

T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÇİFT KATMANLI UZAY KAFES SİSTEMLERİN  
STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ**

Fatma ÜLKER

Tez Yöneticisi:  
Doç. Dr. Ragıp İNCE

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ELAZIĞ, 2007



T.C.  
FIRAT ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

## ÇİFT KATMANLI UZAY KAFES SİSTEMLERİN STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ

Fatma ÜLKER

Tez Yöneticisi:  
Doç. Dr. Ragıp İNCE

Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu tez, 08.10.2007 tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oybirliği ile başarılı olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Ragıp İNCE

Üye: Prof. Ali Sayıl ERDOĞAN (Jüri Başkanı)

Üye: Yrd. Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU

Üye:

Üye:

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ...../...../..... tarih ve ..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

## TEŐEKKÖR

Bu Yűksek Lisans tez çalıőmasının belirlenmesinde, yűrűtűlmesinde ve yorumlanmasında engin bilgi ve deneyimleri ile bana yol gűsteren, kıymetli zamanını benimle paylaőan deęerli danıőman hocam Sayın Doç. Dr. Ragıp İNCE' ye ve çalıőmalarımda bana yardımcı olan ve emeęi geçen tűm űęretim űyelerine teőekkűrű bir borç bilir, saygılarımı sunarım.

Ayrıca, eęitimim için benden desteklerini hiç esirgemeyen her zaman yanımda olan sevgili aileme sonsuz teőekkűr ederim.

Fatma ŬLKER

## İÇİNDEKİLER

|                                                                         |             |
|-------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>ŞEKİLLER LİSTESİ.....</b>                                            | <b>III</b>  |
| <b>TABLO LİSTESİ .....</b>                                              | <b>IV</b>   |
| <b>SİMGELER .....</b>                                                   | <b>V</b>    |
| <b>KISALTMALAR .....</b>                                                | <b>VII</b>  |
| <b>ÖZET .....</b>                                                       | <b>VIII</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                   | <b>IX</b>   |
| <b>1.GİRİŞ .....</b>                                                    | <b>1</b>    |
| 1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı .....                                  | 2           |
| 1.2. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmaların İncelenmesi .....              | 2           |
| <b>2.UZAY KAFES SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ.....</b>                         | <b>4</b>    |
| 2.1.Uzay Kafes Sistemlerin Kullanım Alanları.....                       | 4           |
| 2.2.Uzay Kafes Sistemlerin Üstünlükleri.....                            | 5           |
| 2.3.Uzay Kafes Sistemlerin Ön Boyutlandırılmasında Bazı Kriterler ..... | 7           |
| 2.3.1.Yapının Plan Geometrisi .....                                     | 7           |
| 2.3.2.Yapının Mesnetleri.....                                           | 7           |
| 2.3.3.Optimum Kafes Sistem Yüksekliği.....                              | 8           |
| 2.3.4.Uzay Kafes Sistem Modül Boyutu.....                               | 8           |
| 2.3.5.Uzay Kafes Sistem Modül Şekilleri.....                            | 8           |
| 2.4. Uzay Kafes Sistemlerin Şekilleri .....                             | 9           |
| 2.4.1. Düz Çatı .....                                                   | 9           |
| 2.4.2. Kırık Çatı.....                                                  | 9           |
| 2.4.3. Tonoz Çatı.....                                                  | 9           |
| 2.4.4. Kubbe Uzay Kafes Sistem .....                                    | 10          |
| 2.4.5. Piramit Kafes Sistemler.....                                     | 11          |
| <b>3. UZAY KAFES SİSTEMİ OLUŞTURAN BİLEŞENLER.....</b>                  | <b>12</b>   |
| 3.1.Düğüm Noktaları (Küre Elemanlar).....                               | 12          |
| 3.2.Çubuk Elemanlar (Borular).....                                      | 12          |
| 3.3.Konikler .....                                                      | 15          |
| 3.4.Civatalar .....                                                     | 15          |
| 3.5.Somun ve Pimler .....                                               | 17          |
| 3.6.Aşıklar ve Aşık (Eğim) Dikmeleri .....                              | 17          |
| 3.7.Mesnetler.....                                                      | 18          |

|                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>4. UZAY KAFES SİSTEMLERİN ANALİZİ .....</b>                       | <b>19</b> |
| 4.1. Analiz Yöntemleri.....                                          | 19        |
| 4.1.1.Düğüm Noktaları Yöntemi.....                                   | 19        |
| 4.1.2.Kesim Yöntemi .....                                            | 20        |
| 4.1.3.Deplasman Yöntemi.....                                         | 21        |
| 4.2. Uzay Kafes Sistemlerin Projelendirilmesi .....                  | 21        |
| 4.2.1. Şartname Gereği Alınması Gereken Yükler.....                  | 22        |
| 4.2.1. Yapının Fonksiyonlarına Göre Alınması Gereken Yükler.....     | 22        |
| 4.3. Uzay Kafes Sistemlerin Projelendirilmesinde Özel Kurallar ..... | 22        |
| <b>5. SAYISAL UYGULAMALAR .....</b>                                  | <b>27</b> |
| 5.1.Uzay Kafes Sistem Statik Hesap Kriterleri .....                  | 28        |
| 5.2.Tek Katmanlı Malatya Merkez İlköğretim Okulu Spor Salonu .....   | 30        |
| 5.3.Çift Katmanlı Elazığ Kapalı Yüzme Havuzu Projesi .....           | 61        |
| <b>6. SONUÇLAR .....</b>                                             | <b>69</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>                                               | <b>70</b> |
| <b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>                                                 | <b>71</b> |

## ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 2.1** : Uzay kafes sistem
- Şekil 2.2** : Uzay kafes sistemlerde üç boyutlu yük dağılımı
- Şekil 2.3** : Çok büyük açıklıklı uzay kafes sistem
- Şekil 2.4** : Uzay kafes sistemlerde sistem avantajları
- Şekil 2.5** : Düz çatı
- Şekil 2.6** : Kırık çatı
- Şekil 2.7** : Tonoz çatı
- Şekil 2.8** : Kubbe uzay kafes sistem
- Şekil 3.1** : Uzay kafes sistemlerde düğüm noktası (küre eleman)
- Şekil 3.2** : Uzay kafes çubuk uç detayı
- Şekil 3.3** : Çubukta montaj numarası (100) yazılan eleman ve temas yüzeyinin artırılması
- Şekil 3.4** : Konik tipleri
- Şekil 3.5** : Cıvata tipleri (Dişsiz kısmında delik açılmış)
- Şekil 3.6** : Düğüm noktasında aşık ve aşık dikmesi detayları
- Şekil 3.7** : Tipik mesnet noktası
- Şekil 4.1** : İki boyutlu kafes sistem
- Şekil 4.2** : Düğüm noktaları yöntemi (Analitik Çözüm)
- Şekil 4.3** : Kafes sistemde kesim yöntemi
- Şekil 4.4** : Hangar Yapısında Rüzgar Basınç Etkisi
- Şekil 5.1** : Tek Katmanlı Malatya İlköğretim Okulu Spor Salonu
- Şekil 5.2** : Tek Katmanlı 1152 Çubuklu Uzay Kafes Sistem (SAP2000 çıktısı)
- Şekil 5.3** : Tek Katmanlı 1152 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Üç Boyutlu Görünüşü (SAP2000 çıktısı)
- Şekil 5.4** : Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistem (SAP2000 çıktısı)
- Şekil 5.5** : Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Üç Boyutlu Görünüşü (SAP2000 çıktısı)
- Şekil 5.6** : Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin X-Z Düzlemi (SAP2000 çıktısı)
- Şekil 5.7** : Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Y-Z Düzlemi (SAP2000 çıktısı)

## **TABLÖLAR LİSTESİ**

|                  |                                                        |
|------------------|--------------------------------------------------------|
| <b>Tablo 3.1</b> | : Çubuklarda (Borularda) Enkesit Özellikleri           |
| <b>Tablo 3.2</b> | : Kullanılan civataların teknik özellikleri            |
| <b>Tablo 5.1</b> | : Çelik malzeme metrajı                                |
| <b>Tablo 5.2</b> | : Uzay kafes sistem geometrik bilgileri                |
| <b>Tablo 5.3</b> | : Uzay kafes sistem düğüm noktası yüklemeleri          |
| <b>Tablo 5.4</b> | : Uzay kafes sistem düğüm noktası reaksiyon kuvvetleri |
| <b>Tablo 5.5</b> | : Bazı çubukların aksenal çubuk kuvvetleri             |
| <b>Tablo 5.6</b> | : Uzay kafes sistemin bazı çubuklarında ısı yüklemesi  |
| <b>Tablo 5.7</b> | : Uzay kafes sistemde bazı düğüm noktası deplasmanları |



## SİMGELER

|                 |                                                           |
|-----------------|-----------------------------------------------------------|
| $A(T_1)$        | : $T_1$ periyot değerindeki spektral ivme katsayısı       |
| $A_0$           | : Etkin yer ivmesi katsayısı                              |
| $A, F$          | : Çubuk kesit alanı                                       |
| $D$             | : Boru dış çapı                                           |
| $\{D\}$         | : Deplasman vektörü                                       |
| $d_1$           | : Net bulon (civata) çapı                                 |
| $d$             | : Pim deliği çapı, boru iç çapı                           |
| $E$             | : Elastisite modülü                                       |
| $F_1, F_2, F_3$ | : Çubuk kuvvetleri                                        |
| $\{F\}$         | : Dış yük vektörü                                         |
| $F_{EM}$        | : Civata emniyet gerilmesi                                |
| $F_K$           | : Civata kopma gerilmesi                                  |
| $F_{net}$       | : Net civata alanı                                        |
| $F_s$           | : Emniyet katsayısı                                       |
| $f$             | : Dış adımı                                               |
| $f_x$           | : deplasman (sehim)                                       |
| $f_{max}$       | : maksimum deplasman                                      |
| $g$             | : Sabit yük                                               |
| $H_p$           | : Çatıdaki çıkıntı yüksekliği                             |
| $H_s$           | : Kar yüksekliği                                          |
| $H$             | : Kafes sistem modül yüksekliği                           |
| $I$             | : Kesit atalet momenti, yapı önem katsayısı               |
| $i$             | : Atalet yarıçapı                                         |
| $[K]$           | : Sistem rijitlik matrisi                                 |
| $P_K$           | : Kar yükü                                                |
| $P_{max}$       | : Çekme ve basınçta çubuk taşıma gücü, civata taşıma gücü |
| $P_W$           | : Rüzgar yükü                                             |
| $R$             | : Yapı davranış katsayısı                                 |
| $R_a$           | : Deprem yükü azaltma katsayısı                           |
| $R_a(T_1)$      | : $T_1$ periyot değerindeki deprem yükü azaltma katsayısı |
| $S$             | : Yapı dinamik katsayısı                                  |

|            |                                                                                |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $S_a$      | : Spektral ivme                                                                |
| $S(T_1)$   | : $T_1$ periyot değerindeki elastik tasarım ivme spektrum değeri               |
| $s$        | : ubuk boyu                                                                   |
| $t$        | : Boru et kalınlığı                                                            |
| $V$        | : Kesme kuvveti, rüzgar yükü                                                   |
| $V_t$      | : Taban kesme kuvveti                                                          |
| $W$        | : Binanın hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı |
| $\Delta T$ | : Sıcaklık değişimi                                                            |
| $\lambda$  | : ubuk narinlięi                                                              |
| $\omega$   | : Burkulma arpanı                                                             |

## KISALTMALAR

|                      |                                                          |
|----------------------|----------------------------------------------------------|
| <b>ANSYS</b>         | : ANalysis of SYStem                                     |
| <b>FRAMECAD</b>      | : Çelik yapılar analiz ve boyutlandırma programı         |
| <b>MEGAFORM</b>      | : Çelik uzay kafes sistem firması                        |
| <b>NERU</b>          | : Kalıp ve uzay kafes sistemler firması                  |
| <b>POLARKON</b>      | : Çelik uzay kafes sistem firması                        |
| <b>PROTECHNIC</b>    | : Çelik uzay kafes sistem firması                        |
| <b>SAP2000</b>       | : Integrated Software for Structural Analysis and Design |
| <b>UZAYSAN</b>       | : Çelik uzay kafes sistem firması                        |
| <b>UZKOM</b>         | : Çelik uzay kafes sistem firması                        |
| <b>kom1,...,kom9</b> | : Yükleme kombinasyonları                                |

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÇİFT KATMANLI UZAY KAFES SİSTEMLERİN STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ

Fatma ÜLKER

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

2007, Sayfa: 71

Bu çalışmada; çift katmanlı uzay kafes sistemlerin statik ve dinamik analizi ve dizaynı amaçlanmıştır. Bu amaçla, uzay kafes sistemlerin statığı, konstrüksiyonu ve teorik özellikleri konusunda detaylı bir araştırma yapılmıştır. Uzay kafes sistem teknik şartnamesi esas alınarak, sistemi oluşturan bileşenler, elemanlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

Yapı analizinde kullanılmakta olan SAP2000 ve FRAMECAD gibi gelişmiş paket programlar incelenmiş, uzay kafes sistemlerde uygulanabilirliği gözden geçirilmiştir. Farklı geometrik özelliklerdeki tek ve çift katmanlı uzay kafes sistemlerin SAP2000 ile çözümü yapılmıştır.

Seçilen tek ve çift katmanlı uzay kafes sistemler geometrik bakımdan büyük ve modüler yapılardır. Uzay kafes sistem teknik şartnamesine bağlı kalınması nedeniyle uygun çözümler elde edilmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Uzay Kafes, Mero, Küre Eleman, Konik Eleman, Tek Katman, Çift Katman

## **ABSTRACT**

Masters Thesis

### **STATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF DOUBLE LAYERED SPACE TRUSSES**

Fatma ÜLKER

Firat University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

2007, Pages : 71

In this study, the static and dynamic analysis and design of double layered space trusses was aimed. For this aim, an extensive investigation was made about the statical, constructive and theoretical properties of space trusses. The elements of the system were explained with details according to the Technical Code of Space Trusses.

Structural analysis and design programs SAP2000 and FRAMECAD were studied for the analysis of space trusses. The analysis and solution of one and double layered space trusses of different geometric properties were performed with SAP2000.

The examples of single and double layered space trusses are geometrically huge and modular structures. Suitable solutions were found by using the Technical Code of Space Trusses.

**Key Words:** Space Trusses, Mero, Sphere Member, Conical Member, Single Layer, Double Layer

## 1. GİRİŞ

Uzay kafes sistemlerin tarihsel gelişimi, deniz kabuklusunun geometrik yapısına duyulan hayranlıkla başlamıştır. Deniz kabuklusundaki logaritmik heliks tarzında bir büyüme şekli, büyük açıklıklı yapı sistemlerine uyarlanmış; kabuklularının geometrik şekli, yapı teknolojisinde uzay kafes sistem gibi, çubuk ve düğümlerden meydana gelen bir sistemin tasarlanmasına yol açmıştır.

Uzay kafes sistemlerin birim elemanı, altı çubuk ve dört düğüm noktasından meydana gelen bir dörtyüzlüdür. Böyle bir dörtyüzlü her biri aynı düzlem içinde bulunmayan üç çubukla çok kolay bir şekilde büyütülebilmektedir. Çubukların birleşimi, montajda çeşitli kolaylıklar sağlayan düğüm noktası elemanları ile yapılmaktadırlar.

Yapı teknolojilerinde hafif, hızlı ve ekonomik çözümler arayışı *uzay kafes sistemlerin* doğmasına neden olmuştur. Uzay kafes sistemlerle, yapılarda büyük açıklıkların kolonsuz ve hafif bir konstrüksiyonla geçilmesi sağlanmakta, bu şekilde yapıların fonksiyonel olarak daha esnek ve kullanışlı olması mümkün olmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle birlikte bu sistemlerle 100 metreye kadar olan açıklıklar geçilebilmektedir. Bu yapı sistemleriyle kare, dikdörtgen, poligon ve daire şeklindeki mekanlara uygun örtü biçimleri oluşturulabilmektedir.

Uzay kafes sistemlerin son yıllarda mimarlık ve mühendislik dünyasında oldukça sık uygulandığı görülmüştür. Sistemi oluşturan çubuklar tek bir düzlemde bulunmadığından, ayrıca birbirini kesen birden fazla düzlemden dolayı üçüncü boyutun oluşmasından ve bir kafes sistem meydana geldiğinden, bu tür sistemler *uzay kafes sistemler* olarak adlandırılmaktadır.

Uzay kafes sistemler son yıllarda endüstri yapıları, alışveriş merkezleri, okul binaları, hangarlar, yüzme havuzları, sergi sarayları gibi geniş açıklıkları bulunan hacimleri örtmek için kullanılmıştır. Statik ve dinamik açıdan uygun çözümler getirildiği takdirde uzay kafes sistemlerle, daha az çelik malzeme gerekmektedir. Bu da ekonomik açıdan oldukça iyi bir çözümdür. Ayrıca sistemi oluşturan parçalar fabrikasyon olduğundan, birçok kez sökülüp takılması, onarım ve montaj işinin kolay olması, uzay kafes sistemlerin bir başka olumlu özelliğidir.

Boru ve küre elemanlardan oluşan uzay kafes taşıyıcı sistemler tek katlı ve iki katlı (çift katmanlı) yapılabilir. Statik yönden uzay kafes sistemler yüksek mertebeden hiperstatik olduğundan dolayı, sistem içerisinde yük dağılımı sürekli olmakta ve bu bir avantaj sağlamaktadır.

Gerek ülkemizde gerekse yurt dışında çöken, yıkılan uzay kafes sistemlerde önemli dizayn hatası görülmüştür. Özellikle Gençlik ve Spor Genel Müdürlüğü bu tür uzay kafes sistemler üzerinde ciddi olarak durmakta, projeleri yeniden gözden geçirmekte, kış sezonunda

kar yüklemesine karşı önlemler almaktadır. Uygulanan uzay kafes sistemler ise, projelendirilirken genellikle çift katmanlı olarak dizayn edilmektedir.

Yapılan araştırmada çift katmanlı uzay kafes sistemlerin hesap ve dizaynı konusunda değişik uygulamalar görülmüştür. Gençlik ve Spor Genel Müdürlüğü'nün incelenen projelerinde genel olarak, SAP2000 ve FRAMECAD gibi inşaat mühendisliği bilgisayar programlarından yararlanılmıştır.

Statik yararları açısından, bu sistemler diğer birçok taşıyıcı sistemlere oranla çok daha hafiftirler. Sabit yüklerin azlığı sadece çatıda değil, alt sistem öğeleri ile temellerde kendini göstermekte, buna bağlı olarak *maliyet önemli ölçüde azalmaktadır*. Uzay kafes sistemler, günümüzde Türkiye' de büyük açıklıklı sanayi yapılarının örtülmeleri konusunda oldukça fazla uygulama alanı bulmaktadır.

### **1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada, statik ve dinamik yükler altında çift katmanlı uzay kafes sistemlerin analizi ve dizaynı konusunda araştırma ve inceleme yapılacak, son deprem yönetmeliğindeki hesap esaslarının bu tür sistemlere uygulanabilirliği, nasıl uygulandığı araştırılacaktır.

Çalışmada aşağıdaki adımlar takip edilmiştir.

- a) Uzay kafes sistemlerin statiği, konstrüksiyonu, teorik alt yapısı konusunda detaylı bir araştırma yapılmıştır. Uzay kafes sistem teknik şartnamesi esas alınarak, sistemi oluşturan bileşenler, elemanlar ayrıntılı olarak açıklanmıştır.
- b) İkinci aşamada, yapı analizinde kullanılmakta olan SAP2000 ve FRAMECAD gibi gelişmiş paket programlar incelenmiş, uzay kafes sistemlerde uygulanabilirliği gözden geçirilmiştir.
- c) Yükseklik ve geçilen açıklık bakımından tek ve çift katmanlı uzay kafes sistemlerin SAP2000 ile çözümü yapılmıştır.

### **1.2. Konuyla İlgili Yapılan Çalışmaların İncelenmesi**

Günümüzde çift katmanlı uzay kafes sistemlerin analizi ve boyutlandırılması gelişme ve değişme süreci içindedir. Uzay kafes sistemler, XX. yüzyılın başlarında geliştirilmiştir. Gerek tek katmanlı gerekse çift katmanlı uzay kafes sistemlerle ilgili çok sayıda çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda uzay kafes sistemlerin elastik analizi, elasto-plastik analizi, statik ve dinamik yükler altında optimizasyonu, uzay kafes sistemin en uygun şeklinin elde edilmesi (şekil optimizasyonu) gibi çok sayıda araştırmaya rastlamak mümkündür. [1-7]

Dr. Max Mengerinhausen (1903-1988), uzay kafes sistemleri geliştirmiş ve 1940'lı yıllarda yapılar da kullanmıştır. Mengerinhausen'in geliştirdiği uzay kafes sistem ile ilk yapılar 1942 yılında yapılmıştır. Uzay kafes sistemler kısa zamanda büyük programlar içinde endüstriyel şekilde üretilen sistemler olmuşlardır. Bu şekilde, mimaride berraklık, güzellik ve işlevselliğin en güzel örneğini uzay kafes sistemlerini geliştirerek ortaya koymuştur.

Makowski[8], yapı mühendisliği ve mimari açıdan, büyük açıklıkların geçilmesinde değişik geometrik şekilli uzay kafes sistemlerin analizini ve tüm avantajlarını vermiştir.

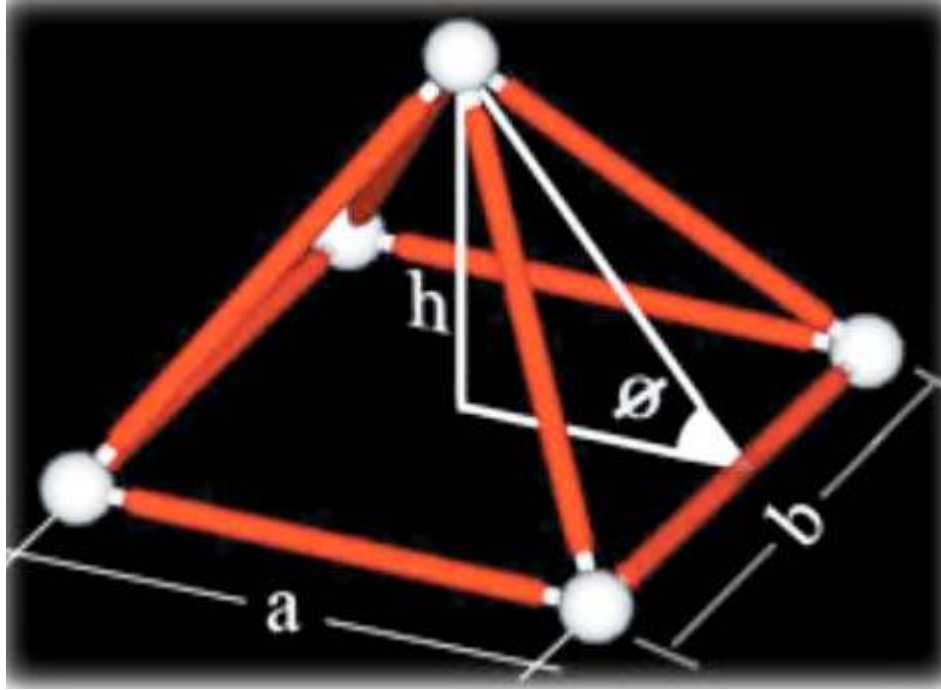
Orbay, A. ve Savaşır, K.[9], tonoz biçimli tek eğrilikli çift katlı uzay kafes sistemlerin çeşitli kriterler açısından etkinliğinin karşılaştırılmasına yönelik bir araştırma yapmışlardır. Çalışmada tonoz biçimindeki sistemlere eğriliğini veren yayı çember, parabol ve yarım elips geometrisinde alınmış ve bu formlar etkinliklerini belirleyen faktörler açısından incelenmiştir. Sonuç olarak en uygun form ve çözüm ortaya çıkarılmıştır.

Sungur[10], uzay kafes sistemlerin teorik alt yapısını, gelişimini, yapım sistemlerini ayrıntılı olarak açıklamış ve taşıyıcı sistemler için yaklaşık açıklık sınırlarını vermiştir.



## 2. UZAY KAFES SİSTEMLERE GENEL BAKIŞ

Uzay kafes sistemler eksenel basınç ve çekme kuvveti taşıyan çubukların üç boyutlu olarak düğüm noktalarında birleştirilmesiyle elde edilen hiperstatik yapı sistemleridir. Her düğüm noktasında üç boyut doğrultusundan gelen çubuklar birleşmektedir. Dolayısıyla üç boyut kavramından dolayı oluşan sistem, uzay kafes sistem olarak adlandırılmaktadır. (Şekil 2.1)



Şekil 2.1 Uzay Kafes Sistem

Tüm dünyada ve ülkemizde uzun yıllardan beri kullanılmakta olan bu sistemler, çok farklı fonksiyonları sağlayabilen, mimari ve konstrüktif açıdan oldukça mükemmel, prefabrik özellikte modüler yapı sistemleridir.

### 2.1. Uzay Kafes Sistemlerinin Kullanım Alanları

Uzay kafes sistemler birçok yerde çok değişik amaçlarla yaygın olarak kullanılırlar. Kolonsuz bir şekilde geniş bir alanı örtebilen bu sistemler, bir sanayi yapısında üretim için büyük bir yerleşim alanı sağlamaktadır. Yine bir sergi sarayında kullanıldığında, mekan içinde sınırsız bir alan sağlayarak firma için önemli bir prestij sunmaktadır. Uzay kafes sistemlerin modüler olması nedeniyle, sergi ve fuar yapıları gibi kısa süreli bir işlev yerine getirildikten sonra, sökülüp başka bir alanda tekrar kullanılmaktadır. Spor salonları, geniş açıklığa gereksinim duyulan alanlardır. Bu salonlarda seyirci ile spor alanı arasında görüntünün

engellenmemesi için düşey taşıyıcı yerleştirilemez. Bu açıdan spor tesislerinin büyük açıklıklı yapılar olması zorunluluğu ortaya çıkar, dolayısıyla böyle bir sistem için uzay kafes sistem kullanılmaktadır. Eğlence merkezleri, mağazalar ve alışveriş merkezleri günümüzde bir arada tasarlanarak cazibe merkezleri haline getirilmektedir. Bu merkezler için de yine uzay kafes sistemler uygun çözüm olmaktadır.

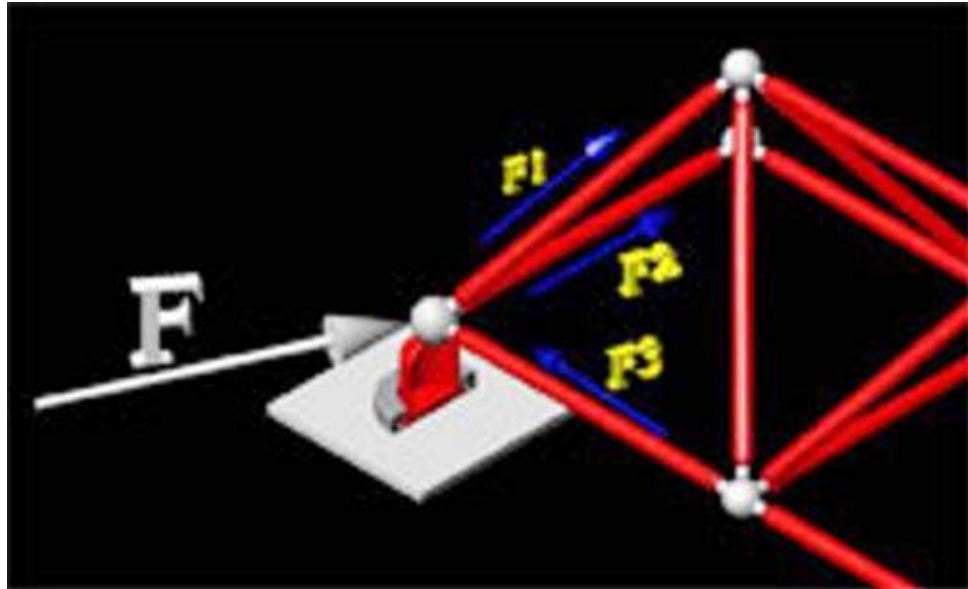
Uzay kafes sistemlerin kullanım yerleriyle ilgili verilen bu bilgilerden sonra, aşağıda bunlardan en yaygın yapı türleri özet halinde sunulmuştur:

- Spor tesisleri (kapalı yüzme havuzları, spor salonları ve bu salonların tribünleri),
- Sanayi tesisleri (fabrika, depo binaları, uçak hangarları),
- Konferans ve toplantı salonları, opera binaları,
- Çok amaçlı salonlar,
- Sergi ve fuar yapıları, mağazalar, alışveriş merkezleri, giriş sundurmaları,
- Stadyumlar,
- Benzin istasyonu kanopileri,
- Üst geçitler.

## 2.2. Uzay Kafes Sistemlerinin Üstünlükleri

Uzay kafes sistemlerin yapı mühendisliğine sunduğu bazı avantajlar aşağıda özet halinde açıklanmıştır:

- Uzay kafes sistem yapılar hiperstatik ve her doğrultuda rijit bir yapı olduğu için, üç boyuttan gelecek yüklere tam olarak dayanım göstermektedir. (Şekil 2.2)



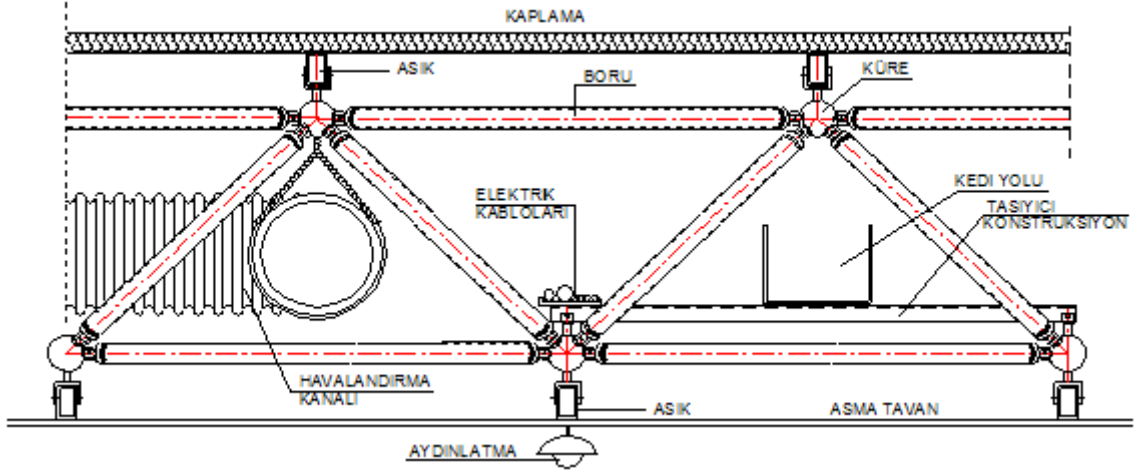
Şekil 2.2 Uzay Kafes Sistemlerde Üç Boyutlu Yük Dağılımı

- Prefabrik standart elemanlardan oluştuğu için, tasarım, imalat ve montaj süreleri çok kısa ve süratlidir. Bu da müteahhide ve yatırımcıya önemli bir avantaj sağlamaktadır.
- Uzay kafes sistemlerle 100 m.'ye varan açıklıkları çok kolay bir şekilde geçmek mümkün olduğundan, bu sistemler büyük açıklıkların geçilmesinde tek çözüm olmaktadır. (Şekil 2.3)



Şekil 2.3 Çok Büyük Açıklıklı Uzay Kafes Sistem

- Yapının şekline ve geometrisine göre mimarlar tarafından çok değişik yapı sistemleri alternatif olarak sunulmaktadır.
- Geometrik olarak kare, üçgen, altıgen tabanlı uzay kafes sistemlerin yanında, tonoz, kubbe, piramit gibi alternatif yapı türleri de uzay kafes sistemlerde tercih edilerek inşaat mühendislerine ve mimarlara büyük bir çalışma alanı sağlamaktadır.
- Çeşitli geometrilerdeki alan ve hacimlerin kapatılmasında uygun çözümler yaratmakta, yapıya estetik unsurlar katmaktadır.
- Uzay kafes sistemlerin diğeri bir özelliği de betonarme ve klasik çatı makası sistemlerine göre daha hafif olmasıdır.
- Uzay kafes sistemlerin dekoratif görüntüsünden dolayı, genel olarak asma tavanla kapatılması gerekmez, böylece yapının genel maliyeti azaltılmış olur.
- Elektrik, ısıtma ve havalandırma sistemleri için ayrıca bir taşıyıcı sistem gerektirmezler. (Şekil 2.4)



**Şekil 2.4** Uzak Kafes Sistemlerde Sistem Avantajları

- Kaplama sisteminde birçok seçenek bulunduğundan, aydınlatma yapılarında şeffaf kaplamalarla kullanılmaya çok elverişli sistemlerdir.
- Yapının daha sonra sökülüp başka bir uzak kafes sistem olarak yeniden teşkil edilmesi mümkündür.

### 2.3. Uzak Kafes Sistemlerin Ön Boyutlandırılmasında Bazı Kriterler

Uzak kafes sistemlerin yapısal özelliğinden kaynaklanan geniş bir esneklik bulunmaktadır. Ancak optimum çözümler elde edebilmek açısından aşağıdaki bazı kriterlerin göz önüne alınması yararlı olacaktır:

#### 2.3.1. Yapının Plan Geometrisi

Kenar uzunluklar kare teşkil edilecek şekilde geometrik formlarda seçilirse, Uzak Kafes Sistemlerde daha ekonomik sonuçlara ulaşılabilecektir. Bu bakımdan, uzak kafes sistemlerde kare ya da kareye yakın geometrik formlar tercih edilmelidir.

#### 2.3.2. Yapının Mesnetleri

Uzak kafes sistemlerde mesnetler simetrik olarak düzenlenmelidir. Simetrik mesnet düzenlenmesi ve çatı kenarlarında bir miktar konsol bırakılması halinde yüklerin temellere aktarılması en uygun şekilde sağlanır ve çubuk boyutları ekonomik olarak elde edilir. Uzak kafes sistemin, ana sistemin müsaade ettiği ölçülerde, dört kenarından ve 2 ya da 3 modüle bir mesnetlenmesi sağlanmalıdır. Bu şekilde en uygun mesnetlenme sağlanmış olur.

### 2.3.3. Optimum Kafes Sistem Yüksekliği

Kafes sistem yüksekliği bir çok parametreye bağlıdır. Ancak, çatının plandaki boyutları ve kafes sistemin mesnetlenme durumlarına göre aşağıdaki değerler önerilmektedir:

- Sadece iki kenarda mesnetleri olan çatılarda mesnetler arası açıklığın yaklaşık **1/12**'si.
- Dört kenardan mesnetlenmiş çatılarda kısa yöndeki açıklığın yaklaşık **1/18**'i.

Ayrıca kafes giriş yüksekliği, seçilen modül boyuyla da ilgilidir. Yükseklik, modülün yarısından az, kendisinden fazla olmamalıdır. Bu sınırlama, çubukların birbirleriyle eşit ve uygun açılar yapmaları açısından oldukça önemlidir ve en uygun yükseklik;

$$\frac{\text{modül boyu}}{2} \leq h \leq \text{modül boyu} \quad (2.1)$$

olarak yazılabilir.

### 2.3.4. Uzak Kafes Sistem Modül Boyutu

Uzak kafes sistemlerde modül boyutunun, geniş alanların kapatılmasında 2 ila 3.5 m. arasında seçilmesi uygun bir çözüm olmaktadır. Çubuk ve küre sayısı modül boyutunun bir fonksiyonudur. Modül boyu küçük seçilirse, çubuk ve küre sayısı doğal olarak artacak, bu da yapının maliyetini artıracaktır. Yapılan araştırmada en uygun ekonomik çözümlerin, 3 m. civarında modüller seçilerek elde edildiği görülmüştür.

Bir uzak kafes sistemde büyük modüller seçilirse, görüntü açısından seyrek çubuklu bir sistem görüntüsü ortaya çıkacaktır. Bir kafes sistem görünüm ve estetik amaçlı olarak dizayn edilecekse, modüllerin daha küçük seçilmesi önerilmektedir.

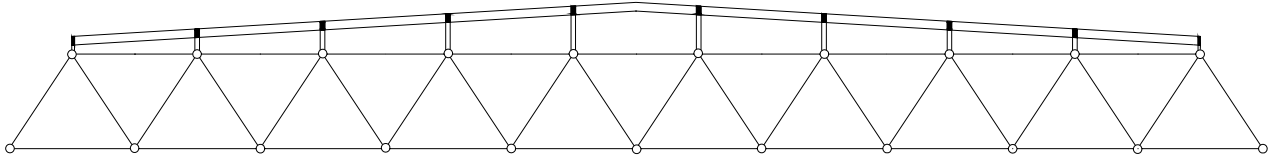
### 2.3.5. Uzak Kafes Sistem Modül Şekilleri

Uzak kafes sistemlerde geometrik şekil olarak en çok kare modül kullanılır. Dikdörtgen, üçgen ve beşgen modüller de uzak kafes sistemlerde kullanılabilirler.

## 2.4. Uzak Kafes Sistemlerin Şekilleri

### 2.4.1. Düz Çatı

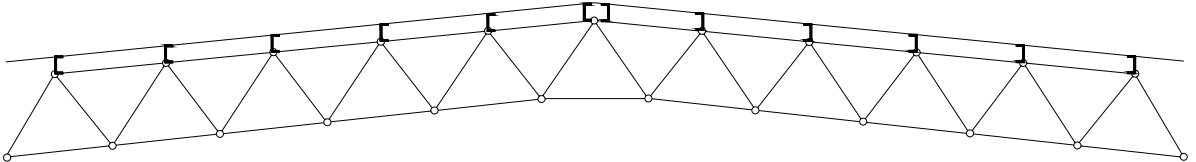
İki doğrultuda kesiti yatay olan uzak kafes sistemdir. Eğer kafes sistemde kaplama malzemesi eğimli kaplanacaksa, değişken boylardaki eğim dikmeleri düğüm noktalarına yerleştirilir ve bu dikmeler üzerine de aşıklar oturtularak çözüm sağlanır.



Şekil 2.5 Düz Çatı

### 2.4.2. Kırık Çatı

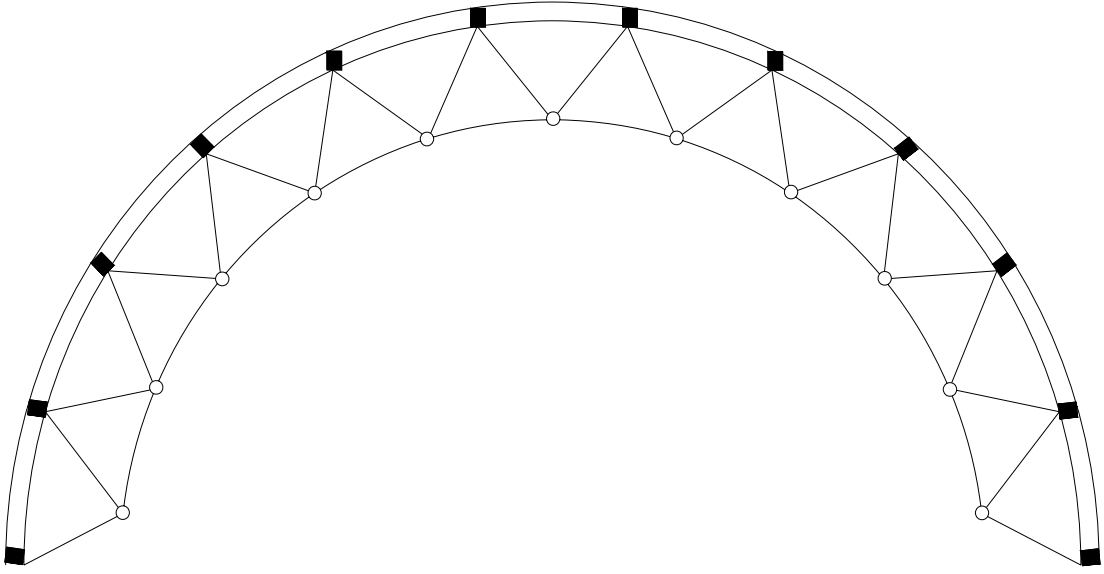
Bir doğrultuda kesiti kırık olan çatı sistemleridir. Çatı eğimi, uzak kafes sisteme verilen eğimle sağlanır. Kaplama malzemesi ya doğrudan uzak kafes üst başlık çubuklarına ya da eğim dikmesiz olarak aşıklara oturur. (Şekil 2.6)



Şekil 2.6 Kırık Çatı

### 2.4.3. Tonoz Çatı

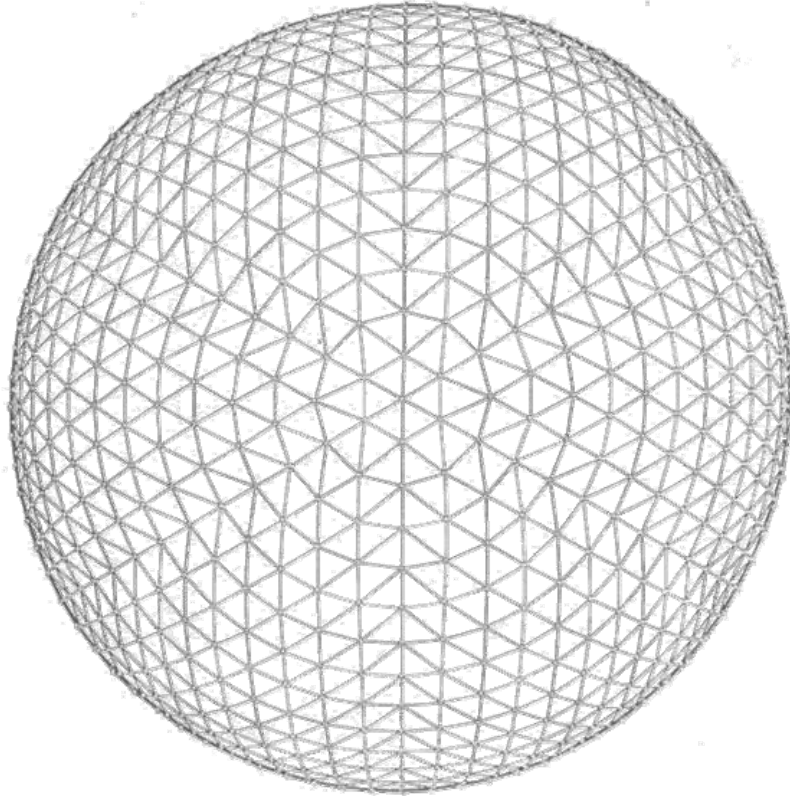
Kesiti yarım daire ya da daire parçası şeklinde olan kafes sistemlerdir. Kaplama malzemesi kırık çatılarda olduğu gibi yapıya monte edilir. (Şekil 2.7)



**Şekil 2.7** Tonz Çatı

#### **2.4.4. Kubbe Uzay Kafes Sistem**

Kubbe sistemler, yarım küre ya da küre parçası şeklinde olan yapılardır. Kürenin geometrik yapısından dolayı tek katmanlı kubbe yapı teşkil edilir. (Şekil 2.8)



**Şekil 2.8** Kubbe Uzay Kafes Sistem

#### **2.4.5. Piramit Kafes Sistemler**

Uzay kafes, planda her iki doğrultuda kırık olan piramit şeklinde bir sistemdir.

Yukarıda verilen kafes sistemlerin çeşitli birleşimleri kullanılarak, ana yapının geometrik şekline uygun olan uzay kafes sistem şekilleri türetmek mümkündür.



### 3. UZAY KAFES SİSTEMİ OLUŞTURAN BİLEŞENLER

Uzay kafes sistemi oluşturan ana bileşenler düğüm noktaları (küre elemanlar) ve çelik çubuklar (boru elemanlar)'dır. Bu bileşenlerden başka konik, cıvata, somun, pim, aşık ve aşık dikmesi gibi yardımcı parçalar da kullanılmaktadır.

#### 3.1. Düğüm Noktaları (Küre Elemanlar)

Uzay kafes Sistemin ana bağlantı elemanlarından biri olan çelik küreler DIN 17200 normuna uygun C1040 kalitesindeki çelik malzemeden, küre formunda ve sıcak dövme tekniği ile dolu gövdeli olarak üretilir. Kürelere projenin gerektirdiği kadar cıvata deliği açılır ve dış çekilir. (Şekil 3.1) Çubuk uçlarındaki cıvataların kürelerde açılan deliklere bağlanmasıyla uzay kafes sistem tamamlanmış olur.

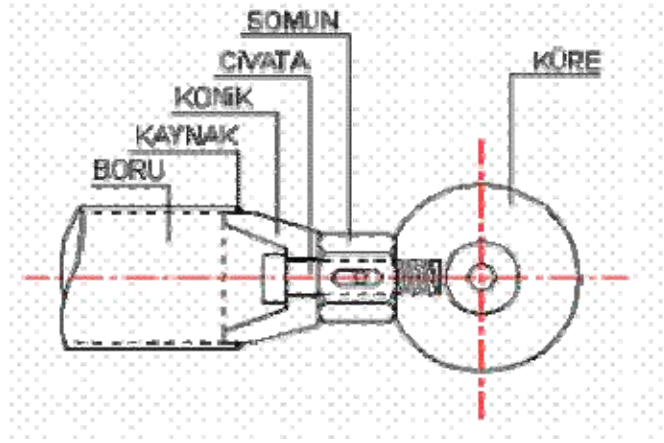
Uzay kafes sistemler teşkil edilirken projelerde statik ve geometrik ihtiyaçlara göre 60, 75, 90, 110, 130, 160, 190 mm çapında küreler kullanılırlar. Bir küre üzerine en fazla 18 adet delik açılabilir. Küre delikleri çubukların montajından başka, servis yüklerinin uygulanması ve aşıkların montajı için de kullanılabilir.



Şekil 3.1 Uzay Kafes Sistemlerde Düğüm Noktası (Küre Eleman)

#### 3.2. Çubuk Elemanlar (Borular)

Uzay kafes sistemlerin ana bileşeni olan çubuklar, her iki ucuna konik elemanların gazaltı kaynak kullanılarak birleştirildiği borulardan oluşurlar. (Şekil 3.2) Kullanım yüklerine göre çelik malzeme St37 veya St52 özelliklerinde olabilirler. Çekme ve basınç kuvvetleri, konik elemanlarla düğüm noktalarına aktarılır. Ayrıca birleşimde kullanılacak malzeme kalitesi en az boru kalitesinde olmalıdır.



**Şekil 3.2** Uzay Kafes Çubuk Uç Detayı

Uzay kafes sistem boruları, TS 301/3 ve DIN2440 normuna uygun olarak üretilirler. En çok kullanılan boruların çapları, et kalınlıkları ve kesit alanları Tablo 3.1 de verilmiştir. Projeye göre, borular 1" ile 10" arasında, çeşitli çap ve et kalınlıklarından meydana gelebilir.

**Tablo 3.1** Çubuklarda (Borularda) Enkesit Özellikleri

| Anma Çapı<br>(inc) | Dış Çap<br>(mm) | Et Kalınlığı<br>(mm) | Kesit Alanı<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------|-----------------|----------------------|-----------------------------------|
| ¾"                 | 26.9 mm         | 2.65 mm              | 2.02 cm <sup>2</sup>              |
| 1"                 | 33.7 mm         | 3.25 mm              | 3.11 cm <sup>2</sup>              |
| 1 ¼"               | 42.4 mm         | 3.25 mm              | 4.00 cm <sup>2</sup>              |
| 1 ½"               | 48.3 mm         | 3.25 mm              | 4.60 cm <sup>2</sup>              |
| 2"                 | 60.3 mm         | 3.65 mm              | 6.50 cm <sup>2</sup>              |
| 2 ½"               | 76.1 mm         | 3.65 mm              | 8.31 cm <sup>2</sup>              |
| 3"                 | 88.9 mm         | 4.05 mm              | 10.80 cm <sup>2</sup>             |
| 4"                 | 114.3 mm        | 4.50 mm              | 15.52 cm <sup>2</sup>             |
| 4"                 | 114.3 mm        | 5.40 mm              | 18.47 cm <sup>2</sup>             |
| 5"                 | 139.7 mm        | 4.85 mm              | 20.55 cm <sup>2</sup>             |
| 5"                 | 139.7 mm        | 5.40 mm              | 22.78 cm <sup>2</sup>             |
| 6"                 | 165.1 mm        | 4.85 mm              | 24.42 cm <sup>2</sup>             |
| 6"                 | 165.1 mm        | 5.40 mm              | 27.09 cm <sup>2</sup>             |

Projesine göre üretilen çubukların üzerine üzerinde montaj numarası yazılır ve buna göre uzay kafes sistemin montajı tamamlanır. Küreler ile konikler arasındaki temas yüzeyini arttırmak için deliklerin üstünde yüzey düzeltmesi yapılmaktadır. (Şekil 3.3)



**Şekil 3.3** Çubukta Montaj Numarası (100) Yazılan Eleman ve Temas Yüzeyinin Artırılması

Çubuklarda bazı kesit özellikleri aşağıdaki gibi verilmektedir:

|                  |                                  |
|------------------|----------------------------------|
| Boru dış çapı:   | $D$                              |
| Et kalınlığı:    | $t$                              |
| Boru iç çapı:    | $d = D - 2t$                     |
| Kesit alanı:     | $F = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4$  |
| Atalet momenti:  | $I = \pi \cdot (D^4 - d^4) / 64$ |
| Atalet yarıçapı: | $i = \sqrt{\frac{I}{F}}$         |

### 3.3. Konikler

Yukarıda Şekil 3.2 de verilen kesitteki konik parçaların malzemesi boru malzemesiyle aynı kalitede olup, kaynak kabul etme özelliği yüksektir. Bu konik parçalar içi dolu silindirik malzeme olup, CNC tezgâhlarında, boru ve küre bağlantısını sağlamak için kullanılacak civataya uygun şekilde diş açılır ve çubukların her iki ucuna gazaltı kaynak yöntemi kullanılarak tespit edilirler. Konikler üzerindeki diş çapı ve diş boyu çubuk kuvvetine göre hesaplanmaktadır. Aşağıda Şekil 3.4 te çeşitli konik tipleri verilmiştir.



Şekil 3.4 Konik Tipleri

### 3.4. Civatalar

Civatalar, konik elemanlar içinde döneabilen ve çekme kuvvetlerini karşılayan birleşim aracıdır. Bu elemanların dişsiz kısmında delik açılmış olup dişli kısmıyla da küreye bağlantı yapılmaktadır. (Şekil 3.5) Titreşimden etkilenmemesi için dişlerin sık olması gerekmektedir.

Civatalarda, imalatı yapan ve ayrıca kalitesini bildiren yazı veya işaretler bulunur. Tamamen mukavemet hesap sonuçlarına uygun kalitede ve boyutlarda seçilirler. Yapılan hesaplara göre 8.8 veya 10.9 kalitesinde uygun civatalar kullanılmaktadır. Kullanılan civataların teknik özellikleri aşağıda Tablo 3.2 de verilmiştir.



**Şekil 3.5** Civata Tipleri (Dişsiz kısmında delik açılmış)

**Tablo 3.2** Kullanılan Civataların Teknik Özellikleri

| Civata Çapı<br>(mm) | Civata Kalitesi | Civata Uzama<br>Gerilmesi | Çekme<br>Dayanımı        |
|---------------------|-----------------|---------------------------|--------------------------|
| M12                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M12                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M16                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M16                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M20                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M20                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M27                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M27                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M30                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M30                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M34                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M34                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M42                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M42                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |
| M48                 | 8.8             | 64 kg / mm <sup>2</sup>   | 80 kg / mm <sup>2</sup>  |
| M48                 | 10.9            | 90 kg / mm <sup>2</sup>   | 100 kg / mm <sup>2</sup> |

Birinci rakam 10 ile çarpılınca, çıkan değer malzemenin çekme dayanımını verir.

$$8.8 \text{ için } 8 \times 10 = 80 \text{ kg / mm}^2$$

$$10.9\text{'da } 10 \times 10 = 100 \text{ kg / mm}^2$$

İkinci rakam (8.8'in ikinci 8'i ) 8 = 0.8'dir. Yani ikinci rakam yukarıda bulunan çekme dayanımı ile çarpılarak çeliğin *Akma Gerilmesi* bulunur.

$$80 \times 0.8 = 64 \text{ kg / mm}^2$$

$$100 \times 0.9 = 90 \text{ kg / mm}^2$$

### 3.5. Somun ve Pimler

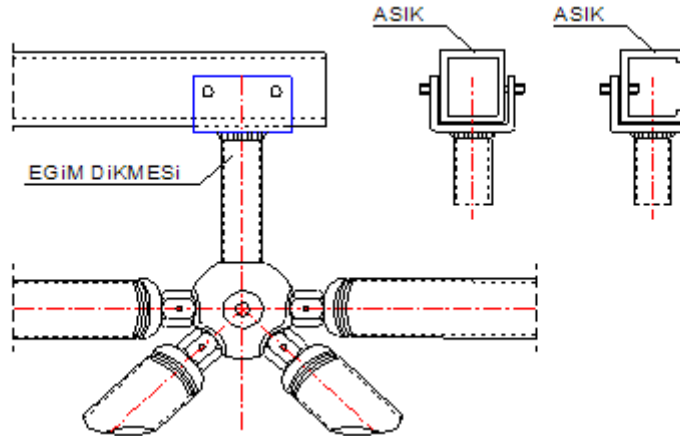
Somunlar uzay kafes sistemde, hem çubuklarla birlikte eksenel basınç kuvvetine karşı çalışan, hem de montaj esnasında anahtar kullanılarak civatanın küreye sıkılmasını sağlayan parçalardır. (Şekil 3.2) Malzeme kalitesi en az St37'dir. Statik sistemde oluşan basınç kuvvetlerine göre somunların çap ve et kalınlıkları değişir ve özel olarak imal edilirler. Hesaplanan kuvvetin büyüklüğüne göre malzeme kalitesi de artabilir.

Pimler, civatalarda ve somunlarda bulunan deliklere takılarak civataların dönmesini sağlayan parçalardır. Pimlerin kuvvet taşıyıcı hiçbir özelliği yoktur.

### 3.6. Aşıklar ve Aşık (Eğim) Dikmeleri

Çatı ve cephe kaplamaları ve derelerin uzay kafes sisteme bağlantısını sağlayan aşıklar, genellikle dikdörtgen kutu kesitli profillerden oluşur. Bazen I, Z ve U profilleri de kullanılabilir. Aşıklar uzay kafes sistemin üzerine eğim dikmeleriyle gerekli yükseklikte bağlanırlar. (Şekil 3.6) Malzemesi St37 olan aşıklara, çubuklara (borulara) uygulanan temizlik, boya ve galvaniz işlemleri uygulanır.

Aşık dikmeleri, uzay kafes sistemde çatı eğimini oluşturmak için üst başlık kürelerine bağlanan yükseltme parçaları (eğim dikmeleri ) dır. Dikmeler, eğim yüksekliğine, bağlandığı küre çapına göre farklı boylarda olur. Çatı eğimi sistem tarafından oluşturuluyorsa, aşık dikmelerine gerek duyulmaz.



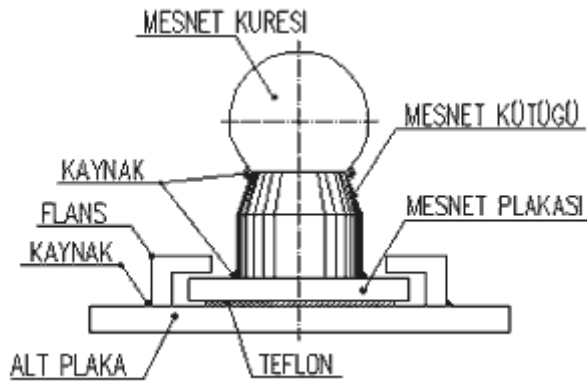
Şekil 3.6 Düğüm Noktasında Aşık ve Aşık Dikmesi Detayları

### 3.7. Mesnetler

Uzay kafes sistemlerde sistem stabilitesini sağlamak üzere, sabit ve kayıcı mesnetler oluşturulur. Mesnetler, ısı değişimi ve diğer nedenlerden oluşacak hareketleri minimize edecek şekilde düzenlenirler. Mesnetlerin şekil ve boyutları sistem özelliklerine göre çok çeşitli olabilmektedir.

Mesnetler, kürelerin altlarına kaynakla birleştirilen yükseltme parçalarının kaynaklandığı plakalar ve bunların içerisinde hareket edebildiği flanşlardan oluşurlar. (Şekil 3.7) Statik sistem çözümüne göre sabit, bir yöne kayıcı veya iki yöne kayıcı olarak göz önüne alınan mesnetlerde, kayıcılıklarını sağlamak için sürtünme katsayısı çok düşük teflon malzemeden plakalar kullanılır.

Mesnet elemanları, uzay kafes sistemin en önemli bağlantı noktasıdır. Bu mesnet noktasının en iyi şekilde yerleştirilmesi ve hesaplanması yapı güvenliği açısından son derece önemlidir.



Şekil 3.7 Tipik Mesnet Noktası

## 4. UZAY KAFES SİSTEMLERİN ANALİZİ

### 4.1. Analiz Yöntemleri

Uzay kafes sistemlerin analizinde amaç, boyutlandırma için gerekli sayısal verilerin hesaplanmasıdır. Gereken sayısal veriler genel olarak;

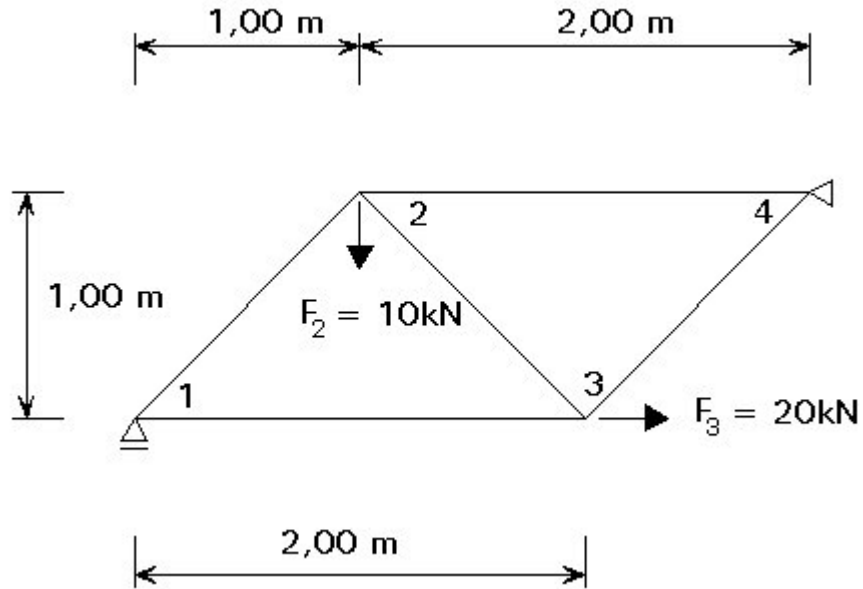
- Sistemdeki çubukların basınç veya çekme kuvvetleri
- Düğüm noktası deplasmanları
- Mesnet reaksiyon kuvvetleri

olabilir.

İncelenen problemin tipine bağlı olarak, tüm bilinmeyen niceliklerin belirlenmesine gerek kalmaz. Mevcut analiz yöntemleri aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

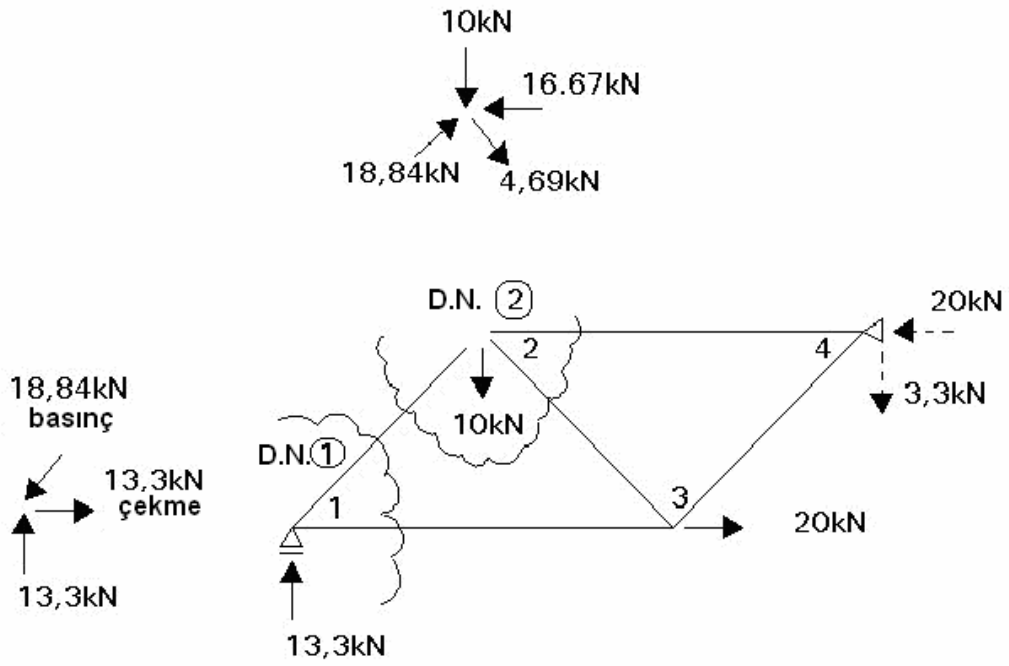
#### 4.1.1. Düğüm Noktaları Yöntemi

Düğüm noktaları yöntemi, Şekil 4.1 de verilen iki boyutlu izostatik kafes sistemle açıklanmaktadır. Çubuk kuvvetleri analitik veya grafiksel olarak hesaplanabilir. Burada, problemin analitik olarak hesaplanması gösterilmiştir. (Şekil 4.2)



Şekil 4.1 İki Boyutlu Kafes Sistem

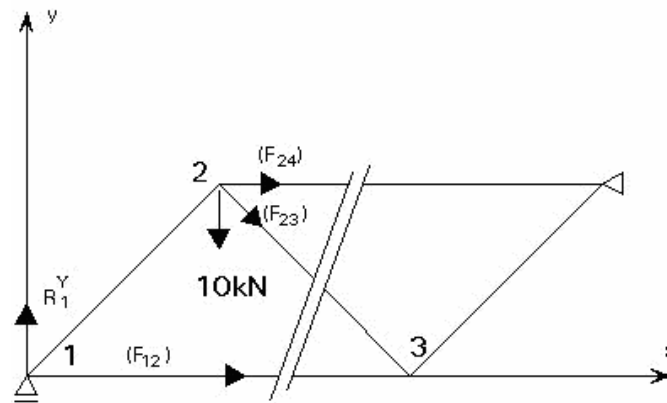




Şekil 4.2 Düğüm Noktaları Yöntemi (Analitik Çözüm)

#### 4.1.2 Kesim Yöntemi

Bazı durumlarda, bu yöntemde çubuk sayısı sınırlı sistemlerde çubuk kuvvetlerinin doğrudan hesaplanması için mühendis tarafından başvurulmaktadır. Örneğin, üçgen bir sistemin ön boyutlandırılmasında (Şekil 4.3) maksimum çubuk kuvvetlerini hesaplamak için kullanılabilir.



Şekil 4.3 Kafes Sistemde Kesim Yöntemi

#### 4.1.3. Deplasman Yöntemi

Deplasman yöntemi, yapı analizinde, tüm uzay yapılarda en genel yöntemdir. Düzlem ve uzay, izostatik veya hiperstatik kafes sistemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Günümüzde paket programlar (SAP2000, ANSYS, FRAMECAD, STA4 gibi) deplasman yöntemi ile hazırlanmıştır. Bu yöntemle çubuk kuvvetleri, deplasmanlar ve reaksiyon kuvvetleri gibi bilinmeyenler kolay bir şekilde hesaplanmaktadır. Malzeme davranışının lineer-elastik olduğu kabul edilmektedir.

Yöntemin çalışma prensibi, aşağıdaki lineer denge denkleminin çözülmesiyle açıklanmaktadır:

$$[K] \{D\} = \{F\} \quad (4.1)$$

burada

$[K]$  = sistem rijitlik matrisi

$\{D\}$  = bilinmeyen deplasman vektörü

$\{F\}$  = dış yük vektörü

Sabit mesnede karşı gelen  $\{D\}$  deplasman bileşenleri sıfır olmaktadır. Deplasmanların belirlenmesiyle çubuk kuvvetleri hesaplanmaktadır. Bu yöntem, bilgisayar yazılımlarına uygun düşmektedir.

#### 4.2. Uzak Kafes Sistemlerin Projelendirilmesi

Yapılan araştırmada, gerek Gençlik ve Spor Genel Müdürlüğü'nün gerçekleştirdiği spor komplekslerinde, gerekse diğer kuruluşların ve özel sektörün büyük kapsamlı projelerinde boyutlandırma yapılırken, genel olarak SAP2000 ve FRAMECAD paket programlarının yaygın olarak kullanıldığı görülmüştür.

Açıkça belirtmek gerekirse, uzak kafes sistem çubuklarının, Matris-Deplasman Yöntemi ile programlanan söz konusu SAP2000 ve FRAMECAD gibi paket programlara göre analizi ve boyutlandırılması yapılır. Analizde yükler sadece düğüm noktalarına etki ettirilir. Çubuklar sadece aksenal çekme veya basınca çalışacak şekilde hesaplanmaktadır. Ayrıca, aksi belirtilmedikçe, çubuklarda moment yaratacak ve çubukla dik açı yapacak şekilde çubuğa yük asılmasına izin verilmez. Bu şekilde bir yük söz konusu olduğu zaman, bu durum önceden belirtilmelidir.

Sistemin statik hesaplar yapılırken, aşağıda belirtilen yükler arasından mevcut olanlar ve özel olarak belirlenen yükler göz önüne alınır. Ancak bu yükler dışında bazı temel yükler de vardır ve bunlar tüm şartnamelerde kullanılır. Böylece, sistem analizi yapılırken aşağıdaki yüklerden gerekli olanlar göz önüne alınır:

#### **4.2.1. Şartname Gereği Alınması Gereken Yükler**

- Uzay Sistem zati yükü
- Aşık zati yükü
- Kaplama zati yükü
- Yağış yükü (yağmur / kar )
- Rüzgar yükü
- Sıcaklık tesiri
- Deprem yükü

#### **4.2.2 Yapının Fonksiyonlarına Göre Alınması Gereken Yükler**

- Hareketli (canlı) yük
- Servis yükü (aydınlatma, tesisat, havalandırma, asma tavan, kedi yolu, nokta tesirli özel yükler (basketbol potası) vb.)

#### **4.3. Uzay Kafes Sistemlerin Projelendirilmesinde Özel Kurallar**

Uzay kafes sistemlerin tasarımında (analiz, imalat ve montaj işlemlerinde) genel olarak çelik yapılar için geçerli olan aşağıdaki şartnamelerden yararlanılır:

- **TS 648** Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları
- **TS 3357** Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları
- **TS 498** Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler

Ancak, yapılan araştırmada, bu şartnamelerin tüm kural ve koşullarına ek olarak aşağıdaki kuralların da kullanılması önerilmektedir[11]:

1. **Hiperstatiklik ve Stabilit  Kontrolu:** Uzak kafes taşıyıcı sistem çatının yapısal güvenliğini tek bir elemanın güvenliğine indirgemeyecek şekilde yeterli derecede hiperstatik olmalıdır. Maksimum çekme yükü taşıyan çubuk eleman başta olmak üzere çatı stabilitesi açısından kritik çekme çubuklarından herhangi birinin kopması durumunda çatı;

- 0.75(Sabit+Kar) yükünü emniyet gerilmeleri aşılmadan, veya
- Sabit+Kar yükünün tümünü emniyet gerilmeleri %33 artırılarak

güvenle taşımaya devam edebilmelidir.

2. **İmalat Kalite Kontrolu:** Uzak sistemi oluşturan ve imalatı tamamlanmış değişik tip çubukların her 500 adedinden en az 1 numune (minimum 1 adet) olmak üzere ve Küre+Civata+Konik+Boru şeklinde bir bütün olarak deneysel çekme testine tabi tutulacaktır. Test sonucu çubuğun çekme kapasitesinin projede kullanılan emniyet değerinin en az %50 fazlası olması gerekir. Testler sonucu herhangi bir çubuğun bu koşulu sağlamadığının görülmesi durumunda aynı tip çubuklardan 3 adet numune yeniden teste tabi tutulacaktır. İkinci etap testlerde de bu çubuklardan herhangi birinin testi geçememesi durumunda söz konusu çubuk tipinin ait olduğu grup tümü ile red edilerek tüm grubun imalatı yeniden gerçekleştirilecektir.

3. **Dinamik Analiz ve Deprem Yüklerinin Hesabı:** Olası bir deprem esnasında uzak çatı yapı üzerinde oluşan deprem zorlamaları Türk Deprem Yönetmeliği hükümleri çerçevesinde ve mod süperpozisyonu yöntemi ile hesaplanacaktır. Hesaplamalarda depremin düşey bileşeni yatay bileşeninin 2/3'ü olarak kabul edilecek ve yapı davranışına bağlı deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a=1.5$  olarak alınacaktır. Betonarme veya çelik yapılar üzerine oturan çatıların analizleri çatının üzerine oturduğu yapının yanal rijitliğini de göz önüne almak üzere yapı ile birlikte gerçekleştirilecektir. Çok katlı yapılar üzerine oturan çatılar için üzerine oturduğu yapı sadece son katı olarak ve kat tabanında ankastre olarak göz önüne alınabilir.

4. **Mesnet Bağlantıları:** Uzak çatı mesnetlerinin yapısal sisteme bağlantılarında olası bir deprem esnasında oluşacak zorlamaların toplamı her iki asal deprem yönü için ayrı ayrı olmak üzere;

$$2A_0IW \quad (4.2)$$

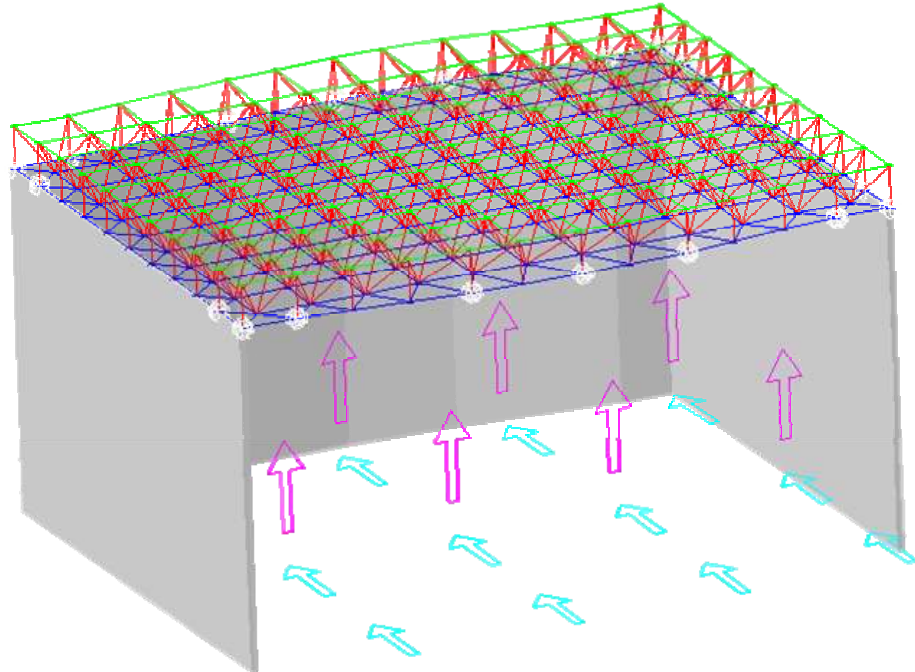
Değerinden az olmayacaktır. Burada W çatının deprem esnasındaki toplam ağırlığı olup çatı toplam sabit (ölü) yükü ile tasarım kar yükünün %30'unun toplamına eşit alınacaktır. ( $W = \text{Çatı toplam ölü yükü} + \%30 \text{ Kar yükü}$ ) Dinamik analizler sonucu hesaplanan mesnet zorlanmalarının her iki asal deprem doğrultusundaki bileşenleri toplamının yukarıda verilen değerin altında kalması durumunda tüm mesnet reaksiyonları bu değeri sağlamak üzere ve aynı oranda büyütülecektir.

5. **Civata Emniyet Gerilmeleri:** Civatalar güvenlik açısından uzay kafes sistemler için son derece önemli birleştirme elemanlarıdır. Uygulamada civatalar için emniyet gerilmelerinin bazı tasarımlarda çok yüksek alındığı görülmektedir. Civata kopma gerilmesine ( $F_K$ ) bağlı olarak ve minimum emniyet faktörü  $F_S = 2.5$  olarak öngörülerek

$$F_{EM} = F_K / 2.5 = 0.40F_K \quad (4.3)$$

olarak alınacaktır.

6. **Hangar Yapılarında Rüzgar Patlatma Basıncı:** Hangar kapısının rüzgarlı havalarda da açık olabileceği göz önüne alınarak rüzgarın hangar yapısı içinde yaratacağı iç patlatma basıncı rüzgar basıncının %80'i ( $0.80q_w$ ) olarak göz önüne alınacaktır.



**Şekil 4.4** Hangar Yapısında Rüzgar Basıncı Etkisi

7. **Minimum Eleman Boyutları:** Minimum civata M16, boru çapı 60mm, boru et kalınlığı 3.5mm olacaktır. Boru çapı 100mm ve üzerinde olan basınç çubuklarında maksimum narinlik oranı 200 ile sınırlandırılacaktır.
8. **İlave Kar Birikimi:** Çatı üzerinde baca veya benzer ani bir lokal mimari çıkıntının bulunması veya çatı çevresinde komşu bir yapı cephesi yada parapet duvar bulunması durumunda bu çıkıntı çevresinde sürüklenme ile oluşabilecek aşırı kar birikimi göz önüne alınacaktır. Şekilde görülen bu kar birikimi çatı yüzeyindeki veya çevresindeki çıkıntı yüksekliğinin ( $H_p$ ) tasarım kar yüküne karşı gelen kar yüksekliğinden ( $H_s$ ) büyük olması durumunda göz önüne alınacak olup tasarım kar yüksekliğinin hesabında kar özgül ağırlığı 0.2 olarak alınacaktır. Çıkıntı yüksekliği  $H_p \geq 2H_s$  olması durumunda  $S=H_s$  aksi takdirde  $S=H_p-H_s$  olarak alınacaktır.

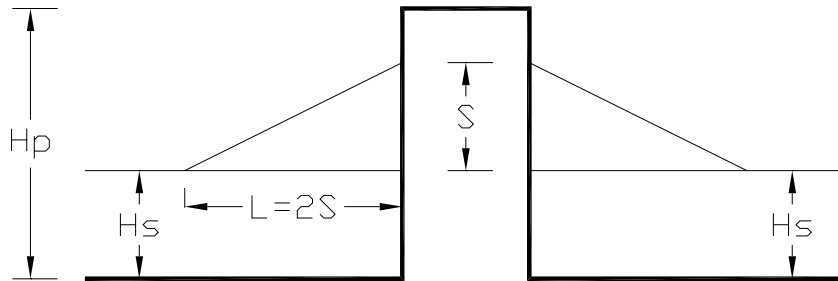
$F_s$  = Tasarım Kar Yüğü (kPa) ise

$H_s = 0.5F_s$  (m)

Eğer  $H_p > H_s$  ise  $S = H_p - H_s$

(4.4)

Eğer  $H_p > 2H_s$  ise  $S = H_s$



9. **Kaplama Sistemi:** Çatı kaplama taşıyıcı alt sistemi (Aşık/Mertek sistemi) uzay çatı üst yüzeyini oluşturan tüm düğüm noktalarına yük aktarabilecek şekilde bağlantılı olacaktır. Mimari veya diğer bir nedenle çatı kaplama sisteminin çatı üst yüzey formundan farklı bir forma sahip olması veya çatı üst yüzey düğümlerinden bazılarına bağlanmıyor olması durumunda kaplama taşıyıcı alt sistemi uzay çatı yapısının entegre bir parçası olarak düşünülecek ve analiz ve tasarımı birlikte gerçekleştirilecektir. Çatı kaplama sisteminin yapısı ve uzay çatı taşıyıcı sistemine bağlantı detayları proje teknik çizim paftalarında mutlaka gösterilecektir.

10. **Montaj-Kurulum:** Herhangi bir doğrultudaki açıklığı 10 metre ve üzerinde olan uzay çatılara ait projelerde uzay çatının montaj ve kurulum aşamalarını gösteren montaj-kurulum projesi düzenlenecek ve bu proje aşağıdaki hususları içerecektir.

- a. Kurulum aşamalarını çatı üzerinde aşama numaralı bölgeler olarak gösteren bir montaj planı ile bu aşamalar süresince çatının geçici olarak destekleneceği noktaları aşama numaralı olarak gösteren bir destek planı.
- b. Varsa montajı yerde gerçekleştirilecek uzay çatı bölümleri ile bunların hangi noktalardan tutularak yerine taşınacağı

11. **Sunum:** Projeye ait aşağıdaki geometrik ve malzeme bilgilerini içeren bir veri dosyası manyetik ortamda hazırlanarak idareye sunulacaktır.

- a. Düğüm Bilgileri: DüğümNo X Y Z Koord. BaşlıkNo DüğümKüreÇapı
- b. Çubuk Bilgileri: ÇubukNo DüğümNoI DüğümNoJ ÇubukTipNo
- c. Çubuk Tip Bilgileri: TipNo BoruBilgileri Civata Somun Pim

## 5. SAYISAL UYGULAMALAR

Uzay kafes sistemlerin analiz ve tasarımında, ticari kuruluşlarda ve akademik çevrelerde değişik bilgisayar yazılımlarının kullanıldığı görülmüştür. Bu yazılımlarda yapısal analiz, sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmaktadır. Tüm hesap esaslarında, ülkemizde geçerli olan TS ve uluslararası normlara genel olarak bağlı kalındığı, yapılan araştırmada ortaya konulmuştur.

Ülkemizde uzay kafes sistemlerin analizi, tasarımı ve projelendirilmesiyle uğraşan; UZKOM, POLARKON, MEGAFORM, NERU, UZAYSAN, PROTECHNIC gibi bazı firmalar sayılabilir. Bu proje kuruluşları, uzay kafes sistemlerle ilgili teknik şartnameleri göz önüne almakta, işlemlerin her aşamasında etkin bir denetim sistemi oluşturmakta, bu amaçla ISO kalite yönetim sistemi tasarlamakta ve kalite kontrolüne önem vermektedir.

Uzay kafes sistemlerin analiz ve boyutlandırılmasında UZAYSAN, MEGAFORM ve UZAYKON firmalarının gerçekleştirmiş olduğu çeşitli projeler yeniden incelenmiş ve hesaplanmıştır.

İncelenmiş olan projeler, UZAYSAN firmasının Malatya Merkez İlköğretim Okulu spor salonu tek katmanlı uzay kafes sistem projesi, MEGAFORM firmasının gerçekleştirdiği Malatya Belediyesi, Malatya Otogar ana bina üzeri tek katmanlı uzay kafes sistem projesidir. Çift katmanlı uzay kafes sistemlerle ilgili olarak; UZAYSAN firmasının Bursa'da gerçekleştirdiği 2500 kişilik kapalı yüzme havuzu uzay kafes sistem projesi, UZAYKON firmasının Elazığ'da gerçekleştirdiği Kapalı yüzme havuzu uzay kafes sistem projeleri incelenmiştir.

UZAYKON firmasının Elazığ ve Bursa'da gerçekleştirdiği kapalı yüzme havuzu projeleri büyük açıklıklı projelerdir. Dolayısıyla tek katmanlı olarak bu projelerin gerçekleştirilmesi halinde, yapı güvenliği açısından önemli problemlerin ortaya çıkması beklenmektedir. Bu bakımdan söz konusu bu sistemler çift katmanlı olarak boyutlandırılmıştır.

İncelenen projelerde UZAYSAN ve UZAYKON firması FrameCAD, MEGAFORM firması ise SAP2000 programlarını kullanmıştır. Hesap ve boyutlandırmada aşağıdaki yükleme ve kombinezonlar göz önüne alınmıştır.



## 5.1. Uzay Kafes Sistem Statik Hesap Kriterleri

### GEOMETRİ

Uzay kafes sistem Çatının paftasında düğüm noktaları, eleman numaraları ve eleman tipleri gösterilir.

### YÜKLER

YÜKLEME 1: Uzay kafes ağırlığı, -Z yönünde hesaplandığı gibi

YÜKLEME 2: Kaplama ağırlığı + Aşık + Servis yükleri

YÜKLEME 3: Kar yükü (TS 498)

YÜKLEME 4: +X yönündeki rüzgar yükü

YÜKLEME 5: -X yönündeki rüzgar yükü

YÜKLEME 6: +Y yönündeki rüzgar yükü

YÜKLEME 7: -Y yönündeki rüzgar yükü

YÜKLEME 8: +X yönünde deprem yükü

YÜKLEME 9: +Y yönünde deprem yükü

YÜKLEME 10: ısı farkı yükü

Rüzgar yükü:

|               |                       |
|---------------|-----------------------|
| 0 - 8 m arası | 50 kg/m <sup>2</sup>  |
| 8 -20 m arası | 80 kg/m <sup>2</sup>  |
| 20-... m      | 110 kg/m <sup>2</sup> |

Deprem yükleri

$$V_t = WA(T1)/Ra(T1) \quad (5.1)$$

$$W = w + nq$$

$$w = (y_1 + y_2) + 0.3 \cdot (y_3) = t/m^2$$

$$A(T1) = A_o I_S(T)$$

$$A_o = \text{Deprem bölgesi}$$

$$V_t = w \cdot A(T1) / Ra(T1) = t/m^2$$

## KOMBİNASYONLAR

- Kom1- Düşey yükler,( uzay+kaplama+aşık+tesisat+kar)
- Kom2- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu
- Kom3- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu
- Kom4- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu
- Kom5- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu
- Kom6- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu
- Kom7- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu
- Kom8- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu
- Kom9- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu
- 
- Kom10- Düşey yükler,+ ısı
- Kom11- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom12- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom13- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom14- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu + ısı
- Kom15- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom16- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom17- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu + ısı
- Kom18- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu + ısı
- 
- Kom19- Düşey yükler,+ -ısı
- Kom20- Düşey yükler +rüzgarın +X yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom21- Düşey yükler +rüzgarın -X yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom22- Düşey yükler +rüzgarın +Y yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom23- Düşey yükler +rüzgarın -Y yönünde esmesi durumu + -ısı
- Kom24- Düşey yükler +depremin +X yönünde etkimesi durumu + -ısı
- Kom25- Düşey yükler +depremin +Y yönünde etkimesi durumu + -ısı
- Kom26- Düşey yükler +depremin -X yönünde etkimesi durumu + -ısı
- Kom27- Düşey yükler +depremin -Y yönünde etkimesi durumu + -ısı

## BİLGİSAYAR HESAPLARI ve NETİCELERİ

Bilgisayar hesapları neticesinde aşağıdaki başlıklar output'da yer almaktadır.

- Aşık hesapları
  - \* Düğüm noktaları ve çubuk elemanları numaraları
  - \* Düğüm noktaları koordinatları
  - \* Mesnet şartları
  - \* Çubuk eleman bilgileri
  - \* Yükler
  - \* Kombinasyon katsayıları
  - \* Deplasmanlar
  - \* Mesnet reaksiyonları
  - \* Eleman kuvvetleri
  - \* Yay kuvvetleri
  - \* max reaksiyon ve deplasmanlar şeması
  - \* Dizayn tablosu
  - \* Mesnet Hesapları

### 5.2. Tek Katmanlı Malatya Merkez İlköğretim Okulu Spor Salonu

UZAYSAN firması tarafından 2001 yılında projesi gerçekleştirilen ve hizmete açılan spor salonu uzay kafes sistem alanı yaklaşık olarak  $33.5 \times 36.8 = 1233 \text{ m}^2$  civarındadır. (Şekil 5.1) Bu alan ve açıklıklar kapalı yüzme havuzlarının boyutlarıyla karşılaştırıldığında, tek katmanlı olarak boyutlandırılması optimum bir çözüm olarak yorumlanabilir.

Sistemde 1152 çubuk ve 313 düğüm noktası mevcuttur. Toplam boru ağırlığı 18392 kg, küre, konik, cıvata, somun gibi elemanların ağırlığı ise, 3458 kg olarak hesaplanmıştır. Diğer ara elemanlar, aşık ve merteklerle birlikte genel toplam ağırlık 33487 kg bulunmuştur. (Tablo 5.1)



**Tablo 5.1** Çelik Malzeme Metraji

| MALATYA İLKÖĞRETİM OKULU            |                                                                   |               |   |                           |                           |                           |                     |               |  |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------|---|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------|---------------|--|
| ÇELİK MALZEME METRAJİ               |                                                                   |               |   |                           |                           |                           |                     |               |  |
| Malzeme cinsi                       | Malzeme tipi                                                      | Boyutlar (mm) |   |                           | Miktarı(m)                | Kesiti (cm <sup>2</sup> ) | BirimAğırl. (kg/m)  | ToplamA. (Kg) |  |
| Boru(St37)                          | 1.5 inch                                                          | 48,3          | x | 2,5                       | 1064,55                   | 3,60                      | 2,82                | 3004,49       |  |
| Boru(St37)                          | 1.5 inch                                                          | 48,3          | x | 3,25                      | 404,55                    | 4,60                      | 3,61                | 1459,99       |  |
| Boru(St37)                          | 2 inch                                                            | 60,3          | x | 3,65                      | 369,28                    | 6,49                      | 5,10                | 1882,12       |  |
| Boru(St37)                          | 2.5 inch                                                          | 76,1          | x | 3,65                      | 522,09                    | 8,30                      | 6,52                | 3403,11       |  |
| Boru(St37)                          | 3 inch                                                            | 88,9          | x | 4,05                      | 368,60                    | 10,79                     | 8,47                | 3122,21       |  |
| Boru(St37)                          | 4 inch                                                            | 114,3         | x | 4,50                      | 279,15                    | 15,51                     | 12,18               | 3399,79       |  |
| Boru(St37)                          | 2.5 inch                                                          | 139,7         | x | 4,85                      | 103,18                    | 20,54                     | 16,12               | 1663,36       |  |
| Boru(St37)                          | 3 inch                                                            | 165,1         | x | 4,80                      | 2,58                      | 24,16                     | 18,97               | 48,93         |  |
| Boru(St37)                          | 4 inch                                                            | 168,0         | x | 12,00                     | 5,16                      | 58,78                     | 46,14               | 238,10        |  |
| Dikme                               | 1.5 inch                                                          | 48,3          | x | 3,25                      | 46,95                     | 4,60                      | 3,61                | 169,44        |  |
| Toplam boru ağırlığı A1(kg) =       |                                                                   |               |   |                           |                           |                           |                     | 18392         |  |
| Küre                                | 90,110,132,15 154,19                                              |               |   |                           |                           |                           |                     | 1545,00       |  |
| Konik                               | M12-M16-M20-M24-M27-M3 M27-M30-M33-M36-M42                        |               |   |                           |                           |                           |                     | 1113,00       |  |
| Civata                              | M12-8.8/M16-10K/M20-10K/M24-10K/M27-10K/M30-10KL/M33-10KL         |               |   |                           |                           |                           |                     | 453,00        |  |
|                                     | M36-10KL/M42-10KL                                                 |               |   |                           |                           |                           |                     |               |  |
| Somun                               | 19/13,27/18,36/22,41/22,41/26,45/29,50/35,50/32,60/38,60/44,80/32 |               |   |                           |                           |                           |                     | 297,00        |  |
| Aşık civatası (adet)                |                                                                   |               |   | 188                       | M12                       |                           | 0,2664              | 50,03         |  |
| Toplam ara eleman ağırlığı A2(kg) = |                                                                   |               |   |                           |                           |                           |                     | 3458          |  |
|                                     |                                                                   |               |   |                           | ORAN= A2/(A1+A2) =        |                           |                     | 0,16          |  |
| Kolon alt mesnet plakası            |                                                                   |               |   |                           | 10                        | adet                      | 31,4                | 314,00        |  |
| Mesnet plakası                      |                                                                   |               |   |                           | 10                        | adet                      | 25,12               | 251,20        |  |
| Saplama                             |                                                                   |               |   |                           | 40                        | adet                      | 0,61                | 24,40         |  |
|                                     |                                                                   |               |   |                           | Toplam ağırlığı(kg)=      |                           |                     | 589,60        |  |
|                                     |                                                                   |               |   | Boya alanı (m2) boru aşık |                           |                           | BirimAğırl. (kg/m2) |               |  |
| Boya                                |                                                                   |               |   | 1094,14                   |                           |                           | 0,25                | 273,54        |  |
|                                     |                                                                   |               |   |                           | Toplam boya ağırlığı(kg)= |                           |                     | 273,54        |  |
|                                     |                                                                   |               |   |                           | Toplam Uzay Ağırlığı      |                           |                     | 22713         |  |

| Uzunluğu(m)                 |     | Tip     | BirimAğırl. (kg/m) |         |
|-----------------------------|-----|---------|--------------------|---------|
| Aşık                        | 500 | NPU100  | 10,6               | 5300,00 |
| Mertek                      | 850 | 50/90/3 | 6,44               | 5474,00 |
| Toplam aşık mertek ağırlığı |     |         | 10774              |         |
| GENEL TOPLAM                |     |         | 33487              |         |

## ŞARTNAMELER

- \* T.S 648 ÇELİK YAPILARIN HESAP VE YAPIM KURALLARI
- \* T.S 498 YAPI ELEMANLARININ BOYUTLANDIRILMASINDA ALINACAK YÜKLER
- \* AFET BÖLGELERİNDE YAPILACAK YAPILAR HAKKINDA YÖNETMELİK (1998)
- \* BETONARME TEMEL HESAPLARINDA TS500

esas alınmıştır.

## KULLANILAN MALZEME

Uzay kafes sistem elemanları çelik boru, konik, somun ve bulonlardan oluşmaktadır. Bu elemanlar kürelerde birleşmektedirler. Çubuklardaki basınç kuvveti kürelere somunlar vasıtası ile, çekme kuvveti ise bulonlar vasıtası ile aktarılmaktadır. Uzay kafes sistem elemanlarında kullanılan parçaların malzeme kaliteleri ve bunların emniyet gerilmeleri aşağıda verilmiştir.

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
| Borularda  | : | St37 St52 |
| Kürelerde  | : | St60      |
| Bulonlarda | : | 10.9      |
| Somunlarda | : | St37      |
| Pimlerde   | : | St37      |
| Koniklerde | : | St52      |

## SOMUN EMNİYET GERİLMELERİ

|                         |                                                    |
|-------------------------|----------------------------------------------------|
| <u>Akma Sınırı</u>      | <u>Emniyet Gerilmesi</u>                           |
| 2400 kg/cm <sup>2</sup> | 1440 kg/cm <sup>2</sup> (1656 kg/cm <sup>2</sup> ) |

## BULON EMNİYET GERİLMELERİ

|               |                          |                         |                          |
|---------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| <u>Kalite</u> | <u>Kopma Sınırı</u>      | <u>Akma Sınırı</u>      | <u>Emniyet Gerilmesi</u> |
| 10.9          | 10000 kg/cm <sup>2</sup> | 9000 kg/cm <sup>2</sup> | 5000 kg/cm <sup>2</sup>  |

## BORU EMNİYET GERİLMELERİ

|               |                         |                         |                                                    |
|---------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------------------------------|
| <u>Kalite</u> | <u>Kopma Sınırı</u>     | <u>Akma Sınırı</u>      | <u>Emniyet Gerilmesi</u>                           |
| St37          | 3700 kg/cm <sup>2</sup> | 2400 kg/cm <sup>2</sup> | 1440 kg/cm <sup>2</sup> (1656 kg/cm <sup>2</sup> ) |
| St52          | 5200 kg/cm <sup>2</sup> | 3600 kg/cm <sup>2</sup> | 2160 kg/cm <sup>2</sup> (2484 kg/cm <sup>2</sup> ) |

## YÜK DEĞERLERİ

### Esas Yükler

Esas yükler düşey doğrultuda olup hesapların yapıldığı **Framecad** adlı bilgisayar programı tarafından üst başlık düğüm noktalarına her düğümün alan payına göre yayılı yükten tekil yüke çevrilerek etki ettirilmektedir.

Uzay kafes sisteme etkiyen düşey yayılı yük aşağıda gösterildiği gibidir:

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Uzay sistem zati yükü | 17.70 kg/cm <sup>2</sup> |
| Kar Yüğü              | 135.0 kg/cm <sup>2</sup> |
| Rüzgar Yüğü           | 80.00 kg/cm <sup>2</sup> |
| Kaplama               | 10.00 kg/cm <sup>2</sup> |
| Tesisat Yüğü          | 15.00 kg/cm <sup>2</sup> |
| Aşık                  | 8.78 kg/cm <sup>2</sup>  |

## METODLAR

### Uzay Kafes Elemanları

Uzay kafes sistemin statik analizinin ve çözümünün yapılmasında kullanılan **Framecad** bilgisayar programı matris-deplasman metoduna göre analiz yapmaktadır. Elemanların boyutlandırılmaları ise "elastik davranış" kabulü yapılarak emniyet gerilmelerinin altında kalacak şekilde boyutlandırma yapılmaktadır.

### Boru Taşıma Gücü

Uzay sistem elemanları aldıkları yüklere göre aşağıda çapları, et kalınlıkları ve kaliteleri belirtilen borulardan oluşabilirler:

| <u>Çap (mm)</u> | <u>Et kalınlığı (mm)</u> | <u>Kalite</u> |
|-----------------|--------------------------|---------------|
| 42.4            | 3.00                     | St37          |
| 42.4            | 3.25                     | St37          |
| 48.3            | 3.00                     | St37          |
| 48.3            | 3.25                     | St37          |
| 60.3            | 3.00                     | St37          |
| 60.3            | 3.65                     | St37          |
| 76.1            | 3.50                     | St37          |
| 88.9            | 4.05                     | St37          |
| 88.9            | 5.50                     | St37          |
| 114.3           | 4.20                     | St37          |
| 114.3           | 6.00                     | St37          |
| 139.7           | 4.85                     | St37          |
| 139.7           | 6.00                     | St37          |
| 159.0           | 5.50                     | St52          |
| 159.0           | 5.60                     | St52          |
| 159.0           | 8.00                     | St52          |
| 219.1           | 10.00                    | St52          |

Bu boruların emniyetli olarak taşıyabileceği yükler aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır:

|                     |                                           |
|---------------------|-------------------------------------------|
| Boru dış çapı:      | D                                         |
| Et kalınlığı:       | t                                         |
| Boru iç çapı:       | $d = D - 2t$                              |
| Kesit alanı:        | $F = \pi \cdot (D^2 - d^2) / 4$           |
| Atalet momenti:     | $I = \pi \cdot (D^4 - d^4) / 64$          |
| Atalet yarıçapı:    | $i = \sqrt{\frac{I}{F}}$                  |
| Çubuk boyu          | s                                         |
| Narinlik derecesi   | $\lambda = s / i$                         |
| Burkulma katsayısı  | $\omega$                                  |
| Çekme çubuklarında  | $P_{\max} = \sigma_{em} \cdot F$          |
| Basınç çubuklarında | $P_{\max} = \sigma_{em} \cdot F / \omega$ |



## Bulon Hesabı

Uzay kafes sistem elemanlarda 10.9 kalitesinde metrik bulonlar kullanılmaktadır. Kullanılan bulonlar ve bunların pim deliği çapları ile net bulon çapları aşağıda gösterildiği gibidir:

| <u>Bulon Tipi</u> | <u>Bulon Çapı (mm)</u> | <u>Net Bulon Çapı (mm)</u> | <u>Pim Deliği Çapı (mm)</u> |
|-------------------|------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| M12               | 12                     | 10.25                      | 4                           |
| M16               | 16                     | 14.00                      | 4                           |
| M20               | 20                     | 17.50                      | 5                           |
| M24               | 24                     | 21.00                      | 5                           |
| M30               | 30                     | 26.50                      | 5                           |
| M42               | 42                     | 37.50                      | 6                           |
| M48               | 48                     | 43.00                      | 6                           |

Bu bulonların emniyetli olarak taşıyabilecekleri yükler aşağıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır:

|                   |                                           |
|-------------------|-------------------------------------------|
| Bulon çapı:       | D                                         |
| Diş Adımı:        | f                                         |
| Pim deliği çapı:  | d                                         |
| Net bulon çapı:   | $d_1 = D - f$                             |
| Net bulon alanı:  | $F_{net} = \pi \cdot (d_1)^2 / 4$         |
|                   | $F_{net} = \pi \cdot (0.86D)^2 / 4$       |
|                   | $F_{net} = \pi \cdot D^2 / 4 - D \cdot d$ |
|                   | den küçük olan değer alınır.              |
| Bulon mukavemeti: | $P_{max} = F_{net} \cdot \sigma_{em}$     |

## YÜK ANALİZİ

### • Yükler

|                            |                                            |                      |
|----------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
| Uzay sistem zati ağırlığı: | $g_1 = 17.70 \text{ kg/m}^2$               | (her düğümde farklı) |
| Aşık + kaplama:            | $g_2 = 18.78 \text{ kg/m}^2$               |                      |
| Tesisat Yüğü:              | $g_3 = 15.00 \text{ kg/m}^2$               |                      |
| Kar yüğü:                  | $q_s = 135.0 \text{ kg/m}^2$               |                      |
| Rüzgar yüğü:               | $V = 80.0 \text{ kg/m}^2$                  |                      |
| Sıcaklık değışimi:         | $\Delta T = \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ |                      |

### • Yükleme 1:

|                                   |                              |                      |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| <u>Uzay sistem zati ağırlığı:</u> | $g_1 = 17.70 \text{ kg/m}^2$ | (her düğümde farklı) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|

Pi (z) her düğüm noktasında farklıdır ve bilgisayar tarafından otomatik olarak hesaplanır.

### • Yükleme 2:

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| <u>Aşık + kaplama:</u> | $g_2 = 18.78 \text{ kg/m}^2$ |
|------------------------|------------------------------|

$$P_i(z) = 0.01878 * (A_i) \quad A_i = \text{yük alanı}$$

Ai, modül boyuna bağılı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

### • Yükleme 3:

|                      |                              |
|----------------------|------------------------------|
| <u>Tesisat Yüğü:</u> | $g_3 = 15.00 \text{ kg/m}^2$ |
|----------------------|------------------------------|

$$P_i(z) = 0.015 * (A_i) \quad A_i = \text{yük alanı}$$

Ai, modül boyuna bağılı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

### • Yükleme 4:

|                  |                              |
|------------------|------------------------------|
| <u>Kar yüğü:</u> | $q_s = 135.0 \text{ kg/m}^2$ |
|------------------|------------------------------|

$$P_i(z) = 0.135 * (A_i) \quad A_i = \text{yük alanı}$$

Ai, modül boyuna bağılı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

$$\text{• Yükleme 5:} \quad \underline{\text{Rüzgar soldan}} \quad : \quad g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{• Yükleme 6:} \quad \underline{\text{Rüzgar sağdan}} \quad : \quad g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$$

- **Yüklem 7:** Rüzgar önden :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$
- **Yüklem 8:** Rüzgar arkadan :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$
- **Yüklem 9:** Rüzgar emme :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$

$$P_i(z) = 0.080 * (A_i) \quad A_i = \text{yük alanı}$$

$A_i$ , modül boyuna bağlı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

- **Yüklem 10:** Deprem Yüğü : (X Yönünde)  
 1. Bölge:  $A_0 = 0.40$      $S_{(T)} = 2.5$      $I = 1.20$      $R_A = 5.00$   
 $C = A_0 * S_{(T)} * I / R_A = 0.40 * 2.5 * 1.20 / 5.00 = 0.24$   
 $P_i(-z) = \text{uzay zati} + \text{aşık} + \text{kaplama} + \text{tesisat} + 0.3 * \text{kar yüğü}$   
 $P_i(x) = 91.98$   
 $P_i(x) = 0.24 * 91.98 = 22.08$   
 $P_d(i) = 22.08 / 235 = 0.09 \text{ t}$ ,    üst başlık düğüm sayısı = 235

- **Yüklem 11:** Deprem Yüğü : (Y Yönünde)  
 1. Bölge:  $A_0 = 0.40$      $S_{(T)} = 2.5$      $I = 1.20$      $R_A = 5.00$   
 $C = A_0 * S_{(T)} * I / R_A = 0.40 * 2.5 * 1.20 / 5.00 = 0.24$   
 $P_i(-z) = \text{uzay zati} + \text{aşık} + \text{kaplama} + \text{tesisat} + 0.3 * \text{kar yüğü}$   
 $P_i(y) = 91.98$   
 $P_i(y) = 0.24 * 91.98 = 22.08$   
 $P_d(i) = 22.08 / 235 = 0.09 \text{ t}$ ,    üst başlık düğüm sayısı = 235

- **Yüklem 12:**

Sıcaklık değışimi:     $(\Delta_t = \pm 20.0 \text{ } ^\circ\text{C})$

## YÜKLEME KOMBINASYONLARI

- **Yüklem 1:** Uzay sistem zati ağırlığı
- **Yüklem 2:** Aşık + kaplama
- **Yüklem 3:** Tesisat Yüğü
- **Yüklem 4:** Kar yüğü
- **Yüklem 5:** Rüzgar soldan
- **Yüklem 6:** Rüzgar sağdan
- **Yüklem 7:** Rüzgar önden

- **Yüklem 8:** Rüzgar arkadan
- **Yüklem 9:** Rüzgar emme
- **Yüklem 10:** Deprem X Yönünde
- **Yüklem 11:** Deprem Y Yönünde
- **Yüklem 12:** Sıcaklık değişimi

### **AŞIK TAHKİKİ**

Kullanılan aşıklar cinsi St37

$$Q_{em} = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{ar} \text{ yükü} = 135 \text{ kg/m}^2$$

Aşıklar arası mesafe = 3 m

Aşık uzunluğu = 3 m

Her bir mertekten gelen tekil yük: P

$$P = 135 * 3 * 1.5 = 608 \text{ kg}$$

$$M_h = 0.1875 * P * L$$

$$M_h = 0.1875 * 608 * 3 = 341.72 \text{ kgm}$$

$$W_h = 341.72 / 1.440 = 23.7 \text{ cm}^3 < 41.2 \text{ cm}^3$$

Seçilen kesit: NPU100 profili

**Kesit için sehim tahkiki;**

NPU100 profili için  $I_x = 206 \text{ cm}^4$

$$f_x = \frac{PL^3 * 10^{-2}}{EI_x} = \frac{608 * 300^3 * 10^{-2}}{2.1 * 10^6 * 206} = 0.38 \text{ cm}$$

$$f_x = 0.38 \text{ cm} < L/300 = 1 \text{ cm}$$

**O halde Seçilen Kesit: NPU100 profili uygundur.**

### **MERTEK TAHKİKİ**

Kullanılan mertek cinsi St37

$$Q_{em} = 1440 \text{ kg/cm}^2$$

$$K_{ar} \text{ yükü} = 135 \text{ kg/m}^2$$

Kaplama + Aşık Yükü = 15 kg/m<sup>2</sup>

$$q' = 150 \text{ kg/m}^2$$

Aşıklar arası mesafe = 1.5 m

Aşık uzunluğu = 3 m

$$q = 225 \text{ kg/m}$$

Tek açıklıklı sisteme göre aşık hesabı;

$$M_h = 225 * 3^2 / 8 = 253 \text{ kgm}$$

$$W_h = 25.313 / 1.440 = 17.6 \text{ cm}^3 < 19.90 \text{ cm}^3$$

$$\text{Seçilen kesit: } 50 / 90 / 3 \quad ( W_k = 19.90 \text{ cm}^3 )$$

***Kesit için sehım tahkiki;***

$$50 / 90 / 3 \text{ için } I_x = 189.0 \text{ cm}^4$$

$$f_x = \frac{5}{384} \frac{q L^4}{E I_x} = \frac{5 * 300^4 * 2.25}{384 * 2.1 * 10^6 * 189} = 0.60 \text{ cm}$$

$$f_x = 0.60 \text{ cm} < L/300 = 1 \text{ cm}$$

**O halde Seçilen Kesit: 50 / 90 /3 profili uygundur.**

### **SEHİM TAHKİKİ**

$$\text{Sistem açıklığı} \quad L = 33.5 \text{ m}$$

$$\text{Sehim sınırı} \quad f_{\max} = L / 300 = 3350 / 300 = 11.16 \text{ cm}$$

$$\text{Sistemde oluşan maksimum sehim} \quad f = 7.7 \text{ cm}$$

$$\mathbf{f = 7.7 \text{ cm} < f_{\max} = 11.16 \text{ cm}}$$

olup, sistemin sehimini güvenlidir.

Yukarıda proje müellifince verilen hesap ve yaklaşımlar açıklanmıştır. Aynı sistem SAP2000 ile çözüm için aşağıdaki açıklamalarla verilmiştir.

### **Yükler**

$$\text{Öz ağırlık:} \quad (g_1 + g_2 + g_3) = 51.5 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Kar yükü:} \quad P_k = 135.0 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{projedeki değer alınmıştır.})$$

$$\text{Rüzgar yükü:} \quad P_w = 80.0 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Sıcaklık değişimi:} \quad \Delta T = \pm 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Düğüm noktalarına etkiyen tekil kuvvetlerin hesabı için ortalama yük bölgesi ( $3*3 = 9 \text{ m}^2$ ) alınarak;

$$P_G = 51.5 * (3*3) = 463.5 \text{ kg}$$

$$P_K = 135 * (3*3) = 1215 \text{ kg}$$

$$\text{Rüzgar basınç yüklemesinde } P_{wb} = 80 * (3*3) = 720 \text{ kg}$$

$$\text{Rüzgar emme yüklemesinde } P_{wb} = - 80 * (3*3) = - 720 \text{ kg}$$

Çözümde göz önüne alınan yük kombinezonları;

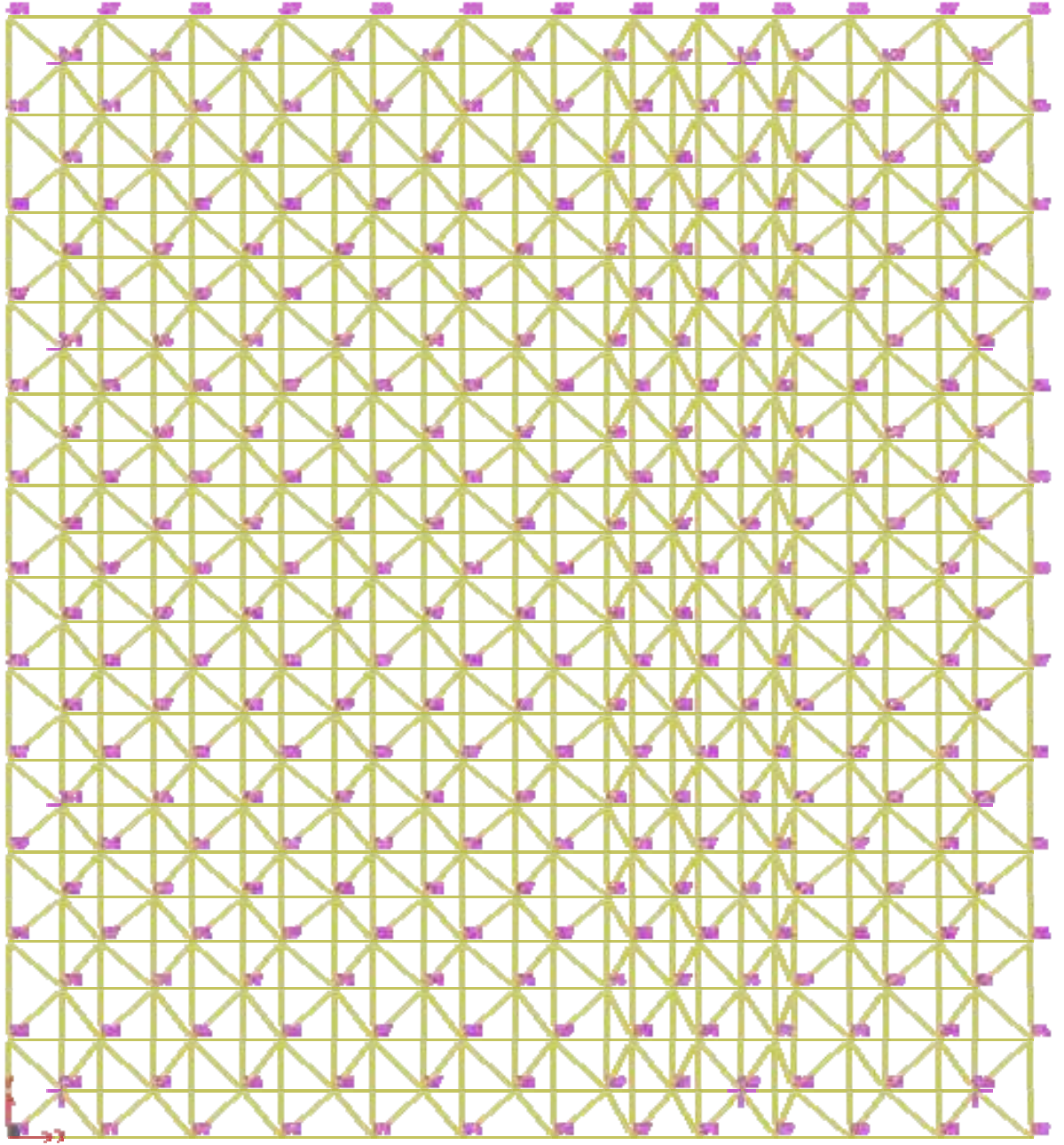
|      |                                              |
|------|----------------------------------------------|
| Kom1 | öz ağırlık + tam kar                         |
| Kom2 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (basınç)       |
| Kom3 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (emme)         |
| Kom4 | öz ağırlık + tam kar + depremX               |
| Kom5 | öz ağırlık + tam kar + depremY               |
| Kom6 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (basınç) + ısı |
| Kom7 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (emme) + ısı   |
| Kom8 | öz ağırlık + tam kar + depremX + ısı         |
| Kom9 | öz ağırlık + tam kar + depremY + ısı         |

şeklinde programa tanıtılmıştır. Projede çubuklar için boru kesit alanları atanarak, çubuk kuvvetleri ve gerilmeler hesaplanmıştır. Burada ise, tüm çubuklarda kesit alanı  $A = 10 \text{ cm}^2$  alınarak projedeki çözüme ve sonuçlara yaklaşım gözlenmiştir.

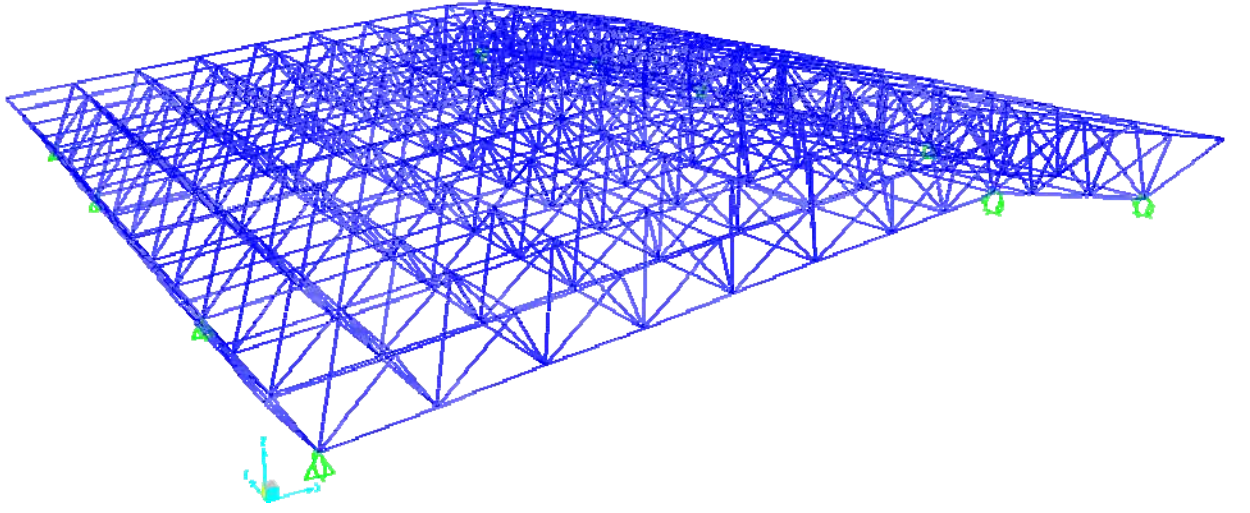
Deprem hesabı için sisteme X ve Y eksenleri doğrultusunda yapı ağırlığının 0.1 'i ( $W_E=0.1*W$ ) yüklenmiştir.

Sistemin açıklık ortasında meydana gelen maksimum çökme miktarı altıncı kombinezonda (**kom6**)  $\Delta_{\max} = 16.5 \text{ cm}$  olarak hesaplanmıştır.

SAP2000 ile çözülen tek katmanlı uzay kafes sistemin ayrıntıları, sistem özellikleri gibi bilgiler aşağıda sunulmuştur.



**Şekil 5.2** Tek Katmanlı 1152 Çubuklu Uzay Kafes Sistem (SAP2000 çıktısı)



**Şekil 5.3** Tek Katmanlı 1152 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Üç Boyutlu Görünüşü  
(SAP2000 çıktısı)



**Tablo 5.2 Uzak Kafes Sistem Geometrik Bilgileri**

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |         |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      |
| 1                       | 353    | 390    | 340     | 61    | 416    | 417    | 300,008 | 121   | 474    | 275    | 299,961 |
| 2                       | 390    | 402    | 300     | 62    | 428    | 429    | 300,008 | 122   | 474    | 288    | 299,961 |
| 3                       | 402    | 414    | 300     | 63    | 440    | 441    | 300,008 | 123   | 486    | 288    | 299,961 |
| 4                       | 414    | 426    | 300     | 64    | 452    | 453    | 300,008 | 124   | 486    | 301    | 299,961 |
| 5                       | 426    | 438    | 300     | 65    | 464    | 465    | 300,008 | 125   | 498    | 301    | 299,961 |
| 6                       | 438    | 450    | 300     | 66    | 476    | 477    | 300,008 | 126   | 498    | 314    | 310,446 |
| 7                       | 450    | 462    | 300     | 67    | 488    | 489    | 300,008 | 127   | 510    | 314    | 310,446 |
| 8                       | 462    | 474    | 300     | 68    | 500    | 501    | 300,008 | 128   | 510    | 327    | 299,961 |
| 9                       | 474    | 486    | 300     | 69    | 512    | 513    | 300,008 | 129   | 356    | 357    | 300,008 |
| 10                      | 486    | 498    | 300     | 70    | 170    | 353    | 299,98  | 130   | 393    | 394    | 300,008 |
| 11                      | 498    | 510    | 340     | 71    | 183    | 353    | 310,464 | 131   | 405    | 406    | 300,008 |
| 12                      | 353    | 354    | 300,008 | 72    | 390    | 183    | 310,464 | 132   | 417    | 418    | 300,008 |
| 13                      | 390    | 391    | 300,008 | 73    | 390    | 196    | 299,98  | 133   | 429    | 430    | 300,008 |
| 14                      | 402    | 403    | 300,008 | 74    | 196    | 402    | 299,98  | 134   | 441    | 442    | 300,008 |
| 15                      | 414    | 415    | 300,008 | 75    | 402    | 209    | 299,98  | 135   | 453    | 454    | 300,008 |
| 16                      | 426    | 427    | 300,008 | 76    | 209    | 414    | 299,98  | 136   | 465    | 466    | 300,008 |
| 17                      | 438    | 439    | 300,008 | 77    | 414    | 222    | 299,98  | 137   | 477    | 478    | 300,008 |
| 18                      | 450    | 451    | 300,008 | 78    | 222    | 426    | 299,98  | 138   | 489    | 490    | 300,008 |
| 19                      | 462    | 463    | 300,008 | 79    | 426    | 235    | 299,98  | 139   | 501    | 502    | 300,008 |
| 20                      | 474    | 475    | 300,008 | 80    | 235    | 438    | 299,98  | 140   | 513    | 514    | 300,008 |
| 21                      | 486    | 487    | 300,008 | 81    | 438    | 248    | 299,98  | 141   | 171    | 354    | 299,934 |
| 22                      | 498    | 499    | 300,008 | 82    | 248    | 450    | 299,98  | 142   | 184    | 354    | 310,42  |
| 23                      | 510    | 511    | 300,008 | 83    | 450    | 261    | 299,98  | 143   | 184    | 391    | 310,42  |
| 24                      | 354    | 391    | 340     | 84    | 261    | 462    | 299,98  | 144   | 197    | 391    | 299,934 |
| 25                      | 391    | 403    | 300     | 85    | 274    | 462    | 299,98  | 145   | 197    | 403    | 299,934 |
| 26                      | 403    | 415    | 300     | 86    | 274    | 474    | 299,98  | 146   | 210    | 403    | 299,934 |
| 27                      | 415    | 427    | 300     | 87    | 287    | 474    | 299,98  | 147   | 210    | 415    | 299,934 |
| 28                      | 427    | 439    | 300     | 88    | 287    | 486    | 299,98  | 148   | 223    | 415    | 299,934 |
| 29                      | 439    | 451    | 300     | 89    | 300    | 486    | 299,98  | 149   | 223    | 427    | 299,934 |
| 30                      | 451    | 463    | 300     | 90    | 300    | 498    | 299,98  | 150   | 236    | 427    | 299,934 |
| 31                      | 463    | 475    | 300     | 91    | 313    | 498    | 310,464 | 151   | 439    | 236    | 299,934 |
| 32                      | 475    | 487    | 300     | 92    | 313    | 510    | 310,464 | 152   | 249    | 439    | 299,934 |
| 33                      | 487    | 499    | 300     | 93    | 326    | 510    | 299,98  | 153   | 249    | 451    | 299,934 |
| 34                      | 499    | 511    | 340     | 94    | 356    | 393    | 340     | 154   | 262    | 451    | 299,934 |
| 35                      | 354    | 355    | 300,008 | 95    | 393    | 405    | 300     | 155   | 262    | 463    | 299,934 |
| 36                      | 391    | 392    | 300,008 | 96    | 405    | 417    | 300     | 156   | 275    | 463    | 299,934 |
| 37                      | 403    | 404    | 300,008 | 97    | 417    | 429    | 300     | 157   | 275    | 475    | 299,934 |
| 38                      | 415    | 416    | 300,008 | 98    | 429    | 441    | 300     | 158   | 288    | 475    | 299,934 |
| 39                      | 427    | 428    | 300,008 | 99    | 441    | 453    | 300     | 159   | 288    | 487    | 299,934 |
| 40                      | 439    | 440    | 300,008 | 100   | 453    | 465    | 300     | 160   | 301    | 487    | 299,934 |
| 41                      | 451    | 452    | 300,008 | 101   | 465    | 477    | 300     | 161   | 301    | 499    | 299,934 |
| 42                      | 463    | 464    | 300,008 | 102   | 477    | 489    | 300     | 162   | 314    | 499    | 310,42  |
| 43                      | 475    | 476    | 300,008 | 103   | 489    | 501    | 300     | 163   | 314    | 511    | 310,42  |
| 44                      | 487    | 488    | 300,008 | 104   | 501    | 513    | 340     | 164   | 327    | 511    | 299,934 |
| 45                      | 499    | 500    | 300,008 | 105   | 353    | 171    | 299,961 | 165   | 357    | 394    | 340     |
| 46                      | 511    | 512    | 300,008 | 106   | 353    | 184    | 310,446 | 166   | 394    | 406    | 300     |
| 47                      | 355    | 392    | 340     | 107   | 390    | 184    | 310,446 | 167   | 406    | 418    | 300     |
| 48                      | 392    | 404    | 300     | 108   | 390    | 197    | 299,961 | 168   | 418    | 430    | 300     |
| 49                      | 404    | 416    | 300     | 109   | 402    | 197    | 299,961 | 169   | 430    | 442    | 300     |
| 50                      | 416    | 428    | 300     | 110   | 210    | 402    | 299,961 | 170   | 442    | 454    | 300     |
| 51                      | 428    | 440    | 300     | 111   | 414    | 210    | 299,961 | 171   | 454    | 466    | 300     |
| 52                      | 440    | 452    | 300     | 112   | 223    | 414    | 299,961 | 172   | 466    | 478    | 300     |
| 53                      | 452    | 464    | 300     | 113   | 426    | 223    | 299,961 | 173   | 478    | 490    | 300     |
| 54                      | 464    | 476    | 300     | 114   | 236    | 426    | 299,961 | 174   | 490    | 502    | 300     |
| 55                      | 476    | 488    | 300     | 115   | 438    | 236    | 299,961 | 175   | 502    | 514    | 340     |
| 56                      | 488    | 500    | 300     | 116   | 249    | 438    | 299,961 | 176   | 365    | 401    | 340     |
| 57                      | 500    | 512    | 340     | 117   | 450    | 249    | 299,961 | 177   | 401    | 413    | 300     |
| 58                      | 355    | 356    | 300,008 | 118   | 262    | 450    | 299,961 | 178   | 413    | 425    | 300     |
| 59                      | 392    | 393    | 300,008 | 119   | 462    | 262    | 299,961 | 179   | 425    | 437    | 300     |
| 60                      | 404    | 405    | 300,008 | 120   | 462    | 275    | 299,961 | 180   | 437    | 449    | 300     |

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |         |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      |
| 181                     | 449    | 461    | 300     | 241   | 211    | 416    | 299,98  | 301   | 472    | 484    | 300     |
| 182                     | 461    | 473    | 300     | 242   | 224    | 416    | 299,98  | 302   | 484    | 496    | 300     |
| 183                     | 473    | 485    | 300     | 243   | 224    | 428    | 299,98  | 303   | 496    | 508    | 300     |
| 184                     | 485    | 497    | 300     | 244   | 237    | 428    | 299,98  | 304   | 508    | 520    | 340     |
| 185                     | 497    | 509    | 300     | 245   | 440    | 237    | 299,98  | 305   | 358    | 359    | 300,007 |
| 186                     | 509    | 521    | 340     | 246   | 250    | 440    | 299,98  | 306   | 395    | 396    | 300,007 |
| 187                     | 354    | 172    | 300,014 | 247   | 250    | 452    | 299,98  | 307   | 407    | 408    | 300,007 |
| 188                     | 354    | 185    | 310,497 | 248   | 263    | 452    | 299,98  | 308   | 419    | 420    | 300,007 |
| 189                     | 391    | 185    | 310,497 | 249   | 263    | 464    | 299,98  | 309   | 431    | 432    | 300,007 |
| 190                     | 391    | 198    | 300,014 | 250   | 276    | 464    | 299,98  | 310   | 443    | 444    | 300,007 |
| 191                     | 403    | 198    | 300,014 | 251   | 276    | 476    | 299,98  | 311   | 455    | 456    | 300,007 |
| 192                     | 403    | 211    | 300,014 | 252   | 289    | 476    | 299,98  | 312   | 467    | 468    | 300,007 |
| 193                     | 415    | 211    | 300,014 | 253   | 289    | 488    | 299,98  | 313   | 479    | 480    | 300,007 |
| 194                     | 415    | 224    | 300,014 | 254   | 302    | 488    | 299,98  | 314   | 491    | 492    | 300,007 |
| 195                     | 427    | 224    | 300,014 | 255   | 302    | 500    | 299,98  | 315   | 503    | 504    | 300,007 |
| 196                     | 427    | 237    | 300,014 | 256   | 315    | 500    | 310,464 | 316   | 515    | 516    | 300,007 |
| 197                     | 237    | 439    | 300,014 | 257   | 315    | 512    | 310,464 | 317   | 170    | 183    | 320     |
| 198                     | 439    | 250    | 300,014 | 258   | 328    | 512    | 299,98  | 318   | 183    | 196    | 320     |
| 199                     | 451    | 250    | 300,014 | 259   | 358    | 395    | 340     | 319   | 196    | 209    | 300     |
| 200                     | 451    | 263    | 300,014 | 260   | 395    | 407    | 300     | 320   | 209    | 222    | 300     |
| 201                     | 463    | 263    | 300,014 | 261   | 407    | 419    | 300     | 321   | 222    | 235    | 300     |
| 202                     | 463    | 276    | 300,014 | 262   | 419    | 431    | 300     | 322   | 235    | 248    | 300     |
| 203                     | 475    | 276    | 300,014 | 263   | 431    | 443    | 300     | 323   | 248    | 261    | 300     |
| 204                     | 475    | 289    | 300,014 | 264   | 443    | 455    | 300     | 324   | 261    | 274    | 300     |
| 205                     | 487    | 289    | 300,014 | 265   | 455    | 467    | 300     | 325   | 274    | 287    | 300     |
| 206                     | 487    | 302    | 300,014 | 266   | 467    | 479    | 300     | 326   | 287    | 300    | 300     |
| 207                     | 499    | 302    | 300,014 | 267   | 479    | 491    | 300     | 327   | 300    | 313    | 320     |
| 208                     | 499    | 315    | 310,497 | 268   | 491    | 503    | 300     | 328   | 313    | 326    | 320     |
| 209                     | 511    | 315    | 310,497 | 269   | 503    | 515    | 340     | 329   | 173    | 356    | 299,973 |
| 210                     | 511    | 328    | 300,014 | 270   | 355    | 173    | 300,007 | 330   | 186    | 356    | 310,458 |
| 211                     | 357    | 358    | 300,008 | 271   | 355    | 186    | 310,49  | 331   | 186    | 393    | 310,458 |
| 212                     | 394    | 395    | 300,008 | 272   | 392    | 186    | 310,49  | 332   | 199    | 393    | 299,973 |
| 213                     | 406    | 407    | 300,008 | 273   | 392    | 199    | 300,007 | 333   | 199    | 405    | 299,973 |
| 214                     | 418    | 419    | 300,008 | 274   | 404    | 199    | 300,007 | 334   | 212    | 405    | 299,973 |
| 215                     | 430    | 431    | 300,008 | 275   | 404    | 212    | 300,007 | 335   | 212    | 417    | 299,973 |
| 216                     | 442    | 443    | 300,008 | 276   | 416    | 212    | 300,007 | 336   | 225    | 417    | 299,973 |
| 217                     | 454    | 455    | 300,008 | 277   | 416    | 225    | 300,007 | 337   | 225    | 429    | 299,973 |
| 218                     | 466    | 467    | 300,008 | 278   | 428    | 225    | 300,007 | 338   | 238    | 429    | 299,973 |
| 219                     | 478    | 479    | 300,008 | 279   | 428    | 238    | 300,007 | 339   | 441    | 238    | 299,973 |
| 220                     | 490    | 491    | 300,008 | 280   | 238    | 440    | 300,007 | 340   | 251    | 441    | 299,973 |
| 221                     | 502    | 503    | 300,008 | 281   | 440    | 251    | 300,007 | 341   | 251    | 453    | 299,973 |
| 222                     | 514    | 515    | 300,008 | 282   | 452    | 251    | 300,007 | 342   | 264    | 453    | 299,973 |
| 223                     | 364    | 365    | 299,986 | 283   | 452    | 264    | 300,007 | 343   | 264    | 465    | 299,973 |
| 224                     | 400    | 401    | 299,986 | 284   | 464    | 264    | 300,007 | 344   | 277    | 465    | 299,973 |
| 225                     | 412    | 413    | 299,986 | 285   | 464    | 277    | 300,007 | 345   | 277    | 477    | 299,973 |
| 226                     | 424    | 425    | 299,986 | 286   | 476    | 277    | 300,007 | 346   | 290    | 477    | 299,973 |
| 227                     | 436    | 437    | 299,986 | 287   | 476    | 290    | 300,007 | 347   | 290    | 489    | 299,973 |
| 228                     | 448    | 449    | 299,986 | 288   | 488    | 290    | 300,007 | 348   | 303    | 489    | 299,973 |
| 229                     | 460    | 461    | 299,986 | 289   | 488    | 303    | 300,007 | 349   | 303    | 501    | 299,973 |
| 230                     | 472    | 473    | 299,986 | 290   | 500    | 303    | 300,007 | 350   | 316    | 501    | 310,458 |
| 231                     | 484    | 485    | 299,986 | 291   | 500    | 316    | 310,49  | 351   | 316    | 513    | 310,458 |
| 232                     | 496    | 497    | 299,986 | 292   | 512    | 316    | 310,49  | 352   | 329    | 513    | 299,973 |
| 233                     | 508    | 509    | 299,986 | 293   | 512    | 329    | 300,007 | 353   | 359    | 396    | 340     |
| 234                     | 520    | 521    | 299,986 | 294   | 364    | 400    | 340     | 354   | 396    | 408    | 300     |
| 235                     | 172    | 355    | 299,98  | 295   | 400    | 412    | 300     | 355   | 408    | 420    | 300     |
| 236                     | 185    | 355    | 310,464 | 296   | 412    | 424    | 300     | 356   | 420    | 432    | 300     |
| 237                     | 185    | 392    | 310,464 | 297   | 424    | 436    | 300     | 357   | 432    | 444    | 300     |
| 238                     | 198    | 392    | 299,98  | 298   | 436    | 448    | 300     | 358   | 444    | 456    | 300     |
| 239                     | 198    | 404    | 299,98  | 299   | 448    | 460    | 300     | 359   | 456    | 468    | 300     |
| 240                     | 211    | 404    | 299,98  | 300   | 460    | 472    | 300     | 360   | 468    | 480    | 300     |

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |         |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      |
| 361                     | 480    | 492    | 300     | 421   | 501    | 317    | 310,49  | 481   | 317    | 514    | 310,458 |
| 362                     | 492    | 504    | 300     | 422   | 513    | 317    | 310,49  | 482   | 330    | 514    | 299,973 |
| 363                     | 504    | 516    | 340     | 423   | 516    | 517    | 221,408 | 483   | 182    | 365    | 300,029 |
| 364                     | 363    | 364    | 299,984 | 424   | 513    | 330    | 300,007 | 484   | 195    | 365    | 310,511 |
| 365                     | 399    | 400    | 299,984 | 425   | 363    | 399    | 340     | 485   | 401    | 195    | 310,511 |
| 366                     | 411    | 412    | 299,984 | 426   | 399    | 411    | 300     | 486   | 208    | 401    | 300,029 |
| 367                     | 423    | 424    | 299,984 | 427   | 411    | 423    | 300     | 487   | 413    | 208    | 300,029 |
| 368                     | 435    | 436    | 299,984 | 428   | 423    | 435    | 300     | 488   | 413    | 221    | 300,029 |
| 369                     | 447    | 448    | 299,984 | 429   | 435    | 447    | 300     | 489   | 425    | 221    | 300,029 |
| 370                     | 459    | 460    | 299,984 | 430   | 447    | 459    | 300     | 490   | 425    | 234    | 300,029 |
| 371                     | 471    | 472    | 299,984 | 431   | 459    | 471    | 300     | 491   | 437    | 234    | 300,029 |
| 372                     | 483    | 484    | 299,984 | 432   | 471    | 483    | 300     | 492   | 437    | 247    | 300,029 |
| 373                     | 495    | 496    | 299,984 | 433   | 483    | 495    | 300     | 493   | 247    | 449    | 300,029 |
| 374                     | 507    | 508    | 299,984 | 434   | 495    | 507    | 300     | 494   | 449    | 260    | 300,029 |
| 375                     | 519    | 520    | 299,984 | 435   | 507    | 519    | 340     | 495   | 461    | 260    | 300,029 |
| 376                     | 170    | 171    | 300     | 436   | 171    | 184    | 320     | 496   | 461    | 273    | 300,029 |
| 377                     | 183    | 184    | 300     | 437   | 361    | 397    | 340     | 497   | 473    | 273    | 300,029 |
| 378                     | 196    | 197    | 300     | 438   | 184    | 197    | 320     | 498   | 473    | 286    | 300,029 |
| 379                     | 209    | 210    | 300     | 439   | 397    | 409    | 300     | 499   | 485    | 286    | 300,029 |
| 380                     | 222    | 223    | 300     | 440   | 197    | 210    | 300     | 500   | 485    | 299    | 300,029 |
| 381                     | 235    | 236    | 300     | 441   | 409    | 421    | 300     | 501   | 497    | 299    | 300,029 |
| 382                     | 248    | 249    | 300     | 442   | 210    | 223    | 300     | 502   | 497    | 312    | 300,029 |
| 383                     | 261    | 262    | 300     | 443   | 421    | 433    | 300     | 503   | 509    | 312    | 300,029 |
| 384                     | 274    | 275    | 300     | 444   | 223    | 236    | 300     | 504   | 509    | 325    | 310,511 |
| 385                     | 287    | 288    | 300     | 445   | 433    | 445    | 300     | 505   | 521    | 325    | 310,511 |
| 386                     | 300    | 301    | 300     | 446   | 236    | 249    | 300     | 506   | 521    | 338    | 300,029 |
| 387                     | 313    | 314    | 300     | 447   | 445    | 457    | 300     | 507   | 362    | 363    | 181,809 |
| 388                     | 326    | 327    | 300     | 448   | 249    | 262    | 300     | 508   | 398    | 399    | 181,809 |
| 389                     | 356    | 174    | 300,007 | 449   | 457    | 469    | 300     | 509   | 410    | 411    | 181,809 |
| 390                     | 359    | 361    | 221,408 | 450   | 262    | 275    | 300     | 510   | 422    | 423    | 181,809 |
| 391                     | 356    | 187    | 310,49  | 451   | 469    | 481    | 300     | 511   | 434    | 435    | 181,809 |
| 392                     | 393    | 187    | 310,49  | 452   | 275    | 288    | 300     | 512   | 446    | 447    | 181,809 |
| 393                     | 396    | 397    | 221,408 | 453   | 481    | 493    | 300     | 513   | 458    | 459    | 181,809 |
| 394                     | 393    | 200    | 300,007 | 454   | 288    | 301    | 300     | 514   | 470    | 471    | 181,809 |
| 395                     | 405    | 200    | 300,007 | 455   | 493    | 505    | 300     | 515   | 482    | 483    | 181,809 |
| 396                     | 408    | 409    | 221,408 | 456   | 301    | 314    | 320     | 516   | 494    | 495    | 181,809 |
| 397                     | 405    | 213    | 300,007 | 457   | 505    | 517    | 340     | 517   | 506    | 507    | 181,809 |
| 398                     | 417    | 213    | 300,007 | 458   | 314    | 327    | 320     | 518   | 518    | 519    | 181,809 |
| 399                     | 420    | 421    | 221,408 | 459   | 174    | 357    | 299,973 | 519   | 361    | 362    | 221,409 |
| 400                     | 417    | 226    | 300,007 | 460   | 187    | 357    | 310,458 | 520   | 397    | 398    | 221,409 |
| 401                     | 429    | 226    | 300,007 | 461   | 187    | 394    | 310,458 | 521   | 409    | 410    | 221,409 |
| 402                     | 432    | 433    | 221,408 | 462   | 200    | 394    | 299,973 | 522   | 421    | 422    | 221,409 |
| 403                     | 429    | 239    | 300,007 | 463   | 200    | 406    | 299,973 | 523   | 433    | 434    | 221,409 |
| 404                     | 239    | 441    | 300,007 | 464   | 213    | 406    | 299,973 | 524   | 445    | 446    | 221,409 |
| 405                     | 444    | 445    | 221,408 | 465   | 213    | 418    | 299,973 | 525   | 457    | 458    | 221,409 |
| 406                     | 441    | 252    | 300,007 | 466   | 226    | 418    | 299,973 | 526   | 469    | 470    | 221,409 |
| 407                     | 453    | 252    | 300,007 | 467   | 226    | 430    | 299,973 | 527   | 481    | 482    | 221,409 |
| 408                     | 456    | 457    | 221,408 | 468   | 239    | 430    | 299,973 | 528   | 493    | 494    | 221,409 |
| 409                     | 453    | 265    | 300,007 | 469   | 442    | 239    | 299,973 | 529   | 505    | 506    | 221,409 |
| 410                     | 465    | 265    | 300,007 | 470   | 252    | 442    | 299,973 | 530   | 517    | 518    | 221,409 |
| 411                     | 468    | 469    | 221,408 | 471   | 252    | 454    | 299,973 | 531   | 171    | 172    | 300,016 |
| 412                     | 465    | 278    | 300,007 | 472   | 265    | 454    | 299,973 | 532   | 184    | 185    | 300,016 |
| 413                     | 477    | 278    | 300,007 | 473   | 265    | 466    | 299,973 | 533   | 197    | 198    | 300,016 |
| 414                     | 480    | 481    | 221,408 | 474   | 278    | 466    | 299,973 | 534   | 210    | 211    | 300,016 |
| 415                     | 477    | 291    | 300,007 | 475   | 278    | 478    | 299,973 | 535   | 223    | 224    | 300,016 |
| 416                     | 489    | 291    | 300,007 | 476   | 291    | 478    | 299,973 | 536   | 236    | 237    | 300,016 |
| 417                     | 492    | 493    | 221,408 | 477   | 291    | 490    | 299,973 | 537   | 249    | 250    | 300,016 |
| 418                     | 489    | 304    | 300,007 | 478   | 304    | 490    | 299,973 | 538   | 262    | 263    | 300,016 |
| 419                     | 501    | 304    | 300,007 | 479   | 304    | 502    | 299,973 | 539   | 275    | 276    | 300,016 |
| 420                     | 504    | 505    | 221,408 | 480   | 317    | 502    | 310,458 | 540   | 288    | 289    | 300,016 |

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |         |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      |
| 541                     | 301    | 302    | 300,016 | 601   | 324    | 521    | 310,463 | 661   | 436    | 246    | 300,023 |
| 542                     | 314    | 315    | 300,016 | 602   | 337    | 521    | 299,978 | 662   | 246    | 448    | 300,023 |
| 543                     | 327    | 328    | 300,016 | 603   | 172    | 185    | 320     | 663   | 448    | 259    | 300,023 |
| 544                     | 357    | 175    | 300,007 | 604   | 185    | 198    | 320     | 664   | 460    | 259    | 300,023 |
| 545                     | 357    | 188    | 310,49  | 605   | 198    | 211    | 300     | 665   | 460    | 272    | 300,023 |
| 546                     | 394    | 188    | 310,49  | 606   | 211    | 224    | 300     | 666   | 472    | 272    | 300,023 |
| 547                     | 394    | 201    | 300,007 | 607   | 224    | 237    | 300     | 667   | 472    | 285    | 300,023 |
| 548                     | 406    | 201    | 300,007 | 608   | 237    | 250    | 300     | 668   | 484    | 285    | 300,023 |
| 549                     | 406    | 214    | 300,007 | 609   | 250    | 263    | 300     | 669   | 484    | 298    | 300,023 |
| 550                     | 418    | 214    | 300,007 | 610   | 263    | 276    | 300     | 670   | 496    | 298    | 300,023 |
| 551                     | 418    | 227    | 300,007 | 611   | 276    | 289    | 300     | 671   | 496    | 311    | 300,023 |
| 552                     | 430    | 227    | 300,007 | 612   | 289    | 302    | 300     | 672   | 508    | 311    | 300,023 |
| 553                     | 430    | 240    | 300,007 | 613   | 302    | 315    | 320     | 673   | 508    | 324    | 310,505 |
| 554                     | 240    | 442    | 300,007 | 614   | 315    | 328    | 320     | 674   | 520    | 324    | 310,505 |
| 555                     | 442    | 253    | 300,007 | 615   | 175    | 358    | 299,973 | 675   | 520    | 337    | 300,023 |
| 556                     | 454    | 253    | 300,007 | 616   | 188    | 358    | 310,458 | 676   | 358    | 176    | 300,007 |
| 557                     | 454    | 266    | 300,007 | 617   | 188    | 395    | 310,458 | 677   | 358    | 189    | 310,49  |
| 558                     | 466    | 266    | 300,007 | 618   | 201    | 395    | 299,973 | 678   | 395    | 189    | 310,49  |
| 559                     | 466    | 279    | 300,007 | 619   | 201    | 407    | 299,973 | 679   | 395    | 202    | 300,007 |
| 560                     | 478    | 279    | 300,007 | 620   | 214    | 407    | 299,973 | 680   | 407    | 202    | 300,007 |
| 561                     | 478    | 292    | 300,007 | 621   | 214    | 419    | 299,973 | 681   | 407    | 215    | 300,007 |
| 562                     | 490    | 292    | 300,007 | 622   | 227    | 419    | 299,973 | 682   | 419    | 215    | 300,007 |
| 563                     | 490    | 305    | 300,007 | 623   | 227    | 431    | 299,973 | 683   | 419    | 228    | 300,007 |
| 564                     | 502    | 305    | 300,007 | 624   | 240    | 431    | 299,973 | 684   | 431    | 228    | 300,007 |
| 565                     | 502    | 318    | 310,49  | 625   | 443    | 240    | 299,973 | 685   | 431    | 241    | 300,007 |
| 566                     | 514    | 318    | 310,49  | 626   | 253    | 443    | 299,973 | 686   | 241    | 443    | 300,007 |
| 567                     | 514    | 331    | 300,007 | 627   | 253    | 455    | 299,973 | 687   | 443    | 254    | 300,007 |
| 568                     | 362    | 398    | 340     | 628   | 266    | 455    | 299,973 | 688   | 455    | 254    | 300,007 |
| 569                     | 398    | 410    | 300     | 629   | 266    | 467    | 299,973 | 689   | 455    | 267    | 300,007 |
| 570                     | 410    | 422    | 300     | 630   | 279    | 467    | 299,973 | 690   | 467    | 267    | 300,007 |
| 571                     | 422    | 434    | 300     | 631   | 279    | 479    | 299,973 | 691   | 467    | 280    | 300,007 |
| 572                     | 434    | 446    | 300     | 632   | 292    | 479    | 299,973 | 692   | 479    | 280    | 300,007 |
| 573                     | 446    | 458    | 300     | 633   | 292    | 491    | 299,973 | 693   | 479    | 293    | 300,007 |
| 574                     | 458    | 470    | 300     | 634   | 305    | 491    | 299,973 | 694   | 491    | 293    | 300,007 |
| 575                     | 470    | 482    | 300     | 635   | 305    | 503    | 299,973 | 695   | 491    | 306    | 300,007 |
| 576                     | 482    | 494    | 300     | 636   | 318    | 503    | 310,458 | 696   | 503    | 306    | 300,007 |
| 577                     | 494    | 506    | 300     | 637   | 318    | 515    | 310,458 | 697   | 503    | 319    | 310,49  |
| 578                     | 506    | 518    | 340     | 638   | 331    | 515    | 299,973 | 698   | 515    | 319    | 310,49  |
| 579                     | 365    | 181    | 299,978 | 639   | 172    | 173    | 300,007 | 699   | 515    | 332    | 300,007 |
| 580                     | 194    | 365    | 310,463 | 640   | 185    | 186    | 300,007 | 700   | 173    | 186    | 320     |
| 581                     | 401    | 194    | 310,463 | 641   | 198    | 199    | 300,007 | 701   | 186    | 199    | 320     |
| 582                     | 207    | 401    | 299,978 | 642   | 211    | 212    | 300,007 | 702   | 199    | 212    | 300     |
| 583                     | 207    | 413    | 299,978 | 643   | 224    | 225    | 300,007 | 703   | 212    | 225    | 300     |
| 584                     | 220    | 413    | 299,978 | 644   | 237    | 238    | 300,007 | 704   | 225    | 238    | 300     |
| 585                     | 220    | 425    | 299,978 | 645   | 250    | 251    | 300,007 | 705   | 238    | 251    | 300     |
| 586                     | 233    | 425    | 299,978 | 646   | 263    | 264    | 300,007 | 706   | 251    | 264    | 300     |
| 587                     | 233    | 437    | 299,978 | 647   | 276    | 277    | 300,007 | 707   | 264    | 277    | 300     |
| 588                     | 246    | 437    | 299,978 | 648   | 289    | 290    | 300,007 | 708   | 277    | 290    | 300     |
| 589                     | 449    | 246    | 299,978 | 649   | 302    | 303    | 300,007 | 709   | 290    | 303    | 300     |
| 590                     | 259    | 449    | 299,978 | 650   | 315    | 316    | 300,007 | 710   | 303    | 316    | 320     |
| 591                     | 259    | 461    | 299,978 | 651   | 328    | 329    | 300,007 | 711   | 316    | 329    | 320     |
| 592                     | 272    | 461    | 299,978 | 652   | 181    | 364    | 300,023 | 712   | 176    | 359    | 299,98  |
| 593                     | 272    | 473    | 299,978 | 653   | 194    | 364    | 310,505 | 713   | 189    | 359    | 310,464 |
| 594                     | 285    | 473    | 299,978 | 654   | 194    | 400    | 310,505 | 714   | 189    | 396    | 310,464 |
| 595                     | 285    | 485    | 299,978 | 655   | 400    | 207    | 300,023 | 715   | 202    | 396    | 299,98  |
| 596                     | 298    | 485    | 299,978 | 656   | 412    | 207    | 300,023 | 716   | 202    | 408    | 299,98  |
| 597                     | 298    | 497    | 299,978 | 657   | 412    | 220    | 300,023 | 717   | 215    | 408    | 299,98  |
| 598                     | 311    | 497    | 299,978 | 658   | 424    | 220    | 300,023 | 718   | 215    | 420    | 299,98  |
| 599                     | 311    | 509    | 299,978 | 659   | 424    | 233    | 300,023 | 719   | 228    | 420    | 299,98  |
| 600                     | 324    | 509    | 310,463 | 660   | 436    | 233    | 300,023 | 720   | 228    | 432    | 299,98  |

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |         |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      |
| 721                     | 241    | 432    | 299,98  | 781   | 432    | 229    | 282,43  | 841   | 307    | 505    | 282,364 |
| 722                     | 444    | 241    | 299,98  | 782   | 432    | 242    | 282,43  | 842   | 320    | 505    | 293,478 |
| 723                     | 254    | 444    | 299,98  | 783   | 242    | 444    | 282,43  | 843   | 320    | 517    | 293,478 |
| 724                     | 254    | 456    | 299,98  | 784   | 444    | 255    | 282,43  | 844   | 333    | 517    | 282,364 |
| 725                     | 267    | 456    | 299,98  | 785   | 456    | 255    | 282,43  | 845   | 174    | 187    | 320     |
| 726                     | 267    | 468    | 299,98  | 786   | 456    | 268    | 282,43  | 846   | 187    | 200    | 320     |
| 727                     | 280    | 468    | 299,98  | 787   | 468    | 268    | 282,43  | 847   | 200    | 213    | 300     |
| 728                     | 280    | 480    | 299,98  | 788   | 468    | 281    | 282,43  | 848   | 213    | 226    | 300     |
| 729                     | 293    | 480    | 299,98  | 789   | 480    | 281    | 282,43  | 849   | 226    | 239    | 300     |
| 730                     | 293    | 492    | 299,98  | 790   | 480    | 294    | 282,43  | 850   | 239    | 252    | 300     |
| 731                     | 306    | 492    | 299,98  | 791   | 492    | 294    | 282,43  | 851   | 252    | 265    | 300     |
| 732                     | 306    | 504    | 299,98  | 792   | 492    | 307    | 282,43  | 852   | 265    | 278    | 300     |
| 733                     | 319    | 504    | 310,464 | 793   | 504    | 307    | 282,43  | 853   | 278    | 291    | 300     |
| 734                     | 319    | 516    | 310,464 | 794   | 504    | 320    | 293,541 | 854   | 291    | 304    | 300     |
| 735                     | 332    | 516    | 299,98  | 795   | 516    | 320    | 293,541 | 855   | 304    | 317    | 320     |
| 736                     | 364    | 180    | 299,971 | 796   | 516    | 333    | 282,43  | 856   | 317    | 330    | 320     |
| 737                     | 364    | 193    | 310,455 | 797   | 363    | 180    | 300,023 | 857   | 182    | 195    | 320     |
| 738                     | 400    | 193    | 310,455 | 798   | 363    | 193    | 310,505 | 858   | 195    | 208    | 320     |
| 739                     | 206    | 400    | 299,971 | 799   | 193    | 399    | 310,505 | 859   | 208    | 221    | 300     |
| 740                     | 206    | 412    | 299,971 | 800   | 399    | 206    | 300,023 | 860   | 221    | 234    | 300     |
| 741                     | 219    | 412    | 299,971 | 801   | 411    | 206    | 300,023 | 861   | 234    | 247    | 300     |
| 742                     | 219    | 424    | 299,971 | 802   | 411    | 219    | 300,023 | 862   | 247    | 260    | 300     |
| 743                     | 232    | 424    | 299,971 | 803   | 423    | 219    | 300,023 | 863   | 260    | 273    | 300     |
| 744                     | 232    | 436    | 299,971 | 804   | 423    | 232    | 300,023 | 864   | 273    | 286    | 300     |
| 745                     | 245    | 436    | 299,971 | 805   | 435    | 232    | 300,023 | 865   | 286    | 299    | 300     |
| 746                     | 448    | 245    | 299,971 | 806   | 435    | 245    | 300,023 | 866   | 299    | 312    | 300     |
| 747                     | 258    | 448    | 299,971 | 807   | 245    | 447    | 300,023 | 867   | 312    | 325    | 320     |
| 748                     | 258    | 460    | 299,971 | 808   | 447    | 258    | 300,023 | 868   | 325    | 338    | 320     |
| 749                     | 271    | 460    | 299,971 | 809   | 459    | 258    | 300,023 | 869   | 363    | 179    | 277,867 |
| 750                     | 271    | 472    | 299,971 | 810   | 459    | 271    | 300,023 | 870   | 363    | 192    | 289,154 |
| 751                     | 284    | 472    | 299,971 | 811   | 471    | 271    | 300,023 | 871   | 399    | 192    | 289,154 |
| 752                     | 284    | 484    | 299,971 | 812   | 471    | 284    | 300,023 | 872   | 205    | 399    | 277,867 |
| 753                     | 297    | 484    | 299,971 | 813   | 483    | 284    | 300,023 | 873   | 205    | 411    | 277,867 |
| 754                     | 297    | 496    | 299,971 | 814   | 483    | 297    | 300,023 | 874   | 218    | 411    | 277,867 |
| 755                     | 310    | 496    | 299,971 | 815   | 495    | 297    | 300,023 | 875   | 218    | 423    | 277,867 |
| 756                     | 310    | 508    | 299,971 | 816   | 495    | 310    | 300,023 | 876   | 231    | 423    | 277,867 |
| 757                     | 323    | 508    | 310,455 | 817   | 507    | 310    | 300,023 | 877   | 231    | 435    | 277,867 |
| 758                     | 323    | 520    | 310,455 | 818   | 507    | 323    | 310,505 | 878   | 244    | 435    | 277,867 |
| 759                     | 336    | 520    | 299,971 | 819   | 519    | 323    | 310,505 | 879   | 447    | 244    | 277,867 |
| 760                     | 173    | 174    | 300,008 | 820   | 519    | 336    | 300,023 | 880   | 257    | 447    | 277,867 |
| 761                     | 186    | 187    | 300,008 | 821   | 361    | 177    | 282,364 | 881   | 257    | 459    | 277,867 |
| 762                     | 199    | 200    | 300,008 | 822   | 190    | 361    | 293,478 | 882   | 270    | 459    | 277,867 |
| 763                     | 212    | 213    | 300,008 | 823   | 190    | 397    | 293,478 | 883   | 270    | 471    | 277,867 |
| 764                     | 225    | 226    | 300,008 | 824   | 203    | 397    | 282,364 | 884   | 283    | 471    | 277,867 |
| 765                     | 238    | 239    | 300,008 | 825   | 203    | 409    | 282,364 | 885   | 283    | 483    | 277,867 |
| 766                     | 251    | 252    | 300,008 | 826   | 216    | 409    | 282,364 | 886   | 296    | 483    | 277,867 |
| 767                     | 264    | 265    | 300,008 | 827   | 216    | 421    | 282,364 | 887   | 296    | 495    | 277,867 |
| 768                     | 277    | 278    | 300,008 | 828   | 229    | 421    | 282,364 | 888   | 309    | 495    | 277,867 |
| 769                     | 290    | 291    | 300,008 | 829   | 229    | 433    | 282,364 | 889   | 309    | 507    | 277,867 |
| 770                     | 303    | 304    | 300,008 | 830   | 242    | 433    | 282,364 | 890   | 322    | 507    | 289,154 |
| 771                     | 316    | 317    | 300,008 | 831   | 445    | 242    | 282,364 | 891   | 322    | 519    | 289,154 |
| 772                     | 329    | 330    | 300,008 | 832   | 255    | 445    | 282,364 | 892   | 335    | 519    | 277,867 |
| 773                     | 359    | 177    | 282,43  | 833   | 255    | 457    | 282,364 | 893   | 361    | 178    | 282,438 |
| 774                     | 359    | 190    | 293,541 | 834   | 268    | 457    | 282,364 | 894   | 191    | 361    | 293,549 |
| 775                     | 396    | 190    | 293,541 | 835   | 268    | 469    | 282,364 | 895   | 397    | 191    | 293,549 |
| 776                     | 396    | 203    | 282,43  | 836   | 281    | 469    | 282,364 | 896   | 397    | 204    | 282,438 |
| 777                     | 408    | 203    | 282,43  | 837   | 281    | 481    | 282,364 | 897   | 409    | 204    | 282,438 |
| 778                     | 408    | 216    | 282,43  | 838   | 294    | 481    | 282,364 | 898   | 409    | 217    | 282,438 |
| 779                     | 420    | 216    | 282,43  | 839   | 294    | 493    | 282,364 | 899   | 421    | 217    | 282,438 |
| 780                     | 420    | 229    | 282,43  | 840   | 307    | 493    | 282,364 | 900   | 421    | 230    | 282,438 |

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |         |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      |
| 901                     | 433    | 230    | 282,438 | 961   | 470    | 283    | 272,834 | 1021  | 253    | 254    | 300,008 |
| 902                     | 433    | 243    | 282,438 | 962   | 282    | 482    | 282,364 | 1022  | 266    | 267    | 300,008 |
| 903                     | 243    | 445    | 282,438 | 963   | 482    | 283    | 272,834 | 1023  | 279    | 280    | 300,008 |
| 904                     | 445    | 256    | 282,438 | 964   | 295    | 482    | 282,364 | 1024  | 292    | 293    | 300,008 |
| 905                     | 457    | 256    | 282,438 | 965   | 482    | 296    | 272,834 | 1025  | 305    | 306    | 300,008 |
| 906                     | 457    | 269    | 282,438 | 966   | 295    | 494    | 282,364 | 1026  | 318    | 319    | 300,008 |
| 907                     | 469    | 269    | 282,438 | 967   | 494    | 296    | 272,834 | 1027  | 331    | 332    | 300,008 |
| 908                     | 469    | 282    | 282,438 | 968   | 308    | 494    | 282,364 | 1028  | 180    | 181    | 299,984 |
| 909                     | 481    | 282    | 282,438 | 969   | 494    | 309    | 272,834 | 1029  | 193    | 194    | 299,984 |
| 910                     | 481    | 295    | 282,438 | 970   | 308    | 506    | 282,364 | 1030  | 206    | 207    | 299,984 |
| 911                     | 493    | 295    | 282,438 | 971   | 506    | 309    | 272,834 | 1031  | 219    | 220    | 299,984 |
| 912                     | 493    | 308    | 282,438 | 972   | 321    | 506    | 293,478 | 1032  | 232    | 233    | 299,984 |
| 913                     | 505    | 308    | 282,438 | 973   | 506    | 322    | 284,32  | 1033  | 245    | 246    | 299,984 |
| 914                     | 505    | 321    | 293,549 | 974   | 321    | 518    | 293,478 | 1034  | 258    | 259    | 299,984 |
| 915                     | 517    | 321    | 293,549 | 975   | 518    | 322    | 284,32  | 1035  | 271    | 272    | 299,984 |
| 916                     | 517    | 334    | 282,438 | 976   | 334    | 518    | 282,364 | 1036  | 284    | 285    | 299,984 |
| 917                     | 174    | 175    | 300,008 | 977   | 518    | 335    | 272,834 | 1037  | 297    | 298    | 299,984 |
| 918                     | 187    | 188    | 300,008 | 978   | 181    | 182    | 299,984 | 1038  | 310    | 311    | 299,984 |
| 919                     | 200    | 201    | 300,008 | 979   | 194    | 195    | 299,984 | 1039  | 323    | 324    | 299,984 |
| 920                     | 213    | 214    | 300,008 | 980   | 207    | 208    | 299,984 | 1040  | 336    | 337    | 299,984 |
| 921                     | 226    | 227    | 300,008 | 981   | 220    | 221    | 299,984 | 1041  | 176    | 189    | 320     |
| 922                     | 239    | 240    | 300,008 | 982   | 233    | 234    | 299,984 | 1042  | 189    | 202    | 320     |
| 923                     | 252    | 253    | 300,008 | 983   | 246    | 247    | 299,984 | 1043  | 202    | 215    | 300     |
| 924                     | 265    | 266    | 300,008 | 984   | 259    | 260    | 299,984 | 1044  | 215    | 228    | 300     |
| 925                     | 278    | 279    | 300,008 | 985   | 272    | 273    | 299,984 | 1045  | 228    | 241    | 300     |
| 926                     | 291    | 292    | 300,008 | 986   | 285    | 286    | 299,984 | 1046  | 241    | 254    | 300     |
| 927                     | 304    | 305    | 300,008 | 987   | 298    | 299    | 299,984 | 1047  | 254    | 267    | 300     |
| 928                     | 317    | 318    | 300,008 | 988   | 311    | 312    | 299,984 | 1048  | 267    | 280    | 300     |
| 929                     | 330    | 331    | 300,008 | 989   | 324    | 325    | 299,984 | 1049  | 280    | 293    | 300     |
| 930                     | 362    | 178    | 282,364 | 990   | 337    | 338    | 299,984 | 1050  | 293    | 306    | 300     |
| 931                     | 362    | 179    | 272,834 | 991   | 175    | 188    | 320     | 1051  | 306    | 319    | 320     |
| 932                     | 362    | 191    | 293,478 | 992   | 188    | 201    | 320     | 1052  | 319    | 332    | 320     |
| 933                     | 362    | 192    | 284,32  | 993   | 201    | 214    | 300     | 1053  | 176    | 177    | 260,757 |
| 934                     | 398    | 191    | 293,478 | 994   | 214    | 227    | 300     | 1054  | 189    | 190    | 260,757 |
| 935                     | 192    | 398    | 284,32  | 995   | 227    | 240    | 300     | 1055  | 202    | 203    | 260,757 |
| 936                     | 204    | 398    | 282,364 | 996   | 240    | 253    | 300     | 1056  | 215    | 216    | 260,757 |
| 937                     | 398    | 205    | 272,834 | 997   | 253    | 266    | 300     | 1057  | 228    | 229    | 260,757 |
| 938                     | 204    | 410    | 282,364 | 998   | 266    | 279    | 300     | 1058  | 241    | 242    | 260,757 |
| 939                     | 410    | 205    | 272,834 | 999   | 279    | 292    | 300     | 1059  | 254    | 255    | 260,757 |
| 940                     | 217    | 410    | 282,364 | 1000  | 292    | 305    | 300     | 1060  | 267    | 268    | 260,757 |
| 941                     | 410    | 218    | 272,834 | 1001  | 305    | 318    | 320     | 1061  | 280    | 281    | 260,757 |
| 942                     | 217    | 422    | 282,364 | 1002  | 318    | 331    | 320     | 1062  | 293    | 294    | 260,757 |
| 943                     | 422    | 218    | 272,834 | 1003  | 181    | 194    | 320     | 1063  | 306    | 307    | 260,757 |
| 944                     | 230    | 422    | 282,364 | 1004  | 194    | 207    | 320     | 1064  | 319    | 320    | 260,757 |
| 945                     | 422    | 231    | 272,834 | 1005  | 207    | 220    | 300     | 1065  | 332    | 333    | 260,757 |
| 946                     | 230    | 434    | 282,364 | 1006  | 220    | 233    | 300     | 1066  | 180    | 193    | 320     |
| 947                     | 434    | 231    | 272,834 | 1007  | 233    | 246    | 300     | 1067  | 193    | 206    | 320     |
| 948                     | 243    | 434    | 282,364 | 1008  | 246    | 259    | 300     | 1068  | 206    | 219    | 300     |
| 949                     | 434    | 244    | 272,834 | 1009  | 259    | 272    | 300     | 1069  | 219    | 232    | 300     |
| 950                     | 446    | 243    | 282,364 | 1010  | 272    | 285    | 300     | 1070  | 232    | 245    | 300     |
| 951                     | 244    | 446    | 272,834 | 1011  | 285    | 298    | 300     | 1071  | 245    | 258    | 300     |
| 952                     | 256    | 446    | 282,364 | 1012  | 298    | 311    | 300     | 1072  | 258    | 271    | 300     |
| 953                     | 446    | 257    | 272,834 | 1013  | 311    | 324    | 320     | 1073  | 271    | 284    | 300     |
| 954                     | 256    | 458    | 282,364 | 1014  | 324    | 337    | 320     | 1074  | 284    | 297    | 300     |
| 955                     | 458    | 257    | 272,834 | 1015  | 175    | 176    | 300,008 | 1075  | 297    | 310    | 300     |
| 956                     | 269    | 458    | 282,364 | 1016  | 188    | 189    | 300,008 | 1076  | 310    | 323    | 320     |
| 957                     | 458    | 270    | 272,834 | 1017  | 201    | 202    | 300,008 | 1077  | 323    | 336    | 320     |
| 958                     | 269    | 470    | 282,364 | 1018  | 214    | 215    | 300,008 | 1078  | 177    | 190    | 320     |
| 959                     | 470    | 270    | 272,834 | 1019  | 227    | 228    | 300,008 | 1079  | 190    | 203    | 320     |
| 960                     | 282    | 470    | 282,364 | 1020  | 240    | 241    | 300,008 | 1080  | 203    | 216    | 300     |

| Connectivity<br>- Frame |        |        |         |       |        |        |         |       |        |        |        |
|-------------------------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|---------|-------|--------|--------|--------|
| Frame                   | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length  | Frame | JointI | JointJ | Length |
| Text                    | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm      | Text  | Text   | Text   | cm     |
| 1081                    | 216    | 229    | 300     | 1105  | 203    | 204    | 221,409 | 1129  | 230    | 243    | 300    |
| 1082                    | 229    | 242    | 300     | 1106  | 216    | 217    | 221,409 | 1130  | 231    | 244    | 300    |
| 1083                    | 242    | 255    | 300     | 1107  | 229    | 230    | 221,409 | 1131  | 243    | 244    | 246,1  |
| 1084                    | 255    | 268    | 300     | 1108  | 242    | 243    | 221,409 | 1132  | 243    | 256    | 300    |
| 1085                    | 268    | 281    | 300     | 1109  | 255    | 256    | 221,409 | 1133  | 244    | 257    | 300    |
| 1086                    | 281    | 294    | 300     | 1110  | 268    | 269    | 221,409 | 1134  | 256    | 257    | 246,1  |
| 1087                    | 294    | 307    | 300     | 1111  | 281    | 282    | 221,409 | 1135  | 256    | 269    | 300    |
| 1088                    | 307    | 320    | 320     | 1112  | 294    | 295    | 221,409 | 1136  | 257    | 270    | 300    |
| 1089                    | 320    | 333    | 320     | 1113  | 307    | 308    | 221,409 | 1137  | 269    | 270    | 246,1  |
| 1090                    | 179    | 180    | 248,574 | 1114  | 320    | 321    | 221,409 | 1138  | 269    | 282    | 300    |
| 1091                    | 192    | 193    | 248,574 | 1115  | 333    | 334    | 221,409 | 1139  | 270    | 283    | 300    |
| 1092                    | 205    | 206    | 248,574 | 1116  | 178    | 179    | 246,1   | 1140  | 282    | 283    | 246,1  |
| 1093                    | 218    | 219    | 248,574 | 1117  | 178    | 191    | 320     | 1141  | 282    | 295    | 300    |
| 1094                    | 231    | 232    | 248,574 | 1118  | 179    | 192    | 320     | 1142  | 283    | 296    | 300    |
| 1095                    | 244    | 245    | 248,574 | 1119  | 191    | 192    | 246,1   | 1143  | 295    | 296    | 246,1  |
| 1096                    | 257    | 258    | 248,574 | 1120  | 191    | 204    | 320     | 1144  | 295    | 308    | 300    |
| 1097                    | 270    | 271    | 248,574 | 1121  | 192    | 205    | 320     | 1145  | 296    | 309    | 300    |
| 1098                    | 283    | 284    | 248,574 | 1122  | 204    | 205    | 246,1   | 1146  | 308    | 309    | 246,1  |
| 1099                    | 296    | 297    | 248,574 | 1123  | 204    | 217    | 300     | 1147  | 308    | 321    | 320    |
| 1100                    | 309    | 310    | 248,574 | 1124  | 205    | 218    | 300     | 1148  | 309    | 322    | 320    |
| 1101                    | 322    | 323    | 248,574 | 1125  | 217    | 218    | 246,1   | 1149  | 321    | 322    | 246,1  |
| 1102                    | 335    | 336    | 248,574 | 1126  | 217    | 230    | 300     | 1150  | 321    | 334    | 320    |
| 1103                    | 177    | 178    | 221,409 | 1127  | 218    | 231    | 300     | 1151  | 322    | 335    | 320    |
| 1104                    | 190    | 191    | 221,409 | 1128  | 230    | 231    | 246,1   | 1152  | 334    | 335    | 246,1  |



**Tablo 5.3 Uzak Kafes Sistem Düzüm Noktası Yüklemleri**

| Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        |
|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|
| Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     |
| Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    |
| 170                    | DL       | -463,5 | 185                    | DL       | -463,5 | 200                    | DL       | -463,5 |
| 170                    | KAR      | -1215  | 185                    | KAR      | -1215  | 200                    | KAR      | -1215  |
| 170                    | RUZ_bas  | -720   | 185                    | RUZ_bas  | -720   | 200                    | RUZ_bas  | -720   |
| 170                    | RUZ_EMME | 720    | 185                    | RUZ_EMME | 720    | 200                    | RUZ_EMME | 720    |
| 171                    | DL       | -463,5 | 186                    | DL       | -463,5 | 201                    | DL       | -463,5 |
| 171                    | KAR      | -1215  | 186                    | KAR      | -1215  | 201                    | KAR      | -1215  |
| 171                    | RUZ_bas  | -720   | 186                    | RUZ_bas  | -720   | 201                    | RUZ_bas  | -720   |
| 171                    | RUZ_EMME | 720    | 186                    | RUZ_EMME | 720    | 201                    | RUZ_EMME | 720    |
| 172                    | DL       | -463,5 | 187                    | DL       | -463,5 | 202                    | DL       | -463,5 |
| 172                    | KAR      | -1215  | 187                    | KAR      | -1215  | 202                    | KAR      | -1215  |
| 172                    | RUZ_bas  | -720   | 187                    | RUZ_bas  | -720   | 202                    | RUZ_bas  | -720   |
| 172                    | RUZ_EMME | 720    | 187                    | RUZ_EMME | 720    | 202                    | RUZ_EMME | 720    |
| 173                    | DL       | -463,5 | 188                    | DL       | -463,5 | 203                    | DL       | -463,5 |
| 173                    | KAR      | -1215  | 188                    | KAR      | -1215  | 203                    | KAR      | -1215  |
| 173                    | RUZ_bas  | -720   | 188                    | RUZ_bas  | -720   | 203                    | RUZ_bas  | -720   |
| 173                    | RUZ_EMME | 720    | 188                    | RUZ_EMME | 720    | 203                    | RUZ_EMME | 720    |
| 174                    | DL       | -463,5 | 189                    | DL       | -463,5 | 204                    | DL       | -463,5 |
| 174                    | KAR      | -1215  | 189                    | KAR      | -1215  | 204                    | KAR      | -1215  |
| 174                    | RUZ_bas  | -720   | 189                    | RUZ_bas  | -720   | 204                    | RUZ_bas  | -720   |
| 174                    | RUZ_EMME | 720    | 189                    | RUZ_EMME | 720    | 204                    | RUZ_EMME | 720    |
| 175                    | DL       | -463,5 | 190                    | DL       | -463,5 | 205                    | DL       | -463,5 |
| 175                    | KAR      | -1215  | 190                    | KAR      | -1215  | 205                    | KAR      | -1215  |
| 175                    | RUZ_bas  | -720   | 190                    | RUZ_bas  | -720   | 205                    | RUZ_bas  | -720   |
| 175                    | RUZ_EMME | 720    | 190                    | RUZ_EMME | 720    | 205                    | RUZ_EMME | 720    |
| 176                    | DL       | -463,5 | 191                    | DL       | -463,5 | 206                    | DL       | -463,5 |
| 176                    | KAR      | -1215  | 191                    | KAR      | -1215  | 206                    | KAR      | -1215  |
| 176                    | RUZ_bas  | -720   | 191                    | RUZ_bas  | -720   | 206                    | RUZ_bas  | -720   |
| 176                    | RUZ_EMME | 720    | 191                    | RUZ_EMME | 720    | 206                    | RUZ_EMME | 720    |
| 177                    | DL       | -463,5 | 192                    | DL       | -463,5 | 207                    | DL       | -463,5 |
| 177                    | KAR      | -1215  | 192                    | KAR      | -1215  | 207                    | KAR      | -1215  |
| 177                    | RUZ_bas  | -720   | 192                    | RUZ_bas  | -720   | 207                    | RUZ_bas  | -720   |
| 177                    | RUZ_EMME | 720    | 192                    | RUZ_EMME | 720    | 207                    | RUZ_EMME | 720    |
| 178                    | DL       | -463,5 | 193                    | DL       | -463,5 | 208                    | DL       | -463,5 |
| 178                    | KAR      | -1215  | 193                    | KAR      | -1215  | 208                    | KAR      | -1215  |
| 178                    | RUZ_bas  | -720   | 193                    | RUZ_bas  | -720   | 208                    | RUZ_bas  | -720   |
| 178                    | RUZ_EMME | 720    | 193                    | RUZ_EMME | 720    | 208                    | RUZ_EMME | 720    |
| 179                    | DL       | -463,5 | 194                    | DL       | -463,5 | 209                    | DL       | -463,5 |
| 179                    | KAR      | -1215  | 194                    | KAR      | -1215  | 209                    | KAR      | -1215  |
| 179                    | RUZ_bas  | -720   | 194                    | RUZ_bas  | -720   | 209                    | RUZ_bas  | -720   |
| 179                    | RUZ_EMME | 720    | 194                    | RUZ_EMME | 720    | 209                    | RUZ_EMME | 720    |
| 180                    | DL       | -463,5 | 195                    | DL       | -463,5 | 210                    | DL       | -463,5 |
| 180                    | KAR      | -1215  | 195                    | KAR      | -1215  | 210                    | KAR      | -1215  |
| 180                    | RUZ_bas  | -720   | 195                    | RUZ_bas  | -720   | 210                    | RUZ_bas  | -720   |
| 180                    | RUZ_EMME | 720    | 195                    | RUZ_EMME | 720    | 210                    | RUZ_EMME | 720    |
| 181                    | DL       | -463,5 | 196                    | DL       | -463,5 | 211                    | DL       | -463,5 |
| 181                    | KAR      | -1215  | 196                    | KAR      | -1215  | 211                    | KAR      | -1215  |
| 181                    | RUZ_bas  | -720   | 196                    | RUZ_bas  | -720   | 211                    | RUZ_bas  | -720   |
| 181                    | RUZ_EMME | 720    | 196                    | RUZ_EMME | 720    | 211                    | RUZ_EMME | 720    |
| 182                    | DL       | -463,5 | 197                    | DL       | -463,5 | 212                    | DL       | -463,5 |
| 182                    | KAR      | -1215  | 197                    | KAR      | -1215  | 212                    | KAR      | -1215  |
| 182                    | RUZ_bas  | -720   | 197                    | RUZ_bas  | -720   | 212                    | RUZ_bas  | -720   |
| 182                    | RUZ_EMME | 720    | 197                    | RUZ_EMME | 720    | 212                    | RUZ_EMME | 720    |
| 183                    | DL       | -463,5 | 198                    | DL       | -463,5 | 213                    | DL       | -463,5 |
| 183                    | KAR      | -1215  | 198                    | KAR      | -1215  | 213                    | KAR      | -1215  |
| 183                    | RUZ_bas  | -720   | 198                    | RUZ_bas  | -720   | 213                    | RUZ_bas  | -720   |
| 183                    | RUZ_EMME | 720    | 198                    | RUZ_EMME | 720    | 213                    | RUZ_EMME | 720    |
| 184                    | DL       | -463,5 | 199                    | DL       | -463,5 | 214                    | DL       | -463,5 |
| 184                    | KAR      | -1215  | 199                    | KAR      | -1215  | 214                    | KAR      | -1215  |
| 184                    | RUZ_bas  | -720   | 199                    | RUZ_bas  | -720   | 214                    | RUZ_bas  | -720   |
| 184                    | RUZ_EMME | 720    | 199                    | RUZ_EMME | 720    | 214                    | RUZ_EMME | 720    |



| Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        |
|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|
| Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     |
| Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    |
| 215                    | DL       | -463,5 | 230                    | DL       | -463,5 | 245                    | DL       | -463,5 |
| 215                    | KAR      | -1215  | 230                    | KAR      | -1215  | 245                    | KAR      | -1215  |
| 215                    | RUZ_bas  | -720   | 230                    | RUZ_bas  | -720   | 245                    | RUZ_bas  | -720   |
| 215                    | RUZ_EMME | 720    | 230                    | RUZ_EMME | 720    | 245                    | RUZ_EMME | 720    |
| 216                    | DL       | -463,5 | 231                    | DL       | -463,5 | 246                    | DL       | -463,5 |
| 216                    | KAR      | -1215  | 231                    | KAR      | -1215  | 246                    | KAR      | -1215  |
| 216                    | RUZ_bas  | -720   | 231                    | RUZ_bas  | -720   | 246                    | RUZ_bas  | -720   |
| 216                    | RUZ_EMME | 720    | 231                    | RUZ_EMME | 720    | 246                    | RUZ_EMME | 720    |
| 217                    | DL       | -463,5 | 232                    | DL       | -463,5 | 247                    | DL       | -463,5 |
| 217                    | KAR      | -1215  | 232                    | KAR      | -1215  | 247                    | KAR      | -1215  |
| 217                    | RUZ_bas  | -720   | 232                    | RUZ_bas  | -720   | 247                    | RUZ_bas  | -720   |
| 217                    | RUZ_EMME | 720    | 232                    | RUZ_EMME | 720    | 247                    | RUZ_EMME | 720    |
| 218                    | DL       | -463,5 | 233                    | DL       | -463,5 | 248                    | DL       | -463,5 |
| 218                    | KAR      | -1215  | 233                    | KAR      | -1215  | 248                    | KAR      | -1215  |
| 218                    | RUZ_bas  | -720   | 233                    | RUZ_bas  | -720   | 248                    | RUZ_bas  | -720   |
| 218                    | RUZ_EMME | 720    | 233                    | RUZ_EMME | 720    | 248                    | RUZ_EMME | 720    |
| 219                    | DL       | -463,5 | 234                    | DL       | -463,5 | 249                    | DL       | -463,5 |
| 219                    | KAR      | -1215  | 234                    | KAR      | -1215  | 249                    | KAR      | -1215  |
| 219                    | RUZ_bas  | -720   | 234                    | RUZ_bas  | -720   | 249                    | RUZ_bas  | -720   |
| 219                    | RUZ_EMME | 720    | 234                    | RUZ_EMME | 720    | 249                    | RUZ_EMME | 720    |
| 220                    | DL       | -463,5 | 235                    | DL       | -463,5 | 250                    | DL       | -463,5 |
| 220                    | KAR      | -1215  | 235                    | KAR      | -1215  | 250                    | KAR      | -1215  |
| 220                    | RUZ_bas  | -720   | 235                    | RUZ_bas  | -720   | 250                    | RUZ_bas  | -720   |
| 220                    | RUZ_EMME | 720    | 235                    | RUZ_EMME | 720    | 250                    | RUZ_EMME | 720    |
| 221                    | DL       | -463,5 | 236                    | DL       | -463,5 | 251                    | DL       | -463,5 |
| 221                    | KAR      | -1215  | 236                    | KAR      | -1215  | 251                    | KAR      | -1215  |
| 221                    | RUZ_bas  | -720   | 236                    | RUZ_bas  | -720   | 251                    | RUZ_bas  | -720   |
| 221                    | RUZ_EMME | 720    | 236                    | RUZ_EMME | 720    | 251                    | RUZ_EMME | 720    |
| 222                    | DL       | -463,5 | 237                    | DL       | -463,5 | 252                    | DL       | -463,5 |
| 222                    | KAR      | -1215  | 237                    | KAR      | -1215  | 252                    | KAR      | -1215  |
| 222                    | RUZ_bas  | -720   | 237                    | RUZ_bas  | -720   | 252                    | RUZ_bas  | -720   |
| 222                    | RUZ_EMME | 720    | 237                    | RUZ_EMME | 720    | 252                    | RUZ_EMME | 720    |
| 223                    | DL       | -463,5 | 238                    | DL       | -463,5 | 253                    | DL       | -463,5 |
| 223                    | KAR      | -1215  | 238                    | KAR      | -1215  | 253                    | KAR      | -1215  |
| 223                    | RUZ_bas  | -720   | 238                    | RUZ_bas  | -720   | 253                    | RUZ_bas  | -720   |
| 223                    | RUZ_EMME | 720    | 238                    | RUZ_EMME | 720    | 253                    | RUZ_EMME | 720    |
| 224                    | DL       | -463,5 | 239                    | DL       | -463,5 | 254                    | DL       | -463,5 |
| 224                    | KAR      | -1215  | 239                    | KAR      | -1215  | 254                    | KAR      | -1215  |
| 224                    | RUZ_bas  | -720   | 239                    | RUZ_bas  | -720   | 254                    | RUZ_bas  | -720   |
| 224                    | RUZ_EMME | 720    | 239                    | RUZ_EMME | 720    | 254                    | RUZ_EMME | 720    |
| 225                    | DL       | -463,5 | 240                    | DL       | -463,5 | 255                    | DL       | -463,5 |
| 225                    | KAR      | -1215  | 240                    | KAR      | -1215  | 255                    | KAR      | -1215  |
| 225                    | RUZ_bas  | -720   | 240                    | RUZ_bas  | -720   | 255                    | RUZ_bas  | -720   |
| 225                    | RUZ_EMME | 720    | 240                    | RUZ_EMME | 720    | 255                    | RUZ_EMME | 720    |
| 226                    | DL       | -463,5 | 241                    | DL       | -463,5 | 256                    | DL       | -463,5 |
| 226                    | KAR      | -1215  | 241                    | KAR      | -1215  | 256                    | KAR      | -1215  |
| 226                    | RUZ_bas  | -720   | 241                    | RUZ_bas  | -720   | 256                    | RUZ_bas  | -720   |
| 226                    | RUZ_EMME | 720    | 241                    | RUZ_EMME | 720    | 256                    | RUZ_EMME | 720    |
| 227                    | DL       | -463,5 | 242                    | DL       | -463,5 | 257                    | DL       | -463,5 |
| 227                    | KAR      | -1215  | 242                    | KAR      | -1215  | 257                    | KAR      | -1215  |
| 227                    | RUZ_bas  | -720   | 242                    | RUZ_bas  | -720   | 257                    | RUZ_bas  | -720   |
| 227                    | RUZ_EMME | 720    | 242                    | RUZ_EMME | 720    | 257                    | RUZ_EMME | 720    |
| 228                    | DL       | -463,5 | 243                    | DL       | -463,5 | 258                    | DL       | -463,5 |
| 228                    | KAR      | -1215  | 243                    | KAR      | -1215  | 258                    | KAR      | -1215  |
| 228                    | RUZ_bas  | -720   | 243                    | RUZ_bas  | -720   | 258                    | RUZ_bas  | -720   |
| 228                    | RUZ_EMME | 720    | 243                    | RUZ_EMME | 720    | 258                    | RUZ_EMME | 720    |
| 229                    | DL       | -463,5 | 244                    | DL       | -463,5 | 259                    | DL       | -463,5 |
| 229                    | KAR      | -1215  | 244                    | KAR      | -1215  | 259                    | KAR      | -1215  |
| 229                    | RUZ_bas  | -720   | 244                    | RUZ_bas  | -720   | 259                    | RUZ_bas  | -720   |
| 229                    | RUZ_EMME | 720    | 244                    | RUZ_EMME | 720    | 259                    | RUZ_EMME | 720    |

| Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        |
|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|
| Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     |
| Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    |
| 260                    | DL       | -463,5 | 275                    | DL       | -463,5 | 290                    | DL       | -463,5 |
| 260                    | KAR      | -1215  | 275                    | KAR      | -1215  | 290                    | KAR      | -1215  |
| 260                    | RUZ_bas  | -720   | 275                    | RUZ_bas  | -720   | 290                    | RUZ_bas  | -720   |
| 260                    | RUZ_EMME | 720    | 275                    | RUZ_EMME | 720    | 290                    | RUZ_EMME | 720    |
| 261                    | DL       | -463,5 | 276                    | DL       | -463,5 | 291                    | DL       | -463,5 |
| 261                    | KAR      | -1215  | 276                    | KAR      | -1215  | 291                    | KAR      | -1215  |
| 261                    | RUZ_bas  | -720   | 276                    | RUZ_bas  | -720   | 291                    | RUZ_bas  | -720   |
| 261                    | RUZ_EMME | 720    | 276                    | RUZ_EMME | 720    | 291                    | RUZ_EMME | 720    |
| 262                    | DL       | -463,5 | 277                    | DL       | -463,5 | 292                    | DL       | -463,5 |
| 262                    | KAR      | -1215  | 277                    | KAR      | -1215  | 292                    | KAR      | -1215  |
| 262                    | RUZ_bas  | -720   | 277                    | RUZ_bas  | -720   | 292                    | RUZ_bas  | -720   |
| 262                    | RUZ_EMME | 720    | 277                    | RUZ_EMME | 720    | 292                    | RUZ_EMME | 720    |
| 263                    | DL       | -463,5 | 278                    | DL       | -463,5 | 293                    | DL       | -463,5 |
| 263                    | KAR      | -1215  | 278                    | KAR      | -1215  | 293                    | KAR      | -1215  |
| 263                    | RUZ_bas  | -720   | 278                    | RUZ_bas  | -720   | 293                    | RUZ_bas  | -720   |
| 263                    | RUZ_EMME | 720    | 278                    | RUZ_EMME | 720    | 293                    | RUZ_EMME | 720    |
| 264                    | DL       | -463,5 | 279                    | DL       | -463,5 | 294                    | DL       | -463,5 |
| 264                    | KAR      | -1215  | 279                    | KAR      | -1215  | 294                    | KAR      | -1215  |
| 264                    | RUZ_bas  | -720   | 279                    | RUZ_bas  | -720   | 294                    | RUZ_bas  | -720   |
| 264                    | RUZ_EMME | 720    | 279                    | RUZ_EMME | 720    | 294                    | RUZ_EMME | 720    |
| 265                    | DL       | -463,5 | 280                    | DL       | -463,5 | 295                    | DL       | -463,5 |
| 265                    | KAR      | -1215  | 280                    | KAR      | -1215  | 295                    | KAR      | -1215  |
| 265                    | RUZ_bas  | -720   | 280                    | RUZ_bas  | -720   | 295                    | RUZ_bas  | -720   |
| 265                    | RUZ_EMME | 720    | 280                    | RUZ_EMME | 720    | 295                    | RUZ_EMME | 720    |
| 266                    | DL       | -463,5 | 281                    | DL       | -463,5 | 296                    | DL       | -463,5 |
| 266                    | KAR      | -1215  | 281                    | KAR      | -1215  | 296                    | KAR      | -1215  |
| 266                    | RUZ_bas  | -720   | 281                    | RUZ_bas  | -720   | 296                    | RUZ_bas  | -720   |
| 266                    | RUZ_EMME | 720    | 281                    | RUZ_EMME | 720    | 296                    | RUZ_EMME | 720    |
| 267                    | DL       | -463,5 | 282                    | DL       | -463,5 | 297                    | DL       | -463,5 |
| 267                    | KAR      | -1215  | 282                    | KAR      | -1215  | 297                    | KAR      | -1215  |
| 267                    | RUZ_bas  | -720   | 282                    | RUZ_bas  | -720   | 297                    | RUZ_bas  | -720   |
| 267                    | RUZ_EMME | 720    | 282                    | RUZ_EMME | 720    | 297                    | RUZ_EMME | 720    |
| 268                    | DL       | -463,5 | 283                    | DL       | -463,5 | 298                    | DL       | -463,5 |
| 268                    | KAR      | -1215  | 283                    | KAR      | -1215  | 298                    | KAR      | -1215  |
| 268                    | RUZ_bas  | -720   | 283                    | RUZ_bas  | -720   | 298                    | RUZ_bas  | -720   |
| 268                    | RUZ_EMME | 720    | 283                    | RUZ_EMME | 720    | 298                    | RUZ_EMME | 720    |
| 269                    | DL       | -463,5 | 284                    | DL       | -463,5 | 299                    | DL       | -463,5 |
| 269                    | KAR      | -1215  | 284                    | KAR      | -1215  | 299                    | KAR      | -1215  |
| 269                    | RUZ_bas  | -720   | 284                    | RUZ_bas  | -720   | 299                    | RUZ_bas  | -720   |
| 269                    | RUZ_EMME | 720    | 284                    | RUZ_EMME | 720    | 299                    | RUZ_EMME | 720    |
| 270                    | DL       | -463,5 | 285                    | DL       | -463,5 | 300                    | DL       | -463,5 |
| 270                    | KAR      | -1215  | 285                    | KAR      | -1215  | 300                    | KAR      | -1215  |
| 270                    | RUZ_bas  | -720   | 285                    | RUZ_bas  | -720   | 300                    | RUZ_bas  | -720   |
| 270                    | RUZ_EMME | 720    | 285                    | RUZ_EMME | 720    | 300                    | RUZ_EMME | 720    |
| 271                    | DL       | -463,5 | 286                    | DL       | -463,5 | 301                    | DL       | -463,5 |
| 271                    | KAR      | -1215  | 286                    | KAR      | -1215  | 301                    | KAR      | -1215  |
| 271                    | RUZ_bas  | -720   | 286                    | RUZ_bas  | -720   | 301                    | RUZ_bas  | -720   |
| 271                    | RUZ_EMME | 720    | 286                    | RUZ_EMME | 720    | 301                    | RUZ_EMME | 720    |
| 272                    | DL       | -463,5 | 287                    | DL       | -463,5 | 302                    | DL       | -463,5 |
| 272                    | KAR      | -1215  | 287                    | KAR      | -1215  | 302                    | KAR      | -1215  |
| 272                    | RUZ_bas  | -720   | 287                    | RUZ_bas  | -720   | 302                    | RUZ_bas  | -720   |
| 272                    | RUZ_EMME | 720    | 287                    | RUZ_EMME | 720    | 302                    | RUZ_EMME | 720    |
| 273                    | DL       | -463,5 | 288                    | DL       | -463,5 | 303                    | DL       | -463,5 |
| 273                    | KAR      | -1215  | 288                    | KAR      | -1215  | 303                    | KAR      | -1215  |
| 273                    | RUZ_bas  | -720   | 288                    | RUZ_bas  | -720   | 303                    | RUZ_bas  | -720   |
| 273                    | RUZ_EMME | 720    | 288                    | RUZ_EMME | 720    | 303                    | RUZ_EMME | 720    |
| 274                    | DL       | -463,5 | 289                    | DL       | -463,5 | 304                    | DL       | -463,5 |
| 274                    | KAR      | -1215  | 289                    | KAR      | -1215  | 304                    | KAR      | -1215  |
| 274                    | RUZ_bas  | -720   | 289                    | RUZ_bas  | -720   | 304                    | RUZ_bas  | -720   |
| 274                    | RUZ_EMME | 720    | 289                    | RUZ_EMME | 720    | 304                    | RUZ_EMME | 720    |

| Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        | Joint Loads<br>- Force |          |        |
|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|------------------------|----------|--------|
| Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     | Joint                  | LoadCase | F3     |
| Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    | Text                   | Text     | Kgf    |
| 305                    | DL       | -463,5 | 317                    | DL       | -463,5 | 329                    | DL       | -463,5 |
| 305                    | KAR      | -1215  | 317                    | KAR      | -1215  | 329                    | KAR      | -1215  |
| 305                    | RUZ_bas  | -720   | 317                    | RUZ_bas  | -720   | 329                    | RUZ_bas  | -720   |
| 305                    | RUZ_EMME | 720    | 317                    | RUZ_EMME | 720    | 329                    | RUZ_EMME | 720    |
| 306                    | DL       | -463,5 | 318                    | DL       | -463,5 | 330                    | DL       | -463,5 |
| 306                    | KAR      | -1215  | 318                    | KAR      | -1215  | 330                    | KAR      | -1215  |
| 306                    | RUZ_bas  | -720   | 318                    | RUZ_bas  | -720   | 330                    | RUZ_bas  | -720   |
| 306                    | RUZ_EMME | 720    | 318                    | RUZ_EMME | 720    | 330                    | RUZ_EMME | 720    |
| 307                    | DL       | -463,5 | 319                    | DL       | -463,5 | 331                    | DL       | -463,5 |
| 307                    | KAR      | -1215  | 319                    | KAR      | -1215  | 331                    | KAR      | -1215  |
| 307                    | RUZ_bas  | -720   | 319                    | RUZ_bas  | -720   | 331                    | RUZ_bas  | -720   |
| 307                    | RUZ_EMME | 720    | 319                    | RUZ_EMME | 720    | 331                    | RUZ_EMME | 720    |
| 308                    | DL       | -463,5 | 320                    | DL       | -463,5 | 332                    | DL       | -463,5 |
| 308                    | KAR      | -1215  | 320                    | KAR      | -1215  | 332                    | KAR      | -1215  |
| 308                    | RUZ_bas  | -720   | 320                    | RUZ_bas  | -720   | 332                    | RUZ_bas  | -720   |
| 308                    | RUZ_EMME | 720    | 320                    | RUZ_EMME | 720    | 332                    | RUZ_EMME | 720    |
| 309                    | DL       | -463,5 | 321                    | DL       | -463,5 | 333                    | DL       | -463,5 |
| 309                    | KAR      | -1215  | 316                    | KAR      | -1215  | 327                    | RUZ_bas  | -720   |
| 309                    | RUZ_bas  | -720   | 316                    | RUZ_bas  | -720   | 327                    | RUZ_EMME | 720    |
| 309                    | RUZ_EMME | 720    | 316                    | RUZ_EMME | 720    | 328                    | DL       | -463,5 |
| 310                    | DL       | -463,5 | 321                    | KAR      | -1215  | 328                    | KAR      | -1215  |
| 310                    | KAR      | -1215  | 321                    | RUZ_bas  | -720   | 328                    | RUZ_bas  | -720   |
| 310                    | RUZ_bas  | -720   | 321                    | RUZ_EMME | 720    | 328                    | RUZ_EMME | 720    |
| 310                    | RUZ_EMME | 720    | 322                    | DL       | -463,5 | 333                    | KAR      | -1215  |
| 311                    | DL       | -463,5 | 322                    | KAR      | -1215  | 333                    | RUZ_bas  | -720   |
| 311                    | KAR      | -1215  | 322                    | RUZ_bas  | -720   | 333                    | RUZ_EMME | 720    |
| 311                    | RUZ_bas  | -720   | 322                    | RUZ_EMME | 720    | 334                    | DL       | -463,5 |
| 311                    | RUZ_EMME | 720    | 323                    | DL       | -463,5 | 334                    | KAR      | -1215  |
| 312                    | DL       | -463,5 | 323                    | KAR      | -1215  | 334                    | RUZ_bas  | -720   |
| 312                    | KAR      | -1215  | 323                    | RUZ_bas  | -720   | 334                    | RUZ_EMME | 720    |
| 312                    | RUZ_bas  | -720   | 323                    | RUZ_EMME | 720    | 335                    | DL       | -463,5 |
| 312                    | RUZ_EMME | 720    | 324                    | DL       | -463,5 | 335                    | KAR      | -1215  |
| 313                    | DL       | -463,5 | 324                    | KAR      | -1215  | 335                    | RUZ_bas  | -720   |
| 313                    | KAR      | -1215  | 324                    | RUZ_bas  | -720   | 335                    | RUZ_EMME | 720    |
| 313                    | RUZ_bas  | -720   | 324                    | RUZ_EMME | 720    | 336                    | DL       | -463,5 |
| 313                    | RUZ_EMME | 720    | 325                    | DL       | -463,5 | 336                    | KAR      | -1215  |
| 314                    | DL       | -463,5 | 325                    | KAR      | -1215  | 336                    | RUZ_bas  | -720   |
| 314                    | KAR      | -1215  | 325                    | RUZ_bas  | -720   | 336                    | RUZ_EMME | 720    |
| 314                    | RUZ_bas  | -720   | 325                    | RUZ_EMME | 720    | 337                    | DL       | -463,5 |
| 314                    | RUZ_EMME | 720    | 326                    | DL       | -463,5 | 337                    | KAR      | -1215  |
| 315                    | DL       | -463,5 | 326                    | KAR      | -1215  | 337                    | RUZ_bas  | -720   |
| 315                    | KAR      | -1215  | 326                    | RUZ_bas  | -720   | 337                    | RUZ_EMME | 720    |
| 315                    | RUZ_bas  | -720   | 326                    | RUZ_EMME | 720    | 338                    | DL       | -463,5 |
| 315                    | RUZ_EMME | 720    | 327                    | DL       | -463,5 | 338                    | KAR      | -1215  |
| 316                    | DL       | -463,5 | 327                    | KAR      | -1215  | 338                    | RUZ_bas  | -720   |
|                        |          |        |                        |          |        | 338                    | RUZ_EMME | 720    |

**Tablo 5.4 Uzak Kafes Sistem Dügüm Noktası Reaksiyon Kuvvetleri**

| TABLE: Joint Reactions |            |             |          |          |          |
|------------------------|------------|-------------|----------|----------|----------|
| Joint                  | OutputCase | CaseType    | F1       | F2       | F3       |
| Text                   |            |             | Kgf      | Kgf      | Kgf      |
| 353                    | KOM1       | Combination | -8676,9  | 0        | 17307,08 |
| 353                    | KOM2       | Combination | -1954,03 | 0        | 24213,05 |
| 353                    | KOM3       | Combination | 130,41   | 0        | -1252,73 |
| 353                    | KOM4       | Combination | -9204,07 | 0        | 17229,35 |
| 353                    | KOM5       | Combination | -8773,09 | 0        | 17200,45 |
| 353                    | KOM6       | Combination | -11915,8 | 0        | 24231,25 |
| 353                    | KOM7       | Combination | -5361,53 | 0        | 10419,3  |
| 353                    | KOM8       | Combination | -9165,84 | 0        | 17247,55 |
| 353                    | KOM9       | Combination | -8734,86 | 0        | 17218,65 |
| 362                    | KOM1       | Combination | 0        | 0        | 55393,81 |
| 362                    | KOM2       | Combination | 0        | 0        | 77014,17 |
| 362                    | KOM3       | Combination | 0        | 0        | -2710,88 |
| 362                    | KOM4       | Combination | 0        | 0        | 55569,21 |
| 362                    | KOM5       | Combination | 0        | 0        | 55328,36 |
| 362                    | KOM6       | Combination | 0        | 0        | 76863,79 |
| 362                    | KOM7       | Combination | 0        | 0        | 33623,09 |
| 362                    | KOM8       | Combination | 0        | 0        | 55418,84 |
| 362                    | KOM9       | Combination | 0        | 0        | 55177,98 |
| 365                    | KOM1       | Combination | 0        | 0        | -1362,78 |
| 365                    | KOM2       | Combination | 0        | 0        | -1755,14 |
| 365                    | KOM3       | Combination | 0        | 0        | -308,31  |
| 365                    | KOM4       | Combination | 0        | 0        | -1411,49 |
| 365                    | KOM5       | Combination | 0        | 0        | -1446,08 |
| 365                    | KOM6       | Combination | 0        | 0        | -1687,2  |
| 365                    | KOM7       | Combination | 0        | 0        | -902,49  |
| 365                    | KOM8       | Combination | 0        | 0        | -1343,56 |
| 365                    | KOM9       | Combination | 0        | 0        | -1378,14 |
| 414                    | KOM1       | Combination | 6532,15  | -1999,99 | 43710,06 |
| 414                    | KOM2       | Combination | 8980,66  | -2772,7  | 60743,4  |
| 414                    | KOM3       | Combination | -48,21   | 76,65    | -2067,06 |
| 414                    | KOM4       | Combination | 5710,22  | -2015,45 | 43628,06 |
| 414                    | KOM5       | Combination | 6583,69  | -3370,17 | 43760,72 |
| 414                    | KOM6       | Combination | 8948,76  | -2766,79 | 60765    |
| 414                    | KOM7       | Combination | 4051,75  | -1221,38 | 26698,31 |
| 414                    | KOM8       | Combination | 5678,33  | -2009,54 | 43649,66 |
| 414                    | KOM9       | Combination | 6551,8   | -3364,26 | 43782,32 |
| 425                    | KOM1       | Combination | 0        | 1999,99  | 39970,39 |
| 425                    | KOM2       | Combination | 0        | 2772,7   | 55588,99 |
| 425                    | KOM3       | Combination | 0        | -76,65   | -2004,6  |
| 425                    | KOM4       | Combination | 0        | 2015,45  | 40002,35 |
| 425                    | KOM5       | Combination | 0        | 705,11   | 40015,73 |
| 425                    | KOM6       | Combination | 0        | 2766,79  | 55632,05 |
| 425                    | KOM7       | Combination | 0        | 1221,38  | 24394,85 |
| 425                    | KOM8       | Combination | 0        | 2009,54  | 40045,41 |
| 425                    | KOM9       | Combination | 0        | 699,2    | 40058,78 |
| 474                    | KOM1       | Combination | 7855,62  | 0        | 43899,2  |
| 474                    | KOM2       | Combination | 10815,45 | 0        | 61005,62 |
| 474                    | KOM3       | Combination | -98,93   | 0        | -2074,31 |
| 474                    | KOM4       | Combination | 7043,92  | 0        | 43818,66 |
| 474                    | KOM5       | Combination | 7862,74  | 0        | 43972,97 |
| 474                    | KOM6       | Combination | 10779,64 | 0        | 61026,66 |
| 474                    | KOM7       | Combination | 4859,98  | 0        | 26813,82 |
| 474                    | KOM8       | Combination | 7008,11  | 0        | 43839,7  |

|     |      |             |          |   |          |
|-----|------|-------------|----------|---|----------|
| 474 | KOM9 | Combination | 7826,94  | 0 | 43994,01 |
| 485 | KOM1 | Combination | 0        | 0 | 39981,34 |
| 485 | KOM2 | Combination | 0        | 0 | 55604,17 |
| 485 | KOM3 | Combination | 0        | 0 | -2005,02 |
| 485 | KOM4 | Combination | 0        | 0 | 40013,38 |
| 485 | KOM5 | Combination | 0        | 0 | 40058,77 |
| 485 | KOM6 | Combination | 0        | 0 | 55647,19 |
| 485 | KOM7 | Combination | 0        | 0 | 24401,53 |
| 485 | KOM8 | Combination | 0        | 0 | 40056,4  |
| 485 | KOM9 | Combination | 0        | 0 | 40101,8  |
| 510 | KOM1 | Combination | -5710,87 | 0 | 17974,04 |
| 510 | KOM2 | Combination | -7842,07 | 0 | 25137,7  |
| 510 | KOM3 | Combination | 16,73    | 0 | -1278,29 |
| 510 | KOM4 | Combination | -6215,12 | 0 | 17901,47 |
| 510 | KOM5 | Combination | -5673,35 | 0 | 17961,27 |
| 510 | KOM6 | Combination | -7812,6  | 0 | 25153,93 |
| 510 | KOM7 | Combination | -3550,2  | 0 | 10826,61 |
| 510 | KOM8 | Combination | -6185,66 | 0 | 17917,7  |
| 510 | KOM9 | Combination | -5643,88 | 0 | 17977,5  |
| 518 | KOM1 | Combination | 0        | 0 | 54789,83 |
| 518 | KOM2 | Combination | 0        | 0 | 76176,82 |
| 518 | KOM3 | Combination | 0        | 0 | -2687,73 |
| 518 | KOM4 | Combination | 0        | 0 | 54960,56 |
| 518 | KOM5 | Combination | 0        | 0 | 54835,79 |
| 518 | KOM6 | Combination | 0        | 0 | 76028,23 |
| 518 | KOM7 | Combination | 0        | 0 | 33254,24 |
| 518 | KOM8 | Combination | 0        | 0 | 54811,97 |
| 518 | KOM9 | Combination | 0        | 0 | 54687,2  |
| 521 | KOM1 | Combination | 0        | 0 | -1345,87 |
| 521 | KOM2 | Combination | 0        | 0 | -1731,7  |
| 521 | KOM3 | Combination | 0        | 0 | -308,96  |
| 521 | KOM4 | Combination | 0        | 0 | -1394,46 |
| 521 | KOM5 | Combination | 0        | 0 | -1370,88 |
| 521 | KOM6 | Combination | 0        | 0 | -1663,82 |
| 521 | KOM7 | Combination | 0        | 0 | -892,16  |
| 521 | KOM8 | Combination | 0        | 0 | -1326,58 |
| 521 | KOM9 | Combination | 0        | 0 | -1303    |

**Tablo 5.5 Bazı çubukların eksenel çubuk kuvvetleri:**

| Element Joint Forces - Frames |       |            |           | Element Joint Forces - Frames |       |            |           |
|-------------------------------|-------|------------|-----------|-------------------------------|-------|------------|-----------|
| Frame                         | Joint | OutputCase | F2        | Frame                         | Joint | OutputCase | F2        |
| Text                          | Text  | Text       | Kgf       | Text                          | Text  | Text       | Kgf       |
| 1                             | 353   | KOM1       | -1640,76  | 4                             | 414   | KOM4       | 5601,22   |
| 1                             | 390   | KOM1       | 1640,76   | 4                             | 426   | KOM4       | -5601,22  |
| 1                             | 353   | KOM2       | -2262,12  | 4                             | 414   | KOM5       | 4991,39   |
| 1                             | 390   | KOM2       | 2262,12   | 4                             | 426   | KOM5       | -4993,75  |
| 1                             | 353   | KOM3       | 29,17     | 4                             | 414   | KOM6       | 7747,63   |
| 1                             | 390   | KOM3       | -29,17    | 4                             | 426   | KOM6       | -7747,63  |
| 1                             | 353   | KOM4       | -1646,3   | 4                             | 414   | KOM7       | 3415,59   |
| 1                             | 390   | KOM4       | 1646,3    | 4                             | 426   | KOM7       | -3415,59  |
| 1                             | 353   | KOM5       | -1542,98  | 4                             | 414   | KOM8       | 5608,74   |
| 1                             | 390   | KOM5       | 1540,31   | 4                             | 426   | KOM8       | -5608,74  |
| 1                             | 353   | KOM6       | -2262,08  | 4                             | 414   | KOM9       | 4998,91   |
| 1                             | 390   | KOM6       | 2262,08   | 4                             | 426   | KOM9       | -5001,26  |
| 1                             | 353   | KOM7       | -1019,35  | 5                             | 426   | KOM1       | -9117,86  |
| 1                             | 390   | KOM7       | 1019,35   | 5                             | 438   | KOM1       | 9117,86   |
| 1                             | 353   | KOM8       | -1646,26  | 5                             | 426   | KOM2       | -12682,88 |
| 1                             | 390   | KOM8       | 1646,26   | 5                             | 438   | KOM2       | 12682,88  |
| 1                             | 353   | KOM9       | -1542,94  | 5                             | 426   | KOM3       | 463,11    |
| 1                             | 390   | KOM9       | 1540,27   | 5                             | 438   | KOM3       | -463,11   |
| 2                             | 390   | KOM1       | -2574,77  | 5                             | 426   | KOM4       | -9113,25  |
| 2                             | 402   | KOM1       | 2574,77   | 5                             | 438   | KOM4       | 9113,25   |
| 2                             | 390   | KOM2       | -3585,85  | 5                             | 426   | KOM5       | -9513,75  |
| 2                             | 402   | KOM2       | 3585,85   | 5                             | 438   | KOM5       | 9511,39   |
| 2                             | 390   | KOM3       | 142,5     | 5                             | 426   | KOM6       | -12686,92 |
| 2                             | 402   | KOM3       | -142,5    | 5                             | 438   | KOM6       | 12686,92  |
| 2                             | 390   | KOM4       | -2573,44  | 5                             | 426   | KOM7       | -5556,89  |
| 2                             | 402   | KOM4       | 2573,44   | 5                             | 438   | KOM7       | 5556,89   |
| 2                             | 390   | KOM5       | -2288,06  | 5                             | 426   | KOM8       | -9117,29  |
| 2                             | 402   | KOM5       | 2285,7    | 5                             | 438   | KOM8       | 9117,29   |
| 2                             | 390   | KOM6       | -3586,67  | 5                             | 426   | KOM9       | -9517,79  |
| 2                             | 402   | KOM6       | 3586,67   | 5                             | 438   | KOM9       | 9515,43   |
| 2                             | 390   | KOM7       | -1564,51  | 6                             | 438   | KOM1       | -13466,84 |
| 2                             | 402   | KOM7       | 1564,51   | 6                             | 450   | KOM1       | 13466,84  |
| 2                             | 390   | KOM8       | -2574,26  | 6                             | 438   | KOM2       | -18728,37 |
| 2                             | 402   | KOM8       | 2574,26   | 6                             | 450   | KOM2       | 18728,37  |
| 2                             | 390   | KOM9       | -2288,87  | 6                             | 438   | KOM3       | 673,52    |
| 2                             | 402   | KOM9       | 2286,51   | 6                             | 450   | KOM3       | -673,52   |
| 3                             | 402   | KOM1       | 8847,16   | 6                             | 438   | KOM4       | -13468,11 |
| 3                             | 414   | KOM1       | -8847,16  | 6                             | 450   | KOM4       | 13468,11  |
| 3                             | 402   | KOM2       | 12283,78  | 6                             | 438   | KOM5       | -13727,58 |
| 3                             | 414   | KOM2       | -12283,78 | 6                             | 450   | KOM5       | 13725,23  |
| 3                             | 402   | KOM3       | -388,74   | 6                             | 438   | KOM6       | -18736,31 |
| 3                             | 414   | KOM3       | 388,74    | 6                             | 450   | KOM6       | 18736,31  |
| 3                             | 402   | KOM4       | 8882,04   | 6                             | 438   | KOM7       | -8213,25  |
| 3                             | 414   | KOM4       | -8882,04  | 6                             | 450   | KOM7       | 8213,25   |
| 3                             | 402   | KOM5       | 9363,97   | 6                             | 438   | KOM8       | -13476,05 |
| 3                             | 414   | KOM5       | -9366,33  | 6                             | 450   | KOM8       | 13476,05  |
| 3                             | 402   | KOM6       | 12288,68  | 6                             | 438   | KOM9       | -13735,52 |
| 3                             | 414   | KOM6       | -12288,68 | 6                             | 450   | KOM9       | 13733,17  |
| 3                             | 402   | KOM7       | 5415,45   | 7                             | 450   | KOM1       | -8768,17  |
| 3                             | 414   | KOM7       | -5415,45  | 7                             | 462   | KOM1       | 8768,17   |
| 3                             | 402   | KOM8       | 8886,95   | 7                             | 450   | KOM2       | -12198,07 |
| 3                             | 414   | KOM8       | -8886,95  | 7                             | 462   | KOM2       | 12198,07  |
| 3                             | 402   | KOM9       | 9368,87   | 7                             | 450   | KOM3       | 449,71    |
| 3                             | 414   | KOM9       | -9371,23  | 7                             | 462   | KOM3       | -449,71   |
| 4                             | 414   | KOM1       | 5574,1    | 7                             | 450   | KOM4       | -8760,85  |
| 4                             | 426   | KOM1       | -5574,1   | 7                             | 462   | KOM4       | 8760,85   |
| 4                             | 414   | KOM2       | 7740,12   | 7                             | 450   | KOM5       | -8925,23  |
| 4                             | 426   | KOM2       | -7740,12  | 7                             | 462   | KOM5       | 8922,87   |
| 4                             | 414   | KOM3       | -247,08   | 7                             | 450   | KOM6       | -12203,15 |
| 4                             | 426   | KOM3       | 247,08    | 7                             | 462   | KOM6       | 12203,15  |

| Element Joint Forces - Frames |       |            |           | Element Joint Forces - Frames |       |            |          |
|-------------------------------|-------|------------|-----------|-------------------------------|-------|------------|----------|
| Frame                         | Joint | OutputCase | F2        | Frame                         | Joint | OutputCase | F2       |
| Text                          | Text  | Text       | Kgf       | Text                          | Text  | Text       | Kgf      |
| 1147                          | 308   | KOM1       | 12218,89  | 1150                          | 321   | KOM4       | -3518,4  |
| 1147                          | 321   | KOM1       | -12218,89 | 1150                          | 334   | KOM4       | 3518,4   |
| 1147                          | 308   | KOM2       | 16924,46  | 1150                          | 321   | KOM5       | -3518,82 |
| 1147                          | 321   | KOM2       | -16924,46 | 1150                          | 334   | KOM5       | 3516,31  |
| 1147                          | 308   | KOM3       | -427,35   | 1150                          | 321   | KOM6       | -4893,57 |
| 1147                          | 321   | KOM3       | 427,35    | 1150                          | 334   | KOM6       | 4893,57  |
| 1147                          | 308   | KOM4       | 12257,29  | 1150                          | 321   | KOM7       | -2098,29 |
| 1147                          | 321   | KOM4       | -12257,29 | 1150                          | 334   | KOM7       | 2098,29  |
| 1147                          | 308   | KOM5       | 12214,37  | 1150                          | 321   | KOM8       | -3506,75 |
| 1147                          | 321   | KOM5       | -12216,88 | 1150                          | 334   | KOM8       | 3506,75  |
| 1147                          | 308   | KOM6       | 16891,47  | 1150                          | 321   | KOM9       | -3507,17 |
| 1147                          | 321   | KOM6       | -16891,47 | 1150                          | 334   | KOM9       | 3504,66  |
| 1147                          | 308   | KOM7       | 7480,32   | 1151                          | 322   | KOM1       | -4074,11 |
| 1147                          | 321   | KOM7       | -7480,32  | 1151                          | 335   | KOM1       | 4074,11  |
| 1147                          | 308   | KOM8       | 12224,3   | 1151                          | 322   | KOM2       | -5692,02 |
| 1147                          | 321   | KOM8       | -12224,3  | 1151                          | 335   | KOM2       | 5692,02  |
| 1147                          | 308   | KOM9       | 12181,37  | 1151                          | 322   | KOM3       | 274,01   |
| 1147                          | 321   | KOM9       | -12183,88 | 1151                          | 335   | KOM3       | -274,01  |
| 1148                          | 309   | KOM1       | 12161,84  | 1151                          | 322   | KOM4       | -4086,56 |
| 1148                          | 322   | KOM1       | -12161,84 | 1151                          | 335   | KOM4       | 4086,56  |
| 1148                          | 309   | KOM2       | 16850,69  | 1151                          | 322   | KOM5       | -4086,57 |
| 1148                          | 322   | KOM2       | -16850,69 | 1151                          | 335   | KOM5       | 4084,06  |
| 1148                          | 309   | KOM3       | -439,43   | 1151                          | 322   | KOM6       | -5677,47 |
| 1148                          | 322   | KOM3       | 439,43    | 1151                          | 335   | KOM6       | 5677,47  |
| 1148                          | 309   | KOM4       | 12200,47  | 1151                          | 322   | KOM7       | -2441,66 |
| 1148                          | 322   | KOM4       | -12200,47 | 1151                          | 335   | KOM7       | 2441,66  |
| 1148                          | 309   | KOM5       | 12153,94  | 1151                          | 322   | KOM8       | -4072,02 |
| 1148                          | 322   | KOM5       | -12156,45 | 1151                          | 335   | KOM8       | 4072,02  |
| 1148                          | 309   | KOM6       | 16818,84  | 1151                          | 322   | KOM9       | -4072,02 |
| 1148                          | 322   | KOM6       | -16818,84 | 1151                          | 335   | KOM9       | 4069,51  |
| 1148                          | 309   | KOM7       | 7441,15   | 1152                          | 334   | KOM1       | 0        |
| 1148                          | 322   | KOM7       | -7441,15  | 1152                          | 335   | KOM1       | 0        |
| 1148                          | 309   | KOM8       | 12168,62  | 1152                          | 334   | KOM2       | 0        |
| 1148                          | 322   | KOM8       | -12168,62 | 1152                          | 335   | KOM2       | 0        |
| 1148                          | 309   | KOM9       | 12122,09  | 1152                          | 334   | KOM3       | 0        |
| 1148                          | 322   | KOM9       | -12124,6  | 1152                          | 335   | KOM3       | 0        |
| 1149                          | 321   | KOM1       | 0         | 1152                          | 334   | KOM4       | 0        |
| 1149                          | 322   | KOM1       | 0         | 1152                          | 335   | KOM4       | 0        |
| 1149                          | 321   | KOM2       | 0         | 1152                          | 334   | KOM5       | -0,97    |
| 1149                          | 322   | KOM2       | 0         | 1152                          | 335   | KOM5       | -0,97    |
| 1149                          | 321   | KOM3       | 0         | 1152                          | 334   | KOM6       | 0        |
| 1149                          | 322   | KOM3       | 0         | 1152                          | 335   | KOM6       | 0        |
| 1149                          | 321   | KOM4       | 0         | 1152                          | 334   | KOM7       | 0        |
| 1149                          | 322   | KOM4       | 0         | 1152                          | 335   | KOM7       | 0        |
| 1149                          | 321   | KOM5       | -0,97     | 1152                          | 334   | KOM8       | 0        |
| 1149                          | 322   | KOM5       | -0,97     | 1152                          | 335   | KOM8       | 0        |
| 1149                          | 321   | KOM6       | 0         | 1152                          | 334   | KOM9       | -0,97    |
| 1149                          | 322   | KOM6       | 0         | 1152                          | 335   | KOM9       | -0,97    |
| 1149                          | 321   | KOM7       | 0         |                               |       |            |          |
| 1149                          | 322   | KOM7       | 0         |                               |       |            |          |
| 1149                          | 321   | KOM8       | 0         |                               |       |            |          |
| 1149                          | 322   | KOM8       | 0         |                               |       |            |          |
| 1149                          | 321   | KOM9       | -0,97     |                               |       |            |          |
| 1149                          | 322   | KOM9       | -0,97     |                               |       |            |          |
| 1150                          | 321   | KOM1       | -3507,58  |                               |       |            |          |
| 1150                          | 334   | KOM1       | 3507,58   |                               |       |            |          |
| 1150                          | 321   | KOM2       | -4905,22  |                               |       |            |          |
| 1150                          | 334   | KOM2       | 4905,22   |                               |       |            |          |
| 1150                          | 321   | KOM3       | 248,58    |                               |       |            |          |
| 1150                          | 334   | KOM3       | -248,58   |                               |       |            |          |

**Tablo 5.6 Uzak Kafes Sistemin Bazı çubuklarında Isı Yükleme**

| Frame Loads - Temperature |          |             |      |           | Frame Loads - Temperature |          |             |      |           |
|---------------------------|----------|-------------|------|-----------|---------------------------|----------|-------------|------|-----------|
| Frame                     | LoadCase | Type        | Temp | JtPattern | Frame                     | LoadCase | Type        | Temp | JtPattern |
| Text                      | Text     | Text        | C    | Text      | Text                      | Text     | Text        | C    | Text      |
| 376                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1094                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 531                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1032                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 639                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 982                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 760                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 381                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 917                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 536                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1015                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 644                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1053                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 765                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1103                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 922                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1116                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1020                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1090                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1058                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1028                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1108                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 978                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1131                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 377                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1095                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 532                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1033                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 640                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 983                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 761                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 382                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 918                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 537                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1016                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 645                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1054                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 766                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1104                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 923                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1119                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1021                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1091                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1059                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1029                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1109                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 979                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1134                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 378                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1096                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 533                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1034                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 641                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 984                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 762                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 383                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 919                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 538                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1017                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 646                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1055                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 767                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1105                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 924                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1122                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1022                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1092                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1060                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1030                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1110                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 980                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1137                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 379                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1097                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 534                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1035                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 642                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 985                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 763                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 384                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 920                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 539                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1018                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 647                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1056                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 768                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1106                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 925                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1125                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1023                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1093                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1061                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1031                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1111                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 981                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1140                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 380                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1098                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 535                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1036                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 643                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 986                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 764                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 385                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 921                       | ISI      | Temperature | 20   | None      | 540                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1019                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 648                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1057                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 769                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1107                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 926                       | ISI      | Temperature | 20   | None      |
| 1128                      | ISI      | Temperature | 20   | None      | 1024                      | ISI      | Temperature | 20   | None      |



**Tablo 5.7 Uzak Kafes Sistemde Bazı Düğüm Noktası Deplasmanları**

| Joint Displacements |            |             |        |        |        |
|---------------------|------------|-------------|--------|--------|--------|
| Joint               | OutputCase | CaseType    | U1     | U2     | U3     |
| Text                | Text       | Text        | cm     | cm     | cm     |
| 170                 | KOM1       | Combination | 1,486  | 0,175  | 1,359  |
| 170                 | KOM2       | Combination | 2,064  | 0,243  | 1,885  |
| 170                 | KOM3       | Combination | -0,066 | -0,006 | -0,053 |
| 170                 | KOM4       | Combination | 1,500  | 0,178  | 1,373  |
| 170                 | KOM5       | Combination | 1,489  | 0,185  | 1,359  |
| 170                 | KOM6       | Combination | 2,030  | -0,012 | 1,936  |
| 170                 | KOM7       | Combination | 0,875  | -0,147 | 0,885  |
| 170                 | KOM8       | Combination | 1,466  | -0,077 | 1,424  |
| 170                 | KOM9       | Combination | 1,455  | -0,070 | 1,410  |
| 171                 | KOM1       | Combination | 1,783  | 0,178  | -1,087 |
| 171                 | KOM2       | Combination | 2,476  | 0,246  | -1,512 |
| 171                 | KOM3       | Combination | -0,080 | -0,005 | 0,056  |
| 171                 | KOM4       | Combination | 1,799  | 0,177  | -1,096 |
| 171                 | KOM5       | Combination | 1,786  | 0,191  | -1,089 |
| 171                 | KOM6       | Combination | 2,513  | -0,009 | -1,463 |
| 171                 | KOM7       | Combination | 1,127  | -0,145 | -0,613 |
| 171                 | KOM8       | Combination | 1,836  | -0,078 | -1,047 |
| 171                 | KOM9       | Combination | 1,823  | -0,064 | -1,040 |
| 172                 | KOM1       | Combination | 1,944  | 0,218  | -3,367 |
| 172                 | KOM2       | Combination | 2,700  | 0,301  | -4,684 |
| 172                 | KOM3       | Combination | -0,089 | -0,002 | 0,171  |
| 172                 | KOM4       | Combination | 1,961  | 0,218  | -3,389 |
| 172                 | KOM5       | Combination | 1,946  | 0,239  | -3,367 |
| 172                 | KOM6       | Combination | 2,808  | 0,045  | -4,638 |
| 172                 | KOM7       | Combination | 1,295  | -0,119 | -2,005 |
| 172                 | KOM8       | Combination | 2,069  | -0,038 | -3,343 |
| 172                 | KOM9       | Combination | 2,054  | -0,016 | -3,322 |
| 173                 | KOM1       | Combination | 1,944  | 0,329  | -4,863 |
| 173                 | KOM2       | Combination | 2,700  | 0,453  | -6,766 |
| 173                 | KOM3       | Combination | -0,089 | -0,003 | 0,250  |
| 173                 | KOM4       | Combination | 1,962  | 0,329  | -4,890 |
| 173                 | KOM5       | Combination | 1,945  | 0,355  | -4,863 |
| 173                 | KOM6       | Combination | 2,878  | 0,197  | -6,723 |
| 173                 | KOM7       | Combination | 1,366  | -0,050 | -2,918 |
| 173                 | KOM8       | Combination | 2,140  | 0,073  | -4,847 |
| 173                 | KOM9       | Combination | 2,124  | 0,100  | -4,820 |
| 174                 | KOM1       | Combination | 1,805  | 0,481  | -5,393 |
| 174                 | KOM2       | Combination | 2,508  | 0,663  | -7,504 |
| 174                 | KOM3       | Combination | -0,082 | -0,008 | 0,281  |
| 174                 | KOM4       | Combination | 1,824  | 0,482  | -5,420 |
| 174                 | KOM5       | Combination | 1,806  | 0,511  | -5,392 |
| 174                 | KOM6       | Combination | 2,757  | 0,407  | -7,465 |
| 174                 | KOM7       | Combination | 1,352  | 0,043  | -3,242 |
| 174                 | KOM8       | Combination | 2,073  | 0,225  | -5,380 |
| 174                 | KOM9       | Combination | 2,055  | 0,255  | -5,353 |
| 175                 | KOM1       | Combination | 1,569  | 0,673  | -4,882 |
| 175                 | KOM2       | Combination | 2,179  | 0,929  | -6,795 |
| 175                 | KOM3       | Combination | -0,069 | -0,015 | 0,260  |
| 175                 | KOM4       | Combination | 1,588  | 0,674  | -4,904 |
| 175                 | KOM5       | Combination | 1,568  | 0,705  | -4,881 |
| 175                 | KOM6       | Combination | 2,498  | 0,673  | -6,757 |
| 175                 | KOM7       | Combination | 1,279  | 0,160  | -2,931 |
| 175                 | KOM8       | Combination | 1,907  | 0,417  | -4,866 |
| 175                 | KOM9       | Combination | 1,887  | 0,448  | -4,843 |
| 176                 | KOM1       | Combination | 1,300  | 0,912  | -3,410 |
| 176                 | KOM2       | Combination | 1,804  | 1,261  | -4,750 |
| 176                 | KOM3       | Combination | -0,055 | -0,026 | 0,190  |
| 176                 | KOM4       | Combination | 1,318  | 0,914  | -3,425 |
| 176                 | KOM5       | Combination | 1,297  | 0,944  | -3,409 |

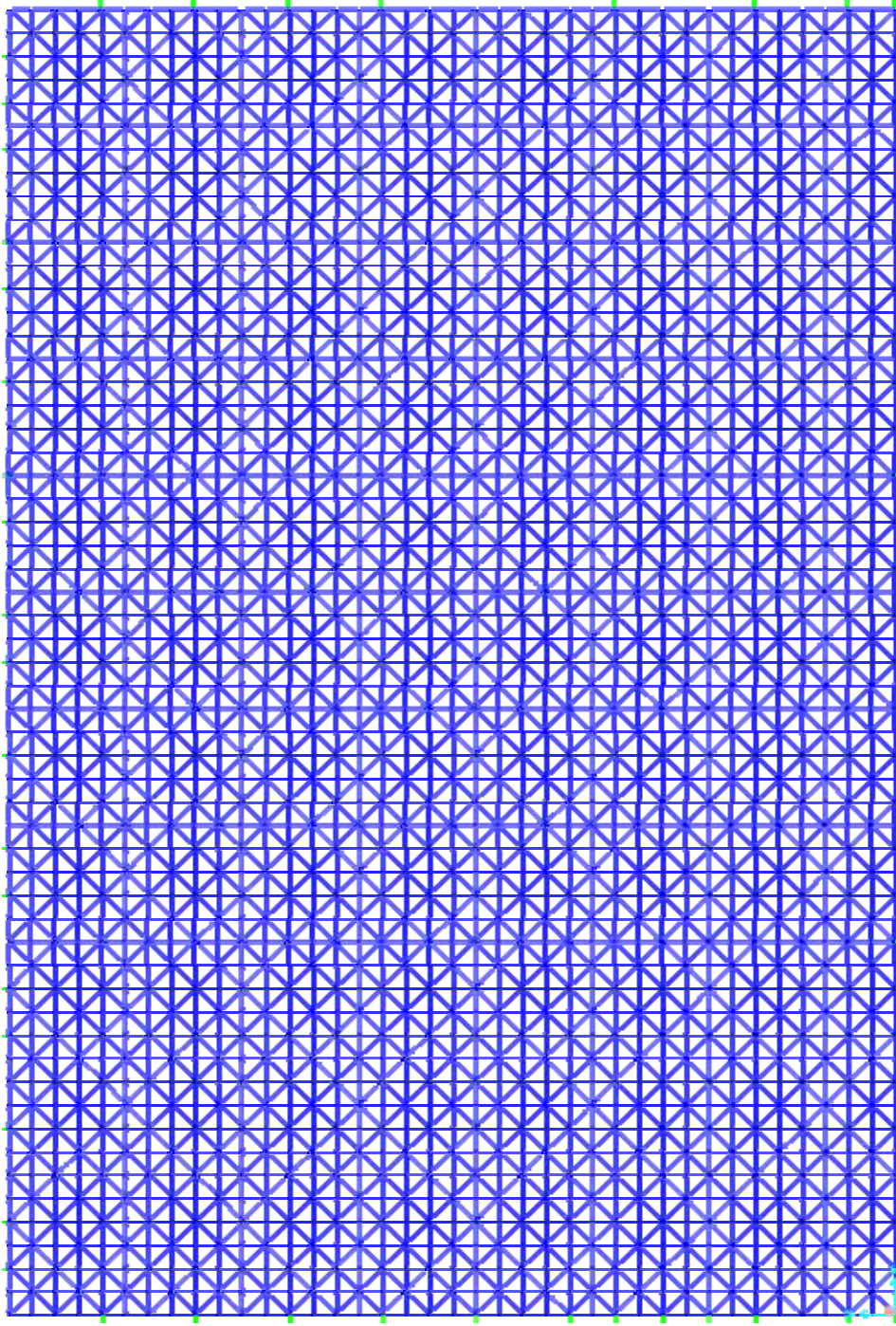
### 5.3. Çift Katmanlı Elazığ Kapalı Yüzme Havuzu Projesi

Çift katmanlı olarak projelendirilen Elazığ Kapalı yüzme havuzu uzay kafes sistem projesi UZAYKON firması tarafından 2002 yılında hazırlanmıştır. Sistemde 8071 çubuk ve 1790 düğüm noktası mevcuttur. Proje üzerinde yapılan incelemede, kapalı yüzme havuzu Uzay kafes sistemin alanının yaklaşık  $49.4 \times 72.80 = 3596 \text{ m}^2$  civarında olduğu görülmüştür. (Şekil 5.4) Bu alan ve açıklıklar kapalı yüzme havuzlarının boyutlarıyla karşılaştırıldığında, çift katmanlı olarak boyutlandırılması optimum bir çözüm olarak yorumlanabilir. İncelenen çift katmanlı uzay çelik kafes sistemde maksimum deplasman, sistemin merkezi bölgesinde bulunan 895 no'lu düğüm noktasında meydana gelecektir.

Yapının projelendirilmesinde, ülkemizde geçerli olan TS648, TS498 ve Deprem Yönetmeliği (TDY 1998) in esas alındığı görülmüştür. Malzeme kalitesi olarak ise, St37, St52, St60 çelikleri borular, küreler, somunlar, pimler ve koniklerde; cıvatalarda ise 8.8 ve 10.9 çelikleri kullanılmıştır. Bu malzemelerin KOSGEB laboratuvarlarında kimyasal analizi, ayrıca mukavemet deneyleri yapılmış ve uygunluk raporu verildiği görülmüştür.

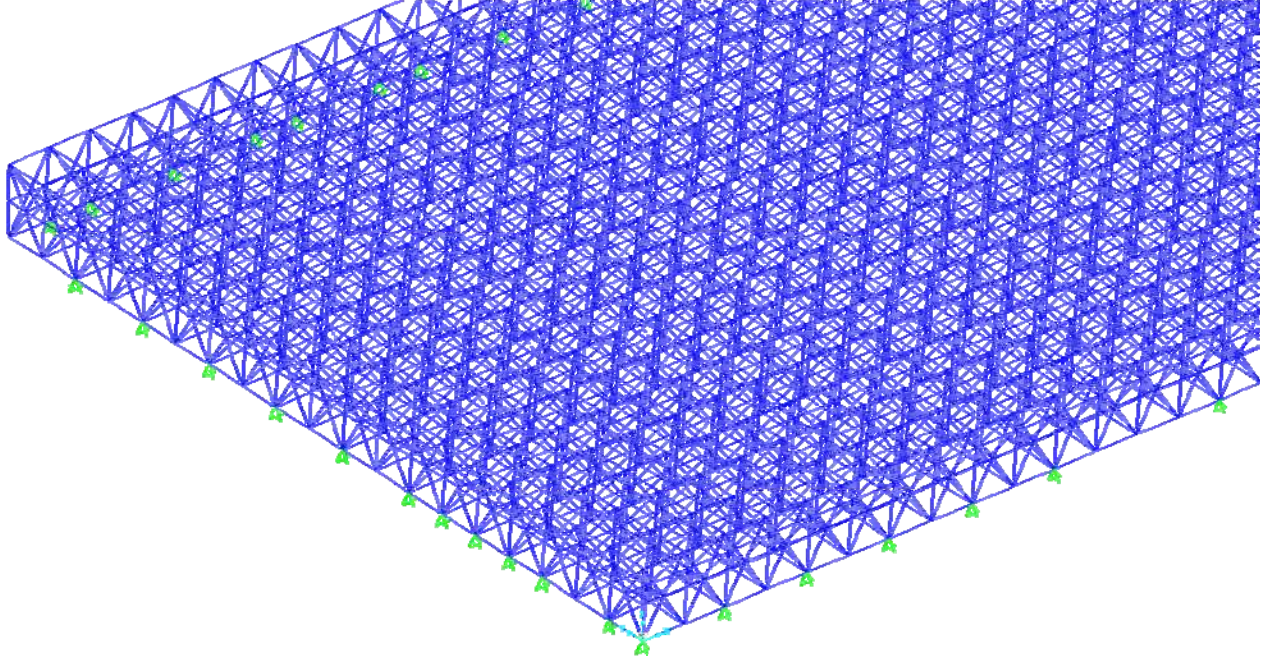
Projelendirmede uzay kafes sistemin 12 yükleme durumu ve 28 yükleme kombinezonları ile (zati yüklemeler, kar ve rüzgar yüklemeleri, ısı değişimi, deprem yüklemesi gibi) analizi yapılmıştır. Projelendirmede göz önüne alınan yük değerleri gerçek değerlerdir. Uzay kafes çelik çatılarda kar yüklemesinin önemli bir faktör olmasından dolayı, bu değer  $150 \text{ kg/m}^2$  alınmış ve düğüm noktalarına üst başlıkta etki ettirilmiştir. UZAYKON firması analizde FRAMECAD bilgisayar programından yararlanmış ve elastik limitler dahilinde boyutlandırmanın yapıldığı görülmüştür.

Çekme çubukları çekme gerilmesine, basınç çubukları da burkulmaya göre analiz edilmiş ve boyutlandırılmıştır. En elverişsiz yüklemeler altında çubuklarda oluşan gerilmelerin genel olarak  $\sigma_{em} = 1440 \text{ kg/cm}^2$  ve  $1656 \text{ kg/cm}^2$  yi aşmadığı görülmüştür. Dolayısıyla projelendirmede uygun kesitler seçildiği vurgulanabilir.

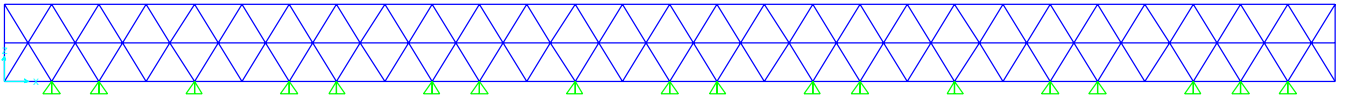


**Şekil 5.4** Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistem (SAP2000 çıktısı)

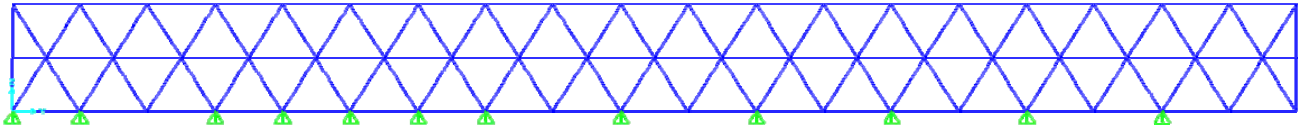




**Şekil 5.5** Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Üç Boyutlu Görünüşü  
(SAP2000 çıktısı)



**Şekil 5.6** Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin X-Z Düzlemi (SAP2000 çıktısı)



**Şekil 5.7** Çift Katmanlı 8071 Çubuklu Uzay Kafes Sistemin Y-Z Düzlemi (SAP2000 çıktısı)

İncelenen ve çözümü yapılan çift katmanlı bu örnekte kullanılan malzeme ve emniyet gerilmeleri yukarıda açıklanan tek katmanlı örnekte olduğu gibidir.

## YÜK DEĞERLERİ

### Esas Yükler

Esas yükler düşey doğrultuda olup hesapların yapıldığı *Framecad* adlı bilgisayar programı tarafından üst başlık düğüm noktalarına her düğümün alan payına göre yayılı yükten tekil yüke çevrilerek etki ettirilmektedir.

Uzay kafes sisteme etkiyen düşey yayılı yük aşağıda gösterildiği gibidir:

|                       |                          |
|-----------------------|--------------------------|
| Uzay sistem zati yükü | 48.10 kg/cm <sup>2</sup> |
| Kar Yüğü              | 150.0 kg/cm <sup>2</sup> |
| Rüzgar Yüğü           | 80.00 kg/cm <sup>2</sup> |
| Aşık +Kaplama         | 20.00 kg/cm <sup>2</sup> |
| Tesisat Yüğü          | 10.00 kg/cm <sup>2</sup> |

Yine tek katmanlı uzay kafes sistemde açıklanmış olan metod, boru taşıma gücü, cıvata hesabı ve ilgili formüller burada da kullanılmıştır.

## YÜK ANALİZİ

### • Yükler

|                            |                                            |                      |
|----------------------------|--------------------------------------------|----------------------|
| Uzay sistem zati ağırlığı: | $g_1 = 48.10 \text{ kg/m}^2$               | (her düğümde farklı) |
| Aşık + kaplama:            | $g_2 = 20.00 \text{ kg/m}^2$               |                      |
| Tesisat Yüğü:              | $g_3 = 10.00 \text{ kg/m}^2$               |                      |
| Kar yüğü:                  | $g_4 = 150.0 \text{ kg/m}^2$               |                      |
| Rüzgar yüğü:               | $V = 80.0 \text{ kg/m}^2$                  |                      |
| Sıcaklık değişimi:         | $\Delta T = \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$ |                      |

### • Yükleme 1:

|                                   |                              |                      |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|
| <u>Uzay sistem zati ağırlığı:</u> | $g_1 = 48.10 \text{ kg/m}^2$ | (her düğümde farklı) |
|-----------------------------------|------------------------------|----------------------|

Pi (-z) her düğüm noktasında farklıdır ve bilgisayar tarafından otomatik olarak hesaplanır.

### • Yükleme 2:

|                        |                              |
|------------------------|------------------------------|
| <u>Aşık + kaplama:</u> | $g_2 = 20.00 \text{ kg/m}^2$ |
| Pi (-z) = 0.020 * (Ai) | Ai = yük alanı               |

Ai, modül boyuna bağlı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

• **Yüklem 3:**

Tesisat Yüğü:  $g_3 = 10.00 \text{ kg/m}^2$

$P_i (-z) = 0.010 * (A_i)$   $A_i = \text{yük alanı}$

$A_i$ , modül boyuna bağılı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

• **Yüklem 4:**

Kar yüğü:  $g_4 = 150.0 \text{ kg/m}^2$

$P_i (-z) = 0.150 * (A_i)$   $A_i = \text{yük alanı}$

$A_i$ , modül boyuna bağılı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

• **Yüklem 5:** Rüzgar soldan(X) :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$

• **Yüklem 6:** Rüzgar sağdan(-X) :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$

• **Yüklem 7:** Rüzgar önden(Y) :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$

• **Yüklem 8:** Rüzgar arkadan(-Y) :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$

• **Yüklem 9:** Rüzgar emme(-Y, -Z) :  $g_2 = 80.0 \text{ kg/m}^2$

$P_i (z) = 0.080 * (A_i)$   $A_i = \text{yük alanı}$

$A_i$ , modül boyuna bağılı olarak her düğüm için hesaplanarak belirlenmiştir.

• **Yüklem 10:** Deprem Yüğü : (X Yönünde)

1. Bölge:  $A_0 = 0.40$   $S_{(T)} = 2.5$   $I = 1.20$   $R_A = 6.00$

$C = A_0 * S_{(T)} * I / R_A = 0.40 * 2.5 * 1.20 / 6.00 = 0.20$

$P_i (-z) = \text{uzay zati} + \text{aşık} + \text{kaplama} + \text{tesisat} + 0.3 * \text{kar yüğü}$

$P_i (x) = 98.011 \text{ t}$  düğümlere gelen toplam deprem yüğü

• **Yüklem 11:** Deprem Yüğü : (Y Yönünde)

1. Bölge:  $A_0 = 0.40$   $S_{(T)} = 2.5$   $I = 1.20$   $R_A = 6.00$

$C = A_0 * S_{(T)} * I / R_A = 0.40 * 2.5 * 1.20 / 6.00 = 0.20$

$P_i (-z) = \text{uzay zati} + \text{aşık} + \text{kaplama} + \text{tesisat} + 0.3 * \text{kar yüğü}$

$P_i (y) = 98.011 \text{ t}$  düğümlere gelen toplam deprem yüğü

• **Yüklem 12:**

Sıcaklık değışimi:  $(\Delta_t = \pm 20.0 ^\circ\text{C})$  sıcaklık farkı alınmıştır.

## YÜKLEME KOMBINASYONLARI

- **Yüklem 1:** Uzay sistem zati ağırlığı
- **Yüklem 2:** Aşık + kaplama
- **Yüklem 3:** Tesisat Yüğü
- **Yüklem 4:** Kar yüğü
- **Yüklem 5:** Rüzgar soldan
- **Yüklem 6:** Rüzgar sağdan
- **Yüklem 7:** Rüzgar önden
- **Yüklem 8:** Rüzgar arkadan
- **Yüklem 9:** Rüzgar üstten
- **Yüklem 10:** Deprem X Yönünde
- **Yüklem 11:** Deprem Y Yönünde
- **Yüklem 12:** Sıcaklık değışimi

Yukarıda proje müellifince verilen hesap ve yaklaşımlar açıklanmıştır. Aynı sistem SAP2000 ile çözüm için aşağıdaki açıklamalarla verilmiştir.

### Yükler

Öz ağırlık:  $(g_1 + g_2 + g_3) = 78.1 \text{ kg/m}^2$

Kar yüğü:  $P_k = 150.0 \text{ kg/m}^2$

Rüzgar yüğü:  $P_w = 80.0 \text{ kg/m}^2$

Sıcaklık değışimi:  $\Delta T = \pm 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Düğüm noktalarına etkiyen tekil kuvvetlerin hesabı için yük bölgesi ( $2.5 \times 2.5 = 6.25 \text{ m}^2$ ) alınarak;

$$P_G = 78.1 \times 6.25 = 488 \text{ kg}$$

$$P_K = 150 \times 6.25 = 938 \text{ kg}$$

Rüzgar basınç yüklemeğinde  $P_{wb} = 80 \times 6.25 = 500 \text{ kg}$

Rüzgar emme yüklemeğinde  $P_{wb} = - 80 \times 6.25 = - 500 \text{ kg}$

Çözümde göz önüne alınan yük kombinezonları;

|      |                                              |
|------|----------------------------------------------|
| Kom1 | öz ağırlık + tam kar                         |
| Kom2 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (basınç)       |
| Kom3 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (emme)         |
| Kom4 | öz ağırlık + tam kar + depremX               |
| Kom5 | öz ağırlık + tam kar + depremY               |
| Kom6 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (basınç) + ısı |
| Kom7 | öz ağırlık + tam kar + rüzgar (emme) + ısı   |
| Kom8 | öz ağırlık + tam kar + depremX + ısı         |
| Kom9 | öz ağırlık + tam kar + depremY + ısı         |

şeklinde programa tanıtılmıştır. Projede çubuklar için boru kesit alanları atanarak, çubuk kuvvetleri ve gerilmeler hesaplanmıştır. Burada, projede kullanılmış olan on beş tane çubuk kesit alanı ( $A = 4; 4.6; 5.23; 6.5; 7.98; 10.8; 14.41; 15.52; 20.41; 20.55; 25.2; 25.15; 35.41; 58.81; 53.06 \text{ cm}^2$ ) çubuklara atanmış ve sonuçlar gözlenmiştir.

Deprem hesabı için sisteme X ve Y eksenleri doğrultusunda yapı ağırlığının 0.1 'i ( $W_E=0.1*W$ ) yüklenmiştir.

SAP2000 ile çözülen 8071 çubuklu ve 1790 düğüm noktalı çift katmanlı uzay kafes sistemin sonuçları burada yer darlığı nedeniyle verilmemiştir. Elde edilen çubuk kuvvetleri ve deplasman değerleri FRAMECAD programının sonuçlarına çok yakın bulunmuştur.

Aşağıda verilen çizelgede problemle ilgili olarak, denklem takımının boyutu, bant genişliği gibi bazı bilgiler verilmekte ve çözümün tamamlandığı görülmektedir.



```
B E G I N      A N A L Y S I S
2007/08/29    23:16:29
```

A N A L Y S I S   C O M P L E T E  
2007/08/29   23:16:41

## 6. SONUÇLAR

Uzay kafes sistemlerin statik ve dinamik yükler altında analizi ve dizaynı, teorik alt yapısı ve pratikte uygulanabilirliği, uygulama şekilleri konusunda araştırma ve incelemeler yapılmıştır. Bu amaçla tek ve çift katmanlı uzay kafes sistemler SAP2000 programıyla çözümlenerek, uygulamada halen kullanılmakta olan bilgisayar programlarının uygulanabilir olduğu ve gerçekçi sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Ancak SAP2000 yapı analizi programı artık ülkemizde mühendislik firmalarınca yaygın olarak kullanılmakta ve üniversitelerde ders olarak verilmekte olduğundan, uzay kafes sistemlerin çözümünde mühendislere ve araştırmacılara kuvvetle önerilmektedir.

Özellikle, çift katmanlı uzay kafes sistemler, spor kompleksleri gibi çok büyük alanların geçilmesinde başarıyla uygulanmaktadır. Pratikte uygulanmakta olan MERO sistem ile, malzemeden tasarruf yapılmakta, montaj işlemi kolay olmakta ve kısa sürede sistem tamamlanmaktadır.

Ülkemizde yıkılan uzay kafes sistemlerden dolayı, kurum ve kuruluşlar bu konuda çok titiz davranmaktadırlar. İncelenen projelerden de görüldüğü gibi hesap ve boyutlandırmalar için *uzay kafes sistem teknik şartnamesi* hazırlanmış, genel olarak bu şartnameye ve ilgili yönetmeliklere uyulduğu görülmüştür.

Tasarım aşamasında olabilecek uzay çatı uyumu, modelleme, mesnetleme düzeni, yetersiz kar yükü, rüzgar ve stabilite kontrolleri gibi etkiler önemli sıkıntılar yaratmaktadır. Bu problemleri gidermek amacıyla, montaj ve kurulum aşamalarını gösteren proje hazırlanmalıdır.

Uygulamada, küre imalat sorunları yaşanmakta, dış sıyırması sonucu cıvata küreden ayrılmakta ve sistem yıkılmaktadır. Koniklerin imalatında da sorunlar yaşanmakta ve borular koniklerden ayrılmakta ve yapı göçmektedir.

İmalat sorunları montajdan önce saptanmalı ve bütün elemanlar teste tabi tutulmalıdır. İmalatı tamamlanmış değişik tip çubukların **(küre + cıvata + konik + boru)** şeklinde bir bütün olarak deneysel çekme testi yapılmalıdır.

## KAYNAKLAR

- [1] Makowski, Z.S., (1984), "Space Structures of Today and Tomorrow", Space Structures (ed. H. Nooshin), Guildford, Elsevier.
- [2] Saka, M.P., (1980), "Shape Optimization of Trusses", J. Struct. Div., ASCE, Vol.106, ST5.
- [3] Saka, M.P., (1987), "Optimum Design of Nonlinear Space Trusses", The Rhird Int. Conf. and Exhibition on Civil and Struc. Eng. Comp., CIVIL-COMP 87.
- [4] Demir, Ö., (1983), "Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Boyutlandırılması ve Şekillendirilmesi", Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Elazığ.
- [5] Ülker, M., (1988), "Lineer Olmayan Uzay Kafes Sistemlerin Optimum Boyutlandırılması", Doktora Tezi, Fırat Üniv. Fen Bil. Enstitüsü, Elazığ.
- [6] Keleşoğlu, Ö, ve Ülker, M., (2005) "Fuzzy Optimization of Geometrical Nonlinear Space Truss Design", TÜBİTAK, Turkish J. Eng. Env. Sci., 29,321-329.
- [7] Lopez, A., Puente, I. ve Serna, M.A., "Analysis of Single Layer Latticed Domes: A New Beam-Element", Navarra Üniv. İnşaat Müh. Bölümü, İspanya.
- [8] Makowski, Z.S., Steel Space Structures, London: Michael Joseph Ltd, 1965.
- [9] Orbay, A. ve Savaşır, K. 2004, "Tonoz biçimli Çift Katlı Uzay Kafes Sistemlerin - Çeşitli Kriterler Açısından- Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma" DEÜ Müh. Fak. Fen Ve Müh. Dergisi, Cilt 6, Sayı 1, sh. 39-49
- [10] Sungur, İ. , 2005, "Taşıyıcı Sistemler ve Yapı Statiği" , Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [11] Polat, U. , "Çelik Uzay Kafes Yapısal Sistemler", ODTÜ, Ankara.
- [12] TS648, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS Enstitüsü, Aralık, 1980, Ankara.
- [13] TS3357, Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap ve Yapım Kuralları, TS Enstitüsü, Nisan 1979, Ankara.
- [14] TS498, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS Enstitüsü, Kasım 1997, Ankara.
- [15] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (1998 Türkiye Deprem Yönetmeliği), T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 1998, Ankara.
- [16] SAP2000, Linear and Nonlinear Static and Dynamic Analysis and Design of Three Dimensional Structures
- [17] EC3, Eurocode3, Design of Steel Structures, 2003.

## **ÖZGEÇMİŞ**

Fatma ÜLKER, 1982 yılında Malatya’ da doğmuştur. İlk öğrenimini Elazığ Evren Paşa İlkokulu, orta ve lise öğrenimini Balakgazi Lisesinde tamamlamıştır. 2000 yılında, Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girmiştir. 2004 yılında lisans eğitimini tamamladıktan sonra, Şubat 2005 döneminde, F.Ü Fen Bilimleri Enstitüsüne bağlı İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programında yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen DSİ Genel Müdürlüğü, proje ve inşaat dairesi başkanlığında inşaat mühendisi olarak çalışmaktadır.