

KAFES TİPİ YELKAPAN KULELERİNİN RÜZGAR YÜKÜ ALTINDA MUKAVEMET ANALİZLERİ

Ercenk AKTAY (1)

1FİGES A.Ş, Makina Mühendisi

ÖZET

Bu çalışmada, 4 farklı kafes tipi yelkapan kulesi tasarımının, iki farklı yük koşulu altında mukavemet analizleri yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Çalışmanın amacı, kulelerde bazı noktalarda kiriş yerine halat kullanımı, ve kiriş ve halatların farklı dizilimleri yoluyla oluşturulan farklı tasarımların rüzgar yükü altında nasıl davrandığını ortaya çıkarmaktır. Rüzgar yükü 90 ve 45 derecelerden uygulanarak, farklı rüzgar yönlerine kulelerin verdiği tepkiler de gözlenmiştir. Modeller arasındaki karşılaştırma, modelin kirişleri üzerindeki gerilmelere bakarak yapılmıştır. Çalışma sonucunda, farklı tasarımlar arasında farklar ortaya çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kafes tipi yelkapan kulesi, kiriş eleman, kablo eleman, eksenel gerilme, serbestlik derecesi

STRENGTH ANALYSES OF FRAME TYPE WIND TURBINE TOWERS UNDER WIND LOADING

ABSTRACT

In this study, strength analyses of 4 different frame type wind turbine tower designs are performed and the results are compared. The aim of the study is to reveal the behaviors of different designs created by using ropes instead of beams and arranging the beams and ropes in a different manner. The responses of the towers to different wind load directions are also observed by applying the wind load in 90 and 45 degrees. The comparison between the models is based on the stresses in the beams of the model. As a result of the study, the differences between different designs are revealed.

Keywords: Frame type wind turbine tower, beam element, cable element, axial stress, degree of freedom

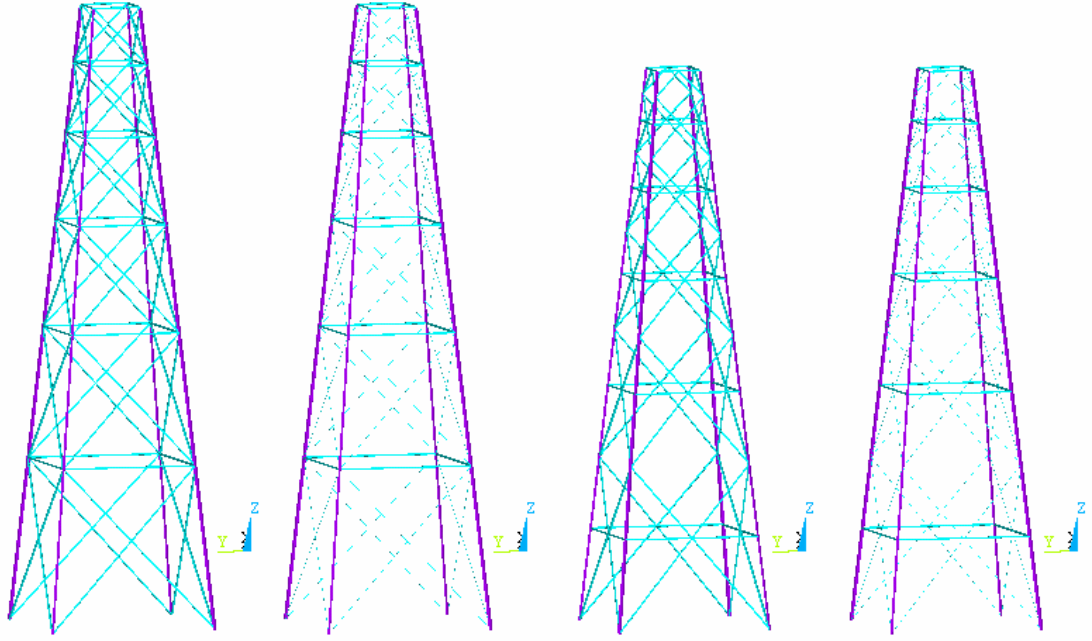
1. Giriş

Yelkapan kuleleri, kiriş ve çelik halatlar kullanılarak oluşturulabilen, kimi zaman fazlasıyla uzun olduğu için, hem taşıdığı ağırlıkların yüküne, hem de rüzgar yüküne dayanacak şekilde tasarlanması gereken yapılardır. Bu çalışmada da görüldüğü gibi, farklı tasarımlar, aynı yükler altında yelkapan kulelerinde deformasyon ve gerilmeler açısından çok farklı sonuçlara neden olabilmektedir.

2. Modeller

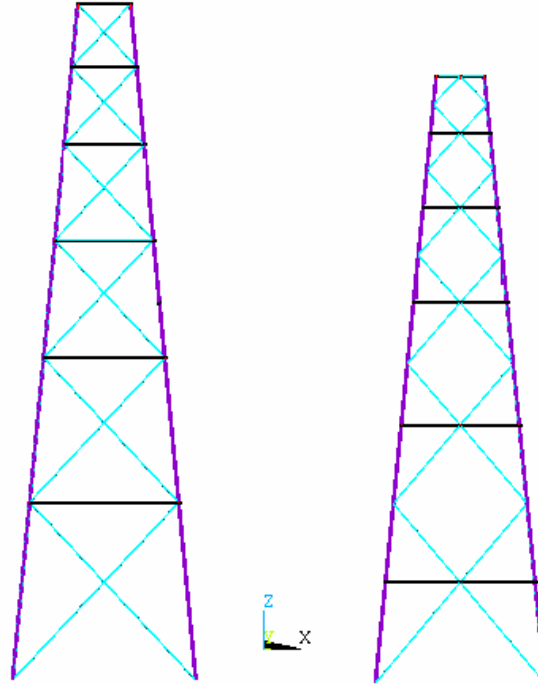
Çalışmada 4 farklı kule tasarımı ve bunların arasındaki farklar incelenmiştir. Tasarımlar, Şekil 1'de verilmiştir.

¹ FİGES A.Ş. ODTÜ Teknokent Gümüş Bloklar / Ankara-Türkiye



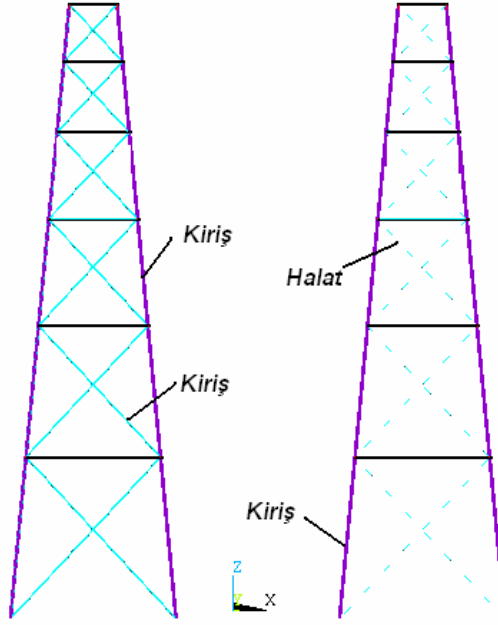
Şekil 1: Çalışmada incelenen 4 farklı yelkapan kulesi tasarımı

Şekil 1'de görülen uzun modeller 14.1, kısa modeller 12.7 m boya sahiptir. Uzun ve kısa modeller arasında önemli tasarım farkları da vardır. Bu farklar Şekil 2'de görülebilir.



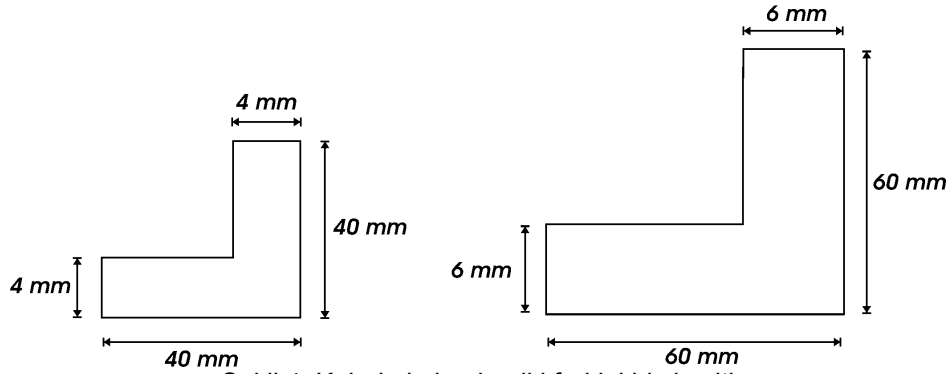
Şekil 2: Kısa ve uzun yelkapan kuleleri. Kirişler farklı dizilmiş

Aynı boydaki iki tasarım ise, birinde sadece kirişler, diğerinde ise kirişler ve halatlar kullanılmasıyla birbirinden ayrılmaktadır. (Şekil 3)



Şekil 3: Aynı boydaki iki farklı yelkapan kulesi tasarımı. Birinde bazı noktalarda kiriş yerine halatlar kullanılmış

Kulenin tavanından tabanına kadar inen ve dört ayağını oluşturan kirişler, kuledeki diğer kirişlerden farklı kesite sahiptir. Şekil 4'de, 4 temel kirişin ve diğer kirişlerin kesitleri verilmiştir.



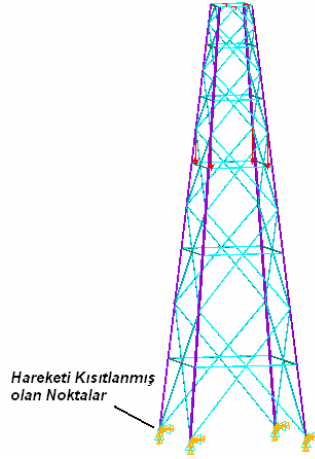
Şekil 4: Kulede kullanılan iki farklı kiriş kesiti

Kullanılan halatlar ise 8 mm çapa sahiptir. Kirişler ve halatlar yapısal çelik malzemenen üretilmiştir. Kirişler bağlantı noktalarında birbirine kaynatılmıştır.

3. Sonlu Elemanlar Modelleri

Sonlu elemanlar modelleri oluşturulurken kirişler kiriş elemanlarla, halatlar da kablo elemanlarıyla temsil edilmişlerdir. Kiriş elemanların düğüm noktalarının ötelenme ve dönme serbestlik dereceleri bulunur, böylece basma, çekme ve bükülme yüklerini taşıyabilirler. Kablo elemanlar ise sadece çekme yükünü taşıyabilirler, ve düğüm noktalarının sadece ötelenme serbestlik dereceleri bulunur.

Kirişler arasındaki kaynakların ve halatlarla kirişlerin bağlantılarının temsil edilebilmesi için tüm elemanların birbirlerine değdikleri noktalarda ortak düğüm noktalarını paylaşmaları sağlanmıştır. Kulenin ayaklarını oluşturan kirişlerin yer ile bağlantısı için ise yere değen düğüm noktalarının tüm serbestlik dereceleri engellenmiştir. (Şekil 5)



Şekil 5: Kulenin yere sabitlenen 4 düğüm noktası

4. Yükler

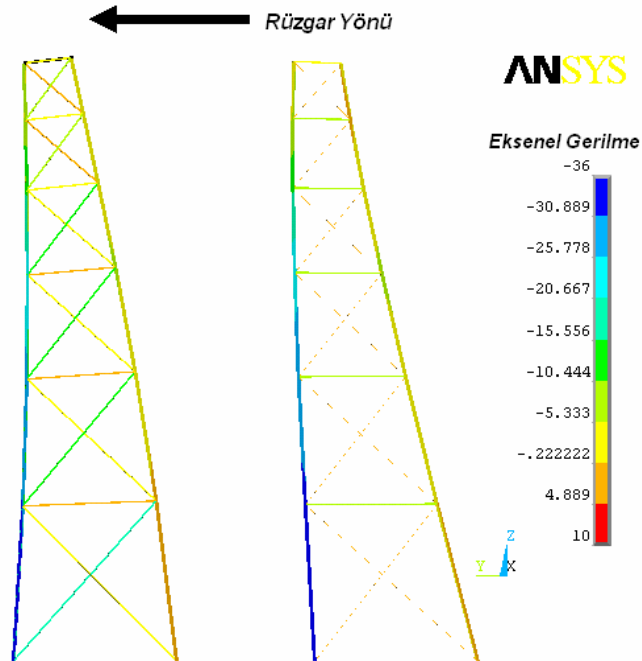
Kuleler kendi ağırlıkları, çeşitli noktalardan uygulanmış 3.5 ton ek yük ve rüzgar yükü altında test edilmiştir. Rüzgar yükü, iki farklı şekilde, kuleye Y yönünde veya XY yönünde etki edecek şekilde uygulanacaktır. Uygulanan yüklerin ayrıntıları proje raporunda bulunabilir.

5. Sonuçlar

Belirtilen modeller kulanılarak, belirtilen yükler altında farklı kule tasarımlarının performansları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma için giriş elemanların gördükleri aksenal gerilmeler dikkate alınmıştır.

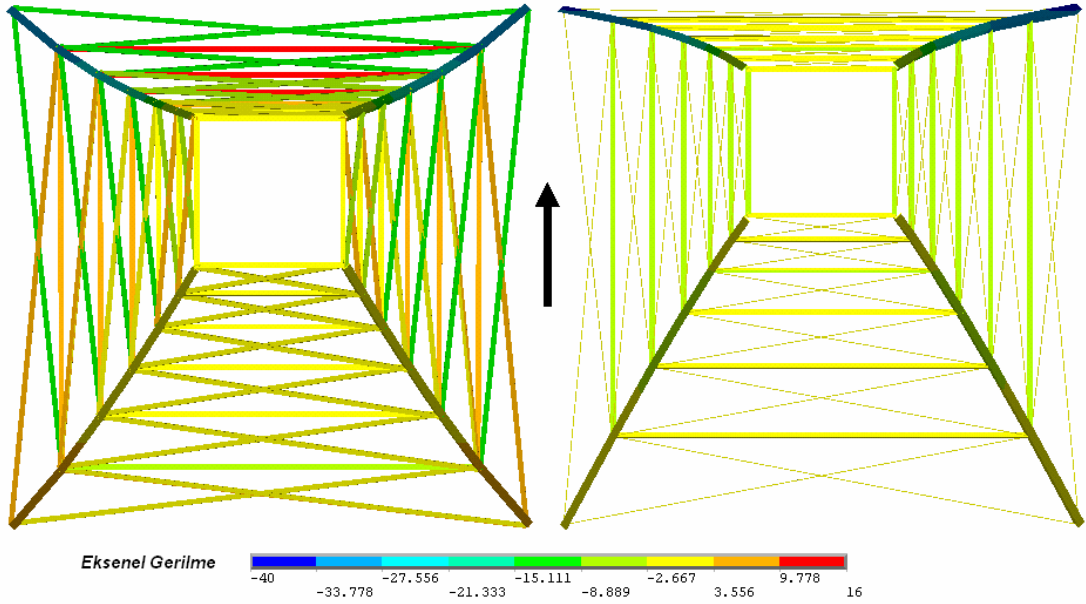
5.1. Uzun Kule Sonuçları

Şekil 6'da, iki farklı uzun kule tasarımı için aksenal gerilme sonuçları verilmiştir. Daha rahat görülebilmeleri için, yerdeğiştirmeler abartılarak verilmiştir.



Şekil 6: İki farklı uzun kule tasarımı için Y yönünde rüzgar yükü altında aksenal gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 100 kat abartılmış. Yandan görünüm.

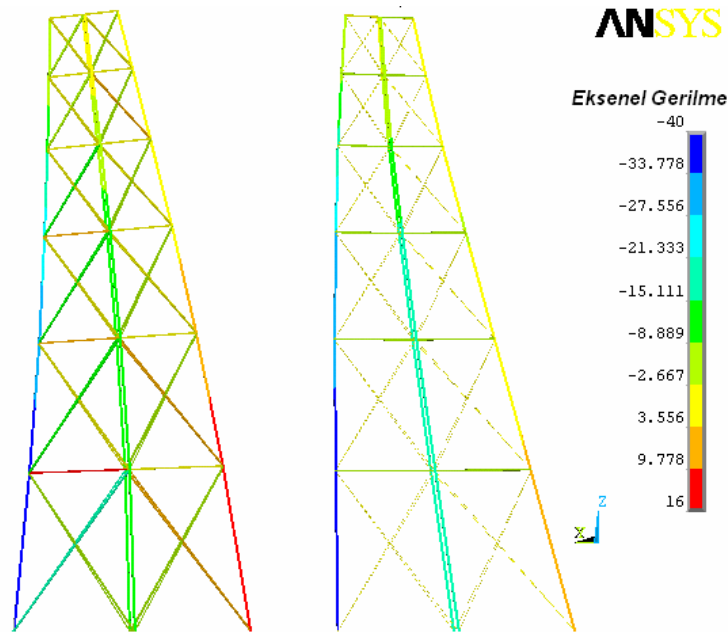
Şekil 7'de, aynı sonuçların üstten görünümü verilmiştir.



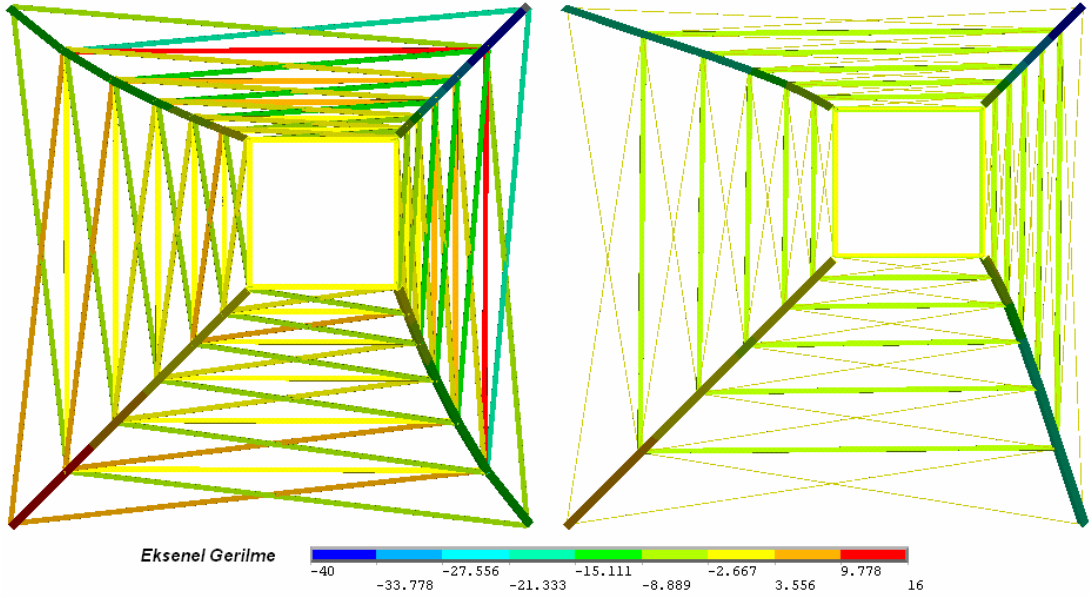
Şekil 7: İki farklı uzun kule tasarımı için Y yönünde rüzgar yükü altında aksel gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 100 kat abartılmış. Üstten görünüm.

Şekil 6 ve 7'den anlaşılacağı gibi, kulede bazı bağlantılarda kiriş yerine halatlardan yararlanılması, kulenin rüzgar karşısındaki tepkisini önemli ölçüde değiştirmektedir. Birbirinden çok farklı olan yerdeğiştirmeler, farklı gerilme dağılımlarına yol açmakta ve bunun sonucunda sadece kirişlerin kullanıldığı kulede daha düşük basma gerilmeleri, ancak daha yüksek çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Yine şekillerde görüldüğü gibi, yüksek basma gerilmeleri 4 ayağı oluşturan kirişlerde oluşurken, yüksek çekme gerilmeleri ara kirişlerdedir.

Şekil 8 ve 9, uzun kulelerde, XY yönünde rüzgar yükü altında oluşan gerilmeleri göstermektedir.



Şekil 8: İki farklı uzun kule tasarımı için XY yönünde rüzgar yükü altında aksel gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 100 kat abartılmış. Yandan görünüm.

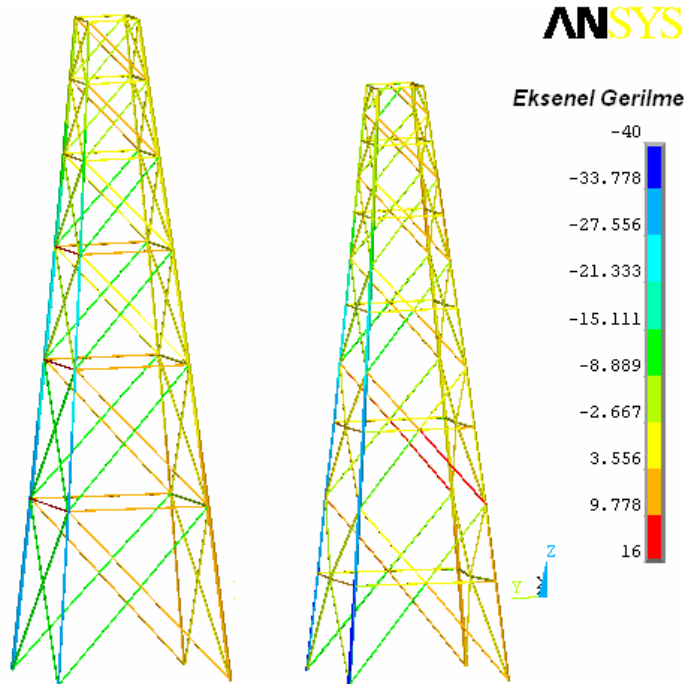


Şekil 9: İki farklı uzun kule tasarımı için XY yönünde rüzgar yükü altında eksenel gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 100 kat abartılmış. Üstten görünüm.

Şekillerde görüldüğü gibi, 45 derecelik rüzgar yükü altında da, kirişler yerine halatlar kullanılması deformasyonu önemli ölçüde etkilemekte, kirişli modelde kirişlerde yüksek çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olmaktadır. Basma gerilmeleri ise halatlı modelin ayak kirişlerinde daha yüksektir.

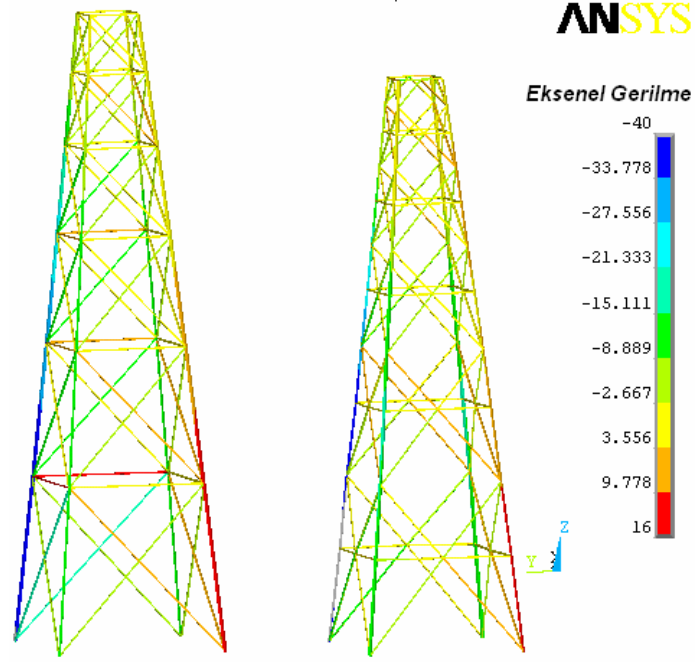
5.2. Uzun ve Kısa Kule Sonuçları

Uzun kule sonuçları ile kısa kule sonuçlarının karşılaştırılabileceği şekiller aşağıdadır.



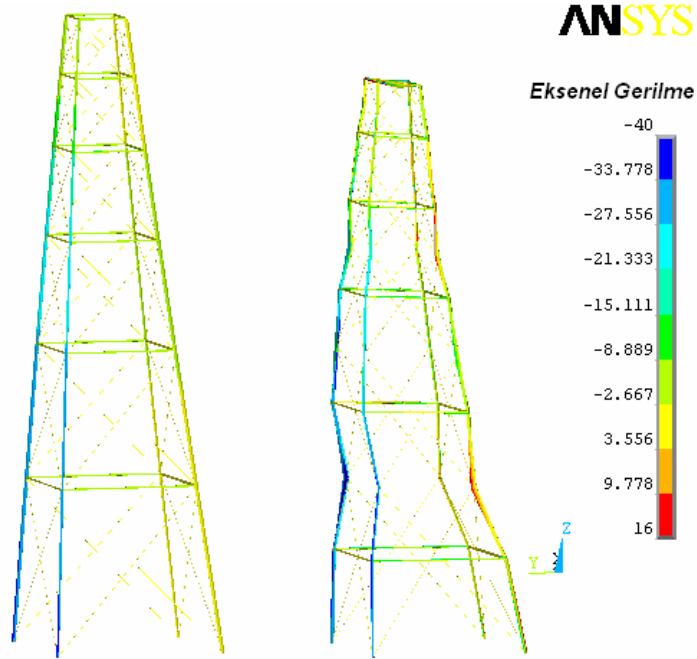
Şekil 10: Halatsız uzun ve kısa kule tasarımları için Y yönünde rüzgar yükü altında eksenel gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 15 kat abartılmış.

Şekil 10'da görülebileceği gibi, kısa kuledeki tasarım farklılıkları, Y yönündeki rüzgar yükü altında, uzun kuleye oranla kendisinde daha yüksek basma ve çekme gerilmelerinin oluşmasına neden olmaktadır.



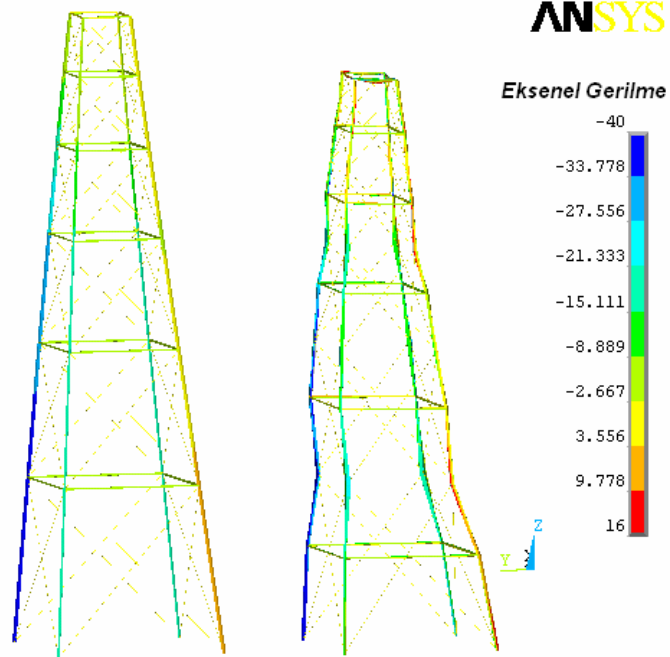
Şekil 11: Halatsız uzun ve kısa kule tasarımları için XY yönünde rüzgar yükü altında eksenel gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 15 kat abartılmış.

Şekil 11'de, kısa kulenin en solda görülen bacağına altındaki gri kısım, 40 MPa'dan daha büyük basma gerilmelerini temsil etmektedir. Dolayısıyla, kısa kule tasarımı basma gerilmeleri açısından uzun kuleye göre daha başarısızdır. Çekme gerilmeleri açısından ise daha iyi gözükmetedir.



Şekil 12: Halatlı uzun ve kısa kule tasarımları için Y yönünde rüzgar yükü altında eksenel gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 15 kat abartılmış.

Şekil 12'de de görüldüğü gibi, halatlı modelde uzun kule ile kısa kule arasındaki fark, halatsız modele göre çok daha fazladır. Y yönündeki rüzgar yükü altında, kısa kulede daha yüksek basma ve çekme gerilmeleri oluşmaktadır.

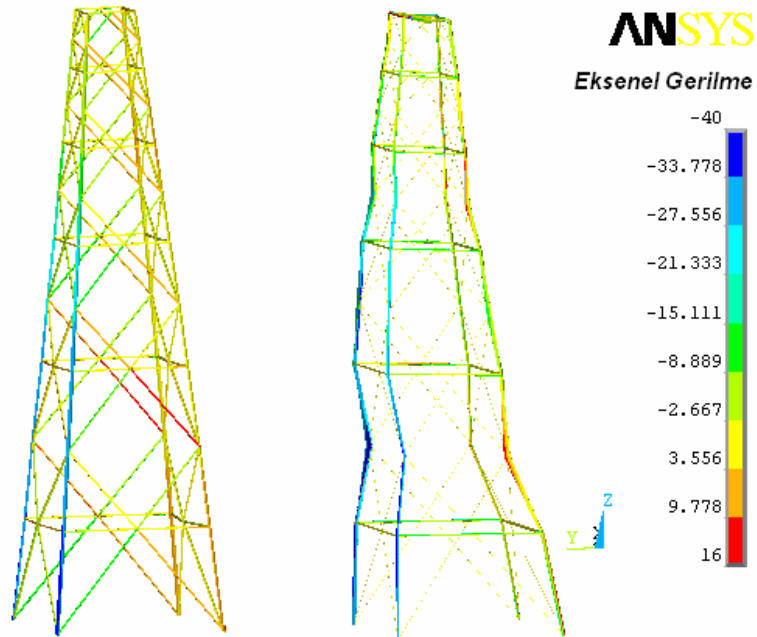


Şekil 13: Halatlı uzun ve kısa kule tasarımları için XY yönünde rüzgar yükü altında aksenal gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 15 kat abartılmış.

Şekil 13 de, Şekil 12 gibi halatlı modellerde kısa kule tasarımının kirişlerde daha yüksek basma ve çekme gerilmelerine yol açtığını göstermiştir.

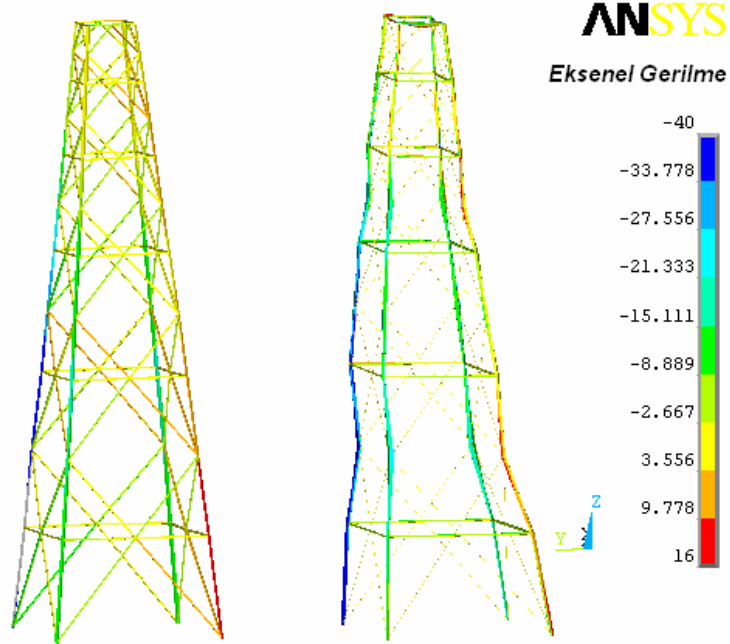
5.3. Kısa Kule Sonuçları

Kısa kulelerin kendi içindeki karşılaştırmalarını veren şekiller aşağıdadır.



Şekil 14: İki farklı kısa kule tasarımı için Y yönünde rüzgar yükü altında aksenal gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 15 kat abartılmış.

Şekil 14'de de görüldüğü gibi, kısa kulelerde kirişler, Y yönündeki rüzgar yükü altında, halatlı modellerde daha yüksek gerilmelere maruz kalmaktadır.



Şekil 15: İki farklı kısa kule tasarımı için XY yönünde rüzgar yükü altında aksenal gerilme sonuçları. Yerdeğiştirmeler 15 kat abartılmış.

Şekil 15'de de görüldüğü gibi, XY yönündeki rüzgar yükü altında, halatlı kule, halatsız kuleye göre daha yüksek basma ve çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır.

6. Sonuç

Tüm şekiller incelendiğinde görülmektedir ki, kısa kule tasarımı uzun kuleye, halatlı tasarım da halatsız kuleye karşı, kirişlerde meydana gelen aksenal gerilmeler açısından daha zayıftır. Halatlı model, kısa ve uzun kule arasındaki farkları, kısa model de halatlı ve halatsız modeller arasındaki farkları amplifiye etmektedir.

Karşılaşılan aksenal gerilmelerin büyüklüğüne bakarak, kirişlerin akma sorunuyla karşılaşmayacağı öngörülebilir. Ancak bunun için kirişlerde oluşan azami eşdeğer gerilmelere de bakılması gerekir. Ayrıca bir sonraki adım olarak, elde edilen sonuçlarla kirişlerin yorulma analizlerinin yapılması önerilebilir.