



Araştırma Makalesi / Research Article


Çelik Çubuk Ağı Kubbelerinin Yük Aktarım Prensiplerine Göre İncelenmesi

Investigation of Steel Bar Mesh Domes According to Load Transfer Principles

Mehmet Ali BEKTAŞ^{1,*} , Mehmet Sedat HAYALİOĞLU² 

¹ Çetinkayalar Yapı Elemanları A.Ş., Araştırma ve Geliştirme Merkezi, 21010, Diyarbakır, Türkiye

² Dicle Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 21280, Diyarbakır, Türkiye

 <https://doi.org/10.55007/dufed.1353641>

MAKALE BİLGİSİ

Makale Tarihi

Alınış, 01 Eylül 2023

Revize, 28 Eylül 2023

Kabul, 28 Eylül 2023

Online Yayınlama, 10 Kasım 2023

Anahtar Kelimeler

*Çelik kubbe, Nervürlü kubbe,
Lamella kubbe, Schwedler kubbe,
Jeodezik kubbe, Yük aktarımı*

ARTICLE INFO

Article History

Received, 01 September 2023

Revised, 28 September 2023

Accepted, 28 September 2023

Available Online, 10 November 2023

Keywords

*Steel dome, Ribbed dome,
Lamella dome, Schwedler dome,
Geodesic dome, Load transfer*

ÖZ

Bu makale, çelik çubuk ağı kubbe modellerinden başlıca olan radyal nervürlü kubbe, schwedler kubbe, lamella kubbe ve jeodezik kubbe modellerinin geometri ve yük aktarım prensipleri incelenmiştir. Bu tasarımların yük aktarımı için diğer sistemlere göre avantajları ve dezavantajları analiz edilmiştir. Radyal nervürlü kubbe, yüklerin merkeze doğru aktarılmasını sağlayarak etkileyici bir dayanıklılık sunmaktadır. Schwedler kubbe ise yükleri diyagonal çubuklardan oluşan bir ağ kullanarak daha dengeli bir şekilde dağıtmıştır. Lamella kubbe, özel bir kaplama tekniği ile yükleri sürekli bir şekilde aktarırken estetik bir görünüm sağlamıştır. Jeodezik kubbe ise çokgenlerden oluşan ağ yapısıyla yükleri tüm yapının üzerine eşit bir şekilde dağıtmıştır. Bu çalışmada, bu kubbe modellerinin yük aktarım prensipleri detaylı bir şekilde açıklanmış ve her birinin avantajları ve dezavantajları ele alınmıştır. Yük aktarım prensiplerinin anlaşılması, bu yapıların mukavemetini ve dayanıklılığını etkileyen faktörleri belirlememize yardımcı olmuştur. Sonuç olarak, bu makale, çelik çubuk ağı kubbe modellerinin farklı yük aktarım prensipleriyle nasıl çalıştığını ve diğer sistemlere göre avantajlarını ve dezavantajlarını göstermektedir. Bu bilgiler, mimarlar ve mühendisler için yapısal tasarımlarda doğru seçimler yapmalarına yardımcı olacaktır.

ABSTRACT

In this article, load transfer principles of radial ribbed dome, schwedler dome, lamella dome and geodesic dome models, which are mainly steel bar mesh dome models, are examined. The advantages and disadvantages of these designs compared to other systems for load transfer are analyzed. The radial ribbed dome ensures that loads are transferred towards the

***Sorumlu Yazar**

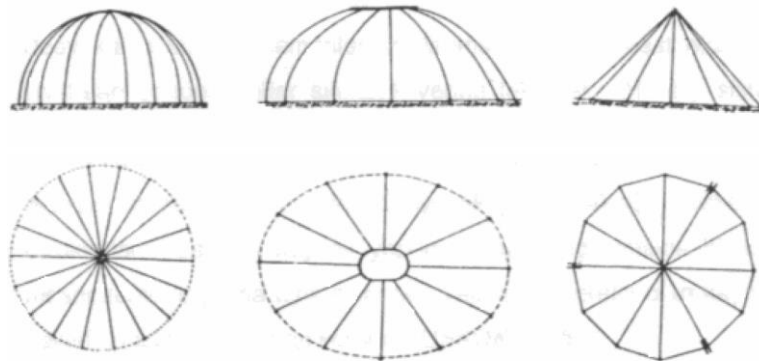
E-posta Adresleri: bektas1026r@gmail.com (Mehmet Ali BEKTAŞ), hosedat@dicle.edu.tr (Mehmet Sedat

HAYALİOĞLU)

centre, offering impressive durability. The Schwedler dome, on the other hand, distributes the loads more evenly by using a net of diagonal rods. Lamella dome provides an aesthetic appearance while transferring loads continuously with a special coating technique. The geodesic dome, on the other hand, distributes the loads evenly over the entire structure with its polygon network structure. In this study, the load transfer principles of these dome models are explained in detail and the advantages and disadvantages of each are discussed. Understanding the load transfer principles has helped us identify the factors that affect the strength and durability of these structures. In conclusion, this article shows how steel bar mesh dome models work with different load transfer principles and their advantages and disadvantages over other systems. This information will help architects and engineers make the right choices in structural designs.

1. GİRİŞ

Mühendis ve mimarlar daha hafif taşıyıcı sistem ile daha geniş açıklıklı örtü sistemleri tasarımı üzerine sürekli çalışmaktadırlar [1]. Bu yapılar, estetik görünüşleriyle birlikte güçlü ve dayanıklı bir yapısal çözüm sunmaktadır. Şekil 1’de radyal nervürlü kubbelerin farklı estetik formlarında tasarımları verilmiştir. Çubuk ağı kubbeler, yüksek mukavemetleri ve esnek tasarım potansiyelleri ile mimarlar ve mühendisler tarafından tercih edilmektedir. Bu sistemler mimari yapıların tasarımında birçok avantaj sunmaktadır. Öncelikle bu kubbelerin geniş açıklıklara sahip yapılar için ideal olduğu söylenebilir. Bu yapılar, çubukların dayanıklılığı sayesinde büyük açıklıkları kolayca geçebilir ve destekleyebilir. Ayrıca çelik çubukların esnek tasarım potansiyeli, mimarlara yaratıcı ve özgün yapılar oluşturma imkânı sağlar. Çelik çubuk ağı kubbelerin avantajlarına göz atarsak, öncelikle yüksek taşıma kapasitesi ve mukavemetleri göze çarpar. Bu yapılar, büyük açıklıkların üstesinden gelebilir ve yüksek taşıma kapasiteleri sayesinde yapıların stabilitesini sağlar. Çelik malzemenin dayanıklılığı ve uzun ömürlü olması, bu kubbelerin uzun vadede kullanılabilirliğini artırır ve esnek tasarım potansiyeli sağlar. Çelik çubuk ağı kubbelerin sürdürülebilirlik açısından da avantajları bulunmaktadır. Çelik malzemenin geri dönüştürülebilir olması ve enerji verimliliğine katkı sağlaması, bu yapıların çevresel etkilerini azaltmaktadır.



Şekil 1. Radyal nervürlü kubbelerin plan ve görünüşü [2]

Çelik çubuk ağı kubbeler, yapısal hafiflikleri ve optimize edilmiş tasarımlarıyla daha az malzeme kullanarak ekonomik ve ekolojik açıdan sürdürülebilir bir seçenektir. Çelik çubuklar, farklı şekil ve boyutlarda üretilebilir ve çeşitli yapısal formasyonlar oluşturulabilir. Bu da mimarların yaratıcı ve özgün tasarımlar yapabilmesine imkân tanır. Aynı zamanda çelik çubukların hafif olması da taşıma ve montaj sürecini kolaylaştırır. Ancak çelik çubuk ağı kubbelerin dezavantajları da göz önünde bulundurulmalıdır. Öncelikle bu yapılar genellikle diğer yapısal sistemlere kıyasla daha maliyetli olabilir. Çelik malzemenin yüksek maliyeti, çubukların üretimi, montajı ve işçilik maliyetleri gibi faktörler bu durumu etkiler. Çelik çubuk ağı kubbelerin tasarım ve inşaa süreçleri, özen ve profesyonellik gerektirir. Yüksek hassasiyet ve doğruluk gerektiren montaj işlemleri, uzmanlık ve deneyim gerektiren bir süreçtir. Bununla birlikte tasarım aşamasında yapısal hesaplamalar ve simülasyonlar yapılmalı ve malzeme seçimi doğru bir şekilde yapılmalıdır. Her bir çelik çubuk ağı kubbe modelinin kendi özel özellikleri vardır. Radyal nervürlü kubbe, yükleri merkeze doğru aktararak etkileyici bir dayanıklılık sunar. Schwedler kubbe, diyagonal elemanları sayesinde yükleri dengeli bir şekilde dağıtarak daha homojen bir yük taşıma sağlar. Lamella kubbe, estetik bir görünüm ve sürekli yük aktarımı sağlayan özel bir tasarım tekniğiyle öne çıkar. Jeodezik kubbe ise geometrik şekillerin eşit bir şekilde yük dağılımı sağlamasından dolayı optimal bir yapısal performans sergiler. Başlıca çelik çubuk ağı kubbe modellerinin yük aktarım prensiplerini ve avantajlarını/dezavantajlarını anlamak, mimari tasarımda doğru seçimler yapılmasına yardımcı olur. Mimarlara ve mühendislere, projelerinin ihtiyaçlarına ve hedeflerine en uygun olan modeli belirleme ve tasarım sürecinde doğru kararlar verme imkânı sunar.

Çelik kubbelerin analizi, uzun bir geçmişe sahiptir ve özellikle son yüzyılda çelik malzeme kullanımıyla birlikte daha fazla önem kazanmıştır. Literatürde, çelik kubbelerin analizi konusundaki önceki araştırmalar ve literatürdeki bulgular mevcuttur. Timoshenko ve Woinowsky-Krieger [3], kubbe sistemlerinin gerilmelerinin dağılımı ve yük altında meydana gelen deplasmanların tespiti için hesap yöntemlerini "Plak ve Kabukların Teorisi" kitabında sunmuşlardır. Aynı zamanda, Timoshenko [4], "Elastik Burkulma Teorisi" kitabında kabuk elemanlarının burkulma sorunlarına farklı çözümler getirmiş ve kabuk elemanlarının maksimum yük noktasından önce de burkulma yaşanabileceğini göstermiştir. Papadopoulos ve LoRizzo [5], Bükreş Ulusal Ekonomi Köşkü'nün 93,5 metre çapında ve 19,107 metre yüksekliğindeki çelik kubbesinin burkulma ve ters dönme nedenlerini araştırmışlardır. Çalışmaları, düzensiz dağılmış kar yükünün bölgesel burkulmaya neden olduğunu ve bu burkulmanın kubbenin diğer yüzeylerini de etkileyerek ters dönme oluşturduğunu göstermiştir. Ayrıca uzay kubbelerinin iklim koşullarına karşı dayanıklı olması için malzeme ve birleşim elemanlarının asimetrik yüklerle başa çıkabilecek şekilde tasarlanması gerektiğini önermişlerdir. Soykan [6], farklı açıklık ve yüksekliklere sahip kubbe sistemlerinin stabilitesini, deplasmanlarını ve birim alan ağırlıklarını karşılaştırmalı bir şekilde incelemiş ve maliyet odaklı bir karşılaştırma yapmıştır. Çiftçi

[7], uzay kubbe sistemlerindeki geometrik deformasyonları ve doğrusalsızlık kaynaklı stabilite etkilerini araştırmıştır. Yaptığı değerlendirmeler sonucunda, yük altındaki düğüm noktasının ötelenmesi sonucu oluşan burkulmanın en önemli stabilite kaybı olduğunu belirlemiştir. Bu sorunun kiriş berkitmeleri kullanılarak çözülebileceğini ve bu şekilde yapı ağırlığında %20 civarında bir azalma sağlanabileceğini bulmuştur. Yılmaz [8], tek katmanlı kubbe sistemlerinin stabilitesini incelemiş ve burkulma durumunun yük altındaki düğüm noktasının ötelenmesi sonucu oluştuğunu belirlemiştir. Berkitme elemanlarının kullanılmasıyla burkulma kararsızlığını önleyebileceğini ve yapı ağırlığında ciddi bir azalma sağlayabileceğini göstermiştir. Adnanoğlu [9], Ribbed ve Schwedler kubbe sistemleri üzerinden ekonomik ve dayanıklı kubbe sistemleri tasarlamak için parametrik bir çalışma yapmıştır. Çeşitli modeller arasında yapılan analizler, kubbe kafes sistemlerinde petek boşluğu bırakılmasının tasarım ve maliyet açısından avantajlı olduğunu göstermiştir. Bektaş [1], farklı yükseklik ve açıklık oranlarına sahip tek katmanlı ve çift katmanlı çelik uzay kafes kubbe sistemlerini oluşturmuş ve bu sistemleri tasarladıktan sonra Türk çelik yapılar tasarım yönetmeliğine göre kontrol etmiştir. Sonuçları, farklı yönetmeliklere göre elde edilen sonuçların uygun olduğunu göstermiştir.

Çalışmada, çelik çubuk ağı kubbelerin farklı modellerinin yük aktarım prensipleri ve bu prensiplerin avantajlarını ve dezavantajlarını ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır. Mimarlar ve mühendisler için yapısal tasarımlarda doğru seçimler yapmalarına geniş bir yelpaze sunarak yardımcı olmayı amaçlamaktadır. Bu bilgiler aynı zamanda bu kubbelerin mukavemetini ve dayanıklılığını etkileyen faktörleri anlamamıza yardımcı olacaktır. Yük aktarım prensiplerinin doğru bir şekilde anlaşılması, bu yapıların optimize edilmiş bir performans sergilemesini sağlayacaktır. Bu makalede, çelik çubuk ağı kubbelerin yük aktarım prensipleri ve farklı modelleri ele alınacaktır. Ayrıca mimarlara ve mühendislere, bu yapıların potansiyelini tam olarak anlatarak yapısal tasarımlarında bilinçli seçimler yapmalarına yardımcı olmayı hedeflemektedir. Bu makale, çelik çubuk ağı kubbelerin yüksek taşıma kapasitesi, esnek tasarım potansiyeli, estetik çekicilik, sürdürülebilirlik avantajları gibi geniş bir yelpazede sunulan faydalarını vurgulamakta ve aynı zamanda montaj süreci, maliyet ve işçilik gibi dezavantajları da değerlendirmektedir. Bu bilgiler, mimarlar ve mühendisler için kritik bir kaynak oluşturarak yapısal tasarımlarda en uygun çelik çubuk ağı kubbe modelini seçmelerine ve projelerini en iyi şekilde optimize etmelerine yardımcı olmaktadır.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma, çelik çubuk ağı kubbelerin yük aktarım prensiplerini araştırmayı ve farklı modelleri ayrıntılı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Radyal nervürlü kubbe, schwedler kubbe, lamella kubbe ve jeodezik kubbe olmak üzere dört farklı model, bu çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Her bir kubbe modelinin yapım süreci, kullanılan malzemeler ve yük aktarım

prensipleri, yapıların dayanıklılığı, taşıma kapasitesi, estetik görünümü ve montaj süreci gibi kritik faktörleri etkilemektedir. Bu bölümde, öncelikle çelik çubuk ağı kubbelerin her biri için genel bir giriş yapılacaktır. Daha sonra, her bir kubbe modeli için ayrı ayrı geometrisi, yük aktarımı, yapısal davranışı ve montaj süreci gibi konular ele alınacaktır. Bu analiz, mimarlar ve mühendisler için çelik çubuk ağı kubbelerin tasarım ve inşaa süreçlerinde doğru kararları vermelerine yardımcı olacak önemli bir kaynak sağlayacaktır. Yapıların güvenliği ve performansı, doğru materyal seçimi ve uygun metotların kullanımı ile sağlanır. Bu çalışmanın sonuçları, çelik çubuk ağı kubbelerin kullanımının artmasına ve yapısal tasarımların daha dayanıklı, estetik ve ekonomik olmasına katkı sağlayacaktır. Çalışmanın sonuçları, çelik çubuk ağı kubbelerin kullanımının artmasına ve yapısal tasarımların daha dayanıklı, estetik ve ekonomik olmasına katkı sağlayacaktır. Yapıların güvenliği ve performansı, doğru materyal seçimi, uygun metotların kullanımı ve etkili yük aktarım prensipleri ile sağlanır. Bu nedenle, bu çalışma, çelik çubuk ağı kubbelerin farklı modellerinin yapım süreçlerini ve materyal seçimlerini ayrıntılı bir şekilde açıklayarak, yapısal tasarımlarda doğru seçimler yapma konusunda rehberlik sağlamayı hedeflemektedir.

2.1 Türkiye’de Kubbesel Uzay Kafes Örnekleri

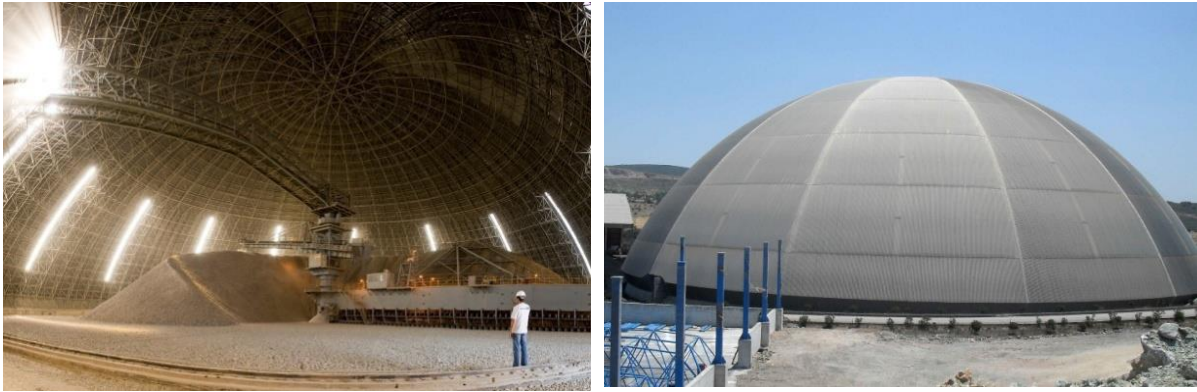
Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4’de ülkemizde uygulaması yapılmış kubbesel çelik kafes örnekleri verilmiştir. Bu örneklerde kubbe açıklıkları ve yükseklikleri farklılık göstermektedir.



Şekil 2. Panora Alışveriş merkezi, Ankara, Türkiye [1]



Şekil 3. Su kuşları hayvanat bahçesi, Bursa, Türkiye [1]



Şekil 4. Akçansa çimento stokholü, Çanakkale, Türkiye [1]

2.2 Radyal Nervürlü Kubbe

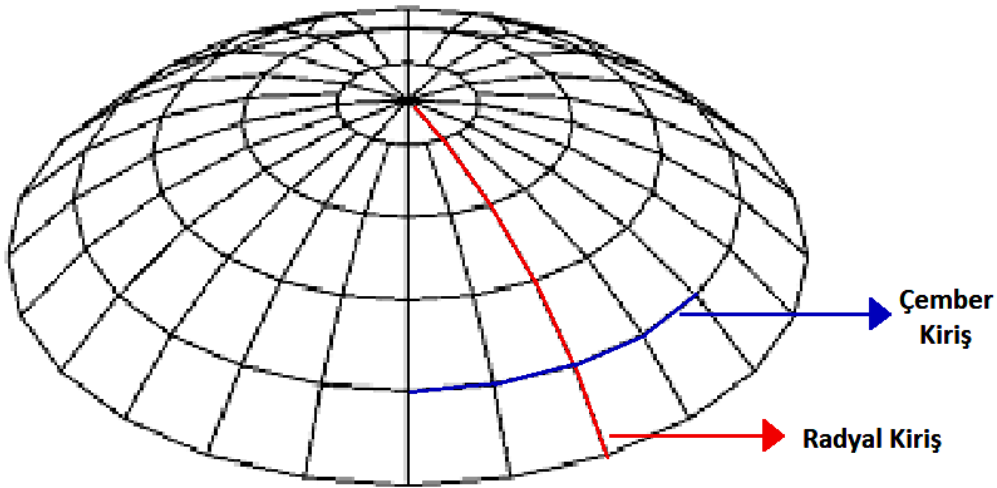
Çelik radyal nervürlü kubbeler modern mimari tasarımlarda kullanılan özgün bir yapısal formdur. Bu kubbeler, genellikle çelik çerçeve sistemlerine dayanır ve mimari yapıların üst örtüsünü oluştururlar. Şekil 5'te Radyal nervürlü kubbe örneği gösterilmiştir.



Şekil 5. Şanlıurfa şehirler arası otobüs terminali, Şanlıurfa, Türkiye [11]

2.2.1 Radyal nervürlü kubbe geometrisi

Radyal kubbeler genellikle merkezden dışa doğru radyal olarak dönen yay kirişlerinden oluşur. Bu yay kirişler, kubbenin dış şeklini takip eden elemanlardır. Birincil olarak, yay kirişleri eğrisel bir yapıdadır. Bu durumda, tek bir yay kirişi, kubbenin tam bir çember şeklini takip eder ve merkezden başlayarak eteklere kadar kesintisiz bir şekilde uzanır. Bu eğrisel yay kirişi, kubbenin estetik çekiciliğini ve sürekli bir formunun olmasını sağlar. Yay kirişleri doğrusal veya parçalı olarak da tasarlanabilir. Doğrusal yay kirişleri, merkezden başlayarak eteklere kadar düz bir hat izler ve kubbeyi oluşturan elemanlar arasında doğrusal bir bağlantı sağlar. Parçalı yay kirişleri ise kubbenin merkezinden başlayarak eteklere kadar kesintili olarak uzanır. Bu kesintiler eğrisel formu oluşturmak için çemberler kirişlerinin bağlandığı yerden kesilir. Çember kirişleri, kubbeyi oluşturan yay kirişlerini birleştirilerek kesintileri tamamlar ve kubbenin istenilen geometrik formunu oluşturur. Yatay çemberler olarak da adlandırılan bu kirişler, kubbenin dış çevresini saran elemanlardır. Yatay çemberler, radyal kirişlerle kesiştiği noktalarda düğüm noktaları oluşturur ve çelik profil elemanların birleştiği, kuvvetlerin aktarıldığı noktalardır. Bu geometrik yapı, kubbenin strüktürel sağlamlığını ve dayanıklılığını sağlamak için tasarlanır. Yay kirişleri ve yatay çemberlerin doğru boyutlandırılması, çelik profil elemanlarının uygun bağlantılarla birleştirilmesi ve düğüm noktalarının sağlam olması, kubbenin yük taşıma kapasitesini ve istikrarını sağlar. Şekil 6'da nervürlü kubbe sisteminin elemanları gösterilmiştir.

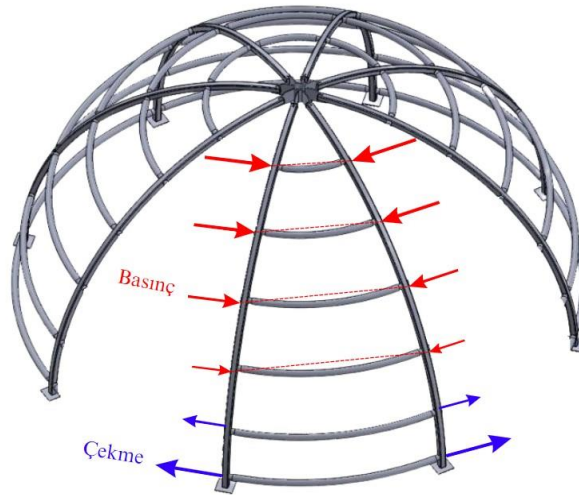


Şekil 6. Nervürlü kiriş elemanları

Nervürlü kubbelerin geometrisi; mimari estetik, yapısal performans ve imalat sürekliliği arasında bir dengeyi temsil eder. Bu geometrik düzenlemeler hem görsel çekicilik sağlamak hem de kubbenin gereksinimlerine uygun mühendislik çözümlerini sunmak amacıyla dikkatli bir şekilde planlanmalıdır.

2.2.2 Radyal nervürlü kubbe yük aktarımı ve yapısal davranışı

Nervürlü kubbelerde yük aktarımı, çelik kafes sistemi ve bağlantı elemanları aracılığıyla gerçekleşir. Simetrik veya asimetrik yükler altında, yükler bu sistem üzerinde belirli bir yol izler. Simetrik yükler altında, örneğin kendi ağırlığı veya dengeli bir kar yükü gibi, yükler kubbenin merkezinden dışa doğru radyal kirişlere aktarılır. Radyal kirişler, yükleri radyal profillere ileterek onları taşır ve yayılır. Çember kirişleri de radyal kirişleri birbirine bağlayarak kuvvetleri dengeleyip dağıtır. Bu şekilde, yükler kubbenin yapısında etkili bir şekilde taşınır. Asimetrik yükler altında, örneğin birikmiş kar yükü veya rüzgâr yükü gibi, yükler farklı noktalara uygulanır ve simetrik olmayan bir dağılım gösterir. Bu durumda, yüklerin yol izlemesi ve kubbedeki elemanların davranışı biraz daha karmaşık olabilir. Asimetrik yükler, çelik kafes sisteminin esnekliği sayesinde kubbeye etkili bir şekilde iletilir. Radyal kirişler ve çember kirişleri, yüklerin taşınması sırasında gerilme ve deformasyonları dengelemek için önemli bir rol oynar. Şekil 7'de nervürlü kubbelerde çember kirişlere etki eden aksel yükler gösterilmiştir.



Şekil 7. Nervürlü kubbe kirişlerinde aksel yük

Nervürlü kubbeler genellikle tek katmanlıdır, bu da demektir ki yükler doğrudan ana elemanlar üzerinden aktarılır. Moment aktaran birleşim elemanları kullanıldığında, çubuk elemanlarının davranışı etkilenebilir. Moment aktaran birleşimler, kubbenin rijitliğini ve taşıma kapasitesini artırırken, çubuk elemanlarının eğilme momentine karşı direncini artırır. Bu sayede, kubbenin genel performansı iyileştirilir ve yapıya daha fazla dayanıklılık sağlanır. Nervürlü kubbelerin yapısal tasarımı, simetrik veya asimetrik yükler altında yüklerin etkili bir şekilde taşınmasını ve kubbenin dayanıklılığını sağlamayı hedefler. Radyal ve çember kirişleri gibi elemanlar, yükleri dengeleyerek ve taşıyarak kubbeye optimum destek sağlar. Moment aktaran birleşimler ise çubuk elemanlarının davranışını iyileştirerek kubbenin performansını artırır.

Nervürlü kubbelerin birçok avantajı bulunmaktadır. İlk olarak, bu kubbe tipi yüksek taşıma kapasitesine sahiptir. Çelik kafes sistemi ve optimize edilmiş profil seçimi sayesinde büyük açıklıkları kapatırken daha az sayıda destek elemanına ihtiyaç duyar. Bu özelliği, geniş açıklıkların daha az sayıda yapısal destek elemanı kullanılarak kapatılmasını sağlar ve daha hafif bir yapı elde edilmesini sağlar. Kafes sistemi ve bağlantı elemanları sayesinde iç mekânlarda daha açık ve engelsiz bir alan yaratılabilir. Nervürlü kubbeler, esnek ve etkileyici tasarım potansiyeli sunar.

Çelik kafes sistemi ve simetrik yapıları sayesinde benzersiz ve görsel olarak çekici mekânlar oluşturabilir. Bu özellikleriyle, nervürlü kubbeler farklı mimari tasarım ihtiyaçlarına cevap verebilir. Ayrıca Nervürlü kubbelerin inşaa süreci diğer kubbe tiplerine göre daha kolay ve hızlı olabilir. Ancak profil seçimi, bağlantı elemanları ve montaj süreci, özen gerektiren aşamalardır. Nervürlü kubbelerin inşasında kullanılan çelik kafes sistemi ve optimize edilmiş profil seçimi diğer kubbe yapılarına göre daha ekonomik olabilir. Daha az malzeme ve işçilik gerektirdiği için projenin maliyetini düşürebilir. Bu avantajlar, nervürlü kubbelerin hızlı inşaa edilebilirlikleri ve ekonomik yapısı sayesinde tercih edilebilir bir seçenek olmalarını sağlar. Bu sebeple Nervürlü kubbeler, geniş açıklıklı sistemlere göre daha az maliyetli bir seçenek olabilirken, küçük açıklıklı sistemlerde diğer yapı sistemlerine göre daha yüksek maliyetli olabilir. Bu durum, nervürlü kubbelerin optimize edilmiş profil seçimi ve çelik kafes sistemi gibi unsurlarının büyük açıklıklarda daha etkin kullanılmasından kaynaklanır. Geniş açıklıklı sistemlerde bu avantajlar daha fazla hissedilirken, küçük açıklıklı sistemlerde maliyetlerin diğer yapı sistemlerine göre daha dezavantajlı olabilir. Nervürlü kubbeler statik tasarımı yeterli olmadığından daha geniş açıklıklar için daha büyük kesitler gerektirecektir.

2.3 Schwedler Kubbe

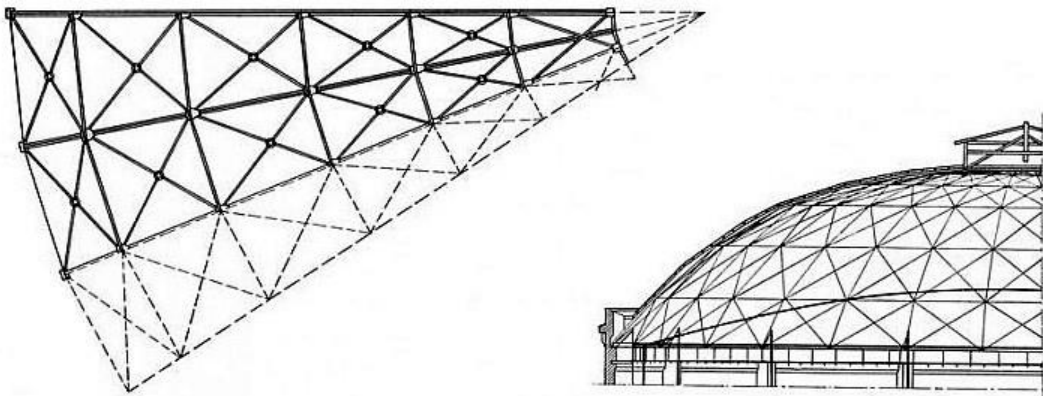
Schwedler kubbe sistemi, 19. yüzyılda Alman mühendis Karl Schwedler tarafından geliştirilmiştir. Bu sistem, çelik çubukların birleştirilerek oluşturduğu bir kafes yapısıyla desteklenen bir kubbe tasarımını ifade eder. Schwedler kubbe sistemi, yüksek dayanıklılığı ve hafif yapısıyla tanınır. Bu sistemin temel amacı, büyük açıklıklara sahip yapıların kolayca kaplanabilmesini sağlamaktır. Çelik çubuklar, kubbeyi oluşturan geometrik şekillerin içerisindeki gerilmeleri dengeler ve yapıya mukavemet sağlar. Bu sayede, büyük açıklıklara sahip yapıların daha az malzeme kullanarak inşaa edilebilmesi mümkün olur. Schwedler kubbe sistemi, çeşitli yapı türlerinde kullanılmıştır. Özellikle sergi salonları, spor tesisleri, fuar alanları gibi geniş açıklıklara sahip yapılarda tercih edilen bir sistemdir. Ancak, tasarımın karmaşıklığı ve uygulama sürecinin teknik bilgi gerektirmesi nedeniyle dikkat edilmesi gerekmektedir. Şekil 8'de Schwedler tipi kubbe yapısı gösterilmiştir.



Şekil 8. Viyana gazometresi Schwedler çatı tasarımı

2.3.1 Schwedler kubbe geometrisi

Schwedler tipi çelik çubuklu kubbe sistemi, büyük açıklıklara sahip yapılarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır ve yüksek dayanıklılığı ile hafif yapısıyla dikkat çeker. Bu kubbe sisteminin geometrisine dair örneklerden ilki, çember kirişleridir. Çember kirişleri, kubbenin yatay çevresini oluşturan ve genellikle eşit aralıklarla yerleştirilen çelik çubuklardır. Bu çubuklar, kubbenin sağlamlığını ve stabilitesini sağlamak için birbirleriyle bağlantı kurar. Diyagonal elemanlar ise Schwedler kubbelerde önemli bir rol oynar. Bu elemanlar, çember kirişleri arasında yer alan eğimli çelik çubuklardır. Diyagonal elemanlar, kubbenin yüzeyini daha dengeli bir şekilde destekleyerek yapıya ekstra dayanıklılık sağlar. Bu elemanlar genellikle çapraz şekilde yerleştirilir ve kubbenin içine birbiriyle kesişen desenler oluşturur. Üniform yüklerde sistemin stabilitesini daha güvenli sağlamaktadırlar. Şekil 9’da Schwedler kubbe planı gösterilmiştir.



Şekil 9.Çift köşegenli schwedler kubbenin plan ve görünüşü [10]

Schwedler kubbelerde ayrıca radyal elemanlar da bulunur. Bu elemanlar, kubbenin merkezinden çember kirişlerine doğru uzanan çelik çubuklardır. Radyal elemanlar, kubbenin

yüklerini, diyagonal ve çember kirişlerin desteği ile zemine aktararak daha istikrarlı bir yapı oluştururlar. Bu elemanlar, çember kirişleriyle kesişen noktalarda birleşir ve kubbenin bütünlüğünü sağlar. Bu sistem, büyük açıklıklara sahip yapıların daha az malzeme kullanarak inşa edilmesini sağlayan etkileyici bir yapısal çözümdür.

2.3.2 Schwedler kubbe yük aktarım prensibi

Schwedler tipi çelik çubuklu kubbe sisteminin yapısal davranışı ve yük aktarım prensipleri, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişebilir. Bu sistemdeki çember kirişleri, etek bölümünde çekme etkisi altında kalırken, tepe kısımdaki çember kirişleri ise basınç etkisi altında bulunur. Bu durum, kubbenin yapısal davranışını etkileyen önemli bir faktördür. Diyagonal elemanlar, Schwedler kubbelerde yük aktarımının ve yapısal performansın belirleyici unsurlarından biridir. Tek yönlü veya çift yönlü diyagonal elemanlar kullanılması, yük aktarım prensibini ve sistemin davranışını farklı şekillerde etkiler. Örneğin, çift yönlü diyagonal elemanlar kullanıldığında yüklerin dengeli bir şekilde daha fazla aktarılması sağlanır. Bu, kubbenin asimetrik yükler altında daha stabil kalmasını sağlayabilir. Öte yandan, tek yönlü diyagonal elemanlar kullanıldığında yüklerin tek yönde eşit bir şekilde dağıtılması sağlanır. Bir örnek olarak, bir konferans salonu düşünelim. Schwedler kubbe sistemi, konferans salonunun geniş açıklıklarını kaplayan bir kubbe tasarımı için ideal olabilir. Etek bölümündeki çember kirişleri, salonun duvarlarına bağlı olarak çekme etkisi altında kalırken, tepe kısmındaki çember kirişleri basınç etkisi altında olur. Diyagonal elemanlar, bu yükleri dengeleyerek kubbenin stabil kalmasını sağlar. Ayrıca, çift yönlü diyagonal elemanlar kullanılarak konferans salonundaki ses ve ışık sistemlerinin oluşturduğu asimetrik yüklerin daha iyi bir şekilde aktarılması ve kubbenin dengeli bir yapıya sahip olması sağlanabilir. Bu örnekler, Schwedler tipi çelik çubuklu kubbe sisteminin yapısal davranışının ve yük aktarım prensiplerinin farklı yapı türleri ve kullanım senaryoları üzerinde nasıl etkili olduğunu göstermektedir.

Schwedler tipi çelik çubuklu kubbe sistemi, farklı yük aktarım prensipleriyle değişik yapısal davranışlar sergileyebilir. Örneğin, diyagonal elemanlar aracılığıyla yükün eşit bir şekilde dağıtılması, asimetrik yükler altında kubbenin stabil kalmasına yardımcı olabilir. Bu, büyük açıklıklara sahip yapılarda farklı yük dağılımların oluşabileceği durumlarda önemlidir. Schwedler kubbe sistemi aynı zamanda çevresel yüklere de dayanıklı olabilir. Örneğin rüzgâr yükleri veya kar yükleri gibi dış etkenlerle karşılaşabilir. Diyagonal elemanlar ve çember kirişleri, bu yüklerin kubbe üzerindeki etkilerini dağıtarak yapıyı stabilize eder. Böylece Schwedler kubbe sistemi çevresel yüklerle başa çıkmak için güçlü bir yapısal çözüm sunar. Yine her projenin spesifik ihtiyaçlarına göre Schwedler kubbe sistemi farklı uygulamalarla kullanılabilir. Örneğin sergi salonları, spor tesisleri, fuar alanları, kongre merkezleri gibi geniş açıklıklara sahip yapılar için tercih edilen bir sistemdir. Ayrıca

Schwedler kubbe sistemi estetik açıdan da çekici bir görünüm sunabilir ve yapıya özgün bir karakter kazandırabilir. Schwedler tipi çelik çubuk ağı kubbeleri, yapısal davranışı, performansı ve yük aktarım prensibi açısından bazı avantajlara ve dezavantajlara sahiptir. Özetlemek gerekirse Schwedler tipi çelik çubuk ağı kubbeleri; hafiflik, ekonomiklik ve estetik görünüm gibi avantajlara sahiptir. Bununla birlikte, imalat sürecinin karmaşıklığı, hesaplamaların zorluğu ve yapısal sınırlamaları dezavantajları olarak göze çarpar. Schwedler kubbeleri, uygun projelerde kullanıldığında etkileyici yapısal çözümler sunabilir ancak tasarım ve hesaplamaların dikkatli bir şekilde yapılması önemlidir.

2.4 Lamella Kubbe

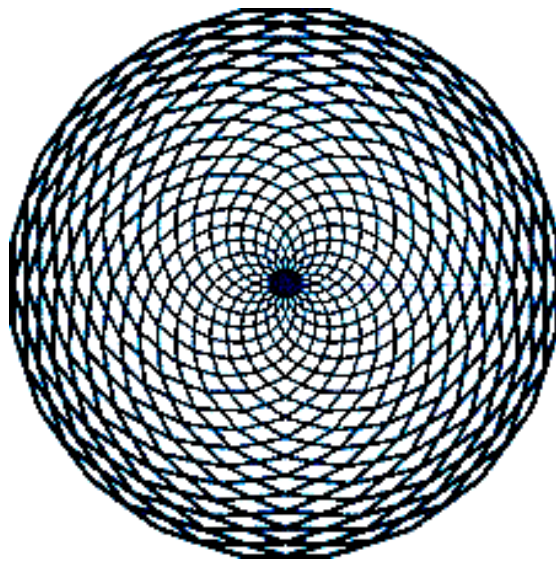
Lamella çatısı, adını Almanya'nın Saxony-Anhalt eyaletine bağlı Merseburg'da görev yapan belediye bina denetçisi Friedrich Zollinger'den almış bir yapı türüdür. Bu yapı tipinde çatı, rombik formda düzenlenmiş tek bir lamelladan oluşan kavisli bir ağ şeklinde inşa edilir. Lamella tipi kubbe, çelik kubbe türlerinden biridir ve genellikle büyük çaplı açık alanların kapatılmasında kullanılan bir yapısal sistemdir. Adını İngilizce 'deki "lamella" kelimesinden alır, bu da "ince dilim" veya "şerit" anlamına gelir. Lamella tipi kubbe, birçok ahşap veya metal şeritten oluşan bir ızgaradan oluşur. Bu şeritler genellikle üçgen ya da eşkenar dörtgen şekilli elemanlar oluşturacak şekilde düzenlenir. Şeritler bir araya getirilerek bir çatı veya kubbe şekli oluşturulur. Bu yapısal sistem, mükemmel bir denge ve mukavemet sağlayarak büyük açıklıkların üstesinden gelmek için kullanılır. Lamella tipi kubbeler, stadyumlar, spor salonları, fuar alanları gibi geniş açıklıklı yapıların yanı sıra, modern inşaat teknikleri ve malzemelerin gelişimiyle birlikte daha yaygın hale gelmiştir. Şekil 10'da gösterilen Astrodome, dünyanın ilk çok amaçlı kapalı spor salonu olarak bilinen ve aynı zamanda lamella tipi kubbenin en iyi örneği olan bir yapıdır. 1965 yılında tamamlanan Astrodome, Teksas Houston'da yer almaktadır ve 220 metre açıklığı ile 63 metre yüksekliğe sahiptir. Kubbenin ana strüktürü, 12 bölüm ve bu bölümleri birleştiren kirişler ile lamella levhalarından oluşmaktadır. Kubbenin alt kısmında ise 72 adet kolonla desteklenen bir çekme halkası bulunmaktadır.



Şekil10. Astrodome, Houston, ABD [1]

2.4.1 Lamella kubbe geometrisi

Lamella tipi kubbe, birçok ahşap veya metal şeritten oluşan bir ızgaradan meydana gelen bir yapısal sistemdir. Bu şeritler, genellikle üçgen veya eşkenar dörtgen şekilli elemanları oluşturacak ve birbirini takip edecek şekilde düzenlenir. Her bir şerit, diğerleriyle kesiştiği noktalarda birleştirilir ve bu şekilde bir ağ benzeri yapı oluşturulur. Şekil 11’de lamella tipi kubbe yapısı gösterilmiştir. Lamella tipi kubbenin temel bileşeni şeritlerdir. Ahşap veya metal malzemeden yapılan şeritler, yapıyı taşır ve mukavemet sağlar. Genellikle ince ve uzun şeritler şeklinde tasarlanırlar. Şeritler, birleşme noktalarında bir araya getirilerek bir ağ benzeri yapı oluşturulur. Şeritler, genellikle üçgen veya eşkenar dörtgen şeklindeki elemanlardan oluşan bir düzene sahiptir. Bu geometri, yapıya denge ve mukavemet sağlar. Üçgen elemanlar, yükleri diğer elemanlara aktarır ve yapıyı stabil hale getirir. Üçgenin geometrisi, kuvvetlerin daha etkin şekilde dağıtılmasını sağlar ve yapıya yüksek mukavemet kazandırır. Alternatif olarak, şeritler eşkenar dörtgen şeklindeki elemanlarla düzenlenebilir. Bu elemanlar da farklı geometrik özelliklere sahip açıklıklarda kullanılabilir. Eşkenar dörtgen elemanlar, daha düzenli bir yapı oluşturabilir ve farklı tasarım seçenekleri sunar. Lamella tipi kubbe, büyük açıklıkların üstesinden gelmek için kullanılır. Şeritlerin birleşme noktalarındaki denge ve mukavemet, yükleri etkili bir şekilde taşıyabilme özelliği sağlar. Bu yapısal sistem, hafif ve esnek olmasıyla birlikte enerji verimliliği ve geniş iç mekânlar yaratma avantajına sahiptir. Sonuç olarak, lamella tipi kubbe, çelik veya ahşap şeritlerin birleştirilmesiyle oluşturulan bir yapısal sistemdir. Şeritler, üçgen veya eşkenar dörtgen elemanlar oluşturacak şekilde düzenlenir. Bu elemanlar; yapıya denge, mukavemet ve görsel estetik kazandırır. Lamella tipi kubbe, büyük açıklıklı yapıların kapatılmasında kullanılır ve modern inşaat teknikleriyle birlikte giderek daha popüler hale gelmektedir.



Şekil 11. Lamella tipi kubbe plan örneği

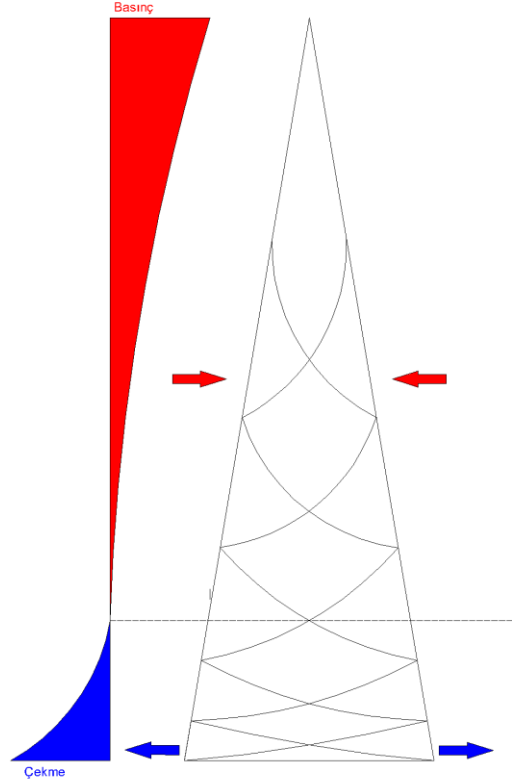
2.4.2 Lamella kubbe yük aktarımı ve yapısal davranışı

Lamella tipi kubbenin yük aktarım prensibi, karmaşık bir yapısal düzenleme ve geometri kullanarak yüklerin etkili bir şekilde taşınmasını ve kuvvetlerin dengeli bir şekilde dağıtılmasını sağlar. Bu prensipler, lamella kubbenin dayanıklılığını ve mukavemetini sağlamak için önemlidir. Lamella kubbenin yük aktarım mekanizması, şeritlerin birbirine bağlanması ve geometrik düzenlemelerin kullanılmasıyla gerçekleştirilir. İlk olarak, şeritler genellikle üçgen veya dörtgen şekilli elemanlar oluşturacak şekilde düzenlenir. Bu elemanlar, yüklerin şeritler boyunca etkili bir şekilde iletilmesini ve gerilmelerin doğru yönlendirilmesini sağlar. Üçgen veya dörtgen elemanlar, kuvvetlerin daha etkin bir şekilde dağıtılmasına yardımcı olur ve yapıya ekstra mukavemet kazandırır. Şeritlerin birleşim noktaları, yük aktarımında önemli bir rol oynar. Bu noktalarda, şeritler birleşerek yapıya entegre olurlar ve kuvvetlerin eşit bir şekilde dağıtılmasını sağlarlar. Yükler, bir şeritten diğerine aktarılır ve sonunda temel veya destek noktalarına yönlendirilir. Bu sürekli yük yolu prensibi, kuvvetlerin kesintisiz bir şekilde taşınmasını ve yapıya daha yüksek mukavemet kazandırılmasını sağlar. Ayrıca, lamella kubbenin yük aktarımında şeritlerin çaprazlama birleştirilmesi ve eklemler arasındaki sürtünme de önemli bir rol oynar. Bu çaprazlama birleştirme, şeritlerin birbirine sağlam bir şekilde bağlanmasını ve yapıya ekstra dayanıklılık sağlamasını sağlar. Eklemler arasındaki sürtünme ise yüklerin dağıtılmasında önemli bir rol oynar ve kuvvetlerin dengeli bir şekilde yayılmasını sağlar.

Lamella kubbenin yük aktarım prensipleri, yapıyı büyük açıklıklara karşı mukavemetli hale getirir. Şeritlerin birbirine bağlanması, geometrik düzenlemeler ve sürekli yük yolu prensipleri sayesinde kubbe, yükleri etkili bir şekilde taşır, gerilmeleri yönlendirir ve kuvvetleri dengeli bir şekilde dağıtır. Bu da lamella kubbenin geniş iç mekânlar yaratma kabiliyetiyle birlikte büyük açıklıkları kapatma ve dayanıklı yapılar oluşturma avantajını sağlar. Şekil 12’de lamella kafesinde şerit açılarına göre oluşan yük gerilme dağılımları gösterilmiştir.

Lamella kubbe tasarımında, kubbenin bölgesel yatay direncini artırmak için kullanılan geometrik şekiller eşkenar dörtgen veya üçgen gibi düzenli yapıları ifade eder. Bu geometrik şekiller, kubbenin etek bölgesinde daha dik bir açıyla yerleştirilir, bu da çekme direncinin arttığı bölgelerde daha fazla mukavemet sağlar. Bu tasarım, çekme gerilmesi ile daha etkili bir şekilde başa çıkabilen ve yük taşıma kapasitesini artıran bir eksen ile yükü dağıtmak için kullanılır. Kubbenin tepe noktasına doğru ilerledikçe geometrik şekillerin açıları artırılır. Bu şekilde, basınç bölgesinde daha fazla ve burkulma uzunluğuna daha geniş bir kesit oluşturulur. Bu tasarım prensibi, kubbenin yük aktarımını optimize ederek dayanıklılığını artırır. Geometrik şekillerin farklı açılarla yerleştirilmesi, kubbenin mekanik kuvvetlerini dengeler ve gerilme noktalarını etkili bir şekilde yönlendirir. Bu da kubbenin yükleri etkili bir şekilde taşınmasını sağlar ve yapıya daha büyük bir dayanıklılık kazandırır. Lamella

kubbe, bu tasarım yaklaşımı sayesinde geniş açıklıkları kapatırken, dayanıklı bir yapı oluşturur. Estetik görünümü ve sağlam yapısıyla, modern yapı tasarımlarında tercih edilen bir seçenek haline gelir.



Şekil 12. Lamella kubbe sisteminin bir kafesinde oluşan yük dağılımı ve dairesel şerit açılarının gösterimi

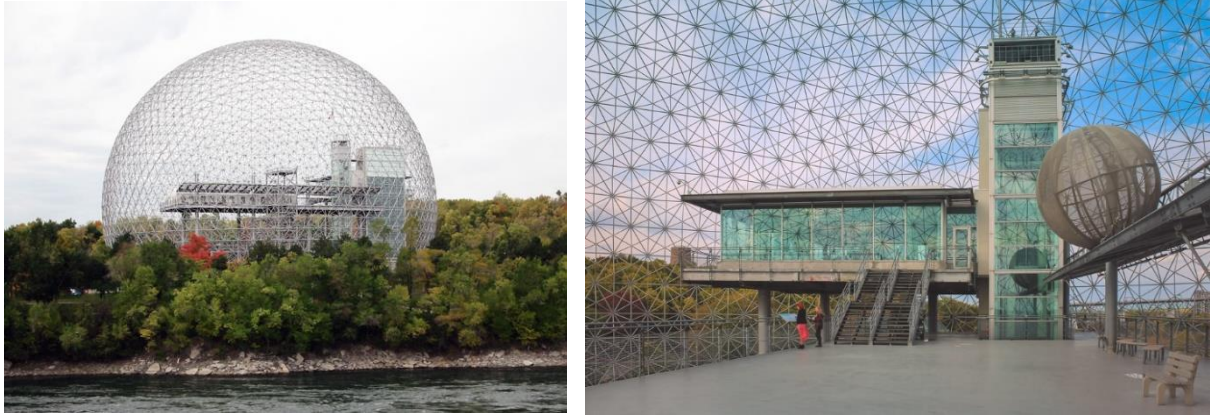
Lamella kubbenin yapısal davranışı, yük dağılımı, geometri ve kullanılan malzemelerin birleşimiyle birlikte çalışır. Ahşap veya metal şeritlerin kullanılması, yapıya gerekli mukavemeti sağlar. Ahşap şeritler, doğal bir dayanıklılığa sahip olup estetik bir görünüm sunar. Metal şeritler ise daha yüksek mukavemete ve yapısal stabiliteye sahiptir. Bu malzemeler, kubbenin yük taşıma kapasitesini artırır ve yapıya dayanıklılık kazandırır. Bu yapı, büyük açıklıkları kapatma ve mukavemet gerektiren yapılar için ideal bir seçenek olmasını sağlar. Yüklerin homojen bir şekilde dağıtılması, gerilmelerin yönlendirilmesi ve kuvvetlerin dengeli bir şekilde aktarılması, lamella kubbenin dayanıklılığını ve yapısal stabilitesini sağlar.

Sonuç olarak, lamella tipi kubbenin yük aktarım prensipleri, karmaşık geometrik düzenlemeler ve şeritlerin birleştirilmesiyle sağlanır. Bu prensipler sayesinde yükler etkili bir şekilde taşınır, gerilmeler yönlendirilir ve kuvvetler dengeli bir şekilde dağıtılır. Lamella kubbenin dayanıklılığı ve mukavemeti, bu yük aktarım prensiplerine dayanır ve büyük açıklıkları kapatabilme yeteneğiyle yapısal açıdan önemli bir seçenek haline gelir.

2.5 Jeodezik Kubbe

Jeodezik kubbe, çelik kubbe türlerinden biridir ve yüksek dayanıklılığa sahip olan bir yapısal tasarımı temsil eder. İsmi, matematiksel bir terim olan "jeodezi"den gelir, bu terim yeryüzünün şekillerini inceleyen bir bilim dalını ifade eder. Jeodezik kubbeler, yüzeylerini oluşturan üçgenlerin veya çokgenlerin birleşimiyle oluşturulan bir yapısal ağa sahiptir. Jeodezik kubbelerin ilk tasarımı, Amerikalı mühendis ve mimar R. Buckminster Fuller tarafından gerçekleştirilmiştir. Fuller, 20. yüzyılın ortalarında bu yeni yapısal formu geliştirmiş ve patentini almıştır. İlk olarak 1950'lerde yapılan deneysel modelleri ve sonrasında gerçekleştirilen projeleri ile jeodezik kubbeler tanınmış hale gelmiştir. Jeodezik kubbelerin ilk olarak kullanıldığı yerlerden biri Şekil 13'de gösterilen 1956 yılında Montreal'de gerçekleştirilen Expo 67 fuarında yer alan Amerika Birleşik Devletleri Pavyonu'dur. Bu yapı, 20 yıl boyunca kullanılan ve yüksek çekme mukavemetine sahip çelik elemanlardan oluşan bir çift katmanlı jeodezik kubbe olarak inşa edilmiştir. Expo 67 fuarı, jeodezik kubbelerin popüler hale gelmesini sağlayan etkinliklerden biri olmuştur.

Jeodezik kubbelerin kullanım alanı oldukça geniştir. Bu yapılar, stadyumlar, sergi salonları, havaalanları, hayvanat bahçeleri, seralar, açık hava etkinlik alanları ve geçici barınaklar gibi birçok farklı alanda kullanılabilir. Ayrıca, jeodezik kubbelerin hafifliği, taşınabilirliği ve kolay montajı, acil durum barınakları veya geçici konutlar gibi geçici ihtiyaçların karşılanması için de ideal bir seçenek olmaktadır.

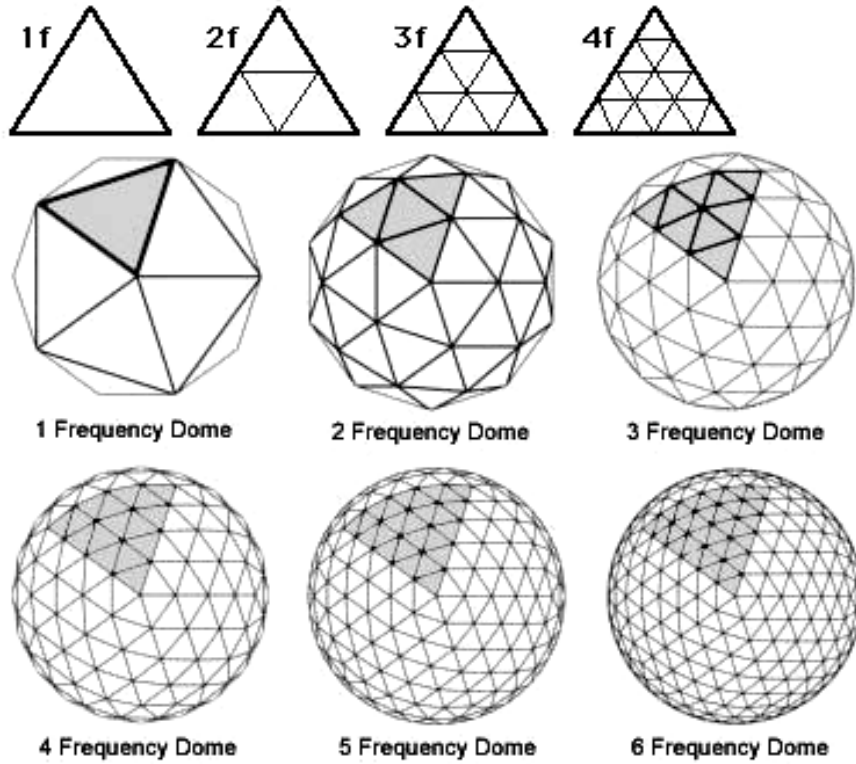


Şekil 13. EXPO 67 biosphere, Montreal, Kanada

Jeodezik kubbelerin kullanım alanı çoğunlukla mimari yapılar ve etkinlik mekânlarıdır. Bu yapılar, estetik görünüşleri ve sağlamlıklarıyla dikkat çekerken, aynı zamanda büyük açıklıkları kapatma ve yüksek mukavemet gerektiren projelerde de etkili bir çözüm sunarlar.

2.5.1 Jeodezik kubbe geometrisi

Jeodezik kubbenin geometrisi, karmaşık bir yapıya sahiptir ve yüzeyini oluşturan üçgenlerin veya çokgenlerin birleşimiyle oluşan bir ağa dayanır. Genellikle düzenli şekillerden oluşan elemanlar kullanılarak kubbenin yüzeyi oluşturulur. Bu elemanlar genellikle çubuk veya boru şeklinde olan çelik malzemedan imal edilir. Şekil 14’de jeodezik kubbe yapıları gösterilmiştir.



Şekil 14. Kubbe yüzeyindeki geometrik şekil sayısının kubbe eğriliğine etkisi

Jeodezik kubbenin geometrisi, iki temel prensibe dayanır: Doğrusal olmayan bir yüzey ve minimum malzeme kullanımı. Doğrusal olmayan yüzey, kubbenin gerilme ve deformasyon kuvvetlerini daha iyi yönetmesini sağlar. Üçgen veya çokgen elemanların birleşimi, yüzeyin eğriliğini artırır ve kubbenin dayanıklılığını artırır.

Çelik elemanlar, jeodezik kubbenin ana taşıyıcı elemanlarıdır ve geometrik düzenlemeyle birbirlerine bağlanarak yapıyı oluştururlar. Çubuk veya boru şeklindeki elemanlar, yüksek çekme mukavemetine sahip çelik malzemedan imal edilir. Bu malzeme, kubbenin güçlü ve sağlam olmasını sağlar. Elemanlar, geometrik düzenlemeye göre birleştirilir ve birçok noktada kesişerek sağlam bir yapı oluştururlar. Bu çaprazlama, yükleri homojen bir şekilde dağıtarak kubbenin dayanıklılığını artırır.

Çelik elemanların görevi, yükleri taşımak ve kubbenin stabilitesini sağlamaktır. Elemanlar, gerilmeleri yönlendirerek yükleri diğer elemanlara iletmek ve yapıyı dengelemek için tasarlanmıştır. Jeodezik kubbelerde her bir elemanın bir diğeriyle kesiştiği noktalar, bağlantı düğümleri olarak adlandırılır. Bu düğümler, elemanların bir arada kalmasını sağlayarak yapıya bütünlük katar. Elemanların düğümlerde birleştiği noktalarda kaynak, cıvata veya vida gibi bağlantı elemanları kullanılır.

Jeodezik kubbenin geometrisi ve kullanılan çelik elemanlar, yapıya yüksek dayanıklılık, mukavemet ve stabilite kazandırır. Bu özellikler, kubbenin geniş açıklıkları kapatma, yüksek rüzgar veya kar yükleri gibi zorlu koşullarla başa çıkabilme yeteneği sağlar. Ayrıca jeodezik kubbelerin estetik görünümü ve taşınabilirliği, birçok farklı kullanım alanında tercih edilmesini sağlar. Spor alanları, sergi salonları, etkinlik mekânları, geçici barınaklar ve seralar gibi birçok alanda jeodezik kubbelerin kullanımına rastlanır. Kubbe, taşıyıcı sistem üzerine ya da direk zemine de ankrajlanarak kullanılabilir. Bu kullanım genişliği bu kubbe yapısını küçük boyutlardan büyük boyutlara kadar kullanım avantaj sağlar.

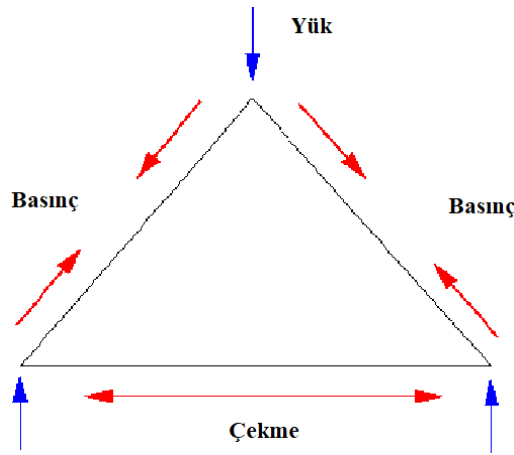
2.5.2 Jeodezik kubbe yük aktarımı ve yapısal davranışı

Jeodezik kubbenin yük aktarım prensibi, çelik elemanların yüksek mukavemeti ve geometrik düzenlemesi sayesinde sağlanır. Çelik elemanlar, kubbenin ana taşıyıcıları olarak görev yapar ve yüklerin etkili bir şekilde iletilmesini sağlar. Bu elemanlar, çekme ve basma mukavemetine sahip olup yükleri taşımak için optimum performans sergiler.

Yük aktarımı, elemanların doğru bir şekilde birleştirilmesi ve geometrik düzenlemenin sağlanmasıyla gerçekleşir. Jeodezik kubbenin geometrisi, düzenli üçgen veya çokgen elemanların bir araya gelmesiyle oluşur. Elemanlar, birbirlerine bağlandıkları noktalarda düğümler oluşturur. Bu düğümler, elemanların kesiştiği noktalardır ve yük aktarımının merkezidir. Şekil 15'de üçgen formunun yük aktarım gösterimi verilmiştir. Elemanların düğümlerde birleştiği noktalarda kullanılan bağlantı elemanları, yüklerin doğru bir şekilde aktarılmasını sağlar. Bu bağlantı elemanları, genellikle kaynak, cıvata veya vida gibi yöntemlerle elemanları bir arada tutar. Bağlantı elemanlarının dayanıklılığı, yüklerin güvenli bir şekilde transfer edilmesini sağlar. Yükler, jeodezik kubbenin geometrisi ve bağlantı elemanları aracılığıyla elemanlardan düğümlere ve nihayetinde temel noktalara aktarılır. Çekme kuvvetleri, sistemin etek bölümündeki elemanların eksenleri doğrultusuna paralel yönde oluşur ve düğümlerde toplanır. Basma kuvvetleri özellikle kubbenin tepe noktasındaki elemanların doğrultusu boyunca oluşur ve yine düğümlerde denge sağlanır. Jeodezik kubbenin yük aktarım prensibi, elemanların doğru bir geometrik düzenleme ile birbirine bağlanması ve düğümler

aracılığıyla yüklerin iletilmesini sağlayan bağlantı elemanlarının kullanılmasıyla mümkün olur. Bu prensip, kubbenin geniş açıklıkları kapatma, yüksek dayanıklılık gerektiren projelerde kullanma ve yüklerin etkin bir şekilde dağılmasını sağlama avantajlarına sahiptir.

Jeodezik kubbenin yapısal davranışı, geometrisi ve çelik elemanların bir araya gelmesiyle belirlenir. Bu yapısal sistem, dağıtılmış yük taşıma prensibine dayanır. Kubbenin geometrisi, yükleri düzenli bir şekilde dağıtarak taşır. Üçgen veya çokgen elemanların birleşimiyle oluşan kubbe, yükleri daha küçük parçalara böler ve böylece yüklerin bir noktada yoğunlaşmasını engeller. Bu da kubbenin genel dayanıklılığını artırır. Jeodezik kubbenin yapısal davranışı aynı zamanda yüksek mukavemet ve dayanıklılık özelliklerini de içerir. Çelik elemanlar, kubbenin ana taşıyıcıları olarak görev yapar ve yüksek çekme ve basma mukavemetine sahip olduğundan kubbenin yük taşıma kapasitesini artırır. Bu elemanlar, yükleri etkin bir şekilde ileterek kubbenin dayanıklılığını sağlar. Yapısal davranış, kubbenin yük altında nasıl tepki verdiğini de kapsar. Jeodezik kubbe, yükleri homojen bir şekilde dağıtarak dengeli bir yapı oluşturur. Yükler, çelik elemanlar aracılığıyla düğümlere ve nihayetinde temel noktalara aktarılır. Bu sayede kubbe, yüklerin etkin bir şekilde transfer edildiği ve yapının dengeli bir şekilde tepki verdiği bir yapısal sistem haline gelir. Jeodezik kubbenin yapısal davranışı, geometrik düzenleme ve çelik elemanların yüksek mukavemeti ve dayanıklılığı sayesinde yüksek performans sağlar. Bu yapısal sistem, geniş açıklıkları kapatma, yüksek rüzgâr veya kar yüklerine karşı direnç gösterme gibi zorlu koşullarda başarılı bir şekilde kullanılabilir. Aynı zamanda estetik bir görünüm sunması ve taşınabilir olması gibi avantajlarıyla da tercih edilen bir yapısal çözümdür.



Şekil 15. Jeodezik kubbelerde kullanılan üçgen formunun yük aktarım gösterimi

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışma kapsamında, radyal nervürlü kubbe, schwedler kubbe, lamella kubbe ve jeodezik kubbe olmak üzere dört farklı çelik çubuk ağı kubbe modelinin yük aktarım prensipleri, sistem inşası, malzemeleri, dayanıklılığı ve kullanımıyla ilgili önemli bulgular elde edilmiştir.

Radyal nervürlü kubbe, yük aktarımında etkileyici bir dayanıklılık sağlamaktadır. Yüklerin merkeze doğru aktarılması sayesinde, kubbenin taşıma kapasitesi artmakta ve yapıya güçlü bir destek sağlanmaktadır. Bu özelliği sayesinde, radyal nervürlü kubbe genellikle büyük açıklıklı yapıların inşasında tercih edilmektedir. Örneğin, stadyumlar, spor salonları ve konser mekânları gibi geniş bir alana ihtiyaç duyan yapılar için ideal bir seçenektir.

Schwedler kubbe ise yükleri bir çubuk ağı kullanarak daha dengeli bir şekilde dağıtmaktadır. Bu da kubbenin taşıma kapasitesini artırırken yapıya daha dengeli bir yük dağılımı sağlar. Schwedler kubbe, çeşitli yapı tiplerinde kullanılabilir ve estetik açıdan da çekici bir seçenek olarak öne çıkar. Özellikle köprüler, fuar alanları ve ticari yapılar gibi çeşitli uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Lamella kubbe, özel bir kaplama tekniği ve kubbe şeritlerinin bölgesel açıları ile yükleri sürekli bir şekilde aktarırken estetik bir görünüm sağlamaktadır. Çelik çubukların birbirine bağlanması ve özel bir kaplama malzemesi ile kubbeyi oluşturma süreci, yapıya hem dayanıklılık hem de estetik bir görünüm kazandırmaktadır. Lamella kubbe, özellikle mimari açıdan önemli yapıların tasarımında tercih edilen bir seçenektir.

Jeodezik kubbe ise üçgenlerden oluşan ađ yapısıyla yükleri tüm yapının üzerine eşit bir şekilde dağıtmaktadır. Bu yapısal özellik, kubbenin yüksek dayanıklılığını ve taşıma kapasitesini sağlar. Jeodezik kubbe, genellikle spor tesisleri, sergiler ve kongre merkezleri gibi büyük açıklıklı yapılar için tercih edilen bir çözümdür.

Bu bulgulara dayanarak her bir kubbe modelinin avantaj ve dezavantajları ortaya konmuştur. Örneğin radyal nervürlü kubbe büyük açıklıklı yapılar için daha uygunken schwedler kubbe çeşitli uygulama alanlarında tercih edilebilir. Lamella kubbe estetik bir görünüm sunarken jeodezik kubbe ise yükleri eşit bir şekilde dağıtarak yüksek dayanıklılık sağlar. Bununla birlikte, her bir kubbe modelinin kullanımıyla ilgili belirli şartlar göz önünde bulundurulmalıdır. Örneğin radyal nervürlü kubbe geniş açıklıkların olduğu yapılar için uygun olsa da geniş açıklıklarda radyal kiriş kesiti artacağından yapı maliyeti artabilir. Schwedler kubbe, daha esnek bir yapıya sahip olduğu için farklı açıklıklara ve tasarımlara uyum sağlayabilir. Lamella kubbe ise özel kaplama teknikleri ve malzemeler gerektirebilirken estetik bir görünüm sunmasıyla dikkat çekmektedir. Jeodezik kubbe ise genellikle

küçük ve orta büyüklükteki açıklıklı yapılar için tercih edilmekte olup mükemmel bir yük dağılımı ve dayanıklılık sağlamaktadır.

Bu bulgular, mimarlar ve mühendisler için çelik çubuk ağı kubbe modellerinin seçiminde yol gösterici olacaktır. Projenin gereksinimleri, yapısal tasarım, estetik kaygılar ve montaj süreci gibi faktörler göz önünde bulundurularak en uygun kubbe modelinin seçilmesi önemlidir. Bu bulgular, gelecekteki araştırmaların bu kubbe modellerinin performansını ve uygulama alanlarını daha da geliştirmek için odaklanabileceği noktaları belirlemektedir. Ayrıca yapısal mühendislik alanında çelik çubuk ağı kubbelerin geliştirilmesine ve optimize edilmesine yönelik gelecekteki çalışmalar için bir temel oluşturmaktadır. Yük aktarım prensipleri, malzeme seçimi, montaj süreci ve dayanıklılık gibi önemli faktörlerin daha ayrıntılı şekilde incelenmesi, bu kubbe modellerinin performansını daha da artırabilir. Özellikle yeni malzeme teknolojileri, daha verimli yapısal tasarımlar ve gelişmiş analitik yöntemler, çelik çubuk ağı kubbelerin daha hafif daha dayanıklı ve daha esnek olmasını sağlayabilir. Bu bulguların mimari ve mühendislik uygulamalarında pratik faydaları da vardır. Örneğin, büyük açıklıklı yapılar için radyal nervürlü kubbe veya jeodezik kubbe gibi kubbe modelleri, daha az sütun ve duvar kullanımıyla daha geniş iç mekânlar yaratılmasına olanak tanır. Bu da esnek kullanım alanları sunar ve iç mekân tasarımlarında daha fazla özgürlük sağlar. Ayrıca çelik çubuk ağı kubbeler, yüksek dayanıklılıkları ve taşıma kapasiteleri sayesinde deprem ve rüzgâr gibi doğal etkilere karşı güçlü bir direnç gösterir.

Sonuç olarak bu çalışma, radyal nervürlü kubbe, schwedler kubbe, lamella kubbe ve jeodezik kubbe olmak üzere dört farklı çelik çubuk ağı kubbe modelinin yük aktarımı prensipleri, sistem inşası, malzeme seçimi ve dayanıklılığı üzerine ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Her bir kubbe modelinin avantajları, dezavantajları ve kullanım alanları belirlenerek mimarlar ve mühendisler için yapılarda doğru seçimler yapmalarına yardımcı olmuştur. Bu bulgular, gelecekteki çalışmaların çelik çubuk ağı kubbelerin performansını daha da geliştirmek ve yeni uygulama alanları keşfetmek için odaklanabileceği noktaları belirlemektedir.

4. SONUÇLAR

Bu makalenin amacı, çelik çubuk ağı kubbelerin farklı modelleri olan radyal nervürlü kubbe, schwedler kubbe, lamella kubbe ve jeodezik kubbenin yük aktarım prensiplerini ve performanslarını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda, her bir kubbe modeli detaylı bir şekilde analiz edilmiş, yük aktarımı, sistem inşası, malzeme seçimi ve dayanıklılık gibi kritik faktörler üzerinde odaklanılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, çelik çubuk ağı kubbelerin farklı modellerinin avantajlarını ve dezavantajlarını şu şekilde ortaya koymuştur:

1. Radyal nervürlü kubbeler, yüklerin merkeze doğru aktarılmasını sağlayarak etkileyici bir dayanıklılık sunmaktadır. Özellikle merkezi yük taşıyan yapılar için uygundur. Dezavantaj olarak dışarıdan bakıldığında estetik açıdan sınırlıdır ve büyük açıklıkları kapatmak için daha fazla çelik malzeme gerekebilir dolayısıyla daha maliyetli olmaktadır.
2. Schwedler kubbeler, yükleri çubuklardan oluşan bir ağ ağı kullanarak daha dengeli bir şekilde dağıtır. Büyük açıklıkların üstesinden gelmek için uygundur. Ancak yapının içinde daha fazla destek gerektirebilir bu da iç mekân tasarımını kısıtlayabilir.
3. Lamella kubbeler, özel kaplama tekniği ile yükleri sürekli bir şekilde aktarırken estetik bir görünüm sağlamaktadır. Estetik tasarımın önemli olduğu yerlerde tercih edilebilir. Dezavantaj olarak büyük açıklıklar için uygun olmayabilir ve kaplama tekniği daha fazla maliyet gerektirebilir.
4. Jeodezik kubbeler, üçgen ve çeşitli geometrik şekillerden oluşan ağ yapısıyla yükleri tüm yapının üzerine eşit bir şekilde dağıtmaktadır. Büyük açıklıkların kapatılması ve yükün homojen dağıtılması için idealdir. İnşaat süreci karmaşıktır ve daha fazla hesaplama gerektirebilir, ayrıca yüzey kaplaması ve detaylar ek maliyetler getirebilir.

Bu makalenin sonuçları gelecekteki araştırmalar için bir temel oluşturur. Çelik çubuk ağı kubbelerin daha da geliştirilmesi ve optimize edilmesi için malzeme teknolojileri, yapısal analiz yöntemleri ve inşaat teknikleri gibi alanlarda daha fazla çalışma yapılabilir. Özellikle çevre dostu malzemelerin kullanımı, enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik gibi faktörlerin göz önünde bulundurulması, çelik çubuk ağı kubbelerin gelecekteki uygulama alanlarını genişletebilir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı da göz ardı edilemez. Çelik çubuk ağı kubbelerin farklı modellerinin yük aktarım prensiplerini ve performanslarını sistematik bir şekilde analiz etmek, daha önceki çalışmalara ek bir bilgi sağlamaktadır. Çelik çubuk ağı kubbelerin yapısal tasarımlarında kullanılan malzemeler, inşaat teknikleri ve dayanıklılık gibi konulara odaklanmaktadır. Bu bilgiler gelecekteki araştırmaların ve yapısal tasarımların daha ileriye gitmesine yardımcı olacaktır. Ayrıca, bulgularımızın mimari uygulamalara yönelik önemli sonuçları vardır. Her bir kubbe modelinin avantajları ve dezavantajları, farklı uygulama alanlarında kullanımını etkilemektedir. Örneğin büyük açıklıklı yapılar için radyal nervürlü kubbe veya jeodezik kubbe gibi modeller, geniş iç mekânlar yaratma ve daha az yapısal eleman kullanma avantajı sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, çelik çubuk ağı kubbelerin farklı modellerinin yük aktarım prensiplerini, sistem inşası, malzeme seçimi ve dayanıklılığını ayrıntılı bir şekilde incelemiştir. Bulgular, mimarlar ve mühendisler için doğru seçimler yapmalarına yardımcı olacak rehberlik bilgileri sunmaktadır. Literatüre katkı sağlayan bu çalışma, çelik çubuk ağı kubbelerin gelecekteki gelişimi için

bir temel oluşturmakta ve mimari uygulamalarda kullanımlarını genişletebilecek potansiyellerini ortaya koymaktadır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını bildirmektedir.

ETİK BEYANI

Bu çalışmada, yazarlar “Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesi” kapsamındaki tüm kurallara uyduklarını, ilgili yönergenin “Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiğine Aykırı Eylemler” olarak belirtilen başlığı altındaki eylemlerden hiçbirini gerçekleştirmediklerini taahhüt ederler.

YAZARLARIN KATKILARI

Mehmet Ali BEKTAŞ: Yazma ve düzenleme, verilerin düzenlenmesi, metodoloji, veri toplama, test ve kontrol. Mehmet Sedat HAYALİOĞLU: Gözetim ve liderlik sorumluluğu, analiz, veri düzenleme, inceleme ve sonuçların yorumlanması.

KAYNAKLAR

- [1] M. A. Bektaş, "Çelik uzay kafes kubbe sistemlerinin Türkiye bina deprem yönetmeliği ve Türk çelik yapılar tasarım yönetmeliğine göre analiz ve tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2023.
- [2] N. Subramanian, *Principles of space structures*. New Delhi: Wheeler Publishing, 1999.
- [3] S. P. Timoshenko and S. Woinowsky-Krieger, *Theory of Plates and Shells*. Singapore: McGraw-Hill, 1959.
- [4] S. P. Timoshenko, *Theory of Elastic Stability*. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc, 1961.
- [5] C. M. Papadopoulos and M. T. LoRicco, "Symmetry-adapted computation: a case study of the bucharest dome," Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering, Montreal, Canada, June 14-16, 2006.
- [6] K. Soykan, "Çelik uzay kubbe sisemlerin ağırlıkça optimum dizaynı," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Selçuk Üniversitesi, Konya, Türkiye, 2007.
- [7] C. Çiftçi, "Stability of steel dome structures," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2009.
- [8] G. Yılmaz, "Tek katmanlı uzay kafes kubbelerde berkitme elemanı kullanımının tasarıma etkisinin belirlenmesi," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2021.

- [9] A. Adnanoğlu, "Farklı açıklıklara sahip dolu gövdeli kubbe kafes sistemler ile dairesel boşluklu kubbe kafes sistemlerin tasarım ve maliyet karşılaştırılması," Yüksek lisans tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2022.
- [10] K. E. Kurrer, *The History of the Theory of Structures: Searching for Equilibrium*. Berlin, Germany: Ernst & Sohn, 2018.
- [11] A. Baskı, *Kubbe Yapıları*. (2023). Erişim Tarihi: 31.07.2023. [Online]. <http://www.artnova.com.tr/>.

Copyright © 2023 Bektaş and Hayalioğlu. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY 4.0).