



Süleyman Demirel Üniversitesi
YEKARUM e-DERGİ
(Journal of YEKARUM)



Cilt 9 , Sayı 1 , 20-32 , 2024
E - ISSN:1309-9388

Çelik Geodezik Kubbelerde Geometrik Frekans ve Geometrik Oransal Değerlerin Çelik Malzeme Tüketimine Etkileri

Rumeysa Nur Önder*¹, Prof. Dr. Zeki AY²

* Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0002-4747-5674), rumeysanurkaratop@gmail.com

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Isparta, Türkiye, (ORCID: 0000-0000-0000-0000), zekiay@sdu.edu.tr

(İlk Geliş Tarihi 28/5/2024 ve Kabul Tarihi 10/06/2024)

ÖZET:

Geodezik kubbeler, geometrilerinin sağladığı enerji ve yapım maliyetleri ile ilgili faydaların yanı sıra, prefabrikasyona uygunluğu, demonte kolaylığı gibi diğer yapı sistemlerine göre önemli üstünlüklere sahiptirler. Dünya üzerinde çok farklı kullanım alanlarında tercih edilmektedirler. Kullanım alanına göre de farklı malzemeler ile inşa edilebilirler.

Bu çalışmada çelik geodezik kubbelerin geometrisine göre, yani geometrik frekans ve geometrik oransal değerlerine göre, on farklı model için, altı metre standart çelik profil boyu esas alınarak gerekli çelik malzeme tüketimi belirlenmiştir.

Böylece, bu alanda çalışan, tasarımcı mühendis ve üretici firmalara belirlenen bir kubbe çapı veya taban alanına göre en uygun geometrik modeli belirleme olanağı sunulmuş olmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Geodezik kubbe, Geometrik frekans, Geometrik oran, Çelik tüketimi*

Effects of Geometric Frequency and Geometric Proportional Values on Steel Material Consumption in Steel Geodesic Domes

ABSTRACT

Geodesic domes, in addition to the benefits related to energy and construction costs provided by their geometry, have significant advantages over other building systems such as suitability for prefabrication and ease of disassembly. They are preferred in many different areas of use around the world. They can be constructed with different materials depending on the area of use.

In this study, the required steel material consumption are determined for ten different models, based on the six-meter standard steel profile length, according to the geometry of steel geodesic domes, that is, geometric frequency and geometric proportional values.

Thus, designer engineers and manufacturing companies working in this field are offered the opportunity to determine the most appropriate geometric model according to a determined dome diameter or base area.

Keywords: *Geodesic domes, Geometric frequency, Geometric rate, Steel consumption*

1. GİRİŞ

Özellikle son yıllarda, dünya çapında yaşanmakta olan pandemi süreci ve yoğun şehirleşme sonucunda insanlar daha fazla doğa ile bütünleşik bir yaşam için alternatif çözümlerine girmiştir. Bu arayış çerçevesinde insanlar, bilindik yapı sistemlerinden farklı olarak, tiny house (küçük ev), karavan, kubbe vb. taşınabilir, kolay inşa edilir, ekonomik yapı sistemlerine yönelmişlerdir. Geodezik kubbeler, bu amaçlar çerçevesinde, tercih edilen yapı sistemleri olmuştur. Şekil 1, Şekil 2’de farklı kullanım alanlarında tercih edilen geodezik kubbe yapı sistemleri için örneklere yer verilmiştir.



Şekil 1. Çelik geodezik kubbe çerçevesi



Şekil 2. Geodezik kubbe yapı sistemi

Bu çalışmada, prefabrikasyona uygunluğu ve demonte özelliklerinden dolayı, çubuk kubbeler içerisinde dünyada yaygın olarak kullanılan geodezik kubbelerden biri olan çelik geodezik kubbelerin çap ve geometrik frekans gibi geometri değişimlerine göre malzeme tüketimleri incelenmiştir.

Bu çalışmanın bir geodezik kubbenin dayanıklı, kullanışlı, estetik bir görünümde ve en önemlisi uygun maliyette olması için üretici firmalara ve tasarımcı mühendislere yardımcı olması amaçlanmaktadır.

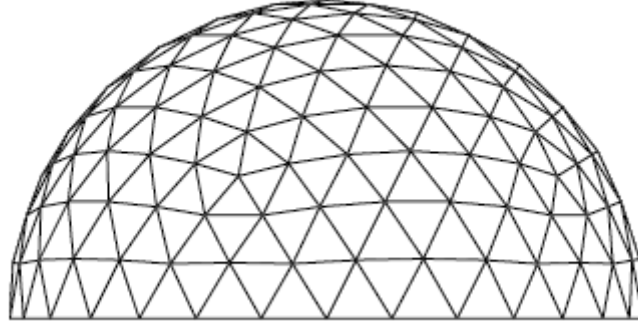
1.1. Kubbe Sistemler

Kubbeler, tarih boyunca en dayanıklı yapı sistemleri olarak büyük açıklıkların geçilmesinde yapısal form olarak tercih edilmişlerdir [1]. 20.yüzyılın başından itibaren çelik malzeme teknolojisindeki gelişmelerle birlikte, özellikle büyük açıklıklı yapıların inşasında çelik, bir yapı malzemesi olarak kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde, kagir ve betonarme kubbelerin yanı sıra çelik kubbeler de yaygın olarak inşa edilmektedir [2].

Kubbe sistemler içerisinde yer alan çubuk kubbeler, nervürlü kubbeler (ribbed domes), schwedler kubbeler (ağ kubbeler), üç doğrultuda ızgara tek hatlı kubbeler, paralel-lamella kubbeler, çift hatlı kubbeler ve geodezik kubbeler olarak sınıflandırılmaktadır [1],[3].

Kubbe sistemlerinin geometrileri yarım küreye benzer. Küre, yüzey alanına oranla maksimum hacmi içeren matematiksel bir nesnedir. Dolayısıyla büyük hacimli bir yapı, minimum maliyet ile yapılmak istenildiğinde yapı geometrisini küreye yaklaşan bir formda yapmak oldukça mantıklı olacaktır [4],[5].

Çelik bir kubbe yapılmak istenildiğinde, çelik elemanlar doğrusal formda üretildiklerinden, küreye yaklaşan bir formu yakalamak için çelik eğrisel elemanlar kullanmak, yapı maliyetini oldukça artırmaktadır. İşte bu noktada, çelik bir kubbede doğrusal elemanlar ile küre şeklini yakalamak için kubbe sistemlerin içerisinde yer alan ve Buckminster Fuller tarafından 1954’lerde geliştirilmiş geodezik kubbe sistemler uygun bir tercih olacaktır [6]. Şekil 1.’de bir geodezik kubbe modeli örneği verilmiştir.



Şekil 3. Geodezik kubbe modeli örneği [4]

1.2. Geodezik kubbeler ve geodezik kubbelerin geometrileri

Geodezik kubbelerin matematiksel bir model olarak oluşturulmasında en belirleyici form küredir. Doğrusal çubuklar ile küreye yakın bir geometri elde edilmek istenildiğinde, çubuklar ile üçgenler oluşturularak geodezik kubbe yüzeyi mozaiklenmektedir. Ayrıca çubuklar, dörtgen formda da birleştirilebilir. Fakat çubuklar dörtgen formda birleştirildiğinde, çubukların birleştiği noktalar tamamen rijit değilse bu noktalar dönebilir. Bu nedenle, geodezik kubbe yüzeyinde üçgenler kullanmak doğru olacaktır. Aynı zamanda bu üçgenlerin eşkenar üçgen olmaları yapıya gelen yükün tüm çubuk elemanlara eşit olarak dağılmasını da sağlayacaktır [5].

Geodezik kubbelerin temelini Platonik katılar oluşturur. 20 eşkenar üçgen yüzden oluşan ve aynı zamanda Platonik bir katı olan icosaedron, geodezik kubbelerin geometrileri için en çok tercih edilen katı olmaktadır. Icosaedronun 12 köşesinden ise tam bir küre geçer [4].

Icosaedronun, her bir üçgen yüzü daha küçük üçgenlere bölüldüğünde farklı frekanslarda icosaedronlar oluşur. Oluşan bu küçük üçgenlerin köşeleri de küre yüzeyine taşınırsa, ortaya geodezik küreler çıkar. İşte bu geodezik küreler, geometrik oransal ifadelerle göre bölünüp kubbe haline getirildiğinde, bir geodezik kubbenin geometrisi tamamlanmış olur [4].

Geodezik kubbeler, farklı geometrik frekans değerlerinde modellenebilir. Geometrik frekans değişimleri, yapısal dayanım ve maliyet değerlendirmesinde büyük önem taşır. Frekans ne kadar yüksek olursa, lineer çubuklar ile oluşturulan kubbe o kadar çok yarım küreye benzeyecektir.

1.3. Geodezik kubbelerin tasarımı

Geodezik kubbelerde kullanım amacına bağlı olarak istenilen taban alanı esas alınarak çap belirlenmektedir. Daha sonra çap ile kullanım amacı doğrultusunda seçilen kaplama, yapıya gelen yükler göz önüne alınarak geometrik frekans ve geometrik oransal ifade seçimi yapılır. Bu seçimin yapılabilmesi için, bir diğer önemli nokta çubuk eleman giderinin ve buna bağlı olarak meydana gelen çubuk eleman zayıflığının öngörülebilmesidir. Bilinmelidir ki, küçük çaplı kubbelerin yüksek geometrik frekans değerine sahip olması gereksiz yere birim alana düşecek olan malzeme miktarını artırmaktadır. Bu durum, birim alandaki yapı maliyetini olumsuz yönde etkileyecektir. Diğer taraftan, büyük çaplı kubbelerin düşük geometrik frekans değerine sahip olması çubuk eleman boylarının büyük olmasına ve dolayısıyla çubukların burkulma boylarının büyümesine neden olacağı için yapıda yerel ya da tümsel stabilite bozuklukları ortaya çıkacaktır. Bu durumda, yapının stabilitesini sağlayabilmek amacıyla eleman kesitleri büyüyecektir. Ayrıca, çelik elemanların üretimi sadece boy olarak değil enkesit olarak da standart olduğu için yapısal tasarım sonucunda tam olarak gerekli enkesite sahip profil kullanma olasılığı oldukça düşüktür. Bu nedenle çoğu zaman, gereğinden daha büyük enkesitli profiller kullanmak zorunda kalınır. Büyük enkesitli elemanlar kullanılması montaj maliyetini yükseltmekle beraber çelik malzeme giderinin de artması sonucunda yapı maliyetini yükseltecektir.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

Bir geodezik kubbenin statik tasarımında, öncelikle, seçilen çapa, geometrik frekansa ve geometrik oransal ifadeye göre geodezik kubbenin geometrisi belirlenir. Burada geometrinin belirlenmesi demek, çubuk boyları ve sayılarının, düğüm noktası sayılarının, üçgen yüzey elemanı boyları ve sayılarının belirlenmesi demektir.

Aynı çapa sahip geodezik kubbelerin, geometrik frekanslarına göre farklı sayılarda düğüm ve çubukları olacaktır. Geometrik frekans seçimi, birim alana düşen çubuk ve düğüm noktası sayısını, dolayısıyla, geodezik kubbe maliyetini de doğrudan etkileyecektir. Bu noktada yapısal optimizasyona ihtiyaç ortaya çıkar [7].

Bir mühendisin geodezik kubbelerin yapısal optimizasyonunu gerçekleyebilmesi için çap, geometrik frekans ve geometrik oransal ifadelerle göre çubuk boyu metrajının değişimini bilmesi büyük önem taşımaktadır. Dolayısıyla, bir mühendis, bu çalışma sonuçlarından

faydalanarak farklı çaplarda hangi geometrik frekans ve geometrik oransal ifadelerin uygun olacağına kolayca karar verebilecektir. Yapacağı çok fazla yapısal optimizasyon için emek ve zaman harcamamış olacaktır. Böylece yapacağı tasarım estetik, kullanışlı ve ekonomik bir tasarım olacaktır.

Bu çalışmada, model olarak, uygulamada yaygın olarak kullanılan 2v-1/2, 3v-3/8, 3v-4/9, 3v-5/8, 3v-5/9, 4v 5/12, 4v-1/2, 4v-7/12, 5v-7/15, 5v-8/15 geodezik kubbe modelleri seçilmiştir. Her model için 4m, 6m, 8m, 10m, 12m, 14m, 16m, 18m ve 20m çapları kullanılmıştır. Aşağıda Tablo 1’de çalışmaya esas toplam 90 adet geodezik kubbe modelleri verilmiştir.

Tablo 1. Geodezik kubbe modelleri

Model	Çap (m)	Model	Çap (m)	Model	Çap (m)	Model	Çap (m)	Model	Çap (m)
2V-1/2	4	3V-4/9	4	3V-5/9	4	4V-1/2	4	5V-7/15	4
2V-1/2	6	3V-4/9	6	3V-5/9	6	4V-1/2	6	5V-7/15	6
2V-1/2	8	3V-4/9	8	3V-5/9	8	4V-1/2	8	5V-7/15	8
2V-1/2	10	3V-4/9	10	3V-5/9	10	4V-1/2	10	5V-7/15	10
2V-1/2	12	3V-4/9	12	3V-5/9	12	4V-1/2	12	5V-7/15	12
2V-1/2	14	3V-4/9	14	3V-5/9	14	4V-1/2	14	5V-7/15	14
2V-1/2	16	3V-4/9	16	3V-5/9	16	4V-1/2	16	5V-7/15	16
2V-1/2	18	3V-4/9	18	3V-5/9	18	4V-1/2	18	5V-7/15	18
2V-1/2	20	3V-4/9	20	3V-5/9	20	4V-1/2	20	5V-7/15	20
3V-3/8	4	3V-5/8	4	4V-5/12	4	4V-7/12	4	5V-8/15	4
3V-3/8	6	3V-5/8	6	4V-5/12	6	4V-7/12	6	5V-8/15	6
3V-3/8	8	3V-5/8	8	4V-5/12	8	4V-7/12	8	5V-8/15	8
3V-3/8	10	3V-5/8	10	4V-5/12	10	4V-7/12	10	5V-8/15	10
3V-3/8	12	3V-5/8	12	4V-5/12	12	4V-7/12	12	5V-8/15	12
3V-3/8	14	3V-5/8	14	4V-5/12	14	4V-7/12	14	5V-8/15	14
3V-3/8	16	3V-5/8	16	4V-5/12	16	4V-7/12	16	5V-8/15	16
3V-3/8	18	3V-5/8	18	4V-5/12	18	4V-7/12	18	5V-8/15	18
3V-3/8	20	3V-5/8	20	4V-5/12	20	4V-7/12	20	5V-8/15	20

Tablo 1.’de verilen geodezik kubbe modellerinden, 2v-1/2 ve 4v-1/2 modelleri bir geodezik kürenin Ekvator’undan tam olarak 2’ye bölünmesiyle oluşur. 3v-3/8, 3v-4/9, 4v-5/12, 5v-7/15 modelleri, geodezik kürenin Ekvator’unun biraz üzerinden bölünmesiyle, 3v-5/8, 3v-5/9, 4v-7/12, 5v-8/15 modelleri ise geodezik kürenin Ekvator’unun biraz altından bölünmesiyle oluşmaktadır [4]. Bu modeller kendi aralarında basıklıklarına göre gruplandırılabilir. Bu çalışmada, 2v-1/2 ve 4v-1/2 modelleri normal basıklığa sahip kubbeler, 3v-3/8, 3v-4/9, 4v-5/12,

5v-7/15 modelleri basık kubbeler, 3v-5/8, 3v-5/9, 4v-7/12, 5v-8/15 basık olmayan kubbeler olarak gruplandırılmıştır. Bu sayede, kubbe geometrilerinde önemli bir geometrik faktör olan basıklık kavramı da bu araştırma çerçevesinde değerlendirilmiş olacaktır.

2.Yöntem

2.1 Geodezik kubbelerde çubuk eleman boy hesabı

Geodezik kubbelerin geometrilerinde frekans ve çap iki temel parametredir. Bu çalışmada, bu iki temel parametreye bağlı olarak geodezik kubbelerin çubuk eleman boyları açısından metrajları çıkarılmıştır. Çubuk eleman boyları ile sayıları bakımından aynı çaptaki farklı modellerdeki geodezik kubbeler için hazırlanan tablolar Bölüm 3’te verilmiştir.

Geodezik kubbelerde çubuklar, kubbelerin yapım maliyetini etkileyen parametrelerden biridir. Çubuk boyları, düğüm noktalarındaki açılar ile birlikte kubbe geometrisinin oluşumunda önemli rol oynarlar. Bu nedenle çubuk boyu hesabının doğru yapılması, geodezik kubbelerde büyük önem taşır.

Geodezik kubbelerde çubuk boyu, geodezik kubbenin yarıçapının çubuk faktörü denilen bir katsayı ile çarpılması sonucunda elde edilir. Çubuk faktörü, yarıçapı bir birim olan bir kürede, bir çubuk elemanın iki ucuna doğru çizilen iki yarıçap arasındaki çubuk boyudur [8].

Bu çalışmada tercih edilen 2v, 3v, 4v ve 5v frekans değerine sahip geodezik kubbelerden, 2v-1/2, 3v-3/8, 3v-5/8, 4v-1/2, 5v-7/15, 5v-8/15 Metot-1 ile, 3v-4/9, 3v-5/9, 4v 5/12, 4v-7/12 ise Kruschke yöntemi ile modellenmişlerdir [9]. Modellenen geodezik kubbelere ait çubuk faktörü sayıları dolayısıyla farklı boydaki çubuk sayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Çubuk faktörü sayıları

Model	Yöntem	Çubuk Faktörü Sayısı
2V-1/2	Metot-1	2
3V-3/8	Metot-1	3
3V-4/9	Kruschke	3
3V-5/8	Metot-1	4
3V-5/9	Kruschke	4
4V-5/12	Kruschke	6
4V-1/2	Metot-1	6
4V-7/12	Kruschke	6
5V-7/15	Metot-1	9
5V-8/15	Metot-1	9

Bu çalışmada kapsamında değerlendirilen geodezik kubbe modellerine ait çubuk faktörü değerleri de hesaplanmış ve Bölüm 3’te yapılan çalışmalar için kullanılmıştır.

2.1 Geodezik kubbelerde çubuk eleman metraji

Bilindiği üzere çelik elemanlar belirli standart ölçülerde üretilir. Bu nedenle, bu çalışmada, kubbe imalatında 6 metre standart boya sahip çelik profiller esas alınmıştır.

Bölüm 3’te hazırlanan tablolarda, farklı çaplarda ve farklı modellerde geodezik kubbeler için çubuk boyları hesaplanmıştır. Hesaplanan çubuk boylarına göre, 6 metre standart boya sahip çelik profillerin kullanılması halinde her boyda meydana gelecek olan profil kaybı da göz önüne alınarak kayıpsız tam boy profil sayıları belirlenmiş ve Bölüm 3’te hazırlanan tablolarda verilmiştir.

Profil sayıları belirlenirken, 1 tam boydan, aynı çubuk boy değerine sahip çubuk elemanların üretildiği varsayılmıştır.

3. ARAŞTIRMA SONUÇLAR ve TARTIŞMA

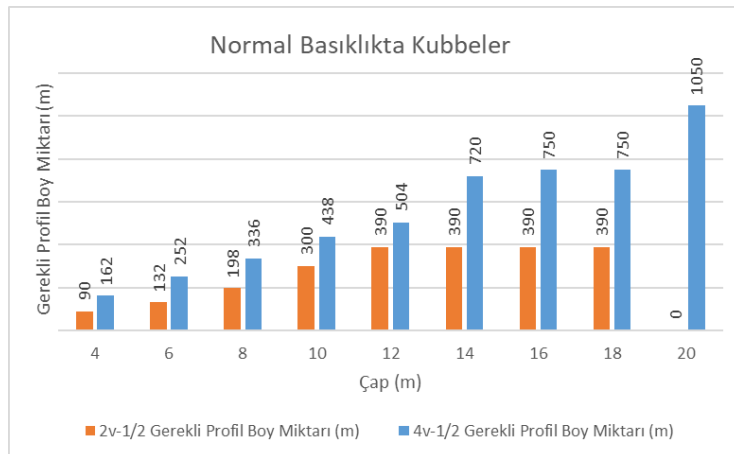
Farklı modellerde, farklı çaplarda geodezik kubbe modellerinin çubuk boyları için, Bölüm 2’de de bahsedildiği üzere, ilk etapta çubuk faktörleri değerleri hesaplanmıştır. Hemen ardından çubuk boy değerleri de bulunmuştur. Aşağıda Tablo 3’de verilen gerekli profil sayıları ve metre olarak gerekli profil uzunlukları metrajları ise, hesaplanan bu çubuk boylarına göre oluşturulmuştur. 2v-1/2 modelinde 20m çap için hesaplanan çubuk boyu uzunluğu 6m’yi geçtiğinden, bu çalışmada 6 m’lik çelik profillerden üretilemez. Bu nedenle 2v-1/2 modelin 20m çap için gerekli profil sayıları ve metre olarak gerekli profil uzunluklarına Tablo 3’de yer verilmemiştir.

Tablo 3. Farklı model ve çaplarda geodezik kubbelerde gerekli profil sayıları ve uzunlukları

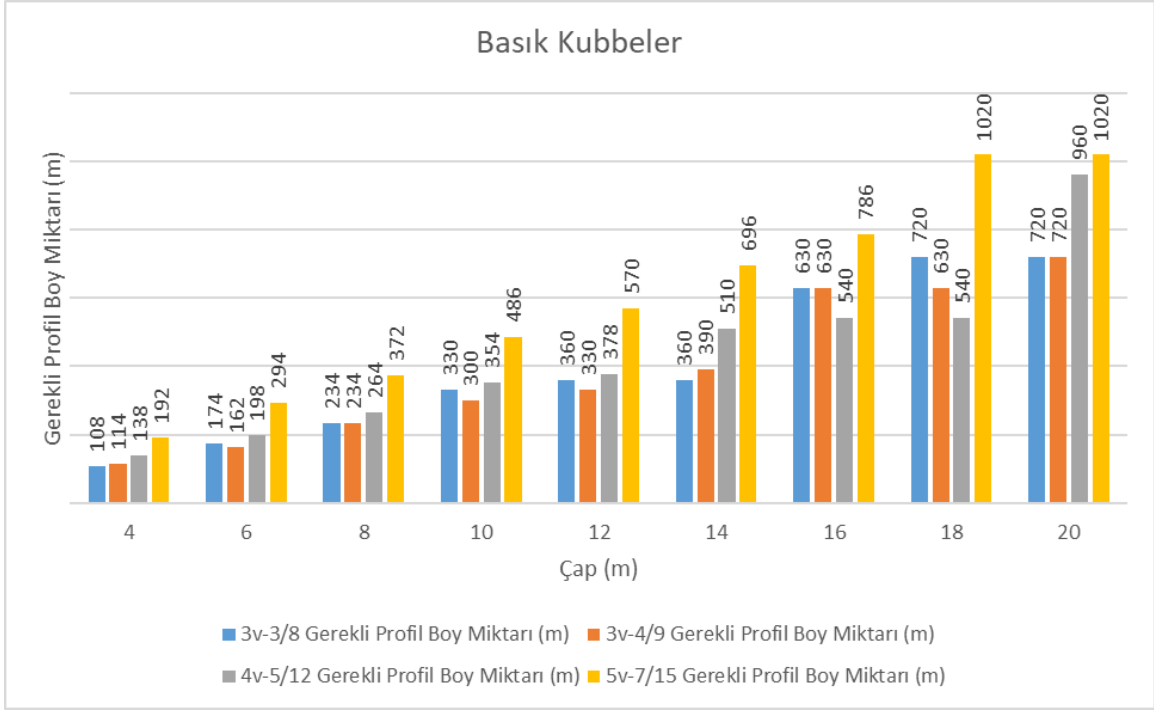
Çap (m)	Model	Gerekli Profil Boy Sayısı	Gerekli Profil Miktarı (m)	Çap (m)	Model	Gerekli Profil Boy Sayısı	Gerekli Profil Miktarı (m)	Çap (m)	Model	Gerekli Profil Boy Sayısı	Gerekli Profil Miktarı (m)
4	2V-1/2	15	90	6	2V-1/2	22	132	8	2V-1/2	33	198
	3V-3/8	18	108		3V-3/8	29	174		3V-3/8	39	234
	3V-4/9	19	114		3V-4/9	27	162		3V-4/9	39	234
	3V-5/8	24	144		3V-5/8	40	240		3V-5/8	54	324
	3V-5/9	25	150		3V-5/9	37	222		3V-5/9	54	324
	4V-5/12	23	138		4V-5/12	33	198		4V-5/12	44	264
	4V-1/2	27	162		4V-1/2	42	252		4V-1/2	56	336
	4V-7/12	35	210		4V-7/12	52	312		4V-7/12	74	444

	5V-7/15	32	192		5V-7/15	49	294		5V-7/15	62	372
	5V-8/15	39	234		5V-8/15	56	336		5V-8/15	76	456
10	2V-1/2	50	300	12	2V-1/2	65	390	14	2V-1/2	65	390
	3V-3/8	55	330		3V-3/8	60	360		3V-3/8	60	360
	3V-4/9	50	300		3V-4/9	55	330		3V-4/9	65	390
	3V-5/8	78	468		3V-5/8	83	498		3V-5/8	83	498
	3V-5/9	72	432		3V-5/9	78	468		3V-5/9	93	558
	4V-5/12	59	354		4V-5/12	63	378		4V-5/12	85	510
	4V-1/2	73	438		4V-1/2	84	504		4V-1/2	120	720
	4V-7/12	98	588		4V-7/12	103	618		4V-7/12	145	870
	5V-7/15	81	486		5V-7/15	95	570		5V-7/15	116	696
	5V-8/15	99	594		5V-8/15	116	696		5V-8/15	142	852
16	2V-1/2	65	390	18	2V-1/2	65	390	20	2V-1/2	-	-
	3V-3/8	105	630		3V-3/8	120	720		3V-3/8	120	720
	3V-4/9	105	630		3V-4/9	105	630		3V-4/9	120	720
	3V-5/8	150	900		3V-5/8	165	990		3V-5/8	165	990
	3V-5/9	150	900		3V-5/9	150	900		3V-5/9	165	990
	4V-5/12	90	540		4V-5/12	90	540		4V-5/12	160	960
	4V-1/2	125	750		4V-1/2	125	750		4V-1/2	175	1050
	4V-7/12	151	906		4V-7/12	151	906		4V-7/12	278	1668
	5V-7/15	131	786		5V-7/15	170	1020		5V-7/15	170	1020
	5V-8/15	161	966		5V-8/15	208	1248		5V-8/15	208	1248

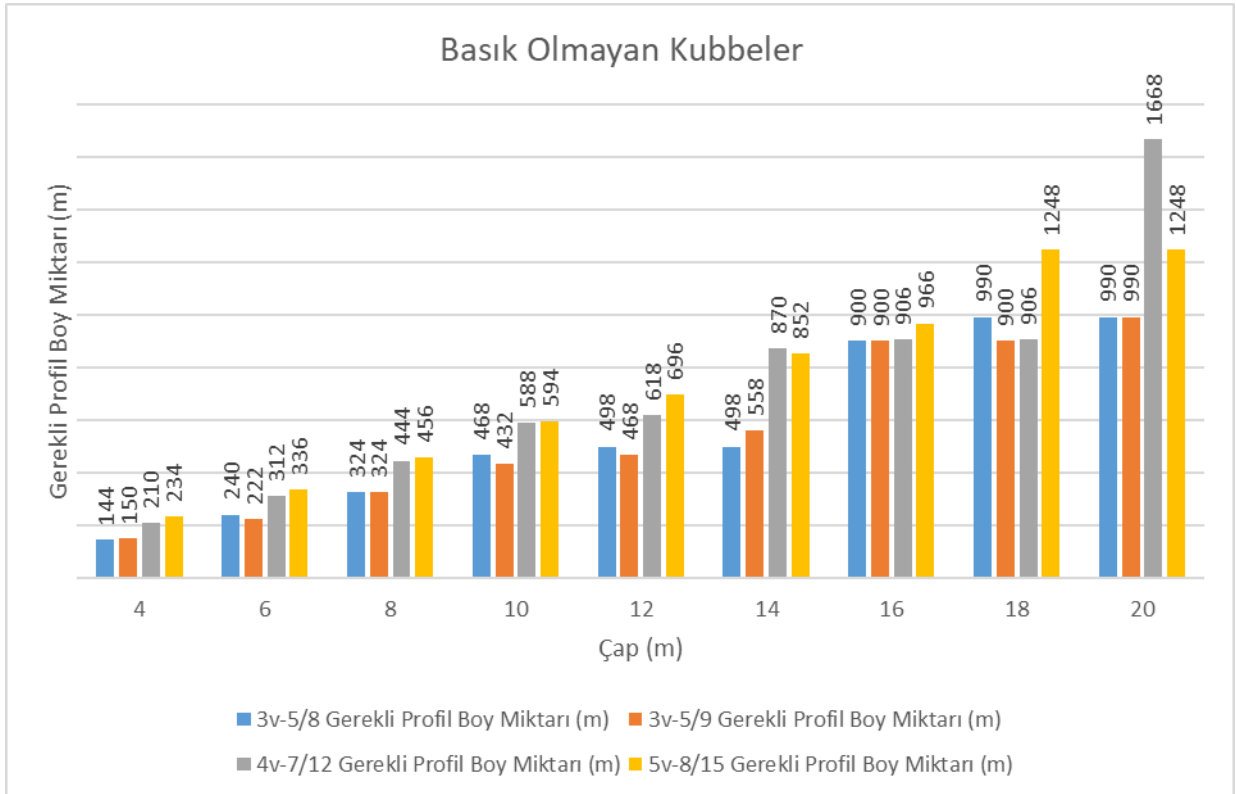
Tablo 3’de hesaplanan değerler doğrultusunda normal basıklıkta kubbeler için Şekil 4 verilen grafik, basık kubbeler için Şekil 5’te verilen grafik ve basık olmayan kubbeler için de Şekil 6’da verilen grafikler hazırlanmıştır.



Şekil 4. Normal basıkta kubbeler için gerekli profil boy miktarı (m)



Şekil 5. Basık kubbeler için gerekli profil boy miktarı (m)



Şekil 6. Basık olmayan kubbeler için gerekli profil boy miktarı (m)

4. SONUÇ ve ÖNERİLER

Basıklıklarına göre gruplandırılan geodezik kubbe modelleri, belirlenen çaplara göre, uzunluk olarak çelik malzeme tüketimi grafikleri incelenmiş ve yapılan değerlendirmeler aşağıda verilmiştir.

1- Basıklık durumu normal geodezik kubbeler;

Doğal bir sonuç olarak çap arttıkça çelik malzeme tüketimi artmış, bazı çaplar için aynı kalmıştır. Her çap kendi içerisinde değerlendirildiğine, $4v-1/2$ modelin $2v-1/2$ modelinden her çapta daha fazla çelik malzeme tüketimine ihtiyaç duyduğu görülmüştür. Buna rağmen, sadece bu sonuca bakarak $2v-1/2$ modelin daha uygun olduğunu söylemek doğru bir yaklaşım olmayacaktır. Bunun yerine, gerekli yapısal tasarım yapıldıktan sonra, ağırlık olarak malzeme tüketimi değerlendirmeye esas alınmalıdır. Ancak, uzunluk olarak aynı boy çelik malzeme tüketimi ve aynı çapa sahip modellerin bu grafiklerden hareketle değerlendirmeleri gerçekçi bir yaklaşım olacaktır. Fakat Şekil 4’de verilen grafik, üretici firmalara uzunluk olarak çelik malzeme tüketimi ile ilgili bilgi verecektir.

2- Basık geodezik kubbeler;

Normal basıklık durumundaki gibi, çap arttıkça çelik malzeme tüketimi artmış, bazı çaplar için aynı kalmıştır. Uzunluk olarak çelik malzeme tüketimi için her çap kendi içerisinde değerlendirmelidir. Bu değerlendirme çerçevesinde, basık geodezik kubbelerde, modellerin frekans değerleri arttıkça çubuk eleman sayıları artmasına rağmen, uzunluk olarak çelik malzeme tüketiminde her zaman artış söz konusu olmamıştır.

3- Basık olmayan geodezik kubbeler;

Basık olmayan geodezik kubbelerde de, çap arttıkça çelik malzeme tüketimi artmış, bazı çaplar için aynı kalmıştır. Yine, uzunluk olarak çelik malzeme tüketimi için her çap kendi içerisinde değerlendirmelidir. Çünkü, çapa göre düzenli bir değişim söz konusu değildir. Bazı çaplarda, farklı geodezik kubbe modelleri için uzunluk olarak çelik malzeme tüketimi değerleri birbirine çok yakın ya da aynıdır. Bu durumda, düz tabanlı modellerin seçimi önerilir.

Sonuç olarak, çelik geodezik kubbelerde uzunluk olarak çelik malzeme tüketimi çap, geometrik frekans ve geometrik oransal ifadeler göre önemli değişimler göstermektedir. Bu nedenle, geodezik kubbelerin tasarımı ya da üretimi ile ilgilenenlerin model ve çapa göre genel değerlendirmelerden uzak durarak, model seçiminde çap, basıklık ve tabanın düz olmasını esas alarak her çap için kendi içerisinde çelik malzeme tüketimi irdelerek karar vermelidir.

Mühendislerin vereceği bu karar yapısal tasarıma başlamadan önce, ön boyutlandırma için oldukça faydalı olacaktır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Yazarlar arasında çıkar çatışması yoktur.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Çalışma, araştırma ve yayın etiğine uygundur.

KAYNAKLAR

- [1] A.J.Mohammed, "Çelik Kubbe Sistemler", Yüksek Lisans Semineri, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye, 2015.
- [2] Z.Ay, "Çelik Yapılar" [Çevrimiçi]. Mevcut: <http://www.zekiay.com.tr/Ders-notu-celik-yapilar-93871.html> [Erişim:28.05.2024]
- [3] Z.S.Makowski, "*Steel Space Structures*", 1.baskı, London, M.Joseph, 1965.
- [4] T.Davis, "Geodesic Domes" [Çevrimiçi]. [Last Updated:18.02.2011]
Mevcut: <http://www.geometer.org/mathcircles/> [Erişim:28.05.2024]
- [5] F.R.Buckminster, "Geodesic Domes", Buckminster Fuller Institute, [Çevrimiçi].
Mevcut:<https://www.bfi.org/about-fuller/geodesic-domes/#geodesic-domes>
[Erişim:28.05.2024]
- [6] F.R.Buckminster, "Geodesic Structures", Patent US3197927A, ABD, 1965.
- [7] Z.Peng, "Geodesic Dome Structural Analysis and Design ", ENG4111 AND 4112 Research Project towards the degree of Bachelor of Engineering (Honours) (Civil Engineering), Civil Engineering, Toowoomba, Queensland, Avustralya, 2016
- [8] J D.Clinton, "Definitions-Topology/Geometry of Geodesics", [Çevrimiçi]. Mevcut: <https://www.domerama.com/wp-content/uploads/2011/12/geodesic.definitions.pdf>
[Erişim:28.05.2024]
- [9] D.Kruschke, "*Dome Cook Book of Geodesic Geometry*", 2.baskı, Kruschke, 1975.