

DERLEME/REVIEW

ÇUBUK AĞI AHŞAP KUBBELER

Berru DEMİRBAŞ¹¹ Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık Yapı Programı, İstanbul.
berrudemirbas@gmail.com ORCID No: 0000-0002-1743-9461Z. Canan GİRGİN²² Yıldız Teknik Üniversitesi, Yapı Bilgisi Anabilim Dalı, İstanbul.
zcgirgin@yildiz.edu.tr ORCID No: 0000-0003-1985-448X**Geliş Tarihi/ Received Date:** 03/05/2019. **Kabul Tarihi/ Accepted Date:** 17/07/2019.

Öz

Geniş açıklıklı yapı ihtiyacına yönelik tasarım anlayışının, 20. yy'ın başlarından itibaren kendini gösterdiği söylenebilir. Bu anlayışta, malzeme, biçim ve taşıyıcı sistem bir bütün halinde değerlendirilir ve tasarıma katılır. 20.yy'ın ikinci yarısından itibaren gelişen lamine ahşap kompozit eleman (glulam) üretim teknolojileri, geniş açıklıklı ahşap yapı tasarımını mümkün kılmıştır. Bu çalışmada çubuk ağı kabuk sistemler genelinde; önemli bir uygulama alanı bulan tek tabakalı ahşap kubbeler incelenmektedir. Malzeme, form ve taşıyıcı sistemin verimliliği, bilinen en geniş açıklıklı ahşap kubbe örnekleri üzerinden karşılaştırmalı olarak irdelenmektedir. Kubbe maliyetine etki eden parametrelerden biri taşıyıcı sistemin tipi ve basıklığıdır, jeodezik sistem ekonomikliği ile tercih edilmektedir. Birleşimlerin teşkil biçimi ve yükleri taşıma kapasitesinin yanısıra; kubbe yüklerinin zemine aktarılma biçimi de önemlidir. İncelenen örneklerden, yüklerin payadadan çekme çemberine aktarım biçiminin en uygun çözüm olduğu görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Lamine ahşap giriş, Geniş açıklık, Çubuk ağı kubbe, Ahşap, Düğüm noktası.

RETICULATED TIMBER DOMES

Abstract

It can be said that the concept of design for the needs of the wide span structure has emerged from the beginning of the 20th century. In this approach, the material, form and structural system are evaluated as a whole and are included in the design. Since the second half of the 20th century, the production of glue laminated members (glulam) has made possible to design wide span wooden structures. In this study, single-layer reticulated wooden domes which have an important position in application area are adressed. The efficiency of the material, form and structural system is investigated on the well known largest-span timber domes. One of the parameters affecting the cost of the dome is the type and aspect ratio of the structural system, geodesic system is economically preferred. In addition to the load carrying capacity of nodes and connections, transferring of the loads on domes to the ground is also important. The load transfer from buttresses to the tension ring seems the most appropriate solution.

Keywords: Glulam, Large-span, Reticulated dome, Wood, Node.

1. GİRİŞ

Çubuk ağı kabuk sistemler (ızgara kabuk sistemler), çubuk elemanların ağısı bir düzen oluşturduğu, yüzeye etkileyen yüklerin ağısı düzeni oluşturan çubuk elemanlar tarafından taşınarak temele aktarıldığı yapılardır. Bu tür yapıların üretiminde kullanılan malzemeler çelik, ahşap veya alüminyum olabilmektedir. Çubuk ağı kabuk sistemlerin başlıca üç tip oluşturma tekniği mevcuttur.

- I) Düğüm noktalarında birbirinin içinden geçen ve tüm yapı boyunca uzanan sürekli elemanlara sahip ızgara sistemler (amorfor ahşap ızgara kabuk sistemler, Şekil 1)



Şekil 1. Amorf formlar (Weald and Downland Museum ve Savill Garden, İngiltere) (Chilton ve Tang, 2017) [1,2]

- II) Düğüm noktalarında metal birleşim elemanlarına birleşen kısa çubuklar ile teşkil edilen sistemler
 - Tek tabakalı sistemler (Şekil 2): Dış yükler genellikle tali elemanlar ile söz konusu çubuk elemanlara aktarılır, taşıyıcı sistemde M,N,T kesit tesirleri oluşur.
 - İki tabakalı sistemler (Şekil 3): Dış yükler doğrudan düğüm noktalarına aktarılır, bu durumda genellikle tipik bir kafes sistemde olduğu gibi sadece N söz konusudur.

Bu çalışmada tek tabakalı ahşap çubuk ağı kabuk sistemlerin kubbe tipi incelenecektir. Söz konusu sistemlerde tipik birleşim modellenmesi ve maliyet karşılaştırması yapılacaktır.



Şekil 2. Ashiro Gymnasium Dome, Ashiro, Japonya, 1986 [3] (Misztal B. 2017)

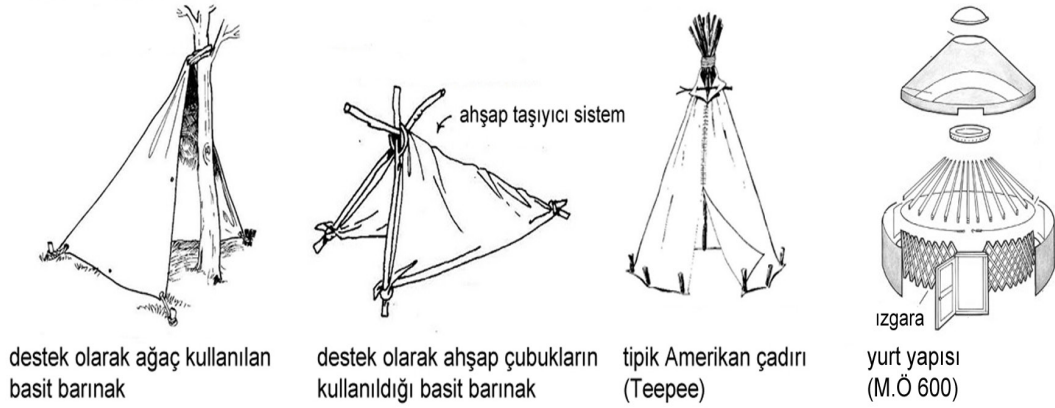


Şekil 3. Oguni Dome, Japonya, 1988 [4, 5] (Nordström ve Orstadius, 2014)

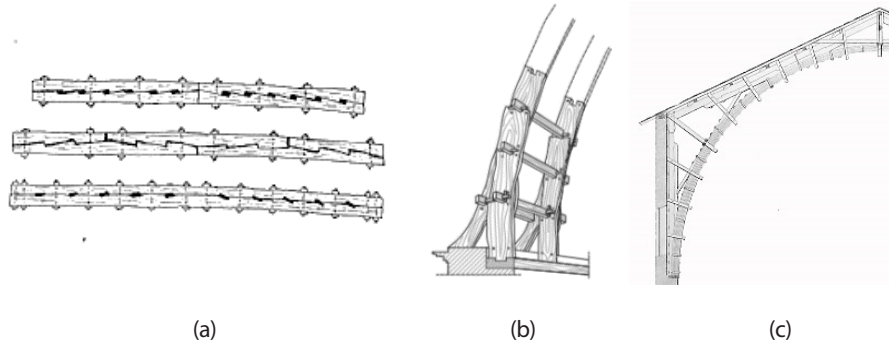
2. ÇUBUK AĞI KABUK SİSTEMLER

2.1 Tarihçe

Çubuk ağı sistemlerin ortaya çıkışı, ahşaptan ilk basit barınakların yapımı ile başlamış, kısa düz çubuklar birbiri ile keşitirilerek yaşanabilir hacimler elde edilmiştir (Şekil 4). Lamine kompozit ahşap elemanların ise 16.yy dan başlayarak üretildiği görülmektedir. Da Vinci, dişlendirilmiş ahşap elemanların kamalı birleşimlerini üretmiştir. Philibert de L'Orme'nin doğrudan lamine elemanlar ile kamalı birleşimli kemer tasarımı, 19. yy'da Emy'nin lamine elemanlar ile bulonlu yine kemer formlu tasarımı, geniş açıklıklı yapılarda lamine kompozit ahşabın ilk yapısal örnekleri olmuştur (Şekil 5).



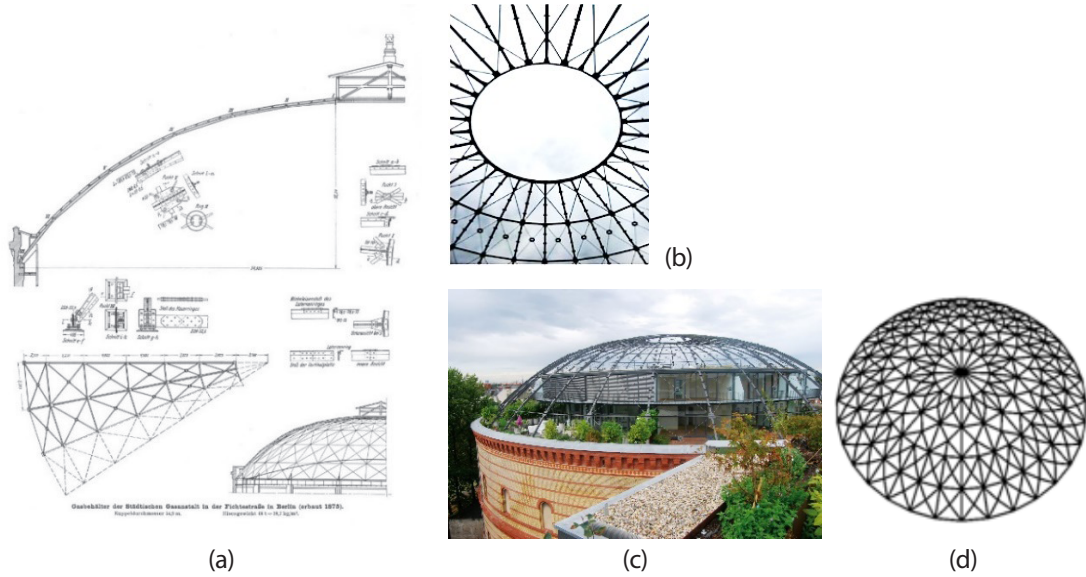
Şekil 4. Basit barınak örnekleri



Şekil 5. 16-19.yy döneminde ahşap elemanların gelişimi; (a) Da Vinci sistemi (Jasieňko ve diğerleri, 2011); (b) De l'Orme sistemi (Misztal, 2017); (c) Emy sistemi (Mongelli, 2006)

Sistemin bugünkü modern yapım sistemine dönüşmesinde, lamine ahşap ve çelik üretim teknolojilerinin paralel gelişimi ve yaygınlaşması en önemli etkenlerdir. 19. yy'ın ikinci yarısında çelik, ekonomik ve seri şekilde üretilmeye başlanmıştır. Bu durum, malzemenin çubuk ağı kabuklarda uygulanmasına zemin hazırlamıştır. 1874'de J.W.Schwedler, paraleller ve meridyenler doğrultusundaki çelik çubuklar ve stabiliteyi arttırmak için diyagonal yönde çok ince kesitli elemanlar ile hafif ve şeffaf kubbe tasarımı (*Schwedler kubbesi*) gerçekleştirmiştir (Şekil 6).

Tutkal kullanılan ahşap kompozitlerin ilk örnekleri Old Rusholme Chapel (Manchester, 1927) ve King Edward College (Southampton, 1860)'dir (Slavid, 2005). 1901'de Almanya'da Otto Hetzer'in kazein tutkalı ile patentini aldığı lamine ahşap kiriş (*glulam*) ise, bu alanda gerçek bir gelişme olmuştur. İki veya daha fazla sayıda ahşap katmanı, kazein bazlı yapıştırıcılar ile birleştirilerek geniş açıklıklı kemerler tasarlanmış, 40 m'ye kadar ahşap kompozit elemanlar üretilmiştir.



Şekil 6. (a) 12 m yüksekliğinde ve 54 m çapında Fichte-Bunker, Berlin, 1874 (Kurrer, 2018)

(b) Kubbe basınç çemberi [6]

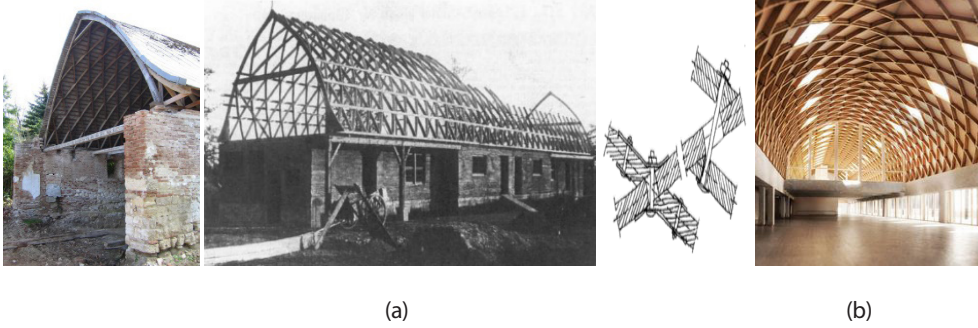
(c) Günümüzdeki görünümü [7]

(d) Schwedler kubbe (Kurrer, 2018)

Ahşap çubuk ağı sistemlerin ilk uygulaması; mevcut yapılara önemli yük getirmeden yaşam alanlarını genişletmek amacıyla yönelik olarak, F. Zollinger'in geliştirdiği ve patentini aldığı (1910) hafif, ön üretimli *Lamella sistem*'de hayat bulmuştur (Şekil 7a). Lamella sistem günümüzde de yaygın şekilde uygulanmaktadır (Şekil 1,7b).

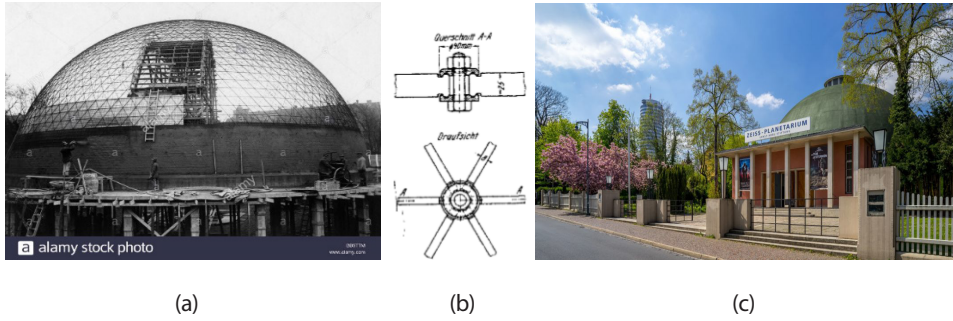
Neme dayanıklı, nitelikli sentetik tutkallar ile üretilen ahşap çubuk ağı kabuklar için, 1931'de Kaurit'in sentetik reçine esaslı (üre- ve fenol- formaldehit)¹ tutkalı ticari kullanıma sunması öncü bir gelişme olmuştur, ekonomik ama neme dayanıksız kazein tutkalların yerini almıştır. 2.Dünya Savaşı sırasında phenol-resorsinol-formaldehit (PRF) tutkalların kullanıma sunulması ile günümüzün glulam elemanlarının üretimi başlamıştır.

¹ Sözkonusu sentetik reçineler üzerine araştırmalar; Almanya'da A.V Baeyer (1872)'in fenol-formaldehit üzerine, Goldschmidt (1896)'in üre-fomaldehit üzerine çalışmaları ile başlamıştır (Kollmann ve diğerleri, 1975).

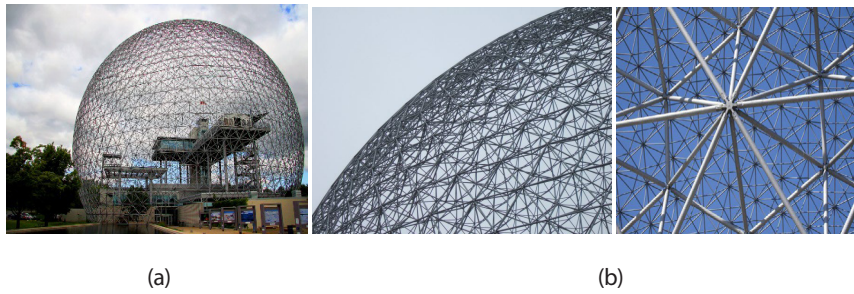


Şekil 7. (a) Zollinger'in lamella sistem uygulaması, Merseburg, 1922 ve düğüm noktası [8],
(b) Günümüzden bir lamella silindirik kabuk uygulaması [5]

1922'de, ilk defa Alman mühendis W. Bauersfeld tarafından tasarlanan *Jeodezik kubbe* sistemi (Şekil 8), 1954 yılında B. Fuller tarafından yeniden, ancak iki tabakalı kafes sistem olarak tasarlanmıştır (Şekil 9). Daha sonraki dönemde geliştirilerek tek tabakalı jeodezik kubbe günümüz formunu almıştır.



Şekil 8. (a) Tek tabakalı çubuk ağı kubbe örneği; 82 m çapında Zeiss Planetarium yapısı, Jena, Almanya, 1922 [9] ; (b) düğüm noktası (Aondio,2014); (c) günümüzden görünüm [10]



Şekil 9. (a) Biosphère, American Pavilion Expo 67, Kanada, 1967 [11];
(b) İki tabakalı çubuk ağı (uzay kafes) kubbe ve düğüm noktası [12]

2.2 Modern Tek Tabakalı Çubuk Ağı Sistemler ve Ahşap Kubbelerin Gelişimi

1950'lerde Dr.Kiewitt, Zollinger'in lamella sisteminden esinlenerek, kendi ismi ile anılan Kiewitt kubbesini (Diamatic kubbe) tasarlamıştır. Houston Astrodome (1965) bu tasarımın sonucudur, 217 m açıklığı ile dünyanın en büyük çelik kubbelerinden biridir. Günümüzün modern düğüm noktalarının henüz geliştirilmemiş olması ve geçilen açıklığın çok büyük olması gibi nedenler ile kirişler, 150 cm'lik düzlem kafes kiriş (Bass, 1965) formunda tasarlanmıştır (Şekil 10), yapının modern tek tabakalı uygulamalara öncü olduğu söylenebilir.

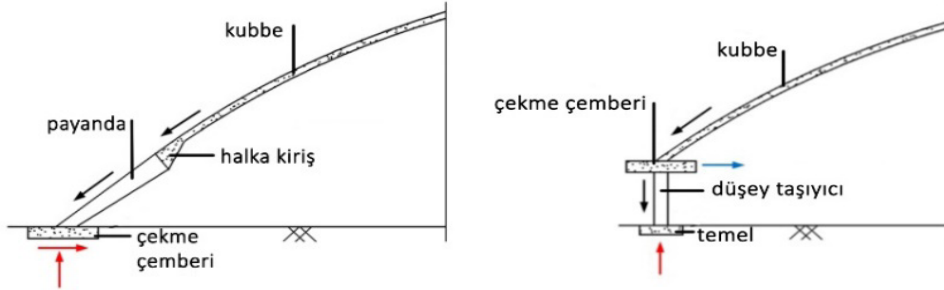


Şekil 10. (a) 217 m açıklıklı Kiewitt kubbe Astrodome, Houston, A.B.D, 1965 [13]; (b) kafesler ve mesnet birleşimleri [14]; (c) Kiewitt kubbe görünümü (Yan ve diğerleri, 2016)

2.Dünya Savaşı sonrası, tutkal ve lamine kompozit ahşap eleman üretim teknolojilerindeki gelişmelerin sonucunda; tek tabakalı ahşap kubbelerin uygulaması ilk olarak 1950'li yıllarda A.B.D'de ortaya çıkmıştır (Brick Breeden Fieldhouse, 1957). Ancak en ekonomik sonuç veren kubbe tipi olan jeodezik kubbe (*Varax kubbe* ismi ile), kesit tesirleri için yeterli rijitliği sağlayan metalik düğüm noktası tasarımının geliştirilmesi ile 1970'lerden itibaren uygulama alanına girmiştir. Jeodezik kubbenin rijitliği; Kiewitt kubbe ile aynı olup, Schwedler kubbenin 20 katıdır (Jorissen, 1989), ortaya çıkan iç kuvvetler de jeodezik kubbe durumunda diğerlerine kıyasla en düşük olmaktadır.

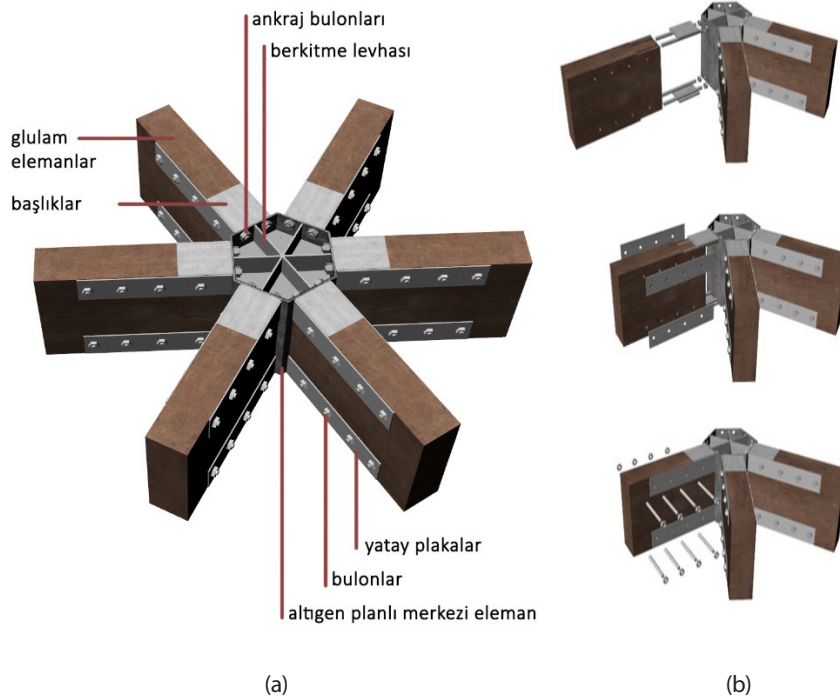
Çubuk ağı kubbelerde genel olarak; yükseklik/açıklık oranı (h/D) azaldıkça, yapının yanal yöndeki itkisi dolayısıyla yanal doğrultuda mesnetlenme ihtiyacı ve artan iç kuvvetler ile birlikte burkulma eğilimi artar, böylece yapının rijitliğini sağlamak için taşıyıcı sistem maliyeti artar. Burkulma eğilimindeki artış, h/D 'nin artışı durumunda da sözkonusu olur. Literatürde $h/d = 0.23-0.38$ aralığının kullanılabilir ve 0.29'un ideal olduğu (Pan ve Girhammar, 2002), 0.16'nın ise kabul edilebilir sınır durum olduğu belirtilmektedir (Fredriksson ve Herrström 2017). Lamella ve diamatic kubbe karşılaştırıldığında h/D optimum oranının, lamella kubbe için 0.25, diamatic kubbe için 0.30 olduğu görülmektedir (Nahar ve Aleyas, 2017).

Çubuk ağı kubbe sistemlerin uygulamalarında, kubbeden zemine aktarılacak çekme kuvveti, çekme çemberi tarafından alınır. Kubbelerde karşılaşılan iki tip mesnetlenme durumu Şekil 11'de verilmiştir. Payandaya mesnetleme durumunun, hem ekonomik tasarım hem de artan kullanılabilir alan nedeniyle daha çok tercih edildiği görülmektedir. Payandalar; betonarme ve sıklıkla ardgermeli betondan yapılan çekme çemberine birleşir, Walkup Skydome (1977) ve Round Valley Ensphere (1991) bu tip uygulamaya örnek verilebilir. Kolonlara birleşme durumunda ise çekme çemberi, kubbenin kolonlara birleştiği yerde düzenlenir, Tacoma Dome (1983) bu tipte düzenlenmiştir. Kubbe basıklığı arttıkça, payanda uygulaması daha ekonomik sonuç verir.



Şekil 11. Kubbenin tipik mesnetlenme biçimleri (Segal ve Adriaenssens, 2013)

Tek tabakalı ahşap çubuk ağı kubbeler; metalik olarak altıgen/silindirik formlu düğüm noktalarına karşılıklı altı farklı yerden 60° lik açı ile birleşen kısa ahşap çubuk elemanlar ile teşkil edilir. Söz konusu elemanlar; sıklıkla Douglas köknarı, ladin, Güney Sarıçamı gibi ibrelili (iğne yapraklı) yumuşak ağaçlardan üretilmiş glulam tarzı tutkallı lamine kompozit elemanlardır, tabaka kalınlıkları genellikle 3.8 cm (1-1/2 in) alınmaktadır. Düğüm noktaları, tek tabakalı çubuk ağı sistemlerden beklendiği üzere, tüm kesit tesirlerini taşıyacak ve aktaracak özellikte tasarlanır. Birleşimin bulonlu olması uygulama kolaylığı sağlar. A.B.D'de 1970'lerden itibaren kullanılmış olan altıgen düğüm noktası tipi bu çalışmada modellenerek Şekil 12'de verilmiştir.



Şekil 12. Tek tabakalı ahşap çubuk ağı sistemde (a) düğüm noktası şematik gösterimi (b) Kurulum safhaları

Tek tabakalı kubbe sistemlerin montajı iki şekilde gerçekleştirilebilir:

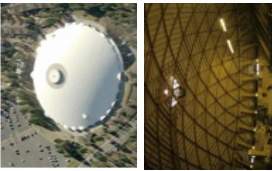
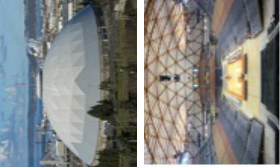
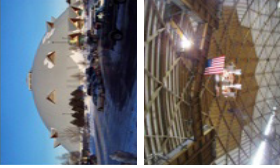
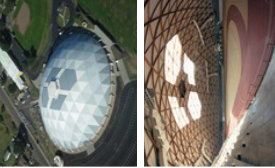
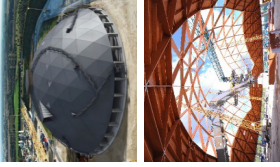
- Zemin seviyesinde oluşturulan üçgen birimlerin sistem üzerindeki koordinatlarına uygun olarak vinç ile oturtulması,
- Zemin seviyesinde üçgenlerden oluşturulan blokların hidrolik krikolar yardımıyla kaldırılarak kubbe üzerine yerleştirilmesi.

Tek tabakalı kubbelerde ilk yöntem çok kullanılmıştır.

3. TEK TABAKALI AHŞAP KUBBELER VE SAYISAL KARŞILAŞTIRMALAR

Bu çalışmada, tek tabakalı ahşap kubbe sistemlerin geniş açıklıklı beş uygulama örneği (Misztal, 2017; Verbout, 1991; Marshall, 1977) ve [15-21] kaynaklarından yararlanılarak, karakteristik özellikleri ile Tablo 1'de incelenmiştir. Yapıların yapıldıkları yıldaki maliyetleri, homojen bir karşılaştırma için, 2018 yılı US\$ kuruna güncellenerek [22] verilmiştir. Takiben, bu yapılar ile ilgili sayısal karşılaştırmalar yapılmaktadır.

Tablo 1. Tipik tek tabakalı ahşap kubbe sistemler ve teknik özellikleri

Yapı	Walkup Skydome (1977) Flagstaff, Arizona, ABD	Tacoma Dome (1983) Seattle , ABD	Superior Dome (1991) Michigan, ABD	Round Valley Enisphere (1991) Arizona, ABD	Enel Dome (2015) Brindisi, İtalya
Yapının içten ve dıştan görünümü					
Yapı boyutları:	D: 153 m , Hi:28 m h: 26.6 m , h/D: 0.17 A: 18400 m ²	D: 161.5 m , Hi: 48 m h: 29 m , h/D: 0.18 A: 20500 m ²	D: 163 m , Hi: 49 m h: 39 m , h/D: 0.24 A: 20900 m ²	D: 134 m , Hi:31.6 m h: 30 m , h/D: 0.22 A: 17500 m ²	D: 143 m , Hi: 50 m h: 39.8 m , h/D: 0.28 A: 16300 m ²
Taşıyıcı sistem ve boyutlar:	Kirişler: Glulam, Güney çamı, 222-311 ^{mm} x 686 ^{mm} , 36 betonarme payanda, 13 m aralık ile 10 MPa arđ-germe basıncı uygulanan beton çekme çemberine 1200 ^{mm} x 900 ^{mm} birleşir. Yıllık ortalama 2.4 m kar yükü de dikkate alınmıştır.	Kirişler: Glulam, Douglas Köknarı, 170-220 ^{mm} x 760 ^{mm} 36 dairesel kolon (660 ^{mm}) üst seviyesinden arđ-germeli beton çekme çemberine birleşir.	Kirişler: Glulam, Douglas Köknarı (220 ^{mm} x 950 ^{mm}) 40 payanda,3 tendon ile 16 MPa arđ germeli çekme çemberi (1500 ^{mm} x 750 ^{mm}). Kubbe tasarımında 129kmh rüzgar hızı da dikkate alınmıştır.	Kirişler: Glulam (680 ^{mm}), Güney çamı, 2.4 m boy 36 betonarme payanda 3.5m betonarme istinad duvarı üst kısmında (zemin seviyesi) 700 ^{mm} yüksekliğinde çekme çemberi. 56 kablo ile 48 MPa arđ germe uygulanmıştır .	Kirişler: Glulam, ladin 180 ^{mm} x1130 ^{mm} (GL 28c), 220 ^{mm} x1130 ^{mm} (GL 32h), Tali kirişler:100 ^{mm} x240 ^{mm} -100 ^{mm} x650 ^{mm} (GL 28c) Çekme çemberi: HEB 550 (S355), 6.2 m lik 40 betonarme payandaya birleşmektedir.
İnşaat süresi ve maliyet*:	24 ay, kubbe:6 ay, 33.1 million \$	21 ay, kubbe: 5 ay 111 million \$	9 ay , 44 milyon \$	19 ay, kubbe: 9 ay 20.2 milyon \$	24 ay, 76.5 milyon \$

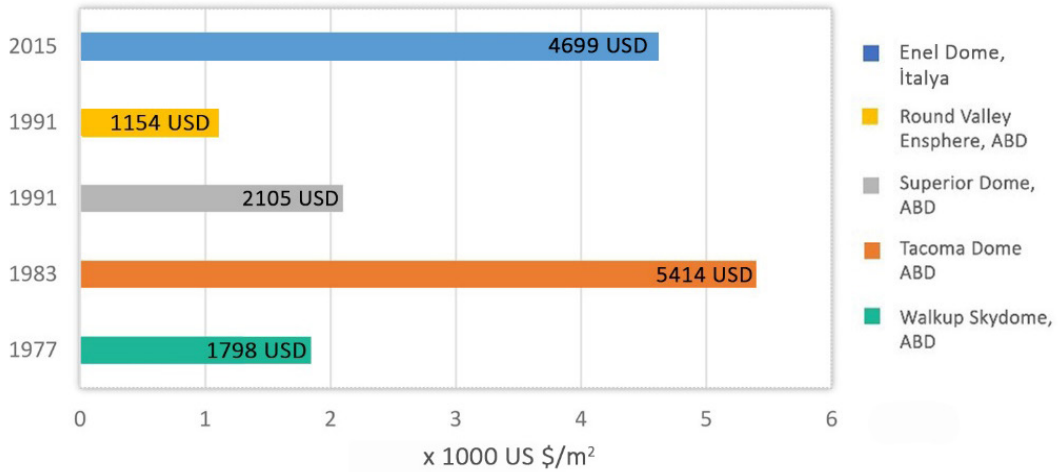
D: Yapı açıklığı H: Tüm yapı yüksekliği h: Kubbe yüksekliği A: Taban alanı *2018 Tüketici Fiyat Endeksi verilerine göre [22] güncellenerek

Süre:

Tablo 1'deki ahşap kubbelerde, yerde hazırlanan üçgen birimlerin vinç ile kurulması yöntemi izlenmiştir. Ancak örneğin, dünyanın en geniş açıklıklı çelik kubbelerinden biri olan Nagoya Dome (D:187 m, 1997)'da hidrolik kriko ile blok blok kaldırma yolu izlenmiştir, bu yöntemin inşaat süresini altı ay kısalttığı belirtilmektedir (Miyazaki ve diğerleri, 1996). Böylece, bir ayda ahşap kubbelerde ~3000 m² alan kapatılırken, söz konusu çelik kubbelerde de benzer rakamın yakalandığı görülmektedir.

Maliyet:

Ahşap kubbelerin kolonlara mesnetlenme biçimleri maliyeti etkileyen önemli bir unsurdur. Tablo 1'deki yapıların karşılaştırmasında, çekme çemberinin kolon üstünde tasarlandığı kubbelerde (Tacoma Dome, 1983; Enel Dome, 2015), 2018'e güncellenmiş maliyet 4700-5400 \$/m²'yi bulurken, kubbenin ~1.5 m lik payadadan doğrudan çekme çemberine birleşmesi durumunda (Walkup Skydome, 1977; Round Valley Ensphere, 1991; Superior Dome, 1991) maliyet 1100-2100 \$/m² seviyesinde kalmaktadır (Şekil 13), en ekonomik sistemdir.

MALİYET KARŞILAŞTIRMASI

Şekil 13 Tablo 1'deki tek tabakalı ahşap kubbelerin m² maliyet karşılaştırması

Diğer:

Ahşap yapılarda, %12 düzeyine kadar kurutulmuş lamine elemanların kullanılması, ahşabın dayanıklılığı açısından önemli bir faktördür. Ahşap yapının yangın dayanımı açısından, hiç bir boyutu 8 cm'in altında olmamak koşulu ile, projede istenen yangın dayanımı süresince düşük kömürleşme kalınlığının, tasarım aşamasında taşıyıcı sistem için gerekli kesit boyutlarına ilave edilmesi yeterli olmaktadır. Diğer taraftan çelik yapılar için, hem yangın hem de korozyon dayanımı açısından dikkatle ön işlemler gereklidir.

Ahşap kubbelerin iç kaplamaları da ahşap olmakta, ayrıca doğal aydınlatma açısından şeffaf uygulama da yapılabilmektedir (Tablo 1, Round Valley Ensphere, 1991). Isı yalıtımı özelliği nedeni ile ahşap, özellikle soğuk iklimde ve/veya buz sporları merkezlerinde çok kullanılan bir taşıyıcı sistem malzemesi haline gelmiştir.

3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada incelenen konulardan aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- İncelenen örnekler bazında tek tabakalı ahşap kubbelerde yükseklik/açıklık oranının 0.17-0.28 aralığında olduğu görülmektedir, kubbelerde en ekonomik tasarımı sağlayan jeodezik form uygulanmaktadır.
- Kubbeden payandaya oradan da zeminde çekme çemberine yapılan birleşimler, yapının en ekonomik şekilde çözümlenmesine imkan sağlamaktadır. Çekme çemberinde genellikle ard germe uygulaması mevcuttur.
- Dünyanın halen en geniş açıklıklı ahşap kubbesi Superior Dome (163 m)'dur. Ahşap, geniş açıklıkta çeliğe alternatif bir malzemedir. Ayrıca ahşap, özellikle soğuk iklim koşullarında ve/veya buz sporları sözkonusu olduğunda, yapının hizmet ömrü boyunca ısıtma giderleri açısından oldukça ekonomik olmaktadır.
- Tek tabakalı sistemlerin blok blok krikolo ile montajı, üçgen birim halinde yerinde montaja göre çok daha ekonomik sonuç vermektedir.
- Genişliği 20 cm, istenen mekanik karakteristikleri sağlayacak şekilde ~4 cm lik tabakalardan yüksekliği genellikle 60-120 cm aralığındaki glulam elemanlardan oluşan ahşap kubbelerin yangın dayanımı korunmasız çeliğe kıyasla çok yüksektir. Dünyada ahşap geniş açıklıklı yapıların sigorta giderlerinin çelik olanlara kıyasla ekonomik olması da geniş açıklıkta ahşabın tercih edilmesinin diğer bir nedenidir.
- Türkiye'de ahşabın; yangın dayanımı, hafiflik, ısı yalıtımı avantajları ve nefes alabilirlik açısından daha yaygın kullanımı bir gerekliliktir. Endüstriyel ormancılığın geliştirilerek; yerel ve sertifikalı çam grubu ağaçların ekonomik biçimde yapı üretimine kazandırılması gereklidir.

4. KAYNAKLAR

Aondio, P. 2014. "Berechnung von Zylinderschalen aus Holz und Holzwerkstoffen unter Berücksichtigung der Spannungs Relaxation", Technische Universität München.

Bass, L.O. 1965. "Unusual Dome Awaits Baseball Season in Houston", *American Society of Civil Engineers (ASCE)*.

Chilton, J., Tang, G. 2017. *Timber Gridshells: Architecture, Structure and Craft*, Routledge, NY.

Fredriksson G., Herrström M. 2017. Stability Analysis of a Large Span Timber Dome, Division of Structural Engineering, Lund University, Sweden.

Jasieńko J., Nowak, T., Ostrycharczyk, A. 2011. "Hybrid Domes Made of Glulam and Steel - A Study of the Structure"; *Conservation News*, 30:81-93.

Jayminkumar, S.Y., Vahora, F. 2016. "A Parametric Study on Steel Dome Structures"; *International Journal For Technological Research In Engineering*, 4(2).

Jorissen, A. 1989. "Wooden Domes". In *Commission of the European Communities Industrial Processes. Building and Civil Engineering Timber Structures*. Commission of the European Communities, V.4.

Kollmann, F.F.P, Kuenzi, E.W., Stamm, A.J. 1975. *Principles of Wood Science and Technology: II Wood Based Materials*, Springer-Verlag, Berlin, 691 p.

Kurrer, K. E. 2018. *The History of the Theory of Structures: Searching for Equilibrium*, Ernst & Sohn; 2nd Ed., Berlin, Germany, 1212 p.

Melaragno, M. 1991. *An Introduction To Shell Structures: The Art And Science of Vaulting*, Van Nostrand Reinhold, N.Y, 429 p.

Misztal, B. 2017. *Wooden Domes: History and Modern Times*, Springer; 1st Ed., Switzerland, 249 p.

Miyazaki, T., Okazaki, N., Linuma, S., Ichikawa, A. 1996. Planning and Execution of Lift-Up Construction for Roof of Large-Scale Single-Layer Latticed Dome. *Proc. 13th International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 999-1008.

Mongelli, A. 2006. A New Wood Roofing System: Marac's Barracks and Colonel Armand Rose Emy's Innovative System, *Proc. of the Second International Congress on Construction History*, Vol.2.

NAU Report, 1977. NAU's Spectacular New Dome: Monster of the Northwoods, *Arizona Sports Digest*, 6-10.

Nahar, A.N., Aleyas, B. 2017. "Buckling Analysis and Parametric Study of Hemispherical and Pointed Domes with Lamella and Diamatic Configuration" *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, 2(2): 131-134.

Nordström, L., Orstadius, A. 2014. "Design of Timber Structures in a Parametric Environment: Exploration of an Alternative Design Process" *MSc Thesis*, Programme Architecture and Engineering, Gothenburg, Sweden.

Segal, E. M., Adriaenssens, S. 2013. Norfolk Scope Arena: A US Dome with a Unique Configuration of Interior Ribs and Buttresses, *Proc. International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium, Beyond the Limits of Man*, 23-27 September, Wroclaw University of Technology, Poland.

Slavid, R. 2005. *Wood Architecture*, Laurence King Publication Ltd., London, U.K.

Verbout, T. 1991. "If It's Built, They Will Come"; *Southwest Builder*, B8-B15.

Yan, J., Qin, F., Cao, Z., Fan, F., Mo, Y.L. 2016. "Mechanism of Coupled Instability of Single-Layer Reticulated Domes"; *Engineering Structures*, 114:158-170.

İNTERNET KAYNAĞI

1. http://www.thearchitectureensemble.com/collaborations_gridshell_5.html
2. <http://cullinanstudio.com/project/downland-gridshell>
3. <https://www.westernwoodstructures.com/index.php/timber-domes/>
4. <https://www.architecturerevived.com/oguni-dome-kumamoto-japan/>
5. www.pinterest.com
6. www.flickr.com
7. <https://momentum-magazin.de/de/150-jahre-schwedler-kuppel/31/>
8. <https://roofstructures.tumblr.com/post/119917529529/history-of-the-lamella-roof>
9. <https://www.alamy.de/stockfoto-astronomie-planetarium-zeiss-planetarium-jena-aussenansicht-bauarbeiten-19251926-additional-rights-spiel-na-24100852.html>
10. <https://www.visit-jena.de/en/food-drink/restaurants-bistros/bauersfeld/>
11. <https://www.pbase.com/image/103042498>
12. <https://www.arkitektuel.com/biyosfer-montreal/>
13. <https://www.houstonpublicmedia.org/articles/news/2018/03/20/274137/houston-astrodome-will-host-domecoming-before-undergoing-renovation/>
14. http://www.historic-structures.com/tx/houston/houston_astrodome4.php
15. <https://www.tacomadome.org/dome-info/venue-story>
16. www.wikipedia.org
17. <https://www.tacomadome.org/venue-story>
18. <https://www.rubner.com/en/holzbau/references/reference/enel-coal-storage-brindisi-ita/>
19. <https://www.emporis.com/buildings/258747/superior-dome-marquette-mi-usa>
20. http://www.spsplusarchitects.com/uploads/5/1/9/8/51987823/domes_combined.pdf
21. <https://www.trada.co.uk/publications/wide-span-wood-sports-structures/>
22. <https://www.minneapolisfed.org/community/financial-and-economic-education/cpi-calculator-information/consumer-price-index-1800>

