

**DOKUZ EYLÜL ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DALGAKIRANLARIN KORUYUCU**  
**TABAKALARINDA KULLANILAN ÖZEL BETON**  
**BLOKLARIN YAPISAL ANALİZİ**

**Saadettin AKMAN**

**Ağustos, 2020**  
**İZMİR**

**DALGAKIRANLARIN KORUYUCU  
TABAKALARINDA KULLANILAN ÖZEL BETON  
BLOKLARIN YAPISAL ANALİZİ**

**Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Yüksek Lisans Tezi**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Hidrolik - Hidroloji ve Su Kaynakları  
Programı**

**Saadettin AKMAN**

**Ağustos, 2020**

**İZMİR**

## YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

SAADETTİN AKMAN tarafından PROF. DR. YALÇIN ARISOY yönetiminde hazırlanan “DALGAKIRANLARIN KORUYUCU TABAKALARINDA KULLANILAN ÖZEL BETON BLOKLARIN YAPISAL ANALİZİ” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Yalçın ARISOY

Yönetici

Doç. Dr. Mustafa DOĞAN

Jüri Üyesi

Dr. Öğr. Üyesi Bergüzar ÖZBAHÇECİ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Özgür ÖZÇELİK

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim süresince bana her zaman yol gösterici olan, birlikte çalışmaktan çok keyif aldığım tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Yalçın ARISOY'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince benden hiçbir bilgi ve tecrübeyi esirgemeyen değerli hocalarım ve okul arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında olduğu gibi yüksek lisans eğitimim süresince de yanımda olan değerli aileme ve tüm sevdiklerime bir teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmamı 2017 kasım ayında kaybettiğim değerli annem Nilgün Suzan AKMAN'a ithaf ederim.

Saadettin AKMAN

# DALGAKIRANLARIN KORUYUCU TABAKALARINDA KULLANILAN ÖZEL BETON BLOKLARIN YAPISAL ANALİZİ

## ÖZ

Kıyı koruma yapılarının dış koruyucu tabakalarında kullanılan özel beton blokların hidrolik stabilite değerleri dalgakıran tasarımı için önemlidir. Koruyucu bir birimin (taş veya beton blok)  $K_D$  stabilite katsayısı dalgakıran tasarımındaki en önemli tasarım parametrelerinden biri olup etkiyen dalga özelliklerinden yapı özelliklerine kadar çok sayıda parametreye bağlı olarak değişmektedir. Stabilite katsayısını etkileyen önemli unsurlardan biri de koruyucu birimin geometrisi, yani fiziksel formudur.

Hidrolik stabilite ile yapısal stabilite blokların sahip oldukları geometriye göre birbirleriyle zıt yönde değişim gösterirler. Basit formlarda bulunan blokların dalgaya dirençleri, yani hidrolik stabiliteleri az; buna karşılık düzenli geometride olmaları nedeniyle yapısal stabiliteleri fazladır. Blok geometrisi karmaşık olmaya başladıkça daha narin yapıya dönüşmeleri nedeniyle yapısal stabilitelerinin azaldığı ve buna karşın blokların birbirleri ile kenetlenmeleri, dolayısıyla hidrolik stabilitelerinin arttığı gözlenmektedir. Kıyı mühendisliği esasları yapının istenilen amaca hizmet etmesi yanında yeteri ölçüde sağlamlığı da önermektedir. Bu nedenle hidrolik stabilite ile yapısal stabilite arasındaki çelişki, konuyu bir optimizasyon problemine dönüştürmektedir.

Bu tez çalışmasında yaygın olarak kullanılan yedi tür özel beton blok (Küp, Antifer, Tetrapod, Dolos, Accropode, Coreloc, Xbloc) için hidrolik stabilite ve yapısal stabilite ilişkisi irdelenmiştir. Seçilen beton blokların yapısal stabilitelerinin analizi, farklı beton blokların hidrolik ve yapısal stabilitelerini birlikte değerlendiren karşılaştırmalı bir analiz olarak yapılmıştır. Sonuç olarak hiçbir blok türünün hem hidrolik hem de yapısal olarak tam performans gösteremediği ve bu konuda araştırma yapılmasının gerekliliği anlaşılmaktadır.

**Anahtar kelimeler:** Dalgakıran tasarımı, yapısal bütünlük, hidrolik stabilite, beton blok, karşılaştırmalı analiz

# STRUCTURAL ANALYSIS OF SPECIAL CONCRETE BLOCKS USED IN THE ARMOR LAYERS OF BREAKWATERS

## ABSTRACT

The hydraulic stability of special concrete blocks used in the armor layers of shore protection structures is important for the breakwater design. The  $K_D$  stability coefficient of a protective unit (rock or concrete block) is one of the most important design parameters in the design of the breakwater, and it varies depending on a large number of parameters, from the effecting wave characteristics to the structure characteristics. One of the important factors affecting the stability coefficient is the geometry of the armor unit.

Hydraulic stability and structural stability vary in the opposite direction with respect to the geometry of the blocks. Wave resistance of the blocks in simple forms, i.e. hydraulic stability is less, but structural stability is higher due to their simple geometry. As the geometry of the block starts to become complex, it is observed that the structural stability decreases as they turn into a more slender structure, whereas the hydraulic stability increases due to the interlocking of the blocks. The principles of coastal engineering suggest that the structure serves the intended purpose as well as sufficient strength. Therefore, the contradiction of hydraulic stability and structural stability turns the issue into an optimization problem.

In the thesis study, seven types of blocks (Cube, Antifer, Tetrapode, Dolos, Accropode, Coreloc, Xbloc) commonly used in practice were examined for the relationship between hydraulic stability and structural stability. The structural stability analysis of selected concrete blocks was completed as a comparative analysis of the hydraulic and structural stability of different concrete blocks was carried out. As a result, it is shown that no block type have full performance both as hydraulically and structurally, and this issue needs further research.

**Keywords:** Breakwater design, structural integrity, hydraulic stability, concrete block, comparative analysis

## İÇİNDEKİLER

|   | Sayfa     |
|---|-----------|
| YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU .....  | ii        |
| TEŞEKKÜR.....   | iii       |
| ÖZ .....  | iv        |
| ABSTRACT.....   | v         |
| ŞEKİLLER LİSTESİ .....  | viii      |
| TABLolar LİSTESİ.....   | xi        |
| <b>BÖLÜM BİR - GİRİŞ.....</b>   | <b>1</b>  |
| <b>BÖLÜM İKİ - MEVCUT ARAŞTIRMALAR .....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1 Dalgakıran tasarımına ilişkin mevcut çalışmalar .....   | 4         |
| 2.2 Dış koruyucu tabaka birimlerinin stabilitelere ilişkin çalışmalar.....  | 15        |
| <b>BÖLÜM ÜÇ - DALGAKIRAN KORUYUCU TABAKALARININ HİDROLİK STABİLİTESİ .....</b>  | <b>24</b> |
| <b>BÖLÜM DÖRT - KORUYUCU BETON BLOKLARIN YAPISAL STABİLİTELERİNİN BELİRLENMESİ .....</b>                              | <b>31</b> |
| 4.1 Bilgisayar kullanılmadan yapılan değerlendirmeler ( Laboratuvar ve saha çalışması ile yapılan belirlemeler) ..... | 31        |
| 4.2 Sonlu elemanlar yazılımları ile yapısal stabilitenin belirlenmesi.....  | 35        |
| <b>BÖLÜM BEŞ - KORUYUCU BETON BLOKLARIN YAPISAL STABİLİTE ANALİZİ.....</b>  | <b>38</b> |
| 5.1 Modellerin oluşturulması .....  | 39        |
| 5.2 Analizlerin yapılması .....   | 41        |
| 5.2.1 Küp analizi.....  | 45        |

|  |           |
|--|-----------|
| 5.3.2 Antifer analizi .....  | 46        |
| 5.3.3 Tetrapod analizi .....   | 47        |
| 5.3.4 Dolos analizi .....  | 48        |
| 5.2.5 Accropode analizi .....  | 50        |
| 5.2.6 Coreloc analizi .....  | 51        |
| 5.2.7 Xbloc analizi .....  | 53        |
| <b>BÖLÜM ALTI - HİDROLİK VE YAPISAL STABİLİTELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ .....</b> | <b>56</b> |
| <b>BÖLÜM YEDİ - SONUÇ VE ÖNERİLER .....</b>                                    | <b>72</b> |
| <b>KAYNAKLAR .....</b>   | <b>75</b> |
| <b>EKLER.....</b>  | <b>80</b> |
| EK-1: Eski analiz çalışması (1) .....  | 80        |
| EK-2: Eski analiz çalışması (2) .....  | 85        |



## ŞEKİLLER LİSTESİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 Tipik taş dolgu dalgakıran enkesiti .....                               | 4            |
| Şekil 2.2 Dalga tırmanması ve çekilmesi .....                                     | 8            |
| Şekil 2.3 Topuk koruma stabilite sayısı .....                                     | 9            |
| Şekil 2.4 Aşınma sonrası dalgakıran profili .....                                 | 10           |
| Şekil 2.5 Koruyucu tabakalarda kullanılan özel beton bloklar .....                | 11           |
| Şekil 2.6 Küp.....  | 11           |
| Şekil 2.7 Antifer .....   | 12           |
| Şekil 2.8 Tetrapod .....  | 12           |
| Şekil 2.9 Dolos .....   | 13           |
| Şekil 2.10 Accropode .....  | 13           |
| Şekil 2.11 Coreloc .....  | 14           |
| Şekil 2.12 Xbloc .....  | 14           |
| Şekil 2.13 Bazı koruyucu beton tiplerinin sınıflandırılması .....                 | 15           |
| Şekil 2.14 Koruyucu beton blokların farklı türleri ve özellikleri.....            | 16           |
| Şekil 2.15 Çekme gerilmesi karşılaştırması için mesnet ve yükleme koşulları ..... | 17           |
| Şekil 2.16 Parça ucu yüklemesi .....  | 17           |
| Şekil 2.17 Parça merkezi yüklemesi .....  | 18           |
| Şekil 2.18 Burulma ve eğilme birleşimi.....                                       | 18           |
| Şekil 2.19 Sabit çekme yüklemesi durumunda çekme gerilmesi analizi .....          | 19           |
| Şekil 2.20 Sonlu elemanlar analizinde maksimum çekme gerilmesi kıyaslaması ....   | 19           |
| Şekil 2.21 Numerik çalışmada kullanılan sonlu eleman modelleri.....               | 21           |
| Şekil 2.22 “Eğilme I” ve “Eğilme II” durumları .....                              | 21           |
| Şekil 2.23 Burulma yüklemesi durumu.....  | 22           |
| Şekil 2.24 Eğilme ve burulma birleşimi yükleme durumu .....                       | 22           |
| Şekil 2.25 Sonlu elemanlar yöntemi çalışması sonuçları .....                      | 23           |
| Şekil 3.1 Kuvvet diyagramı .....  | 25           |
| Şekil 4.1 Koruyucu birime etki eden kuvvetler .....                               | 31           |
| Şekil 4.2 Benzerlik yaklaşımı .....   | 32           |
| Şekil 4.3 Düşürme ve çarpma deneyleri .....                                       | 33           |
| Şekil 4.4 Aynı dönüş açısındaki Doloslar için eş gerilme eğrileri.....            | 34           |

|  |    |
|--|----|
| Şekil 4.5 “Static Structural” arayüzü .....  | 35 |
| Şekil 4.6 “Engineering Data” ekranı .....  | 36 |
| Şekil 4.7 “Space Claim” arayüzü .....  | 36 |
| Şekil 4.8 Statik yapısal analiz ekranı .....   | 37 |
| Şekil 5.1 Tekil yük kullanılarak yapılmış bir analiz .....   | 44 |
| Şekil 5.2 Yayılı yük kullanılarak yapılmış bir analiz.....   | 44 |
| Şekil 6.1 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....    | 59 |
| Şekil 6.2 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....     | 59 |
| Şekil 6.3 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....     | 60 |
| Şekil 6.4 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması ..... | 60 |
| Şekil 6.5 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....  | 61 |
| Şekil 6.6 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....  | 61 |
| Şekil 6.7 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....     | 62 |
| Şekil 6.8 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....      | 62 |
| Şekil 6.9 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....      | 63 |
| Şekil 6.10 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması ..... | 63 |
| Şekil 6.11 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....  | 64 |
| Şekil 6.12 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması .....  | 64 |
| Şekil 6.13 Küp-Tetrapod-Xbloc örneklerinde köşeleri kopmuş beton bloklarda çekirdek kısımların boyutları.....                            | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Şekil 6.14 Bir köşesi kopmuş Küp beton blok.....                            | 68 |
| Şekil 6.15 Kopan parça durumuna göre dalgaya karşı dayanımın değişimi ..... | 70 |



## TABLULAR LİSTESİ

|   | <b>Sayfa</b> |
|---|--------------|
| Tablo 2.1 Kısa ve uzun dönem istatistiklerinin karşılaştırılması .....                | 5            |
| Tablo 2.2 Ocak taşı için hasar seviyelerinin sınıflandırılması .....                  | 7            |
| Tablo 2.3 Çok tabakalı beton bloklar için hasar seviyelerinin sınıflandırılması ..... | 8            |
| Tablo 2.4 Sonlu elemanlar yöntemi statik gerilme karşılaştırması .....                | 20           |
| Tablo 3.1 Ocaktaşı için $K_D$ stabilite katsayıları .....                             | 27           |
| Tablo 3.2 Özel beton bloklar için $K_D$ stabilite katsayısı değerleri .....           | 27           |
| Tablo 3.3 Özel beton bloklara için stabilite formülleri .....                         | 30           |
| Tablo 5.1 Blok modelleri ve görüntüleri .....   | 40           |
| Tablo 5.2 C20 sınıfı donatısız betonun mekanik özellikleri .....                      | 41           |
| Tablo 5.3 Sonlu elemanlarına ayrılmış modellere ilişkin bilgiler .....                | 42           |
| Tablo 5.4 Küp analizi .....   | 45           |
| Tablo 5.5 Antifer analizi (1) .....   | 46           |
| Tablo 5.6 Antifer analizi (2) .....   | 47           |
| Tablo 5.7 Tetrapod analizi .....  | 48           |
| Tablo 5.8 Dolos analizi .....   | 49           |
| Tablo 5.9 Dolos'un dikey kesit görüntüleri .....                                      | 49           |
| Tablo 5.10 Dolos burulma analizi .....  | 50           |
| Tablo 5.11 Accropode analizi .....  | 51           |
| Tablo 5.12 Accropode'un dikey kesit görüntüleri .....                                 | 51           |
| Tablo 5.13 Coreloc analizi .....  | 52           |
| Tablo 5.14 Coreloc'un dikey kesit görüntüleri .....                                   | 52           |
| Tablo 5.15 Coreloc burulma analizi .....  | 53           |
| Tablo 5.16 Xbloc analizi (1) .....  | 54           |
| Tablo 5.17 Xbloc'un dikey kesit görüntüleri (1) .....                                 | 54           |
| Tablo 5.18 Xbloc analizi (2) .....  | 55           |
| Tablo 6.1 Analizlerin karşılaştırılması .....   | 56           |
| Tablo 6.2 $m=2$ şev eğimi katsayısı için $K_D$ stabilite katsayıları .....            | 58           |
| Tablo 6.3 Hidrolik stabilitelere karşı gelen dalga yüksekliği (H) değerleri .....     | 68           |
| Tablo 6.4 Kopan parçalara göre beton bloklarda geriye kalan hacimler .....            | 69           |
| Tablo 6.5 Kopan parçalara göre $K_D$ katsayısının değişimleri .....                   | 70           |

## BÖLÜM BİR

### GİRİŞ

Denizcilik, deniz ile ilgili tüm uğraşlara verilen genel bir isimdir. Genellikle deniz taşıtlarında seyahat, gemi işletmeciliği ve deniz sporları için kullanılmaktadır. Denize kıyısı bulunan ülkelerde hem bölgesel hem de ulusal ekonomiye büyük katkı sağlayan limanlar çeşitli kıyı yapısı ve tesislerden oluşmuştur. Limanları açık deniz etkilerinden koruyan dalgakıranlar limanların önemli unsurlarından biridir.

Dalgakıranlar malzeme, deniz ve kıyı koşulları, makine parkı vb. etmenlere bağlı olarak şevli yüzlü, düşey yüzlü veya kompozit olarak inşa edilmektedir. Ülkemizde en yaygın olarak kullanılan dalgakıran türü şevli yüzlü dalgakıranlardır. Şevli yüzlü dalgakıranlar açık deniz dalga etkilerine karşı koyabilmeleri için dış koruyucu tabakalarında yüksek tonajlı, nitelikli ocak taşlarını gerektirmektedir. Bu yüzden küçük bir dalgakıran inşasında bile binlerce ton ocak taşına ihtiyaç duyulmakta ve stabilite için istenen taş ağırlığı sağlanamamaktadır. Ayrıca büyük miktarlarda nitelikli ocak taşı ihtiyacı çok sayıda taş ocağı işletme talebini, dolayısıyla çevresel sorunları doğurmaktadır. Günümüzde ise taş ocakların işletiminin zorlaşması ve bu tesislerin çevreye zararlarının daha fazla farkına varılmasıyla farklı malzeme arayışına girilmektedir. Bu nedenle dış koruyucu tabakada büyük ocak taşı (her biri 7-8 ton veya daha büyük) yerine özel beton blok kullanımı giderek artan oranda tercih edilmeye başlanmıştır.

Koruyucu tabaka biriminin ocak taşı olması durumunda sıra sayısı ve ocak taşının yüzey pürüzlüğü gibi tasarımda ikinci derece önem taşıyan parametrelerden önce kullanılacak taşın vasfı, yani kayaç yapısı ön plana çıkmaktadır. Beton blok durumunda ise beton sınıfı, agrega özellikleri, deniz suyuna dayanıklı çimento kullanımı gibi tasarım parametrelerinin yanında blok şekli önem kazanmaktadır. Özellikle küp veya dikdörtgen prizma dışındaki beton bloklarda hidrolik performansı artırmak üzere seçilen girift (karmaşık) form yapısal bütünlük açısından bloğun kırılabilir bir yapıya dönüşmesine neden olmaktadır.

Kıyı yapılarındaki koruyucu tabakalar, ocak taşları veya beton blokların alt tabakaların üzerine aralarında bağlayıcı kullanılmadan rastgele veya düzenli biçimde yerleştirilmesiyle inşa edilmektedir. Bu nedenle bir kısmı periyodik ve rastgele birçok unsuru içeren düzensiz dalga kuvvetleri altındaki blokların davranışlarının tam anlamıyla belirlenmesi oldukça güçtür. Bu tez çalışmasında bir fırtına döneminde kıyı yapılarının birkaç bin birey dalgaya maruz kalacağı, dolayısıyla istatistiksel olarak her blok yüzeyinde benzer dağılım özelliklerine sahip basınç dağılımı olacağı varsayımıyla blokların yapısal stabilite analizi gerçekleştirilmiştir. Blok malzemesi donatısız beton olarak seçilmiş olup bu malzemenin ancak çekme gerilmeleri nedeniyle kırılması nedeniyle yapılan analizlerde çekme kırılma kriteri kullanılmıştır. Beton malzemenin çekme gerilmelerine karşı dayanım değerinin blokların çeşitli yükler nedeniyle en kritik kesitlerinde oluşacak gerilme değerlerine oranı olarak hesaplanan güvenlik faktörü (f) değerlerine göre “az hasar”, “orta hasar” ve “ağır hasar” seviyelerine ulaşma limitleri yapısal stabilite için kıyaslama endeksi olarak kullanılmıştır.

Tez çalışması kapsamında yer alan özel beton blokların yapısal stabilite analizlerinin yapılabilmesi amacıyla öncelikle “Rhinoceros” yazılımı aracılığı ile bu özel beton blokların üç boyutlu ve katı modellemeleri oluşturulmuştur. Yapısal stabilite hesaplarında ise bu çalışmanın ilk zamanlarda inşaat mühendisleri için en temel yazılımlardan birisi olan “Sap2000” programının kullanılması düşünülmüştür. Ancak analizi yapılması düşünülen bu modeller çubuk (frame) eleman olma özelliği taşımayıp genellikle karmaşık geometrilere sahip katı modeller oldukları için sonlu elemanlar analizi yazılımı “Ansys Workbench” in statik yapısal analiz modülünün kullanılması daha uygun görülmüş ve kullanılmıştır.

Özel beton blokların yapısal stabiliteleri ile ilgili yapılacak olan çalışmalarda kullanılan beton malzemenin yoğunluk, elastisite modülü, Poisson oranı ve dayanım değerlerine ilişkin bilgiler bilinmelidir. Kıyı Yapıları ve Limanlar Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esaslarında (DLH, 2007) dalgakıran yapılarında kullanılan beton sınıfı en az C18 olarak belirtilmiştir. Ancak daha güvenli sonuçlar elde edebilmek için, yapılan analizlerde standart olarak C20 sınıfı beton kullanılmış

ve basınç ve çekme dayanımları sırasıyla 20 MPa ve 1.6 MPa olarak malzeme veritabanına girilmiştir. Beton malzeme donatısız olarak kullanıldığı için yoğunluğu  $24 \text{ kN/m}^3$ , elastisite modülü için 28,000 MPa, Poisson oranı için ise 0.2 birimsiz değeri girilmiştir.

“Ansys Workbench” yazılımının statik modülünde malzeme özellikleri girildikten sonra, yapısal stabilite analizi yapılacak olan blokların geometrisinin tanımlanması amacıyla daha önceden “Rhinoceros” yazılımı aracılığıyla çizilmiş olan modeller seçilmiş ve sonlu elemanlara ayırma işlemi (meshleme) yapılmıştır. Analizlerde en doğru sonucu vermesi beklenen sonlu eleman özellikleri her model için birbirlerine yakın olacak şekilde optimize edilen modeller sabitlenerek çeşitli hasar seviyesi durumlarına karşılık gelmesi beklenen yükleme büyüklükleri belirlenmiştir. Bu yükleme büyüklükleri yapısal stabilite değeri olarak dikkate alınmış ve daha sonrasında hidrolik stabiliteye ilişkin değerler ile karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümü, dalgakıranlar konusunda yapılmış genel çalışmaların özeti niteliğindedir. Üçüncü bölümde hidrolik stabilite ile ilgili taranan mevcut çalışmalar, dördüncü bölümde ise yapısal stabilite analizi teknikleri ve “Ansys Workbench” yazılımına ilişkin bilgi verilmektedir. Beşinci bölümde “Ansys Workbench” yazılımı ile gerçekleştirilen yapısal analiz çalışmaları anlatılmış olup bu analizler sonucunda elde edilen değerlerin altıncı bölümde hidrolik stabiliteye ilişkin değerler ile kıyaslamaları yapılmıştır. Yedinci bölümde bu tez çalışmasından genel olarak çıkarabileceğimiz sonuçlar ve dalgakıran tasarımı konusunda çalışan mühendisler için ileriye yönelik tavsiyeler yer almaktadır. Son olarak ekler bölümünde ise tez çalışması süresince uygulanan, ancak bazı yetersizliklerinden dolayı tez kapsamına alınmayan analiz çalışmaları iki bölüme ayrılarak anlatılmıştır.

## BÖLÜM İKİ

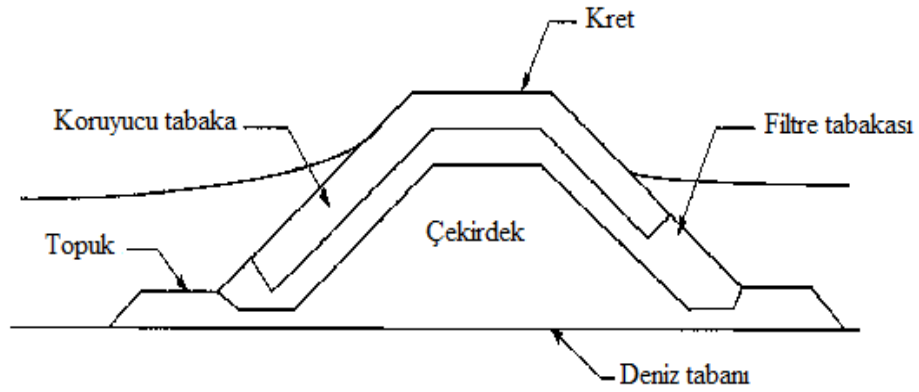
### MEVCUT ÇALIŞMALAR

Dalgakıranların yapım sürecinde ve yapımından sonraki zamanlarda dikkate alınması gereken çok sayıda unsur bulunmaktadır. Bu çalışmalardan Bölüm 2.1’de genel olarak söz edilmiştir. Dış koruyucu tabakalarda kullanılan özel beton bloklar ile ilgili çalışmalar ise Bölüm 2.2’de anlatılmıştır.

#### 2.1 Dalgakıran tasarımına ilişkin mevcut çalışmalar

Bu bölümde dalgakıranlar ile ilgili yapılmış çalışmalar aşağıdaki sıraya göre ele alınmıştır. Bu çalışmaların daha iyi takip edilebilmesi için dalgakıranı oluşturan temel elemanlar Şekil 2.1’deki tipik dalgakıran enkesiti üzerinde gösterilmiştir.

- Tasarım dalga yüksekliğinin belirlenmesi
- Dış koruyucu tabakada kullanılacak minimum taş ağırlığının belirlenmesi
- Hasar ve stabilite katsayılarının belirlenmesi
- Dalga tırmanma yüksekliğinin belirlenmesi
- Topuk bölgesinde oluşan oyulmalar ile ilgili çalışmalar
- Dalgakıran hasarlarını önlemek için yapılan çalışmalar
- Hasar sonrasında dalgakıranda oluşan enkesit formunun belirlenmesi
- Hasar görmüş dalgakıranların onarım çalışmaları
- Dış koruyucu tabaka yapımında alternatif bloklar kullanılması



Şekil 2.1 Tipik taş dolgu dalgakıran enkesiti (Palmer ve Christian, 1998)



Dalgakıranların tasarımında önemli parametrelerden birisi tasarım dalga yüksekliğidir. Bu parametre deniz durumu ile doğrudan ilişkilidir. Deniz durumu şartları genellikle değişken olmasına rağmen günün bazı vakitlerinde sabit kalmaktadır. Bu sürenin çoğunlukla 1 ile 6 saat aralığında değişiklik göstermesi nedeniyle dalga ölçüm ve tahminleri bu aralıklar dikkate alınarak yapılmaktadır (AYGM, 2016).

Kısa dönemli tasarımlarda dalga enerji spektrumu ile belirlenen  $H_{m0}$  dalga yüksekliği ve sıfırı kesme yöntemi ile belirlenen  $H_{1/3}$  dalga yüksekliği arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır. Tasarım dalga yüksekliği ( $H_s$ ) genellikle en kritik tasarım parametredir ve bu parametre seçiminin tutarlı olması gerekmektedir. Örneğin, katı madde hareketi ve kıyı erozyonu ile ilgili hesaplarda  $H_{m0}$  değerinin kullanılması uygun iken, kazıklara etki eden dalga kuvvetleri ile ilgili hesaplarda  $H_{1/3}$ ,  $H_{1/10}$  veya  $H_{maks}$  tercih edilebilmektedir (AYGM, 2016).

Yüksek dalga koşullarının etkin olduğu durumlarda deniz durumunu açıklayan kısa dönem dalga istatistiğinden elde edilen parametreler yeterli olmamaktadır. Örneğin, yüksek bir dalga kretinin bir kazık veya platforma çarpması sonucu oluşan hasar durumu için hem kısa hem de uzun dönem istatistikleri kullanılmaktadır. Kısa ve uzun dönem istatistikleri Tablo 2.1’de açıklanmıştır (AYGM, 2016).

Tablo 2.1 Kısa ve uzun dönem istatistiklerinin karşılaştırılması (AYGM, 2016)

| <b>İstatistik tipi</b> | <b>İşlemler</b>                          | <b>Tipik periyot</b> |
|------------------------|--|----------------------|
| Kısa dönem             | Bir deniz durumundaki değişimler         | 1 saat               |
| Uzun dönem             | Uzun dönemli deniz durumlarının değişimi | En az 10 yıl         |

Uzun dönemli istatistiksel yöntemlerde tasarımın temel amacı parametrelerin en büyük değerlerinin belirlenmesidir. Nadiren karşılaşılan durumlar şiddet ve sıralama yönünden çok değişken oldukları için tasarımda dikkate alınmaz. Bu nedenle uzun dönemli istatistiksel yöntemler tasarımda etkisi fazla olan parametreleri hesaplanmaktadır (AYGM, 2016).

Dalgakıran tasarımı sırasında dış koruyucu tabakalarda kullanılacak minimum taş ağırlığı belirlenmektedir. Bu hesap eskiden tamamen gözlem ve deneyimlere dayanarak yapılmaktaydı. Ancak daha sonraki zamanlarda yapılan deneysel ve teorik çalışmalar sonucunda çok sayıda formül türetilmiştir. Dış koruyucu tabakalardaki minimum taş ağırlığı ile  $K_D$  stabilite katsayısı arasındaki ilişki Hudson (1959) tarafından ifade edilmiştir. Bu yöntem tez çalışmasının üçüncü bölümünde daha detaylı olarak anlatılmıştır.

Hasar ile ilgili çalışmalarda hasar kavramının açıklanması önem taşımaktadır. Dalgakırana gelen dalgalar dış koruyucu tabakadaki blokları yeterli miktarda yerinden oynatabilirse alt tabaka doğrudan dalga hareketine maruz kalabilir ve dolgu malzemesi şevden ayrılabilir. Bu durum fırtına şiddeti azalmadığında deniz durumuna bağlı olarak dalgakıranın ciddi şekilde zarar görmesine neden olabilmektedir. Coastal Engineering Manual (CEM, 2006), hasar kavramını yer değiştiren koruyucu blok sayısı olarak açıklamıştır. Bu parametre dış koruyucu tabakadaki hasar seviyesinin değerlendirilmesi için ölçülebilir bir değer olsa da hasarın tanımını tam anlamıyla ifade etmek için yeterli değildir. Losada ve diğer. (1986), gözlenen hasarı üç seviyede sınıflandırmıştır. Ardından yıkılma başlangıcı adında ek bir hasar seviyesi Vidal ve diğer. (1992) tarafından önerilmiştir. Bu hasar seviyeleri aşağıda açıklanmıştır (Kamali ve Hashim, 2009).

1. Başlangıç hasarı: Koruyucu blokların en az bir kenar uzaklığından daha fazla uzağa yer değiştirmesi durumudur.
2. Iribarren hasarı: Koruyucu üst tabaka bloklarının alt katmandaki bloklardan ayrı hareket etmesi durumudur.
3. Yıkılma başlangıcı: Koruyucu tabakanın daha altında yer alan katmanlardaki hasar başlangıcıdır.
4. Yıkılma: Malzemenin filtre tabakasından ayrılması sonucu meydana gelir ve fırtına şiddetinin azalmadığı durumlarda tüm enkesit yok olur.

Broderick (1984), hasar seviyesinin ölçümü için S boyutsuz parametresini tanımlamıştır. Bu parametre  $S = A/D_n^2$  formülü ile hesaplanmaktadır. Taş dolgular için S hasarı erozyona uğramış alanın nominal çapıdır. Beton bloklar için S hasarı ise bir çap mesafesinden daha fazla yer değiştirmiş eleman sayısı olarak tanımlanmaktadır (Engin, 2011).

Koruyucu birimler çok büyük ve ağır olmaları nedeniyle tamamen hasarsız olarak tasarlanmaları mümkün değildir. Bunun yerine koruyucu birimlerin tasarımında koruyucu birimin ağırlığını bulabilmek için “sıfır hasar” veya “hasarsız” kavramları yerine “hasar başlangıcı” kavramı tanımlanmıştır. Van der Meer (1987), “hasarsız” kriterinin S hasar seviyesinin genellikle 1 ile 3 aralığında olduğu durumlarda, “ağır hasar” kriterinin ise hasar seviyesinin 10’dan büyük olabileceği durumlarda kullanılması gerektiğini belirtmiştir. Dış koruyucu tabaka birimleri ocak taşı malzemedan oluşan dalgakıranların dış koruyucu tabakaları için çeşitli eğim durumlarına göre S hasar seviyesi değerleri Tablo 2.2’de verilmiştir.

Tablo 2.2 Ocak taşı için hasar seviyelerinin sınıflandırılması (Van der Meer, 1987)

| <b>Eğim</b> | <b>Hasar başlangıcı<br/>(tamir gerektirmez)</b> | <b>Orta hasar<br/>(tamir gerektirir)</b> | <b>Ağır hasar<br/>(çekirdek etkilenir)</b> |
|-------------|---|--|--|
| 1/1.15      | 2   | 3-5                                      | 8  |
| 1/2         | 2   | 4-6                                      | 8  |
| 1/3         | 2   | 6-9                                      | 12   |
| 1/4         | 3   | 8-12                                     | 17   |
| 1/6         | 3   | 8-12                                     | 17   |

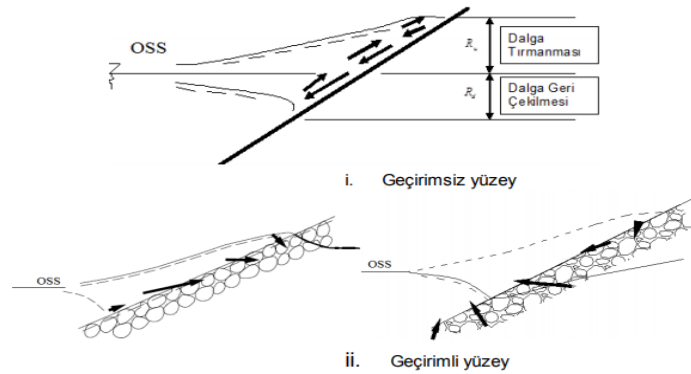
Van der Meer (1987), dış koruyucu tabaka birimlerinde donatısız beton malzeme kullanılan dalgakıranların koruyucu tabakaları için de hasar seviyelerini sınıflandırmıştır. Bazı beton blok türleri için hasar değerleri Tablo 2.3’te verilmiştir.

Tablo 2.3 Çok tabakalı beton bloklar için hasar seviyelerinin sınıflandırılması (Van der Meer, 1987)

| Blok tipi     | Hasar başlangıcı | Başlangıç hasarı (iyileştirme gerektirmez) | Orta derece hasar (iyileştirme gerektirir) | Kırılma hasarı (çekirdek etkilenir) |
|---------------|------------------|--|--|-------------------------------------|
| Küp           | 0                | 0-0.5                                      | 0.5-1.5                                    | >2                                  |
| Tetrapod<25 t | 0                | 0-0.5                                      | 0.5-1.5                                    | >2                                  |
| Tetrapod>25 t | 0                | 0-0.5                                      | 0.5-1.5                                    | >2                                  |
| Dolos<20 t    | 0                | 0-0.5                                      | 0.5-1.5                                    | >2                                  |
| Dolos>20 t    | 0                | 0-0.5                                      | 0.5-1.5                                    | >2                                  |
| Coreloc       | 0                |  | >0.5                                       |                                     |

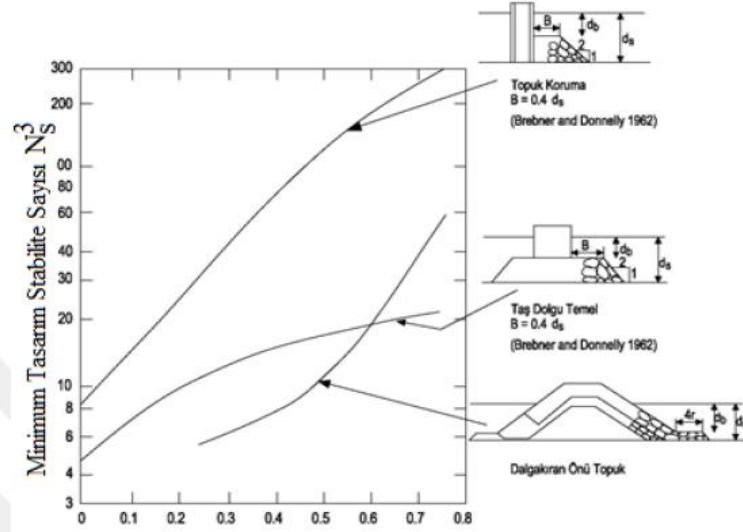
Dalgakıranlarda karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi dalga tırmanmasıdır. Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları'nda (AYGM, 2016) dalga tırmanmasının belirlenmesi için verilen yaklaşımlar aşağıda sıralanmıştır:

- Ortalama değer yaklaşımı: Belirsizlikler dahil edilmez. Ortalama değer ve bu ortalama etrafındaki standart sapma ile ifade edilen güvenilirlik esas alınmaktadır.
- Tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı: Bazı belirsizlikler dahil edilir. Bu yaklaşıma göre taş dolgu dalgakıranların kret yüksekliklerinin belirlenmesinde dalga aşması dalga tırmanmasına göre daha fazla önem taşımaktadır. Dalga tırmanması dalgakıran kretine ulaşan veya kreti aşan dalgaların yüzdesi olarak tanımlanmaktadır. Dalga tırmanması ve çekilmesi durumu Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2 Dalga tırmanması ve çekilmesi (AYGM, 2016)

Dalgakıran topuk bölgesinde oluşan oyulmalar, topuk önünün korumasız bırakıldığı durumlarda oluşmaktadır. Dik gelen düzenli dalgalar için topuk koruma stabilite sayıları Şekil 2.3'te verilmiştir (AYGM, 2016).

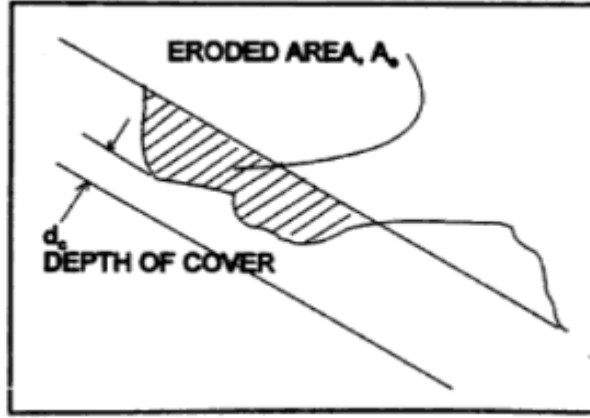


Şekil 2.3 Topuk koruma stabilite sayısı (CERC, 2003)

Dalgakıran hasarlarının önlenmesi tasarım sırasında yapılan çalışmalar ile mümkündür. Tasarım derinliği, tasarım dalgasının seçimi, dalga-yapı etkileşimi (hidrolik davranış), yapısal tasarım, filtre tasarımı ve kronman duvarı hesabı bu konulardan bazılarıdır (AYGM, 2016).

Taş dolgu dalgakıranlarda oluşan hasarın ölçülmesine ilişkin çok sayıda çalışma bulunmaktadır. Hughes (1993), laboratuvar çalışmalarında hasar ölçüm tekniklerini incelemiştir. Birikmiş hasar ile ilgili deneyleri uzun süreli, birikmiş fırtına etkileri ve kalıntı stabilitesi olmak üzere üç gruba ayırmıştır. Bu üç deney birbirleriyle örtüşmektedir. Jensen (1984), modeldeki fırtına süresinin genellikle 8 ile 10 saat arasında prototip eşdeğerini sağlayacak şekilde belirlenmesi gerektiğini söylemiştir. Bu süre, içerisinde başka dalga etkilerinin olmadığı hasar durumu için dikkate alınmaktadır. Başka hasarların da olduğu durumlarda ise nihai hasar seviyesini belirlemek için deneyler yapılmaktadır. Hughes, varyans değerinin yüksek olduğu durumlarda daha doğru istatistikler elde edebilmek için deneylerin birkaç kez tekrar edilmesi gerektiğini belirtmiştir (Melby, 1999).

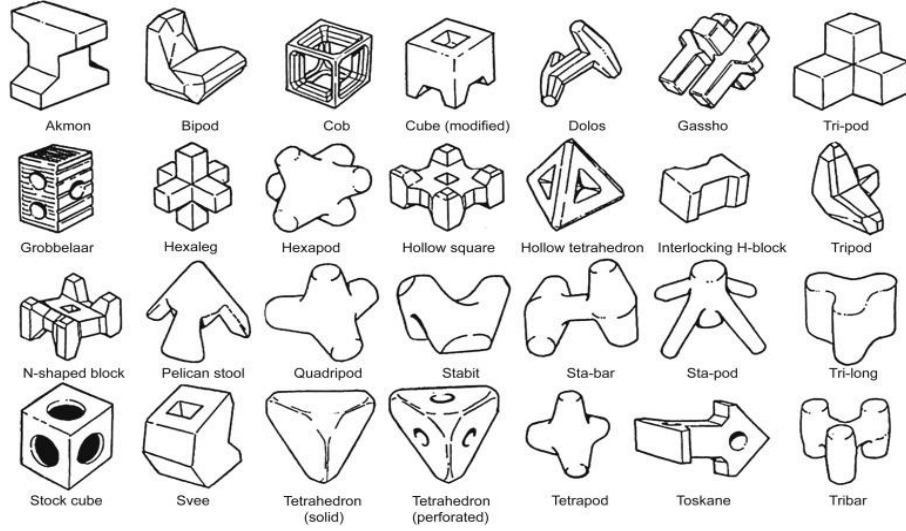
Dalgakıranlarda hasar ölçümü için iki geçerli yöntem bulunmaktadır. Görsel yöntemde nominal çaptan daha fazla yerinden oynayan koruyucu birimler sayılmaktadır. Profil ölçümü yönteminde ise birimlerin aşınmaya uğramış hacimleri ölçülmektedir. Torum ve diğer. (1979) ve Cornett ve diğer. (1995), aşınmamış derinliği  $d_c$  olarak ifade etmişlerdir. Bu parametre Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Aşınma sonrası dalgakıran profili (Melby, 1999)

Dalgakıranlarda onarım işlemi yapıda dalga, rüzgar, akıntı, kabarma ve sismik etkiler nedeniyle oluşan hasarlar için uygulanmaktadır. Taş dolgu dalgakıranların onarımında genellikle taş yapı yeniden yapılmakta veya taş yerine yeni bir malzeme kullanılmaktadır. Bazı durumlarda beton veya asfalt malzemenin enjeksiyonu ile onarım yapılmaktadır (CIRIA, 2007).

Son yıllarda şevli yüzlü dalgakıran dış koruyucu tabaka tasarımında taş malzemeye göre daha dayanıklı ve çevre dostu olan, çeşitli geometrilere prefabrik olarak üretilen özel beton bloklar tercih edilmektedir. Bu blok tiplerinin büyük bir bölümü Şekil 2.5'te gösterilmiş ve ardından bunlardan bazıları kısaca açıklanmıştır.



Şekil 2.5 Koruyucu tabakalarda kullanılan özel beton bloklar (Smith, 2016)

1. Küp: Betondan üretilen küp bloklar doğal taşlar ile birlikte kullanılan en eski koruyucu bloklardandır. Yoğunlukları kullanılan betonun yoğunluğuna bağlı olmaktadır. (Paape ve Walther, 1962).



Şekil 2.6 Küp (Depositphotos, 2014)

2. Antifer: 1976 ve 1978 yılları arasında Fransa'daki Antifer Limanı'nın tasarım çalışmasında basit küp şeklindeki blokların dış koruyucu tabakalardaki stabiliteyi sağlamadığını gösteren birçok deney gerçekleştirilmiştir. Çeşitli geometrilerdeki beton malzemeden oluşan bloklarla yapılan araştırmalar sonucunda dört tarafı oluklu olan bu bloklar keşfedildi ve kullanılmaya başlanmıştır (Frens, 2007).



Şekil 2.7 Antifer (Crespo ve diğer., 2014)

3. Tetrapod: 1950 yılında SOGREAH tarafından geliştirilmiştir. Orta eksenden dışarı doğru uzanan dört ayaktan oluşmaktadır. Bütün ayaklarının açılı uzaklıkları aynıdır. Yüksek  $K_D$  stabilite katsayısı değerlerinden dolayı blokların şevden kaymalarını önlemek amacıyla genellikle monolitik kret inşası istenmektedir (Danel ve diğer., 1960).



Şekil 2.8 Tetrapod (Depositphotos, 2014)

4. Dolos: Güney Afrika'da geliştirilmiştir. Çapa şeklinde bir bloktur ve düzensiz yerleştirildiği zaman bile birbirlerine kenetlenebilmektedir. İyi kenetlenme kapasitesinden dolayı Dolos en yüksek stabilite katsayısına sahiptir. Bu sebepten dolayı dalgakıran şevindeki bloklar şevden aşağı doğru birlikte hareket edebilmektedirler (Massie, 1986).





Şekil 2.9 Dolos (Trailing Ahead Blogspot, 2016)

5. Accropode: İlk defa 1981 yılında SOGREAH laboratuvarlarında patentli olarak kullanılmıştır. Tek tabakada hidrolik stabilitesi yüksek bir bloktur (Van der Meer ve diğer., 1988a).



Şekil 2.10 Accropode (DMC, 2008)

6. Coreloc: US Corps of Engineers (USACE) tarafından 1996 yılında tanıtılmıştır. Tek tabakadan oluşur ve öncesinde üretilmiş diğer blok türlerinin kritik olduğu konularda daha iyi performans göstermektedir. Accropode ile şekil ve davranış yönünden çok fazla benzerlikleri vardır. Coastal Engineering Manual'e göre (CERC, 1998) Coreloc, Accropode'un geliştirilmiş bir sürümü olarak kabul edilmektedir.



Şekil 2.11 Coreloc (Smith, 2016)


















7. Xbloc: Delta Marine Consultants (DMC, 2004) tarafından iki seneden fazla süren yoğun bir çalışma sonucunda üretilmiştir. Bu blok basit ve iri yapılıdır. Donatısız betondan imal edilmektedir. İyi kenetlenme özelliği bulunması nedeniyle tek tabakada düzensiz olarak yerleştirilmektedir.



Şekil 2.12 Xbloc (Vos, 2017)

## 2.2 Dış koruyucu tabaka birimlerinin stabilitelere ilişkin çalışmalar

Koruyucu beton blokların değişik tipleri yapısal dayanımlarıyla ilişkili olarak masif, iri ve narin olarak sınıflandırılmaktadır. Masif bloklar daha düzgün geometrilere sahip iken, narin bloklar daha karmaşık yapıda bulunmaktadır. Bu sınıflandırma Şekil 2.13'te gösterilmiştir.

| Placement pattern | Number of layers | Concrete armour unit type   |   |   |   |   |   |   |  |
|-------------------|------------------|---|---|---|---|---|---|---|--|
|                   |                  | Massive   |   |   | Bulky   |   | Slender   |   |  |
| Random            | Double layer     | Cube<br> | Antifer Cube<br> | Haro<br> | Stabit<br>     | Akmon<br>  | Tetrapod<br>     | Dolos<br>        |  |
|                   | Single layer     | Cube<br> |   |   | Accropode®<br> | Xbloc®<br> | Accropode II®<br> | Core-loc II®<br> | Core-loc®<br> |
| Uniform           | Single layer     |   |   |   | Seabee<br>   |   | Diahlitis<br>  | Cob<br>        | Shed<br>    |

Şekil 2.13 Bazı koruyucu beton blok tiplerinin sınıflandırılması (DMC, 2008)

Dalgakıran dış koruyucu tabakalarında özel beton blok kullanıldığı durumlarda hidrolik performansın yanında yapısal stabilite çalışmaları da önem taşımaktadır. Yapısal stabilite ile ilgili çalışmalar günümüzde genellikle sonlu elemanlar yazılımları aracılığıyla yapılmaktadır. Sonlu elemanlar yazılımları kullanılarak yapılmış mevcut çalışmalar bu bölümde anlatılmıştır.

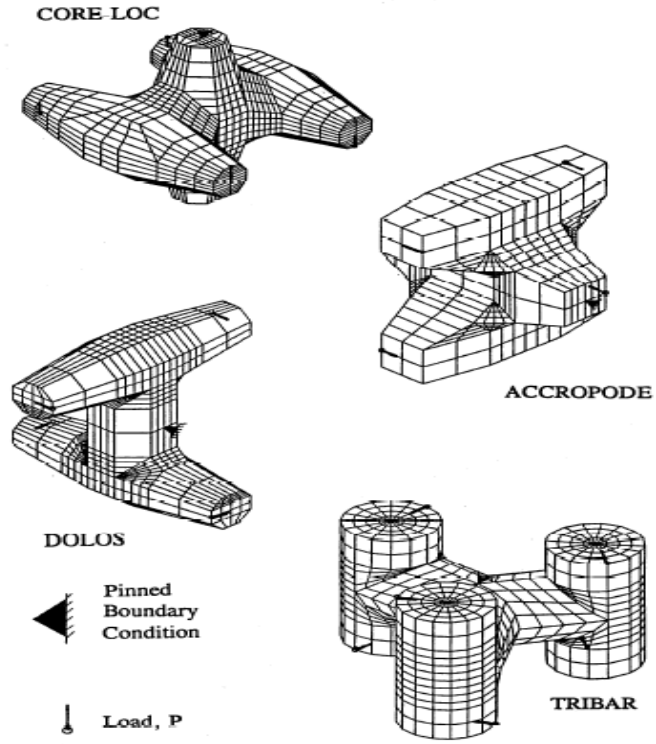
Koruyucu bloklar sahip oldukları geometriye bağlı olarak farklı stabilite özellikleri göstermektedirler. Düzenli geometriden oluşmuş bloklarda genellikle ağırlığın etkisi baskın iken, geometriler karmaşıktıkça sürtünme ve kenetlenme etkisi ön plana çıkmaktadır. Bu stabilite özellikleri Şekil 2.14'te çeşitli blok türleri için karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Eden, 2019).

| Shape   | Name         | Year | Country      | Layers | Placement | Stability             |
|---|--------------|------|--------------|--------|-----------|-----------------------|
|    | Cube         | n/a  | n/a          | 2      | Random    | Weight                |
|    | Tetrapod     | 1950 | France       | 2      | Random    | Weight + Interlocking |
|    | Tribar       | 1958 | USA          | 2      | Random    | Weight + Interlocking |
|    | Dolosse      | 1963 | South Africa | 2      | Random    | Weight + Interlocking |
|    | Cob          | 1969 | UK           | 1      | Uniform   | Friction              |
|    | Antifer Cube | 1973 | France       | 2      | Random    | Weight                |
|    | Seabee       | 1978 | Australia    | 1      | Uniform   | Friction              |
|    | Accropode    | 1980 | France       | 1      | Random    | Weight + Interlocking |
|    | Shed         | 1982 | UK           | 1      | Uniform   | Friction              |
|    | Core-Loc     | 1995 | USA          | 1      | Random    | Weight + Interlocking |
|   | A-Jack       | 1996 | USA          | 1      | Random    | Weight + Interlocking |
|  | Ecopode      | 2000 | France       | 1      | Random    | Weight + Interlocking |
|  | X-bloc       | 2003 | Netherlands  | 1      | Random    | Weight + Interlocking |
|  | Accropode II | 2004 | France       | 1      | Random    | Weight + Interlocking |

Şekil 2.14 Koruyucu beton blokların farklı türleri ve özellikleri (Eden, 2019)

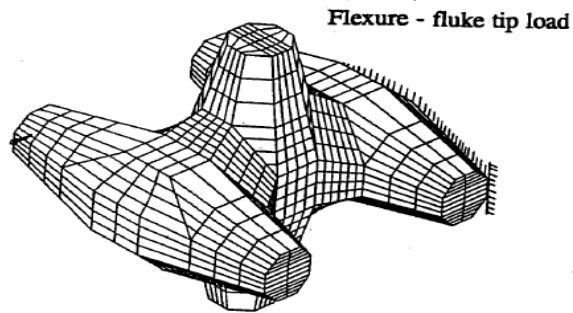
Koruyucu beton blokların yapısal analiz çalışmaları günümüzde birçok firma tarafından yapılmaktadır. Sonlu eleman yazılımları kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmalardan bazıları aşağıda anlatılmıştır:

Vicksburg'ta bulunan Jaycor firması çeşitli yükleme durumları altında Coreloc, Dolos, Tribar ve Accropode bloklarının yapısal stabilite analizini gerçekleştirmek için sonlu elemanlar yazılımlarını kullanmıştır. Bu analiz için koruyucu bloğun ağırlığı 100 kN, elastisite modülü 35 GPa, Poisson oranı 0.21 ve suya göre rölatif özgül ağırlığı 2.32 olarak alınmıştır. Modellere ait sonlu elemanlar dört blok türü için de Şekil 2.15'te gösterilmiştir. Analiz sonucunda blokların dört ucuna 50 kN'luk yükleme yapılarak dönme momenti oluşturulması yapısal stabilite açısından en kötü durumu ortaya koymuştur. Bloklar bu durum için ortalarından (merkezlerinden) sabitlenmiştir (Melby ve Turk, 1997).



Şekil 2.15 Çekme gerilmesi karşılaştırması için mesnet ve yükleme koşulları (Melby ve Turk, 1997)

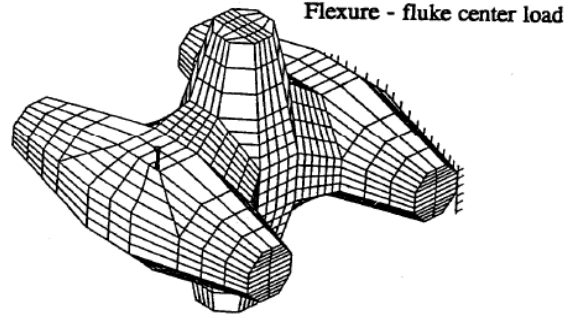
Şekil 2.16'da gösterilen başka bir yüklemde ise dış yüzey boyunca sabitlenmiş olan parçanın karşısındaki parça ucuna 100 kN eğilme yüklemesi uygulanmıştır. Bu koşulda bloğun iç kesişim yerinde maksimum eğilme gerilmesi oluşmaktadır (Melby ve Turk, 1997).



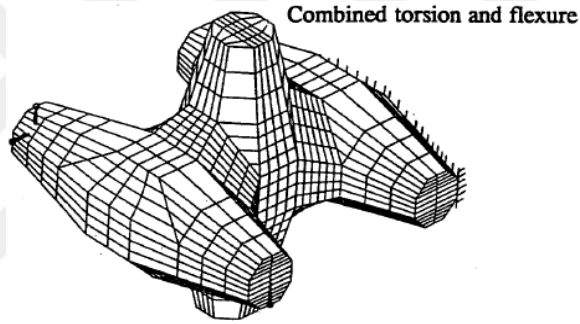
Şekil 2.16 Parça ucu yüklemesi (Melby ve Turk, 1997)

Bu çalışmada başka bir eğilme yüklemesi ile burulma ve eğilme yüklemelerinin birleşimi de analiz edilmiştir. Şekil 2.17'deki eğilme yüklemesi durumunda bir parçanın karşısındaki parça sabit tutulmuş iken, bu parçanın merkezine 100 kN büyüklüğündeki bir yük enine olarak uygulanmıştır. Şekil 2.18'deki birleşik yükleme

durumunda ise çekme ve burulmaya çalışmakta olan 100 kN büyüklüğündeki iki yük, karşısındaki parça tüm yüksekliği boyunca sabit tutularak bir parçanın ucuna uygulanmıştır (Melby ve Turk, 1997).

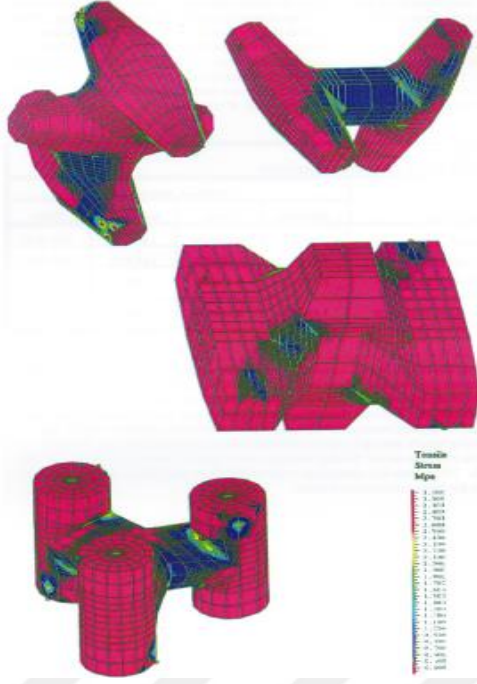


Şekil 2.17 Parça merkezi yüklemesi (Melby ve Turk, 1997)



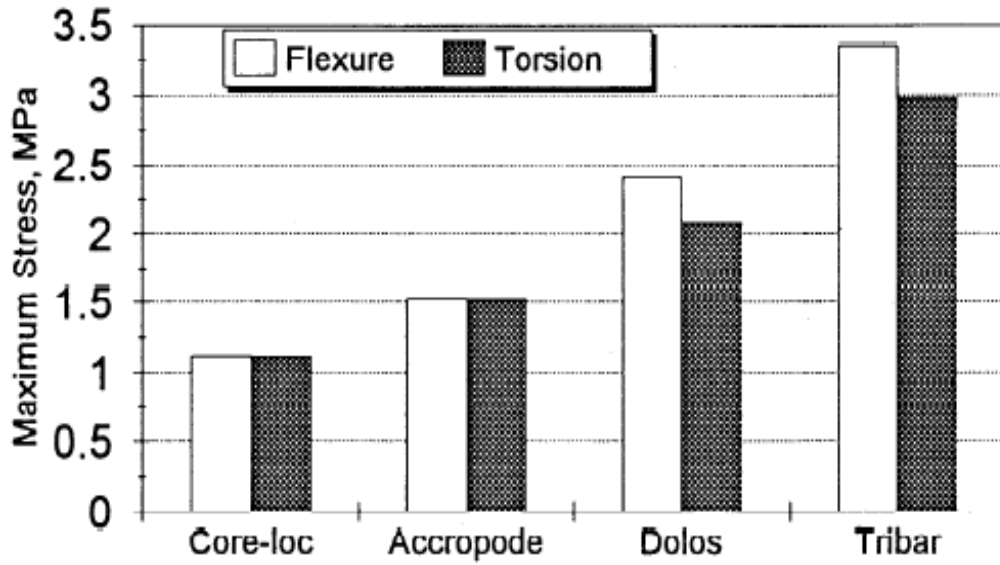
Şekil 2.18 Burulma ve eğilme birleşimi (Melby ve Turk, 1997)

Şekil 2.19’da dört blok türü için burulma yüklemelerindeki çekme gerilmesi analizi sonuçları gösterilmiştir. Bu şekilde Accropode’un maksimum çekme gerilmesinin Coreloc’a göre daha fazla olmasına rağmen yüksek miktarda gerilmenin olduğu pah bölgesinin üzerindeki ortalama gerilmenin daha düşük olduğu görülmektedir. Şekil 2.19’a yakından bakıldığında gerilmenin pah (chamfer) kenarı çevresinde iki kat daha değiştiği gözlenmektedir. Pahtaki süreksizlikler mevcuttaki pah olmaması durumuna göre çok daha fazla gerilme değişikliklerine neden olmaktadır. Bu yüzden dört bloğun tümünde pah yerine kavis (fillet) kullanılması maksimum çekme gerilmesini önemli ölçüde azaltmaktadır. Bununla birlikte Coreloc ve Accropode bloklarının tasarım gerilmeleri Dolos ve Tribar’a göre genellikle çok daha az oldukları için bu gerekli değildir. İstenilenden daha az performans gösteren kısım yalnızca stabilitenin zayıf olduğu Dolos biriminin gövdesidir (Melby ve Turk, 1997).



Şekil 2.19 Sabit çekme yüklemesi durumunda çekme gerilmesi analizi (Melby ve Turk, 1997)

Yapısal analizler sonucunda elde edilen maksimum çekme gerilmesi sonuçları Tablo 2.4'te özetlenmiştir. Dolos ve Coreloc için bütün yükleme durumları, Accropode ve Tribar için ise yalnızca çekme ve uç eğilme durumlarının analizleri gerçekleştirilmiştir. Burulma ve parça ucu eğilmesi her bir blok için maksimum çekme gerilmeleri Şekil 2.20'de gösterilmiştir.



Şekil 2.20 Sonlu elemanlar analizinde maksimum çekme gerilmesi kıyaslaması (Melby ve Turk, 1997)

Tablo 2.4'te görüldüğü gibi, eşdeğer ağırlıktaki bloklara etkiyen statik yüklerin oluşturduğu maksimum çekme gerilmesi değeri Coreloc için Dolos'un %46 ile %62'si arasında değişmektedir. Coreloc'un maksimum çekme gerilmesi Accropode'un burulma ve eğilmelerinin %74'ü, Tribar'ın burulmasının %38'i ve eğilmesinin %33'üdür (Melby ve Turk, 1997).

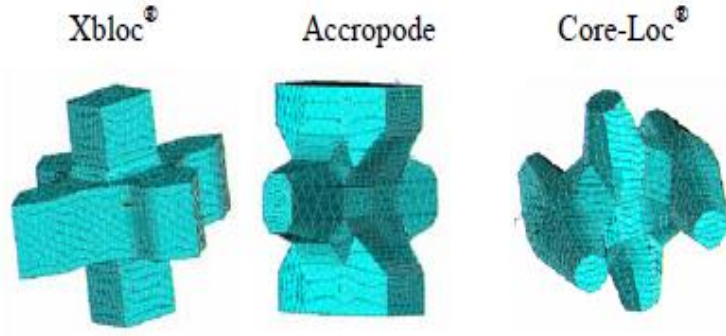
Tablo 2.4 Sonlu elemanlar yöntemi statik gerilme karşılaştırması (Melby ve Turk, 1997)

| Yüklem durumu                  | Gerilme ( $\sigma_s$ ) MPa |       |           |        |
|--------------------------------|----------------------------|-------|-----------|--------|
|                                | Coreloc                    | Dolos | Accropode | Tribar |
| Burulma                        | 1.12                       | 2.08  | 1.52      | 2.98   |
| Eğilme-parça ucu yüklemesi     | 1.12                       | 2.41  | 1.52      | 3.36   |
| Eğilme-parça merkezi yüklemesi | 2.10                       | 3.42  | -         | -      |
| Eğilme ve burulma birleşimi    | 1.91                       | 3.83  | -         | -      |

Özel beton blokların yapısal stabiliteleri ile ilgili başka bir çalışmada Delta Marine Consultants (DMC, 2004), “Ansys 6.1” yazılımını kullanılarak Xbloc bloğunun statik ve dinamik analizlerini gerçekleştirmiştir. Bu çalışmanın amacı çekme gerilmelerini dağıtmak için Xbloc bloğundaki kavis boyutlandırmasını optimize etmek ve Xbloc, Accropode ve Coreloc blokları için çekme gerilmelerini karşılaştırmaktır. Accropode ve Coreloc'un üç boyutlu sonlu eleman modelleri Xbloc sonlu eleman modeliyle aynı özelliklere sahiptir (blok hacmi: 4 m<sup>3</sup>, katı yoğunluğu: 23.5 kN/m<sup>3</sup>, elastisite modülü: 30 GPa ve Poisson oranı: 0.20). 120 mm yarıçapındaki bir kavis iç çekme gerilmelerinin optimum şekilde yayılmasını sağlamıştır. Kavis yarıçapı, seçilen Xbloc biriminin hacmine bağlıdır. Ayrıca prototip birimlerin kübik bacak ve “X” şeklindeki tabanları arasındaki kenarda 30 mm yarıçapında bir kavis vardır (DMC, 2004).

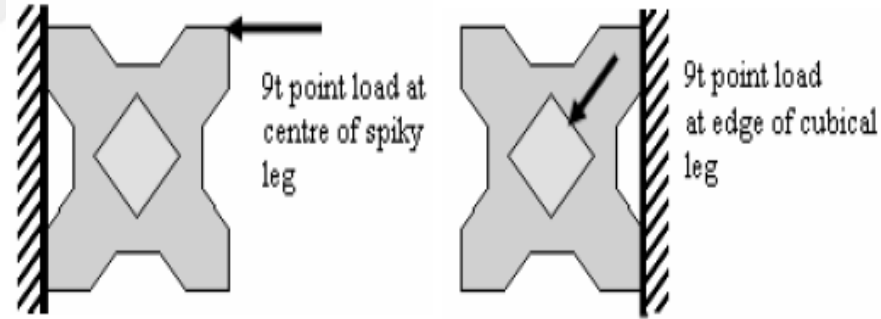
Bu nümerik çalışmada sonlu eleman modelindeki çekme gerilmesinin değerlendirmesine odaklanılmıştır. Çünkü bu gerilmeler hasar başlangıcı için ana faktörlerdir. Her bir birim için hesaplanan bu gerilmeler ve gerilmeler ilgili birimlerin düğüm noktalarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada kullanılan sonlu eleman modelleri Şekil 2.21'de gösterilmiştir (DMC, 2004).





Şekil 2.21 Numerik çalışmada kullanılan sonlu eleman modelleri (DMC, 2004)

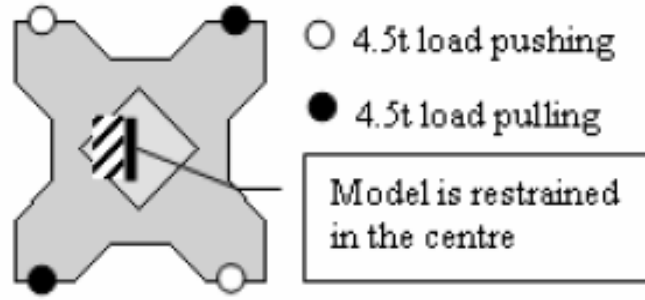
- Statik eğilme yüklemesi durumu: Bloğun ağırlığıyla neredeyse aynı olan 90 kN'luk tekil bir yük keskin bacak ucunun dış kenarına uygulanmıştır. Bu bloğun karşı tarafı sabitlenmiş ve bu durum “Eğilme I” olarak ifade edilmiştir. Literatürde bulunmayan alternatif bir eğilme yüklemesi durumunda ise 90 kN'luk bu yüklemeye kübik parçalardan birisinin üst kenarına uygulanmıştır. Bu durum ise “Eğilme II” olarak ifade edilmiştir. Bu yüklemeye durumları Şekil 2.22’de gösterilmiştir (DMC, 2004).



Şekil 2.22 “Eğilme I” ve “Eğilme II” durumları (DMC, 2004)

\*9 t değeri MKS birim sisteminde olup SI birim sisteminde 90 kN değerine karşılık gelmektedir.

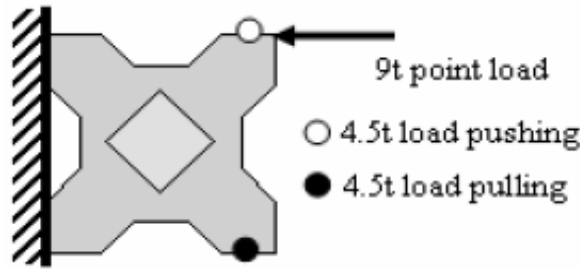
- Statik burulma yüklemesi durumu: Burulma, dört keskin bacağın uçlarına 45 kN büyüklüklerindeki dört adet tekil yüklemenin uygulanması sonucunda oluşmuştur. Bu yüklemelerden ikisi itmeye, diğer ikisi ise çekmeye çalışmaktadır. Bu yükler “X” şeklindeki taban yüzeyine dik olarak yönlendirilmiştir. Bu işlem maksimum çekmeyi meydana getirmiştir. Bu yüklemeye durumu için birimler orta hatta sabitlenmiş ve Şekil 2.23’te gösterilmiştir (DMC, 2004).



Şekil 2.23 Burulma yüklemesi durumu (DMC, 2004)

\*4.5 t değeri MKS birim sisteminde olup SI birim sisteminde 45 kN değerine karşılık gelmektedir.

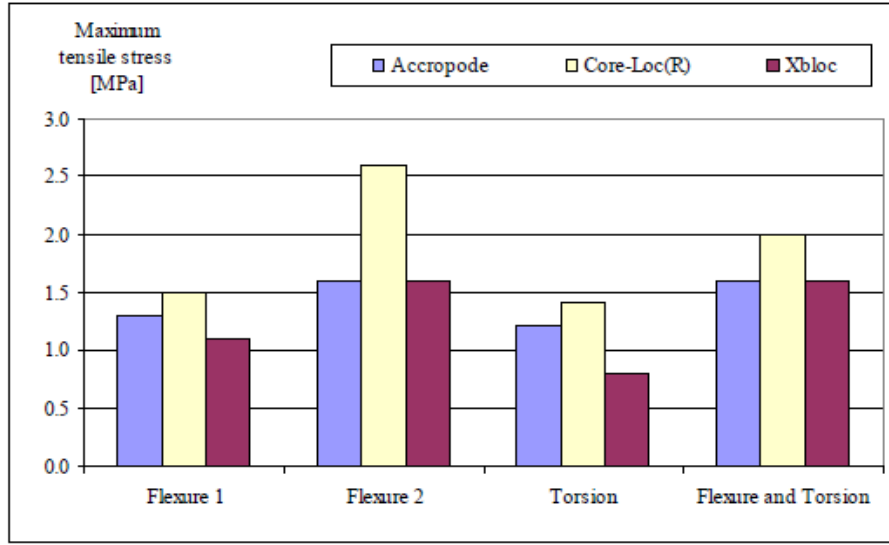
- Statik eğilme ve burulma yüklemesi durumlarının birleşimi: Eğilme ve burulma durumlarının birleşimlerinden birisinde keskin bacaklardan ikisinin uçlarına 45 kN büyüklüğündeki bir tekil yük ve keskin bacaklardan birisine 90 kN’luk bir tekil yük uygulanması düşünülmüştür. Keskin bacaklar karşılıklı olarak dış yüzey boyunca sabitlenmiştir. Bu yüklemesi tipi Şekil 2.24’te gösterilmiştir (DMC, 2004).



Şekil 2.24 Eğilme ve burulma birleşimi yüklemesi durumu (DMC, 2004)

\*9 t ve 4.5 t değerleri MKS birim sisteminde olup SI birim sisteminde sırasıyla 90 kN ve 45 kN değerlerine karşılık gelmektedir.

Çeşitli statik yüklemesi durumları için elde edilen maksimum çekme gerilmesi sonuçları Şekil 2.25’te gösterilmiştir. En yüksek çekme gerilmeleri “Eğilme 2” ve eğilme ile burulmanın birleşimi olan yüklemesi durumları için oluşmaktadır. Kritik çekme gerilmeleri blok tabanı ve bacakları arasındaki bağlantıların yakınlarında bulunmaktadır. Coreloc dört yüklemesi durumu için en yüksek çekme gerilmelerine sahip iken Xbloc en düşük çekme gerilmelerine sahiptir. Eğilme ile burulma yüklemesi durumlarının birleşimi ve alternatif eğilme yüklemesi durumu için Xbloc ve Accropode’un çekme gerilmeleri karşılaştırılabilmektedir (DMC, 2004).



Şekil 2.25 Sonlu elemanlar yöntemi çalışması sonuçları (DMC, 2004)

Yukarıda verilen mevcut çalışmalardan elde edilen bilgilere göre yapısal bütünlüğe ilişkin çalışmaların yetersiz olduğu, hala bu konuda araştırma yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Bu bölümde söz edilen veya edilmeyen tüm çalışmalar göz önüne alındığında hidrolik ve yapısal stabilitenin birbirleriyle ters orantılı olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Delta Marine Consultants (DMC, 2004), yapısal bütünlük ile ilgili yaptığı çalışmasının son bölümünde bu konunun aynı kütle ve hacme sahip olan çeşitli koruyucu bloklar için çeşitli yükleme durumlarında incelenmesine yönelik tavsiyede bulunmuştur. Bu tavsiye, sunulan bu tez çalışmasının yapılması için bir neden oluşturmaktadır.

## BÖLÜM ÜÇ

### DALGAKIRAN KORUYUCU TABAKALARININ HİDROLİK STABİLİTESİ

Dalgakıran tasarımını ilgilendiren en önemli konulardan birisi stabilitedir. Stabilitate konusu iki biçimde incelenmektedir. Hidrolik stabilite kavramı koruyucu tabakalarda bulunan taş veya özel beton blokların yerlerinden ayrılmaları ile ilgilidir. Bu bölümde yalnızca hidrolik stabilite çalışmaları anlatılmış ve özel beton blokların çeşitli yük etkileri altında kendi dayanımlarını kapsayan yapısal stabilite konusu ise dördüncü bölümde ele alınmıştır.

Hidrolik stabiliteyi etkileyen değişkenler Basco (2001) tarafından deniz durumu ve yapı ile ilgili olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Bu değişkenler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır:

#### **Deniz durumu ile ilgili değişkenler**

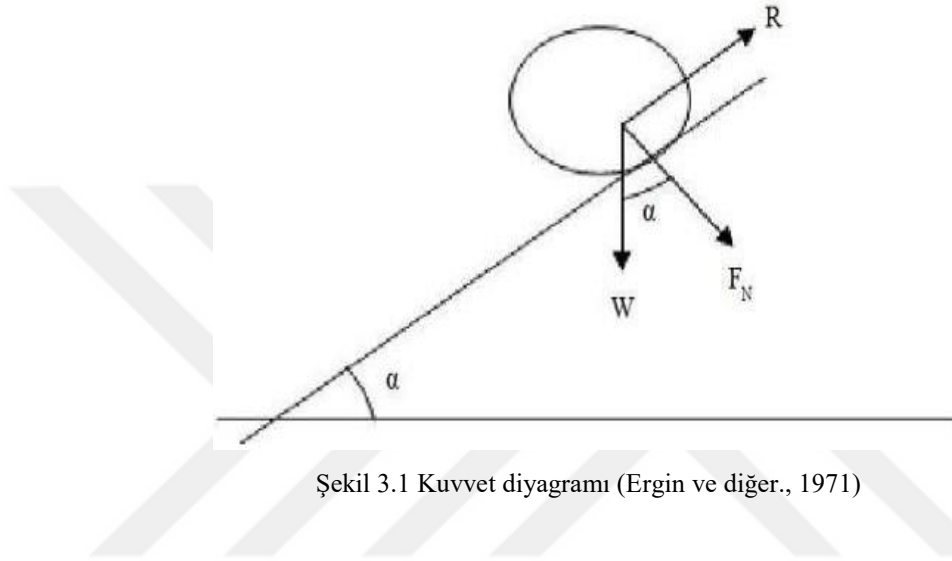
- Dalga yüksekliği
- Dalga boyu
- Dalga dikliği
- Dalga açısı
- Dalga asimetrisi
- Spektrum tipi
- Su derinliği
- Su yoğunluğu

#### **Yapı ile ilgili değişkenler**

- Koruyucu tabaka eğimi
- Hava payı
- Koruyucu yoğunluğu
- Koruyucu gronülometrisi
- Koruyucu ağırlığı
- Koruyucu şekli
- Geçirgenlik
- Tabaka kalınlığı
- Tabakaların porozitesi

Dalgakırana gelen dalga yükleri ve dış koruyucu tabakanın hidrolik stabilitesi arasındaki ilişki dalgakıran tasarımı için önemli bir konudur. Ancak kolay erişilebilir dalga parametrelerinin (dalga yüksekliği ve periyodu, blok ağırlığı vs.) kullanılması genel yaklaşımı basitleştirmektedir. Tasarımlarda fiziksel model deneyleri veya prototip gözlemlerine dayanan deneysel ya da yarı deneysel formüller kullanılmaktadır (Hald, 1998).

Dalgakıran dış koruyucu tabakalarının hidrolik stabiliteleri ile ilgili ilk formülü Ramón Iribarren oluşturmuştur. Iribarren (1938), çalışmasında dalgakıran eğimli yüzeyinden bir taşın oynaması için gerekli dalga dinamik kuvvetinin ( $F_N$ ), dalgakıran önündeki dalga yüksekliğine ( $H$ ), kuvvetin etki ettiği taş alanına ( $A$ ) ve suyun özgül ağırlığına ( $\gamma_w$ ) bağlı olduğunu kabulünü yapmıştır. Koruyucu tabakaya etkiyen kuvvetler Şekil 3.1’de şematik olarak gösterilmiştir (Engin, 2011).



Şekil 3.1 Kuvvet diyagramı (Ergin ve diğer., 1971)

Iribarren’ın 1938 yılında yayınladığı formül (3.1) eşitliğinde verilmiştir. Hudson, 1953 yılında bu formülü  $\mu=1$  ve  $\gamma_w=1 \text{ t/m}^3$  kabullerini dikkate almadan düzenlenmiştir. Bu formül “Iribarren-Hudson” formülü olarak bilinmektedir ve (3.2) eşitliğinde verilmiştir (Yüksel, 2011).

$$W = \frac{\mu^3 K' \gamma_s \gamma_w^3 H^3}{(\gamma_s - \gamma_w)^3 (\mu \cos \alpha - \sin \alpha)^3} \quad (3.1)$$

$$W = \frac{K \gamma_s H^3}{(\gamma_s - 1)^3 (\cos \alpha - \sin \alpha)^3} \quad (3.2)$$

W: Taş ağırlığı

H: Dalga yüksekliği

$\gamma_s$ : Taşın özgül ağırlığı

$\gamma_w$ : Suyun özgül ağırlığı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

K, K': Katsayı

$\mu$ : Blokların içsel sürtünme katsayısı

K katsayısının değerinden dolayı (3.1) eşitliği bazı durumlarda doğru sonuç verememektedir. Bu katsayının laboratuvar deneyleriyle bulunması gerekmektedir. Iribarren, 1965 yılında kendi formülünü gözden geçirmiş ve yeniden yayınlamıştır. Bu yeni formül (3.3) eşitliğinde verilmiştir (Ergin ve diğer., 1971).

$$W = \frac{K\gamma_s H^3}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 (f\cos\alpha - \sin\alpha)^3} \quad (3.3)$$

W: Taş ağırlığı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

H: Dalga yüksekliği

K: Katsayı

$\gamma_s$ : Taşın özgül ağırlığı

$\mu$ : Blokların içsel sürtünme katsayısı

$\gamma_w$ : Suyun özgül ağırlığı

f: Yeni sürtünme katsayısı

Hudson (1959) koruyucu kaplama tabakasının stabilitesine etki eden parametreleri belirlemiş ve daha sonra bunları boyut analizi (Buckingham Teoremi) yöntemi ile çözerek yapıda hiç hasar olmama koşulunu sağlayan Hudson formülünü elde etmiştir. Hudson formülü (3.4) eşitliğinde verilmiştir.

$$W = \frac{\gamma_s H^3}{K_D \left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right)^3 \cot\alpha} \quad (3.4)$$

W: Taş ağırlığı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

H: Dalga yüksekliği

$K_D$ : Stabilite katsayısı

$\gamma_s$ : Taşın özgül ağırlığı

$\gamma_w$ : Suyun özgül ağırlığı

Ocak taşı için kırılan ve kırılmayan dalga durumlarında kullanılan stabilite katsayısı ( $K_D$ ) değerleri Coastal Engineering Manual'de (CERC, 1984) verilmiş ve Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Özel beton blok tipleri için stabilite katsayısı değerleri ise Tablo 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 Ocaktaşı için  $K_D$  stabilite katsayıları (CERC, 1984)

| Koruyucu tabaka       | Taş kaplama sırası | $K_D$              |                       |                    |                       | Eğim  |
|-----------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|-------|
|                       |                    | Dalgakıran gövdesi |                       | Dalgakıran kafası  |                       |       |
|                       |                    | Kırılan dalgalarda | Kırılmayan dalgalarda | Kırılan dalgalarda | Kırılmayan dalgalarda |       |
| Düzgün ocaktaşı       | 2                  | 1.2                | 2.4                   | 1.1                | 1.9                   | 1.5-3 |
|                       | >3                 | 1.6                | 3.2                   | 1.4                | 2.3                   | 1.5-3 |
| Kaba, köşeli ocaktaşı | 2                  | 4                  | 4                     | 1.9                | 3.2                   | 1.5   |
|                       |                    |                    |                       | 1.6                | 2.8                   | 2     |
|                       |                    |                    |                       | 1.3                | 2.3                   | 3     |
|                       | >3                 | 2.2                | 4.5                   | 2.1                | 4.2                   | 1.5-3 |

Tablo 3.2 Özel beton bloklar için  $K_D$  stabilite katsayısı değerleri

| Beton blok | Eğim | $K_D$              |                       |                    |                       | Kaynak                 |
|------------|------|--------------------|-----------------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
|            |      | Dalgakıran gövdesi |                       | Dalgakıran kafası  |                       |                        |
|            |      | Kırılan dalgalarda | Kırılmayan dalgalarda | Kırılan dalgalarda | Kırılmayan dalgalarda |                        |
| Küp        | 1.5  | 3.5                | 4.5                   | -                  | -                     | Massie, 1986           |
|            | 2    | 5                  | 6.5                   | 4                  | 5                     |                        |
|            | 2.5  | 6                  | 7.5                   | 5                  | 6                     |                        |
|            | 3    | 7                  | 8.5                   | 6                  | 7                     |                        |
|            | 3.5  | 8                  | 9.5                   | -                  | -                     |                        |
| Antifer    | 1.5  | 4                  | 5                     | 3.5                | 4                     | Yalçın ve diğer., 1999 |
|            | 2    | 5.5                | 7                     | 4.5                | 5.5                   |                        |
|            | 2.5  | 6.5                | 8                     | 5.5                | 6.5                   |                        |
|            | 3    | 7.5                | 9                     | 6.5                | 7.5                   |                        |
| Tetrapod   | 1.5  | 7                  | 8                     | 5                  | 6                     | CERC, 1998             |
|            | 2    | 7                  | 8                     | 4.5                | 5.5                   |                        |
|            | 3    | 7                  | 8                     | 3.5                | 4                     |                        |
| Dolos      | 1.5  | 15.8               | 31.8                  | 7                  | -                     | CERC, 1998             |
|            | 2    | 15.8               | 31.8                  | 8                  | 16                    |                        |
|            | 3    | 15.8               | 31.8                  | 7                  | 14                    |                        |
| Accropode  | -    | 12                 | 15                    | 9.5                | 11.5                  | DMC, 2008              |
| Coreloc    |      | 16                 |                       | 13                 |                       |                        |
| Xbloc      |      | 16                 |                       | 13                 |                       |                        |

Hudson formülü eksiklikleri bulunduğu halde günümüzde mühendisler tarafından ön tasarım için sıklıkla kullanılmaktadır. Bu formüldeki en büyük sorun yapı için çok kritik olan tırmanma ve geri çekilme olayları ile ilişkilendirilebilecek dalga periyodu (T) terimini içermemesidir (Engin, 2011).

Van der Meer (1987), düzensiz dalga koşulları altında yapılan model deneylerinden yararlanarak dış koruyucu tabakaları taş malzemeden oluşan dalgakıranların “plunging” ve “surging” tipi kırılan dalga durumlarındaki stabilite için (3.5) ve (3.6) eşitliklerini önermiştir. Bu ifadelerde aşmaya çok az izin verilmiş ve Hudson formülünde bulunmayan bazı değişkenlerin etkisi de dikkate alınmıştır (Yüksel, 2011).

“Plunging” tipi kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 6.2P^{0.18} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad (3.5)$$

H: Dalga yüksekliği

N: Dalga sayısı

$\Delta$ : Göreceli özgül kütle

S: Hasar seviyesi

$D_{n50}$ : Nominal taş çapı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

P: Geçirimsizlik

$\xi_m$ : Surf parametresi

“Surging tipi” kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = 1.0P^{-0.13} \left( \frac{S}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \xi_m^P \quad (3.6)$$

H: Dalga yüksekliği

N: Dalga sayısı

$\Delta$ : Göreceli özgül kütle

S: Hasar seviyesi

$D_{n50}$ : Nominal taş çapı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

P: Geçirimsizlik

$\xi_m$ : Surf parametresi



Sığ sularda dalgakıran topuğundaki dalga yüksekliği dağılımı “Rayleigh” dağılımı değildir. Van der Meer (1988b), sığ su durumları için (3.7) ve (3.8) ifadelerini önermiştir.

“Plunging” tipi kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 8.7P^{0.18} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \xi_m^{-0.5} \quad (3.7)$$

H: Dalga yüksekliği

N: Dalga sayısı

$\Delta$ : Göreceli özgül kütle

S: Hasar seviyesi

$D_{n50}$ : Nominal taş çapı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

P: Geçirimsizlik

$\xi_m$ : Surf parametresi

“Surging” tipi kırılan dalgalar için:

$$\frac{H_{2\%}}{\Delta D_{n50}} = 1.4P^{-0.13} \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \sqrt{\cot\alpha} \xi_m^P \quad (3.8)$$

H: Dalga yüksekliği

N: Dalga sayısı

$\Delta$ : Göreceli özgül kütle

S: Hasar seviyesi

$D_{n50}$ : Nominal taş çapı

$\alpha$ : Dalgakıran yüzeyinin yatayla yaptığı açı

P: Geçirimsizlik

$\xi_m$ : Surf parametresi

(Kamali ve Hashim, 2009)

Van der Meer formülünün özel beton bloklar için uygulanma durumu Iribarren ve Hudson’dan farklı olarak bloktan bloğa değişiklik göstermektedir. Özel beton bloklar için Van der Meer ifadeleri Tablo 3.3’te verilmiştir.

Tablo 3.3 Özel beton bloklar için stabilite formülleri (Van der Meer, 1998)

| Blok      | Stabilite formülü   |
|-----------|---|
| Küp       | $\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 6.7 \frac{N_{od}^{0.4}}{N^{0.3}} + 1.0 \right) S_{om}^{-0.1}$ $\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 6.7 \frac{N_{omov}^{0.4}}{N^{0.3}} + 1.0 \right) S_{om}^{-0.1} - 0.5$                     |
| Antifer   | $\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 6.951 \frac{N_{od}^{0.443}}{N^{0.291}} + 1.082 \right) S_{om}^{-0.082}$ $\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 6.951 \frac{N_{omov}^{0.443}}{N^{0.291}} + 1.082 \right) S_{om}^{-0.082} - 0.5$ |
| Tetrapod  | $\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 3.75 \frac{N_{od}^{0.5}}{N^{0.25}} + 0.85 \right) S_{om}^{-0.2}$ $\frac{H_s}{\Delta D_n} = \left( 3.75 \frac{N_{omov}^{0.5}}{N^{0.25}} + 0.85 \right) S_{om}^{-0.2} - 0.5$               |
| Dolos     | $N_{od} = 6250 \left( \frac{H_s}{\Delta^{0.74} D_n} \right)^{5.26} S_{op}^3 w_r^{20} s_{op}^{0.45} + E$   |
| Accropode | $\frac{H_s}{\Delta D_n} = 3.7 (N_{od} = 0)$   |
| Coreloc   | $\frac{H_s}{\Delta D_n} = 4.1 (N_{od} > 0.5)$   |

$H_s$ : Tasarım dalga yüksekliği

$\Delta$ : Göreceli özgül kütle

$D_n$ : Nominal çap

$N$ : Dalga sayısı

$N_{mov}$ : Yer değiştiren ve kıpırdayan blokların sayısı

$N_{od}$ : Göreceli hasar seviyesi

$S$ : Dalga dikliği

$w_r$ : Dolos'un gövde oranı

$E$ : Hata terimi

## BÖLÜM DÖRT

### KORUYUCU BETON BLOKLARIN YAPISAL STABİLİTELERİNİN BELİRLENMESİ

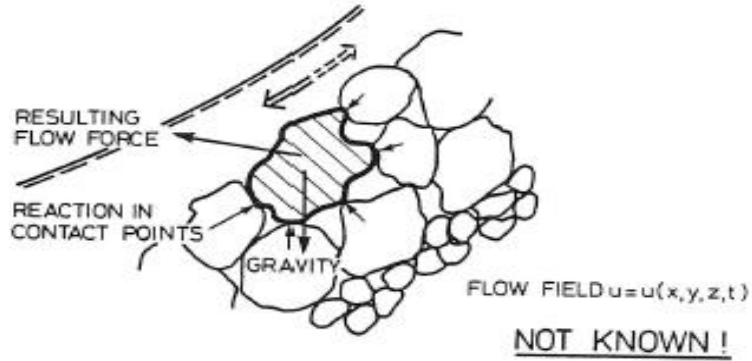
Dalgakıran dış koruyucu tabaka tasarımında hidrolik stabilitenin yanında özel beton blokların yapısal stabilite çalışmaları da büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmaların bir kısmına ikinci bölümde yer verilmiş olup kullanılan yöntemlere genel olarak bu bölümde değinilmiştir. Bölüm 4.1’de bilgisayar kullanımı olmadan yapılmış çalışmalar anlatılmış olup Bölüm 4.2’de ise bu tez çalışması kapsamında kullanılmış olan sonlu elemanlar analizi yazılımından bahsedilmiştir.

#### 4.1 Bilgisayar kullanılmadan yapılan değerlendirmeler (Laboratuvar ve saha çalışması ile yapılan belirlemeler)

Koruyucu tabaka bloklarına gelen statik ve dinamik yüklerin değerlendirilmesi için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemler aşağıda sıralanmıştır:

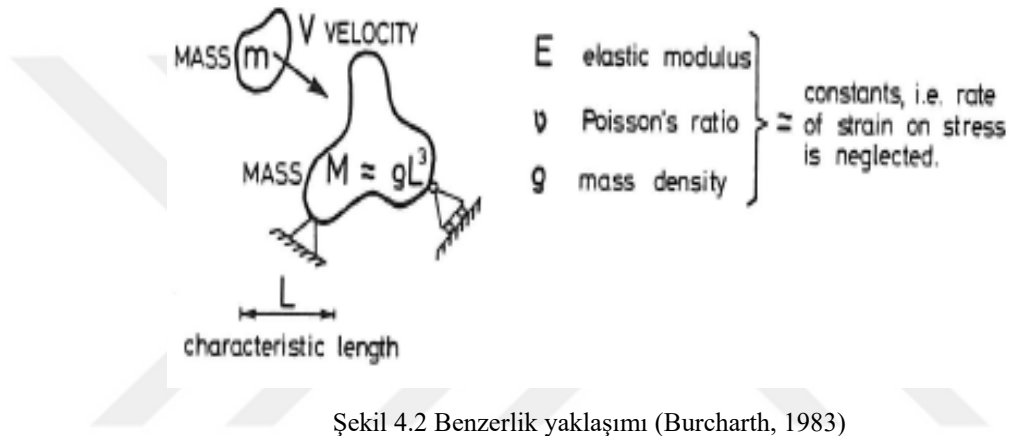
- Benzerlik yöntemleri
- Model deneyleri
- Prototip kayıtları

Tamamen teorik yaklaşımla ilgili zorluklar koruyucu birimlere etkileyen kuvvetler nedeniyle oluşmaktadır (Burcharth, 1983). Bu kuvvetler şematik olarak Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Koruyucu birime etki eden kuvvetler (Burcharth, 1983)

Temel ilkelere dayanan teorik modelleri kullanmanın mümkün olmadığı durumlarda benzerlik modelleri kullanılmaktadır. Burcharth (1983), koruyucu birimlerin hidrolik ve mekanik stabiliteleri ile tasarım yöntemi oluşturmak amacıyla bu yöntemi denemiştir. Bu yöntemde koruyucunun üst tabakasına serbestçe oturan ve dolayısıyla “impact” etkisine maruz kalan kompleks ve narin blok tipleri ile uygulama yapılmaktadır. Geometrik olarak benzer sistemlerin bir sınıfını göz önünde bulundurarak, “impact” etkisindeki birimlerde boyutsuz gerilmeler için Şekil 4.2’de verilen ifadeye ulaşılmaktadır.



Şekil 4.2 Benzerlik yaklaşımı (Burcharth, 1983)

Boyutsuz gerilme boyut analizi yapılması sonucunda elde edilmiştir. Bu ifade 4.1 eşitliğinde gösterilmiştir (Burcharth, 1983).

$$\frac{\sigma'}{mv^2L^3} = f\left(\frac{EL^3}{mv^2}, \frac{m}{\rho L^3}, \vartheta\right) \quad (4.1)$$

$\sigma'$ : Boyutsuz gerilme

$E$ : Elastisite modülü

$m$ : Kütle

$\nu$ : Poisson oranı

$v$ : Hız

$\rho$ : Özgül kütle

$L$ : Uzunluk

$m/(\rho L^3)$  sabit oranı uygulanarak  $v$ 'deki varyasyondan gelen etkiler ihmal edilmiştir. Bu ifade 4.2 eşitliğinde gösterilmiştir (Burcharth, 1983).

$$\frac{\sigma'}{mv^2L^3} = f\left(\frac{E}{\rho v^2}\right) \quad (4.2)$$

$\sigma'$ : Boyutsuz gerilme

m: Kütle

v: Hız

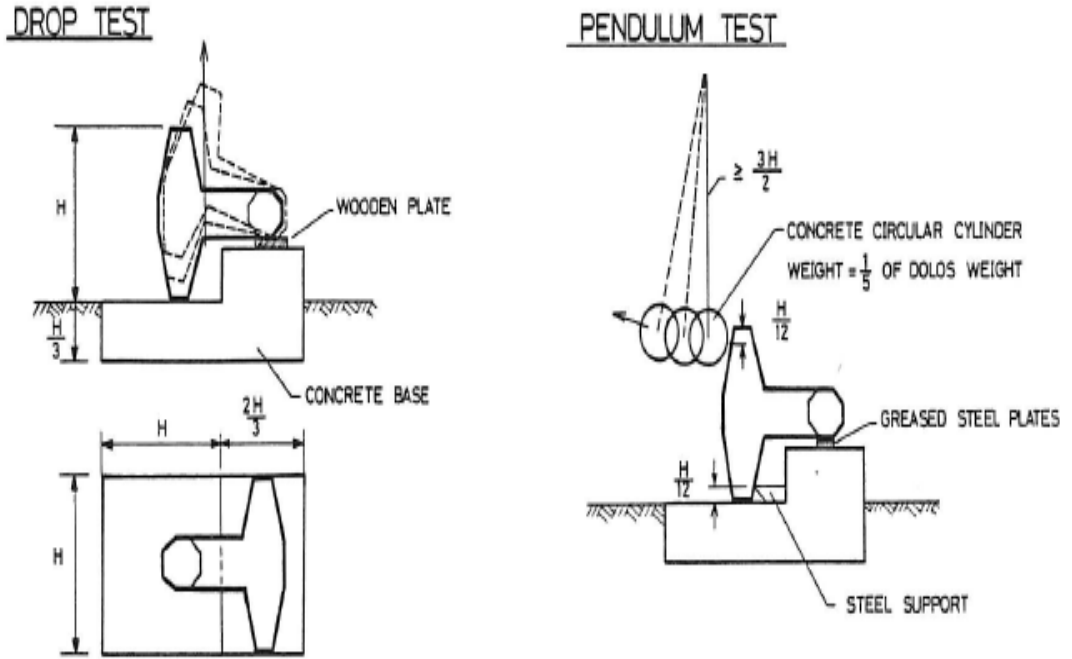
L: Uzunluk

E: Elastisite modülü

v: Poisson oranı

$\rho$ : Özgül kütle

Dolos bloğu ile Şekil 4.3'te görülen deneyler yapılmıştır. Birisi düşme, diğeri çarpma olarak isimlendirilen iki deney ile dalgaların blok üzerine yapacağı etki araştırılmaktadır (Burcharth, 1983).



Şekil 4.3 Düşürme ve çarpma deneyleri (Burcharth, 1983)

Düşürme deneyi ile ilgili bağıntı  $0.3 \leq r \leq 0.4$  bel oranı aralığı için 4.3 eşitliğinde verilmiştir. Çarpma deneyine ait bağıntı ise 4.4 eşitliğinde gösterilmiştir (Burcharth, 1983).

$$\frac{\sigma}{mghH^{-3}} = C \frac{1+r}{r^2} \sqrt{\frac{E}{\rho gh}} \quad (4.3)$$

$$\frac{\sigma}{mghH^{-3}} = K \frac{1}{r^3} \sqrt{\frac{E}{\rho gh}} \quad (4.4)$$

$\sigma$ : Gerilme

m: Kütle

h: Ağırlık merkezinin yükseltilmiş yüksekliği

H: Birimin yüksekliği

r: Bel oranı

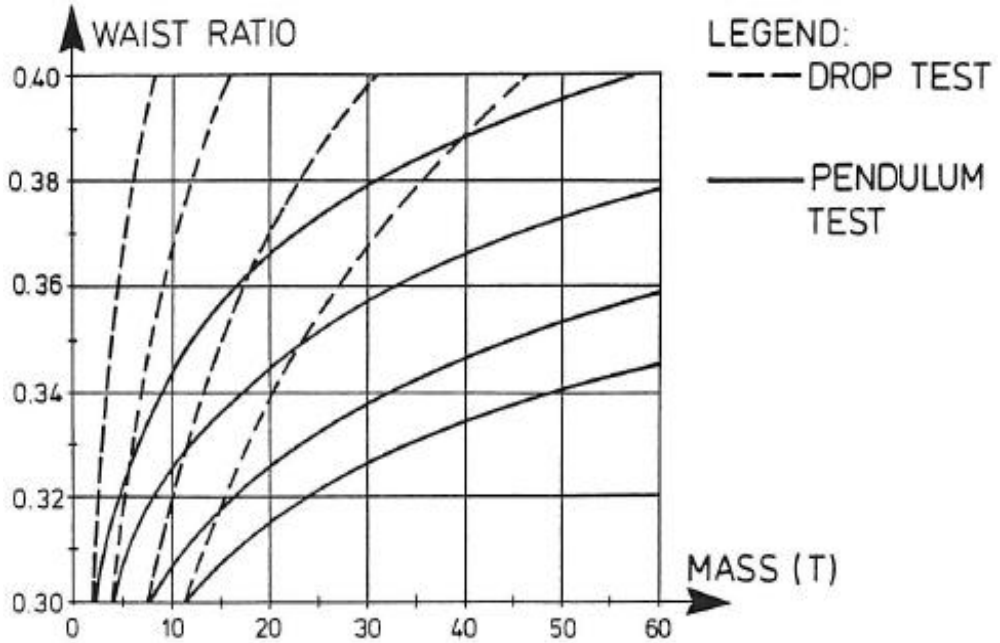
K, C: Katsayılar

E: Elastisite modülü

g: Yerçekimi ivmesi

$\rho$ : Özgül kütle

Deneyler donatısız ve donatılandırılmış Doloslar için 15 ile 300 kN aralığındaki yüklemeler için yapılmıştır. Donatılandırılmış Doloslar ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar teorik formülleri doğrulamıştır. Blokların boyutları ve göreceli dayanımları arasındaki ilişki Şekil 4.4'te eşgerilme eğrileri ile gösterilmiştir (Burcharth, 1983).



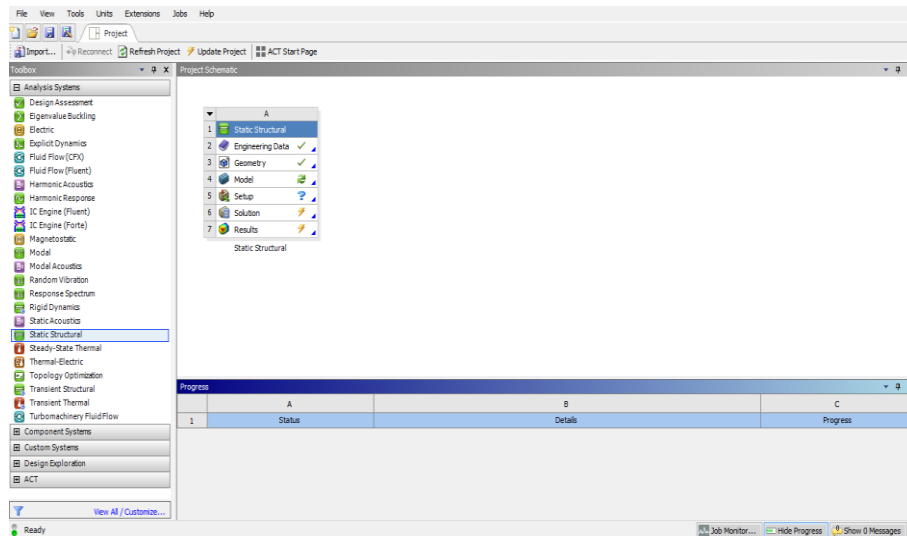
Şekil 4.4 Aynı dönüş açısındaki Doloslar için eş gerilme eğrileri (Burcharth, 1983)

## 4.2 Sonlu elemanlar yazılımları ile yapısal stabilitenin belirlenmesi

Koruyucu beton blokların yapısal stabilitesi ile ilgili çalışmalar günümüzde bilgisayar ortamında sonlu elemanlar yöntemini kullanan yazılımlar aracılığıyla yapılmaktadır. Bu yazılımların en yaygın olarak kullanılanları “Ansys Workbench”, “Abaqus” ve “Nastran” dır. Ancak bu tez çalışması kapsamında yalnızca “Ansys Workbench” yazılımı kullanılmıştır. “Ansys Workbench” yazılımı ile ilgili genel bilgiler bu bölümde verilmektedir.

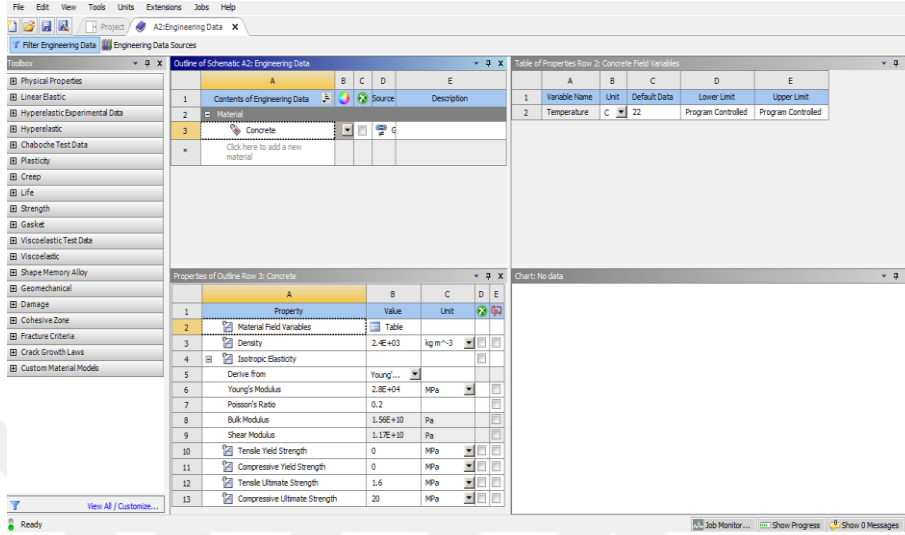
“Ansys Workbench” yazılımının üst bölümünde birçok sekme bulunmaktadır. “File” sekmesi yeni dosya açılması, çalışılan dosyanın kaydedilmesi gibi özellikleri içeren sekmedir. “View” sekmesinde programın arayüzü ile ilgili değişiklik yapılmaktadır. “Tools” sekmesi program ile ilgili genel ayarların yapılmasına olanak sağlamaktadır. “Extension” sekmesi ile çeşitli eklentiler yönetilmektedir. “Jobs” sekmesi ile programda yapılan çalışmalar görüntülenmektedir. “Help” sekmesi ise kullanıcıların çeşitli sorularına yanıt bulmayı amaçlayan yardım sekmesidir.

“Ansys Workbench” yazılımında çok sayıda modül bulunmaktadır. Bu modüllere geçişler ana ekran üzerinden yapılmaktadır. Statik yapısal analiz modülünün içeriği Şekil 4.5’te gösterilmiştir.



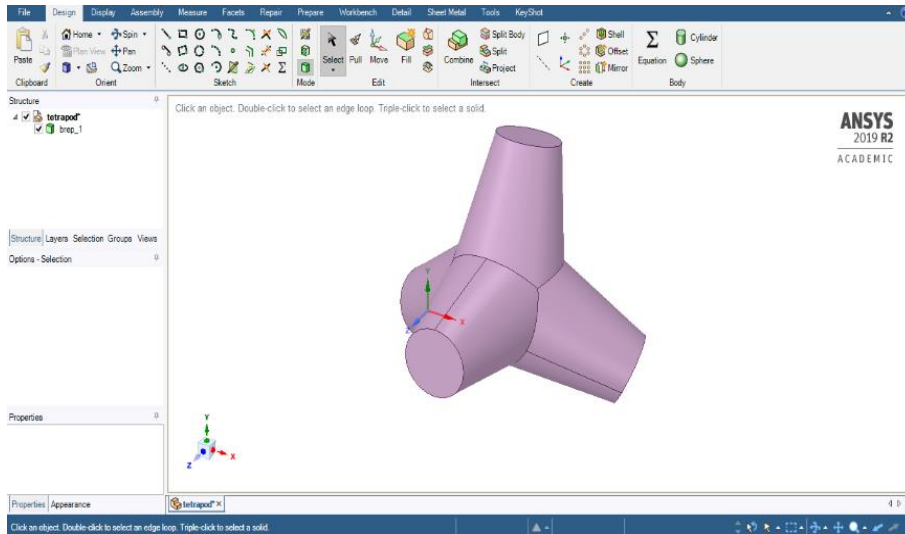
Şekil 4.5 “Static Structural” arayüzü

Analizlere başlamadan önce ilk olarak “Engineering Data” bölümü açılarak analizlerde kullanılacak modellerin malzeme özellikleri girilmektedir. Bu bölümün ekran görüntüsü Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.6 “Engineering Data” ekranı

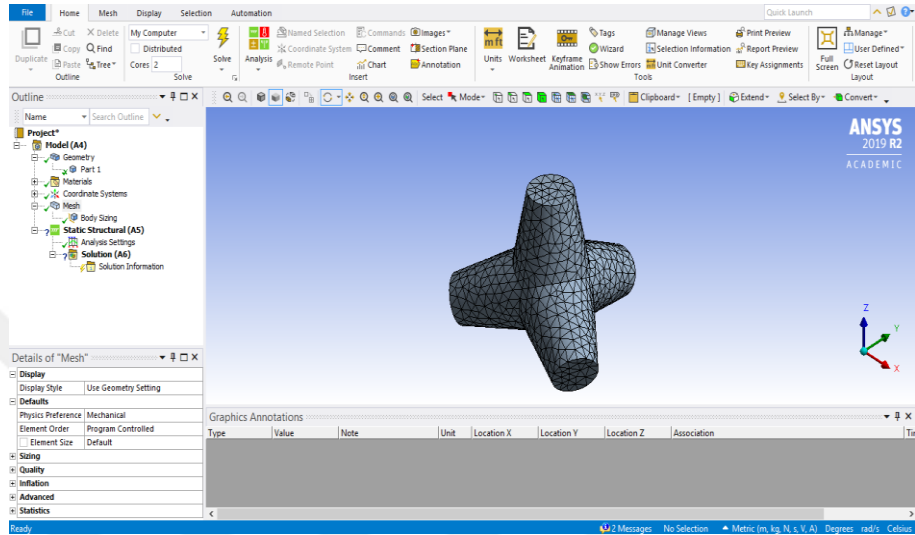
“Geometry” bölümünde işleme alınacak olan katı model programa aktarılmaktadır. “Space Claim” veya “Design Modeler” yardımcı yazılımları ile model geometrisi üzerinde bazı değişiklikler yapılabilmektedir. “Space Claim” yazılımının kullanımı “Ansys Workbench” kullanıcıları arasında daha yaygındır. Bu yazılımın ana ekran görüntüsü Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 “Space Claim” arayüzü



Geometri tanımlaması yapıldıktan sonra “Model” bölümünde malzeme özelliklerinin ilgili modele atanması ve sonlu elemanlara ayırma işlemleri yapılmaktadır. Ardından sabitleme ve yükleme koşulları bu bölümde tanımlanmakta ve analiz gerçekleştirilmektedir. “Model” bölümünün ekran görüntüsü Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 Statik yapısal analiz ekranı

Sonlu elemanlara ayırma işlemi modelin çok sayıda parçaya bölünerek analizin yapılmasına olanak sağlamaktadır. Sonlu eleman sayısının fazla olması daha doğru sonuçlar bulmaya olanak sağlamaktadır. Ancak gereğinden fazla ayırma yapılması bilgisayarın geçici belleğini zorlamakta ve analiz gerçekleştirme süresinin uzamasına neden olmaktadır.

## **BÖLÜM BEŞ**

### **KORUYUCU BETON BLOKLARIN YAPISAL STABİLİTE ANALİZİ**

Bu bölümde dalgakıranların dış koruyucu tabakalarında koruyucu malzeme olarak kullanılan özel beton blokların hasar ve stabilite durumları yapısal yönden ele alınmıştır. Bu çalışmada öncelikle tasarım yazılımı kullanılarak her bir blok türü için üç boyutlu katı modeller oluşturulmuştur. Bu işlemlerin ardından daha önceden oluşturulmuş olan tüm modeller sırasıyla sonlu elemanlar analizi yazılımına aktararak çeşitli yükleme durumları altında analiz edilmiştir. Analizi yapılan modeller ile ilgili bilgiler ve bu modellerin görüntüleri Bölüm 5.1’de verilmiştir. Yapısal stabilite analizi ile ilgili yapılan tüm çalışmalar ise Bölüm 5.2’de anlatılmıştır.

Gerçekte deniz ortamında dalga etkisi altındaki bloklara etkiyen kuvvetler dinamik kuvvetlerdir. Blok yüzeylerine etkiyen basınç değerleri dalga geçişi sırasında belirli bir değerden başlayıp maksimum değere ulaştıktan daha sonra sönümlenmekte, bu hareket fırtına süresince tekrarlanmaktadır. Blok yüzeyine etkiyen basınçların blok içinde oluşturacağı gerilmeler blokların hasar görmesine yetecek mertebeye gelmeden bloklar hareket edecektir. Bloklarda hasar oluşması, hareket eden bir bloğun diğer bir bloğa çarpması sonucunda oluşacaktır. Bu nedenle aslında yapısal analizin “impact” etkisi dikkate alınarak (impact yük analizi) yapılması daha uygundur. Nitekim saha uygulamalarında blokların belirli bir mesafeden sert bir yüzeye düşürülerek test edilmesinin gerekçesi budur. Ancak bilgisayar ortamında sonlu elemanlar analiz teknikleriyle bu tür bir analiz statik bir analize oranla oldukça güçtür. Bu nedenle bu tez kapsamında statik bir analiz gerçekleştirilmiştir.

Donatısız beton gevrek bir malzeme olduğu için akma yapmadan kırılmaktadır. Ayrıca bu malzemenin çekme gerilmelerine karşı dayanımı basınç gerilmelerine göre oldukça düşüktür. Hasar oluşumları ve kırılmalar genellikle çekme gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle statik analizlerde maksimum çekme gerilmesi kriteri dikkate alınmıştır.


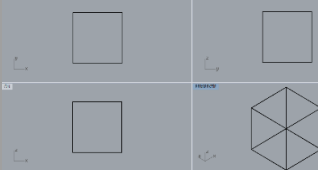
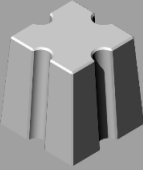
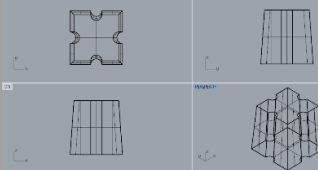
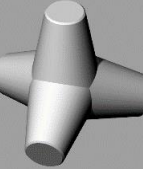
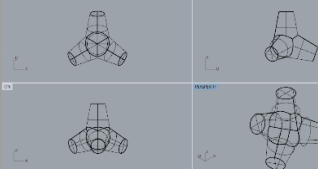

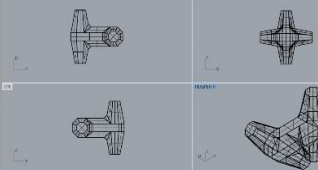
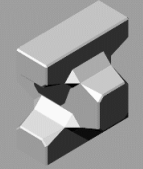
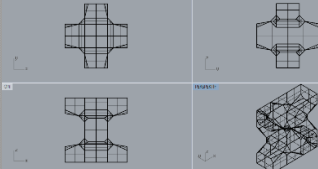
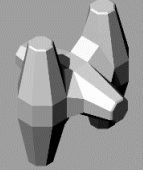
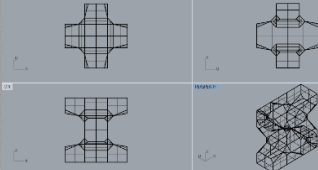
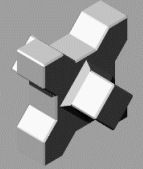
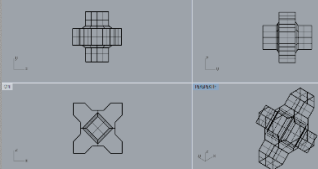
Kıyı Yapıları ve Limanlar Malzeme, Yapım, Kontrol ve Bakım Onarım Teknik Esaslarında (DLH, 2007) dalgakıran koruyucu tabaka bloklarında kullanılması gereken minimum beton sınıfı C18 olarak belirtildiği için analizlerde C20 sınıfı beton kullanmanın uygun olduğu görülmektedir. Ancak donatısız beton malzemenin çekme gerilmelerine karşı dayanımı düşük ve aşınma riski yüksek olduğu için uygulamalarda daha yüksek sınıflarda beton kullanılması tavsiye edilmektedir. Bazı özel beton blok uygulamalarında çekme gerilmelerine karşı dayanımı arttırmak amacıyla beton malzeme çelik ile donatılandırılmaktadır. Ancak bu tez çalışması kapsamında donatılandırılmış malzemedan imal edilen bloklar ile ilgili analizler yapılmamıştır.

### 5.1 Modellerin oluşturulması

Analizi yapılmak istenen blokların üç boyutlu katı modelleri “Rhinoceros” yazılımı aracılığıyla oluşturulmuştur. Bu modellerin çizimleri gerçek boyutlar esas alınarak yapılmıştır. Analizlerde kıyaslama yapabilmek için blokların ağırlık değerlerinin aynı olması istenmiştir. Her bir blokta kullanılan malzeme türü aynı (donatısız beton) olmasından dolayı ağırlıklarını eşitleyebilmek için model hacimlerini aynı değerde tutmak gereklidir. Bu yüzden her bir model hacimleri aynı (1 m<sup>3</sup>) olacak şekilde tasarlanmıştır.

Analizi yapılan koruyucu beton blokların görsel olarak daha iyi anlaşılabilmesi için ilgili modellerin perspektif ve çeşitli yönlerden ağ görüntüleri Tablo 5.1’de verilmiştir. Tablonun ilk sütununda blokların isimleri belirtilmekte olup ikinci sütunda bu bloklara ait modellerin perspektifleri görülmektedir. Üçüncü sütunda ise modellerin çeşitli yönlerden ağ görüntüleri dörtlü bölümler halinde yer almaktadır. Bu bölümlerin sol üstte bulunanı modelin üstten görünümünü, sağ üstte bulunanı modelin sağdan görünümünü, sol altta bulunanı modelin önden görünümü ve sağ altta bulunanı ise tekrardan perspektifi göstermektedir. Ayrıca bu görüntülerdeki modellerin kenarlarında pahlar bulunmakta olup analiz aşamasında bu kısımlarda gerilme yoğunlaşmasını önlemek amacıyla kaldırılmıştır.

Tablo 5.1 Blok modelleri ve görüntüleri

| Blok      | Perspektif  | Ağ görüntüleri  |
|-----------|---|---|
| Küp       |    |    |
| Antifer   |    |    |
| Tetrapod  |    |    |
| Dolos     |   |   |
| Accropode |  |  |
| Coreloc   |  |  |
| Xbloc     |  |  |

## 5.2 Analizlerin yapılması

“Rhinceros” yazılımı aracılığıyla oluşturulan üç boyutlu katı modelleri “Ansys Workbench” yazılımına aktarmadan önce statik yapısal analiz modülü seçilmiş ve malzeme özellikleri belirlenmiştir. Gerçekleştirilen analizlerde kullanılan malzeme standart olarak C20 sınıfı donatısız beton olarak seçilmiştir. Bu malzeme tipinin mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo 5.2’de verilmiştir. Beton gevrek yapıda bir malzeme olduğu için akmadan kırılmaktadır. Bu nedenle çekme ve basınç akma dayanımları sıfırdır.

Tablo 5.2 C20 sınıfı donatısız betonun mekanik özellikleri

| Mekanik özellik       | Değer                |
|-----------------------|----------------------|
| Yoğunluk              | 24 kN/m <sup>3</sup> |
| Elastisite modülü     | 28,000 MPa           |
| Poisson oranı         | 0.2                  |
| Çekme akma dayanımı   | 0                    |
| Basınç akma dayanımı  | 0                    |
| Çekme kopma dayanımı  | 1.6 MPa              |
| Basınç kopma dayanımı | 20 MPa               |

Malzeme özelliklerinin “Ansys Workbench” yazılımında tanımlanması ve geometri seçimi işlemlerinin tamamlanmasından sonra model bölümüne geçilmiştir. Burada öncelikle malzeme özelliği donatısız beton olarak atanmış ve her bir model sonlu elemanlara ayrılmıştır. Sonlu elemanlar optimize edilerek daha doğru sonuçlar elde edilmesi amaçlanmıştır. Program arayüzündeki “Mesh” bölümünden “Patch Conforming Method” ve “Sizing” eklemeleri yapılmıştır ve “Sizing” eklemesi sırasında sonlu eleman (mesh) boyutları her bir model için 5 cm olarak belirlenmiştir. Böylece tüm modeller için eleman (element) ve düğüm (node) sayıları birbirlerine oldukça yakın olmuş ve bu durum analizleri karşılaştırırken daha doğru sonuçlara ulaşmamıza olanak sağlamaktadır. Tüm modellere ait sonlu elemanların görüntüleri, eleman ve uç nokta sayıları Tablo 5.3’te gösterilmiştir.

Tablo 5.3 Sonlu elemanlarına ayrılmış modellere ilişkin bilgiler

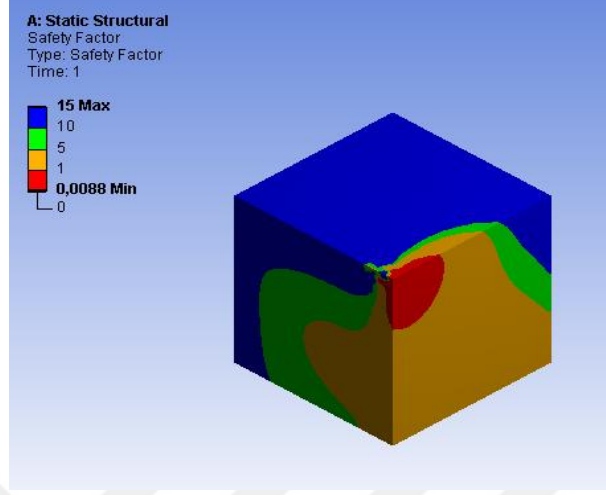
| Blok      | Sonlu elemanların görüntüsü   | Eleman sayısı | Düğüm sayısı |
|-----------|---|---------------|--------------|
| Küp       |    | 70,780        | 99,695       |
| Antifer   |    | 70,953        | 100,751      |
| Tetrapod  |   | 70,376        | 99,596       |
| Dolos     |  | 71,894        | 102,858      |
| Accropode |  | 71,868        | 103,329      |
| Coreloc   |  | 72,130        | 103,440      |
| Xbloc     |  | 71,027        | 101,884      |

Son aşamada, mesnet ve yükleme koşulları belirlenip analizlere geçilmiştir. Bu analizlerde her bir modelde hasarın ilk olarak beklendiği kesitte oluşacak hasar düzeyi için “hafif hasar”, “orta hasar” ve “ağır hasar” tanımlaması yapılmıştır. Bu tanım tamamen “kavramsal” bir tanımlama olup, analiz sonuçlarındaki güvenlik faktörüne bakılarak belirlenmiştir. Analizlerde kırılma kriteri olarak maksimum çekme gerilmesi kullanılmış olup güvenlik faktörü, beton malzemenin emniyet çekme gerilmesinin yüzeyde oluşan çekme gerilmesine oranı olarak tanımlanmaktadır. Beton bloklarda güvenlik faktörünün birin altına inmesi ( $f < 1$ ), yani yüzeyde oluşan çekme gerilmesinin malzeme emniyet çekme değerini aşması blokta çatlak oluşması, dolayısıyla bloğun çatlak doğrultusundaki yüzeyinden ikiye ayrılacağı anlamına gelmektedir. Gerilme dağılımına bakılarak hasar seviyesine karar vermek tartışmaya açık bir nitelik taşısa da şu aşamada yapısal bir analiz için yöntem olarak görülmüştür. Analiz sonuçlarında güvenlik faktörünün 1’in altında olduğu (kırılmanın başladığı) kısımlar kırmızı, 1-5 arasında olduğu kısımlar turuncu, 5-10 arasında olduğu kısımlar yeşil, 10 ve üzerinde olduğu kısımlar ise lacivert renk ile gösterilmektedir.

Hasar düzeylerine karar vermek için yine bir ölçüde sübjektif bir değerlendirme kriteri belirlenmiştir. Bloğun kırılması beklenen yüzeyinde oluşan gerilme dağılımına bakılarak hasar düzeyine karar verilmiştir. Güvenlik faktörünün birin altında olduğu alanın kritik yüzey alanına oranına göre hasar düzeyleri belirlenmiştir. Bu oranlar “hafif hasar” da %10, “orta hasar” da %25 ve “ağır hasar” da ise %50 olarak kabul edilmiştir. Statik açıdan blokların kıyaslanabilmesi için bu hasar oranlarına karşı gelen yükleme değerleri belirlenmiştir. Hasar durumları incelenirken her bir blok türü için hasar durumunun ilk olarak oluştuğu yüzeyde maksimum hasarın gözleendiği yerden kesit alınmıştır.

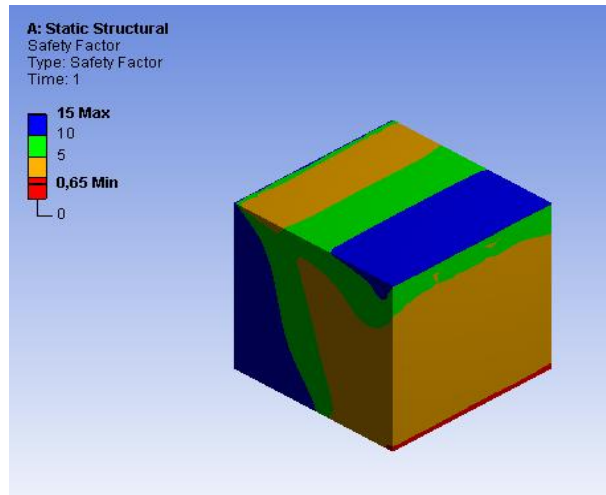
Bu tez çalışmasındaki yapısal analizlerin yapılmaya başlandığı ilk zamanlarda bloklara etki edecek yüklerin tekil yük olarak uygulanması düşünülmüştür. Ancak tekil yük kullanılarak yapılan analizlerde sonlu elemanlar analizi yazılımının bu yükleri amaçtan uzak bir şekilde algıladığı ve yük etrafında çekme gerilmesi oluşmaması gerektiği bilindiği halde böyle bir durum oluşturduğu gözlenmiştir. Tabanından

sabitlenmiş bir küp bloğunun üst köşesine tekil yük uygulanarak maksimum çekme gerilmesi kriteri ile yapılan bir analiz sonucu Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Tekil yük kullanılarak yapılmış bir analiz

Yukarıda anlatılan sorunla karşılaşmamak için çalışmaların ilerleyen zamanlarında bloklara yayılı yük uygulanmasına karar verilmiştir. Böylece, ilgili yüzeylerdeki güvenlik faktörü değer aralıklarının doğru bir şekilde görüntülenmesi sağlanmıştır. Tabanından sabitlenmiş bir küp bloğunun üst yüzeyine yayılı yük uygulanarak maksimum çekme gerilmesi kriteri ile yapılan bir analiz sonucu Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2 Yayılı yük kullanılarak yapılmış bir analiz

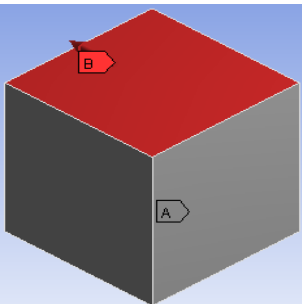
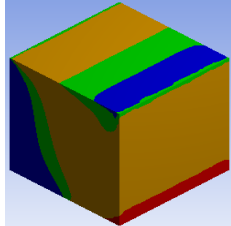
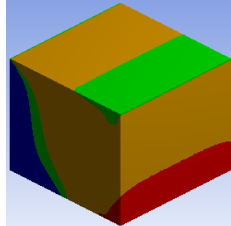
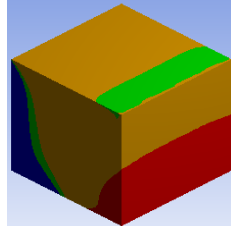


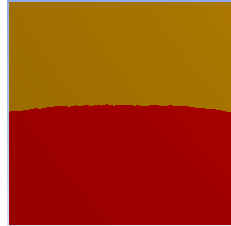


Yapısal analizlerde blok içerisinde bir gerilme dağılımı oluşturabilmek için blokların sabitlenmesi, rijit bloğa kuvvet uygulanması gerekmektedir. Modellerin farklı geometriye sahip olmaları nedeniyle her modelin sabitlenme durumu (yani mesnetlenme biçimi) ve yükleme durumu farklılıklar içermektedir. Mesnetlenecek yüzey seçimlerinde blokların koruyucu tabaka yüzeyine yerleşme ve başka bir blokla kenetlenme gibi durumlar göz önüne alınmıştır. Mesnet ve yükleme koşullarının belirtildiği görsellerde sabitlenen yüzeyler A, yükleme durumları ise B veya birden fazla mevcutsa B ve C harfleriyle gösterilmiştir.

### 5.2.1 Küp analizi

Küp modeli tabanından sabitlenerek üst yüzeyine statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak yan yüzeyde oluştuğu görülmektedir. Yan yüzeyin kesit alanı  $1 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.4'te verilmiştir.

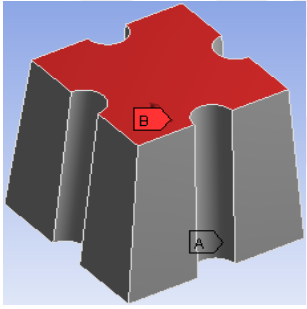
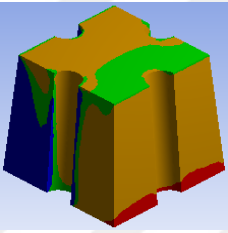
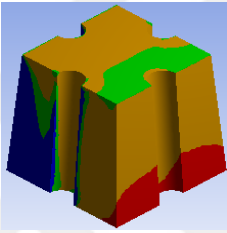
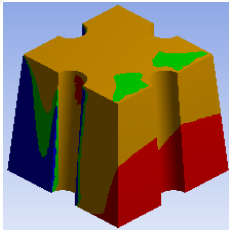
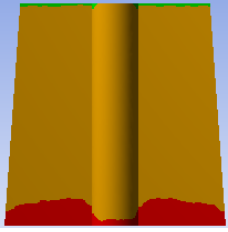
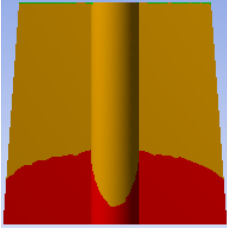
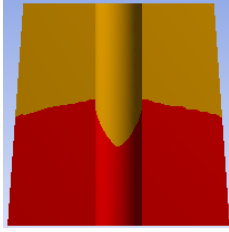
Tablo 5.4 Küp analizi

| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar (275 kN)  | Orta hasar (375 kN)  | Ağır hasar (550 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: taban)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

### 5.3.2 Antifer analizi

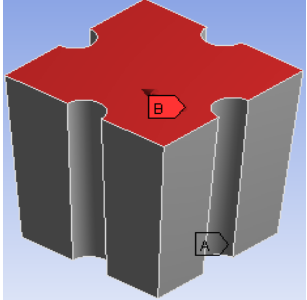
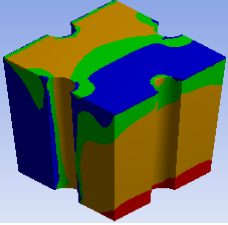
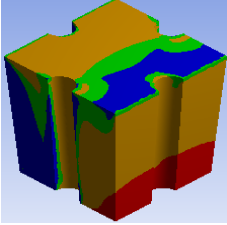
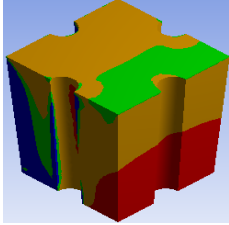
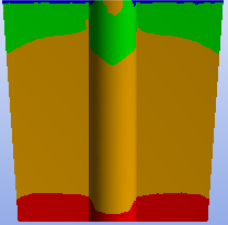
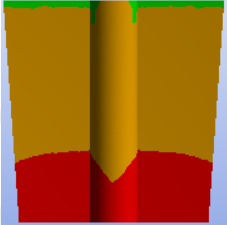
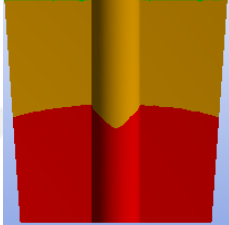
Antifer modeli tabanından sabitlenerek üst yüzeyine statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak yan yüzeyde olduğu görülmektedir. Yan yüzeyin kesit alanı  $1.23 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.5'te verilmiştir.

Tablo 5.5 Antifer analizi (1)

| Mesnet ve yükleme koşulları  | Hafif hasar (275 kN)  | Orta hasar (325 kN)  | Ağır hasar (425 kN)   |
|--|---|--|---|
| <br>(Sabit yüzey: taban) |   |   |   |
|  |  |  |  |

Antifer modeli başka bir analiz için üst yüzeyinden sabitlenerek alt yüzeyine statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak yan yüzeyde olduğu görülmektedir. Yan yüzeyin kesit alanı  $1.23 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.6'da verilmiştir.

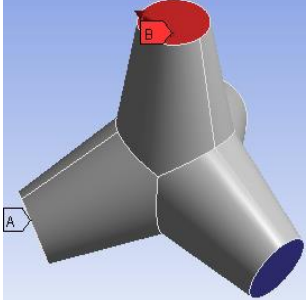
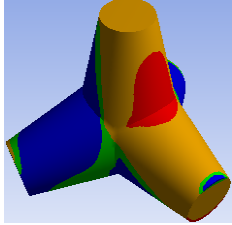
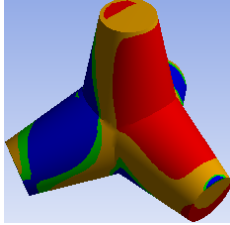
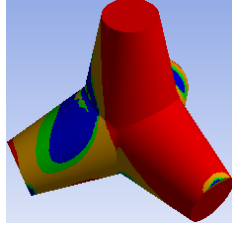
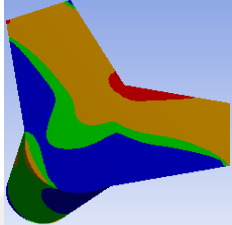
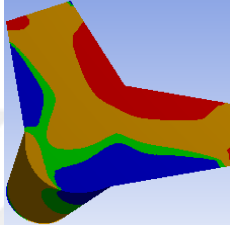
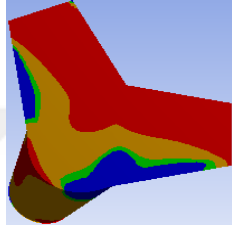
Tablo 5.6 Antifer analizi (2)

| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar (200 kN)  | Orta hasar (300 kN)  | Ağır hasar (475 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: modele göre üst, bu şekilde alt)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

### 5.3.3 Tetrapod analizi

Tetrapod modeli üç tabanından sabitlenerek üst yüzeyine statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak üst parça ve yük doğrultusunda yer alan alt parçanın birleşim bölgesinde oluştuğu görülmektedir. Ancak, değerlendirmede uygulanan yük doğrultusunun dikine kesiti dikkate alınmıştır. Parça (ayak) hacmi  $0.20 \text{ m}^3$  ve tabanının kesit alanı  $0.42 \text{ m}^2$ 'dir. Bu kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.7'de verilmiştir.

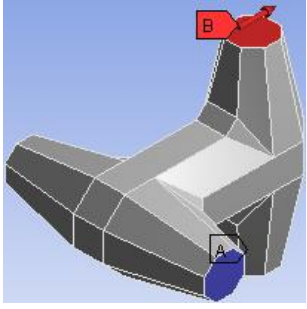
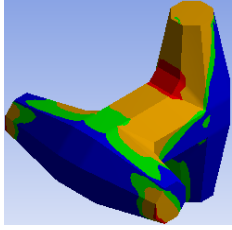
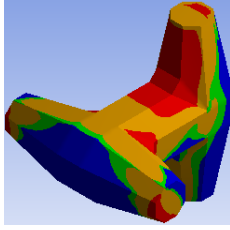
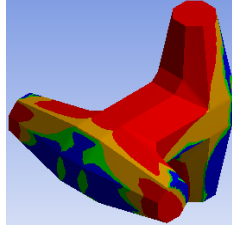
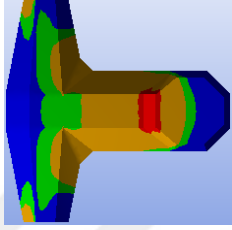
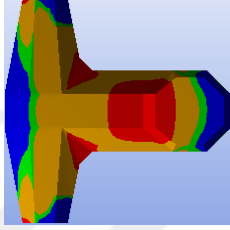
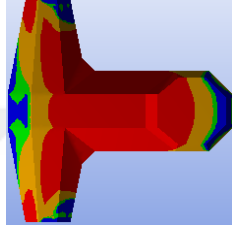
Tablo 5.7 Tetrapod analizi

| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar (100 kN)  | Orta hasar (200 kN)  | Ağır hasar (600 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: alttaki üç parçanın tabanları)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

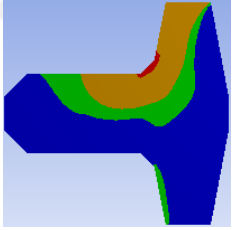
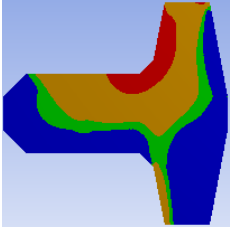
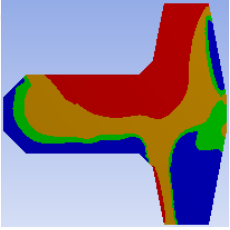
#### 5.3.4 Dolos analizi

Dolos modeli alt tabanı ve iki yan parçasının yüzeylerinden sabitlenerek üst yüzeyine statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak üst parçada olduğu görülmektedir. Üst parçanın (blok uç kısmının) hacmi  $0.07 \text{ m}^3$  ve tabanının kesit alanı  $0.23 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.8'de verilmiştir. Kritik kesitlere dik olarak alınan kesit görüntüleri ise Tablo 5.9'da gösterilmiştir.

Tablo 5.8 Dolos analizi

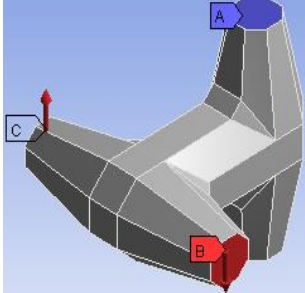
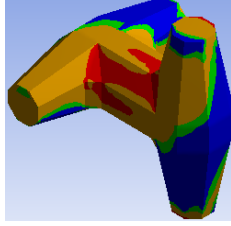
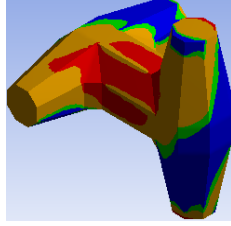
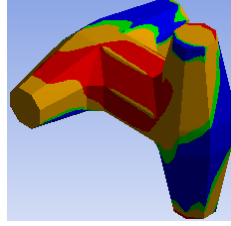
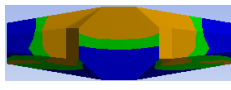
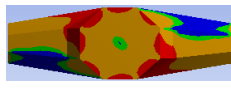
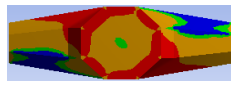
| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar (50 kN)   | Orta hasar (125 kN)  | Ağır hasar (400 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: alt taban ve iki yan parçanın tabanları)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

Tablo 5.9 Dolos'un dikey kesit görüntüleri

| Hafif hasar   | Orta hasar  | Ağır hasar  |
|---|---|---|
|  |  |  |

Dolos modeli burulma analizi için alt ve üst taban yüzeylerinden sabitlenerek ortasında yer alan parçalarının yan yüzeylerine birbirlerine zıt yönde ve eşit büyüklükte statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda Dolos modelinin gövde kısmında oluşan gerilmeler gözlenmiştir. Gövde yüzeyinin kesit alanı  $0.33 \text{ m}^2$ 'dir. Bu kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve gövdenin orta kesitinde oluşması beklenen gerilmeler ile birlikte Tablo 5.10'da gösterilmiştir.

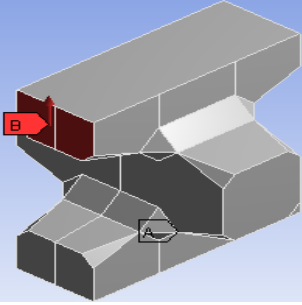
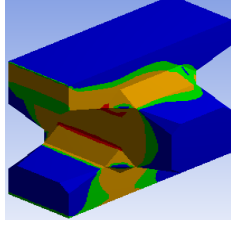
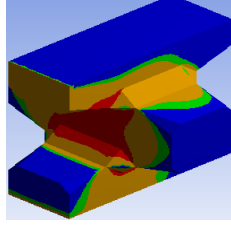
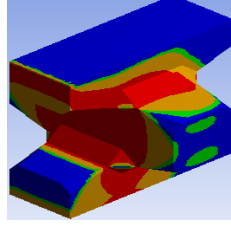
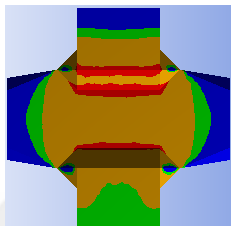
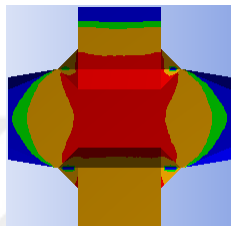
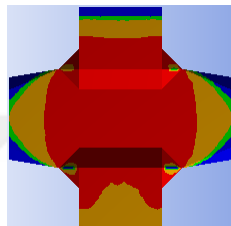
Tablo 5.10 Dolos burulma analizi

| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar<br>(2x45 kN)  | Orta hasar<br>(2x55 kN)  | Ağır hasar<br>(2x65 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: alt ve üst parçanın tabanları)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

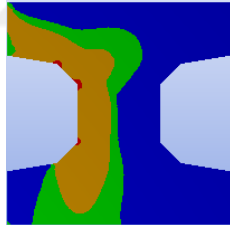
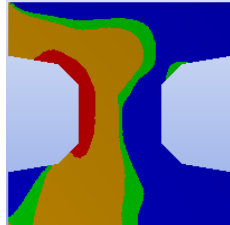
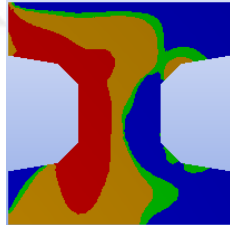
### 5.2.5 Accropode analizi

Accropode modeli tabanından sabitlenerek üst ucuna yukarıya doğru statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak üst köşedeki parçada oluştuğu görülmektedir. Parça yüzeyinin hacmi  $0.06 \text{ m}^3$ , kesit alanı  $0.20 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitteki çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasındaki perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.11'de verilmiştir. Kritik kesitlere dik olarak alınan kesit görüntüleri ise Tablo 5.12'de verilmiştir.

Tablo 5.11 Accropode analizi

| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar (50 kN)   | Orta hasar (100 kN)  | Ağır hasar (250 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: taban)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

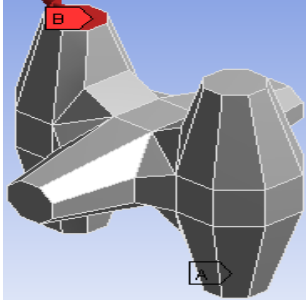
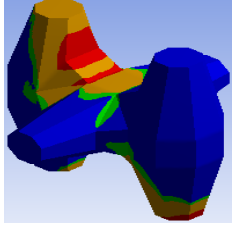
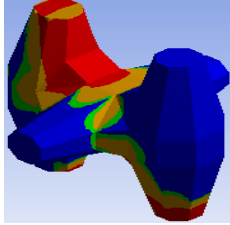
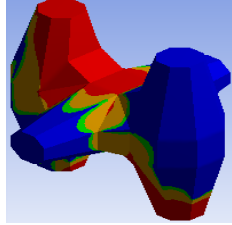
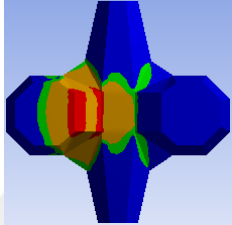
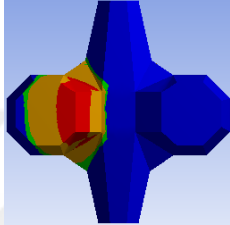
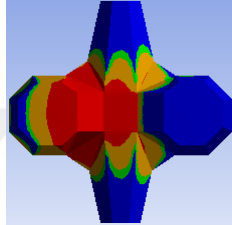
Tablo 5.12 Accropode'un dikey kesit görüntüleri

| Hafif hasar   | Orta hasar  | Ağır hasar  |
|---|---|---|
|  |  |  |

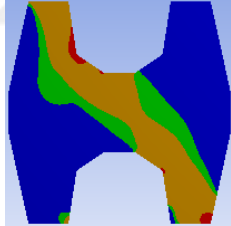
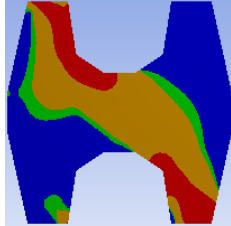
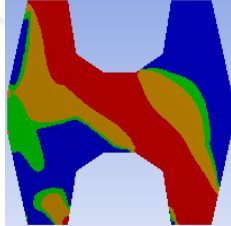
### 5.2.6 Coreloc analizi

Coreloc modeli alt taban yüzeylerinden sabitlenerek üst parçalarından birisinin yüzeyine statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak bu parça ile bu parçayı gövdeye bağlayan kesit arasındaki bölgede olduğu görülmektedir. Parçanın hacmi  $0.05 \text{ m}^3$ , kesit kritik yüzeyinin alanı  $0.18 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.13'te verilmiştir. Kritik kesitlere dik olarak alınan kesit görüntüleri ise Tablo 5.14'te gösterilmiştir.

Tablo 5.13 Coreloc analizi

| Mesnet ve yükleme koşulları  | Hafif hasar (50 kN)   | Orta hasar (125 kN)  | Ağır hasar (300 kN)   |
|--|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: alttaki iki parçanın tabanları)</p> |  |  |  |
|  |  |  |  |

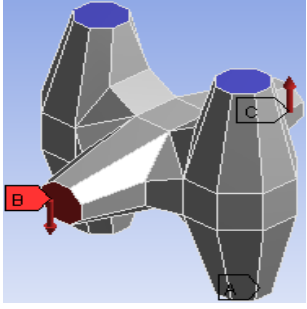
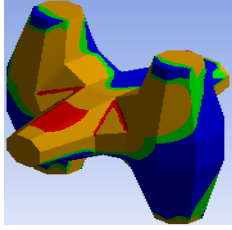
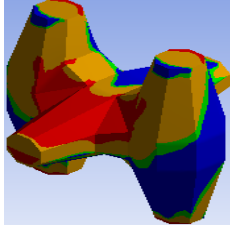
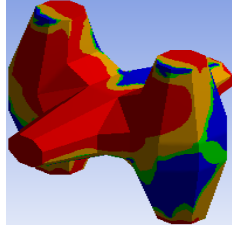
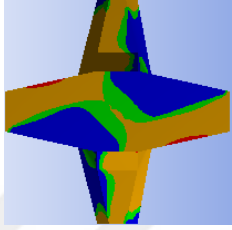
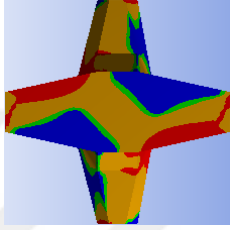
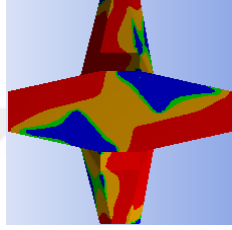
Tablo 5.14 Coreloc'un dikey kesit görüntüleri

| Hafif hasar   | Orta hasar  | Ağır hasar  |
|---|---|---|
|  |  |  |

Coreloc modeli burulma analizi için alt ve üst yüzeylerinden sabitlenerek orta parçaların dış yüzeylerine birbirlerine zıt yönde ve eşit büyüklükte statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda gövdede oluşan gerilmeler gözlenmiştir. Gövde yüzeyinin kesit alanı  $0.41 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve birleşim kesitinde oluşması beklenen gerilmeler ile birlikte Tablo 5.15'te gösterilmiştir.



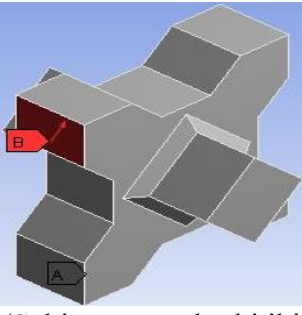
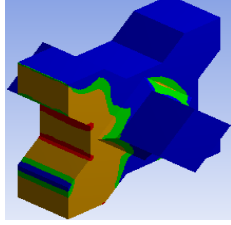
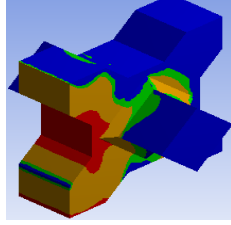
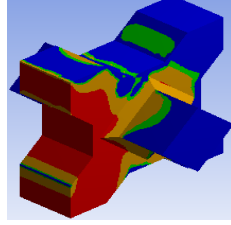
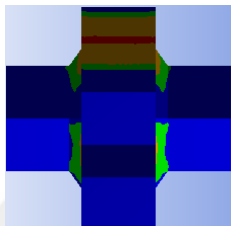
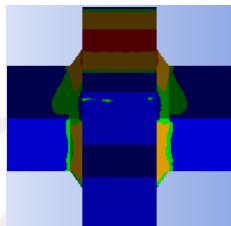
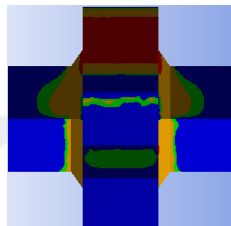
Tablo 5.15 Coreloc burulma analizi

| Mesnet ve yükleme koşulları   | Hafif hasar (2x50 kN)   | Orta hasar (2x100 kN)  | Ağır hasar (2x225 kN)   |
|---|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: Alt ve üst parçaların tabanları)</p> |  |  |  |
|   |  |  |  |

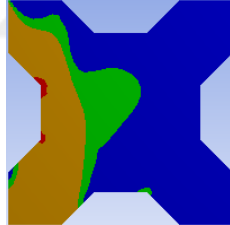
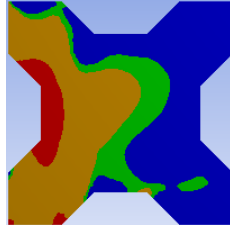
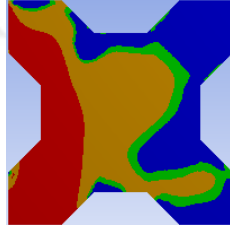
### 5.2.7 Xbloc analizi

Xbloc modeli alt taban yüzeylerinden sabitlenerek üst parçasına statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak bu parçanın yüzeyinde olduğu görülmektedir. Parçanın hacmi  $0.10 \text{ m}^3$ , parça yüzeyinin kesit alanı  $0.23 \text{ m}^2$ 'dir. Kritik kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.16'da verilmiştir. Kritik kesitlere dik olarak alınan kesit görüntüleri ise Tablo 5.17'de gösterilmiştir.

Tablo 5.16 Xbloc analizi (1)

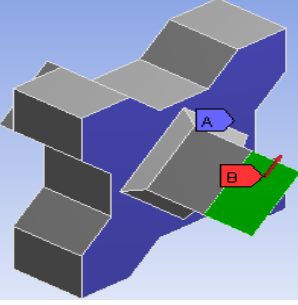
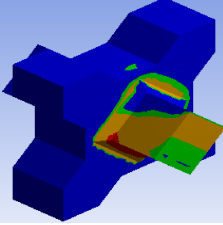
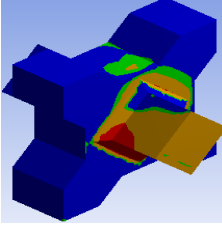
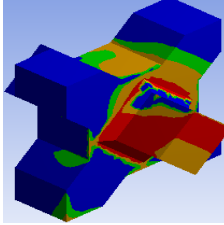
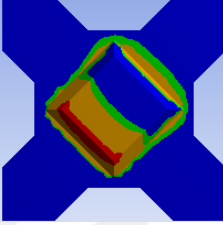
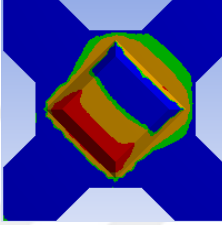
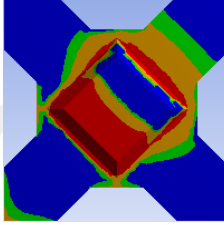
| Yükleme tipi   | Hafif hasar<br>(75 kN)  | Orta hasar<br>(150 kN)   | Ağır hasar<br>(350 kN)  |
|--|---|--|---|
| <br>(Sabit yüzey: alttaki iki parçanın tabanları) |  |  |  |
|  |  |  |  |

Tablo 5.17 Xbloc'un dikey kesit görüntüleri (1)

| Hafif hasar   | Orta hasar  | Ağır hasar  |
|---|---|---|
|  |  |  |

Xbloc modeli başka bir analizde ortası haricinde yan yüzeyinden tamamen sabitlenerek yan parçasına statik yüklemeler uygulanmıştır. Bu yüklemeler sonucunda hasarın ilk olarak bu parçanın orta yüzeyle birleştiği bölgede oluştuğu görülmektedir. Bu parçanın hacmi  $0.09 \text{ m}^3$ , orta yüzeyin kesit alanı  $0.23 \text{ m}^2$ 'dir. Kesitte çeşitli hasar durumlarının oluşması için uygulanması gereken yüklemelerin büyüklükleri hasar sonrasında oluşan perspektif ve kritik kesit görüntüleri ile birlikte Tablo 5.18'de verilmiştir.

Tablo 5.18 Xbloc analizi (2)

| Yükleme tipi   | Hafif hasar<br>(75 kN)  | Orta hasar<br>(150 kN)   | Ağır hasar<br>(400 kN)  |
|--|---|--|---|
|  <p>(Sabit yüzey: orta)</p> |  |  |  |
|  |  |  |  |

## BÖLÜM ALTI

### HİDROLİK VE YAPISAL STABİLİTELERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Tez çalışmasının bu bölümünde bir önceki bölümde analiz edilen blokları hafif, orta ve ağır hasarlara uğratan yükleme büyüklükleri kıyaslanmıştır. Kıyaslamalarda her blok türü için tek bir analiz sonucu dikkate alınmıştır. Antifer ile yapılan analizlerde alanı küçük olan yüzeyin sabitlendiği durumda hasarlar daha kritik olduğundan bu sonuçlar dikkate alınmıştır. Xbloc orta yüzeyi için yapılan analiz karşılaştırmaya alınmamış, Dolos ve Coreloc için yapılan burulma analizlerine kıyaslamalarda yer verilmemiştir. Yapısal stabilitelere ait değerler kN cinsinden Tablo 6.1’de verilmiştir.

Tablo 6.1 Analizlerin karşılaştırılması

| Blok \ Hasar | Hafif hasar | Orta hasar | Ağır hasar |
|--------------|-------------|------------|------------|
| Küp          | 275         | 375        | 550        |
| Antifer      | 200         | 300        | 475        |
| Tetrapod     | 100         | 200        | 600        |
| Dolos        | 50          | 125        | 400        |
| Accropode    | 50          | 100        | 250        |
| Coreloc      | 50          | 125        | 300        |
| Xbloc        | 75          | 150        | 350        |

Hidrolik stabilite ile ilgili hesaplarda 6.1 eşitliği ile verilen Hudson formülünün beton bloklar için uyarlanmış hali kullanılmıştır.

$$W = \frac{\gamma_b H^3}{K_D \left( \frac{\gamma_b}{\gamma_w} - 1 \right)^3 m} \quad (6.1)$$

W: Beton blok ağırlığı

m: Şev eğimi katsayısı

H: Dalga yüksekliği

$K_D$ : Stabilite katsayısı

$\gamma_b$  : Betonun özgül ağırlığı

$\gamma_w$  : Suyun özgül ağırlığı

Mühendislik uygulamalarında tasarım dalgası ve diğer parametreler belirlendikten sonra dalgakıran koruyucu tabakasındaki koruyucu eleman ağırlığının belirlenmesi gerçekleştirilir. Sunulan bu tez çalışmasında koruyucu beton blok elemanlarının karşılıklı kıyaslanması yapıldığından yukarıdaki bağıntı tasarım dalgasına göre düzenlenmiş, böylece eşit kütlelere sahip farklı blokların benzer koşullarda ne kadar dalga yüksekliğine dayandıkları hesaplanarak hidrolik stabilite açısından kıyaslanması yapılabilir hale getirilmeye çalışılmıştır.

Dalga yüksekliğine (H) göre düzenlenmiş Hudson bağıntısı için

$$H = \sqrt[3]{\frac{W(\frac{\gamma_b}{\gamma_w} - 1)^3 K_D m}{\gamma_b}} \quad (6.2)$$

eşitliği yazılabilmektedir.

6.2 eşitliği hidrolik stabilite katsayısı dışındaki diğer parametreler sabit alınarak, Hudson formülünün dalga yüksekliği (H) ile stabilite katsayısı ( $K_D$ ) parametreleri arasındaki ilişkiyi veren formu elde edilebilir. Bu amaçla, şev eğimi katsayısı (m) için 2, deniz suyunun özgül ağırlığı ( $\gamma_w$ ) için  $10.3 \text{ kN/m}^3$ , betonun özgül ağırlığı ( $\gamma_b$ ) için  $24 \text{ kN/m}^3$ , yapısal analizlerde kullanılan her bir blok  $1 \text{ m}^3$ 'lük hacimden oluştuğu için blok ağırlığı (W) bütün bloklar için  $24 \text{ kN}$  alınarak 6.2 eşitliği 6.3 eşitliği formuna dönüşür.

$$H = \sqrt[3]{\frac{24x(\frac{24}{10.3} - 1)^3 x K_D x 2}{24}}$$

$$H = 1.6758 x K_D^{1/3} \quad (6.3)$$

Hidrolik stabilite katsayıları ( $K_D$ ) kırılan ve kırılmayan dalga durumlara, tasarımı yapılan dalgakıran bölümüne (gövde veya kafa) göre değişiklik göstermektedir. Mevcut uygulamalarda kullanılan beton bloklara ait hidrolik stabilite katsayıları

üçüncü bölümde verilmişti. 6.3 eşitliği şev eğimi katsayısı  $m=2$  alınarak üretildiği için  $m=2$  değerleri için literatürde verilen hidrolik stabilite katsayıları Tablo 6.2’de yeniden verilmiştir. Yukarıda verilen 6.3 eşitliği ile bulunan dalga yüksekliği (H) değerleri ise  $m=2$  şev eğimi katsayısı için Tablo 6.3’te verilmiştir.

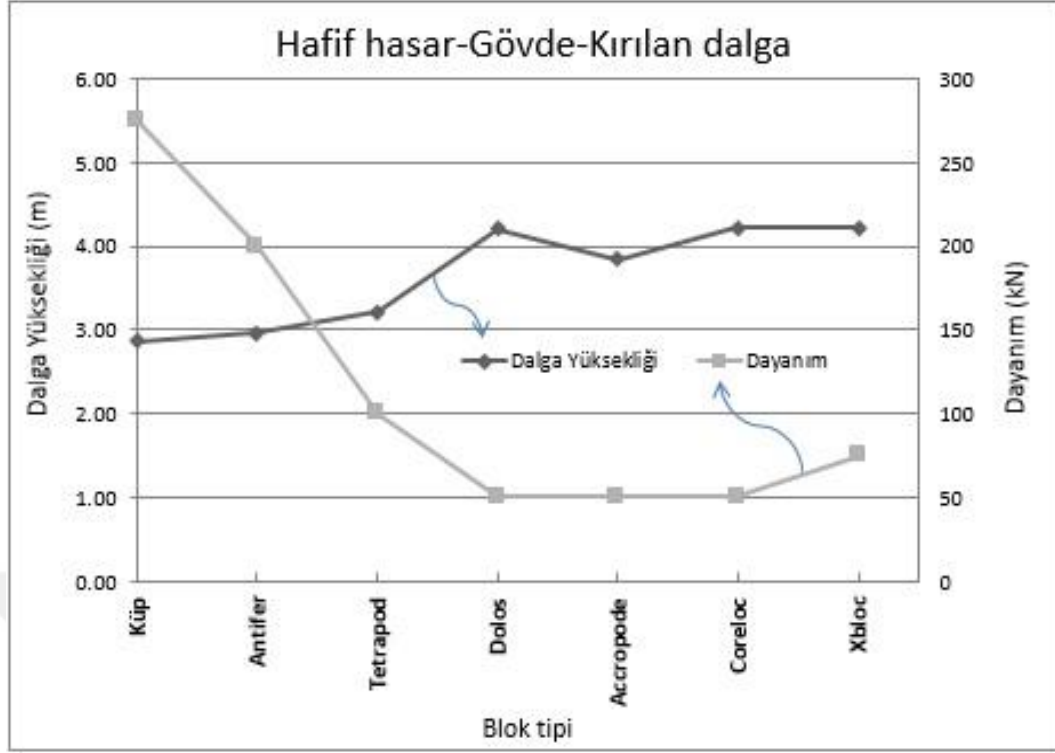
Tablo 6.2  $m=2$  şev eğimi katsayısı için  $K_D$  stabilite katsayıları

| Blok      | $K_D$ stabilite katsayısı |                  |               |                  |
|-----------|---------------------------|------------------|---------------|------------------|
|           | Gövde                     |                  | Kafa          |                  |
|           | Kırılan dalga             | Kırılmayan dalga | Kırılan dalga | Kırılmayan dalga |
| Küp       | 5                         | 6.5              | 4             | 5                |
| Antifer   | 5.5                       | 7                | 4.5           | 5.5              |
| Tetrapod  | 7                         | 8                | 4.5           | 5.5              |
| Dolos     | 15.8                      | 31.8             | 8             | 16               |
| Accropode | 12                        | 15               | 9.5           | 11.5             |
| Coreloc   | 16                        | 16               | 13            | 13               |
| Xbloc     | 16                        | 16               | 13            | 13               |

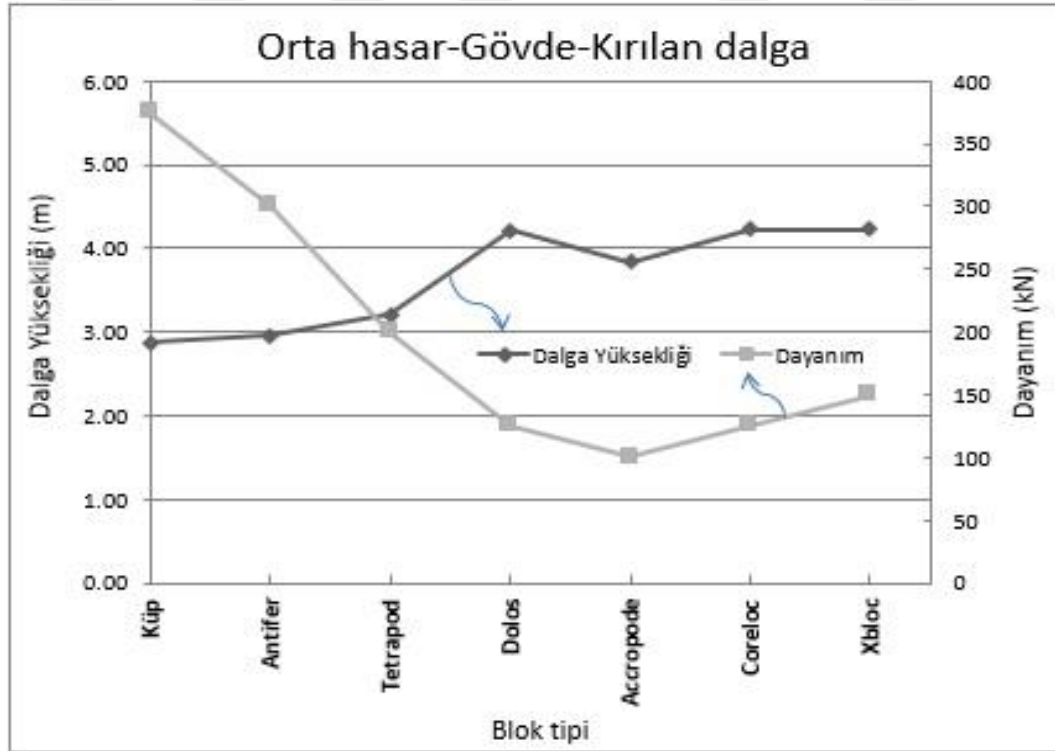
Tablo 6.3 Hidrolik stabilitelere karşı gelen dalga yüksekliği (H) değerleri

| Blok      | H dalga yüksekliği (m) |                  |               |                  |
|-----------|------------------------|------------------|---------------|------------------|
|           | Gövde                  |                  | Kafa          |                  |
|           | Kırılan dalga          | Kırılmayan dalga | Kırılan dalga | Kırılmayan dalga |
| Küp       | 2.87                   | 3.13             | 2.66          | 2.87             |
| Antifer   | 2.96                   | 3.21             | 2.77          | 2.96             |
| Tetrapod  | 3.21                   | 3.35             | 2.77          | 2.96             |
| Dolos     | 4.21                   | 5.31             | 3.35          | 4.22             |
| Accropode | 3.84                   | 4.13             | 3.55          | 3.78             |
| Coreloc   | 4.22                   | 4.22             | 3.94          | 3.94             |
| Xbloc     | 4.22                   | 4.22             | 3.94          | 3.94             |

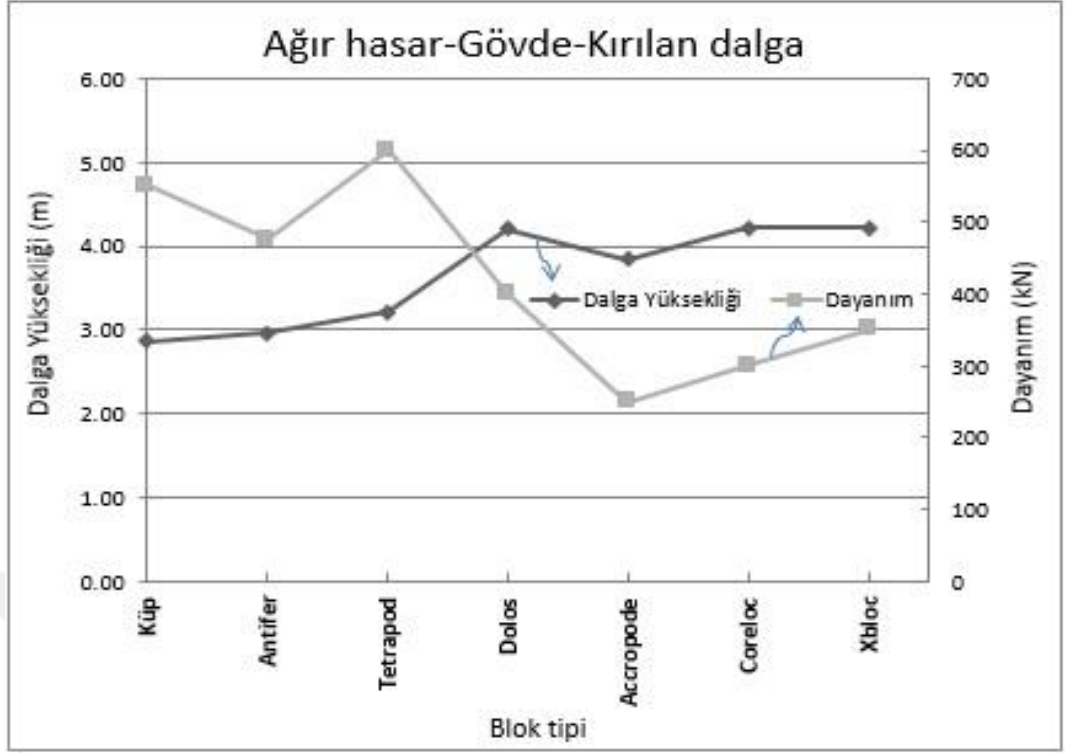
Hidrolik ve yapısal stabilite ilişkileri dalgakıranın uç ve kafa bölgelerinde kırılan ve kırılmayan dalga durumları için karşılaştırılmıştır. Bu ilişkiler aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir.



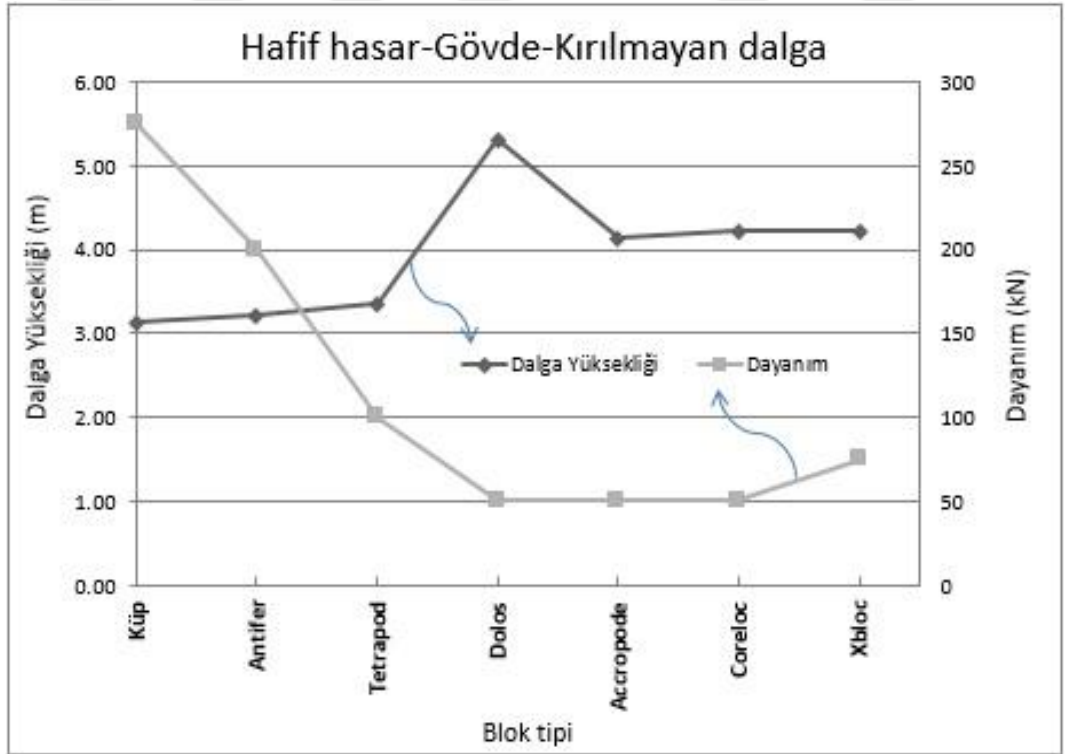
Şekil 6.1 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



Şekil 6.2 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması

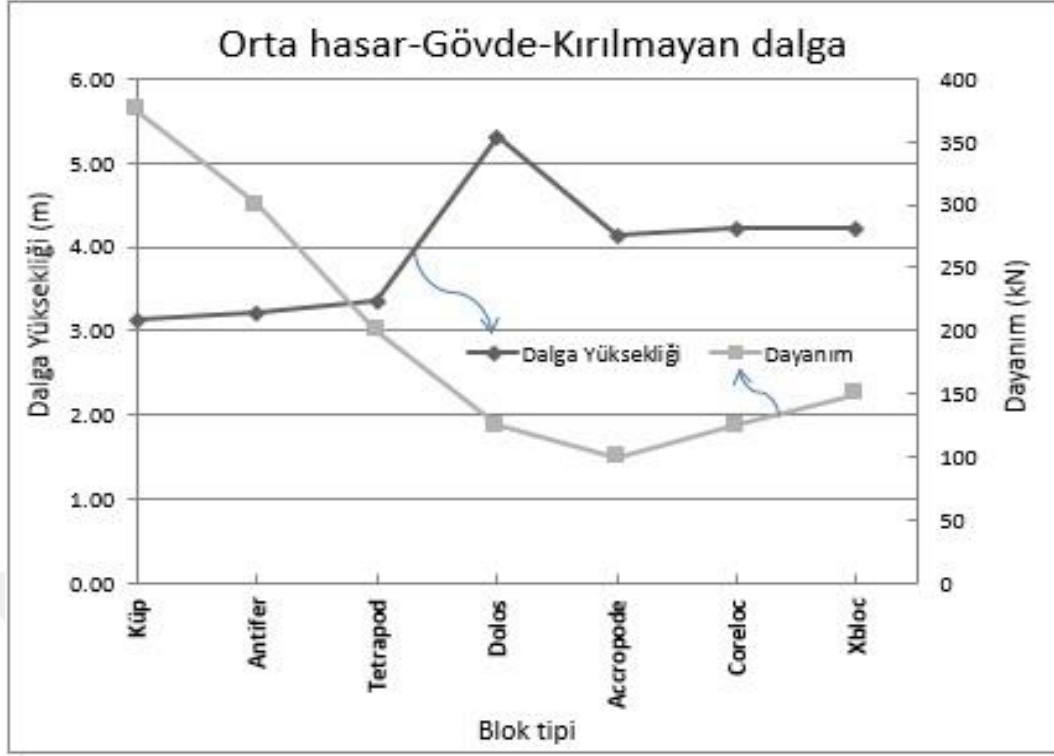


Şekil 6.3 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması

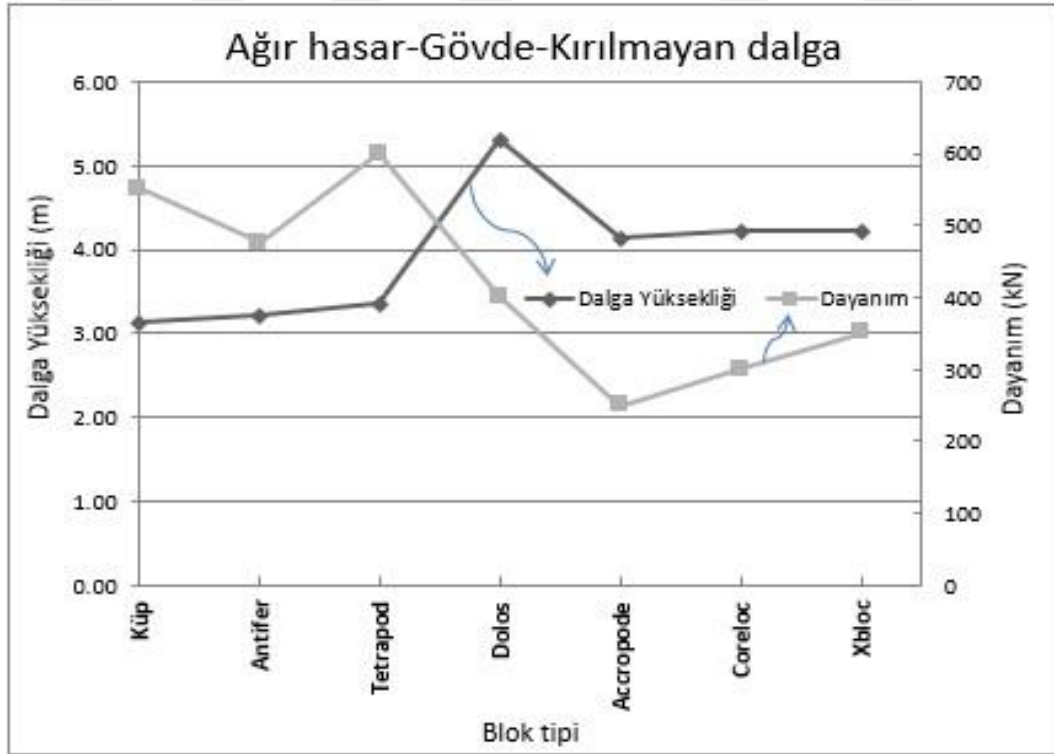


Şekil 6.4 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması

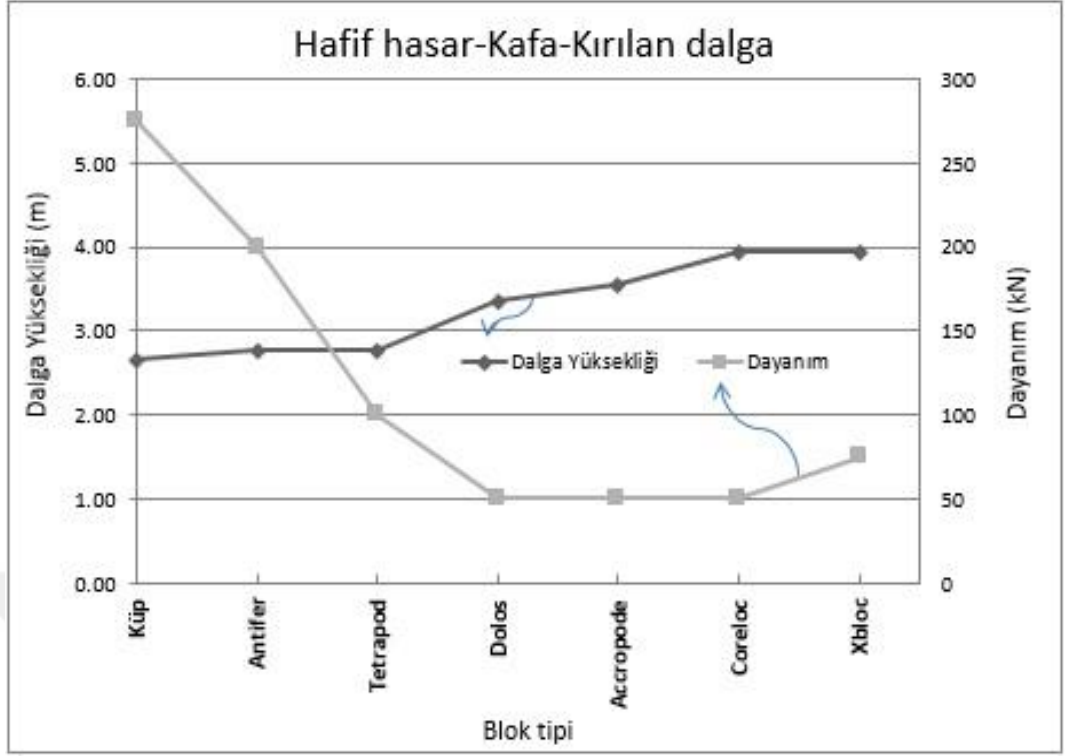




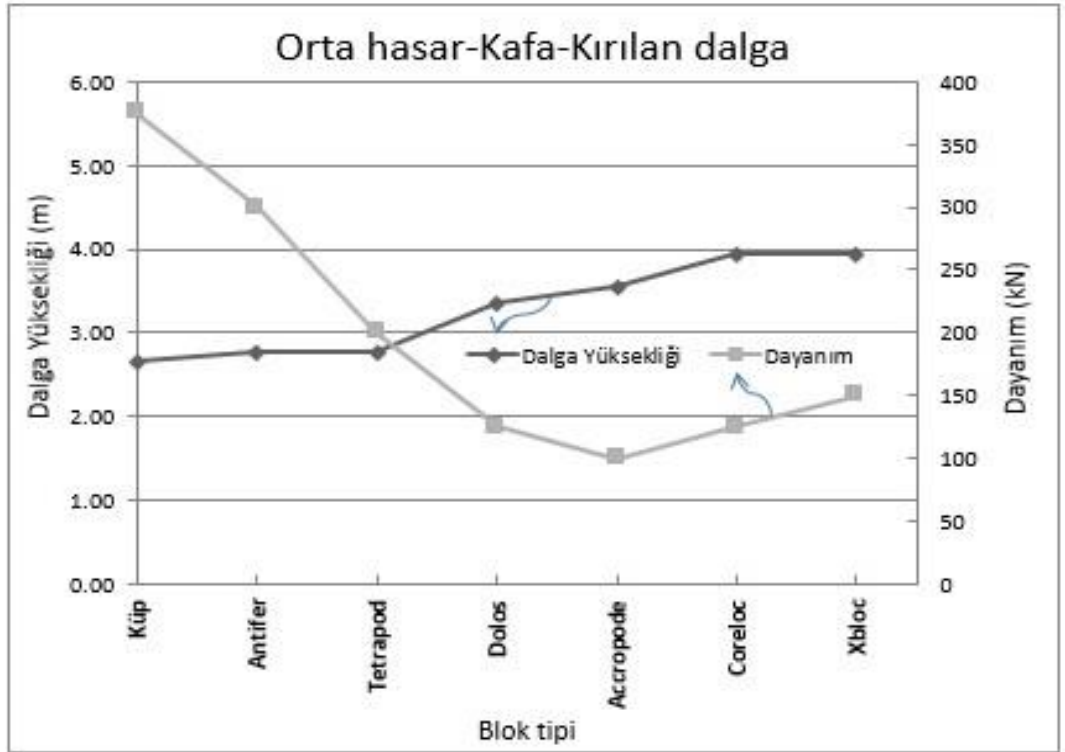
Şekil 6.5 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



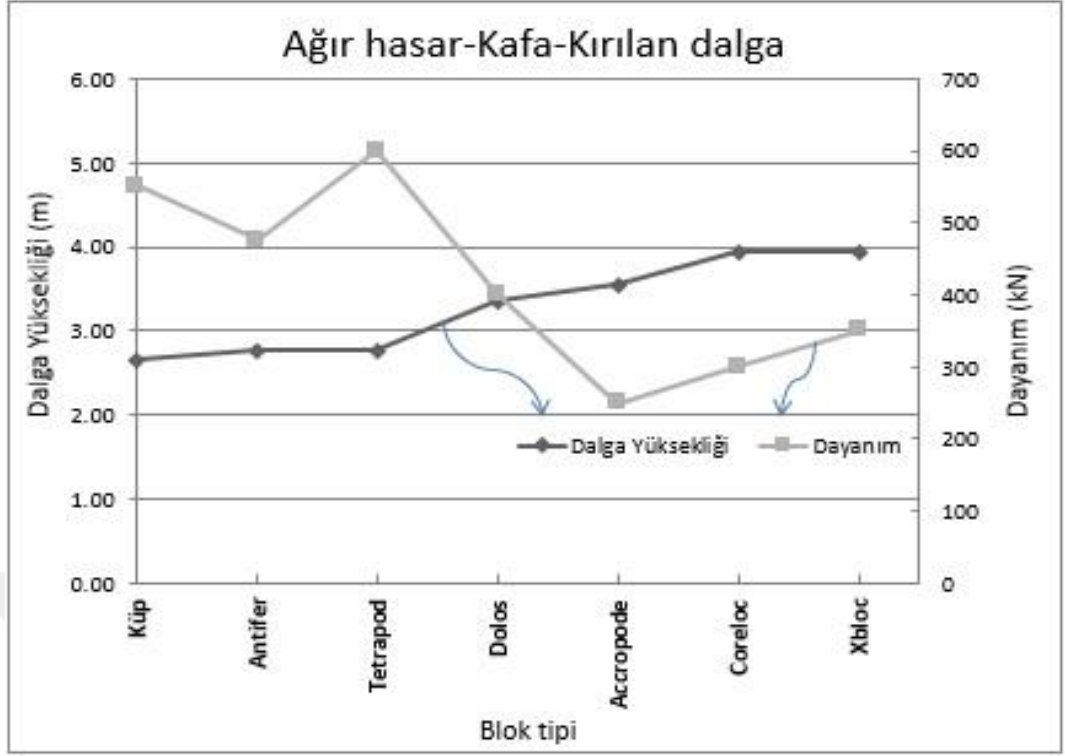
Şekil 6.6 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran gövdesinde ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



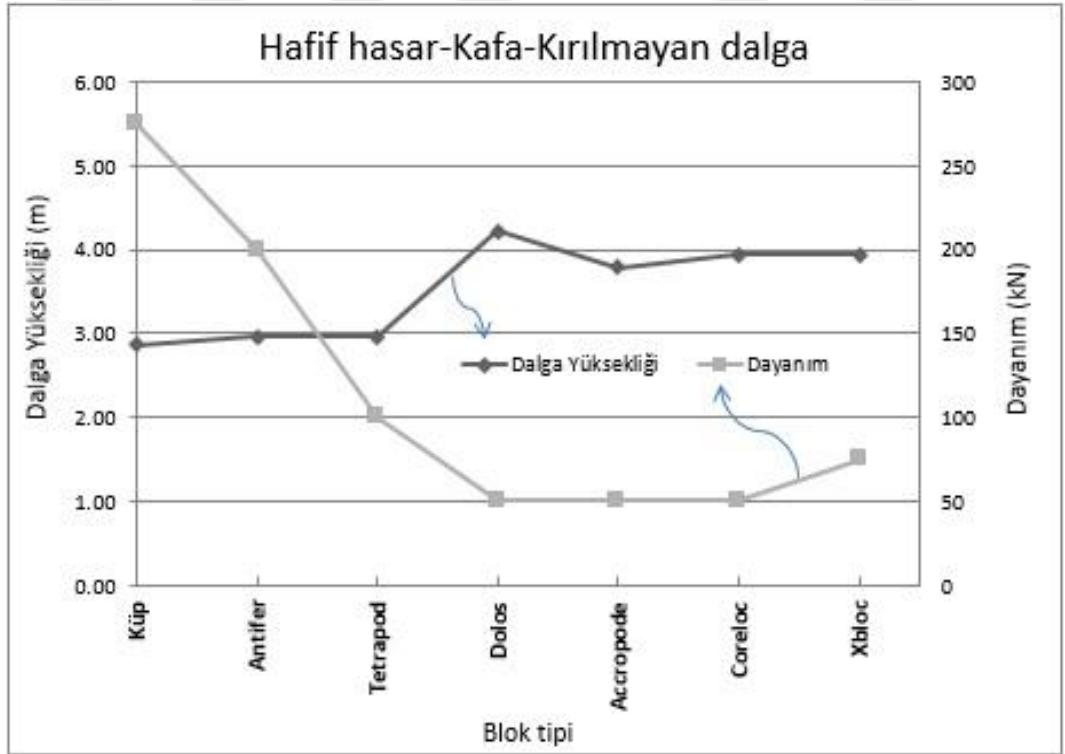
Şekil 6.7 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



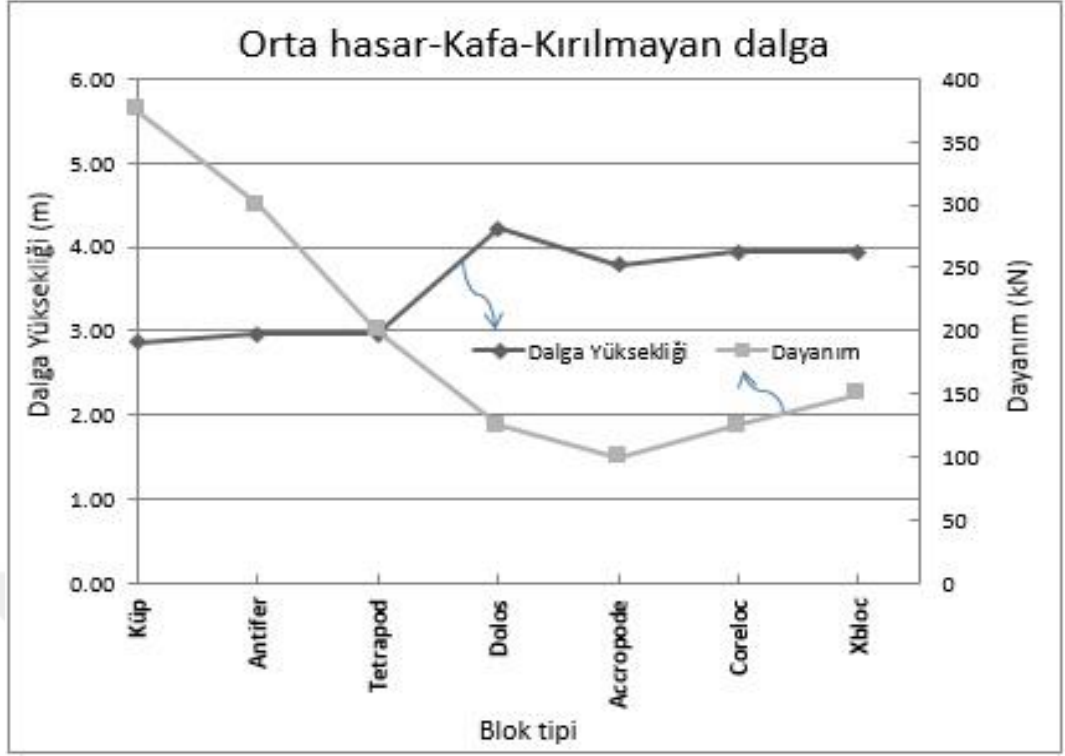
Şekil 6.8 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



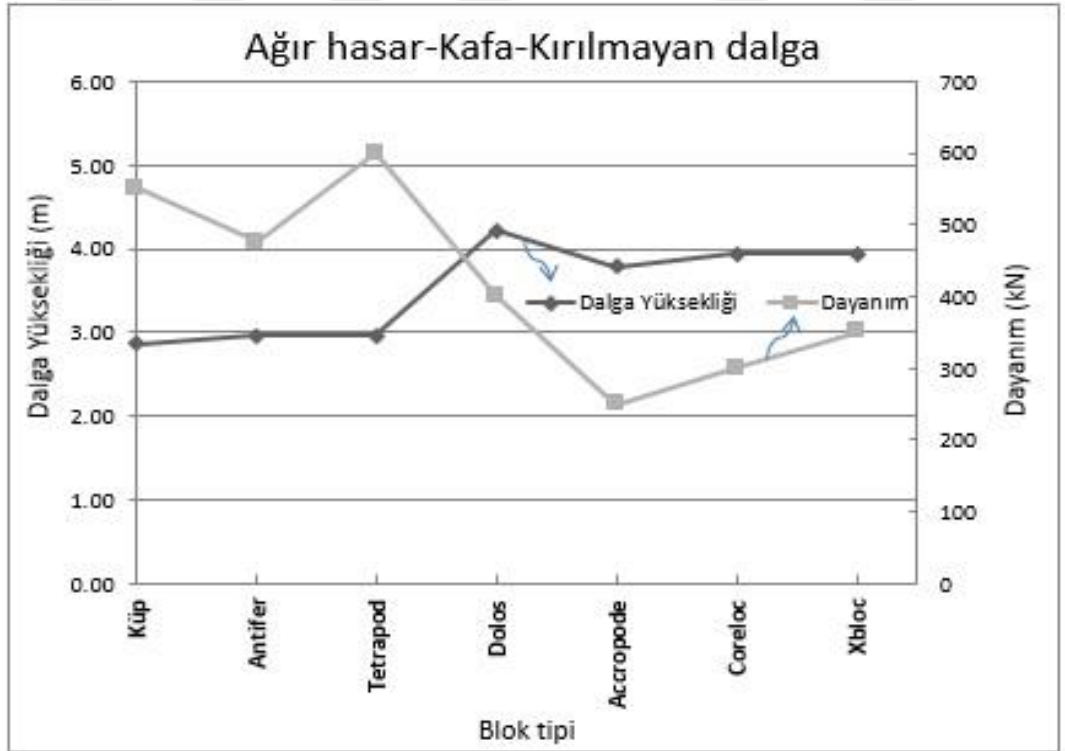
Şekil 6.9 Kırılan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



Şekil 6.10 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında hafif hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



Şekil 6.11 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında orta hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması



Şekil 6.12 Kırılmayan dalga etkisindeki dalgakıran kafasında ağır hasar durumu için hidrolik ve yapısal stabilite karşılaştırması

Bu çalışmada şev eğimi katsayısı  $m=2$  alınarak hidrolik performansa ilişkin değerler elde edilmiştir. Farklı  $m$  şev eğimi katsayısı değerleri için de benzer işlemler yapılabilmektedir. Ayrıca bu çalışmada Hudson formülünde ağırlık ( $W$ ) değerleri sabit tutularak her bir blok için dalga yükseklikleri ( $H$ ) hesaplanmıştır. Dalga yüksekliği değerlerinin sabit tutularak ağırlık değerlerinin hesaplanması sonucunda hidrolik performansa karar verildiği başka bir çalışma gerçekleştirmek de mümkündür.

Çalışma kapsamında değerlendirilen beton blokların karşı koyabildikleri dalga yüksekliği, diğer bir deyişle hidrolik stabiliteleri ile dalgaya karşı dayanımı, yani yapısal stabilitelerin değişimi incelendiğinde:

- Masif bloklardan narin bloklara doğru gidildikçe hidrolik stabilitenin arttığı ve buna karşılık yapısal stabilitenin azaldığı görülmektedir. Normalde bu beklenen bir sonuç olmakla birlikte bazı blokların literatürde verilen bazı bilgilerle çelişen sonuçlar da gösterdiği,
- Tetrapod'un bazı yayınlarda (DMC, 2008) belirtildiği gibi narin yapıda olmadığı, masif ve narin arası orta irilikte olduğu,
- Dolos tipi bloğun gemi çapası gibi eksantrik yapısı nedeniyle yüksek kenetlenme, dolayısıyla yüksek hidrolik stabilite gösterdiği,
- Hidrolik stabilite açısından bloklar küçükten büyüğe doğru sıralandığında Küp-Antifer-Tetrapod-Accropode-Coreloc-Xbloc-Dolos gibi bir sıralamanın söz konusu olduğu,
- Yapısal stabilite açısından ise sıralamanın (yine küçükten büyüğe doğru) Accropode-Coreloc-Xbloc-Dolos-Tetrapod-Antifer-Küp şeklinde olduğu

anlaşılmaktadır. Bu bulgular beklenen sonuçların sistematik bir hesaplama dayalı olarak gösterilmesi açısından önemlidir. Beton blok türlerinde hidrolik ve yapısal stabilitelerin birbirlerine zıt yönde değişim göstermeleri, yani hidrolik stabilite

artarken yapısal stabilitenin azalması durumu tasarımcıyı hangi unsura daha öncelik vermesi gerektiği konusunda tercih yapmaya zorlayacaktır. Özellikle deniz suyunun korozyon etkisi nedeniyle blokların deniz ortamında uzun süreli olarak servis ömürlerini sürdürebilmeleri önemliyse Küp, Antifer ve Tetrapod gibi masif blokların kullanılması ön plana çıkmaktadır. Diğer taraftan, ekonomik yapı tasarımı ön planda tutulacaksa Accropode, Coreloc, Xbloc ve Dolos gibi hidrolik stabilitesi yüksek blokların tercih edilmesi gerektiği görülmektedir. Hem sağlamlığı hem de dalgaya karşı dayanımı birlikte sağlayacak tasarım, yani hidrolik ve yapısal stabiliteyi birlikte göz önüne alan bir tasarım istendiği zaman yukarıda verilen sıralamalarda her iki uçta kalanlardan kaçınılması, dolayısıyla Tetrapod veya Xbloc'tan birinin tercih edilmesi mantıklı görülmektedir. Diğer beton blok türleri bir açıdan olumlu sonuç verirlerken diğer açıdan zayıflıkları bulunmaktadır. Bu nedenle her iki kriterin de birlikte arandığı bir tasarım için tam anlamıyla yeterli bir blok tipi olmamaktadır. Bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular dalgakıran tasarımcısına hangi blok tipini seçmesi konusunda yönlendirici bilgiler sunmaktadır. Ancak hangi bloğun tercih edilmesi gerektiğine yönelik kesin bir yargıya varılması açısından hala yapılması gereken araştırmalar bulunmaktadır.

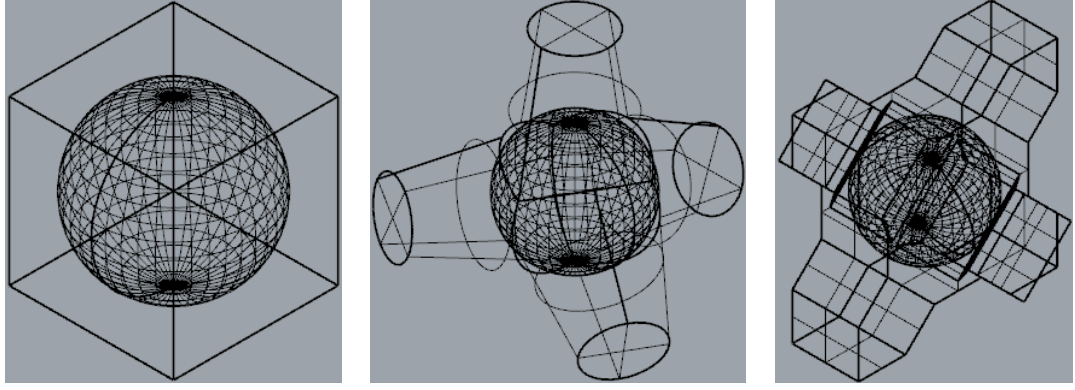
Yukarıdaki değerlendirmelere esas analiz ve hesaplar donatısız beton bloklar için yapılmıştır. Diğer taraftan deniz yapılarının tasarımında yapı ömrü, yapı tipi ve bölümlerine göre değişmekle birlikte bu sürenin 30 ile 50 yıl aralığında kabul edilmektedir. Yapı ömrü boyunca oluşacak fırtınaların oluşturduğu dalgaların beton bloklara uyguladığı fiziksel kuvvetler ve deniz suyunun aşındırıcı (korozyon) özelliğiyle oluşan kimyasal etkiler sonucunda zamanla bozulmaya başlamakta, küçük çatlaklarla başlayan bozulma blokların kopmasına, ufalanmasına kadar sürmektedir. Gerek fiziksel gerekse kimyasal etki nedeniyle parça kopması, dolayısıyla küçülme kaçınılmaz bir süreç olduğuna göre beton blokların bu açıdan da değerlendirmeye tutulması gerekir.

Beton blok yüzeyleri üzerinde dalga basıncının oluşturduğu kuvvetler veya bu kuvvetler nedeniyle blokların hareket etmesi sonucunda birbirlerine çarpmasıyla oluşan hasarların blok tipine göre farklılıklar göstermesi normaldir. Tasarım dalga

yüksekliğinden daha büyük dalgalar üreten bir fırtına sonucunda hangi blokların hareket edeceği, çarpışacağı ve hasar göreceğini önceden belirlemek mümkün değildir. Dış koruyucu tabaka bloklarında oluşacak hasarlar hareket eden bir bloğun diğer bir bloğa çarpması sonucunda oluşacağına göre bloklar düzenli yerleştirme metodu kullanılarak yerleştirilmiş olsa dahi fırtına sırasında hangi blokların nasıl hareket edip nasıl birbirleriyle çarpışacağını ve bloklarda oluşacak hasarları nasıl olacağını öngörmek mümkün değildir. Ancak tamamen rastgele oluşacak bu hasarlarda blok tipine bağlı olarak bazı öngörülerde bulunmak mümkündür. Küp ve Antifer tipi bloklarda köşelerde kopmalar biçiminde görülmesi, diğer beton bloklarda ise gövdeye bağlı kolların (veya ayakların) kopması biçiminde görülmesi olasıdır.

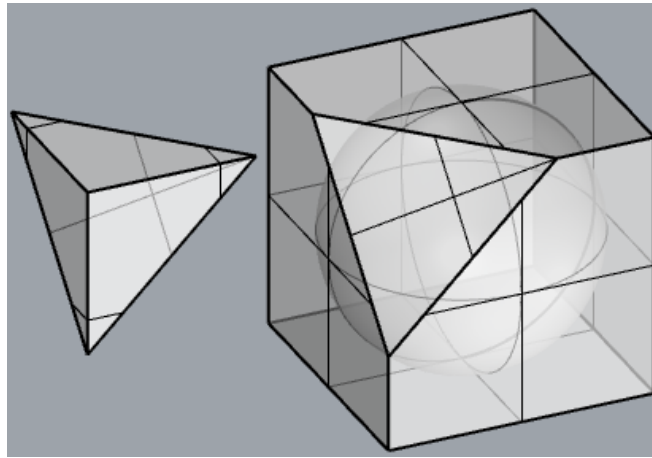
Şevli yüzlü dalgakıranların tasarımı esas itibariyle dış koruyucu tabakadaki birim için kullanılması gerekli en küçük birimin (doğal taş veya beton blok) ağırlığının belirlenmesine dayanmaktadır. Dalgakıranlarda fırtına sonucu hasarlarda dalgakıran enkesiti de bozulmakta, dolayısıyla yükseklik, şev eğimi, kret kotu gibi diğer tasarım parametreleri de değişmektedir. Bunların değişmediği varsayımı kabul edilse bile bloklardaki kopmalar nedeniyle ağırlığı azalan blokların dalgaya dayanım kapasiteleri düşecektir.

Beton bloklarda olası kopmaların dalgalara karşı dayanım üzerindeki etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için aşağıda açıklanan ek bir analiz gerçekleştirilmiştir. Bu analizin amacı olası hasarlarda parça kopması sonucunda oluşan küçülmelerin dalgaya karşı dayanımı hangi oranda azalttığını belirlemektir. Küp, Tetrapod ve Xbloc örneklerinde köşeleri kopmuş blokların ortada çekirdek kalmış görüntüleri Şekil 6.13'te gösterilmiştir.



Şekil 6.13 Küp-Tetrapod-Xbloc örneklerinde köşeleri kopmuş beton bloklarda çekirdek kısımların boyutları

Elbette ki tüm köşeleri kaybolmuş, ortada küre biçiminde bir çekirdek kısmı kalmış bir beton blok dış koruyucu tabaka ünitesi olma özelliğini yitirmiş demektir. Ayrıca, bu formda (küre) bir beton için bir stabilite (hasar) katsayısı literatürde bulunmamaktadır. Ancak bu aşamaya gelmeden, beton bloklarda oluşacak kopma miktarlarına bağlı olarak hacim değişimleri modeller üzerinden yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir. Küpte kopan bir köşeye ait görüntü Şekil 6.14’te gösterilmiştir. Kopan köşe (veya uzantı) miktarlarına göre beton bloklardaki hacim azalmaları Tablo 6.4’te verilmiştir. Antifer blok yan yüzeylerinde kanal olduğu için köşe parçalar küp bloğa oranla daha fazla çıkmıştır. Ayak (veya kol) biçimli çıkıntıları bulunan diğer bloklarda kopan parçanın gövdeye bağlandığı noktada pah üzerinde kalan kısımdan itibaren koptuğu varsayılmıştır.



Şekil 6.14 Bir köşesi kopmuş Küp beton blok. Kopan parçanın hacmi:  $0.042 \text{ m}^3$ . Geriye kalan hacim:  $0.958 \text{ m}^3$



Tablo 6.4 Kopan parçalara göre beton bloklarda geriye kalan hacimler (m<sup>3</sup>)

| Blok tipi | 1 parça | 2 parça | 3 parça | 4 parça | 5 parça | 6 parça | 7 parça | 8 parça |
|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Küp       | 0.958   | 0.916   | 0.874   | 0.832   | 0.790   | 0.748   | 0.706   | 0.664   |
| Antifer*  | 0.931   | 0.862   | 0.793   | 0.724   | 0.655   | 0.586   | 0.517   | 0.448   |
| Tetrapod  | 0.799   | 0.598   | 0.397   | 0.196   |         |         |         |         |
| Dolos     | 0.924   | 0.848   | 0.772   | 0.696   |         |         |         |         |
| Accropode | 0.943   | 0.886   | 0.829   | 0.772   | 0.715   | 0.658   |         |         |
| Coreloc   | 0.952   | 0.904   | 0.856   | 0.808   | 0.760   | 0.712   |         |         |
| Xbloc**   | 0.904   | 0.808   | 0.712   | 0.616   | 0.523   | 0.430   |         |         |

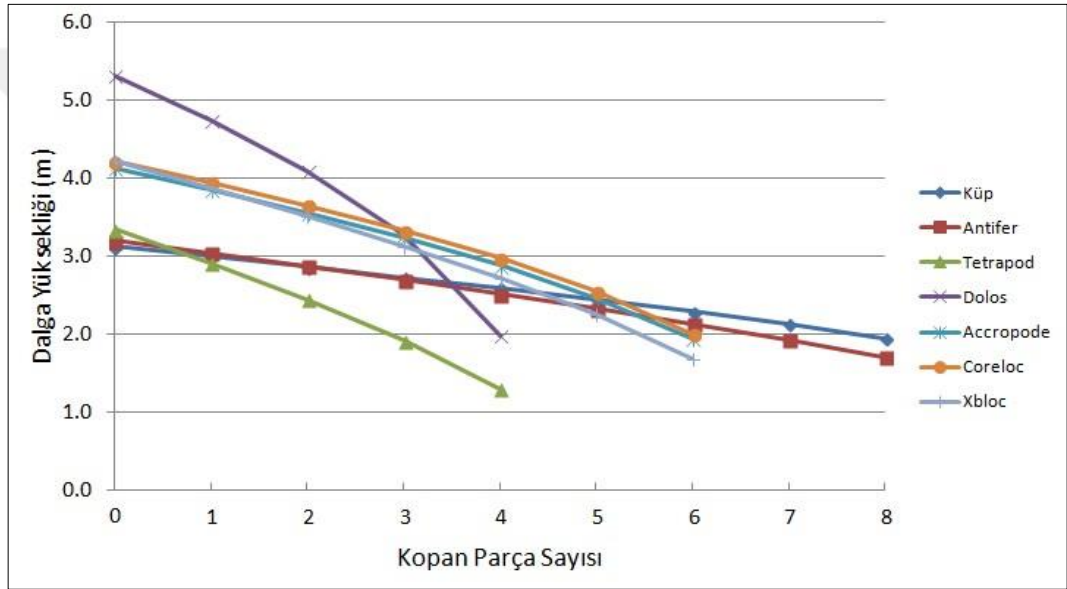
\*Antifer blokta alt ve üst kısım köşeleri farklı olduğu için ortalama bir değer alınmıştır.

\*\*Köşe parçalar 4x0.096 m<sup>3</sup>, orta parçalar 2x0.093 m<sup>3</sup>, öncelikle köşelerin koptuğu, daha sonra orta parçaların koptuğu varsayılmıştır.

Azalan gövde hacimlerine göre blokların karşı koyabileceği dalga yükseklikleri 6.2 eşitliğine göre yeniden hesaplanmıştır. Ancak bu tür bir hesapta kopmalar nedeniyle blok şekillerinde değişimler olacağı için, bloklar için önerilen  $K_D$  hidrolik stabilite (hasar) katsayılarının aynen kullanılması yanıltıcı sonuçlar verecektir. Girift (karmaşık) blok şekillerinde hasar katsayısının büyük olması kenetlenmeyi artıran, dolayısıyla dalgaya karşı daha fazla dayanım göstermesine neden olan çıkıntılı yapısıdır. Hasar durumunda bu parçalar koptukları için aynı hasar katsayısının kullanılması hatalı olacaktır. Literatürde hasara uğramış beton bloklar için herhangi bir hasar katsayısı önerisi bulunmamaktadır. Diğer taraftan, her parça koptuğunda blokların giderek birbirine benzer pürüzlü ocak taşı görünümlü bir kütleye dönüşeceği dikkate alındığında tüm köşeleri kopmuş bloklar için benzer bir hasar katsayısının kullanılmasının uygun olacağı düşünülmüştür. Başlangıç konumunda literatürde önerilen hasar katsayıları ile başlayıp her aşamada doğrusal olarak  $K_D=2.4$  değerine ulaşıncaya kadar hasar katsayıları değiştirilmiştir (Tablo 6.5). 2.4 değeri pürüzlü ocak taşları için kırılmayan dalga durumu ve dalga gövdesi tasarımında kullanılmıştır. Dalgakıran gövdesi ve kırılmayan dalga durumu için yapılan hesap sonuçlarının grafik gösterimi Şekil 6.15'te verilmiştir. Bu grafikte çeşitli beton blok türleri için kopan parça sayısına göre dalga etkilerine karşı dayanımın değişimi gösterilmiştir.

Tablo 6.5 Kopan parçalara göre  $K_D$  katsayısının değişimleri (varsayım)

| Blok tipi | Özgün form   | 1 parça | 2 parça | 3 parça | 4 parça     | 5 parça | 6 parça     | 7 parça | 8 parça     |
|-----------|--------------|---------|---------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| Küp       | <b>6.50</b>  | 5.99    | 5.48    | 4.96    | 4.45        | 3.94    | 3.43        | 2.91    | <b>2.40</b> |
| Antifer*  | <b>7.00</b>  | 6.43    | 5.85    | 5.28    | 4.70        | 4.13    | 3.55        | 2.98    | <b>2.40</b> |
| Tetrapod  | <b>8.00</b>  | 6.60    | 5.20    | 3.80    | <b>2.40</b> |         |             |         |             |
| Dolos     | <b>31.80</b> | 24.45   | 17.10   | 9.75    | <b>2.40</b> |         |             |         |             |
| Accropode | <b>15.00</b> | 12.90   | 10.80   | 8.70    | 6.60        | 4.50    | <b>2.40</b> |         |             |
| Coreloc   | <b>16.00</b> | 13.73   | 11.47   | 9.20    | 6.93        | 4.67    | <b>2.40</b> |         |             |
| Xbloc**   | <b>16.00</b> | 13.73   | 11.47   | 9.20    | 6.93        | 4.67    | <b>2.40</b> |         |             |



Şekil 6.15 Kopan parça durumuna göre dalgaya karşı dayanımın değişimi

Kopan parça durumuna, yani azalan gövde hacimlerine göre dalgakıran koruyucu beton blokların karşı koyabileceği dalga yüksekliklerine bakıldığında (Şekil 6.14) Dolos ve Tetrapod'da performans düşüşünün çok fazla olduğu, buna karşın en düşük mertebede azalmanın Küp ve Antifer bloklarında görüldüğü anlaşılmaktadır. Karmaşık (girift) yapıya sahip Coreloc, Accropode ve Xbloc tipi bloklardaki performans düşüşü ise diğerlerine oranla göreceli olarak orta mertebede kalmaktadır.

Ülkemizde şevli yüzü dalgakıranlar en yaygın kullanılan dalgakıran biçimi olup bu tür dalgakıranların dalga etkilerine karşı koyabilmeleri için dış koruyucu tabaka teşkil edilmektedir. Dalgakıranların koruyucu tabakasında geleneksel olarak nitelikli

ocak taşları kullanılmakla birlikte, giderek çevresel duyarlılığın artması nedeniyle özel beton blok kullanımı son yıllarda ülkemizde de artan oranda tercih edilmeye başlanmıştır. Sunulan bu lisansüstü tez çalışması kapsamında yapılan analizler dalgakıran tasarımcısına hangi blok tipini seçmesi konusunda yardımcı olabilecek bilgiler sunmaktadır. Ancak gerçekleştirilen çalışma herhangi bir bloğun her açıdan sorunsuz olarak ön plana çıkmadığını da göstermiştir. Ayrıca planlama aşamasında ilk yatırımın yanında proje ömrü boyunca bakım onarım masraflarının daha dikkatli ve özenle dikkate alınmasının zorunluluğunu ortaya koymaktadır.



## BÖLÜM YEDİ

### SONUÇ VE ÖNERİLER

Dalgakıran dış koruyucu tabakalarında geleneksel olarak kullanılan taş ocaklarından üretilmiş taş dolgu malzemeler son yıllarda çevreye olan zararları ve maliyet fazlalıkları nedeniyle terk edilmekte olup özel beton blokların kullanımı yaygınlaşmaktadır. Ocak taşı malzeme ile kaplanmış tabakaların stabilitesinde genel olarak sıra sayısı, yüzey pürüzlülüğü vb. etmenler rol oynarken, özel beton bloklar ile korunan tabakalarda ise beton sınıfı, agrega özellikleri ve deniz suyuna karşı performans durumu ön plana çıkmaktadır. Beton malzeme basınç gerilmelerine karşı çoğunlukla yüksek mukavemet özellikleri gösterirken çekme gerilmelerine karşı dayanımı düşüktür. Betonun çekme gerilmesinin düşük olması mekanik özellikleri arasındaki en büyük zaaflarından birisidir. Sunulan bu tez çalışmasında üç boyutlu tasarım yazılımı “Rhinoceros” aracılığıyla oluşturulmuş olan özel beton blok modelleri “Ansys Workbench” sonlu elemanlar yazılımına aktararak yapısal statik analizleri gerçekleştirilmiştir. Koruyucu bloklara etki eden yükler statik, dinamik, termal, aşınma veya kimyasal etkiler sonucunda oluşabilmektedir. Ancak, bütün bu etkilerin bir arada bulunduğu bir analiz mümkün görünmediği için bu tez çalışması kapsamındaki tüm yüklemelerin statik yükleme oldukları varsayılmıştır.

Analizleri gerçekleştirebilmek için her bir model sonlu elemanlara ayrılmıştır. Yoğunluk, elastisite modülü, Poisson oranı ve ilgili beton sınıfına ait basınç ve çekme kopma dayanımı değerleri malzeme veritabanına her bir blok türü için aynı büyüklükte olacak şekilde girilmiştir. Beton sınıfı olarak C20 seçildiği için yoğunluk  $24 \text{ kN/m}^3$ , elastisite modülü  $28,000 \text{ MPa}$ , Poisson oranı ise  $0.2$  birimsiz değeri, basınç kopma dayanımı değeri  $20 \text{ MPa}$  ve çekme kopma dayanımı ise  $1.6 \text{ MPa}$  büyüklüklerindedir. Analizlerde C20 sınıfı beton seçilmesinin nedeni en kötü koşullar için değerlendirme yapabilmektir. Ancak, uygulamalarda blokların birbirleriyle çarpışmaları sonucu oluşacak çekme gerilmeleri ve deniz suyunun korozif etkilerine karşı dayanımı yetersiz kalacağı düşünüldüğünde daha yüksek sınıflarda beton malzeme kullanılması gerekmektedir. Analiz çalışmalarında hasarın oluştuğunu belirten bir güvenlik faktörü parametresi “f” tanımlanmıştır. Bu parametre, kullanılan beton malzemenin çekme

kopma dayanımının yüzeyde oluşan çekme gerilmesine oranıdır. Güvenlik faktörünün “1” değerinin altında kalması o bölgede hasar oluştuğu anlamına gelmektedir. Hasar seviyesi ölçütleri ise çekme gerilmelerinin etkisiyle hasarın ilk olarak oluşmasının beklendiği kesitlerde hafif, orta ve ağır hasar olarak isimlendirilmiştir. Hafif hasar, ilk hasar oluşması durumunun beklendiği kritik kesit yüzey alanının %10’una karşılık gelmekte iken kesitte oluşacak %25’lik hasar orta hasarı, %50’lik hasar ise ağır hasar seviyesini ifade etmektedir. Analizi yapılan her model koruyucu tabaka yüzeyine oturma şekli ve diğer bloklarla kenetlenme durumları düşünülerek belirli yüzeylerinden sabitlenmiş olup çeşitli yüklemelerin etkisi altında bu hasarların oluşma durumları araştırılmıştır. Bu sayede her hasar seviyesine karşılık gelen yükleme boyutları sayısal olarak elde edilmiştir.

Özel beton blokların yapısal performanslarını etkileyen durumlar yalnızca yükleme biçimleri ile sınırlı değildir. Bu bloklar tabaka yüzeyine çeşitli şekillerde yerleşebildikleri için sabitlenen yüzeyin belirlenmesi de analiz için önemlidir. Bunun yanında blokların sahip oldukları geometrinin de yapısal stabilitede önemli etkileri bulunmaktadır. Blokların geometrisi kompleks hale geldikçe yapısal stabilite değeri azalmakta olup blokların birbirine kenetlenme yeteneği arttığı için hidrolik stabilite değeri artmaktadır. Tez kapsamında yapılan araştırmalarda çeşitli geometrilere sahip patentli ve patentsiz bloklar araştırmalara tabi tutulmuş olup tarafsız bir çalışma oluşturulması istenmiştir. Amaç hiçbir özel beton blok üreticisi firmayı veya ürünlerini küçük düşürmek değil, yalnızca tarafsız bir araştırma yaparak özel beton blokların çeşitli yönlerden olumlu ve olumsuz taraflarını karşılaştırmaktadır.

Bu tez çalışmasında sonlu eleman yazılımı “Ansys Workbench” kullanılarak yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen yapısal stabilite değerleri Hudson formülü ile hesaplanan hidrolik stabiliteye ilişkin değerler ile kıyaslanmıştır. Hudson formülünde tüm bloklar için ağırlıklar eşit tutulmuş olup benzer koşullar altında dayanabilecekleri dalga yükseklikleri hesaplanmıştır. Bu dalga yüksekliği değerleri hidrolik stabiliteyi ifade etmektedir. Hesaplarda kullanılan stabilite katsayısı değerleri o blokların başlangıç formları için geçerlidir. Çeşitli hasarlar sonucunda kırılan bloklar

için stabilite değerleri literatürde var olmadığından yalnızca bilinen başlangıç değerleri dikkate alınmıştır.

Özel beton blokların yapısal stabiliteleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında Accropode-Coreloc-Xbloc-Dolos-Tetrapod-Antifer-Küp sonucuna varılmaktadır. Bu blokların yine küçükten büyüğe doğru hidrolik stabilite yönünden Küp-Antifer-Tetrapod-Accropode-Coreloc-Xbloc-Dolos şeklinde sıralandığı görülmektedir. Yani, kullanılacak blokların korozyona karşı güçlü bir dayanımı amaçlanıyorsa Küp, Antifer ve Tetrapod bloklarının, ekonominin daha ön planda olduğu durumlarda Accropode, Coreloc, Xbloc ve Dolos bloklarının kullanılması uygun olacaktır. Hem yüksek dayanımlı hem ekonomik bir yapı yapabilmek pek mümkün değildir.

Bütün bu çalışmaların sonucunda özel beton blokların yapısal bütünlüğü konusunda daha fazla araştırılma yapılmasının önemi anlaşılmaktadır. Ekonomik analiz ve olasılık kavramı kullanılarak hasar risklerinin değerlendirilmesi ve bu hasarlar çerçevesinde yapı ömrünün hangi mertebede yer aldığının belirlenmesi gerekmektedir.

Günümüzde bazı firmalar çelik donatılar ile takviye edilmiş özel beton bloklar üretmektedirler. Bu blokların çekmeye karşı dayanımları büyük ölçüde sağlanmış olup maliyetleri fazladır. İlerleyen çalışmalarda bu tür bloklar için de stabilitelerin araştırılması ve dinamik etkilerin de ayrı olarak incelenmesi yararlı olacaktır.

## KAYNAKLAR

- AYGM (2016). *Kıyı yapıları ve limanlar - Planlama ve tasarım teknik esasları (2016)*. T.C. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü.
- Basco, D.R. (2001). *A course in coastal defence systems. I*. Norfolk: Old Dominion University.
- Broderick, L.L. (1984). *Riprap stability versus monochromatic and irregular waves*. Doktora Tezi, Oregon State University, Corvallis.
- Burcharth, H.F. (1983). *Material, structural design of armour units*. Aalborg: Aalborg University.
- CEM (2006). *Coastal engineering manual 2006*. Washington, DC: US Army Corps of Engineers.
- CERC (1998). *Core-loc breakwater armour research. Breakwater Survey at Port St. Francis*. Vicksburg: US Army Corps of Engineers.
- CIRIA (2007). *The rock manual. The use of rock in hydraulic engineering*. Londra: CIRIA.
- Cornett A., Davies M. ve Mansard E. (1995). Damage analysis for rubble mound breakwaters. *24th Coastal Engineering Conference*. Kobe, 1001-1015.
- Crespo, A.A.J.C., Altomare, C., Rogers, B.D., Dominguez J.M. ve Gironella, X. (2012). Numerical modeling of coastal defences using smoothed particle hydrodynamic method. *4th International Conference on the Application of Physical Modelling to Port and Coastal Protection*. Ghent, 728-737.

Danel P., Chapus E. ve Dhaille R. (1960). Tetrapods and other precast blocks for breakwaters. *Journal of the Waterways and Harbors Division*. ASCE, 1-14.

DLH (2007). *Kıyı ve liman yapıları, demiryolları ve hava meydanları inşaatlarına ilişkin deprem teknik yönetmeliği*. Ankara: Ulaştırma Bakanlığı.

DMC (2004). Structural integrity of Xbloc breakwater armour units prototype and numerical drop tests. *Coastal Engineering Conference 2004*. Gouda, 4507-4520.

DMC (2008). *Design of concrete armour layers*. Gouda.

Depositphotos (2014). *Dalgakıran küp*. 28 Ocak 2020, <https://tr.depositphotos.com/48004719/stock-photo-breakwater-cube.html>

Depositphotos (2014). *Dalgakıran, Miyake Island, Japonya*. 28 Ocak 2020, <https://tr.depositphotos.com/12026615/stock-photo-breakwater-miyake-island-japan.html>

Eden, D. (2019). *Forces and pressures on Core-loc armour units in rubble mound breakwaters measured via instrumented "smart-units"*. Doktora Tezi, University of Ottawa, Ottawa.

Engin, D. (2011). *Düzensiz dalga durumlarında Tetrapod bloklı dalgakıranların stabilitelerinin araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Ergin, A., Öner, O. ve Günbak, A.R. (1971). *Taş dolgu dalgakıranlar*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

Frens, A.B. (2007). *The impact of placement method on Antifer-block stability*. Yüksek Lisans Tezi, TU Delft, Delft.



- Hald, T. (1998). *Wave induced loading and stability of rubble mound breakwaters*. Doktora Tezi, Aalborg University, Aalborg.
- Hudson R.Y. (1959). Laboratory investigation of rubble-mound breakwaters. *Journal of the Waterways and Harbors Division*. USA: ASCE, 611-659.
- Hughes, S.A. (1993). *Physical models and laboratory techniques in coastal engineering*. New Jersey: World Scientific Publishing Company.
- Iribarren, C.R. (1938). *A formula for the calculation of rock fill dikes*. Panjas, Spain: Revista de Obras Publicas.
- Jensen, O.J. (1984). *A monograph on rubble-mound breakwaters*. Horsholm: Danish Hydraulic Institute.
- Kamali, B. ve Hashim, R. (2009). *Recent advances in stability formulae and damage description of breakwater armour layer*. Kuala Lumpur: University of Malaya, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 2817-2827.
- Losada M., Desire J.M. ve Alejo L.M. (1986). Stability of blocks as breakwater armor units. *Journal of Structural Engineering*. USA: ASCE, 2392-2401.
- Massie, P.E. (1986). *Coastal Engineering Vol II. Harbor and beach problems*. The Netherlands: TU Delft.
- Melby, J.A. (1999). *Damage progression on rubble-mound breakwaters*. Vicksburg: Waterways Experiment Station.
- Melby, J.A. ve Turk, G.F. (1997). *Coreloc armour units*. Vicksburg: Waterways Experiment Station.

- Paape, A. ve Walther, A.W. (1962). *Akmon armour unit for cover layers of rubble mound breakwaters*. Delft: Hydraulic Laboratory Delft Publications, 430-443.
- Palmer, G. ve Christian, C.D. (1998). *Design and construction of rubble mound breakwaters*. New Zealand: IPENZ Transactions, 19-33.
- Smith, P.E. (2016). Types of marine concrete structures. *Marine Concrete Structures*. UK: Woodhead Publishing, 17-64.
- Torum A., Mathiesen B. ve Escutia R. (1979). Reliability of breakwater model tests. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. Vicksburg: US Army Corps of Engineers, 454-469.
- Trailing Ahead Blogspot (2016). *Exploring Dolosse: Walking on and off the perilous Crescent City jetty*. 28 Ocak 2020, <https://trailingahead.blogspot.com/2016/10/exploring-dolosse-walking-on-and-off.html>
- Van der Meer, J.W. (1987). Stability of breakwater armour layers - Design formulae. *Coastal Engineering*. The Netherlands: TU Delft, 219-239.
- Van der Meer, J.W. (1988a). Stability of Cubes, Tetrapods and Accropodes, *Design of Breakwaters*. The Netherlands: TU Delft, 71-80.
- Van der Meer, J.W. (1988b). *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*. Doktora Tezi, TU Delft, Delft.
- Van der Meer, J.W. (1998). Application and stability criteria for rock and artificial units. *Dikes and Revetments: Design, Maintenance and Safety Assessment*. The Netherlands: Rotterdam, 191-215.

Vidal C., Losada M., Medina R. ve Mansard E.P.D. (1992). A universal analysis for the stability of both low-crested and submerged breakwaters. *23rd Coastal Engineering Conference*. USA: ASCE, 1679-1692.

Vos, A.B. (2017). *Exploration into the mechanisms that govern the stability of an Xbloc+vl armour unit*. Yüksek Lisans Tezi, TU Delft, Delft.

Yalçiner, A.C., Ergin, A., Kahyaoğlu, İ.Ç. ve Yüncü, H. (1999). 3D experimental study on the stability coefficients for breakwaters armoured with Antifer blocks under irregular waves. *COPEDEC Conference 1999*. Cape Town, 1458-1469.

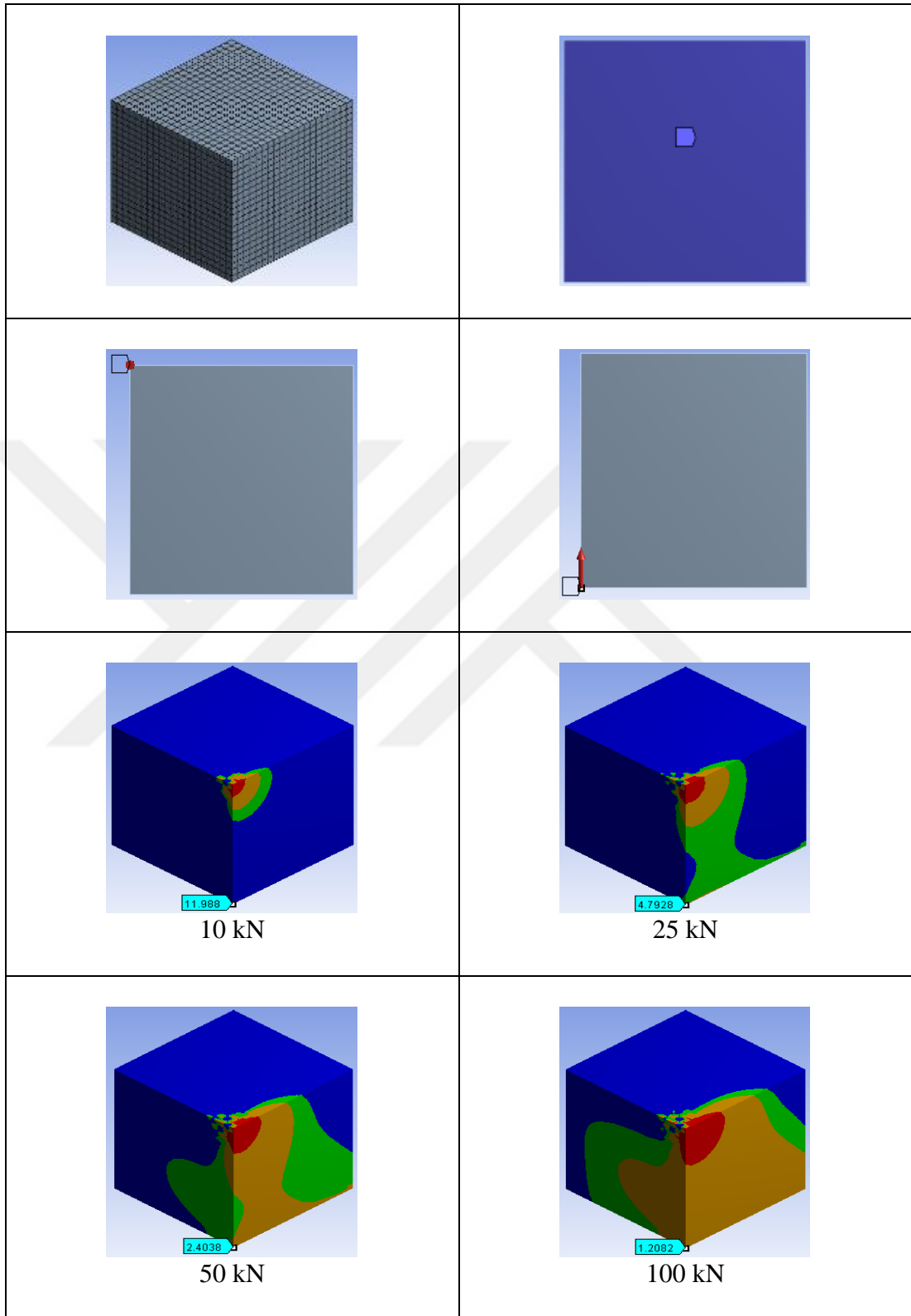
Yüksel, Y. (2011). *Dalgakıran tasarımı*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım.

## EKLER

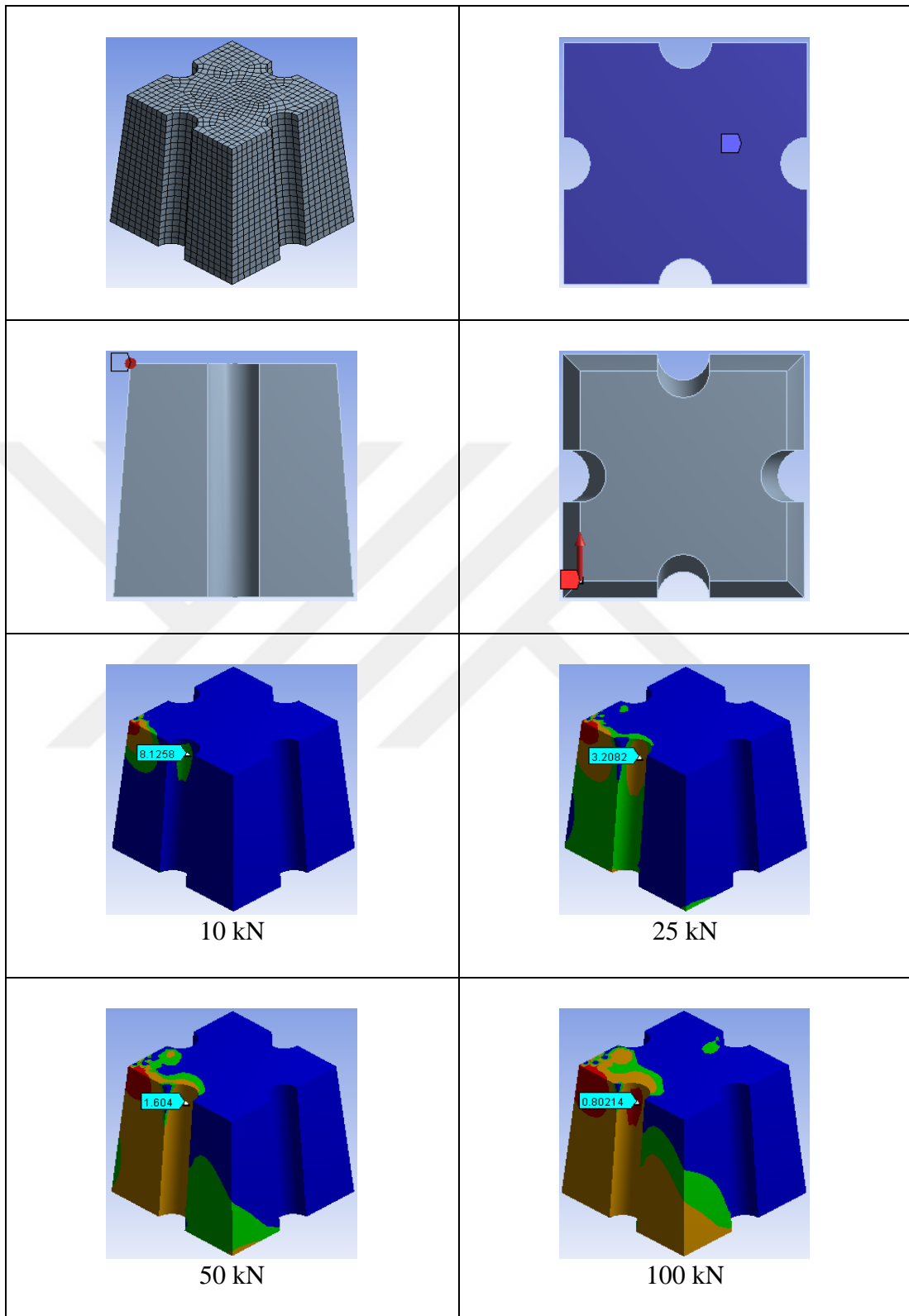
### EK-1: Eski analiz çalışması (1)

Bu çalışmada çeşitli blok modelleri üzerinde statik yapısal analiz yapılırken her bir blok tabanından sabitlenmiş ve üst kısımlarına sırasıyla 10 kN, 25 kN, 50 kN ve 100 kN büyüklüklerinde tekil yükler etkilmiştir. Ardından bu yüklerin etkisi altında bloklarda oluşabilecek en düşük güvenlik faktörü değerleri bulunmuştur. Güvenlik faktörü tez kapsamındaki analizlerde olduğu gibi malzemenin çekme kopma dayanımının yüzeyde oluşan çekme gerilmesine oranı olarak tanımlanmıştır. İlerleyen sayfalardaki tablolarda sonlu eleman (mesh) modelleri, sabitlenmiş blok yüzeyi, modellere uygulanan yükleme biçiminin ön ve üst yönlerden görüntüleri ve bu biçimdeki yüklemenin analizlerde 10 kN, 25 kN, 50 kN ve 100 kN büyüklüklerinde uygulanması durumunda blok üzerinde oluşan gerilme dağılımları ve en düşük güvenlik faktörü değerleri sırasıyla gösterilmiştir. Analiz sonuçlarında güvenlik faktörünün 1'in altında kaldığı alanlar kırmızı, 1 ile 5 arasında kaldığı alanlar turuncu, 5 ile 10 arasında kaldığı alanlar yeşil, 10'un üzerinde olduğu alanlar ise lacivert renk ile gösterilmektedir. Bütün bu analizlerin sonucunda gözlenen en düşük güvenlik faktörü değerleri blokların yapısal dayanımlarının karşılaştırılmasında kullanılmak istenmiştir. Bu değerler aslında tekil yüklemenin uygulandığı yerlerde görülmüş ve gerçekte bu yerlerde çekme gerilmesi oluşmayacağı bilindiği için bu kısımlardaki güvenlik faktörü değerleri yerine bloğun kırılmaya başlamasının beklendiği yerlerdeki değerler dikkate alınmıştır. Ancak, bazı blokların analizlerinde kırılmanın ilk olarak beklendiği kısımların güvenlik faktörü değerleri blok üzerindeki diğer kısımlara göre daha yüksek çıkmıştır. Bu sebeplerden ötürü bu analiz değerlendirme yönteminden vazgeçilmiştir.

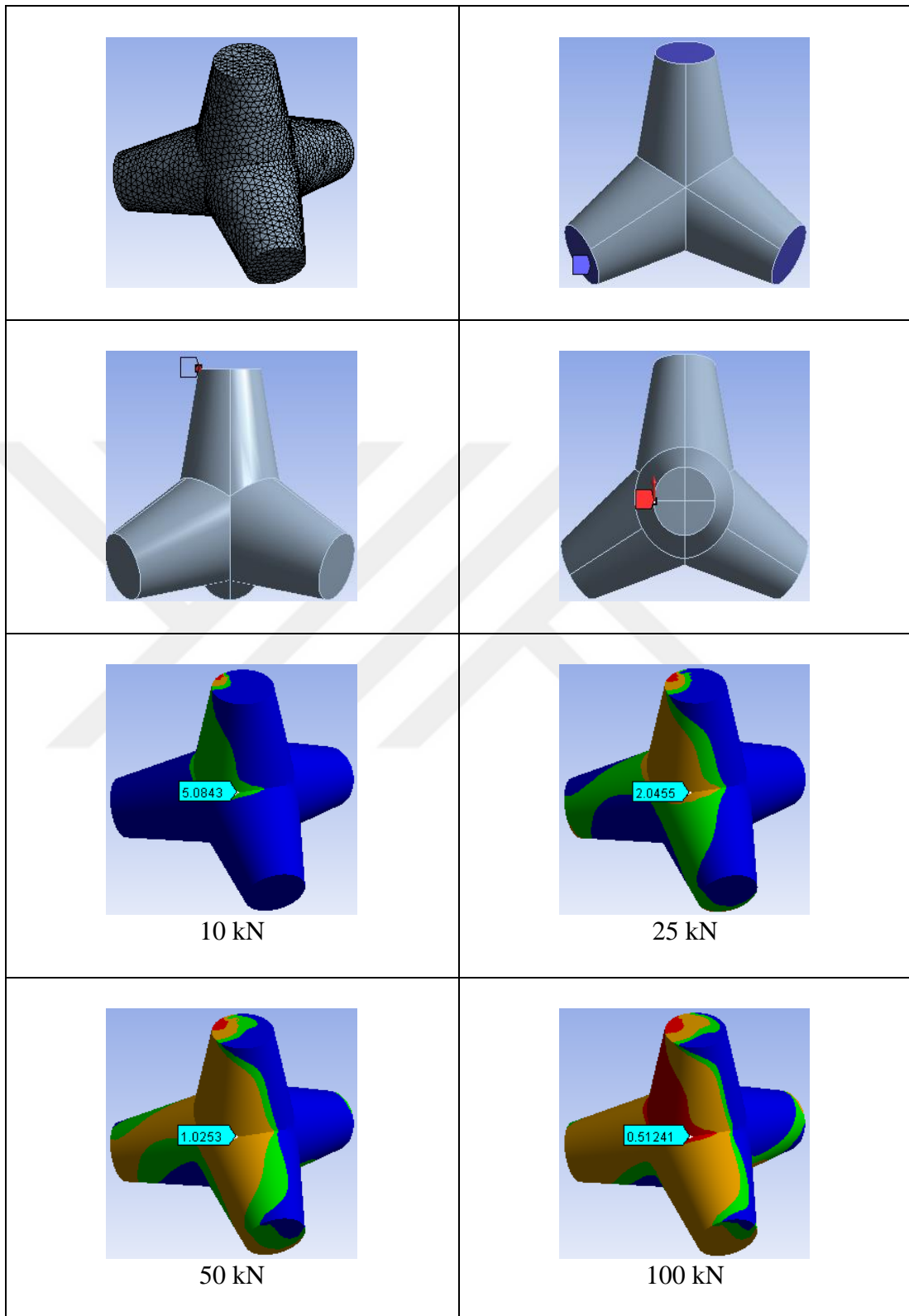
Tablo A1.1 Küp analizi



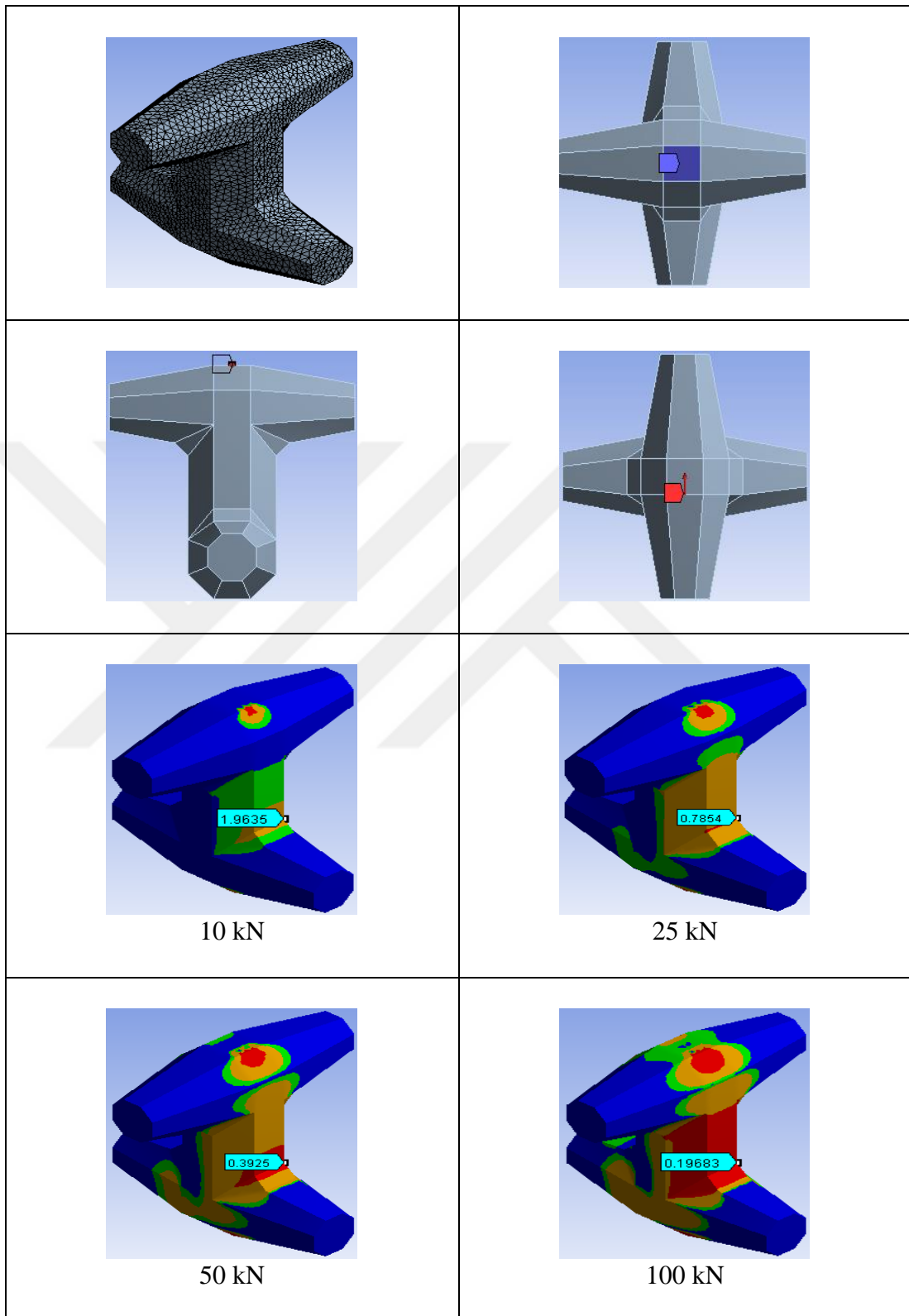
Tablo A1.2 Antifer analizi



Tablo A1.3 Tetrapod analizi



Tablo A1.4 Dolos analizi

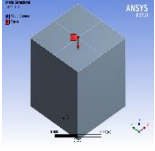
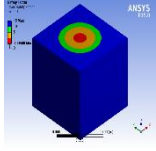
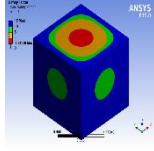
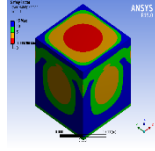
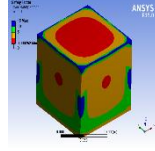
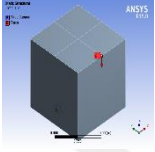
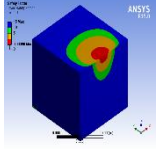
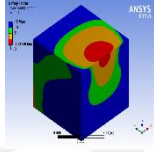
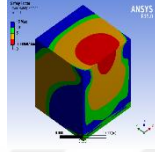
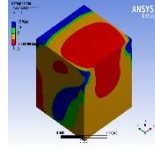

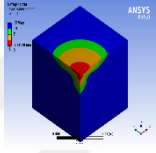
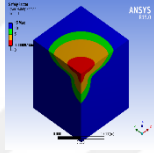
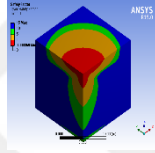
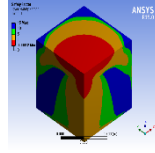
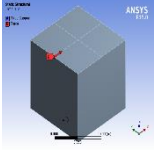
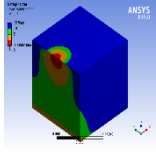
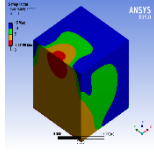
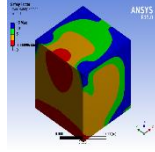
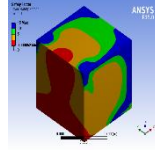
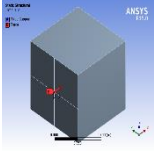
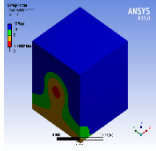
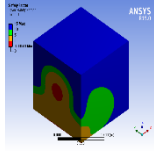
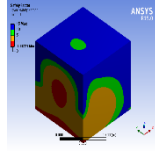
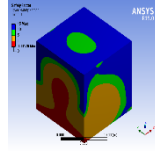
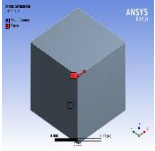
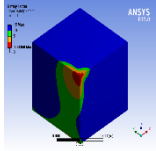
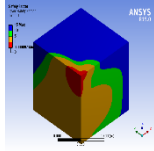
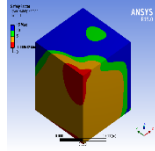
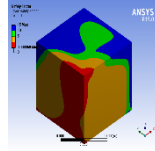




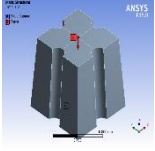
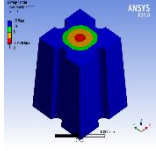
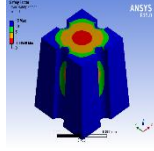
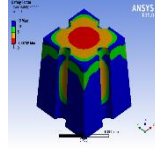
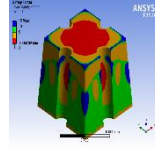
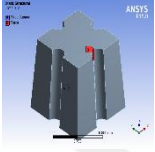
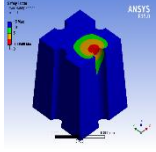
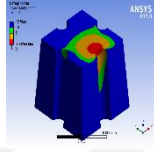
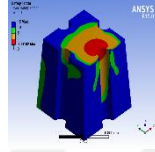
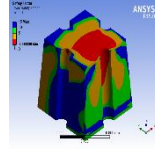
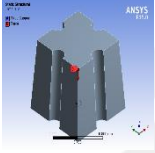
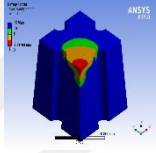
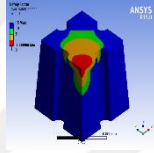
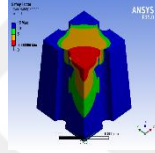
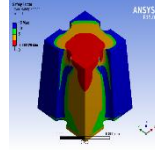
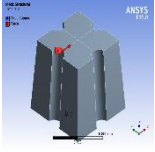
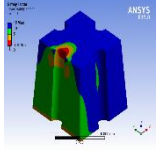
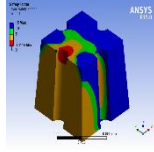
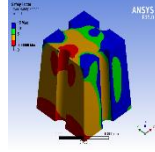
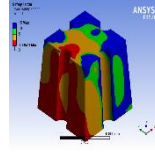
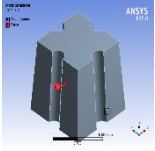
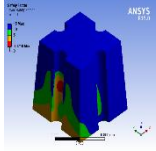
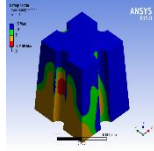
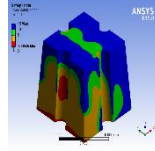
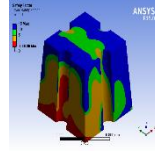
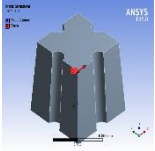
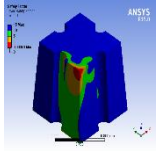
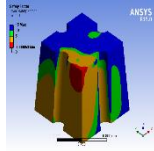
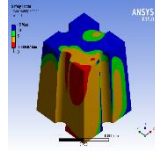
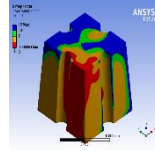
## EK-2: Eski analiz çalışması (2)

Bu analiz çalışmasında çeşitli blok modelleri üzerinde statik yapısal analiz yapılırken her bir blok tabanından sabitlenmiş ve sırasıyla çeşitli yön ve büyüklüklerde tekil yüklemeler etkilmiştir. Hasar seviyeleri “çok az hasar”, “az hasar”, “orta hasar” ve “çok hasar” olmak üzere dörde ayrılmış ve bu hasarları oluşturacak yüklem boyutları araştırılmak istenmiştir. Hasar seviyeleri gelişigüzel bir şekilde belirlenmiş olup bu değerler belirli bir hasar oluşma yüzdesine karşılık gelmemektedir. Ancak, tez kapsamındaki analiz çalışmasında “çok az hasar” seviyesi değerlendirmeden çıkarılmış ve her bir hasar seviyesine karşılık gelen yüzdeler belirlenmiştir. İlerleyen sayfalardaki tablolarda her blok için uygulanan yüklem yönlerinin perspektif üzerinde gösterimi ve çeşitli hasar seviyelerine karşılık gelen yüklem boyutları ve gerilme dağılımları verilmiştir. Gerilme dağılımları için bir güvenlik faktörü tanımlanmıştır. Bu değer beton malzemenin basınç veya çekme kopma dayanımının blok yüzeyinde oluşan gerilmeye oranını ifade etmektedir. Bu değer 1’in altında olması bloğun kırılmaya başladığı anlamına gelmektedir. Analiz sonuçlarında güvenlik faktörünün 1’in altında kaldığı alanlar kırmızı, 1 ile 5 arasında kaldığı alanlar turuncu, 5 ile 10 arasında kaldığı alanlar yeşil, 10’un üzerinde olduğu alanlar ise lacivert renk ile gösterilmektedir. Bu yöntemde gerilme dağılımlarının blok dış yüzeyinin üzerinde incelenmesi karşılaştırmalarda bizi yanıltmaktadır. Bu yüzden hasarın kırılması beklenen kesit üzerinden değerlendirmeye alınması daha uygundur. Bir başka sorun ise analizlerde çekme kırılma kriteri yerine Mohr-Coulomb kriteri kullanıldığı için gerilme dağılımlarında gösterilen sonuçlarda basınç veya çekmeden kaynaklı oluşan gerilmeler ayırt edilememektedir. Bu nedenlerden dolayı bu analiz yönteminden de vazgeçilmiştir.

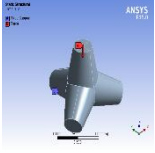
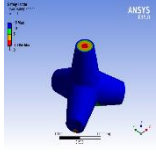
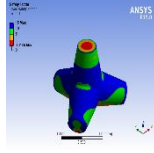
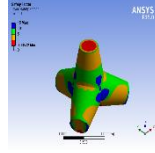
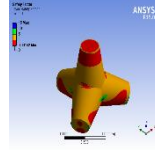
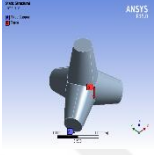
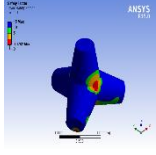
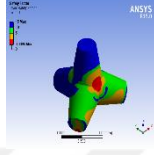
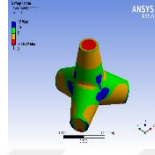
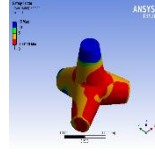
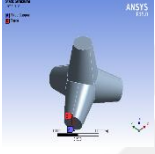
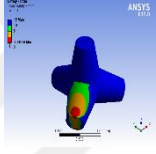
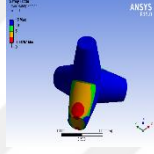
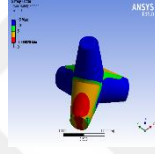
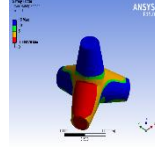
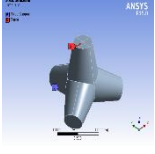
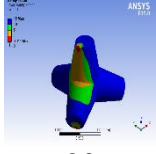
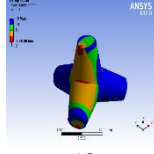
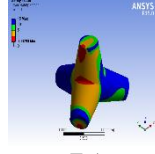
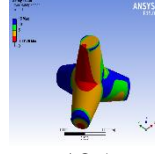
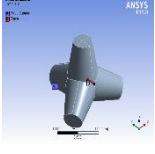
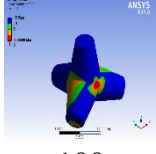
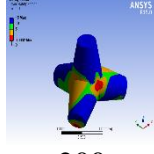
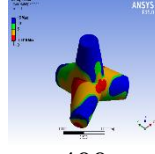
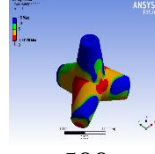
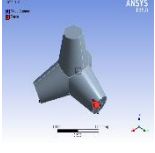
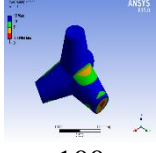
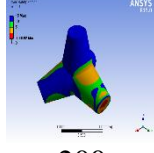
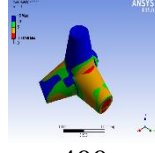
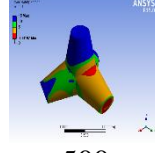
Tablo A2.1 Küp analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar   | Az Hasar   | Orta Hasar  | Ağır Hasar   |
|---|--|--|---|--|
|    | <br>150   | <br>500   | <br>1,250 | <br>1,500 |
|    | <br>75    | <br>200   | <br>500   | <br>1,500 |
|   | <br>50   | <br>100  | <br>250  | <br>750  |
|  | <br>50  | <br>150 | <br>300 | <br>350 |
|  | <br>100 | <br>200 | <br>400 | <br>500 |
|  | <br>25  | <br>100 | <br>175 | <br>250 |

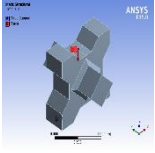
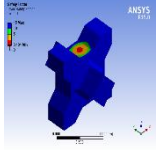
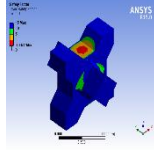
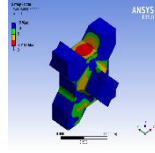
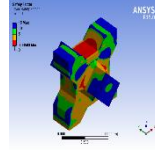
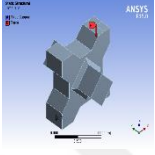
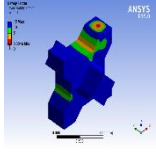
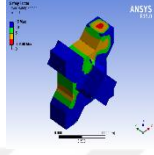
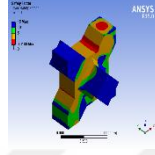
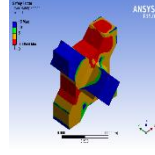
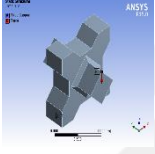
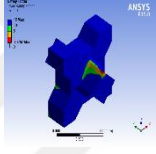
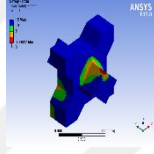
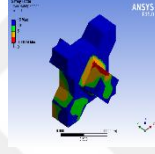
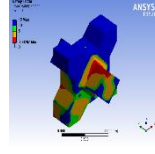
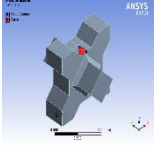
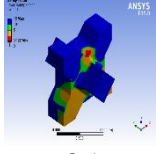
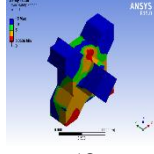
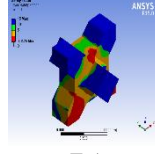
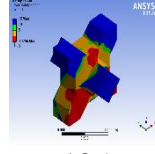
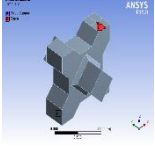
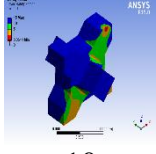
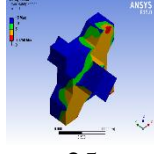
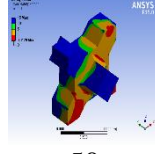
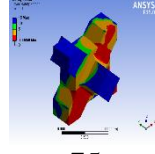
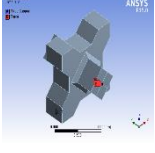
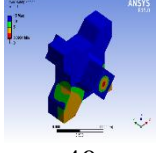
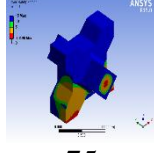
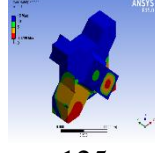
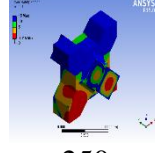
Tablo A2.2 Antifer analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar   | Az Hasar   | Orta Hasar  | Ağır Hasar   |
|---|--|--|---|--|
|    | <br>125   | <br>400   | <br>1,000 | <br>3,000 |
|    | <br>50    | <br>100   | <br>250   | <br>750   |
|   | <br>50   | <br>100  | <br>250  | <br>750  |
|  | <br>50  | <br>150 | <br>300 | <br>350 |
|  | <br>100 | <br>200 | <br>400 | <br>500 |
|  | <br>25  | <br>100 | <br>175 | <br>250 |


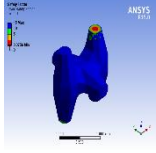
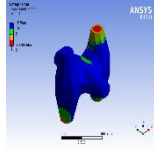
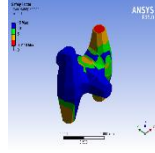
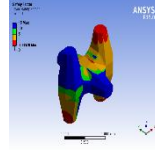

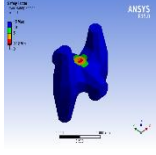
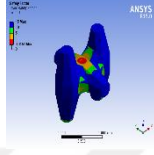
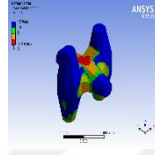
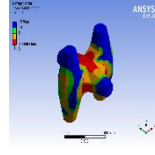

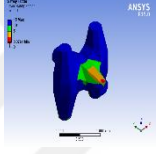
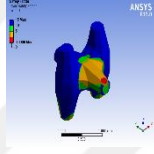
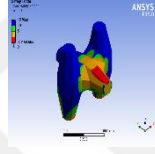
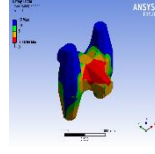
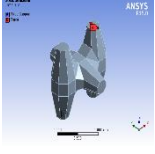
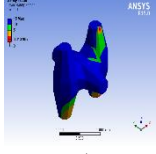
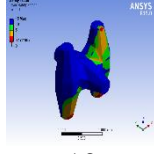
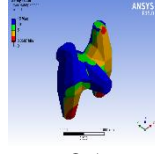
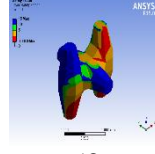
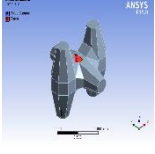
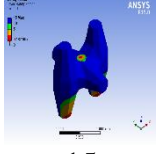
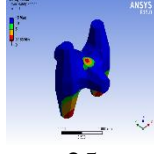
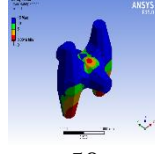
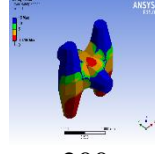
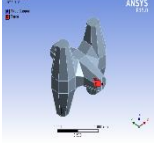
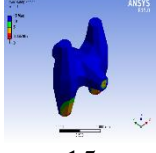
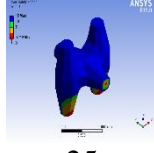
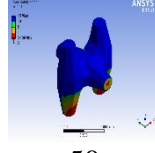
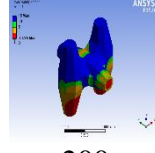
Tablo A2.3 Tetrapod analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar   | Az Hasar   | Orta Hasar  | Ağır Hasar   |
|---|--|--|---|--|
|    | <br>100   | <br>300   | <br>750   | <br>2,500 |
|    | <br>100   | <br>300   | <br>750   | <br>2,500 |
|   | <br>50   | <br>100  | <br>250  | <br>750  |
|  | <br>20  | <br>50  | <br>75  | <br>125 |
|  | <br>100 | <br>200 | <br>400 | <br>500 |
|  | <br>100 | <br>200 | <br>400 | <br>500 |

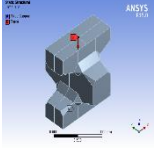
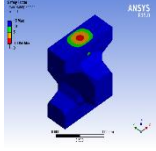
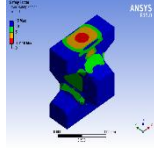
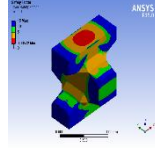
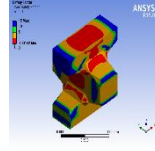
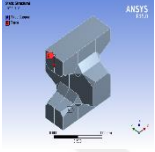
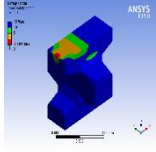
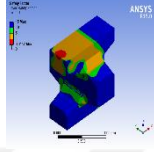
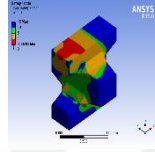
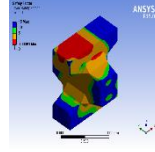
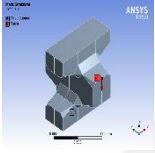
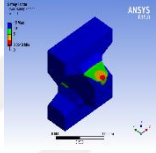
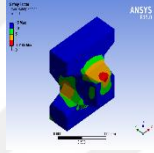
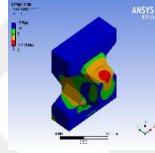
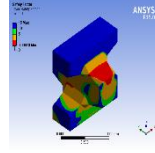
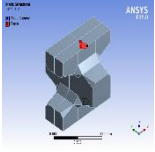
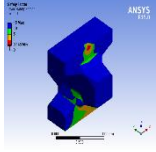
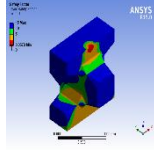
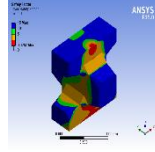
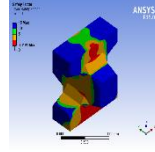
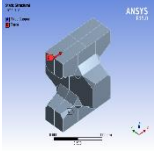
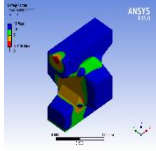
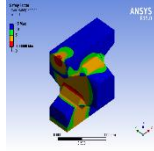
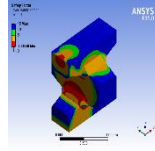
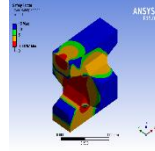
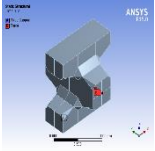
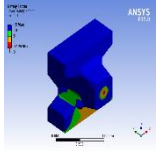
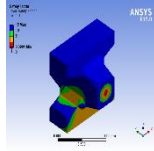
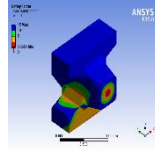
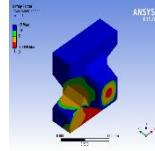
Tablo A2.4 Xbloc analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar  | Az Hasar  | Orta Hasar  | Ağır Hasar   |
|---|---|---|---|--|
|    | <br>75   | <br>200  | <br>500   | <br>1,500 |
|    | <br>50   | <br>100  | <br>250   | <br>750   |
|   | <br>10  | <br>25  | <br>50   | <br>100  |
|  | <br>25 | <br>50 | <br>75  | <br>125 |
|  | <br>10 | <br>25 | <br>50  | <br>75  |
|  | <br>40 | <br>75 | <br>125 | <br>250 |


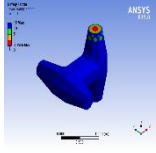
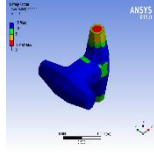
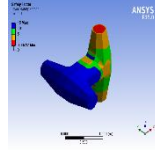
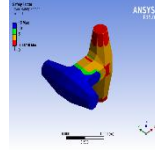
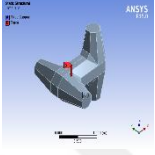
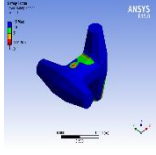
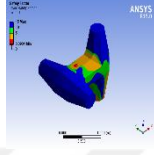
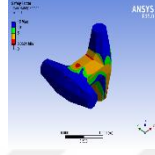
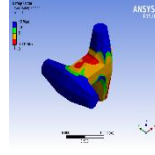

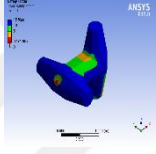
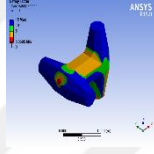
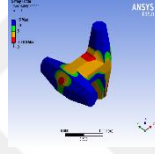
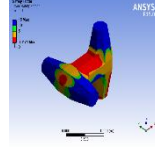

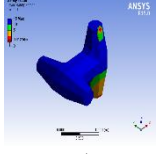
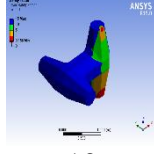
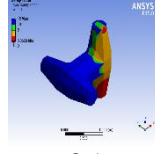
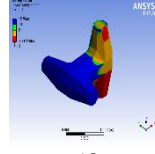

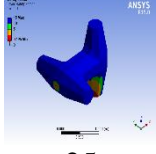
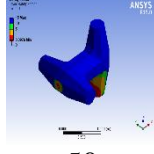
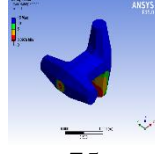
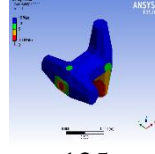

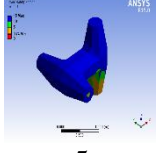
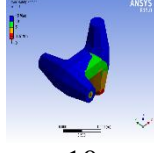
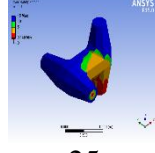
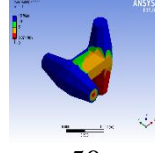
Tablo A2.5 Coreloc analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar  | Az Hasar  | Orta Hasar   | Ağır Hasar   |
|---|---|---|--|--|
|    | <br>75   | <br>200  | <br>500  | <br>1,500 |
|    | <br>75   | <br>200  | <br>500  | <br>1,500 |
|   | <br>10  | <br>25  | <br>50  | <br>100  |
|  | <br>5  | <br>10 | <br>25 | <br>50  |
|  | <br>15 | <br>25 | <br>50 | <br>200 |
|  | <br>15 | <br>25 | <br>50 | <br>200 |

Tablo A2.6 Accropode analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar  | Az Hasar  | Orta Hasar   | Ağır Hasar   |
|---|---|---|--|--|
|    | <br>100  | <br>300  | <br>750  | <br>2,500 |
|    | <br>15   | <br>50   | <br>75   | <br>150   |
|   | <br>15  | <br>50  | <br>75  | <br>150  |
|  | <br>10 | <br>25 | <br>50 | <br>75  |
|  | <br>25 | <br>50 | <br>75 | <br>125 |
|  | <br>25 | <br>50 | <br>75 | <br>125 |

Tablo A2.7 Dolos analizi

| Yükleme Durumu  | Çok Az Hasar  | Az Hasar  | Orta Hasar   | Ağır Hasar   |
|---|---|---|--|--|
|    | <br>100  | <br>300  | <br>750  | <br>2,500 |
|    | <br>15   | <br>50   | <br>75   | <br>150   |
|   | <br>10  | <br>25  | <br>50  | <br>100  |
|  | <br>5  | <br>10 | <br>25 | <br>50  |
|  | <br>25 | <br>50 | <br>75 | <br>125 |
|  | <br>5  | <br>10 | <br>25 | <br>50  |