

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TONOZ TİPİ ÇELİK IZGARA KABUK SİSTEMLERDE MODÜLER
DEĞİŞİMLERİN YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ**

Taha KOÇ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2022**



©2022 [Taha KOÇ]

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
1. GİRİŞ	1
2. IZGARA KABUK SİSTEMLERİN TASARIM PARAMETRELERİ	3
2.1. Geometrik Değişkenler	3
2.2. Birleşim Detayları	8
2.3. Kaplama Tipleri	14
2.3.1. Membran örtüler	14
2.3.1.1. Pvc kaplı polyester kumaş (PVC-PES)	14
2.3.1.2. Ptfe kaplı cam elyaf kumaş (PTFE-Cam)	15
2.3.1.3. Silikon kaplı cam elyaf kumaş (Silikon Cam)	16
2.3.1.4. Etfe membran	17
2.3.2. Cam örtü malzemesi	19
3. DÜNYADAN ÖRNEKLER	23
3.1. Nazarbayev Centre	23
3.2. Casa Shopping Carioca Wave	24
3.3. De Blob	25
4. KAYNAK ÖZETLERİ	27
5. MATERYAL VE YÖNTEM	39
5.1. Malzeme Ve Yükleme Parametreleri	46
5.1.1. Malzeme özellikleri	46
5.1.2. Yükleme durumları	47
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	48
7. SONUÇ VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	88
ÖZGEÇMİŞ	91

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TONOZ TİPİ ÇELİK IZGARA KABUK SİSTEMLERDE MODÜLER DEĞİŞİMLERİN YAPI DAVRANIŞINA ETKİSİ

Taha KOÇ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK

Dünya nüfusunun artmasıyla beraber yüksek hacime sahip yapı ihtiyacı doğmuştur. Bu ihtiyaç doğrultusunda modern yapı strüktürleri ortaya çıkmıştır. Modern yapı strüktürlerin ortaya çıkmasıyla beraber mimari bakış açıları da değişmiştir. Endüstri çağıyla birlikte yeni mimari algılar ve statik gelişmelerle beraber gridshell (ızgara kabuk) taşıyıcı sistemler keşfedilmiştir. Çevre dostu ve uzun süre kullanım ömrü olan taşıyıcı sistemlerin arasında yer almaktadır. Izgara kabuk taşıyıcı sistemlerle hem mimarlara farklı tasarımlar oluşturma imkânı sunulmuş hem de güvenli, fonksiyonel yapılar oluşturulmuştur. Birçok alanda kullanılan tonoz tipi ızgara kabuk taşıyıcı sistemler estetik görünüşleri ile tercih edilmektedir. Izgara kabuk taşıyıcı sistemlerin tasarımlarında farklı yaklaşımlar oluşmuştur. Taşıyıcı sistemin sahip olduğu modül geometrisi yapının davranışına etki etmektedir.

Bu tez çalışmasında ülkemiz de yürürlükte olan standartlar dikkate alınarak modül geometrilerinin tonoz tipi ızgara kabuk taşıyıcı sistemlerde yapı davranışına olan etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma 3 farklı modül geometrisine sahip farklı açıklıklarda olan yapıların statik analizlerini içermektedir. Oluşturulan taşıyıcı sistemler modül geometrileri ve farklı modül boyları için analiz edilmiştir. Analizlerden elde edilen sonuçlara göre çalışmada kabul edilen sınır şatlar için en efektif modül geometrisi ve bu geometri için en etkili modül boyları irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Izgara kabuk sistem, Modül Geometrisi, Modül Boyu, Çelik konstrüksiyon, Sonlu elemanlar analizi

2022, 91 sayfa

ABSTRACT

M.Sc Thesis

EFFECT OF MODULAR CHANGES ON STRUCTURAL BEHAVIOR IN VAULT TYPE STEEL GRIDSHELL SYSTEMS

Taha KOÇ

**Suleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Asst. Prof. Dr. İlyas Devran ÇELİK

The increase in the world population has led to the need for high-volume buildings. Modern building structures have emerged for these needs. Modern building structures have caused changes in architectural perspectives. With the industrial age, with new architectural perceptions and static developments, gridshell carrier systems were discovered. These systems significantly environmental friendly and have long service life. Gridshell carrier systems have made different designs available for architects. Gridshell carrier systems are reliable and functional structures. Aesthetic value is one of the main reasons of preference for vault type Gridshell carrier systems, which can be used in many fields. Gridshell carrier systems have different design approaches. The module geometry of the carrier system affects the behaviour of the structure.

In this thesis, the effect of module geometries on building behaviour in vault type Gridshell carrier systems was investigated according to the current regulations in our country. The research, possesses static analyses of structures with three different module geometries and different spans. The created carrier systems were analysed for module geometry and module length parameters. From the results obtained from the analysis, the most effective module geometry, and the most effective module lengths for this geometry, were investigated for the considered boundary conditions.

Keywords: Gridshell System, , Module Geometry, Module Length, Steel Construction, Finite element analysis

2022, 91 pages

TEŞEKKÜR

Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği bilim dalı yapı programında yapılan bu Yüksek lisans tez çalışmamda, engin bilgi ve tecrübesini paylaşarak bu zorlu süreci atlatmamda bütün gayretiyle yardımcı olan başta Danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İlyas Devran ÇELİK'e teşekkür bir borç bilirim.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca yardımlarını esirgemeyen Yüksek inşaat mühendisi Kılıç Yasin ARSLAN ve Yüksek inşaat mühendisi Mehmet Erkan EFE'ye teşekkür ederim.

Yüksek lisans dönem arkadaşlarım Sefa UĞUR ve Hüseyin Malik SARIKAYA'ya teşekkür ederim.

Bütün yaşamım boyunca manevi desteklerini yanımdan ayırmayan değerli ailem, babam Abdullah KOÇ, annem Hatice KOÇ'a teşekkür ediyorum.

Taha KOÇ
ISPARTA, 2022

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Düzgün ağ geometrileri	3
Şekil 2.2. Beşik tonozlar için kullanılan ana yüzey geometrileri	4
Şekil 2.3. Üç farklı konfigürasyona sahip beşik tonoz.....	5
Şekil 2.4. Yükseklik-açıklık oranının yapı toplam ağırlığına göre karşılaştırılması	6
Şekil 2.5. A-Simetrik yükleme durumu B-Simetrik olmayan yükleme durumu	7
Şekil 2.6. Kar yükü ve 1 KN yükleme durumu için yapı ağırlığı karşılaştırılması	8
Şekil 2.7. Kutu kesit profiller için düğüm birleşim detayı.....	9
Şekil 2.8. Sun Valley Düğüm detayı	9
Şekil 2.9. Seele Düğüm detayı	10
Şekil 2.10. Transitional node soket tipi (Geçiş düğüm) detayı	10
Şekil 2.11. Uygulanan yük durumu için oluşan gerilim dağılımları	11
Şekil 2.12. 5 farklı düğüm detayı maksimum gerilme tablosu	13
Şekil 2.13. Seele birleşimi montajı	13
Şekil 2.14. PVC-PES Kumaş	14
Şekil 2.15. Crystal Hall Bakü Azerbaycan.....	15
Şekil 2.16. PTFE ve PVC-PES membran örtülerin kesitleri	16
Şekil 2.17. All England Çim kort membran çatı kaplaması uygulaması	16
Şekil 2.18. Djanet hotel rekreasyon alanı.....	17
Şekil 2.19. ETFE membran örtüsü uygulanması.....	17
Şekil 2.20. Aushopping Pôle Europe Alışveriş Merkezi	18
Şekil 2.21. Burda Alışveriş Merkezinin çatısının üstten görünümü.....	18
Şekil 2.22. Moynihan Tren İstasyonu çatısının üstten görünümü	20
Şekil 2.23. Moynihan Tren İstasyonu çatı montaj aşaması	20
Şekil 2.24. Trinity alışveriş merkezi	21
Şekil 2.25. Trinity Alışveriş Merkezi çatısı cam kaplama uygulaması	21
Şekil 2.26. Chadstone Alışveriş Merkezi	22
Şekil 2.27. Chadstone Alışveriş Merkezi üstten görünüş	22
Şekil 3.1. Nazarbayev Centre içten ve dıştan görünümü	23
Şekil 3.2. Nazarbayev Centre yapım aşaması	23
Şekil 3.3. Nazarbayev Centre yapısında kullanılan çelik profiller.....	24
Şekil 3.4. Casa Shopping Carioca Wave genel görünümü.....	24
Şekil 3.6. De Blub	25
Şekil 3.7. De Blub cam cephe detayı	26
Şekil 3.8. De Blub düğüm noktası kaynaklı çelik dikdörtgen kesit birleşim detayı	26
Şekil 4.1. Elephant House, ahşap kabuğun montaj aşaması	28
Şekil 4.2. Tek ve Çift katmanlı ahşap kabuk ızgara elemanı	28
Şekil 4.3. Altıgen planlı karolama ve üç boyutlu strüktür modeli.....	29
Şekil 4.4. Beşik tonozlar için kullanılan ana yüzey geometrileri	30
Şekil 4.5. Farklı yükseklik-açıklık oranlarına sahip lamel beşik tonoz yapıları ..	30
Şekil 4.6. Tek katmanlı beşik tonozlar için şekil ve boyut optimizasyonu.....	31
Şekil 4.7. Analizlerde kullanılan tek katmanlı beşik tonoz sistemi	32
Şekil 4.8. Hibrit çelik tonozların oluşturulması	33
Şekil 4.9. Oluşturulan modeller	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.

Şekil 4.10. Analizi gerçekleştirilen beşik tonoz sistemin planı ve kesiti	35
Şekil 4.11. Yapıda sıcaklık değişimine olan etkisini incelenen elemanlar	35
Şekil 4.12. Sıcaklık etkisi altında düğüm noktalarının yer değiştirmeleri	36
Şekil 4.13. Yapının ilk modunda gösterdiği davranış	37
Şekil 4.14. Model Kontrol noktaları	37
Şekil 4.15. Yükseklik-Açıklık oranlarına göre Taban kesme kuvveti/Yer	38
değiştirme tablosu	38
Şekil 4.16. Yükseklik-Açıklık oranlarına göre hedef yer değiştirmeleri.....	38
Şekil 5.1. Dörtgen modül geometrisine bağlı ızgara kabuk sistemin 3 boyutlu görünümü	40
Şekil 5.2. Üçgen modül geometrisine bağlı ızgara kabuk sistemin 3 boyutlu görünümü	40
Şekil 5.3. Altıgen modül geometrisine bağlı ızgara kabuk sistemin 3 boyutlu	41
Şekil 5.5. Model Numaralarının kodlama gösterimi	42
Şekil 5.6. Eurocode 1-4 Dikdörtgen tabanlı tonoz tipi yapılar için tavsiye edilen dış basınç katsayısı (EN 1991 1-4, 2005).....	47
Şekil 6.1. 20 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması	50
Şekil 6.2. 20 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması	53
Şekil 6.3. 30 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması	55
Şekil 6.4. 30 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması.....	57
Şekil 6.4. 30 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması (Devam)	58
Şekil 6.5. 40 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması	60
Şekil 6.6. 40 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması.....	62
Şekil 6.7. 50 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması	64
Şekil 6.8. 40 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması	66
Şekil 6.9. 20 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık	68
Şekil 6.10. 20 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması	71
Şekil 6.11. 30 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık karşılaştırılması	71
Şekil 6.11. 30 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)	72
Şekil 6.12. 30 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması	74
Şekil 6.13. 40 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık karşılaştırılması	74
Şekil 6.13. 40 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)	75
Şekil 6.14. 40 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması	76

Şekil 6.15. 50 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m ² düşen ağırlık karşılaştırılması	77
Şekil 6.15. 50 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m ² düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)	78
Şekil 6.16. 50 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m ² düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması	79
Şekil 6.17. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+Kar yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler	81
Şekil 6.18. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+SolKar yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler	82
Şekil 6.19. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+SolRüzgar yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler	84
Şekil 6.20. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+0.7QEx yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler	85



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Geometrik özelliklerinin sayısal değerleri	34
Çizelge 5.1 Oluşturulan modellerde kullanılan yükseklik miktarları.....	41
Çizelge 5.2. 20 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri	43
Çizelge 5.3. 30 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri	44
Çizelge 5.4. 40 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri	44
Çizelge 5.5. 50 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri	45
Çizelge 5.6. Optimum modellerde kullanılan çelik profil tablosu	45
Çizelge 5.7. S275 çelik malzemesine ait özellikler.....	46
Çizelge 5.8. S275 çelik malzemesine ait mekanik özellikler	46



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

B	Modül boyu
E	Elastisite modülü
ETFE	Etilen tetraflorüretilen
F_y	Akma dayanımı
F_u	Kopma dayanımı
F_{ue}	Beklenen kopma dayanımı
F_{ye}	Beklenen akma dayanımı
G	Kayma modülü
H	Yapı yüksekliği
K	Yapı derinliği
L	Yapı açıklığı
ν	Poisson oranı
PTFE	Politetrafloretilen
PVC	Polivinil klorür
R	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
SHS	Kutu profil

1. GİRİŞ

21. yy itibariyle dünyanın nüfusu giderek artmaktadır. Endüstri çağının getirisi olarak birçok sorun ortaya çıkmıştır. Kentleşmeyle beraber nüfusun çok hızlı yükselmesi yeni yapı sistemlerine ihtiyaç duyulmasını sağlamıştır. Son yıllarda gelişen yeni yapım teknikleri de bu ihtiyacın giderilmesinde yol gösterici olmuştur. Teknolojik gelişmelerle birlikte yeni yapı malzemeleri de ortaya çıkmıştır. Bunun sonucunda yapılarda yüksek açıklık geçmenin arayışına gidilmiştir. Yüksek açıklık geçmenin en önemli prensiplerinden biri yapı malzemesinin hafif olmasıdır. Bunun sonucunda yapı sistemlerinde yüksek açıklıklar geçilebilmektedir. Yüksek açıklık geçme ihtiyacının en büyük sebepleri; insanlara yaşanılacak büyük ve geniş hacimler kazandırma, ekonomiklik ve fonksiyonellik olarak sıralanabilir (Özüer, 2020).

İhtiyaçlardan dolayı mimarların ve inşaat mühendislerinin ortak çalışması sonucu çağdaş taşıyıcı sistemler gündeme gelmiştir. Bunlardan bir tanesi de Izgara kabuk (Gridshell) strüktürleridir. Gridshell sistemler genellikle ahşap, alüminyum, fiberglas ve çelik malzemeden yapılmaktadır. Literatürde modern yapı kabukları olarak geçen bu sistemin teknolojinin ilerlemesiyle aşama kaydedeceği öngörülmektedir. Gridshell strüktürlerinde farklı tasarım aşamaları, yüzey geometrileri, kullanılacak olan malzemeler değişkenlik göstermektedir. Bu sistemlerinin birçok farklı yüzey geometrisinden oluşan taşıyıcı sistem olmaları hem çağdaş taşıyıcı sistem olmalarına hem de ihtiyaçların mimari kaygılardan uzak olarak inşa edilmesini sağlamaktadır (Türkçü, 2003).

Izgara kabuk (Gridshell) strüktürleri daha çok insan yoğunluğunun fazla olabileceği mekânların tasarımında tercih edilmektedir. Bunlara örnek olarak kongre merkezleri, sergi alanları, alışveriş merkezleri ve oditoryumlar verilebilir.

Her zaman iyi bir mimari tasarım için o tasarımın iyi bir strüktür sistemle bağdaşması istenir. Izgara kabuk (Gridshell) strüktürler özellikle mimari tasarım adına yüksek açıklıkların estetik cephe kaplaması olarak elverişli olması sebebiyle de tercih edilmeye başlanmıştır. Yapılarda istenen 3 ana istek çağdaş

taşıyıcı sistemlerde de istenmektedir. Bunlar ekonomiklik, sağlamlık ve işlevselliktir. Taşıyıcı sistemlerde işlevsellik büyük önem taşımaktadır. Gridshell strüktürlerin oluşturulmasında yüzey geometrileri üzerine araştırmalar yapılmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda dörtgen, üçgen ve altıgen geometrileri üzerinde durulmuştur. Bu geometrilerin üzerinde durulmasının en büyük sebebi ise estetik cephe kaplanabilirliği olarak açıklanabilir.

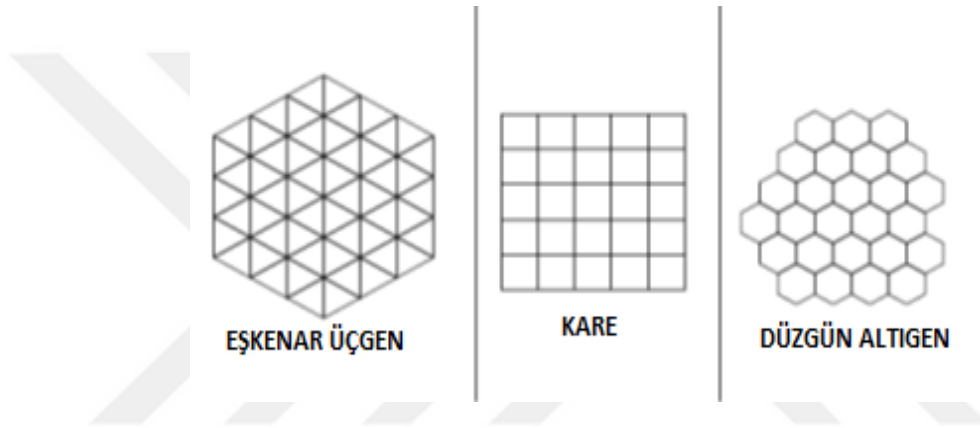
Sonuç olarak Gridshell strüktürleri ile günümüzde oluşan yeni ihtiyaçlar kolaylıkla giderilebilmektedir. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber de dünyamızda örneklerinin çoğalacağı öngörülmektedir.



2. IZGARA KABUK SİSTEMLERİN TASARIM PARAMETRELERİ

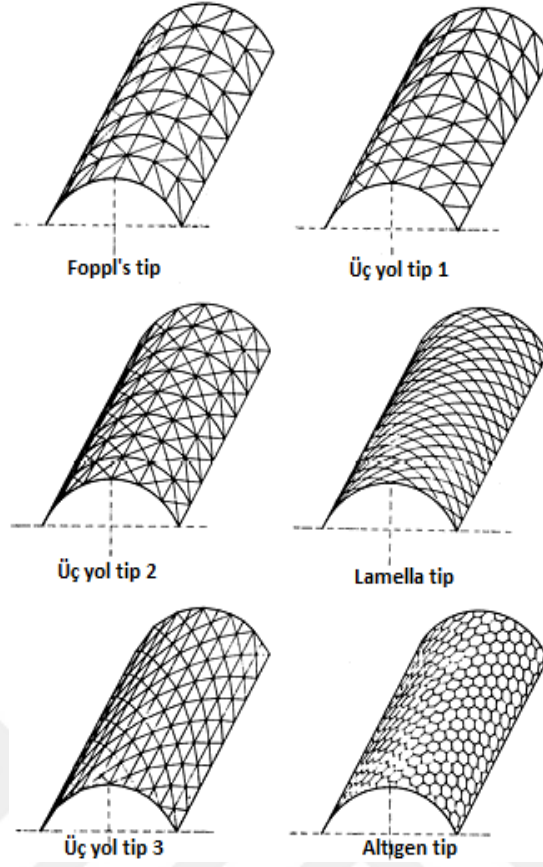
2.1 Geometrik Değişkenler

Literatürde gridshell strüktürler için yükseklik-açıklık arasındaki orana bağlı olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca farklı yüzey geometrileri üzerinde de araştırmalar yapılmıştır. Birçok yüzey geometrileri türetilmiştir. En temel olarak düzgün ağlar örnek verilebilir. Düzgün ağlarda çubuk, düğüm noktası ve ağ gözleri eşittir. Bunlar Şekil 2.1’ de gösterilen eşkenar üçgen, kare ve düzgün altıgenlerdir (Özüer, 2020).



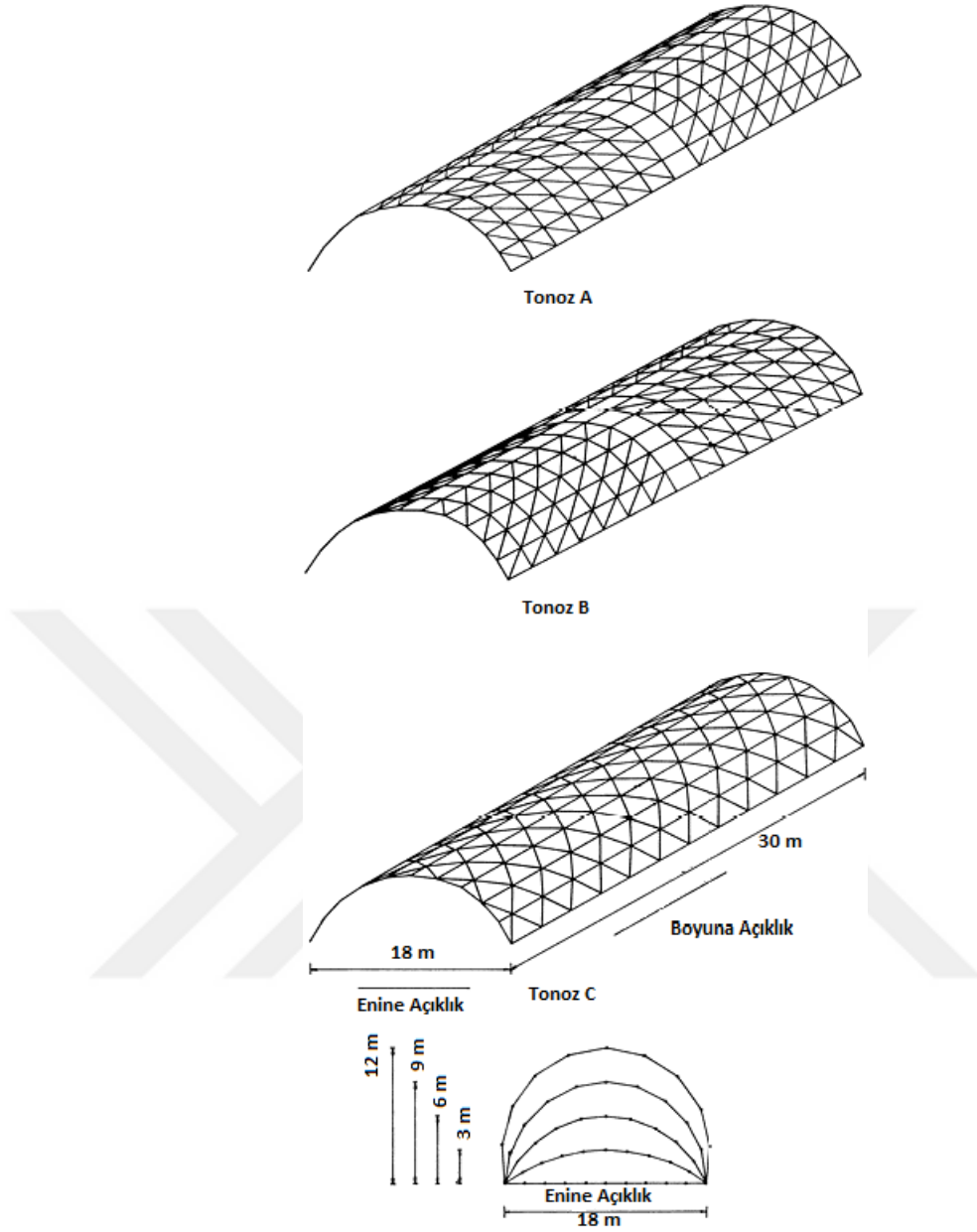
Şekil 2.1. Düzgün ağ geometrileri (Özüer, 2020)

Oluşturulan düzgün ağlarla yüzeyin karolanması ile sonucu birçok konfigürasyon oluşturulmuştur. Makowski (2006), çalışmasında 6 ana konfigürasyon üzerinde durmuştur. Şekil 2.2’ de 6 ana konfigürasyona sahip beşik tonoz sistemler gösterilmiştir.



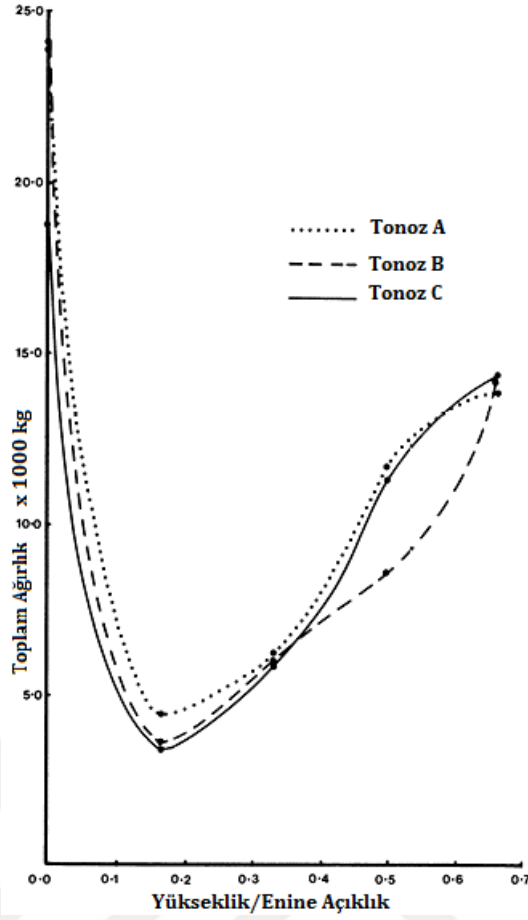
Şekil 2.2. Beşik tonozlar için kullanılan ana yüzey geometrileri (Makowski, 2006)

Gridshell strüktürlerde bir diğer önemli geometrik değişken ise yapı yüksekliği ile geçilen açıklık arasındaki orandır. Bu orana bağlı olarak yapının ağırlığı değişmektedir. Yapı ağırlığının değişmesi sonucu yapı maliyetleri değişmektedir. Makowski (2006), 3 farklı yüzey geometrisine sahip yapılar için farklı yükseklik-açıklık oranının (Basıklık Oranı) yağı ağırlığına olan etkisi üzerine bir çalışma yapmıştır. Şekil 2.3' te oluşturulan 3 farklı yüzey geometrisine bağlı beşik tonoz sistemler ve onlara ait yapı bilgileri verilmiştir.



Şekil 2.3. Üç farklı konfigürasyona sahip beşik tonoz (Makowski, 2006)

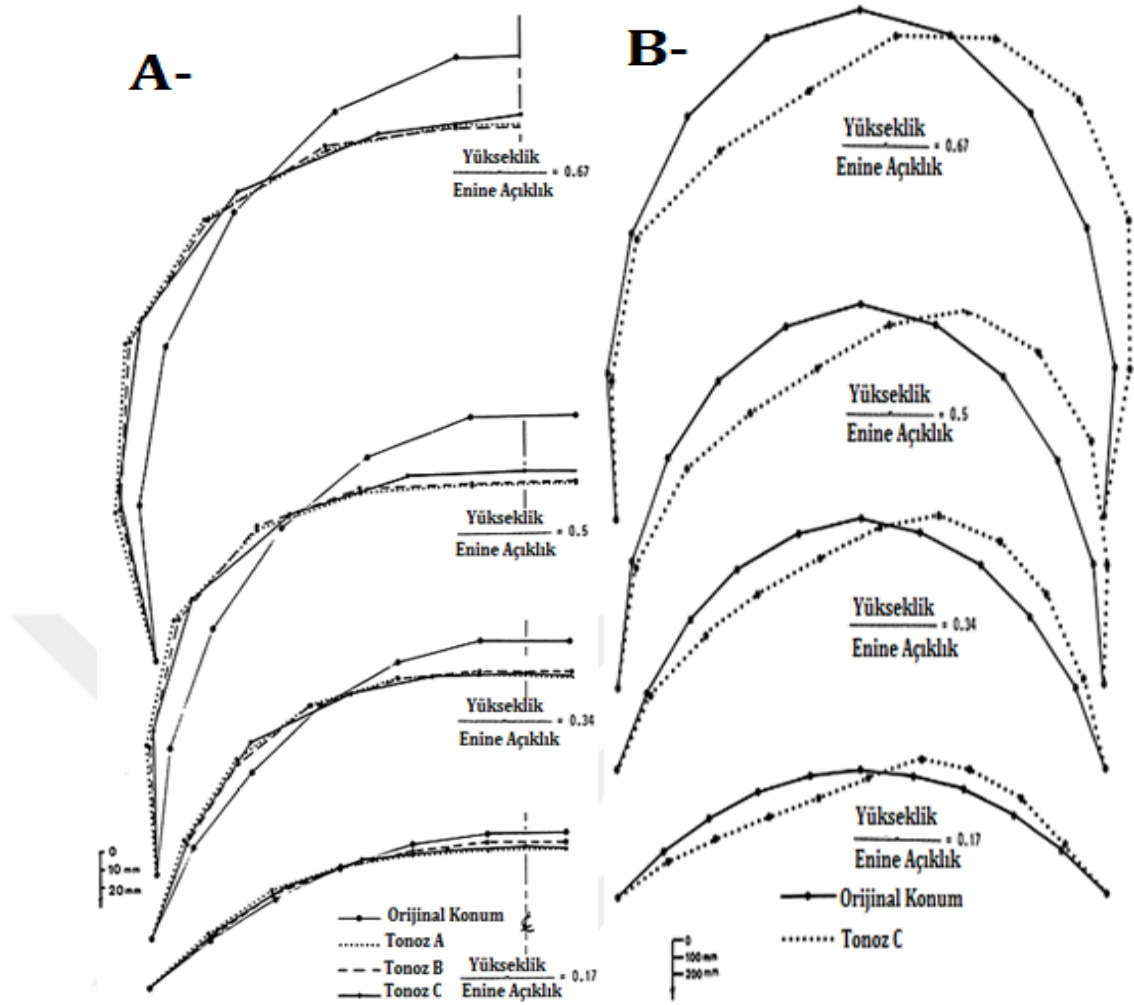
Yapılan araştırma sonucunda yapıların düğüm noktalarına 2 KN yük uygulanmıştır. 4 farklı yükseklik-açıklık oranı için 3 tonoz çeşidinin de yapı ağırlıkları hesaplanmıştır. Şekil 2.4' de görüldüğü üzere çalışma tablo haline getirilmiştir. 3 tonoz çeşidi içinde ilk olarak düşük yükseklik açıklık oranında yüksek yapı ağırlıkları oluşmuştur. 3 tonoz çeşidinde de 0.17 yükseklik-açıklık oranında en az yapı ağırlığı gözlenmiştir. 0.17 den itibaren 0.67 yükseklik-açıklık oranına kadar yapı ağırlığında artış oluşmuştur. Çalışma sonucunda 0.17 yükseklik-açıklık oranında kritik hassasiyet olduğu gözlenmiştir.



Şekil 2.4. Yükseklik-açıklık oranının yapı toplam ağırlığına göre karşılaştırılması (Makowski, 2006)

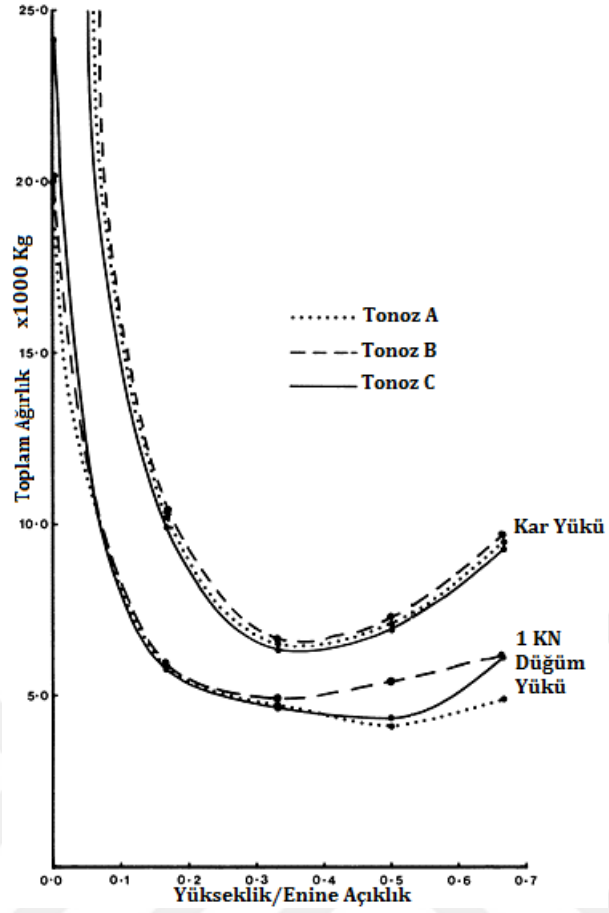
Ayrıca çalışmada Makowski (2006), simetrik ve simetrik olmayan yük durumları üzerinde de çalışmıştır. Düğüm noktalarına 2 farklı durum hali için enine açıklık boyunca düğüm noktalarına 1 KN yük uygulamıştır. Bunun sonucunda 4 farklı yükseklik açıklık oranının oluşan yer değiştirmeleri gözlemlemiştir.

Şekil 2.5' te simetrik yükleme durumu ve simetrik olmayan yükleme durumunda yapıların farklı yükseklik-açıklık oranlarına göre yaptığı yer değiştirmeler gösterilmiştir. Simetrik yüklemede yükseklik-açıklık oranı arttıkça yer değiştirmelerin arttığı gözlenmiştir. Simetrik olmayan yüklemede ise simetrik yüklemeye oranla çok fazla yer değiştirme yaptığı görülmüştür. Çalışma sonucunda yükleme durumunun yer değiştirme üzerinde büyük değişiklikler oluşturduğu sonucuna varmıştır.



Şekil 2.5. A-Simetrik yükleme durumu B-Simetrik olmayan yükleme durumu (Makowski, 2006)

Yapılara kar yükü uygulayarak analizler yapılmıştır. Boyuna açıklık boyunca uygulanan 1 KN yük durumu içinde karşılaştırma yapılmıştır. Şekil 2.6.' da görüldüğü üzere kar yüklemesi sonucunda 3 tonoz çeşidinde de düşük yükseklik-açıklık oranında yüksek yapı ağırlıklarına ulaşılmıştır. 0.34 yükseklik-açıklık oranında en düşük yapı ağırlığı olduğu görülmüştür. 0.34 yükseklik-açıklık oranında itibaren de yapı ağırlığında bir miktar artış gözlenmiştir. Ayrıca 1 KN yükleme durumu arasında bir korelasyon mevcuttur. Şekil 2.6' da gösterildiği gibi en uygun yükseklik-açıklık oranının ise 0.34 olduğu söylenmiştir.



Şekil 2.6. Kar yükü ve 1 KN yükleme durumu için yapı ağırlığı karşılaştırılması (Makowski, 2006)

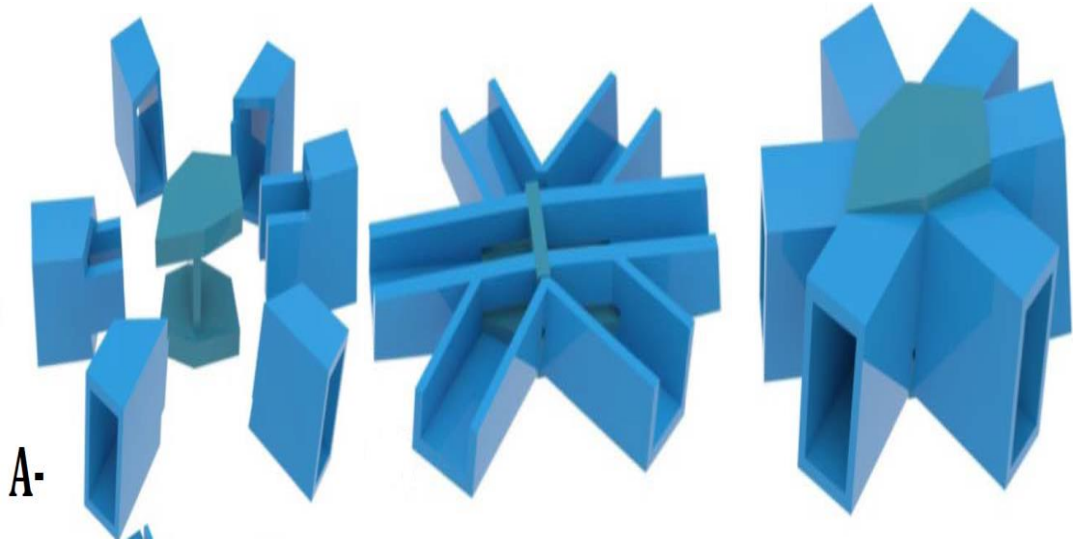
2.2 Birleşim Detayları

Düğüm birleşim detayları yapı üretilebilirliği ve esnekliği için önemlidir. Bazı geleneksel kaynaklı düğüm birleşimleri tekrarlı yük altında imalatlarında problemler oluşabilir. Gridshell strüktürler karmaşık düğüm noktalarından oluşan taşıyıcı sistemlerdir. Araştırmacılar günlük yaşantıdan yola çıkarak düğüm bağlama tekniklerini temel alarak karmaşık düğüm noktaları oluşturmaya çalışmıştır. Şekil 2.7' de kutu kesitli profiller için düğüm noktası montaj işlemi gösterilmiştir.



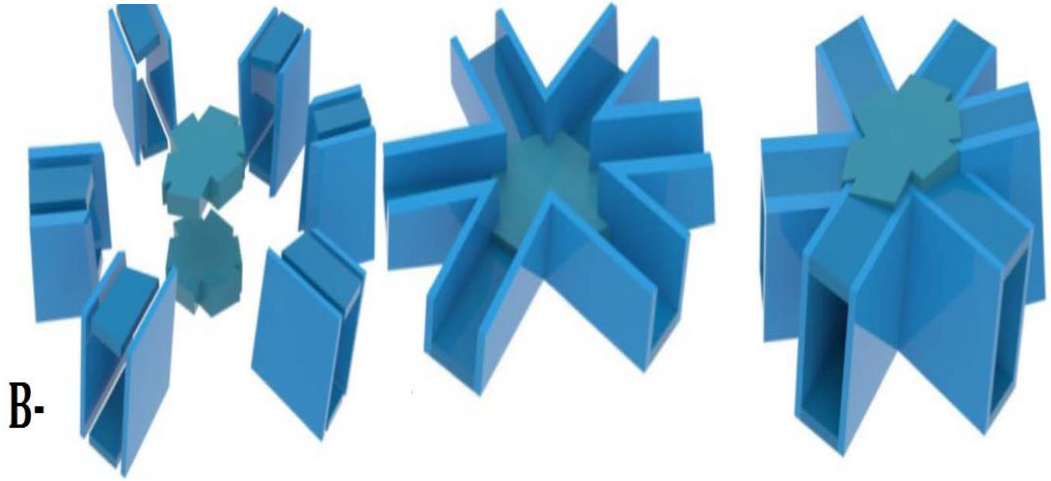
Şekil 2.7. Kutu kesit profiller için düğüm birleşim detayı (L'Informatiu blog, 2018)

Kutu kesitli profiller için düğüm detayı 3 farklı şekilde geliştirilmiştir. Bunlar sun valley düğümü, seele düğümü, geçiş düğümü. Şekil 2.8' de Sun valley düğüm detayının parçalanmış, toplanmış ve en kesit hali görülmektedir Seifi vd. (2018).



Şekil 2.8. Sun Valley Düğüm detayı (Seifi vd., 2018)

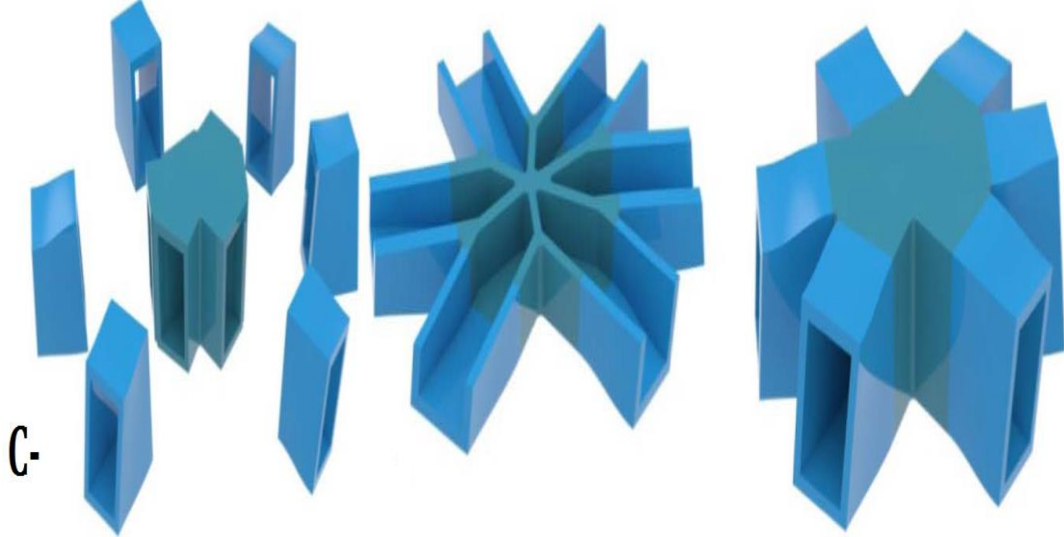
Şekil 2.9’ da seele düğüm detayının da 3 hali için gösterimine yer verilmiştir.



B-

Şekil 2.9 Seele Düğüm detayı (Seifi vd., 2018)

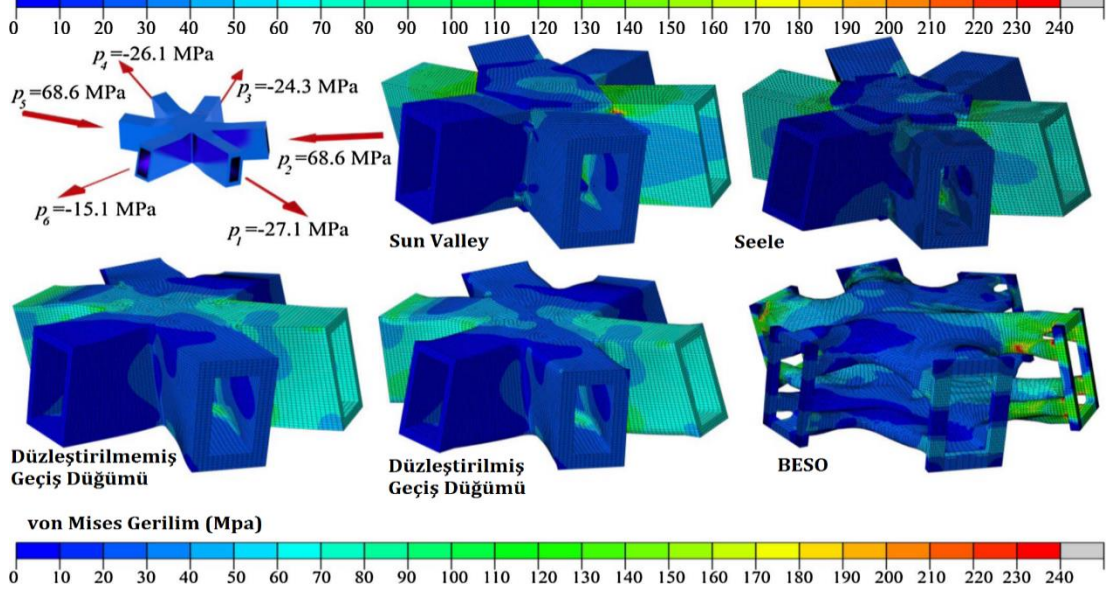
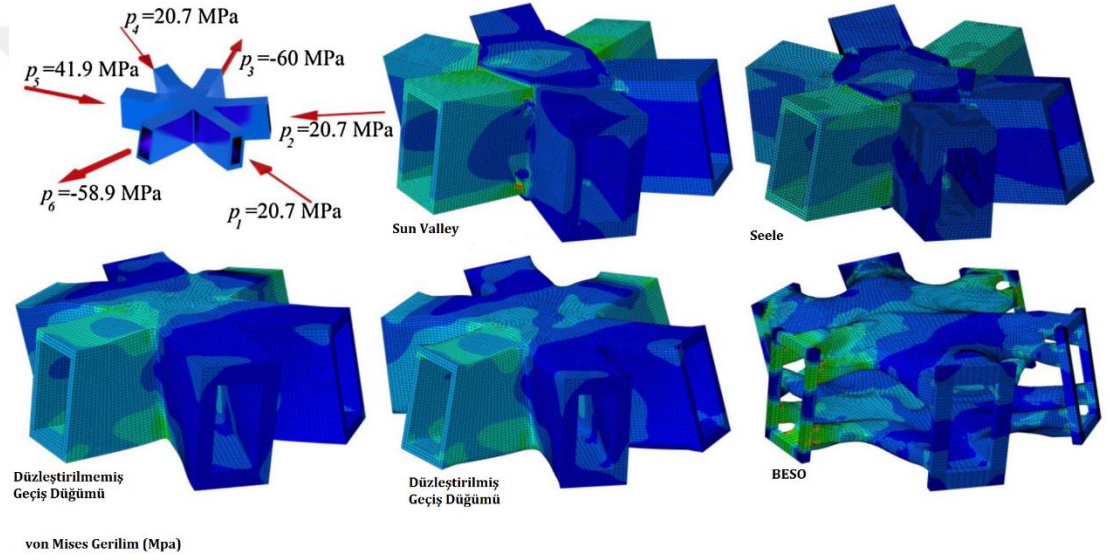
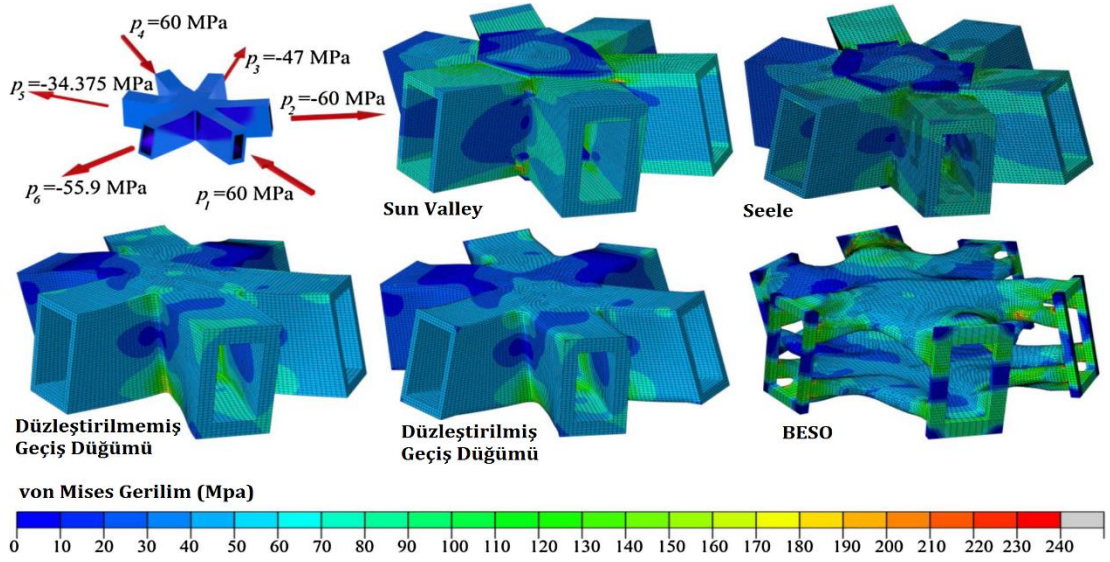
Son olarak da literatürde transitional node (geçiş düğüm detayı) olarak geçen düğüm detayının Şekil 2.10’ da ayrıntılı gösterilmiştir.



C-

Şekil 2.10. Transitional node soket tipi (Geçiş düğüm) detayı (Seifi vd., 2018)

Seifi vd. (2018), Yaptıkları çalışmada Dikdörtgen kesitler için uygun birleşim detaylarının 5 farklı yük durumu için gerilme dağılımlarını gözlemlemişlerdir. Şekil 2.11’ de 5 birleşim detayına uygulanan 4 farklı yükleme durumunun sonucunda oluşan gerilim dağılımları gösterilmiştir.

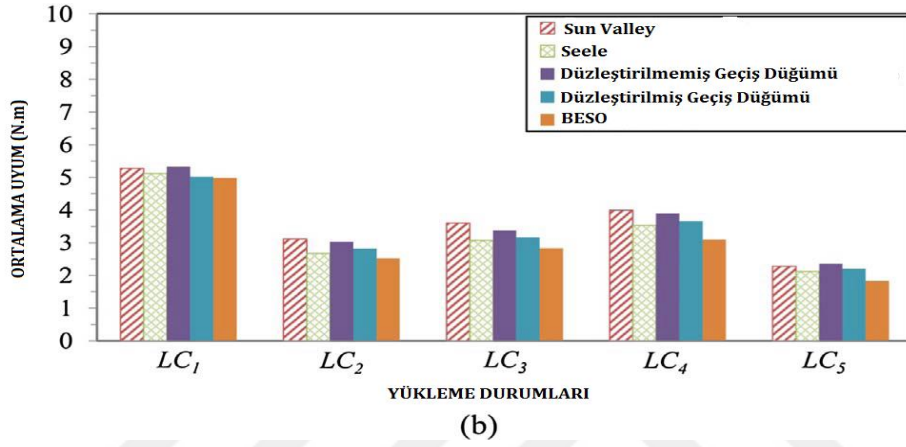
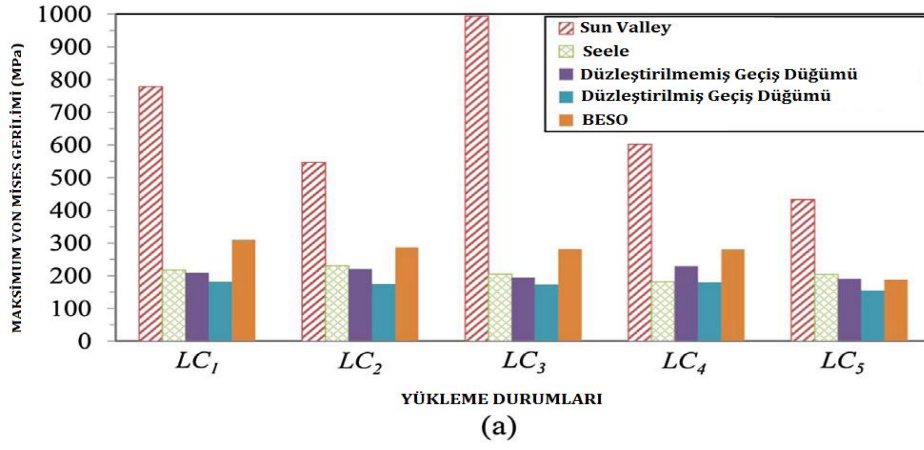


Şekil 2.11. Uygulanan yük durumu için oluşan gerilim dağılımları (Seifi vd., 2018)

Birleşim detaylarına uygulanan yükleme durumları incelendiğinde Sun valley düğümünde yüksek gerilimler olduğu gözlenir. Yüksek gerilimler profillerin üst kısımlarında meydana gelmiştir. Seele birleşiminde ise düşük gerilimler ortaya çıkmıştır. Gerilmeler genellikle Kutu profil kesitlerin birleştiği noktalarda yığılmalar oluşmuştur. Düzleştirilmemiş ve düzleştirilmiş geçiş düğümlerinde ise yükleme durumlarının hepsinde benzer gerilim dağılımları oluşmuştur. BESO birleşiminde ise plastik deformasyonlar olduğu görülmüştür.

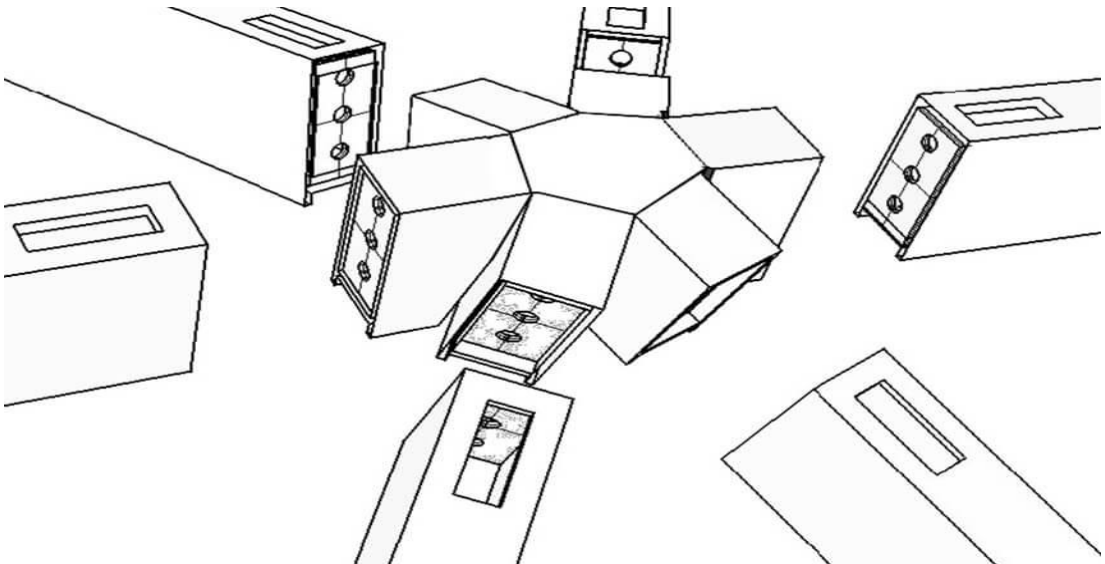
Çalışmaları sonucunda Seele düğüm noktasında düşük gerilim dağılımlarına sahip olduğunu gözlemlemişlerdir. Gerilme dağılımları genellikle köşelerde ve bağlantılarda olduğu görülmüştür. Çalışmalarında maksimum gerilmenin de görülmediğini belirtmişlerdir.

Şekil 2.12' de uygulanan bütün yükleme durumlarına göre birleşim detaylarında oluşan gerilme miktarları ve ortalama uyumları gösterilmiştir. Sun valley birleşiminde diğer birleşimlere göre çok yüksek gerilmeler oluşmuştur. Düzleştirilmiş ve düzleştirilmemiş geçiş düğüm birleşiminde çok farklı gerilme değerleri oluşmadığı görülmüştür. BESO birleşiminde ise sun valleyden sonra en çok gerilme oluşan birleşim detayıdır. Seele birleşiminde bütün yükleme durumlarında maksimum von mises gerilimleri farklılık oluşturmamıştır. Bu yüzden seele birleşim detayı uygulanabilirlik açısından en tercih edilebilir birleşim detayı olarak söylenebilir.



Şekil 2.12. 5 farklı düğüm detayı maksimum gerilme tablosu (Seifi vd., 2018)

Şekil 2.13' de Seele birleşim detayının montaj aşaması gösterilmiştir. Kutu kesitlerin düğüm detayıyla birleşimi detaylı olarak şekil üzerinde görülmektedir.



Şekil 2.13. Seele birleşimi montajı (Seele, 2021)

2.3 Kaplama Tipleri

2.3.1 Membran örtüler

Gridshell strüktürler için çeşitli kaplama çeşitleri mevcuttur. Bunlardan en çok kullanılanlardan biri membran örtü malzemesidir. Membran kaplama malzemeleri yüksek mukavemete sahiptir. Ayrıca malzemenin diğer önemli özellikleri ise yangına karşı geciktirici etki göstermesi, dayanıklı olması ve kendini temizleyebilen olması olarak sıralanabilir. Membran kaplama malzemesi 5 ana grup da sınıflandırılır. Bunlar;

- 1-PVC kaplı polyester kumaş (PVC-PES)
- 2-PTFE kaplı cam elyaf kumaş (PTFE-cam)
- 3-Silikon kaplı cam elyaf kumaş (silikon cam)
- 4-Kaplamalı veya kaplamasız floropolimer kumaş
- 5-ETFE-film

2.3.1.1. Pvc kaplı polyester kumaş (PVC-PES)

PVC kaplı polyester kumaşlar ızgara kabuk sistemlerde en çok tercih edilen kaplama malzemelerindendir. Son derece dayanıklı, yarı saydam yapıya sahip ve su geçirmeyen malzemelerdir. Neme ve UV ışınlarına karşı da dayanıklıdır. Izgara kabuk sistemlerde mimari görünüm büyük önem taşır. Buna bağlı olarak PVC kaplı polyester kumaşlar çok çeşitli renklerde de kullanılabilirler. Yüksek esnekliğe sahiptirler. Olumsuz hava koşullarına karşı direnç gösterebilirler. 20 yıldan fazla kullanım ömrü öngörülür. Bu kumaşların performanslarını artırmak için cilalar da uygulanır. Membran kaplamalarında en ekonomik malzeme olarak görülmektedir. Şekil 2.14' de PVC kaplı polyester kumaş gösterilmiştir.



Şekil 2.14. PVC-PES Kumaş (Architectural Membrane Association, 2018)

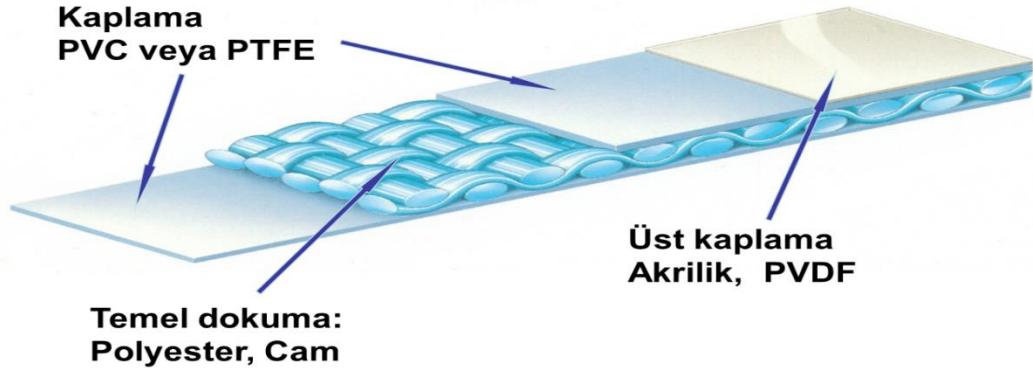
PVC-PES membran örtüsü çok yaygın kullanılan bir kaplama türüdür. Dünyada birçok ızgara kabuk sistem kaplamasında kullanılmıştır. Şekil 2.15’ de Azerbaycanın başkenti bakü de bulunan Crystal hall yapısına yer verilmiştir. Bu yapının kaplanmasında PVC-PES membran tercih edilmiştir.



Şekil 2.15. Crystal Hall Bakü Azerbaycan (Seele, 2021)

2.3.1.2. Ptfе kaplı cam elyaf kumaş (PTFE-Cam)

Bir diğer ana membran örtüsü PTFE kaplı cam elyaf kumaş malzemesidir. Yaygın olarak kullanılmaktadır. PVC-PES malzemeye göre çok daha uzun süreler kullanılabilir. Bakımı ve temizliği daha kolaydır. Kaplama kahverengi bir yapıya sahiptir. Izgara kabuk sistemlere uygulandıktan sonra rengi güneş ışınlarının da etkisiyle beraber kumaşı rengi beyaz olmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle beraber renkli kumaşlara da uygulanabilmektedir. Ana malzemesinde cam lifleri olduğundan dolayı montaj işleminde çok dikkatli olunması gerekir. Montaj aşamasında kaplama malzemesinin katlanması dolayısı cam katmanı zarar görebilmektedir. Montajında yüksek hassasiyet gösterilmesi gerekir. Şekil 2.16’ da PVC ve PTFE-Cam membran örtülerine ait kesit verilmiştir. PTFE membran örtüsünde PVC-PES’den farklı olarak cam elyaf üstüne teflon kaplama yapılır.



Şekil 2.16. PTFE ve PVC-PES membran örtülerin kesitleri (Etna Yapı, 2018)

Dünyada en çok bilinen PTFE membran kaplamasının uygulandığı yapı wimbloden tenis turnuvasının gerçekleştiği All England çim kortudur. Kort 6.000 m²'lik membran örtüyle kaplı çatıya sahiptir. İngiltere çok yağış alan bir ülkedir. Yağışlardan dolayı müsabakaların etkilenmemesi için bir çatı kaplamasına ihtiyaç vardı. PTFE membran yarı saydam yapısı ve dayanıklı olmasıyla tercih sebebi olmuştur. Bir diğer artı özelliği ise PTFE kaplamasının kir ve toz tutmamasıdır.



Şekil 2.17. All England Çim kort membran çatı kaplaması uygulaması (Seele, 2021)

2.3.1.3. Silikon kaplı cam elyaf kumaş (Silikon Cam)

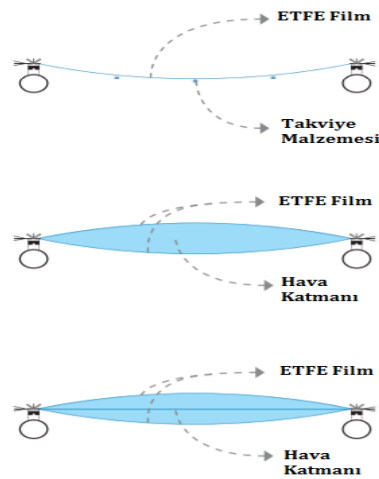
Silikon malzemesinin saydamlığından dolayı şeffaflığı yüksek olan bir malzemedir. Silikon kaplamadan dolayı kir tutmaz. Silikonun dayanımından dolayı PTFE-Cam membrana göre daha hassastır. İmalatında ve montajında yüksek hassasiyet gösterilmesi gerekir. Şekil 2.18' da Silikon cam membran uygulaması yapılan Djanet hotel rekreasyon alanı gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Djanet hotel rekreasyon alanı (Tensaform, 2017)

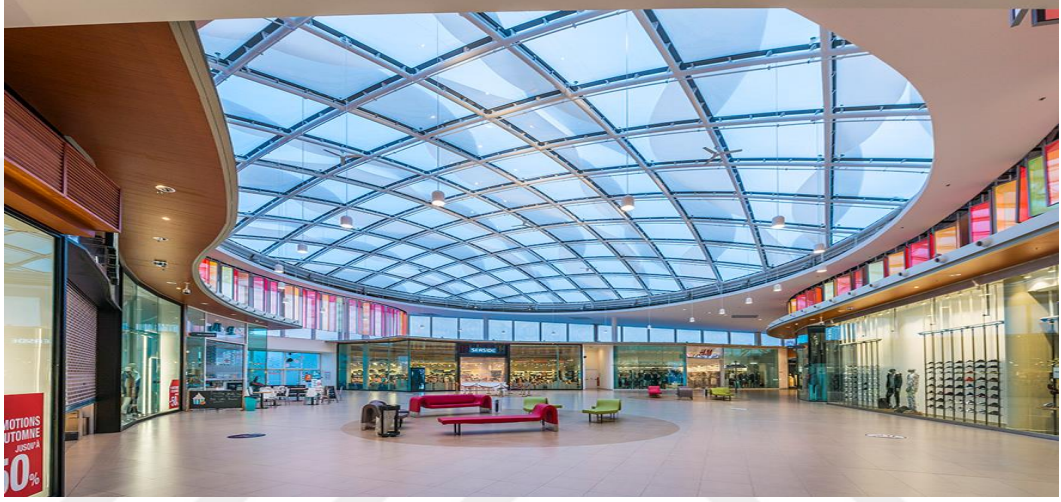
2.3.1.4. Etf membran

Çok yaygın kullanılan bir diğer membran kaplama çeşidi ETFE'dir. Çok hafif bir ağırlığa sahip olan ETFE membranlar yüksek ışık geçirme özelliği ile ön plana çıkmaktadır. Tek cidarlı olarak veya şişme (yastık formu) olarak uygulanabilmektedir. 3 katmanlı şişme ETFE membran örtülerinin bağlantı alüminyum elemanlarıyla beraber m²'de 2-3 kg ağırlığa sahiptir. Bu özellik sayesinde düşük kaplama ağırlığıyla yüksek açıklıklar kolaylıkla geçilebilmektedir. ETFE membran uygulaması 3 farklı şekilde yapılabilmektedir. Tek cidar, iki cidar ve şişme yastık olarak uygulanmaktadır. Şekil 2.19' de ETFE membran örtüsünün 3 farklı uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 2.19. ETFE membran örtüsü uygulanması (Tensaform, 2017)

Şişme yastık uygulamasında yastık içi hava basıncına göre üfleme yapan blower adı verilen makine kullanılmaktadır. 3 farklı uygulaması olan ETFE membran örtüsünün dünyada birçok yapıda da uygulaması mevcuttur. Şekil 2.20’ de Fransa da yer alan Aushopping Pôle Europe alışveriş merkezine yer verilmiştir. Bu yapıda ETFE membran yastık şişme uygulaması yapılmıştır. Yapının kaplaması 63 ETFE hava dolgulu şişme yastıktan oluşmaktadır. Yaklaşık 1800 m2lik alan ETFE kaplamasından oluşmaktadır.



Şekil 2.20. Aushopping Pôle Europe Alışveriş Merkezi (Seele, 2021)

Ülkemizde de ETFE membran uygulanan yapılar bulunmaktadır. Bunlardan bir tanesi Kırklareli ilinde bulunan 39 Burda Alışveriş merkezidir. Yapının kaplamasında ETFE membran uygulanmıştır. Şekil 2.21’ de 39 Burda alışveriş merkezinin çatısının üstten görünümüne yer verilmiştir.

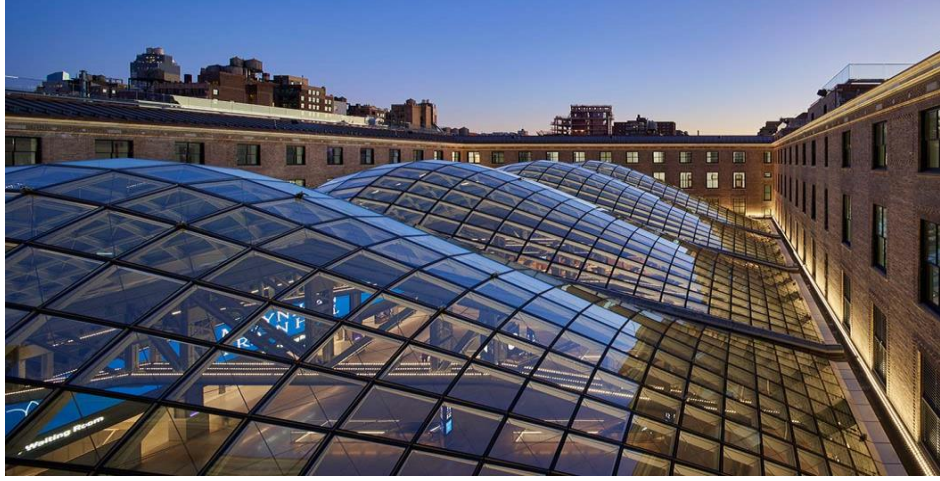


Şekil 2.21. Burda Alışveriş Merkezinin çatısının üstten görünümü (Tensaform, 2017)

2.3.2. Cam örtü malzemesi

Gridshell strüktürler için ikinci bir kaplama malzemesi ise camdır. Cam şekil verilebilen bir kaplama malzemesidir. Grid Shell sistemler mimari görünümün ön planda olduğu taşıyıcı sistemlerdir. Bundan dolayı cam kaplama malzemesi büyük fonksiyonelliğe sahiptir. Camın yüksek saydamlığa sahip olmasının yanında ışığı geçirgenliği özelliğiyle beraber mimari estetiğe büyük katkı sağlar. Gridshell taşıyıcı sistemler daha çok tiyatro, sinema salonları, kongre merkezi vb. mekanlarda kullanılır. Bu tür yapılarda mimari estetiğin yanında mekanın iyi aydınlatılması da gerekir. Cam kaplama malzemesi de buna en uygun hizmet eden kaplama malzemelerinin başında gelmektedir. Cam kaplama malzemesinin avantajlarının yanında dezavantajları da vardır. Bunların en başında hassas bir malzeme olması gelmektedir. Kırılabilen bir malzeme olmasından dolayı montajında ve kullanım aşamasında hassasiyet gösterilmesi gerekir. Ayrıca olumsuz hava koşullarında oluşacak durumlardan dolayı periyodik olarak cam malzemesinin temizliğinin yapılması gerekir. Son yıllarda teknolojinin ilerlemesiyle beraber kullanımı da artmaktadır.

Dünyada birçok proje de cam kaplama malzemesi kullanılmaya devam etmektedir. Son örneklerinden biri açılışı 2021 yılının başında yapılan ABD'nin New York eyaletinde bulunan Moynihan tren istasyonudur. Yapının yapımında 5.116 m² alanında serbest biçimli çelik cam çatı kullanılmıştır. Yapıda ayrıca 3.384 adet yalıtımlı cam ünite ve 670 ton ağırlığında yapısal çelik kullanılmıştır. Şekil 2.22' de Moynihan tren istasyonunun çatısının üstten görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 2.22. Moynihan Tren İstasyonu çatısının üstten görünümü (Seele, 2021)

Yapının yapımında son derece hassas bir planlama yapılmıştır. Tasarım, üretim ve uygulaması sırasında son derece dikkatli olunmuştur. Yapı birçok tasarım ödülü de almıştır. Şekil 2.23' de Moynihan Tren İstasyonun çatı kaplamasının montaj aşaması gösterilmiştir.



Şekil 2.23. Moynihan Tren İstasyonu çatı montaj aşaması (Seele, 2021)

Cam kaplama malzemesi kullanılan bir diğer yapı ise İngilterenin Leeds şehrinde bulunan Trinity alışveriş merkezidir. Alışveriş merkezi yaklaşık 100.000 m² alana sahiptir. Yapı 3.700 m²'lik alandan oluşan çatıya sahiptir. Yapı tamamen kaynaklı içi boş dairesel çelik kesitlerden oluşmaktadır ve 266 ton ağırlığa sahiptir.

Çatının kaplamasında 1.903 adet ısıyla güçlendirilmiş cam panel kullanılmıştır. Cam paneller yapıda 908 farklı çeşit de kullanılmıştır. Şekil 2.24' de Trinity alışveriş merkezinin içinden bir görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 2.24. Trinity alışveriş merkezi (Seele, 2021)

Trinity alışveriş merkezi son derece hassas bir çatıya sahiptir. Toplam 3700 m²'lik alana sahip olan çatı için özel su akış tasarımı yapılmıştır. Şekil 2.25'de Trinity alışveriş merkezine ait çatı da bulunan cam kaplamasına yer verilmiştir.



Şekil 2.25. Trinity Alışveriş Merkezi çatısı cam kaplama uygulaması (Seele, 2021)

Chadstone alışveriş merkezi, Avustralyanın Melbourne şehrinin en büyük alışveriş merkezleri arasında yer almaktadır. Yapı maksimum 44 metre açıklığa sahip karmakşık serbest biçimli ızgara kabuk sistemden oluşmaktadır. Alışveriş merkezi 2.810 çelik düğüm noktasından ve 5.168 adet çelik elemandan oluşmaktadır. Şekil 2.26' da Chadstone alışveriş merkezinin görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 2.26. Chadstone Alışveriş Merkezi (Seele, 2021)

Yapıda 260 metre boyunca uzanan çelik cam çatı bulunmaktadır. Melbourne şehrinin iklim koşullarından dolayı yüksek sıcaklıklarla beraber çatı yaklaşık 135 mm'ye kadar yer değiştirmeler görülmektedir. Çatı kaplamasında alanları 1.2 m² ve 8 m² arasında değişen toplam 2672 adet yalıtımlı cam bulunmaktadır. Şekil 2.27' de Chadstone alışveriş merkezinin çatısının görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 2.27. Chadstone Alışveriş Merkezi üstten görünüş (Seele, 2021)

3. DÜNYADAN ÖRNEKLER

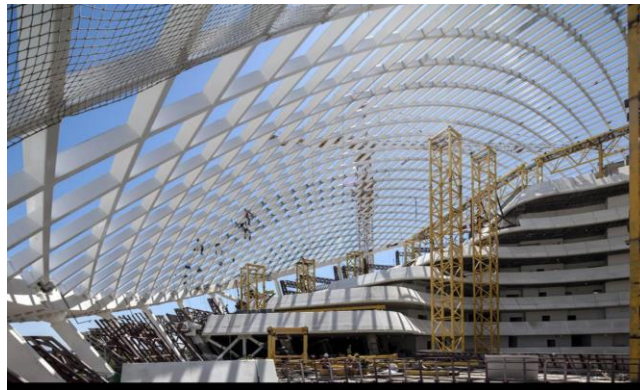
3.1. Nazarbayev Centre

Nazarbayev Centre Kazakistanın Astana şehrinde yer almaktadır. Yapı ülkenin milli kütüphanesi olarak geçmekte ve birçok faaliyet için kullanılmaktadır. Nazarbayev Centre, asya kıtasının ilk ve en büyük tek katmanlı serbest biçimli tasarımı olma unvanına sahiptir. Binanın ana yapısı betonarme kolonlardan oluşmuş 9 farklı şekilde döşeme seviyesinden oluşmaktadır. Yaklaşık 20° eğimli cam çatıya sahip olan yapı kuzeye doğru alçalmaktadır. Şekil 3.1’ de Nazarbayev Centre yapısının içten ve dıştan görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 3.1. Nazarbayev Centre içten ve dıştan görünümü (Knippershelbig, 2021)

Yapının yapımında tavuk yumurtasından esinlenilmiştir. Taşıyıcı sistem çelik malzemeden oluşmaktadır. Yapı tavan açıklığı yaklaşık 90 metre ve yüksekliği ise 11 metredir. Şekil 3.2’ de Nazarbayev Centre yapım aşamasına yer verilmiştir.



Şekil 3.2. Nazarbayev Centre yapım aşaması (Knippershelbig, 2021)

Kullanılan elik malzeme 30 mm x 20 mm elik kutu profillerdir. Ayrıca çatıda kullanılan en büyük kaplama malzeme boyutu ise 1400 x 6700 mm'dir. Kapsama malzemesi ise cam ve ta kombinasyonundan oluşmaktadır. Son olarak da çatı çevresel kenar kirişi ile erevelenmitir. Şekil 3.3' de Nazarbayer Centre de kullanılan profiller görülmektedir.



Şekil 3.3. Nazarbayer Centre yapısında kullanılan elik profiller (Metal Yapı, 2021)

3.2 Casa Shopping Carioca Wave

Serbest biçimli elik ve cam malzemeden oluşan yapı Brezilyanın Rio de Janerio şehrinde yer almaktadır. Yapının formunun tasarımında bir okyanus dalgasından esinlenilmitir. Suyun dinamik davranışından ilham alınmıştır. Yapı 52 x 23 m'lik yüzey alanını kaplamaktadır. Taşıyıcı sistem yüksekliği 8 ila 14 m aralığında değişmektedir. Şekil 3.4' de Casa Shopping Carioca Wave yapısının genel görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 3.4. Casa Shopping Carioca Wave genel görünümü (Knippershelbig, 2021)

Yapının mimari tasarımı ve geometrik optimizasyonu için farklı ağ alternatifleri değerlendirilmiştir. Son olarak 2.20 metre boyutunda üçgen çelik ızgarada karar kılınmıştır. Üçgen ızgarayı çevreleyen dairesel kenar kirişi bulunmaktadır. Üçgen ızgarayı cidar kalınlığı 6 mm ve S355 malzemesine sahip 200 x 80 mm çelik profiller kullanılmıştır. Şekil 3.5’ de Casa Shopping Carioca Wave’nin yapım aşamasına ve düğüm birleşim detayına yer verilmiştir.



Şekil 3.5. Casa Shopping Carioca Wave yapım aşaması ve düğüm birleşim detayı (Knippershelbig, 2021)

3.3 De Blob

De Blob, Hollanda'nın Eindhoven kentinde alışveriş merkezi olarak hizmet vermektedir. Yapı serbest biçimli çelik ve cam kaplamadan oluşan ızgara kabuk sistem olarak tasarlanmıştır. 3000 m²'lik karma kullanım alanına sahip olan De Blob, modern mimarisi ve geniş mekan algısıyla kentin ilgi gören yapıları arasında yer almaktadır. Şekil 3.6’ da De blub yapısının görünümüne yer verilmiştir.



Şekil 3.6. De Blub (Knippershelbig, 2021)

De Blub, betonarme bir yapının hem cephe hemde çatı görevi gören serbest biçimli bir üçgen ağ ile kaplanması ile meydana gelmiştir. Oluşturulan üçgen ağlarda şeffaf camla doldurulmuş alüminyum sandviç panel kullanılmıştır. Şekil 3.7' de De Blub yapısına ait cam cephe detayına yer verilmiştir.



Şekil 3.7. De Blub cam cephe detayı (Knippershelbig, 2021)

Serbest biçimli ızgara kabuk olarak tasarlanan yapıda oluşturulan ağlarda kullanılan malzeme ise 65 x 50 mm ölçülerinde kaynaklı dikdörtgen çelik profillerdir. De Blob, yaklaşık 25 metre yüksekliğe sahip olup yaklaşık 1.700 bisiklet kapasitesine sahip bir yeraltı otoparkına da sahiptir. Yapı çok işlevsel olarak kullanılmakta ve kente mimarisiyle modern bir görüntü vermektedir. Şekil 3.8' de oluşturulan ızgara kabuk sistemde düğüm noktalarında kullanılan kaynaklı çelik dikdörtgen profillerin birleşim detayı görülmektedir.



Şekil 3.8. De Blub düğüm noktası kaynaklı çelik dikdörtgen kesit birleşim detayı (Knippershelbig, 2021)

4. KAYNAK ÖZETLERİ

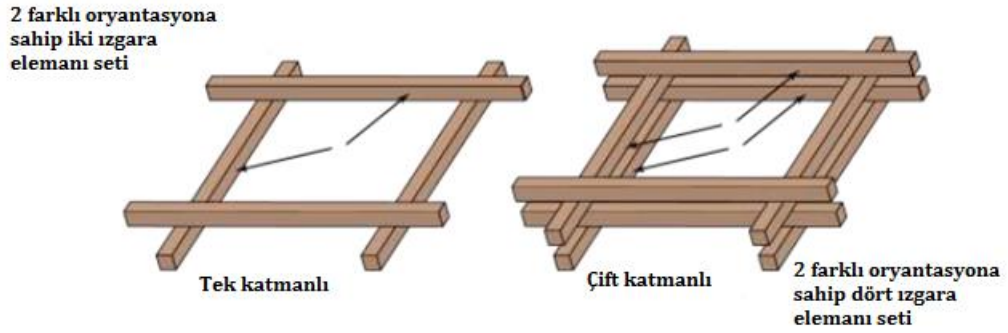
Akyürek (2020), Bu çalışmada, hiperbolik paraboloidlerin, formu tanımlı ve geometrik ifadeye sahip olan yüzeylerden strüktürel olarak etkili olması, düşük maliyetli olması ve narinlik hususunda ön plana çıkarmasından bahsedilmiştir. Dünyada birçok örneğinin olması fakat ülkemizde karşılığın olmaması, bu konudaki kaynak ve uygulama yetersizliği olduğu belirlenmiştir. Çalışmada çift eğrilikli hiperbolik paraboloidlerin yapı endüstrisindeki yerinden, bu formda oluşabilecek strüktür tipleri ve kullanılan malzemelerden yapı örnekleri üzerinden açıklanmaya çalışılmıştır. Bu tür modellerde kullanılan elemanların rijit olamayabileceği ve modellerin doğrusal veya eğrisel kirişlerinin birleştirilmesiyle membran, gergi, halat entegrasyonu ile de yapılabileceği söylenmiştir. Son olarak bu yapılarda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan birinin strüktürel dayanım kadar mekan algısının olduğu belirtilmiştir. Bunun da yapı kabuğu katmanlarının tasarımı ve ince işçilikle olabileceği söylenmiştir.

Koç (2020), Bu çalışmada ahşap kabuk ve ahşap ızgara kabuk strüktürlerinin sınıflandırılması, tarihsel gelişiminin incelenmesi, ahşap ızgara kabuk strüktürleri olan mevcut yapılarının incelenmesi ile karşılaştırılmalı değerlendirme tabloları yapılmıştır. İlk olarak kabuklar tanıtılmaya çalışılmıştır. Ahşap ızgara kabukların yapım yöntemleri, bağlantı detayları, form ve form oluşturma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Yapılan incelemede ahşap ızgara kabukların yapısal karmaşıklığın zamanla arttığı, özgün ızgara bileşenlerin üretimine sebep olduğu ve bunun sonunca yüksek maliyetlere ulaşıldığı gözlenmiştir. Sonuç olarak ülkemizde ahşap ızgara kabuk örneğinin olmadığının ve kompozitlerden üretilmiş yüksek açıklıklı strüktür sistemlerinde az olduğundan bahsedilmiştir. Ülkemizde mevcut kaynakların yetersiz olması ahşap ızgara kabukların gündeme gelmesinin engel olduğu söylenmiştir. Ahşap ızgara kabukları ile ilgili gelişmelerden geri kalınmaması ve bu strüktürlerin tasarlanıp, uygulanması için gerekli çalışmalar yapılması gerektiğinin altı çizilmiştir. Şekil 4.1' de Elephant house yapısının yapım aşaması gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Elephant House, ahşap kabuğun montaj aşaması (Koç, 2020)

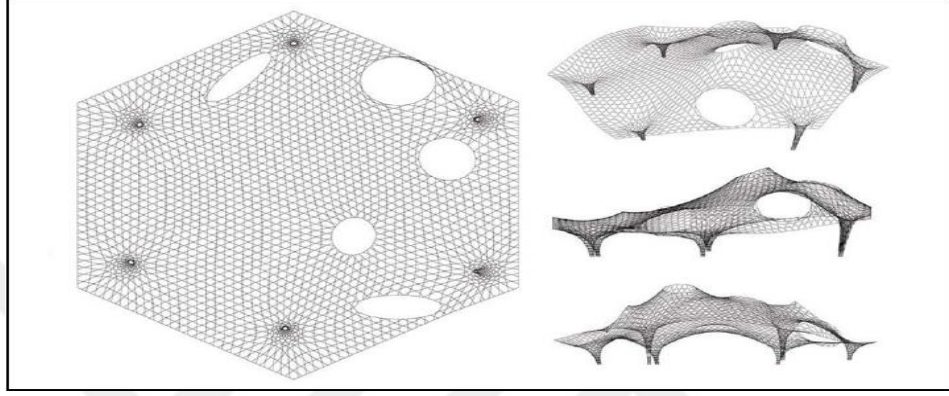
Naicu (2012), Çalışmasında ahşap ızgara kabuklarının tasarım ve yapım süreçlerini incelemiştir. Tek ve çift katmanlı ahşap ızgara kabuklar hakkında bilgiler vermiştir. Izgara kabuk kalınlığı ve desenleri hakkında araştırmalar yapılması gerektiğini belirtmiştir. Şekil 4.2’ de tek katmanlı ve çift katmanlı ahşap ızgara kabuk sistemlerin elemanları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Tek ve Çift katmanlı ahşap kabuk ızgara elemanı (Naicu, 2012)

Özüer (2020), Bu çalışma 5 alt ana başlık da inceleme yapmıştır. İlk olarak ızgara kabuk sistemlerin amaçları, yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir. Daha sonra ise ızgara kabuk sistemlerde kullanılan geometrik ağların türetilmesinden bahsedilmiştir. Bu bölümde alt başlık olarak karolama yöntemi ile türetilen ağlar, biçim bulma ve biçim bulmada kullanılacak yöntemler açıklanmıştır. 3.bölümde ise oluşturulan geometrik ağların ızgara kabuk sistemlerde uygulanması başlığıyla kabuk yüzeyleri, kabuk sistemlerin gelişimi ve ızgara kabuk sistemlerde kullanılan farklı uygulama yöntemlerinden bahsedilmiştir. 4.bölümde ise modern yapı kabuklarının geometrik tasarımı ile üretilmiş binalar

incelenmiştir. Sonuç olarak bu çalışmada çift eğrilikli bir yüzeyin karolanmasında, eğriliğin arttığı yerlerde eğriliğin sağlanabilmesi için karolama da bulunan ağ gözlerinin küçülmesi gerektiği çıkarımına varılmıştır. İncelenen örnekler ışığında projeksiyon yönteminin kullanılmasıyla eleman tipi sayısı azalmakta ve düzenli yapı kabukları oluşabilmektedir ama bu uygulama yüzey geometrisinin uygun olması ile ortaya çıktığı ortaya konmuştur.



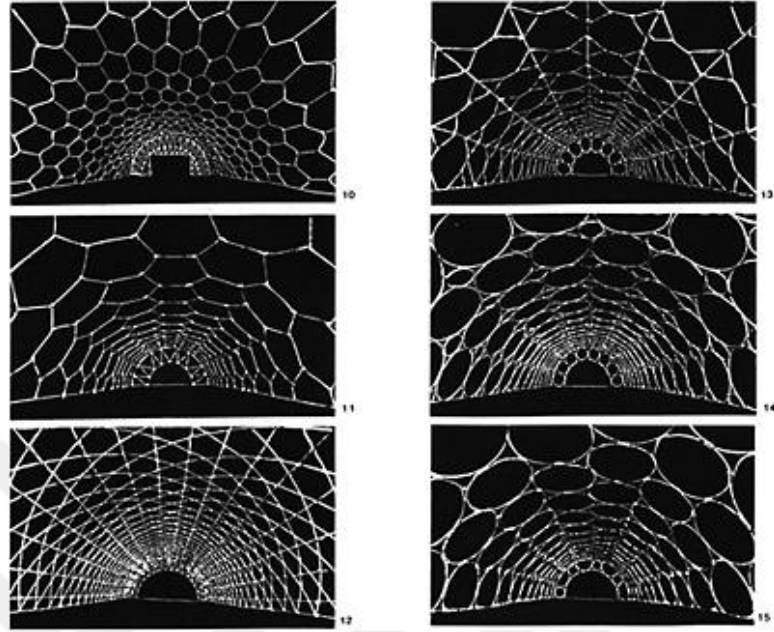
Şekil 4.3. Altıgen planlı karolama ve üç boyutlu strüktür modeli (Özüer, 2020)

Türkçü (2003), Taşıyıcı sistemlerinin tanımını yaparak, gruplandırılmasını incelemiştir. Geniş açıklıkları geçmek için uygulanan strüktürleri örnekleriyle beraber açıklamıştır. Geometrisi karmaşık olan, tanımlaması zor yapılan kabuk türlerini incelemiştir.

Makowski (2006), Son yıllarda meydana gelen teknolojik gelişmelerin modern mimari ve mühendislik alanını etkilediğini vurgulamıştır. Bunun sonunca yeni yapım tekniklerinin, yapısal formların ve yapı malzemelerinin ortaya çıkmıştır. Ferah ve geniş alanlar oluşturma amacıyla uzun açıklıklı ızgaralar, destekli beşik tonozlar ve hiperbolik parabolitler formlarının üzerine gidilmiştir. Avantajları olarak düşük maliyetli olmaları, yapı yüzeyini kaplamak adına uygulanabilir olmaları ve uygun formlar ile binalar, depolar, kongre merkezleri oluşturulabilmeleri sıralanmıştır.

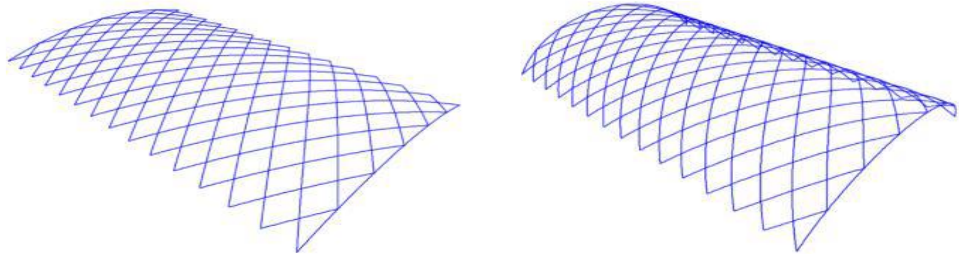
Destekli beşik tonozlar üzerine kapsamlı bir çalışma oluşturulmuştur. Analiz, tasarım ve yapım aşamalarından bahsedilmiştir. Oluşturulabilecek yüzey geometrileri hakkında bilgiler verilmiştir. Başlıca olarak ABD ve Fransa gibi

birçok dünyada olan örneğe de yer verilmiştir. Şekil 4.4' de beşik tonozlar için kullanılan ana yüzey geometrileri gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Beşik tonozlar için kullanılan ana yüzey geometrileri (Makowski, 2006)

Abedi vd. (2015) Çalışmasında lamel geometrik desenli tek katlı beşik tonozların stabilite davranışı çökme analizi yapılarak incelenmiştir. Farklı yükleme şekilleri, yükseklik-açıklık oranları ve aşık etkileri göz önüne alınarak yapılmıştır. Bu yapıların uygulanmalarının en büyük amaçlarının geniş bir alanı kaplamak ve mimari yönlerinin olması vurgulanmıştır. Bu yapılarda çok sayıda ince elemanın kullanılmasından dolayı stabilite analizi yapılması gerektiği sonucuna varmıştır. Ayrıca yapıyı kaplayan kaplamanın da stabilite davranışı açısından önemli etkileri olabilir. Şekil 4.5' de stabilite analizi yapılan beşik tonoz sisteme yer verilmiştir.

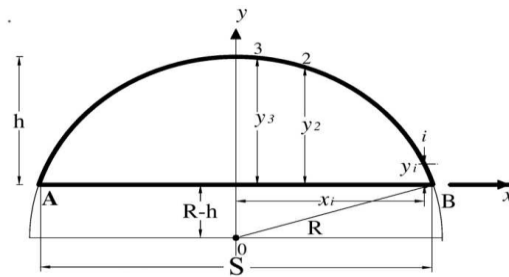


Şekil 4.5. Farklı yükseklik-açıklık oranlarına sahip lamel beşik tonoz yapıları (Abedi vd., 2015)

El-sheikh (2001), Bu makalesinde beşik tonozlarda geometri etkileri üzerine çalışmıştır. Beşik tonozlar için uygun maliyet, hızlı montaj ve hoş görünüme sahip olmalarını artı özellik olarak görmüştür. Farklı yükseklik-açıklık oranlarına ve farklı konfigürasyona sahip beşik tonozlar üzerine araştırma yapmıştır. Çalışma sonucunda beşik tonozlarda kusurların hangi bölgelerde oluşabileceğini görmek istemiştir. 4 farklı beşik tonoz çeşidi için 13 farklı konfigürasyon için analiz yapmıştır. Yapılan analizler sonucunda dayanım kapasite kayıplarını ve yapı davranışlarını incelemiştir.

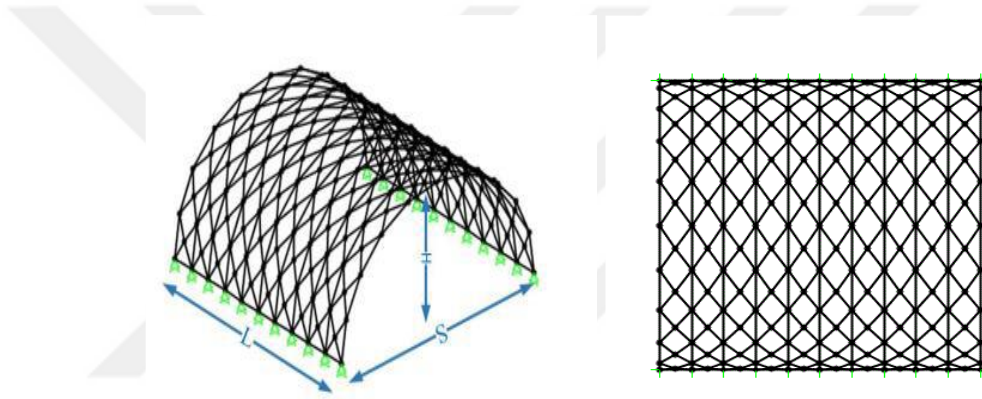
El-sheikh (2002), Bu çalışmasında tek katmanlı beşik tonozlarda rijitlik/ağırlık oranı üzerine bir araştırma gerçekleştirmiştir. 13 farklı konfigürasyona sahip beşik tonozlarda elemanların sayısının, uzunluğunun ve kapasite dağılımlarının rijitlik/ağırlık oranına olan etkisini araştırmıştır. Ayrıca bu çalışmada sınır şartlarının da analizler üzerindeki etkisini de görmek istemiştir. Beşik tonozların eğrilik açılarını da gözönünde bulundurmıştır. Çalışmanın gelecek de beşik tonozların tasarım aşamasına yardımcı olmasını öngörmüştür.

Kaveh, vd. (2014), Bu çalışmalarında beşik tonozlarda boyut ve şekil optimizasyonu üzerine çalışmışlardır. Hafif çaprazlı beşik tonozların uzay sistemlerde artacağını öngörülmüştür. Meta-sezgisel algoritma adı verdikleri bir analiz ile tek katmanlı beşik tonozlarda boyut ve şekil optimizasyonu yapılmıştır. Çalışma da 3 farklı konfigürasyon üzerinde durulmuştur. 5 farklı yükseklik-açıklık oranı için analiz yapılmıştır. Yükler düğüm noktalarına hem asimetrik hem simetrik şekilde dağıtılmıştır. Tasarımda çelik boru profil kullanılmıştır. Bu çalışma da en ekonomik yükseklik-açıklık oranının 0.17 olduğu sonucu çıkmıştır.



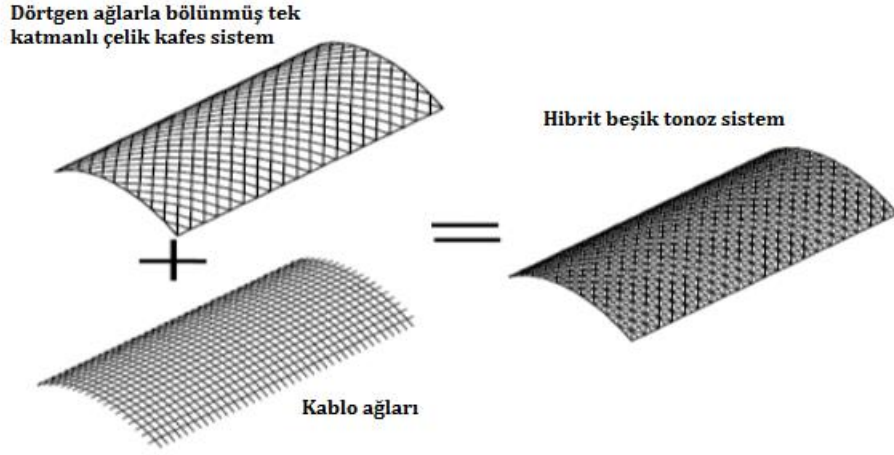
Şekil 4.6. Tek katmanlı beşik tonozlar için şekil ve boyut optimizasyonu (Kaveh vd., 2014)

Khalili vd. (2018), Farklı yükseklik-açıklık oranlarına ve uzunlukların sahip tek katmanlı beşik tonoz sistemleri incelemişlerdir. Sonu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Analizler için abaqus kullanılmıştır. Beşik tonozlar esnek kalacak şekilde tasarlanır. Bu yapı sistemlerinin montaj işlemleri hızlıdır ve düşük maliyetlidir. 22 tip depreme göre analizler yapılmıştır. Analizlerde davranış katsayısı üzerinde yoğunlaşmıştır. Davranış katsayısı, çerçeve uygulanan maksimum kuvvetin, çerçevedeki ilk akmaya karşılan gelen kuvvete bölünerek bulunur. Yapı yükseklik-açıklık oranının arttıkça davranış katsayısının (R) ve sünekliğin arttığını gözlenmiştir. Şekil 4.7. 'de analizi gerçekleştirilen diyagonal yüzey geometrisine sahip beşik tonozu yer verilmiştir.



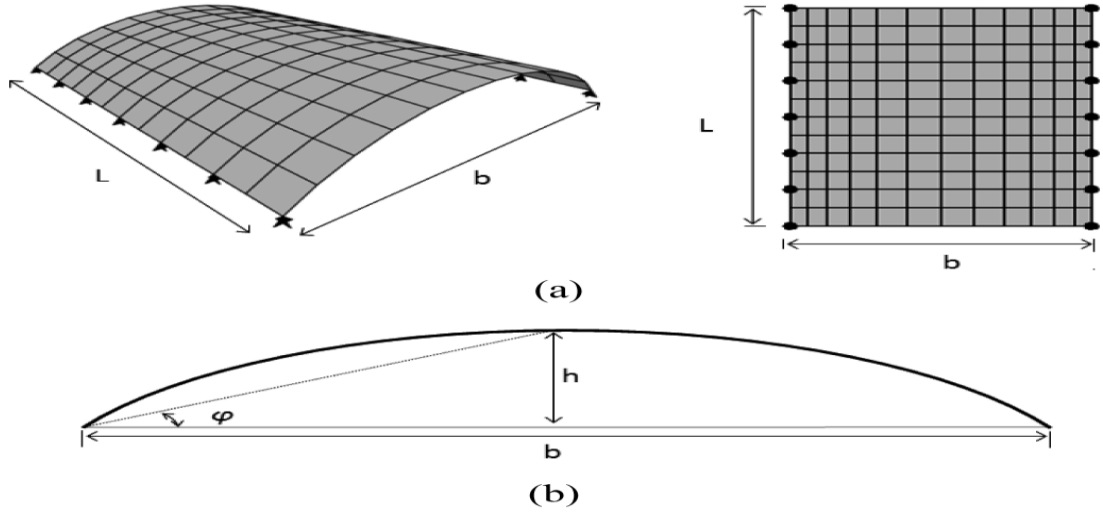
Şekil 4.7. Analizlerde kullanılan tek katmanlı beşik tonoz sistemi
(Khalili vd., 2018)

Cai vd. (2011), Bu çalışmada tek katmanlı beşik tonoz sistemlerde kablo kullanımı ile hibrit model geliştirme üstüne çalışılmıştır. Dörtgen yüzey geometrisine bağlı tonozlar için şeffaf cam kaplamasının en iyi seçenek biri olduğu söylenmiştir. Tek katmanlı beşik tonozlar ile hibrit modeller arasında karşılaştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada ayrıca kesitlerin, kablo alanlarının ve kablo gerilimlerinin düşey yer değiştirmeye ve eksenel kuvvete olan etkileri de incelenmiştir. Şekil 4.8' de hibrit beşik tonoz sistemlerinin oluşturulma aşamasına yer verilmiştir.



Şekil 4.8. Hibrit çelik tonozların oluşturulması (Cai vd., 2011)

Sheidai vd. (2013), Çalışmalarında farklı eğim açılarına sahip tek katmanlı beşik tonozları incelemişlerdir. Bu yapılarda zemin profilinin, düğüm noktalarına etki eden yüklerin farklılıkların, fabrikasyon ve oluşabilecek üretim hatalarının büyük önem arz ettiğini vurgulamışlardır. Yapı tasarımında mesnet yerleşimleri belirleyici olur. Yükseklik-açıklık için 0.2 oranın kritik olduğundan bahsedilmiştir. Farklı yükseklik-açıklık oranına sahip 4 tip beşik tonoz incelenmiştir. Analizlerde çelik kutu profiller kullanılmıştır. Çalışma sonucunda beşik tonozlarda çökmenin mesnetlerde başladığı gözlenmiştir. Eğim açısının değiştirilmesinin tek katmanlı beşik tonozlarda çökme yükünü etkilediği ve 0.2 yükseklik-açıklık oranının kritik hassasiyet gösterdiği gözlenmiştir. Ayrıca mesnet noktalarının yerleşimi yapının çökme davranışı ve yük taşıma kapasitesi ile doğrudan ilişkilidir. Orta bölgede oluşturulan mesnet noktaları yapının çökme yükünü azalttığı da görülmüştür. Şekil 4.9' de analizlerde kullanılan beşik tonoz sistemlerin geometrik özellikleri hakkında bilgiler verilmiştir.



Şekil 4.9. Oluşturulan modeller (Sheidaii vd., 2013)

Çizelge 4.1 de oluşturulan modellere ait geometrik özelliklerin sayısal değerlerine yer verilmiştir.

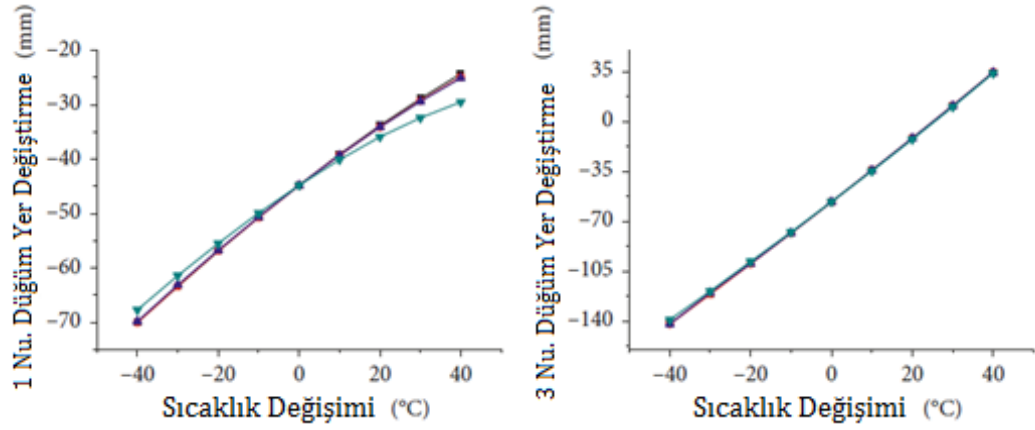
Çizelge 4.1 Geometrik özelliklerinin sayısal değerleri

Model	(ϕ)	H (m)	B (m)	L (m)
B1	15	2.59	22	23.04
B2	20	4.00	22	23.76
B3	25	5.13	22	24.96
B4	30	6.35	22	26.52

Sun vd. (2019) Çalışmalarında kablo destekli beşik tonoz sistemlerin sıcaklık değişimine karşı davranışlarını incelemişlerdir. Analiz ettikleri yapı toplam 410 m çatı uzunluğuna sahiptir. Yapıyı 4 parçaya bölmüşlerdir. Enine açıklık ise 50 metredir. Yapı da 3 ayrı boru kesit kullanılmıştır. Çatıya ölü yük olarak 0.80 KN/m² ,hareketli yük olarak ise 0.5 KN/m² etkiletilmiştir. Kullanılan kablo elemanlar için öngerilme analizleri de ayrıca yapılmıştır. Şekil 4.10' da çalışmada kullanılan yapının planı ve kesitine yer verilmiştir.

Kablolarda 4 ayrı durum mevcuttur. Kablo çubuklarını SR , çelik halat kablolarını SRC , çelik telli kabloları SSC, yarı paralel çelik tendonları ise SST ile ifade etmişlerdir.

1 ve 3 numaralı düğüm noktalarında bu 4 ayrı durum içinde düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklık etkisine doğru deplasmanların azaldığı gözlemlenmiştir. Şekil 4.12' de sıcaklık etkisi altında düğüm noktalarının yer değiştirmelerine yer verilmiştir.



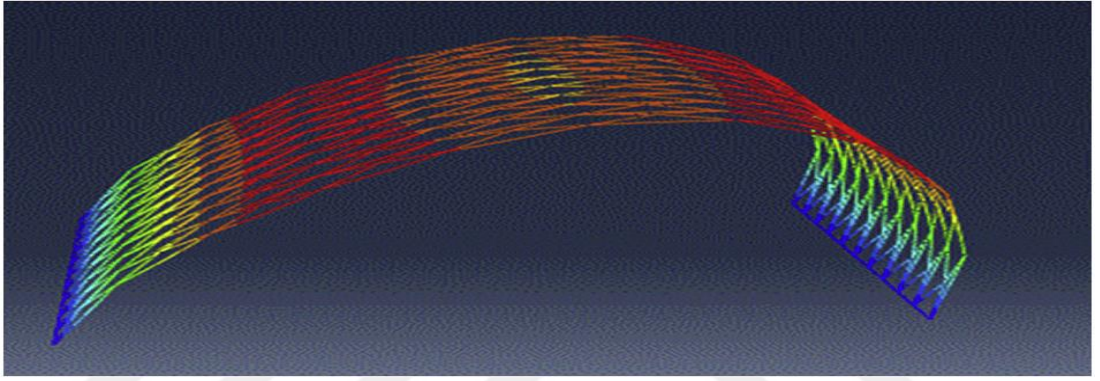
Şekil 4.12. Sıcaklık etkisi altında düğüm noktalarının yer değiştirmeleri

1 ve 3 numaralı kablo elemanlarda ise 4 durum içinde düşük sıcaklıktan yüksek sıcaklık etkisine doğru kablo kuvvetlerinin azaldığı gözlemlenmiştir.

Planda gösterilen 4 üst yapı elemanında sıcaklık etkisine bağlı olarak kuvvet değişimini de incelemişlerdir. Çalışmalarının bir diğer bölümünde ise planda gösterilen elemanların düşey yer değiştirmenin sıcaklık etkisine bağlı olarak değişimini incelemişlerdir. Ayrıca sıcaklık değişiminin düşey yer değiştirme ve gerilim üstünde büyük değişiklik yaptığı sonucuna varmışlardır. Yarı paralel çelik tendonların diğer 3 kablo durumuna göre iç kuvvetlerinin sıcaklık değişiminden daha farklı etkilendiğini görmüşlerdir. Yüksek sıcaklıklarda yarı paralel çelik tendonların tercih edilmemesi gerektiğini vurgulamışlardır.

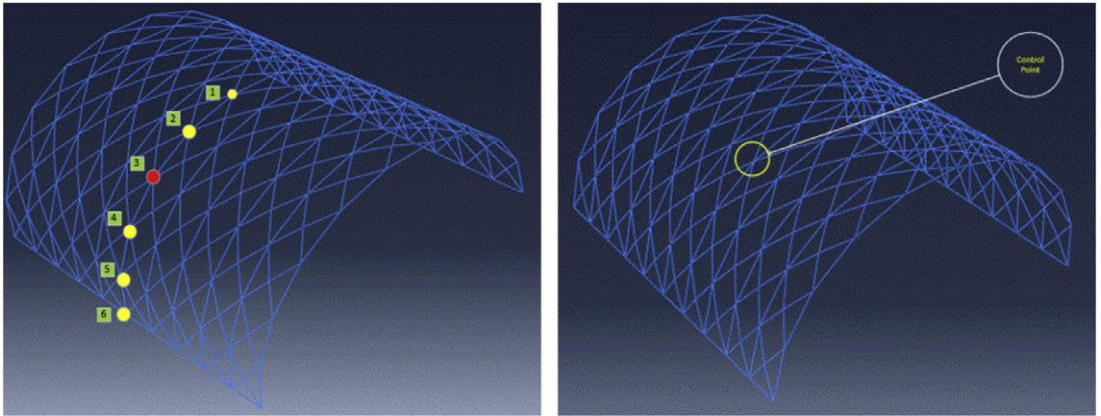
Khalili vd. (2020), Çalışmalarında tek katmanlı beşik tonozların sismik davranışlarını incelemişlerdir. 15 farklı yükseklik-açıklık oranına sahip tek katmanlı beşik tonoz üzerinde araştırmalar yapılmıştır. Çalışmada davranış faktörü ve yer değiştirme büyütme faktörü üzerinde durulmuştur. Yapılarda boru profil kullanılmıştır. Birleşim detayları ise merodur.

Yapılar SAP2000 programında tasarlanıp doğrusal olmayan statik analizler için ABAQUS kullanılmıştır. Şekil 4.13' de yapının ilk mod da gösterdiği davranışa yer verilmiştir.



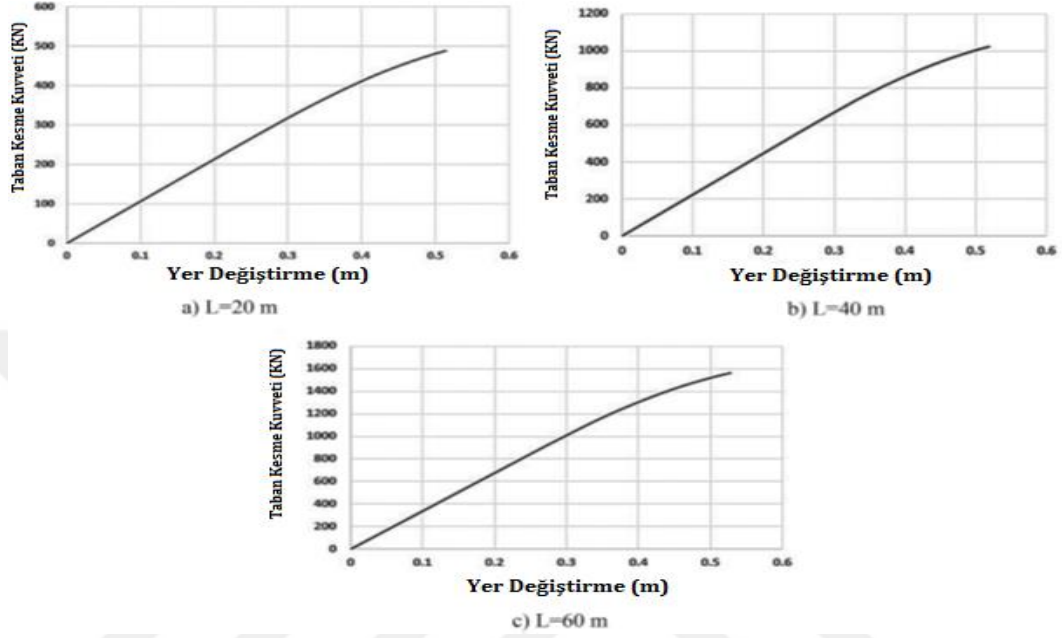
Şekil 4.13. Yapının ilk modunda gösterdiği davranış

Yapıya itme analizi uygulanmıştır. Yapıda 6 farklı nokta belirlenmiştir. 3 numaralı düğüm noktası ise kontrol noktası olarak isimlendirilmiştir. Şekil 4.14' de kontrol noktalarına yer verilmiştir.



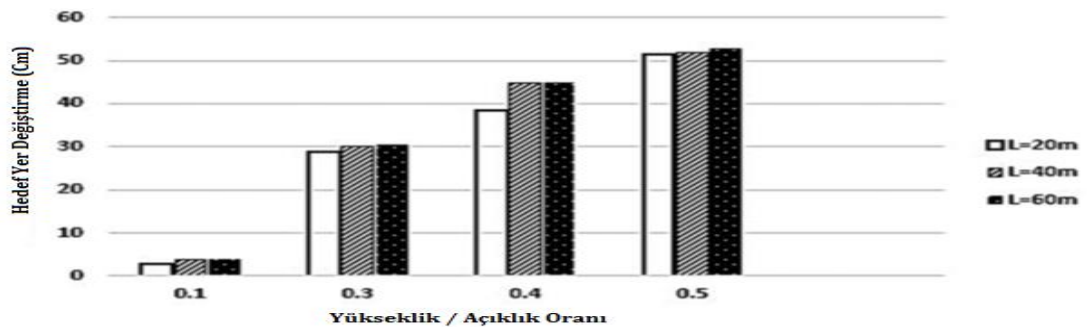
Şekil 4.14. Model Kontrol noktaları

Yükseklik-açıklık oranı 0.5 için açıklıklar sırasıyla 20, 40, 60 metre için itme eğrileri elde edilmiştir. Şekil 4.15’ de farklı yükseklik-açıklık oranlarında oluşan yer değiştirmeleri ve taban kesme kuvvetleri gösterilmiştir. Çıkan eğrilerde açıklığın artıkça taban kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür.



Şekil 4.15. Yükseklik-Açıklık oranlarına göre Taban kesme kuvveti/Yer değiştirme tablosu

Ayrıca hedef deplasman ile yükseklik açıklık oranı ve açıklıklar olan değişimi de incelenmiştir. Şekil 4.16’ da farklı yükseklik-açıklık oranlarında meydana gelen hedef yer değiştirmelerine yer verilmiştir. Çıkan sonuçlarda yükseklik-açıklık oranı artıkça hedef yer değiştirmelerin arttığı gözlenmiştir. Ayrıca 0.3 ve 0.4 yükseklik-açıklık oranlarında 40 ve 60 metre açıklıklarda benzer hedef yer değiştirmeler meydana gelmiştir.



Şekil 4.16. Yükseklik-Açıklık oranlarına göre hedef yer değiştirmeleri

5. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında, ızgara kabuk sistemlerin geometrik optimizasyonu amaçlanmıştır. Öncelikli olarak ızgara kabuk sistemlerde kullanılan modül geometrileri incelenmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan dörtgen, ikizkenar üçgen, altıgen modül geometrileri 20, 30, 40, 50 metre açıklıklar için analizleri gerçekleştirilmiştir. Her açıklık için uygun hem işlevsellik hem de ekonomiklik gözönünde tutularak çubuk boyları üzerinden ağırlık yapı m^2 'ye düşen çelik konstrüksiyon ağırlığı değerlendirilmiştir.

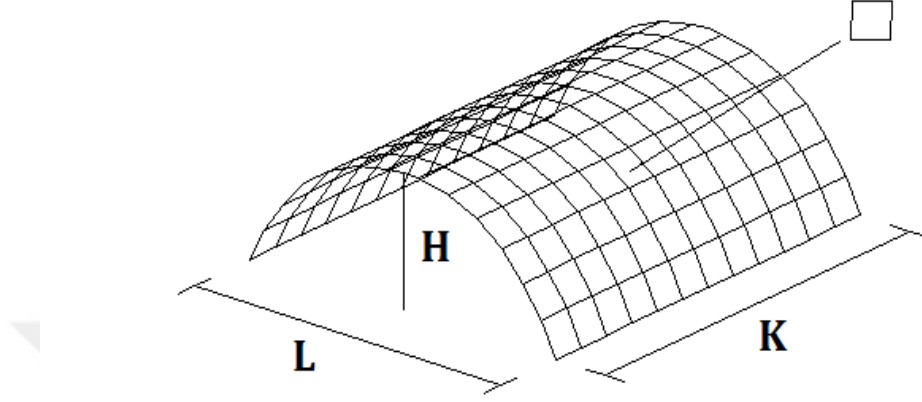
Literatürde ızgara kabuk sistemlerin yapı davranışı için yükseklik-açıklık (Basıklık oranı) oranının belirleyici bir faktör olduğu üzerinde durulmuştur. Yapılan literatür taramasında 0.2 basıklık oranının kritik hassasiyet gösterdiği görülmüştür. 0.2 basıklık oranında yapı davranışında bozulmalar meydana gelmiştir.

Makowski (2006), çalışmasında düğüm noktalarına yükler uygulayarak optimum toplam yapı ağırlığını bulmaya hedeflemiştir. Düğüm noktalarına 1 KN ve kar yükü uygulanması sonucunda 0.34 basıklık oranında optimum yapı ağırlığı bulmuştur. Buna uygun olarak tez çalışmasında analizi yapılacak modellerde basıklık oranı 0.35 oranı belirlenmiştir.

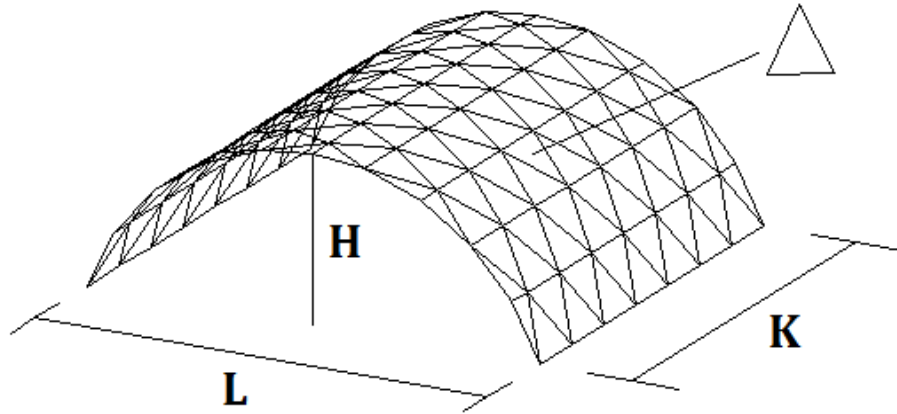
Izgara kabuk sistemler genellikle tiyatro ve sinema salonları , oditoryumlar, alışveriş merkezlerinde yüksek açıklıklar geçme amacıyla kullanılmaktadır. Bundan dolayı sistemlerin basıklık oranları belirlenirken sadece optimum yapı ağırlığına değil insanlar için ferah alanlar oluşturmaya da dikkat edilir.

Yapılan bu çalışmada 3 farklı modül kullanılmıştır. Modüller kare, üçgen ve altıgen şeklinde tasarlanmış ve buna göre çalışmada kullanılan sayısal modeller oluşturulmuştur. Sayısal modellerin oluşturulmasında kabul edilen modül boyları da dikkate alınarak açıklık, derinlik ve yükseklikler belirlenmiştir. Yapılan çalışmada kullanılan modellerin açıklık, yükseklik ve derinliklerinin boyutsal parametrelerini göstermek amacıyla Şekil 5.1 , Şekil 5.2 ve Şekil 5.3' de

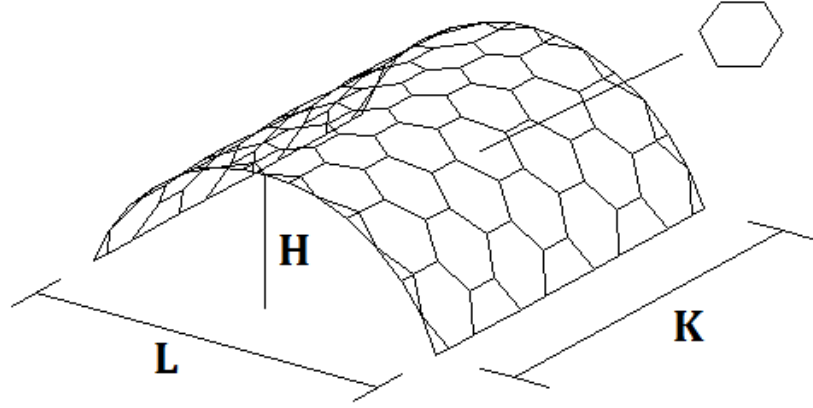
parametreler detaylandırılmıştır. L açıklık, K derinlik ve H ise yapı yüksekliğidir.



Şekil 5.1. Dörtgen modül geometrisine bağlı ızgara kabuk sistemin 3 boyutlu görünümü



Şekil 5.2. Üçgen modül geometrisine bağlı ızgara kabuk sistemin 3 boyutlu görünümü



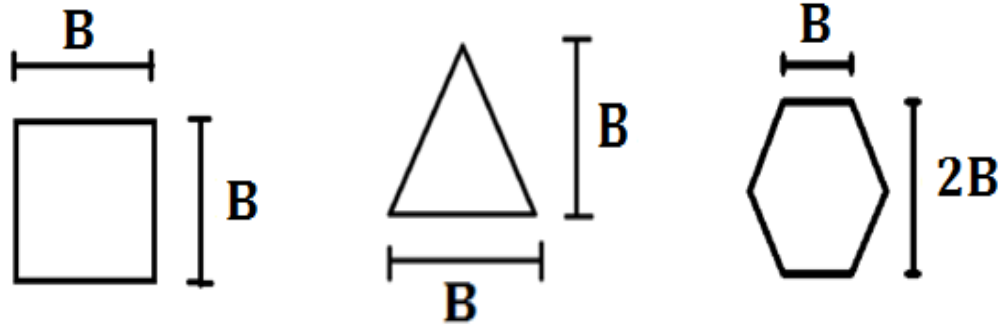
Şekil 5.3. Altıgen modül geometrisine bağlı ızgara kabuk sistemin 3 boyutlu görünümü

Çalışmada kullanılan sayısal modellerin açıklık, derinlik ve yüksekliğine dikkate alınarak oluşturulan parametreler Çizelge 5.1’ de gösterilmiştir. Bu kapsamda analizlerde her bir modül boyu dikkate alınmak kaydıyla 20 ila 50 metre açıklık için 7 ila 17.5 yükseklik aralığında basıklık oranı 0.35 sağlayacak dizayn parametresi dikkate alınmıştır.

Çizelge 5.1 Oluşturulan modellerde kullanılan yükseklik miktarları

Açıklık(L)	Yükseklik(H)	Basıklık Oranı
20 m	7 m	0.35
30 m	10.5 m	
40 m	14 m	
50 m	17.5 m	

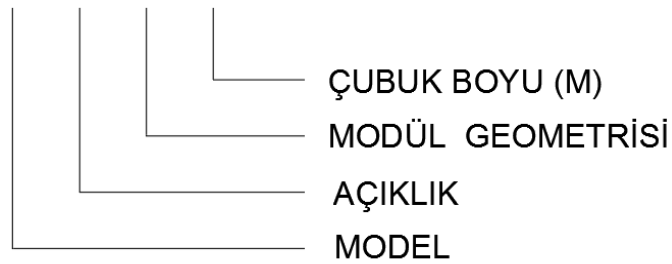
Oluşturulan modeller 3 modül geometrisi üzerinde incelenmiştir. Bunlar; ikizkenar üçgen, dörtgen, altıgen'dir. Çubuk boyları 2m ,3m, 3.5m, 4m olarak belirlenmiştir. Şekil 5.4' de oluşturulan modül geometrilerine yer verilmiştir.



Şekil 5.4 Modül geometrileri

Yapılar 20, 30, 40 ve 50 metre açıklık olarak modellenmiştir. Modellerin geometrik özellikleri aşağıda verilmiştir. Model numaraları belli bir sistematik adına kodlanmıştır. Model numaralarının ilk haneleri açıklığı ifade etmektedir. Örneğin 2 sayısı 20 metre açıklığı, 3 sayısı ise 30 metre açıklığı belirtmektedir. Model numarasının ikinci hanesi yapının modül geometrisini belirtmektedir. Modül geometrilerinin ilk harfleri ile kodlama yapılmıştır. Örneğin; Dörtgen için S (Square) harfi, üçgen için T(Triangle) harfi, altıgen için H (Hexagonal) harfi kullanılmıştır. Son olarak model numaralarının son haneleri modül geometrilerinin modül boylarını (B) belirtmektedir.

M 2 T 3



Şekil 5.5. Model Numaralarının kodlama gösterimi

Çizelge 5.2’ de 20 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özelliklerine yer verilmiştir. Daha önce basıklık oranı 0.35 olarak belirlenmiştir. Buna uygun olarak yükseklik 7 metre seçilmiştir. Modül geometrilerine uygun olarak K (derinlik) belirlenmiştir.

Çizelge 5.2. 20 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri

AÇIKLIK (L)	MODEL NO	MODÜL GEOMETRİSİ	B(m)	H(m)	K(m)
20 METRE	M2S2	DÖRTGEN	2	7	24
	M2S3		3	7	27
	M2S3.5		3.5	7	28
	M2S4		4	7	28
	M2T2	ÜÇGEN	2	7	24
	M2T3		3	7	27
	M2T3.5		3.5	7	28
	M2T4		4	7	28
	M2H3	ALTİGEN	3	7	33
	M2H3.5		3.5	7	28
	M2H4		4	7	32

Çizelge 5.3’ de 30 metre açıklığa sahip modellerin geometrik özellikleri verilmiştir. 0.35 basıklık oranına uygun olarak yükseklik 10.5 metre belirlenmiştir.

Çizelge 5.3. 30 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri

AÇIKLIK (L)	MODEL NO	MODÜL GEOMETRİSİ	B(m)	H(m)	K(m)
30 METRE	M3S2	DÖRTGEN	2	10.5	26
	M3S3		3	10.5	27
	M3S3,5		3.5	10.5	28
	M3S4		4	10.5	28
	M3T2	ÜÇGEN	2	10.5	26
	M3T3		3	10.5	27
	M3T3,5		3.5	10.5	28
	M3T4		4	10.5	28
	M3H3	ALTİGEN	3	10.5	33
	M3H3,5		3.5	10.5	28

Çizelge 5.4’ de 40 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri verilmiştir. 0.35 basıklık oranına uygun olarak 40 metre açıklık için, yapı yüksekliği 14 metre seçilmiştir.

Çizelge 5.4. 40 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri

AÇIKLIK (L)	MODEL NO	MODÜL GEOMETRİSİ	B(m)	H(m)	K(m)
40 METRE	M4S2	DÖRTGEN	2	14	26
	M4S3		3	14	27
	M4S3,5		3.5	14	28
	M4T2	ÜÇGEN	2	14	26
	M4T3		3	14	27
	M4T3,5		3.5	14	28
	M4H3	ALTİGEN	3	14	33
	M4H3,5		3.5	14	28

Çizelge 5.5’ de 50 metre açıklığa sahip modellerin geometrik özellikleri verilmiştir. 50 metre açıklık için 0.35 basıklık oranına uygun olarak 17.50 metre belirlenmiştir.

Çizelge 5.5. 50 metre açıklık için oluşturulan modellerin geometrik özellikleri

AÇIKLIK (L)	MODEL NO	MODÜL GEOMETRİSİ	B(m)	H(m)	K(m)
50 METRE	M5S2	DÖRTGEN	2	17.5	26
	M5S3		3	17.5	27
	M5S3,5		3.5	17.5	28
	M5S4		4	17.5	28
	M5T2	ÜÇGEN	2	17.5	26
	M5T3		3	17.5	27
	M5T3,5		3.5	17.5	28
	M5T4		4	17.5	28
	M5H3	ALTİGEN	3	17.5	33
	M5H3,5		3.5	17.5	28
	M5H4		4	17.5	32

Çizelge 5.6’ da optimum modellerde kullanılan çelik profillere yer verilmiştir.

Çizelge 5.6. Optimum modellerde kullanılan çelik profil tablosu

AÇIKLIK	OPTİMUM MODEL NUMARALARI	KULLANILAN PROFİL (mm)
20 METRE	M2S4	SHS140x140X4/7/8
	M2T4	SHS140X140X4/5
	M2H3.5	SHS250X250X4/5/./9
30 METRE	M3S4	SHS220X220X4/5/./8
	M3T4	SHS200X200X4/7
	M3H3	SHS280X280X4/5/./9/11/13
40 METRE	M4S3	SHS280X280X4/5/6/7/8
	M4T3.5	SHS250X250X4/5/6/10
	M4H3	SHS350X350X4/5/6/./10
50 METRE	M5S4	SHS350X350X4/5/6/7/8
	M5T4	SHS350X350X4/5/9
	M5H3	SHS400X400X4/5/./12

5.1 Malzeme Ve Yükleme Parametreleri

Bu çalışmada oluşturulan bütün ızgara kabuk taşıyıcı sistemler çelik malzeme kullanılarak modellenmiştir. Modellenen yapılar kaplama yükü, kar yükü, rüzgâr yükü ve sismik yükler altında performansları incelenmiştir.

5.1.1. Malzeme özellikleri

Bu tez çalışmasında oluşturulan ızgara kabuk çelik konstrüksiyonlarda S275 veya St44 standardına sahip sıcak haddelenmiş çelik malzeme kullanılmıştır. Çalışma kapsamında Sap2000 programında oluşturulan modellere S275 çelik malzeme tanımlaması yapılmıştır. Çizelge 5.7' de tanımlanan S275 malzemeye ait özelliklere yer verilmiştir.

Çizelge 5.7. S275 çelik malzemesine ait özellikler

Elastisite Modülü (E)	$2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$
Poisson Oranı (p)	0.3
Termal Genleşme Katsayısı	1.170E-05
Kayma Modülü (G)	$8.077 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

Çelik malzeme için bir önemli unsur ise sahip olduğu mekanik özelliklerdir. Çizelge 5.8' de modellere tanımlanan çelik malzemeye ait mekanik özellikler gösterilmiştir.

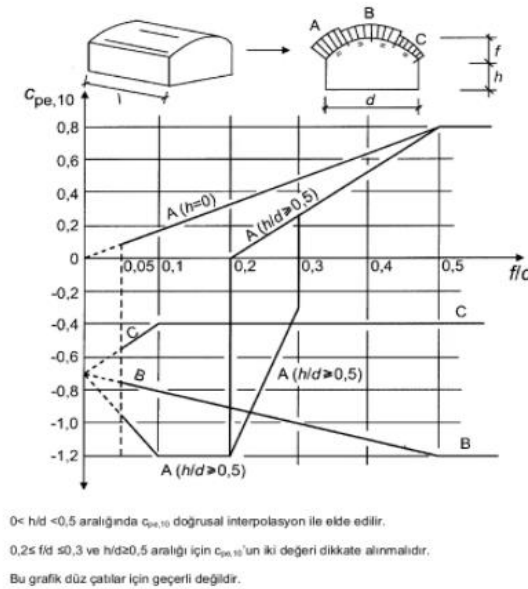
Çizelge 5.8. S275 çelik malzemesine ait mekanik özellikler

Minimum akma dayanımı (Fy)	275 N/m ²
Minimum çekme dayanımı (Fu)	430 N/m ²
Beklenen akma dayanımı (Fye)	302.5 N/m ²
Beklenen çekme dayanımı (Fue)	473 N/m ²

5.1.2. Yükleme durumları

Bu bölümde oluşturulan tüm ızgara kabuk çelik konstrüksiyonlara uygulanan yükleme durumların bahsedilecektir. Modellerde 2 mm alüminyum kaplama malzemesi kullanılmıştır. Modellere kaplama yükü olarak m^2 'ye 5.5 kg kaplama yükü tanımlanmıştır. Tüm sayısal modellenen yapıların Isparta ilinin merkez ilçesinde yapılması planlanmıştır. Buna uygun olarak tüm taşıyıcı sistemlere H/3 yüksekliğine kadar alanlara 60 kg/m^2 , H/3 yükseklikten sonraki alanlara 120 kg/m^2 kar yükü uygulanmıştır.

Izgara kabuk çelik konstrüksiyonlar kaplama yükü ve kar yükünden sonra rüzgar etkisine maruz bırakılmışlar. Tüm model Sap2000 programında Eurocode 1-4 yönetmeliğine uygun olarak rüzgar kuvvetleri otomatik tanımlanmıştır. Şekil 5.1' de modellenen yapılar için uygulanan rüzgar kuvvetleri için gerekli olan dış basınç katsayılarına ($C_{pe,10}$) yer verilmiştir.



Şekil 5.6. Eurocode 1-4 Dikdörtgen tabanlı tonoz tipi yapılar için tavsiye edilen dış basınç katsayısı (EN 1991 1-4, 2005)

Son olarak tüm ızgara kabuk çelik konstrüksiyonlar sismik yükler altında performansları incelenmiştir. Yapılar deprem kuvveti altında performansları incelenirken tüm taşıyıcı sistemlerin Isparta ilinin merkez ilçesinde bulunduğu göz önüne alınmıştır.

6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Sayısal olarak yapılan bu çalışmada ızgara kabuk sistemlerin farklı geometrik yerleşimdeki modüllerin yapısal davranışa, kapasiteye ve metrekareye düşen çelik konstrüksiyon ağırlığa etkisi sayısal olarak incelenmiştir. Literatürde yapmış olduğumuz araştırmalarda ızgara kabuk sistemlerinin optimum basıklık oranı 0.30-0.35 mertebelerinde gezdiği tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışmada basıklık oranı 0.35 alınarak modeller oluşturulmuştur. Modellerin oluşturulmasında boyutsal parametrelerde net açıklık, modül geometrisi ve modül boyları değişken olarak alınmıştır. Çalışmada 20, 30, 40 ve 50 metrelik açıklıklar için 0.35 basıklık oranı dikkate alınarak tonoz sistemler oluşturulmuştur. Her bir tonoz sistemi dörtgen modül, üçgen modül ve altıgen modül geometrisi kullanılarak sayısal analizler yapılmıştır. Her bir modül kendi içerisinde öncelikle modül boyları değişken olarak ele alınmıştır. Oluşturulan sayısal modellerde; modül boyları 2 metre ile 4 metre aralığında değişen boyutlarda olup modellerin analizleri yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada dikkate alınan ızgara kabuk sistemlerin optimum modül boyunu bulmak amaçlanmış ve oluşturulan modeller kaplama yükleri, kar yükleri, rüzgar yükleri altında analiz edilmiştir. Analizlerde metrekareye düşen taşıyıcı sistem ağırlıkları bakımından kıyaslanması amacıyla, her bir açıklık için 150 kg/m^2 yayılı yük durumu için kesit dağılımları hesaplanmıştır.

Izgara kabuk sistemleri literatür de ve uygulamada tek katmanlı kabuk sistemler olarak geçmektedir. Tek katmanlı olarak kurgulanan bu sistemler tasarımın geometrisine göre değişen iç kuvvetlere sahiptir ama çoğunlukla bu tür sistemlerde tonoz tipi sistem geometrisi kullanılmaktadır. Yapılan bu çalışmada da tonoz tipi sistem geometrisi tercih edilmiştir. Tonoz sistemin bir sonucu olarak sistem içerisindeki iç kuvvetler yapı elemanlarında eksenel basınç kuvveti olarak karşılık bulmaktadır. Ancak sismik yük, rüzgar kuvvetleri ve düşey yükler altında tonoz geometrisini etkileyecek boyutlarda şekilde değiştirmeye bağlı olarak yapı elemanları içerisinde çekme kuvvetleride oluşmaktadır. Ancak geometrisinin bir sonucu olarak basınç kuvvetleri kendi içinde değişen oranlarda yoğunluk göstermektedir. Yapı sistemi genellikle eksenel basınç kuvveti altında

ubukların kritik burkulmalarının bir sonucu olarak gevrek göçme meydana gelmektedir. Bu sebeple çubuklardaki kapasite kullanımı %70 ve altında olacak şekilde dizayn parametreleri dikkate alınmıştır. Bu kapsamda yapılan tüm analizlerde çubuk kuvvetlerinin %70 kapasiteyi aşmayacak şekildeki dizayn sonuçları bu çalışma için kriter alınmış ve buna göre metrekareye düşen ağırlıklar belirlenmiştir.

Yapılan analizlerde farklı tipteki modül geometrisine sahip kabuk sistemlerin davranışlarını irdeleyebilmek için doğal titreşim periyotları hesaplanmıştır. Hesaplanan doğal titreşim periyotların değişen modül boyları içerisindeki periyot değerleri karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir. Bununla birlikte özellikle sismik etkiler için büyük önem arz eden kütle katılım oranlarının hangi doğal titreşim periyotunda, yüzde kalık kütle katılımıla elde edildiği, hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler her bir modül geometrisi ve alt parametresi olan modül boyları için detaylı olarak tablo haline getirilmiştir. Elde edilen veriler bu bölüm kapsamında karşılaştırılmalı olarak irdelenmeye çalışılmıştır.

Çalışmada bu tip sistemlerde ki kapasitenin yanında diğer önemli olan parametrenin de tek katmanlı ızgara sistemin düşey ve yatay doğrultuda ortaya koyduğu yer değiştirme değerleridir. Bu noktada ızgara sistemin maksimum kar yükleri, maksimum rüzgar yükleri ve sismik yükler altında en olumsuz yük kombinasyonu dikkate alınarak düşey ve yatay yer değiştirme değerleri karşılaştırmalı olarak hesaplanmış ve elde edilen değerler farklı modül geometrileri ve farklı modül boyları için yine karşılaştırmalı olarak bu bölüm kapsamında irdelenmiştir.

Çalışmanın bu bölümünde öncelikle farklı sistem geometrileri ve farklı açıklıklardaki ızgara kabuk sistemlerin değişen modül boyları için yapı davranışlarını irdeleyebilmek amacıyla öncelikle 1. doğal titreşim periyotlarını ve bu periyotlara karşılık gelen kütle katılım oranları şekil 6.1. 'de karşılıklı olarak sunulmuştur. Öncelikle 20 metrelik net açıklığa sahip tonoz tipi yapı sistemlerinin dörtgen, üçgen ve altıgen sistem geometrileri için hesaplanan doğal titreşim periyotları şekil 6.1' de sunulmuştur.



Şekil 6.1. 20 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

Doğal titreşim periyotları ile ilgili tüm şekillerde iki sütun halinde grafiklendirilmiştir. Sütunlardan sol taraftakiler her bir modül boyunun 1. Doğal titreşim periyodu ve bu doğal titreşim periyoduna karşılık gelen kütle katılım oranlarını ifade etmektedir. Şeklin sağ tarafındaki sütunda ise özellikle sismik yükler için minimum %75 ve üzeri kütle katılım oranını sağladığı doğal titreşim periyotlarına ait veriler paylaşılmıştır. Şekilde 20 metre açıklık dörtgen modül

geometrisi için elde edilmiş doğal titreşim periyodu ve kütle katılım oranları incelendiğinde 2 metre ile 4 metre aralığında değişen modül boylarında hesaplanan doğal titreşim periyotları 0.465 ile 0.456 aralığında değişen değerler aldığı görülmektedir. Bu hesaplanan değerler içerisindeki en küçük doğal titreşim periyodu 3.5 metrelik modül boyunda elde edilmiş olan 0.407 saniyelik değerdir. 0.407 saniyelik değerdeki kütle katılım oranı en rijit tasarım olan 3.5 metre modül boyundaki kütle katılım oranına 1.doğal titreşim periyoduna karşılık gelen %63 olarak hesaplanmıştır. Literatürde ve özellikle şartnamelerde yer alan sismik yükler için minimum kütle katılım oranının %75 olması şartı dikkate alındığında bu kapsamda yapılan analiz incelendiğinde dörtgen modül geometrisi 20 metre açıklık için 2 metre modül boyunda 27. Mod da bu değer yakalandığı, 3 metrelik modül boyunda 12. Mod da bu değer elde edildiği, 3.5 metrelik modül boyunda 13. Mod da ve 4 metrelik modül boyunda da 12. Mod da %75 ve üzeri kütle katılım oranının elde edildiği görülmektedir. Bu kapsamda kütle katılım ve doğal titreşim periyotları karşılıklı olarak incelendiğinde en etkili durumların her iki doğal titreşim periyotları kıyaslaması için 3, 3.5 ve 4 metrelik modül boyların bu açıklıkta ki dörtgen modül geometrisi için etkin sonuç verdiği görülmektedir.

Üçgen modül geometrisi için elde edilen analizler incelendiğinde periyot değerleri 2 metre ile 4 metre aralığında baktığımızda 0.542 ile en büyük periyot değeri 2 metrelik modül boyunda elde edilmiş. 4 metrelik modül boyu içinse 0.484 saniyelik doğal titreşim periyodu değeri hesaplanmıştır. 20 metre açıklık üçgen modül geometrisi için en düşük doğal titreşim periyodu elde edildiği değer 3 metrelik modül boyu için 0.452 olarak hesaplanmıştır. En rijit yapısal geometrinin 3 metrelik modül boyu kabul edildiğinde bu değer için kütle katılım oranı %63'lük kütle katılım oranı olarak bu model de olduğu görülmektedir. Bu kapsamda sistem değerlendirildiğinde en rijit yapısal davranışa sahip olan sistemde kütle katılım oranı en yüksek değeri 1.doğal titreşim periyodu ile yine 3 metrelik modül boyunda elde edilmiştir. Yine literatürdeki %75'lik kütle katılım oranı kapsamında analizler değerlendirildiğinde üçgen geometrinin, dörtgen geometriye göre daha rijit bir yapısal davranış sergilediği ve kütle katılım oranlarının daha düşük modlarda %75'in üzerine çıktığı karşımıza çıkmaktadır.

Dörtgen modül geometrisinde kütle katılım oranları ortalama 12.mod ve ilerisindeki durumlarda %75'lik kütle katılım oranını sağlarken 20 metre açıklıkta üçgen modül geometrisi parametresi elde edilen veriler incelendiğinde 5.mod da %75 kütle katılım oranı modül boyunun 3, 3.5, 4 metre olduğu modül boylarında hesaplanmıştır. Aynı dörtgen modül geometrisinde olduğu gibi üçgen geometride de 2 metrelik modül boyundaki kütle katılım oranı diğer modül boylarına göre daha ilerdeki modlar da sağlanmıştır. Üçgen modül geometrisi içinde 12. Mod da %79'luk kütle katılım oranı elde edilmiştir. Üçgen modül geometrisi için baktığımızda en etkili sonuçların doğal titreşim periyodu için incelediğimizde 3, 3.5 ve 4 metrelik modül boylarında etkin sonuçlar verdiği görülmektedir. Çalışmanın son geometrik değişkeni olan altıgen modül geometrisinde diğerlerinden farklı olarak buradaki modül boyları 3, 3.5 ve 4 metre için hesaplanmıştır. Altıgen modül geometrisi için oluşturulan modellerde 2 metrelik modül boyu seçilen kabuk geometrisi için ideal tasarım ortaya koyamaması sebebiyle altıgen geometrili model sistemleri sadece 3, 3.5 ve 4 metre modül boyu için dikkate alınmıştır. Bu modül boyları için analizler incelendiğinde her 3 modül boyu için elde edilen doğal titreşim periyotlarının birbirine çok yakın olduğu 0.256 ile 0.282 saniye aralığında değişiklik gösterdiği görülmektedir. 1.doğal titreşim periyotlarındaki bu yakınlık kütle katılım oranlarına da yansımıştır. Tüm 1.doğal titreşim periyotlarında tüm modül boyları için altıgen modül geometrisinde %65'lik kütle katılım oranları elde edilmiştir. Literatürdeki %75 ve üzerindeki kütle katılım oranına ait parametreler incelendiğinde bu sistemdeki ortalama %75'lik kütle katılımın sağlandığı periyot değeri 14. Doğal titreşim periyodundan sonra yakalanmıştır. Bu kapsamda incelediğimizde en etkili durumun 3 metrelik modül boyunun elde edildiği periyot olduğu görülmektedir. 3 metrelik modül boyu için yapılan analizlerde 14. Doğal titreşim periyodunda %78'lik kütle katılım oranıyla doğal titreşim periyotları hesaplanmıştır.

Çalışmada farklı modül geometrisi tipleri için modül boylarının doğal titreşim periyotlarına etkisini araştırmak adına dörtgen, üçgen ve altıgen tasarıma sahip sistemlerin aynı modül boyları için elde edilmiş sonuçları Şekil 6.2' de karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.



Şekil 6.2. 20 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

20 metre açıklık 4 metrelik modül boyunun dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrisindeki sonuçları incelendiğinde en rijit davranışın altıgen modülde elde edildiği 0.282 saniye periyot değeri için %65 kütle katılımı en rijit yapısal davranışa altıgen modülde elde edildiği görülmektedir. %75 ve üstündeki kütle katılım oranları kapsamında analizler incelendiğinde üçgen modül geometrisine sahip ızgara kabuk sistemin 5. Doğal titreşim periyodunda 0.143 saniyelik titreşim değeri için %80 kütle katılım oranıyla en büyük katılımı elde ettiği görülmektedir. 3.5 metrelik modül boyları için elde edilen değerler incelendiğinde 4 metre de olduğu gibi bu modül boyu içinde 20 metre açıklık da altıgen tasarımın en rijit tasarım olduğu 0.289 saniyelik periyot değeri için %65 kütle katılım sağladığı görülmektedir. Kütle katılım oranlarında %75 ve üzeri değerler incelendiğinde en düşük periyot aynı 4 metrelik modülde olduğu gibi bu modül boyu içinde yine üçgen modül geometrisi için 5. Doğal titreşim periyodunda kütle katılım oranı %75 ve üzeri olan değer hesaplanmıştır. 0.146 saniyelik periyot değeri için %77 kütle katılım oranı hesaplanmıştır. 3 metrelik modül boyu için elde edilen veriler kıyaslandığında yine altıgen tasarım diğer modül boylarında olduğu gibi bu modül boyunda da en rijit sonucu vermiştir. 0.256 saniyelik periyot değeri için %65'lik kütle katılım oranı 1. Doğal titreşim periyodu için 3 metrelik modül boyunda hesaplanmıştır. %75 ve üzeri kütle katılım periyodunu dikkate aldığımızda kütle katılımın en erken mod da devreye girdiği durum ise üçgen tasarım için karşımıza çıkmıştır. Diğer modül boylarında olduğu gibi bu modül boyunda da 5. doğal titreşim periyodun da 0.126 saniyelik değerde %78 kütle katılım oranı elde edilmiştir. 2 metrelik modül boyu sadece üçgen ve dörtgen tasarım için çalışmamızda yer almakta bu kapsamda dörtgen ve üçgen için elde edilen kıyaslamalar incelendiğinde 2 metrelik modül boyunda en rijit tasarımın dörtgen modül geometrisi için elde edildiği görülmüştür. 0.465 saniyelik periyot değeri için %59'luk kütle katılım oranı elde edilmiştir. Kütle katılım oranının %75 ve üzerindeki yapısal davranışın olduğu doğal titreşim periyotları incelendiğinde en erken kütle katılım oranına sahip olan diğer modül boylarında olduğu gibi yine üçgen tasarım olduğu görülmektedir. 0.067 saniyelik periyot değeri için %79'luk kütle katılım oranı 12. Doğal titreşim periyodunda bu model de elde edilmiştir.

Çalışmada boyutsal parametreler dikkate alınan 2. Açıklık değeri olan 30 metre sistem geçişi için elde edilen doğal titreşim periyotları aşağıdaki Şekil 6.3.'de sunulmuştur. Şekil 6.3' de dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrisindeki modül tipleri için her bir modül boyu için elde edilen periyot ve kütle katılım oranları hesaplanmış ve Şekil 6.3.'de sunulmuştur.



Şekil 6.3. 30 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

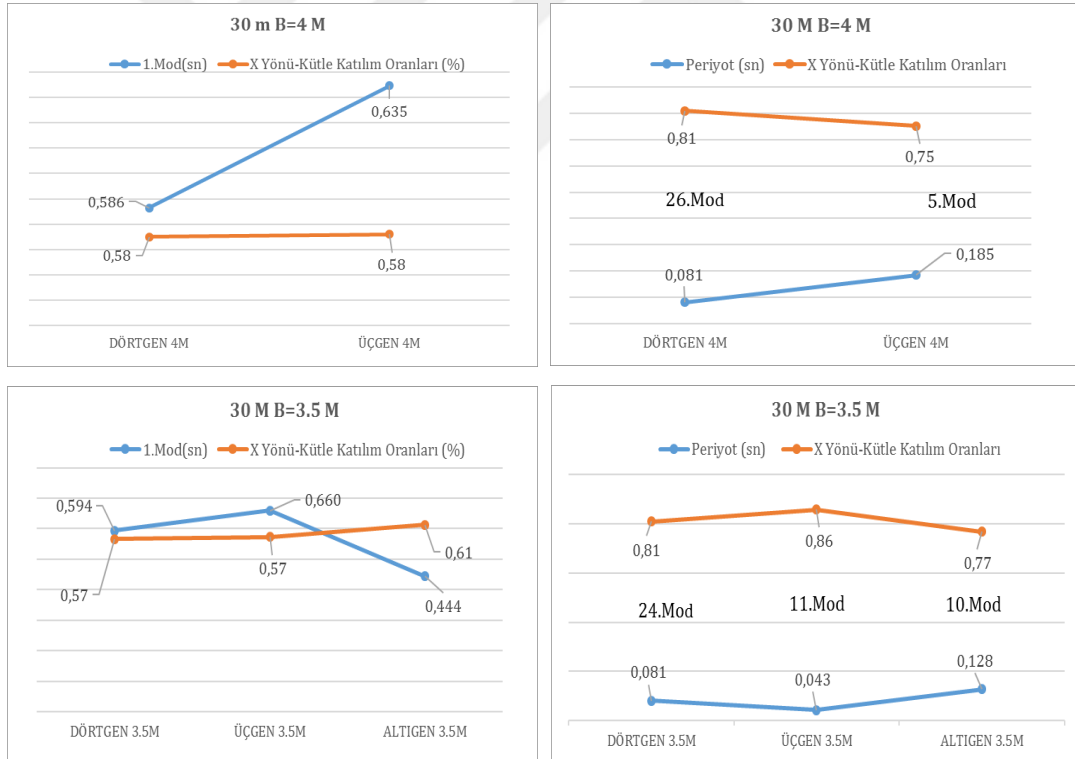
Şekilde ifade edilen doğal titreşim periyotları ve kütle katılım oranlarına sahip değerleri incelendiğinde 20 metre açıklıkta ki hesaplanan periyot değerlerine göre bu açıklık için modül boyunun sistem doğal titreşim periyoduna olan etkisinin azaldığı ve ayrıca 2 metrelik modül boyu için elde edilen doğal titreşim periyodunun 0.558 saniye olurken, 4 metrelik modül boyunda elde edilen doğal titreşim periyodunun 0.586 saniyelik bir değer olduğu bütün doğal titreşim periyotlarının birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.

Kütle katılım oranları kapsamında baktığımız zaman %75 ve üzerindeki kütle katılım oranlarının elde edildiği periyot değerleri kapsamında değerlendirildiğinde 30 metre açıklık için kütle katılım oranının %75 ve üzerine çıktığı minimum doğal titreşim periyodu 2 metrelik modül boyu için elde edilmiştir. 2 metrelik modül boyu için elde edilen doğal titreşim periyodu 18. Mod olup bu periyot için %78'lik doğal titreşim periyodu elde edilmiştir. Sistemdeki 3 ve 3.5 metrelik modül boyları için elde edilen %75 ve üzerinde elde edilen kütle katılım oranları 22. Doğal titreşim periyodu ile 26. Doğal titreşim periyodu arasında değişen değerler sonuçlar alınmıştır. Şekildeki üçgen sistem geometrisine ait sonuçlar incelendiğinde aynı dörtgende olduğu gibi bu modül geometrisinde de doğal titreşim periyotlarında modül boylarının etkili olmadığı, artık modül boyundan ziyade sistem açıklığının doğal titreşim üzerinde etkili bir davranış olduğunu ifade etmektedir. Bu modeller de elde edilen değerler ile doğal titreşim periyodu 0.565 saniye ile 0.576 saniye aralığında gezdiği, değer olarak da dörtgen modül geometrisine yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sistemde %75 ve üzerinde kütle katılım oranlarında elde edilen sonuçlar incelendiğinde bir önceki açıklık da olduğu en erken %75 kütle katılıma erişen altıgen ve üçgen modül geometrisi karşımıza çıkmaktadır. Bu sistemde %75'lik katılıma en erken erişen modül boyunun 4 metre olduğu 5. Doğal titreşim periyodunda 0.185 saniye için %75 kütle katılım sağladığı görülmektedir. 2, 3 , 3.5, 4 metrelik modül boyları için %75 kütle katılım üzeri sağlanan doğal titreşim periyodu 11. Mod olarak hesaplanmıştır. Altıgen için yapılan analizlerde diğer açıklıklarda olduğu gibi sadece 3 ve 3.5 metrelik modül boyu için analiz dikkate alınmış 2 ve 4 metrelik modül boyu bu açıklık için sayısal analiz edilmemiştir. 3 ve 3.5 metrelik değerler incelendiğinde aynı dörtgen ve üçgende olduğu gibi bu s

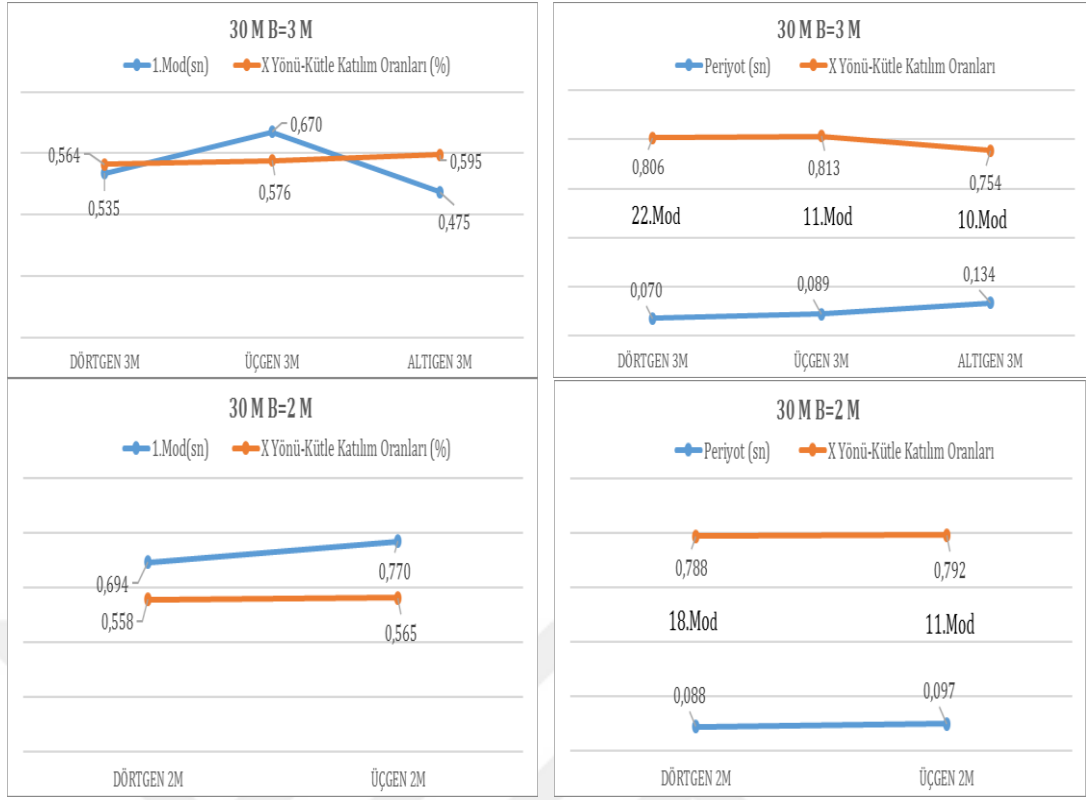
modül geometrisinde de modül boyunun doğal titreşim periyoduna etkisi en aza düştüğü, her iki modül boyunda da doğal titreşim periyodunun birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

30 metre açıklık altıgen modül geometrisi için minimum %75 kütle katılımın elde edildiği sonuçlar incelendiğinde 3 metre ve 3.5 metrelik modül boyunda 10. Titreşim periyodun %75 üzerinde kütle katılım değeri elde edilmiştir. %75 ve üzerindeki kütle katılım oranları nezdinde her 3 modeli kıyasladığımız zaman üçgen ve altıgenin, dörtgene göre daha önceki doğal titreşim periyotlarında %75 kütle katılıma eriştiği yapılan hesaplamalar neticesinde elde edilmiştir.

Şekil 6.4' da 30 metre açıklık için modül boylarınca sistem geometrilerini kendi içerisinde karşılaştırılmıştır.



Şekil 6.4. 30 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması



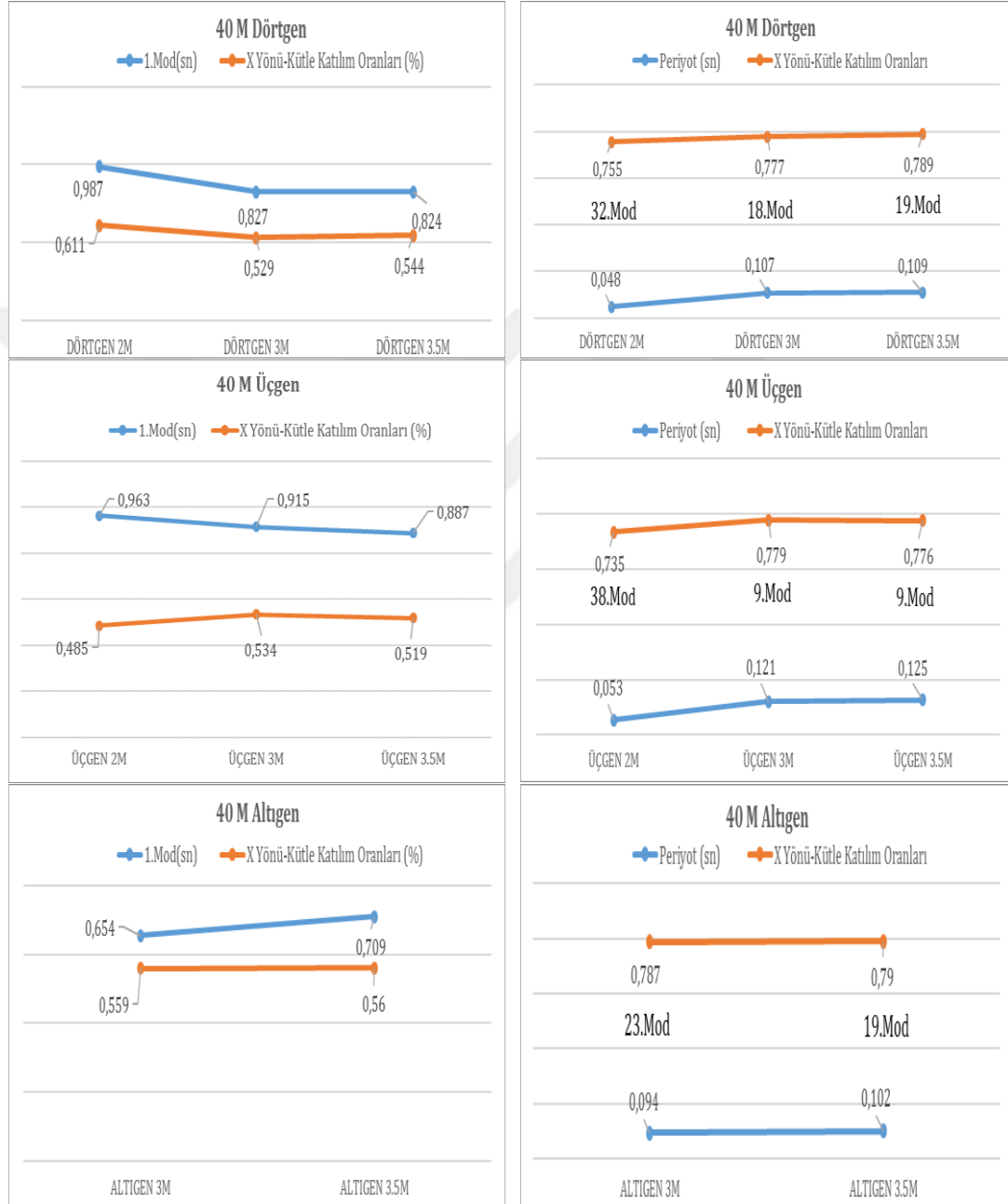
Şekil 6.4. 30 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması (Devam)

Şekil 6.4'de 4 metrelik modül boyu için elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu modül boyu içerisinde 4 metrelik modül boyu için altıgene ait analiz sonuçları olmadığı için sadece üçgen ve dörtgen sonuçları irdelenmiştir. 4 metrelik modül boyu için elde edilen doğal titreşim periyotları incelendiğinde modül boyunun sistem doğal titreşim periyoduna etkisinin devre dışı kaldığı açıkça görülmektedir. Her iki modül geometrisinde de 0.575 ila 0.576 saniyelik gibi birbirine çok yakın iki değer elde edilmiştir. Ancak kütle katılım oranları nispetinde baktığımız zaman modül geometrisinin dörtgene göre daha büyük kütle katılım oranları ile analiz sonuçlarını elde edildiği görülmektedir. 4 metrelik modül boyu için %75 kütle katılım oranının elde edildiği doğal titreşim periyotları içerisinde irdelendiğinde daha önce ifade ettiğimiz üzere üçgen sistemin kütle katılımını daha önceki periyotlarda davranışa yansıttığı burada da görülmektedir. Dörtgen sistem için 26.mod için %75 ve üzerindeki kütle katılım oranı yakalanırken, üçgen sistem için 5. Moddaki kütle katılım oranı yakalandığı görülmektedir. 3.5 metrelik modül boyu için baktığımız zaman hem üçgen hem de dörtgen hem de altıgen için analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu kapsamda

sonuçlar kıyaslandığında da 30 metrelik açıklıkta modül boyunun sistem davranışına etkisinin modül geometrisi üzerinde de etkisiz kaldığı görülmektedir. Dörtgen, gen ve altıgen için elde edilen doğal titreşim periyotları 0.566 ile 0.613 saniye aralığında birbirine çok yakın sonuçlar verilmiştir. Burada kütle katılım oranları 1. Doğal titreşim periyodu kapsamında incelendiğinde kütle katılımın en zayıf olduğu modül geometrisi altıgen olduğu görülmektedir. Dörtgen ve üçgendeki kütle katılım oranları 1.doğal titreşim periyodu için %60 mertebelerinde gezerken, altıgen için elde edilen 1.doğal titreşim periyodu için kütle katılım oranı %44 mertebelerinde sonuçlar vermiştir.

%75 üzerindeki kütle katılım oranları kapsamında incelendiğinde üçgen ve altıgenin, dörtgene olan avantajı göze çarpmaktadır. Üçgen ve altıgende 10 .Mod ve üzerinde %75 ve üzerindeki kütleyi sistem davranışına dahil ettiği görülmektedir. 3 metrelik modül boyuna bakıldığında da bu modül boyunda da elde edilen 1.doğal titreşim periyotlarının modül geometrisince de etkilenmediği görülmektedir. Doğal titreşim periyotları 0.564 saniye ile 0.595 saniye arasında sonuçlar verilmiştir. %75 ve üzeri kütle katılım oranlarına baktığımız zaman diğerleriyle paralel olarak bu açıklıkta ve modül boyu için üçgen ve altıgenin 10.mod ve üzerinde %75 kütle katılım oranını sahip olurken, dörtgen modül geometrisinde kütle katılım oranının %75 üzerine çıktığı değer 22. Mod olarak hesaplanmıştır. 30 metrelik açıklıkta 2 metrelik modül boyu için altıgene ait sayısal model oluşturulmamış. Bu şekilde de dörtgen ve gene ait sonuçlar sunulmuştur. Bu sonuçlar incelendiğinde diğer modül boy ve sistem geometrileri için periyota elde edilen birbirine yakınlık bu modül boyu içinde elde edilmiştir. Dörtgen için 0.558 saniye, üçgen için ise 0.565 saniye gibi birbirine çok yakın doğal titreşim periyotları davranışa yansımıştır. Elde edilen değerler göstermektedir ki yapı sisteminde tonoz tipi ızgara kabuk sistemlerde açıklık arttıkça modül boyunun ve modül geometrisinin doğal titreşim periyoda olan katkısı azalmakta ve modül boyu modül geometrisinden zıyade sistemin bütünsel geometrisin doğal titreşim periyodu üzerindeki etkisi önplana çıkmakta olduğu açıkça görülmektedir.

Çalışmada 3. Açıklık değeri olan 40 metre boyutsal parametre için elde edilen doğal titreşim periyotlarına ait sonuçlar Şekil 6.5.'de gösterilmiştir. Şekil 6.5' deki değerler dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrisindeki modül tiplerinin modül boylarına göre kendi içlerindeki karşılaştırmalarını içermektedir.

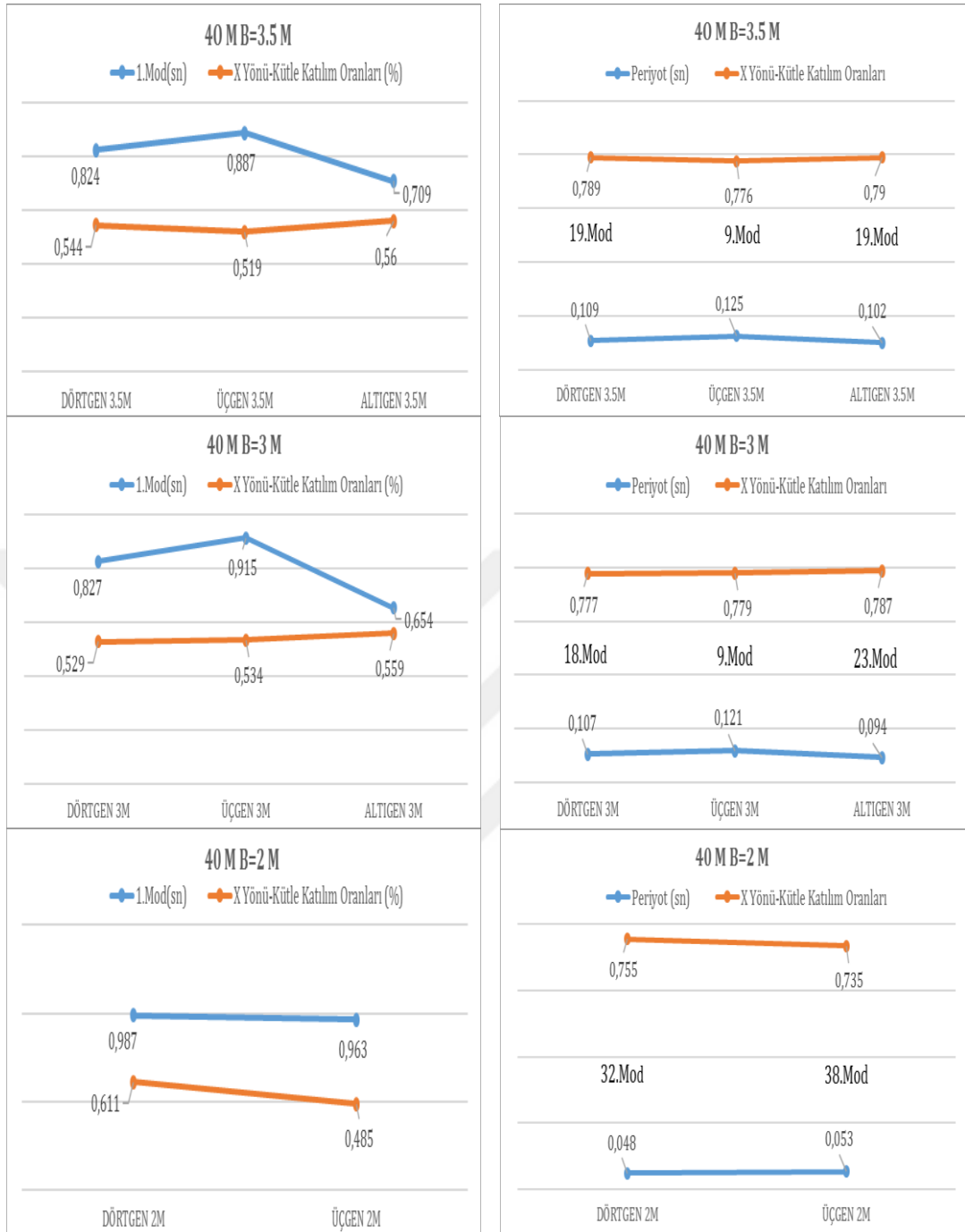


Şekil 6.5. 40 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

Şekil 6.5.'de 40 metre açıklık için dörtgen modül geometrisinde 1.doğal titreşim periyotları değerlendirildiğinde modül boyunun artmasıyla beraber sistemin

daha rijit davrandığı görülmüştür. Dörtgen modül geometrisinde 3 metre ve 3.5 metrelik modül boylarında doğal titreşim periyotları çok yakın sonuçlar vermiştir. Kütle katılım oranlarına bakıldığında 2 metrelik modül boyunda %61'lik kütle katılımı görülürken modül boyu artıkça kütle katılımının %53 civarına gerilemiştir. %75'lik kütle katılım oranları incelendiğinde 3 metrelik modül boyunun 18. Mod da katılım gösterdiği 3.5 metrelik modül boyunun da onu takip etmiştir. 2 metrelik modül boyu ise en geç katılım gösteren model olmuştur. Üçgen modül geometrisinde 2, 3 ve 3.5 modül boyları incelendiğinde daha önce dörtgen modül geometrisinde olduğu gibi modül boyu artıkça yapı daha rijit bir davranış sergilemektedir. %75 ve üzeri kütle katılım oranları değerlendirildiğinde ise 3 ve 3.5 metrelik modül boyları aynı 9. Mod da kütle katılım göstermişlerdir. Dörtgen ve üçgen modül geometrilerinin aksine altıgen modül geometrisinde 2 metrelik modül boyuna sahip sayısal model bulunmamaktadır. Altıgen modül geometrisine sahip 3 metrelik ve 3.5 metrelik modül boyundan oluşan modeller analiz edildiğinde 1.doğal titreşim periyodunun modül boyu artıkça yükseldiği gözlenmiştir. Hem 3 metre hem de 3.5 metrelik modül boyuna sahip altıgen modül geometrili modeller %56'lık aynı oranda kütle katılım performansı göstermişlerdir. %75'lik kütle katılım oranları incelendiğinde ise 3.5 metrelik modül boyunun 19.mod da kütle katılmıştır.3.5 metrelik modül boyunun 3 metrelik modül boyuna göre daha erken kütle katılım gösterdiği sonucuna varılmıştır.

40 metre açıklık değişen modül geometrileri sabit modül boyları için elde edilen sonuçlar şekil 6.6' da sunulmuştur.



Şekil 6.6. 40 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

Şekil 6.6.'da 40 metre açıklık 3.5 metre modül boyu için elde edilen sonuçlar incelendiğinde en rijit değerin altıgen sistemde elde edilmiştir. 0.709 saniye 1.doğal titreşimi periyodu için %56'lık kütle katılım oranı gerçekleştiği hesaplanmıştır. Kütle katılım oranı %75 ve üzerinde olduğu değerler kapsamında 3.5 metrelik modül boyu için farklı sistemler geometrilerinden elde edilen sonuçlar incelendiğinde en erken %75 kütle katılım oranı değerine ulaşan modül

geometrisi üçgendir. Buna takiben de altıgen ve dörtgen olduğu yapılan analiz sonuçlarında hesaplanmıştır. Modül boyu 3 metreye düşürüldüğünde yine elde edilen sonuçlarda altıgen modül geometrisinin en rijit yapısal davranışını sergilediği buna takiben dörtgen ve yer değiştirme rijitliği en düşük sistemde üçgen modül geometrisine sahip olduğu görülmektedir. %75 ve üstündeki kütle katılım oranlarına baktığımız zamanda %75'lik katılıma en erken erişen modül geometrisinin üçgen olduğu 9.mod da %77'lik kütle katılım oranıyla sağladığı, %75'lik kütle katılım oranına da en geç erişen geometrisinin de altıgen olduğu karşımıza çıkmaktadır. 40 metrelik açıklık kapsamında en küçük modül boyu olan 2 metrelik modül boyu için analiz edilen sonuçlar üçgen ve dörtgen modül geometrisi için sunulmuştur. Altıgen modül geometrisi için bu kapsamda bir sayısal analiz oluşturulmamıştır. 2 metrelik modül boyu için elde edilen analizler incelendiğinde hem üçgen hem de dörtgen için 1.doğal titreşim periyotlarının birbirine çok yakın olduğu, modül boyunun yapısal davranış üzerinde etkinliğinin kaybolduğu açıkça görülmektedir. %75 ve üzerindeki kütle katılım kapsamında baktığımız zaman bu modül boyu için diğerlerinden farklı olarak dörtgen modül geometrisinin üçgenden daha önce yeterli kütle katılım oranına ulaştığı tespit edilmiştir.

Yapılan çalışmadaki en büyük açıklık değerimiz olan 50 metre sistem genişliği için elde edilen doğal titreşim periyotları sonuçları Şekil 6.7 kapsamında sunulmuştur. Şekil 6.7 kapsamında farklı sistem geometrileri ve farklı modül boyları için elde edilen doğal titreşim periyotları ve kütle katılım oranları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

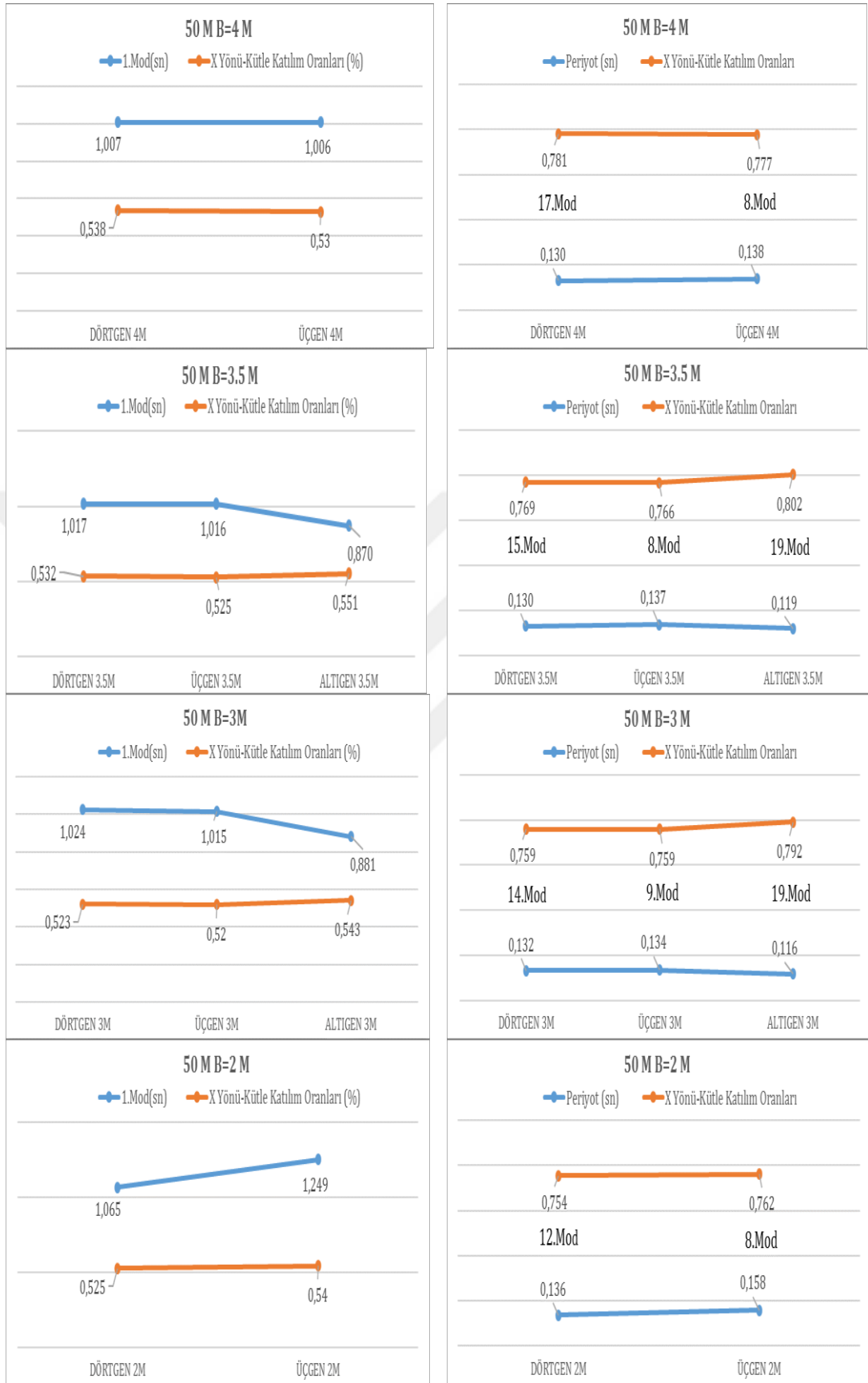


Şekil 6.7. 50 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül geometrisine göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

50 metrelik açıklık dörtgen geometrisinde elde edilen 1.doğal titreşim periyotlarının modül boylarına göre farkları incelendiğinde bütün modül boylarının 1 saniye üzerinde doğal titreşim periyotları sergilediği ve modül boylarının bu açıklıkta doğal titreşime olan katkısının neredeyse yok sanılacak seviye düştüğü görülmektedir. Kütle katılım oranları kapsamında incelediğimiz

zaman en %75 etkin kütle katılım oranına en erken ulaşan dörtgen modül geometrisin 2 metre modül boyunda elde ettiği görülmektedir. Üçgen modül geometrisi için elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde üçgen modül geometrisinde 2 metrelik modül boyunun diğer 3, 3.5 ve 4 metrelik modül boylarından ayrılarak daha büyük doğal titreşim periyodu görülmektedir. 1.249 saniye ile daha büyük doğal titreşim periyodu sergilediği ve diğer modül boylarının ise 1 saniye bandında değerler aldığı görülmektedir. Bu üçgen modül geometrisinde 2 metrelik modül boyunun yapısal davranış üzerinde rijitliği azaltıcı yönde etki yaptığı elde edilen sonuçlar kapsamında görülmektedir. %75 etkin kütle katılım oranının üzerindeki değerlerinin sunduğumuz şekil incelendiğinde en erken bu katılım oranına ulaşan modül boyunun 2 metre, 3.5 metre ve 4 metre olduğu görülmüştür. 3 metrelik modül boyunun 9. Mod da bu kütle katılım oranına erişmiştir. 50 metre açıklık altıgen modül geometrisi için elde edilen sonuçlar incelendiğinde bu modül geometrisinde 3 ve 3.5 metrelik modül boyları için analiz sonuçları hesaplanmıştır. Dörtgen ve üçgen modül geometrisine göre en düşük periyot değerleri elde edilmiştir. Bu sistem geometri için periyot değerleri 1 saniye altına düşmüştür. 0.881 ila 0.870 saniye aralığında değişen 2 farklı doğal titreşim periyodu değeri hesaplanmıştır. Altıgen modül geometrisi için %75 ve üstü kütle katılım oranı 19. Mod değeri olarak hesaplanmıştır. Bu kapsamda incelediğimizde altıgen kütle katılım oranınca kütle katılıma en erken ulaşan sistemin diğer modellerde olduğu gibi bu sistemde de üçgen modül geometrisi olduğu açıkça görülmektedir.

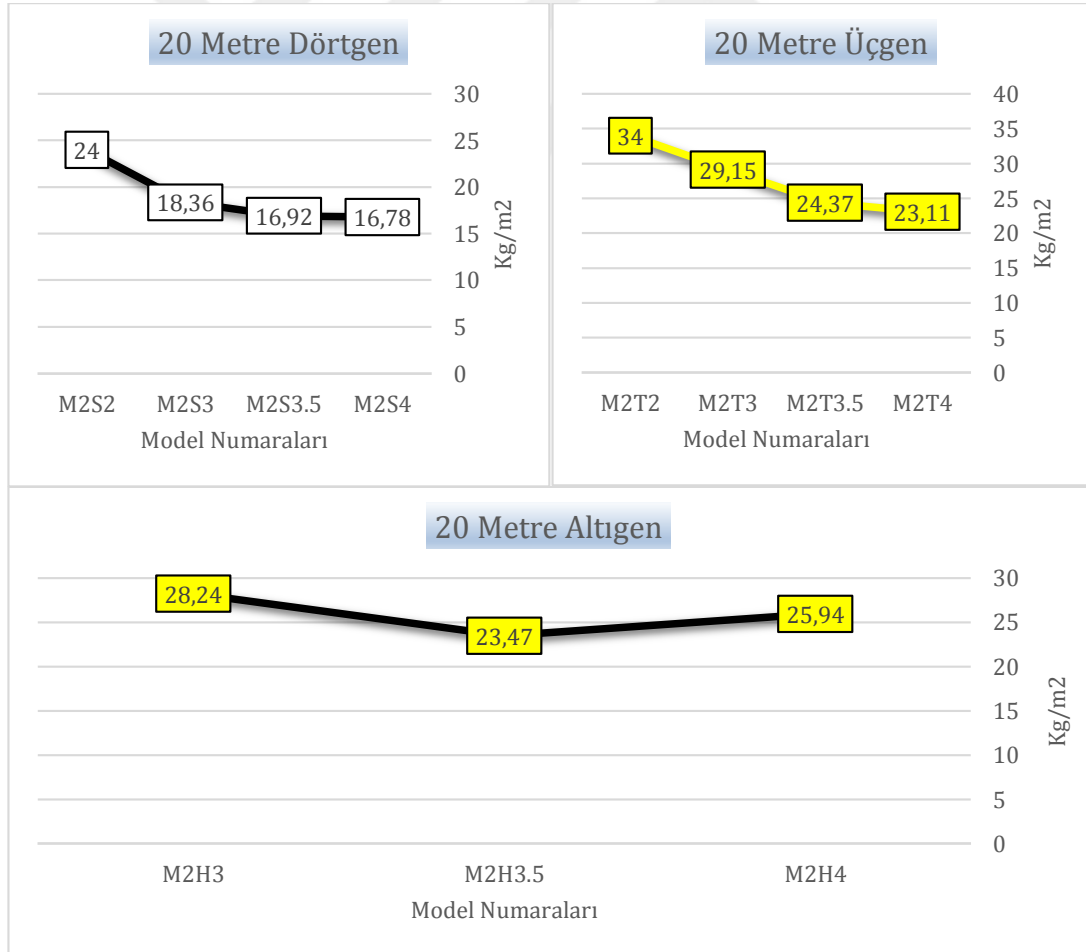
50 Metre açıklık farklı sistem geometrileri sabit modül boyu için elde edilen analiz sonuçları Şekil 6.8' de karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.



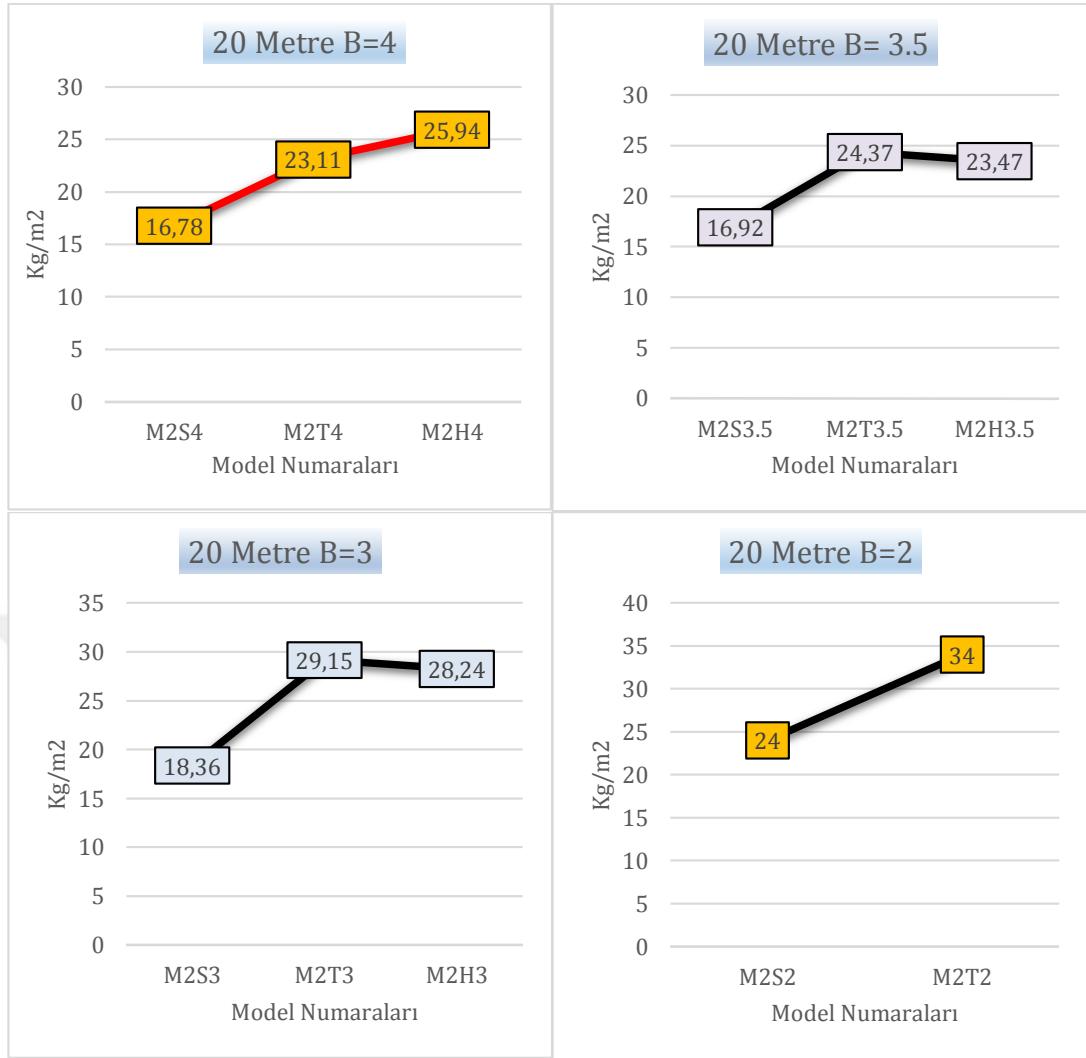
Şekil 6.8. 40 Metre açıklık için oluşturulan modellerin modül boylarına göre periyot ve kütle katılım oranına göre karşılaştırılması

Bu kapsamda 4 metrelik modül boyu için dörtgen ve üçgen sistem geometrileri kıyaslandığında her iki geometride periyot değerlerinin 1 saniye dolaylarında gezdiği görülmüştür. Yalnız etkin kütle katılım oranlarına bağlı olarak analizler incelendiğinde bütün analizlerde olduğu gibi üçgen sistemin daha önce %75'lik katılım oranına eriştiği görülmektedir. Üçgen 4 metrelik model için 8. Mod da %78'lik katılım sağlanırken, dörtgen sistem için 4 metrelik modül boyunda 17. Mod da %78'lik kütle katılım oranı hesaplanmıştır. 3.5 metrelik modül boyu için elde edilen analizler incelendiğinde en rijit durumun diğer analiz değerlerinde olduğu gibi altıgen rijit periyot sergilediği görülmüştür. Dörtgen ve üçgen tekrardan 1 saniye bantlarında yer alırken altıgen sistem için elde edilen 0.870 saniyelik titreşim periyodu ile doğal yapısal davranışı en rijit sistem durumu elde edilmiştir. Etkili kütle modu kapsamında incelediğimiz zaman bütün modellerde olduğu gibi bu modül boyunda da üçgen modül geometrisi 8. Doğal titreşim periyodu %76'lık kütle katılım değerine ulaşmıştır. 3 metrelik modül boyunu incelediğimiz zaman yine dörtgen ve üçgen sistem geometrileri 1 saniye bandında gezerken altıgen modül geometrisi 0.881 saniye ile 1 saniye altında sonuç vermektedir. Buna bağlı olarak yapının yer değiştirme rijitliğini artırdığı açıkça görülmektedir. Bu kapsamda kütle katılım oranların %75 ve üzeri olduğu durumlar değerlendirildiğinde yine diğer modellerde olduğu gibi üçgen modül geometrisi 9. doğal titreşim periyodunda, dörtgen modül geometrisi 14. doğal titreşim periyodunda, altıgen s modül geometrisi ise 19. Doğal titreşim periyodunda %75'lik etki katılım oranına erişmiştir. Çalışma kapsamında ki son açıklık ve son modül boyunun değerlendirilmesine baktığımız zaman 2 metrelik modül boyunda dörtgen ve üçgen sistem geometrileri karşılaştırılması sunulmuştur. Bu modül boyu için baktığımız zaman üçgen modül geometrisinin 1 saniye bandının üstüne çıktığı 1.249 saniye gibi çalışma kapsamında elde edilen en büyük doğal titreşim periyodu ulaştığı ve dörtgen 2 metrelik modül boyunun ise yine 1 saniye bandında sonuç verildiği görülmektedir. Bu modül boyu içinde üçgen modül geometrisi 8. Mod da etkin kütle katılım oranına ulaşmışken, dörtgen modül geometrisi de 12. Mod da etkin kütle katılım oranına ulaştığı hesaplanmıştır.

Dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrilerine sahip modül tipleriyle oluşturulmuş tonoz tipi ızgara kabuk sistemlerin sayısal olarak analiz edildiği bu çalışmada 20, 30, 40 ve 50 metre net açıklık için farklı modül boylarında m²'ye düşen çelik konstrüksiyon ağırlığını belirlemek amacıyla oluşturulan tüm sayısal modeller düşey yönde etkiyen kar yükü, kaplama yükü ve rüzgar yükü için analiz edilmiştir. Çubuk kapasite sınırı %70 aşmayacak şekilde dizayn edilmiştir. Yapılan bu dizayn sonucunda her modül boyu için elde edilen m² çelik konstrüksiyon ağırlıkları hesaplanmıştır. Bu bölümde her bir sayısal model için elde edilen m² ağırlıkları karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur. Şekil 6.9' da 20 metre açıklık için dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrisindeki modül boylarına ait m² düşen çelik konstrüksiyon ağırlıkları 2 metre ile 4 metre aralığında değişen modül boyları için hesaplanmış ve tablo halinde grafik halinde sunulmuştur.



Şekil 6.9. 20 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık karşılaştırılması

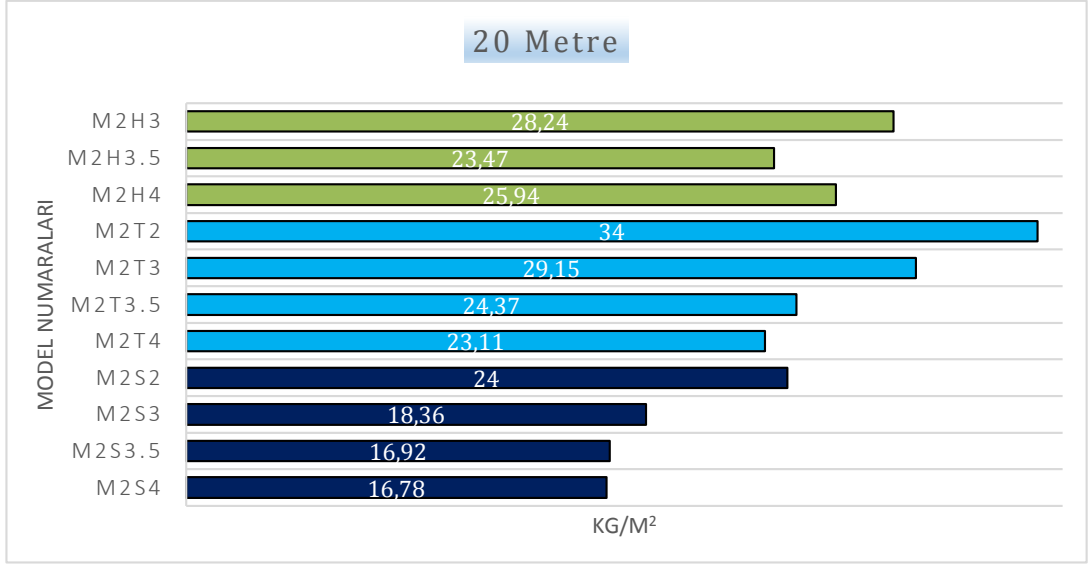


Şekil 6.9. 20 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)

Şekil incelendiğinde 20 metre açıklığındaki dörtgen modül geometrisine sahip ızgara kabuk sisteminde 2 metre modül boyu için m²'ye 24 kg çelik konstrüksiyon hesaplanırken 4 metrelik modül boyunda 16.78 kg/m²'lik çelik konstrüksiyon ihtiyacı hesaplanmıştır. Grafik incelendiğinde modül boyu arttıkça yapı m²'ye düşen çelik konstrüksiyon ihtiyacı düşmüştür. Yapılan analizlerde modül boyu 4 metreyi aştığı durum dörtgen, üçgen ve altıgen için hesaplanmıştır. Yapılan analizlerde 4 metreyi aşan kurgularda elde edilen sonuçlar tekrar artış şekliyle sonuçlandığı için çalışma kapsamındaki tüm veriler de maksimum 4 metrelik modül boyu için sonuçlar sunulmuştur. Bu kapsamda dörtgen için durum tekrar değerlendirilmek istendiğinde 3.5 ve 4 metrelik modül boyu 20 metre açıklık için en ideal kesit ihtiyacı olduğu göstermektedir. 20 metrelik üçgen modül

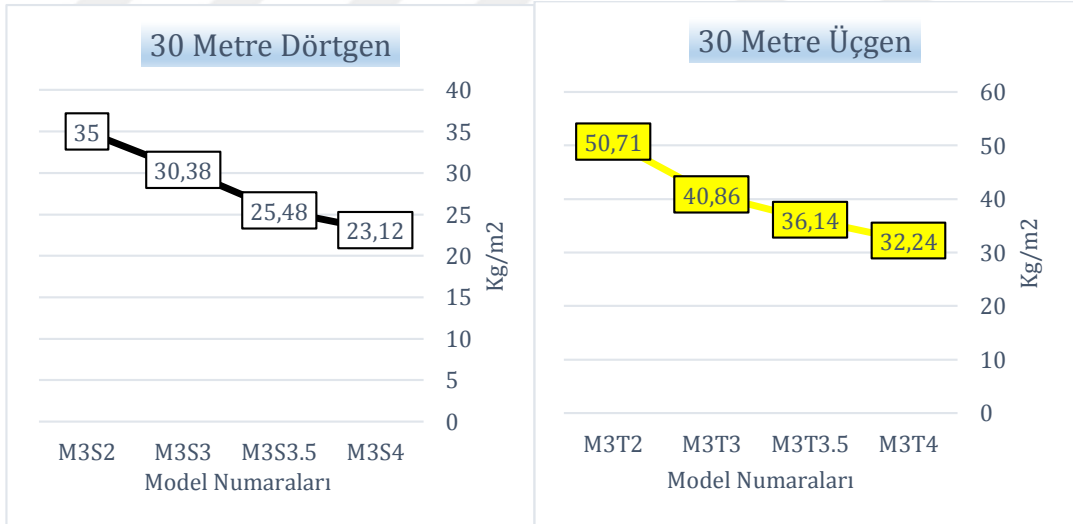
geometrisindeki modül boylarına ait grafik incelendiğinde 2 metrelik modül boyundaki kesit ihtiyacı dörtgene göre belirgin bir oranda artmış 34 kg/m²'lik bir talep oluşmuştur. Modül boyu artıkça talep ihtiyacı düşmüş ve 3.5 metrede 24.37 kg/m², 4 metrede ise 23.11 kg/m²'lik bir çelik konstrüksiyon talebi oluşmuştur. Altıgen için durum değerlendirildiğinde, altıgen modül geometrisine sahip modellerde modülün kapanma geometrisi üçgen ve dörtgene göre 6 farklı modülün bir kombinasyonu olması sebebiyle her bir modül, modül boyuna bağlı olarak daha geniş bir sınır içerisinde kapanmaktadır. Bu sebeple dörtgen ve üçgenlerde elde edilen ve genellikle 4 metrelik modül boyu için en düşük kesit ihtiyacı oluşma talebi altıgen modül geometrisinde 3.5 metrede en ideal kesit ihtiyacı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu altıgenin geometrik yerleşimin bir sonucu olarak çubuğun sınır şartlarını ve buna bağlı olarak burkulma boyunu etkilemesi sebebi ile elde edilmektedir. Bu kapsamda 2 metrelik modül boyunda 28.24 kg/m² , 3.5 metrelik boyda 23.47 kg/m² , 4 metrelik modül boyunda ise 25.94 kg/m²'lik bir sonuç elde edilmiştir. Şeklin devam eden bölümünde her bir modül boyunun farklı modül geometrileri için kendi içlerinde karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda 4 metrelik modül boyunda en düşük ağırlık dörtgen buna takiben üçgen ve en sonda ise altıgen yer almıştır. Aynı durum 3.5 metrelik modül boyuna baktığımızda yine dörtgen en düşük kesit ihtiyacı oluşmuş buna takiben altıgen ve en sonda da üçgen modül yer almaktadır. Modül boyu düştükçe 3 metre ve 2 metrelik modüllerde üçgen ve altıgen birbirine yaklaşıırken kesit ihtiyacı bakımından en az kesit talebi diğer modül boylarında olduğu gibi yine dörtgen modül geometrisinde elde edilmiştir. 2 metrelik modül boyu 20 metre açıklık için sadece dörtgen ve üçgen için modellenmiş bu kapsamda bakıldığında yine en optimum durum dörtgen modül geometrisi için elde edilmiştir.

Şekil 6.10' da bütün modül boyları ve bütün modül geometrileri bir tabloda kıyaslanmıştır. Tablo incelendiğinde bütün modül boylarında en düşük kesit ihtiyacı dörtgen modül geometrisi için elde edildiği görülmektedir.

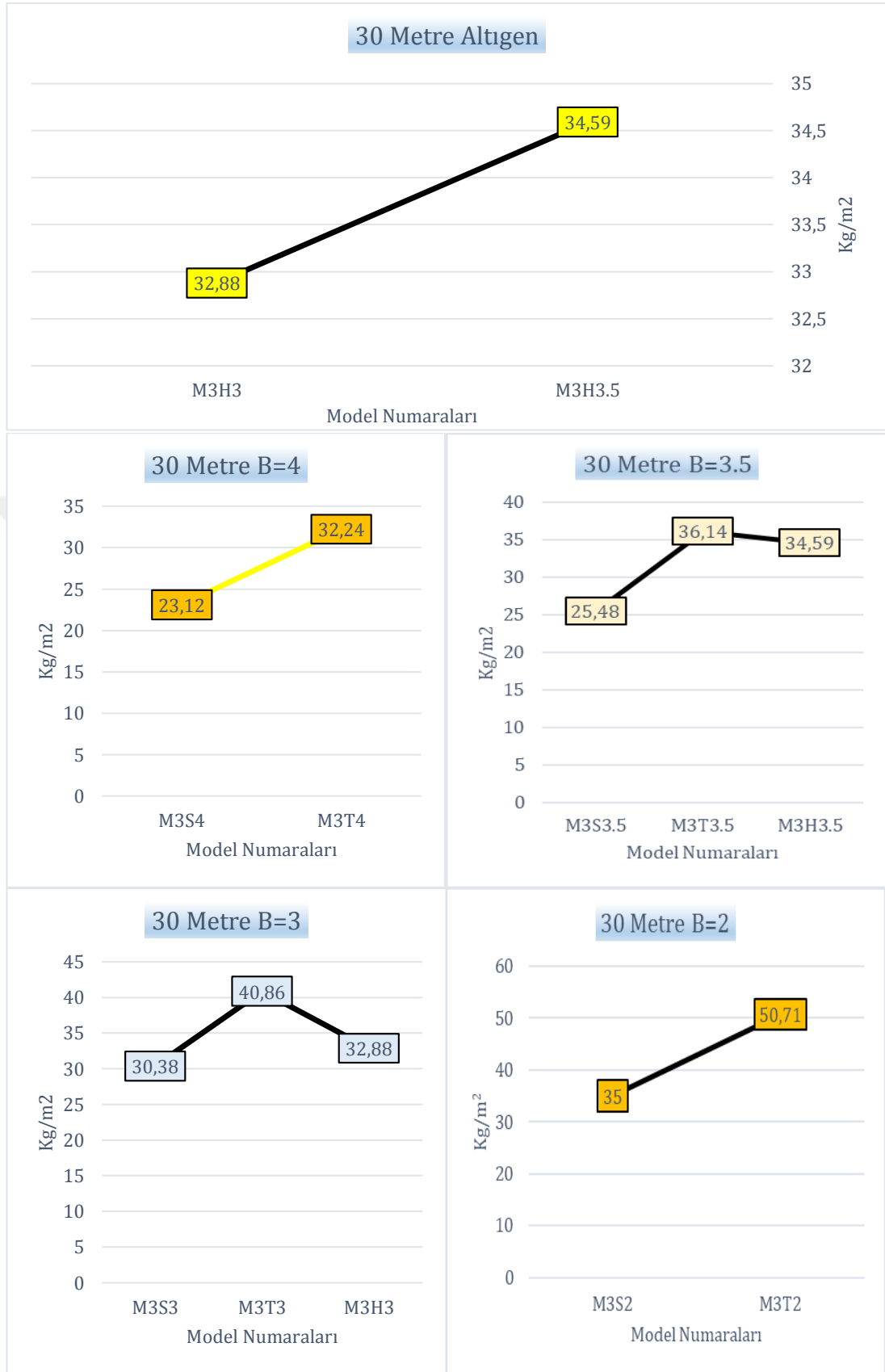


Şekil 6.10. 20 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması

30 metrelik açıklıkta modellenen yapılar için elde edilen m² düşen taşıyıcı sistem ağırlıkları modül geometrileri ve modül boylarına göre karşılaştırılması Şekil 6.11' de sunulmuştur.



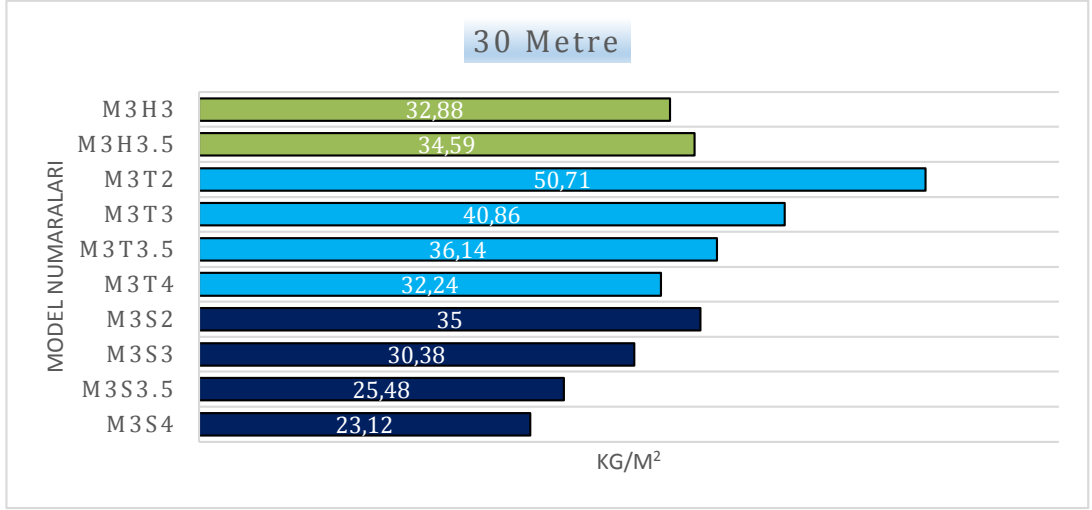
Şekil 6.11. 30 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık karşılaştırılması



Şekil 6.11. 30 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)

Şekildeki 30 metre açıklık dörtgen modül geometrisi için elde edilen kesit talebi incelendiğinde 20 metrede olduğu gibi modül boyu artıkça m^2 'ye düşen kesit ağırlığı düşmektedir. 2 metrelik modül boyu için oluşan kesit talebi $35 \text{ kg}/m^2$ bandına gezerken, 4 metrelik için $23.12 \text{ kg}/m^2$ 'lik bir kesit talebi oluşmuştur. Üçgen modül geometrisine geçtiğimiz zaman modül boyuna bağlı olarak kesit talebi düşmektedir. Ancak dörtgen ile kıyasladığımız zaman ortalama her modül boyu için %30 bandında kesit talebi artmıştır. Üçgen modül geometrisi için yine en küçük kesit ihtiyacı $32.25 \text{ kg}/m^2$ için 4 metrelik modül boyunda elde edilmiştir. Altıgen modül geometrisinde 3 ve 3.5 metrelik modül boyları için analiz edilmiştir. Diğerlerinden farklı olarak burada modül boyundaki artış m^2 'ye düşen kesit talebini artırmıştır. Bu bir önceki grafiklerde açıkladığımız gibi altıgen sistemlerinin geometrik bir sonucu olarak modül boyuna bağlı kapanma sınır çizgisi artmakta bu da modülün burkulma sınır koşullarını ve burkulma boylarını etkilemektedir. Bu sebeple altıgen için modül boyu noktasında 30 metrelik açık da en ideal tasarımın 3 metrelik modül boyu olduğu kabul edilen yükler ve kabul edilen sınır koşulları altında görülmüştür. Modül boylarının modül geometrilerine göre kendi içlerinde kıyaslamalarını irdelediğimiz zaman 4 metrelik modülde bir önceki açıklıkta olduğu gibi dörtgenin en düşük kesit talebinde bulunduğu, 3.5 metrelik modülde dörtgen, altıgen ve buna takiben üçgenin olduğu ve en büyük kesitler talebi olan $36.14 \text{ kg}/m^2$ ile en son da yer aldığı görülmektedir. 3 metrelik modülde yine benzer bir durumda en düşük talep dörtgende buna takiben altıgen de ve son olarak üçgen modül geometrisinde yer almaktadır. 2 metrelik modül için baktığımız zaman yine bir önceki açıklıkta olduğu gibi yine dörtgen modül geometrisi $35 \text{ kg}/m^2$ ile üçgen modül geometrisinin %60'ına tekabül eden bir kesit ihtiyaç talebi ile en ideal form olduğu ortaya çıkmıştır.

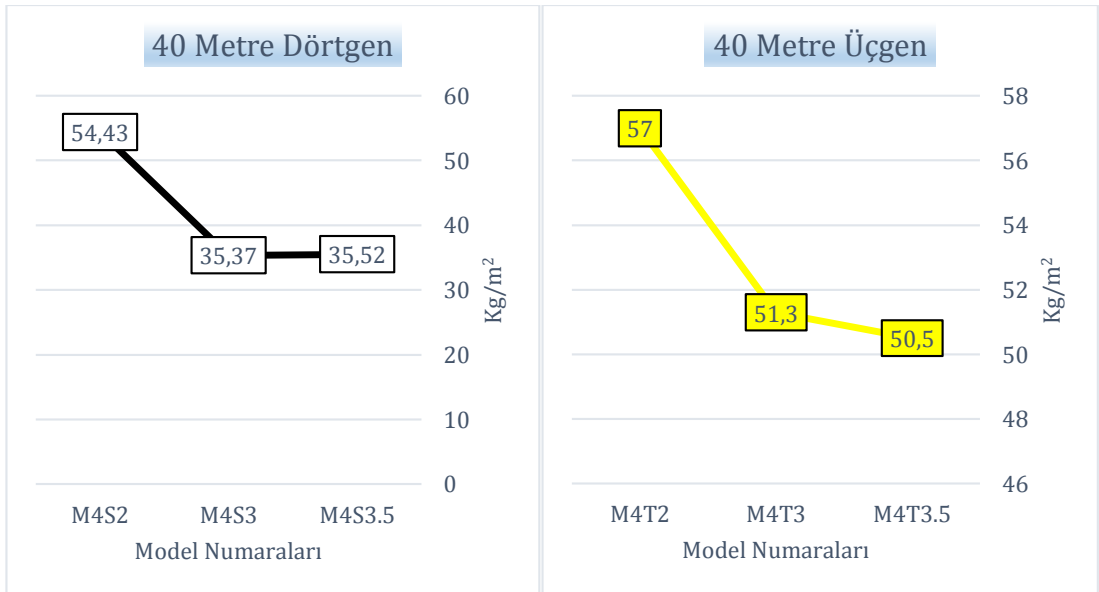
Şekil 6.12' de 30 metre açıklığa sahip sistemlerin bütün m^2 ağırlıkları birarada sunulmuştur.



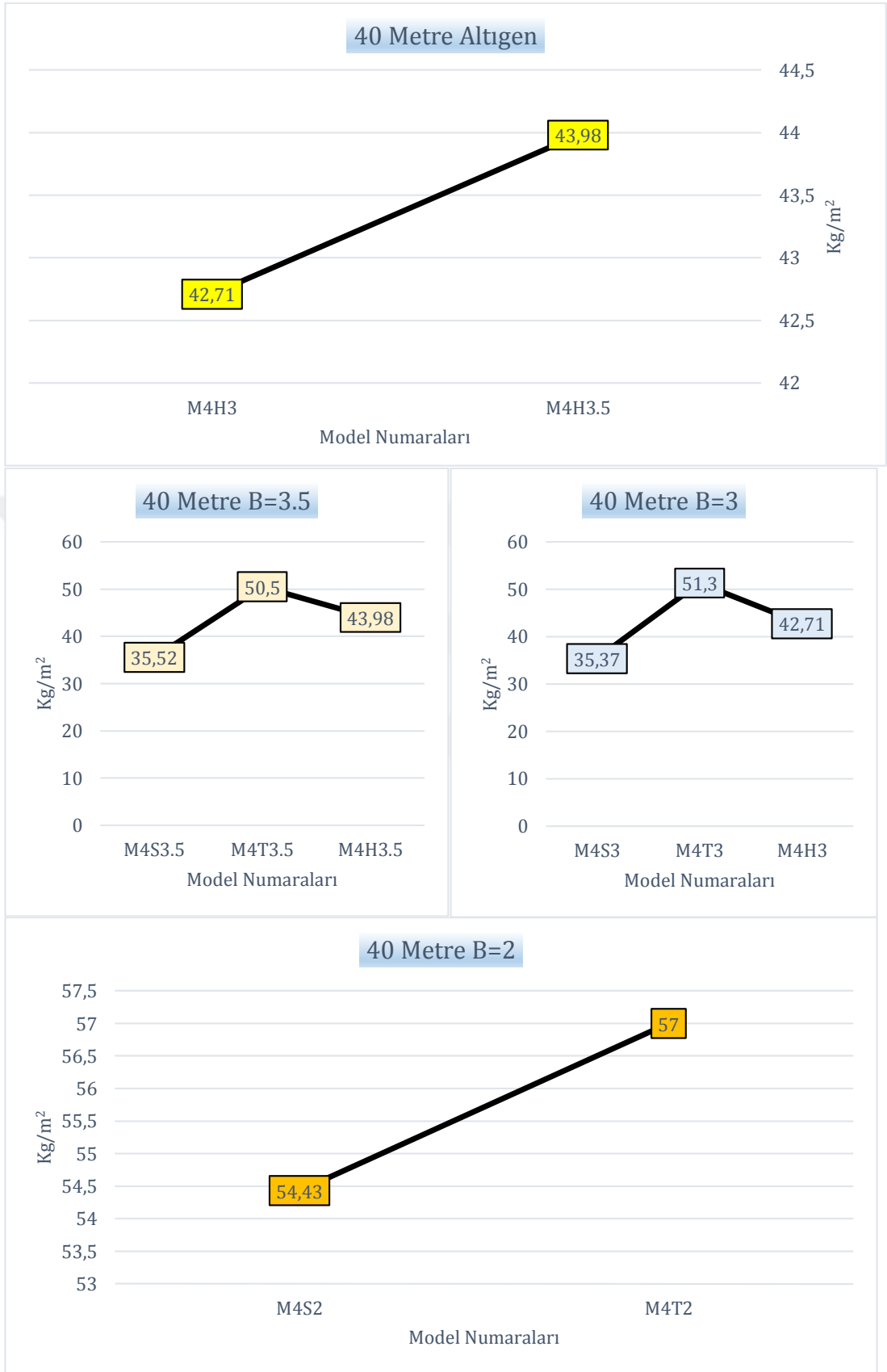
Şekil 6.12. 30 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması

Şekil incelendiğinde yine dörtgen modül geometrisine sahip tüm ızgara kabuk modellerinde ve tüm modül boylarında daha düşük sonuçlar verdiği buna takiben altıgen ve en son da üçgenin yer aldığı görülmektedir.

Açıklıkta 3.çalışma değeri olan 40 metrelik modeller için yapılan analizlere ait modül geometrileri ve modül boylarına göre elde edilen sonuçlara Şekil 6.13' de verilmiştir.



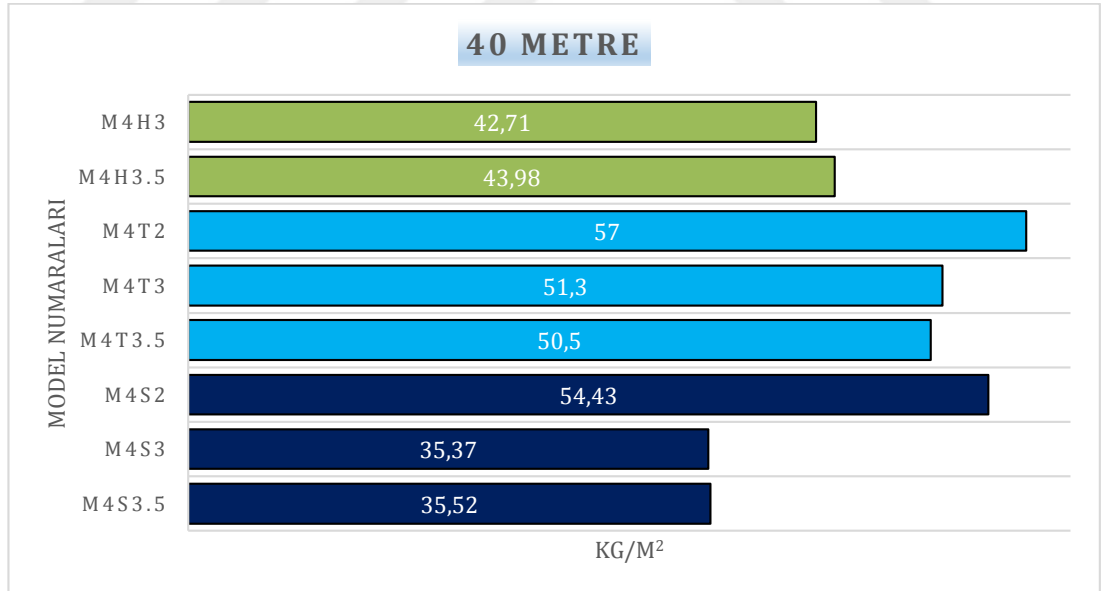
Şekil 6.13. 40 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık karşılaştırılması



Şekil 6.13. 40 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)

Şekildeki değerler incelendiğinde diğerlerinden farklı olarak 40 metrelik açıklıkta 3 metre ve 3.5 metre modül boyları dörtgen modül geometrisi için birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Aynı durum üçgen sistem içinde geçerlidir. Üçgen modül geometrisinde de modül boyunun en küçük olduğu 2 metrelik modül ağırlıkça en büyük talebi oluştururken 3 ve 3.5 metrelik modüller birbirine çok yakın sonuçlar vermiştir. Altıgen modülü incelediğimiz zaman bir önceki açıklıklarda olduğu gibi 3.5 metrelik modül boyu, 3 metrelik modül boyundan kesit talebi bulunmuş ama ikisi arasındaki göreceli fark azalmıştır. Açıklığın arttığı bu modellerde modül boyları 3 ve 3.5 metre için ideal sınırı yaklaştığı görülmektedir. 40 metrelik açıklık farklı modül geometrilerinde her bir modül boyunun kendi içlerindeki kıyaslamaları ait şekiller incelendiğinde diğer açıklıklarda olduğu gibi bu açıklık için tüm modül boylarında dörtgen tasarımın en az kesit talebinde bulunduğu buna takiben altıgenin ve üçgenin en büyük kesit talebinde bulunduğu görülmektedir.

Şekil 6.14’ de 40 metre açıklığa ait bütün veriler birlikte sunulmuştur.

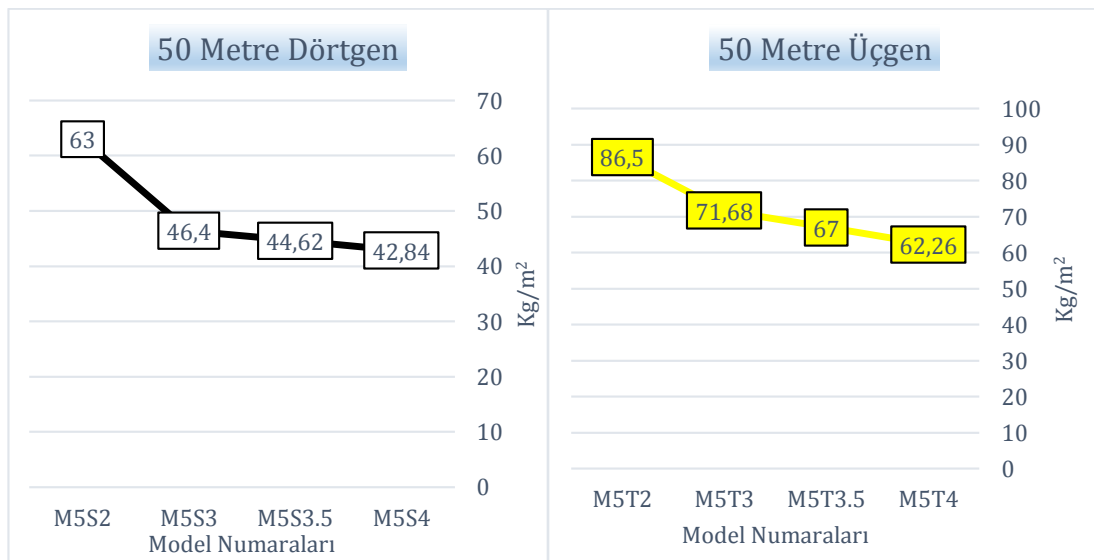


Şekil 6.14. 40 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m2 düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması

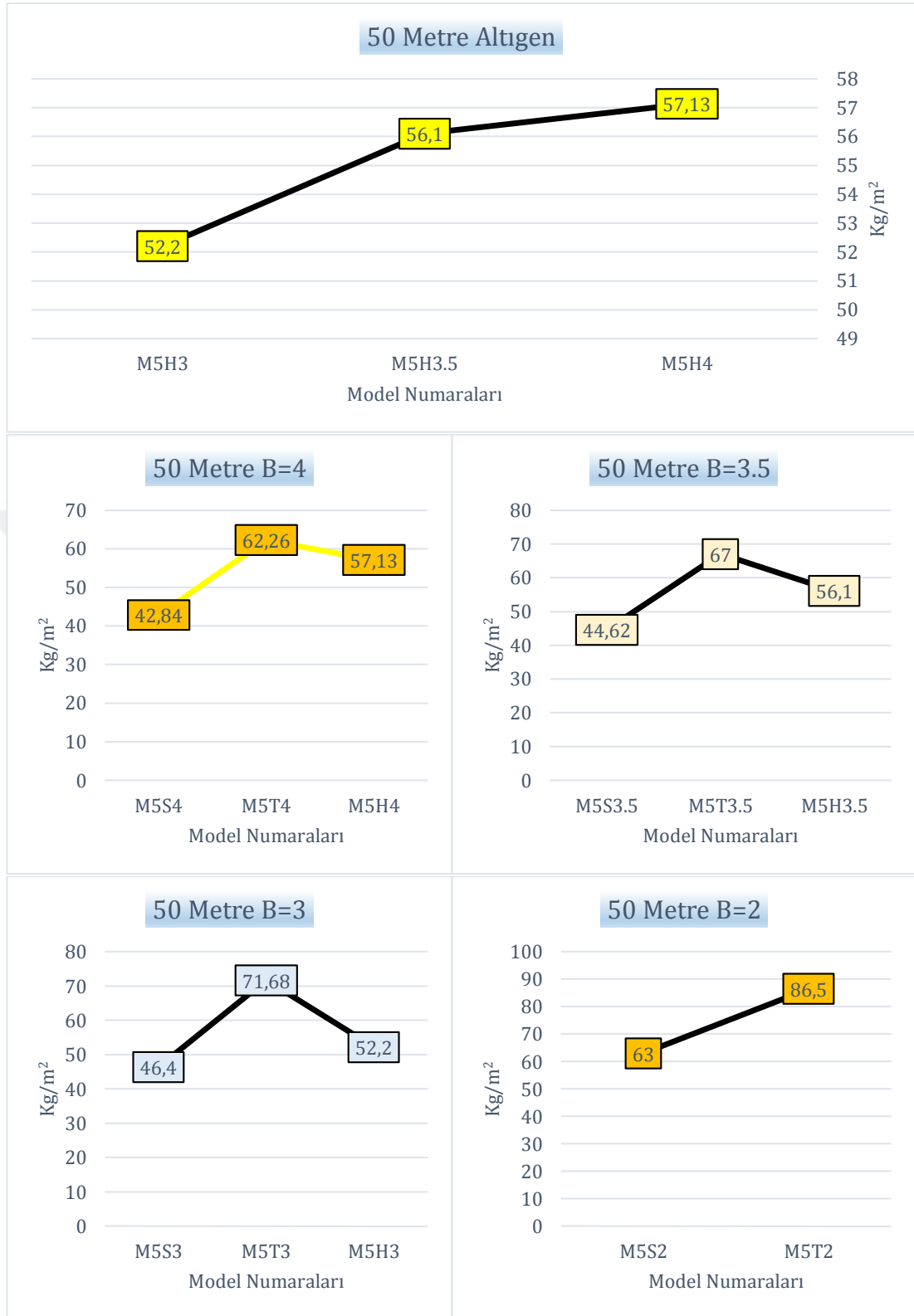
Bu şekil incelendiğinde analizi dikkate alınan bütün modül boylarında ile dörtgen modül geometrisine sahip tasarımların en az kesit talebi ile sonuçlandığı buna

takiben altıgen ve en ağır tasarımlarının üçgen modül geometrisinde elde edildiği görülmektedir.

Çalışmanın son açıklık değeri 50 metre için analiz edilmiştir. 50 metre açıklığa ait sonuçlar incelendiğinde açıklık artıkça modül boylarındaki değişim kesit talebi arasındaki göreceli fark azalmaktadır. Bu açıklıkta diğer açıklıklarda olduğu gibi en büyük kesit talebi 2 metrelik modül boyu için elde edilirken modül boyunun arttığı 3, 3.5 ve 4 metrelik durumlarda m^2 düşen ağırlıklar yine düşmüştür. Ancak bu modelde 3, 3.5 ve 4 metre arasındaki göreceli farklar azalmış ve ortalama 44 kg bandında sonuçlar alınmıştır. Üçgen modül geometrisi için elde edilen grafik incelendiğinde bu modelde yine en büyük kesit talebi 2 metrelik modül boyu için elde edilirken en küçük kesit talebi 4 metrelik modül boyu için oluşmuştur. En düşük kesit talebi diğer modellerde olduğu gibi 3 metrelik modül boyu için elde edilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan tüm analizlerde altıgen için elde edilen sonuçlarda 3 metrelik modül en düşük kesit talebi olarak karşımıza çıkmıştır. Modül boylarının farklı modül geometrileri kapsamındaki değerlendirmelerini incelediğimiz tablolara baktığımız zaman bu tablolara diğer açıklıklar ile paralel sonuçlar vermiştir. Tüm dörtgen modül boylarında en düşük kesit talebi ile karşımıza çıkarken, buna takiben altıgen ve en ağır kesit talebi üçgen modül geometrileri için oluşmuştur.



Şekil 6.15. 50 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m^2 düşen ağırlık karşılaştırılması

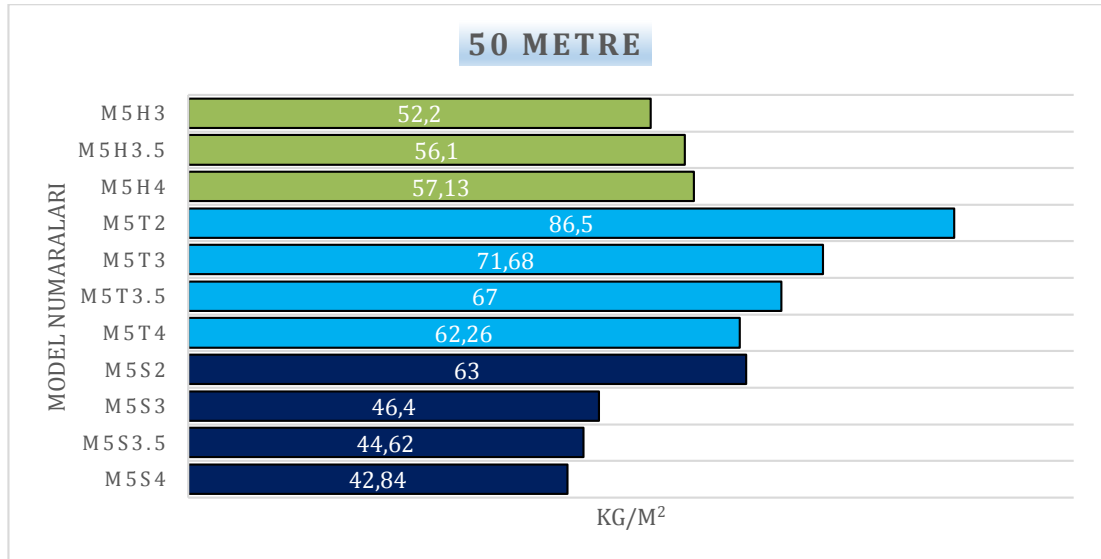


Şekil 6.15. 50 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m2 düşen ağırlık karşılaştırılması (Devam)

50 metre açıklığa ait sonuçlar incelendiğinde açıklık artıkça modül boylarındaki değişim kesit talebi arasındaki göreli fark azalmaktadır. Bu açıklıkta diğer

açıklıklarda olduğu gibi en büyük kesit talebi 2 metrelik modül boyu için elde edilirken modül boyunun arttığı 3, 3.5 ve 4 metrelik durumlarda m² düşen ağırlıklar yine düşmüştür. Ancak bu model de 3, 3.5 ve 4 metre arasındaki göreceli farklar azalmış ve ortalama 44 kg bandında sonuçlar alınmıştır. Üçgen modül geometrisi için elde edilen grafik incelendiğinde bu model de yine en büyük kesit talebi 2 metrelik modül boyu için elde edilirken en küçük kesit talebi 4 metrelik modül boyu için oluşmuştur. En düşük kesit talebi diğer modellerde olduğu gibi 3 metrelik modül boyu için elde edilmiştir. Bu çalışmada dikkate alınan tüm analizlerde altıgen için elde edilen sonuçlarda 3 metrelik modül en düşük kesit talebi olarak karşımıza çıkmıştır. Modül boylarının farklı modül geometrileri kapsamındaki değerlendirmelerini incelediğimiz tablolara baktığımız zaman bu tablolara diğer açıklıklar ile paralel sonuçlar vermiştir. Tüm dörtgen modül boylarında en düşük kesit talebi ile karşımıza çıkarken, buna takiben altıgen ve en ağır kesit talebi üçgen modül geometrileri için oluşmuştur.

50 metre açıklık için bütün modül geometrileri ve modül boylarının m² düşen ağırlıkları bütün olarak Şekil 6.16' da verilmiştir.



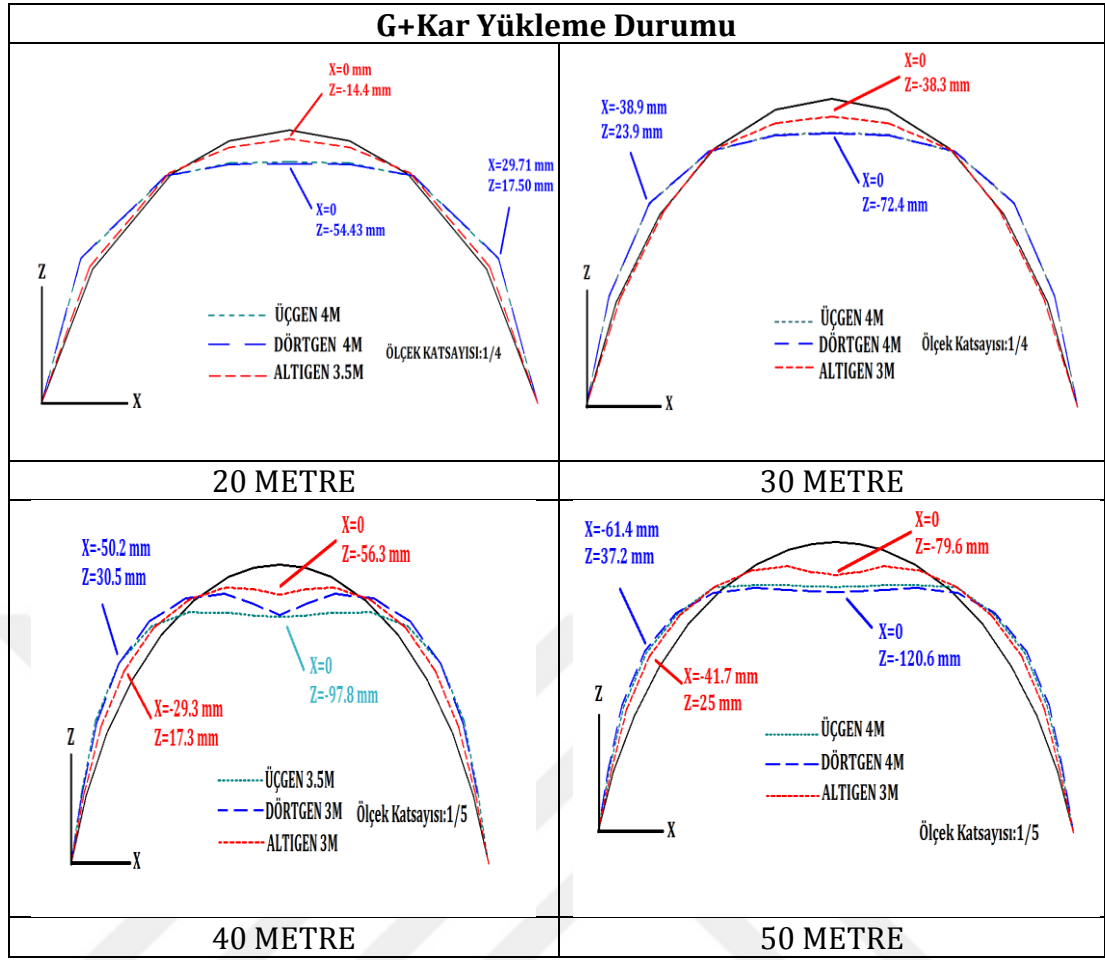
Şekil 6.16. 50 Metre açıklık için modül geometrisi ve boyu için m² düşen ağırlık bakımından genel karşılaştırılması

Bütün kesit değerlerinin bir arada sunulduğu şekil incelendiğinde diğer açıklıklarla özdeş sonuçlar karşımıza çıkmaktadır. Yine en düşük kesit talebi

dörtgen buna takiben altıgen ve en ağır kesit talebi üçgen modül geometrisinde elde edilmiştir. Diğer açıklıklar farklı olarak 50 metre açıklıkta dörtgen ve altıgen arasındaki göreceli fark azalmış birbirlerine daha yakın sonuç verdiği görülmektedir.

Yapılan analizler sonucunda bütün modeller için toplam m²'ye düşen ağırlıklar hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler neticesinde her açıklık adına dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrileri için optimum modül boyları belirlenmiştir. Belirlenen optimum modeller kaplama yükü, kar yükü, rüzgar yükü ve sismik yük durumlarını içeren yük kombinasyonları altında yapı davranışları incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında her açıklık içinde dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrilerinin optimum modül boyları için değerlendirilmiştir.

Sayısal olarak yapılan bu çalışmada farklı modül geometrileri ve farklı modül boylarının yapısal davranışa olan etkisini inceleyebilmek için optimum sayısal modellerin düşey ve yatay yer değiştirmeleri hesaplanmış ve karşılaştırılmalı olarak bu bölüm kapsamında sunulmuştur. Tüm karşılaştırma grafiklerinde ortaya çıkan yer değiştirmelerin anlaşılabilir olması için tüm grafikler altında yazan ölçek katsayıları kullanılarak görsel büyütme yapılmıştır. Bu kapsamda ilk olarak Şekil. 6.17' de düşey kar yükleri altında tüm modül geometrilerin 20, 30, 40 ve 50 metre açıklık için düşey yer değiştirmeleri sunulmuştur.

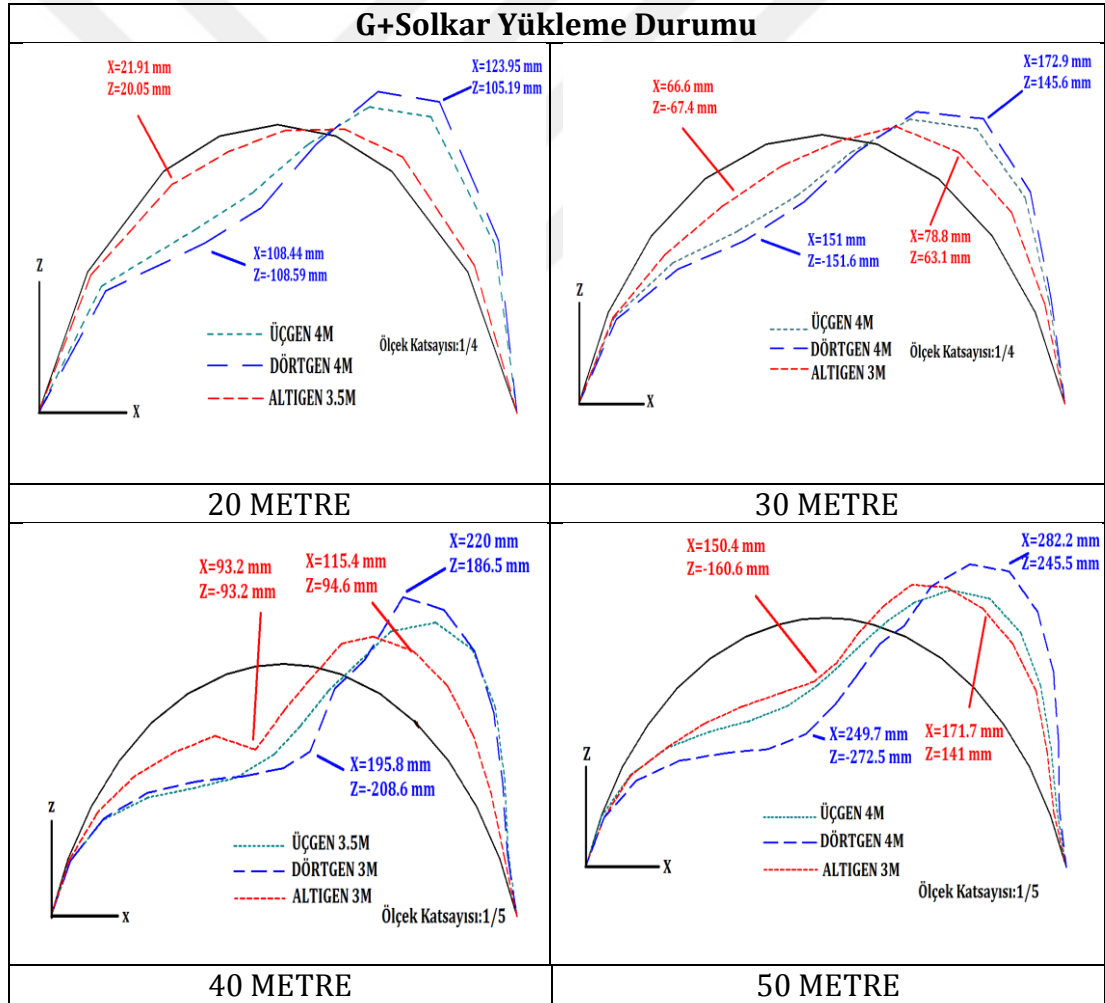


Şekil 6.17. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+Kar yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler

Kar yükleri altında düşey tüm kaplama yüzeyini m²'ye 120 kg kar yükü altında analiz edilmiştir. Bu analiz sonucunda elde edilen düşey yer değiştirmeye en büyük direnç gösteren modül geometrisinin altıgen modül geometrisinin olduğu görülmektedir. Analizlerde 20 ve 30 metrelik açıklıklarda dörtgen ve üçgen birbirine özdeş yer değiştirmeler ortaya koymuştur. Açıklığın arttığı 40 metrede altıgen ve dörtgen modül geometrileri üçgenden daha az yer değiştirmesine rağmen ortaya koydukları şekil değiştirmesi tonoz ortasında yoğunlaşmış bu da kesitin bütüncül yer değiştirmesini etkilemiştir. Özellikle dörtgen kesit de tonoz ortasında meydana gelen yer değiştirme olası göçme durumunda belirleyici olacak yönde deformasyonu etkilediği görülmektedir. Bu durum 50 metrelik için elde edilen grafikler de karşımıza çıkmaktadır. Bu grafiklerde altıgen modül geometrisinin ortaya koyduğu yer değiştirmelerin tonoz sistemindeki davranışın senkronize bir yer değiştirme değil kesit açıklık ortasında kırılmaya doğru şekil

alacak bir yer değiştirme meydana getirdiği ölçeklendirilmiş grafiklerde açıkça görülmektedir. Dörtgen ve altıgendeki bu durum modül geometrilerinin bir sonucudur. Bu durum özellikle bu modül geometrisinin kullanıldığı tasarımlarda birleşim noktalarının (açıklık kırılmak noktalarına denk gelen noktaları) gerilme analizlerinin dikkate bir şekilde yapılmasını ve bu noktalardaki literatürde genellikle soket tipi birleşimler dikkate alındığında gerilme dağılımlarının lineer sınırın çok altında bırakılması gerektiğini göstermektedir.

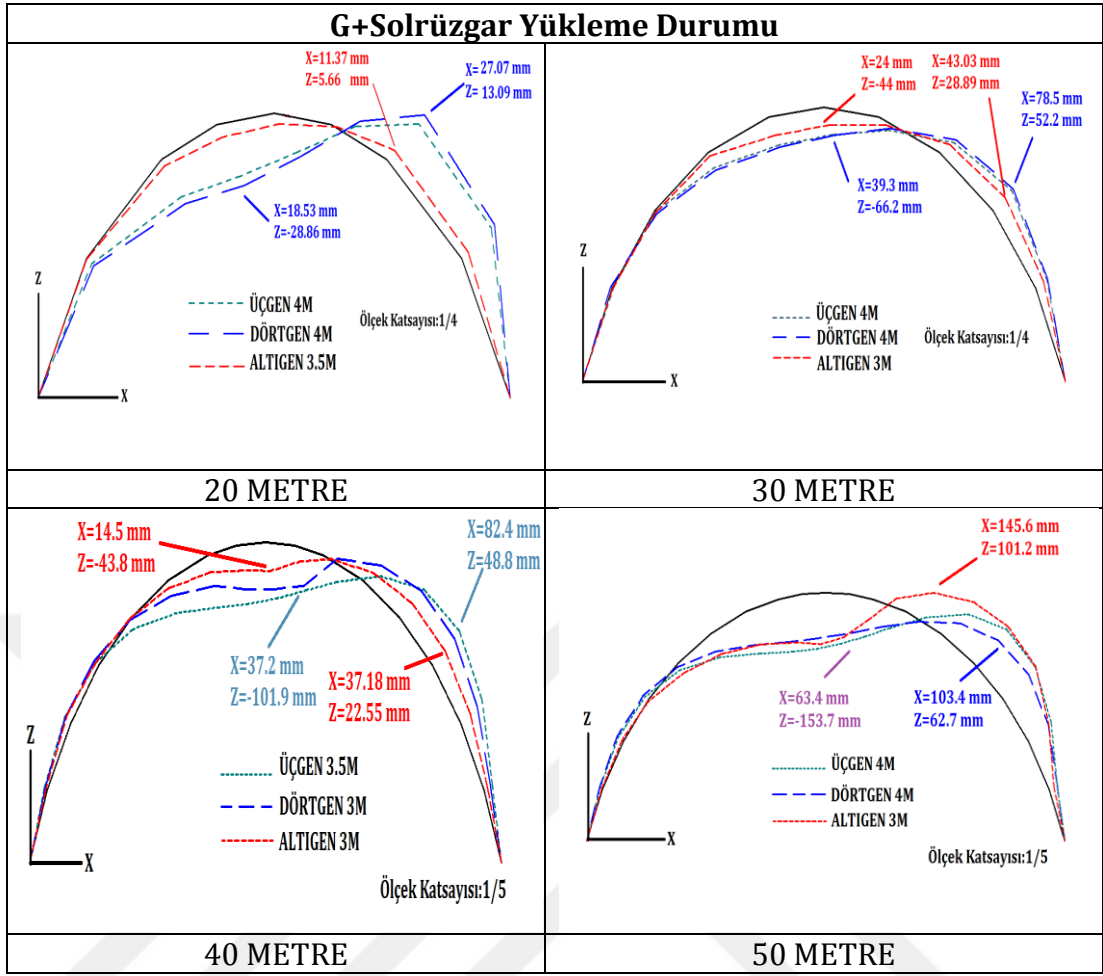
şekil 6.18' de sistemlerin bir tarafında kar yükünün yıkılma şeklinde sonuçlandığı diğer yönde kar yükünün olası dış etkiler altında tahliye edildiği durum göz önüne alınmıştır.



şekil 6.18. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+SolKar yükleme altında oluşan yer değiştirmeler

Bu duruma ait grafikler incelendiğinde tüm grafiklerde en düşük yer değiştirme talebi altıgen modül geometrisi için elde edilmiştir. 20 metre ve 30 metre de üçgen ve dörtgen modül geometrileri birbirine yakın yer değiştirmeler ortaya koyarken açıklığın arttığı 40 metrelik modellerde bir önceki açıklıkta olduğu altıgen ve dörtgen yapısal davranışı etkileyecek, göçmenin şeklini belirleyecek şekil değiştirmeler meydana gelmiştir. Ortaya çıkan maksimum şekil değiştirmeler kabuk davranışından ayrışarak belli noktalarda yoğunlaşmıştır. Bu durum bir önceki yükleme durumunda ifade edildiği gibi bu noktalara gelecek birleşim gerilme dağılımlarında dikkat edilmesi gereken sonuçlar ortaya koymaktadır. 50 metrelik açıklığa sahip tek taraflı kar yükleme durumu grafiği incelendiğinde keskin şekil değiştirmeler daha yumuşak geçişlerle sonuçlanmış bu durum açıklık artıkça tonozun temele yakın aldığı noktalarda desteği azalması bir sonucu olarak karşımıza çıkmaktadır.

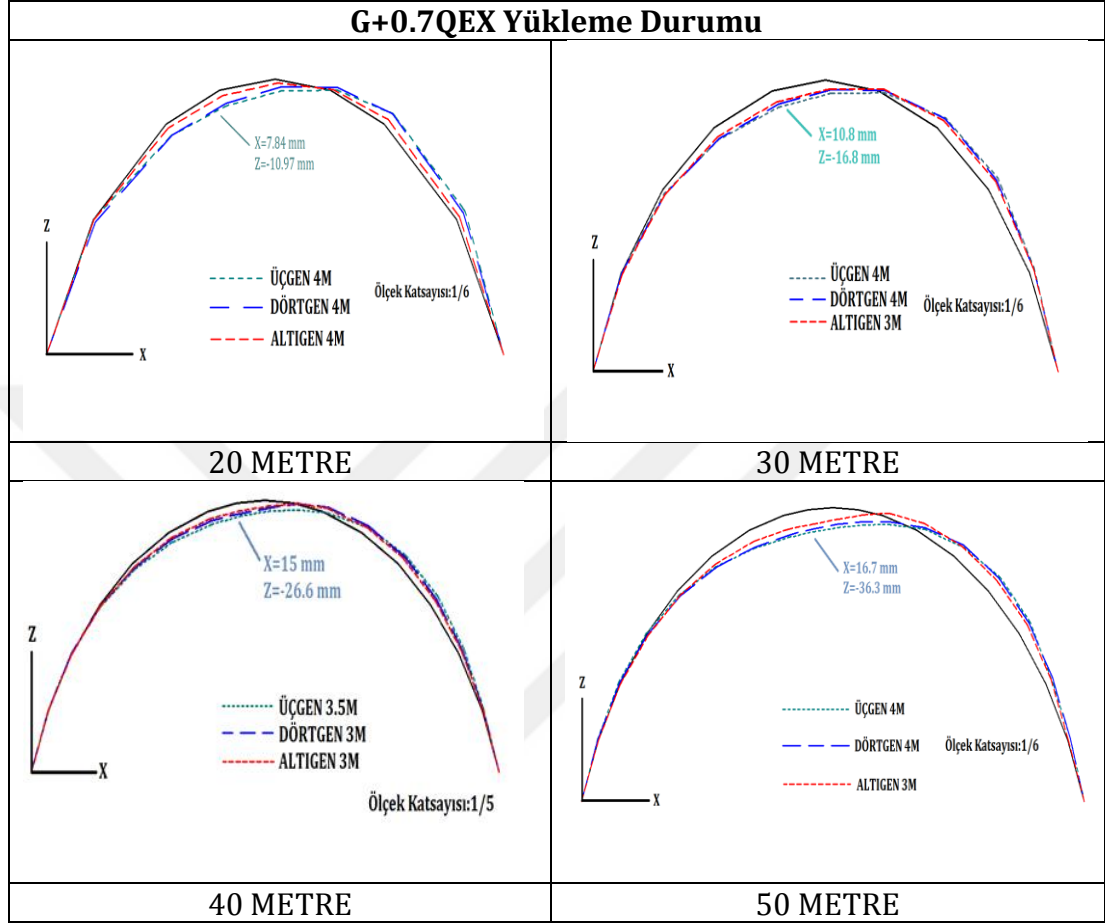
Çalışmada sistemin simetrik bir sistem olması sebebiyle rüzgâr yüklemeleri tek taraflı olarak dikkate alınmıştır. Bu kapsamda Euro-code 1-4 göre hesaplanan rüzgâr yükleri yapı yüksekliklerine göre değişen ölçülerde SAP2000 programı kullanılarak otomatik olarak hesaplanmış ve tanımlanan kabuk elemanlara etkitilmiştir. Şekil 6.19' da G+Solruzgar yükleme altında modellerde oluşan yer değiştirmelere yer verilmiştir.



Şekil 6.19. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+SolRüzgar yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler

Elde edilen grafiklerde tüm analizlerde olduğu gibi bu analizlerde de yer değiştirmeye karşı en dirençli modül geometrisinin altıgen olduğu, üçgen ve dörtgen modül geometrilerinin paralel sonuçlar verdiği görülmektedir. Yine bir önceki yükleme durumlarında olduğu gibi 40 ve 50 metrelik açıklıklarda ortaya koyan yer değiştirmeler olası göçmeye şekil verecek derecede belli noktalarda yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum diğer grafiklerde olduğu gibi altıgen ve dörtgen modül geometrisi için 40 metre açıklıkta belirgin şekilde ortaya konmuştur. 50 metrelik açıklıkta açıklığın artmasına mukabil tonoz sistemin temel sisteme yakın bölgelerdeki profillerin temel kaynaklı dayanım rijitliğindeki düşüş sebebiyle üst hat da yer alan profiller yer değiştirmeler modül geometrisinden etkilenmesi azalmıştır. Tüm modül geometrileri benzer bir yapısal davranış sergilemiştir.

Yapılan analizlerde son yükleme tipimiz deprem yüklemesi olup o da simetriden dolayı tek yönlü olarak uygulanmış. Şekil 6.20' de deprem kuvveti altında taşıyıcı sistemlerin yaptığı deplasmanlara yer verilmiştir.



Şekil 6.20. Tüm açıklıklar ve optimum modeller için G+0.7QEx yüklemesi altında oluşan yer değiştirmeler

Yapılan analizlerde son yükleme tipimiz deprem yüklemesi olup o da simetriden dolayı tek yönlü olarak uygulanmış. Deprem kuvveti yapı sistemi için yapı ağırlığı kaynaklı bir kuvvet olması sebebi ile ve tasarlanan yapıların hangar çelik yapılarda olduğu gibi kendi zati ağırlıklarının düşük seviyede olmasının bir sonucu olmasıyla hesaplanan deprem kuvvetleri etkin kuvvet konumunda değildir. Bu sebeple elde edilen tüm grafikler tüm modül geometrileri için benzer yer değiştirmeleri sergilerken bu arada da altıgen modül geometrisi diğer modül geometrilerine göre daha düşük yer değiştirme değerleri ile sonuçlanmıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez kapsamında ızgara kabuk çelik konstrüksiyon 20 ile 50 metre aralığında dörtgen, üçgen ve altıgen modül geometrileri için farklı modül boylarında tonoz tipi taşıyıcı sistemler oluşturulmuştur. Oluşturulan taşıyıcı sistem her bir açıklık için optimum modül geometrisi ve alt parametre olarak modül boyları için optimum taşıyıcı sistemler tespit edilmiştir.

Çalışmada modellenen taşıyıcı sistemler her bir açıklık ilk olarak m^2 'ye düşen ağırlıklar cinsinden karşılaştırılmıştır. Modül geometrileri kendi aralarında kıyaslanmıştır. Yapılan sayısal analizlerde her modül geometrisinin kendi içinde optimum modül boyları karşılaştırılmıştır. 20 ve 30 metre açıklık için en az kesit ihtiyacı duyan modül geometrisi dörtgen olmuştur. Dörtgen modül geometrisini üçgen, daha sonra ona çok yakın olan altıgen modül geometrisi takip etmiştir. 20 metre açıklık için üçgen ve altıgen modül geometrileri, dörtgen modül geometrisine göre yaklaşık %38-40 oranında göre fazla kesit ihtiyacı doğmuştur. Aynı durum 30 metre için de geçerlidir. Dörtgen modül geometrisinde, üçgen ve altıgen modül geometrilerine göre daha düşük kesit talebi oluşmuştur. Üçgen modül geometrisi yaklaşık %40, altıgen modül geometrisi ise yaklaşık %42'lik dörtgen modül geometrisinden, daha fazla kesit ihtiyacı oluşmuştur.

Açıklık arttıkça en az kesit ihtiyacı olan modül geometrisi değişmezken, açıklığın artmasıyla beraber altıgen modül geometrisi, üçgen modül geometrisine göre daha efektif bir çözüm sunmuştur. 40 metre açıklık için optimum modül boylarında üçgen modül geometrisi, dörtgen modül geometrisinden yaklaşık %43 daha fazla ağırlığa sahiptir. Dörtgen ve altıgen modül geometrileri kendi aralarında kıyaslandığında bu oran yaklaşık %21 oranına gerilemektedir. Son olarak 50 metre açıklık için bakıldığında, 40 metre açıklıkta olduğu gibi en optimum modül sırasıyla dörtgen, altıgen ve üçgen olmuştur. Üçgen modül geometrisi, dörtgen modül geometrisinden yaklaşık %45 oranında daha fazla kesit ihtiyacı varken altıgen modül geometrisinin ise %22 daha fazla kesit ihtiyacı vardır.

Bu çalışmada modellenen taşıyıcı sistemler optimum yapı ağırlıklarının yanında doğal titreşim periyotları ve kütle katılım oranları için karşılaştırılmıştır. Literatürde ve şartnamelerde özellikle dikkate alınması gereken sismik yükler altında %75 ve üzerinde kütle katılım elde edilmesi üzerinde durulmuştur. 20 metrede %75 ve üzerinde kütle katılım oranını en erken doğal titreşim periyodunda yakalan modül geometrisi üçgen olmuştur. 20 metre için üçgen modül geometrisini dörtgen daha sonra ise altıgen modül geometrisi onu takip etmiştir. 30 metre de ise 20 metrede olduğu gibi en erken %75 ve üzerinde kütle katılım oranını sağlayan modül geometrisi üçgen olmuştur. Fakat 30 metre açıklık için 20 metre açıklığın aksine üçgen modül geometrisini altıgen modül geometrisi takip etmiştir. 30 metre için en geç kütle katılım oranını sağlarken modül geometrisi dörtgen olmuştur.

40 ve 50 metrelik açıklıklarda önceki açıklıklarda olduğu gibi üçgen %75'lik kütle katılım oranını en erken sağlayan modül geometrisi olmuştur. 20 ve 30 metre açıklığın ardından açıklık artıkça dörtgen ve altıgen modül geometrilerinin %75 ve üzerinde kütle katılım oranını sağlandığı mod adeti birbirine yaklaşmıştır. Çalışma da kar, rüzgar ve sismik yükler altında incelemeler yapılmıştır. Yapılacak çalışmalar bu kapsamda genişletilebilir.

KAYNAKLAR

- Abedi, K., Fard, M. F. Samavati, O., 2015. Stability Analysis of Lattice Single-Layer Barrel Vault Considering the Effects of Purlins. Amsterdam, IASS 2015 Amsterdam Symposium: Future Visions.
- Akyürek, M. E., 2020. Hiperbolik Paraboloidlerin Yapı Endüstrisindeki Yeri. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 142s, İstanbul.
- Architectural Membrane Association, 2018. Erişim Tarihi:6.10.2021
<https://www.amaforum.com/material-and-details/pvc-pes/>
- Barnes, M., Dickson, M., 2000. Widespan Roof Structures. 1. dü. Thomas Telford. 328s. London.
- Cai, J., Yixiang X., Wang, F., Feng, J., Zhang, J., 2011. A Computational Study Of The Static and Dynamic Response Of A Hybrid Barrel Vault Structure. Advance Steel Construction, 8(4), 317-330.
- Chilton, J., 2000. Space Grid Structures. Architectural Press, 180s, Oxford.
- Demirbaş, B., 2019. Büyük Açıklı Yapıların Tarihsel Gelişim Süreci Ve Ahşap Kabuk Sistemlerin Yapısal Özellikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 152 s , İstanbul.
- El-Sheikh, A., 2001. Configurations of Single-layer Barrel Vaults. Advances in Structural Engineering, 4(2), 53-64.
- EN 1991 1-4, 2005,Eurocode 1 Actions on structures - Part 1-4 General actions Wind actions, European Committee for Standardization, Brussels
- El-Sheikh,, A., 2002. Effect of Geometric Imperfections on Single-Layer Barrel Vaults. International Journal of Space Structures, 17(4), 271-283.
- El-Sheikh, A., 2001. Performance of Single-layer Barrel Vaults with Different Configurations. International Journal of Space Structures, 16(2), 111-123.
- EtnaYapı,2018.ErişimTarihi:20.12.2021
<http://www.etnayapi.com/Urunlerimiz.asp>
- Kara, T., 2019. Tek Tabakalı Kubbelerin Taşıyıcı Sistemlerinin Yönetmelikler Açısından Değerlendirilmesi. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 92 s, İstanbul.
- Kaveh, A. & Mirzaei, B., 2014. Shape Size Optimization Of Single-layer Barrel Vaults Using Improved. International Journal of Civil Engineering, 12(4), 447-465.

- Khalili, R. Poursha, M., 2018. Investigation of Single-Layer Barrel Vault Under the Horizontal Earthquake. 11th International Congress on Civil Engineering, 8-10 Mayıs, Tahrn,
- Khalili, R., Poursha, M. Abedi, K., 2020. Behavior factor and displacement amplification factor for the seismic. Journal of Constructional Steel Research, 169, 105987.
- Knippershelbig, 2021. Erişim Tarihi: 14.11.2021
<https://www.knippershelbig.com>
- Koç, S., 2020. Ahşap Izgara Kabuk Strüktürlerin İncelenmesi. Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 98s, İstanbul.
- Lacittanuda, 2018. Erişim Tarihi: 06.01.2022
<https://lacittanuda.wordpress.com/2015/12/10/nir-sivan-un-architetto-israeliano-tra-italia-e-brasile/>
- L'Informatiu blog, 2018. Erişim Tarihi: 3.11.2021
<https://informatiu.apabcn.com/blog/gridshells/>
- Makowski, Z. S., 1972. Space Structures. Amsterdam, International Association for Bridge and Structural Engineering. Zurich, 127-149.
- Makowski, Z. S., 2006. Analysis, Design and Construction of Braced Barrel Vaults. . Taylor & Francis, 477s, Guildford UK.
- Metal Yapı, 2021. Erişim Tarihi: 7.10.2021
<https://www.metalyapi.com/project-detail.html?2131&ref>
- Naicu, D., 2012. Geometry and Performance of Timber Gridshells. The University of Bath Department of Architecture and Civil Engineering. Bath, 97s.
- Orbay, A. Savaşır, K., 2014. TonoZ Biçimli Çift Katlı Uzay Kafes Sistemlerin Çeşitli Kriterler Açısından Etkinliğinin Karşılaştırılmasına Yönelik Bir Araştırma. DEÜ Fen ve Mühendislik Dergisi, 6(1), 39-49.
- Özüer, Ç., 2020. Modern Yapı Kabuklarının Geometrik Tasarımı Ve Uygulanması. Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 144s, İzmir.
- Pathak, M. K. Shah, B. J., 2010. Buckling Strength of Single-Layer Steel Braced. Nirma University Journal Of Engineering And Technology, 1(1).
- Schlaich bergermann, 2021 Erişim Tarihi: 20.12.2021
<https://www.sbp.de/projekt>

- Seele, 2021. Erişim Tarihi: 8.11.2021
<https://seele.com/facades/steel-glass-design>
- Seifi, H., Javana, A. R., Xu S., Zhao, Y., Xie, Y. M. 2018. Design Optimization And Additive Manufacturing Of Nodes İn Gridshell. Engineering Structures, Cilt 160, 161-170.
- Sheidaii, M. R., Babaei, M. Bayrami, S., 2013. Collapse Behavior of Single-Layer Space Barrel Vaults under Non-Uniform. International Journal of Steel Structures, 13(4), 723-730.
- Sun, G., Wu, M., Chen, Z. Xue, S., 2019. Numerical and Experimental Investigation of the Mechanical Behavior of Cable-Supported Barrel Vault Structures with Varying Temperature. Advances in Civil Engineering, Vol 2019, 572196.
- Talatahari, S. Jahani, Y., 2015. Hybrid Charged System Search - Particle Swarm Optimization For Design Of Single-layer Barrel Vault Structure. Asian Journal of Civil Engineering, 16(4), 515-533.
- Tensaform, 2021. Erişim Tarihi: 14.12.2021
<http://www.tensaform.com/tr/projeler/tamamlanmis-projelerimiz/>
- Türkçü, H. Ç., 2003. Çağdaş Taşıyıcı Sistemler. Birsen yayınları. 347s, İstanbul.
- Vardar Öz, Ö. M., 2012. Tek Tabakalı Uzay Kafes Sistemlerin Tasarımı. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 178s, İstanbul.