

Kablo Çatı Yapılarının Tasarım İlkeleri, Avantajları ve Dezavantajları

İsmail Ağa Gönül

Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
ismail@dicle.edu.tr
ORCID: 0000-0002-9833-7140

Hatice Çiçek

Dicle Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü
agagonul@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3271-1854

ÖZET

Kablolar köprülerde çok eskiden beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kabloların bina çatılarında kullanılması ise daha yenidir. Kablo çatı yapıları birçok açıdan ilgi çekici olmasına rağmen yaygın olarak inşa edilmemiştir. Bunun nedenlerinden biri de mimar ve mühendisler tarafından yeterince bilinmemesidir. Kablo çatı yapılarının, kagir birimler, betonarme veya çelikten yapılan geleneksel çatı yapılarından farklı yük taşıma prensipleri ve kendine özgü tasarım ilkeleri vardır. Bu çalışmada bu tasarım ilkeleri genel düzeyde ve örnek uygulamalar verilerek açıklanmıştır. Çalışma, kabloların çatı yüzeylerinin oluşturulması ve taşınmasında kullanıldığı kablo çatı yapıları ile sınırlandırılmıştır. Daha sonra kablo çatı yapılarının avantajlı ve dezavantajlı yönleri tartışılmıştır. Dezavantajlı yönlerine göre avantajlı yönlerinin daha fazla ve değerli olması nedeniyle kablo çatı yapılarının iyi bir yapısal seçenek olduğu ve etkileyici formlar ile özgür mimari tasarım fırsatları yaratılmasında yenilikçi çözümler sunabileceği sonucuna varılmıştır. 20. ve 21. yüzyılda mimarların ve mühendislerin ilgisini çeken kablo çatı yapılarının gelecekte daha fazla bir tanınma ve uygulama alanı bulacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kablo yapıları, Kablo çatı yapıları, Kablo çatı yapılarının tasarım ilkeleri, Kablo çatı yapılarının avantajları ve dezavantajları

Design Principles, Advantages and Disadvantages of Cable Roof Structures

ABSTRACT

Cables have been widely used in bridges since ancient times. The use of cables on building roofs is more recent. Although cable roof structures are interesting in many respects, they have not been widely constructed. One of the reasons for this is that it is not well known by architects and engineers. Cable roof structures have different load-bearing principles and unique design principles than traditional roof structures made of masonry units, reinforced concrete or steel. In this study, these design principles are explained at a general level and by giving example applications. The study is limited to cable roof structures where cables are used to create and carry roof surfaces. Then, the advantages and disadvantages of cable roof structures are discussed. It has been concluded that cable roof structures are a good structural option because their advantages are more numerous and valuable than their disadvantages and can offer innovative solutions in creating free architectural design opportunities with impressive forms. It is thought that cable roof structures, which attracted the attention of architects and engineers in the 20th and 21st centuries, will find greater recognition and application in the future.

Keywords: Cable structures, Cable roof structures, Design principles of cable roof structures, Advantages and disadvantages of cable roof structures

1. GİRİŞ

Krishna'ya göre bir kablo yapısı, bir kablonun veya bir kablo sisteminin ön germeli ve

başlıca yük taşıyan yapısal eleman olarak kullanıldığı bir yapı olarak tanımlanabilir (Wang vd., 2018).

Kagir birimler, betonarme veya çelikten yapılan geleneksel yapıların yük taşıma prensipleri açısından iki ana karakteristik özelliği vardır: ağırlıkları ve eğilme rijitlikleri. Bu tür yapılar bu özellikleri yardımıyla ayakta dururlar ve yük taşırlar. Kablo yapıları ise ağırlığı oldukça düşük olan esnek kablolar ile oluşturulurlar. Bu nedenle, bu tür yapılarda geleneksel yapıların ayakta durmasını sağlayan ağırlık ve eğilme rijitliği bulunmamaktadır. Kabloların ana karakteristik özelliği ise çekme dayanımlarının çok yüksek olmasıdır. Bu bağlamda, kablo yapıları üzerlerine etkiyen yükleri çekmeye çalıştırılarak taşırlar (Dansik ve Şahin, 2015).

Kablo yapılarının yapım tarihi boyunca çok farklı düzenlemeler ve tipolojiler denenmiştir. Bir şey yeni olduğunda, gelişimin erken aşamalarında her zaman bazı farklı biçimsel ve malzeme ile ilgili denemeler olur. Sonuçta, yalnızca ekonomik, estetik, işlevsel vb. yönlerden en avantajlı sistemler kalır ve uygulanmaya devam eder (González Quelle, 2009). Kablolar köprülerde çok eskiden beri yaygın olarak kullanılmaktadır. Kabloların bina çatılarında kullanılması ise daha yenidir. İlk kablo çatı yapısı, 1896 yılında Rusya'da düzenlenen bir sergide inşa edilen asma çatılı dört pavyondan oluşuyordu ve ardından 1930'lu yıllarda birkaç küçük kablo çatı yapısı inşa edildi. Kablo çatı yapılarının geliştirilmesi 1950'li yıllardan 1960'lı yılların başına kadar ABD ve Almanya'da gerçekleştirilmiştir (Hamdy vd., 2018).

Kablo çatı yapıları birçok açıdan ilgi çekici olmasına rağmen yaygın olarak inşa edilmemiştir. Bunun en büyük nedeni muhtemelen geleneksel yapılara göre analizlerinin daha zor olmasıdır. Analizlerinin ilk adımı geometrinin tanımlanmasıdır (form bulma). Başlangıç denge probleminin çözümünde kullanılan yöntemlerin çoğu genel analiz programlarında yer almamakta ve tüm mimar ve mühendisler tarafından bilinmemektedir (González Quelle, 2009).

Bu çalışmada, kablo çatı yapılarının tasarım ilkeleri ile avantajlı ve dezavantajlı yönleri tartışılmıştır. Çalışma, kabloların çatı yüzeylerinin oluşturulması ve taşınmasında kullanıldığı kablo çatı yapıları ile sınırlandırılmıştır. Bu çalışmanın özellikle konuyla ilgili mimarlar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

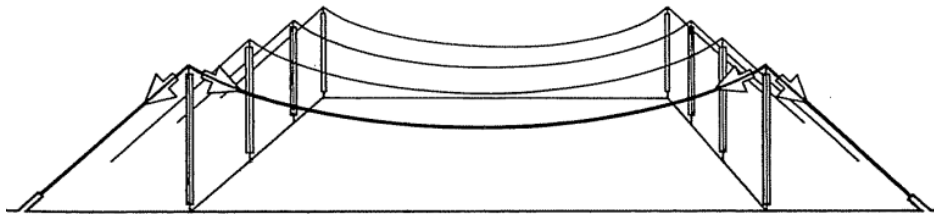
2. KABLO ÇATI YAPILARININ TASARIM İLKELERİ

Kablo çatı yapılarının tasarım ilkeleri şu üç ana başlık altında ele alınmıştır:

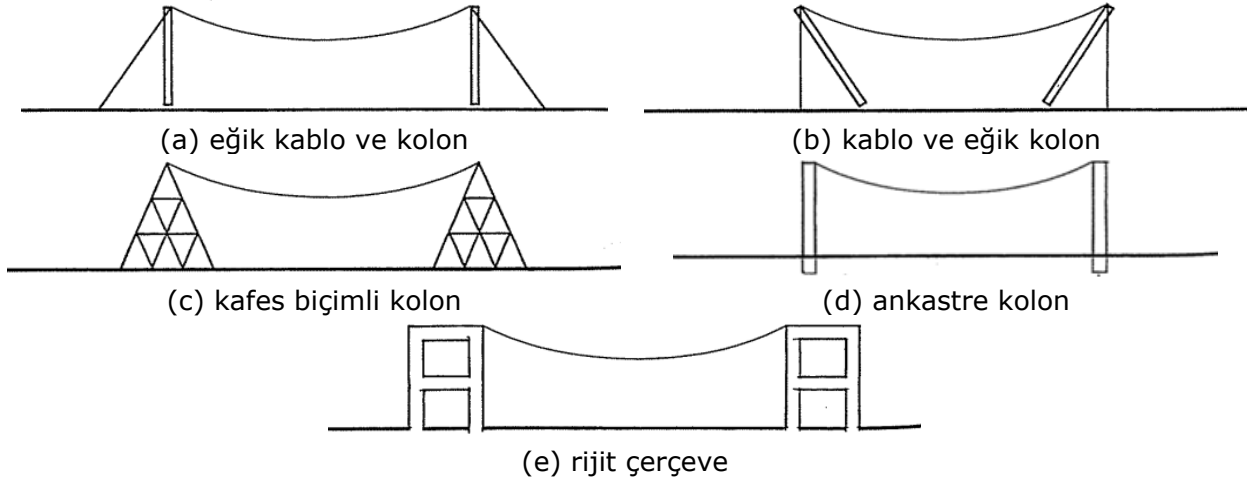
- Paralel düzenli kablo çatı yapılarının tasarım ilkeleri
- Radyal düzenli kablo çatı yapılarının tasarım ilkeleri
- Kablo ağı çatı yapılarının tasarım ilkeleri

2.1. Paralel Düzenli Kablo Çatı Yapılarının Tasarım İlkeleri

Paralel düzenli kablo çatı yapılarında, yük, birbirlerine paralel düzenlenen askı kabloları aracılığıyla mesnetlere iletilir. Mesnetlerin durumuna bağlı olarak askı kablolarının zemine de tutturulmaları gerekebilir (Şekil 1 ve 2).

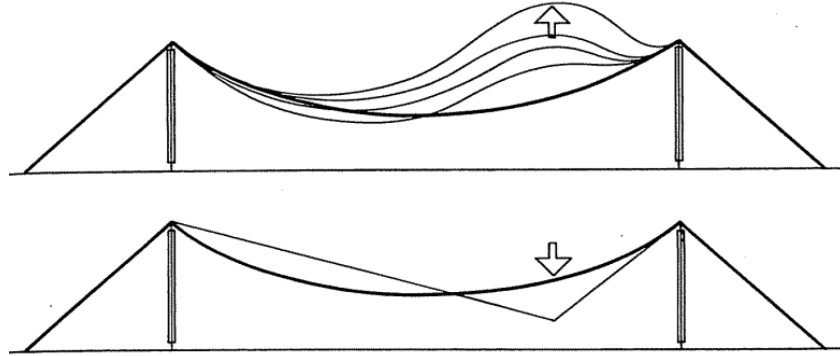


Şekil 1. Birbirlerine paralel düzenlenen askı kabloları (Engel, 2013)



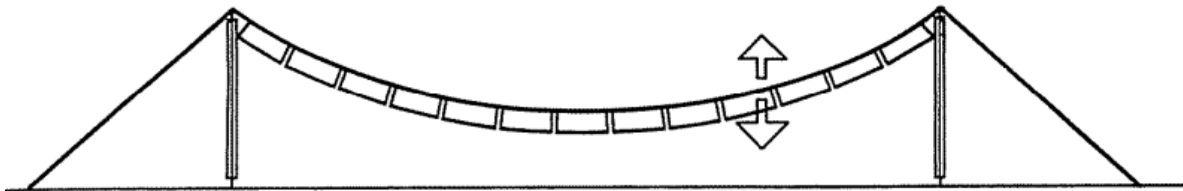
Şekil 2. Askı kabloları için farklı mesnet düzenlemeleri (Engel, 2013)

Askı kabloları, mesnetler arasında serbestçe gerilirler ve bir sehim formu oluştururlar. Şekil 3’de görüldüğü gibi geçtikleri açıklıklara göre oldukça düşük olan öz ağırlıkları ve esneklikleri nedeniyle askı kabloları rüzgârın kaldırma gücüne, titreşimlere, asimetrik ve hareketli yüklere çok duyarlıdır (Engel, 2013). Bu nedenle askı kablolarının stabil kalması sağlanmalıdır.



Şekil 3. Askı kablolarının kritik yer değiştirmeleri (Engel, 2013)

Çatıda ağır bir örtü (prefabrike betonarme plaklar gibi) kullanmak askı kablolarının stabil kalmasını sağlayabilir (Şekil 4). Ancak, askı kablolarının stabil kalmasını sağlamak için ağır bir örtü kullanmak çatıya ilave yükler getireceği için her zaman çok efektif bir çözüm olmayabilir.



Şekil 4. Askı kablolarının ağır bir örtü ile stabilizasyonu (Engel, 2013)

Eero Saarinen tarafından tasarlanan Dulles Uluslararası Havalimanı binasının çatısında böyle bir uygulamaya gidilmiştir (Şekil 5 ve 6). Dulles Uluslararası Havalimanı binası, dışa doğru eğimli beton ayaklara bağlı büyük bir yatık kirişe asılı kabloları olan bir çatıya sahiptir. Saarinen bunu "beton ağaçlar arasında asılı duran devasa, kesintisiz bir hamak" olarak tanımlamıştır (Şekil 7).



Şekil 5. Dulles Uluslararası Havalimanı binası dıştan görünüş (URL-1)



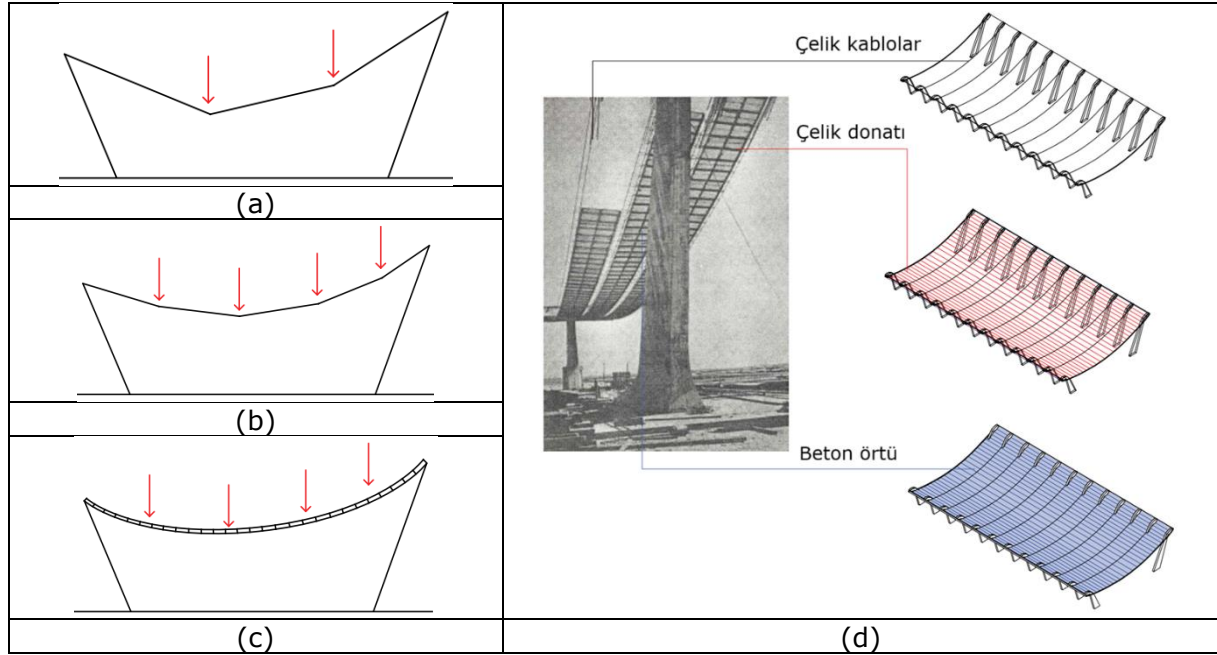
Şekil 6. Dulles Uluslararası Havalimanı binası içten görünüş (URL-1)



Şekil 7. Dulles Uluslararası Havalimanı binasının çatı inşaatı (URL-1)

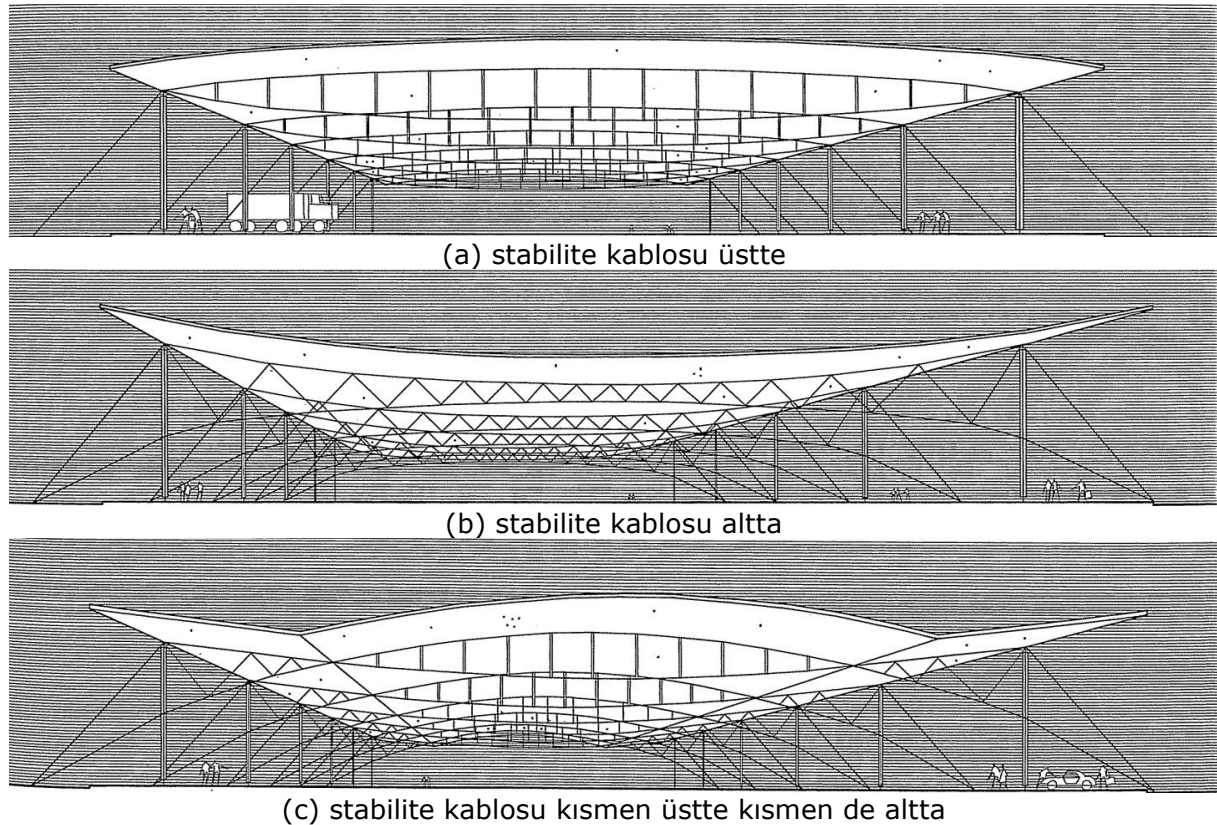
Askı kablosu gövdesine uygulanan kuvvete göre şekillenmektedir. Bunun nedeni, yalnızca düşey yük taşıyan herhangi bir askı kablosunun uzunluğu boyunca kuvvetin yatay bileşeninin sabit bulunması ve dolayısıyla formunun düşey kuvvetlere tepki olarak şekillenmesidir (Şekil 8.a). Dulles Uluslararası Havalimanı binasında zarif bir katener biçiminin, çatıda yükün askı kabloları üzerinde daha küçük aralıklarla dağıtılmasıyla elde edilebileceği öngörülmüştür. Bu, her bölmedeki askı kablolarını birbirine bağlayan çelik donatılar uygulanarak sağlanmıştır (Şekil 8.b). Eşit bir yüklemeyi sağlamak amacıyla, askı

kablolarına homojen yüklemeyi sağlayacak şekilde beton örtü kullanılmıştır. Kalınlığı 20 cm olan plak, askı kablolarına tüm açıklık boyunca kendi ağırlığını vererek düzgün bir zincir yapısı oluşturmuştur (Şekil 8.c), (University of Maryland, 2021).

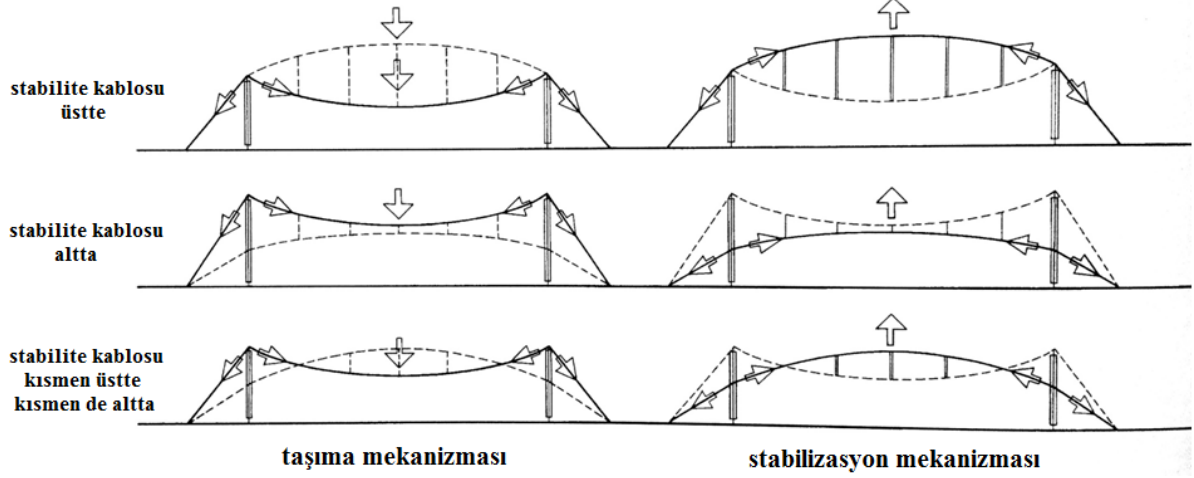


Şekil 8. Dulles Uluslararası Havalimanı binasının çatı kurgusu (University of Maryland, 2021)

Askı kablolarının üstünde, altında ya da kısmen üstünde kısmen de altında kalacak şekilde stabilize kabloları düzenlenmesi ile de askı kablolarının stabilitesi sağlanabilir (Şekil 9 ve 10).

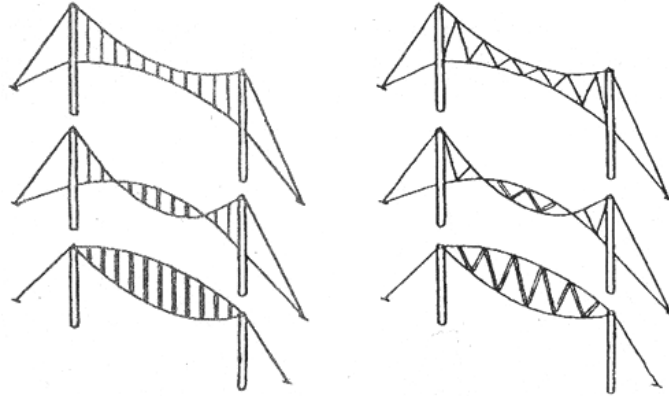


Şekil 9. Askı kablolarının (sehim formundaki kablolar) stabilite kabloları (kemer formundaki kablolar) ile stabilizasyonu (Engel, 2013)



Şekil 10. Stabilite kablosunun pozisyonuna göre taşıma ve stabilizasyon mekanizmaları (Engel, 2013)

Askı ile stabilite kablolarını bağlayan kablolar veya çubuklar farklı şekillerde düzenlenebilirler (Şekil 11).



Şekil 11. Askı ile stabilite kablolarını bağlayan kablolar veya çubukların birbirlerine paralel ya da diyagonal olacak şekilde düzenlenmesi (Girgin, 2017)

Stabilite kabloları ile askı kablolarının stabil hale getirilmesi sonucunda hafif bir çatı örtüsü kullanılması artık sakınca oluşturmaz (Şekil 12). Ağır bir örtü ile stabilite sağlanan paralel düzenli kablo çatı yapılarında ağırlık 170-200 kg/m² iken, stabilite kabloları ile stabilite sağlanan paralel düzenli kablo çatı yapılarında bu değer 40-60 kg/m²'ye düşmektedir (Girgin, 2017).



Şekil 12. Stabilite kabloları ile askı kablolarının stabil hale getirilmesi sonucunda hafif bir çatı örtüsü kullanılabildiği (Girgin, 2017)

Orlando Uluslararası Havalimanı binasının çatısında, çelik kafes kirişler arasında uzanan bu

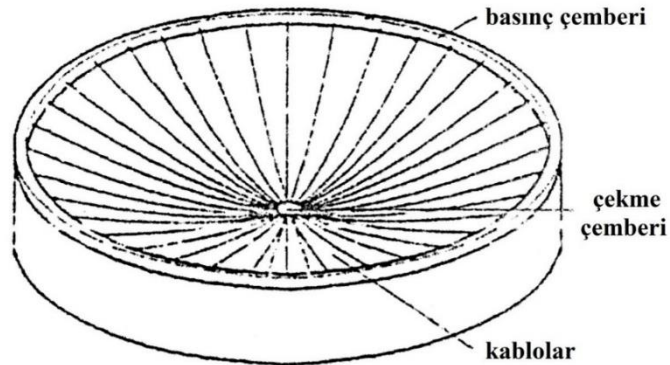
tür bir kablo yapısı kullanılmıştır. Çatının ışıklık olarak kullanılan bu kısımları, askı ile stabilize kabloları, bu kablolar arasında birbirlerine paralel düzenlenen çubuklar ve bir cam örtü ile oluşturulmuştur (Şekil 13).



Şekil 13. Orlando Uluslararası Havalimanı binasının çatısından bir görünüş (URL-2)

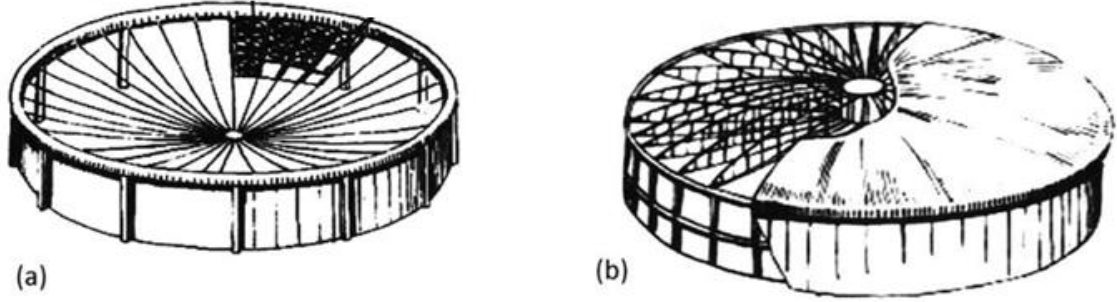
2.2. Radyal Düzenli Kablo Çatı Yapılarının Tasarım İlkeleri

En basit radyal düzenli kablo çatı yapılarında, biri dışta basınç çemberi olarak, diğeri içte çekme çemberi olarak çalışan iki çember arasında radyal düzenli (bisiklet tekerleğine benzer) asılı kablolar bulunur (Şekil 14).



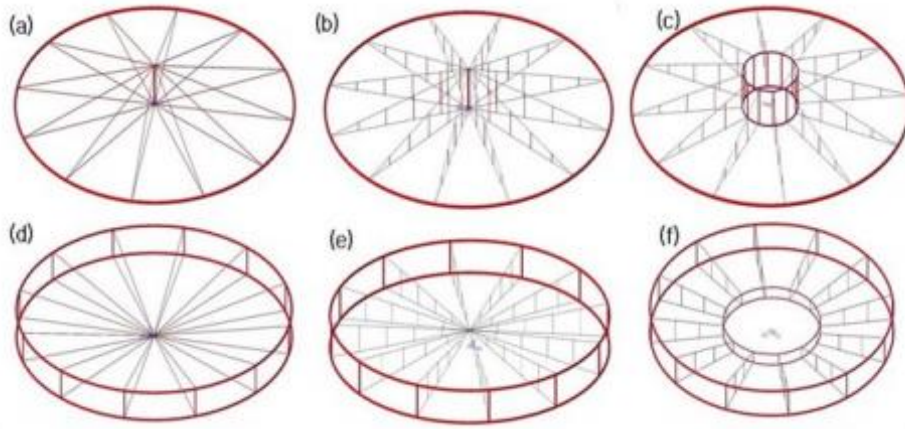
Şekil 14. En basit radyal düzenli kablo çatı yapısı (Girgin, 2017)

Bu tür kablo çatı yapılarının stabilitesi için de paralel düzenli kablo çatı yapılarında bahsedilen stabilizasyon yöntemleri kullanılabilir (Şekil 15).



Şekil 15. Radyal düzenli kablo çatı yapılarının stabilizasyonu
(a) ağır bir çatı örtüsü ile (b) stabilite kabloları ile (Kim, 2017)

Radyal düzenli kablo çatı yapılarında çekme çemberinin yerine çubuk elemanlar da kullanılabilir (Şekil 16 a ve b).

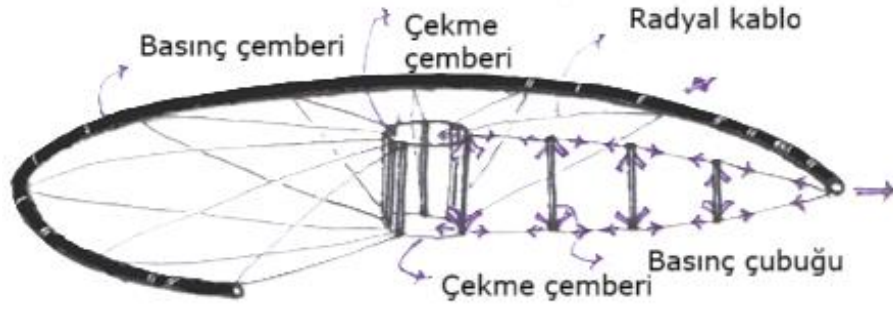


Şekil 16. Radyal düzenli kablo çatı yapılarında taşıyıcı elemanların farklı düzenlemeleri
(Park vd., 2017)

Çok amaçlı spor ve etkinlik alanı olarak kullanılan The Adirondack Bank Center binasının radyal düzenli bir kablo çatı yapısı vardır (Şekil 17, 18 ve 19). Esche'ye göre, binanın baş mühendisi olan Zetlin'in acil görevi, mümkün olduğunca hafif bir çatı yapısı oluşturmaktır çünkü binanın arsası eski Erie Kanalı boyunca doldurulmuş bir arazide bulunuyordu ve toprak basınç testleri, ağır bir binayı tolere edemeyeceğini gösteriyordu. Zetlin, dünyanın ilk öngerilmeli, çift kablolu çatı sistemi olan radikal bir tasarım ortaya koydu (Business View Magazine, 2018).



Şekil 17. The Adirondack Bank Center binası dıştan görünüş (URL-3)



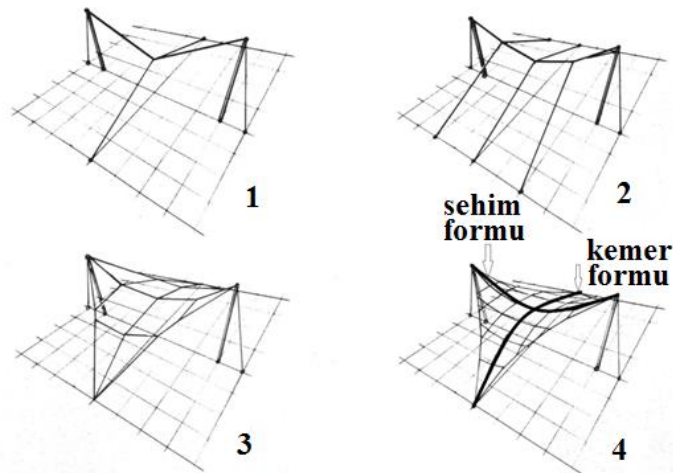
Şekil 18. The Adirondack Bank Center binasının çatı kurgusu (Sābetghadam, 2019)



Şekil 19. The Adirondack Bank Center binası içten görünüş (URL-4)

2.3. Kablo Ağı Çatı Yapılarının Tasarım İlkeleri

Kablolar ile bir ağı oluşturma adımları Şekil 20’de verilmiştir. Şekilde sehim ve kemer formu kabloların birbirine dik şekilde bağlandığı açıkça görülmektedir. Kablolar ortogonal pozisyonları ve birbirlerine göre tam zıt formları ile birbirlerine öngerme uygulamakta ve stabiliteyi sağlamaktadır (Dansık ve Şahin, 2015).

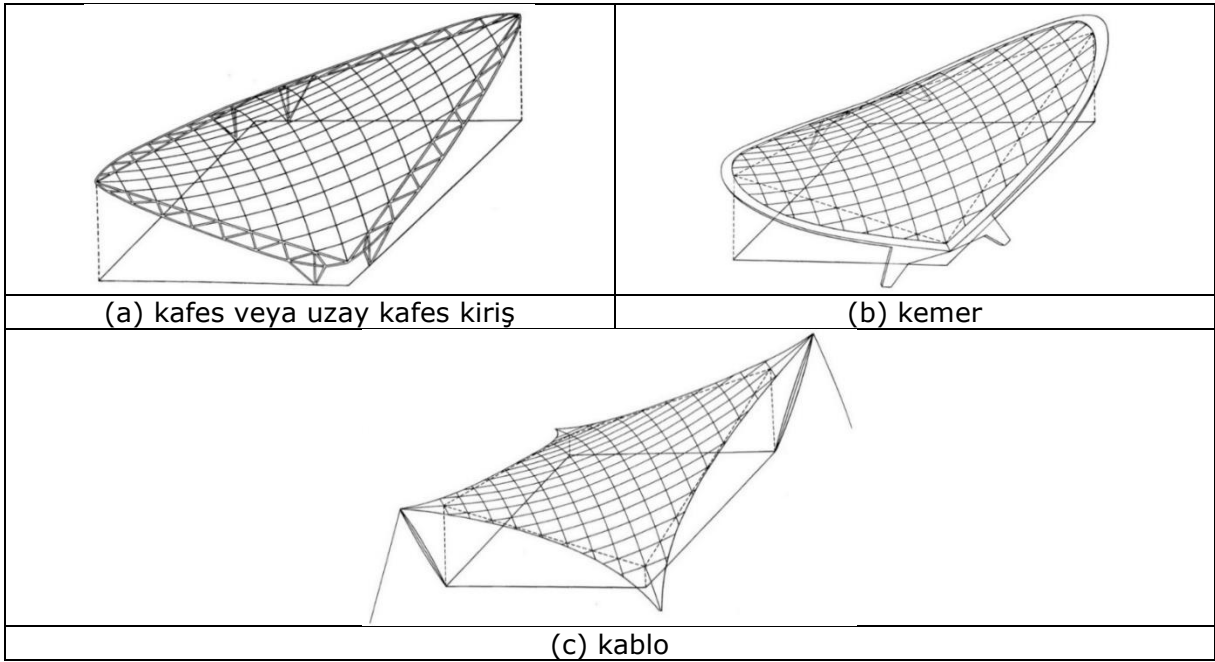


Şekil 20. Kablolar ile bir ağı oluşturma adımları (Dansık ve Şahin, 2015)

Germe yapıların stabil kalabilmesi için yüzeyini tanımlayan eğrilerden biri sehim formundayken diğeri kemer formunda olmalıdır. Daha net bir anlatımla; germe yapıların

formları rastgele seçilemez. Kablolar yüzey eğrileri doğrultusunda olmalı, bir yöndeki kablo diğer yöndekine bir öngerme etkisi uygulamalı ve bu şekilde stabilite sağlanmalıdır. Stabilite sağlandıktan sonra kablo ağı yapısı, üzerine gelen yüklerin doğrultusuna bağlı olarak şekil değiştirecek ve yeni bir gerilme dağılımı oluşacaktır. Kar gibi yerçekimi yönündeki etki altında sehim kabloları gerilirken kemer kabloları boşalacaktır. Rüzgârın kaldırma etkisi altında ise kemer kabloları gerilirken sehim kabloları boşalacaktır (Dansık ve Şahin, 2015).

Hiperbolik paraboloid, bu bağlamda kablo ağı için stabil bir formdur. Hiperbolik paraboloid biçimli çatıların kablo ağı yapısı, birbirlerine dik pozisyonda ve tam zıt formda düzenlenecek kabloların, çatı kenarlarında yer alacak kafes kiriş, kemer gibi farklı mesnetlere tutturulması ile oluşturulabilir (Şekil 21). Mesnet olarak, zemin ve kolonlar da kullanılabilir. Kablolar, mesnetler arasına tek tek ya da bir ağ şeklinde asılabilirler.

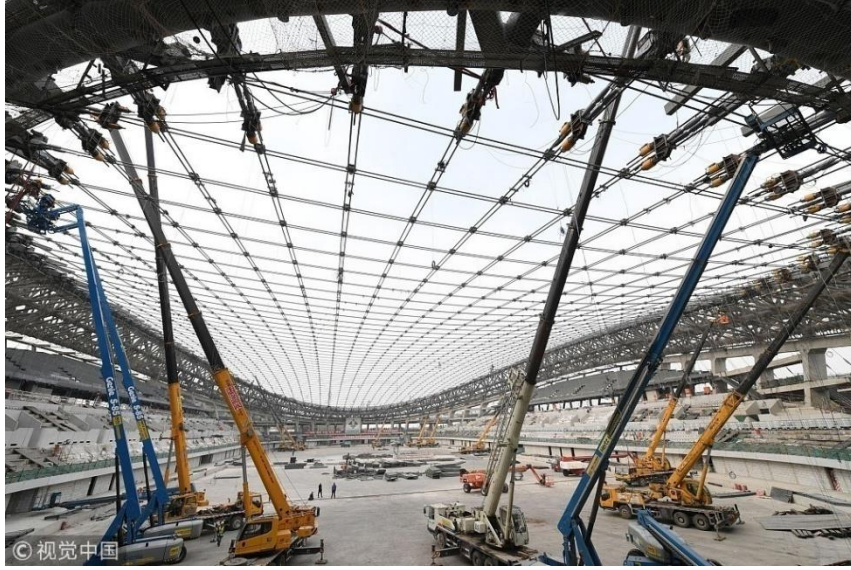


Şekil 21. Hiperbolik paraboloid biçimli çatıların kablo ağı yapısı için kenar mesnetleri (Engel, 2013)

National Speed Skating Oval (NSSO) binasının çatısında, kablo ağı kenarlarda düzenlenen uzay kafes kirişlere tutturulmuştur (Şekil 22 ve 23). Pekin için bir yeni simge yapı olarak tasarlanan bina, 2022 Pekin Kış Olimpiyatları hız pateni yarışmalarının ana mekânıydı.



Şekil 22. National Speed Skating Oval (NSSO) binasının çatısı- Kablo ağının, kenarlarda düzenlenen uzay kafes kirişlere tutturulduğu bir hiperbolik paraboloid çatı örneği (URL-5)



Şekil 23. National Speed Skating Oval (NSSO) binasının çatısı- Kablo ağı (URL-6)

Lee Valley Velodromunun çatısında da kablo ağı kenarlarda düzenlenen uzay kafes kirişlere tutturulmuştur (Şekil 24, 25 ve 26). Binanın tasarımcılarına göre, geleneksel bir çatıdan %27 daha az çelik gerektiren kablo ağı çatı yapısıyla hem maliyet hem de gömülü karbon emisyonları azaltılmıştır (URL-7).



Şekil 24. Lee Valley Velodromunun çatısı- Kablo ağının, kenarlarda düzenlenen uzay kafes kirişlere tutturulduğu bir hiperbolik parabolit çatı örneği (URL-8)

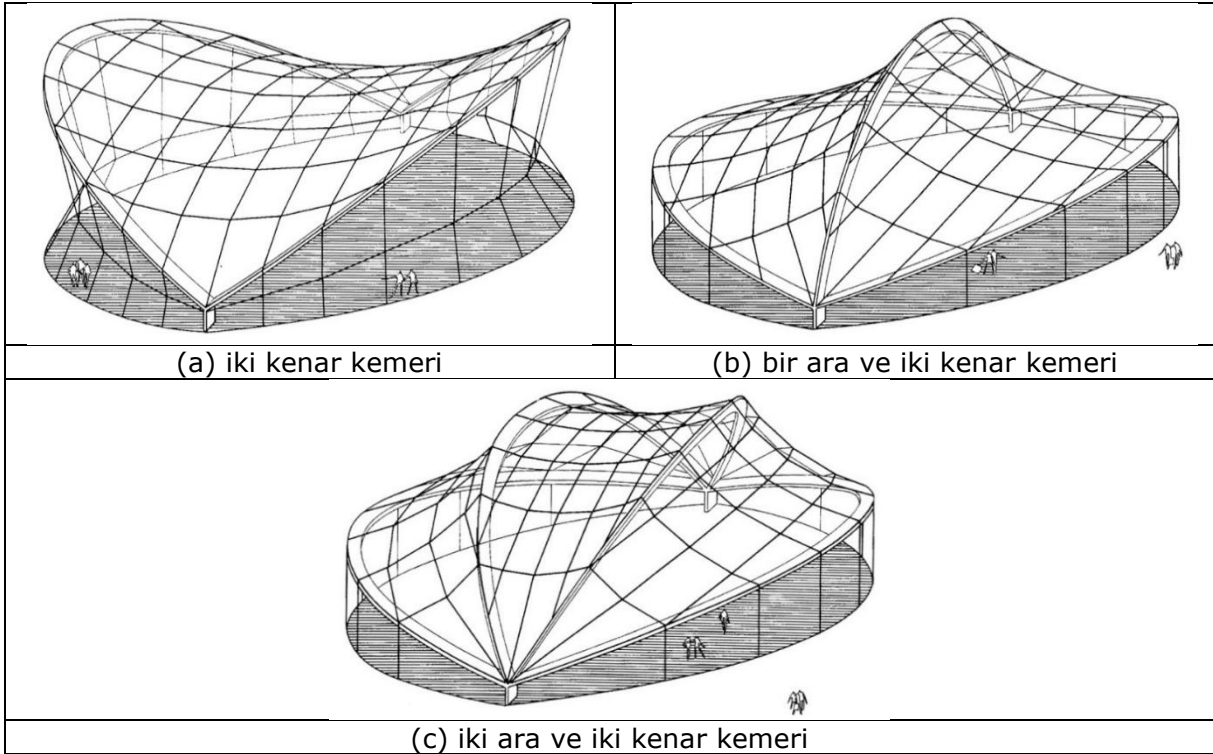


Şekil 25. Lee Valley Velodromunun çatısı- Kablo ağı yapım aşaması (URL-8)



Şekil 26. Lee Valley Velodromunun çatısı- Kablo ağı (URL-8)

Kablo ağının kemer şeklindeki mesnetleri farklı şekillerde düzenlenebilirler (Şekil 27).



Şekil 27. Kablo ağının kemer şeklindeki mesnetlerinin farklı düzenlemeleri (Engel, 2013)

J.S. Dorton Arena'da kablo ağı iki kenar kemere tutturulmuştur (Şekil 28, 29 ve 30). Mimarlar William Deitrick, Matthew Nowicki ve mühendis Fred Severud tarafından tasarlanan J.S. Dorton Arena, sıklıkla ilk modern, büyük ölçekli, kablo ağı yapısı olarak anılır. Ünlü eyer şeklindeki (hiperbolik paraboloid) çatı, yukarı doğru kıvrılan bir dizi kablunun, aşağı doğru kıvrılan dikey kablolarla kesişmesinden oluşur. Bu yapının, Frei Otto'nun öğrenciyken Severud'un New York ofisini ziyaret etmesinin ardından kablo ağı yapıları üzerine çalışmaya başlamasına ilham verdiği söylenir (Fang, 2009).



Şekil 28. J.S. Dorton Arena binasının çatısı- Kablo ağının iki kenar kemere tutturulduğu bir hiperbolik parabolit çatı örneği (URL-9)



Şekil 29. J.S. Dorton Arena binasının çatısı- İnşaat aşaması (URL-10)



Şekil 30. J.S. Dorton Arena binasının çatısı- Kablo ağı (URL-11)

Eero Saarinen tarafından tasarlanmış Ingalls Buz Hokeyi Salonunda ise kablo ağı bir ara ve iki kenar kemere tutturulmuştur (Şekil 31, 32 ve 33). Bina formundan dolayı “balina” olarak da bilinmektedir.



Şekil 31. Ingalls Buz Hokeyi Salonunun çatısı- Kablo ağının, bir ara ve iki kenar kemere tutturulduğu bir hiperbolik parabolit çatı örneği (URL-12)



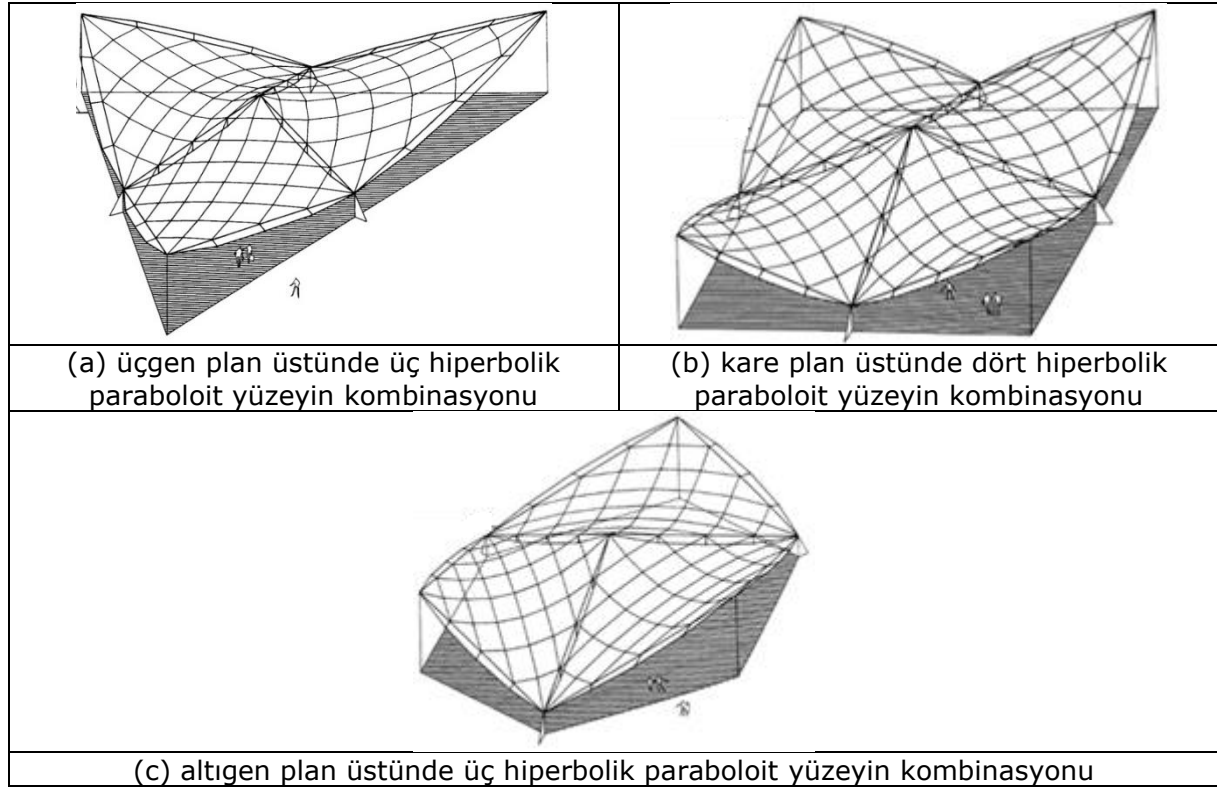
Şekil 32. Ingalls Buz Hokeyi Salonunun çatısı- Kabloların kemere montaj aşaması (URL-13)



Şekil 33. Ingalls Buz Hokeyi Salonunun çatısı- İçten görünüş (URL-13)

Hiperbolik parabolit yüzeylerin kombinasyonundan oluşan çatıların kablo ağıları,

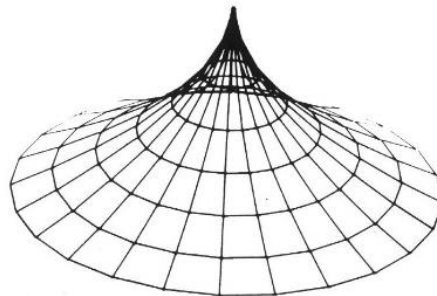
kombinasyonu oluşturan her bir hiperbolik paraboloid yüzeyin kablo ağının kendi içinde çözümlenip en düşük ile en yüksek noktalarının kolonlarla mesnetlenmesi ile oluşturulabilir (Şekil 34).



Şekil 34. Hiperbolik paraboloid yüzeylerin kombinasyonundan oluşan çatıların kablo ağları (Engel, 2013)

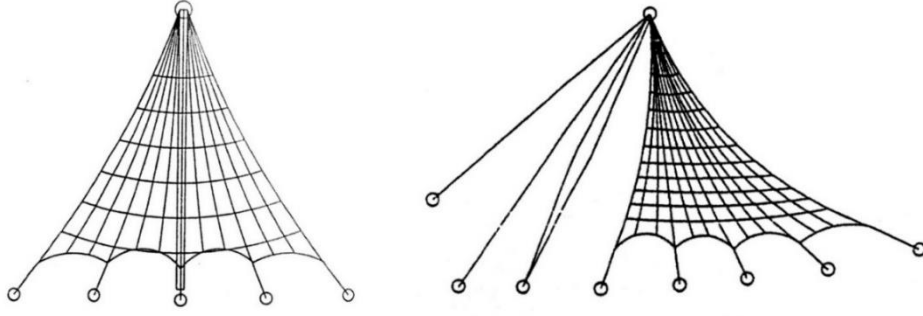
Kablo ağları için stabil formlardan biri de çadırıdır (koni yüzeyinin eğrileştirilmesi ile oluşturulur). Çadır yüzeyindeki paralel ve meridyen hatlar eğrilikleri birbirine ters yönde olan çift eğrilikli bir form oluşturur.

Çadır biçimli çatıların kablo ağları ise paralel ve meridyen hatlarda düzenlenecek kablolar ile oluşturulabilir. Kablo ağı ile oluşturulan çadır çatının yüksek noktasının mutlaka desteklenmesi gerekir çünkü kablo ağı sadece çekmeye çalışan esnek bir yapı olduğu için çadır çatının yüksek noktası desteklenmediği takdirde Şekil 35’de verildiği biçimde duramaz.



Şekil 35. Kablo ağı ile oluşturulan çadır çatı (Dansık ve Şahin, 2015)

Kablo ağının alt kenarı, direkt zemine, kirişe, döşemeye veya benzeri bir mesnete tutturulabilir. Yüksek nokta ise doğrudan veya dolaylı olarak desteklenebilir. Yüksek nokta doğrudan kolonla desteklenebilir (Şekil 36). Kolon, çadırın içinde veya dışında düzenlenebilir ve farklı biçimlerde tasarlanabilir.

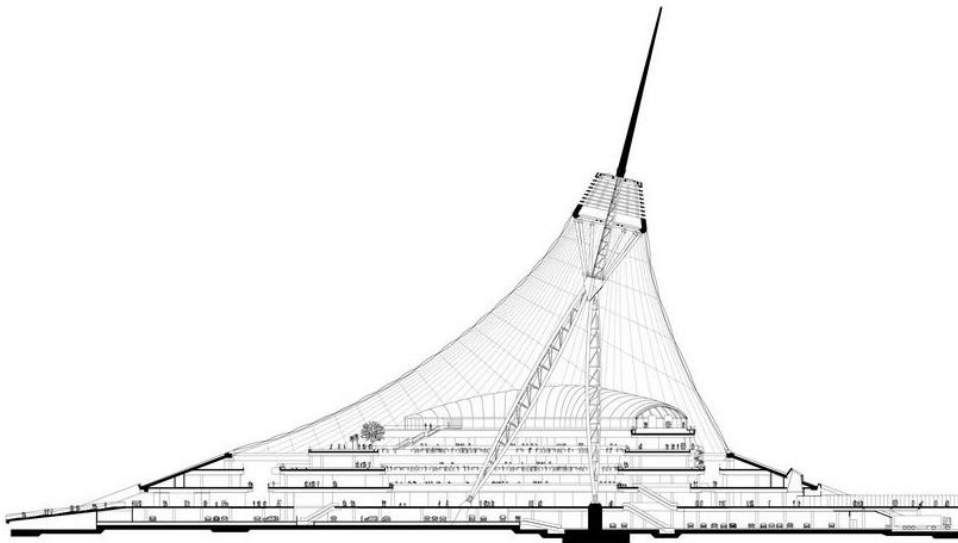


Şekil 36. Kablo ağı ile oluşturulan çadır çatısının yüksek noktasının doğrudan kolonla desteklenmesi

Aşağıda, kablo ağı ile oluşturulmuş ve yüksek noktası uzay kafes şeklindeki üç kolonla desteklenmiş bir çadır çatı örneği verilmiştir (Şekil 37, 38 ve 39). Astana’da bulunan ve Han Çadırı olarak bilinen binanın 200 metre çapında elips şeklinde plana oturan çatısı, 150 metre yüksekliğe sahip eğik bir çadır biçimine sahiptir. Mimar Norman Foster tarafından tasarlanan binanın çatısı, şeffaf bir malzeme olan ETFE ile kaplanmıştır.



Şekil 37. Han Çadırı binasının çatısı- Kablo ağı ile oluşturulmuş ve yüksek noktası doğrudan kolonla desteklenmiş bir çadır çatı örneği (URL-14)



Şekil 38. Han Çadırı binasının çatısı- Kesit (Dansık ve Şahin, 2015)



Şekil 39. Han Çadırı binasının çatısı- İçten görünüş (URL-15)

Han Çadırı binasının çadır çatısında yüksek nokta doğrudan zemine monte edilmiş üç kolonla desteklenmiştir. Şekil 40, 41 ve 42’de ise kablo ağı ile oluşturulmuş ve yüksek nokta desteğinin zemine kadar indirilip mekân içindeki sirkülasyonu bozmaması için çadırın alt kenarında düzenlenen uzay kafes kirişe asıldığı (dolaylı destekleme) bir çadır çatı örneği (Sony Center, Berlin) verilmiştir. Uzay kafes kiriş, aynı zamanda, kablo ağının alt kenarı için mesnet görevi görmektedir.



Şekil 40. Sony Center binasının çatısı- Kablo ağı ile oluşturulmuş ve yüksek noktası dolaylı olarak desteklenmiş bir çadır çatı örneği (URL-16)



Şekil 41. Sony Center binasının çatısı- Kablo ağının yüksek nokta desteği (URL-17)



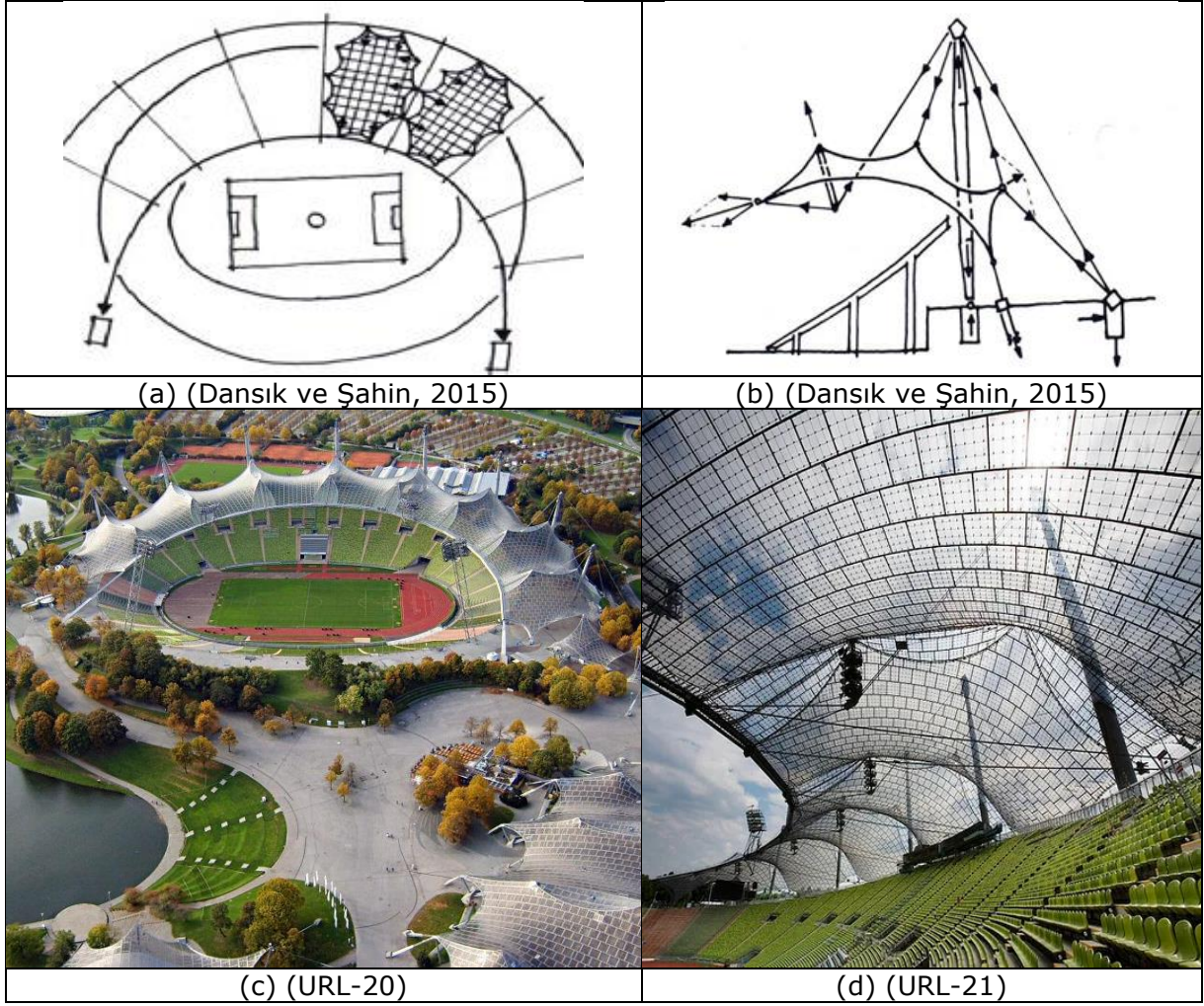
Şekil 42. Sony Center binasının çatısı- Kablo ağının yüksek nokta desteğinin çatının alt kenarında düzenlenen uzay kafes kirişe asılması (URL-18)

Kablo ağı ile oluşturulmuş ve yüksek noktaları dolaylı olarak desteklenmiş bir çatıya sahip olan binalardan biri de Frei Otto'nun tasarladığı Münih Olimpiyat Tesisleri içinde yer alan Olimpiyat Stadyumudur (Şekil 43).



Şekil 43. Münih Olimpiyat Stadyumunun çatısı- Kablo ağı ile oluşturulmuş ve yüksek noktaları dolaylı olarak desteklenmiş bir çadır çatı örneği (URL-19)

Olimpiyat Stadyumunun kablo ağı ile oluşturulan çatısının yüksek noktalarından bazıları, çatıyı delip yukarı doğru yükseltilecek kolonlara kablolarla asılarak desteklenmiştir (dolaylı destekleme). Bazı yüksek noktalarda ise destek olarak küçük çubuklar kullanılmış, bunlar da kolonlara ve iki ucundan zemine ankre edilmiş kemer şeklindeki ağın alt kenar mesnetine (sahaya bakan kısımda) asılmıştır (Şekil 44). Şekil 45'de görüldüğü gibi kablo ağı, kablolarla esnek bağlantı sağlamak için sürekli neopren bağlantılarla ayrılmış 2,9 x 2,9 metrelik şeffaf akrilik panellerle kaplanmıştır (Fang, 2009).



Şekil 44. Münih Olimpiyat Stadyumunun çatısı- Kablo ağı ve mesnetleri



Şekil 45. Münih Olimpiyat Stadyumunun çatısı- Şeffaf akrilik panel kaplama (URL-22)

Kablo ağları, genellikle kendileri için doğal stabil formlar olan hiperbolik parabolit ve çadır gibi antiklastik yani eğrilikleri ters yönde olan çift yönde eğrileştirilmiş yüzeyli çatılarda kullanılmıştır. Aşağıda ise sinklastik yani eğrilikleri aynı yönde olan çift yönde eğrileştirilmiş yüzeyli çatılardan olan kubbedeki kullanımı verilmiştir. Hem kablo ağını dolaylı olarak

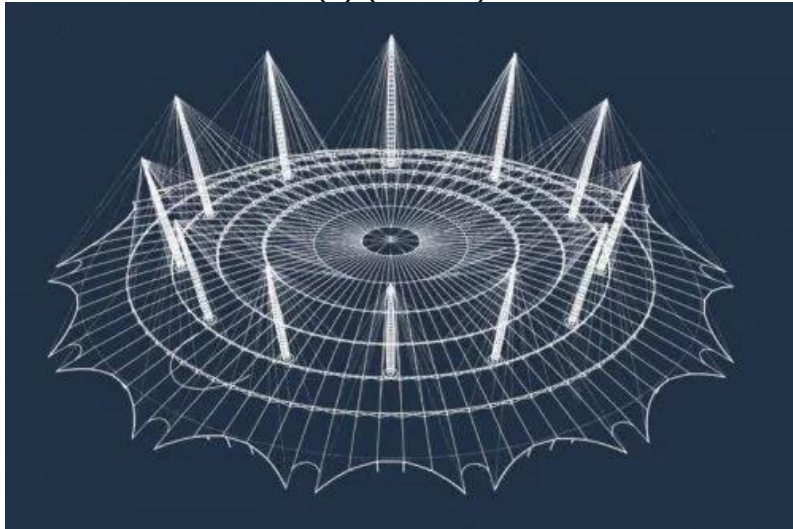
desteklemek hem de kablo ağı'nın kubbe biçimini alabilmesi için kubbenin tepesinde yer alan çekme çemberi ve paralel hatta yer alan kablolar, çatı yüzeyinden yukarı doğru uzatılan uzay kafes şeklindeki 12 kolona kablolarla asılmıştır (Şekil 46, 47, 48 ve 49).



Şekil 46. Londra Milenyum Kubbesi binasının çatısı- Kablo ağı ile oluşturulmuş ve dolaylı olarak desteklenmiş bir kubbe çatı örneği (URL-23)



(a) (URL-24)



(b) (URL-25)

Şekil 47. Londra Milenyum Kubbesi binasının çatısı- Kablo ağı ve 12 kolon



Şekil 48. Londra Milenyum Kubbesi binasının çatısı- Dıştan görünüş (URL-26)



Şekil 49. Londra Milenyum Kubbesi binasının çatısı- İçten görünüş (URL-27)

3. KABLO ÇATI YAPILARININ AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Kablo çatı yapılarının başlıca avantajları şunlardır:

- Kablo çatı yapıları kabloların yalnızca çekme etkisinde olmaları ve eğrisel biçimlerinin yarattığı taşıyıcılık üstünlüğü ile büyük açıklıkların geçilmesine olanak verirler. Bu nedenle, çok geniş açıklık gereksinimi olan spor salonları, sergi salonları, vb. binalarda kullanılabilirler.
- Kablo çatı yapılarında genellikle çelik kablolar kullanılmaktadır (Şekil 50). Önceleri asma köprülerin yapımında kullanılan çelik kablolar, sonraları büyük alanların örtülmesinde de kullanılmaya başlanmıştır. İyi çekme özelliklerine sahip çelik kablolar, geleneksel çelik yapı inşaatına kıyasla çelikten %50'ye varan tasarruf sağlamakta ve yapının ölü ağırlığını büyük ölçüde azaltmaktadır (Yuan vd., 2017).



Şekil 50. Çelik kablolar (URL-28)

- Kablo çatı yapıları, geleneksel yapılara göre daha az malzeme gerektirdiğinden büyük ölçekli projeler için uygun maliyetli bir seçenektir. Kablo çatı yapılarının hafif yapısı aynı zamanda daha küçük taşıyıcı eleman desteğine ihtiyacı duymaları anlamına gelir, bu da genel inşaat maliyetini azaltır.
- Kablo çatı yapıları birçok farklı biçimde oluşturulabilir, bu da mimarların benzersiz ve yenilikçi yapılar yaratmasına olanak tanır. Bu esneklik, yalnızca işlevsel değil aynı zamanda estetik açıdan da güzel görünen yapıların yaratılmasına olanak tanır. Yuan vd. (2017)'e göre kablo çatı yapılarının dış morfolojisi, gerilim altındaki bileşenlerin özellikleri nedeniyle esnek iç mekanlara sahip binalar için oldukça uyumlu ve uygundur.
- Kablo çatı yapıları, binanın karbon ayak izini ve çevresel etkisini azaltarak hafif yapılar oluşturmak için kullanılabilir. Kablo çatı yapılarının kullanımı, inşası için daha az malzeme gerektirmesi, daha az sera gazı salması ve çevre üzerinde minimum etkiye sahip olması nedeniyle sürdürülebilir gelişmeyi destekler.
- Kablo çatı yapılarının yangına karşı oldukça dayanıklı olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla birlikte ön germeli çelik kablolar gevşemekte ve elemanların gerginliği kademeli olarak azalmaktadır. Bu da çatının tüm yapısının bir anda değil, yavaş yavaş çökmesini sağlar (Nurumova, 2017).
- Kablo çatı yapıları, kalıp ve iskelede pek gereksinme göstermezler.
- Kablo çatı yapıları kısa bir sürede oluşturulabilirler.

Kablo çatı yapılarının başlıca dezavantajları ise şunlardır:

- Kablo çatı yapıları, ısı ve akustik etkinlikleri için ek önlemler alınmasını gerektirirler.
- Kablo çatı yapıları neme karşı hassastırlar. Yan vd. göre, korozyon esas olarak kabloların ömrünü kısaltır ve dayanıklılığını büyük ölçüde etkiler, bu nedenle tasarımcıların bu iklim faktörüne dikkat etmesi gerekir (Nurumova, 2017).
- Kablo çatı yapıları rüzgâra karşı hassastırlar.
- Kablo çatı yapıları düzenli bakım gerektirirler. Hasar oluşumuna dirençleri düşüktür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kablo yapıları onlarca yıldır insanları etkilemiş ve büyülemiştir. Ancak, kablo çatı yapıları hala nispeten yeni bir çatı yapım biçimini temsil etmektedir.

Kablo çatı yapılarının kendine özgü tasarım ilkeleri vardır. Bu tür yapılarda büyük ve değişken çatı yüklerine dayanmak için esnek ve çekmeye çalışan elemanlar kullanılır. Tüm kablo çatı yapıları geniş açıklıklarda da etkili olsa da her sistemin belirli koşullar için cazip ve belirli mimari uygulamalara daha uygun olmasını sağlayan kendine özgü özellikleri vardır ve tasarımda bunlar dikkate alınmalıdır.

Dezavantajlı yönlerine göre avantajlı yönlerinin daha fazla ve değerli olması nedeniyle kablo çatı yapılarının iyi bir yapısal seçenek olduğu, etkileyici formlar ve özgür mimari tasarım fırsatları yaratılmasında yenilikçi çözümler sunabileceği düşünülmektedir.

Kablo çatı yapılarında en büyük gelişmenin örtü malzemelerindeki ilerlemeye bağlı olarak gerçekleşmesi mümkündür. Kablo çatı yapılarında örtü bazı mekanik ve fonksiyonel gereksinimleri karşılamak zorundadır. Dokuma malzemeler kablo çatı yapılarında örtü olarak sıklıkla kullanılmıştır. Uygulamada özellikle tek katlı PVC kaplı polyester veya PTFE kaplı fiberglas kullanılmıştır. Son dönemdeki gelişmelerle bu malzemelerin bazı sorunlu yönleri iyileştirilmiştir. Bu iyileştirmeler, kablo çatı yapılarının uygulama yelpazesini genişletecektir.

Ekonomik ve estetik tasarımlar, kablo çatı yapılarının daha fazla kullanılmasını sağlayacaktır. Kablo çatı yapılarının ekonomik ve estetik olduğu, geniş açıklıklı çatı projelerinde kanıtlanmıştır. Daha küçük yapılarda ise mimarların kabul edebileceği estetik ve uygun örtü malzemelerinin (son yıllarda ETFE gibi) geliştirilmesi kablo çatı yapılarının önemli bir tasarım seçeneği olarak değerlendirilmesini mümkün kılabilir. 20. ve 21. yüzyılda mimarların ve mühendislerin ilgisini çeken kablo çatı yapılarının gelecekte daha fazla bir tanınma ve uygulama alanı bulacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Business View Magazine (2018). The Adirondack Bank Center – History was made here. March 13.
- Dansık, F. ve Şahin, M. (2015). Germe sistemlerin yapısal tasarım ilkeleri. 6. Çelik Yapılar Sempozyumu, 217-243.
- Engel, H. (2013). Structure systems. Hatje Cantz, Germany.
- Fang, R. (2009). The design and construction of fabric structures. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Civil and Environmental Engineering.
- Girgin, Z.C. (2017). Yüzeysel taşıyıcı sistemler. Yıldız Teknik Üniversitesi, Ders Notu.
- González Quelle, I. (2009). Cable roofs. Evolution, classification and future trends. Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, eds. Alberto Domingo and Carlos Lazaro, Spain, 264-275.
- Hamdy, G.A. vd. (2018). Optimum design of wide span cable-stayed roof structures. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 9, Issue 5, 1448-1459.
- Kim, H. (2017). Structural performance of spoke wheel roof systems. Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Civil and Environmental Engineering.
- Nurumova, K. (2017). Examination of large-scale cable structures in different climate and proposals for Neu Lake and Park. Master Thesis, The Graduate School of Applied Sciences of Near East University.
- Park, K., Lee, D. ve Park, M. (2017). Mechanical characteristics of circular cable roof systems. International Journal of Innovations in Engineering and Technology, Volume 8, Issue 3, 296-302.
- University of Maryland (2021). Dulles International Airport, Virginia. Lecture Material.
- Sābetghadam, Z. (2019). Improving spoke wheel roofs with the geometry of Rasmi-Bandis. Nexus Network Journal, 21, 479-490.
- Wang, L., Zhang, J., Xu, J. ve Han, Q. (2018). Anchorage systems of CFRP cables in cable structures—A review. Construction and Building Materials, 160, 82-99.
- Yuan, Y. vd. (2017). Bionic building energy efficiency and bionic green architecture: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 74, 771-787.

Internet Kaynakları

- URL-1: <https://architecture-history.org/architects/architects/SAARINEN/OBJECTS/1962,%20Dulles%20International%20Airport,%20Chantilly,%20USA.html#:~:text=Saarinen%20described%20the%20roof%20as,the%20poured%20in%20place%20slabs>, Erişim tarihi:



- 06.09.2025.
URL-2: <https://www.wvglass.com/project/orlando-international-airport/>, Erişim tarihi: 06.09.2025.
URL-3: https://en.wikipedia.org/wiki/Adirondack_Bank_Center, Erişim tarihi: 08.09.2025.
URL-4: <https://www.adkbankcenter.com/>, Erişim tarihi: 08.09.2025.
URL-5: <https://www.insidethegames.biz/articles/1103608/beijing-2022-ice-making-trials-olympics>, Erişim tarihi: 09.09.2025.
URL-6: <https://news.cgtn.com/news/3d3d514f3355544e33457a6333566d54/index.html>, Erişim tarihi: 09.09.2025.
URL-7: <https://www.hopkins.co.uk/projects/sport/london-2012-velodrome/>, Erişim tarihi: 09.09.2025.
URL-8: <https://expedition.uk.com/project/2012-olympic-velodrome/>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-9: <https://www.dncr.nc.gov/blog/2016/08/31/dorton-arena-architect-matthew-nowicki>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-10: <https://arquitecturayempresa.es/noticia/el-legado-arquitectonico-de-matthew-nowicki-dorton-arena>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-11: <https://www.skyscrapercity.com/threads/bratislava-obnova-budov-renovations.555753/page-313>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-12: <https://www.archdaily.com.br/br/01-105157/classicos-da-arquitetura-david-s-ingalls-skating-rink-slash-eero-saarinen/514dc7dab3fc4b852800000a-classicos-da-arquitetura-david-s-ingalls-skating-rink-slash-eero-saarinen-imagem>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-13: <https://selversenguler.wordpress.com/2021/12/09/mimaride-metafor-kullanimina-bir-ornek-ingalls-rink/>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-14: <https://www.e-architect.com/kazakhstan/khan-shatyry>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-15: https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/muhendislik-harikalari-han-cadiri/#google_vignette, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-16: <https://www.eifelmomente.de/herbst/248-5-9112011-kurzurlaub-nach-berlin-bei-schoenstem-herbstwetter?start=4>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-17: https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Roof_of_the_Sony_Center_photo3.JPG, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-18: <https://structurae.net/en/media/42789-sony-center-potsdamer-platz-berlin>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-19: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:M%C3%BCnchen_-_M%C3%BCnchner_Olympiastadion_%283%29.jpg, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-20: <https://www.architecturaldigest.in/content/the-best-olympic-architecture/>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-21: https://www.homify.com.tr/yeni_fikirler/21249/2015-pritzker-mimarlik-oeduelleri-frei-otto, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-22: <https://mimarobot.com/tasarim/tasar%C4%B1m-%C3%B6rneklere/photos/4881/teme-tasar%C4%B1mlar%C4%B1>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-23: <https://fineartamerica.com/featured/1-millennium-dome-alex-bartels-science-photo-library.html>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-24: https://www.linkedin.com/posts/rshp_rshp-millenniumdome-o2arena-activity-7311429157714837504-bQaB, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-25: <https://en.wikiarquitectura.com/building/millennium-dome-o2-arena/>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-26: <https://www.budowle.pl/building/millennium-dome>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-27: <https://www.bbc.com/news/uk-64116797>, Erişim tarihi: 14.09.2025.
URL-28: https://www.researchgate.net/figure/Cable-fork-connectors-with-threaded-fittings-at-edge-beam_fig9_320101296, Erişim tarihi: 14.09.2025.