



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Çelik Düzlemsel Kafes Kirişlerde Kafes Tipi ve Yüksekliğinin, Ağırlık ve Maliyete Etkileri Üzerine Bir Çalışma *

 Zeynep İPEKÇİ ^a,  Mustafa KAVRAZ ^{a,*}

^a Mimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: mkavraz@ktu.edu.tr

DOI: 10.29130/dubited.766211

ÖZET

Çelik, yapı sektöründe sürdürülebilirlik, ekonomiklik, dayanıklılık vb. özellikleri ile ön plana çıkan bir malzemedir. Ülkemizde oluşmaya başlayan çevresel bilinç ve teknolojiye gelişmeler ile çelik malzemenin bu sektörde daha büyük bir paydaya sahip olması kaçınılmaz bir durum haline gelmektedir. Çelik malzeme, özellikle geniş açıklıklı çatı sistemlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, 30 m açıklığa sahip olacak şekilde tasarlanan bir sanayi yapısının çatı açıklığını geçmek için, trapez ve parabolik başlık tiplerine sahip kafes kirişler seçilmiştir. Her başlık tipi için, mekana çatı düzleminde; 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm tavan yükseklik kazancı sağlayan başlık şekilleri oluşturulmuştur. Toplamda oluşturulan 14 farklı düzlemsel kafes kiriş SAP2000 programında optimum ağırlığı sağlayacak şekilde modellenmiştir. Elde edilen veriler birbiriyle karşılaştırılarak her başlık tipi ve tavan yüksekliği kazancı için ağırlık ve maliyet bakımından en optimum sonucu veren düzlemsel kafes kirişler saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik Yapı, Düzlemsel Kafes Kiriş, Geniş Açıklık, Maliyet, Ağırlık

A Study on The Effects of the Cage Type and Height on the weight and the Cost of the Steel Planar Cage Beams

ABSTRACT

Steel is the material that stands out with its features in the building industry like sustainability, economy, durability, etc. With the environmental awareness and technological developments that started to be formed in our country, it becomes inevitable for steel material to have a larger denominator in this sector. Steel material is widely used especially in wide span roof systems. Within the scope of this study, truss beams with trapezoidal and parabolic head types were selected to pass the roof opening of an industrial structure designed to have a 30 m span. For each type of hood, in the roof plane of the space; Cap shapes providing ceiling height gain of 0 cm, 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm and 240 cm were created. 14 different planar trusses created in total are modeled to provide optimum weight in SAP2000 program. By comparing the obtained data, planar lattice beams, which give the optimum result in terms of weight and cost for each headboard type and ceiling height gain, were determined.

Keywords: Steel Structure, Planar Lattice Girder, Wide Span, Cost, Weight

Geliş: 08/07/2020, Düzeltme: 29/10/2020, Kabul: 04/11/2020

* Bu çalışma “Çelik düzlemsel kafes kirişlerde kafes tipi ve yüksekliğinin ağırlık ve maliyete etkileri üzerine bir çalışma” başlıklı Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

I. GİRİŞ

Demir ve karbon alaşımından oluşan çelik malzeme tarihi çağlardan beri yaşamın birçok alanında kullanılırken, 18. yy.'dan itibaren yapı inşaat alanlarında da etkili şekilde yer edinmeye başlamıştır. Özellikle köprüler, sanayi yapıları, spor yapıları, kültür yapıları, depolar, hangarlar gibi geniş açıklıklı ve çok katlı yapılarda tercih edilen çelik malzeme, ilk kurulum maliyetinin fazla olması, projelendirme ve uygulama aşamalarında teknik yeterlilik gerektirmesi vb. sebeplerle belirtilen özelliklere sahip yapıların dışındaki uygulamalarda diğer malzemelere göre geri planda kalmıştır.

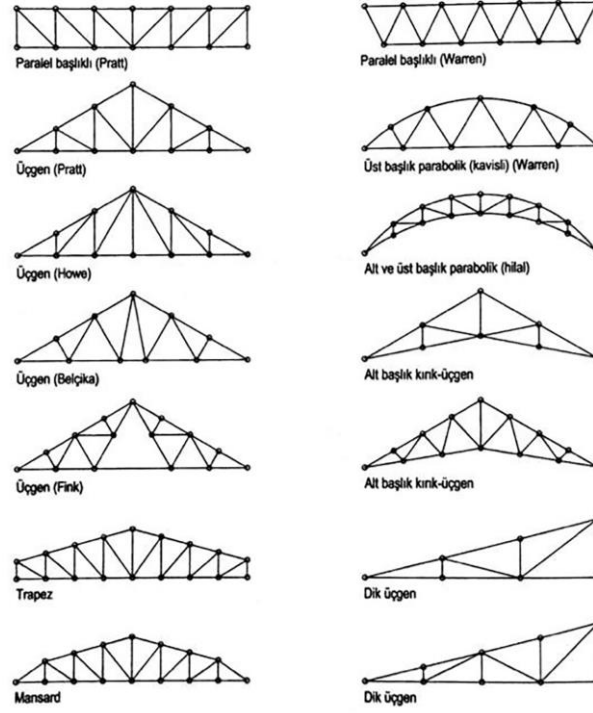
Çelik, fiziksel özellikleri gereği yüksek dayanıma sahip yapısal bir malzemedir ve üretim aşamasında, kullanılacak yere göre istenilen yapısal özelliklere, şekle ve ölçülere sahip bir biçimde üretilmektedir. Fabrikalarda standartlara uygun olarak üretilen ve gerekli testleri yapılan çelik malzemelerin yapım sahasında çevresel şartlardan etkilenmeksizin hızlı ve kolay şekilde birleşimleri sağlanabilmektedir. Yapının imalatı sırasında zaman ve iş gücünden tasarruf sağlaması, uzun ömürlü olması, bakım ve onarım masraflarının az olması sayesinde çelik, uzun periyotta bakıldığında oldukça ekonomik bir malzemedir. Tüm bunların yanı sıra çeliğin en önemli özelliği çevreci bir malzeme olmasıdır. %100 geri dönüştürülebilen bir malzeme olan çelik, ömrünü tamamlayan bir yapıdan sonra yeniden yapı malzemesi olarak veya yeni üretilen çelik malzemenin hammaddesi olarak kullanılabilir. Çelik malzemenin üretimi esnasında oluşan tüm atık malzemeler çeşitli alanlarda girdi maddesi olarak kullanılabilir. Ayrıca üretim sürecinde oluşan gazlar, ısı ve elektrik üretiminde de kullanılabilirken, kullanılan suyun %90'ı mevcut halinden daha temiz bir şekilde kaynaklara geri döndürülebilmektedir.

Çelik malzemenin sürdürülebilirliği, ekonomikliği ve yapısal olarak dayanımı göz önünde bulundurulduğunda, dünya çapında gözetilen ve ülkemizde özellikle son yıllarda oluşmaya başlayan çevresel bilinç ve teknolojik gelişmelerin de etkisiyle, yapı sektöründe daha büyük paydaya sahip olacağı aşikardır.

Düzlem kafes kirişler, başlık ve örgü çubuklarının genellikle üçgen boşluklar oluşturacak şekilde birleştirilmesiyle elde edilen kirişlerdir. Çubukların birleştikleri noktalara düğüm noktası denilmekte ve bu birleşimler kaynak, perçin veya bulon ile oluşturulabilmektedir. Kafes kirişlerin alt ve üst tarafında boyuna devam eden bileşenler başlık çubukları, iki başlık çubuğu arasında yerleştirilen çubuklar ise örgü (dolgu) çubuklarıdır. Örgü çubuklarından düşey konumlanan dikme, vevv olanlar ise diyagonal çubuklar olarak adlandırılmaktadır [1].

Düzlem kafes sistemlerde, çubuklara etkiyen tesir kuvvetinin azalmasına sağlayan alt ve üst başlıklar arası yükseklik dolu gövdeli kirişlere göre daha az malzeme ile sağlanacağından, bu sistemler dayanım ve maliyet açısından avantaj sağlamaktadır [1].

Bu sistemler başlık ve örgü elemanlarının şekil ve dizilimlerine göre farklı türlerde oluşturulabilmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Düzlem kafes giriş şema örnekleri [2].

Dede, Ayvaz ve Bekiroğlu (2003) tarafından yapılan çalışmada ayırık tasarım değişkenlerinin kullanıldığı genetik algoritma yöntemiyle yapının minimum ağırlıkta tasarlanmasını sağlayacak bir program kodlanmıştır. Program sayesinde, literatürden alınan 25 çubuklu uzay kafes sistem ve 75 çubuklu uzay kafes sistem örnekleri genetik algoritma optimizasyon yöntemi ile tasarlanmış ve önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır [3].

Avcı (2005) tarafından yapılan çalışmada; 54x18 m boyutlarında 3.2 m yüksekliğinde 9 kattan oluşan bir iş merkezi yapısının 1998 yılı Deprem Yönetmeliği esas alınarak çelik ve kompozit olarak tasarımı gerçekleştirilmiş, bu sistemler metraj, maliyet analizi ve ekonomiklik bakımından karşılaştırılmıştır. Çok katlı bu yapının kesit tesir değerleri SAP2000 programı ile çözümlenerek boyutlandırması yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda taşıyıcı sistemde kullanılan tüm malzemelere işçilik giderleri de eklendiğinde kompozit sistemin çelik sisteme göre %37 daha ekonomik olduğu ayrıca kompozit yapılarda daha küçük kesitler olduğundan kullanılabilir alandan da tasarruf edildiği belirlenmiştir [4].

Taştekin vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada; aynı boyutlardaki sanayi yapılarının yapı tipi, deprem bölgesi, yapının açıklığı ve nakliye mesafesi değiştirilerek, ayrıca ömür ve bakım masrafları da göz önünde bulundurularak avantaj ve dezavantajları ekonomiklik açısından olarak karşılaştırılmıştır. Çalışmada yapı tipi; prefabrike betonarme, çelik ve kompozit, deprem bölgesi; 1., 2., 3., ve 4. Dereceden Deprem Bölgesi, geçilen açıklıklar; 15 m, 18 m, ve 22 m, nakliye mesafesi ise; 50 km, 100 km, 150 km ve 200 km olacak şekilde belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, nakliye mesafesinin maliyeti arttırdığı ancak bu artışın ağırlığının fazla olması sebebiyle prefabrike yapı türünde daha fazla olduğu, ayrıca deprem bölgesi değişiminin en çok prefabrike sistemde maliyeti etkilediği, açıklık değişiminin ise çelik yapılarda diğer yapılara oranla daha fazla maliyet artışına sebep olduğu belirlenmiştir [5].

Amil vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada; 10 katlı betonarme veya çelik taşıyıcı sisteme sahip yapının farklı açıklıklarına aynı özellikte 6 adet perde yerleştirilerek 6 farklı model oluşturulmuş ve oluşturulan modellerin davranış bakımından incelenmesi yapılmıştır. İncelenen sistemler SAP2000 Yapısal Çözümleme Programı ile çözümlenmiş ve yatay dinamik yük olarak 1999 Kocaeli Depremi

spektral ivme kayıtlarının Doğu-Batı bileşenine ait değerler kullanılmıştır. Çalışmada öncelikli olarak betonarme sistem ile en uygun perde yerleşimi belirlenmiş daha sonra betonarme malzeme yerine çelik malzeme kullanılarak yapının yükler altındaki davranışı incelenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda betonarme malzeme yerine çelik malzeme kullanımının yer değiştirme ve kesit etkileri bakımından önemli ölçüde bir farklılık oluşturmadığı saptanmıştır [6].

Erdem vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada; sıcaklık faktörünün optimum düzlem kafes taşıyıcı sistem tasarımı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmaktadır. “Differential Evolution” optimizasyon algoritması ile çözümlenen örnek kafes sistem öncelikle sadece dış yük etkisi altında oluşturularak optimum olarak tasarlanmıştır. Daha sonra uygulanan yükün yanı sıra tüm çubukların sıcaklıkları artırılarak optimum boyutlandırma yapılmış ve çubuk kesitlerinde artma ve azalmalar görülmüştür. Çalışma sonucunda sıcaklık faktörünün optimum kafes tasarımını etkilediği saptanmıştır [7].

Kuşu ve Beyen (2019) tarafından yapılan çalışmada, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018 Esaslarına göre çelik ve betonarme taşıyıcılı 12 katlı örnek bina oluşturularak kütle katılım oranları, göreceli kat yer değiştirmeleri, kat ve temel kat kesme kuvvetleri, ikinci derece etkiler ve maliyet analiz karşılaştırılması yapılmıştır. Tasarlanan 12 katlı çelik ve betonarme örnek yapılar için Çanakkale ili gerçek deprem kayıtları kullanılarak analizler yapılmış ve tüm kesitleri için sistem analizlerini karşılayacak en uygun kesitler seçilmiştir. Yapılan analizler sonucunda kesme taban kuvvetleri karşılaştırıldığında betonarme yapı üzerine gelen deprem kuvvetinin çelik yapıya oranla yaklaşık iki kat fazla olduğu, maliyet olarak bakıldığında sadece yapı malzemesi olarak çelik taşıyıcı sistemin betonarme yapıya göre yaklaşık 3 kat daha maliyetli olduğu gözlemlenmiştir. Çalışmada yapım süresi ve şartları göz önünde bulundurulduğunda (kira kaybı, işçi ücreti vs.) maliyet farkının azalabileceği belirtilmiştir [8].

Özyüksel Çiftçiöğlü ve Doğan (2019) tarafından yapılan çalışmada, Çelik çerçevelerin Av Arama, Parçacık Sürü ve Büyük Patlama-Büyük Çöküş optimizasyon yöntemlerini temel alan üç farklı optimum tasarım algoritması ile tasarlanarak en hafif sistemin bulunması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında üç katlı üç açıklıklı, beş katlı üç açıklıklı ve yedi katlı üç açıklıklı olmak üzere üç adet çelik çerçeve oluşturulmuş ve boyutlandırma için LRFD-AISC Yük ve Dayanım Katsayıları Tasarımı(YDKT)) yönetmeliği sınırlayıcıları esas alınmıştır. Modeller SAP2000 programında oluşturularak analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda; üç katlı üç açıklıklı örnek için sırasıyla Av Arama, Büyük Patlama-Büyük Çöküş ve Parçacık Sürü algoritmalarının, beş katlı üç açıklıklı örnek için sırasıyla Parçacık Sürü, Av Arama, Büyük Patlama-Büyük Çöküş algoritmalarının, yedi katlı üç açıklıklı örnek için ise sırasıyla Parçacık Sürü, Av Arama, Büyük Patlama-Büyük Çöküş algoritmalarının en iyi sonucu sağladığı saptanmıştır. Algoritmaların değerlendirilen örnek yapı türüne göre farklı performanslar sergilediği gözlemlenmiştir [9].

Sancıoğlu ve İlgün (2018) tarafından yapılan çalışmada, farklı boyut ve kurgulardaki çelik taşıyıcı hangar tipi endüstri yapıları için maliyet faktörü incelenmiştir. Çalışmada değişkenler; makas açıklığı (15m, 16m, 17m, 18m, 19m, 20m, 21m), çerçeve aralığı (5m, 5.5m, 6m, 6.5m, 7m, 7.5m, 8m), çatı eğimi (%5, %6, %7, %8, %9) olarak belirlenmiş ve SAP2000 Yapı Modelleme programında 245 çerçeve analizi yapılmıştır. Yapı modelleri oluşturulurken yapının Konya ilinde bulunduğu varsayılarak Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS498) ve 2016- Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmeliği (ÇYHY) verilerinden faydalanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda söz konusu bölgede maliyetçe en uygun çerçeve tasarımının %6 çatı eğimli, 15m makas açıklıklı ve 7.5 m çerçeve aralıklı olduğu saptanmıştır [10].

Çarbaş ve Tunca (2019) tarafından yapılan çalışmada, ince cidarlı çelik profiller için çarpılma etkisinin optimum tasarıma etkisi incelenmiştir. Çalışmada farklı dış etkiler sebebi ile çarpılma etkisine maruz kalan soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik profillerin optimum geometrik ölçüleri belirlenirken deplasman ve gerilme sınırlayıcıları formülasyona dahil edilmiş ve optimizasyon yöntemi olarak arıların yiyecek bulmada kullandıkları doğal yöntemlerden esinlenen Suni Arı Kolonisi Algoritması (SAKA) kullanılmıştır. Yapılan çalışmada, çarpılma etkisinin dikkate alınarak yapılan

optimum kesit tasarımında %37.21 civarında ağırlık artışının olduğu gözlemlenmiş ve çarpma etkisinin tasarım fonksiyonunda mutlaka dikkate alınması gerektiği sonucuna varılmıştır [11].

Bu çalışmada, çelik düzlem kafes sistemlerde kafes tipi ve tavan yüksekliğine ait değişimlerin maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir.

II. YAPILAN ÇALIŞMALAR

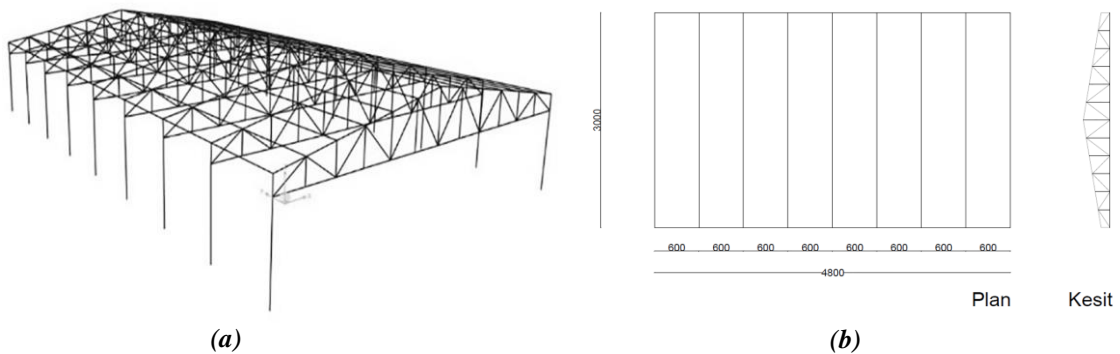
Çalışma kapsamında çelik taşıyıcı yapılar için optimum ağırlık ve maliyeti sağlamak amacıyla örnek bir simülasyon uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çalışmada büyük açıklığa sahip sanayi yapıları için çelik taşıyıcı düzlemsel kafes kiriş çatı sisteminden oluşan bir örnek yapı tasarlanarak gerekli incelemeler bu yapı üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda 30 metre açıklık geçen düzlemsel kafes kirişler için kafes tipi ve yüksekliğinin ağırlık ve dolayısıyla da maliyet üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sisteme etkiyen yüklerden sistem ağırlığı ve kar yükü baz alınarak hesaplamalar yapılmış, rüzgar ve deprem yükleri bu örnek çalışma için göz ardı edilmiştir.

Örnek yapının kirişleri için literatürde yer alan başlık tiplerinden büyük açıklıklı ve tavan yüksekliğinin önemli olduğu fabrika, spor yapıları, depo, hangar gibi yapılarda tercih edilen trapez ve parabolik tipleri seçilmiştir. Trapez ve parabolik kafes tiplerinin her biri için mekan içinde yükseklik kazancı olmayan ve alt başlığın 40'ar cm yukarı kaldırılmasıyla; 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm tavan yükseklik kazancı sağlayan yedişer farklı kiriş şekli oluşturulmuş ve bu şekil değişikliklerine bağlı olarak sistemin çalışmasını sağlayan en uygun profil kesitleri SAP2000 programı ile belirlenmiştir. Profil uzunluk ve kesitlerindeki değişikliklerle beraber sistemin ağırlık ve maliyeti de değişmektedir. Çalışma kapsamında, yükseklik ve gerektirdiği maliyet karşılaştırılarak kafes tipi için optimum çözüm aranmıştır. Bu kapsamda tasarlanan ve 30 metre açıklık geçen bir sanayi yapısı örneği oluşturulmuştur (Şekil 2).

Oluşturulan her düzlem kafes sistem, SAP2000 programında modellenerek statik çözümlenmeleri ve boyutlandırılmaları yapılmıştır. SAP2000 programında belirlenen profil kesitlerinden seçilen boyutlar her düzlem kafes sistemin minimum ağırlıkta çalışmasını sağlayacak şekilde atanmıştır. Böylece en verimli şekilde çalışan düzlemsel kafes sistemler oluşturulmuştur.

A. ÖRNEK YAPIYA DAİR KABULLER

Kafes tipi ve belirtilen başlık tiplerinde oluşturulan farklı tavan yüksekliklerinin sistemin ağırlığına ve dolayısıyla maliyetine olan etkisini incelemek üzere Trabzon İli Ortahisar İlçesinde yer aldığı kabul edilen örnek bir sanayi yapısı tasarlanmıştır. 30 m x 48 m boyutlarında ve 6 m yüksekliğinde olan örnek yapıda kiriş aksları arasındaki mesafe en ideal aralık olan 6 m olarak belirlenmiştir [12], (Şekil 2).



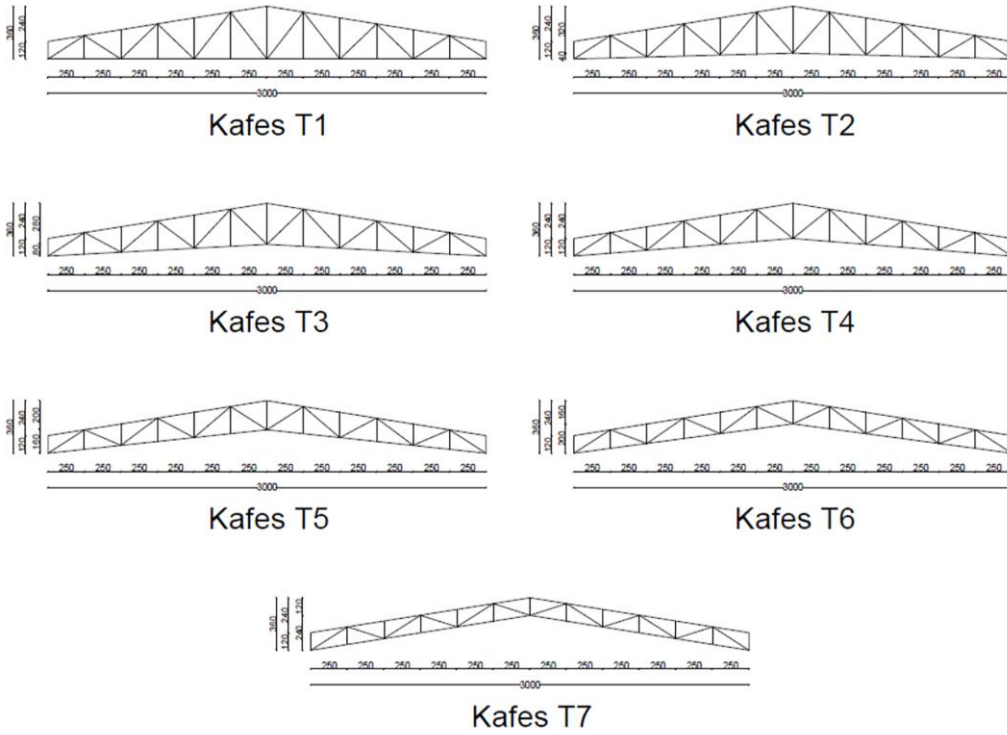
Şekil 2. (a) Örnek yapıya ait üç boyutlu görsel ve (b) yapının trapez tipine ait plan ve kesit

B. DÜZLEM KAFES KİRİŞLERE DAİR KABULLER

30 m açıklık geçen düzlem kafes sistemin yüksekliği geçilen açıklığa göre belirlenen ideal değerler aralığında ($L/7$ - $L/10$) olacak şekilde 3.6 m olarak belirlenmiştir [12]. Kafes tipi olarak trapez başlık ve parabolik başlık tipleri belirlenmiştir. Bağlantı tipi olarak ise warren tipi belirlenmiş ve dikme arası mesafeler 2.5 m, yan dikme yükseklikleri ise 1.2 m olarak düzenlenmiştir. Sistemi oluşturan profiller birbirlerine kaynak yöntemi ile birleştirilmiştir. Oluşturulan düzlem kafes kirişlerde tavan yüksekliğinin etkilerini incelemek amaçlı alt başlık orta noktasından 40'ar cm yukarıya kaldırılarak tavan yükseklikleri değiştirilmiş ve her kafes tipi için 7 farklı şekil oluşturulmuştur.

C. TRAPEZ KAFES TİPİ

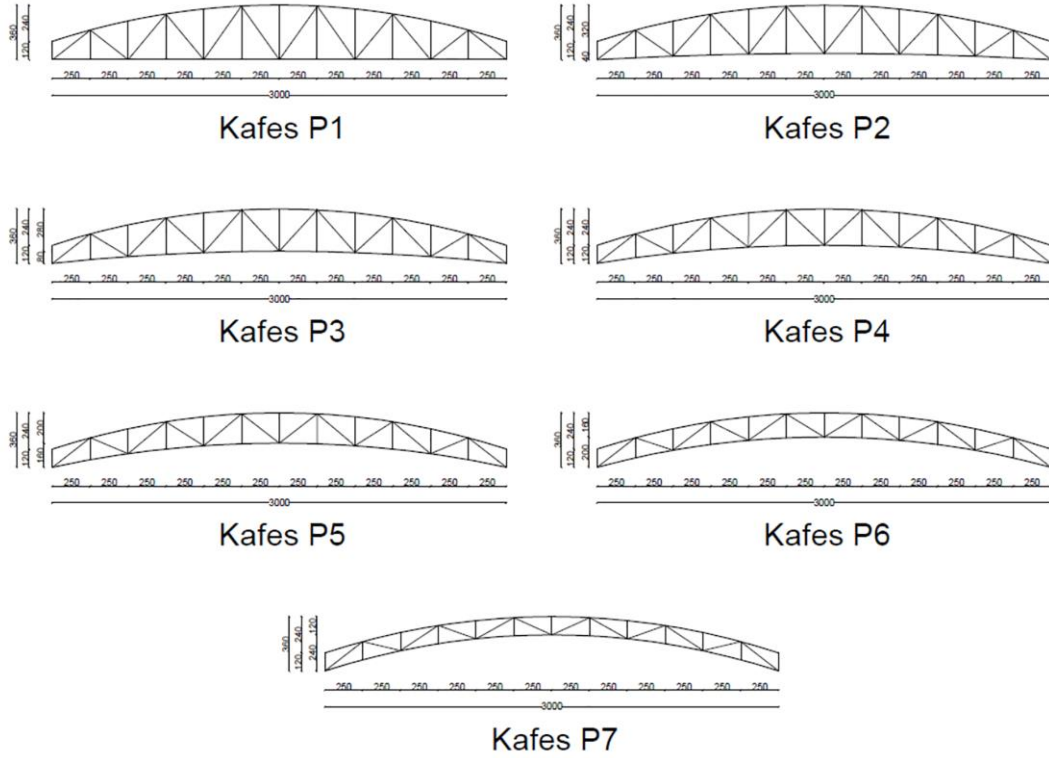
Oluşturulan trapez kafes tipinde kenar dikme yükseklikleri 1,2 m'dir ve kenar dikme üzerine oturan üçgen üst başlığın eğimi %16'dır. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafes T olarak adlandırılmaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. Trapez kafes tipinde oluşturulan kafesler

D. PARABOLİK KAFES TİPİ

Parabolik kafes tipi altında oluşturan şekiller için kenar dikme uzunluğu 1.2 m'dir. Kenar dikmeler üzerine oturan parabol şekilli üst başlıktan oluşmaktadır. Alt başlığın orta noktasından yukarı kaydırılması ile oluşan kiriş şekilleri aşağıda sıralanmıştır. Oluşturulan şekiller çalışma içerisinde Kafes P olarak adlandırılmaktadır (Şekil 4).



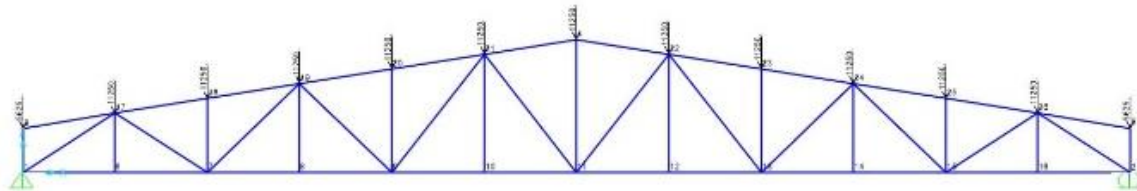
Şekil 4. Parabolik kafes tipinde oluşturulan kafesler

E. SİSTEME ETKİYEN YÜKLERE DAİR KABULLER

Sisteme etkiyen yükler hesaplanırken rüzgar ve deprem yükü göz ardı edilerek yalnızca sistemin kendi ağırlığı ve kar yükünün etkileri değerlendirilmiştir. Sistemin ağırlığı SAP2000 programında hesaplanırken kar yükü yapının Trabzon İli Ortahisar İlçesinde bulunduğu varsayılarak TS498’de yer alan kar yükü standartlarından yola çıkılarak hesaplanmıştır. Trabzon ili Ortahisar İlçesi 200 metreden daha düşük rakıma sahiptir ve 4. İklim bölgesindedir. Seçilen başlık tiplerinde çatı eğimi 30°’den düşük olduğundan kar yükü hesap değeri 750 N olarak bulunmuştur. Oluşturulan başlık tiplerinde ise düğüm noktalarına etkiyen yükler aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. [13] (Şekil 5).

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.



Şekil 5. Trapez kafes tipi için kar yükü gösterimi

F. SAP2000 PROGRAMINA DAİR KABULLER

Tasarlanan düzlemsel kafes kirişler, yapı sistemlerinin modellenmesini ve boyutsal analizlerinin yapılmasını sağlayan SAP2000 programında oluşturularak statik çözümlenmeleri yapılmıştır. Kafes sistemlerde kullanılan çelik malzeme türü olarak program içerisinde özellikleri belirlenmiş olan S235

atanmıştır. Sistemde aralarında bağlantı elemanı bulunan çift köşebent kullanılmış ve 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 belirlenerek programda sistemin yeterli taşıyıcılığı sağlayacak minimum ağırlıktaki profilin seçilmesi sağlanmıştır. Oluşturulan kafes sistemde alt ve üst başlıklar kendi aralarında gruplandırılarak her biri tek bir profil olarak düzenlenmiş dikme ve diyagonallerin bağlantılarında moment aktarmayan birleşim kullanılmıştır. Kafes sistemin kolonlarla birleşim noktalarında kafes çatılarda uygulanan sabit mesnet ve kayıcı mesnet davranışları birlikte tanımlanmıştır.

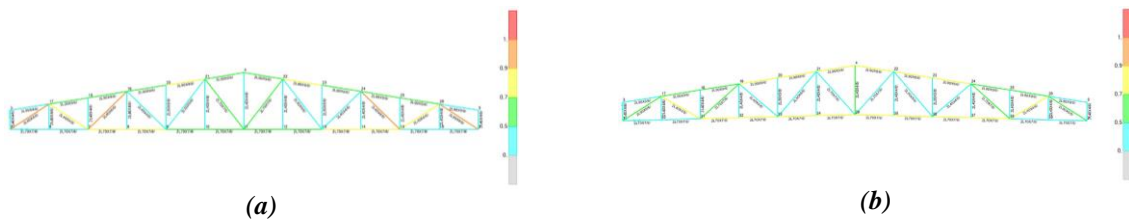
III. BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

Kar yükü ve kendi ağırlıkları altında çözümlenmeleri yapılan düzlem kafes sistemler için SAP2000 programı aracılığıyla minimum ağırlığı sağlayacak kesitler belirlenmiştir. Kesit ve fiyat bilgilerinde referans olarak kullanılacak firma için internet üzerinden birçok firma araştırılmış, gerekli bilgilere ulaşma kolaylığı açısından LME Demir'e ait ürünler referans olarak alınmıştır. Kesit ölçüleri LME Demir firması tarafınca üretilen köşebent ürünler arasından seçilmiş olup sistemin çalışmasını sağlayan minimum ağırlığa sahip profiller SAP2000 programı tarafından atanmıştır. Sistemin ağırlığı LME Demir firmasının internet sitesinde yayınlanan her profil kesitinin uzunluk ve ağırlık bilgilerinden faydalanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplar örnek yapının orta akslarında bulunan kirişler referans alınarak tek bir kiriş üzerinden yapılmıştır. Maliyetler hesaplanırken LME Demir firmasına ait 2019 fiyatlarından faydalanılmıştır [14].

A. TRAPEZ KAFES TİPİ

Trapez kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiği Kafes T1'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli profiller belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 6).

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 40 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T2'ye ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 6).

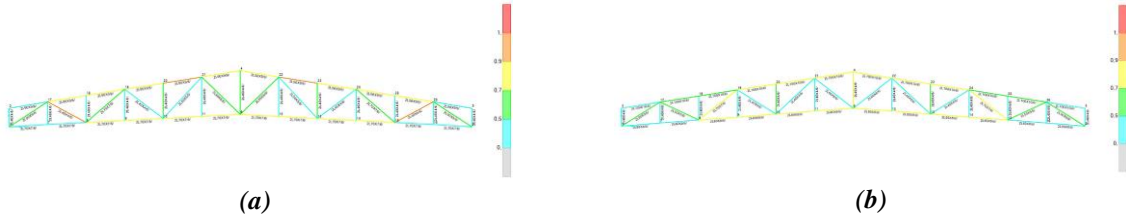


Şekil 6. Kafes profil kesitleri (a) Kafes T1 (b) Kafes T2

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 80 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T3'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 7).

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 120 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T4'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümlenmeler

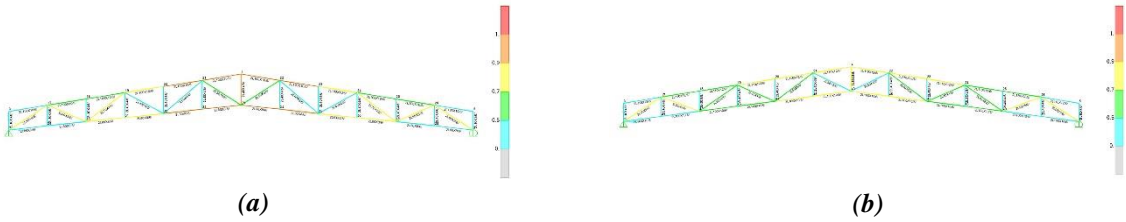
sonucunda üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Kafes profil kesitleri (a) Kafes T3 (b) Kafes T4

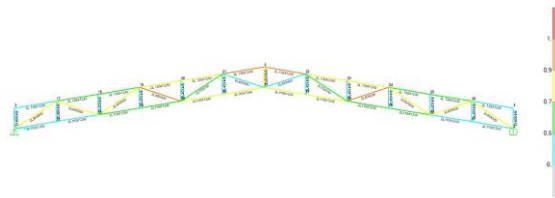
Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 160 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T5'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 8).

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 200 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T6'ya ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 100x10/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Kafes profil kesitleri (a) Kafes T5 (b) Kafes T6

Trapez kafes tipinde alt başlığın orta noktasından 240 cm yukarı kaydırılması ile oluşturulan Kafes T7'ye ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 130x12/6, alt başlık için 2L 110x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için ise 2L 40x4/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 9).



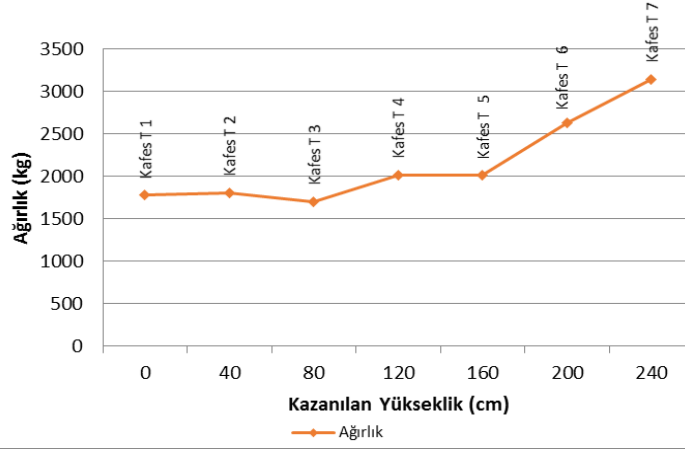
Şekil 9. Kafes T7 profil kesitleri

Trapez başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Trapez başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri

	Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)	Kazanılan yükseklik (cm)	
Kafes T 1	Üst Başlık	741.27	1777.44	5687.81	0
	Alt Başlık	442.80			
	Dikme ve Diyagonaller	593.37			
Kafes T 2	Üst Başlık	741.27	1804.71	5775.08	40
	Alt Başlık	442.95			
	Dikme ve Diyagonaller	620.49			
Kafes T 3	Üst Başlık	741.27	1704.27	5453.66	80
	Alt Başlık	443.39			
	Dikme ve Diyagonaller	519.61			
Kafes T 4	Üst Başlık	911.40	2014.07	6536.18	120
	Alt Başlık	579.53			
	Dikme ve Diyagonaller	523.14			
Kafes T 5	Üst Başlık	911.40	2012.87	6532.33	160
	Alt Başlık	581.07			
	Dikme ve Diyagonaller	520.40			
Kafes T 6	Üst Başlık	1196.97	2634.16	8699.63	200
	Alt Başlık	907.80			
	Dikme ve Diyagonaller	529.39			
Kafes T 7	Üst Başlık	1427.86	3147.69	10680.51	240
	Alt Başlık	1196.97			
	Dikme ve Diyagonaller	522.86			

Kafes T1, Kafes T2 ve Kafes T3’de alt başlıklar 70x70/6 ve üst başlıklar 90x90/6 profil kesitleri ile sağlanırken bu üç kafes arasındaki ağırlık farkı dikme ve diyagonal çubuk kesit ve uzunluklardaki değişiklikler sebebiyle meydana gelmiştir. 1704.27 kg ağırlığındaki Kafes T3, 1777.44 kg ağırlığındaki Kafes T1 ve 1804.71 kg ağırlığındaki Kafes T2’ye oranla daha hafif bir çözüm oluşturmaktadır. Kafes T4 ve Kafes T5’de ise alt başlıklar 80x8/6 ve üst başlıklar 100x10/6 kesitlerle sağlanmıştır. Alt ve üst başlıklardaki profil kesitleri ilk üç kafese göre daha büyük kesitlere sahip olduğundan ağırlıklarında artış olmuş kendi aralarındaki durum incelendiğinde dikme ve diyagonal ağırlıkları daha az olduğundan 2012.87 kg ağırlığındaki Kafes T5, 2014.07 kg ağırlığındaki Kafes T4’e göre daha hafif bir sistem oluşturmuştur. Kafes T6 ve Kafes T7’de alt ve üst başlık kesitleri büyüdüğünden ağırlıklar da giderek artmıştır. Kafes T6’da alt başlık 100x10/6, üst başlık 110x12/6, ağırlık 2634.16 kg; Kafes T7 de alt başlık 110x12/6, üst başlık 130x12/6, ağırlık 3147.69 kg olmuştur (Şekil 10). Maliyet etkeni ağırlığa paralel olarak değişim gösterdiğinden Kafes T1 için 5687.81 TL, Kafes T2 için 5775.08 TL, Kafes T3 için 5453.66 TL, Kafes T4 için 6536.18 TL, Kafes T5 için 6532.33 TL, Kafes T6 için 8699.63 TL, Kafes T7 için 10680.51 TL maliyet hesaplanmıştır. Maliyet açısından en uygun sistemin 80 cm tavan yüksekliği kazandıran Kafes T3 olduğu saptanmıştır.

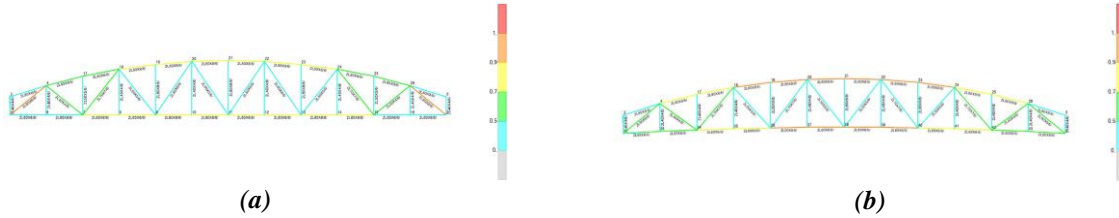


Şekil 10. Trapez başlıklı kafesler için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği

B. PARABOLİK KAFES TİPİ

Parabolik kafes tipinde oluşturulan ve alt başlığın zemin düzlemine paralel olarak şekillendirildiğini Kafes P1'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 80x8/6, alt başlık için 2L 60x6/6, dikmeler için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 80x8/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 11).

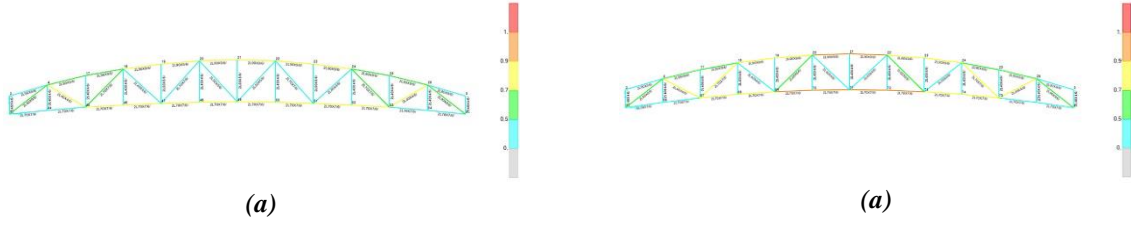
Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 40 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes P2'ye ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 80x8/6, alt başlık için 2L 60x6/6, dikmeler için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6 ve 2L 60x6/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 11).



Şekil 11. Kafes profil kesitleri (a) Kafes P1 (b) Kafes P2

Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 80 cm yukarı kaydırılmasıyla oluşturulan Kafes P3'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6 ve 2L 50x5/6 diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 12).

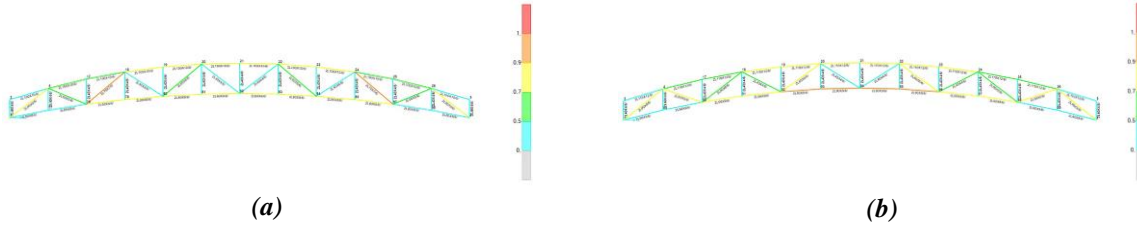
Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 120 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P4'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 90x9/6, alt başlık için 2L 70x7/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 12).



Şekil 12. Kafes profil kesitleri (a) Kafes P3 (b) Kafes P4

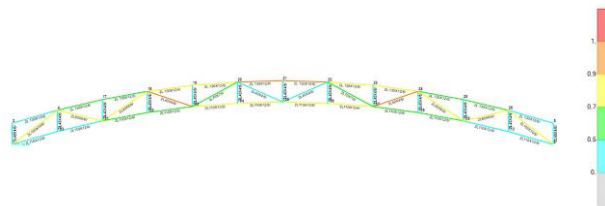
Parabolik kafes tipinde alt başlığın orta noktasının 160 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P5'e ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler üst başlık için 2L 100x10/6, alt başlık için 2L 80x8/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 70x7/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 13).

Parabolik kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 200 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P6'ya ait her profil için SAP2000 programında gerekli durumlar belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 110x12/6, alt başlık için 2L 90x9/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 50x5/6, 2L 60x6/6, 2L 80x8/6 ve 2L 90x9/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. Kafes profil kesitleri (a) Kafes P5 ve (b) Kafes P6

Parabolik kafes tipinde, alt başlığın orta noktasının 240 cm yukarı kaldırılması ile oluşturulan Kafes P7'ye ait her profil için SAP2000 programında gerekli profiller belirlenmiş ve yapılan çözümler sonucunda üst başlık için 2L 130x12/6, alt başlık için 2L 110x12/6, dikmeler için 2L 40x4/6, diyagonaller için 2L 40x4/6, 2L 60x6/6, 2L70x7/6, 2L 80x8/6 ve 2L 100x10/6 kesitlerinde profiller atanmıştır (Şekil 14).



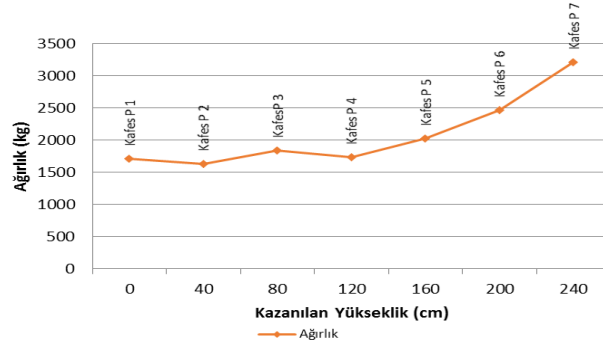
Şekil 14. Kafes P7 profil kesitleri

Parabolik başlıklı kirişlere ait tavan yüksekliğine bağlı ağırlık ve maliyet bilgileri Tablo 2'de yer almaktadır.

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

		Ağırlık Bilgileri (kg)	Toplam Ağırlık (kg)	Maliyet (TL)	Kazanılan yükseklik (cm)
Kafes P 1	Üst Başlık	587.62	1715.78	5490.49	0
	Alt Başlık	325.20			
	Dikme ve Diyagonaller	802.96			
Kafes P 2	Üst Başlık	587.62	1630.49	5217.58	40
	Alt Başlık	325.31			
	Dikme ve Diyagonaller	717.56			
Kafes P 3	Üst Başlık	744.44	1836.38	5876.42	80
	Alt Başlık	443.69			
	Dikme ve Diyagonaller	648.25			
Kafes P 4	Üst Başlık	744.44	1734.26	5549.65	120
	Alt Başlık	444.72			
	Dikme ve Diyagonaller	545.10			
Kafes P 5	Üst Başlık	915.30	2026.53	6576.44	160
	Alt Başlık	582.23			
	Dikme ve Diyagonaller	529.00			
Kafes P 6	Üst Başlık	1202.09	2470.14	8084.76	200
	Alt Başlık	740.54			
	Dikme ve Diyagonaller	527.51			
Kafes P 7	Üst Başlık	1433.97	3209.74	10900.71	240
	Alt Başlık	1202.09			
	Dikme ve Diyagonaller	573.68			

Kafes P1 ve Kafes P2 için üst başlıklar 80x8/6, alt başlıklar 60x6/6 profil kesitleri ile sağlanmıştır. İki kafes tipindeki ağırlık farkı dikme ve diyagonal kesit ve uzunluklardaki değişiklik sebebiyle meydana gelmiş olup 1630.49 kg ağırlığındaki Kafes P2, 1715.78 kg ağırlığındaki Kafes P1'e oranla daha hafif bir çözüm oluşturmaktadır. Kafes P3 ve Kafes P4 için üst başlıklar 90x9/6, alt başlıklar 70x7/6 profil kesitlerine sahip olduğundan Kafes P1 ve Kafes P2'ye oranla ağırlıkları artmış, kendi aralarında değerlendirildiğinde ise dikme ve diyagonal profil ağırlıklarındaki fark sebebiyle 1734.26 kg ağırlıklı Kafes P4, 1836.38 kg ağırlıklı Kafes P3'e oranla daha hafif bir yapıya sahip olmuştur. Kafes P5, Kafes P6 ve Kafes P7'de üst ve alt başlık profil kalınlıkları giderek arttığından ağırlıklarında da buna paralel olarak bir artış görülmektedir. Kafes P5 için alt başlık 80x8/6, üst başlık 100x10/6, ağırlık 2026.53 kg; Kafes P6 için alt başlık 90x9/6; üst başlık 110x12/6, ağırlık 2470.14 kg; Kafes P7 için ise alt başlık 110x12/6; üst başlık 130x12/6, ağırlık 3209.74 kg'dır (Şekil 15). Maliyet açısından incelendiğinde ise Kafes P1 için 5490.49 TL, Kafes P2 için 5217.58 TL, Kafes P3 için 5876.42 TL, Kafes P4 için 5549.65 TL, Kafes P5 için 6576.44 TL, Kafes P6 için 8084.76 TL, Kafes P7 için 10900.71 TL maliyet hesaplanmıştır. Maliyet açısından en uygun sistemin 40 cm tavan yüksekliği kazandıran Kafes P2 olduğu saptanmıştır.



Şekil 15. Parabolik başlıklı kafesler için kazanılan yükseklik-ağırlık grafiği

C. YÜKSEKLİK KAZANCINA BAĞLI OLARAK AĞIRLIKLAR VE MALİYETLERDEKİ DEĞİŞİMLER

İki başlık tipine ait yükseklik kazancı olmayan kafes kirişler incelendiğinde, parabolik kafes tipinin trapez kafes tipine oranla %3,6 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir. 40 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde, parabolik kafes tipinin trapez kafes tipine oranla %10,7 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir. 80 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde, trapez kafes tipinin parabolik kafes tipine oranla %7,6 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir. 120 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde, parabolik kafes tipinin trapez kafes tipine oranla %16,1 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir. 160 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde, trapez kafes tipinin parabolik kafes tipine oranla %0,7 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir. 200 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde, parabolik kafes tipinin trapez kafes tipine oranla %6,6 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir. 240 cm yükseklik kazancı olan kafes kirişler incelendiğinde, trapez kafes tipinin parabolik kafes tipine oranla %2,0 daha hafif ve ekonomik bir sistem olduğu belirlenmiştir.

IV. SONUÇ

Trabzon İli Ortahisar İlçe sınırları içinde 30x48 m boyutlarında tasarlanan örnek sanayi yapısının çatı sistemi için; trapez ve parabolik başlık ile farklı kafes ve her kafes tipine ait 40 cm, 80 cm, 120 cm, 160 cm, 200 cm ve 240 cm yükseklik kazancı sağlayan 7 farklı kiriş şekli oluşturulmuştur.

Trapez başlık ve parabolik başlık tiplerinden oluşan ve yedi farklı tavan yüksekliğine ait düzlemsel kafes kirişler için ağırlık tablosu (Tablo 3) ve maliyet tablosu (Tablo 4) oluşturulmuştur. Her bir kafes tipine ait en uygun çözümü veren tavan yüksekliği * işareti ile gösterilirken, kazanılan yüksekliklere göre en uygun kafes tipinin gösterimi için koyu yazı tipi kullanılmıştır.

Tablo 3. İki kafes tipine ait ağırlık bilgileri

	Ağırlık (kg)	
	Trapez Başlık	Parabolik Başlık
Kazanılan Yükseklik (cm)	0	1777.44
	40	1804.71
	80	1704.27*
	120	2014.07
	160	2012.87
	200	2634.16
	240	3147.69
		1715.78
		1836.38
		1734.26
		2026.53
		2470.14
		3209.74

Tablo 4. Tüm kafes tiplerine ait maliyet bilgileri

	Trapez Başlık		Parabolik Başlık
	Maliyet (TL)		
Kazanılan Yükseklik (cm)	0	5687.81	5490.49
	40	5775.08	5217.58*
	80	5453.66*	5876.42
	120	6536.18	5549.65
	160	6532.33	6576.44
	200	8699.63	8084.76
	240	10680.51	10900.71

Trapez kafes tipine ait kafes sistemler incelendiğinde Kafes T 1 ve Kafes T 2'ye yakın sonuçlara sahip olmasına karşın ağırlık ve maliyet olarak Kafes T 3'ün en optimum çözüme sahip olduğu görülmektedir. Parabolik kafes tipinde Kafes P 1, Kafes P 2, Kafes P 3 ve Kafes P 4 ağırlık ve maliyetçe yakın değerlere sahip olup en optimum değerler Kafes P 2'de sağlanmıştır. 40 cm, 120 cm ve 200 cm yükseklikler için parabolik kafes tipi en uygun çözümü sunmaktadır. 80 cm, 160 cm ve 240 cm yükseklik kazancı istendiği durumlarda ise trapez başlık en uygun çözümü sunmaktadır. Kazanılan yüksekliğe göre en hafif ve ekonomik sistemi sağlayan başlık tipi değiştiğinden dolayı, tasarım aşamasında farklı başlık tipleri için çözümleme yapılarak başlık tipinin seçilmesinin maliyet açısından kullanıcılara avantaj sağlayacağı görülmüştür. Çelik sistemlerde, maliyeti belirleyen en önemli faktör ağırlıktır. Diğer bir deyişle giriş ne kadar hafifse o kadar ekonomik ne kadar ağırsa o kadar maliyeti yüksek olmaktadır.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Karaduman, *Çelik Yapılar*, 3. baskı, Ankara, Türkiye: Nobel Akademik Yayıncılık, 1999.
- [2] E. Erten, *Mimarlıkta Yapı-Yapım*, İstanbul, Türkiye: Birsen Yayınevi, 2012.
- [3] T. Dede, Y. Ayvaz ve S. Bekiroğlu, "Değer kodlaması kullanılarak uzay kafes sistemlerin genetik algoritma ile optimum tasarımı," *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, Türkiye, 2003.
- [4] Ç. Avcı, "Çok katlı bir yapının çelik ve kompozit çözümünün karşılaştırılması," 6. Çelik Yapılar Sempozyumu'nda sunuldu, Eskişehir, Türkiye, 2015.
- [5] M.S. Taştekin, N. Kara, ve M. Arslan, "Sanayi yapılarının maliyetinde etkin parametrelerin irdelenmesi," *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, c. 22, s. 4, ss. 29-37, 2007.
- [6] A. P. Amil, A. K. Kan, E. Karabüyük, ve M. Oltulu, "Betonarme ve çelik perde-çerçeve taşıyıcı sistemlerin davranış bakımından karşılaştırılması," 6. Çelik Yapılar Sempozyumu'nda sunuldu, Eskişehir, Türkiye, 2015.
- [7] H. Erdem, E. Aydın, ve M. Z. Demirlek, "Düzlem kafes taşıyıcı sistemlerin sıcaklık etkisi altında optimum tasarımı," 20. Ulusal Mekanik Kongresi'nde sunuldu, Bursa, Türkiye, 2017.
- [8] A. Kuşu ve K. Beyen, "Aynı koşullar altında tasarlanan 12 katlı çelik ve betonarme bir yapının TBDY 2018 esaslarına göre karşılaştırılması," *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, c. 2, s. 2, ss. 64-73, 2019.
- [9] A. Özyüksel Çiftçioğlu ve E. Doğan, "Çelik çerçevelerin stokastik yöntemler kullanılarak optimum boyutlandırılması," *Konya Mühendislik Bölümleri Dergisi*, c. 7, s. 4, ss. 847-861, 2019.

- [10] S. Sanciođlu and A. İlgün, “Determination of optimum frames in hangar type steel industry structures,” presented at International Conference on Science and Technology, Prizren, Kosovo, 2018.
- [11] S. Çarbaş ve O. Tunca, “Çarpılma etkisi altında soğuk şekillendirilmiş ince cidarlı çelik profillerin optimum tasarımı,” 8. Uluslararası Çelik Yapılar Sempozyumu’nda sunuldu, Konya, Türkiye, 2019.
- [12] H. Deren, H. E. Uzgider, ve F. Pirođlu, *Çelik Yapılar*, 1. baskı, İstanbul, Türkiye: Çađlayan Kitapevi, 2003.
- [13] *Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri*, Türk Standartları Enstitüsü TS 498, 1987.
- [14] LME Demir (2019, 30 Aralık). *Güncel Demir Fiyatlar* [Çevrimiçi]. Erişim: <https://www.lme.com.tr/kosebent-demir-fiyatlari.html>.