce konuyla ilgili kimi kavramları açıklamak uygun olacaktır. Genel olarak strüktür geometrisini oluştururken kullanılan temel geometrik kavramlar; nokta, çizgi, düzlem ve hacimdir. Geometrik olarak eni, boyu ve derinliği sistemin boyutlarına göre çok küçük olan bileşenler “nokta” kavramı ile; iki boyutu üçüncü boyutuna göre çok küçük olan bileşenler çizgi kavramı ile; iki boyutu üçüncü boyutundan çok daha büyük olan bileşenler düzlem; her üç boyutu da büyük ve birbirine yakın olan bileşenler de hacim olarak adlandırılırlar. Buna göre uzay kafes sistemlerdeki düğüm elemanları noktaya, çubuk elemanlar da çizgiye benzemektedir.

Bilindiği gibi uzay kafes sistemler üç boyutlu hacimsel strüktürlerdir. Sistem

geometrisinin türetilmesi için iki farklı yöntem izlenir. Bu yöntemlerden ilki; bir doğru veya bir eğrinin aynı düzlemde bulunan bir eksen etrafında döndürülmesiyle hacimsel bir yüzey türetilmesidir. Örneğin bir çember yayının, merkezinden geçen bir doğru etrafında döndürülmesiyle küre oluşmaktadır. Diğer yöntem ise bir doğru veya eğrinin bulunduğu düzleme dik yöndeki diğer bir düzlem içinde yer alan bir eğri veya bir doğru üzerinde ötelenmesiyle bulunur. Buna göre bir çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir doğru parçası üzerinde ötelerek silindirik yüzeyi, yine aynı çember parçasını ona dik düzlemde yer alan bir başka çember veya parabol yayı üzerinde ötelemekle de hiperbolik paraboloid veya eliptik paraboloid yüzey elde edilmiş olur (Çizelge 2).

Ötelenen yay veya doğru parçasına 'doğuray', üzerinde doğurayın ötelendiği yay veya doğru parçasına da 'doğrultman' denir (Türkçü, 1982). Şekil 3'de doğrultman bir doğru parçası ve doğuray da bir çember yayıdır.

Bu noktada uzay kafes sistemler, strüktür geometrisi açısından incelendiğinde; düzlem yüzeyli ve eğri yüzeyli olarak iki ana gruba ayrılabilir. Diğer bir yaklaşımla uzay kafes sistemler, çubukların bulunduğu katmanlar açısından; tek katlı ve çift katlı sistemler olarak da ikiye ayrılabilir. Uzay kafes sistemlerin kullanılmasıyla elde edilebilen hacimsel örtüler Çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2'deki ilk üç örnek düzlem yüzeyli uzay kafes sistemlere örnek olup dördüncü ve dokuzuncu arasında kalan şekiller tek eğrilikli, diğerleri de çift eğrilikli uzay kafes sistemlere verilen örneklerdir.

Tonoz biçimli uzay kafes sistemler, tek veya çift katlı olarak yapılabilirler. Çizelge 2'de ikinci sıradaki üç örnek tek katlı, üçüncü sıradaki üç örnek de çift katlı tonoz biçimli uzay kafes sistemlere örnektir. Dördüncü sıradaki üç tip ise jeodezik kubbelere örnek olup, son sıradaki üç örnek ise, sırasıyla, eliptik paraboloid, hiperbolik paraboloid ve tor yüzeyli uzay kafes sistemlere aittir.

3.1. Düzlem Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler

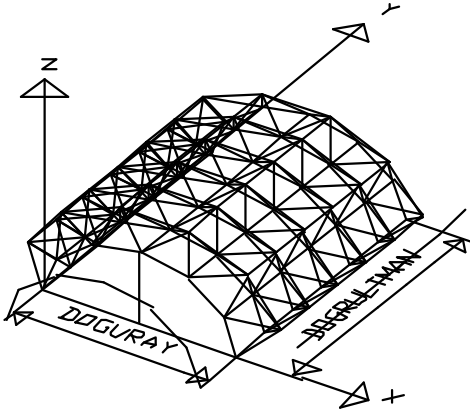
En çok tanınan ve en sık kullanılan uzay kafes sistem örnekleri düzlem yüzeyli olanlardır. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler, doğurayı ve doğrultmanı düz bir çizgi olan sistemlerdir. Yüzey geometrisini oluşturan her iki çizginin de düz olmasından dolayı eğrilikleri yoktur. Düz, eğik ve katlanmış yüzeyler olarak kullanılabilirler (Çizelge 2'deki 1., 2. ve 3. şekiller).

Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler çift katlı üretilmek zorundadırlar. Tek katlı yapılamazlar. Tek katlı yapıldıklarında, mafsallı düğüm noktalarından dolayı sisteme etki eden düşey yükler altında stabilite sağlanamamaktadır. Düzlem yüzeyli uzay kafes sistemler alt ve üst tabaka çubuklarının arasındaki yükseklik sayesinde bir giriş gibi çalışmaktadır. Bundan dolayı bu tür sistemlere 'uzay kafes girişler' de denilmektedir.

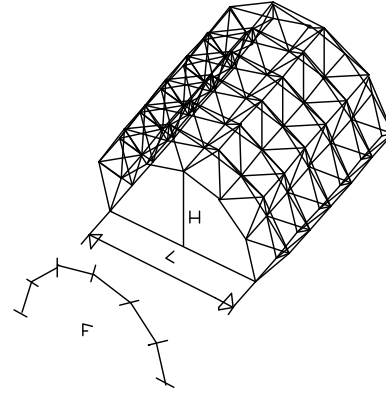
3.2. Eğri Yüzeyli Uzay Kafes Sistemler

Eğri yüzeyli uzay kafes sistemleri elde etmek için doğuray ve doğrultmandan en az birinin eğri olması gerekir. Doğuray ve doğrultmandan yalnız bir tanesi eğri, diğeri doğru parçası ise bu tür sistemler 'tek eğrilikli sistemler', her ikisi de eğri ise 'çift eğrilikli sistemler' adını alır. Tonoz biçimli uzay kafes sistemler tek eğrilikli sistemlere örnek gösterilebilir.

Çift eğrilikli sistemler ise eğriliklerinin yönüne göre ikiye ayrılırlar. Eğrilikleri aynı yönde ise jeodezik kubbe (Çizelge 2'deki 10.,11. ve 12. nolu şekiller) ve eliptik paraboloid (Çizelge 2'deki 13 nolu şekil), eğrilikleri ters yönde ise hiperbolik paraboloid (Çizelge 2'deki 14 nolu şekil) elde edilmektedir. Tor yüzeylerinin ise iç tarafları ters, dış tarafları aynı yönde eğriliğe sahiptir (Çizelge 2'deki 15 nolu şekil).



Şekil 3. Doğuray ve doğrultman Yönleri



Şekil 4. 'L' Açıklığı ve 'H' Yüksekliği.

3.2.1. Tonoz Biçimli Uzak Kafes Sistemler

Doğurayı bir eğri ve doğrultmanı da bir doğru parçası olan ve doğurayın doğrultman üzerinde ötelenmesi sonucu elde edilen sistemlere tek eğrilikli sistemlerdir. Ortaya çıkan geometrik şekil silindire benzediği için bu şekildeki uzak kafes sistemlere silindir yüzeyli veya tonoz biçimli uzak kafes sistemler denilmektedir. Tonoz yüzeyli uzak kafes sistemlere eğriliğini veren doğuray yayıdır. Bu yay geometrik olarak çember yayı, parabol yayı ve elips yayı olmak üzere üç şekilde olabilir. Yayın aldığı isimlere göre de tonoz uzak kafes sistemleri; çember yaylı tonoz sistemler, parabol yaylı tonoz sistemler ve elips yaylı tonoz sistemler olarak üç grupta inceleyebiliriz.

Tonoz biçimli uzak kafes sistemler, tek veya çift katlı olarak yapılabilmektedirler. Çizelge 2'de 4, 5 ve 6 nolu şekiller tek katlı; 7, 8 ve 9 nolu şekiller ise çift katlı tonoz biçimli uzak kafes sistemlere örnektir. Silindir yüzeyli olan diğer strüktür sistemlerine göre (betonarme kabuk, çelik makas, ahşap makas vb.) uzak kafes sisteminin hem daha hafif olduğu hem de maliyetinin daha düşük olduğu bilinmektedir.

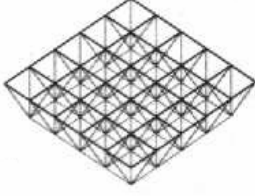

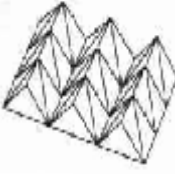
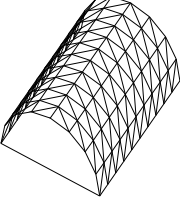
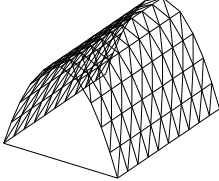
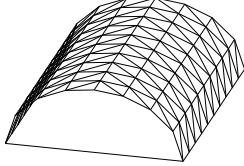
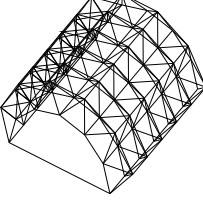
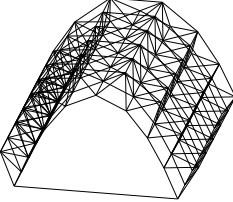
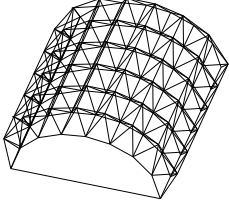



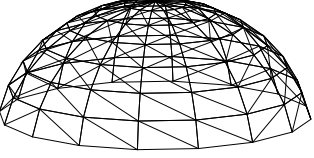
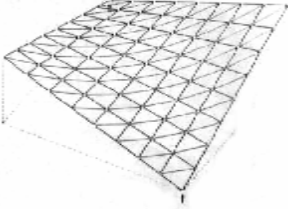
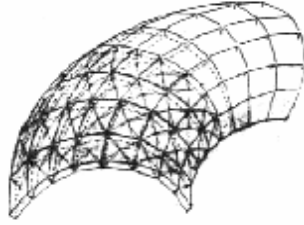
Tonoz biçimli uzak kafesler ile düzlem uzak kafesler karşılaştırıldığında, tonoz şeklinin sisteme getirdiği strüktürel bir üstünlük vardır (Eekhout, 1989). Düzlem uzak kafeslerde, sisteme etki eden dış yükler, etkidikleri yöne dik olan yönde mesnetlere iletilirler. Oysa ki silindir yüzeyli uzak kafes sistemlerde doğuray yönündeki çubuklar arasında kalan açılar 180° den küçüktür. Tonozun ortasında bile bu açı 180° olmamaktadır. Bu da, statik ve stabilite açısından, tonoz biçimli uzak kafes sistemleri daha etkin kılmaktadır. Tonoz biçimli uzak kafes sistemlerde, düzlem olanla aynı koşullardayken, çubuk enkesit alanları azalmaktadır (Makowski, 1966). Buna karşın silindir yüzeyli bir uygulamada yüzey alanı, düzlem uzak kafes kirişlerden fazla olmaktadır.

3.2.2. Sistemin Ağırlığını Etkileyen Geometrik Faktörler

Tonoz biçimli uzak kafes sistemlerde, sistemin geometrisini değiştiren tüm etmenler sistem ağırlığının da değişmesinde etkili olurlar. Bu araştırma kapsamında dikkörtgen alanların üstünü örten tonoz biçimli uzak kafes sistemler incelenmiştir. Sistemin geometrisini değiştiren başlıca etmenleri üç ana başlık altında toplamak olanaklıdır. Bu etmenler:

1. Sisteme eğriliğini veren yayın (doğuray) geçtiği açıklık (L),
2. Sistemin geometrik yüksekliği (H),
3. Sisteme eğriliğini veren yayın geometrisidir (Şekil 4).

Çizelge 2. Strüktür geometrisi açısından uzay kafes kiriş örnekleri

 1	 2	 3
 4	 5	 6
 7	 8	 9
 10	 11	 12
 13	 14	 15

Bu araştırma kapsamında ilk iki etmene verilen değerler belli aralıklarla artırılmakta ve bu değişikliğin sistemdeki toplam çubuk ve düğüm noktası ağırlığına olan etkileri hesaplanmaktadır. Bulunan toplam çubuk ve düğüm noktası ağırlığı değerleri, sistemin kapladığı alana bölünerek birim ağırlık değerleri bulunmaktadır. Çizelge 3'te yer alan değerler bu üç etmenin değişmesi sonucu elde edilen birim ağırlık değerleridir.

4. YÖNTEM

Sisteme eğriliğini veren yayın geçtiği açıklık (L) için, çalışmada, 30 m'lik açıklıktan başlayarak, 5 m aralıklarla 60 m'ye kadar olmak üzere, yedi açıklık değeri öngörülmüştür. Buradaki her bir açıklık değeri için sekiz ayrı geometrik yükseklik (H) değeri (5 m'den başlamak üzere 22.5 m'ye kadar 2.5 m aralıklarla) uygulanarak hesaplar gerçekleştirilmiştir. Burada, geometrik yükseklik teriminden anlaşılması gereken, sistemin alt katında yer alan çubuklarla mesnet noktalarının kotu arasında kalan en büyük yüksekliktir. Üçüncü etmen olarak da doğurayın geometrik biçimi ele alınarak değiştirilmiştir. Tonoz biçimli uzay kafes sistemlerde doğuray; çember, parabol veya elips yayı olmaktadır. Bu üç farklı kesit geometrisi için verilen bu açıklık ve yükseklik değerleri uygulanmıştır.

Bilindiği üzere, bir doğru üzerinde olmayan üç noktadan yalnız bir tek çember veya parabol yayı geçer. Oysa, bir doğru üzerinde olmayan üç noktadan, merkezlerinin konumuna göre, çok sayıda elips veya elips yayı geçmektedir. Bu özelliğinden dolayı, biçimi elips olan tonoz yüzeyler incelenirken konu dağılacığından, bir kısıtlama getirilerek, yalnız yarım elips formlar araştırmaya katılmış ve yükseklik olarak yarım elipsten daha küçük olan elips yayları bu çalışmada göz önünde bulundurulmamıştır.

Öte yandan, yapılacak karşılaştırmaları ortak bir baza oturtmak amacıyla, sistemin geçtiği açıklığa ve yüksekliğe bağlı olarak, doğuray yayı tüm taşıyıcı sistemde yaklaşık eşit uzunlukta çubukları oluşturmaya yönelik şekilde bölünerek, bu yaklaşımı sağlayan 2.70-3.00 m aralığında yer alan çubuklardan oluşan sistemlerden elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

Ayrıca, tonoz biçimli uzay kafes sistemin toplam ağırlığını etkileyebilen, ancak, sistem geometrisini etkilemeyen, diğer başka etmenlerden de söz edilebilir: Bunlar, 'sistemdeki mesnet sayısı', 'sistemde kullanılan çubuk tipi sayısı', 'sistemin kafes yüksekliği' ve 'sistem çubuklarının aksel simetrisi' şeklinde sıralanabilirler. Ek olarak, 'doğrultman uzunluğu' ile 'doğrultman bölünme sayısı' değişiminin de sistem ağırlığının üzerinde etkisi söz konusudur. Ancak, tüm bu etmenler sistem geometrisine doğrudan etki etmemeleri nedeniyle, ikincil etmenler olarak nitelendirilebileceklerinden, çalışma kapsamına değişken olarak katılmamışlardır.

Tonoz biçimli uzay kafes sistemlerde doğrultman uzunluğu için bir sınır bulunmamaktadır. Bu çalışmada, hesaplarda 12 m'lik birim uzunluk doğrultman uzunluğu ele alınmıştır. Doğrultman bölünme sayısı da 4 olarak alınmış; böylece doğrultman yönündeki çubukların da hedeflenen yaklaşık 3 m boyunda olması sağlanmakta ve tüm hesaplarda bu değer sabit alınmaktadır. Doğuray açıklığı değişirken, doğrultman açıklığı 12 m sabit olan bu tonoz sistemin mesnet sayısı 4 adet belirlenmiş ve bu mesnet noktaları da, sistemin alt tabakasında ve dört köşesindeki uç düğüm noktalarında konumlandırılmıştır.

Tonoz biçimli çift katlı uzay kafes sistemlerde alt ve üst tabaka çubukları olmak üzere iki katman bulunmaktadır. Bu iki katmanın arasındaki yükseklik değişimi sistem içindeki kuvvet dağılımını etkilediğinden, geometri karşılaştırmalarını ortak bazda buluşturabilme amacıyla, giriş yüksekliğinin 2.5 m olarak sabit tutulması öngörülmüştür. Bu şekilde iki katman arasında yer alan çubukların uzunlukları da hedeflenen 3 m civarında olması sağlanmaktadır. Çubuk uzunluğunun 3 m civarında belirlenme nedeni ise, piyasada 6 m boyda üretilen profillerin kesilmesinden oluşacak kaybı en aza indirmeye yöneliktir.

Yapılan çalışmada göz önünde bulundurulmuş bir diğer etmen de, sistemi oluşturan çubukların birbirlerine göre simetrisidir. Sistemi oluşturan çubuklar, doğrultman yönünde ve sistemin tepe noktası boyunca giden bir eksene göre simetrik olarak konumlandırılmıştır (Şekil 5). Bu tek yönde simetrik çubuklardan oluşan yüzey olmaktadır. Bu eksene dik yönde ve doğrultmanın tam ortasından geçen eksene göre de sistemdeki çubuklar simetrik oluşturulabilirlerdi. Öyle ki, her iki simetri eksenine göre simetriden de söz edilebilir.

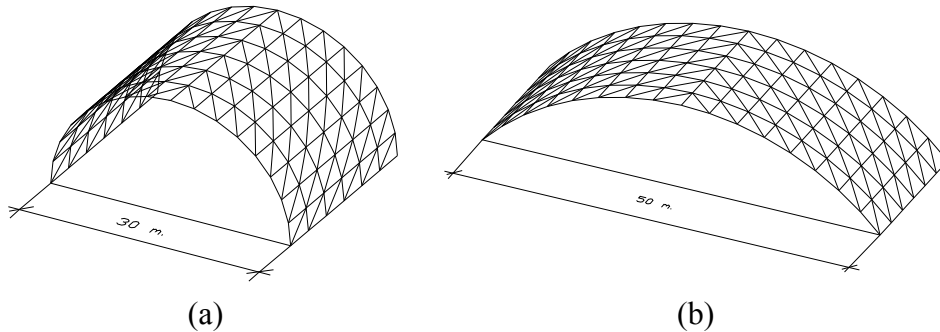
olanaklıdır; ancak bu çalışmada tek yönde simetrik çubuklar öngörülmüştür.

Uzay kafes sistemlerin en önemli özelliklerinden biri; aynı boyda ve tipte çok sayıda bileşenden oluşturulabilmesidir. Sistemdeki düğüm noktası ve çubuk tipi sayısı ne kadar az olursa sistemin montajı o kadar avantajlı olmaktadır. Doğuray yayının eşit uzunluktaki çubuklardan oluşması ve sistemdeki çubukların birbirine göre simetrisi göz önüne alınca bileşen tiplerinde azalma görülmektedir. Bu şekilde düğüm noktasını oluşturan küre tiplerinin de en aza indirilmesi gerçekleştirilebilmektedir.

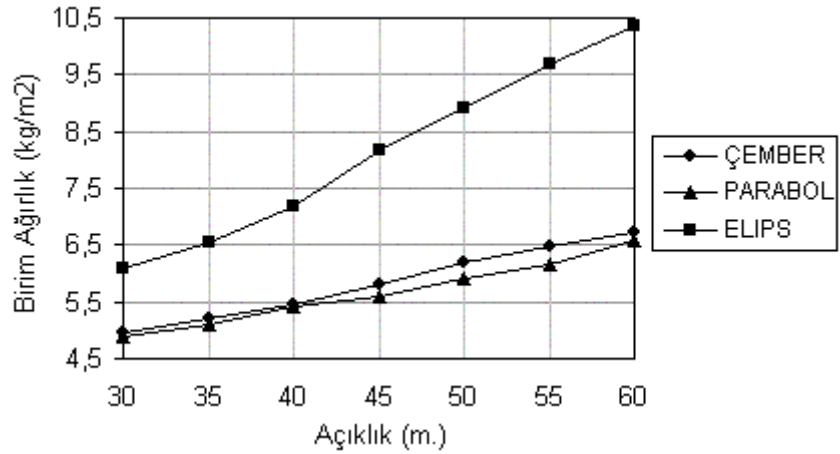
Hesaplamalarda sisteme etkiyen yüklerin yalnız düşey yüklerden oluşması öngörülmüştür. Bunlar; çubuk ve düğüm noktalarının ağırlıkları ile kaplama malzemesinden gelen yük ve kar yüküdür. Kaplama malzemesi olarak alüminyum profil üzerine giydirme cephe yapılması benimsenmiştir. Cam için 40 kg/m^2 , alüminyum profil için 4 kg/m , kafes sistemi oluşturan çelik çubuklar ve düğüm noktaları için 7800 kg/m^3 birim ağırlık ve kar yükü olarak da 37 kg/m^2 (yarım kar yükü) ağırlık sabit alınmıştır.

Sistem çözümlemesine yönelik geliştirilen bilgisayar programında bir optimizasyon yordamı da bulunmaktadır (Savaşır, 2000). Hesaplama dikkate alınan ve uygulanan çubuk tipleri Çizelge 1’de verilmiştir. Hesaba, ilk yaklaşım değeri olarak, en küçük enkesit değerleri ile başlanılmaktadır. Yetersiz çubukların enkesit alanları bir sonraki optimizasyon turunda izin verilen en büyük gerilmeye yakın çalışacak boyutlarla düzeltilerek, çözümleme değiştirilmiş çubuk enkesit alanlarına göre yinelenmektedir. Bu işlemler ‘optimum’ çözüme ulaşıncaya kadar sürdürülmektedir. Değişen çubuk kesitlerinden dolayı sistemin taşıdığı yükte oluşan değişim de, program tarafından hesaplamalarda otomatikman göz önünde bulundurulmaktadır. Taşıyıcı sistemin birim alan ağırlığı, sonuç toplam ağırlığının örtülen düzlem alana bölünmesiyle elde edilmektedir. Konu edilen tüm etmenlere bağlı olarak elde edilen sonuçlar Çizelge 3’te verilmiştir. Bu Çizelgede geçilen açıklığa bağlı olarak hesaplanan en uygun geometrik yükseklikler, artalanları gölgelendirilerek, belirtilmişlerdir. Bu uygun değerler, ayrıca, Şekil 6 da grafik gösterimli olarak ta sunulmuştur.

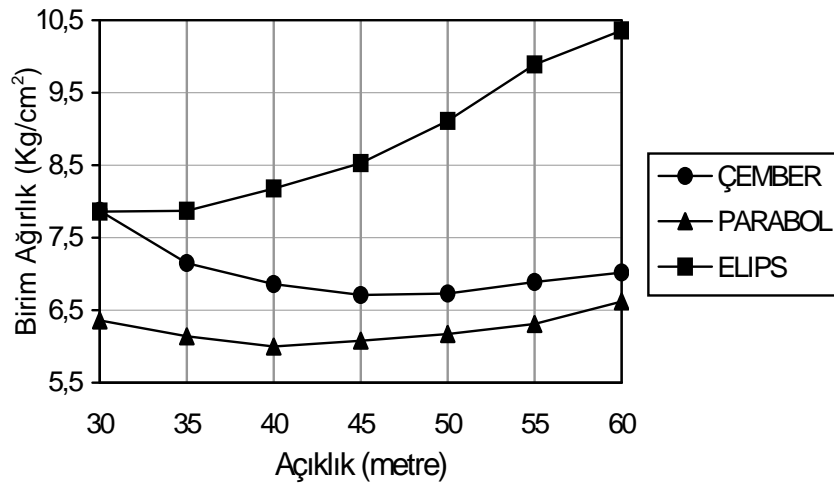
Elde edilen sayısal sonuçların incelenmesinde kolaylık sağlamak amacıyla Şekil 7’de, 15 m’lik geometrik yükseklik için, geçilen açıklıklara bağlı olarak, geometrik formun etkinliği görüntülenmiştir. Buna göre, bu değerdeki bir geometrik yükseklik için; parabol kesitli sistemlerde 40 m açıklık, çember kesitli sistemlerde 45 m açıklığın birim ağırlık açısından en uygun değer olduğu belirmektedir. Elips kesitli sistem için 30 m’den daha düşük açıklık değerlerinin uygun olduğu söylenebilir.



Şekil 5. (a) 30 m açıklıklı ve (b) 50 m açıklıklı sistem



Şekil 6. 2.70-3.30 m aralığındaki çubuklar için geçilen açıklığa bağlı birim ağırlık değişimi

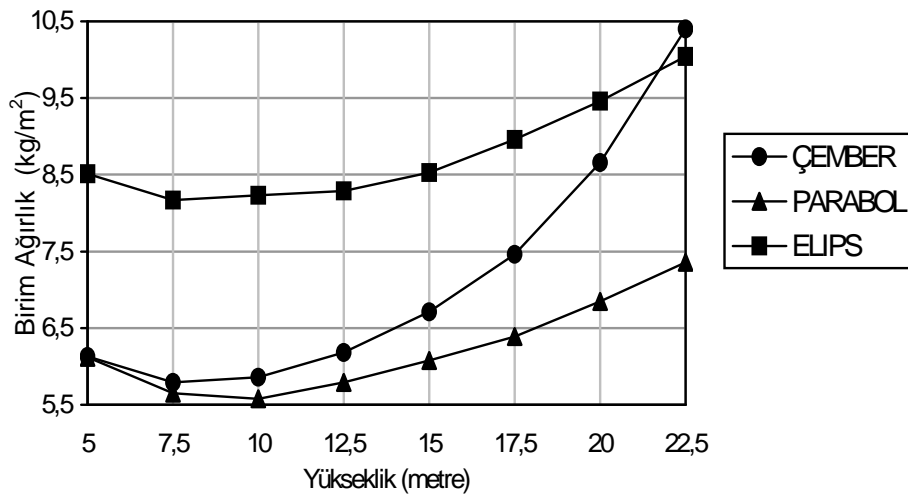


Şekil 7. 2.70-3.00 m aralığındaki çubuklar için 15 m geometrik yükseklikte geçilen açıklığa bağlı birim ağırlık değişimi

Yine, benzer şekilde, elde edilen sayısal sonuçların anlaşılmasına katkıda bulunmak amacıyla Şekil 8'de, 45 m'lik açıklık için, geometrik yüksekliğe bağlı olarak, ele alınan üç geometrik formun etkinliği karşılaştırılmıştır. Şekil 8 incelendiğinde, 45 m açıklıklı sistemde birim ağırlık değeri en düşük olan yükseklik; parabol kesitli sistemde 10 m, çember ve elips kesitli sistemlerde 7.5 m civarında gerçekleşir. Ancak, parabol ve çember oldukça yakın birim ağırlık değerleri oluşturmasına karşın, elips formu bunlarla karşılaştırıldığında, oldukça ekonomiklik açısından uzakta kaldığı görülebilir.

Çizelge 3. Sistem birim alan ağırlığı [kg/m^2] (Çubuk Boyları:2.70-3.00 m)

Geo	H (m)	Açıklık (L)						
		30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	60 m
Ç E M B E R	5.00	4.96	5.21	5.63	6.13	6.69	7.25	8.30
	7.50	5.15	5.27	5.47	5.79	6.25	6.68	7.19
	10.0	5.71	5.58	5.72	5.86	6.18	6.46	6.74
	12.5	6.57	6.25	6.16	6.18	6.26	6.49	6.79
	15.0	7.87	7.15	6.86	6.71	6.73	6.89	7.02
	17.5	-	8.48	7.79	7.46	7.44	7.37	7.39
	20.0	-	-	9.33	8.66	8.33	8.12	8.06
	22.5	-	-	-	10.40	9.53	9.16	8.90
P A R A B O L	5.00	4.90	5.17	5.65	6.12	6.68	7.28	7.94
	7.50	5.00	5.11	5.46	5.65	6.18	6.55	7.04
	10.0	5.32	5.40	5.42	5.58	5.95	6.36	6.61
	12.5	5.75	5.69	5.69	5.79	5.92	6.17	6.60
	15.0	6.36	6.14	6.00	6.08	6.17	6.31	6.62
	17.5	7.05	6.66	6.47	6.39	6.41	6.57	6.73
	20.0	7.76	7.33	7.00	6.85	6.85	6.88	6.95
	22.5	8.59	7.97	7.62	7.36	7.32	7.27	7.30
E L İ P S	5.00	6.10	6.53	7.20	8.51	9.03	9.96	11.04
	7.50	6.45	6.75	7.41	8.17	9.03	9.95	10.83
	10.0	6.76	7.14	7.64	8.23	8.92	9.79	10.79
	12.5	7.28	7.46	7.87	8.29	8.98	9.68	10.77
	15.0	7.86	7.87	8.18	8.53	9.11	9.89	10.36
	17.5	8.49	8.48	8.65	8.96	9.39	10.01	10.65
	20.0	9.38	9.17	9.33	9.46	9.87	10.28	10.88
	22.5	10.27	9.97	9.96	10.04	10.42	10.68	11.25



Şekil 8. 2.70-3.00 m aralığındaki çubuklar için 45 m açıklıkta geometrik yüksekliğe bağlı birim ağırlık değişimi

5. SONUÇ

Uzay kafes sistemler, kullanılan malzeme miktarının konvansiyonel yapım sistemlerine göre az olması, montajının kolay ve kısa sürede bitirilebilmesi, çok geniş açıklıkları çok az sayıda kolonla geçebilmesi ve seri üretime uygunluğu ile tercih edilen endüstrileşmiş yapım sistemleri arasında yer alır.

Tonoz biçimli çift katlı uzay kafes sistemlerle örtülecek alana ve tasarıma göre en uygun üst örtüsü formu seçilirken; farklı açıklık ve geometrik yükseklik değeri ile strüktür geometrisi gibi etkenler arasında uygunluk bağıntılarının olduğu dikkate alınmalıdır.

Sistemin geometrik yüksekliği ile doğurayın geçtiği açıklık arasında 1/5 ila 1/6 dolaylarında değişen bir 'uygunluk oranı' olduğu gözlenmiştir. Bu orana yaklaştıkça sistemin birim alan ağırlığı, dolayısıyla da maliyeti azalmaktadır. Doğurayın çember yaylı olması bu oranın küçük, elips formu ise büyük değer tarafında yer almaktadır. Parabol yayı ise aralardaki bir oranda en uygun olmaktadır.

Çok basık sistemlerde strüktürde meydana gelen iç gerilmeler artmakta, dolayısıyla çubukların enkesit alanı artmaktadır. Uygunluk oranından daha yüksek olan sistemlerde de yüksekliğin artması, doğal olarak, yüzey alanını da arttıracığından sistem ağırlığını arttırmaktadır. Yüksekliği fazla olmayıp, geçtiği açıklık fazla olan basık sistemlerde doğuray yönündeki çubuklarda; yüksekliğin açıklığa oranının 'uygun' olduğu sistemlere göre daha fazla eksenel kuvvet oluşmaktadır. Bu tür basık sistemlerde çubuk enkesit alanları artmakta dolayısıyla sistem ağırlığı da artmaktadır.

Doğurayın formunun sistem ağırlığına doğrudan etkisi çizelge ve grafiklerden açıkça anlaşılmaktadır. Seçilen üç geometriden parabol kesitli uzay kafes sistem, her açıklık ve yükseklik değeri için en az ağırlığı ortaya çıkarmıştır. Çember ise küçük açıklıklarda başabaş giderek buna yakın sonuçlar üretmiştir. Elips ise en olumsuz konumda yer almaktadır.

KAYNAKLAR

Makowski Z.S. (1966): "Steel Space Structures", London.

Savaşır K. (2000): "Silindir Yüzeyle Uzay Kafes Sistemlerde Yükseklik ve Geçilen Açıklık Bakımından Tek ve Çift Tabakalı Sistemlerin Karşılaştırılması", DEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Türkçü H.Ç. (1982): "Uzay Çerçeve Çatıyı Farklı Geometrik Olanaklar Arasından Seçmede Kullanılabilecek Ölçütler ve Yöntemi", EÜ Güzel Sanatlar Fakültesi Yayınları, Yayın No:15, Ticaret Matbaacılık, İzmir.