



## ÜÇGEN VE HİLAL BAŞLIKLİ ÇELİK DÜZLEMSEL KAFES KİRİŞLERDE YÜKSEKLİĞİN AĞIRLIK ÜZERİNE ETKİLERİ

Zeynep İPEKÇİ<sup>1</sup>, Mustafa KAVRAZ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, 61080, Trabzon, mkavraz@ktu.edu.tr

### ÖZET

Özellikle 19.yy başlarından itibaren yapı sektöründe etkili şekilde kullanılmaya başlanan çelik, günümüzde her türlü yapı faaliyetinde yer alan bir malzeme olarak karşımıza çıkmaktadır. Dayanıklı, ekonomik olmasının yanı sıra özellikle sürdürülebilir malzeme olması kullanım alanının geniş olmasında büyük etkiye sahiptir. Yapıların ana taşıyıcı sistemlerinin yanı sıra özellikle bina örtü sistemlerinin taşıyıcıları olarak da etkili şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında da çelik, çatı örtü sisteminin taşıyıcısı olarak kullanılmıştır. Bu kapsamda bir sanayi yapısının 30 m çatı açıklığını geçmek için, üçgen ve hilal başlık tiplerine sahip kafes kirişler seçilmiştir. İki başlık türünde de mekanın tavan yüksekliğine 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm avantaj sağlayacak biçimler tasarlanmıştır. İki başlık türünün her biri için yedi farklı biçim oluşturularak toplam 14 adet düzlemsel kafes kiriş elde edilmiştir. Kirişlerin her biri SAP2000 programında optimum ağırlığın elde edilebileceği biçimde modellenmiştir. Daha sonra ağırlığa bağlı olarak her başlık tipi ve tavan yükseklik kazancı için en optimum sonucu veren düzlemsel kafes kirişler belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Çelik, Kafes kiriş, Yükseklik Kazancı, Ağırlık

## EFFECTS OF HEIGHT ON WEIGHT OF LATTICE BEAMS WITH TRIANGULAR AND CRESCENT HEAD TYPES

### ABSTRACT

Especially since the beginning of the 19th century, steel, which has been used effectively in the building sector, is now a material that is involved in all kinds of construction activities. In addition to being durable and economical, the fact that steel is a sustainable material has a great effect on its wide usage area. In addition to the main bearing systems of buildings, it is also used effectively as bearing elements of roof systems. In this study, steel was used as a bearing element of the roof system. In this context, lattice beams with triangular and crescent head types were selected to pass the 30m roof span of an industrial building. In both types of caps, forms that will provide advantage 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm and 240 cm to the ceiling height of the space are designed. A total of 14 planar lattice beams were obtained by creating seven different shapes for each of the two cap types. Each beam was modeled in the SAP2000 program so that the optimum weight could be obtained. Then, depending on the weight, the planar lattice beams that give the optimum result for both each cap type and ceiling height gain were determined.

**Keywords:** Steel, Lattice beam, Height gain, Weight

## 1. GİRİŞ

Tarihi süreç boyunca inşa sürecinde önemli bir öge olan demirin mimaride ilk kullanımına Antik Yunan'da rastlanmaktadır. 16. yy'a kadar yapı malzemeleri arasında bağlantı elemanı ve pencere detaylarında kullanılan demir bu yüzyıldan itibaren strüktür olarak yapılarda yer almaya başlamıştır. Özellikle de kemer, tonoz gibi sistemlerin mesnet noktalarında yatay yükleri karşılayacak şekilde kullanılmıştır [1]. 18. yy'a gelindiğinde ise üretim ve uygulamalarda meydana gelen gelişmeler sonucunda, demir yapı alanında daha geniş kullanım imkânı bulmuştur.

Demirin temel yapı malzemesi olarak kullanılması 18 yy.'da İngiltere'de yüksek fırınların geliştirilmesiyle başlamıştır. Bu zamana kadar birçok gotik yapıda dökme demir kullanımına rağmen dökme demirin bütünde kullanıldığı ilk yapı İngiltere'de Severn Nehri üzerinde 1777-1779 yılları arasında inşa edilen Coalbrookdale Köprüsü olmuştur. Bu dönemde yapılan köprüler, font demirin çekme dayanımı düşük olduğundan kemer tarzında inşa edilmişlerdir. 1785 yılında pudralama yönteminin geliştirilmesiyle birlikte iyi kalitede dövme demir üretilmeye başlanmıştır. Dökme demire oranla daha az karbon oranına sahip olan dövme demirin işlenebilirlik özelliği ile çekme dayanımının daha yüksek oluşu yapı alanında kullanımının daha uygun olmasını sağlamıştır. Dövme çeliğin üretilmesiyle birlikte bu dönemde dolu gövdeli ana kirişli ve kafes ana kirişli köprüler ile ilk asma köprüler inşa edilmiştir [2]. 1851 yılında Joseph Paxton tarafından sergi binası olarak tasarlanan Crystal Palace getirdiği yeniliklerle mimarlık tarihinde önemli bir yere sahip olmuştur. Standart cam levhalar ile modüler dökme demir kolon ve kirişlerden oluşan yapı, standart yapı parçalarının prefabrikasyonu ve yapım süresinin örgütlenmesi gibi konularda önemli gelişmelere öncülük etmiştir [3]. 19. yy'ın ikinci yarısında Bessemer (1855), Siemens- Martin (1864) ve Thomas (1879) fırınlarının geliştirilmesiyle birlikte sıvı çelik arıtılabilmiş; yapısal olarak daha avantajlı, ekonomik ve hızlı bir şekilde çelik üretimi sağlanmıştır [2]. 20. yy başlarında çelik üretimindeki teknoloji daha da geliştirilerek haddeleme işlemi ile çelik profil elemanlar üretilmeye başlanmıştır [4]. 1930 yılında William Van Allen tarafından tasarlanan 319 m yüksekliğindeki Chrysler Binası ile 1931 yılında Shreve, Lamb & Harmon tarafından tasarlanan 381 m yüksekliğindeki Empire State Binası çelik kullanımı sayesinde gelişen yüksek katlı binaların 20yy.'da dikkat çeken ilk örnekleri arasında yer almıştır [5].

1939-1945 yılları arasında meydana gelen 2. Dünya Savaşı nedeniyle çelik ile ilgili gelişmeler yavaşlamış ancak savaş sonrası yapılanma sürecinin hızlı olabilmesi için sanayi, konut, okul vb. binaların yapımında çelik malzeme kullanılmıştır. Bu süreçte çelik sistemlere ait hesaplama yöntemleri ve tasarım esaslarında önemli gelişmeler kaydedilmiştir [6]. 20. yy'ın ikinci yarısında çok katlı yapılarda meydana gelen gelişmelerin yanı sıra 1960'lı yıllarda Alman mimar Frei Otto tarafından geliştirilen kablolü sistemler ve Rudolph Doernach tarafından geliştirilen pnömatik sistemler çelik malzemenin mimaride yeni bir boyut kazanmasını sağlamıştır [7]. 1970'li yıllara gelindiğinde ise tasarım ve üretim aşamasında yüksek teknoloji ürünlerinin kullanıldığı; standartlaşma, makineleşme ve seri üretimin ön plana çıktığı hi-tect akımı oluşmaya başlamıştır [8].

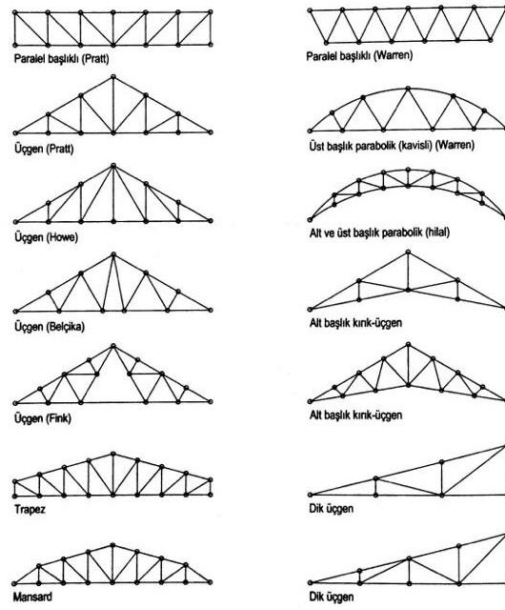
Yüksek dayanım özelliğine sahip olan çelik istenilen şekil, ölçü ve yapısal özellikte üretilebilmektedir. Çelik uzun ömürlü, bakım ve onarım masrafları düşük olmasının yanı sıra iş gücünden tasarruf sağlanması ile yapım sürecinin kısaltmasına da katkı sağladığı için genel süreç kapsamında ekonomik bir malzeme olarak değerlendirilebilir. Geri dönüşüm özelliğine sahip olan çelik aynı zamanda çevre duyarlılığı yüksek bir malzemedir.

Köprüler, kültürel yapılar, sanayi yapıları, spor yapıları, hangarlar gibi yapıların tasarımlarında ön plana çıkmaktadır. Geniş açıklıklı ve çok katlı yapılarda daha yaygın olarak kullanılan çelik genel yapı inşasında diğer malzemelere göre daha az kullanılmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, çelik düzlem kafes kiriş sistemlerde kafes tipi ve yüksekliğindeki değişimlerin sistemin ağırlığına olan etkileri incelenmiştir.

Başlık ve örgü çubuklarının genellikle üçgen boşluklar oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle elde edilen kirişlere düzlem kafes kiriş denilmektedir. Düğüm noktası olarak ifade edilen çubukların birleşim yerlerinde bağlantılar perçin, kaynak ya da bulon ile gerçekleştirilmektedir. Kafes kirişlerde başlık çubukları ve örgü (dolgu) çubukları yer almaktadır. Kirişlerin alt ve üst kısımlarında boyuna yerleşen bileşenler başlık çubukları olarak adlandırılırken başlık çubukları arasında yer alan bağlantı çubukları ise örgü (dolgu) çubukları olarak adlandırılmaktadır. Örgü çubuklarının düşey doğrultuda yerleşenler dikme, verev olarak yerleşenler ise diyagonal çubuklar olarak ifade edilmektedir [9].

Düzlem kafes sistemler başlık ve örgü elemanlarının biçim ve yerleşimlerine bağlı olarak değişik türlerde elde edilebilmektedir. Bu sistemlerden Warren, Pratt ve Howe mimaride yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1. Düzlem kafes kiriş şema örnekleri [10].

Orbay ve Savaşır (2004) tarafından, tonoz biçimli çift katlı uzay kafes sistemlerin; geçilen açıklık, sistem yüksekliği ve doğuray şekli açısından etkinlikleri ile ağırlıkları üzerine bir inceleme yapılmıştır. Çalışma kapsamında yapının doğrultman uzunluğu 12 m, doğrultman bölünme sayısı 4, zemine mesnet sayısı 4, uzay kafes sistemin iki katmanı arasındaki yükseklik 2,5 m olarak belirlenmiştir. Değişkenlerden geçilen açıklık için, 30 m'den başlayarak 5'er metre aralıklarla 60 m'ye kadar 7 farklı değer; geometrik yükseklik için, 5 m yükseklikten başlayarak 2,5 metre aralıklarla 22,5 m'ye kadar 8 farklı değer ve doğuray yayı için, çember, parabol ve elips yay olmak üzere 3 farklı şekil belirlenmiştir. Sistemi oluşturmak için geliştirilen bilgisayar programında optimizasyon yöntemi bulunduğundan gerekli dayanımı sağlayan minimum ağırlıktaki elemanlar program tarafından saptanmıştır. Yapılan analizler sonucunda sistemin geometrik yüksekliği ile geçilen açıklık arasında 1/5 ila 1/6 aralığında bir oranın sağlanması gerektiği ve parabol yayın bu oranı sağlamada en iyi sonucu verdiği saptanmıştır. Ayrıca çok

basık sistemlerde yüksek iç gerilmeler olacağından en kesit alanının arttığı, çok yüksek sistemlerde yükseklikle birlikte yüzey alanının genişlemesinin sistem ağırlığını da etkilediği bu sebeple maliyetin yükseldiği belirtilmiştir [11].

Ata ve ark., (2005) tarafından yapılan çalışmada 15 m, 20 m, 25 m, 30 m, 35 m açıklıkta, 6 m ve 9 m yükseklikte olmak üzere 10 farklı hangar yapısı çelik ve prefabrik betonarme olarak tasarlanmıştır. Yapıların taşıyıcı sistem ile birlikte temel, kolon, makas ve bağlantı elemanları da dahil olmak üzere maliyet hesabı yapılarak bu veriler karşılaştırılmıştır. Hangar yapısının İzmir ilinde inşa edileceği kabul edilmiş, fiyatlandırma Çevre ve Şehircilik Bakanlığı 2004 birim fiyatları ve bu bölgedeki piyasa fiyatları dikkate alınarak yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda prefabrik betonarme taşıyıcı sistemin çelik sisteme oranla %16-36 daha ucuz olduğu saptanmış ancak yapıların ekonomik ömürleri, bakım masrafları ve deprem dayanımları da dikkate alındığında çelik sistemlerin bu tür yapılarda uzun vadede daha avantajlı olacağı belirtilmiştir [12].

Kozanoğlu ve Suk (2015) tarafından yapılan çalışmada; 22 m yüksekliğe ve 22 m konsol uzunluğuna sahip stadyum yapısının taşıyıcı elemanları makaslı ve dolu gövdeli olmak üzere iki farklı şekilde tasarlanmış, bu iki farklı sistem maliyet açısından karşılaştırılmıştır. Yapı yarım daire formunda ve her biri 8 m olan 5 açıklıktan oluşacak şekilde oluşturulmuştur. Tasarlanan stadyumun 1. derece Deprem Bölgesinde, Z3 tipi zemin üzerinde, deniz seviyesinden 300 m yükseklikte olduğu varsayılmış ve zati, kar, rüzgar yükleri TS498'den, deprem yükleri ise DBYBHY-2007'den yararlanarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda dolu gövdeli sistem maliyetinin makas sistemden 3 kat daha fazla olduğu saptanmıştır. Ayrıca çalışmada çıkan sonuçların bu yapı verileri açısından değerlendirilmesi gerektiği, dolu gövdeli sistemlerin farklı form ve arazi şartlarında ekonomik sonuçlar verebileceği de belirtilmiştir [13].

Işık ve ark. (2016) tarafından yapılan çalışmada; aynı kalıp planına sahip üç katlı çelik bir yapının taşıyıcı elemanları farklı şekillerdeki profiller kullanılarak üç farklı biçimde tasarlanmış, her tasarımın x ve y doğrultusundaki tepe yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Çalışmada tüm kolon ve kirişler aynı en kesit olacak şekilde kurgulanmıştır. 2 cm kesit genişliği, 3 cm kesit yüksekliği ve 0,15 cm kesit kalınlığı olan I, L ve kutu profiller kullanılmıştır. Yazılım programı kullanılarak yapılan analizler ile her profil için farklı taban kesme kuvvetleri ve tepe yer değiştirme değerleri hesaplanmıştır. Bu analizler sonucunda x ve y doğrultusunda aynı atalet moment değerine sahip olduğundan kutu profiller ön plana çıkmış, I ve L profillerin ise x ve y doğrultularındaki atalet momentleri farklı değerlere sahip olduğundan elde edilen değerler arasında farklılıklar bulunmuştur [14].

Çalışmada, düzlemsel çelik kafes kiriş çatı sistemlerinde kullanılan iki farklı başlık tipinin mekandaki yükseklik kazancına bağlı olarak ağırlık açısından değerlendirilmesi, belirlenen değişkenler üzerinden gerçekleştirilmektedir. Çalışma bu özelliği ile literatürdeki çelik kafes sistem optimizasyonu üzerine yapılan çalışmalardan farklılaşmaktadır.

## 2. MATERYAL VE METOD

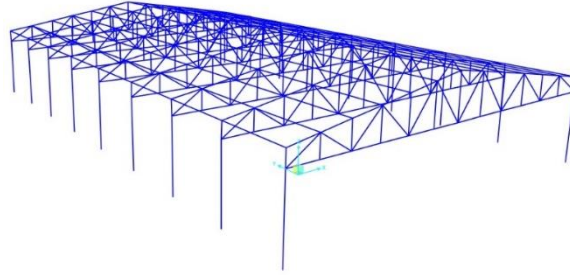
Çalışma kapsamında öncelikle büyük açıklıklı örnek bir yapı sistemi tasarlanmış ve bu yapının çatı sistemi çelik taşıyıcılı düzlemsel kafes kiriş olarak uygulanmıştır (Şekil 2). Çalışmada düzlemsel kafes kirişlerle geçilen 30 m açıklıkta farklı şekillerde uygulanan kafes tipi ve yüksekliğinin sistemin ağırlığı üzerine etkisi incelenmiştir. Sistemin ağırlığı ile kar yükü

dikkate alınarak sistemi etkileyen hesap işlemleri gerçekleştirilmiştir. Deprem ve rüzgar yükleri çalışma kapsamında dikkate alınmamıştır.

Üçgen ve hilal kafes tipleri için alt başlığın 40'ar cm üst kota yükseltilmesiyle 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm, 240 cm yükseklik kazancı sağlanan ve yükseklik kazancının sağlanmadığı toplam 14 farklı kiriş biçimi elde edilmiştir. Daha sonra belirlenen biçimsel değişikliklerin her biri ile sistemin çalışmasını sağlayan en uygun profil kesitleri SAP2000 programı ile elde edilmiştir. Profillerin uzunluklarında ve kesitlerinde meydana gelen değişiklikler sistemin ağırlıklarının da değişimine neden olmuştur. Çalışma kapsamında öncelikle kabuller gerçekleştirilmiştir.

## 2.1 Örnek Yapı İçin Kabuller

Çalışma kapsamında öncelikli olarak üçgen ve hilal kafes tiplerinde ve farklı tavan yüksekliklerinde tasarlanan sistemin ağırlığa olan etkisini incelemek amacıyla Trabzon'da (Ortahisar) olduğu kabul edilen bir sanayi yapısı tasarlanmıştır. Boyutları 30 m x 48 m ve yüksekliği 6 m olarak tasarlanan bu yapıda kiriş aksları arasındaki mesafe ideal ölçü olması nedeniyle 6 m olarak kabul edilmiştir [2], (Şekil 2).



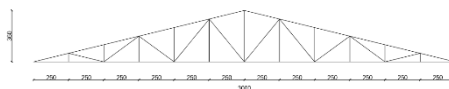
Şekil 2. Örnek yapının çatı taşıyıcı sistemi

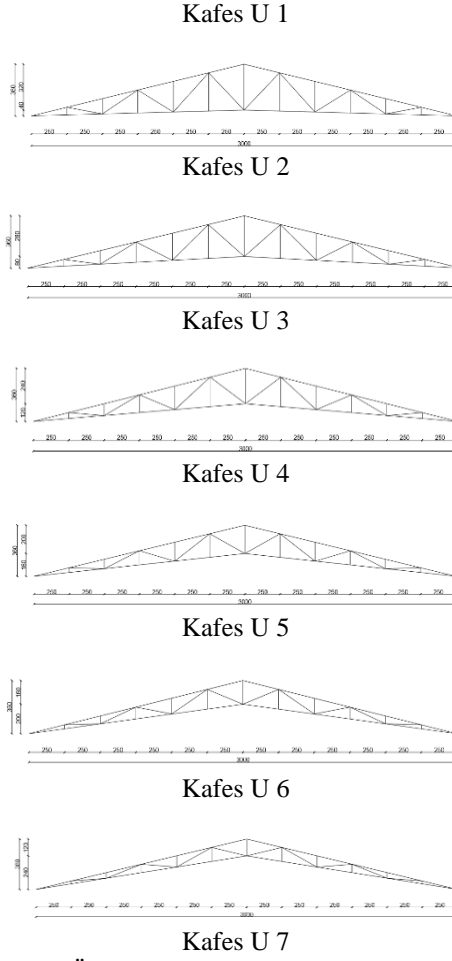
## 2.2 Düzlem Kafes Kirişler için Kabuller

Düzlem kafes sistemin yüksekliği açıklığa bağlı olarak (30 m açıklık) 3,6 m olarak belirlenmiştir. Bu yükseklik, açıklığa göre belirlenen optimum değerler aralığında ( $L/7$ -  $L/10$ ) yer almaktadır [2]. Üçgen ve hilal başlık tipi kafesler oluşturulmuş olup bağlantı tipi warren olarak belirlenmiştir. Dikmeler arasındaki mesafeler 2,5 m. olarak tasarlanmış, profiller birbirlerine kaynak ile birleştirilmiştir. Düzlem kafes kirişlerde tavan yüksekliğinin ağırlık üzerindeki etkilerini belirlemek amacıyla kafeslerin alt başlıkları orta noktalarından 40 cm yukarı kaydırılarak her kafes tipine ait 7 farklı şekil oluşturulmuştur.

### 2.2.1 Üçgen kafes tipi

Oluşturulan üçgen kafes tipinde kiriş yükseklikleri 3,6 m ve üst başlığın eğimi %24'tür. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafes U olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3). Ayrıca üçgen kafes tipinde oluşturulan kirişlerde yükseklik kazancı arttıkça profil boyutları küçüldüğünden uygulama açısından zorluklarla karşılaşılabilir. Ancak çalışmada bu durum göz ardı edilmektedir.

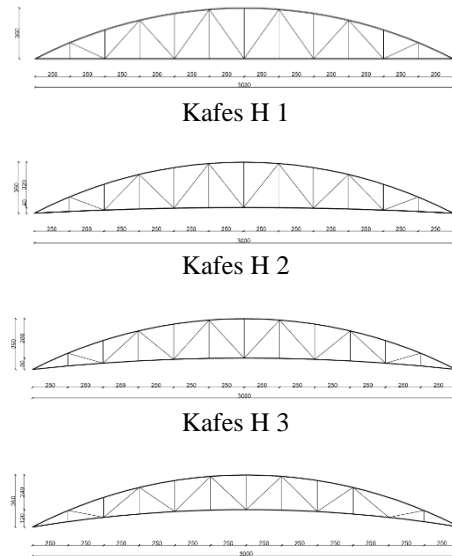


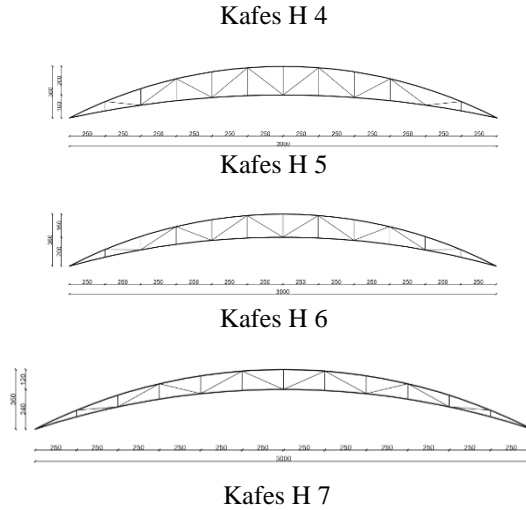


**Şekil 3.** Üçgen kafes tipinde oluşturulan kirişler

### 2.2.2 Hilal kafes tipi

Oluşturulan hilal kafes tipinde kiriş yükseklikleri 3,6 m'dir. Parabolik başlıktan farklı olarak hilal kafes tipinde yan dikmeler bulunmamaktadır. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafes H olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4).





Şekil 4. Hilal kafes tipinde oluşturulan kirişler

Sisteme Etkiyen Yükler için Kabuller: Sisteme etkiyen yükler için yapılan hesaplamalarda rüzgar ve deprem yükü dikkate alınmamıştır. Çalışma kapsamında sistemin kendi ağırlığı ve kar yükü dikkate alınmıştır. Sistemin ağırlığı SAP2000 programında hesaplanmıştır. Yapının Trabzon İlinde (Ortahisar) tasarlandığı dikkate alınmış olup kar yükü TS498'deki standartlar göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır [15].

Orta düğüm noktalarına etkiyen yük;  $750 \times 6 \times 2,5=11250 \text{ N}$

Köşe düğüm noktalarına etkiyen kar yükü;  $750 \times 6 \times 1,25=5625 \text{ N}$ , olarak elde edilmiştir.

### 2.3 SAP2000 Programı İçin Kabuller

Tasarlanan düzlemsel kafes kirişlerin statik çözümlenmeleri SAP2000 programında gerçekleştirilmiştir. Kafes sistemleri oluşturan çelik malzeme olarak S235 atanmıştır. Bu malzemenin özellikleri program içerisinde yer almaktadır. Kafes sistemlerde bağlantı elemanı ile birleştirilen çift köşebent kullanılmıştır. Bu köşebentler için; 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6, 2L 80x8/6, 2L 90x9/6, 2L 100x10/6, 2L 110x12/6, 2L 120x12/6, 2L 130x12/6, 2L 150x15/6, 2L 200x150x18/6, 2L 200x20/6, 2L 200x25/6 kesitleri belirlenmiştir. Bu sayede program kapsamında, sistemde taşıyıcılığın gerçekleştirilebileceği en düşük ağırlıktaki profil elde edilmiştir. Tasarlanan kafes sistemin alt ve üst başlıkları kendi aralarında gruplandırılmış ve her biri tek bir profil olarak düzenlenmiştir. Dikme ve diyagonallerde moment aktarmayan birleşim bağlantıları kullanılmıştır. Kafes sistemin taşıyıcı sistemle bağlantı noktalarında sabit ve kayıcı mesnet davranışları beraber tanımlanmıştır. Verilerin girilmesinden sonra sistem analizleri gerçekleştirilmiştir.

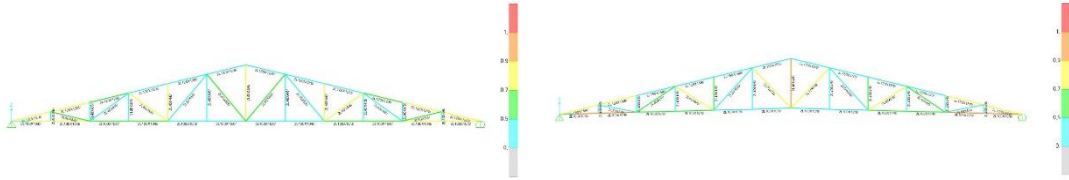
## 3. BULGULAR

Çalışma kapsamında, kar yükü ve kendi ağırlıkları dikkate alınarak düzlem kafes sistemlerin çözümlenmeleri gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda sistemler için SAP2000 programı ile minimum ağırlığı sağlayan kesitler elde edilmiştir. Sisteme ait kesit ölçüleri LME Demir

firması tarafından üretilen köşebent ürünlerden seçilmiştir. Sistemi oluşturan minimum ağırlıklı profillerin atanması SAP2000 programı tarafından gerçekleştirilmiştir. Sisteme ait toplam ağırlığın hesaplanmasında LME Demir firmasının internet sitesinde yer alan her profil kesitinin uzunluk ve ağırlığı dikkate alınmıştır. Hesaplar tek bir kiriş üzerinden yapılmış olup, bu kapsamda orta akslarındaki kirişler dikkate alınmıştır [16].

**Üçgen Kafes Tipi:** Üçgen kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiği Kafes U 1'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 120x12/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 5).

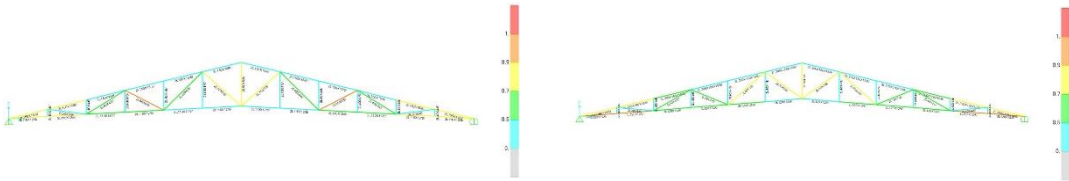
Üçgen kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 40 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes U 2'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Kafes U 1 ve U 2 profil kesitleri.

Üçgen kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 80 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes U 3'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 110x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6 diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 6).

Üçgen kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 120 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 4'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 200x150x18/6, alt başlık için 2L 120x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 6).

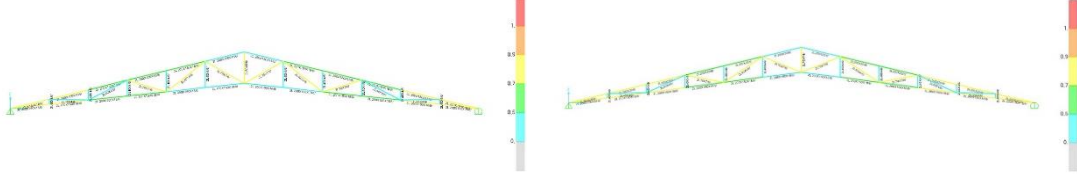


Şekil 6. Kafes U 3 ve U 4 profil kesitleri.

Üçgen kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 160 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 5'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık ve alt başlık için 2L 200x150/18/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 7).

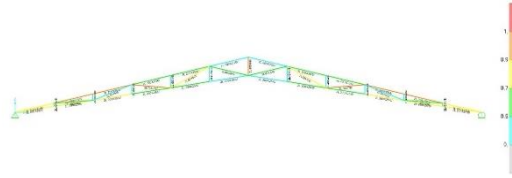


Üçgen kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 200 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 6'ya ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 200x20/6, alt başlık için 2L 200x150x18/6, dikme ve diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Kafes U 5 ve U 6 profil kesitleri

Üçgen kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 240 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes U 7'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık ve alt başlık için 2L 200x25/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 80x8/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Kafes U 7 profil kesitleri

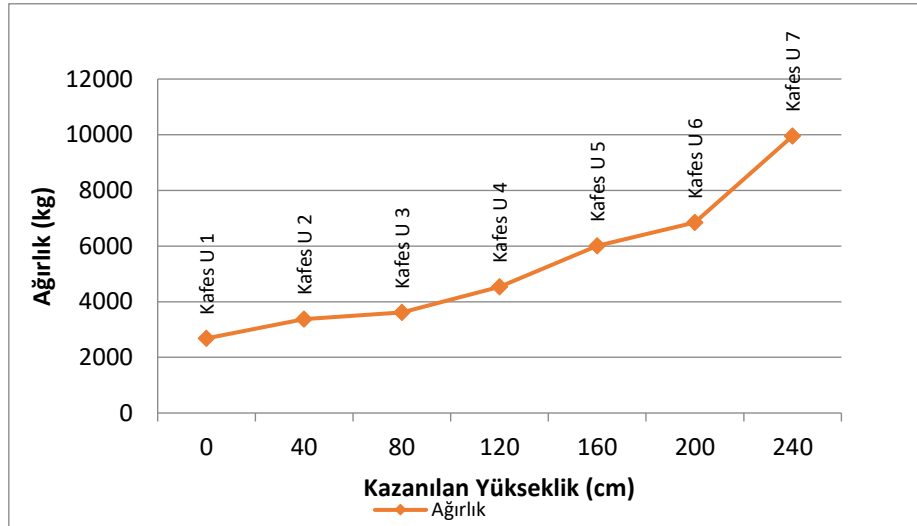
Üçgen başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık bilgileri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Üçgen başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes U 1	Üst Başlık	1332,72	2681,84	0
	Alt Başlık	900,00		
	Dikme ve Diyagonaller	449,12		
Kafes U 2	Üst Başlık	2085,46	3371,77	40
	Alt Başlık	900,30		
	Dikme ve Diyagonaller	386,01		
Kafes U 3	Üst Başlık	2085,46	3611,50	80
	Alt Başlık	1183,58		
	Dikme ve Diyagonaller	342,46		
Kafes U 4	Üst Başlık	2906,07	4537,02	120
	Alt Başlık	1300,32		
	Dikme ve Diyagonaller	330,63		
Kafes U 5	Üst Başlık	2906,07	6006,18	160
	Alt Başlık	2842,01		
	Dikme ve Diyagonaller	258,10		

Kafes U 6	Üst Başlık	3695,83	6842,81	200
	Alt Başlık	2850,49		
	Dikme ve Diyagonaller	296,49		
Kafes U 7	Üst Başlık	4726,22	9952,24	240
	Alt Başlık	4654,22		
	Dikme ve Diyagonaller	571,80		

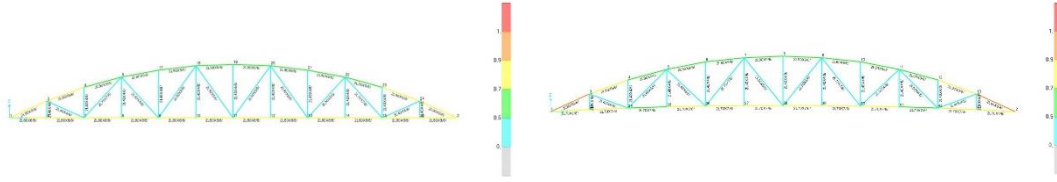
Üçgen başlıklı kafes tipleri incelendiğinde, en hafif sistemin üst başlığı 120x12/6, alt başlığı 100x10/6 profil kesitleri ile sağlandığı 8805,16 kg ağırlığa sahip Kafes U 1 olduğu görülmektedir. Üçgen kafes tipinde kazanılan yükseklik arttıkça üst ve alt başlıklardan en az birinin kesiti arttığından sistemler giderek ağırlaşmaktadır. Kafes U 2 için üst başlık 150x15/6, alt başlık 100x10/6, ağırlık 11088,24 kg; Kafes U 3 için üst başlık 150x15/6, alt başlık 110x12/6, ağırlık 11942,87 kg; Kafes U 4 için üst başlık 200x150x15/6, alt başlık 120x12/6, ağırlık 15520,30 kg; Kafes U 5 için üst başlık ve alt başlıklar 200x150x15/6, ağırlık 20944,21 kg; Kafes U 6 için üst başlık 200x20/6, alt başlık 200x150x15/6 ağırlık 23860,89 kg; Kafes U 7 için ise üst ve alt başlıklar 200x25/6, ağırlık 35599,33 kg'dır (Şekil 9). Üçgen başlıklı kafes sistemlere bakıldığında dikme ve diyagonal ağırlıklarında çok etkili bir değişim olmadığı, ağırlığı etkileyen asıl faktörlerin üst ve alt başlıklar olduğu görülmüştür. Kazanılan yükseklik arttıkça alt ve üst başlık profil kesit kalınlıkları sürekli olarak arttığından sistemler giderek ağırlaşmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Üçgen başlıklı kafesler için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği.

Hilal Kafes Tipi: Hilal kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiği Kafes H 1'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 60x6/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 10).

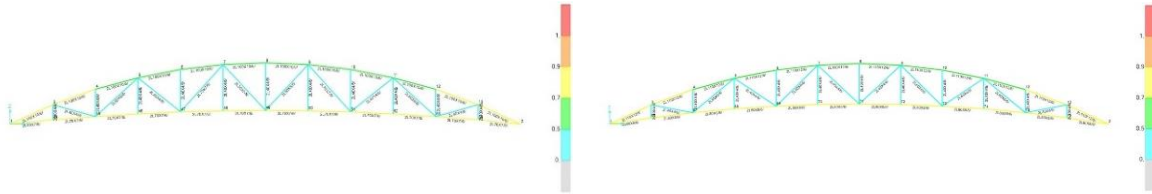
Hilal kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 40 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes H 2'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 10).



Şekil 10. Kafes H 1 ve H 2 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 80 cm yukarı kaldırılmasıyla oluşturulan Kafes H 3'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 70x7/6 dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 ve 2L 70x7/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 11).

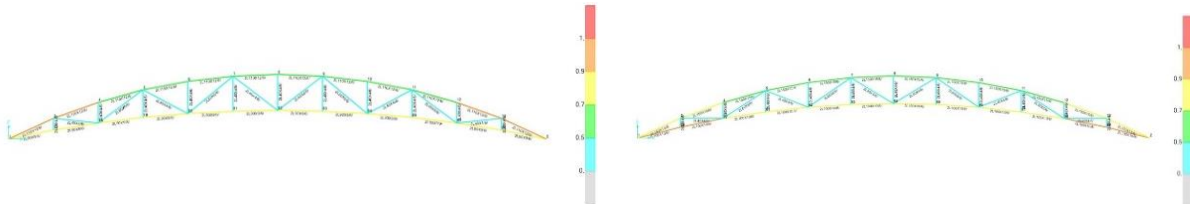
Hilal kafes tipinde, alt başlığın orta noktasından 120 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 4'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Kafes H 3 ve H 4 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 160 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 5'e ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 90x9/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 12).

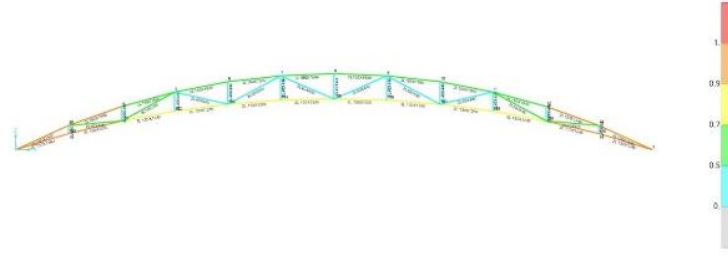
Hilal kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 200 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 6'ya ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Kafes H 5 ve H 6 profil kesitleri

Hilal kafes tipinde, alt başlığın orta noktasından 240 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes H 7'ye ait her profil için SAP2000 programında en hafif sistemi sağlayan profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 150x15/6, alt başlık için 2L

130x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Kafes H 7 profil kesitleri

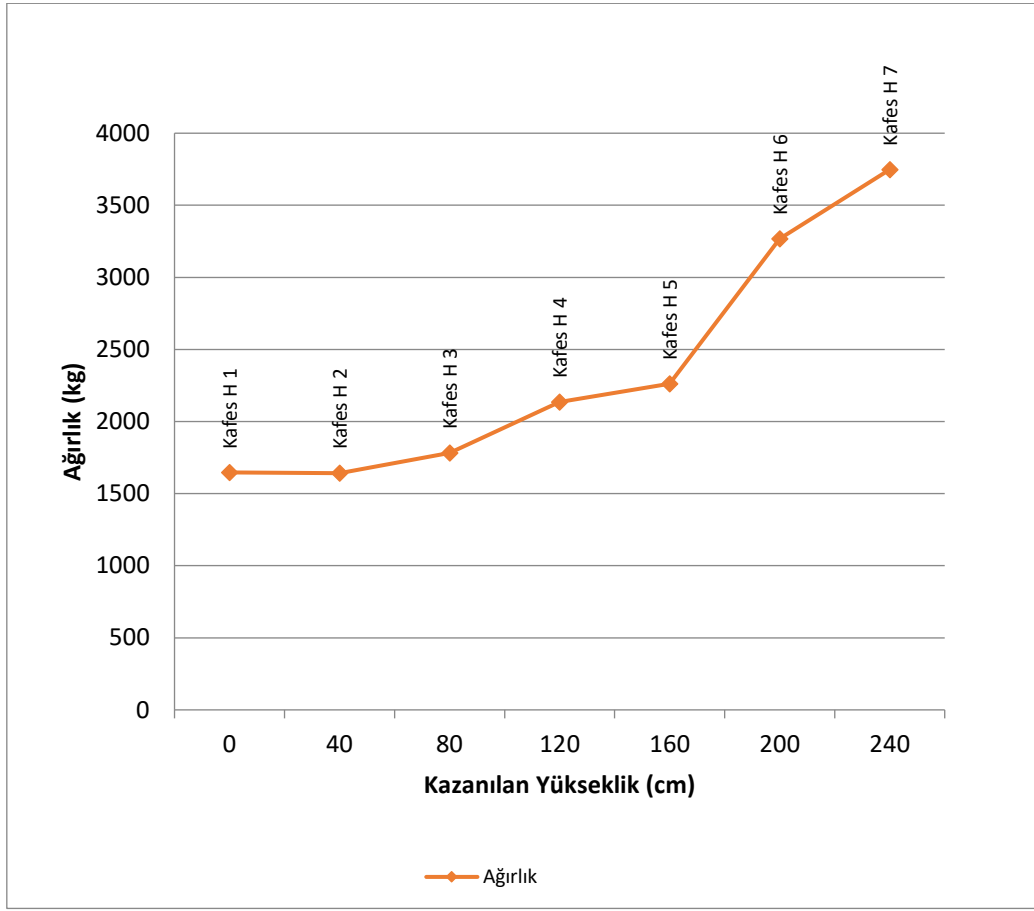
Hilal başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık bilgileri Tablo 2’de yer almaktadır.

**Tablo 2.** Hilal başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes H 1	Üst Başlık	759,82	1646,10	0
	Alt Başlık	325,20		
	Dikme ve Diyagonaller	561,08		
Kafes H 2	Üst Başlık	759,82	1641,81	40
	Alt Başlık	442,95		
	Dikme ve Diyagonaller	439,04		
Kafes H 3	Üst Başlık	934,20	1782,81	80
	Alt Başlık	443,69		
	Dikme ve Diyagonaller	404,94		
Kafes H 4	Üst Başlık	1226,92	2135,20	120
	Alt Başlık	582,23		
	Dikme ve Diyagonaller	326,05		
Kafes H 5	Üst Başlık	1226,92	2262,21	160
	Alt Başlık	737,61		
	Dikme ve Diyagonaller	297,68		
Kafes H 6	Üst Başlık	2105,06	3267,13	200
	Alt Başlık	910,50		
	Dikme ve Diyagonaller	251,57		
Kafes H 7	Üst Başlık	2105,06	3747,78	240
	Alt Başlık	1433,97		
	Dikme ve Diyagonaller	208,75		

Hilal başlıklı kafes tipleri incelendiğinde Kafes H 1 için üst başlıklar 90x9/6, alt başlık 60x6/6; ağırlık 1646,10 kg’dır. Üst başlığı 90x9/6, alt başlığı 70x7/6 olan Kafes H 2’de diğer tüm başlık tiplerinden farklı olarak, alt başlık kesiti artmasına karşın dikme ve diyagonal profil ağırlıklarının etkisi ile Kafes H 1’e oranla daha hafif bir sistem oluşmuştur. Diğer Hilal başlıklı kafes tipleri için kazanılan yükseklik arttıkça üst ve alt başlıklardan en az birinin kesiti arttığından sistemler giderek ağırlaşmaktadır. Kafes H 3 için üst başlık 100x10/6, alt başlık 70x70/6, ağırlık 1782,81 kg; Kafes H 4 için üst başlık 110x12/6, alt başlık 80x8/6, ağırlık

2135,20 kg; Kafes H 5 için üst başlık 110x12/6; alt başlık 90x9/6, ağırlık 2262,21; Kafes H 6 için üst başlık 150x15/6, alt başlık 100x10/6, ağırlık 3267,13 kg; Kafes H 7 için üst başlık 150x15/6; alt başlık 130x12/6, ağırlık 3747,78 kg'dır (Şekil 14).



Şekil 14. Hilal başlıklı kafesler için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği

Başlık tiplerine ait yükseklik kazancı olmayan kafes kirişler incelendiğinde: Optimum çözümü sunan sistemin hilal kafes tipi olduğu görülmektedir. Bu kafes tipinde ağırlık 1646,10 kg'dır. Alt ve üst başlık kesitleri fazla olan üçgen kafes tipi ağırlık bakımından dezavantajlı sistemdir. Bu kafes tipinde ağırlık hilal kafes tipine oranla % 62 artmıştır. Sistemin ağırlığı 2681,84 kg'dır (Şekil 15).

40 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde: Hilal kafes tipinde ağırlık 1641,81 kg'dır. Üçgen kafes sistem ağırlık bakımından dezavantajlı olan sistem tipidir. Bu kafes tipinde ağırlık 3371,77 kg'dır (Şekil 15).

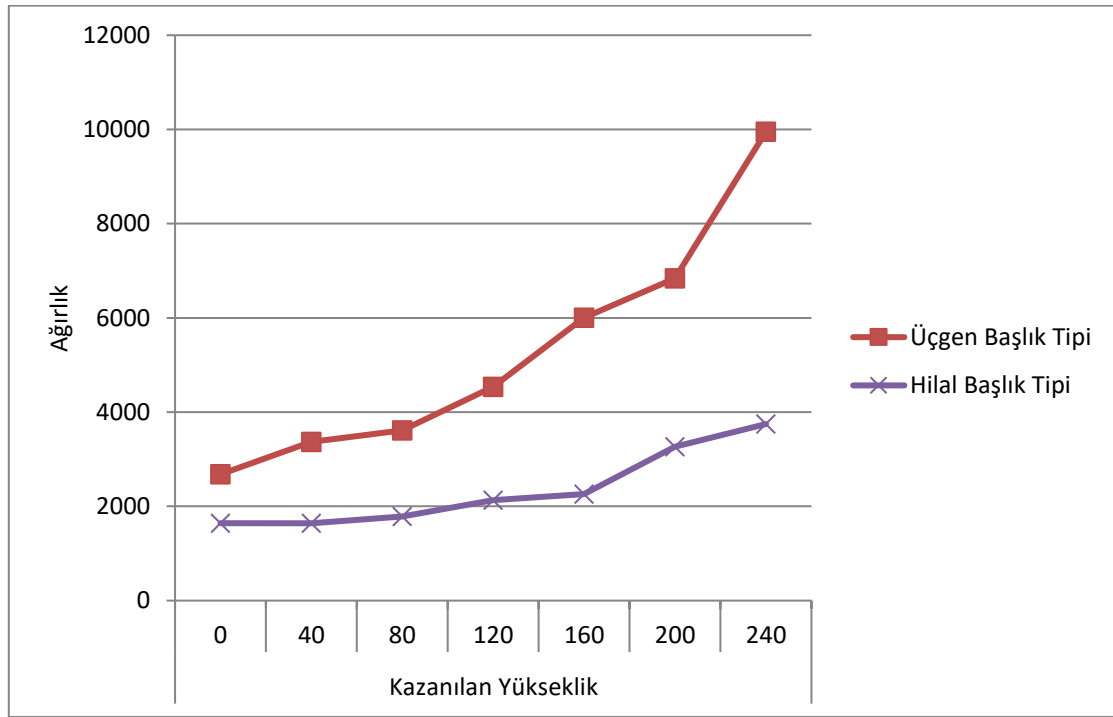
80 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde: Hilal kafes tipinin ağırlığı 1782,81 kg'dır. Hilal başlık tipine göre ağırlık bakımından dezavantajlı olan üçgen kafes tipinin ağırlığı ise 3611,50 kg'dır (Şekil 15).

120 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde: Hilal kafes tipi 2135,20 kg ağırlığında elde edilmiştir. Hilal kafes tipine göre ağırlık bakımından dezavantajlı olan üçgen kafes tipinin ağırlığı ise 4537,02 kg'dır (Şekil 15).

160 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde: Hilal kafes tipinde ağırlık 2262,21 kg olarak elde edilmiştir. Hilal kafes tipinde göre ağırlık bakımından dezavantajlı olan üçgen kafes tipinin ağırlığı ise 6006,18 kg'dır (Şekil 15).

200 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde: Hilal kafes tipinde ağırlık 3267,13 kg olarak elde edilmiştir. Hilal kafes tipine göre ağırlık bakımından dezavantajlı olan üçgen kafes tipinin ağırlığı ise 6842,81 kg'dır (Şekil 15).

240 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde: Hilal kafes tipi 3747,78 kg ağırlığında elde edilmiştir. Hilal kafes tipine göre ağırlık bakımından dezavantajlı olan üçgen kafes tipinin ağırlığı ise 9952,24 kg'dır (Şekil 15).



Şekil 15. Üçgen ve hilal tiplerine ait kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği

#### 4. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında 30x48 m boyutlarında örnek bir sanayi yapısı tasarlanmıştır. Yapının düzlemsel çelik kafes kiriş çatı sistemi için üçgen ve hilal başlık tipleri seçilmiştir. Bu başlık tipleri ile mekana iç yükseklik kazancı sağlamayan ve 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm yükseklik kazancı sağlayan 7 farklı tasarım gerçekleştirilmiştir. Daha sonra düzlemsel kafes kiriş tipi ve yükseklik kazancına bağlı olarak ağırlık durumları karşılaştırılmış ve değerlendirilmiştir. Araştırma, yapının orta kirişlerin bir tanesi üzerinden gerçekleştirilmiştir.

Üçgen ve hilal başlık tiplerinden oluşan düzlemsel kafes kirişler için ağırlıklar Tablo 3'de yer almaktadır. Tabloda her kafes tipine ait en uygun çözüm \* ile gösterilmiştir. Yüksekliklere bağlı olarak en uygun kafes tipi ise koyu yazı tipi ile gösterilmiştir.

Tablo 3. Üçgen ve hilal başlıklı kafes tiplerine ait ağırlık bilgileri

		Kafes tipi	
		Üçgen Başlık	Hilal Başlık
		Ağırlık (kg)	
Kazanılan Yükseklik	0	2681,84*	<b>1646,10</b>
	40	3371,77	1641,81*
	80	3611,50	1782,81
	120	4537,02	2135,20
	160	6006,18	2262,21
	200	6842,81	3267,13
	240	9952,24	3747,78

Üçgen kafes tipinde yükseklik kazancı olmayan Kafes U1 tipi en optimum sonucu sağlamla birlikte ağırlık olarak yükseklik kazancı sağlayan tiplere oranla hafif durumdadır. Hilal kafes tipinde Kafes H1 ve Kafes H2 yakın sonuçlara sahip olmasına karşın Kafes H2 daha optimum bir sonuç sunmaktadır. Yükseklik kazancına ihtiyaç duyulmadığı durumlarda hilal kafes tipi daha hafif şartlar sağlamaktadır. Üçgen kafes tipinin özellikle üst ve alt başlıklarına ait kesit ölçülerinin hilal sisteme oranla fazla olması sebebiyle daha ağır sistemleri oluşturmaktadır.

Çalışma, düzlemsel çelik kafes kiriş çatı sistemlerinde farklı başlık tiplerinin yükseklik kazancına bağlı olarak ağırlık açısından, dolayısıyla da maliyet açısından değerlendirilmesini örneklem bir tasarım üzerinden ortaya koymaktadır. Tasarımcı yükseklik kazancını da göz önünde bulundurup hangi durumun kendisi açısından avantaj sağlayacağını dikkate alarak tercihte bulunabilecektir.

Not: Bu çalışma “Çelik Düzlemsel Kafes Kirişlerde Kafes Tipi ve Yüksekliğinin Ağırlık ve Maliyete Etkileri Üzerine Bir Çalışma” başlıklı Yüksek Lisans Tezinden üretilmiştir.

## 5. KAYNAKLAR

[1] Kurtay, C., Badem, M. (2004). Avrupa Ülkeleri ve Türkiye’deki Çelik Yapı Uygulama Olanak ve Kısıtlarının İncelenmesi, *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 19 (4), 351-363.

[2] Deren H., Uzgider E., Piroğlu, F. (2003). *Çelik Yapılar*, 1. Baskı, Çağlayan Kitapevi, İstanbul.

[3] Roth, L., M. (2006). *Mimarlığın Öyküsü*, Çev. Ergün Akça, 3. Baskı, Kabcacı Yayınevi, İstanbul.

[4] Eyyübov, C. (2004). *Çelik Yapılar*, 1. Cilt, Birsen Yayınları, İstanbul.

[5] Özgen A., Sev, A. (2000). *Çok Katlı Yapılarda Taşıyıcı Sistemler*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

- [6] Özhendekçi, D. (2019). YTÜ İnşaat Müh. Böl. Çelik Yapılar Ders Notları 1, <https://tr.scribd.com/document/41131964/Devrim-Ozhendekci-Celik1-Ders-Notu-1> adresinden edinilmiştir.
- [7] Sharp, D. (1993). 20th. Century Architecture, Ed. Alan Blanc, Micheal Mc Evoy, Roger Plank, *Architecture And Construction In Steel*, F&FN Spon, Londra.
- [8] Sezgin, F. (2005). Mimarlığın Geleceği Üzerine Kestirimler, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3-9.
- [9] Karaduman, M. (1999). *Çelik Yapılar*, Cilt 1, 3. Baskı, Nobel Yayınları, Konya.
- [10] Ertan, E. (2012). *Mimarlıkta Yapı-Yapım*, Birsan Yayınevi, İstanbul.
- [11] Orbay, A., Savaşır, K. (2004). Tonoz Biçimli Çift Katlı Uzay Kafes Sistemlerin -Çeşitli Kriterler Açısından- Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma, *DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (1), 39-49.
- [12] Ata, N., Nuhuğu A., Aydın, H. (2015). Çelik ve Prefabrike Hangar Yapılarında İnşaat Maliyetlerinin Karşılaştırılması, 6. *Çelik Yapılar Sempozyumu*. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/3176.pdf> adresinden edinilmiştir.
- [13] Kozanoğlu, C., Suk, R. (2015). Çelik Malzemeyle Yapılmış Stadyum Tribün Çatısının Taşıyıcı Sisteme Bağlı Maliyet Karşılaştırılmasının Yapılması, *Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (2), 183-193.
- [14] Işık, E., Özdemir, M., Karaşın, İ., B., Aydın M., C., Ülker, M. (2016). Çelik Profil Değişiminin Yapı Performansına Etkisi, *International Engineering, Science and Education Conference*, Diyarbakır.
- [15] T.S.E., Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, TS-498, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [16] URL-1, <https://www.lme.com.tr/kosebent-demir-fiyatlari.html>. 30 Aralık 2019