

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DÜŞÜK KRETİİ TEK SIRA KÜP KORUMALI TAŞ
DOLGU DALGAKIRANLARIN
STABİLİTE VE İLETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

Duygu İŞSEVER

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı

Danışman
Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Mart, 2024

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DÜŞÜK KRETLİ TEK SIRA KÜP KORUMALI TAŞ
DOLGU DALGAKIRANLARIN
STABİLİTE VE İLETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Duygu İŞSEVER tarafından hazırlanan tez çalışması 08.03.2024 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Esin ÇEVİK
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof.Dr.Esin ÇEVİK, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof.Dr.Veyssel Şadan Özgür KIRCA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Esin ÇEVİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “ Düşük Kretli Tek Katmanlı K p Dalgakıranların Stabilit  Ve İletiminin Araştırılması ” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğ r kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Duygu İŞSEVER

İmza



Anneme ve kardeşime...

TEŞEKKÜR

2018 yılında mezun olduğum İnşaat Mühendisliği bölümünden, mesleğimi severek ve isteyerek başladığım süreçlerde sektör adına beni mesleğime ve kariyerime bağlayan olgu ve olayların oluşmasının yanında, mesleğimden vazgeçirme eşiğine kadar getiren durumlar ile çokça karşılaştım. Kadın olmanın gerektirdiği, toplum tarafından sınırlandırılmış ölçüde sözde yaşamanın ve kabul edilen sınırlı çerçevenin dışına çıkarılmaya çalışıldığının gösterildiği nadir mesleklerden birini yapmanın vermiş olduğu özgüven ve bunu yapabildiğim ölçüde topluma kazandırabilecek olmam beni mesleğime bağlayan en önemli sebeplerden olmuştur.

Bu bağlamda süregelen anlayışı değiştirmek, kendime ve bulunduğum topluma daha vizyonlu bakabilmek ve geliştirmek adına merakla öğrenmek istediğim Kıyı ve Liman Mühendisliği alanını seçtim.

2022 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi'nde başlayan bu öğrenimimde, teknik anlamda bilgi ve görüşlerini aktaran, sosyal ve iletişimsel düzeyde destek ve yardımlarını esirgemeyen sevgili Danışman Hocam Prof. Dr. Esin Çevik'e teşekkürlerimi sunarım. Kıyı ve liman mühendisliğindeki çalışmalarına öncülük eden, tüm tecrübe ve vizyoner bakış açısı ile birçok konuda farklı düşünsel açıları yakalamamı sağlayan sevgili hocam Prof. Dr. Yalçın Yüksel'e teşekkürlerimi sunarım.

Tüm bu süreç boyunca bana sabır gösteren, desteklerini daima hissettiğim sevgili annem Filiz'e ve sevgili kardeşim Elif'e çok teşekkür ederim.

Ayrıca bu tez konusunun temelini oluşturan laboratuvarda yürütülen model deneylerinin yapılmasında benimle birlikte çalışan, emek veren sevgili arkadaşım Serhat Gümüş'e teşekkür ederim. Süreç boyunca laboratuvarda bizlere teknik anlamda destek veren teknisyen Muhammed Uluçay'a teşekkür ederim.

Duygu İŞSEVER

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
SİMGE LİSTESİ	viii
KISALTMA LİSTESİ	xii
ŞEKİL LİSTESİ	xiii
TABLO LİSTESİ	xvii
ÖZET	xix
ABSTRACT	xxi
1 GİRİŞ	1
1.1 Motivasyon	1
1.2 Çalışmanın Amacı	1
1.3 Literatür Özeti	2
1.4 Hipotez	7
1.5 Çalışmanın Ana Hatları	8
2 DÜŞÜK KRETİ DALKAKIRANLAR	9
2.1 Giriş	9
2.2 Dalgakıranların Tanımı Ve Sınıflandırılması	10
2.2.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar	10
2.2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar	13
2.2.3 Özel Tip Dalgakıranlar	13
2.3 Düşük Kretli Dalgakıranların Sınıflandırılması	14
2.3.1 Dinamik Stabil (Resif) Düşük Kretli Dalgakıranlar	15
2.3.2 Statik Stabil Düşük Kretli Dalgakıranlar	16
2.3.3 Statik Stabil Batık Dalgakıranlar	16
2.3.4 Düşük Kretli Dalgakıranların Avantaj ve Dezavantajları	17
2.4 Dalgakıranlarda Kullanılan Beton Elemanlar ve Sınıflandırılmaları	18
3 DÜŞÜK KRETİ DALKAKIRANLARDA HİDROLİK PERFORMANS	30
3.1 Tırmanma	30
3.2 Aşma	36
3.3 İletim	39
3.4 Yansıma	55
4 DÜŞÜK KRETİ DALKAKIRANLARIN STABİLİTESİ	60
4.1 Stabilitate İfadeleri	60
4.2 Hasar Tanımları ve Modları	70
4.3 Hasar Ölçümü	71
5 DENEY SİSTEMİ	74

5.1 Ölçeklendirme.....	74
5.2 Ölçek Etkileri.....	74
5.3 Çevresel Parametreler, Yapısal Parametreler ve İlgili Boyutsuz Sayılar	79
5.3.1 Çevresel parametreler	79
5.3.2 Yapısal Parametreler	83
5.3.3 İlgili Boyutsuz Parametreler	86
5.4 Deney Sistemi.....	90
5.5 Dalga Kanalı	90
5.6 Dalgakıran Model Kurulumu.....	92
5.7 Küp Beton Bloklar	98
5.8 Dalga Üretici.....	102
5.9 Dalga Üretimi, Kaydı ve Ölçümü	103
6.0 Deney Şartları	109
6.1 Hasarın Ölçümü	116
6 MODEL DENEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	122
6.1 Düşük Kretli Tek Sıra Küp Bloklı Dalgakıran Stabilite Sonuçlarının Değerlendirilmesi	122
6.1.1 4D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklılığı.....	122
6.1.2 4D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklılığı	129
6.1.3 7D _n Kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklılığı.....	136
6.1.4 7D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklılığı.....	143
6.1.5 10D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklılığı	150
6.1.6 10D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklılığı	157
6.1.7 Tüm Modellerde Hareketlilik ve Rölatif Hasarın İncelenmesi	164
6.2 Düşük Kretli Tek Sıra Küp Bloklı Dalgakıran İletim Sonuçlarının Değerlendirilmesi	174
6.2.1 4D _n Kret genişliği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklılığı için iletim	175
6.2.2 7D _n Kret genişliği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklılığı	177
6.2.3 10D _n Kret genişliği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklılığı.....	179
6.2.4 Tüm kret genişliklerine göre iletim katsayısı ile boyutsuz parametrelerin değişimi	181
6.2.5 Deneyssel çalışmalar ile elde edilen iletim katsayısının literatürdeki formüller ile karşılaştırılması.....	184
6.2.6 Küp blokların düzenli yerleşiminde sıklığın iletim üzerine etkisi	195
6.2.7 İletim İfadesinin Türetilmesi	197

6.3 Düşük Kretli Tek Sıra Küp Bloklı Dalgakıran Yansıma Sonuçlarının Değerlendirilmesi	204
7 SONUÇ	216
KAYNAKÇA	221
A TÖM MODEL DENEYLERİNDE HASAR ORANLARI	229
B TÖM MODEL DENEYLERİ VE DALGA ŞARTLARINDA HASAR DURUMLARI	248
B.1 4D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklığı.....	248
B.2 4D _n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı.....	250
B.3 7D _n Kret Genişliği $\Psi_s=0.59$ Yerleşim Sıklığı	252
B.4 7D _n Kret Genişliği $\Psi_s=0.67$ Yerleşim Sıklığı	254
B.5 10D _n Kret Genişliği $\Psi_s=0.59$ Yerleşim Sıklığı	256
B.6 10D _n Kret Genişliği $\Psi_s=0.67$ Yerleşim Sıklığı	258
C SPEKTRUM GRAFİKLERİ	260
D TÖM MODEL DENEYLERİNDE ENERJİ KAYIP KATSAYISI	282
E DENEY MODELLERİNDE HASAR GÖRÖNTÖLERİ	283
TEZDEN TÜRETİLMİş YAYINLAR	286

SİMGE LİSTESİ

ω	Açısal frekans
a	Antifer bir kenar uzunluğu
γ_b	Basamak için azaltma faktörü
H_s	Belirgin dalga yüksekliği
N'	Belirli alan içindeki blok sayısı
X_0	Boyutsuz feç
m	$\cot\alpha$
L	Dalga boyu
T	Dalga periyodu
N	Dalga sayısı (Fırtına süresi)
H	Dalga yüksekliği
$H_{\%2}$	Dalga yüksekliklerinin %2'si tarafından aşılan dalga yüksekliği
γ_β	Dalganın yaklaşım açısı için azaltma faktörü
ρ_w	Deniz suyu özgül kütlesi
L_0	Derin deniz dalga boyu
S_0	Derin deniz dalga dikliği
H_0	Derin deniz dalga yüksekliği
d'	Doluluk oranı
edp	Enerji dağılım parametresi
X	Feç mesafesi
$M_{50, \text{filtre}}$	Filtre tabakası ortalama taş kütlesi
P	Geçirimsizlik katsayısı
E_i	Gelen dalga enerjisi
H_i	Gelen dalga yüksekliği

K_D	Hudson stabilite katsayısı
E_t	İletilen dalga enerjisi
H_t	İletilen dalga yüksekliği
K_t	İletim katsayısı
$\tau/\tau_a/\tau_b$	JONSWAP şekil parametresi
n_{sl}	Kayma yapan elemanların sayısı
n_r	Kıpırdama yapan elemanların sayısı
$M_{koruma\ tabakası}$	Koruma tabakası taş kütlesi
B	Kret genişliği
R_c	Kret hava payı
B_{etkili}	Küp blok yerleşiminde etkili alanın genişliği
L_{etkili}	Küp blok yerleşiminde yüzeyde etkili alanın uzunluğu
$\rho_{küp}$	Küp özgül kütlesi
B_{model}	Modelin dikkate alınan genişliği
$D_{n50}/D_n/V$	Nominal taş çapı
q	Ortalama dalga aşma debisi
T_m	Ortalama dalga periyodu
S_{0m}	Ortalama periyot ile elde edilen dalga dikliği
M_{50}	Ortalama taş kütlesi
α'	Ölçek parametresi
ω_p	Pik açısal frekans
T_p	Pik dalga periyodu
S_p	Pik periyot ile elde edilen dalga dikliği
p	Porozite
r	Pürüzlülük azaltma katsayısı
n_y	Referans alanında 1. D_n 'den fazla yer değiştiren blokların sayısı
H_i/D_{n50}	Rölatif dalga yüksekliği

N_0	Rölatif hasar
B_{eff}	Rölatif kret genişliği
R_c/D_{n50}	Rölatif kret hava payı
R_c/H_i	Rölatif kret yüksekliği
D_{eff}	Rölatif nominal çap
Δ	Rölatif özgül kütle
d/L	Rölatif su derinliği
U_w	Rüzgar hızı
Ψ	Sıklık
H_{m0}	Spektral belirgin dalga yüksekliği
$T_{m-1,0}$	Spektral dalga enerji periyodu
H_{m0i}	Spektral gelen belirgin dalga yüksekliği
γ	Spektrum diklik parametresi
f_t	Spektrum frekansı
f_p	Spektrum pik frekans değeri
N_s	Stabilite sayısı
d	Su derinliği
ξ/ξ_0	Surf parametresi
μ	Sürtünme katsayısı
α	Şev açısı
γ_f/γ_r	Şev üzerindeki elemanların pürüzlülüğü için azaltma faktörü
t	Tabaka kalınlığı
k_D	Tabaka kalınlığı katsayısı
n	Tabakadaki taş sayısı
ρ_r	Taş özgül kütlesi
R_u	Tırmanma yüksekliği
ξ_{0m}	T_m ortalama periyot ile elde edilen surf parametresi

$\xi_{m-1,0}$	$T_{m-1,0}$ periyodu ile hesaplanan surf parametresi
$L_{m-1,0}$	$T_{m-1,0}$ spektral dalga periyodu ile elde edilen dalga boyu
L_{0p}	T_p pik dalga periyodu ile elde edilen dalga boyu
L_p	T_p , pik dalga periyodu kullanılarak hesaplanan dalga boyu
$R_{u\%1}$	Yaklaşan dalgaların %1'inin aşıldığı tırmanma yüksekliği
$R_{u\%2}$	Yaklaşan dalgaların %2'sinin aşıldığı tırmanma yüksekliği
K_r	Yansıma katsayısı
H_r	Yansıyan belirgin dalga yüksekliği
S	Yapı hasar seviyesi
A_t	Yapı kesit alanı
d_c	Yapı yüksekliği
g	Yer çekimi ivmesi
$N_{0,mov}$	Yer değiştirme yapan elemanlarda rölatif hasar
n_o	Yer değiştirme yapan elemanların sayısı
E_{t15}/E_t	Yüksek frekanslara sahip enerjinin ölçüsü

KISALTMA LİSTESİ

ARC	Active Reflection Compensation
AYGM	Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü
BS	British Standards
CEM	Coastal Engineering Manual
CERC	Coastal Engineers Research Center
CIRIA	Construction Industry Research and Information Association
DELOS	Environmental Design of Low Crested Coastal Defence Structures
DMC	Delta Marine Consultants
DGPS	Global Positioning Systems
EurOtop	Manual on wave overtopping of sea defences and related structures
HR DAQ	Wallingford Data AcQuisition Software
JONSWAP	Joint North Sea Wave Project
OSS/MWL	Ortalama Su Seviyesi/Mean Water Level
PIANC	World Association for Waterborne Transport Infrastructure
RMSE	Root Mean Square Error
TAW	Technical Advisory Committee on Flood Defence
USACE	US Corps of Engineers

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Singapur doğu marinası ve Hanstholm limanına ait dalgakıranlar	9
Şekil 2.2	Geleneksel taş dolgu dalgakırana ait tipik kesit örneği	11
Şekil 2.3	Taş dolgu dalgakıranlara ait kesitler	11
Şekil 2.4	Düşük kretli dalgakırana ait kesit örneği	12
Şekil 2.5	Düşük kretli dalgakırana ait kesit örneği	12
Şekil 2.6	Düşük kretli dalgakıran kesiti	15
Şekil 2.7	Düşük kretli ve batık yapıların sınıflandırılması	15
Şekil 2.8	Dinamik stabil düşük kretli dalgakıranlar	16
Şekil 2.9	Dinamik stabil düşük kretli dalgakıranlar	16
Şekil 2.10	Statik stabil batık dalgakıranlar	17
Şekil 2.11	Küp ve Antifer bloklar. a) Küp beton bloklar, b) Antifer beton bloklar	20
Şekil 2.12	Tetrapod ve Dolos bloklar. a) Tetrapod bloklar, b) Dolos bloklar	21
Şekil 2.13	Accropode beton blok	22
Şekil 2.14	Coreloc ve Xbloc beton bloklar. a) Coreloc beton bloklar, b) Xblock beton bloklar	23
Şekil 2.15	Frens (2007)' e göre Ψ hesabı için belirlenen alan	24
Şekil 3.1	Hidrolik performans ana parametreleri	30
Şekil 3.2	Dalga tırmanması	31
Şekil 3.3	Dalga aşması)	36
Şekil 3.4	Geçirimli yapılarda ölçülen ve hesaplanan iletim katsayısı değerlerinin karşılaştırılması	42
Şekil 3.5	Boyutsuzlaştırılmış spektrum grafiği	45
Şekil 3.6	Çalışmaya ait tüm yapı türlerinde ölçülen ve yeni ifade ile hesaplanan iletim katsayılarının karşılaştırılması	49
Şekil 4.1	N_s değerine karşılık ξ_z ifadesinin grafiği	62
Şekil 5.1	Kırılma tipleri	87
Şekil 5.2	Deney sistemi	90
Şekil 5.3	Dalga kanalı şematik gösterimi	91
Şekil 5.4	Dalgakıran modeli çekirdek tabakası filtre borusu	93
Şekil 5.5	Çekirdek malzemesinin granülometri eğrisi	93
Şekil 5.6	Dalgakıran modeline ait çekirdek tabakası	94
Şekil 5.7	Dalgakıran modeline ait kesitin oluşturulması	94

Şekil 5.8	4D _n kret genişliğine sahip model kesiti	95
Şekil 5.9	7D _n kret genişliğine sahip model kesiti	96
Şekil 5.10	10D _n kret genişliğine sahip model kesiti	97
Şekil 5.11	Küp blokların krette dizilimi	99
Şekil 5.12	Farklı sıklıklara ait modellerde küp dizilimi. a) 0.59 sıklık, b) 0.67 sıklık.	99
Şekil 5.13	Küp blokların yerleşiminin şematik gösterimi. a) $\Psi_s=0.59$ sıklık ile tek sıra düzenli küp blok dizilimi, b) $\Psi_s=0.67$ sıklık ile tek sıra düzenli küp blok dizilimi	101
Şekil 5.14	Dalga üreticine ait şematik gösterim.....	102
Şekil 5.15	Dalga üretici görünümü.....	102
Şekil 5.16	Wave Synthesiser programı ara yüzü ve üretilmek istenen örnek dalga özellikleri.....	104
Şekil 5.17	Üretilmek istenen dalga kaydına ait örnekler	106
Şekil 5.18	Deney sistemine ait dalga ölçüm problemlerinden görünüş.....	107
Şekil 5.19	Üretilen dalganın bir probta su yüzü değişimi kaydı örnekleri.....	107
Şekil 5.20	Dalga kaydında W1 dalgasına ait sıfırı kesme yöntemi ve spektral analiz. a) Sıfırı kesme metodu (W1), b) Spektral analiz (W1)	108
Şekil 5.21	Dalga kaydında W7 dalgasına ait sıfırı kesme yöntemi ve spektral analiz. a) Sıfırı kesme metodu (W7), b) Spektral analiz (W7)	109
Şekil 5.22	Deney modelinde ve krette referans alanı. a) Modelde referans alanı, b) Krette referans alanı	117
Şekil 5.23	Ön ve arka şevde referans alanı. a) Ön şevde referans alanı, b) Arka şevde referans alanı	118
Şekil 5.24	Ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası... ..	119
Şekil 5.25	Arka şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası	119
Şekil 5.26	Krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası.....	120
Tablo 5.8	Model özellikleri ve tam hasar durumu.....	121
Şekil 6.1	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	127
Şekil 6.2	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	128
Şekil 6.3	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	134
Şekil 6.4	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	135
Şekil 6.5	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	141

Şekil 6.6	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	142
Şekil 6.7	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	148
Şekil 6.8	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	149
Şekil 6.9	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	155
Şekil 6.10	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	156
Şekil 6.11	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	162
Şekil 6.12	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev	163
Şekil 6.13	Ön şev, kret ve arka şevde hareketliliğin rölatif kret genişliği ile karşılaştırılması. a) $\Psi_s=0.59$ sıklık, b) $\Psi_s=0.67$ sıklık	164
Şekil 6.14	Tüm sıklıklar için ön şevde rölatif hasarın karşılaştırılması	166
Şekil 6.15	Tüm sıklıklar için krette rölatif hasarın karşılaştırılması	167
Şekil 6.16	Tüm sıklıklar için arka şevde rölatif hasarın karşılaştırılması	167
Şekil 6.17	Ön şevde ve modelin tamamında deney sonuçlarının Van der Meer (1988c) ve Van Gent (1999)'in sonuçları ile karşılaştırılması. a) Ön şev, b) Ön şev ve kret birlikte	170
Şekil 6.18	Ön şev ve krette rölatif kret genişliğine göre hasarın başladığı stabilite sayısının karşılaştırılması	171
Şekil 6.19	4D _n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleştirme sıklıkları için iletim katsayısının boyutsuz parametreler ile değişimi	176
Şekil 6.20	7D _n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleştirme sıklıkları için iletim katsayısının boyutsuz parametreler ile değişimi	178
Şekil 6.21	10D _n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleştirme sıklıkları için iletim katsayısının boyutsuz parametreler ile değişimi	180
Şekil 6.22	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişlikleri için iletim katsayısının dalga yüksekliği ile değişimi	182
Şekil 6.23	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişlikleri için iletim katsayısının R_c/H_{mo} ile değişimi	182
Şekil 6.24	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişlikleri için iletim katsayısının B/H_{mo} ile değişimi	182
Şekil 6.25	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişlikleri için iletim katsayısının B/L ile değişimi	183
Şekil 6.26	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişlikleri için iletim katsayısının H/L ile değişimi	183

Şekil 6.27 $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için iletim katsayısının H/D_n ile değişimi	183
Şekil 6.28 $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için iletim katsayısının surf parametresi ile değişimi.....	184
Şekil 6.29 İletim katsayısının Van Der Meer ve ve Pilarczyk (1990) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	185
Şekil 6.30 İletim katsayısının Daemen (1991) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri	187
Şekil 6.31 İletim katsayısının Van der Meer ve Daemen (1994) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	188
Şekil 6.32 İletim katsayısının D'Angremond vd. (1996) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikler	189
Şekil 6.33 İletim katsayısının K_t ile Goda ve Ahrens (2008) denklemi ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	190
Şekil 6.34 İletim katsayısının K_t ile Tomasichhio ve D'Alessandro (2011) denklemi ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikler	191
Şekil 6.35 İletim katsayısının K_t ile Giantsi ve Moutzouris (2016) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	193
Şekil 6.36 İletim katsayısının K_t ile Van Gent vd (2023) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri	194
Şekil 6.37 Ölçülen iletim katsayısı değerlerinin $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklılıkları için karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	196
Şekil 6.38 Ölçülen ve hesaplanan iletim katsayıları ilişkisi	198
Şekil 6.39 Ölçülen ve hesaplanan iletim katsayıları ilişkisi	199
Şekil 6.40 Modelde topukta ölçülen, gelen ve iletilen dalgalara ait spektrum...201	
Şekil 6.41 $4D_n$ kret genişliği için gelen ve iletilen dalga spektrumları	202
Şekil 6.42 $4D_n$ kret genişliğinde farklı dalgaların iletim spektrumları.....	202
Şekil 6.43 W9 ve W10 dalgalarının üç kret genişliği için iletim spektrumları ..203	
Şekil 6.44 $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için topukta ölçülen ve topuğa gelen dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri	205

Şekil 6.45	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için topukta gelen dalga yüksekliği ile topuktan yansıyan dalga yüksekliğinin karşılaştırılması. a) 4D _n kret genişliği, b) 7D _n kret genişliği, c) 10D _n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	206
Şekil 6.46	Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için yansımaya katsayısı, K _r karşılaştırılması. a) 4D _n kret genişliği, b) 7D _n kret genişliği, c) 10D _n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri.....	208
Şekil 6.47	4D _n ve 10D _n kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için yansıyan dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması.....	209
Şekil 6.48	Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklıklar için topukta gelen dalga yüksekliğinin yansımaya katsayısı ile karşılaştırılması. a) 4D _n kret genişliği, b) 7D _n kret genişliği, c) 10D _n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri	210
Şekil 6.49	Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için dalga dikliği, S _{m-1,0} ile yansımaya katsayısı, K _r ile karşılaştırılması.....	211
Şekil 6.50	Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için rölatif kret hava payı, R _c /H _{m0} ile yansımaya katsayısı, K _r ile karşılaştırılması.....	212
Şekil 6.51	Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için rölatif kret genişliği, R _c /H _{m0} ile yansımaya katsayısı, K _r ile karşılaştırılması	212
Şekil 6.52	Yansımaya katsayısının mevcut Muttray vd., 2006 ile karşılaştırılması	213
Şekil 6.53	Yansımaya katsayısının mevcut Zanuttigh ve Van der Meer, 2008 ile karşılaştırılması	214
Şekil 6.54	Rölatif kret hava payının, R _c /H _{m0} enerji kayıp katsayısı, K _d ile karşılaştırılması	215
Şekil C.1	4D _n $\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları	260
Şekil C.1	4D _n $\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)	261
Şekil C.1	4D _n $\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)	262
Şekil C.2	4D _n $\Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları	263
Şekil C.2	4D _n $\Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları (devamı)	264
Şekil C.2	4D _n $\Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları (devamı)	265
Şekil C.3	4D _n $\Psi_s=0.67$ iletim dalgaları	266
Şekil C.3	4D _n $\Psi_s=0.67$ iletim dalgaları (devamı)	267
Şekil C.4	7D _n $\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları	268
Şekil C.4	7D _n $\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)	269
Şekil C.5	7D _n $\Psi_s=0.59$ iletim dalgaları	270
Şekil C.5	7D _n $\Psi_s=0.59$ iletim dalgaları (devamı)	271
Şekil C.6	7D _n $\Psi_s=0.67$ iletim dalgaları	272
Şekil C.6	7D _n $\Psi_s=0.67$ iletim dalgaları (devamı)	273
Şekil C.7	10D _n $\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları	274

Şekil C.7	$10D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)	275
Şekil C.8	$10D_n \Psi_s=0.59$ iletim dalgaları	276
Şekil C.8	$10D_n \Psi_s=0.59$ iletim dalgaları (devamı)	277
Şekil C.9	$10D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları	278
Şekil C.9	$10D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları (devamı)	279
Şekil C.10	$10D_n \Psi_s=0.67$ iletim dalgaları	280
Şekil C.10	$10D_n \Psi_s=0.67$ iletim dalgaları (devamı)	281
Şekil E.1	$4D_n \Psi_s=0.59$ sıkılıkta ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası	283
Şekil E.2	$4D_n \Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası.....	283
Şekil E.3	$7D_n \Psi_s=0.59$ sıkılıkta ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası	284
Şekil E.4	$7D_n \Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası.....	284
Şekil E.5	$10D_n \Psi_s=0.59$ sıkılıkta ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin.....	285
	ilk hali, b) Hasar sonrası.....	285
Şekil E.6	$10D_n \Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette küp bloklarda hasar.) Kesitin	285
	ilk hali, b) Hasar sonrası.....	285

TABLO LİSTESİ

Tablo 2.1	Koruyucu beton blok eleman türleri.....	19
Tablo 2.2	Literatürde farklı bloklar için kullanılmış sıklık Ψ_s değerleri,	27_Toc162433603
Tablo 3.1	Pürüzlülük azaltma katsayıları	33
Tablo 3.2	Taş yüzeylerde tırmanma ifadeleri için katsayılar.....	34
Tablo 3.3	Geçirimli ve geçirimsiz taş tabakalı yüzeyler için katsayılar	35
Tablo 3.4	Koruma elemanlarına göre pürüzlülük azaltma katsayıları	35
Tablo 3.5	Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler	50
Tablo 3.5	Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı).....	51
Tablo 3.5	Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı).....	52
Tablo 3.5	Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı).....	53
Tablo 3.5	Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı).....	54
Tablo 3.6	Yansıma katsayısı için parametre değerleri	59
Tablo 4.1	Yapı eleman türlerine göre μ ve K katsayıları	60
Tablo 4.2	Hudson (1959) ifadesi için stabilite katsayısı değerleri	61
Tablo 4.3	Literatürde stabilite ifadelerine ait deney şart ve özellikleri.....	68
Tablo 4.4	Literatürde bulunan stabilite sayısına dair mevcut denklemler	69
Tablo 4.4	Literatürde bulunan stabilite sayısına dair mevcut denklemler (devamı)	70
Tablo 4.5	Hareket eden ve yer değiştiren bloklar için hasar sınıfları	71
Tablo 5.1	Model sıklıkları ve küp mesafeleri.....	101
Tablo 5.2	$4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ için dalga parametreleri.....	110
Tablo 5.3	$4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ için dalga parametreleri.....	111
Tablo 5.4	$7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ için dalga parametreleri.....	112
Tablo 5.5	$7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ için dalga parametreleri.....	113
Tablo 5.6	$10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ için dalga parametreleri.....	114
Tablo 5.7	$10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ için dalga parametreleri.....	115
Tablo 6.1	$4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları.....	124
Tablo 6.2	$4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları	125

Tablo 6.3	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	126
Tablo 6.4	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları.....	131
Tablo 6.5	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları	132
Tablo 6.6	4D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	133
Tablo 6.7	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları.....	138
Tablo 6.8	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları	139
Tablo 6.9	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	140
Tablo 6.10	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları.....	145
Tablo 6.11	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları	146
Tablo 6.12	7D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	147
Tablo 6.13	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	152
Tablo 6.14	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları.....	153
Tablo 6.15	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	154
Tablo 6.16	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	159
Tablo 6.17	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları.....	160
Tablo 6.18	10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları	161
Tablo 6.19	Tüm kret genişlikleri ve sıklıklar için hasar başlangıçları.....	171
Tablo 6.20	Literatürde mevcut ve bu çalışmaya ait stabilite katsayıları.....	173
Tablo 6.21	4D _n kret genişliği için boyutsuz parametrelerin sınır değerleri	174
Tablo 6.22	7D _n kret genişliği için boyutsuz parametrelerin sınır değerleri	174
Tablo 6.23	10D _n kret genişliği için boyutsuz parametrelerin sınır değerleri	174
Tablo 6.24	Tüm deneylerden elde edilen boyutsuz parametrelerin sınır değerleri	174
Tablo A.1	4D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta ön şevde hasar	229

Tablo A.2	4D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette hasar	230
Tablo A.3	4D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ arka şevde krette hasar	231
Tablo A.4	4D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta ön şevde hasar	232
Tablo A.5	4D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta krette hasar	233
Tablo A.6	4D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta arka şevde hasar.....	234
Tablo A.7	7D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta ön şevde hasar	235
Tablo A.8	7D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette hasar	236
Tablo A.9	7D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta arka şevde hasar.....	237
Tablo A.10	7D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta ön şevde hasar	238
Tablo A.11	7D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta krette hasar	239
Tablo A.12	7D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta arka şevde hasar.....	240
Tablo A.13	10D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta ön şevde hasar	241
Tablo A.14	10D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette hasar	242
Tablo A.15	10D _n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta arka şevde hasar.....	243
Tablo A.16	10D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta ön şevde hasar	244
Tablo A.17	10D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta krette hasar	245
Tablo A.18	10D _n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta arka şevde hasar.....	246
Tablo D.1	4D _n , 7D _n ve 10D _n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta enerji kayıp katsayısı değerleri	282

Düşük Kretli Tek Sıra Küp Korumalı Dalgakıranların Stabilite ve İletiminin Araştırılması

Duygu İŞSEVER

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Düşük kretli ve batık dalgakıranlar gelen dalgaların enerjilerini azaltarak bir miktarının yapı üzerinden geçmesine izin verecek şekilde tasarlanan açık denizde veya kıyı boyunca inşa edilen yapılardır. Geleneksel dalgakıranlara kıyasla kretleri sakin su seviyesi civarında olmak üzere daha düşük kretleriyle karakterize edilirler. Genellikle bir miktar dalga enerjisinin yapı üzerinden geçmesine izin verecek şekilde tasarlanırlar.

Düşük kretli dalgakıranlar dalga enerjisini kısmen azaltarak kıyı alanlarını fırtına dalgalarının yaratacağı taşkınlarından korumak, kıyı alanını erozyondan korumak, kısmen katı maddeyi tutarak kıyı yenilemesini ve kıyı stabilitesini sağlamak, limanlar ve seyir yolları yakınlarında daha sakin su alanları yaratarak seyir güvenliğini sağlamak, kıyı ekosistemlerine katkı sağlamak, çeşitli rekreasyonel ve kıyısız faaliyetler için korunaklı alanlar yaratmak gibi çeşitli amaçlarla inşa edilen kıyı yapılarıdır. Alçak kretleri ve görsel etkilerinin minimum olması nedeniyle turistik bölgelerde tercih edilmektedirler. Ayrıca küresel iklim değişikliğiyle deniz

seviyesinin yükselmesi geleneksel dalgakıranların düşük kretli hale gelmelerine neden olabilmektedir.

Bu çalışmada koruma tabakasına küp blokların tek sıra düzenli ve $\Psi_s=0.59$, $\Psi_s=0.67$ olmak üzere iki farklı sıklıkta yerleştirildiği, tek bir sabit kret hava payında, $4D_n$, $7D_n$, $10D_n$ olarak üç farklı kret genişliğine sahip ön ve arka şev eğimlerinin 1:1.5 olan düşük kretli dalgakıran gövde kesitinin JONSWAP spektrumu tipinde düzensiz rüzgâr dalgaları etkisinde stabilite ve iletim performanslarının değerlendirilmesi amacıyla hidrolik model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Mühendisliği Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

DeneySEL çalışma sonuçları değerlendirilmiş, literatürde mevcut ifadelerle karşılaştırılmış ve bu kesitler için yeni ifade ve sonuçlar sunulmuştur. Dalgakıran kesitinin ön şev, kret ve arka şev stabiliteleri ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu rölatif kret hava payında düşük sıklıkta arka şev stabil kalmaktayken hasar en fazla kret ve ön şevde gözlenmiştir. Sıklığın büyük olduğu kesitler çok daha stabil davranmıştır. Küp blokların tek sıra düzenli yerleştirildiği şartta sıklığın yapı stabilitesi üzerinde çok etkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Dalga iletimi mevcut çalışmalarla karşılaştırılmış, dalga iletimi katsayısının belirlenmesinde bu çalışma verileri kullanılarak yeni bir ifade geliştirilmiştir. İletilen dalga enerji spektrumunun ve gelen dalga spektrumu şekli karşılaştırılarak iletimin spektrum şekli üzerindeki etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Düşük kretli dalgakıran, iletim, stabilite, küp blok, düzenli yerleşim.

Investigation of Stability and Transmission of Low Crested Single Layer Cube Armored Rubble Mound Breakwaters

Duygu İŞSEVER

Department of Civil Engineering

Programme of Coastal And Port Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Low crested and submerged breakwaters are structures that are built offshore or along coast partly reduce the energy of incoming waves by breaking energy and partly allowing some of the energy to pass over the structure. In comparison to conventional breakwaters, they are characterized by lower crests, typically around still water level. They are generally designed to allow a certain amount of wave energy to pass over the structure.

Low crested breakwaters aim to partially reduce wave energy to protect coastal areas from flooding, to prevent the coastal erosion, contribute to coastal renewal by partially retaining sediment, ensure coastal stability, to create calmer water areas near ports and navigation channels to enhance navigation safety, to contribute to coastal ecosystems, and provide protected areas for various recreational and coastal activities. They are also preferred in touristic areas due to their minimum visual impact. Additionally, global climate change and rising sea levels can cause the conventional breakwaters to become low crested.

In this study, hydraulic model tests were conducted to evaluate the stability and transmission performance of low crested single layered cube armoured rubble mound breakwaters. The low crested breakwaters have the same slope of 1:1.5 at both sides, three different crest widths of $4D_n$, $7D_n$ and $10D_n$ and in only one relative freeboard. The breakwaters were subjected irregular wind waves generated with the JONSWAP type spectrum. Cube blocks were placed with two different packing densities of $\Psi_s=0.59$, $\Psi_s=0.67$. The experiments were conducted at the Hydraulic and Coastal-Port Engineering Laboratory of Yildiz Technical University.

The experimental results were evaluated and compared with existing expressions in the literature. New expressions were presented for these models. The stability of the front slope, crest, and rear slope of the breakwater section were evaluated separately. While the rear slope remained stable at low packing density, damage was mostly observed at the crest and front slope. It was concluded that the packing density, especially when cube blocks are regularly placed in a single layer, has a significant effect on the stability of the structure. The selected relative freeboard value in this study resulted in stable rear slope. Additionally, a new formula was developed using the data of this study to determine the wave transmission coefficient. By comparing the transmitted and the incident wave spectrum shape, the effect of transmission on the spectrum shape was determined.

Keywords: Low crested breakwater, transmission, stability, cube block, regular placement.

1.1 Motivasyon

Dalgakıranlar, temel olarak dalgaların etkisini azaltarak kıyı stabilizasyonu, çevre ve mevcut altyapıların korunması ve iklim değişikliğinde adaptasyonun sağlanması gibi kıyı ve çevre yönetiminde büyük bir öneme sahiptirler. Bu bağlamda geçmişten günümüze yaygın olarak tercih edilen dalgakıran çeşidi geleneksel taş dolgu dalgakıranlar olmuştur. Ancak son zamanlarda küresel iklim değişikliği ile birlikte deniz seviyesinde meydana gelecek yükselme ile dalgakıranlar düşük kretli hale gelebilecektir. Ayrıca turistik bölgelerde düşük kretli dalgakıranlar olumsuz görsel etkilerin azaltılması açısından tercih edilmektedirler. Günümüzde küresel iklim değişikliğinin yakın ve uzak gelecekteki projeksiyonları neticesinde su seviyesi artışıyla düşük kretli hale gelebilecek dalgakıranların stabilitesi ve hidrolik davranışının öngörülmesi bu çalışmanın yapılmasında motivasyon kaynağını oluşturan temel faktörlerden olmuştur. Literatürde düşük kretli yapılar üzerine yapılan çalışmaların bir kısmının düzenli dalga teslerinden oluşması ve/veya yansıma analizlerinin yapılmamış olması bu yapılar üzerinde deneysel çalışmalar yapılmasına yönlendirmiştir.

1.2 Çalışmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı, tasarım ömrü boyunca küresel iklim değişikliği neticesinde su seviyesinde meydana gelecek artışla düşük kretli hale gelebilecek olan tek sıra düzenli yerleştirilmiş küp bloklu simetrik dalgakıran gövde kesitinde hasarın başlama ve ilerlemesini izlemek ve stabilitesini anlamak, iletim davranışını belirlemek için literatürde mevcut bilgileri değerlendirmek ve hidrolik model deneyleri yapmaktır.

Bu çalışmada düşük kretli dalgakıranlarda koruma tabakasına küp beton elemanların tek sıra düzenli dizilimi ile, $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ olmak üzere iki farklı sıklıkta ve farklı kret genişliklerinde ($4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$) oluşturulan fiziksel modeller kurularak stabilize, iletim ve yansıma süreçleri incelenmiştir. Fiziksel model deneylerinden elde edilen sonuçlar ile, literatürde bu konu üzerinde yapılan

araştırmaların uyumu irdelenmiş, iletim katsayısı üzerine yeni ifadeler geliştirilmiştir.

1.3 Literatür Özeti

Tarih boyunca, çeşitli medeniyetler liman ve kıyı yapılarını kıyı bölgelerinin, fırtınaların aşındırıcı etkilerinden korumak amacıyla basit sahil yapıları olarak inşa etmişlerdir. Temel görevi, dalga enerjisini dağıtmak ve kıyı erozyonunu önlemek olan ahşaptan yapılmış dalgakıranlar ve kıyı duvarları inşası en çok tercih edilen yapılar olmuştur. Dalgakıranlar geçmiş yüzyıllarda dalga enerjisini absorbe eden ve yansıtan yapılar olarak inşa edilmiş olup, 19. yüzyılda taş veya beton bloklardan yapılmış dalga enerjisinin etkisinin azalmasını sağılayan taş dolgu dalgakıranların kullanımı daha yaygın hale gelmiştir. Literatürde Rock Manual (2007), CERC (1984), CEM (2006), BS (1991) dalgakıranlarda geniş çaplı araştırmaların ve gelecek araştırmalara referans olabilecek bilgilerin yer aldığı başlıca çalışmalardandır.

Düşük kretli dalgakıranlar ise 20. yüzyılın ortalarına doğıru modern bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır. Düşük kretli yapılar ile geleneksel dalgakıran modelleri arasındaki temel fark kret bölgelerinin tasarımıdır. Dalganın yapı üstünden aşmasına izin veren düşük kretli yapılarda kret sakin su seviyesinin altında ise bu yapılar batık yapılar olarak nitelendirilirken, kretinin sakin su seviyesinin üstünde olan yapılar ise düşük kretli yapılar olarak adlandırılırlar. Düşük kretli taş dolgu dalgakıranlar ise üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar dinamik stabil düşük kretli dalgakıranlar (reef), statik stabil düşük kretli dalgakıranlar ve statik stabil batık dalgakıranlardır (Yüksel, 2011). Bu bağlamda düşük kretli yapılar üzerine sınıflandırma ve özellikleri üzerine olan ilk çalışma Van der Meer (1990) tarafından yapılmıştır. Avantaj, dezavantajları ve ayrıntılı bilgiler Bölüm 2.3' te verilmiştir.

Dalgakıran yapılarında geçmişten bu yana en çok tercih edilen tip taş dolgu yapılar olmuştur. Taş dolgu dalgakıranlar genel anlamda bir çekirdek yapısı, filtre tabakası ve koruma tabakası olmak üzere üç tabakalı inşa edilirler. Koruma tabakasının tasarımı dalgakıranın dalga etkilerine karşı performansında en önemli bölge olup, bu konuda araştırmalar 1980'li yıllara dayanmaktadır. Yapının koruma tabakasında taş malzemenin kullanılmasının yanında beton yapı elemanları da son zamanlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Bunların en bilinenleri küp, Antifer, Tetrapod,

Dolos, Accropode, Coreloc, Xbloc, Stabit gibi elemanlardır. Allsop (1988) çalışması, beton blok elemanların stabilitesi üzerine yapılan ilk ve kapsamlı araştırmalardan olup hala yararlanılan çalışmalardandır. Koruma tabakasında kullanılan beton yapı elemanların seçiminin yanında elemanların yerleşim düzeni (düzenli veya düzensiz yerleşim), tek sıra ya da çift sıra yerleşimi ve yerleşim sıklığı önem arz etmektedir. Tetrapod ve Accropode blokların tasarımı üzerine ilk olarak Fransa'da Sogreah tarafından 1950 yılında çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Yapıda tek sıra halinde kullanılmakta olup, yüksek stabilite sağlaması, tasarımda kolaylık ve maliyet açısından ekonomik olması tercih edilen sebeplerinden olurken, tek tabakalı olarak inşa edilmesi ile yapıda dalga tırmanmasının yüksek olması bu yapı elemanlarının dezavantajıdır. Coreloc beton elemanlar ise ilk olarak 1996 yılında US Corps of Engineers (USACE) tarafından tanıtılmıştır. Coreloc beton elemanlar Accropode blokların gelişmiş bir modeli olarak kabul edilmiş ve hacimsel anlamda en az beton malzemesine ihtiyaç duyan elemanlardır. CERC (1998) tarafından yüksek porozite ve pürüzlülüğü ile diğer blok elemanlara göre iyi bir stabilite performansına sahip olduğu ileri sürülen Coreloc bloklar Accropodlara göre düşük bir iç direncinin olması nedeniyle kırılma riskinin olması bu bloklar için dezavantajını doğurmaktadır. Son zamanlarda donatısız olarak imal edilen Xbloc beton elemanlar ise basit bir yapıya sahip olup Delta Marine Consultants (DMC, 2004) tarafından üretilmiştir. Xbloc elemanlar tek sıra halinde düzensiz olarak yerleşimi yapılmaktadır. Bölüm 2.4'te beton yapı elemanlara dair detaylı bilgilere yer verilmiş olup, yerleşim sıklığı üzerine yapılan çalışmaların Maquet (1985) antifer bloklar ile yaptığı araştırma beton blokların stabilitesi üzerine fikir verir niteliktedir.

Koruma tabakasında porozite, yapının stabilitesini etkileyen önemli bir parametredir. Bu kapsamda yapılan ilk çalışma Hudson (1959) tarafından dalga yüksekliği, yapıda kullanılan elemanın ve suyun özgül ağırlığı, yapının eğimi ve blok türüne göre değişiklik gösteren bir katsayıyı içeren ifadesinden oluşmaktadır. Bunu takiben De Rouck (1987), Van der Meer (1999) ve Günbak (2000) tarafından çalışmalar yapılmış ve koruma tabakasında kullanılan blok türüne göre düzenli ve düzensiz dizilimde elde edilen sıklık değerleri Frens (2007) tarafından ayrıntılı olarak ele alınmıştır. Literatürde küp blokların porozite değerlerinde çeşitlilik söz konusu olup genelde %40 ile %50 arasında değişmektedir. Günbak (1999)'da %46

ve CEM (2006) ile BS (1991)'de %47 porozite değerleri kullanılmıştır (Frens, 2007). Koruma tabakasında tek sıra kp blokların stabilitesi yerleşim sıklığı ve düzenine önemli derecede bağlıdır. Literatürde yapılan araştırmalar, en yüksek stabilitenin sıklığın yaklaşık olarak %70-75 olduğu durumda elde edildiğini göstermiş ve bu sıklıkta düzenli dizilim ile yerleştirilmiş kp blokların stabilite sayısının, $N_s=4.8$ değerine kadar hasar almadığı sonucuna ulaşılmıştır (Van Buchem, 2009). Sıklığın çok yüksek veya çok düşük olduğu durumlarda stabilitenin azaldığı ne srlmştır. Bu konuya dair yapılan araştırmalar ve kapsam için yine Bölüm 2.4' e bakılması önerilmektedir.

Taş dolgu dalgakıranlar stabilite üzerine yapılan ilk alışma Iribarren tarafından 1938 yılında yapılmıştır. Koruma tabakasında kullanılan elemanların pürüzlülük katsayılarını, belirgin dalga yüksekliğini, yapının eğim açısını ve nominal çapı esas alan stabilite sayısını bir denklem ile ifade etmiştir. Bunu takiben Hudson (1959) tarafından Iribarren (1938) ifadesi baz alınarak stabilite formülü geliştirilmiştir. Koruyucu tabakadaki elemanın dizilim sırası, dalgaların yapı üzerinde kırılıp kırılmaması şartlarına göre CERC (1984) tarafından verilen katsayılar kullanılarak stabilite sayısına dair ifade geliştirilmiştir. Van der Meer (1988c) yine taş dolgu dalgakıranlarda kullanılan taş, kp, Accropode, tetrapod birim elemanlarının stabilite sayısı, hasar başlangıçları ve hasar alma durumlarını irdelemek üzere fiziksel deneyler gerçekleştirmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, küp ve taş koruma elemanların davranışı birbirine benzer olup, tetrapod ve Accropode birimlerinden farklıdır. Sırasıyla taş ve küp bloklar, tetrapod bloklar ve Accropode blokların stabilitesinin daha büyük olduğu sonucu elde edilmiştir. Van der Meer (1999) tek sıra diziliimli taş, küp ve tetrapod blokların stabilite analizini yapmıştır. Tek sıra diziliimli kp blokların performansının çift sıra diziliimli kp blok performansına göre daha iyi olduğu sonucunu elde etmiştir. CIRIA (2007) dalgakıranın gövde ve kafa bölgelerinde stabilite sayılarına ilişkin ifadeler geliştirmiştir. Yakın geçmişte ise Van Buchem (2009), Almeida (2013), Van der Lem (2016) tarafından stabiliteye ilişkin çalışmalar yapılmış olup, tüm araştırmalarda deney koşullarının, fiziksel model özelliklerinin ve tanımlandığı yapı türünün farklı özelliklere sahip olması göz önünde bulundurularak değerlendirilmesi gerektiğı önerilmektedir. Stabilite sayısı üzerine geliştirilen ifadeler ve araştırmaların detaylı olarak bilgi Bölüm 4' te verilmiştir.

Düşük kretli yapılarda, kretin düşük olması nedeniyle dalga enerjisinin bir kısmı yapının üzerinden geçerek iletim yapmaktadır. Bu durum iki etkiye neden olmaktadır. Yapının ön şevinde bulunan koruma elemanları aşma olmayan yapıların ön şevindeki koruma elemanlarına göre daha küçük boyutlara sahip olmaktadır. Bunun sebebi ön şevde daha az geri çekilme hareketi ile daha az enerjinin yüzeyde kalmasıdır. Bir diğer etki ise, yapı kretinin ve arka şevinin dalga etkisine karşı stabil kalmaya çalışmasıdır. Taş yapılarda genelde kret, ön şev ve arka şev aynı boyutlara sahip elemanlardan oluşmaktadır. Ancak düşük kretli yapılarda bu durum aynı olmamakla beraber verilmiş bir tasarım kriteri de yoktur. Dolayısıyla fiziksel model çalışmaları yapılması gerekmektedir (Yüksel, 2011).

Düşük kretli ve resif dalgakıranlarda iletim ve stabilite üzerine çalışmalardan Van der Meer (1990)'a ait çalışma önemli bir yere sahiptir. Çalışmada, bu yapıların sınıflandırılması ve koruma tabakasında kullanılan bloklarında nominal çapın stabilitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Daemen (1991), düşük ve batık dalgakıranlarda iletim süreçleri üzerine çalışmış olup yeni ifadeler ortaya koymuştur. İletimde kretin genişliğinin ve surf parametresinin önemli parametreler olduğunu ve iletim katsayısının bu parametrelere bağlı bir fonksiyondan oluşması gerektiğini ileri sürmüştür. Bunu takiben Van der Meer ve Deamen 1994 yılında geleneksel ve resif dalgakıranlar üzerine çalışmalar gerçekleştirmiş ve rölatif dalga yüksekliğinin iletim katsayısı üzerine etkili olduğunu ileri sürerek, iletim katsayısının maksimum ve minimum olmak üzere belli aralıklarda hesaplanmasına yönelik ifadeler vermişlerdir. D'Angremond vd. (1996) tarafından düşük kretli yapıların geçirimli ve geçirimsiz yapılar olmalarına göre dalga iletimi irdelenmiştir. Farklı rölatif dalga yüksekliği ve rölatif kret genişliklerine göre iletim katsayısının değişimi incelenmiştir. Literatürde yapılmış birçok çalışmaya fikir verecek ve referans oluşturabilecek sonuçlar ileri sürülerek, iletim katsayısında geçirimli ve geçirimsiz yapılar için iki ayrı ifade elde edilmiştir. Bu tarihten itibaren Seabrook ve Hall (1998), Calabrese ve Buccino (2002), Van der Meer (2005), Tomasichhio ve D'Alessandro (2013) gibi araştırmalar yapılmış olup, son olarak Van Gent vd. (2023) homojen geçirimli ve geçirimsiz batık dalgakıranlar üzerine yaptığı çalışma ile iletim katsayısı üzerine ifadeler genişletilmiştir. Bölüm 3.3' te tüm araştırmalara dair detaylı bilgiler bulunmaktadır.

Düşük kretli dalgakıranlarda, kret üzerinden dalganın aşması ile dalga enerjisinin bir kısmı yapının arka şevine aktarıldığı için, yüzeye etkiyen dalganın yapıdan yansımaları geleneksel taş dolgu dalgakıranlarda olduğu kadar görülmemektedir. Dolayısıyla bu konuda yeterli çalışma yapılmamıştır. Ancak yapının stabilitesini ve dalga formasyonunu etkileyen önemli bir dalga etkisidir. Bu kapsamda yapılan ilk çalışma Miche (1951) Stokes dalga teorisi temelinde dalga yansımalarını dalga dikliği ile ilişkilendirmiştir. Bunu takiben Battjes (1974) Miche (1951) çalışmasından esinlenerek dalga yansımaları katsayısı ifadesini geliştirmiş ve surf parametresine bağlı bir ifade ortaya koymuştur. Losada ve Gimenez-Curto (1979), Seeling ve Ahrens (1981), Van der Meer (1992) vb. çalışmalar gerçekleştirmiştir. Son yıllarda Zanuttigh ve Van der Meer (2006), Muttray vd. (2006), Zanuttigh ve Van der Meer (2008) ve Carraosco vd. (2021) tarafından taş dolgu dalgakıranlarda yansımaları üzerine çalışmalar gerçekleştirmiş olup, ayrıntılı bilgiler için Bölüm 3.4'e başvurulabilir.

Düşük kretli yapılarda dalganın yapının kretinden aşması ve geleneksel taş dolgu dalgakıranlardan farklı olarak, yapının arka şevinde ve kretinde dalga etkilerine sebep olması nedeniyle bu yapılarda aşma dikkate değer bir konudur. Bir fırtına süresi içinde yapıyı aşan su miktarı minimum ve maksimum koşullarda hesaplanmalı ve ortalama bir aşma enerjisi (q) sabit dalga, su seviyesi koşulları için hesaplanabilmektedir (EurOtop, 2018) Dünya çapında dalga aşması üzerine birçok çalışma olup, pürüzsüz ve eğimli yüzeyler üzerine Owen (1980) tarafından ilk araştırmalar yapılmış ve aşma debisi üzerine ifade geliştirilmiştir. Bu çalışmayı takiben Van der Meer ve Janssen (1994), Pearson vd. (2004), Bruce vd. (2006) tarafından tek sıra küp blok dizilimli yapılar üzerine çalışması, Andersen ve Burcharth (2009) tarafından rastgele yerleştirilmiş küp bloklar üzerine, Van der Meer ve Bruce (2014) tarafından Owen, 1980 çalışması temel alınarak, Molines ve Medina (2015) tarafından pürüzlülük faktörlerinin çeşitlendirilmesiyle aşma debisi tahminleri geliştirilmiştir. Son yıllarda kret yüksekliği, yapının topuğundaki belirgin dalga yüksekliği, koruma tabakasında kullanılan elemanların pürüzlülük faktörü ve dalga yaklaşım açısı parametrelerinin etkin olduğu Van der Meer ve Bruce (2014) tarafından verilen ifade esas alınarak EurOtop (2018), tasarım ve güvenli değerlendirme yaklaşım ifadesi ile dalga aşmasının hesaplanmasını önermektedir. İlgili ifadeler, bu çalışmada Bölüm 3.2' de verilmiştir.

Düşük kretli dalgakıranlarda yapı stabilitesini ve davranışını etkileyen bir diğer parametre dalga tırmanmasıdır. Kretin düşük olması nedeniyle şev üzerinde tırmanan su miktarının krete kolayca ulaşmakta ve bu durum önce kreti ardından ön şev ve arka şevin davranışını etkilemektedir. Literatürde dalga tırmanması düzenli ve düzensiz dalgaların tırmanması olarak iki ayrı süreçte incelenmektedir. Düzenli dalgalarda ilk çalışmalar Hunt (1959) tarafından bir kıyı duvarına ve dalgakırana gelen dalganın enerjisinin dağılımı üzerine yapılan fiziksel deneylerle incelenmiştir. Bunu takiben birçok çalışma yapılmış olup, CERC (1984) tarafından yüzey pürüzlülüğü esas alınarak dalga tırmanma yüksekliğine dair ifade verilmiştir. Düzensiz dalgalarda ise Oorschot ve D'Angremond (1968) ilk bilgileri sunmuşlardır. Bunun ardından Ahrens (1977), Van der Meer ve Ligteringen (1997) ve CERC (2003)'te dalga yansımalarına dair ifadeler verilmiştir. Son yıllarda ise EurOtop (2018) tarafından dalga tırmanması, yapıya yaklaşan dalgaların %2'sinin aşıldığı tırmanma yüksekliği olarak tanımlanmış olup, dalga yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü, surf parametresi gibi parametrelere bağlı olarak bir ifade geliştirilmiştir.

1.4 Hipotez

Kıyı alanlarındaki en önemli yapı tipi geleneksel taş dolgu dalgakıranlardır. Düşük kretli dalgakıranlar geleneksel taş dolgu dalgakıranlardan farklı olarak, kretin düşük olması sebebiyle dalga aşmasına izin vermekte ve böylece dalga enerjisinin dağılmasını sağlamaktadır. Dalga iletimiyle pozitif ekolojik etkileri söz konusudur. İnşaat ve bakım açısından maliyetinin daha düşük ve negatif görsel etkisinin minimum olması düşük kretli dalgakıranların tercih sebeplerindendir. Ayrıca küresel iklim değişikliği ile artan deniz seviyeleri geleneksel dalgakıranların düşük kretli tipe dönüşmesine sebep olacaktır. Bu yapıların koruma tabakasında küp beton elemanlar da kullanılmaktadır. Bunlar üretimi, taşınması, depolanması nispeten kolay olup ağırlıkları ve birbirleriyle temasları ile stabiliteleri yüksek, kırılma ve ağırlık kayıp riski düşük, patent ücreti olmaması nedeniyle bu çalışmada seçilmiştir. Böylece ekonomik, çevre dostu ve stabil dalgakıran tasarımı için yol gösterici bir deneysel çalışma olacaktır.

1.5 Çalışmanın Ana Hatları

Bu çalışma, dalgakıranlar üzerine araştırmaların akabinde, düşük kretli dalgakıranlar konusunda çalışma yapılmasına neden olan motivasyon, çalışmanın amacı, konu kapsamındaki literatür özeti, çalışmanın hipotez ve içeriğini oluşturan 1. Bölüm ile başlamaktadır.

Düşük kretli dalgakıranların kıyı ve liman mühendisliği alanındaki önemi, özellikleri, avantajları ve dezavantajları ile birlikte bu yapıların sınıflandırılmasına ilişkin bilgilerin yer aldığı, bu yapılarda kullanılan beton elemanların çeşit ve özelliklerine dair bilgilerin, literatürdeki araştırmaların kapsamını içeren çalışmalara 2. Bölüm’ de yer verilmiştir.

Düşük kretli yapılardaki hidrolik performans 3. Bölüm’ de anlatılmıştır. Bu bölüm dalga tırmanması, aşması, iletimi ve yansımaya dair literatürdeki çalışmalardan oluşmaktadır.

Bu çalışmanın 4. Bölümü ile düşük kretli dalgakıranlardaki stabilite performansı anlatılmış olup, literatürde bu konuya dair araştırmaların verilmesinin yanında, yapıda hasar tanımı, modları ve ölçümüne yer verilmiştir.

Düşük kretli dalgakıranlarda tek sıra küp bloklar ile düzenli yerleşim esas alınarak Yıldız Teknik Üniversitesi Kıyı ve Liman Mühendisliği Laboratuvarında fiziksel modeller oluşturulmuştur. Bu aşamada dikkate alınan ölçek etkileri, çevresel ve yapısal parametreler, deneylerin gerçekleştirildiği deney sistemi ile ölçüm ve şartlar 5. Bölüm’ de detaylı olarak açıklanmıştır. Üç ayrı kret genişliği ve iki yarı sıklık için 6 adet model deneyi yapılmış ve analizler elde edilmiştir.

Bu analizlerde stabilite, iletim ve yansıma sonuçları değerlendirilmiş ve ilgili sonuçlar 6. Bölüm’de verilmiştir. Son olarak tüm deney ve analiz süreçlerini kapsayan sonuç bölümü (7. Bölüm) ile bu çalışma sonlandırılmıştır.

DÜŞÜK KRETİ Dalgakıranlar

2.1 Giriş

Dalgakıranlar dalga, akıntı, gelgit ve fırtına kabarması gibi etkilere karşı kıyı alanlarında sağlamak ya da limanlarda gemilerin emniyetli bir şekilde bağlanmaları ve elleçlenmeleri için durgun su alanları yaratmak ve emniyetli bir seyir oluşturmak için kıyıya paralel ya da dik şekilde, tekli ya da çoklu olarak inşa edilen kıyı yapılarıdır. Bu amaçlara uygun olarak tasarlanan dalgakıranlar fonksiyonlarını yerine getirirken aynı zamanda uygun maliyetli olmalıdırlar. Şekil 2.1’de dünyada yapılmış olan dalgakıran örnekleri gösterilmektedir.

Yapıda kullanılan taşın hacmi ve buna bağlı olarak yapının maliyeti, dalga yüksekliğinin küpü ile orantılıdır. Dolayısıyla kret seviyesinin minimum olmasını sağlamak koruma tabakasının yapısal mukavemeti kadar önemlidir. Bu nedenle düşük kretli yapılarda dalga iletimini tahmin etmek gerekli ve dikkate değer bir husustur (D'Angremond, 1996).



Şekil 2.1 Singapur doğu marinası ve Hanstholm limanına ait dalgakıranlar

2.2 Dalgakıranların Tanımı Ve Sınıflandırılması

Dalgakıranlar, gemilerin emniyetli olarak barınmaları, limandaki faaliyetlerini emniyetli bir şekilde sürdürmeleri amacıyla ve limanların kumlanmaya karşı korunmaları, kıyıların erozyona engel olmasını sağlamak amacıyla inşa edilen yapılardır (Yüksel, 2011).

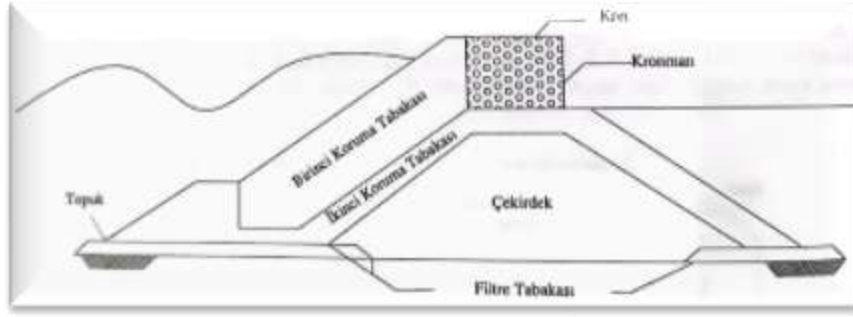
Dalgakıranlar amaçlarına, şekillerine ve konumlarına göre farklı şekillerde sınıflandırılmaktadırlar. Dalgakıranlar şekillerine göre temel olarak üçe ayrılır. Bunlar taş dolgu tipi, düşey yüzölçümü tip ve özel tip dalgakıranlardır. Burada taş dolgu dalgakıranlardan bahsedilecektir.

2.2.1 Taş Dolgu Dalgakıranlar

Taş dolgu dalgakıranlar yapıya gelen dalgaları kırarak ve yansıtarak yapının arkasındaki su alanını dalga ve diğer etkilere karşı koruyan, kullanılan taş malzemelerinin tanımlanmış olan bilimsel kriterlere göre belirlenip yığılmasıyla inşa edilen yapılardır (Yüksel, 2011).

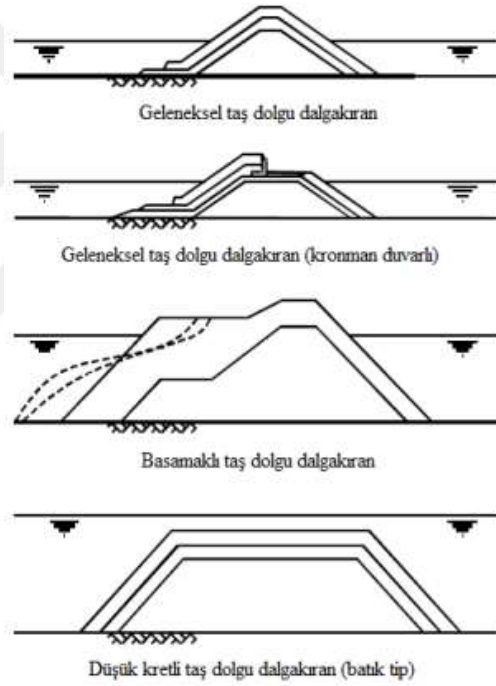
Genel olarak taş dolgu dalgakıranlar tabakalı olarak inşa edilmektedirler. Burada temel kural, dalgakıran yapısının her katmanını bitişik olan katmanlardaki ince yapıda olan malzemenin yıkanma etkisi yaparak boşluklardan geçmeyecek şekilde tasarlanması gerekmektedir. Bu kural, dalgakıran yapısının doğal deniz tabanı zemini için de geçerli bir durumdur. Dalgakıran yapısı eğer ince taneli bir zemin üzerine inşa edilecekse mutlak suretle bir filtre tabakası inşa edilmelidir. Ancak kaba taneli örneğin bir kaya malzemesi üzerine inşa söz konusu ise filtre tabakası inşasına ihtiyaç duyulmamaktadır.

Bu bağlamda, dalgakıran tasarımında bu kriterlere dikkat edilerek ekonomik anlamda değerlendirilmesi yapılmalıdır. Geleneksel taş dolgu dalgakıranlarına ait örnek bir kesit Şekil 2.2’de verilmiştir.



Şekil 2.2 Geleneksel taş dolgu dalgakırana ait tipik kesit örneği (Yüksel, 2011)

Taş dolgu dalgakıranlar üç sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar, geleneksel taş dolgu dalgakıranlar, düşük kretli taş dolgu dalgakıranlar, basamaklı taş dolgu dalgakıranlardır. Şekil 2.3'te taş dolgu dalgakıranlara ait kesitler gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Taş dolgu dalgakıranlara ait kesitler (CIRIA, 2012)

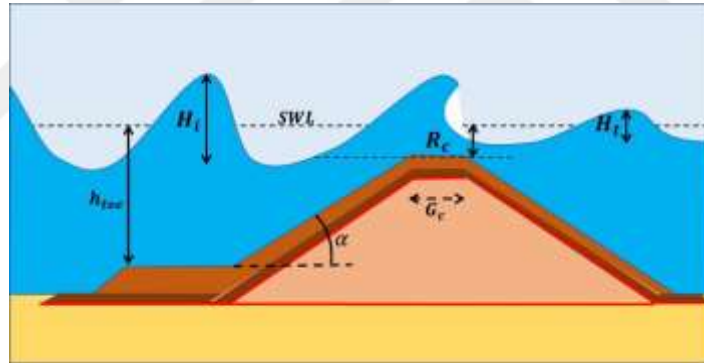
2.2.1.1 Geleneksel taş dolgu dalgakıranlar

Geleneksel taş dolgu dalgakıranlar, dalga etkisine karşı stabilitesini koruyabilmesi amacıyla tek şevli olarak imal edilen yapılardır. Geleneksel tip dalgakıranlar bazı kriterlere göre belirlenen taş boyutları ile filtre ve çekirdek tabakalarına bu taşların yerleştirilmesi ile oluşturulurlar. Bu sebeple, yapı ağırdır ve gevşek tipte zeminlerde kullanılması uygun değildir.

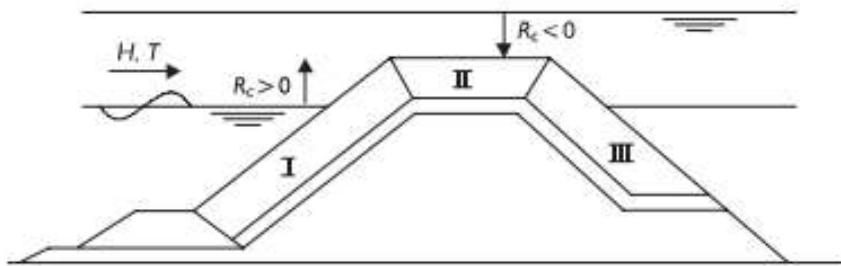
2.2.1.2 Düşük kretli dalgakıranlar

Düşük kretli dalgakıranlar yapıya gelen dalga yüklerinin yapının üstünden aşmasına izin veren ve kret seviyesinin sakin su seviyesi civarında olan bazen de sakin su seviyesi altında olan yapılardır. Düşük kretli dalgakıranların kret seviyesinin düşük olması sebebiyle dalga enerjisinin bir kısmı dalgakıran yapısının üstünden geçerek, dalga aşması ve iletimi meydana getirmektedir (Şekil 2.4 ve Şekil 2.5). Bu durum koruma tabakasına etkiyen dalga kuvvetlerinin daha küçük olması ve bazı durumlarda aşma olmayan yapılara göre daha stabil davranış göstermesini sağlamaktadır.

Taş yapılarda genellikle ön şev, arka şev ve kret aynı boyutlara sahip elemanlardan oluşurlar. Yapay beton blok birimleri ile yapılan düşük kretli dalgakıranlar için verilmiş bir tasarım kriteri yoktur, bu sebeple genel olarak fiziksel model çalışmaları yapılması önerilmektedir (Yüksel, 2011).



Şekil 2.4 Düşük kretli dalgakıranın kesit örneği, Coastalwiki (2023)



Şekil 2.5 Düşük kretli dalgakıranın kesit örneği (Rock Manual, 2007)

2.2.1.3 Basamaklı taş dolgu dalgakıranlar

Basamaklı taş dolgu dalgakıranlar, genel olarak saikin su seviyesinin üzerinde bir basamak yapısı bulunan ve açık deniz tarafındaki yüzeyinin eğimli olarak inşa edildiği taş dolgu dalgakıran yapısıdır. Dalga yüksekliklerinin fazla olduğu bölgelerde basamaklı taş dolgu dalgakıran kullanıldığı taktirde kronman duvarına ihtiyaç duyulmayacak şekilde dalgayı sönümleyebilmektedir.

Geleneksel taş dolgu dalgakıran normal koşullar altında statik stabil bir durumdadır. Buna karşılık basamaklı dalgakıranlar ise statik olarak stabiliteye ulaşana dek şekillenebilen ya da dinamik stabiliteye sahip olan yapılar olmaktadır. Ancak yeniden şekil almasına izin verilmeyen statik stabil basamaklı taş dolgu dalgakıranlar da inşa edilmektedir (Yüksel, 2011).

PIANC (2003)'e göre, basamaklı dalgakıranlar, şekillenmeyen statik stabil, şekillenebilen statik stabil ve şekillenebilen dinamik stabil basamaklı dalgakıranlar olarak üçe ayrılmaktadır.

2.2.2 Düşey Yüzlü Dalgakıranlar

Düşey yüzlü dalgakıranlar, dolu gövdeli olarak inşa edilen yekpare görünüme sahip dalgakıranlar olarak bilinmektedir. Bu tipteki dalgakıran yapılarının en önemli avantajı, inşaat aşamasındaki malzeme temininin kolay olması ve yapımının hızlı olmasıdır (Yüksel, 2011). Dezavantajı ise tasarım aşamasında dikkate alınan tasarım dalga yüksekliğinin doğru seçilmemesi durumunda, tasarımda öngörülmeeyen bir dalga yükünün yapının kretinden aşmasıyla büyük ve telafisi yapılamayan hasarlar meydana getirebilmesidir. Bu sebeple optimum bir tasarım yapılmalıdır.

Düşey yüzlü dalgakıranlar beş sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar, monolitik, bloklu tip, sandık tipi, keson tip ve kompozit (yatay veya düşey) tipte dalgakıranlardır.

2.2.3 Özel Tip Dalgakıranlar

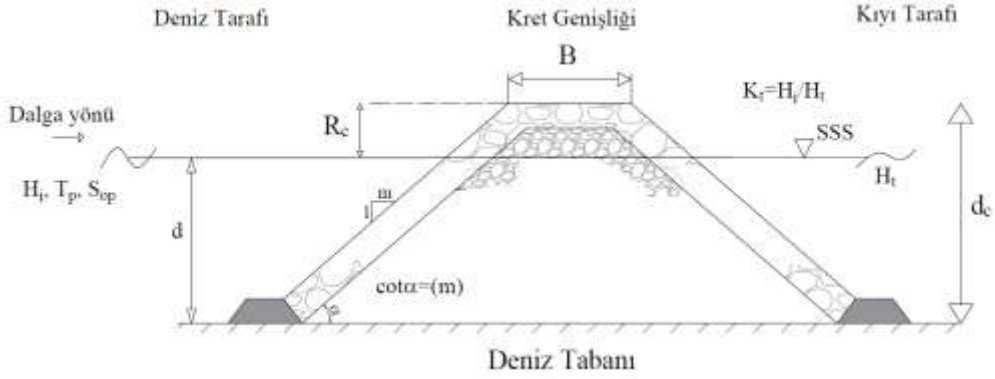
Özel tip dalgakıranlar ağırlık tipi olmayan dalgakıranlardır. İnşa edildikleri bölgenin zemin koşullarından etkilenmezler. Az yer kaplarlar. Bu tip dalgakıranlar

altı çeşittir. Bunlar perde duvarlı, çelik kazıklı, yatay döşemeli, yüzen tip, pneumatic ve hidrolik tipte dalgakıranlardır.

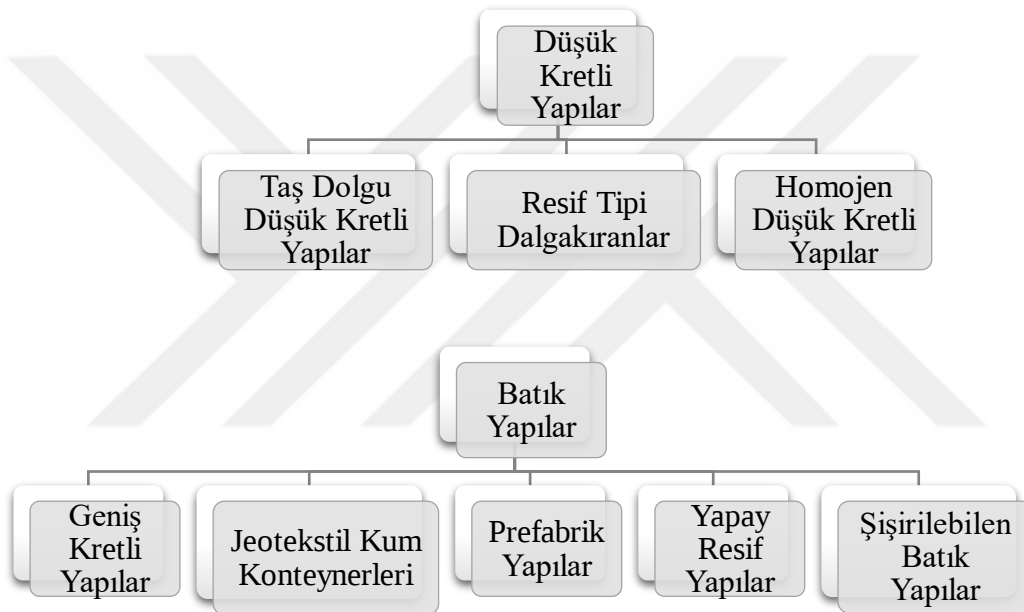
2.3 Düşük Kretli Dalgakıranların Sınıflandırılması

Düşük kretli dalgakıranlar, kret seviyeleri yaklaşık olarak sakin su seviyesi civarında olan ya da dalga tırmanma seviyesinin altında olan dalga aşmasının meydana geldiği yapılar olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.6’ da tipik bir düşük kretli dalgakıran kesiti görülmektedir. Tırmanma sırasında tırmanma hızları değişmezken dalga aşmasından dolayı dalga geri çekilme hızları azalmaktadır. Bu nedenle de stabiliteyi bozucu kuvvetleri azaltmaktadırlar. Kret hava payının $0 < R_c < 4D_{n50}$ aralığında olması durumunda düşük kretli, kreti sakin su seviyesi altında olan $R_c < 0$ ve tüm dalgaların yapıyı aştığı dalgakıranlar ise batık dalgakıranlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadırlar. Bu yapıların kret genişlikleri $(3-10)D_{n50}$ arasında olabilmektedir. Yerel dalga boyunun yarısına eşdeğer genişliğe sahip dalgakıranlar geniş kretli dalgakıranlar olarak bilinmektedirler. Genellikle ocak taşından imal edilirler (Van Rijn, 2016). Bu yapılar Şekil 2.7’de görüldüğü gibi yine yapısal özelliklerine ve amaçlarına göre kendi içlerinde de sınıflandırılmaktadır (De Keyser ve Jacobs, 2020).

Bu yapıların davranışında dikkate alınması gereken iki durum söz konusu olmaktadır. Bunlardan biri, dalga enerjisinin bir kısmını ön şevde kaybetmesi nedeniyle, ön şevde ait koruma tabakası aşma olmayan yapıların koruma tabakası elemanlarına göre daha küçük olabilmektedir. Diğer bir etki ise, bu yapılarda gerçekleşen dalga aşmasına karşı yapının dayanıklı olabilmesi için kret, ön şev ve arka şevin aynı koruma taşı boyut ve malzemeleri ile korunması gerektiğidir (Van der Meer, 1990).



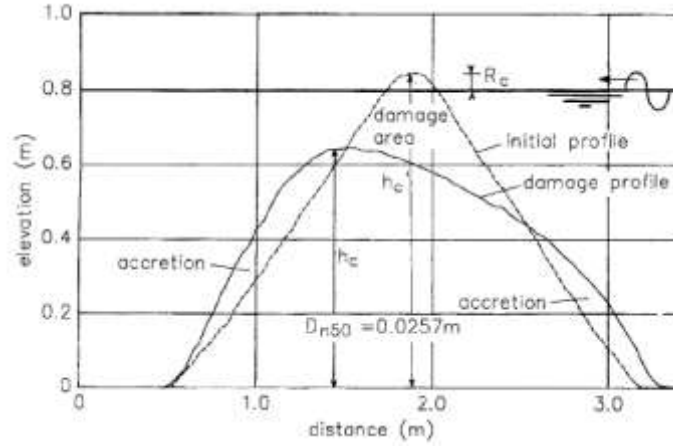
Şekil 2.6 Düşük kretli dalgakıran kesiti



Şekil 2.7 Düşük kretli ve batık yapıların sınıflandırılması

2.3.1 Dinamik Stabil (Resif) Düşük Kretli Dalgakıranlar

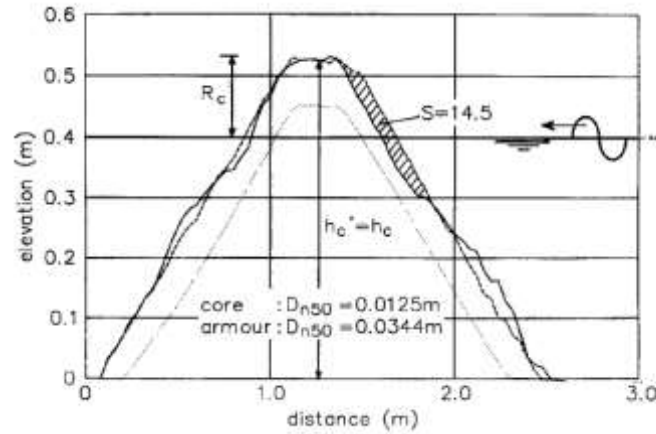
Dinamik stabil dalgakıranlar, Şekil 2.8’de gösterildiği üzere filtre tabakası veya çekirdek tabakası olmayan, dalga etkisi ile yeniden şekillendirilmesine izin verilen düşük kretli homojen bir taş dolgu yapıdır. Kret yüksekliğinin stabilitesi, buna karşılık gelen iletim ile ana tasarım parametrelerinden oluşmaktadır.



Şekil 2.8 Dinamik stabil düşük kretli dalgakıranlar (Van der Meer, 1990)

2.3.2 Statik Stabil Düşük Kretli Dalgakıranlar

Statik stabil düşük kretli dalgakıranlar aşma olmayan yapılara benzerdir, ancak dalga enerjisinin (büyük) bir kısmının dalgakıranın üzerinden geçebilmesi nedeniyle daha stabildir. Kret hava payının sıfırdan büyük olduğu ($R_c > 0$) bu yapıların kesiti Şekil 2.9’da gösterilmiştir.



Şekil 2.9 Dinamik stabil düşük kretli dalgakıranlar (Van der Meer, 1990)

2.3.3 Statik Stabil Batık Dalgakıranlar

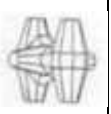
Şekil 2.10’ da verilen şematik gösterimden anlaşılacağı üzere statik stabil batık dalgakıranlar kretinin su seviyesinin altında olduğu yapılar olup ($R_c < 0$) yapıya

2.4 Dalgakıranlarda Kullanılan Beton Elemanlar ve Sınıflandırılmaları

Dalgakıranlarda en çok tercih edilen tip taş dolgu yapılarıdır. Taş dolgu dalgakıranların inşa kolaylığı ve maliyetinin düşük olması bu yapıların seçiminde etkin olmaktadır. Taş dolgu dalgakıranlar genellikle çekirdek yapısı üzerine filtre ve koruma tabakası olmak üzere tabakalı inşa edilmektedirler. Dalgakıranın dış tabakaları inşa sırasında ve sonrasında beklenen tüm etkilere karşı dayanıklı olmalıdır. Bu bağlamda inşaat malzemesinin seçimi önemli olup, genellikle elde edilmesi kolay ve yapıya uygulanabilir malzemeler tercih edilmektedir. Dalgakıran iç katmanları genelde taş ocağı artığı ile desteklenmektedir. Ancak bazı durumlarda ocaktaşı malzemesinin kullanım alanına lojistiğinin zor olması, maliyetinin çok yüksek olması veya yapının inşa edildiği deniz tabanının, tasarım kriterlerinin malzemeye uygun olmaması gibi durumlarda farklı malzemeler kullanılmaktadır.

Dalgakıran koruma tabakası tasarımında doğal taş elemanlara alternatif olarak farklı geometrilerde beton yapı elemanları kullanılmaktadır. Beton yapı elemanların daha stabil davranışlar göstermesi, çevre dostu olması, maliyetinin düşük olması tercih sebepleri arasındadır. Koruma tabakasında bu beton elemanlar düzenli/düzensiz, tek sıra ya da çift sıra olarak yerleştirilmektedirler. Genel olarak tercih edilen yerleşimler, çift sıra düzensiz yerleşim ile tek sıra düzenli yerleşim tipleridir. Bu bağlamda tek sıra, çift sıra, düzenli ve düzensiz yerleşimlerine göre en iyi performansı sağlayan koruyucu beton blok türleri Tablo 2.1’de gösterilmekte olup, en yaygın kullanılanları Küp, Antifer, Tetrapod, Dolos, Accropode, Coreloc, Xbloc, Stabit çeşitleridir. Bu elemanlar stabilitelerini “ağırlıklarıyla”, “kilitlenmeleriyle”, “ağırlık ile kilitlenmeleriyle” ve “sürtünmeleriyle” sağlamaktadırlar.

Tablo 2.1 Koruyucu beton blok eleman türleri (M. Muttray, J.Reedjik, 2008)

Yerleşim: Rastgele		Yerleşim: Rastgele		Yerleşim: Rastgele		Yerleşim: Düzenli	
Stabilite: Ağırlık		Stabilite: Ağırlık ve Kilitlenme		Stabilite: Kilitlenme		Stabilite: Sürtünme	
Çift Tabakalı Koruma				Tek Tabakalı Koruma			
Küp		Tetrapod Fransa 1950		Accropode Fransa 1980		Cob İngiltere 1969	
Modifiye Küp ABD 1959		Akmon Hollanda 1962		Core-loc ABD 1996		Diahitis İrlanda, 1998	
Antifer Küp Fransa, 1973		Tribar ABD, 1958		A-Jack ABD, 1998		Seabea Avustralya, 1078	
Haro Belçika 1984		Stabit İngiltere 1961		Xblock Hollanda, 2003		Shed İngiltere, 1982	
Tripod Hollanda 1962		Dolos Güney Afrika, 1963					

Küp bloklar, koruma tabakalarında kullanılan en eski elemanlardır. Beton küp veya taş küpler olarak üretilirler. Beton küpler daha verimli kullanılabiliyor iken, taş küpler daha kolay elde edilmektedirler. Yaygın ve tercih edilen çeşidi beton küp elemanlar olup yoğunluğu beton yoğunluğuna göre değişim göstermektedir. Küp bloklara ait örnek bir uygulama Şekil 2.11.a’ da gösterilmektedir.

Antifer bloklar, küp blokların stabilitesini arttırmak ve malzemenin tasarruf sağlamak amacıyla küp birimlerin formları değiştirilerek elde edilmiştir. BH3 blok, modifiye edilmiş küp blok ve stolok blok isimleri ile üç çeşit antifer blok tasarlanmıştır. Antifer blok eleman uygulamasına bir örnek Şekil 2.11.b’de gösterilmektedir.



a)



b)

Şekil 2.11 Küp ve Antifer bloklar. a) Küp beton bloklar, b) Antifer beton bloklar (Van Gent ve Van der Werf, 2017; europeforvisitors.com, 2023)

Tek sıra küplerin stabilitesi büyük ölçüde yerleştirme düzenine ve sıklığına bağlıdır. Tek sıra küpler için iki yerleştirme yöntemi söz konusudur. Küplerin bir vinçten bırakılmasıyla düzensiz yerleştirilmesidir (sıklık 0.65 ila 0.75 aralığında) bu yöntemde küpler, kenarları dalgakıran eksenine 45 derecelik açı yapacak şekilde bırakılmalıdır (Verhagen vd., 2002). Yatay sıralar halinde (küçük) düzenli olarak yerleştirilirler (sıklık 0.7 ila 0.8). Düzenli bir yerleştirme modeli kullanılarak nispeten yüksek stabilite değerleri elde edilebilmektedir. En yüksek stabilite sıklığının yaklaşık %70 olması durumunda elde edilmektedir. 1/1.5 şev eğiminde yaklaşık %70'lik sıklığa sahip düzenli olarak yerleştirilmiş küplerin $N_s = 4.8$ 'e kadar stabil olduğu bulunmuştur (hasar yok; Van Buchem, 2009). Sıklık çok yüksek olduğunda (%80) stabilite azalır çünkü küpler blokların altındaki büyük aşırı basınç kuvvetleri tarafından daha kolay bir şekilde dışarı itilebilir. 1/1.5 eğimli şevlerde küpler $\frac{1}{2}$ eğimli şevlerden biraz daha stabildir çünkü yan düzlemlerdeki sürtünme kuvvetleri $\frac{1}{2}$ eğimden daha küçüktür. Yerleştirme sıklığı azaldıkça stabilite de azalmaktadır. Yerleştirme sıklığı göreceli olarak azaldıkça ön şevden krete geçiş bölgesinde büyük boşluklara neden olmaktadır (Van Rijn, 2016).

Yaygın olarak kullanılan Tetrapod bloklar, ilk olarak Fransa'da SOGREAH tarafından 1950 yılında geliştirilmiştir. Dört ayakta oluşan bu birim elemanın bir ayağı orta ekseninden dışarı doğru çıkıntı yapmış bir şekildedir. Dört ayağının birbirleri arasındaki açıları aynıdır. Küplere göre hidrolik açıdan daha avantajlıdır fakat dayanıklılığı daha azdır. Tetrapod elemanların kullanıldığı tasarımlarda kırılma sorunu ile karşılaşmıştır (Allsop, 1988).

Dolos, Güney Afrika’da geliştirilmiş beton blok yapısıdır. Şekli itibariyle çapaya benzer ve yapı olarak birbirlerine yüksek oranda kenetlenme özelliğine sahiptir. Bu sebeple stabilitesi en yüksek koruyucu eleman olup ekonomik olarak avantajlıdır. Birbirlerine kilitlenmiş halde mevcudiyetini koruyan bu elemanlar, herhangi bir hasar alma durumunda yapı şevinden aşağıya doğru hep birlikte hareket ederler. Bu da yapıda hasarı oldukça etkilemektedir. Şekil 2.12.a ve Şekil 2.12.b’ de tetrapod ve dolos beton blokların kullanımına yönelik görüntüler verilmiştir.



Şekil 2.12 Tetrapod ve Dolos bloklar. a) Tetrapod bloklar, b) Dolos bloklar
(Esteban vd., 2016; Trotter, 2006)

Accropode beton bloklar, donatısız olarak imal edilmiş ve ilk defa Fransa’da SOGREAH laboratuvarlarında patentli olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Yapıya tek sıra halinde yerleştirilmektedir. Maliyet açısından ekonomik olması, tek sıra yerleştirmede yüksek stabilite sağlaması, tasarım kolaylığının olması, elemanların birbirine kilitlenme özelliği ile tasarım dalgalarında hasarın hiç gerçekleşmemesi deneyler ile ispatlanmış olup bu sebeplerden ötürü yaygın kullanıma sahip olan beton blok elemanlardır. Şekil 2.13’te gösterilmiş olan bu malzemenin dezavantajı tek sıra olmasından dolayı dalga tırmanması yüksek olmaktadır. Uzun vadede çökme ve yerine yerleşimden kaynaklı ayrılmalar meydana gelmektedir. Ayrıca sahip olduğu beton hacminin %8 kadarının patent ücreti olarak ödemesi maliyeti arttıran bir ayrı durumdur.



Şekil 2.13 Accropode beton blok, Giraudel (2020)

Coreloc, 1996 yılında US Corps of Engineers (USACE) tarafından tanıtılmıştır. Accropode beton blok ile benzer şekilsel ve davranışsal özelliklere sahip olmasından dolayı Accropode blokların gelişmiş modeli olarak kabul edilmektedir. Tek sıradan oluşan bir koruma sistemi olup, teknolojik açıdan en iyi özelliklere sahip ve kendisinden önceki elemanların kritik özelliklerini karşılayan bir beton elemandır (Şekil 2.14.a). Hacimsel olarak en az beton malzemesine ihtiyaç duyan koruma elemanıdır. Ayrıca yüksek porozite ve pürüzlülüğü ile diğer beton bloklara göre iyi bir performans sağlamaktadır (CERC, 1998). Coreloc beton blokların dezavantajı, yükleme altındayken Accropode bloklara göre daha düşük bir iç direnç göstermesi nedeniyle elemanın kırılma riskini arttırmasıdır.

Xbloc beton elemanlar, donatısız olarak üretilen basit bir yapıya sahiptir. Delta Marine Consultants (DMC, 2004) tarafından üretilmiştir. Birbirine iyi kenetlenmesinden ötürü yapı şevinde tek sıra halinde düzensiz olarak yerleştirilerek kullanılırlar (Şekil 2.14.b).

Stabit, tek sıra olarak kullanıldığı takdirde tetrapod elemanlara göre daha az beton ihtiyacı olduğu görülmüş ve hidrolik olarak daha verimli performans sağlamıştır (Allsop, 1988).



a)



b)

Şekil 2.14 Coreloc ve Xbloc beton bloklar. a) Coreloc beton bloklar, b) Xblock beton bloklar (Concretelayer.com; Xblock.com)

Beton bloklarda yerleşim yöntemi ve sıkılık

Maquet (1985) anti-fer bloklar ile yaptığı çalışmada koruma tabakasındaki sıkılığın stabilite üzerine olan etkisini açıklamıştır. Yapılan çalışmada koruma tabakası birimlerinin üst kısmı stabilite açısından yetersiz kalırken, blokların alt kısmı ise bulunduğu noktadan yukarı yönde hareketlenmiştir. Bu hareketlenme yapıya etkiyen dalgaların daha fazla yansıma yapmasına sebep olmuş ve koruma tabakasındaki elemanların çoğunun hasar alması sebebiyle yapının stabilitesi azalmıştır. Maquet (1985) çalışması ile bu azalma miktarını hesaplamış ve porozite için tanımlamalarda bulunmuştur.

Porozite, yapının koruma tabakasındaki boşlukların yüzdesi olarak tanımlanabilmektedir. Belirtildiği üzere porozitenin elde edilmesi için koruma tabakasının kalınlığı ve buna bağlı olarak koruma tabakası bloklarının hacminin belirlenmesi gerekmektedir. Blok hacmi Hudson (1959)'a göre,

$$V = \frac{H^3}{K_D \times \cot \alpha \times \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1 \right)^3} \quad (2.1)$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

Burada,

ρ_r/ρ_w : Sırasıyla taş ve deniz suyu özgül kütlesi

K_D : Stabilite katsayısı

α : Yapı şev açısı

H : Dalga yüksekliğidir.

Verilen bu formül ile koruma tabakası kalınlığı aşağıdaki gibi elde edilmektedir.

$$t = n \times k_D \times V^{1/3} \quad (2.2)$$

Burada,

n : Tabakadaki taş sayısı

k_D : Tabaka kalınlığı katsayısı

$V^{1/3} = D_{n50}$: Nominal çaptır.

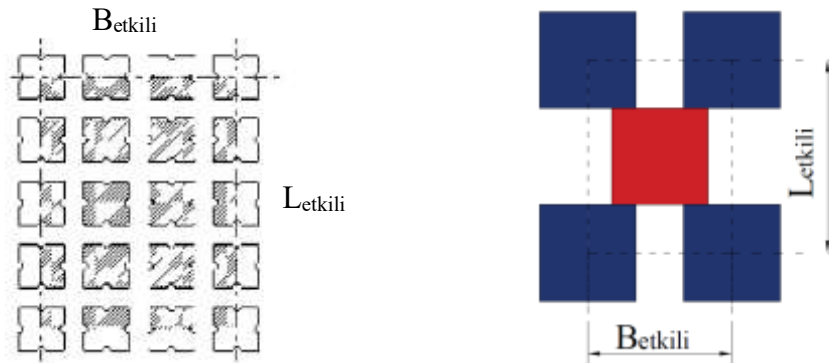
Frens vd. (2007) tarafından antiyer bloklarda sıklık üzerine araştırmalar bu çalışmanın beşinci bölümünde verilmiştir. Şekil 2.15’de Frens (2007) tarafından Ψ hesabı için belirlenen alan şematik olarak gösterilmiştir.

$$\Psi = \frac{N'}{B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}}} \quad (2.2)$$

N' : Belirli alan içindeki blok sayısı

B_{etkili} : Küp blok yerleşiminde etkili alanın genişliği

L_{etkili} : Küp blok yerleşiminde yüzeyde etkili alanın uzunluğu



Şekil 2.15 Frens (2007)'e göre Ψ hesabı için belirlenen alan

Bu durumda porozite (P, %) aşağıda verilen denklem ile hesaplanmaktadır.

$$P = \left(1 - \frac{N \times V}{B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}} \times t}\right) \times 100 = \left(1 - \frac{\Psi \times V}{t}\right) \times 100 \quad (2.3)$$

Burada, tabaka kalınlığı (t) CEM (2006) ve BS (1991)'e göre küp bloklar için 1.10'dur. Literatürde tabaka kalınlığı için aşağıdaki formül verilmiştir:

$$t = 2 \times a = 2 \times \left(\frac{V}{0.8024}\right)^{\frac{1}{3}} = 2 \times 1.076 \times V^{\frac{1}{3}} \quad (2.4)$$

Burada küp bloklar için tabaka kalınlığı katsayısı=1.076'dır. Verilen her iki tabaka kalınlığı katsayısı da çift sıra düzensiz dizilim ile yerleştirilmiş koruma tabakaları için geçerlidir. Literatürde porozite değerlerinde çeşitlilik söz konusudur. Genelde porozite %40 ile %50 arasında değişmektedir. Günbak (1999)'da % 46 ve CEM (2006) ile BS (1991)'de % 47 porozite değerleri kullanılmıştır (Frens, 2007).

Frens vd. (2009) antiğer bloklar üzerine yapılan çalışmada, Frens (2007) çalışmasına benzer olarak sıklığı tanımlamıştır. Bir alan içine yerleştirilen blok sayısının (N_{BL}) o alanda yüzeye yerleştirilebilecek maksimum blok sayısına (N_{PBL}) oranı olarak ifade etmiş ve (2.6)' da olduğu gibi verilmiştir.

$$\Psi_s = \frac{N_{BL}}{N_{PBL}} = \frac{N_{BL} \times D_{n50}^2}{B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}}} \quad (2.5)$$

N_{BL} : $B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}}$ alana yerleştirilen küp blokların sayısı

N_{PBL} : $B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}}$ alana yerleştirilebilecek maksimum küp blokların sayısı
($B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}} / D_n^2$)

D_{n50}/D_n : Küp blok nominal çapıdır.

Ψ parametresi için verilen bu denklem koruma tabakasında düzensiz çift sıra küp blok yerleşiminde kullanılmaktadır. Ancak literatürde yapılan çalışmalarda düzenli tipte yerleştirilmiş koruma tabakalarında da bu formül kullanılmaktadır. Düzenli tip yerleşimde tabaka kalınlığının farklı olması sebebiyle bu denklemin

kullanımı doğru değildir. Ancak yapılmış olan farklı çalışmalar ile karşılaştırma yapılırken belirli hata payları göz önünde tutularak kullanılabilirliği kabul edilmiştir.

Sıklık parametresi literatürde sıklık ya da doluluk oranı olarak da kullanılmaktadır. Bu kullanımlar için ifadeler şöyledir:

Doluluk oranı, d' olmak üzere,

$$d' = \frac{N' \times V}{B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}} \times t} \times 100 = 1 - P \quad (2.6)$$

Sıklık, birim alan içindeki blokların sayısı,

$$\Psi_1 = \frac{N'}{B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}}} = \frac{t \times d'/100}{V^{1/3}} = \frac{n \times k_D \times d'/100}{V^{2/3}} \quad (2.7)$$

Sıklık, birim alandaki blok sayısı ve referans olarak kabul edilen alan içindeki maksimum blok sayısı arasındaki oran

$$\Psi_2 = \frac{N' \times D_n^2}{B_{\text{etkili}} \times L_{\text{etkili}}} = \frac{t \times d'/100}{V^{1/3}} = n \times k_D \times d/100 \quad (2.8)$$

Literatürde birçok araştırmacı Ψ_2 olarak verilen denklemdeki sıklık ifadesini kullanmaktadır.

De Rouck vd. (1987), Van der Meer (1999) ve Günbak (2000) çalışmalarında kullanılmış olan sıklık değerleri Tablo 2.2' de verilmiştir.

Tablo 2.2 Literatürde farklı bloklar için kullanılmış sıklık Ψ_2 değerleri,

Frens (2007)

Koruma tabakası blok tipi	Taş	Küp	Antifer	Tetrapot	Accropode	Core-loc	Dolos
De Rouck vd. (1987)	-	-	1.21	1.04	0.76	-	0.82
Van der Meer (1999)	-	1.17	-	1.04	0.61	0.56	-
Günbak (2000)	1.26	1.32	1.21	1.04	0.66	0.58	-

Dalgakıran koruma tabakasında elemanların düzenli ve düzensiz olmak üzere iki tip yerleşimi söz konusudur.

Düzensiz yerleşim

Frens (2007) tarafından yapının inşaat kalitesinin kontrol edilmesinin zor olduğu, dalga ikliminde belirsizliklerin hakim olduğu durumlarda, düzensiz yerleşim metodunun tercih edilmesi önerilmektedir.

Günbak (2000) tarafından taş dolgu dalgakıranlarda taş, tetrapod, Accropode, antifer ve core-loc beton blok elemanları kullanılarak düzensiz yerleşimler üzerine yapılan çalışmada teorik olarak hesaplanmış olan sıklığın elde edilmesinin oldukça zor olduğu üzerine durulmuştur. Bu zorluğun nedeninin ilk sıraya ait koruma birim elemanlarının yerleştirilme şeklidir. Koruma tabakasının ilk katmanına ait bloklar teoride öngörülen değerlere göre birbirlerine daha yakın yerleştirilmesi ya da yerleşim esnasında bloklarda yaşanabilecek kayma hareketleri boşluk oranını değiştirecek ve ikinci sıra koruma tabakasının bloklarının düzenini de etkileyecektir.

Günbak (1999) tarafından taş dolgu dalgakıranlarda antifer bloklar üzerine yapılan çalışmada saha ve hidrolik deneyler ile Maquet (1985) çalışmasına

benzer olarak yapının koruma tabakasının ilk katmanında birkaç bloğun alt alta değil de yan yana olacak şekilde olabildiğince düzensiz ve hizaya dikkat edilmeden yapılmasını önermiştir. Böylece ikinci sıra elemanları düzensiz yüzeyi ve öngörülen teorik boşluk oranına yakın sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Dolayısıyla düzensiz yerleşimde porozitenin istenilen oranda oluşması için ilk sıra bloklarının belirli aralıklarla kontrollü bir düzende yerleştirilmesi gerekmektedir. Bloklar yerleştirilirken Differential Global Positioning Systems (DGPS) ile blokların konumlandırılacağı yerlerin tespiti yapılır ve boşlukların ve pürüzlü tabakanın bozulmamasına dikkat edilerek GPS alıcılar krenlere konularak koruma tabakası birim elemanları yerleştirilir (Frens, (2007)).

Düzenli yerleşim

Günbak (1999) tarafından yapılan çalışmada düzenli tipte yapılan yerleşimin ilk sırada bloklar birbirine paralel olacak şekilde dizildiğinde, ikinci sırada dizilen bloklar, ilk sıradaki boşlukların arasına girebilmektedir. Bu da tabaka kalınlığı ve beraberinde poroziteyi azaltmaktadır. Bu sebeple, düzensiz yerleştirme için verilmiş olan formülleri kullanmak düzenli yerleşim için uygun olmayacaktır. Ancak, yapılan çalışmalarda karşılaştırma yapmak amaçlı kullanılabilir. Bu kapsamda farklı düzenli yerleşim yöntemleri bulunmaktadır. Bunlar, eğimli duvar yerleşim yöntemi, alternatif yerleşim yöntemi, kare-grid yerleşim yöntemi ve çift ikinci tabaka yerleşim yöntemidir.

Eğimli duvar yerleşim yöntemi, bu yerleştirme metodu Yağcı (2003) tarafından antifer bloklar için geliştirilmiştir. İlk sıra antifer blokların birbirine paralel olarak yerleşimi ile ikinci sıra ise ilk sıranın üzerine aynı şekilde yapılan dizilim ile oluşturulmaktadır. Bu yöntem ile elde edilen sonuçlarda dalganın tırmanma miktarı, aşması ve dalga yansıması yüksek oranda gerçekleşmiştir. Bunun sebebi, birim alandaki yüksek blok sayısı ile beraber sürtünme yüzeyinin az olmasıyla düşük bir porozite yüzdesinin olmasıdır.

Alternatif yerleşim yöntemi, bu yerleştirme yöntemi Yağcı ve Kapdaşlı (2002) tarafından yine antifer koruma elemanları için geliştirilmiştir. Koruma tabakasının ilk katmanında antiferler birbirine $a/2$ mesafede olacak şekilde (antiferin bir kenarı “a” uzunluğunda olmak üzere) ve ikinci sıradaki bloklar ise birbirine temas edecek şekilde yerleştirilmiştir. Bu çalışmadaki sonuçlar, Yağcı

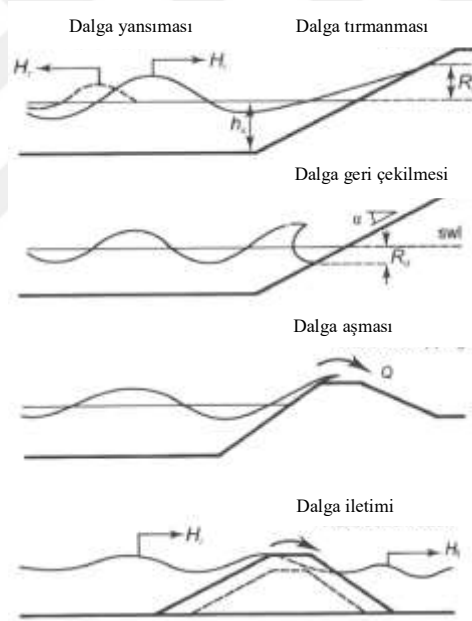
vd. (2003) tarafından yapılan çalışmadaki düzensiz yerleşim yöntemi ile karşılaştırılmış olup, benzer sonuçlar elde edilmiştir.

Kare-grid yerleşim yöntemi, antifer koruma elemanlarının orta noktalarının kare ızgara oluşturması ile blokların oyuklarının ise yapının şevine dik yerleşimi ile yapılmıştır. İlk sıra bu şekilde yerleştirilmiş olup, ikinci sırada ise blokların arasına gelecek biçimde aynı yöntem ile yerleştirilmiştir. Bu yöntemde, ikinci sıraya ait bloklar kayma hareketi yapmış olup, bu sebeple porozite de azalmıştır.

Çift ikinci sıra yerleşim yöntemi ise antifer blokların koruma tabakasında ilk sıraya yerleştirildikten sonra ikinci ve üçüncü koruma sırası yerleşimleri yapılmaktadır. Bu sebeple bu yöntemin bir diğeri adı üç sıralı yerleşim yöntemidir. Bu yerleşim yönteminde birim alandaki blok sayısı az olup, blokların şev üzerindeki hareketi kolayca gerçekleştiğinden hem tahmin edilenden daha fazla koruma bloğuna ihtiyaç duyulur hem de porozite düşük hale gelir. Diğeri yerleşim metodlarına göre düşük stabiliteye sahip bir yapı oluşmaktadır. Pakistan'da bulunan Ormara dalgakıranı, Portekiz'de Sines dalgakıranı onarımı ve Türkiye'de çeşitli dalgakıranlarda çift ikinci tabaka yerleşim yöntemi kullanılmış olup; bazı uygulamalar %35 gibi düşük bir porozite ile sonulandığđ grlmştir (Günbak, 2000).

DÜŞÜK KRETİ Lİ DALGAKIRANLARDA HİDROLİK PERFORMANS

Düşük kretli dalgakıranlar geleneksel taş dolgu dalgakıranlar gibi dalgaları kırarak ve yansıtarak dalgakıran arkasındaki ve/veya çevresindeki su haznesini bu dalgalara karşı koruyan yapılardır. Düşük kretli dalgakıran kretinin geleneksel dalgakıranlara göre daha düşük olması yapının üstünden dalganın aşmasına izin vermesidir. Bu bağlamda, düşük kretli dalgakıranlarda yapının önünde, arkasında ve kretinde gerçekleşen dalga-yapı etkileşimleri önem arz etmektedir. Hidrolik performans dalga tırmanması, aşması, iletimi ve yansıması olmak üzere dört başlık altında incelenmekte olup Şekil 3.1’de gösterilmiştir.

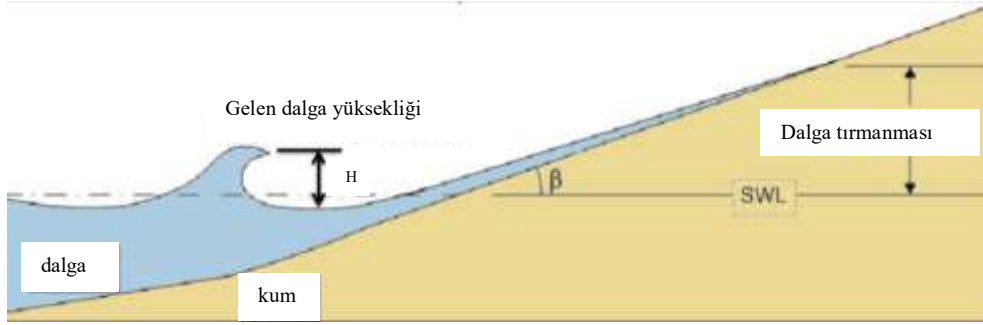


Şekil 3.1 Hidrolik performans ana parametreleri (Rock Manual, 2007)

3.1 Tırmanma

Dalgakıran yapısına etki eden dalganın sahip olduğu enerji ile şevli bir yüzey üzerinde yükselmesi dalga tırmanması olarak tanımlanır (CERC, 1984). Sakin su seviyesinden itibaren suyun yapının üzerinde ulaştığı maksimum düşey mesafe tırmanma yüksekliğidir (R_u).

Tırmanma ile ilgili değişken sayısının fazla olması sebebiyle bu olayın tüm geometrik değişkenler ve dalga koşulları için tam anlamıyla tanımının yapılması mümkün olmamaktadır (CERC, 1984).



Şekil 3.2 Dalga tırmanması, CDIP Products (2023)

Tırmanmanın dalgakıran üzerindeki etkisinde üç ana faktör önemlidir. Bunlar, yapının stabilitesi, kret kullanımı ve dalga aşma miktarıdır.

Düşük kretli dalgakıranlarda, yapının kretinin düşük olması ile şev üzerindeki tırmanma kolayca krete ulaşabilmektedir. Bu da yapının ön şevi ve kretine ilave olarak arka şevinin de dalga etkisi altındaki davranışını da değiştirerek yapı stabilitesini etkilemektedir (Şekil 3.2).

Düzenli dalgaların tırmanması

Düzenli dalgaların yapı/yüzey üzerindeki tırmanması $R_u = f(H, T, d_t, \alpha, \beta, r, P_r)$ fonksiyonunda sırasıyla, yükseklik, periyot, yapının özellikleri, topuk derinliği, sev açısı, pürüzlülük, porozite ve yakın kıyı eğimi parametrelerine bağlıdır.

Yapıya etkiyen düzenli dalgalar için dalga tırmanması üzerine literatürde birçok çalışma yapılmıştır.

H_0 : Derin deniz dalga yüksekliği,

H_i : Gelen dalga yüksekliği,

ξ_0 : Surf parametresi,

α : Yapının şev açısı,

L_0 : Derin deniz dalga boyu

T : Dalga periyodu

olmak üzere bu kapsamdaki başlıca ifadeler aşağıda verilmiştir.

Hunt (1959) tarafından Fransa’da Dauphinois laboratuvarında yapılan deneylerde kıyı duvarı ve dalgakırana gelen dalga enerjisinin yansımaları ve bu enerjinin dağılımı ile ilgili çalışmalar yapılmıştır. Yapılan çalışma ile,

$$0.1 < \xi_0 < 2.3 \text{ için } \frac{R_u}{H_0} = \xi_0 \quad (3.9)$$

ilişkisi elde edilmiştir.

Dik şevli yapılarda surging tipi kırılma için dalga tırmanması aşağıda verilen denklem ile elde edilmektedir (Yüksel ve Çevik, 2020).

$$R_u / H_i = (\pi / 2\alpha)^{1/2} \quad (3.10)$$

CERC (1984)’e göre, yatık geçirimsiz şevler için dalga tırmanması,

$$R_u / H_0 = 1.016 \times \tan\alpha \times (H_0 / L_0)^{-0.5} \quad (3.11)$$

ya da

$$R_u / H_0 = 0.405 \times \tan\alpha \times (H_0 / g \times T^2)^{-0.5} \quad (3.12)$$

olarak ifade edilmiştir.

CERC (1984)’e göre, taş kaplamalı geçirimli şevler ve taş dolgu dalgakırınlar üzerindeki dalga tırmanma yüksekliği,

$$R_u / H_0 = 1.016 \times \tan\alpha \times (H_0 / L_0)^{-0.5} \times r \quad (3.13)$$

şeklinde verilmiştir. Burada r, pürüzlülük azaltma katsayısı olup yüzey tiplerine göre Tablo 3.1’de verildiği üzere kullanılmaktadır.

Tablo 3.1 Pürüzlülük azaltma katsayıları, CERC (1984)

Yüzey	r
Düzgün ve geçirimsiz	1
Beton yüzey	0.9
Beton blok	0.85-0.9
Çimlendirilmiş kil şev	0.85-0.9
Tek tabaka kaba taş (geçirimsiz)	0.8
Düzensiz dökülmüş taş dolgu	0.5-0.8
İki veya daha fazla tabaka taş dolgu	0.5
Tetrapot	0.5

Düzensiz dalgaların tırmanması

Düzensiz dalgaların tırmanmasında, düzenli dalgaların tırmanmasına göre daha karmaşık bir durum söz konusudur. Çünkü, dalga karakteristikleri sürekli olarak değişme yaptığı için tırmanma da rastgele bir değişken olmaktadır (Yüksel, 2011).

Değişik yapılardaki düzensiz dalgaların tırmanması ile ilgili olarak son yıllarda çalışmalar artmış olup, başlıca çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Oorschot ve D'Angremond (1968) tırmanmanın istatistiki özellikleri, verilen bir eğim için dalganın özelliklerine bağlı olduğunu ifade etmişlerdir.

Ahrens (1977) tarafından yapılan deneysel çalışmalar sonucunda, her bir dalga yüksekliğinin Rayleigh dağılımına uyduğu gibi, her bir dalganın tırmanması da bu dağılıma uyduğunu bulmuştur. Günbak (1979) ve Saville (1962), Ahrens (1977) tarafından yapılan çalışmanın sonucuna benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Saville (1962) ve Battjes (1974) çalışmalarında düzenli dalgalar ve düzensiz dalgalar ile elde edilen tırmanma değerleri arasındaki ilişkiyi tanımlamışlardır. Bu çalışmaların tamamı geçirimsiz, pürüzsüz yüzeyler için yapılmıştır (Yüksel, 2011).

Van der Meer ve Ligteringen (1997) tarafından taş eğimli yüzeyler için yapılan çalışmalarda permeabilitenin aldığı değerlere göre ifadeler vermişlerdir.

Taş kaplama yüzey olup, geçirimsiz çekirdek halinde geçirimsizliğin $P=0.1$ olması durumunda ve rölatif olarak geçirimli yüzey olması halinde $P=0.4-0.6$ durumunda;

$$0 < \xi_{0m} < 1.5 \text{ için } R_u / H_s = \alpha \times \xi_{0m} \quad (3.14)$$

$$\xi_{0m} > 1.5 \text{ için } R_u / H_s = b \times \xi_{0m}^c \quad (3.15)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada,

ξ_{0m} , T_m periyodu ile elde edilen surf parametresi, H_s , belirgin dalga yüksekliği ve a, b, c ve d ise taş yüzeyler için tırmanma ifadelerindeki katsayılar olmak üzere Tablo 3.2’de verilmiştir. d, su derinliği olmak üzere $P > 0.4$ geçirimli yüzeyler için tırmanma ifadesi, $R_u / H_s = d$ olarak verilmiştir.

Tablo 3.2 Taş yüzeylerde tırmanma ifadeleri için katsayılar (Van der Meer ve Ligteringen, 1997)

Tırmanma	a	b	c	d
0.1%	1.12	1.34	0.55	2.58
1	1.01	1.24	0.48	2.15
2	0.96	1.17	0.46	1.97
5	0.86	1.05	0.44	1.68
belirgin	0.72	0.88	0.41	1.35
ortalama	0.47	0.6	0.34	0.82

CERC (2003) tarafından geçirimli taş kaplamalı eğimli yüzeylerde düzensiz ve uzun dalgalara ait derin su şartlarında geçerli tırmanma ifadesi aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$1.0 < \xi_{0m} \leq 1.5 \quad \text{ için } R_{u\%1} / H_s = A \times \xi_{0m} \quad (3.16)$$

$$1.5 < \xi_{0m} \leq (D/B)^{\frac{1}{c}} \quad \text{ için } R_{u\%1} / H_s = B \times \xi_{0m}^c \quad (3.17)$$

$$(D/B)^{\frac{1}{c}} \leq \xi_{0m} \leq 7.5 \quad \text{ için } R_{u\%1} / H_s = D \quad (3.18)$$

Burada A, B, C ve D katsayıları Tablo 3.3’ te verilmiştir.

Tablo 3.3 Geçirimli ve geçirimsiz taş tabakalı yüzeyler için katsayılar, CERC
(2003)

% i	A	B	C	D (geçirimli yüzeyler için)
0.1	1.12	1.34	0.55	2.58
2	0.96	1.17	0.46	1.97
5	0.86	1.05	0.44	1.68
10	0.77	0.94	0.42	1.45
33 (Belirgin)	0.72	0.88	0.41	1.35
50 (Ortalama)	0.47	0.6	0.34	0.82

Dalga tırmanma hesabı son yıllarda EurOtop (2018) referans alınarak hesaplanmaktadır. Yapılan çalışmalar, tırmanma hesabında aşma miktarının da bilinmesi gerektiği vurgulanmıştır. EurOtop (2018)'e göre dalga tırmanmasında tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşımı için aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$\frac{R_{u\%2}}{H_{m0}} = 1.75 \times \gamma_b \times \gamma_f \times \gamma_\beta \times \xi_{m-1,0} \quad (3.19)$$

Burada;

$R_{u\%2}$: Yaklaşan dalgaların %2'sinin aşıldığı tırmanma yüksekliği

H_{m0} : Yapının topuğundaki belirgin dalga yüksekliği, (H_s)

γ_b : Basamak için azaltma faktörü

γ_f : Şev üzerindeki elemanların pürüzlülüğü için azaltma faktörü (İlgili değerler Tablo 3.4'te verilmiştir)

γ_β : Dalganın yaklaşım açısı için azaltma faktörü

$\xi_{m-1,0}$: $T_{m-1,0}$ ile hesaplanan surf parametresi

Tablo 3.4 Koruma elemanlarına göre pürüzlülük azaltma katsayıları, EurOtop
(2018)

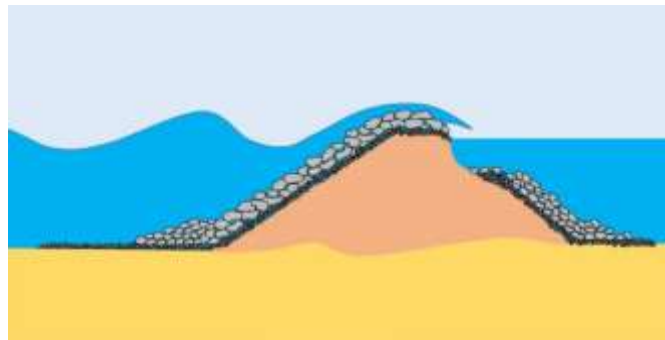
Koruma tabakası	γ_f (γ_r)	Koruma tabakası	γ_f (γ_r)
Düzgün yüzey	1.0	Haro's	0.47
Tek tabaka kaba taş (geçirimsiz)	0.60	Accropode	0.46
Tek tabaka kaba taş (geçirimli)	0.45	Xblok	0.44
Çift tabaka kaba taş (geçirimsiz)	0.55	Core-loc	0.44
Çift tabaka kaba taş (geçirimli)	0.40	Tetrapod	0.38
Tek tabaka küp blok düzensiz yerleşim	0.49	Dolos	0.43
Çift tabaka küp blok düzensiz yerleşim	0.47	Basamaklı dalgakıran	0.40
Antifer	0.50		

3.2 Aşma

Aşma, birim zamanda yapının birim genişliğinden yapı arkasına ulaşan ortalama debidir. Yapıya ait kret yüksekliği, yapıda meydana gelen maksimum tırmanmaya karşılık gelen yükseklikten daha düşük olduğu durumda yapıya ulaşan su kret üzerinden aşma yapacaktır (Şekil 3.3)

Dalga aşması, kret hava payına bağlıdır ve azalmasıyla aşma da artmaktadır. Genellikle kıyı yapıları için dalga aşması, bir m genişlik başına m^3/s cinsinden verilen ortalama dalga aşma enerjisi q ile açıklanır veya litre/s cinsinden verilmektedir. Ortalama bir aşma enerjisi q , neredeyse sabit dalga ve su seviyesi koşulları için hesaplanabilmektedir. Bir fırtına sırasında bir yapıyı aşan su miktarı gerekiyorsa, ortalama aşma miktarı minimum ve maksimum dalga koşullarında hesaplanmalıdır (EurOtop, 2018).

Düşük kretli dalgakıranlarda geleneksel dalgakıranlardan farklı olarak yapı kreti ile sakin su seviyesi arasındaki düşey mesafenin az olması yapıya ulaşan suyun kretten aşmasına sebep olmaktadır. Yapı arkasına aşan dalga, arka şevde koruma tabakasının stabilitesini, dalganın şev üzerindeki hidrolik durum değişimlerini, yapının arkasındaki su haznesinin mevcut durumunu değiştirmesine sebep olmaktadır. Dolayısıyla düşük kretli dalgakıran tasarımlarında aşma önemli bir konu olup yapının fiziksel boyutlarının projelendirilmesinde aşmanın miktarının belirlenmesinin dikkat edilecek noktalardan biri olduğu bilinmektedir.



Şekil 3.3 Dalga aşması, Coastalwiki (2020)

Dalga aşması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Pratikte bu deneysel model verileri üzerinden formüller geliştirilmiştir. Bu konuda temel araştırma sayılabilecek

çalışma pürüzsüz eğimli yapılar üzerinde pürüzlülük faktörünün $\gamma_f=1.0$ olduğu özellikte Owen (1980) tarafından yapılmıştır ve ilgili denklem aşağıda verilmiştir:

$$\frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} = \alpha \times \exp \times (-b \times R_c / H_{m0}) \quad (3.20)$$

Burada, H_{m0} spektral belirgin dalga yüksekliğini, a ve b ise belirlenmiş katsayıları temsil etmektedir.

Ortalama dalga aşması Van der Meer ve Janssen (1994) tarafından aşağıda verildiği üzere ifade edilmiştir (pürüzlülük faktörünün $\gamma_f=1.0$ için):

$$\frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} = 0.2 \times \exp \left(\left(-2.6 \times \frac{R_c}{H_{m0}} \right) \times \frac{1}{\gamma_f} \right) \quad (3.21)$$

Burada,

- q : Ortalama aşma debisi,
- H_{m0} : Spektral belirgin dalga yüksekliği,
- R_c : Kret hava payı
- γ_f : Pürüzlülük faktörüdür.

Küp blokların çift sıra yerleşimi ile yapılan dalgakıranlarda dalga aşması üzerine birçok çalışma yapılmıştır (Pearson vd. 2004, Andersen ve Burcharth 2009, Molines vd. 2012b gibi).

Porozitesi sıfıra yakın, tek sıra düzenli olarak yerleştirilmiş küp bloklu yapılar aşma ve tırmanma açısından pürüzsüz yapılar olarak kabul edilmektedir. Tek sıralı bu sistemlerde dalga aşması genellikle daha yüksektir. Çünkü, yapının geçirgenliği daha düşük olmaktadır (Vieira, 2020).

Pearson vd. (2004) tarafından yapılan testlerde sonuçlar, özellikle $\gamma_f=0.52$ için Van der Meer ve Janssen (1994) formülü ile iyi bir uyum göstermektedir.

Bruce vd. (2006) tarafından tek sıra dizilim ile yapılan küp bloklar için, $D_n=0.030$ m ve $\rho_{küp}=2361$ kg/m³ olduğu deneylerde stabilite sayısı $N_s=2.2$ olarak kabul edilmiştir. Porozite $P=0.30$ seçilmiştir. Testler, (spektral belirgin dalga yüksekliği,

$H_{m0}=H_0$, olmak üzere) $0.75H_0$ ve $0.5H_0$ için gerçekleştirilmiştir. Burada H_0 , $N_s=2.2$ 'den üretilen tasarım koşullarındaki dalga yüksekliğidir. Modelde düz bir deniz tabanı kabul edildiği için, dalga üretici önündeki H_{m0} ile yapı toğuğundaki H_{m0} benzerdir. Her dalga yüksekliği, dalga dikliğinin $S_{0p}=0.02, 0.035, 0.05$ olduğu ve rölatif kret hava payının $R_c/H_0=1.3$ ve 0.8 olduğu değerlerde tekrarlanmıştır. Dalga kırılmasını önlemek için tüm deneylerde su derinlikleri $2.5H_0$ ve $3.0H_0$ olarak belirlenmiştir. Yapının eğimi $1D:1.5Y$ 'dir. Alt tabaka malzemesinin ağırlığı, tabakası bloklarının ağırlığının $1/5$ ile $1/15$ arasındadır. Ortalama aşma debisi, Van der Meer ve Janssen (1994) formülü arasındaki en iyi uyumu ile $\gamma_f=0.50$ olduğu durumda elde edilmiştir.

Bruce vd. (2009) tarafından, farklı tabaka tipleri için uygulanabilecek pürüzlülük faktörleri küçük ölçekli modellerde test edilerek tahmin edilmiştir ve mevcut veri tabanı yeniden analiz edilmiş olup, $\gamma_f = 0.52$ değerini elde etmişlerdir.

Çift sıralı sistemlerin ikinci bir sırasının olması nedeniyle, düşük bir pürüzlülüğe sahiptir. Bu da geçirimsizliği artması ve dalga tırmanmasının daha az olması ile ilişkilidir. Küp blokların pürüzlülük katsayısının düşük olması sebebi ile diğer tek sıralı sistemlere göre, tek sıra küp bloklu sistemlerde dalga aşmasının daha fazla olması beklenmektedir (Bruce, 2009).

Andersen ve Burcharth (2009), taş dolgu yapılar için dalga sapması arttıkça aşma enerjisinin azaldığı ifade edilmiş ve kısa ve uzun dalgalar için azaltma faktörleri önerilmiştir. Rastgele yerleştirilmiş iki sıralı küp sistemlerde taş koruma tabakasına sahip sistemlere göre çok az olmak kaydıyla daha fazla aşma olduğu görülmüştür. Dalga sapmasının dalga aşma oranları üzerindeki etkisinin tek sıralı ve çift sıralı küp sistemlerde karşılaştırılması amacıyla herhangi bir bilgi verilmemiştir.

Van der Meer ve Bruce (2014) ise Owen (1980) tarafından verilen denkleme benzer şekilde dalga aşmasının tahminini geliştirmişlerdir. $R_c \geq 0$ için farklı veri kümelerinin dahil edilmesiyle elde edilen denklem aşağıda verilmiştir:

$$\frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} = \alpha \times \exp \times \left[- \left(b \times R_c / H_{m0} \right)^c \right] \quad (3.22)$$

Molines ve Medina (2015), çeşitli aşma tahminleri ile γ_f 'yi türetmişlerdir. Ölçümler ile farklı tahminler arasındaki göreceli ortalama karesel hatayı en aza indirgeyerek

optimum γ_f değeri elde edilmiştir. $\gamma_f=0.53$ ile biraz daha iyi bir aşma tahmini sonucu ortaya çıkarılmıştır.

EurOtop (2018)'de Van der Meer ve Bruce (2014) tarafından verilen denklem önerilmektedir. Ancak bu durumda, $R_c/H_{m0}>2.0$ için aşma değerleri yanlış tahmin edilmiştir. Bu durumda Molines ve Medina (2015) tarafından bulunan pürüzlülük faktörünün $\gamma_f = 0.53$ olduğu değerin kullanılması önerilmiştir.

EurOtop (2018)'de belirtilen tasarım veya güvenli değerlendirme yaklaşım ifadesi ile dalga aşmasının aşağıda verilen ifade ile hesaplanması önerilmiştir.

$$\frac{q}{\sqrt{g \times H_{m0}^3}} = 0.1035 \times \exp \left[- \left(1.35 \times \frac{R_c}{H_{m0} \times \gamma_f \times \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \quad (3.23)$$

q : Tolerans birim debisi ($m^3/s/m$)

g : Yerçekimi ivmesi (m/s^2)

H_{m0} : Yapının topuğundaki belirgin dalga yüksekliği

R_c : Kret hava payı (m)

$\gamma_r(\gamma_f)$: Şev üzerindeki elemanların pürüzlülüğü için azaltma faktörü (-)

γ_β : Dalganın yaklaşım açısı için azaltma faktörü (-)

olarak belirtilmektedir.

Chen vd. (2020), düzenli yerleştirilmiş tek sıra küp bloklar ile küçük eğimli (1D:3Y) geçirimsiz şevde dalga aşmasını incelemişlerdir. Sonuçlar doğrudan geçirgen çekirdek ve daha dik şevlere sahip dalgakıranlarına uygulanamamaktadır. Çalışma, EurOtop (2018) tarafından önerilen pürüzlülük faktörü kullanılarak TAW, 2002 tarafından verilen yöntem ile pürüzlülük etkisinin önemli ölçüde büyük tahmin edildiğini bulmuştur ve bu nedenle bu faktörün geçirimsiz çekirdekli yapılar için uygun olmayacağını ortaya koymuştur.

3.3 İletim

Dalga iletimi yapay ya da doğal bir engel tarafından kısmen sönmüldürildikten sonra yapının arka tarafına geçen dalga miktarı olarak açıklanmaktadır. Bir yapının arkasındaki iletilen dalga, yapının üzerinden aşma ya da yapının içinden nüfuz ederek geçmesi ile meydana gelebilmektedir. Düşük kretli yapılarda dalga aşması

meydana geldiği için bu yapılarda dalga iletimi gözlenmektedir. İlave olarak, yapının tipine ve yapı özelliklerine bağlı olarak nüfuz etme yoluyla da iletim gerçekleşebilmektedir. Dolayısıyla bu yapılarda dalga iletimini belirlemek oldukça önemlidir.

İletim katsayısı iletilen (H_t) dalga yüksekliğinin gelen dalga yüksekliğine (H_i) oranıdır. Başka bir deyişle, iletilen dalga enerjisinin gelen dalga enerjisine oranının karekökü olarak tanımlanabilmektedir.

$$K_t = \frac{H_t}{H_i} = \sqrt{\frac{E_t}{E_i}} \quad (3.24)$$

İletim katsayısı 0 (iletimin olmaması) ile 1 (iletime engelin olmaması) arasında değişmektedir. Eğer yapının kret yüksekliği durgun su seviyesinin üzerinde ise ve tüm su derinliğini bloke ediyorsa iletim katsayısı 0.4-0.5'ten küçük olmaktadır (EurOtop, 2018).

Şekil 2.6'da gösterildiği üzere iletilen dalganın enerjisi gelen dalga özelliklerine (dalga yüksekliği, dalga periyodu gibi), yapının türüne (taş dolgu, geçirimli, geçirimsiz, pürüzlü gibi) ve yapının geometrisine (yapı şev eğimi, yapı kret genişliği, kret hava payı gibi) bağlıdır.

Literatürde dalga iletimi ve iletim katsayısına dair birçok çalışma yapılmıştır.

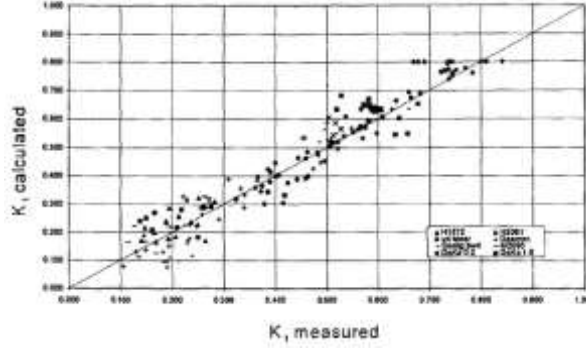
Van der Meer ve Pilarczyk (1990) düşük kretli ve resif dalgakıranlarda stabilite ve iletim üzerine çalışmalar yapmıştır. Çalışmada düşük kretli dalgakıranların sınıflandırılması, kret hava payının, koruma tabakasında kullanılan blokların nominal çapın yapı stabilitesi üzerine etkisinin incelenmesi gibi konulara ağırlıklı olarak yer vermekle beraber, iletim katsayısında Tablo 3.5 Denklem 3.17' de verildiği üzere bir ifade elde edilmiştir.

Daemen (1991) tarafından düşük kretli ve batık dalgakıranlarda iletime dair ifadeler geliştirilmiştir. Çalışmalarında kreti, koruma tabakası taşlarının üst kenarlarından geçen düzlem olarak tanımlamıştır. Yapının kretinin ortalama su seviyesinin biraz üzerinde olduğu yapılar için; saçılmanın sebebinin koruma tabakasındaki geçirgenliğe bağlı olduğunu vurgulamıştır. Bunu azaltmak için, R_c/D_{n50} olarak boyutsuz bir parametre kullanılmasını önermiştir. Kreti sakin su seviyesi etrafında olan statik olarak stabil yapılarda ise sabit dalga dikliği ve çeşitli kret seviyeleri ile çeşitli dalga yüksekliklerinde testler gerçekleştirmiştir. İletim katsayısının R_c/H_i

parametresine bağı olarak ifadesi için Iribarren parametresine bağı gerçek bir sabit olmayan katsayı bulmuştur. Bu katsayı 0.54 olup iletim katsayısının belirlenmesinde hesaplanması gereken b katsayısını belirler. İletim katsayısının kret genişliği ve surf parametresinin bir fonksiyonu olduğu sonucuna ulaşmıştır. Bu bağlamda verilen ifadeler Tablo 3.5 Denklem 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 ve 3.22’de verilmektedir.

Van der Meer ve Deamen 1994 yılında geleneksel ve resif tipte dalgakıranlarda stabilite ve dalga iletiminin incelenmesi üzerine yaptıkları çalışmada iletim katsayısını her iki yapı türü için farklı katsayılara bağı olarak açıklamışlardır. Van der Meer (1990) çalışmasının farklı veri setleri ile genişletilmesiyle farklı rölatif kret genişliği (R_c/H_i) aralıklarında iletim katsayısına ait formüller geliştirmişlerdir. Bu formüller Tablo 3.5 Denklem 3.23, 3.24 ve 3.25’te gösterilmektedir. Ayrıca geleneksel ve resif yapılarında rölatif dalga yüksekliğinin (H_i/D_{n50}) iletim katsayısı üzerine etkisi incelenmiş olup elde edilen grafikler ile maksimum ve minimum iletim katsayısı aralıklarında formüller elde etmişlerdir. Buna dair formüller Tablo 3.5 Denklem 3.26, 3.27, 3.28 ve 3.29’da verilmiştir.

D’Angremond vd. (1996) tarafından yapılan çalışmada geçirimli ve geçirimsiz düşük kretli yapılarda dalga iletimi ele alınmıştır. Farklı rölatif dalga yükseklikleri ile (H_i/D_{n50}) iletim katsayısının değişimi incelenmiştir. Yapılan çalışmada, $H_i/D_{n50} > 2$ değerleri için, D_{n50} taş boyutlarının küçük olduğu yorumu yapılabilmekte olup çap küçüldükçe K_t değerinin 0.64 değerinde korunmuş olduğu görülmüştür. $H_i/D_{n50} < 2$ değerleri için, bu değer küçük olması D_{n50} taş boyutlarının büyük olması demektir. Dolayısıyla bu da iletimin çok olduğu anlamına gelmektedir. Fakat, aynı zamanda taş boyutları büyük olup pürüzlülük de fazla olacağından yapıdaki iletim de az olacaktır. Buradan yola çıkılarak, nihai bir ilişki kurmak doğru olmayacaktır, sonucuna ulaşılmıştır. Bu çalışmada esas olarak geçirimli ve geçirimsiz dalgakıranların iletimi için homojen bir veri tabanı oluşturmak amacıyla, bu yapılar için ayrı ayrı veri tabanları oluşturularak model kurulması daha doğru bir yaklaşım olacağı önerilmiştir. Bu çalışmaya dair elde edilen ifadeler Tablo 3.5 Denklem 3.30 ve 3.31’de verilmiştir. Elde edilen denklem ile geçirimli yapılarda ölçülen K_t değerlerinin grafiği Şekil 3.4’te verilmiştir.



Şekil 3.4 Geçirimli yapılarda ölçülen ve hesaplanan iletim katsayısı değerlerinin karşılaştırılması (D’Angremond vd., 1996)

Seabrook ve Hall (1998) tarafından yapılan çalışma 2B ve 3B model deneylerini içeren batık taş dolgu yapılarda iletim katsayısı üzerinedir. Çalışmada kullanılan çeşitli değişkenler ile bu konunun geniş kret genişliklerine sahip yapılar için genişletilmesi gerektiğini öne sürmüşlerdir. Kret genişliğinin, yapıya gelen dalga yüksekliği oranına bağlı olarak belli aralıklarda sınırlayarak iletim katsayısının dalga yüksekliği (H_i), kret genişliğine (B) ve kret hava payına (R_c) bağlı olduğunu ancak koruma elemanının nominal çapına (D_{n50}), dalganın pik periyoduna (T_p) ve dalgakıran yapısının eğimine daha az derecede bağlı olduğunu ifade ederek buna dair denklem geliştirmişlerdir. Özellikle batık yapılardaki iletim katsayısının rölatif kret hava payı (R_c/H_i) parametresine göre oldukça hassas olduğu sonucuna varılmıştır (Tablo 3.5 Denklem 3.32).

Calabrese ve Buccino 2002 yılında düşük kretli ve batık yapılarda dalgaların kırılması üzerine deneyler gerçekleştirmişlerdir. Kret hava payı (R_c), yapıya gelen dalga yüksekliği (H_i), su derinliği (d) ve surf parametresine göre değişen aralıklarda iletim katsayısına dair ifade geliştirmişlerdir. İletim katsayısında a ve b olmak üzere iki ayrı katsayı ve bu katsayıların rölatif kret genişliğine (B/H_i) göre denklemleri verilmiştir (Tablo 3.5 Denklem 3.33, 3.34 ve 3.35).

Van der Meer vd. (2005) tarafından düşük kretli yapılarda dalga iletimi ve dalga yansıması üzerinde yeni tasarım formülleri geliştirilmiş olup, yapıya gelen dalganın açılı olması durumu ve dalga spektral değişimi incelenmiştir. Taş dolgu düşük kretli dalgakıran yapısında 2B model deneyleri yapılmış ve iletim katsayısında yeni ampirik denklem bulunmuş ve literatürdeki geçmiş denklemler irdelenmiştir (Tablo

3.5 Denklem 3.36). Bu çalışmada türetilen iletim katsayısının yeni denklemi temelinde D'Angremond vd. (1996)'nın çalışmasında elde edilmiş olan denklemi referans almaktadır.

Briganti vd. (2007) tarafından düşük kretli dalgakıranlarda 2B laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiş ve mevcut tasarım formüllerinin analizleri geniş çapta incelenerek iletim katsayısı üzerine yeni ifade geliştirmişlerdir. Aynı zamanda dalga enerjisi spektrumlarının değişiminin analizini yapmışlardır. Van der Meer ve Daemen (1994) ve D'Angremond vd. (1996) bu çalışmanın başlangıç noktası olarak kullanılmıştır. İletim katsayısının elde edilmesinde, büyük kret genişliğine sahip, yüzeyi pürüzsüz olan ve geçirimli düşük kretli dalgakıranlar için geliştirilen ifade temelinde D'Angremond vd. (1996) tarafından elde edilen ifadenin revize edilmiş halidir. Revize edilen bu denklem Tablo 3.5 Denklem 3.37'de gösterilmiştir.

Düşük kretli yapılarda, yapıya gelen dalga enerjisi ile yapının arkasına iletilen dalga enerjisi birbirinden oldukça farklıdır. Batık yapılarda ($R_c < 0$) dalganın kırılması nedeniyle dalga enerjisi azalır ve dalganın frekansı yüksek değerlere ulaşır. Batık olmayan yapılarda ise ($R_c > 0$) dalga iletimi koruma tabakası içinden geçen akış ve kretten aşan su miktarına bağlıdır. Her iki durumda önemli olan dalga enerjisinin yüksek frekanslara oluşmasına sebebiyet vermektedir. Bu bağlamda eğer dalga enerjisindeki azalma koruma tabakası içinden geçen dalga yükünün neden olduğu enerjinin dağılmasından kaynaklanıyorsa yüksek frekanslarda enerji kaybedilebilir. Bunu önlemek amaçlı dalga iletimini etkili hidrolik ve yapısal parametreler ile ilişkilendirerek ölçmek doğru olacaktır. Van der Meer (2000) çalışmasında buna benzer bir analiz yapmıştır (Briganti vd. (2003)). Düşük kretli dalgakıranlarda gelen ve iletilen dalgalar birbirlerinden çok farklılardır. Batık dalgakıranlar durumunda dalga kırılması nedeniyle dalga enerjisi azalarak daha yüksek frekanslara doğru kaymaktadır. Pozitif kret hava payına sahip düşük kretli dalgakıranlarda ise iletimin iki bileşeni vardır. Bunlar aşma ile iletim ve yapının içinden dalga iletimidir. Bu iki olayın rölatif önemine bağlı olarak enerjinin yüksek frekanslara doğru kayışını belirlemektedir. Eğer enerji kaybı çoğunlukla anroşman tabakasının içinden geçişle meydana geliyorsa, yüksek frekanslar fazla görülmemektedir. Batık taş dolgu yapılar ve batık olmayan pürüzsüz yüzeyli geçirimsiz yapılar için deneyler gerçekleştirilmiş ve Şekil 3.5'te boyutsuz gelen ve iletilen dalganın spektrumları birlikte görülmektedir. Boyutsuzlaştırma pik frekans ve pik enerji ile yapılmıştır.

Araştırmacıların yapmış oldukları deneysel çalışmalardan elde edilen en genel sonuç $1.5f_p$ 'den sonra spektrumun değişiminin iletimden kaynaklandığıdır. Van der Meer vd. (2000) iletilen dalga enerji spektrum yoğunluğunun $1.5f_p < f < 3.5f_p$ arasında dağıldığını ifade etmiştir. Daha büyük frekanslardaki enerjinin ihmal edilebileceği ifade edilmiştir. Bu çalışma sadece asfalt kaplı düşük kretli yapıları dikkate almıştır. Bu yapı türlerinde her bir spektrum frekansı için (f_t) için $f_t = 3.5 \times f_p$ (f_p , pik spektrum frekans değeri) denkleminin iyi bir yaklaşım olduğu görülmüştür. Batık olmayan yapılarda bu ifadenin $f_t = 2.0 \times f_p$ olarak daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Batık olmayan yapılar üzerine yapılan analizler ile iletimdeki enerji kaymasını açıklamaya çalışmışlardır. Bu bağlamda aşağıda verilen bağıntıyı geliştirmişlerdir. Burada,

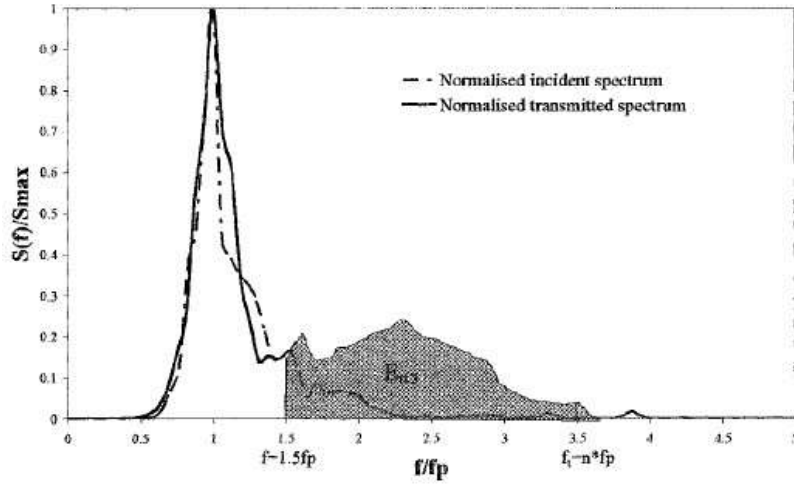
E_{dp} : Enerji dağılım parametresi

E_{t15}/E_t : Yüksek frekanslara sahip enerjinin ölçüsü

E_i : Gelen dalga enerjisi

$$edp = \left(\frac{E_{t15}}{E_t} \right) - \frac{\left(\frac{E_{i15}}{E_i} \right)}{\left(\frac{E_{i15}}{E_i} \right)} \quad (3.38)$$

Bu parametrede, $f > 1.5 \times f_p$ frekansında gelen dalganın spektrumu ile enerji değişimi tanımlanabilmektedir. edp pozitif ise enerji $f > 1.5 \times f_p$ değerine doğru kaymakta, bu frekanslarda enerjinin kesilmesi durumunda ise edp negatif olmaktadır. E_{dp} 'nin iletim katsayısı (K_t) ile yüksek korelasyon sağladığı görülmüştür. Dalga iletiminde tekil parametrelerin etkisini görmek ve ayırt etmek oldukça zordur (Brigranti, 2007). Bu bağlamda, batık taş dolgu yapılar, batık olmayan geçirimsiz pürüzsüz yüzeyli yapılar ve batık olmayan yapılar için rölatif kret yüksekliği (R_c/H_i) edp ile ilişkilendirilmiştir. Geçirimsiz pürüzsüz yüzeyli yapılar, geçirimli ve pürüzlü yapılardan farklı davranışlar sergilemiştir. Batık yapılarda geçirimliliğin iletme etkisi gözlenmemiştir.



Şekil 3.5 Boyutsuzlaştırılmış spektrum grafiği (Briganti vd., 2007)

Buccino ve Calabrese (2007) tarafından batık ve batık olmayan dalgakıran yapıları üzerine fiziksel model çalışmaları yapılarak dalga iletimi üzerine çalışılmıştır. Bu çalışmada yapıların düşük ve yüksek batıklık göstergesi olarak sırasıyla S_1 ve S_2 parametreleri tanımlanmıştır. Çeşitli veri setleri kümesi kullanılarak iletim katsayısı tahmininde yeni ifadeler geliştirmişlerdir. Bu ifadeler Tablo 3.5 Denklem 3.39, 3.40 ve 3.41’de verilmiştir. İfadede, $S_1=1.2$ ve $S_2=0.5$ olmak üzere $R_c/H_i \geq S_1$ olduğu durumda geçerli ifade, kret seviyesi ortalama su seviyesine yakın olan yapılarda geçerlidir. $R_c/H_i \leq S_2$ durumunda ise iletim katsayısı surf parametresinin ve kret genişliğinin etkin olduğu minimum değerlerden oluşan denklem geçerli olmaktadır. Rölatif kret hava payının, R_c/H_i , bu değerler aralığında olmadığı durumda ise $S_1 > R_c/H_i > S_2$ aralığında verilen bu iki denklemin interpolasyonu ile dalga iletimi hesaplanabilmektedir. Türetilen bu ifadelerin veri setleri ile uyumu karşılaştırıldığında hata payının çok az olduğu ve %90’a varan tahmin uyumu geliştirdiği sonucuna ulaşılmıştır.

Goda ve Ahrens (2008) çalışmalarında düşük kretli, batık ve taş dolgu dalgakıranlar üzerine yeni tasarım ifadelerine yer vermişlerdir. Düşük kretli yapılardaki dalga iletim katsayısının aşağıda verildiği üzere boyutsuz parametrelere bağlı olduğunu belirtmiştir.

$$K_t = \left(\frac{H_t}{H_i} \right) = f \left(\frac{R_c}{H_i}, \frac{H_i}{L}, \frac{B_{eff}}{L_0}, \frac{H_i}{D_{eff}}, \frac{B_{eff}}{D_{eff}}, \frac{h_c}{h + H_i} \right) \quad (3.42)$$

Dalga iletim katsayısını, düşük kretli yapıların kretinden aşan ve yapı içinden geçen dalganın enerjisinin toplamı olarak formülize etmişlerdir (Tablo 3.5 Denklem 3.43). Verilen formülde, B_{eff} : Rölatif kret genişliği ve D_{eff} : Rölatif nominal çaptır.

Elde edilen denkleme göre, ölçülen iletim katsayısı değerlerine karşılık tahmin edilen iletim katsayısı değerleri ile grafik oluşturulmuştur. Bu grafiğe göre $K_t > 0.4$ olduğunda elde edilen denklemin iletim katsayısını yüksek tahmin ettiği görülmüştür. Bu sonuç, denklemin belirlenen aralık dışında kullanılması durumunda tahmin doğruluğunun azalacağını doğrulamaktadır (Van der Meer vd., 2005).

Tomasicchio ve D'Alessandro (2013), literatürde dalga iletimine dair birçok ifade olduğu ve yeni ifadelerin eski denklemlerin revize edilmesiyle geliştirmenin doğru olabileceği düşüncesi ile bu çalışmayı yapmışlardır. Bu bağlamda Goda ve Ahrens (2008) tarafından elde edilen dalga iletimi denklemlerini referans almak üzere iki boyutlu bir dizi laboratuvar deneyleri yaparak, Seelig (1980), Ahrens (1987), Allsop (1983), Van der Meer (1988) ve Deamen (1991) gibi araştırmacıların çalışmalarını veri setlerine dahil ederek mevcut ifadeyi geliştirmişlerdir. Veri setinde düşük kretli, taş dolgu dalgakıranlar, beton bloklar ile oluşturulmuş yapılar ve geçirimsiz yapılar için veriler bulunmaktadır. Çalışmada geçirimli düşük kretli dalgakıranlar için Goda ve Ahrens (2008) tarafından elde edilen denklemden hareketle, kret hava payının (R_c) iki farklı aralık için hesabında katsayılar ve aralıklar revize edilmiş olup, iletim katsayısı ($K_{t,all}$) için minimum ve maksimum değerler değiştirilmiştir. Revize edilen bu denklem Tablo 3.5 Denklem 3.44'te görülmektedir. Tomasicchio ve D'Alessandro (2013) tarafından değiştirilen bu yeni ifadenin $K_t < 0.4$ aralığı için Goda ve Ahrens (2008) çalışmasına göre daha uyumlu olduğu görülmüştür. Dalga iletim katsayısının tahmininde tutarlı bir yöntemin sağlanması amacıyla bu çalışma sonucunun bir ön sonuç olduğu vurgulanmış olup, daha kesin sonuç elde etmek için R_c/H_i , H_i/L , B_{eff}/D_{eff} gibi fiziksel parametrelerin etkisi ile verilerin daha fazla kalibrasyonu sağlanarak inceleme gerektiğini öne sürmüşlerdir.

T. Giantsi ve Moutzouris (2016) tarafından paralel olmayan, geçirimli, düşük kretli dalgakıranlardan oluşan bir sistemin etrafındaki dalga özelliklerinin etkilerini ve dalga sapmasını araştırmak için birden fazla veri setinden oluşturulan gelen dalganın açısına göre farklı konumlandırılan iki ayrı dalgakıran yapısı kurularak

büyük ölçekli 3B laboratuvar deneyleri gerçekleştirilmiştir. Yapının topuğundaki kret hava payı (R_c/H_i) ile her bir veri setinin iletim katsayısı (K_t) hesaplanıp iredelenmiştir. Model deneyleri ile ölçülen K_t değerleri Van der Meer ve Deamen (1994) ve D'Angremond (1996) tarafından verilen ifadeler ile karşılaştırılmıştır. D'Angremond (1996) ifadesi ile ölçülen değerler arasında yüksek korelasyon olup, $R_c/H_i < 0.70$ aralığında görülen hata payı düzeltilerek, yeni denklem D'Angremond (1996) ifadesi referans alınarak oluşturulmuştur. T. Giantsi ve Moutzouris (2016) tarafından revize edilen bu denklem Tablo 3.5 Denklem 3.45'te görülmektedir. Van der Meer ve Deamen (1994) formülü, rölatif kret hava payının yüksek olduğu durumda ($R_c/H_i > 4$) ölçülen değerler ile çok iyi bir uyum göstermiştir. Ancak dalgakıran yapısında kırılarak yapıdan uzaklaşan dalgalar için ise düşük kret hava paylarında düşük tahminler yapmıştır. D'Angremond (1996) ifadesinin revize edilmesiyle elde edilen yeni denklem düşük rölatif kret hava paylarında ($R_c/H_i > 4$) ölçülen değerler ile çok iyi bir uyum sağladığı görülmüştür. Bu çalışmada, dalga geliş açısının dalga iletiminde etkin bir rol oynamadığı gözlemlenmiştir. En yüksek K_t değerleri, en küçük kret hava paylarında ve yapıdan geçerek açığa doğru kırılan dalgalarda olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Türetilen formüllere rölatif derinlik parametresinin de eklenebileceği öne sürülmüştür.

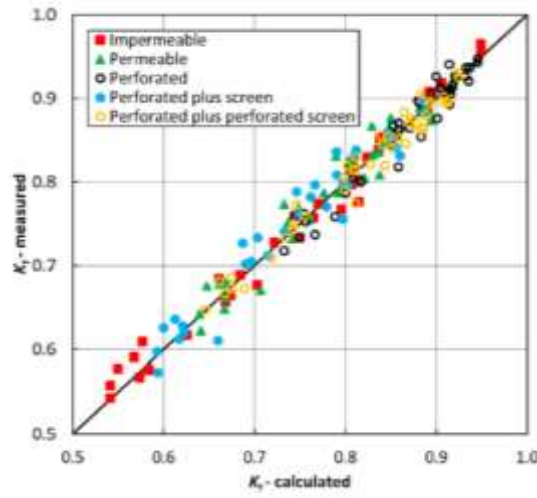
Brancasi vd. (2022) tarafından batık ve düşük kretli dalgakıranlarda dalga iletim katsayısı hesabının tahmini üzerine elde edilmiş ifadelerin doğruluğu incelenmiştir. Mevcut ifadelerin belli geçerlilik aralıklarında uyumlar sağladığı görülmüştür. Van der Meer (1990), Van der Meer ve Daemen (1991), D'Angremond (1996), Seabrook ve Hall (1998), Calabrese (2002), Briganti (2003), Goda ve Ahrens (2008) gibi birçok araştırmanın dalga iletim katsayısı ifadeleri ve veri setleri toplanarak 4144 veri oluşturulması sağlanmış ve test edilmiştir. Batık taş dolgu dalgakıranlar için Kurdistani vd. (2022) tarafından geliştirilen ifadenin uyumunun en iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Batık ve düşük kretli taş dolgu bütün yapılar için ise Calabrese (2002) formülünün uyumlu olduğu, ancak toplam veri setine göre çok az bir veri miktarı için uyumlu olduğu görülmüştür. D'Angremond (1996) tarafından geliştirilen ifadenin en küçük hata oranı ile en iyi uyumu sağladığı ve çalışmanın veri setinin tamamını dikkate alarak yüksek güven aralığında sonuçlar elde edildiği öne sürülmüştür.

Van Gent vd. (2023) tarafından, düşük kretli yapılar, batık yapılar, geçirimli, geçirimsiz ve perfore yapılarda fiziksel modeller oluşturularak dalga iletimi incelenmiştir. Rölatif kret hava payı (R_c/H_{m0}) ile iletim katsayısını (K_t) geçirimli, geçirimsiz ve perfore model yapıları üzerinde karşılaştırılmıştır. Türetilen yeni ifade, Tablo 3.5 Denklem 3.46'da gösterilmiş olup yapının eğimi, R_c/H_{m0} , $B/L_{m-1,0}$ boyutsuz parametrelerini ve yapı türüne göre kullanılan çeşitli katsayıları içermektedir. Geçirimli, geçirimsiz taş dolgu dalgakıranlar ile perfore ve dikey duvar ile oluşturulan perfore yapıların iletim katsayısı benzer bir eğilim göstermiş olup, dikey duvarı olmayan ve ortasında delikli dikey duvarı bulunan perfore yapının iletim katsayısı diğer yapılardan daha büyük olduğu sonucuna ulaşmışlardır.

$-1 < R_c/H_{m0} < 0$ olan nispeten daha az batık olan geçirimli yapılarda iletimin, geçirimsiz yapılardan daha büyük olduğu ve $-2.5 < R_c/H_{m0} < -1.5$ olan daha fazla batık geçirimli yapılar için ise iletimin, geçirimsiz yapılara göre daha düşük olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Van Gent vd. (2023) tarafından geçirimli ve geçirimsiz yapılar için hesaplanan iletim katsayıları ile D'Angremond (1996) çalışmasına ait iletim katsayıları karşılaştırılmış ve geçirimli yapılarda geçirimsiz yapılara göre daha yakın tahminler verdiği görülmüştür. Geçirimli yapılarda ölçülen iletim katsayısı, Goda ve Ahrens (2008) çalışması ile karşılaştırıldığında geçirimli yapılardaki iletim katsayısının ölçülen değerlerin hesaplanan değerlerden daha küçük olduğu elde edilmiştir. Tomasicchio vd. (2013) ifadesi ile geçirimli yapılarda mevcut ölçülen sonuçlar karşılaştırıldığında Goda ve Ahrens (2008) sonuçlarına benzer olarak ölçülen değerler hesaplanan değerlerden düşüktür fakat daha az farklılıkların olduğu görülmüştür. Kurdistani vd. (2022) tarafından homojen batık taş dolgu yapılar için geliştirilen ifade ile ölçüm sonuçları kıyaslandığında geçirimli yapılarda ölçülen iletim katsayısının daha yüksek sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu çalışmaya göre, yapının kretinin su seviyesinin çok altında olduğu durumda literatürdeki ifadelerin tersine $K_t=1$ 'e yaklaşmaktadır. Çok batık yapılarda, iletim geçirimli yapılarda geçirimsiz yapılara göre daha az olmaktadır. Kretin su seviyesinin hemen altında olduğu durumda geçirimli yapılardaki iletim geçirimsiz yapılardan daha büyük olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dalga iletim katsayısındaki mevcut ampirik ifadeler, geçirimli ve geçirimsiz yapılar için geçerlidir. Bu bağlamda bu çalışmanın sonuçlarına en çok uyum sağlayan

ifadeler D'Angremond (1996) ve Tomasicchio vd. (2013) tarafından yapılan çalışmalardır. Yapı türüne göre çeşitli katsayıların kullanılmasıyla elde edilen yeni ifade $-2.5 \leq R_c/H_{m0} \leq 2.5$ ve $0.017 \leq B/L_{m-1,0} \leq 0.27$ (veya $0.9 \leq B/H_{m0} \leq 10.6$) aralıkları için geçerlidir. Ayrıca, düşük kretli yapılar için açık deniz tarafında dalga kırılması koşullarını içermediği için bu yapılardaki doğruluğunun test edilmesi gerektiği öne sürülmüştür. Bu çalışma ile elde edilen ifade Tablo 3.5' te Denklem 3.46' da verilmiş olup Şekil 3.6' da ölçülen ve hesaplanan iletim katsayısı grafiği verilmiştir.



Şekil 3.6 Çalışmaya ait tüm yapı türlerinde ölçülen ve yeni ifade ile hesaplanan iletim katsayılarının karşılaştırılması (Van Gent vd., 2023)

Tablo 3.5 Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler

Araştırmacı	Açıklama	Denklem	
Van der Meer ve Pilarczyk (1990)	$0.1 < K_t < 0.8$	$K_t = 0.46 - 0.3 \frac{R_c}{H_i}$	(3.17)
Daemen, (1991)	Batık dalgakıran ve düzensiz dalgalar $K_{t(\text{maks})} = 0.75$ ve $K_{t(\text{min})} = 0.075$ $1 < H_i/D_{n50} < 6$ $0.01 < S_{op} < 0.05$	$K_t = a \frac{R_c}{D_{n50}} + b$	(3.18)
		$a = 0.031 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.024$	(3.19)
		$b = -5.42 \times S_{op} + 0.0323 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.0017 \left(\frac{B}{D_{n50}} \right)^{1.84} + 0.51$	(3.20)
	a : (3.19) denklemi ile elde edilmektedir.	$K_t = a \frac{R_c}{H_i} + b$ $b = 0.54 \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31}$	(3.21) (3.22)
Van der Meer ve Daemen, (1994)	Van der Meer (1990) revizesi	$K_t = 0.80$ için $2 < R_c/H_i < -1.13$	(3.23)
		$K_t = 0.46 - 0.3 \times (R_c/H_i)$ için $-1.13 < R_c/H_i < 1.2$	(3.24)
		$K_t = 0.10$ için $1.2 < R_c/H_i < 2.0$	(3.25)
	Geleneksel ve resif tipi dalgakıran	$K_t = a \frac{R_c}{D_{n50}} + b$	(3.26)
		$a = 0.031 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.24$	(3.27)
	Geleneksel dalgakıran $K_{t\text{min}} = 0.075$ ve $K_{t\text{maks}} = 0.75$	$b = -5.42 S_{op} + 0.0323 \frac{H_i}{D_{n50}} - 0.0017 \left(\frac{B}{D_{n50}} \right)^{1.84} + 0.51$	(3.28)
	Resif tipi dalgakıran $K_{t\text{min}} = 0.15$, $K_{t\text{maks}} = 0.6$; $R_c/D_{n50} < -2$	$b = -2.6 S_{op} - 0.05 \frac{H_i}{D_{n50}} + 0.85$	(3.29)

Tablo 3.5 Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı)

Araştırmacı	Açıklama	Denklem	
D'Angremond vd. (1996)	Düşük kretli, Geçirimli taş dolgu dalgakıran $0.075 < K_t < 0.80$ $B/H < 8$ (Standart sapma 0.060)	$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi})$	(3.30)
	Düşük kretli geçirimsiz dalgakıran $0.075 < K_t < 0.80$ (Standard sapma 0.053)	$K_t = -0.4 \frac{R_c}{H_i} + 0.80 \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi})$	(3.31)
Seabrook ve Hall (1998)	Batık taş dolgu yapılar için, $5 \leq (B/H_{m0i}) \leq 74.47;$ $1.06 \leq (B/H_{m0i}) \leq 8.13;$	$K_t = 1 - \left[e^{-0.65 \left \frac{R_c}{H_{m0i}} \right - 1.09 \left(\frac{H_{m0i}}{B} \right)} + 0.047 \left \frac{B.R_c}{L.D_{n50}} \right - 0.067 \left \frac{R_c.H_{m0i}}{B.D_{n50}} \right \right]$	(3.32)
Calabrese ve Buccino, (2002)	$-0.4 \leq \frac{R_c}{B} \leq 0.3;$	$K_t = a \frac{R_c}{B} + b$	(3.33)
	$1.06 \leq (B/H_{m0i}) \leq 8.13;$	$a = (0.6957 \frac{H_{m0i}}{R_c} - 0.7021) e^{0.2568 \frac{B}{H_{m0i}}}$	(3.34)
	$0.31 \leq \frac{H_{m0i}}{h} \leq 0.61;$ $3 \leq \xi_{0p} \leq 5.2;$	$b = (1 - 0.562 e^{-0.0507\xi}) e^{-0.0854 \frac{B}{H_{m0i}}}$	(3.35)

Tablo 3.5 Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı)

Araştırmacı	Açıklama	Denklem	
Van der Meer vd. (2005)	Pürüzsüz geçirimli ve geniş kretli dalgakıranlar $B/H_{m0} > 12$, $\xi_{op} < 3$ $K_{tmin} = 0.075$, $K_{tmaks} = 0.8$	$K_t = -0.3 \frac{R_c}{H_{m0i}} + 0.75(1 - e^{-0.5\xi_{op}})$	(3.36)
Briganti vd. (2007)	Çok büyük genişlik, pürüzsüz yüzey ve geçirimli düşük kretli yapılar $B/H_i > 10$ ve $\xi_{op} < 3$ $K_{tmin} = 0.075$ ve $K_{tmaks} = 0.80$	$K_t = -0.35 \frac{R_c}{H_i} + 0.51 \left(\frac{B}{H_i}\right)^{-0.65} (1 - e^{-0.41\xi})$	(3.37)
Buccino ve Calabrese (2007)	Batık ve batık olmayan Taş dolgu dalgakıranlar	$K_{t1} = \frac{1}{1.18 \times \frac{H_i}{R_c}^{0.12} + 0.33 \times \frac{H_i}{R_c}^{1.5} \times \frac{B_c}{\sqrt{H_i \times L_0}}}$	(3.39)
		$K_{t2} = \left[\min(0.74; 0.62 \times \xi_{op}^{0.17}) - 0.25 \times \min\left(2.2; \frac{B}{\sqrt{H_i \times L_0}}\right) \right]^2$	(3.40)
		$\frac{R_c}{H_i} = S_2 + \frac{K_{t1} \times \frac{R_c}{H_i} = S_1 - K_{t2} \times \frac{R_c}{H_i} = S_2}{S_1 - S_2} \times \left(\frac{R_c}{H_i} - S_2\right)$	(3.41)

Tablo 3.5 Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı)

Goda ve Ahrens, (2008)	Taş dolgu Batık ve batık olmayan dalgakıranlar $C = 1.135 \left(\frac{B_{eff}}{D_{eff}} \right)^{0.65}$ ve $K_h = \min \left\{ 1.0; \frac{R_c}{d + H_i} \right\}$ $\frac{3 < B_{eff}}{D_{eff}} < 10$, $D_{eff} = D_{n50}$ ve K_h için verilen denklemde $K_t < 0.4$ olmak üzere;	$R_{c,0} = \begin{cases} 1.0 & \text{için } D_{eff} = 0 \\ \max \left\{ 0.5; \min \left\{ 1.0; \frac{H_i}{D_{eff}} \right\} \right\} & \text{için } D_{eff} > 0 \end{cases}$ $(K_t)_{over} = \max \left\{ 0; \left(1 - \exp \left[a \left(\frac{R_c}{H_i} - R_{c,0} \right) \right] \right) \right\}$ $(K_t)_{thru} = \frac{1}{\left[1 + C \left(\frac{H_i}{L} \right)^{0.5} \right]^2}$ $(K_t)_{all} = \min \left\{ 1.0; \sqrt{(K_t)_{over}^2 + K_h^2 (K_t)_{thru}^2} \right\}$ $K_h = \min \left\{ 1.0; \frac{R_c}{h_s + H_i} \right\}$	(3.43)
-------------------------------	--	--	---------------

Tablo 3.5 Literatürde bulunan iletim katsayısına dair mevcut denklemler (devamı)

Araştırmacı	Açıklama	Denklem	
Tomasichhio ve D'Alessandro (2013)	Geçirimli düşük kretli dalgakıranlar $C = 3.450 \left(\frac{B_{eff}}{D_{eff}} \right)^{0.65}$ ve $K_h = \min \left\{ 0.8; \frac{R_c}{h+H_i} \right\}$ $R_{c,0} = 0.6 - 0.8$ $R_{c,0} = \begin{cases} 1.0 & \text{için } D_{eff} = 0 \\ \max \left\{ 0.6; \min \left\{ 0.8; \frac{H_i}{D_{eff}} \right\} \right\} & \text{için } D_{eff} > 0 \end{cases}$	$(K_t)_{over} = \max \left\{ 0; \left(1 - \exp \left[a \left(\frac{R_c}{H_i} - R_{c,0} \right) \right] \right) \right\}$ $(K_t)_{thru} = \frac{1}{\left[1 + C \left(\frac{H_i}{L} \right)^{0.5} \right]^2}$ $(K_t)_{all} = \min \left\{ 1.0; \sqrt{(K_t)_{over}^2 + K_h^2 (K_t)_{thru}^2} \right\}$ $K_h = \left\{ 0.8; \frac{R_c}{h_c + H_i} \right\}$	(3.44)
T.Giantsi ve Moutzouris, (2016)	Düşük kretli homojen dalgakıranlar	$K_t = -0.0391 \frac{R_c}{H_i} + 0.64 \left(\frac{B}{H_i} \right)^{-0.31} (1 - e^{-0.5\xi}) + 0.1072$	(3.45)
Van Gent vd. (2023)	Homojen geçirimli batık dalgakıranlar $D_{n50}=0.040$ m; $p=0.436$ porozite $-2.5 \leq R_c/H_{mo} \leq 2.5$ ve $0.017 \leq B/L_{m-1,0} \leq 0.27$ veya $0.9 \leq B/H_{mo} \leq 10.6$ Geçirimsiz pürüzsüz yüzeyler Geçirimli yapılar	$K_t = c_1 \times \tanh \left(- \left(\frac{R_c}{H_{m0}} + c_2 \left(\frac{B}{L_{m-1,0}} \right)^{c_3} + c_4 \right) \right) + c_5$ $c_1 = 0.47 \quad c_2 = 3.1 \quad c_3 = 0.75 \quad c_4 = 0 \quad c_5 = 0.5$ $c_1 = 0.43 \quad c_2 = 3.1 \quad c_3 = 0.75 \quad c_4 = -0.25 \quad c_5 = 0.5$	(3.46)

3.4 Yansıma

Dalgalar, neredeyse tüm kıyı yapılarında ve kıyılarda yansıma uğramaktadırlar. Düşey yüzölçümü ve geçirimsiz yapılarda gelen dalganın neredeyse tamamı yansımaktadır. Bu nedenle, taş dolgu yapıların eğimleri dalganın enerjisini azaltmak amacıyla yapılmaktadır.

Yansıma katsayısı (K_r), yapı önüne yansıyan belirgin dalga yüksekliğinin (H_r) yapı önünde gelen belirgin dalga yüksekliğine (H_i) oranıdır.

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} \quad (3.25)$$

Geçirimsiz ve düz dik şekilde olan, dalganın aşmadığı duvarlar genel olarak gelen dalganın enerjisinin büyük bir kısmını yansıtırlar (AYGM, 2018). Bu bağlamda kıyı yapılarında şev yüzeylerinde yansımanın olması kaçınılmazdır. Yansımayı minimum düzeyde tutmak yapı tasarımında izlenen yoldur.

Genel anlamda aşma olmayan taş dolgu dalgakıranlarda yansıma iki süreçten oluşmaktadır. Biri, çoğunlukla dalga kırılması ile şev üzerinde dalga enerjisinin dağılımı ile, diğeri ise dalganın yapıya penetre olması kaynaklı gerçekleşmektedir (Muttray vd., 2006). Bu bağlamda dalganın şev üzerinde kırılması ve kırılma kaynaklı oluşumlar dalga yansıması üzerine yapılan çalışmaların temelini oluşturmakta olup 1950'li yıllara dayanmaktadır.

Miche (1951) derin suda teorik olarak ikinci dereceden Stokes dalga teorisinden hareket ederek pürüzsüz yüzeylerde dalga yansımasının kritik dalga dikliğine bağlı olduğunu ileri sürmüştür ($H_0/L_{0(kritik)}$). Dalga dikliği azaldıkça yansıma katsayısının arttığı sonucuna ulaşmıştır.

Battjes (1974), Miche (1951) tarafından öne sürülen hipotezden yola çıkarak geçirimsiz yüzeylerde dalga enerjisinin dönüşümünü analiz etmek için surf parametresini önermiştir ($\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L}$, H dalga yüksekliği, L dalga boyu ve α şev açısı). Bu araştırmadan sonra gelen dalganın enerji dönüşümünü hesaplamak için çoğu formül, tasarım koşullarındaki tüm eğim tipleri için surf parametresine

dayanmaktadır. Bu formüller, genel olarak yansımaya katsayısının eğilimine uygun olsa da, Iribarren sayısı'nın değeri arttıkça saçılmanın artma eğiliminde olduğu görülmüştür. Buna rağmen, dalgakıran tasarımı için dalga yansımaları tahminleri genellikle bu tahmin formüllerine dayanmakta ve bu nedenle yüksek bir belirsizlik meydana gelmektedir. Battjes (1974) tarafından geçirimsiz yüzeyler için önerilen formül aşağıda verilmiştir:

$$K_r = 0.1 \times \xi^2 \quad (3.26)$$

Losada ve Gimenez-Curto (1979) tarafından, yansımaya katsayısı yapının şev eğimine ve dalga dikliğine bağlı bir fonksiyondan olması gerektiğini bulmuştur. Sollit ve Cross (1972)'a ait çalışma verileri, Günbak (1979) ve Hydraulics Research Station (1970)'a ait çalışma verilerinin pürüzlü, geçirimli şevler üzerinde alınan yansımaya verileri analiz edilmiştir. Dolos koruma birimlerinin ve taş malzemelerin kullanıldığı yapılar üzerine gerçekleştirilen testler ile yapılan analizlerde Iribarren parametresine bağlı yansımaya katsayısının değişimi incelenmiş ve buna bağlı bir ifade elde edilmiştir (Denklem 3.49). Burada A ve B koruma tabakası elemanına göre değişen katsayılarıdır.

$$K_r = A[1 - \exp(B \times \xi_p)] \quad (3.49)$$

Taş dolgu dalgakıranlar için verilen katsayılar doğrultusunda oluşturulan formül aşağıda görülmektedir (Denklem 3.50).

$$K_r = \frac{1}{2} - \left(\frac{\exp(-0.125 \times \xi)}{2} \right) \quad (3.50)$$

Seeling ve Ahrens (1981) pürüzsüz yüzeyler için ifade edilen denklemin kaba ve geçirimli malzemeden yapılmış yapılar için de geçerli olup a_1 ve b_1 olarak belirtilen katsayıları, yapı topuğunun yüksekliğine, deniz tabanı eğimine, koruma tabakası eğimine bağlı olarak aşağıdaki ifadeyi vermişlerdir. Burada, $a_1=0.6$ ve $b_1=6.6$ 'dır.

$$K_r = \frac{a_1 \times \xi_p^2}{\xi_p^2 + b_1} \quad (3.27)$$

Seeling (1983) Seeling ve Ahrens (1981) çalışmasını geliştirerek, aynı denklemde a_1 ve b_1 katsayılarını yapı türüne göre revize etmiştir. Pürüzsüz yüzeyler için $a_1=0.1$ ve $b_1=5.5$ ve pürüzlü yüzeyler için $a_1=0.6$ ve $b_1=6.6$ 'dır.

Buerger vd. (1988) tarafından filtre tabakası ve koruma tabakasında tetrapod kullanılan taş dolgu dalgakıranlarda yansıma katsayısına dair ifade Seeling ve Ahrens (1981) çalışmasına benzer olarak geliştirmişlerdir.

$$K_r = \frac{0.6 \times \xi^2}{12 + \xi^2} \quad (3.52)$$

Postmar (1989), taş malzemesinden yapılmış eğimli yüzeylerde yansıma katsayısında surf parametresinin etkisinin yanında çekirdek yapısının da etkili olduğunu ileri sürerek iki farklı denklem önermiştir (P, geçirimsizlik katsayısı).

$$K_r = 0.125 \times \xi_p^{0.73} \quad (3.53)$$

$$K_r = 0.14 \times P^{-0.082} \times \cot\alpha^{-0.62} \times S_{0p}^{-0.4} \quad (3.54)$$

Bu doğrultuda, Van der Meer (1992), Postmar (1989) çalışmasına göre ifadeyi geliştirerek dalga yansımasının analizinde tabakanın sayısı ve geçirgenlik faktörünün (P) etkili olduğunu ifade etmiştir. $\xi_{p,vdm} = \tan\alpha^{0.62}/(H_{m0}/L_{0p})^{0.46}$ surf parametresi olarak ve filtre tabakası olduğu durumda, $P=0.4$; filtre tabakası olmadığı durumda ise $P=0.5$ olarak alınmalıdır. Böylece denklem aşağıdaki gibi olur:

$$K_r = 0.07 \times (P^{-0.08} + \xi_{p,vdm}) \quad (3.55)$$

Davidson vd. (1996) dalga yansımasında, dalga yüksekliği, dalga boyu, su derinliği, şev eğim açısı, nominal çap ve koruma tabakasının etkili olduğunu ileri sürmüştür.

Zanuttigh ve Van der Meer (2006), Seeling ve Ahrens (1981) çalışmasından hareketle yüzey tipine ve koruma tabakasının çeşidine göre spektral enerji periyodunun kullanılması ile surf parametresini ifade etmişlerdir.

$\xi_{m-1,0} = \tan\alpha / \sqrt{2 \times \pi \times H_{m0} / g \times T_{m-1,0}^2}$ ve taş ve küp korumasına sahip yapılarda $a=0.12$ ve $b=0.87$ olmak üzere; elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$K_r = \tanh(a \times \xi_0^b) \quad (3.56)$$

Bu denklemin sığ sularda doğru sonuçlar verdiği görülmüştür. Ek olarak pürüzlülük faktörünü içeren denklem oluşturmuşlardır. Bu denklem ile yansıma ve aşma süreçlerini kapsayan bir bağıntı elde edilmiştir.

Muttray vd. (2006) tarafından koruma tabakasında Accropode kullanılan aşma olmayan taş dolgu dalgakıranlar için yansıma katsayısı irdelenmiş ve düzensiz dalgalarda standart sapmanın düşük olduğu ve %40 poroziteye ve 1:1.5 eğimlere sahip taş dolgu dalgakıran yapıları için uygun olduğu elde edilmiştir. Yansıma katsayısına dair denklem aşağıda verilmiştir.

$$K_r = \frac{1}{1.3 + \left(3 \times d \times \frac{2 \times \pi}{L_{0p}}\right)} \quad (3.57)$$

Zanuttigh ve Van der Meer (2008), taş dolgu dalgakıranlarda geçirimsizlik ve yapının yüzey durumuna göre katsayılar belirtmiş ve aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir:

Geçirimsiz pürüzsüz yüzeyler için, $\gamma_f = 1.0$ $a=0.16$, $b=1.43$ 'tür.

Geçirimli dalgakıranlar için, $\gamma_f = 0.4$ $a=0.12$, $b=0.87$ 'dir.

$$K_r = \tanh(A - \xi_0^B) \quad (3.58)$$

$$a = 0.167 \left[1 - e^{-3.2\gamma_f \left(\frac{B}{H_{moi}} \right)} \right] \quad (3.59)$$

$$b = 1.49(\gamma_f - 0.38)^2 + 0.86 \quad (3.60)$$

Carraosco vd. (2021), aşma olmayan taş dolgu dalgakıranlarda dalga yansımaya katsayısı hesabı için deneyler gerçekleştirmiştir. Deneylerde beş farklı model kullanılmıştır. Taş için $D_{n50}=43.9$ mm ve küp blok için $D_{n50}=40$ mm olan nominal çapta ve yapı eğiminin $\cot\alpha = 1.5$ ve $\cot\alpha=3$, su derinliğinin deney boyunca sabit $d=0.40$ m olduğu şartlarda her testin 1000 adet dalga içerdiği deneyler yapılmıştır. Model deneylerinde elde edilen sonuçlar ile yansımaya katsayısında surf parametresinin ana boyutsuz parametre olmadığı ve Vilchez vd. (2016a) ile Diaz-Carrasco vd. (2020) çalışmalarından hareketle, bağımsız değişken olarak göreceli su derinliği, d/L , ile ilişkilendirilmiş bir fonksiyona dayandığı elde edilmiştir. Bu denklem $d/L>3$ aralığında geçerli olmak üzere aşağıda verilmiştir.

$$K_r = (K_{R1} - K_{R0}) \times \left[\left(\frac{h/L}{\alpha} \right)^\gamma \right]^{-1} + K_{R0} \quad (3.61)$$

Bu ifadede yapı eğimine göre katsayılar değişmekte olup, bu katsayılar Tablo 3.6'da verilmiştir.

Tablo 3.6 Yansımaya katsayısı için parametre değerleri (Carraosco vd., 2021)

Yapı Eğimi	K_{R0}	K_{R1}	α	γ
1:1.5	0.3	0.8	0.098	3.73
1:3	0.2	0.8	0.06	3.47

Dalga enerjisinin dönüşümü üzerinde diğer parametrelerin analiz edilmesi gerekmektedir. Bunlar arasında koruma tabakasının pürüzlülüğü ve tabakadaki sıra sayısı, dalga dikliği, dalgakıran topuk geometrisi, kıyı tarafındaki şevin açısı gibi faktörler bulunmaktadır. K_r , $d/L<0.3$ için rölatif su derinliği ile birlikte hızla azalmakta ve $d/L=0.3$ için bir minimum değer elde edilirken $d/L>0.3$ için yansımaya katsayısı (K_r) artış eğilimindedir (Carraosco, 2021).

DÜŞÜK KRETLİ DALGAKIRANLARIN STABİLİTESİ

4.1 Stabilité İfadeleri

Iribarren 1938 yılında taş dolgu dalgakıranlar için stabilizeye dair ilk formülü vermiştir. Bu formülün temeli dalgakıran yapısının eğimli yüzeyi üzerindeki bir taşın yerinden oynaması için gerekli dinamik dalga kuvvetinin, dalgakıranın önündeki dalga yüksekliğine, kuvvetin denk geldiği taşın alanına ve suyun özgül ağırlığına bağlı olarak belirlendiği esas alınarak, taşın ağırlığı ve su kuvvetinin dengesinden oluşan bir kabule dayanmaktadır (Ergin vd., 1971). Bu kabul ve bağıntılardan hareketle Iribarren stabilize formülü ifadesi elde edilmiş olup, aşağıda verilmiştir.

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = (\mu \times \cos \alpha \pm \sin \alpha) \times K^{-1/3} \quad (4.28)$$

Burada,

H_s : Dalgakıran topuğundaki belirgin dalga yüksekliği,

Δ : Rölatif özgül ağırlık,

D_n : Nominal çap

α :Yapı şev açısı

μ ve K :Yapı elemanlarının türüne göre sırasıyla sürtünme katsayısı ve sabit katsayılardır. Buna dair değerler Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1 Yapı eleman türlerine göre μ ve K katsayıları (Ergin vd., 1971)

Yapı eleman türü	μ	K
Doğal kaya	2.28	0.430
Beton blok	2.84	0.430
Tetrapod	3.47	0.656

Hudson (1959) tarafından, Iribarren ifadesi (1938) esas alınarak stabilize formülü geliştirilmiştir. Hudson (1959) çalışmalarında koruyucu tabakanın şeklinin stabilize üzerinde etkili olabileceğini ileri sürerek çalışmalarını genişletmiştir (Yüksel, 2011). Hudson (1959)’ın küçük ölçekli deneylere dayanan stabilize ifadesi

günümüze kadar çok yaygın olarak kullanılmış ve koruma tabakasında taşın ağırlığını veren denklemdir. Bu denklem aşağıda verilmiştir.

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = (K_D \times \cot \alpha)^{\frac{1}{3}} \quad (4.29)$$

Burada, K_D yapı türü, taş sıra sayısı ve dalga şartına göre belirlenen katsayıları ifade etmektedir (CERC, 1984). Bu katsayılar ait şart ve değerler Tablo 4.2’de verilmiştir. Hudson, dalgakıran yapı topuğunda dalganın kırılıp kırılmama durumunu dikkate alarak stabilite katsayılarını vermiştir. Fakat dalga periyodunu, dalgaların geliş açısını ve kıyıya yaklaşan dalgaların düzensizliklerini dikkate almamıştır (Yüksel, 2011).

Tablo 4.2 Hudson (1959) ifadesi için stabilite katsayısı değerleri, K_D (CERC, 1984)

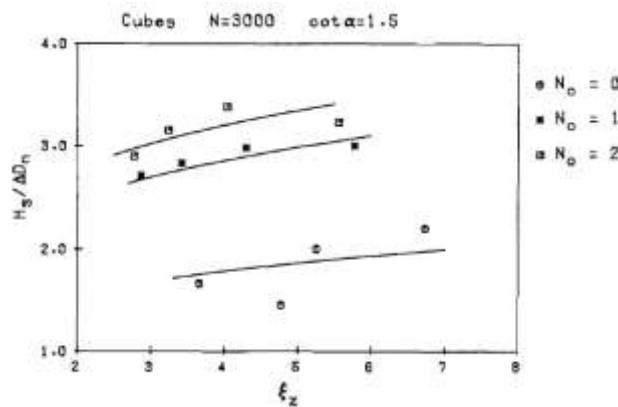
Koruyucu Tabaka	Taş Koruma Sırası (n)	Dalgakıran Gövdesi		Dalgakıran Kafası		Şev Eğimi $\cot \alpha$
		Dalgaların kırılması hali	Dalgaların kırılmaması hali	Dalgaların kırılması hali	Dalgaların kırılmaması hali	
Düzgün ocaktaşı	2.0	1.2	2.4	1.1	1.9	1.5-3.0
Kaba köşeli ocaktaşı	2.0	2.0	4.0	1.9	3.2	1.5
				1.6	2.8	2.0
				1.3	2.3	3.0
Tribar (Fiziksel model çalışması gereklidir)	2.0	9.0	10.0	8.3	9.0	1.5
				7.8	8.5	2.0
				6.0	6.5	3.0
Dolos (Fiziksel model çalışması gereklidir)	2.0	15.8	31.8	8.0	16.0	2.0
				7.0	14.0	3.0
Tetrapod (Fiziksel model çalışması gereklidir)	2.0	7.0	8.0	5.0	6.0	1.5
				4.5	5.5	2.0
				3.5	4.0	3.0

Van der Meer (1988c), taş dolgu dalgakıranlarda stabilite üzerine araştırmalar yapmıştır. Thompson (1975)’in rastgele dalga etkisi altında olan pere kaplama ile yapılmış dalgakıranlar üzerine olan çalışması, Van der Meer (1985)’in, rastgele

dalga etkisi altında olan taş dolgu dalgakıranların stabilitesi üzerine olan çalışması, Van der Meer (1987)'in, dalgakıran koruma tabakası stabilitesi üzerine olan çalışma ve Van der Meer (1988)'in, formülize edilmiş olasılığa bağlı tasarım ile dalgakıranların koruma tabakası üzerine olan çalışmalar Van der Meer (1988c) çalışmasının ana hatlarını oluşturmaktadır. Koruma tabakasında kullanılan taş, küp, Accropode, tetrapod birim elemanlarının stabilite sayısı, hasar başlangıçları ve hasar alma durumları bu çalışmalardan hareketle verilmiş olup, birbiri ile kıyaslamalardan oluşmaktadır. Deneylerde küp için nominal çap D_n , (D , küpün yüksekliği olmak üzere) tetrapodlar için $D_n=0.65D$, Accropode için $D=0.7D$ ve dolos için $D_n=0.54D$ olarak belirtilmiştir.

Koruma tabakasında taş kullanılan taş dolgu dalgakıranlarda şevde plunging ve surging kırılma yapan dalgalar için stabilite ifadeleri Tablo 4.4 Denklem 4.3 ve 4.4'te verilmiştir.

Küp stabilitesi için, dalga sayısının $N=3000$, $\cot\alpha=1.5$ olduğu şartlarda surf parametresine karşılık stabilite sayısı eğrileri çizilmiş ve analiz edilmiştir (Şekil 4.1). Bu analize göre hasarın olmadığı durumda dalga sayısı ihmal edilebilir. Ancak $N=1000$ dalga durumunda herhangi bir blok yerinden oynamazsa, başka bir 1000 adet dalga da blokların hareketini etkilemeyeceği sonucuna varılmıştır. Buradan hareketle, hasar, fırtına süresinin bir fonksiyonu olarak verilmiştir (Tablo 4.4 Denklem 4.5 ve 4.6).



Şekil 4.1 N_s değerine karşılık ξ_z ifadesinin grafiği, Van der Meer (1988c)

Tetrapod stabilitesi için, küp bloklar için yapılan analizin aynısı yapılmış olup, fırtına süresinin stabilite üzerindeki etkisinin küp bloklara göre daha belirgin

olduğu sonucuna varılmıştır. Fırtına süresinin etkisi ise küp bloklar için elde edilen sonuçlar ile aynı elde edilmiştir. Buna dair stabilite sayısına ait denklem Tablo 4.4 Denklem 4.7 ve 4.8’de verilmiştir.

Accropode bloklar, aşma yapan ve yapmayan yapılar üzerinde test edilmiştir. Fırtına süresinin etkisi ve dalga periyodunun etkisi görülmemiştir. Dolayısıyla denklemler iki basit formülle açıklanmakta ve stabilite sayısı Tablo 4.4 Denklem 4.9 ve 4.10’da verilmektedir. Yapılan deneylerde, küp ve tetrapod koruma birimlerinde dalga dikliğinin artmasıyla stabilite sayısının azalma eğiliminde olduğu görülmüştür. Küp ve taşlar ile yapılmış taş dolgu dalgakıranlarda hasar başlangıcının neredeyse aynı olduğu sonucuna varılmıştır. Tetrapodların hasar başlangıçları ise küp ve taş yapılardan daha yüksek olup Accropode blokların hasar başlangıcı ise bu birimlerden daha yüksek elde edilmiştir. Bu bağlamda hasar başlangıcı en düşükten yükseğe doğru sırasıyla taş ve küp, Tetrapod ve son olarak Accropode olmaktadır. Şevde tam hasar durumu ise ilk olarak taş elemanlar ile yapılan şevde görülmüş, ardından küp elemanlarda gerçekleşmiştir. Son olarak tetrapod ve Accropode bloklar ile yapılan şevlerin davranışı birbirine yakın olup, taş ve küplere göre şevde daha geç göçme gerçekleştiği sonucuna varılmıştır.

De Jong (1996), Van der Meer (1988c) tarafından küp beton bloklar için verilen stabilite sayısı denklemini, koruma tabakasında tetrapod kullanılan ve şev üzerinde surging kırılma yapan dalgalar için değiştirmiştir. Bu denklem Tablo 4.4 Denklem 4.11’de verilmiştir. Ayrıca De Jong (1996) tetrapodlar için yaptığı bu çalışmada yerleşim sıklığının ve kret yüksekliğinin etkisini de araştırmıştır. Kret yüksekliği azaldıkça stabilitenin arttığı sonucuna ulaşmıştır. Ayrıca rölatif kret yüksekliğinin R_c/D_n azalması ile stabilite sayısının arttığını bulmuştur. Elde ettiği bu sonuçlar ile tetrapod bloklara ait stabilite sayısı ifadelerini plunging ve surging kırılma durumlarında geliştirmiş olup, bu denklemler Tablo 4.4 Denklem 4.12 ve 4.13 olarak verilmiştir.

Van der Meer (1999) tarafından yapılan çalışmada, Accropode, core-loc küp, tetrapod ve dolos beton elemanlarda stabilite incelenmiştir. Genelde çift sıra olarak inşa edilen bu beton birimlerden, Accropode tek sıra dizilimi ile stabilitesi incelenen ilk beton koruma elemanı olmuştur. Buna ek olarak tetrapodlar ve core-loc

elemanlar için de tek sıra dizilim incelenmiş olup, bu çalışmada beton blokların stabilite sayıları karşılaştırılmıştır.

Van der Meer (1988c) tarafından Accropode bloklar için verilen Denklem 4.9 ve Denklem 4.10 revize edilmiştir. Dalga yüksekliğinin arttığı durumda yapı hasar almaya başladıktan sonra aşamalı olarak hasar almaya devam etmektedir. Bu sebeple, bir katsayı kullanılması önerilmiştir. Accropode için verilen bu denklem (Tablo 4.4 Denklem 4.14) küp ve tetrapod tasarım değerlerine oldukça yakın olduğu sonucuna varılmıştır. Core-loc beton elemanın davranışı Accropode ile benzerdir. Stabilitesi daha büyük olup Core-loc bloklara ait denklem 1:1.33 eğim için Tablo 4.4 Denklem 4.15’de verilmiştir.

Bu çalışmada, tek sıra bloklar ile oluşturulan koruma tabakalarında hasar başlangıcının çok yüksek stabilite sayılarında gerçekleştiği görülmüştür. Bununla birlikte hasar başlangıcı genelde ani bir yıkım ile gerçekleşmektedir. Bunu iyileştirmek ve belli bir aralık vermek için bazı güvenlik katsayıları kullanılmıştır. Böylece dalga yüksekliğinin artmasıyla çift sıralı sistemlere karşı daha stabil olabileceği öne sürülmüştür. Ayrıca tek sıra yerleştirilen küpler için önerilen tasarım değerleri Accropode bloklar için benzer güvenilir aralıklarda sonuç verdiği görülmüştür. Buradan yola çıkarak, tasarım için bulunan denklem Tablo 4.4 Denklem 4.16’da verilmiştir. Çalışma ile tek sıra küp dizilimi ile tasarlanan yapıların ilgi çeken bir çözüm olduğu ve küplerin kalıplarının üretimi, Accropode ve core-loc’un karmaşık şekillerine göre daha kolay ve daha ucuz oluşu, yerleştirilmesinin daha kolay oluşu avantaj olmaktadır. Ancak pratik deneyimin eksik olduğu ifade edilmiştir. Tek sıra küp bloklar dalga etkisi altında açık deniz tarafındaki şevde stabilitesini koruduğu durumda dahi, kret bölgesinde dalgaya çok maruz kaldığı zaman bu küp bloklar stabilitesini koruyamayacaktır. Dolayısıyla yapıda aşma %10’ dan az ise tek sıra küp blokların kullanımının uygun olduğu ifade edilmiştir. (Van der Meer, 1999). Bu nedenle, tek sıra küp yerleşiminin, yalnızca aşma olmayan yapılarda tasarlanması önerilmiştir.

Van Gent vd. (1999) tarafından tetrapod, taş ve küp ile tek sıra dizilimlerde stabilite analizi yapılmıştır. Burada nominal çapı $D_n=0.036$ m olan küp bloklar yerleştirildiği alt sıraya bir yüzü düz olacak şekilde rastgele olarak dizilmiştir. Model deneylerinde farklı poroziteler ve farklı $M_{50, \text{filtre}}/M_{\text{koruma tabakası}}$ oranlarına sahip filtre tabakaları oluşturulmuştur. Buna dair değerler Tablo 4.3’ de verilmiştir. Deneyler,

yapının düşük porozitede olması ile ($p=0.25$) yapının daha stabil olmasına ve daha az yer değiştirmeye izin vermesiyle sonuçlanmıştır. $M_{50, \text{filtre}}/M_{\text{koruma tabakası}}$ oranı küçük olan model deneylerinde koruma tabakasındaki boşluklar sebebiyle yapının erozyona uğradığı görülmüştür. Bu oranın daha büyük olduğu (Tablo 4.3’de verilen orta derecelendirmeden büyük) model deneylerinde ise yapının daha az stabil bir koruma tabakası oluşmasına yol açmıştır. Dalga dikliğinin yapının stabilitesi üzerine bir etkisine dair sonuç elde edilmemiştir. Su derinliğinin yüksek olduğu ve dalga yüksekliğinin küçük olduğu deney şartlarında hasar başlangıcı görülmüş ve yapı tam hasara uğramıştır. Van Gent vd. (1999)’ne göre, bu durum $H_{\%2}/H_s$ oranı ($H_{\%2}$, tüm dalga yüksekliklerinin %2’si tarafından aşılan dalga yüksekliklerini temsil etmektedir) ile ilişkili olabileceği ifade edilmiştir. Derin su koşullarında yüksek olan $H_{\%2}/H_s$ oranı ve büyük dalgaların yapıyı daha fazla etkileyeceği ileri sürülmüştür.

Analizler ile elde edilen sonuçlar (Tablo 4.4 Denklem 4.17 ve 4.18) Accropode ile core-loc elemanlarının benzer davrandığı ve büyük dalga yüksekliklerinde tam hasar gerçekleşebildiği görülmüştür. Çift sıralı yapılarda koruma tabakası bloklarının ağırlığından kaynaklı ve birbirine bitişik olarak dizilmiş bloklar arasındaki temas kuvvetlerinden kaynaklı olarak yapıda bozucu etkilere karşı dayanıklılık oluşmaktadır. Ancak tek sıra koruma elemanlarından oluşan yapılarda bu durum gözlenmezken, tek sıra olmasından dolayı koruma tabakası yüzeyi daha düz ve pürüzsüz bir yüzey gibi davranıp daha az dalgaya maruz kalmaktadır. Bu sebeple, tek sıra küp blok kullanılan yapıların koruma tabakalarının performansının çift sıra yapılara göre daha iyi olduğu ifade edilmiştir.

Küp koruma tabakaları ile imal edilmiş dalgakıranlarda gövde ve kafa bölgelerinde stabilite sayıları Tablo 4.4 Denklem 4.19, 4.20, 4.21 ve 4.22’de verilmiştir (CIRIA, 2007). Deneylerde, yapının eğimi, 1:1.5 olup, çift sıra dizilimlerde hasar seviyesi %5 ve tek sıra dizilimlerde ise rölatif hasar “0” olarak kabul edilmektedir. Rölatif hasarın 0.2 olma durumu ise tam hasar olarak kabul edilmektedir. Kafa stabilitesi için şimdiye dek bir çalışma yapılmamıştır. Fakat çift sıra küp bloklarla yapılmış koruma tabakalarında kafa bölgesindeki stabilite sayısının gövde bölgesindeki stabilite sayısından daha düşük olması gerektiği önerilmektedir.

Van Gent vd. (2001), Triemstra (2000) tarafından normal yoğunluktaki ($D_n=0.0443$ m, $\rho_c=2328$ kg/m³) ve yüksek yoğunluktaki ($D_n=0.0221$ m, $\rho_c=3907$ kg/m³) beton

küp blokların tek sıra yerleştirilmesine dair deney sonuçlarını analiz etmişlerdir. Fiziksel model kurulumu, Van Gent vd. (1999) çalışmasına benzerdir. Model deneyleri 0.25, 0.3 ve 0.4 olarak üç ayrı porozitede ve Tablo 4.3’de verildiği üzere farklı deney koşullarında gerçekleştirilmiştir. Genel olarak, düşük porozitede ($p=0.25$) daha yüksek stabilite elde edilmiştir. $M_{50, \text{filtre}}/M_{\text{koruma tabakası}}$ değerleri 1/10, 1/20 ve 1/75 olarak yapılan deneylerde oranın 1/75 olduğu küçük filtre tabakası koşullarında, taşlarının yıkanmasıyla boşluklar oluşmuş ve yapı stabilitesi düşmüştür. Daha büyük filtre tabakasında ise (küp blok kütlelerinin 1/10’u) yapı stabilitesi daha iyi bir performans sergilemiştir. Ayrıca küçük dalga dikliklerinde, dalga yüksekliğinin düşük olduğu koşulda hasarın başlamasına sebep olan bir eğilim olduğu sonucuna varılmıştır. Porozitenin $p=0.30$ olduğu durumda, normal ve yüksek yoğunluktaki küpler için başlangıç hasarı, aynı N_s değerinde meydana gelmiştir. $p=0.25$ için normal yoğunluktaki küplerin başlangıç hasarı, yüksek yoğunluktaki küplere göre biraz daha yüksek stabilite sayılarında meydana gelmiştir.

Van Buchem (2009) tarafından, düzenli olarak yerleştirilmiş tek sıra küp kullanılarak fiziksel model çalışmaları yapılmıştır. Deneylerde, $D_n=0.045$ m, $\rho_c=1875$ kg/m³’ tür. Her deneyde 1000 adet dalga kullanılmıştır. Sonuçlarda, düşük yapı şev eğiminin (1D:2Y) 1D:1.5Y eğimli deneylere göre daha az stabil olduğu görülmüştür. Yapı porozitesinin $p=0.28$ olduğu deneylerde stabilite için en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Yine dalga dikliğinin büyük olduğu deneylerde yapıda daha fazla hasar meydana geldiği görülmüştür.

Almeida (2013), Van Gent (1999)’in model deneylerini tekrar etmiştir. Küp blokların tek sıra düzenli yerleşimi ile $D_n=0.036$ m, $\rho_c=2433$ kg/m³ olmak üzere, $p=0.25$ ve $p=0.30$ poroziteleri ile deneyler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlara göre düşük yapı porozitesi, $p=0.25$ ile yapılan deneylerde stabilitenin yüksek olduğu sonucu elde edilmiştir. Büyük porozite kullanılması kret ile şev arasındaki geçişlerde boşluklar oluşmasına neden olduğu ifade edilmiştir. Küp blok kütlelerinin 1/20 ila 1/10’u arasında tasarlanan filtre tabakası gradasyonu, 1/50’sine kıyasla daha stabil olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda Van Gent (1999) ve Van Gent (2001) ile Triemstra (2000) çalışmalarına benzer sonuçlar elde edildiği görülmüştür. Dalga dikliğinin $S_0=0.06$ olduğu deneylerde yapının daha stabil olduğu tespit edilmiştir fakat dalga dikliğinin $S_0=0.05$ değerinde hasar daha erken başlamıştır.

Almeida (2013)' e göre, su seviyesinin yüksek olduğu durumda, yapının neredeyse batık duruma geldiği ve hasar başlangıcının krette meydana geldiği ve ardından şeve doğru yayıldığı için yapının hasar alıp, tam hasara uğraması daha hızlı gerçekleşmektedir. Sonuçlar genel olarak Van Gent vd. (1999) ile benzerdir. Ancak daha yüksek stabilite sayıları elde edilmiştir. Van Gent vd. (1999) çalışmasına göre gerçekleşen bu farklılıkların nedeni tam olarak bulunamamıştır. Ancak Van Gent vd. (1999) çalışmasında küp bloklar alt sıraya bir yüzü düz olacak şekilde rastgele olarak yerleştirilmiştir. Bu deneyde ise düzenli bir yerleşim söz konusudur.

Van der Lem vd. (2016), 2B fiziksel model deneyleri ile 1D:1.5Y şev eğiminde düzenli tek sıra yerleştirilmiş küp blokların stabilitesini incelemiştir. Stabilite sayısının, $N_0 > 0.2$ olarak kabul edilen yapının tam hasar alıp göçmenin gerçekleştiği durum için, bu deneylerde stabilite sayısı yaklaşık olarak $N_s = 2.5$ değerinde elde edilmiştir. $N_0 > 0.05$ için stabilite sayısı $N_s = 2.3-3.9$ sayıları arasında olup, $N_0 > 0.2$ için stabilite sayısı ise $N_s = 2.5-4.5$ arasında değişmektedir, bu da tüm deneyler dikkate alındığında elde edilen değerlerden daha büyük olduğu sonucuna varırmıştır.

Tüm çalışmalara ait fiziksel şartlar ve deneylerin yapıldığı deney koşulları farklı olup bu özellikler aşağıda verilen Tablo 4.3' te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Literatürde stabilite ifadelerine ait deney şart ve özellikleri

Araştırmacı	Deneylerde kullanılan küp bloklarda yerleşim düzeni	Porozite	Yapı eğimi ($\cot\alpha$)	$M_{50, \text{filtre}}/M_{\text{koruma tabakası}}$	Topuktaki yükseklik (H_{topuk})	R_c/D_n	Dalga dikliği (S_{0m})
Van der Meer (1988c)	Taş, küp ve Tetrapod-Düzensiz Accropode-Düzensiz		1.5 1.3 3		0.4		0.02-0.11 arasında değerler
Van Gent vd. (1999)	Düzensiz	0.25	1.5	1/10-1/5	0.3	2.1	0.03
		0.3		1/20-1/10	0.43	5.2	0.05
		0.4		1/50.0	0.5	11.1	0.06
Van Gent vd. (2001)	Düzensiz	0.25	1.5	1/10	0.3	9.1	0.02
		0.3		1/20	0.5	18.2	0.04
		0.4		1/75			0.06
Van Buchem (2009)	Düzenli	0.2	1.5	1/20-1/10	0.5	6.7	0.02
		0.28	2				0.04
		0.35					0.06
Almeida (2013)	Düzenli	0.25	1.5	1/20-1/10	0.3	2.2	0.03
		0.3			0.5	5.2	0.05
				1/50			0.06
Van Gent (2014)	Düzensiz	0.25	1.5	N/A	0.65	N/A	0.036
					0.8		0.048
Van der Lem vd. (2016)	Düzenli	0.28	1.5	1/17-1/6	2.07	4.2	0.01 0.02

Tablo 4.4 Literatürde bulunan stabilite sayısına dair mevcut denklemler

Araştırmacı	Açıklama	Denklem	
Van der Meer (1988c)	Taş koruma plunging tipi kırılma	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} \times \xi_z = 6.2 \times P^{0.18} \times \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2}$	(4.3)
	Taş koruma surging tipi kırılma	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 1.0 \times P^{-0.13} \times \left(\frac{S}{\sqrt{N}}\right)^{0.2} \times \sqrt{\cot \alpha} \times \xi_z^P$	(4.4)
	Çift sıra küp beton blok	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = \left(6.7 \times \frac{N_0^{0.4}}{N^{0.3}} + 1.0\right) \times S_{0m}^{-0.1}$	(4.5)
	Hasar olmama durumunda, $N_{0d}=0$ için	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 1.0 \times S_{0m}^{-0.1}$	(4.6)
	Tetrapod beton bloklar	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = \left(3.75 \times \frac{N_0^{0.5}}{N^{0.25}} + 0.85\right) \times S_{0m}^{-0.2}$	(4.7)
	Hasar olmama durumu, $N_{0d}=0$	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 0.85 \times S_{0m}^{-0.2}$	(4.8)
De Jong (1996)	Accropode beton blok	Hasar başlangıcı, $N_0=0$ olma durumu $\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 3.7$ Yapının göçtüğü durum, $N_0>0.5$ durumu $\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 4.1$	(4.9) (4.10)
	Tetrapod beton blok (Surging tipi kırılma)	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = \left(8.6 \times \left(\frac{N_{0d}}{\sqrt{N}}\right)^{0.5} + 3.94\right) \times S_{0m}^{0.2}$	(4.11)
	Tetrapod beton blok (Surging tipi kırılmada farklı bir ifade)	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = \left(3.75 \times \left(\frac{N_{0d}}{\sqrt{N}}\right)^{0.5} + 0.85\right) \times f(\emptyset) \times S_{0m}^{0.2} \times f(R_c/D_n)$	(4.12)
Van der Meer (1999)	Tetrapod beton blok (Plunging tipi kırılmada farklı bir ifade)	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = \left(8.6 \times \left(\frac{N_{0d}}{\sqrt{N}}\right)^{0.5} + 3.94 \times f(\emptyset)\right) \times S_{0m}^{0.2} \times f(R_c/D_n)$	(4.13)
	Tek sıra Accropode	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 2.5$	(4.14)
	Tek sıra Core-loc	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 2.78$	(4.15)
	Tek sıra küp blok	$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 2.2$	(4.16)

Tablo 4.4 Literatürde bulunan stabilite sayısına dair mevcut denklemler (devamı)

Van Gent (1999)	Tek sıra küp blok	Hasar başlangıcı durumu, ($N_0 = 0$) $\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 3.0$	(4.17)
		Tam hasar durumu, ($N_0 = 0.2$) $\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = 3.75$	(4.18)
	Çift sıra küp blok	Gövdede; $N_s=2.0-2.4$ Kafada; $N_s=1.95$	(4.19) (4.20)
	Tek sıra küp blok	Gövdede; $N_s=2.2-2.3$ Kafada; $N_s=N/A$	(4.21) (4.22)

4.2 Hasar Tanımları ve Modları

Hasar, genelde yüzdesel olarak ifade edilse de bu ifadede eksiklikler mevcuttur. Hasar, eğim açısına ve koruma tabakasındaki toplam blok sayısına bağlıdır. Bu nedenle farklı araştırmalardaki modellerin karşılaştırılması zor olabilmektedir (Van der Meer, 1988c).

Hudson'a göre stabilite sayısı aşağıda verildiği gibi tanımlanmıştır:

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = K_D \times (\cot \alpha)^{\frac{1}{3}} = f(\cot \alpha) \quad (4.23)$$

Van der Meer (1988a ve b) tarafından taş koruma tabakalı yapılar için stabilite sayısı:

$$\frac{H_s}{\Delta \times D_n} = f(\cot \alpha, T_m, N, P, S) \quad (4.24)$$

Burada;

H_s : Yapı topuğundaki belirgin dalga yüksekliği,

Δ : Rölatif özgül ağırlık,

D_{n50} : Nominal çap (küp için)

α : Şev açısı

T_m : Ortalama periyot

P : Geçirimlilik sayısı

S : Hasar seviyesi (taş için)

4.3 Hasar Ölçümü

Dalgakıran koruma tabakasına yerleştirilen küp blokların hasar durumlarını belirlemek ve stabilite sayısını hesaplamak amacıyla bir sınıflandırma yapılmaktadır. M düzeyli hareketlenmeler ve D düzeyli hasarlar olarak, blokların nominal çapının (D_n ve D_n katları kadar) hareket etmesi esas alınarak bu hasar sınıfları kategorize edilmiştir (Tablo 4.5).

Tablo 4.5 Hareket eden ve yer değiştiren bloklar için hasar sınıfları

M düzeyi (Hareket eden bloklar)		D düzeyi (Yer değiştiren bloklar)	
M₁	0.0-0.5× D_n	D₁	1.0-2.0× D_n
M₂	0.5-1.0× D_n	D₂	>2.0× D_n
M_T	0.0-1.0× D_n	D_T	>1.0× D_n

Hasar Oranı

Hasar oranı referans alanı içinde yer alan küp blokların hareketlerine göre yüzdelik olarak hesaplanmaktadır. Hareketlenmedeki hasar oranı ve yer değiştirmedeki hasar oranları sırasıyla Denklem 4.25 ve 4.26’da görülmektedir.

$$\text{Hasar Oranı (M)} = \frac{\text{Referans alanı içinde hareket eden küp blokların sayısı}}{\text{Referans alanı içindeki toplam küp blok sayısı}} \quad (4.25)$$

$$\text{Hasar Oranı (D)} = \frac{\text{Referans alanı içinde yer değiştiren küp blokların sayısı}}{\text{Referans alanı içindeki toplam küp blok sayısı}} \quad (4.26)$$

Rölatif Hasar 1

Van der Meer (1988b)’e göre rölatif hasar yer değiştirmeye bağlı olarak belirlenmektedir. Küp elemanların dalga etkisiyle hareket etmesi esnasında hasara uğramış ve kütlelerinde değişim olan elemanların hareketlerini tanımlayan bir ifade önerilmiştir. Bu ifadeye göre,

- Hasarın olmaması durumu
- Bir elemanda “kıpırdanma” düzeyinde hareket olması durumu:

$$N_{0<0.5} = \frac{n_r}{B_{\text{model}}/D_n} \quad (4.27)$$

c) Elemanların "kayma" düzeyinde hareketi olması durumu:

$$N_{0>0.5} = \frac{n_{sl}}{B_{\text{model}}/D_n} \quad (4.28)$$

d) Elemanlarda "yer değiştirme" düzeyinin olması durumu:

$$N_0 = \frac{n_0}{B_{\text{model}}/D_n} \quad (4.29)$$

Van der Meer (1988b) çeşitli sonuçlarının karşılaştırılmasını kolaylaştırmak adına referans alanı olarak şevin tamamını seçmiştir. Hasar değerlendirmesinde ise, hasar gören yani yer değiştiren küp blokları dikkate almıştır. Küp bloklardaki kırıldanma ve kayma düzeyini hasar olarak değerlendirmemiştir. Dolayısıyla yer değiştirme yapan koruma elemanları için rölatif hasar aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$N_{0,\text{mov}} = N_0 + N_{0>0.5} \quad (4.30)$$

n_r : Kırıldama yapan elemanların sayısı

n_{sl} : Kayma yapan elemanların sayısı (0.5D_n ile 2D_n arasındaki hareket halidir).

n_0 : Yer değiştirme yapan elemanların sayısı (2D_n'den büyük hareket halidir).

Rölatif Hasar 2

Bir diğer tanımlama ise Hudson tarafından yapılmıştır. Beton bloklu yapılar için dalgakıran şevinde (yapının boyuna ekseni boyunca) 1.D_n genişliğindeki şerit içerisinde yer değiştiren birimlerin sayısı olarak tanımlanmaktadır. Bu formül yapıda tolere edilebilir hasar oranının görüldüğü topuğa gelen dalga yüksekliğine dayanmaktadır.

$$N_0 = \frac{n_y}{B_{\text{model}}/D_n} \quad (4.31)$$

Burada,

n_y : Referans alanında 1. D_n 'den fazla yer değiştiren blokların sayısı

B_{model} : Referans alanındaki etkili genişlik

D_n : K    n nominal   apı



5.1 Ölçeklendirme

Deneysel çalışmalarda oluşturulan laboratuvar modellerinin prototipteki davranışını uygun bir şekilde benzeştirmek ve doğru analiz edebilmek amacıyla prototip ve bunların modelleri arasında bazı benzerlik kriterlerinin sağlanması gerekmektedir. Bunlar geometrik, kinematik ve dinamik benzerliklerdir.

Düşük kretli dalgakıranlarda stabilite, iletim ve yansıma analizlerinin incelemesi amacıyla hazırlanan bu deneysel çalışmaya ait modeller için yapılan ölçeklendirme spesifik bir prototip referans alınarak yapılmamıştır. Bu bağlamda modele ait boyutlar, dalga özellikleri, deneylerin gerçekleştirildiği dalga kanalı, dalga üretici gibi sınırlar çerçevesinde kalan küp bloklar üzerinden ölçeklenmiş olup, bu ölçek etkileri ve benzerlikler model üzerinden açıklanacaktır.

5.2 Ölçek Etkileri

Laboratuvar ortamında yapılan modeller, prototipin kontrol edilebilir bir versiyonu olarak davranış göstermelidir. Bu benzer davranış ancak tüm etkili faktörlerin modelde ve prototipte aynı orana sahip olduğu durumlarda elde edilmektedir. Bu bağlamda akışkanlar mekaniğinde benzerlik üç sınıfta incelenmektedir. Bunlar geometrik, dinamik ve kinematik benzerliklerdir.

Geometrik benzerlik, prototip ile modelin birbirlerine karşılık gelen tüm lineer boyutlarının oranlarının eşit olması durumunda elde edilir. Geometrik benzerlikte sadece şekil benzerlikleri dikkate alınır, modelin herhangi bir hareketinden bağımsızdır.

Bu çalışmada model ve prototipin geometrik açıdan ölçü oranları eşittir. Dolayısıyla geometrik benzerlik aşağıda verildiği üzere açıklanabilmektedir.

$$K = \frac{X_M}{X_P} = \frac{Y_M}{Y_P} = \frac{Z_M}{Z_P} \quad (5.30)$$

Burada, X_M , Y_M , Z_M modele ait boyutlar, X_P , Y_P ve Z_P ise prototipe ait boyutlardır. K ise uzunluk ölçek oranıdır.

Kinematik bilimi, konum-zaman arasındaki ilişkiyi incelemektedir. Bu sebeple, kinematik benzerlik model ve prototipte akışkan parçacıkları arasındaki hareket benzerliğini ifade etmektedir. Model ve prototipteki birbirine karşılık gelen aynı noktalarda dikkate alınan akışkan taneciklerinin hızlarının aynı yönde ve belli bir ölçek oranı kadar farklı büyüklükte olması ile model ve prototip kinematik benzer olarak kabul edilebilmektedir.

$$C_V = \frac{V_{M1}}{V_{P1}} = \frac{V_{M2}}{V_{P2}} \quad (5.31)$$

$$C_a = \frac{a_{M1}}{a_{P1}} = \frac{a_{M2}}{a_{P2}} \quad (5.32)$$

Dinamik benzerlik ise, geometrik ve kinematik olarak benzer olan model ve prototipteki vektörel kuvvetlerin oranlarının aynı olmasıdır. Bir model ile prototipinin tamamen benzer olması için tüm boyutsuz parametrelerde benzerliklerinin olması gerekir. Genel olarak, tüm kıyı ve liman mühendisliği problemleri özelinde yüzeysel gerilme ve sıkışabilirlik göreceli olarak küçük olup ihmal edilebilir ölçüdedir. Dolayısıyla en önemli boyutsuz parametreler olarak Froude ve Reynolds sayıları ele alınmaktadır.

Froude sayısı, bir hidrolik modelde atalet kuvveti ile yer çekimi kuvvetlerinin oranını ifade etmektedir. Bu bağlamda bir benzerliğin oluşması demek, model ve prototipe ait Froude sayılarının birbirine eşit olması anlamına gelmektedir. V hızı, L ise uzunluğu temsil etmekte olup, Froude sayısı aşağıda verildiği gibi yazılabilir:

$$F_r = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}} \right)_M = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}} \right)_P \quad (5.33)$$

$$K_V = \frac{V_M}{V_P}, \quad K_L = \frac{L_M}{L_P} \quad \text{ve} \quad K_g = 1.0 \quad (\text{Yer çekimi ölçekli değildir}). \quad (5.34)$$

Buradan eşitlik;

$$K_V = \sqrt{K_L^n} \quad (5.35)$$

şeklinde yazılabilir.

Froude ölçek kanunu, atalet kuvvetlerinin yer çekimi kuvveti ile dengelendiği genel olarak serbest yüzeyli akımlarda etkili bir kanundur.

Reynolds sayısı, atalet kuvvetinin viskoz kuvvetine göre önemini ifade etmektedir. ν , kinematik viskoziteyi göstermek üzere Reynolds sayısı aşağıda verildiği üzere yazılmaktadır.

$$Re = \left(\frac{VL}{\nu} \right)_M = \left(\frac{VL}{\nu} \right)_P \quad (5.36)$$

$$K_V = \frac{V_M}{V_P} \quad (5.37)$$

$$K_L = \frac{L_M}{L_P} \quad (5.38)$$

$$K_v = \frac{\nu_M}{\nu_P} = 1.0 \quad (5.39)$$

$$K_V = \frac{1}{K_L} \quad (5.11)$$

Reynolds benzeşimi, viskoz kuvvetlerin etkili olduğu akımları modellemek üzere kullanılmaktadır. Serbest yüzeyli akımlarda yer çekimi viskoziteye göre daha etkili olmaktadır. Bu sebeple bu çalışmada Froude benzeşimi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında kullanılacak dalga yükseklikleri ise Hudson yöntemi ile küp blok elemanların stabilite hesabından yola çıkılarak belirlenmiştir (Gülver, 2017).

Froude ve Reynolds benzeşimleri görüldüğü gibi eş zamanlı olarak sağlanamamaktadır ($K_V = \frac{1}{K_L}$ ve $K_V = \sqrt{K_L}$). Serbest yüzeyli akımlarda ağırlık viskoziteye göre daha etkin olduğundan Froude benzeşimi kullanılması tercih edilmektedir. Bu nedenle Froude benzeşimi viskoz ölçek etkisi başta olmak üzere, yüzeysel gerilme, sürtünme ve havalandırma etkilerinde hatalı ölçeklendirmeye neden olduğundan dikkate alınarak incelenmelidir.

Viskoz ölçek etkisi,

Küçük Reynolds sayılarının olduğu akımlarda büyük viskoz kuvvetler oluşmaktadır. Viskoz kuvvetlerin oluşmasıyla, akımdaki direnç artar ve bu artış dalgakıranlarda alt tabakaya ve çekirdeğe olan iç ve dış akımı azalmaktadır. Böylece prototipe göre Reynolds sayısının küçük olduğu modellerde yapının içinden daha az enerjinin iletildiği ve daha büyük bir dalga enerji yansımalarının gerçekleştiği öne sürülmüştür. Burcharth vd. (1999) tarafından dalga tırmanma ve geri çekilme hızlarının çok büyük olmasıyla tırmanma miktarının büyük ve koruma tabakasında stabilitenin çok düşük olmasına ve böylece daha emniyetli stabilite katsayılarına sebep olmaktadır. Çalışılan modelin çekirdek tabakasına ait malzemenin boyutları arttırılarak geometrik uzunluk ölçeğinin hesaplanıp, gerektirdiğinden daha fazla arttırılmasıyla bu durum engellenebilmektedir.

Hughes (1993), Frens (2007), Wolter vd. (2010) ve Yüksel vd. (2020)'e göre çekirdekdeki Reynolds sayısı 2×10^3 'ten büyükse akım türbülanslı ve prototipe uygun olup viskoz etkileri ihmal edilebilir ölçüdedir. Bu alışmada Reynolds sayısı hesaplanmıştır.

$$U = \frac{P \times H_s \times L}{2 \times d \times T} = \frac{0.49 \times 0.14 \times 5.63}{2 \times 0.6 \times 1.16} = 0.28 \text{ m/s} \quad (5.12)$$

$$Re = \frac{U \times D_{n50}}{\nu} = \frac{0.28 \times 0.019}{1.33 \times 10^{-6}} = 4 \times 10^3 \quad (5.13)$$

Burada değişkenler ve çalışmaya ait parametrelerin değerleri:

P : Porozite, (P=0.49)

H_s : Topuktaki belirgin dalga yüksekliği, (H_s=0.14 m)

L : Dalga boyu, (L=5.63 m)

D : Su derinliği, (d=0.60 m)

T : Topuktaki ortalama dalga periyodu, (T=1.16 s)

D_{n50} : Alt tabaka taş çapı, (D_{n50}=0.019 m)

ν : Kinematik viskozite, (ν=1.33×10⁻⁶)

Çekirdek içerisindeki akım için Reynolds sayısı $Re = 4 \times 10^3$ olarak, 2×10^3 değerinden büyük elde edilmiştir. Bu değere göre akım türbülanslı olarak tanımlanmıştır. Buradan yola çıkılarak, model ve prototip arasında benzerlikler kurulmuş olup viskoz ölçek etkilerinin ihmal edilebilir olduğu gösterilmiştir.

Yüzey gerilimi ölçek etkisi,

Yüzey gerilimi kuvvetlerinden kaynaklanan ölçek etkileri, su derinliğinin çok sığ olması ya da çok küçük dalga yüksekliklerinin olduğu durumlarda önem arz etmektedir. Le Mehaute (1976) çalışmasına göre su derinliğinin 2 cm'den az ve dalga periyodunun 0.35 saniyeden az olduğu durumlarda yüzey gerilimi etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir (Hughes, 1993).

Bu çalışmada ise gerek su derinliği gerekse dalga periyodu gerektiği kadar büyük olduğundan yüzey geriliminden doğan ölçek etkisi ihmal edilmektedir.

Sürtünme ölçek etkisi,

Sürtünme ölçek etkisi iki şekilde düşünülebilmektedir. Biri tabandan kaynaklı sürtünme etkisi olup, diğeri ise koruma elemanları arasındaki sürtünme kaynaklı etkidir. Hudson vd. (1979) çalışmasına göre bir modelde dalganın ilerleme mesafesi uzun ise tabanda sürtünme ölçeğinin etkisi önem arz etmektedir. Göreceli olarak büyük taş dolgu modellerinde bu durum geçerli olmayıp, dikkate alınmamaktadır. Koruma tabakasında kullanılan elemanlar arasındaki sürtünme etkileşimi yapının davranışında önemlidir fakat dalganın çok etkin olduğu modellerde bu sürtünme etkisi göz ardı edilmektedir. Küçük ölçekli fiziksel deneylerde elemanların yüzeyi daha pürüzlü olması sebebiyle modelin koruma tabakası elemanları arasındaki sürtünme kuvveti ile prototipi arasında benzerlik olmamaktadır.

Hudson ve Davidson (1975) modele ait koruma birimlerinin prototipe göre daha pürüzsüz olması durumunda daha güvenilir stabilite sonuçları elde edilebileceğini öne sürmüşlerdir. Dolayısıyla bu deneysel çalışmada, koruma tabakasında kullanılan küp elemanlar zımparalanarak ve boyanarak pürüzsüz hale getirilmiştir.

Havalandırma ölçek etkisi,

Deney model yapısı üzerine gelen dalgaların yapı üzerinde kırılması sonucu koruma tabakası elemanları etrafında hızla hareket etmesiyle oluşan akımın ayrılmasıyla hava kabarcıkları oluşur (Frens, 2007). Dalga etkisiyle taşınan hava kabarcıklarının modelde benzerlik göstermeyeceği belirtilmiştir. Çünkü Weber sayısı $(We = (p \times V^2 \times L) / \sigma)$ model ve prototip arasında benzerlik göstermemektedir. Bu durum, hava kabarcıklarının modelde prototipe göre daha büyük olacağı anlamına gelmektedir. Bu da modelde hava kabarcıklarından doğan enerji kaybının daha fazla olmasına neden olmaktadır. Bu nedenle taş dolgu dalgakıran şevlerinde toplam enerji kaybı olması gerektiğinden daha büyük olup, dalga tırmanmasının eksik hesaplanmasına neden olacaktır. Taş dolgu dalgakıranlara göre düşük kretli dalgakıranlarda ise enerji kaybı daha az olacaktır ve bu durum dalga tırmanması, aşmasını etkileyecektir.

5.3 Çevresel Parametreler, Yapısal Parametreler ve İlgili Boyutsuz Sayılar

Deniz yapılarının tasarımında en önemli çevresel parametre dalgadır. Dalgalar genellikle yüksekliği, periyodu ve uzunluğu ile tanımlanmaktadır. Doğada gözlenen dalgalar düzensiz olduklarından fırtınaları tanımlayan karakteristik parametrelere ihtiyaç vardır. Bu karakteristik dalga parametrelerinin belirlenmesinde sıfırı kesme ya da spektrum analizi kullanılmaktadır. Bu karakteristik parametrelere bağlı olarak, dalganın çeşitli boyutsuz parametreleri elde edilmektedir.

5.3.1 Çevresel parametreler

Su derinliği

Deniz yapılarının tasarımında su seviyesi önem arz etmektedir. Ortalama su seviyesi (OSS, MWL), belirli bir dönem boyunca deniz seviyesinin ortalama yüksekliği olarak tanımlanır. Su derinliği dalga parametrelerinin değişiminin sınıflandırılmasında etkilidir. Özellikle kıyı mühendisliğinde hidrolik model deneylerinde dalga kanalında bazı kısıtlamalar mevcuttur. Bunlardan biri de dalga kanalının sınırlı bir derinliğe sahip olmasıdır. Güvenilir deneyler gerçekleştirmek için su derinliği, $d \geq 3 \times H_s$ şartına uygun olmalıdır. Dalga kanalında üretilcek en

yüksek belirgin dalga yüksekliğinin 3 katından büyük su derinliğine ihtiyaç vardır. Aksi takdirde büyük dalgalar kırılacağından dalga yüksekliği dağılımı değişecektir.

Dalganın yüksekliği arttıkça aşan dalga miktarı da fazla olacaktır. Bu da su derinliğinde üst limitin önemli olduğu anlamına gelmektedir.

Dalga yüksekliği

Ardışık dalga tepesi ile dalga çukuru arasındaki düşey mesafe dalga yüksekliğini tanımlamaktadır. Dalgaların maksimum yüksekliği (H_{max}), ortalama dalga yüksekliği (H_m), belirgin dalga yüksekliği (H_s , $H_{1/3}$), dalga yüksekliklerinin karelerinin ortalaması (H_{rms}), en yüksek 1/n dalga yüksekliklerinin ortalaması ($H_{1/n}$) zaman alanında yapılan analizler ile elde edilirken spektral belirgin dalga yüksekliği olan H_{m0} ise spektrum analizinden elde edilmektedir.

Belirgin dalga yüksekliği, bir dalga kaydındaki en yüksek 1/3 dalga yüksekliklerinin ortalama değeridir.

$$H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{i=1}^{N/3} H_i \quad (5.14)$$

Spektral belirgin dalga yüksekliği ise

$$H_{m0} = 4 \times \sqrt{m_0} \quad (5.15)$$

Burada m_0 , su yüzü değişiminin varyansı aynı zamanda spektrumun altındaki alandır.

$$m_0 = \int E(f)df \quad (5.16)$$

Dalga periyodu ve frekansı

Dalga periyodu (T) ardışık iki dalga tepesinin aynı noktadan geçerken aldığı süre olarak tanımlanır. Dalga frekansı (f) ise dalga periyodunun tersidir (Yüksel ve Çevik, 2020).

$$f = \frac{1}{T} \quad (5.17)$$

Sıfırı kesme analizlerinden maksimum dalga periyodu (T_{maks}), en yüksek dalganın periyodu (T_{Hmaks}), ortalama dalga periyodu (T_m) ve en yüksek 1/3 dalgaya karşılık gelen periyotların aritmetik ortalaması ise belirgin dalga periyodudur ($T_{1/3}$).

$$T_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{i=1}^{N/3} T_i \quad (5.18)$$

Spektrum analizi ile ise pik dalga periyodu (T_p), spektral ortalama dalga periyodu (T_{m02}), spektral ortalama dalga periyodu (T_{m01}) ve dalga enerji periyodu ($T_{m-1,0}$) gibi periyot parametreleri elde edilmektedir. Dalga enerji periyodu son yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlayan bir periyot parametresidir ($T_{m-1,0}$).

$$T_{m01} = \frac{m_0}{m_1} \quad (5.19)$$

$$T_{m02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}} \quad (5.20)$$

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} \quad (5.21)$$

Burada (5.15, 5.16 ve 5.17 denklemlerinde) m_1 , m_2 ve m_{-1} sırasıyla birinci, ikinci ve eksi birinci momentlerdir.

Dalga boyu

İki dalga tepesi ya da iki dalga çukuru arasındaki yatay uzunluk dalga boyu olarak tanımlanmaktadır. “L” ile gösterilmekte olup, dalga periyodu, su derinliği ve yer çekimi ivmesine bağlı olarak değişmektedir.

$$L = \frac{g \times T^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi \times d}{L} \quad (5.22)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

g : Yer çekimi ivmesi (m/s²)

d : Su derinliği (m)

T : Dalga periyodu (s)

Dalga boyunun hesaplanmasında kullanılan periyot parametresine (T_p , T_{m02} , $T_{m-1,0}$) göre L_{0p} , L_{m02} , $L_{m-1,0}$ olarak ifade edilmektedir.

Dalga dikliği

Dalga yüksekliğinin dalganın boyuna olan oranı dalga dikliği olarak tanımlanmaktadır. Dalga yüksekliği (H), yansıyan dalgaların çıkarıldığı yapı topuğuna gelen belirgin dalga yüksekliği H_s ve dalga boyu (L_0), derin deniz dalga boyu $L_0 = (g \times T^2)/2\pi$ olarak alınması durumunda elde edilen fiktif dalga dikliği olup dalga periyot etkisinin dikkate alınması için kullanılmaktadır.

Derin denizde dalga dikliği S_0 , sıfırı kesme ile analiz edilmiş ortalama periyoda bağlı derin deniz dalga dikliği S_{m0} , pik periyoda bağlı derin deniz dalga dikliği S_p ve dalga enerji periyoduna bağlı dalga dikliği $S_{m-1,0}$ olarak adlandırılmaktadır.

$$S_{m0} = \frac{2\pi \times H_{m0}}{g \times T_{m0}^2} \quad (5.23)$$

$$S_p = \frac{2\pi \times H_{m0}}{g \times T_p^2} \quad (5.24)$$

$$S_{m-1,0} = \frac{2\pi \times H_{m0}}{g \times T_{m-1,0}^2} \quad (5.25)$$

olarak ifade edilmektedir.

$s_{0m} = 0.01$ ve daha küçük dalga diklikleri deniz durumunun soluğan durumda olduğunu temsil etmektedir. Soluğan durumda olan denizde uzun periyotlu dalgalar hakimdir ve dalgalar kırılırken dalga yüksekliği azalır ancak dalganın periyodu değişmez. Bu sebeple küçük dalga diklikleri oluşur. $s_{0m} = 0.042$ ile 0.06 arasında olması ise rüzgar dalgalarını işaret etmektedir. Soluğan dalgalarına göre daha kısa periyotlu dalgalarıdır.

Fırtına süresi

CERC (1984)'e göre, fırtına süresi dalganın şiddet ve doğrultusunu değiştirmeden kararlı olarak estiği süre olarak tanımlanmaktadır. Doğada rüzgarın şiddeti artıp, azalmakta ve doğrultusu değişebilmektedir, dolayısıyla kararlı bir şekilde esmesi mümkün değildir. Bu bağlamda fırtına süresinin belirlenmesi için iki yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri, fırtına süresi içinde rüzgarın belli bir doğrultu açısından (30° , 60° gibi) az yön değiştirdiği durumda o fırtınanın devam ettiği, verilen belli bir kriterden daha fazla yön değiştirme durumunda ise o fırtınanın bitip, yeni bir fırtınanın başladığı kabulüne dayanmaktadır. Diğer bir yöntem ise, rüzgar hızındaki değişime göre fırtına süresini belirlemektir. Rüzgar hızı değişiminin belli bir değerden az olması durumunda (2 m/s gibi) fırtınanın devam ettiği, sürekli bir zaman aralığında rüzgar hızındaki değişimin belli bir değerden fazla olması durumunda o fırtınanın bittiği ve mevcut deniz şartlarının değiştiği kabulüne dayanmaktadır. Doğada üç saatten uzun sürelerde deniz durumu kararlı olmamaktadır, bu nedenle kararlı bir deniz durumu için yaklaşık üç saat kabul görmektedir. Bu süre doğada yaklaşık 1000 dalgaya karşılık gelmektedir. Hidrolik model çalışmalarında fırtına süresi dalga sayısı ile ifade edildiğinden fırtına süresi “N” 1000 dalga olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada da 1000 dalgadan sonra bir sonraki test başlatılmıştır. Eğer 1000 dalgadan sonra hasar oluşmazsa, daha fazla dalganın (daha çok) yapıda hasar oluşturmayaacağı varsayılmıştır (Van der Meer, 1986).

5.3.2 Yapısal Parametreler

Dalgakıranlarda stabilitenin incelenmesinin ana sebeplerinden biri bu dalgaların yapı üzerinde bıraktığı etkiyi görmektir. Bu etkinin analizi için yapıya ait özellikler irdelenmeli ve bu parametreler açıklanmalıdır.

Yapısal parametreler, dalgakırana ait yapının yüksekliği ve şev açısı, kret hava payı, kret genişliği, yapının çekirdek ve koruma tabakaları, koruma tabakalarında kullanılan elemanların yerleşim şekilleri ve sıklıkları, topuk yapısı olmak üzere ele alınmaktadır.

Yapının yüksekliği ve şev açısı

Taş dolgu dalgakıranlar, ağırlığı ile stabilitesini koruyan yapılardır. Ağırlığı temel olarak kullanılan malzeme yapısı belirlediği gibi yapının fiziksel özellikleri de önem taşımaktadır. Yapının tasarım dalgası etkisi altında taşıyabileceği maksimum yük, yapının bulunduğu konumdaki derinlik ve stabilite hususlarına dikkat edilerek yapının yüksekliği çeşitli analizler ile elde edilmektedir. Geleneksel tip taş dolgu dalgakıranlarda yapının yüksekliği su seviyesinin oldukça üstünde olmakta ve hacimsel olarak büyük yer kaplamaktadır. Düşük kretli dalgakıranlarda ise yapının yüksekliği nispeten daha küçük olmaktadır.

Şev açısı, yapının koruma tabakasında kullanılan malzemenin çeşidine göre değişebilmektedir. Eğer ocak taşı kullanılmış ise yapının eğiminin 1/1.5 değerinden daha dik olmaması gerekmektedir. Koruma elemanlarının çift sıra olması durumunda ve hacimsel açıdan büyük elemanlar kullanılması halinde eğim 1/1.5 ile 1/2.5 arasında uygulanabilmektedir. Tek sıra koruma elemanları kullanılması halinde 1/1.33 ile 1/1.5 şev eğimleri ile yapı tasarlanmaktadır (CIRIA, 2012). Yapının ön şevi dalga ile karşılaşan ilk yüzey olması dolayısıyla yapısal karakteristiklere dikkat gösterilerek hareket edilmektedir. Fakat dalganın yapının üstünden aştığı ve iletimin gerçekleştiği yapılarda arka şevde eğime dikkat edilmesi gerekmektedir. Arka şev mümkün mertebe dik imal edilmekle birlikte eğim 1/1.33 değerinden daha dik olmamalıdır.

Kret hava payı, R_c

Yapının koruma tabakasının üst kotu ile sakin su seviyesi arasındaki en yüksek düşey mesafe kret hava payı olarak tanımlanmaktadır. Yapıda izin verilen aşma, iletim ve diğer hidrolik davranışlara göre kret seviyesi belirlenmektedir.

Eğer kara ekipmanları ile inşa edilecekse, kret kotu, çekirdeğe göre belirlenebilir. Bu da normal şartlarda en yüksek su seviyesinden en az 1 m yukarda olması koşulunu sağlamalıdır. Deniz ekipmanları kullanıldığında ise alçak su seviyesinin 3 m altındaki malzemelerin kolay bir şekilde dökülemeyeceği ve bu nedenle vinçli mavnalar tarafından yerleştirilmesi gerektiği kabul edilerek kret seviyesi keyfi olarak seğılebilir (CIRIA, 2012).

Dalgakıran yapısında koruma tabakası birimi olarak taş yerine beton elemanlar kullanıldığı durumda, taş malzemeler için geçerli parametreler beton koruma birimleri için de kullanılabilir. Tek sıra koruma tabakasına sahip yapılar daha az katman kalınlığı gerektirir. Bu da daha yüksek bir çekirdek seviyesi gerektirip, daha geniş bir kret genişliğine izin vermektedir.

Kret genişliği, B

Yapının kreti, kullanılan koruma tabakası elemanlarından en az üç taş sığacak genişlikte olmalıdır. Eğer aşmanın önemli ölçüde gerçekleşeceği öngörülüyorsa bu dikkate değer bir noktadır. Düşük kretli yapılarda yapı kretinden aşma gerçekleşeceği bilindiğinden, kret üzerindeki koruma elemanlarının birbirine kenetlenmesi ile yüksek stabilite sağlayacak ölçüde yerleştirilmelidir.

Yapının çekirdek ve koruma tabakası

Yapının çekirdek tabakasının boyutlandırılması Froude ölçeklendirme modeli esasına dayanmaktadır. Bu model, koruma tabakası elemanının ağırlığı ile alt tabakanın ağırlığı oranını dikkate almaktadır. Van Gent ve Spaan (1998)' in yaptıkları çalışmaya göre bu oran aşağıda verildiği gibi olmalıdır.

$$10 < \frac{M_{\text{koruma}}}{M_{50, \text{alt tabaka}}} < 20 \quad (5.26)$$

CERC (2003)'e göre ise bu oran 10 civarında olmalıdır. Koruma tabakasında ve çekirdek katmanında kullanılan malzemelerin çap oranları aşağıdaki gibi verilmiştir (Van Gent, 2006).

$$\frac{D_{(\text{koruma tabakası})}}{D_{50(\text{alt tabaka})}} \approx (2.2 - 2.5) \quad (5.27)$$

Topuk yapısı

Dalgakıran yapısına ait koruma tabakasının deniz tabanı ile buluştuğu bölgede zemin özellikleri, su derinliği ve dalga özellikleri dikkate alınarak uygun boyutlardaki taşlar ile bir koruyucu topuk yapılmalıdır. Eğer dalgakıran yapısı şevi topuk yapılmadan korunaksız bırakılırsa, dalga etkisi altında oyulma ve yapıyı etkileyecek hasar meydana gelebilmektedir. Özellikle kıyı tahkimatı şevinde dalga

kaynaklı meydana gelen geri dönüş akımları ile topuk önünde oluşan dalga kırılması bu oyulmanın sebeplerinden olabilmektedir. Bu şartlar göz önünde bulundurulduğunda, kumsal kıyılarda CERC (1984) topuk yapısının önünde oluşacak erozyon ya da oyulmanın derinliği ilk yaklaşım olarak, kırılmamış maksimum dalga yüksekliğine eşittir. Buradaki maksimum dalga yüksekliği ise (H_s , yapı topuğundaki belirgin dalga yüksekliği) $H_{maks} = 1.8 \times H_s$ şeklinde elde edilir (AYGM, 2018).

CERC (2002)'e göre tek sıra beton koruma blokları kullanılan yapılarda, tasarlanan topuk yapısında kullanılan bloğun nominal çapı koruma tabakasında kullanılan bloğun kütesinin 1/10'u kadar alınması önerilmektedir.

Yerleşim yöntemi ve sıklık

Dalgakıran yapısında koruma tabakası bloklarının yerleştirilme yöntemi stabiliteyi etkileyen önemli yapısal parametrelerden biridir. Yerleştirme yöntemine göre stabilite katsayıları da değişiklik göstermektedir. Koruma tabakasında kullanılması gereken blokların hacmi stabilite katsayısı ile hesaplanabilmektedir. Kullanılan bloklarının hacmi, koruma tabakasının kalınlığını belirler ve birim alandaki koruma elemanı blok sayısı ile porozite elde edilmektedir. Koruma tabakasının porozitesi stabiliteyi olduğu gibi, hidrolik açıdan dalganın tırmanması, aşması gibi hidrolik performansı da etkilemektedir. Doğada yapılan dalgakıran yapılarında porozite yapının inşasını, maliyetini etkilemektedir. Yapının hizmet ettiği süre boyunca porozite de değişim gösterebileceği için stabiliteyi etkileyen önemli bir faktördür.

Bu bölüme detaylı olarak Bölüm 2.6'da yer verilmiştir.

5.3.3 İlgili Boyutsuz Parametreler

Surf Parametresi, ξ_0

Kıyının ya da yapının şev eğimine (m : tana) ve dalga dikliğine (S_0) bağlı olarak ifade edilen Iribarren ya da kırılma parametresi kıyı yapılarının tasarımında önemli bir parametredir. Surf parametresinin aldığı değerlere göre yapı üzerinde dalga kırılma tipi belirlenebilmektedir.

$$\xi_0 = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_0}} \frac{m}{\sqrt{2\pi H/g \times T^2}} \quad (5.28)$$

Şekil 5.1’de gösterildiği üzere dört çeşit kırılma tipi mevcuttur. Bunlar; spilling, plunging, collapsing, surging tipi kırılmalardır. Surf parametresinin,

$\xi_0 < 0.5$ olması durumunda spilling (köpürerek kırılma) tipi kırılma,

$0.5 < \xi_0 < 3.0$ olması durumunda plunging (kıvrılarak kırılma) tipi kırılma,

$3.0 < \xi_0 < 3.5$ olması durumunda collapsing (kabararak kırılma) tipi ve

$\xi_0 > 3.5$ olması durumunda ise surging (şişerek kırılma) tipi kırılma gerçekleşir.

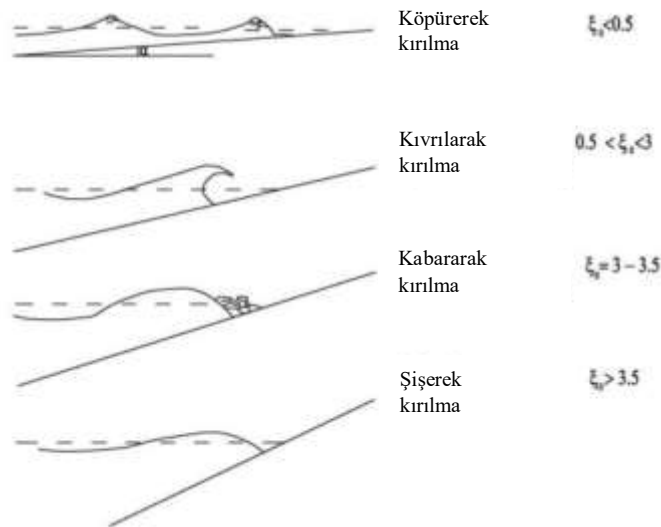
Dalga dikliğinin pik periyot (T_p), ortalama periyot (T_m) ya da enerji periyoduna ($T_{m-1,0}$) göre kullanılması durumunda surf parametresi,

$$\xi_{0m} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{0m}}} \quad (5.29)$$

$$\xi_{0p} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{0p}}} \quad (5.30)$$

$$\xi_{m-1,0} = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{S_{m-1,0}}} \quad (5.31)$$

denklemleri ile hesaplanabilmektedir.



Şekil 5.1 Kırılma tipleri CERC, 2003

Spilling tipi kırılmalar sadece küçük eğimli kıyılarda büyük diklikli dalgalarda meydana gelir, dolayısıyla burada eğim kıyının eğimi olarak dikkate alınmaktadır. Plunging tipi kırılma ise dikliği büyük dalgaların veya rölatif olarak küçük eğime sahip kıyılarda meydana gelmektedir. Surging tipinde gerçekleşen kırılmalar, sadece dik eğimli yüzeylerde küçük diklikli dalgalar durumunda gerçekleşir. Dolayısıyla eğim olarak yapının eğimi dikkate alınmalıdır. Bir kıyıda eğime bağlı olarak spilling ve plunging tipi kırılma gerçekleşirken, yapı üzerinde kırılma tipi ise plunging, collapsing ve surging tipi olabilmektedir (Yüksel, 2011). Kıyı yapıları tasarımında bu kırılma özellikleri kullanılacak ifadelerin seçiminde önemlidir.

Rölatif kret hava payı, R_c/H_{m0}

Kret hava payı, dalga aşması üzerinde önemli bir parametredir. Düşük kretli dalgakıranlarda kret hava payı küçük seçilerek üstten aşmaya müsaade edilmektedir. Rölatif kret hava payının negatif ya da pozitif değerler almasına göre yapı düşük kretli veya batık bir dalgakıran olarak davranmaktadır.

1:1.5 eğimli taş dolgu dalgakıranlarda aşma rölatif kret hava payının $0.6 < R_c/H_{m0} < 2$ aralığında meydana gelmektedir. Bu çalışmada $0.51 < R_c/H_{m0} < 2.1$ arasında değişiklik göstermiştir.

Rölatif kret genişliği, B/H_{m0}

Kret genişliğinin dalga yüksekliğine oranı olarak ifade edilmektedir. Kret genişliğinin etkisinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Rölatif kret genişliği, B/L

Dalgakıran kret genişliğinin dalganın boyuna oranı ile B/L boyutsuz parametresi elde edilmektedir. Kret genişliğinin ve dalga boyunun etkisinin belirlenmesi açısından önemlidir.

Rölatif su derinliği, d/L_0

Dalgakıran yapısının bulunduğu alandaki su derinliğinin, dalganın boyuna oranıdır. Yapının bulunduğu su derinliğinin sığlaşan ya da derin su olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir.

Rölatif dalga yüksekliği, H/D_{n50}

Yapıya gelen belirgin dalga yüksekliğinin dalgakıran koruma tabakasındaki taşların nominal çapına oranı rölatif dalga yüksekliği olarak tanımlanmaktadır. Koruma tabakası elemanının her bir birimine etkiyen dalga yüksekliği olarak da düşünülebilir. Böylece hasar analizlerinde koruma elemanlarının kıyaslanması ve yapıya etkiyen belirgin dalga yüksekliğinin bu elemanlar üzerindeki etkisi incelenebilmekte olup, deneysel modellerde bu konuya dair fikir verebilmektedir.

Rölatif kret genişliği, B/D_n

Dalgakırana ait kret genişliğinin, koruma tabakasındaki koruma elemanı boyutuna oranı olarak tanımlanmaktadır. B ve D_n yapının stabilitesini etkileyen önemli parametrelerdir. Rölatif kret genişliğinin stabilite ve hidrolik davranışına etkisinin incelenmesinde kullanılmaktadır.

Rölatif kret yüksekliği, R_c/d

Dalgakıran kret hava payının dalgakıranın bulunduğu suyun derinliğine oranı olarak ifade edilmektedir. Van der Meer (1987) üstten aşmaya izin verilmeyen yapılar için deniz tarafındaki rölatif kret yüksekliğini $R_c/d=1.6$ olarak önermiştir. Bu çalışmada $R_c/d=0.15/0.6=0.25$ olup, 1.6'dan küçüktür.

5.4 Deney Sistemi

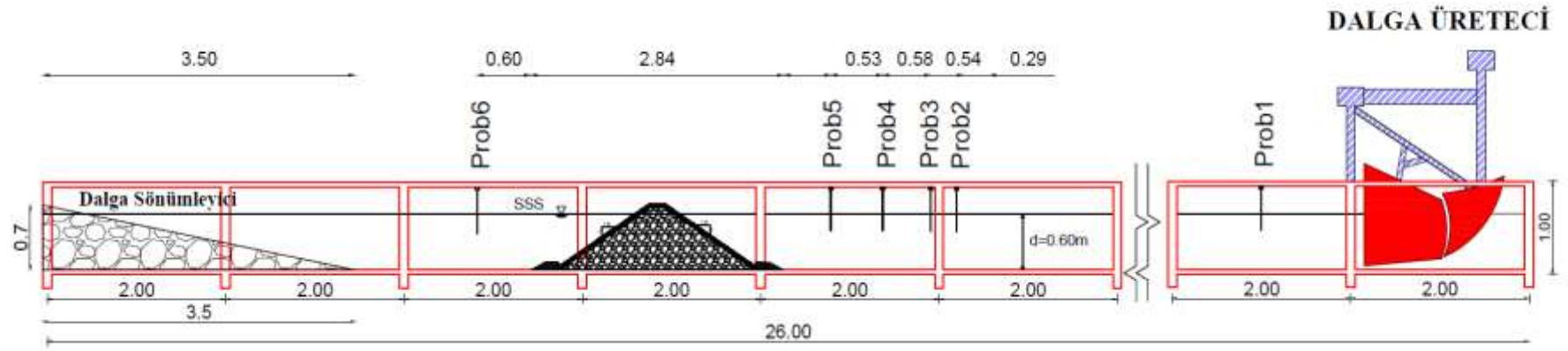
Bu çalışmaya ait fiziksel model deneyleri Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik ve Kıyı-Liman Mühendisliği Laboratuvarı'nda mevcut olan dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Deney sistemi dalga kanalı, dalga üretici, dalga kayıt sisteminden oluşmaktadır. Şekil 5.2'de dalga kanalına ait bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 5.2 Deney sistemi

5.5 Dalga Kanalı

Deneylerin yapıldığı dalga kanalı Şekil 5.3'de şematik olarak gösterilmiş olup 26 metre uzunluğa, 1 metre genişliğe ve 1 metre yüksekliğe sahiptir. Dalga kanalının 22 m'lik kısmının her iki tarafı camdan, dalga üreticinin bulunduğu diğer 4 m'lik kısmında ise yan duvarları ve tüm tabanı çelikten imal edilmiştir. Böylelikle model deneyleri sırasında gözlemler rahat bir şekilde yapılabilir.



Şekil 5.3 Dalga kanalı şematik gösterimi

5.6 Dalgakıran Model Kurulumu

Bu çalışma kapsamında yapılan deneyler ile düşük kretli dalgakıran gövde kesitinde iletim ve stabilite analizlerinin yapılması amaçlanmıştır.

Dalgakıran modelleri yatay bir taban üzerine inşa edilmişlerdir. Deneylerde $4D_n$, $7D_n$, $10D_n$ olmak üzere 3 farklı kret genişliğinde ve koruma tabakasında küp beton elemanların tek sıra düzenli olmak üzere %59 ile %67 sıklığında (%41 ve %33 porozitede) yerleştirilmesi ile dalgakıran gövde modelleri oluşturulmuştur. Böylece toplamda 6 adet dalgakıran modeli kurulmuştur. Dalgakıran modellerinin tamamında kret yüksekliği 0.715 m olup her iki şev eğimi 1D:1.5Y olacak şekilde simetrik imal edilmiştir. Yine deneylerin tamamında su derinliği $d=0.60$ m olarak sabit seçilmiştir. Böylece tek bir kret hava payına sahip ($R_c=0.115$ m) modeller çalışılmıştır ($R_c/d=0.715/0.6=1.19$). Dalgakıran modelleri çekirdekte taş ve üzerine küp beton blokların tek sıra düzenli yerleştirilmesiyle hazırlanan koruma tabakasıyla oluşturulmuştur. Düşük kretli dalgakıran olması nedeniyle dalgaların kret üzerinden aşması ve yapının içinden geçmesi ile iletimin yapının arkasında kabarma meydana getirdiği gözlemlenmiştir. Yapının mansabında kabarmayı engellemek için, Şekil 5.4'te görüldüğü üzere dalgakıran modelinin çekirdek tabakası oluşturulurken 150 cm uzunluğunda, Ø100 çapında ve ağız kısımları çelik hasır ile kapatılmış filtre boruları yerleştirilmiştir. Kullanılan borular sayesinde kabarma kontrol altına alınmıştır.

Topuk yapı stabilitesi açısından en önemli bileşenlerdendir. Topukta bir hasar olması durumunda tüm yapı kayarak hasar görebilmektedir. Bu nedenle yapının topuğunda meydana gelebilecek hasarın şev stabilitesini olumsuz olarak etkilemesinin önlenmesi amacıyla yapının her iki tarafındaki topuk da sabit yapılmıştır.



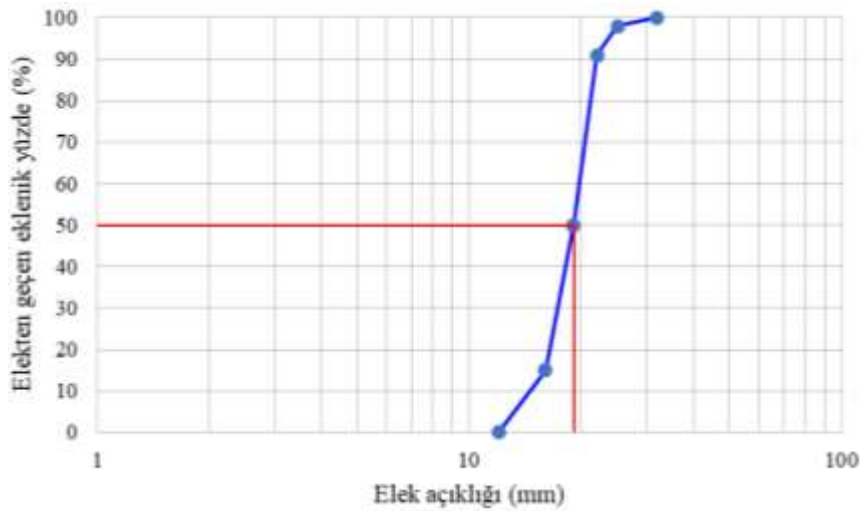
Şekil 5.4 Dalgakıran modeli çekirdek tabakası filtre borusu

Çekirdek granülometrik olarak $D_{n50}=19$ mm çapında, kütlesi, $M_{50, \text{alt tabaka}}$, 18.25 gram ve özgül kütlesi, ρ_s , 2.65 ton/m^3 olan kuvars çakıl olan taşlardan ve koruma tabakası özgül kütlesi 2.4 ton/m^3 , nominal çapı $D_n=40$ mm olan ve yaklaşık olarak $M_{\text{koruma, tabakası}}=155.7$ gram kütleye sahip küp bloklardan oluşturulmuştur. Koruma tabakası için kütle oranı ve nominal çap oranları aşağıda verildiği gibidir:

$$M_{\text{koruma, tabakası}}/M_{50, \text{alt tabaka}}=155.7/18.25=8.53$$

$$D_{n, \text{koruma tabakası}}/D_{n50, \text{alt tabaka}}=4.0/1.90=2.11$$

Çekirdekte kullanılan taş malzemenin granülometri eğrisi Şekil 5.5’de verilmiştir. Şekil 5.6’da ise çekirdek tabakasının oluşturulma aşaması gösterilmektedir.



Şekil 5.5 Çekirdek malzemesinin granülometri eğrisi

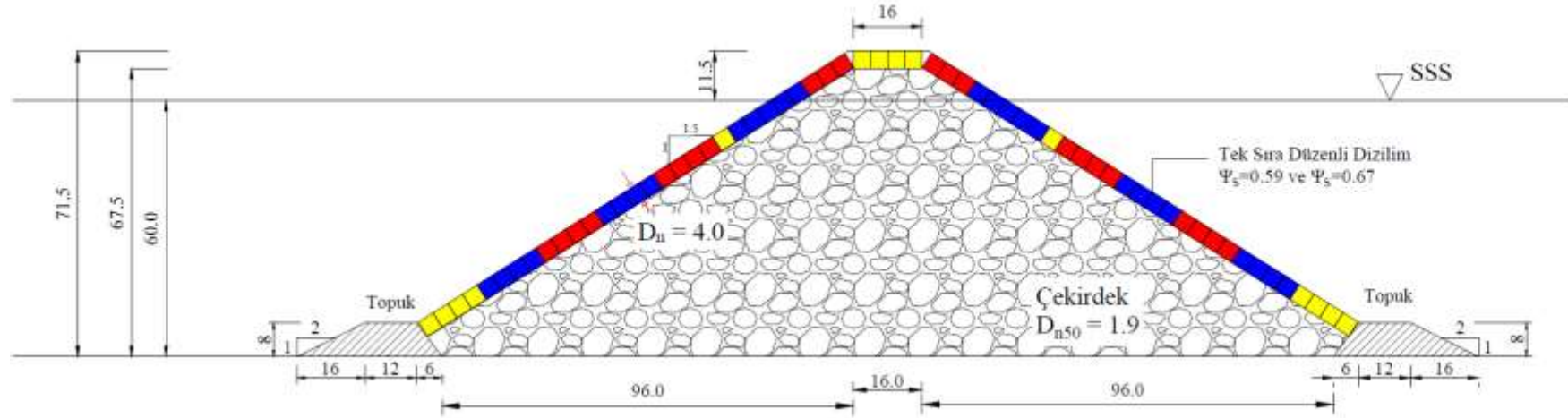


Şekil 5.6 Dalgakıran modeline ait çekirdek tabakası

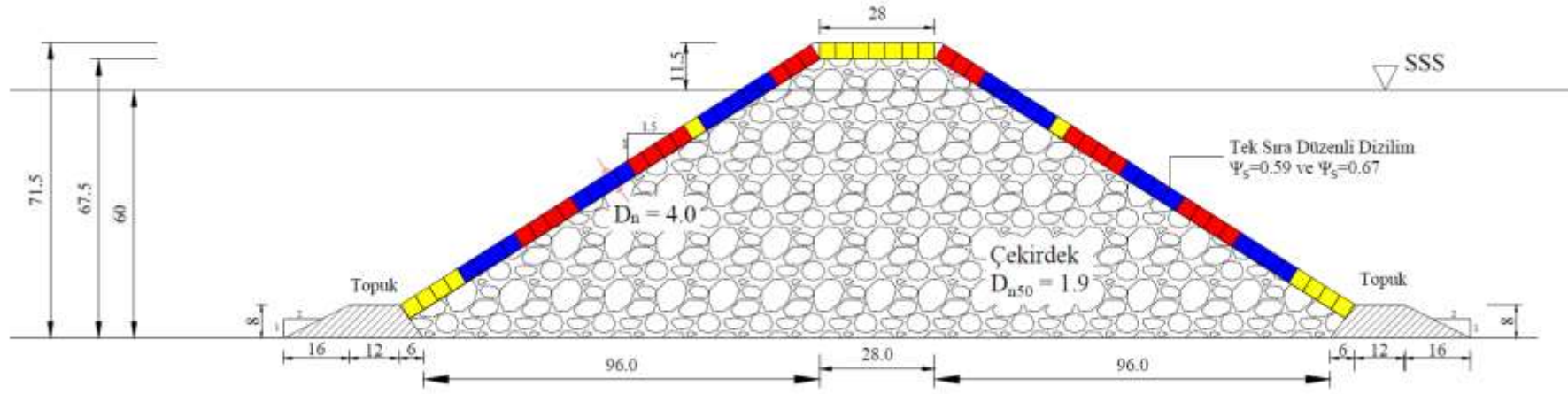
Sırasıyla $4D_n=16$ cm, $7D_n=18$ cm ve $10D_n=40$ cm uzunluklarında kret genişlikleri ve her iki tarafta 1:1.5 eğimli şev yüzeyleri ile çekirdek tabakası oluşturulmuştur. Koruma tabakasında küp bloklar, ön şev, kret ve arka şevde düzenli ve tek sıra dizilim olacak şekilde yerleştirilmiştir. Örnek bir kesitin oluşturulma aşamasına dair görsel Şekil 5.7’de verilmiştir. Oluşturulan bu dalgakıran modellerine ait kesitler Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10’da gösterilmektedir. Bu kesitlerin çekirdek ve koruma tabakası sınırları önce dalga kanalının camına çizilmiş ardından imalatları gerçekleştirilmiştir.



Şekil 5.7 Dalgakıran modeline ait kesitin oluşturulması



Şekil 5.8 4D_n kret genişliğine sahip model kesiti (Tüm birimler cm'dir.)



Şekil 5.9 7D_n kret genişliğine sahip model kesiti (Tüm birimler cm'dir.)



Şekil 5.10 10D_n kret genişliğine sahip model kesiti (Tüm birimler cm'dir.)

Düşük kretli geleneksel küp bloklı dalgakıran model deneylerinde yapı üzerinden dalga aşması çok meydana geldiğinden yapının mansabında meydana gelen dalgaların yaratacağı yansımanın engellenmesi amacıyla yapıdan 3 m uzaklığa 1/10 eğimde sönümleyici bir şev imal edilmiştir (Şekil 5.3).

5.7 Küp Beton Bloklar

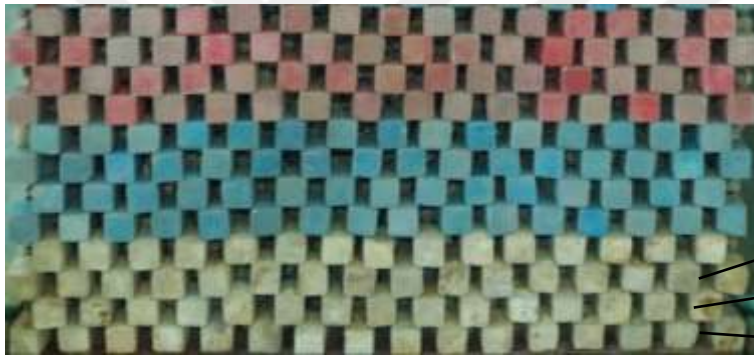
Bu çalışmada hazırlanan dalgakıran modellerinin koruma tabakasında kullanılan küp beton bloklar çekirdek tabakası üzerine tek sıra olacak şekilde düzenli dizilim ile yerleştirilmiştir. Nominal çapı $D_n=4\text{cm}$ olan küp bloklar ortalama olarak 155.7 (± 4.53) gram kütleyle, 64 cm^3 hacme, 2.4 t/m^3 özgül kütleyle sahip ve 400 dozlu betondan imal edilmiştir. Hem yüzey pürüzlülüğünü azaltarak sürtünme ölçek etkisini ekarte etmek hem de hasarın belirlenmesi adına küp blokların takibinde kolaylıkla ayırt edilebilmesi için bloklar farklı renklerde boyanmış ve renkler dikkate alınarak dizilimleri yapılmıştır.

Küp blokların şeve yerleşimi için iki yöntem kullanılmaktadır. (Bölüm 2.4) Bunlardan ilki su seviyesinden ya da hemen üzerinden blokların bırakılması ikincisi ise elle yerleştirmedir. Bu çalışmada düzenli dizilim için stabilite ve iletim çalışıldığından küp bloklar şeve elle düzenli olarak yerleştirilmiştir.

Burada düzenli tek sıra yerleştirme yöntemi seçilmiştir. Küp blokların yerleştirilmesinde en önemli nokta her bir küp elemanın birbiri ile temas halinde olması gerektiğidir. Aşağıda anlatılacağı üzere istenilen sıklığın sağlanabilmesi amacıyla bloklar önceden belirlenmiş aralıklarla yerleştirilmiştir. Küp bloklar şeve topuktan başlayarak sıra sıra dizilmiştir. Yatayda küpler arasında boşluklar bırakılırken düşeyde kayma olasılığına karşılık boşluk bırakılmamıştır. Model çalışmalarında hazırlanan küp blokların krette dizilimine ait görsel Şekil 5.11’de verilmiştir. Küp blokların yerleştirilmesine ön şeve ait topuk önünden başlanılmıştır. Üç farklı kret genişliğine sahip modellerin her biri iki farklı sıklıkta yapılmıştır. Öncelikle ilk sırada 16 adet, ikinci sırada ise 15 adet küp olacak şekilde dizilim yapılan sıklığı daha az olan model, sonrasında ise ilk sırada 18 adet, ikinci sırada ise 17 adet küp olacak şekilde dizilim yapılan sıklığı daha büyük olan modellerle deneyler gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.12’de iki farklı yerleşim sıklığında dizilimler gösterilmektedir.



Şekil 5.11 Küp blokların krette dizilimi



16 adet

15 adet

16 adet

a)



18 adet

17 adet

18 adet

b)

Şekil 5.12 Farklı sıklıklara ait modellerde küp dizilimi. a) 0.59 sıklık, b) 0.67 sıklık.

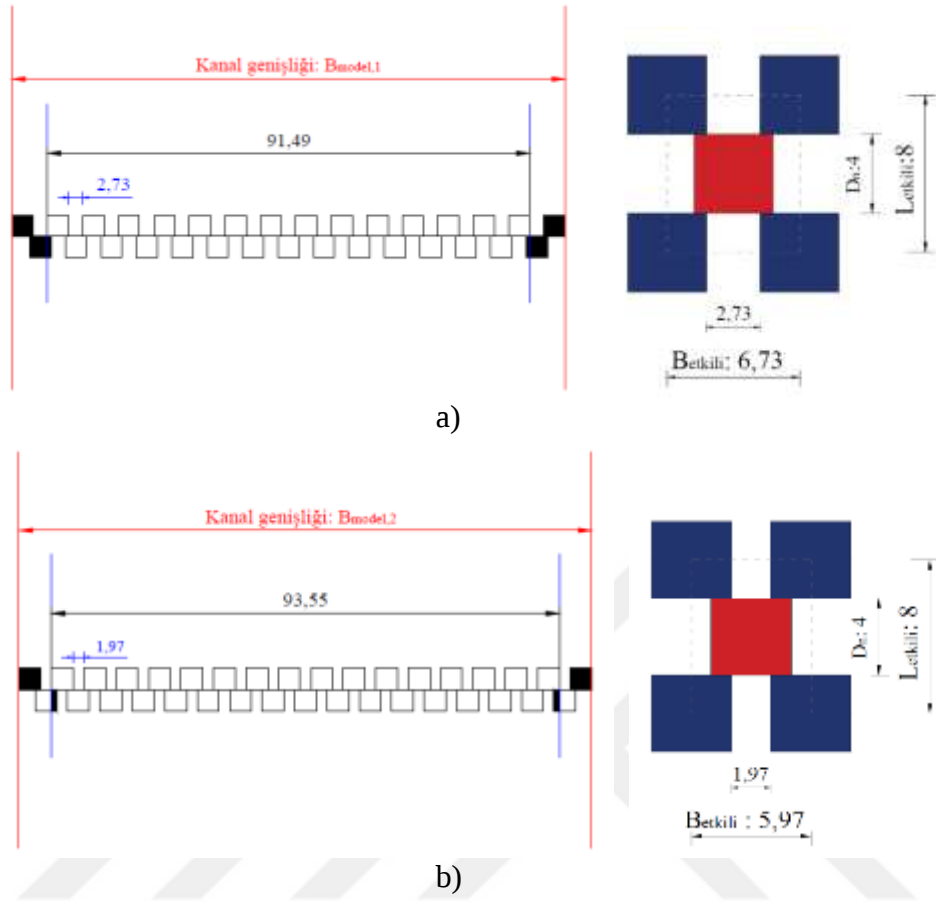
Küp beton blokların düzenli dizilimleri ile hazırlanan bu deneylerdeki sıklık değerleri Frens vd.(2009) tarafından tanımlanan hali ile ele alınmıştır (Bölüm 2.4).

Küp beton bloklarla düzenli dizilim ile hazırlanan model deneylerinde Şekil 5.12’de gösterilmiş olan dizilim için Şekil 5.13 a’da küplere ait şematik gösterim verilmiştir. Bu dizilime ait yerleşim sıklığı $\Psi_s=0.59$ olarak elde edilmiştir.

Şekil 5.13 b’de gösterilmiş olan dizilim için ise Şekil 5.12 b’de küplere ait şematik gösterim verilmiştir. Bu dizilime ait yerleşim sıklığı da $\Psi_s=0.67$ olarak elde edilmiştir.

$$\Psi_s = \frac{N_{BL} \times D_n^2}{B_{etkili} \times L_{etkili}} = \frac{2 \times 4^2}{6.73 \times 8} = 0.59$$

$$\Psi_s = \frac{N_{BL} \times D_n^2}{B_{etkili} \times L_{etkili}} = \frac{2 \times 4^2}{5.97 \times 8} = 0.67$$



Şekil 5.13 Küp blokların yerleşiminin şematik gösterimi. a) $\Psi_s=0.59$ sıklık ile tek sıra düzenli küp blok dizilimi, b) $\Psi_s=0.67$ sıklık ile tek sıra düzenli küp blok dizilimi (Birimler cm'dir).

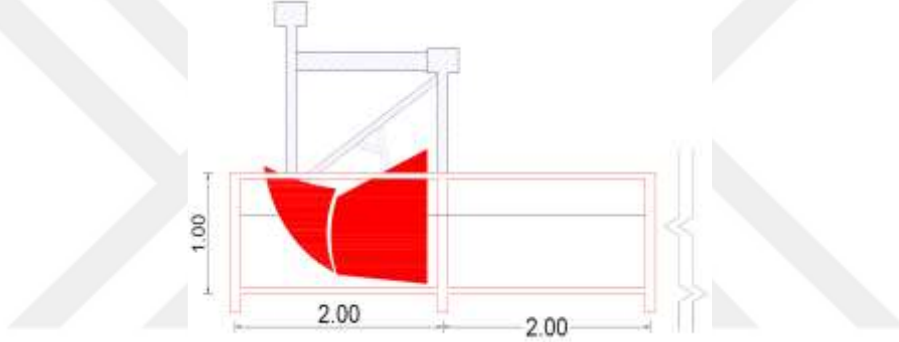
Tablo 5.1'de her iki sıklık için yerleşime ait özet tablo verilmiştir.

Tablo 5.1 Model sıklıkları ve küp mesafeleri

Sıklık	Sıradaki Küp Sayısı (adet)	Küp bloklar arası boşluk (cm)	Ön Şev ve Arka Şevde Toplam Blok Sayısı (adet)
0.59	15-16	2.73	900
0.67	17-18	1.97	1016

5.8 Dalga Üretici

Deneylerin yapıldığı dalga kanalı hem düzenli hem de düzensiz dalgalar üretebilme özelliğine sahip dalga üretici ile donatılmıştır. Bu, Edinburgh Designs tarafından üretilen piston tipi bir dalga üreticidir. Dalga üreticinde aktif yansıma sönümleme sistemi (Active Reflection Compensation, ARC) için bir sensör bulunmaktadır. Bu işlevin üreteçte bulunmasının amacı, kanal içinde yansiyarak gelen dalgaları ölçerek absorbe etmesiyle hedeflenen dalgaları üretebilmektir. Böylelikle kanalda oluşturulan dalgalar hedeflenen dalgalara benzer şekilde üretilmektedir. Şekil 5.14’de dalga üreticinin şematik gösterimi verilmiştir. Şekil 5.15’de gösterilmiş olan bu deplasman tipi pistonu sahip dalga üretici arka tarafta dalga yaratmadığından ilave bir sönümleyici kullanılması gerektirmemektedir.



Şekil 5.14 Dalga üreticine ait şematik gösterim



Şekil 5.15 Dalga üretici görünümü

5.9 Dalga Üretimi, Kaydı ve Ölçümü

Yapılan deneysel çalışma dalga kanalında gerçekleştirildiğinden düzensiz uzun kretli ve yapıya dik gelen dalgalar benzeştirilmiştir. Dalgalar Edinburgh Desings tarafından geliştirilen Wave Synthesiser yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Bu program ile hem düzenli sinüs dalgaları hem de farklı tiplerde düzensiz dalgalar üretilabilmektedir. Şekil 5.16'da Wave Synthesiser programı ara yüzü ve üretilmek istenen örnek dalga kaydı görülmektedir.

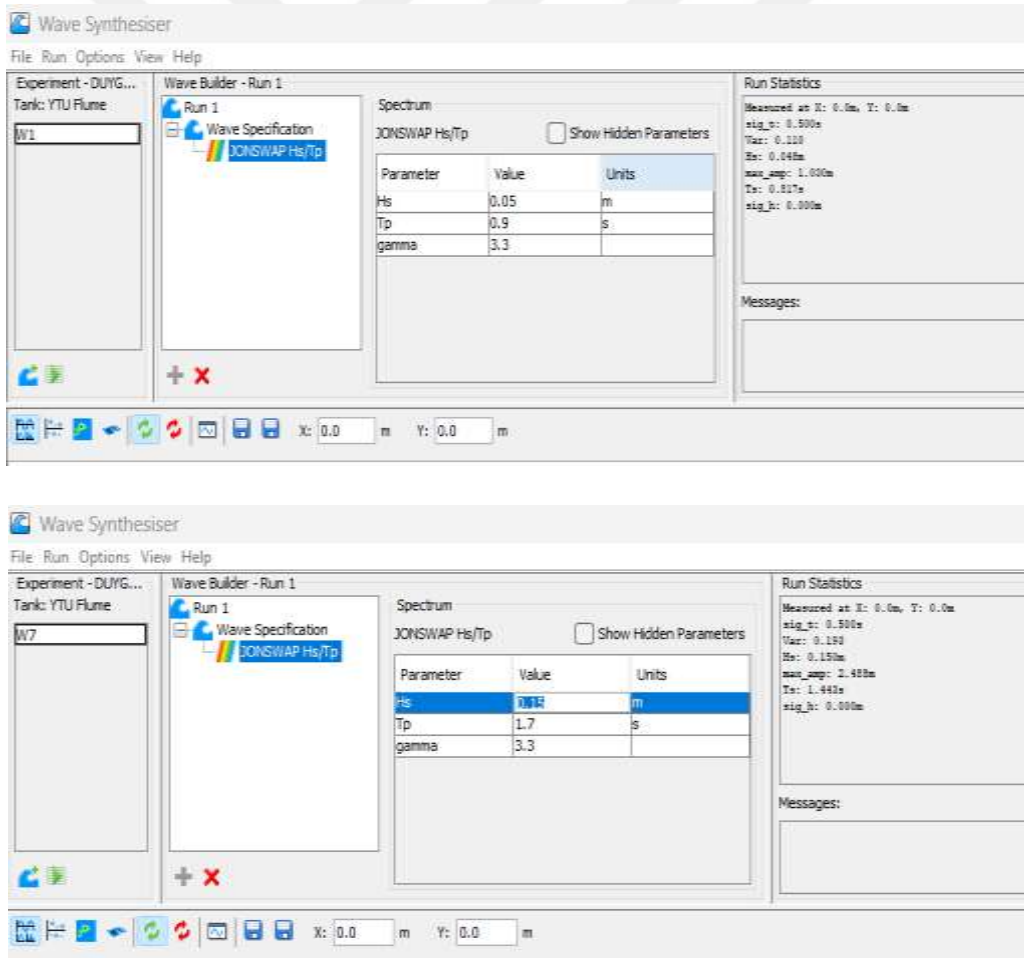
Dalga üretimi için Wave Synthesiser programı aracılığıyla dalga üreticinin oluşturacağı dalgaların özellikleri tanımlanarak deneyler hazırlanmıştır. Yapının stabilite ve iletim performanslarının düzensiz dalgalar etkisinde değerlendirilmesi amacıyla tanımlanan girdiler spektral belirgin dalga yüksekliği (H_s), pik dalga periyodu (T_p) ve spektrum diklik parametresidir (γ). Bu girdi değerleri ile JONSWAP spektrumu tipinde düzensiz dalgalar üretilmiştir. Bu deneysel çalışmada JONSWAP spektrumu diklik parametresi $\gamma=3.3$ olarak sabit seçilmiştir. Deneyler sırasında her test yaklaşık olarak 1000 dalga boyunca devam etmiştir. Her deneyde tam hasara ulaşılan kadar dalga yüksekliği adım adım artırılmıştır. Tam hasara ulaşıldıktan sonra deney sonlandırılmıştır. Her bir deneyden sonra yeni bir deney için model tekrar baştan kurulmuştur.

Dalga üretici ile üretilen düzensiz dalgalar, 60 cm boyunda rezistans tipli ikiz çubuk elektrotlu dalga problemleri ve bu problemlerin 8 kanallı CLE3C30 tipinde bir dalga monitörüne kablolar ile bağlanmasıyla ölçülmüştür. Dalga problemlerinden bir görüntü Şekil 5.18'de verilmektedir. Dalga problemlerinin çalışma sistemi; elektrotlar arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su seviyesinin alçalıp yükselmesi sırasında direncin değişmesi prensibine dayanmaktadır. Her deney başlangıcında doğru veriler alınabilmesi amacıyla problemler Wallingford HR DAQ (Data Acquisition Software) veri toplama programı kullanılarak suyun sakin durumunda problemlerin sistematik olarak aşağı yukarı hareketi ile kalibre edilmiştir. Dalgaların elde edilmesi amacıyla yapılan su yüzü ölçümleri için örnekleme frekansı 100 Hz olarak seçilmiştir.

YTU Flume ile üretilen ve HR DAQ yardımcı programları aracılığıyla ölçülen su seviyesi değişimleri daha sonra değerlendirilerek dalga karakteristikleri

belirlenmiştir. Şekil 5.19’da ölçüm anında problardan birine ait su yüzü değişimi kaydı gösterilmektedir.

Deneylerde dalga ölçümü için 6 adet dalga probu kullanılmıştır. Bu problardan bir tanesi dalga üretici önünde üreteç tarafından üretilen dalgayı ölçmek için (Prob 1), bir tanesi dalgakıran modelinin arkasında iletilen dalgayı ölçmek için (Prob 6) ve 4 tanesi de dalgakıranın topuğunda yapıya gelen dalgayı ölçmek için (Prob 2, 3, 4, 5) konumlandırılmıştır. Topuk önünde kullanılan dört adet prob sabit su derinliğinde önceden ayarlanmış sabit aralıklar ile yerleştirilmiştir. Problar arasındaki önceden belirlenen mesafeler HR DAQ programına girilerek yansıma analizi yapılabilmekte böylece ölçülen dalgalardan yapıya gelen ve yapıdan yansıyan dalgalar ayırt edilebilmektedir.



Şekil 5.16 Wave Synthesiser programı ara yüzü ve üretilmek istenen örnek dalga özellikleri

JONSWAP spektrumu, Hasselman vd. (1973)' nin Joint North Sea Wave Project adında ypuğun dalga ölçümleri ile geliştirilen P-M spektrum modelinin (Pierson-Moskowitz (1964) spektrum modeli) değiştirilmesi ile elde edilmiş olup denklem aşağıda verildiği gibidir (5.32). Temelde beş parametrelili bir spektrum modelidir. Ancak genellikle iki parametrelili olarak dikkate alınmaktadır. Bunlar γ (diklik parametresi) ve ω_p (pik açısal frekans)' dir. Denklemdede yer alan τ_a , τ_b ve α daha önce belirlenmiş olan sabit değerler olarak alınmaktadır. Tasarım aşamasında rastgele dalgalara ait belirgin dalga yükseklikleri (H_s) ve ortalama periyotları (T_m) belirlenir. Bu parametrelere ilişkin denklemler aşağıda (5.33) ve (5.34) ile verilmiştir (Yüksel ve Çevik, 2020).

$$S(\omega) = \alpha' \times g^2 \times \omega^{-5} \times \exp \left[-1.25 \times \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^{-4} \right] \times \gamma^{\exp \left[-\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2 \times \tau^2 \times \omega_p^2} \right]} \quad (5.32)$$

Burada, rüzgar hızının U_w , feç mesafesinin X olması durumunda (5.32) denkleminde ait parametreler şunlardır:

γ : 3.3 değerinde olup, 1-7 arasında değişmektedir. 3.3 alınmasıyla belirli bir rüzgar hızı ve belirli bir feç için ortalama bir spektrum oluşturmaktadır.

g : Yer çekimi ivmesidir

τ_a, τ_b : Şekil parametresidir. Sırasıyla, 0.07 ve 0.09 olmak üzere sabit olarak kabul edilmektedir.

X_0 : Boyutsuz feçtir. Genelde kullanılmamaktadır. $X_0 = g \times X / U_w^2$ ile edilmektedir.

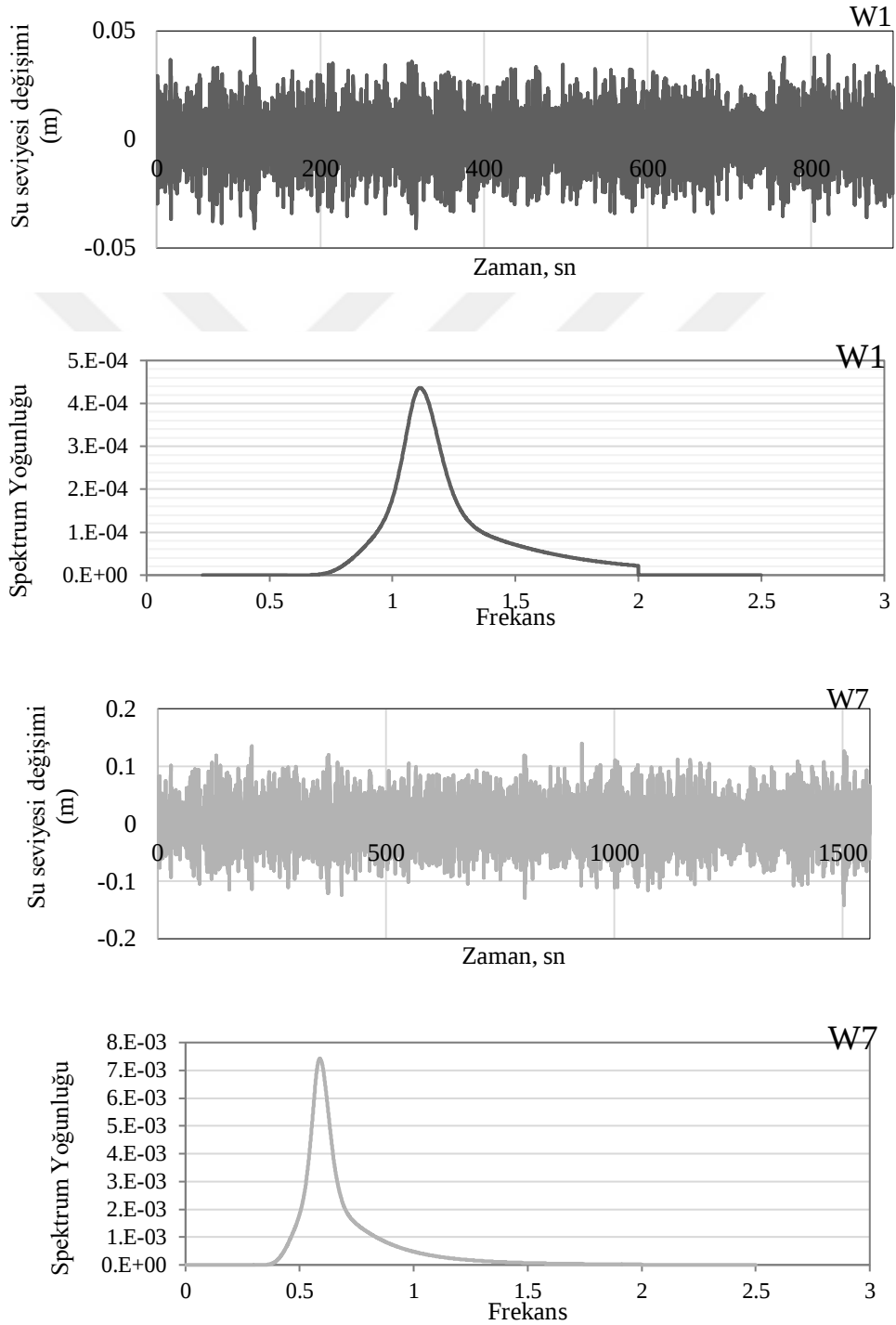
α' : Ölçek parametresi olup, $\alpha' = 0.076 \times (X_0) - 0.22$ denklemi ile hesaplanır. Ancak rüzgar feç mesafesi (X) bilinmediğinde $\alpha' = 0.0081$ alınmaktadır.

ω_p : Pik açısal frekanstır ve γ ile ilişkilidir. $\omega_p = 2 \times \pi \times (g / U_w) \times (X_0)^{-0.33}$ denklemi ile elde edilmektedir.

$$H_s = (0.11661 + 0.01581 \times \gamma - 0.00065 \times \gamma^2) \times T_p^2 \quad (5.33)$$

$$T_p = (1.49 - 0.102 \times \gamma + 0.0142 \times \gamma^2 - 0.00079 \times \gamma^3) \times T_z \quad (5.34)$$

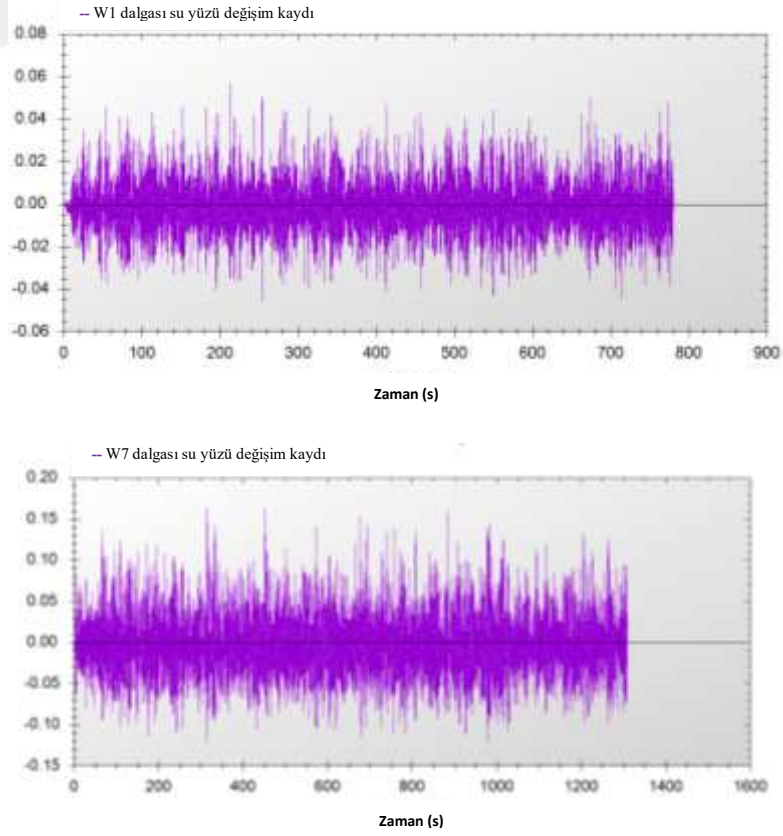
Hasselmann vd. (1973), JONSWAP spektrumu üzerinde analizler yapmışlardır. Bu analizler ile bir dalga spektrumunun hiçbir zaman tam gelişmiş durumda olamayacağını ileri sürmüşlerdir. Ayrıca P-M spektrum modeli ile JONSWAP spektrum modeli karşılaştırıldığında, JONSWAP dalga spektrumunun pik değerlere ulaşma şansı daha fazla olduğu araştırmalar ile görülmüş ve kıyaslanması Chakrabarti (1987) tarafından da yapılmıştır.



Şekil 5.17 Üretilmek istenen dalga kaydına ait örnekler



Şekil 5.18 Deney sistemine ait dalga ölçüm problarından görünüş

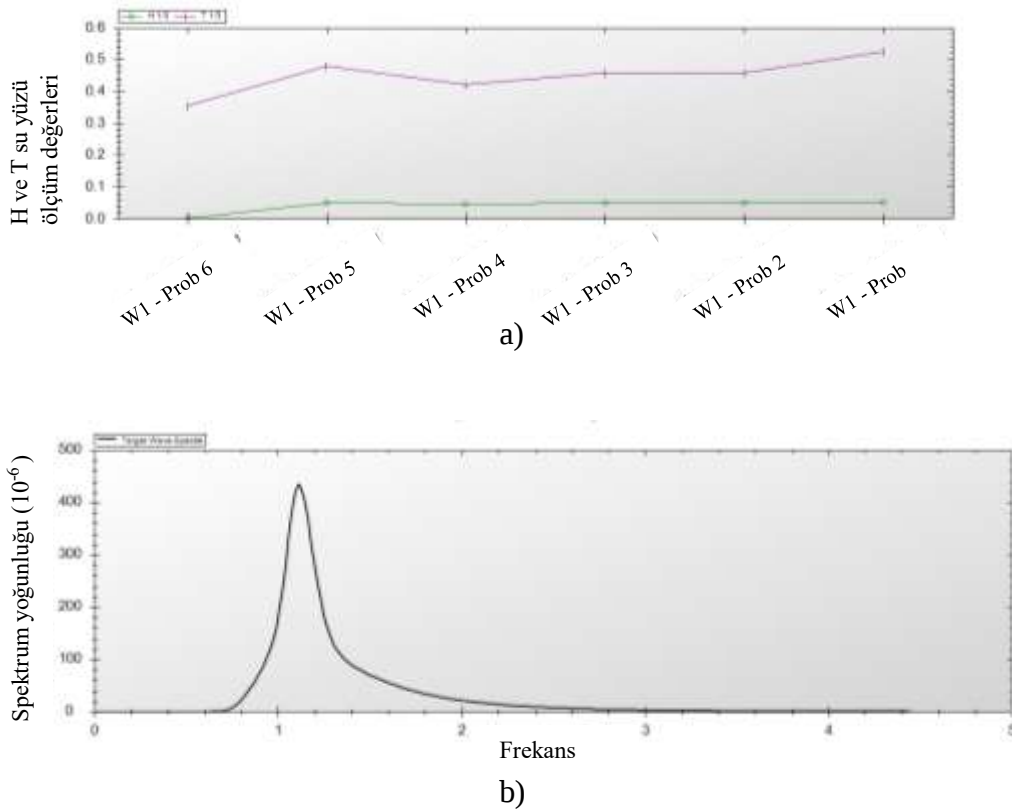


Şekil 5.19 Üretilen dalğanın bir probta su yüzü değişimi kaydı örnekleri

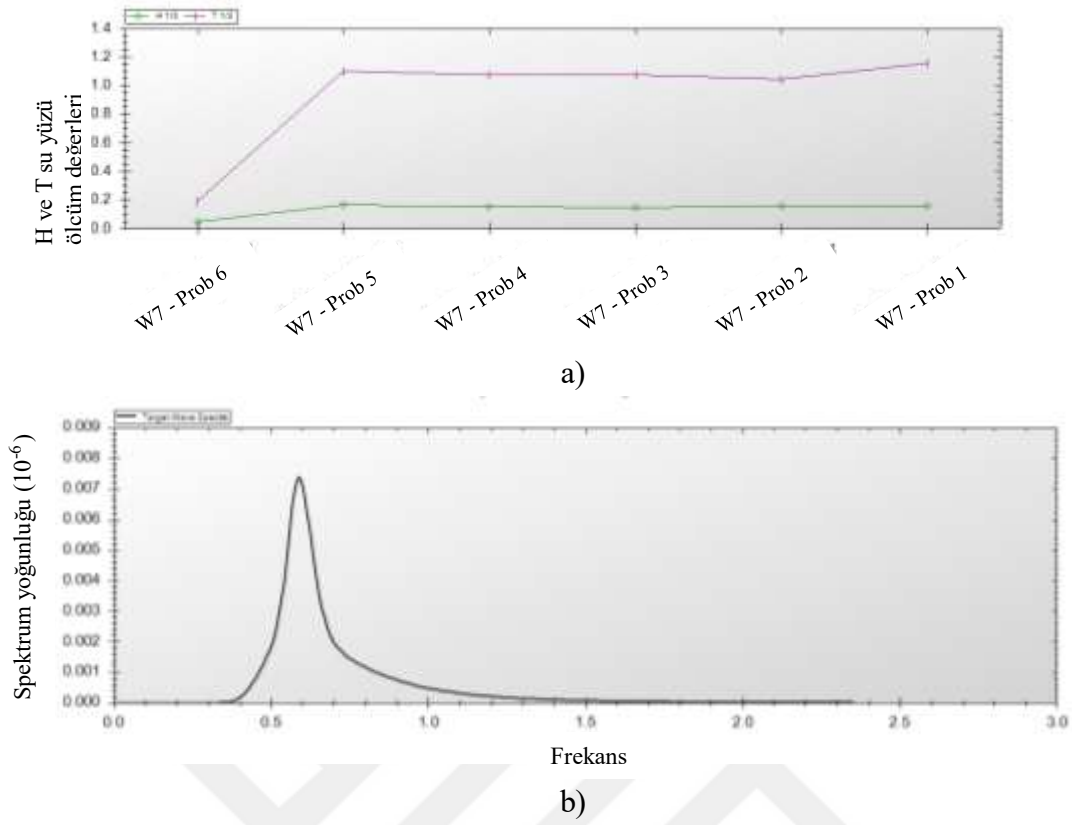
HRDAQ programı ile alınan su yüzü kayıtları daha sonra değerlendirilerek dalga analizi yapılmıştır. Dalga analizi iki farklı yöntemle yapılabilmektedir. Bunlar sıfırı kesme ve spektral analizlerdir.

Sıfırı kesme metodu, zaman alanında yapılan bir analizdir. Sıfırı yukarı ya da aşağı kesme yöntemiyle bir dalga kaydındaki her bir tekil dalga yüksekliği ve periyodu belirlenir ve istatistiksel analizleri yapılır. Sonuç olarak dalga karakteristikleri elde edilir.

Spektral analiz, dalga kaydındaki düşey yer değiştirmelerin enerji yoğunluk fonksiyonunun elde edilmesidir. Enerjiye ait spektrumdaki momentler ile dalga karakteristikleri elde edilir. Ölçümü yapılan bir dalga kaydına ait HRDAQ programında sıfırı kesme ve spektral analiz yöntemleri ile yapılan dalga analizlerine ait üretilmek istenen dalgaların sırasıyla küçük ve büyük dalga yüksekliğine sahip dalgaların örnek kayıtları Şekil 5.20’de gösterilmektedir. Şekil 5.21’de ise deney süresince dalga üretici önüne yerleştirilen prob ile yapılan ölçümlere ait üretilen dalga kayıtları gösterilmiştir.



Şekil 5.20 Dalga kaydında W1 dalgasına ait sıfırı kesme yöntemi ve spektral analiz. a) Sıfırı kesme metodu (W1), b) Spektral analiz (W1)



Şekil 5.21 Dalga kaydında W7 dalgasına ait sıfırı kesme yöntemi ve spektral analiz. a) Sıfırı kesme metodu (W7), b) Spektral analiz (W7)

6.0 Deney Şartları

Wave Synthesiser ara yüz programıyla üretilen dalgalar Wallingford HRDAQ yazılımı ile kaydedilip değerlendirilmiştir.

Su yüzü ölçümleri sıfırı kesme yöntemi ve spektrum analiz yöntemi ile değerlendirilerek karakteristik dalga parametreleri hesaplanmıştır. Topuk önündeki dörtlü prob ile yansıma analizinden elde edilen çıktı değerleri, yapı arkasındaki prob ile iletim analizinden elde edilen karakteristik dalga parametreleri aşağıda verilen tablolarda gösterilmiştir. Stabilite ve iletim deneyleri için üretilen dalgalar iki farklı sıklık için sırasıyla $4D_n$ kret genişliğine ait veriler Tablo 5.2 ve 5.3, $7D_n$ kret genişliğine ait veriler Tablo 5.4 ve 5.5 ve $10D_n$ kret genişliğine ait veriler Tablo 5.6 ve 5.7’de verilmektedir.

Tablo 5.2 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ için dalga parametreleri

Dalgalar	Hedef		Açıkta Ölçülen		Topukta				İletilen		İletim Katsayısı	Yansıma Katsayısı
					Ölçülen		Gelen	Yansıyan				
	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	T _p (s)	K _t	K _r
W1	0.050	0.90	0.054	0.91	0.050	0.87	0.020	0.012	0.002	1.04	0.084	0.611
W2	0.070	1.30	0.075	1.33	0.068	1.25	0.056	0.024	0.004	1.34	0.074	0.422
W3	0.090	1.30	0.095	1.33	0.086	1.25	0.071	0.030	0.004	1.35	0.062	0.413
W4.1	0.100	1.60	0.108	1.54	0.108	1.67	0.088	0.034	0.008	1.68	0.085	0.360
W4.2	0.110	1.70	0.120	1.67	0.125	1.67	0.096	0.039	0.010	1.76	0.103	0.395
W5	0.120	1.50	0.128	1.54	0.118	1.54	0.101	0.037	0.009	1.63	0.092	0.344
W5.1	0.130	1.70	0.140	1.67	0.146	1.67	0.114	0.047	0.014	1.74	0.126	0.395
W6	0.140	1.60	0.148	1.54	0.147	1.67	0.121	0.046	0.016	1.70	0.128	0.358
W7	0.150	1.70	0.154	1.67	0.171	1.67	0.128	0.052	0.021	1.77	0.162	0.391
W8	0.160	1.80	0.167	1.82	0.188	1.82	0.145	0.065	0.026	1.85	0.182	0.445
W9	0.170	1.80	0.176	1.82	0.199	1.82	0.153	0.069	0.030	1.85	0.195	0.449
W10	0.180	2.00	0.186	2.00	0.208	2.00	0.169	0.083	0.040	2.06	0.234	0.487
W11	0.240	1.80	0.225	1.82	0.250	1.82	0.200	0.089	0.048	1.88	0.238	0.445
W12	0.240	2.16	0.233	2.22	0.239	2.00	0.209	0.104	0.057	2.16	0.273	0.494
W13	0.260	2.25	0.242	2.22	0.239	2.00	0.213	0.106	0.062	2.34	0.291	0.496

Tablo 5.3 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ için dalga parametreleri

Dalgalar	Hedef		Açıkta Ölçülen		Topukta				İletilen		İletim Katsayısı	Yansıma Katsayısı
					Ölçülen		Gelen	Yansıyan				
	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	T _p (s)	K _t	K _r
W1	0.050	0.90	0.054	0.91	0.050	0.87	0.020	0.012	0.002	1.04	0.084	0.611
W2	0.070	1.30	0.074	1.33	0.069	1.25	0.056	0.023	0.004	1.38	0.071	0.397
W3	0.090	1.30	0.094	1.33	0.087	1.25	0.072	0.029	0.004	1.39	0.060	0.386
W4.1	0.100	1.60	0.108	1.54	0.106	1.67	0.090	0.034	0.008	1.70	0.085	0.355
W4.2	0.110	1.70	0.118	1.67	0.124	1.67	0.099	0.040	0.010	1.74	0.100	0.391
W5	0.120	1.50	0.126	1.54	0.118	1.54	0.103	0.036	0.009	1.63	0.087	0.329
W5.1	0.130	1.70	0.138	1.67	0.146	1.82	0.116	0.047	0.014	1.75	0.119	0.390
W6	0.140	1.60	0.147	1.54	0.146	1.67	0.122	0.045	0.015	1.71	0.122	0.348
W7	0.150	1.70	0.168	1.67	0.165	1.67	0.132	0.053	0.018	1.77	0.140	0.390
W8	0.160	1.80	0.181	1.82	0.183	1.82	0.147	0.065	0.023	1.84	0.160	0.440
W9	0.170	1.80	0.190	1.82	0.193	1.82	0.155	0.069	0.027	1.84	0.174	0.445
W10	0.180	2.00	0.201	2.00	0.205	2.00	0.170	0.082	0.034	2.07	0.203	0.478
W11	0.240	1.80	0.242	1.82	0.245	1.82	0.200	0.088	0.045	1.80	0.228	0.441
W12	0.240	2.16	0.253	2.22	0.240	2.00	0.208	0.101	0.055	2.15	0.263	0.485
W13	0.260	2.25	0.263	2.22	0.242	2.22	0.212	0.103	0.060	2.34	0.283	0.484
TW1	0.060	1.96	0.088	2.00	0.072	2.00	0.058	0.030	0.008	1.99	0.132	0.509
TW2	0.070	2.12	0.105	2.00	0.082	2.00	0.069	0.036	0.009	2.21	0.132	0.516
TW3	0.080	2.26	0.118	2.22	0.089	2.22	0.077	0.040	0.011	2.27	0.137	0.519
TW4	0.100	1.79	0.146	0.82	0.118	1.82	0.090	0.042	0.009	1.91	0.097	0.446
TW5	0.120	1.96	0.175	2.00	0.145	2.00	0.117	0.059	0.014	2.00	0.116	0.501
TW6	0.150	2.19	0.218	2.22	0.168	2.22	0.143	0.073	0.026	2.26	0.180	0.506
TW7	0.140	1.73	0.199	1.67	0.159	1.82	0.123	0.052	0.017	1.85	0.139	0.410
TW8	0.150	1.79	0.214	1.82	0.174	1.82	0.138	0.062	0.021	1.86	0.153	0.449
TW9	0.170	1.91	0.241	1.82	0.199	1.82	0.161	0.078	0.030	1.94	0.188	0.479

Tablo 5.4 7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ için dalga parametreleri

Dalgalar	Hedef		Açıkta Ölçülen		Topukta				İletilen		İletim Katsayısı	Yansıma Katsayısı
					Ölçülen		Gelen	Yansıyan				
	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	T _p (s)	K _t	K _r
W1	0.050	0.90	0.053	0.87	0.050	0.91	0.020	0.012	0.012	1.04	0.060	0.608
W2	0.070	1.30	0.073	1.33	0.070	1.25	0.056	0.024	0.003	1.37	0.058	0.411
W3	0.090	1.30	0.093	1.33	0.090	1.25	0.072	0.030	0.003	1.38	0.048	0.404
W4.1	0.100	1.60	0.106	1.67	0.107	1.67	0.089	0.033	0.006	1.71	0.067	0.350
W4.2	0.110	1.70	0.117	1.67	0.124	1.82	0.097	0.039	0.007	1.75	0.073	0.383
W5	0.120	1.50	0.127	1.43	0.118	1.54	0.105	0.038	0.006	1.63	0.056	0.338
W5.1	0.130	1.70	0.138	1.67	0.146	1.82	0.118	0.047	0.009	1.75	0.073	0.387
W6	0.140	1.60	0.147	1.54	0.146	1.67	0.126	0.047	0.009	1.71	0.070	0.349
W7	0.150	1.70	0.158	1.67	0.168	1.82	0.133	0.053	0.012	1.77	0.090	0.382
W8	0.160	1.80	0.172	1.82	0.187	1.82	0.151	0.066	0.016	1.85	0.106	0.437
W9	0.170	1.80	0.182	1.82	0.198	1.82	0.160	0.070	0.018	1.85	0.114	0.438
W10	0.180	2.00	0.193	2.00	0.213	2.00	0.177	0.085	0.025	2.06	0.142	0.477
W11	0.240	1.80	0.235	1.82	0.252	1.82	0.210	0.093	0.035	1.91	0.167	0.439
W12	0.240	2.16	0.244	2.22	0.251	2.22	0.216	0.106	0.044	2.16	0.204	0.486
W13	0.260	2.25	0.252	2.22	0.255	2.22	0.221	0.108	0.050	2.34	0.225	0.488
TW1	0.060	1.96	0.065	2.00	0.069	2.00	0.057	0.027	0.007	1.98	0.119	0.480
TW2	0.070	2.12	0.077	2.00	0.080	2.00	0.067	0.033	0.008	2.15	0.119	0.492
TW3	0.080	2.26	0.086	2.22	0.088	2.22	0.075	0.038	0.009	2.28	0.122	0.503
TW4	0.100	1.79	0.108	1.82	0.114	1.82	0.091	0.040	0.007	1.88	0.080	0.438
TW5	0.120	1.96	0.129	2.00	0.142	2.00	0.115	0.056	0.010	2.03	0.086	0.483
TW6	0.150	2.19	0.162	2.22	0.168	2.22	0.142	0.071	0.018	2.22	0.124	0.493
TW7	0.140	1.73	0.148	1.67	0.156	1.82	0.122	0.049	0.010	1.77	0.084	0.390
TW8	0.150	1.79	0.159	1.82	0.170	1.82	0.136	0.059	0.013	1.86	0.093	0.430
TW9	0.170	1.91	0.178	1.82	0.198	2.00	0.160	0.074	0.020	1.92	0.127	0.462
TW10	0.190	2.01	0.198	2.00	0.215	2.00	0.177	0.084	0.027	2.04	0.153	0.471

Tablo 5.5 7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ için dalga parametreleri

Dalgalar	Hedef		Açıkta Ölçülen		Topukta				İletilen		İletim Katsayısı	Yansıma Katsayısı
					Ölçülen		Gelen	Yansıyan				
	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	T _p (s)	K _t	K _r
W1	0.050	0.90	0.052	0.87	0.050	0.87	0.020	0.012	0.001	1.04	0.061	0.613
W2	0.070	1.30	0.074	1.33	0.069	1.25	0.055	0.024	0.003	1.38	0.060	0.421
W3	0.090	1.30	0.094	1.33	0.088	1.25	0.071	0.030	0.004	1.38	0.051	0.411
W4.1	0.100	1.60	0.107	1.54	0.107	1.67	0.087	0.034	0.006	1.71	0.069	0.370
W4.2	0.110	1.70	0.118	1.67	0.125	1.82	0.096	0.040	0.007	1.75	0.075	0.406
W5	0.120	1.50	0.126	1.43	0.118	1.54	0.101	0.037	0.006	1.63	0.059	0.349
W5.1	0.130	1.70	0.138	1.67	0.147	1.82	0.114	0.048	0.009	1.75	0.076	0.409
W6	0.140	1.60	0.147	1.54	0.146	1.67	0.120	0.047	0.009	1.71	0.073	0.369
W7	0.150	1.70	0.158	1.67	0.170	1.82	0.129	0.054	0.012	1.77	0.092	0.404
W8	0.160	1.80	0.172	1.82	0.189	1.82	0.147	0.068	0.015	1.85	0.105	0.464
W9	0.170	1.80	0.180	1.82	0.202	1.82	0.155	0.071	0.018	1.85	0.115	0.459
W10	0.180	2.00	0.192	2.00	0.215	2.00	0.171	0.086	0.024	2.07	0.140	0.499
W11	0.240	1.80	0.232	1.82	0.254	1.82	0.200	0.092	0.034	1.88	0.168	0.458
W12	0.240	2.16	0.241	2.22	0.252	2.00	0.209	0.106	0.042	2.16	0.203	0.503
W13	0.260	2.25	0.250	2.22	0.255	2.22	0.213	0.108	0.048	2.34	0.225	0.505
TW1	0.060	1.96	0.065	2.00	0.072	2.00	0.058	0.029	0.007	1.98	0.120	0.508
TW2	0.070	2.12	0.077	2.00	0.082	2.00	0.069	0.036	0.008	2.15	0.119	0.518
TW3	0.080	2.26	0.087	2.22	0.089	2.22	0.076	0.040	0.009	2.28	0.123	0.525
TW4	0.100	1.79	0.108	1.82	0.119	1.82	0.090	0.042	0.008	1.88	0.084	0.455
TW5	0.120	1.96	0.130	2.00	0.146	2.00	0.117	0.060	0.010	2.03	0.084	0.512
TW6	0.150	2.19	0.163	2.22	0.171	2.22	0.145	0.075	0.018	2.22	0.124	0.516
TW7	0.140	1.73	0.148	1.82	0.161	1.82	0.124	0.054	0.010	1.77	0.082	0.424
TW8	0.150	1.79	0.159	1.82	0.176	1.82	0.139	0.064	0.012	1.90	0.089	0.463
TW9	0.170	1.91	0.180	1.82	0.204	2.00	0.161	0.080	0.020	1.92	0.124	0.495
TW10	0.190	2.01	0.198	2.00	0.221	2.00	0.181	0.090	0.027	2.04	0.147	0.497

Tablo 5.6 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ için dalga parametreleri

Dalgalar	Hedef		Açıkta Ölçülen		Topukta				İletilen		İletim Katsayısı	Yansıma Katsayısı
					Ölçülen		Gelen	Yansıyan				
	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	T _p (s)	K _t	K _r
W1	0.050	0.90	0.052	0.870	0.050	0.87	0.020	0.012	0.001	1.04	0.052	0.610
W2	0.070	1.30	0.073	1.333	0.070	1.25	0.055	0.024	0.003	1.37	0.049	0.409
W3	0.090	1.30	0.092	1.333	0.088	1.25	0.071	0.030	0.003	1.63	0.042	0.400
W4.1	0.100	1.60	0.105	1.538	0.107	1.67	0.088	0.035	0.005	1.71	0.058	0.374
W4.2	0.110	1.70	0.117	1.667	0.126	1.67	0.098	0.042	0.006	1.75	0.064	0.415
W5	0.120	1.50	0.124	1.429	0.119	1.54	0.102	0.038	0.005	1.63	0.048	0.348
W5.1	0.130	1.70	0.136	1.667	0.149	1.67	0.116	0.050	0.007	1.78	0.059	0.417
W6	0.140	1.60	0.144	1.538	0.149	1.67	0.124	0.049	0.006	1.72	0.052	0.375
W7	0.150	1.70	0.157	1.667	0.170	1.82	0.132	0.056	0.008	1.77	0.064	0.413
W8	0.160	1.80	0.169	1.818	0.188	1.82	0.149	0.069	0.011	1.89	0.073	0.462
W9	0.170	1.80	0.178	1.818	0.200	1.82	0.158	0.074	0.013	1.89	0.080	0.467
W10	0.180	2.00	0.190	2.000	0.210	2.00	0.174	0.087	0.017	2.07	0.100	0.496
W11	0.240	1.80	0.228	1.818	0.255	1.82	0.207	0.098	0.025	1.91	0.119	0.466
W12	0.240	2.16	0.241	2.222	0.250	2.00	0.212	0.107	0.033	2.16	0.154	0.501
W13	0.260	2.25	0.251	2.222	0.250	2.22	0.216	0.109	0.037	2.34	0.170	0.502
TW1	0.060	1.96	0.065	2.000	0.072	2.00	0.058	0.029	0.006	1.98	0.097	0.506
TW2	0.070	2.12	0.077	2.000	0.082	2.00	0.069	0.036	0.007	2.15	0.096	0.517
TW3	0.080	2.26	0.087	2.222	0.088	2.22	0.076	0.040	0.008	2.28	0.103	0.524
TW4	0.100	1.79	0.109	1.818	0.119	1.82	0.093	0.044	0.006	1.88	0.066	0.471
TW5	0.120	1.96	0.130	2.000	0.145	2.00	0.117	0.060	0.008	2.03	0.068	0.508
TW6	0.150	2.19	0.163	2.222	0.168	2.22	0.144	0.074	0.013	2.22	0.088	0.512
TW7	0.140	1.73	0.148	1.818	0.161	1.82	0.125	0.054	0.008	1.86	0.060	0.423
TW8	0.150	1.79	0.160	1.818	0.176	1.82	0.139	0.064	0.009	1.90	0.063	0.461
TW9	0.170	1.91	0.179	1.818	0.200	2.00	0.162	0.080	0.014	1.92	0.085	0.486
TW10	0.190	2.01	0.199	2.000	0.216	2.00	0.179	0.089	0.019	2.04	0.107	0.494

Tablo 5.7 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ için dalga parametreleri

Dalgalar	Hedef		Açıkta Ölçülen		Topukta				İletilen		İletim Katsayısı	Yansıma Katsayısı
					Ölçülen		Gelen	Yansıyan				
	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	T _p (s)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	H _{mo} (m)	T _p (s)	K _t	K _r
W1	0.050	0.90	0.052	0.91	0.051	0.87	0.020	0.012	0.001	1.04	0.046	0.609
W2	0.070	1.30	0.073	1.33	0.070	1.25	0.056	0.025	0.003	1.36	0.048	0.427
W3	0.090	1.30	0.093	1.33	0.089	1.25	0.072	0.031	0.003	1.63	0.041	0.415
W4.1	0.100	1.60	0.106	1.54	0.108	1.67	0.089	0.035	0.005	1.71	0.058	0.376
W4.2	0.110	1.70	0.118	1.67	0.127	1.67	0.098	0.042	0.006	1.75	0.065	0.415
W5	0.120	1.50	0.126	1.43	0.119	1.54	0.103	0.038	0.005	1.63	0.052	0.351
W5.1	0.130	1.70	0.137	1.67	0.149	1.82	0.116	0.050	0.007	1.78	0.063	0.415
W6	0.140	1.60	0.146	1.54	0.150	1.67	0.125	0.049	0.007	1.71	0.058	0.373
W7	0.150	1.70	0.157	1.67	0.173	1.82	0.133	0.057	0.010	1.77	0.073	0.410
W8	0.160	1.80	0.170	1.82	0.191	1.82	0.151	0.070	0.013	1.89	0.085	0.462
W9	0.170	1.80	0.180	1.82	0.202	1.82	0.159	0.073	0.015	1.89	0.093	0.462
W10	0.180	2.00	0.192	2.00	0.214	2.00	0.176	0.088	0.020	2.07	0.115	0.500
W11	0.240	1.80	0.230	1.82	0.259	1.82	0.206	0.095	0.029	1.89	0.140	0.460
W12	0.240	2.16	0.241	2.22	0.254	2.00	0.215	0.109	0.036	2.16	0.169	0.505
W13	0.260	2.25	0.251	2.22	0.257	2.22	0.220	0.111	0.041	2.34	0.188	0.505
TW1	0.060	1.96	0.065	2.00	0.073	2.00	0.058	0.030	0.006	1.98	0.104	0.516
TW2	0.070	2.12	0.077	2.22	0.083	2.00	0.069	0.037	0.007	2.15	0.104	0.524
TW3	0.080	2.26	0.087	2.22	0.089	2.22	0.076	0.040	0.008	2.28	0.108	0.530
TW4	0.100	1.79	0.108	1.82	0.120	1.82	0.090	0.043	0.006	1.89	0.071	0.456
TW5	0.120	1.96	0.129	2.00	0.146	2.00	0.117	0.060	0.009	2.03	0.074	0.512
TW6	0.150	2.19	0.162	2.22	0.170	2.22	0.144	0.075	0.015	2.22	0.101	0.516
TW7	0.140	1.73	0.147	1.82	0.161	1.82	0.124	0.054	0.008	1.86	0.068	0.423
TW8	0.150	1.79	0.159	1.82	0.175	1.82	0.139	0.064	0.010	1.90	0.072	0.461
TW9	0.170	1.91	0.177	1.82	0.201	2.00	0.162	0.080	0.016	1.92	0.099	0.489
TW10	0.190	2.01	0.197	2.00	0.218	2.00	0.179	0.089	0.021	2.04	0.120	0.494

6.1 Hasarın Ölçümü

Düşük kretli dalgakıranların incelendiği bu deneysel çalışmada hasarın ölçülmesi için üç farklı hasar parametresi dikkate alınmıştır. Bunlar, hareket eden blokları simgeleyen M, yer değiştiren blokları simgeleyen D, rölatif hasarı simgeleyen N_0 'dır. $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ olan iki farklı sıklık için hazırlanan 6 model deneyinde ön şev, kret ve arka şev ayrı ayrı olacak şekilde değerlendirilmiştir. Ön şev ve arka şev hasarlarını belirlemek için su altı kameralarından faydalanılmıştır. Bu kameralar şeve dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Her bir deney setinde stabilite için küçükten büyüğe doğru 15 adet dalga ile çalışılmıştır. Her deney setinin her bir dalgasının başlangıcında ve sonunda ön şev, kret ve arka şev için alınan görüntüler kaydedilmiştir. Kaydedilen bu görüntüler gözle analiz edilmiş ve küp blokların hareketleri incelenerek hareket eden ve yer değiştiren bloklar sayılmış ve kümülatif hasar tespit edilmiştir. Böylece hasar analizi yapılmıştır. Analizler şev yüzeyinde önceden belirlenen referans alanı dikkate alınarak yapılmıştır. Referans alanı sınırları dalgakıran modeline etkileyebilecek en büyük dalga yüksekliği dikkate alınarak belirlenmiştir. Hidrolik modelleme çalışmasında 0.60 m su derinliğinde çalışılacağından spektral belirgin dalga yüksekliği $H_{m0}=0.2$ m olarak seçilmiştir. Referans alanının sakin su seviyesinden $1.0H_s$ (0.20 m) yukarı ve $1.0H_s$ (0.20 m) aşağısı dikkate alındığında, referans alan su seviyesinin $5D_n$ (0.20/0.04) aşağısı ve $5D_n$ (0.20/0.04) yukarısı olarak alındığında toplam $10D_n$ uzunluğundaki alan olarak belirlenmiştir.

Şekil 5.22 ve 5.23'de modellerde gösterildiği üzere kanal yan duvarları deneylerde sürekliliği bozması sebebiyle hasar ölçümlerinde yan duvarlardan birer küp blok sırası dikkate alınmamıştır. Şekil 5.24 ön şeve, Şekil 5.25 arka şeve ve Şekil 5.26'da krete ait küp bloklarda hasara örnek gösterilmiştir.

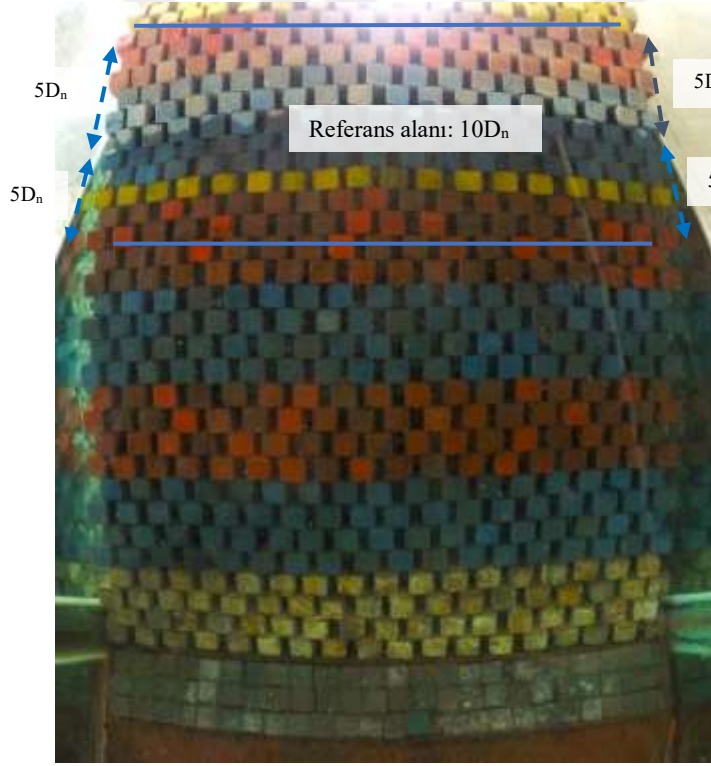


a)



b)

Şekil 5.22 Deney modelinde ve krette referans alanı. a) Modelde referans alanı, b) Krette referans alanı

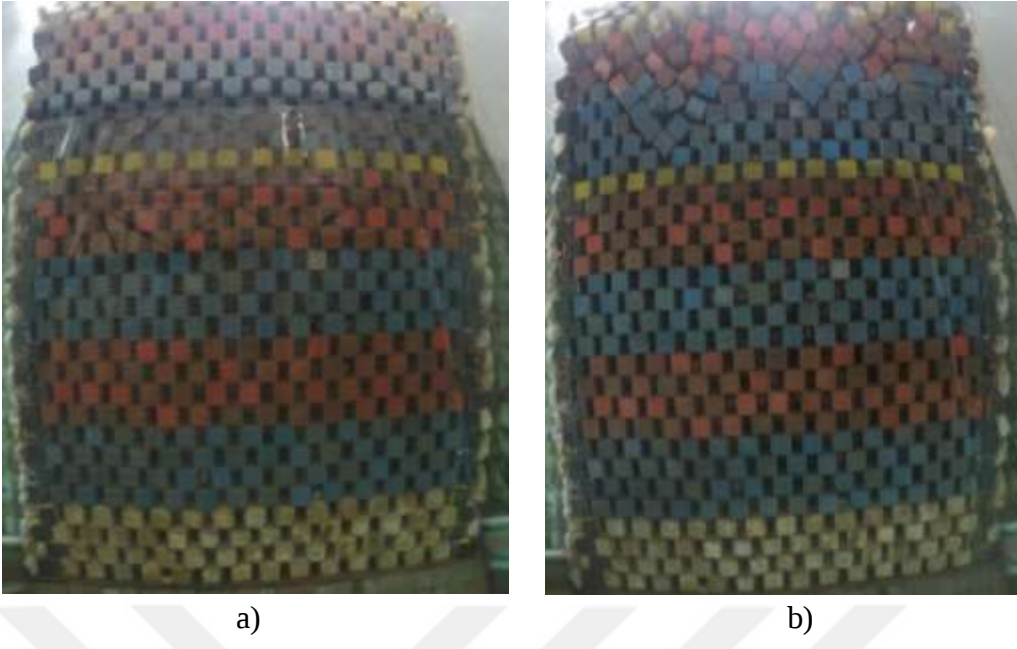


a)

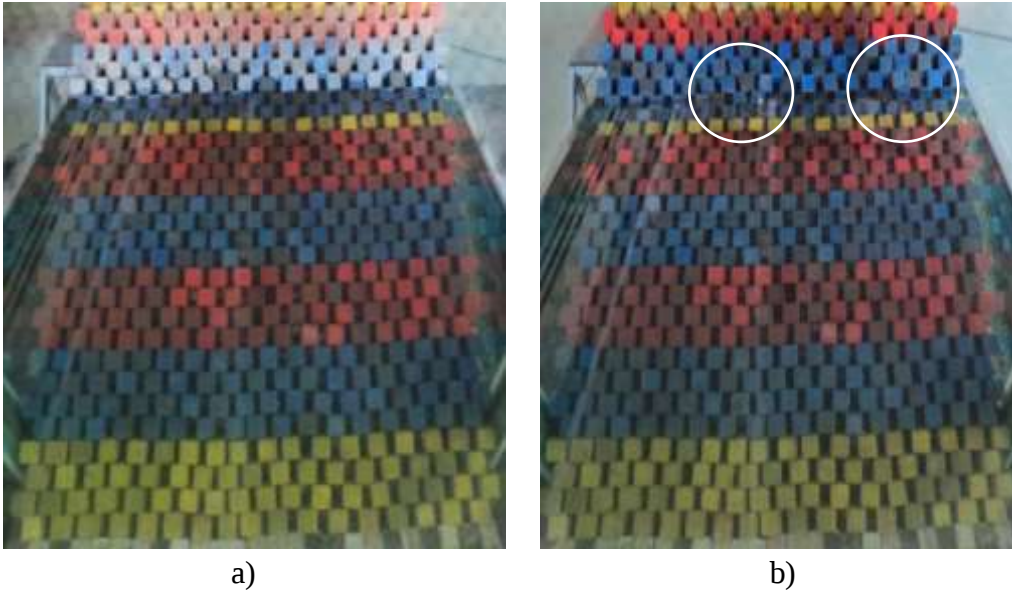


b)

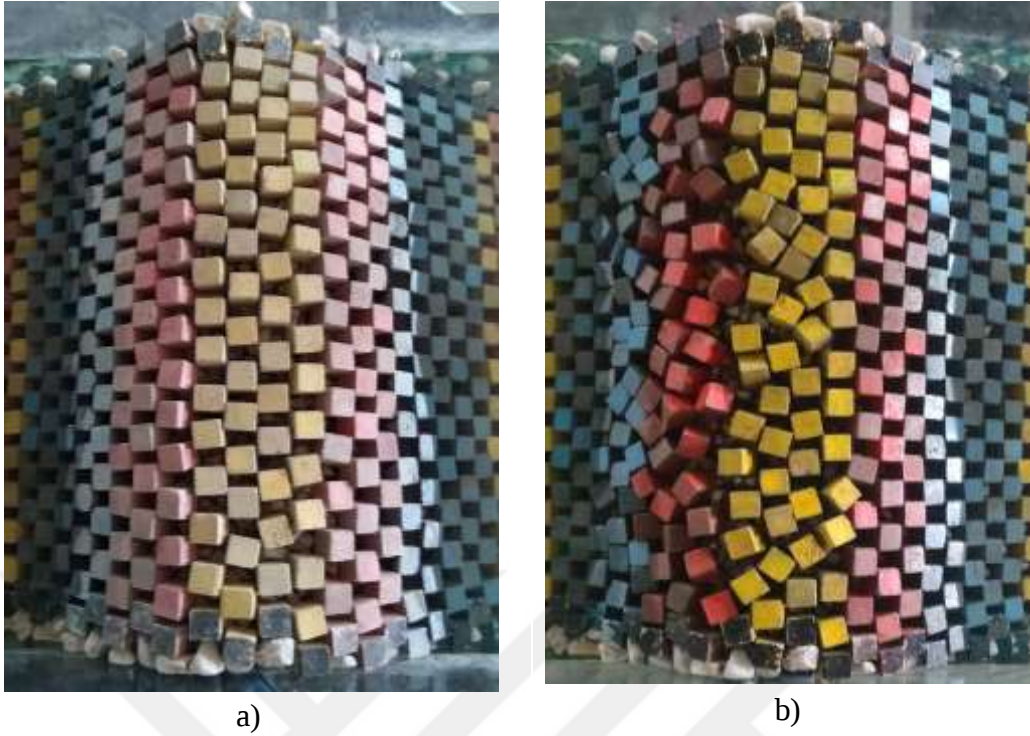
Şekil 5.23 Ön ve arka şevde referans alanı. a) Ön şevde referans alanı, b) Arka şevde referans alanı



Şekil 5.24 Ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



Şekil 5.25 Arka şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



Şekil 5.26 Krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası

Hasar Oranı

Koruma tabakasına yerleştirilen küp blokların hasar durumlarını incelemek ve stabilite sayısını hesaplamak amacıyla M düzeyli hareketlenmeler ve D düzeyli hasarlar sınıflandırılarak deneye ait hasar görüntüleri analizi değerlendirilmiştir. Bu sınıflandırma ve hesaplama esasları Bölüm 4.2’de verilmiştir.

Buna dayanarak tüm deneylerde hasar yüzdeleri hesaplanmış olup, $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde iki ayrı sıklık için de yüzde hasarlar elde edilmiştir (Tablo 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12, 5.13).

Rölatif Hasar

Rölatif hasarın belirlenmesinde Van der Meer (1988b) ve Hudson tarafından tanımlanan ifadeler bulunmaktadır. Bu çalışmada hasarın belirlenmesi için Hasar Oranı ile Rölatif Hasar 2 (N_0) tanımı kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır. Buna dair detaylı bilgi Bölüm 4.2’de verilmiştir.

Tek sıra düzenli küp yerleşiminde hasar başlangıcı $N_0=0$ ve tam hasar ise $N_0=0.2$ ’dir. Buna göre, yapılan model deneylerinde $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklığı için, Şekil 5.12.a’da ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı için, Şekil 5.12.b’de gösterildiği üzere

referans alanı genişliği $B_{\text{model},1}=91.49$ cm ve $B_{\text{model},2}=93.55$ cm olup bu modelde yapının tam hasar için yerinden çıkan küp blokların sayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$N_0 > 0.2$ için tam hasar;

$\Psi_s = 0.59$ yerleşim sıklığı için,

$$0.2 = \frac{n_y}{91.49/4} \quad (5.35)$$

$$n_y = 4.57 \sim 4 \text{ adet}$$

$\Psi_s = 0.67$ yerleşim sıklığı için,

$$0.2 = \frac{n_{yd}}{93.55/4} \quad (5.36)$$

$$n_y = 4.68 \sim 4 \text{ adet}$$

Böylece her iki sıklığa sahip modelde de 4 ve üzeri bloğun yer değiştirmesi ile yapının tam hasara uğradığı söylenebilir. Tablo 5.8’de iki farklı sıklılıktaki kesit için de tam hasara neden olan taş sayısının hesap özetleri görülmektedir.

Düşük kretli küp bloklı dalgakıranların gövde kesitinde iki farklı sıklılık için hasar; ön şev, kret ve arka şev olmak üzere her bir bileşende hasarın başlangıcı ayrı ayrı belirlenmiş ve karşılaştırmaları yapılmıştır. Daha sonra tüm kesit birlikte değerlendirilmiştir.

Tablo 5.8 Model özellikleri ve tam hasar durumu

Sıklılık	Sıradaki Küp Sayısı (adet)	Küpler arası boşluk (cm)	Kanal kesit genişliği ($B_{\text{model},i}$)	Genişlik/ D_n	Rölatif Hasar (Tam Hasar)	Taş Adedi
0.59	15-16	2.73	91.49	22.87	0.2	4
0.67	17-18	1.97	93.55	23.39	0.2	4

MODEL DENEYLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Düşük Kretli Tek Sıra Küp Bloklı Dalgakıran Stabilite Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Düşük kretli geleneksel dalgakıranların $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ olmak üzere 3 farklı kret genişliğinde küp blokların koruma tabakasına $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ olmak üzere iki farklı sıklıkta tek sıra düzenli yerleştirilmesi durumları için hem stabilite hem de iletim performansının değerlendirilmesi açısından deneylerin gerçekleştirildiği çalışmanın bu bölümünde stabilitenin değerlendirilmesi üzerine çalışılacaktır.

Burada $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri önce ayrı başlıklar halinde değerlendirilecek daha sonra birlikte karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir.

6.1.1 $4D_n$ Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklığı

$4D_n$ kret genişliğindeki kesite küp blokların $\Psi_s=0.59$ sıklıkta düzenli dizilim ile oluşturulmuş deneye ait ön şev, kret ve arka şevdeki küp blokların hareketlenme ve yer değiştirmelerine ait veriler sırasıyla Tablo 6.1, Tablo 6.2 ve Tablo 6.3’de gösterilmiştir. Bu deneyde serinin 3.dalgası olan W3’de dalgalar krete ulaşmakta olup, W4.1 dalgasında bu modelin kretinden dalganın tam aştığı gözlemlenmiştir. Gelen dalga, şev üzerinde tırmandıktan sonra koruma tabakası üzerinde geri çekilme hareketi yapmaktadır. Bu deneyde ön şevde W5 dalgasından sonra geri çekilme hareketi referans alanının dışında da etkili olmaya başladığı görülmüştür.

Ön şevde küp bloklardaki hareketlenmeler W4.2 dalgasında ($H_s=0.11$ m, $T_p=1.7$ sn) başlamış olup, W8 dalgasına kadar artarak hareketlenmeler devam etmiştir. Bu dalgadan itibaren hareket eden küpler birbirinin hareketini etkileyerek şev üzerinde yer değiştirmeleri başlatmıştır. Şekil 6.1.a’da görüldüğü üzere son üç dalga ile birlikte hareketlenme artarak yer değiştirme başlamıştır. Tablo 6.1’de görüldüğü üzere W13 dalgasında kümülatif hareketlenme (M_T) % 47.74 ve toplam yer değiştirme (D_T) ise %9.03 değerine ulaşmıştır.

W4.1 dalgasında aşmaya başlayan dalgalar kret koruma tabakasında yer alan küp blokları etkilememiştir. W7 dalgasından sonra ön şevin hasar almaya başlamasıyla

Tablo 6.2’den de anlaşılacağı üzere krette hareketlenmeler gözlemlenmiştir. Krette hasar W12 dalgası ile başlamış olup Şekil 6.1.b’de görüldüğü üzere, W13 dalgasında toplam hareketlenme oranı (M_T) %50 ve toplam yer değiştirme oranı (D_T) %12.9 değerine ulaşmıştır.

$4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan bu model deneyinde krete ait analiz sonuçları Ek B.1’de verilmiştir. Krette bulunan küp blokların hareketi W1 dalgasında yapının ön şev ile bitişik olan kretin ilk sırasında 2 adet küp bloğun hareketi ile başlamıştır. Bunu takiben ikinci, üçüncü ve dördüncü kret sıralarında W5.1 dalgasına kadar kırıldanma düzeyindeki hareketlilik artarak devam etmiştir. Ek B.1’de verilen tablolarda da görüldüğü gibi, W5.1 dalgasında M_1 düzeyli hareket eden küp blok sayısı 17 olarak hesaplanmıştır ve W7 dalgasında M_2 düzeyli hareketlilik başlamış olup 2 adettir. W7 dalgasından itibaren krette M_2 düzeyli hareket miktarı artarak W11 dalgasında 16 adet gözlemlenmiştir. W12 ve W13 dalgaları ile D düzeyli hareketler başlamış olup, sırasıyla W12 dalgasında $D_1=6$, $D_2=0$ ve W13 dalgasında $D_1=7$ ve $D_2=1$ adet olarak gözlemlenmiştir.

Bu modele ait deneyde arka şev koruma tabakasında hasar gözlemlenmemiştir. Şekil 6.1.c’de arka şev için deneyin son dalgaları ile birlikte küp blokların M_1 düzeyli hareketleri olduğu görülmüştür. Tablo 6.3’de görüldüğü gibi arka şevde sadece M_1 düzeyli hareketler olup D düzeyli bir hasar oluşmamıştır. Deneyde kırıldanma düzeyindeki bu hareketler hasarı meydana getirecek ölçüde gerçekleşmemiştir.

Bu model deneyinde ön şev, kret ve arka şevde stabilite sayısına karşı rölatif hasar sırasıyla Şekil 6.2.a, 6.2.b ve 6.2.c’de gösterilmektedir. Görüldüğü üzere, ön şevde rölatif hasar, yer değiştirmenin gözlemlendiği W8 dalgasında başlamıştır. (W8 için $N_0=0.04$) Deplasman yapan küp blokların sayısı arttıkça rölatif hasar da artmıştır. Krette rölatif hasar W12 dalgasında gözlemlenmiş olup (W12 için $N_0=0.26$) son dalga ile birlikte artmıştır. Arka şevde küp bloklarda sadece M_1 seviyesinde hareketlenme gözlenmiş olup hasar oluşmamıştır, dolayısıyla rölatif hasar “0” dır.

Tablo 6.1 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

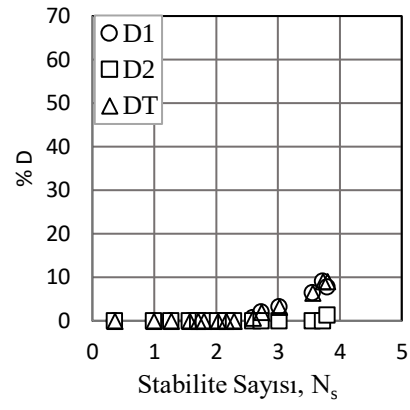
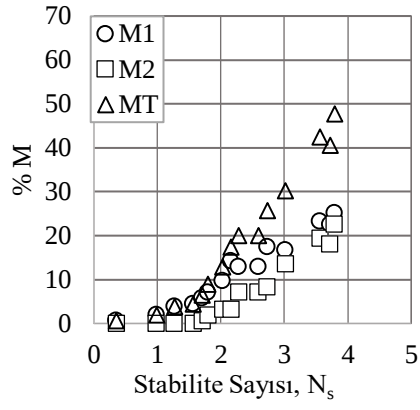
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	T_{m-1,0}	S_{m-1,0}	N_s	M₁	M₂	M_T	D₁	D₂	D_T	N₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.026	1.0	1.94	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.02	0.044	1.21	0.031	1.3	3.87	0.00	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.088	1.67	0.020	1.26	0.036	1.56	0.023	1.6	4.52	0.00	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.096	1.82	0.019	1.35	0.034	1.68	0.022	1.7	5.81	0.65	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.101	1.54	0.027	1.17	0.048	1.50	0.029	1.8	7.10	1.94	9.03	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.114	1.82	0.022	1.35	0.040	1.72	0.025	2.0	9.68	3.23	12.90	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.121	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.028	2.2	14.19	3.23	17.42	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.128	1.82	0.025	1.37	0.044	1.78	0.026	2.3	12.90	7.10	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.145	1.82	0.028	1.45	0.044	1.90	0.026	2.6	12.90	7.10	20.00	0.65	0.00	0.65	0.04
W9	0.153	1.82	0.030	1.46	0.046	1.92	0.027	2.7	17.42	8.39	25.81	1.94	0.00	1.94	0.13
W10	0.169	2.00	0.027	1.57	0.044	2.15	0.024	3.0	16.77	13.55	30.32	3.23	0.00	3.23	0.22
W11	0.200	1.82	0.039	1.51	0.056	2.09	0.029	3.6	23.23	19.35	42.58	6.45	0.00	6.45	0.43
W12	0.209	2.00	0.033	1.64	0.050	2.49	0.022	3.7	22.58	18.06	40.65	9.03	0.00	9.03	0.61
W13	0.213	2.22	0.028	1.66	0.050	2.61	0.020	3.8	25.16	22.58	47.74	7.74	1.29	9.03	0.61

Tablo 6.2 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları

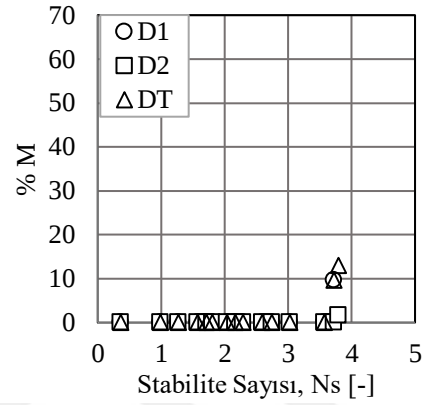
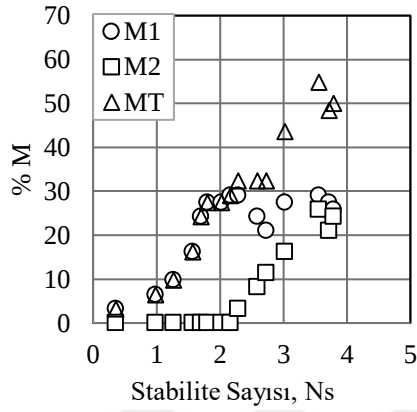
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.36	3.23	0.00	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.026	1.0	6.45	0.00	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.02	0.044	1.21	0.031	1.3	9.68	0.00	9.68	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.088	1.67	0.020	1.26	0.036	1.56	0.023	1.6	16.13	0.00	16.13	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.096	1.82	0.019	1.35	0.034	1.68	0.022	1.7	24.19	0.00	24.19	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.101	1.54	0.027	1.17	0.048	1.50	0.029	1.8	27.42	0.00	27.42	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.114	1.82	0.022	1.35	0.040	1.72	0.025	2.0	27.42	0.00	27.42	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.121	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.028	2.2	29.03	0.00	29.03	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.128	1.82	0.025	1.37	0.044	1.78	0.026	2.3	29.03	3.23	32.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.145	1.82	0.028	1.45	0.044	1.90	0.026	2.6	24.19	8.06	32.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.153	1.82	0.030	1.46	0.046	1.92	0.027	2.7	20.97	11.29	32.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.169	2.00	0.027	1.57	0.044	2.15	0.024	3.0	27.42	16.13	43.55	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.51	0.056	2.09	0.029	3.6	29.03	25.81	54.84	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.209	2.00	0.033	1.64	0.050	2.49	0.022	3.7	27.42	20.97	48.39	9.68	0.00	9.68	0.26
W13	0.213	2.22	0.028	1.66	0.050	2.61	0.020	3.8	25.81	24.19	50.00	11.29	1.61	12.90	0.35

Tablo 6.3 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

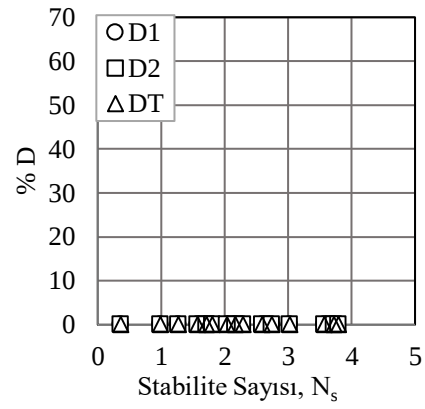
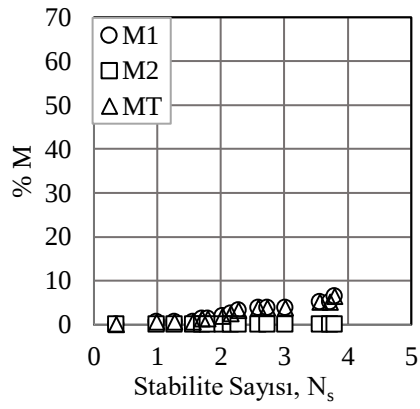
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.000	0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.026	1.0	0.645	0.00	0.645	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.02	0.044	1.21	0.031	1.3	0.645	0.00	0.645	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.088	1.67	0.020	1.26	0.036	1.56	0.023	1.6	0.645	0.00	0.645	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.096	1.82	0.019	1.35	0.034	1.68	0.022	1.7	1.290	0.00	1.290	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.101	1.54	0.027	1.17	0.048	1.50	0.029	1.8	1.290	0.00	1.290	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.114	1.82	0.022	1.35	0.040	1.72	0.025	2.0	1.935	0.00	1.935	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.121	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.028	2.2	2.581	0.00	2.581	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.128	1.82	0.025	1.37	0.044	1.78	0.026	2.3	3.226	0.00	3.226	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.145	1.82	0.028	1.45	0.044	1.90	0.026	2.6	3.871	0.00	3.871	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.153	1.82	0.030	1.46	0.046	1.92	0.027	2.7	3.871	0.00	3.871	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.169	2.00	0.027	1.57	0.044	2.15	0.024	3.0	3.871	0.00	3.871	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.51	0.056	2.09	0.029	3.6	5.161	0.00	5.161	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.209	2.00	0.033	1.64	0.050	2.49	0.022	3.7	5.161	0.00	5.161	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.213	2.22	0.028	1.66	0.050	2.61	0.020	3.8	6.452	0.00	6.452	0.00	0.00	0.00	0.00



a)

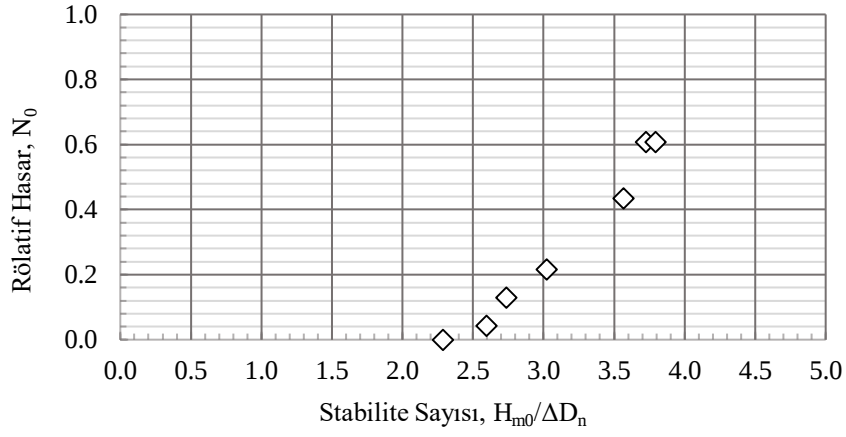


b)

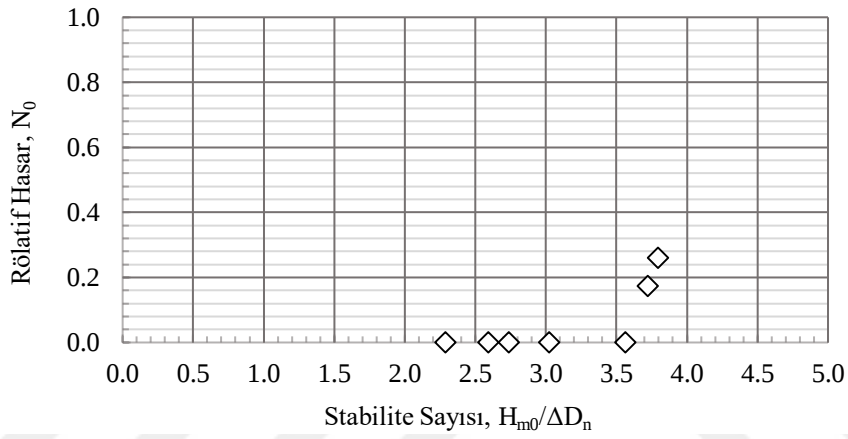


c)

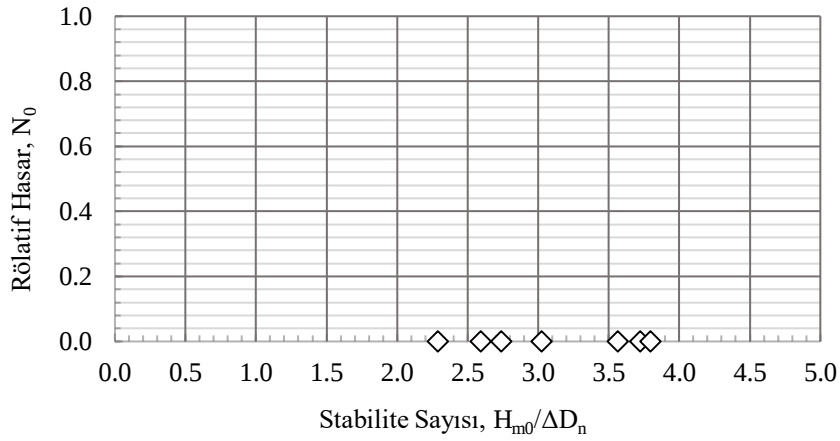
Şekil 6.1 $4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıkılık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev



a)



b)



c)

Şekil 6.2 $4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev

6.1.2 4D_n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı

Yine aynı 4D_n kret genişliğinde ancak $\Psi_s=0.67$ sıklıkta küp blokların düzenli dizilimi ile oluşturulmuş model deneyine ait ön şev, kret ve arka şevdeki küp blokların hareketlenme ve yer değiştirme yüzdelerine ait tablolar sırasıyla Tablo 6.4, Tablo 6.5 ve Tablo 6.6'da ve grafikler ise Şekil 6.3'de gösterilmiştir. Bu deneyde de, 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan model deneyine benzer olarak W3'de dalgalar krete ulaşmıştır ve W4.1 ile dalgaların tam aştığı gözlemlenmiştir. Bu deneyde 4D_n kret genişliğindeki $\Psi_s=0.59$ sıklık değerinde yapılan deneye benzer olarak ön şevde W5 dalgasından sonra geri çekilme hareketi referans alanının dışında da etkili olmaya başladığı görülmüştür. Sıklığın geri çekilme üzerine pek etkisinin olduğu gözlemlenmemiştir.

Ön şevde küp bloklar W8 ($H_s = 0.16$ m, $T_p=1.8$ sn) dalgası ile birlikte hareket etmeye başlamıştır. $\Psi_s=0.59$ sıklığa ait aynı kret genişliğindeki deneye göre bu sıklıkta küp bloklar dalgalardan daha geç etkilenmeye başlamıştır. Bu durumun deney sonuna kadar devam ettiği gözlemlenmiştir. Tablo 6.4'te görüldüğü üzere W9 ile birlikte küp bloklarda M₁ düzeyinde hareketlenmelerin artmasının yanında M₂ düzeyinde de artışlar başlamıştır. Analizler 0-0.5D_n aralığındaki hasarların küp blokların M₂ düzeyde hareketlenmesine yol açtığını göstermektedir. Bir müddet sonra M₁ seviyesinde hareket eden bloklar M₂ seviyesinde harekete geçmiştir. Şekil 6.3.a'dan hareketle D düzeyli hasar ise ön şevde gerçekleşmemiştir. Dolayısıyla, boşluk oranının azalması ile küp bloklar birbirine daha çok kenetlenmiş ve hasar oluşmasını geciktirmiştir. W13 dalgası ile birlikte ön şevde toplam hareketlenme yaklaşık olarak (M_T) % 27'dir.

W4.1 dalgası ile aşma başladığı için kretin de etkilendiği görülmektedir. W10 dalgasına kadar M₂ düzeyli hareketlenmeler Şekil 6.3 b'de görüldüğü üzere artarak devam etmiştir. Bu model deneyinde kretteki küp blokların davranışı $\Psi_s=0.59$ sıklıkta olan deneyin kretindeki küp blokların davranışına benzer gerçekleşmiştir. Ancak son iki dalga ile birlikte boşluk oranının daha az olması D düzeyli hasarın daha az olmasını sağlamıştır. Tablo 6.5'te yer verildiği üzere küp bloklarda yer değiştirme oranı $D_T = \% 1.43$ olarak kalmıştır.

$4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkta yapılan bu model deneyinde krete ait analiz Ek B.2’de verilmiştir. Kretteki küp blokların kırıldanma düzeyindeki hareketi $\Psi_s=0.59$ sıklık ile yapılan deney sonucuna benzer olarak W1 dalgasında başlamıştır. W1 dalgasında 1 adet, W2 için 2 adet olmak üzere yapının ön şevinin kret ile birleştiği noktada bu hareketlilik başlamıştır. W4.1 dalgası ile birlikte yapıda meydana gelen aşmaya bağlı olarak kretin ikinci sırasındaki küp bloklarda da kırıldanmalar başlamış olup Ek B.2’de verilen tablolarda da görüldüğü gibi W4.1, W4.2, W5.1 ve W6 dalgalarında kretin üçüncü ve dördüncü sıralarında küp bloklar kırıldanma hareketi yapmıştır. W7 dalgasında M_1 düzeyli hareket eden küp blok sayısı 13 olup aynı kret genişliğinde sıklığın az olduğu model deneyine göre kretin daha stabil davrandığı sonucunu göstermektedir. W8 dalgasından itibaren krette M_2 düzeyli hareket başlamış olup (4 adet) W13 dalgasına kadar artarak devam etmiştir. W13 dalgasında ise hareket eden küp bloklardan sadece bir tanesi D düzeyinde bir yer değiştirme yapmıştır. Ek B.2’de W13 dalgasında $M_1=19$ adet, $M_2=13$ adet $D_1=1$ adet ve $D_2=0$ adet olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 6.3 c’de gösterildiği üzere arka şevde tıpkı $4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan deneye benzer olarak hasar gözlemlenmemiştir. Tablo 6.6’da arka şevdeki hareketlenmelerin W11 dalgasından sonra oluşmaya başladığı görülmektedir. Bu hareketlenmeler M_2 düzeyli olup, D düzeyinde bir hasar meydana getirmemiştir.

Bu deneye ait rölatif hasar sonuçları Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Ön şevde ve arka şevde küp bloklarda yer değiştirme gerçekleşmediği için rölatif hasar da “0” değerindedir. Krette ise W13 dalgasında $N_0=0.04$ değerinde rölatif hasar oluşmuştur. Dalgalardan en çok etkilenen yüzey ön şev olmasına rağmen rölatif hasarın krette gözlemlenmiş olmasının nedeni, ön şeve gelen dalganın geri dönüşte çekilme yapmasıyla kret ile ön şev arasında küp blokların birleşim noktasında, bu bloklar arasındaki boşluğu zamanla arttırıyor olmasıdır. Boşluğun oluşması ile birlikte küp bloklar krette daha kolay hareket etmeye başlamıştır.

Tablo 6.4 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

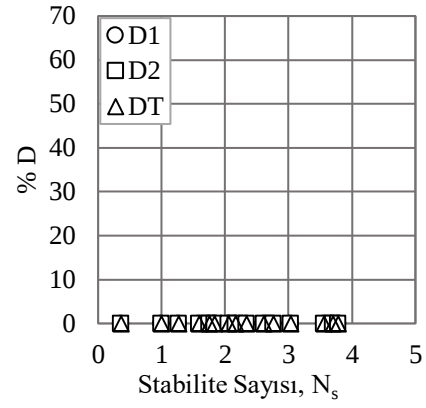
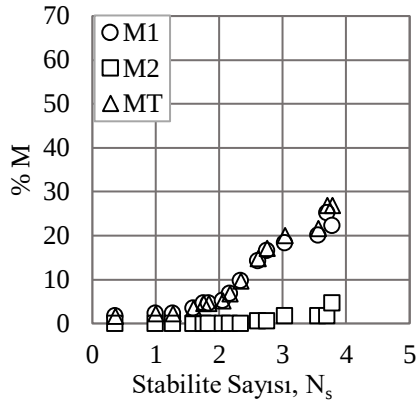
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	T_{m-1,0}	S_{m-1,0}	N_s	M₁	M₂	M_T	D₁	D₂	D_T	N₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.021	0.87	0.018	0.78	0.022	0.85	0.019	0.4	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.00	0.036	1.18	0.026	1.0	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.029	1.01	0.045	1.20	0.032	1.3	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.090	1.67	0.021	1.24	0.037	1.56	0.024	1.6	3.43	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.099	1.67	0.023	1.33	0.036	1.67	0.023	1.8	4.57	0.00	4.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.103	1.54	0.028	1.16	0.049	1.50	0.029	1.8	4.57	0.00	4.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.82	0.022	1.34	0.041	1.71	0.025	2.1	5.14	0.00	5.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.122	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.029	2.2	6.86	0.00	6.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.132	1.67	0.030	1.37	0.045	1.77	0.027	2.4	9.71	0.00	9.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.147	1.82	0.028	1.45	0.045	1.88	0.026	2.6	14.29	0.57	14.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.155	1.82	0.030	1.46	0.047	1.92	0.027	2.8	16.57	0.57	17.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.170	2.00	0.027	1.55	0.045	2.14	0.024	3.0	18.29	1.71	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.52	0.055	2.09	0.029	3.6	20.00	1.71	21.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.208	2.00	0.033	1.64	0.050	2.53	0.021	3.7	25.14	1.71	26.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.212	2.22	0.028	1.65	0.050	2.63	0.020	3.8	22.29	4.57	26.86	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.5 $4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıkılık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları

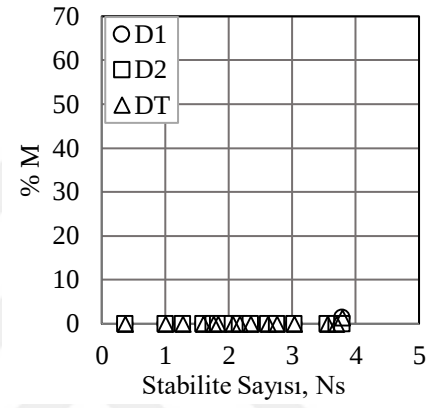
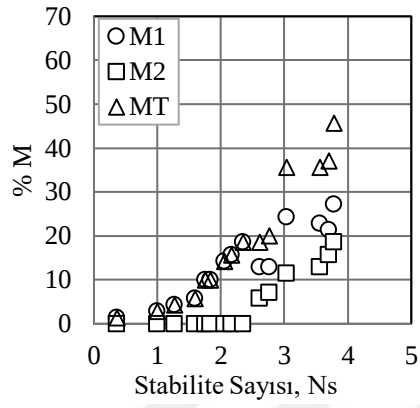
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	T_{m-1,0}	S_{m-1,0}	N_s	M₁	M₂	M_T	D₁	D₂	D_T	N₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.021	0.87	0.018	0.78	0.022	0.85	0.019	0.4	1.43	0.00	1.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.00	0.036	1.18	0.026	1.0	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.029	1.01	0.045	1.20	0.032	1.3	4.29	0.00	4.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.090	1.67	0.021	1.24	0.037	1.56	0.024	1.6	5.71	0.00	5.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.099	1.67	0.023	1.33	0.036	1.67	0.023	1.8	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.103	1.54	0.028	1.16	0.049	1.50	0.029	1.8	10.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.82	0.022	1.34	0.041	1.71	0.025	2.1	14.29	0.00	14.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.122	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.029	2.2	15.71	0.00	15.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.132	1.67	0.030	1.37	0.045	1.77	0.027	2.4	18.57	0.00	18.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.147	1.82	0.028	1.45	0.045	1.88	0.026	2.6	12.86	5.71	18.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.155	1.82	0.030	1.46	0.047	1.92	0.027	2.8	12.86	7.14	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.170	2.00	0.027	1.55	0.045	2.14	0.024	3.0	24.29	11.43	35.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.52	0.055	2.09	0.029	3.6	22.86	12.86	35.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.208	2.00	0.033	1.64	0.050	2.53	0.021	3.7	21.43	15.71	37.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.212	2.22	0.028	1.65	0.050	2.63	0.020	3.8	27.14	18.57	45.71	1.43	0.00	1.43	0.04

Tablo 6.6 4D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

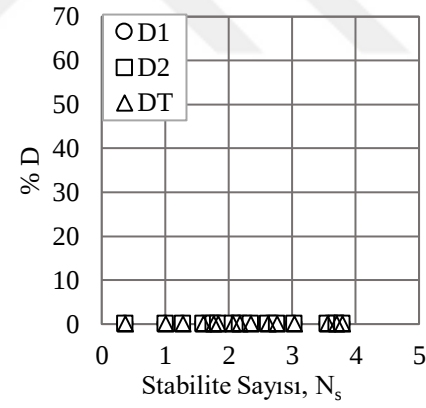
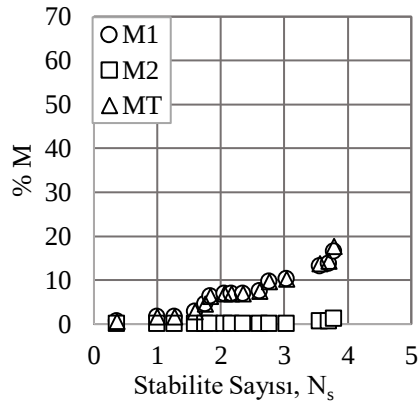
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.021	0.87	0.018	0.78	0.022	0.85	0.019	0.4	0.571	0.000	0.571	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.00	0.036	1.18	0.026	1.01	1.714	0.000	1.714	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.029	1.01	0.045	1.20	0.032	1.3	1.714	0.000	1.714	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.090	1.67	0.021	1.24	0.037	1.56	0.024	1.6	2.857	0.000	2.857	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.099	1.67	0.023	1.33	0.036	1.67	0.023	1.8	4.571	0.000	4.571	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.103	1.54	0.028	1.16	0.049	1.50	0.029	1.8	6.286	0.000	6.286	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.82	0.022	1.34	0.041	1.71	0.025	2.1	6.857	0.000	6.857	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.122	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.029	2.2	6.857	0.000	6.857	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.132	1.67	0.030	1.37	0.045	1.77	0.027	2.4	6.857	0.000	6.857	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.147	1.82	0.028	1.45	0.045	1.88	0.026	2.6	7.429	0.000	7.429	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.155	1.82	0.030	1.46	0.047	1.92	0.027	2.8	9.714	0.000	9.714	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.170	2.00	0.027	1.55	0.045	2.14	0.024	3.0	10.286	0.000	10.286	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.52	0.055	2.09	0.029	3.6	13.143	0.571	13.714	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.208	2.00	0.033	1.64	0.050	2.53	0.021	3.7	13.714	0.571	14.286	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.212	2.22	0.028	1.65	0.050	2.63	0.020	3.8	16.571	1.143	17.714	0.00	0.00	0.00	0.00



a)

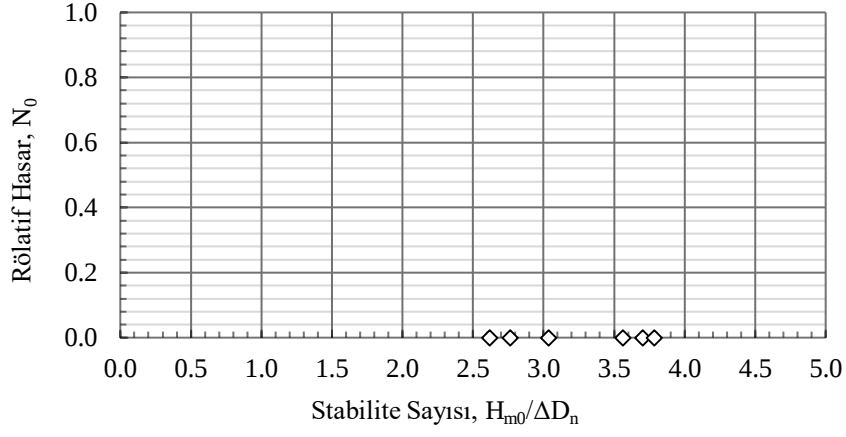


b)

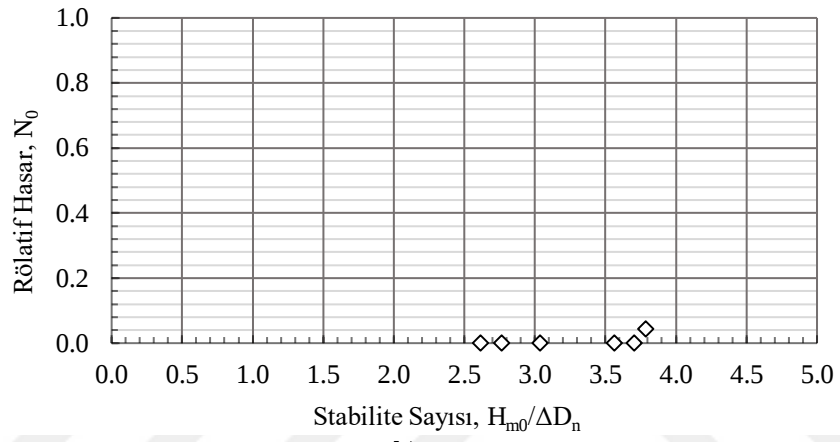


c)

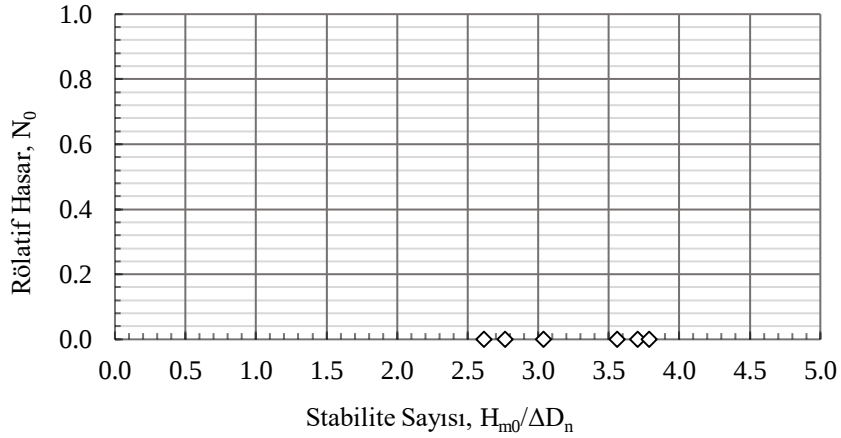
Şekil 6.3 $4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev



a)



b)



c)

Şekil 6.4 $4D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev

6.1.3 7D_n Kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklığı

7D_n kret genişliğindeki kesitte $\Psi_s=0.59$ sıklıkta küp blokların koruma tabakasında düzenli dizilimi ile oluşturulmuş deneye ait ön şev, kret ve arka şevdeki küp blokların hareketlenme ve yer değiştirme yüzdelerine ait tablolar sırasıyla Tablo 6.7, Tablo 6.8 ve Tablo 6.9'da ve grafikler ise Şekil 6.5'de gösterilmiştir. Bu modelde aşma W4.2 dalgasında başlamıştır. Ön şevde W5 dalgasından sonra geri çekilme hareketinin referans alanının dışında da etkili olmaya başladığı görülmüştür. 4D_n kret genişliğine sahip model ile yapılan deneye benzer davranışlar gözlemlenmiştir.

Ön şevde küp bloklarda M₁ düzeyli kırılma seviyesindeki (0-0.5D_n) hareketlenmeler diğer deneylere göre daha fazla gözlenmiştir. Ancak yer değiştirme söz konusu olduğunda Tablo 6.7'deki M düzeyli hasar yüzdelerinden anlaşıldığı üzere, aynı sıklıktaki 4D_n genişliğindeki model deneyinden daha geç hasar başlangıcı gözlemlenmiştir. 4D_n kret genişliğinde hasar W8 dalgası ile başlarken, 7D_n kret genişliğinde W10 dalgası ile başlamıştır. Deney sonunda Şekil 6.5.a'da görüldüğü üzere ön şevde toplam hareketlenme (M_T) %55.48 ve toplam yer değiştirme (D_T) %10.97 değerine ulaşmıştır.

W4.2 dalgasında başlayan aşma kret koruma tabakasında yer alan küp blokları etkilememiştir. Tablo 6.8'de M₂ düzeyli hareket eden küp bloklar W9 dalgasına kadar artmış ve bu artış ile W9 dalgasından itibaren krette yer değiştirmeler oluşturmaya başlamıştır. Son dalga ile birlikte Şekil 6.5' te toplam yer değiştirme (D_T) %5.56'dır.

7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan bu model deneyinde krete ait analiz Ek B.3'de verilmiştir. W1 dalgasında M₁ düzeyinde bir adet küp bloğun kırılma düzeyinde hareketi gerçekleşmiştir. W2 ve W3 dalgalarında sırasıyla iki adet ve üç adet M₁ düzeyli kırılma, 4D_n kret genişliği ile yapılan model deneylerine benzer olarak yapının ön şevi ile kretin birleşim noktası olan ilk sırasında gerçekleşmiştir. W4.1 dalgasıyla beraber yapının kreti ile arka şevi arasındaki birleşim noktasında (kretin yedinci sırasında) kırılmalar gözlemlenmiştir. 4D_n kret genişliği ile yapılan deneylerde gözlenmeyen bu durumun kretin daha geniş olması ve aşan su yükünün kret üzerinde dağılarak, ön şeve doğru geri dönmemesi kaynaklı

olabileceği sonucunu yaptırabilmektedir. W4.2 dalgasını takiben W5, W5.1 ve W6 dalgalarında yedinci kret sırasında kıpırdanma yapan blok sayısı iki adettir. W7 dalgasında M_2 düzeyli hareket başlamış olup, bu hareketlilik yedinci sırada $M_2=3$ adet olacak şekilde ve W8 dalgasında $M_2=8$ adet olarak gözlemlenmiştir. Bu bağlamda $4D_n$ kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan deneye benzer sonuçlar olduğu görülmektedir. Bu model deneyinde Ek B.3’de verildiği gibi W13 dalgasında sırasıyla $M_1=29$ adet, $M_2=32$ adet, $D_1=6$ adet ve $D_2=0$ adet olacak şekilde hareket ve yer değiştirme gözlemlenmiştir. Değerler ve hareket sınıfları dikkate alındığında aynı sıklıkta yapılan $4D_n$ kret genişliği ile yapılan model deneyine göre daha stabil olduğu sonucuna varılmaktadır.

Tablo 6.9’da gösterilen deney sonuçlarına göre arka şev koruma tabakasında hasar gözlemlenmemiştir. Arka şev blokları $4D_n$ kret genişliğine benzer davranış sergilemiştir. Ancak M düzeyli hareketlenmeler $7D_n$ kret genişliğinde, $4D_n$ kret genişliğine göre %50 daha az gerçekleşmiştir. Burada kret genişliği arttıkça arka şeve ulaşan su kütlesinin azalması, küp blokların dalgalardan etkilenme düzeyini düşürmektedir.

Bu deneye ait rölatif hasar sonuçları Şekil 6.6’da gösterilmiştir. Rölatif hasar ön şevde, W10 dalgasında başlamıştır (W10 için $N_0=0.17$, hasar başlangıcı W9’dur). $4D_n$ kret genişliğinde aynı sıklıktaki deneye göre hasar daha geç başlamıştır. Krette hasar W10 dalgası ile başlamış olup, $4D_n$ kret genişliğine göre daha erken hasara başlamış olduğu görülmüştür. Arka şevde önceki modellere benzer olarak hasar gerçekleşmediği için rölatif hasar “0”dır.

Tablo 6.7 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

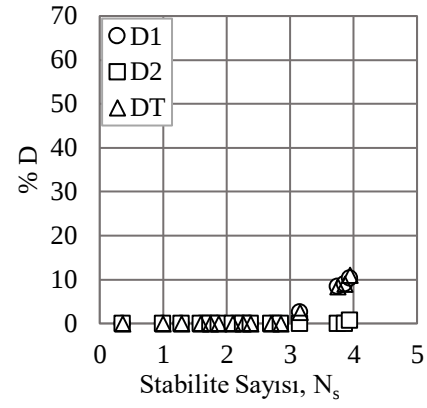
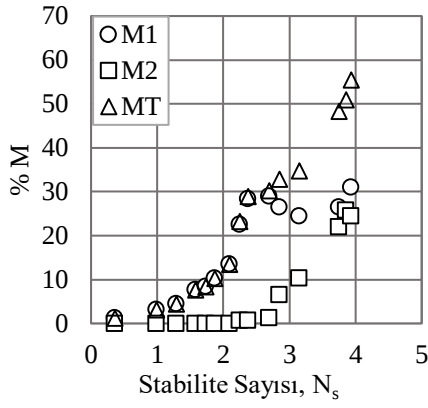
DALGA	H_{m0} (m)	T_p (s)	S_p (-)	T_{m02} (s)	S_{m02} (-)	T_{m-1,0} (s)	S_{m-1,0} (-)	N_s (-)	M₁ %	M₂ %	M_T %	D₁ %	D₂ %	D_T %	N₀ (-)
W1	0.020	0.91	0.016	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.026	1.0	3.23	0.00	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.030	1.02	0.045	1.21	0.032	1.3	4.52	0.00	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.089	1.67	0.021	1.25	0.036	1.56	0.024	1.6	7.74	0.00	7.74	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.097	1.82	0.019	1.34	0.035	1.67	0.022	1.7	8.39	0.00	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.105	1.54	0.028	1.15	0.050	1.49	0.030	1.9	10.32	0.00	10.32	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.118	1.82	0.023	1.34	0.042	1.72	0.026	2.1	13.55	0.00	13.55	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.126	1.67	0.029	1.26	0.051	1.65	0.030	2.3	22.58	0.65	23.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.133	1.82	0.026	1.37	0.046	1.77	0.027	2.4	28.39	0.65	29.03	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.151	1.82	0.029	1.45	0.046	1.89	0.027	2.7	29.03	1.29	30.32	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.160	1.82	0.031	1.46	0.048	1.92	0.028	2.9	26.45	6.45	32.90	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.177	2.00	0.028	1.56	0.046	2.14	0.025	3.2	24.52	10.32	34.84	2.58	0.00	2.58	0.17
W11	0.210	1.82	0.041	1.52	0.058	2.09	0.031	3.8	26.45	21.94	48.39	8.39	0.00	8.39	0.57
W12	0.216	2.22	0.028	1.64	0.052	2.51	0.022	3.9	25.16	25.81	50.97	9.03	0.00	9.03	0.61
W13	0.221	2.22	0.029	1.66	0.051	2.60	0.021	3.9	30.97	24.52	55.48	10.32	0.65	10.97	0.74

Tablo 6.8 7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları

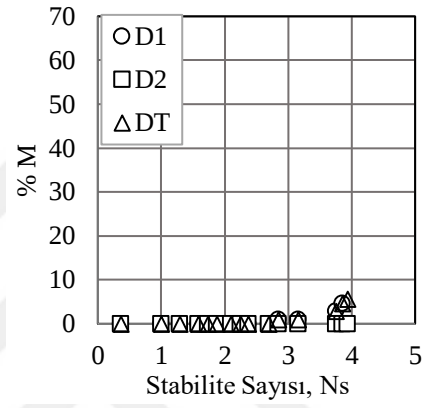
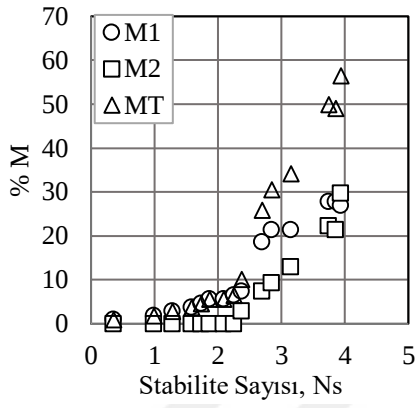
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.91	0.016	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.93	0.00	0.93	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.026	1.0	1.85	0.00	1.85	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.030	1.02	0.045	1.21	0.032	1.3	2.78	0.00	2.78	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.089	1.67	0.021	1.25	0.036	1.56	0.024	1.6	3.70	0.00	3.70	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.097	1.82	0.019	1.34	0.035	1.67	0.022	1.7	4.63	0.00	4.63	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.105	1.54	0.028	1.15	0.050	1.49	0.030	1.9	5.56	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.118	1.82	0.023	1.34	0.042	1.72	0.026	2.1	5.56	0.00	5.56	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.126	1.67	0.029	1.26	0.051	1.65	0.030	2.3	6.48	0.00	6.48	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.133	1.82	0.026	1.37	0.046	1.77	0.027	2.4	7.41	2.78	10.19	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.151	1.82	0.029	1.45	0.046	1.89	0.027	2.7	18.52	7.41	25.93	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.160	1.82	0.031	1.46	0.048	1.92	0.028	2.9	21.30	9.26	30.56	0.93	0.00	0.93	0.00
W10	0.177	2.00	0.028	1.56	0.046	2.14	0.025	3.2	21.30	12.96	34.26	0.93	0.00	0.93	0.04
W11	0.210	1.82	0.041	1.52	0.058	2.09	0.031	3.8	27.78	22.22	50.00	2.78	0.00	2.78	0.13
W12	0.216	2.22	0.028	1.64	0.052	2.51	0.022	3.9	27.78	21.30	49.07	4.63	0.00	4.63	0.22
W13	0.221	2.22	0.029	1.66	0.051	2.60	0.021	3.9	26.85	29.63	56.48	5.56	0.00	5.56	0.26

Tablo 6.9 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

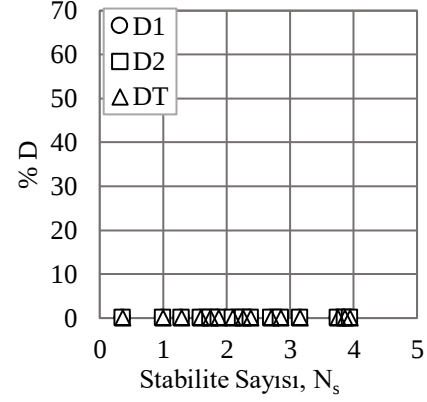
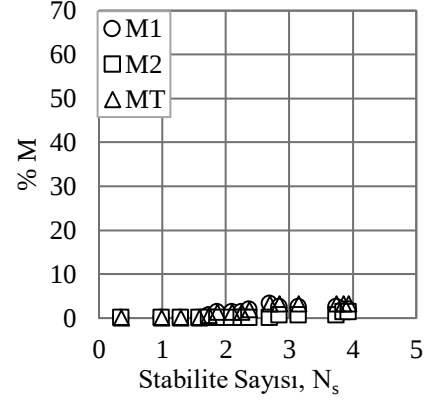
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	$T_{m-1,0}$	$S_{m-1,0}$	N_s	M_1	M_2	M_T	D_1	D_2	D_T	N_0
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.91	0.016	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.026	1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.030	1.02	0.045	1.21	0.032	1.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.089	1.67	0.021	1.25	0.036	1.56	0.024	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.097	1.82	0.019	1.34	0.035	1.67	0.022	1.7	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.105	1.54	0.028	1.15	0.050	1.49	0.030	1.9	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.118	1.82	0.023	1.34	0.042	1.72	0.026	2.1	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.126	1.67	0.029	1.26	0.051	1.65	0.030	2.3	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.133	1.82	0.026	1.37	0.046	1.77	0.027	2.4	1.94	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.151	1.82	0.029	1.45	0.046	1.89	0.027	2.7	3.23	0.00	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.160	1.82	0.031	1.46	0.048	1.92	0.028	2.9	2.58	0.65	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.177	2.00	0.028	1.56	0.046	2.14	0.025	3.2	2.58	0.65	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.210	1.82	0.041	1.52	0.058	2.09	0.031	3.8	2.58	0.65	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.216	2.22	0.028	1.64	0.052	2.51	0.022	3.9	1.94	1.29	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.221	2.22	0.029	1.66	0.051	2.60	0.021	3.9	1.94	1.29	3.23	0.00	0.00	0.00	0.00



a)

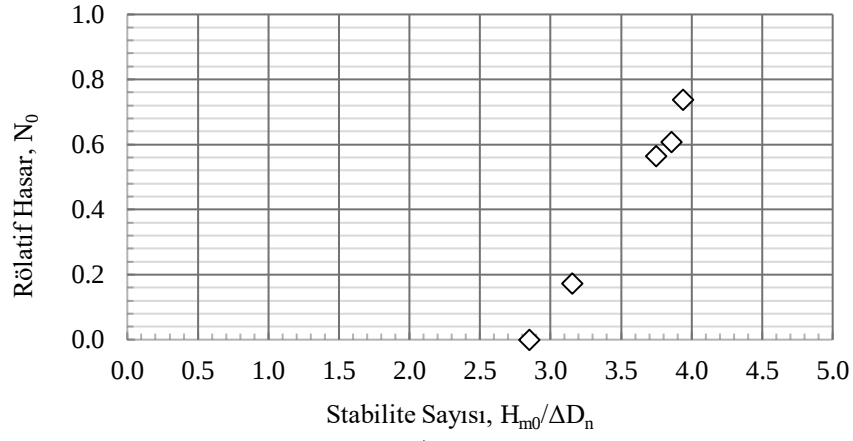


b)

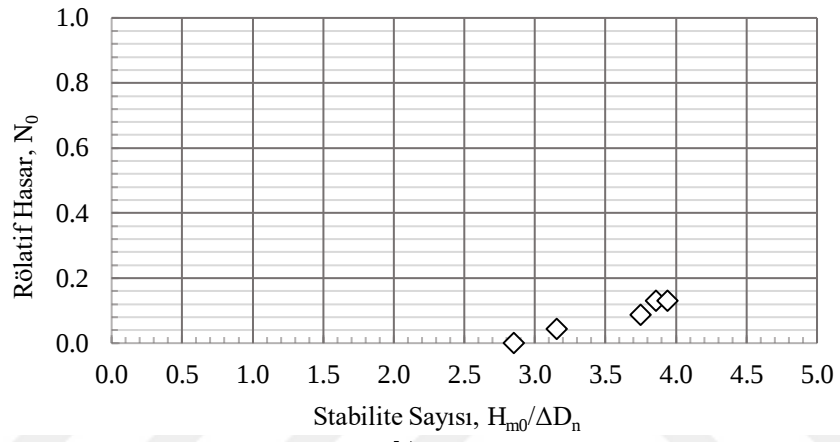


c)

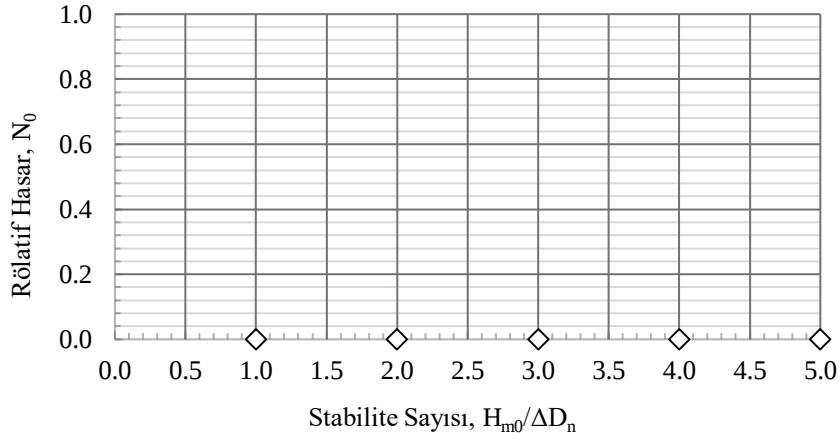
Şekil 6.5 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıkılık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev



a)



b)



c)

Şekil 6.6 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklılık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev

6.1.4 7D_n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı

7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkta küp blokların koruma tabakasına düzenli dizilimi ile oluşturulmuş model deneyine ait ön şev, kret ve arka şevdeki küp blokların hareketlenme ve yer değiştirme yüzdeliklerine ait tablolar sırasıyla Tablo 6.10, Tablo 6.11 ve Tablo 6.12’de ve grafikler ise Şekil 6.7’de gösterilmiştir. 7D_n $\Psi_s=0.59$ modeline benzer olarak aşma yine W4.2 dalgasında gerçekleşmiştir. Ön şevde W5 dalgasından sonra geri çekilmenin referans alanının dışında da etkili olmaya başladığı görülmüştür. 7D_n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan deneye benzer davranışlar gözlemlenmiş ve sıklığın geri çekilme ile aşma durumlarını değiştirmedığı sonucuna ulaşılmıştır.

Tablo 6.10’da ön şevde 0-0.5D_n aralığında yani M₁ düzeyli hareketlenmeler, 4D_n kret genişliğinde $\Psi_s=0.67$ sıklıkta olan model deneyine göre benzer oranlarda olduğu görülmektedir. 4D_n kret genişliğinde W8 dalgası ile beraber M₂ düzeyli hasarlar başlamıştı, aynı sıklıktaki bu deney için M₂ düzeyli hasar W12 dalgasında başlamış olup, daha az oranda hasar gerçekleşmiştir. Bu deneyde D düzeyli bir hareket gözlemlenmediği için bir hasar görülmemiştir. Deney sonunda Şekil 6.7.a’da ve Tablo 6.10’da görüldüğü üzere toplam hareketlenme (M_T) %33.14 olmuştur.

Krette, 0.5D_n - 1.0D_n (M₂) düzeyindeki hareketlenmeler W5.1 dalgasında başlamıştır. 4D_n kret genişliğinde aynı sıklığa sahip modele göre koruma tabakasındaki küp bloklar daha stabil davranış göstermişlerdir. M₂ düzeyli hareketlenmeler deneyin sonuna kadar devam etmiş olup, bu hareketten etkilenen küp bloklar yer değiştirme yapmamıştır. Dolayısıyla, Tablo 6.11’de görüldüğü üzere krette hasar gözlemlenmemiştir ve W13 dalgasının sonunda krette toplam hareketlilik M_T= %34.15 olarak gözlenmiştir.

7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkta yapılan bu model deneyinde krete ait analiz Ek B.4’te verilmiştir. Krette hareket 4D_n kret genişliğine benzer olarak ön şev ile kretin birleşim bölgesindeki ilk sıradan bir adet küp bloğun kırıldanma düzeyindeki hareketi ile başlamıştır. İlk sıradaki kırıldanmayı takiben ikinci sıra bu hareketten etkilenecek W6 dalgasına kadar bu durum devam etmiştir. W6 dalgasında M₁=6 adet olmak üzere küp blok hareketi gözlemlenmiştir. Aynı kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ sıklık için yapılan model deneyinin kret analiz sonuçlarında olduğu gibi ilk sıradaki

küp blokların hareketi ve yedinci sıradaki küp blokların hareketi W5 dalgası ile beraber başlamıştır. W8 dalgasına kadar her kret sırasında artan M_1 düzeyli hareketler W9 dalgasında M_2 düzeyli hareketlere dönüşmeye başlamıştır. Ek B.4'te tabloda verildiği üzere, W13 dalgası için $M_1=30$ adet, $M_2=12$ adet olup, D düzeyli yer değiştirme hareketi gözlenmemiştir.

Arka şevde ise, Şekil 6.7 c'de görüldüğü üzere bu model sadece M_1 düzeyli hareketler ile sınırlı kalmıştır. Tablo 6.12'de $M_T = \%3.43$ toplam hareket yüzdesi ile $4D_n$ kret genişliğine göre daha stabil olup, kırırdanma yapan bu küpler M_2 düzeyli hasara izin vermemiştir.

$7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta gerçekleştirilen bu model deneyine ait rölatif hasar sonuçları Şekil 6.8'de görülmektedir. Modelin üç yüzeyinde de (ön şev, kret, arka şev olmak üzere) küp bloklar üzerinde herhangi bir yer değiştirme olmadığı sonucuna varılması sebebiyle rölatif hasar "0"dır.

Tablo 6.10 7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

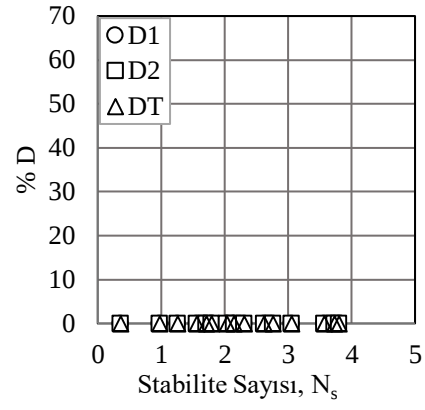
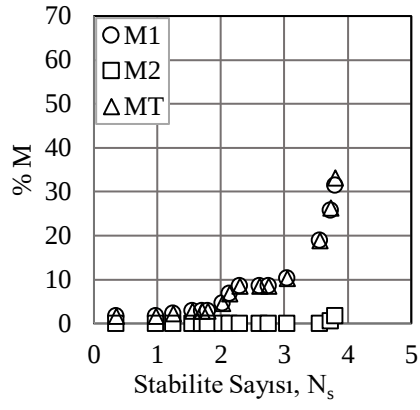
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.055	1.25	0.022	1.00	0.035	1.18	0.025	1.0	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.01	0.045	1.20	0.031	1.3	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.087	1.67	0.020	1.24	0.036	1.56	0.023	1.6	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.096	1.82	0.019	1.33	0.034	1.67	0.022	1.7	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.101	1.54	0.027	1.15	0.049	1.50	0.029	1.8	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.114	1.82	0.022	1.34	0.040	1.71	0.025	2.0	4.57	0.00	4.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.120	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.028	2.1	6.86	0.00	6.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.129	1.82	0.025	1.37	0.044	1.77	0.027	2.3	8.57	0.00	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.147	1.82	0.028	1.45	0.045	1.89	0.026	2.6	8.57	0.00	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.155	1.82	0.030	1.45	0.047	1.90	0.028	2.8	8.57	0.00	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.171	2.00	0.027	1.55	0.045	2.11	0.025	3.1	10.29	0.00	10.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.52	0.056	2.06	0.030	3.6	18.86	0.00	18.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.209	2.00	0.033	1.63	0.050	2.50	0.021	3.7	25.71	0.57	26.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.213	2.22	0.028	1.65	0.050	2.59	0.020	3.8	31.43	1.71	33.14	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.11 7D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları

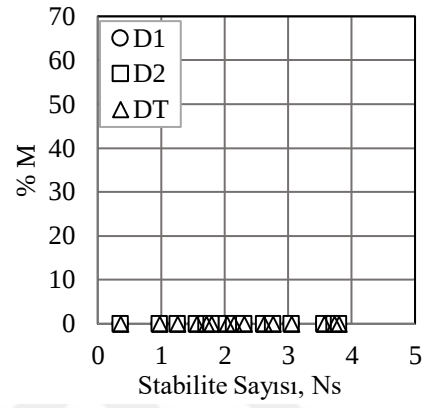
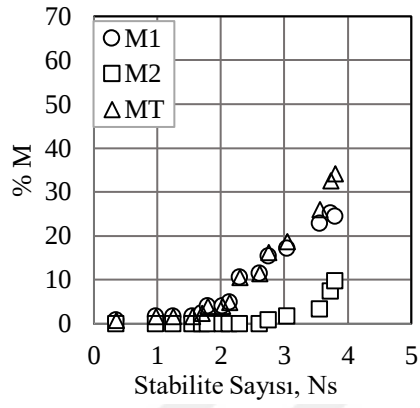
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.81	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.055	1.25	0.022	1.00	0.035	1.18	0.025	1.0	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.01	0.045	1.20	0.031	1.3	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.087	1.67	0.020	1.24	0.036	1.56	0.023	1.6	1.63	0.00	1.63	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.096	1.82	0.019	1.33	0.034	1.67	0.022	1.7	2.44	0.00	2.44	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.101	1.54	0.027	1.15	0.049	1.50	0.029	1.8	4.07	0.00	4.07	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.114	1.82	0.022	1.34	0.040	1.71	0.025	2.0	4.07	0.00	4.07	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.120	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.028	2.2	4.88	0.00	4.88	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.129	1.82	0.025	1.37	0.044	1.77	0.027	2.3	10.57	0.00	10.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.147	1.82	0.028	1.45	0.045	1.89	0.026	2.6	11.38	0.00	11.38	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.155	1.82	0.030	1.45	0.047	1.90	0.028	2.8	15.45	0.81	16.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.171	2.00	0.027	1.55	0.045	2.11	0.025	3.1	17.07	1.63	18.70	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.52	0.056	2.06	0.030	3.6	22.76	3.25	26.02	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.209	2.00	0.033	1.63	0.050	2.50	0.021	3.7	25.20	7.32	32.52	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.213	2.22	0.028	1.65	0.050	2.59	0.020	3.8	24.39	9.76	34.15	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.12 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

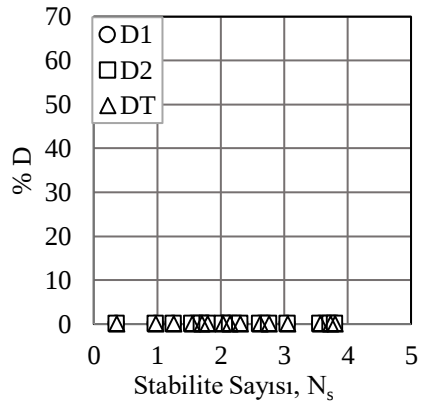
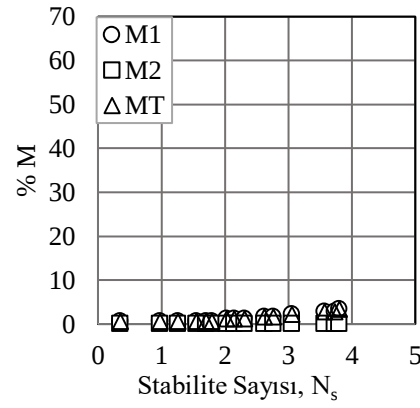
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	$T_{m-1,0}$	$S_{m-1,0}$	N_s	M_1	M_2	M_T	D_1	D_2	D_T	N_0
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.055	1.25	0.022	1.00	0.035	1.18	0.025	1.0	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.01	0.045	1.20	0.031	1.3	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.087	1.67	0.020	1.24	0.036	1.56	0.023	1.6	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.096	1.82	0.019	1.33	0.034	1.67	0.022	1.7	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.101	1.54	0.027	1.15	0.049	1.50	0.029	1.8	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.114	1.82	0.022	1.34	0.040	1.71	0.025	2.0	1.14	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.120	1.67	0.028	1.27	0.048	1.65	0.028	2.1	1.14	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.129	1.82	0.025	1.37	0.044	1.77	0.027	2.3	1.14	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.147	1.82	0.028	1.45	0.045	1.89	0.026	2.6	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.155	1.82	0.030	1.45	0.047	1.90	0.028	2.8	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.171	2.00	0.027	1.55	0.045	2.11	0.025	3.1	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.200	1.82	0.039	1.52	0.056	2.06	0.030	3.6	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.209	2.00	0.033	1.63	0.050	2.50	0.021	3.7	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.213	2.22	0.028	1.65	0.050	2.59	0.020	3.8	3.43	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00



a)

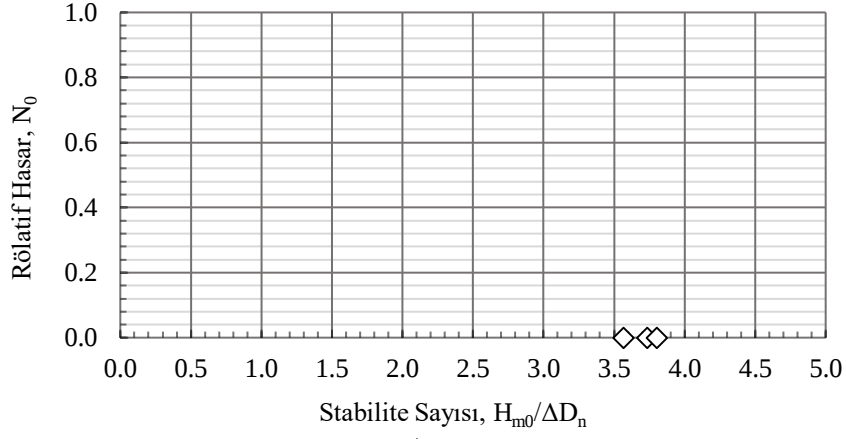


b)

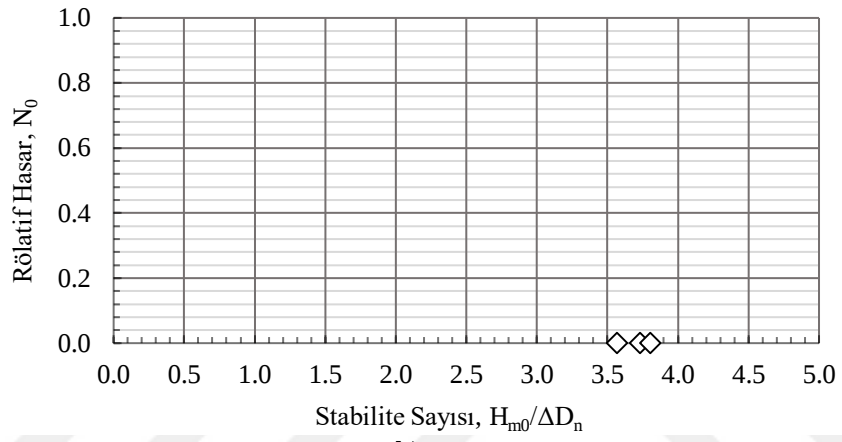


c)

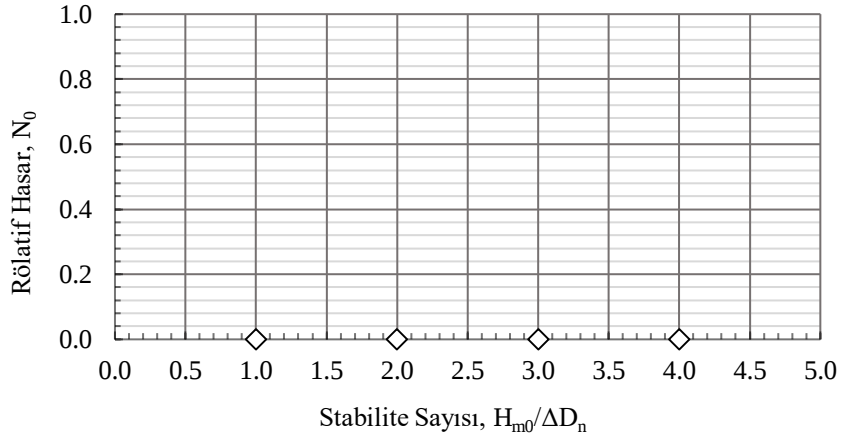
Şekil 6.7 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıkılık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev



a)



b)



c)

Şekil 6.8 $7D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklılık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev

6.1.5 10D_n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklığı

Kret genişliğinin daha da artırılması ile 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta dzenli dizilim ile oluşturulmuş model deneyine ait n şev, kret ve arka şevdeki kp blokların hareketlenme ve yer değiştirme yüzdeliklerine ait tablolar sırasıyla Tablo 6.13, Tablo 6.14 ve Tablo 6.15’de ve grafikler şekil 6.9’da gösterilmiştir. Bu model deneyinde diğer kret genişliklerine göre aşma daha geç gerçekleşerek serinin 5. dalgası olan W4.2 ile dalgalar yapıya ulaşmış ve ancak kret koruma tabakasının ilk iki sırasına ulaşabildiği gözlemlenmiştir. Kretin daha geniş olması sebebiyle tam aşma W5 dalgası ile gerçekleşmiştir. Ayrıca n şevde W5 dalgasından sonra geri çekilme hareketi referans alanının dışında da etkili olmaya başladığı görülmüştür. Geri ekilme hareketi diğer model deneylerine benzer davranışlar göstermiştir.

n şevde kıpırdanma düzeyindeki hareketlenmeler W8 dalgası ile birlikte başlarken, Tablo 6.13’te görüldüğü üzere deney sonuna dek artarak devam ettiği gözlemlenmiştir. 12. ve 13. dalgalar ile birlikte yer değiştirme yapan kp bloklar gözlemlenmiştir.

şekil 6.9.b’de görüldüğü gibi W5.1 dalgası ile krette 0.5D_n – 1D_n seviyesinde (M₂ düzeyli) hareketler başlamış olup, kp bloklar W10 dalgasında yer değiştirme yapmaya başlayarak hasar meydana getirmiştir. Bu deneyde kret genişliğinin diğer modellere göre daha geniş olması, aynı dalga şartlarında bu yüzeye etkiyen dalğanın göreceli olarak kretteki kp blokların hareketine olan etkisi daha az olmuştur. Dalğanın kp blokları harekete geçirme etkisi geniş bir kret alanında etki alanının azaldığı yorumunu yaptırabilmektedir. Bu nedenle, krette meydana gelen hasar D₂ seviyesine ulaşamamıştır. Tablo 6.14’te verildiği üzere W13 dalgasında toplam yer değiştirme (D_T) %2.58 değerinde kalmıştır.

10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan bu model deneyinde krete ait analiz Ek B.5’de verilmiştir. Görüldüğü zere W1 dalgasında kıpırdanma düzeyinde bir adet blok hareketi görülmüştür ve W4.2 dalgası ile beraber bu sayı 2 adet olarak kalmıştır. 7D_n kret genişliği ile yapılan deneylerin sonuçlarına benzer olarak arka şev ile kretin birleşim bölgelerinde ve n şev ile kretin birleşim bölgelerinde kıpırdanma düzeyinde hareketlilikler W5 dalgası ile beraber görülmeye başlanmıştır. W6 dalgasından sonra ise M₂ düzeyli hareketin kretin ilk sırasında bulunan kp bloklarda gerçekleştiği gözlenmiş olup, akabinde arka şev ile kretin

birleşim bölgelerinde M_2 düzeyli hareketler gözlenmiştir. W10 dalgasına kadar hareketlenmeler artarken, W10 dalgasında yer değiştirme yapan küp blokların sayısı üç olmuştur. ($D_1=3$ adet) D_1 düzeyinde, yer değiştiren küp blok sayısı deney boyunca sabit kalmıştır ve deney sonunda W13 dalgasında $D_1=4$ adet küp blok yer değiştirme yapmıştır. Ek B.5’de verildiği üzere $10D_n$ kret genişliğine sahip $\Psi_s=0.59$ sıklık için yapılan kret analizinde kretin 4., 5. ve 6. sıralarında hareketlenmeler oldukça azdır. Bunun sebebi, kretin diğer model deneylerine göre daha geniş olması, dalganın kret üzerinde aşma ve geri çekilme hareketleri ile birlikte küp blokların sıkışarak bir hareketin gerçekleşmesini sınırlamaktadır. Deney sonunda W13 dalgasında kırırdanma ve yer değiştirme yapan küp blok sayıları $M_1=41$ adet, $M_2=25$ adet ve $D_1=4$ adet olarak gözlemlenmiştir.

Şekil 6.9.c’de gösterildiği gibi arka şevde küp bloklarda sadece M_1 düzeyli hareketler olmuştur. $10D_n$ kret genişliğinde kretten aşan su kütlesi, kret genişliğinin daha dar olduğu durumlara göre değerlendirildiğinde daha azdır. Dolayısıyla kretten aşır arka şeve geçemeyen su kütlesinin büyük bir bölümü, ön şevde açığa doğru geri döner ve gelen yeni dalgalar ile ön şev koruma tabakası bloklarının stabilitesi etkiler. Bu bağlamda, dar kret genişliğine sahip model deneylerine göre arka şeve ulaşan dalganın enerjisinin düşük olması bu yüzeydeki blokların stabilitesini etkilememiştir. Bu sebeple, yer değiştirme “0” olup Tablo 6.15’te görülmektedir.

Ön şev ve kret için rölatif hasar, Şekil 6.10’da görüldüğü üzere, deneye ait son dört dalgada başlamıştır. Aynı sıklıkta $4D_n$ ve $7D_n$ kret genişliğindeki model deneylerine göre daha geç başlayan ve daha az değerde hasar seviyeleri olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Arka şeve ait küp bloklarda yer değiştirme olmadığı için rölatif hasar “0”dır.

Tablo 6.13 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklılık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

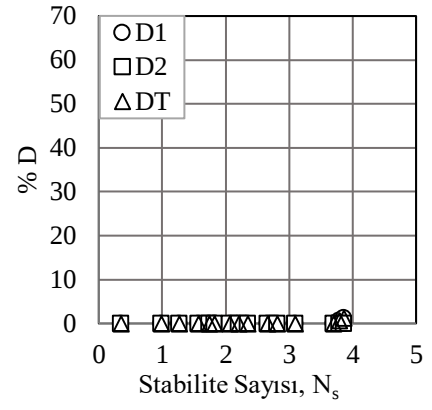
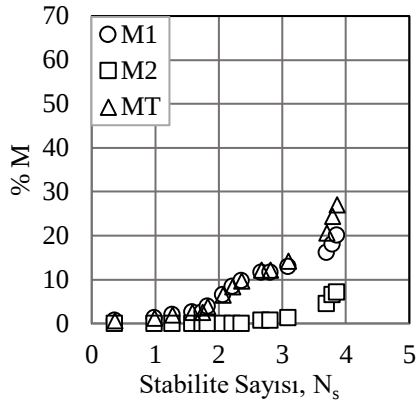
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.055	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.025	1.0	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.01	0.045	1.21	0.031	1.3	1.94	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.088	1.67	0.020	1.26	0.035	1.56	0.023	1.6	2.58	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.098	1.67	0.022	1.36	0.034	1.68	0.022	1.7	2.58	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.102	1.54	0.028	1.17	0.048	1.50	0.029	1.8	3.87	0.00	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.67	0.027	1.36	0.040	1.71	0.025	2.1	6.45	0.00	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.124	1.67	0.029	1.28	0.049	1.64	0.029	2.2	8.39	0.00	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.132	1.82	0.026	1.38	0.045	1.77	0.027	2.4	9.68	0.00	9.68	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.149	1.82	0.029	1.46	0.045	1.89	0.027	2.7	11.61	0.6	12.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.158	1.82	0.031	1.46	0.047	1.91	0.028	2.8	11.61	0.6	12.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.174	2.00	0.028	1.56	0.045	1.93	0.030	3.1	12.90	1.3	14.19	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.207	1.82	0.040	1.52	0.057	2.08	0.031	3.7	16.13	4.5	20.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.212	2.00	0.034	1.64	0.051	2.49	0.022	3.8	18.06	6.45	24.52	0.6	0.00	0.65	0.04
W13	0.216	2.22	0.028	1.65	0.051	2.62	0.020	3.9	20.00	7.10	27.10	1.3	0.00	1.29	0.08

Tablo 6.14 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları

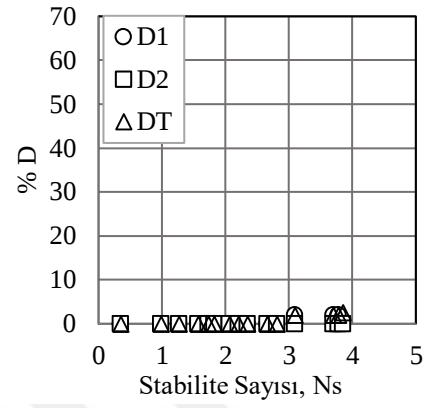
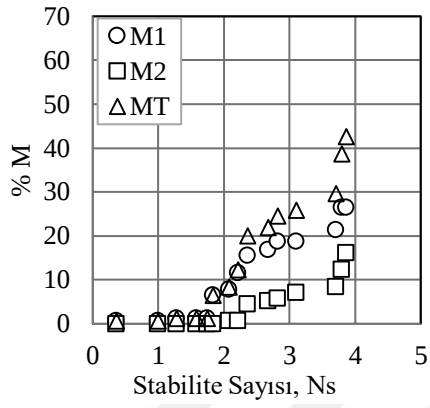
DALGA	H _{m0} (m)	T _p (s)	S _p (-)	T _{m02} (s)	S _{m02} (-)	T _{m-1,0} (s)	S _{m-1,0} (-)	N _s (-)	M ₁ %	M ₂ %	M _T %	D ₁ %	D ₂ %	D _T %	N ₀ (-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.055	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.025	1.0	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.01	0.045	1.21	0.031	1.3	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.088	1.67	0.020	1.26	0.035	1.56	0.023	1.6	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.098	1.67	0.022	1.36	0.034	1.68	0.022	1.7	1.29	0.00	1.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.102	1.54	0.028	1.17	0.048	1.50	0.029	1.8	6.45	0.00	6.45	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.67	0.027	1.36	0.040	1.71	0.025	2.1	7.74	0.65	8.39	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.124	1.67	0.029	1.28	0.049	1.64	0.029	2.2	11.61	0.65	12.26	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.132	1.82	0.026	1.38	0.045	1.77	0.027	2.4	15.48	4.52	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.149	1.82	0.029	1.46	0.045	1.89	0.027	2.7	16.77	5.16	21.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.158	1.82	0.031	1.46	0.047	1.91	0.028	2.8	18.71	5.81	24.52	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.174	2.00	0.028	1.56	0.045	1.93	0.030	3.1	18.71	7.10	25.81	1.94	0.00	1.94	0.13
W11	0.207	1.82	0.040	1.52	0.057	2.08	0.031	3.7	21.29	8.39	29.68	1.9	0.00	1.94	0.13
W12	0.212	2.00	0.034	1.64	0.051	2.49	0.022	3.8	26.45	12.26	38.71	1.9	0.00	1.94	0.13
W13	0.216	2.22	0.028	1.65	0.051	2.62	0.020	3.9	26.45	16.13	42.58	2.6	0.00	2.58	0.17

Tablo 6.15 $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

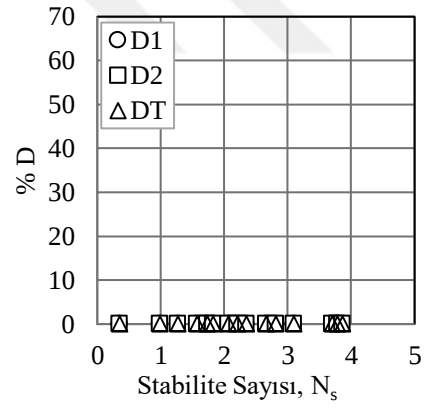
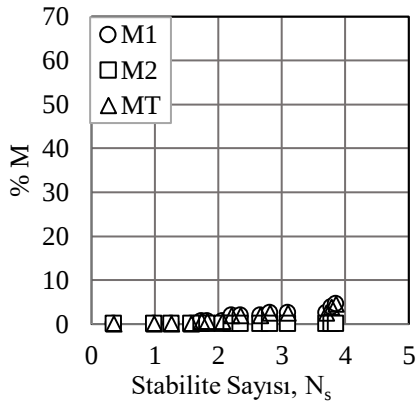
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	T_{m-1,0}	S_{m-1,0}	N_s	M₁	M₂	M_T	D₁	D₂	D_T	N₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.021	0.85	0.018	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.055	1.25	0.023	1.01	0.035	1.18	0.025	1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.071	1.25	0.029	1.01	0.045	1.21	0.031	1.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.088	1.67	0.020	1.26	0.035	1.56	0.023	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.098	1.67	0.022	1.36	0.034	1.68	0.022	1.7	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.102	1.54	0.028	1.17	0.048	1.50	0.029	1.8	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.67	0.027	1.36	0.040	1.71	0.025	2.1	0.65	0.00	0.65	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.124	1.67	0.029	1.28	0.049	1.64	0.029	2.2	1.94	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.132	1.82	0.026	1.38	0.045	1.77	0.027	2.4	1.94	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.149	1.82	0.029	1.46	0.045	1.89	0.027	2.7	1.94	0.00	1.94	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.158	1.82	0.031	1.46	0.047	1.91	0.028	2.8	2.58	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.174	2.00	0.028	1.56	0.045	1.93	0.030	3.1	2.58	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.207	1.82	0.040	1.52	0.057	2.08	0.031	3.7	2.58	0.00	2.58	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.212	2.00	0.034	1.64	0.051	2.49	0.022	3.8	3.87	0.00	3.87	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.216	2.22	0.028	1.65	0.051	2.62	0.020	3.9	4.52	0.00	4.52	0.00	0.00	0.00	0.00



a)

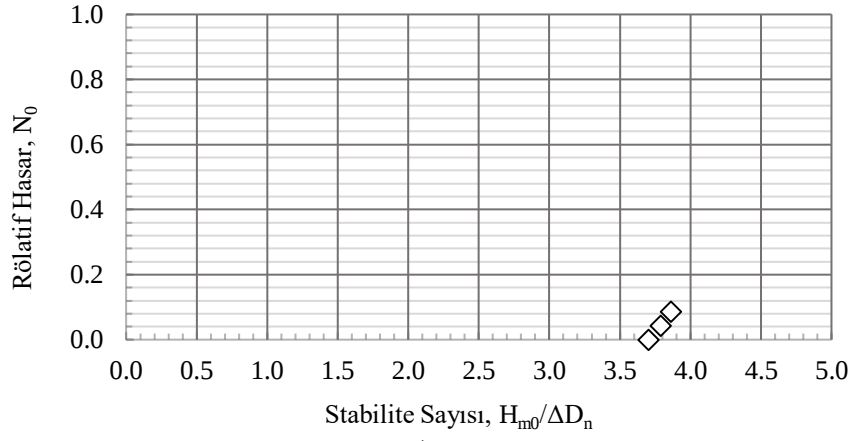


b)

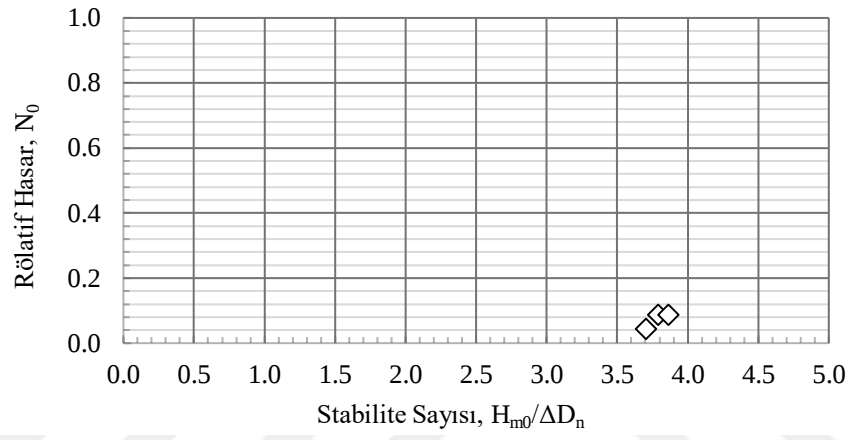


c)

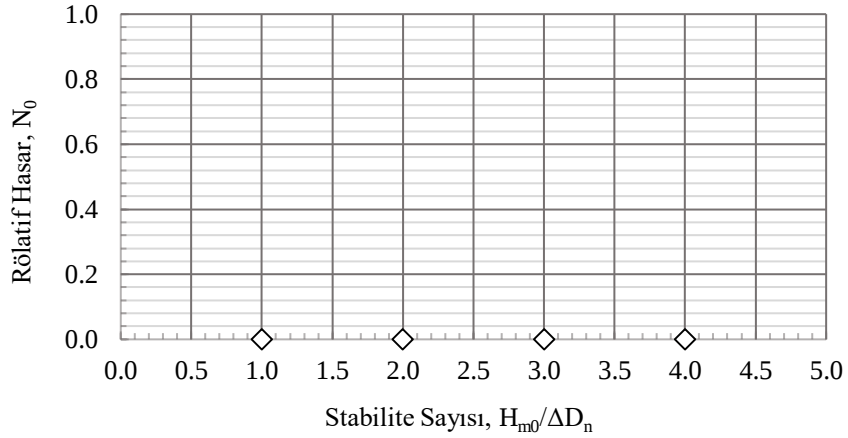
Şekil 6.9 $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev



a)



b)



c)

Şekil 6.10 $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklık için rölatif hasar durumları. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev

6.1.6 10D_n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı

10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkta küp blokların koruma tabakasına düzenli dizilimi ile oluşturulmuş model deneyine ait ön şev, kret ve arka şevdeki küp blokların hareketlenme ve yer değiştirme yüzdeliklerine ait tablolar sırasıyla 6.16, 6.17 ve 6.18’de ve grafikler Şekil 6.11’de gösterilmiştir. Aşma 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan model deneyine benzer olarak W5 dalgası ile gözlemlenmiştir. Ön şevde W5 dalgasından sonra geri çekilme hareketi referans alanının dışında da etkili olmaya başladığı görülmüştür. Diğer kret genişlikleri ile yapılan deneylere benzer davranışlar görülmüş olup yine sıklığın geri çekilmeyi etkilemediği gözlemlenmiştir.

Ön şevde M₂ düzeyli olan hareketlenmeler yapan küp blokların sayısı W6 dalgası ile birlikte artmıştır. Bu artış ve hareket oranı $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan model deneyine göre daha az düzeyde görülmüştür. Aynı kret genişliğine sahip $\Psi_s=0.59$ sıklıkta yapılan modelde son iki dalga ile beraber yer değiştirmeler mevcut idi. Fakat $\Psi_s=0.67$ sıklığı ile hazırlanan bu model deneyinde yer değiştirme gerçekleşmemiştir.

Kret koruma tabakası da ön şevde olduğu gibi benzer davranışlar sergilemiştir. Küp bloklar dalgaların kret seviyesine çarpıp, tam aşma olan (W5 dalgasından sonra) dalga hareketinden etkilenmiştir. Tablo 6.17’de M₁ ve M₂ düzeyli hareket birbiri ile orantısal bir şekilde artarak devam ettiği görülmektedir. Ancak bu hareketler yer değiştirmeye dönüşmeyerek hasar oluşturmamıştır.

10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkta yapılan bu model deneyinde krete ait analiz Ek B.6’da verilmiştir. Krette kırırđanma yapan küp blok elemanlar W2 dalgası ile birlikte bir adet olarak görülmektedir. Bu durum W4.2 dalgasına kadar devam etmiş olup, W5 dalgasında M₁=2 adet kırırđanma düzeyinde hareket olduğu gözlemlenmiştir. Hareketliliğinin başlaması aynı kret genişliğinde $\Psi_s=0.67$ sıklıkta yapılan deneye göre daha geç gerçekleşmiştir. W6 dalgasında M₁=7 adet olup M₂ düzeyli hareketlilik yoktur. Daha gevşek dizilimde ise aynı dalgada M₂ düzeyli hasarlar oluşmaya başlamış idi. D düzeyli hasar ise bu model deneyinde gözlenmemiş olup, W13 dalgasında sadece M₁=44 adet, M₂=15 adet olarak küp blokların hareketi gerçekleşmiştir. Bu sebeple 10D_n kret genişliğinde $\Psi_s=0.67$ sıklıkta yapılan bu model deneyinin kreti, $\Psi_s=0.59$ sıklık ile yapılan deneye göre

daha stabil davranış sergilediği sonucuna ulaşılmaktadır. Ayrıca, aynı kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ sıklık ile yapılan deneylerde kretin ön şev ve arka şev ile birleşim bölgeleri haricinde arasında kalan 4., 5. ve 6. kret sıralarında çok az gözlemlenen hareketlilik $\Psi_s=0.67$ sıklık için yapılan bu model deneyinde de aynı gözlemi destekler niteliktedir.

Arka şevde küp bloklarda Şekil 6.11.c’de gösterildiği gibi sadece M_1 düzeyli hareketler olmuştur. Dolayısıyla Tablo 6.18’de de görüldüğü üzere yer değiştirme yapan küp bloklar gözlemlenmemiştir. $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklıktaki deney ve $7D_n$ kret genişliğindeki deneylere benzer davranışlar gerçekleştirmiştir.

Rölatif hasar, Şekil 6.12 ’de görüldüğü üzere “0”dır. $7D_n$ kret genişliğine sahip, $\Psi_s=0.59$ sıklıktaki ve $\Psi_s=0.67$ sıklıktaki deneylerde olduğu gibi arka şeve ait küp bloklar mevcut deneye ait dalgalardan etkilenmeyerek yapı stabilitesini korumuştur.

Tablo 6.16 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için ön şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

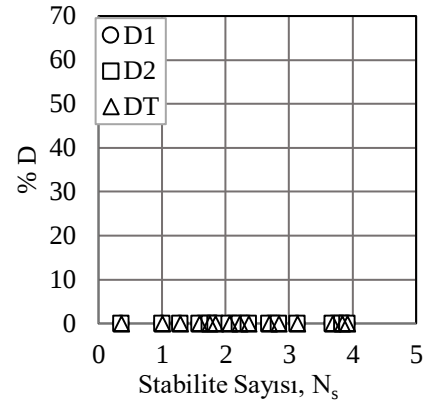
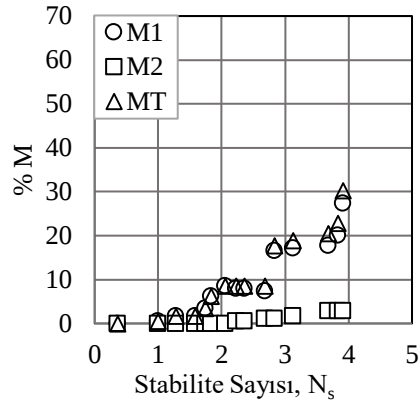
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.022	0.85	0.018	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.00	0.036	1.18	0.026	1.0	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.029	1.01	0.045	1.21	0.031	1.3	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.089	1.67	0.021	1.25	0.036	1.56	0.023	1.6	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.098	1.67	0.023	1.34	0.035	1.68	0.022	1.8	3.43	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.103	1.54	0.028	1.16	0.049	1.50	0.029	1.8	6.29	0.00	6.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.82	0.022	1.35	0.041	1.72	0.025	2.1	8.57	0.00	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.125	1.67	0.029	1.27	0.049	1.65	0.029	2.2	8.00	0.6	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.133	1.82	0.026	1.37	0.045	1.77	0.027	2.4	8.00	0.6	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.151	1.82	0.029	1.45	0.046	1.89	0.027	2.7	7.43	1.1	8.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.159	1.82	0.031	1.46	0.048	1.92	0.028	2.8	16.57	1.1	17.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.176	2.00	0.028	1.56	0.046	2.14	0.025	3.1	17.14	1.7	18.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.206	1.82	0.040	1.51	0.058	2.07	0.031	3.7	17.71	2.9	20.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.215	2.00	0.034	1.63	0.052	2.51	0.022	3.8	20.00	2.86	22.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.220	2.22	0.028	1.64	0.052	2.61	0.021	3.9	27.43	2.86	30.29	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.17 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için krette dalga parametreleri ve hasar oranları

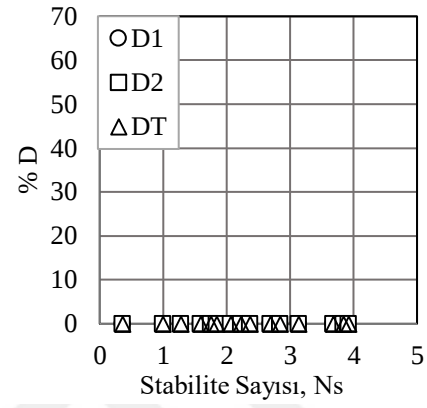
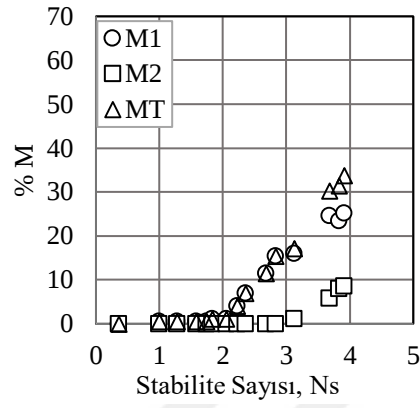
DALGA	H _{m0}	T _p	S _p	T _{m02}	S _{m02}	T _{m-1,0}	S _{m-1,0}	N _s	M ₁	M ₂	M _T	D ₁	D ₂	D _T	N ₀
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.022	0.85	0.018	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.00	0.036	1.18	0.026	1.0	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.029	1.01	0.045	1.21	0.031	1.3	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.089	1.67	0.021	1.25	0.036	1.56	0.023	1.6	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.098	1.67	0.023	1.34	0.035	1.68	0.022	1.8	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.103	1.54	0.028	1.16	0.049	1.50	0.029	1.8	1.14	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.82	0.022	1.35	0.041	1.72	0.025	2.1	1.14	0.00	1.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.125	1.67	0.029	1.27	0.049	1.65	0.029	2.2	4.00	0.00	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.133	1.82	0.026	1.37	0.045	1.77	0.027	2.4	6.86	0.00	6.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.151	1.82	0.029	1.45	0.046	1.89	0.027	2.7	11.43	0.00	11.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.159	1.82	0.031	1.46	0.048	1.92	0.028	2.8	15.43	0.00	15.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.176	2.00	0.028	1.56	0.046	2.14	0.025	3.1	16.00	1.14	17.14	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.206	1.82	0.040	1.51	0.058	2.07	0.031	3.7	24.57	5.71	30.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.215	2.00	0.034	1.63	0.052	2.51	0.022	3.8	23.43	8.00	31.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.220	2.22	0.028	1.64	0.052	2.61	0.021	3.9	25.14	8.57	33.71	0.00	0.00	0.00	0.00

Tablo 6.18 $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için arka şevde dalga parametreleri ve hasar oranları

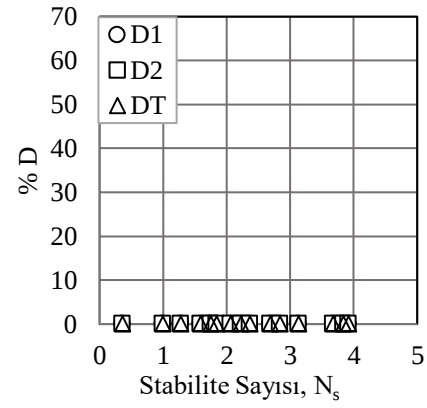
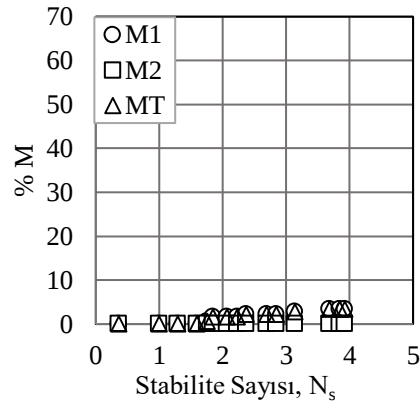
DALGA	H_{m0}	T_p	S_p	T_{m02}	S_{m02}	$T_{m-1,0}$	$S_{m-1,0}$	N_s	M_1	M_2	M_T	D_1	D_2	D_T	N_0
	(m)	(s)	(-)	(s)	(-)	(s)	(-)	(-)	%	%	%	%	%	%	(-)
W1	0.020	0.87	0.017	0.78	0.022	0.85	0.018	0.4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W2	0.056	1.25	0.023	1.00	0.036	1.18	0.026	1.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W3	0.072	1.25	0.029	1.01	0.045	1.21	0.031	1.3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.1	0.089	1.67	0.021	1.25	0.036	1.56	0.023	1.6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W4.2	0.098	1.67	0.023	1.34	0.035	1.68	0.022	1.8	0.57	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00
W5	0.103	1.54	0.028	1.16	0.049	1.50	0.029	1.8	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W5.1	0.116	1.82	0.022	1.35	0.041	1.72	0.025	2.1	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W6	0.125	1.67	0.029	1.27	0.049	1.65	0.029	2.2	1.71	0.00	1.71	0.00	0.00	0.00	0.00
W7	0.133	1.82	0.026	1.37	0.045	1.77	0.027	2.4	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W8	0.151	1.82	0.029	1.45	0.046	1.89	0.027	2.7	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W9	0.159	1.82	0.031	1.46	0.048	1.92	0.028	2.8	2.29	0.00	2.29	0.00	0.00	0.00	0.00
W10	0.176	2.00	0.028	1.56	0.046	2.14	0.025	3.1	2.86	0.00	2.86	0.00	0.00	0.00	0.00
W11	0.206	1.82	0.040	1.51	0.058	2.07	0.031	3.7	3.43	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W12	0.215	2.00	0.034	1.63	0.052	2.51	0.022	3.8	3.43	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00
W13	0.220	2.22	0.028	1.64	0.052	2.61	0.021	3.9	3.43	0.00	3.43	0.00	0.00	0.00	0.00



a)

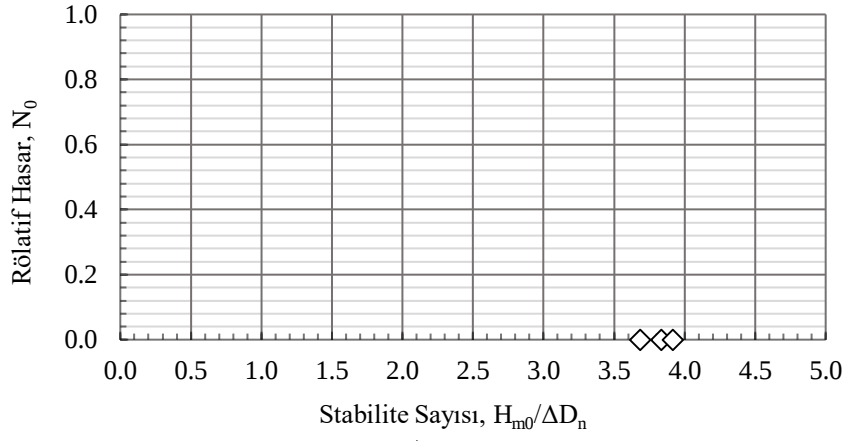


b)

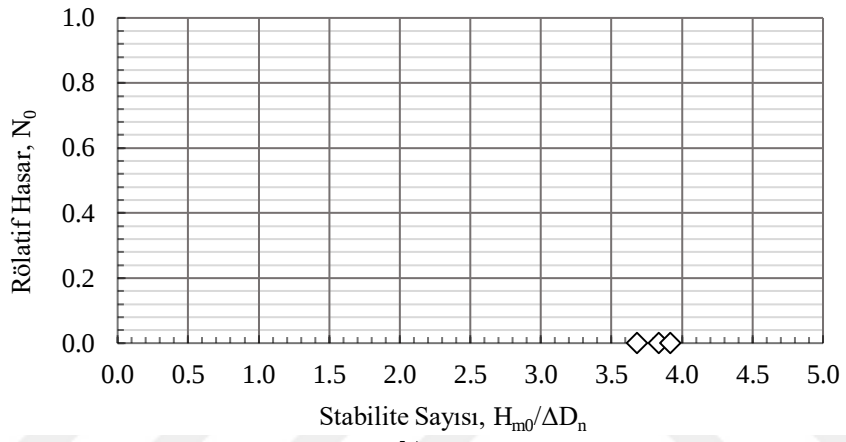


c)

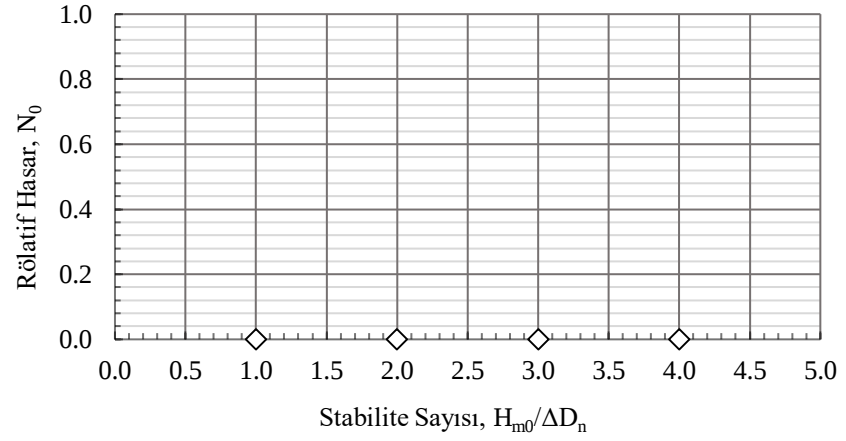
Şekil 6.11 $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıklık için hareket eden ve yer değiştiren elemanların yüzdeleri. a) Ön şev, b) Kret, c) Arka şev



a)



b)



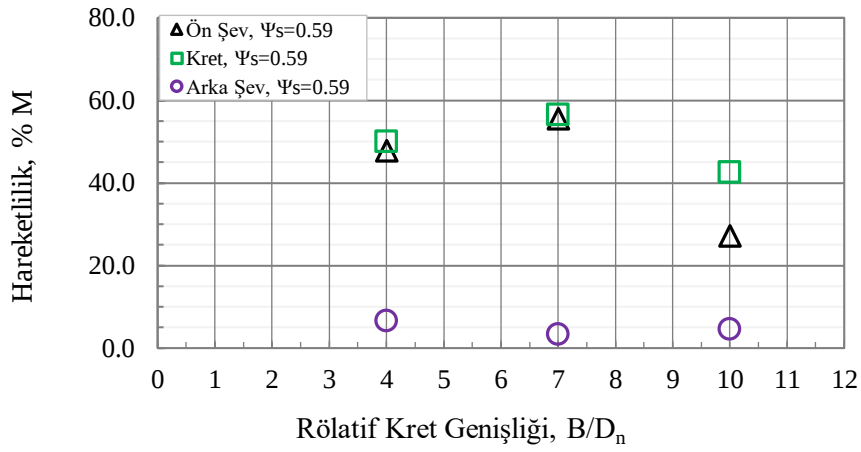
c)

Şekil 6.12 $10D_n$ kret genişliği ve $\Psi_s=0.67$ sıkılık için rölatif hasar durumları. a)

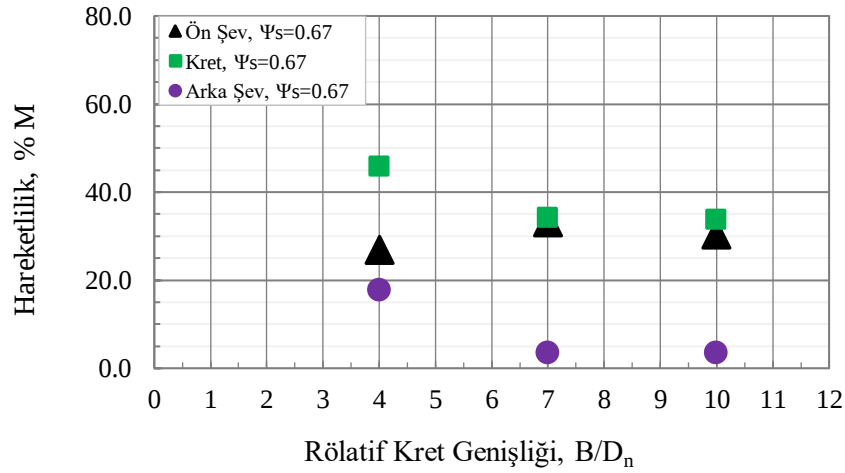
Ön şev, b) Kret, c) Arka şev

6.1.7 Tüm Modellerde Hareketlilik ve Rölatif Hasarın İncelenmesi

$4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkta küp blokların tek sıra düzenli yerleşimleri ile oluşturulmuş modellerde küp blokların hareketliliği ve hasarı incelenmiştir. Şekil 6.13.a ve b’de sırasıyla $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ olan iki farklı sıklılık için yapılan model deneylerinde üç farklı kret genişliği için ön şev, kret ve arka şevde hareketlilik miktarları gösterilmektedir. Beklendiği gibi sıklılığın büyük olması durumunda hareketlilik daha az olmuştur. Her iki sıklılıkta farklı kret genişlikleri için yapılan tüm deneylerde fazla hareketlilik krette gözlemlenmektedir. Sıkı dizilimde krette hareketlilik %30’un üzerindeyken gevşek dizilimde %40’ın üzerinde olmuştur.



a)



b)

Şekil 6.13 Ön şev, kret ve arka şevde hareketliliğin rölatif kret genişliği ile karşılaştırılması. a) $\Psi_s=0.59$ sıklılık, b) $\Psi_s=0.67$ sıklılık

Şekil 6.14, 6.15 ve 6.16’da sırasıyla ön şev, kret ve arka şevde rölatif hasarlara ilişkin grafikler gösterilmiştir. Ön şevde sıklığın $\Psi_s=0.59$ olduğu üç farklı kret genişliğine sahip modellerde Şekil 6.14’te gösterildiği üzere kret genişliğinin artmasıyla koruma tabakasına ait küp bloklarda hasar daha geç oluşmaya başlamıştır. $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde W13 son dalga ile birlikte rölatif hasar değerleri sırasıyla 0.61, 0.74 ve 0.09 olarak ölçülmüştür. Kret genişliğinin sabit kaldığı sıklığın arttırıldığı ($\Psi_s=0.67$) deneylerde ise tüm kret genişliklerinde ön şev koruma tabakasında hasar gözlemlenmemiştir.

Krette sıklığın $\Psi_s=0.59$ olduğu model deneylerinde kret genişliği arttıkça rölatif hasar değerleri $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ için sırasıyla W13 dalgasında 0.35, 0.26 ve 0.17 olarak azalarak değer almıştır. Bu azalma Şekil 6.15’te de görülmektedir. Dikkat edilmesi gereken nokta şudur ki; $\Psi_s=0.59$ sıklığı için kret koruma tabakasında $4D_n$ kret genişliğinde W12 dalgasında başlayan hasar, $7D_n$ kret genişliğinde W9 ve $10D_n$ kret genişliğinde W10 ile başlamıştır. Kret genişliklerinin artmasıyla küp bloklar erken hasar almaya başlaması her kret genişliğinde referans alanı içindeki küp blok sayısının artması ve bu blokların birbirlerini rölatif olarak etkilemesi bir neden olarak göz önünde bulundurulmalıdır. Bir başka sebep ise, kretteki genişliğin artması, dalga yüksekliği fazla olan dalgaların ön şeve çarpması ve geri çekilme hareketi yapması esnasında kret ile ön şev arasındaki küp blokların süreksizliğidir. Kretin $4D_n$ ve sıklığın $\Psi_s=0.67$ olduğu model deneyinde W13 dalgası ile birlikte 0.04 değerinde bir rölatif hasar meydana gelmiştir. Sıklığın $\Psi_s=0.67$ olduğu diğer kret genişliklerinde ön şevde olduğu gibi kret koruma tabakasında da sıklığın artmasıyla birlikte rölatif hasarın gerçekleşmediği görülmektedir.

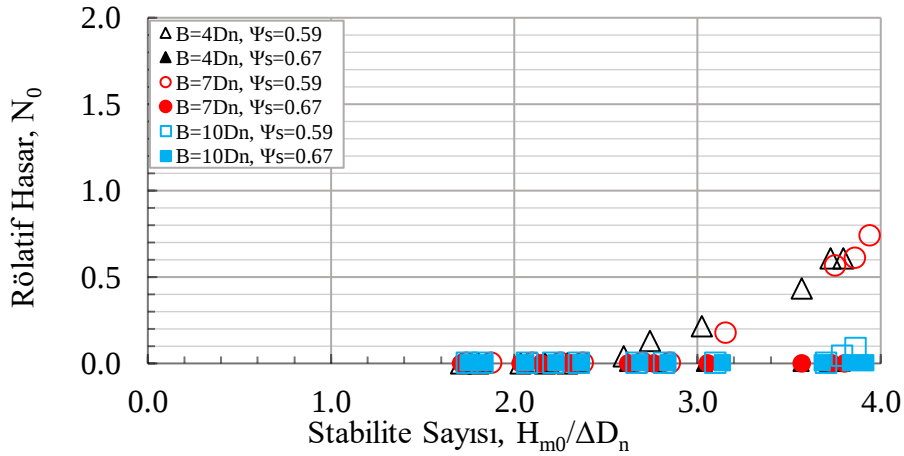
Şekil 6.16’da gösterildiği üzere, arka şevde deneye ait sıklığın $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ olduğu her iki durumda da tüm kret genişliklerinde rölatif hasar gözlemlenmemiştir. Bu hasarın gerçekleşmemesi, $4D_n$ kret genişliğinde kret genişliğinin daha küçük olup, sayıca daha fazla olan küp blokların birbirine kenetlenmiş olarak hareket ediyor olmalarıdır. $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliğinde ise kretin geniş olması nedeniyle deney boyunca küp bloklarda gözlenen kırıdanmaların arka şevi etkileyememesidir.

Aynı sıklıkta ön şevde $7D_n$ kret genişliğindeki modelde toplam yer değiştirme (D_T) %10.97 iken $10D_n$ kret genişliğindeki bu deneyde toplam yer değiştirme (D_T)

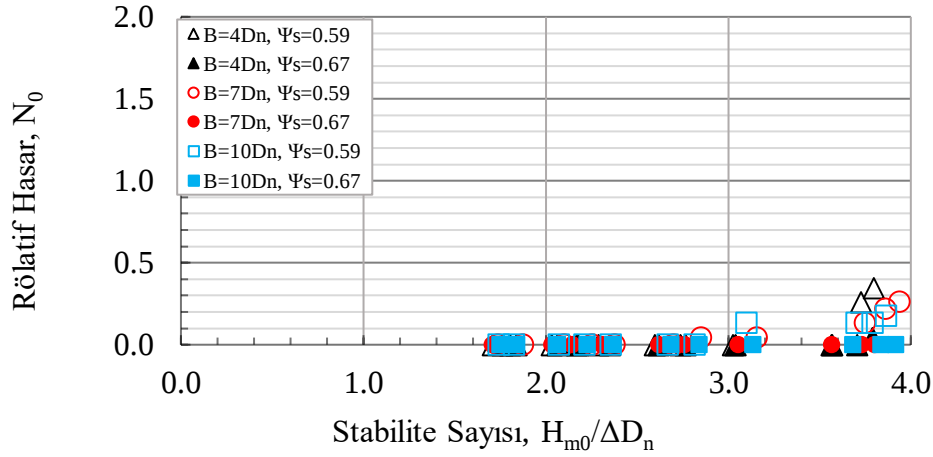
%1.29 olarak elde edilmiştir. Ön şevde ait koruma tabakası kret genişliği arttıkça nispeten daha stabil bir davranış sergilemiştir.

Tüm deneylerde her iki sıklıkta yapılan dizimler için hasarın gerçekleştiği sonuçlarda ön şev, kret ve arka şevde hasar, sıklığın $\Psi_s=0.59$ olduğu durumda $\Psi_s=0.67$ sıklığa göre daha erken ve daha fazla gerçekleşmiştir. Boşluk oranının azalmasıyla daha sıkı yapıda bir küp dizilimi yapılması hasarın oluşmasını engellemiştir. Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te görüldüğü üzere bu sıklıktaki deneylerde tüm kret genişliklerinde rölatif hasar "0" seviyesindedir.

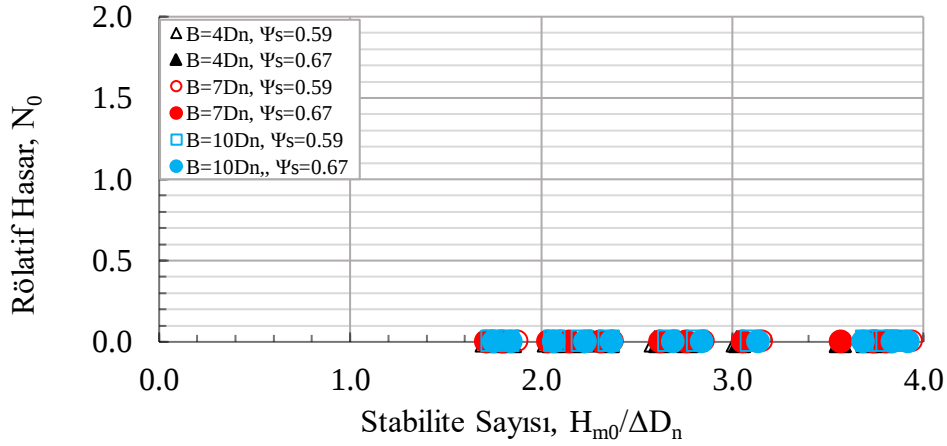
Deneylerde gözlemlenen geri çekilme hareketi, değerlendirmeye alınan referans alanı dışında etki ettiği durumlarda sıklığın $\Psi_s=0.59$ olduğu deneylerde ön şevde yer değiştirme boyutunda bir hasar olduğu görülmemiştir. Yani, ön şevde su seviyesinin $5D_n$ yukarısı ve $5D_n$ aşağısı toplam $10D_n$ 'lik alan referans alanı olarak kabul edildiğinde, sıklığın az olduğu deneylerde $6D_n$ 'lik alanda sadece M düzeyli hareketlenmeler oluşturduğu görülmüştür. Hareketlenen küp blok sayısı ve hareket boyutu az olduğu için bu küp bloklar koruma tabakasında yer değiştirme yapmamıştır. Bu durum sıklığın $\Psi_s=0.67$ olduğu durumda gözlemlenmemiştir.



Şekil 6.14 Tüm sıklıklar için ön şevde rölatif hasarın karşılaştırılması



Şekil 6.15 Tüm sıkılıklar için krette rölatif hasarın karşılaştırılması



Şekil 6.16 Tüm sıkılıklar için arka şevde rölatif hasarın karşılaştırılması

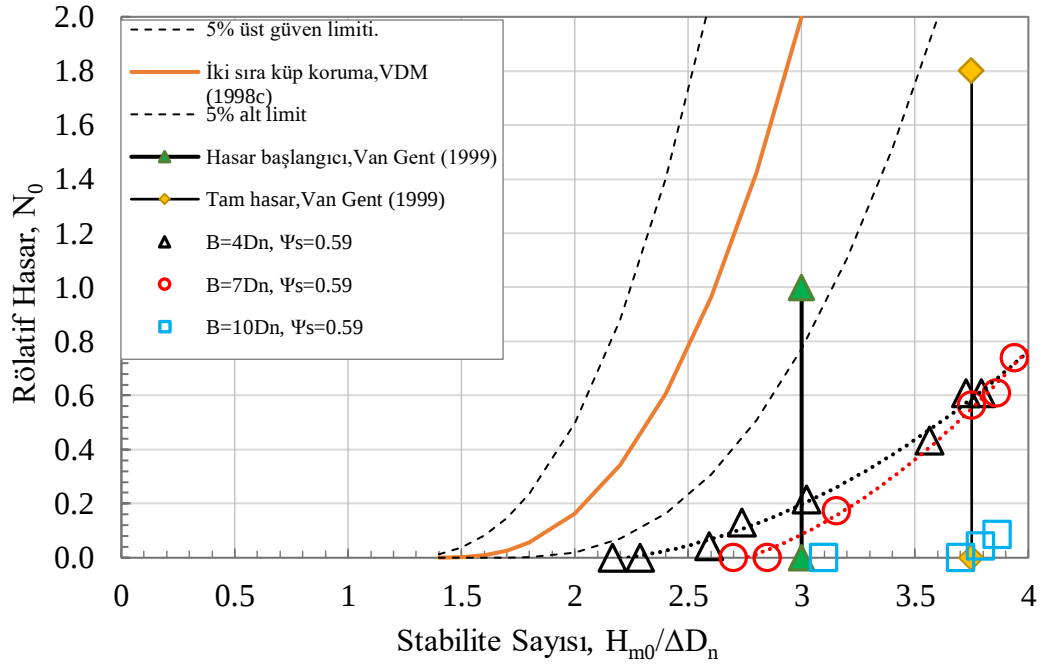
Şekil 6.17 a ve Şekil 6.17 b’de iki sıra düzensiz yerleştirilmiş küp korumalı geleneksel dalgakıran için Van der Meer, 1988c’ın vermiş olduğu ifade kullanılarak hasarın stabilite sayısı ile değişimi %90 güven limitleri ile birlikte gösterilmektedir. Bununla birlikte Van Gent (1999)’da verilen geleneksel tek sıra düzenli yerleştirilmiş küp bloklı dalgakıran için hasar başlangıcı (3) ve tam hasar (3.75) kriterleri de gösterilmektedir. Şekil 6.17 a ile ön şevde ait deney sonuçları yukarıda bahsedilen literatür ile birlikte gösterilmiştir. Tek sıra küp korumalı geleneksel dalgakıranın iki sıra düzensiz yerleştirilmiş küp bloklı dalgakıranına göre daha stabil olduğu bu şekillerden açıkça görülmektedir. Ancak bu çalışmada literatürden farklı olarak düşük kretli dalgakırandaki küp blokların tek sıra dizilimi iki farklı sıkılıkta çalışılmıştır. $\Psi_s=0.67$ sıkılığında ön şevde hiç hasar gözlenmediğinden grafiklerde yer verilmemiştir, $\Psi_s=0.59$ sıkılığında üç farklı kret genişliğine sahip modelde hasar sonuçları gösterilmektedir. Geleneksel dalgakıranlarda hasar tespitinde ön şevde

dalganın etkin olduğu aktif bölge belirlenerek burada oluşan hasar dikkate alınmaktadır. Bu bölge genellikle sakin su seviyesinden $\pm 1.0H$ düşey mesafe ile belirlenmektedir. Bu çalışmada da yine ön şevde aktif bölge aynı yöntemle belirlenmiştir. Fakat yapı düşük kretli olduğundan yapının kreti de ön şev gibi daima dalga etkisinde olduğundan aktif bölge olarak kabul edilmiştir. Arka şev de hiç hasar oluşmadığından ön şev ve kret birlikte dikkate alınmış ve toplam kesit olarak adlandırılmıştır. Şekil 6.17 b’de ön şev ve kretin birlikte değerlendirildiği toplam kesitte hasarın stabilite sayısına karşı gelişimi görülmektedir. Tablo 6.19’da da Şekil 6.17 a ve 6.17 b’den faydalanarak ön şev, kret ve toplam kesit için hasar başlangıcı ve tam hasar kriterleri özetlenmiştir. Bu sonuçlara göre hasar ilk olarak $4D_n$ kret genişliği 0.59 sıklıkta ön şevde 2.2’de başlamıştır. Ardından $10D_n$ kret genişliği 0.59 sıklıkta krette 2.82’de başlamıştır. Bunu takiben $7D_n$ kret genişliği 0.59 sıklıkta ön şev ve krette aynı olmak üzere 2.85 değerinde başlamıştır. Tam hasar ise sırasıyla $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde gerçekleşmiştir. Kret genişliğinin artması kesitin tamamının hasar almasını önleyen bir durum olmuştur.

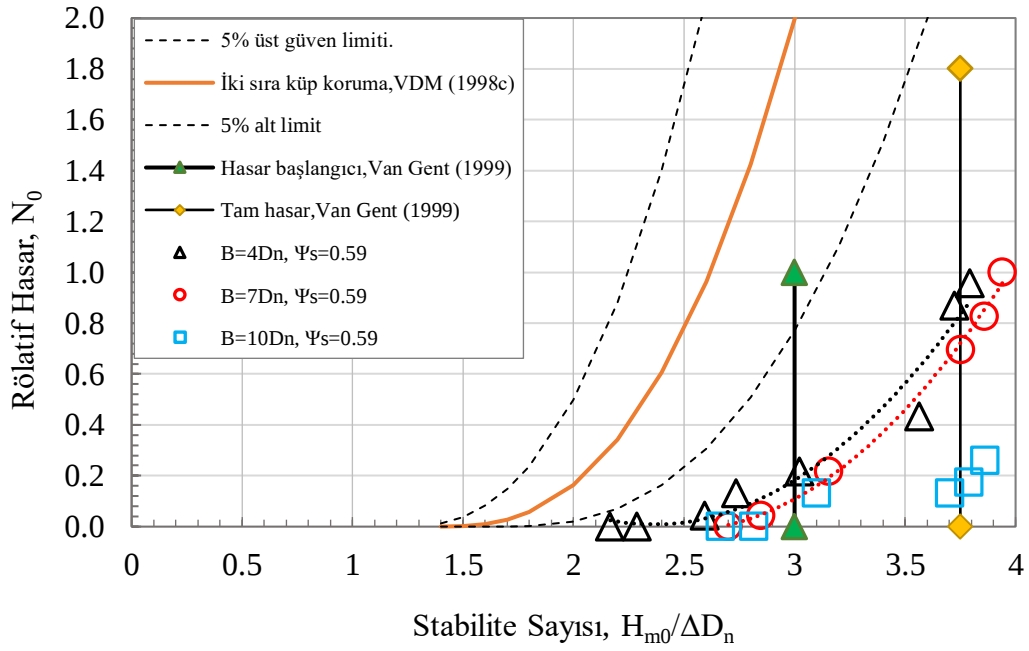
Şekil 6.18’de rölatif kret genişliğinin $B/D_n=4$, $B/D_n=7$ ve $B/D_n=10$ olduğu durumlarda $\Psi_s=0.59$ sıklık ile yapılan deneylerde ön şev ve krette hasarın başladığı stabilite sayıları (N_s) karşılaştırılmıştır. $B/D_n=4$ için krette $N_s=3.7$ ve ön şevde $N_s=2.2$ olup, bu rölatif genişlikte ön şevdeki küp bloklar daha erken hasar almaya başlamıştır. $B/D_n=7$ için hem krette hem de ön şevde hasar başlangıcı $N_s=3.2$ değerindedir. Bu durum, $7D_n$ kret genişliğinde ön şevde ve krette hasarın eş zamanlı olarak başladığını ifade etmektedir. $B/D_n=10$ için ön şevde $N_s=3.8$ ve krette $N_s=3.1$ olup, krette hasar ön şevden daha erken gerçekleşmeye başlamıştır. Bu değerlendirmelerden kret genişliğinin artması ile yapının daha stabil bir davranış gösterdiği gözlenmiştir. Tüm rölatif kret genişlikleri dikkate alındığında, kret genişliği arttıkça ön şevdeki küp bloklar daha geç hasar almaya başlamıştır. Krette ise bu durum tam tersi olup krette ait küp bloklar, kret genişliği arttıkça daha erken hasar almaya başlamış olduğu görülmektedir.

Sıklığın daha yüksek olduğu % 67 dizilimde $4D_n$ ve $7D_n$ için ön ve arka şevde herhangi bir hasar gözlenmezken krette her zaman hasar oluşmuştur. Ancak $10D_n$ kret genişliğindeki sıkı dizilimde yapıda hiç hasar gözlenmemiştir. Literatürde; geleneksel dalgakıranlarda tek sıra düzenli yerleşimde en yüksek stabilitenin yerleştirme sıklığının %70 civarında olduğu ve 1:1.5 (1:1.5 şev eğimde 1:2 şev

eğime göre bloklar biraz daha stabil davranmaktadır) eğimde tek sıra düzenli yerleştirme durumunda stabilite sayısının 4.8 değerine kadar çıktığı ifade edilmişti. Ancak sıklığın %80'den çok yüksek olması durumunda stabilitenin azaldığı bunun nedeninin de blokların altından etkiyen basınç ile blokların yerinden kolayca çıkabileceği şeklinde açıklanmıştı. Yerleştirme sıklığının azalması durumunda ise dalga etkisinde şevdeki oturmalarından ön şev ile kret arasında rölatif olarak büyük boşlukların oluşmasından dolayı stabilitenin azaldığı açıklanmıştı. Daha stabil olan 1:1.5 şev eğimi ile gerçekleştirilen bu çalışmada deneylerde %67 olan büyük sıklıkta şevlerde hiç hasar gözlenmemiştir. Çalışmada stabilite sayısının en yüksek 3.90 değerine ulaşılabilmiş olup literatürde verilen 4.8 değerine ulaşılammıştır. Ancak bu sıklıkta bile krette $4D_n$ ve $7D_n$ genişliklerinde hasar gözlenmiştir. Bu sonuçlar literatürle uyumludur.



a)

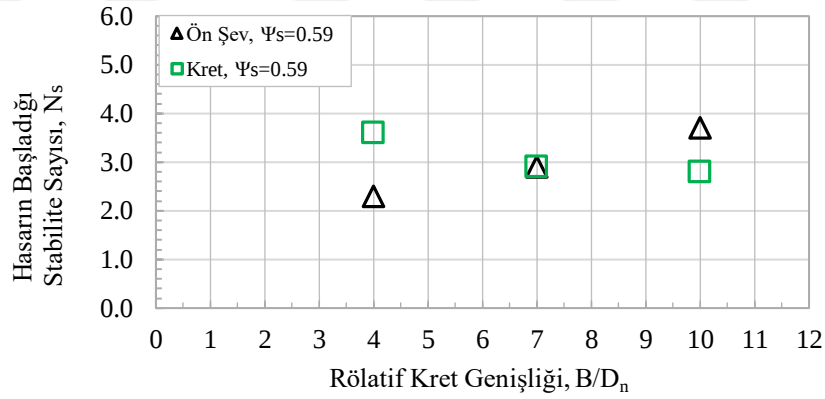


b)

Şekil 6.17 Ön şevde ve modelin tamamında deney sonuçlarının Van der Meer (1988c) ve Van Gent (1999)'in sonuçları ile karşılaştırılması. a) Ön şev, b) Ön şev ve kret birlikte

Tablo 6.19 Tüm kret genişlikleri ve sıklıklar için hasar başlangıçları

B	SIKILIK	ÖN ŞEV STABİLİTE SAYISI		KRET STABİLİTE SAYISI		TOPLAM KESİT STABİLİTE SAYISI	
		Hasar Başlangıcı $N_0=0$	Tam Hasar $N_0=0.2$	Hasar Başlangıcı $N_0=0$	Tam Hasar $N_0=0.2$	Hasar Başlangıcı $N_0=0$	Tam Hasar $N_0=0.2$
4D _n	0.59	2.3	3.0	3.6	3.7	2.2	3.0
	0.67	-	-	3.7	-	3.7	-
7D _n	0.59	2.9	3.2	2.9	3.8	2.8	3.1
	0.67	-	-	-	-	-	-
10 D _n	0.59	3.7	-	2.8	3.8	2.8	3.8
	0.67	-	-	-	-	-	-

**Şekil 6.18** Ön şev ve krette rölatif kret genişliğine göre hasarın başladığı stabilite sayısının karşılaştırılması

Küp koruma tabakası birimlerinin stabilitesi esas olarak zati ağırlığına ve yan yüzeyler arasındaki sürtünmeye dayanmaktadır bu nedenden dolayı taşa göre daha stabil davranmaktadırlar. Ayrıca küplerin üretimi, yerleştirilmesi ve bakımı kolaydır. Bu nedenle gerek normal yoğunluklu gerekse yüksek yoğunluklu beton küplerin tek sıra kullanımları dikkat çekmeye başladı. Literatürde yapılan çalışmalarda %80 ila %70 sıklık ile düzenli olarak yerleştirilen küpler bu çalışmada kullanılan modellerde %59 ve %67 sıklık ile yerleştirilmiştir.

%67 sıklık ile kurulan modellerin hiçbirinde ön şevde hasar gözlenmemiştir. Literatürde verilen normal kretli yapılarda hasar başlangıcında ve tam hasarda stabilite sayısı 3 ve 3.75 iken bu çalışmada ulaşılan en yüksek stabilite sayısı 3.9'

da dahi hasar gözlenmemiş olup aşma olmayan dalgakırana göre literatürde de verildiği gibi ön şevdin daha stabil davrandığı gözlenmiştir. Bununla birlikte %59 sıklıktaki modellerde ise $4D_n$ ve $7D_n$ genişlikli kretlerde hasar daha erken başlarken geniş kretli modelde aşılmayan krete göre daha stabil davranmıştır.

Hidrolik modelin kurulumu sırasında düşük kretli tek sıra düzenli yerleşimde en önemli problem, küplerin yerleştirilmesi sırasında şevden krete geçişte blokların birbirine temasının sağlanmasının güçlüğü ya da temasın zayıf olması şeklinde yaşanmıştır. Bu da krette bazı blokların kolayca hareketlenmesiyle sonuçlanmıştır. Bu nedenle model kurulumları sırasında kret genişliğinin D_n 'in tam katı olacak şekilde elde edilmesi çok zorlayıcı olmuştur. Ayrıca deneyler sırasında dalga etkisi ile şevde meydana gelen oturma ile krete yakın yerde nispeten geniş boşlukların oluşması ve blokların birbirlerine dayanağını kaybettiği gözlenmiştir. Düşük kret durumunda, kretteki yatay küpler, geçişten dolayı oluşan süreksizlikten nispeten büyük dalga çarpma kuvvetlerine de maruz kalmış ve hasar oluşmuştur. Düşük kretli yapılarda yatay tepe arasında boşlukların varlığını önlemek için krette blokların düzensiz yerleştirilmesi gerektiği bu çalışmada elde edilen en önemli sonuçtur. Ayrıca tek sıra düzenli koruma tabakası durumunda küplerin şeve düzgün yerleştirilebilmesi için filtre tabakasında nispeten pürüzsüz bir yüzey gereksinimi model kurulumlarında son derece önemli olmuştur. Tek sıra küp korumalı dalgakıranlarda hasarın başlaması ile aniden yapının tam hasara uğraması nedeniyle hasar kabul edilemez olduğundan bir güvenlik faktörü kullanılmalıdır. Ayrıca, küp blokların iki sıra düzensiz ile tek sıra düzenli dizilimleri karşılaştırılmalıdır.

Tek sıra küplerden oluşan koruma tabakası için yukarıda bahsedilen nedenlerden dolayı yapı tam hasarı için kriter: $N_{od}=0.2$ olarak alınmaktadır. Çünkü hasar bir kez oluştuğunda hızla ilerlemekte ve tek sıra olduğundan altındaki filtre tabakası hemen açığa çıkmaktadır. Tablo 6.20'de verildiği üzere, geleneksel çift sıra küp koruma tabakasında bir miktar hasara izin verilerek rölatif hasar $N_{od}=0.5$ alındığında bu yaklaşık stabilite sayısında 2.2'ye karşılık gelmekte olup $K_D=7$ 'ye benzerdir. Bu değer için tek sıra küp ile tasarlanacaksa, bu, geleneksel bir çift sıra ve tek sıra küpün aynı ağırlığı anlamına gelmektedir. Hasar başlangıcı için güvenlik faktörü tek sıra küpler için $3.0/2.2 = 1.36$ 'dır. Tam hasara ilişkin güvenlik faktörü $3.75/2.2 = 1.7$. Bu nedenle tasarımda $H_s/\Delta D_n=2.2$ kullanılması önerilmektedir (Van der Meer, 1999).

Tablo 6.20 Literatürde mevcut ve bu çalışmaya ait stabilite katsayıları

	Şev Eğimi, $\tan\alpha$	Sıklık, Ψ	Hasar Durumu	N_0	Stabilite Sayısı, N_s	Stabilite Katsayısı, K_D
Van der Meer (1999)	1:1.5		Hasar başlangıcı (Güvenlik faktörü 1.36)	0.5	2.2	7
Van Gent (1999)	1:1.5	0.70-0.75	Hasar başlangıcı	0	3	18
Van Gent vd.(1990)	1:1.5	0.70-0.75	Tam hasar	0.2	3.5 - 3.75	28.6-35.2
Van Gent vd. (1990)			Hasar başlangıcı	0	2.2 -2.3	7-8.1
Bu çalışma $B/D_n=4$	1:1.5	0.59	Hasar başlangıcı (Ön Şev)	0	2.3	8.1
Bu çalışma $B/D_n=7$	1:1.5	0.59	Hasar başlangıcı (Ön şev)	0	2.9	16.3
Bu çalışma $B/D_n=10$	1:1.5	0.59	Hasar başlangıcı (Ön şev)	0	3.7	33.8
Bu çalışma $B/D_n=4$	1:1.5	0.67	Hasar başlangıcı (Kret)	0	3.7	33.8

6.2 Düşük Kretli Tek Sıra Küp Bloklı Dalgakıran İletim

Sonuçlarının Değerlendirilmesi

4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişliklerine ait modeller için iletim analizi ilk olarak ayrı başlıklar halinde incelenmiş olup, daha sonra birleştirilerek birlikte değerlendirilmiştir. Tablo 6.21, Tablo 6.22, Tablo 6.23, Tablo 6.24 sırasıyla 4D_n, 7D_n, 10D_n ve tüm kret genişliklerinde yapılan deneylere ait boyutsuz büyüklüklerin minimum ve maksimum değerlerini göstermektedir.

Tablo 6.21 4D_n kret genişliği için boyutsuz parametrelerin sınır değerleri

Boyutsuz Büyüklükler	K _t	R _c /H _{mo}	B/H _{mo}	B/L _p	H _{mo} /L _p	H _{mo} /D _n	ξ ₀	H _{mo} /d	d/L _p
Maksimum Değer	0.291	2.072	2.883	0.066	0.039	5.313	6.896	0.354	0.508
Minimum Değer	0.060	0.541	0.753	0.021	0.009	1.388	3.390	0.034	0.078

Tablo 6.22 7D_n kret genişliği için boyutsuz parametrelerin sınır değerleri

Boyutsuz Büyüklükler	K _t	R _c /H _{mo}	B/H _{mo}	B/L _p	H _{mo} /L _p	H _{mo} /D _n	ξ ₀	H _{mo} /d	d/L _p
Maksimum Değer	0.225	2.099	5.109	0.115	0.041	5.518	7.011	0.368	0.508
Minimum Değer	0.048	0.521	1.269	0.036	0.009	1.370	3.305	0.034	0.078

Tablo 6.23 10D_n kret genişliği için boyutsuz parametrelerin sınır değerleri

Boyutsuz Büyüklükler	K _t	R _c /H _{mo}	B/H _{mo}	B/L _p	H _{mo} /L _p	H _{mo} /D _n	ξ ₀	H _{mo} /d	d/L _p
Maksimum Değer	0.188	2.076	7.220	0.164	0.040	5.488	6.920	0.366	0.508
Minimum Değer	0.041	0.524	1.822	0.052	0.009	1.385	3.326	0.034	0.078

Tablo 6.24 Tüm deneylerden elde edilen boyutsuz parametrelerin sınır değerleri

Boyutsuz Büyüklükler	K _t	R _c /H _{mo}	B/H _{mo}	B/L _p	H _{mo} /L _p	H _{mo} /D _n	ξ ₀	H _{mo} /d	d/L _p
Maksimum Değer	0.291	2.099	7.220	0.164	0.041	5.518	7.011	0.368	0.508
Minimum Değer	0.041	0.521	0.753	0.021	0.009	1.370	3.305	0.034	0.078

6.2.1 4D_n Kret genişliği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı için iletim

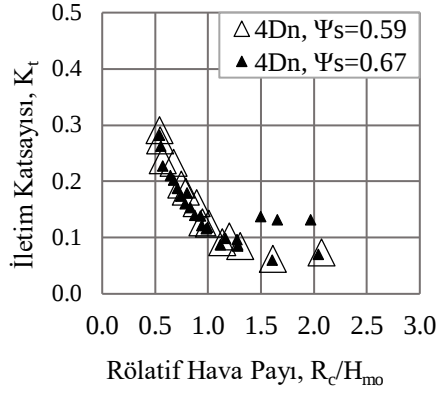
4D_n kret genişliğine sahip modelde iki ayrı sıklık için yapılan deneylerde iletim incelenmiştir. Şekil 6.19'da iletim katsayısının çeşitli boyutsuz parametreler ile değişimi gösterilmiştir.

Şekil 6.19.a'da rölatif kret hava payı ile iletim katsayısının değişimi verilmiştir. Hem $\Psi_s=0.59$ hem de $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığında rölatif kret hava payı arttıkça iletim katsayısı azalmaktadır. Yerleşim sıklığının $\Psi_s=0.59$ olduğu modelde ölçülen iletim katsayıları $\Psi_s=0.67$ olan sıklığa göre daha büyük elde edilmiştir. Fakat eğilimin her iki sıklık için de aynı olduğu görülmektedir. Şekil 6.19.b'de iletim katsayısının rölatif kret genişliği ile değişimi görülmektedir. Bu grafikte, rölatif kret genişliğinin rölatif kret hava payına benzer bir davranış sergilediği izlenmektedir.

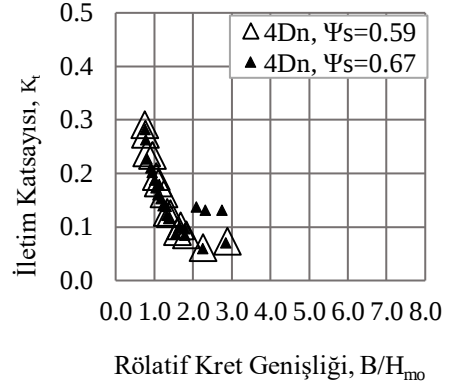
Şekil 6.19.c'de B/L_p boyutsuz kret genişliğinin iletim katsayısı ile değişimi gösterilmiş olup, B/L_p arttıkça iletim katsayısının yine azaldığı görülmektedir. Ve yine yerleşim sıklığının $\Psi_s=0.59$ olduğu deneyde iletim katsayısının değeri $\Psi_s=0.67$ 'ye göre fazladır. Ancak eğilim her iki sıklıkta benzerdir. Şekil 6.19.d'de dalga dikliği, H_{mo}/L_p ile iletim katsayısının değişimi verilmiştir. Burada belli bir eğilim olmadığı görülmektedir. $0.01 < H_{mo}/L_p < 0.04$ arasında değerler almakta ve H_{mo}/L_p 0.03'den 0.04'e doğru arttıkça iletim katsayısının azaldığı izlenmektedir.

Rölatif dalga yüksekliğinin iletim katsayısı ile değişimi Şekil 6.19.e'de gösterilmiştir. Rölatif dalga yüksekliği arttıkça iletim katsayısı artmaktadır. Bu modelde sıklığın az olduğu dizilimde iletim daha fazla gözlenmiştir.

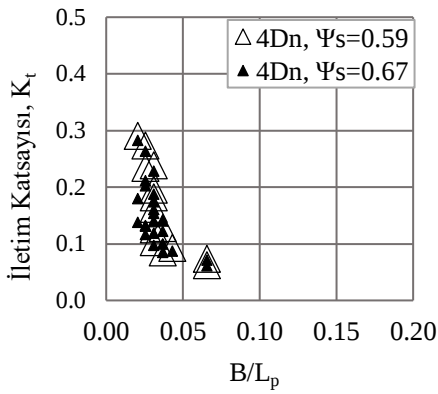
Surf parametresinin iletim katsayısı üzerindeki değişimi her iki sıklık için Şekil 6.19.f'de verilmiştir. Grafikte surf parametresi $3 < \xi_0 < 5$ arasında değişmektedir. $3 < \xi_0 < 4$ ve $4 < \xi_0 < 5$ aralığında surf parametresi arttıkça iletim katsayısı belirgin olmamakla beraber artma eğilimi gösterirken, $\xi_0=4$ iken bu eğilim gözlenmemiştir.



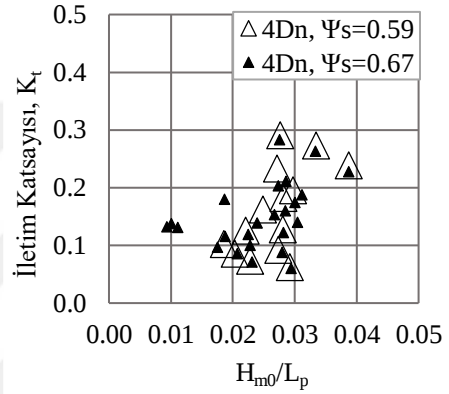
a)



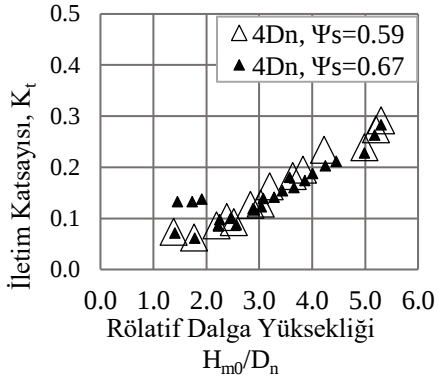
b)



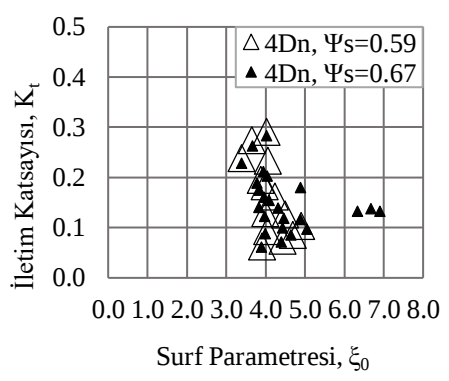
c)



d)



e)



f)

Şekil 6.19 4D_n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleştirme sıklıkları için iletim katsayısının boyutsuz parametreler ile değişimi

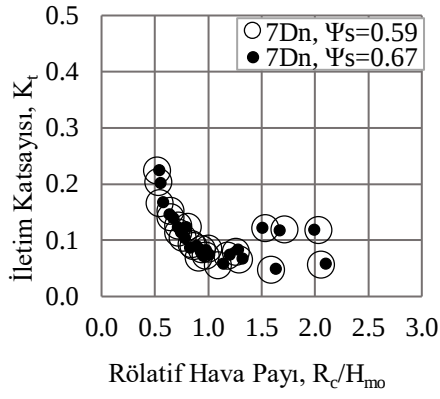
6.2.2 7D_n Kret genişliği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı

7D_n kret genişliğine sahip modelde iki ayrı sıklık için yapılan deneylerde iletim incelenmiştir. Şekil 6.20'de iletim katsayısının çeşitli boyutsuz parametreler ile değişimi gösterilmiştir.

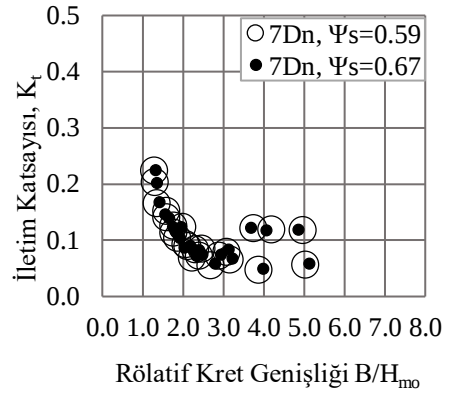
Şekil 6.20.a'da rölatif kret hava payı ile iletim katsayısının değişimi verilmiştir. Her iki yerleşim sıklığında rölatif kret hava payı arttıkça iletim katsayısı azalmaktadır. Şekil 6.20.b'de iletim katsayısının rölatif kret genişliği ile değişimi gösterilmektedir. 4D_n kret genişliğine göre iletim katsayısı daha düşük değerlerde başlamış olup azalarak seyretmiştir. 4D_n kret genişliği ile elde edilen sonuca kıyasla $B/H_{m0}>3$ aralığında da iletim ölçülmüş ve rölatif kret genişliği arttıkça iletim katsayısı da azalmıştır. Bu artış doğrusal değildir.

Şekil 6.20.c'de B/L_p boyutsuz kret genişliğinin iletim katsayısı ile değişimi gösterilmiş olup, B/L_p arttıkça iletim katsayısı azalmaktadır, buradan artan dalga boyuyla iletimin arttığı anlaşılmaktadır. 4D_n kret genişliği ile yapılan deney modeli sonuçlarına göre beklendiği gibi daha küçük iletim katsayıları ölçülmüştür. Şekil 6.20.d'de H_{m0}/L_p ile iletim katsayısının değişimi verilmiştir. Dalga dikliği ile doğrusal bir ilişki gözlenmemiştir. Dağılım 4D_n kret genişliğine benzerdir. Ancak daha küçük iletim katsayıları ölçülmüştür. $0.009<H_{m0}/L_p<0.041$ arasında değerler almakta ve H_{m0}/L_p 0.03'den 0.04'e doğru arttıkça iletim katsayısının azaldığı izlenmektedir.

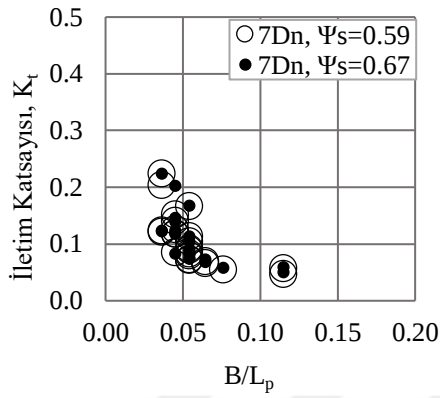
Şekil 6.20.e'de 4D_n kret genişliği ile yapılan deney sonuçlarına benzer olarak rölatif dalga yüksekliği arttıkça iletim katsayısının arttığı görülmektedir. Ancak burada sabit beton eleman boyutu kullanıldığı da unutulmamalıdır. Fakat iletim bu dizilimde daha az ölçülmüştür. Şekil 6.20.f' de surf parametresi $3<\xi_0<7$ arasında değişmektedir. $3<\xi_0<4$ ve $4<\xi_0<5$ aralığında surf parametresi arttıkça iletim katsayısı artarken, $\xi_0=4$ iken bu durum gözlemlenmemiştir. İletim katsayısının surf parametresi ile olan bu dağılımına göre 4D_n kret genişliğine benzer fakat daha düşük iletim katsayıları olduğu görülmektedir.



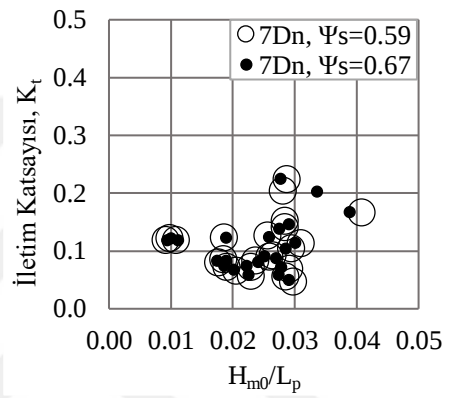
a)



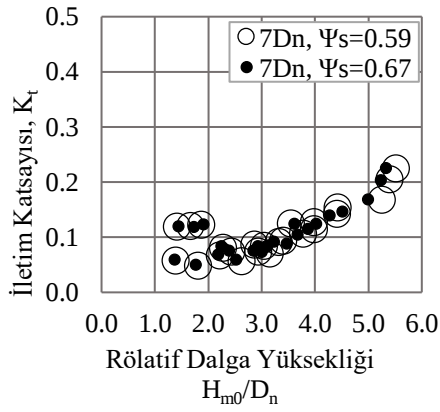
b)



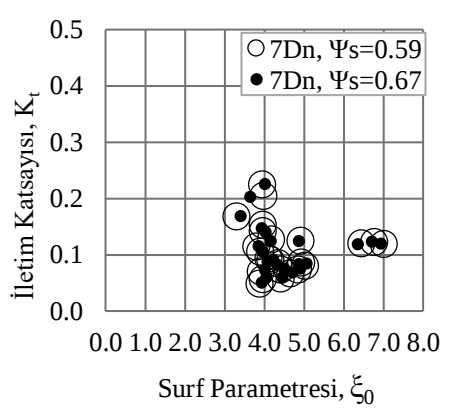
c)



d)



e)



f)

Şekil 6.20 7D_n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleştirme sıklıklarına için iletim katsayısının boyutsuz parametrelerle değişimi

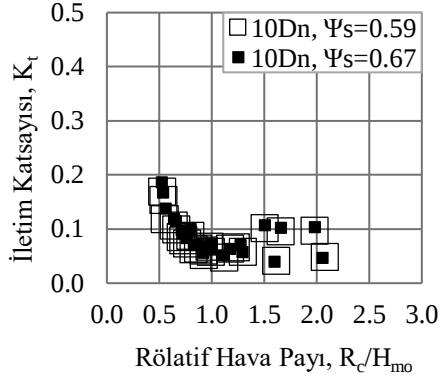
6.2.3 10D_n Kret genişliği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı

10D_n kret genişliğine sahip modelde iki ayrı sıklık için yapılan deneylerde iletim performansı incelenmiştir. Şekil 6.21'de çeşitli boyutsuz parametreler ile iletim katsayısının değişimi diğer kret genişliklerinde olduğu gibi gösterilmektedir.

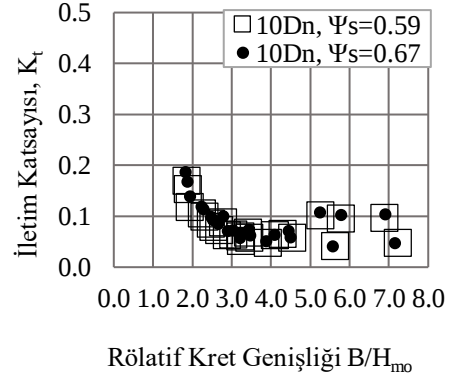
Şekil 6.21.a'da rölatif kret hava payı ile iletim katsayısının değişimi verilmiştir. Her iki yerleşim sıklığında rölatif kret hava payı arttıkça iletim katsayısı azalmaktadır. Şekil 6.21.b'de iletim katsayısının rölatif kret genişliği ile değişimi gösterilmektedir. 4D_n ve 7D_n kret genişliğine göre iletim katsayısı daha düşük değerlerde başlamış olup azalarak seyretmiştir. 4D_n kret genişliği ile elde edilen sonuca kıyasla $B/H_{m0}>5$ aralığında da iletim ölçülmüş ve rölatif kret genişliği arttıkça iletim katsayısı da artmıştır. Bu artış doğrusal değildir.

Şekil 6.21.c' de B/L_p boyutsuzunun iletim katsayısı ile değişimi gösterilmiş olup, 4D_n kret genişliği ile yapılan model deneyi sonuçlarına göre daha küçük iletim katsayıları ölçülmüştür. Eğilim 7D_n kret modeline benzerdir. Kretin daha geniş olması sebebiyle rölatif kret genişliği sınırları daha büyüktür. Şekil 6.21.d'de H_{m0}/L_p ile iletim katsayısının değişimi verilmiştir. Dağılım 7D_n kret genişliğine benzerdir. Ancak daha küçük iletim katsayıları ölçülmüştür.

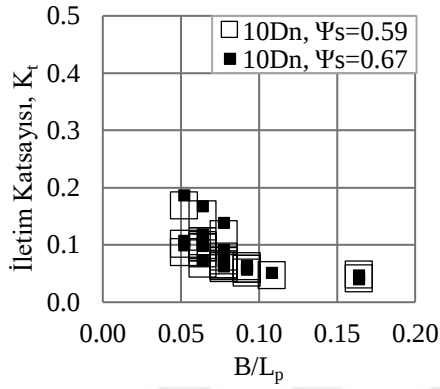
Şekil 6.21.e' de 4D_n ve 7D_n kret genişlikleri ile yapılan deney sonuçlarına benzerdir. Fakat iletim bu dizilimde daha az ölçülmüştür. Şekil 6.21.f'de surf parametresi $3<\xi_0<7$ arasında değişmektedir. $3<\xi_0<4$ ve $4<\xi_0<5$ aralığında surf parametresi arttıkça iletim katsayısı artarken, $\xi_0=4$ iken bu durum gözlemlenmemiştir. Bu artış eğilimi 4D_n ve 7D_n kret genişliğine göre çok daha az olup, daha düşük iletim katsayıları ile dağılımı görülmektedir.



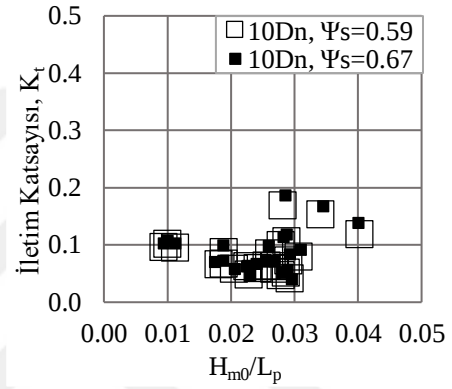
a)



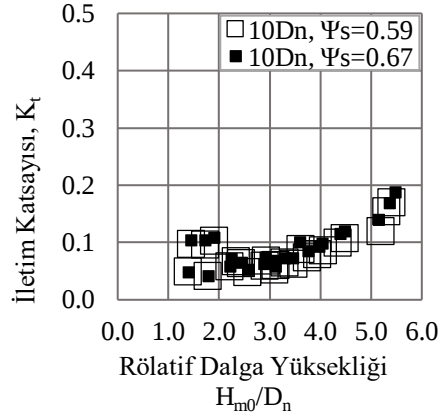
b)



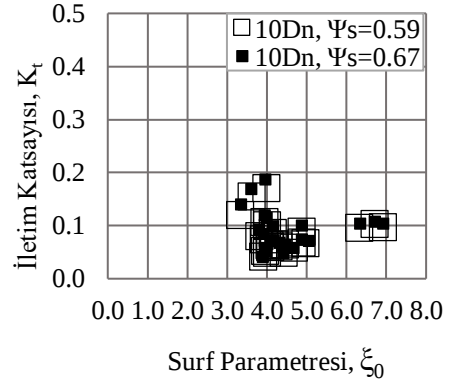
c)



d)



e)



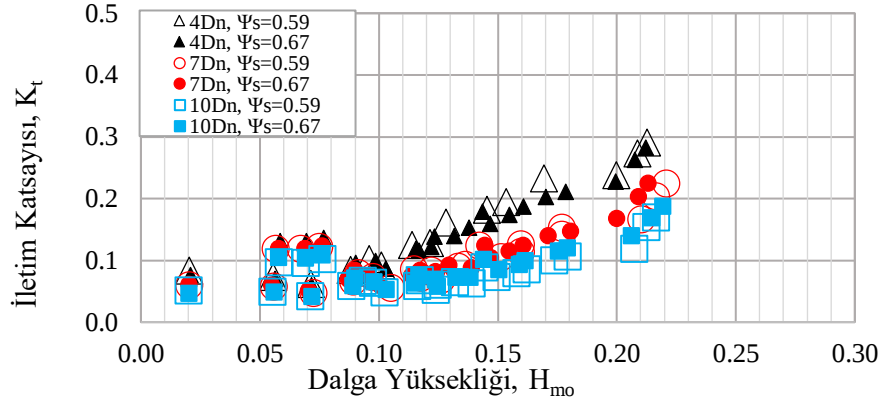
f)

Şekil 6.21 10D_n kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ yerleştirme sıklıklarında için iletim katsayısının boyutsuz parametrelerle değişimi

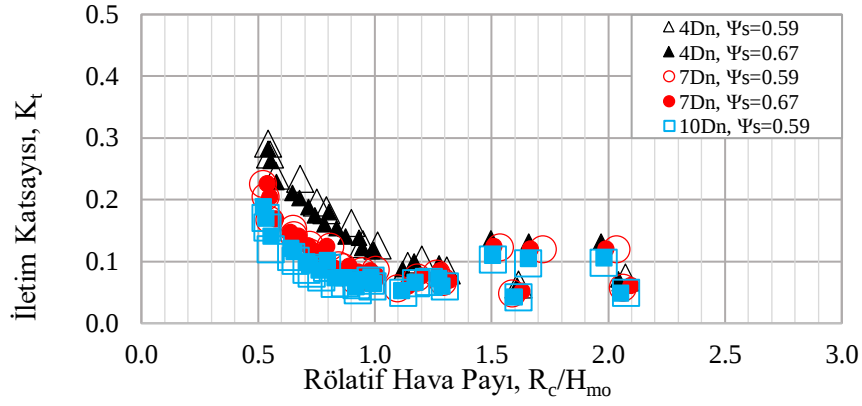
6.2.4 Tüm kret genişliklerine göre iletim katsayısı ile boyutsuz parametrelerin değişimi

Boyutsuz parametrelere geçmeden önce Şekil 6.22’de tüm kret genişliklerine ve iki ayrı sıklığa göre iletim katsayısının gelen dalga yüksekliği ile değişimi verilmiştir. Dalga yüksekliğinin artması ile iletim katsayısının arttığı aşıkardır. Bu artış ve iletim katsayısının büyüklüğü kret genişliği arttıkça düşmektedir. Ancak burada her üç kret genişliği için de 8 cm’den küçük dalga yüksekliklerinde lineer bir ilişki gözlenmeyip salınımlar mevcuttur. Bu salınımlar boyutsuz büyüklüklerde gözlenmiştir.

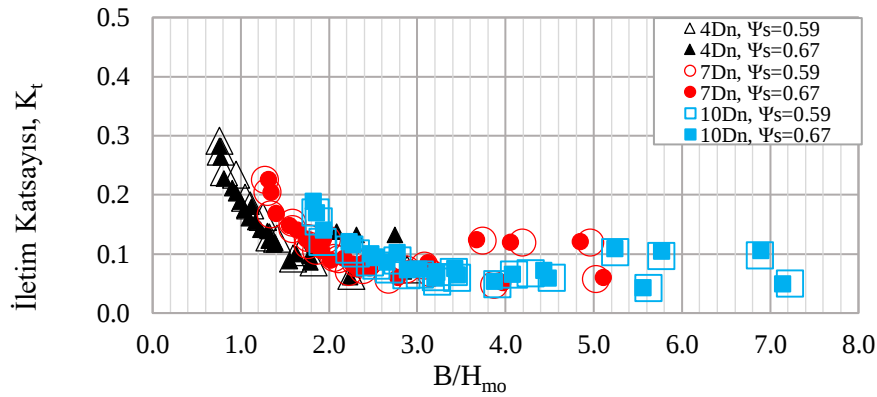
Şekil 6.23’te iletim katsayısının rölatif hava payı ile değişimi verilmiştir. Şekilden, tüm kret genişlikleri için rölatif hava payı arttıkça iletim katsayısının azaldığı görülmektedir. Ayrıca kret genişliği arttıkça iletim katsayısı beklendiği gibi düşmektedir. Şekil 6.24’de iletim katsayısının B/H_{m0} ile değişimi tüm kret genişliklerinde verilmiştir. Genişlik arttıkça iletim katsayısı azalmaktadır. Şekil 6.25’de rölatif kret genişliğinin, B/L_p , artmasıyla iletim katsayısı azalma göstermektedir. Şekil 6.26’da üç ayrı kret genişliği ve iki ayrı sıklık için iletim katsayısının H_{m0}/L_p ile değişimi gösterilmiştir. $H_{m0}/L_p=0.01$ etrafındaki dalgalarda yani küçük dalga dikliklerinde üç ayrı kret genişliği için de aynı şekilde bir gruplanma gözlenmiş ayrıca yaklaşık H_{m0}/L_p oranının 0.03’den büyük olduğu dalga dikliklerinde ise H_{m0}/L_p arttıkça iletim katsayısında azalma eğilimi gözlenmiştir. Şekil 6.27’de iletim katsayısının H_{m0}/D_n ile değişimi gösterilmektedir. $1 < H_{m0}/D_n < 3$ aralığında yani küçük dalga yüksekliklerinde H_{m0}/D_n artmasıyla iletim katsayısında belirgin bir artış olamamaktadır. Ancak, $H_{m0}/D_n > 3$ aralığında H_{m0}/D_n arttıkça iletim katsayısı da artmaktadır. Şekilden, kret genişliği arttıkça iletimin azaldığı görülmektedir. Şekil 6.28’de iletim katsayısının surf parametresi ile ilişkisi görülmektedir. $3 < \xi_0 < 4$ aralığında surf parametresi arttıkça iletim artmakta olup, $4 < \xi_0 < 5$ aralığında iletim azalmaktadır. Ve $6 < \xi_0 < 7$ aralığında ise surf parametresinin artışı ile iletim katsayısının sabit kaldığı görülmüştür. Bu artış ve azalışların büyüklüğü $4D_n$ kret genişliğinde fazla olup sırasıyla $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde görülmeye devam etmektedir.



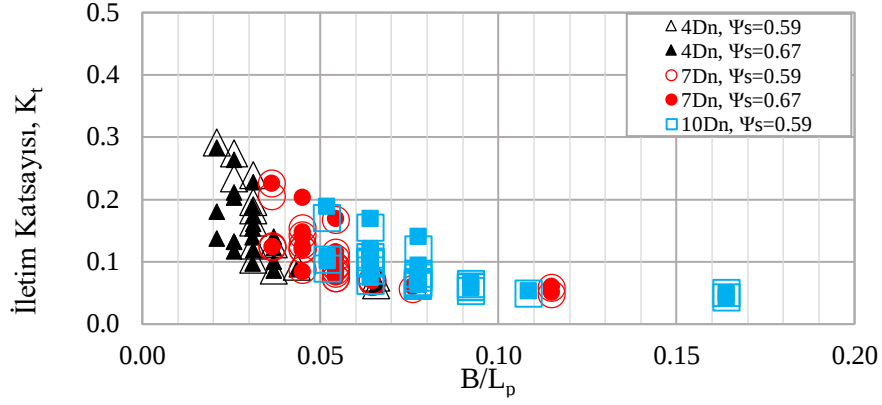
Şekil 6.22 $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için iletim katsayısının dalga yüksekliği ile değişimi



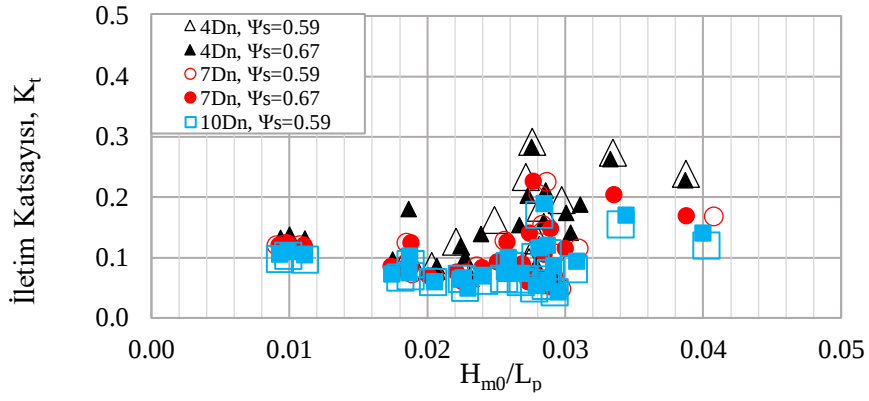
Şekil 6.23 $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için iletim katsayısının R_c/H_{mo} ile değişimi



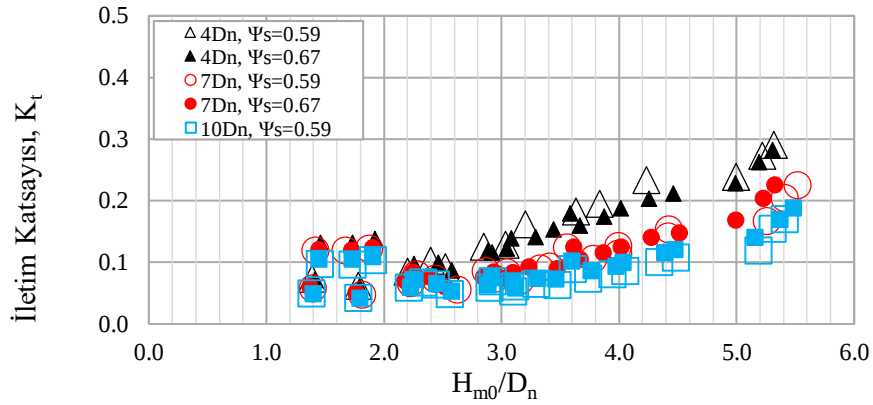
Şekil 6.24 $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için iletim katsayısının B/H_{mo} ile değişimi



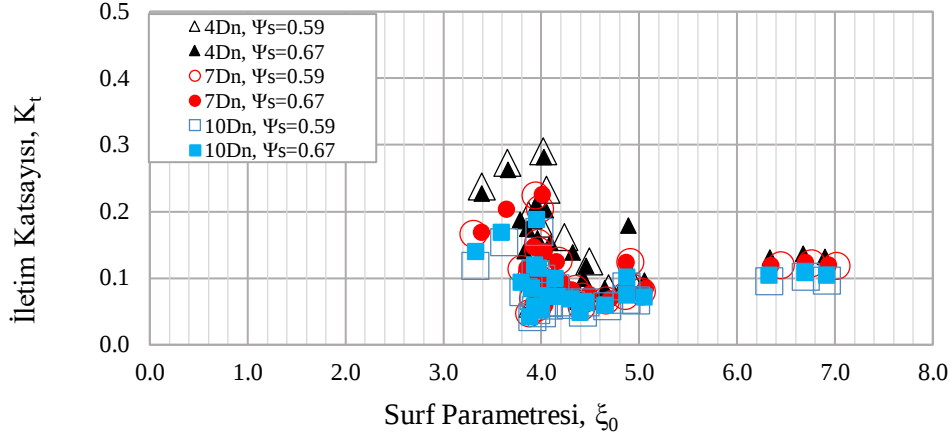
Şekil 6.25 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişlikleri için iletim katsayısının B/L ile değişimi



Şekil 6.26 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişlikleri için iletim katsayısının H/L ile değişimi



Şekil 6.27 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişlikleri için iletim katsayısının H/D_n ile değişimi



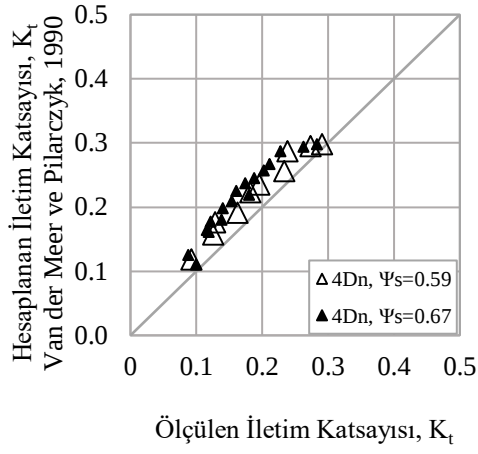
Şekil 6.28 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişlikleri için iletim katsayısının surf parametresi ile değişimi

6.2.5 Deneysel çalışmalar ile elde edilen iletim katsayısının literatürdeki formüller ile karşılaştırılması

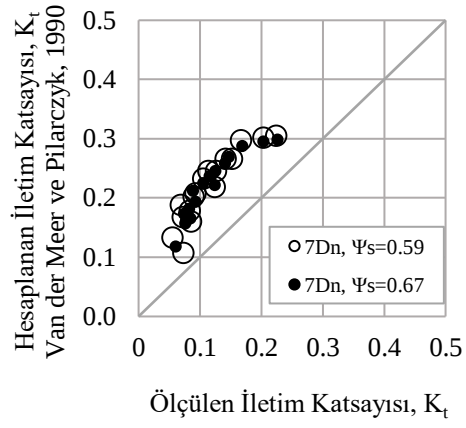
4D_n, 7D_n ve 10D_n olmak üzere üç ayrı kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ ile $\Psi_s=0.67$ olmak üzere iki ayrı sıklıkta düzenli dizilim ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar neticesinde iletim katsayıları hesaplanmıştır.

Bölüm 3.3'te dalga iletimine dair yapılan literatür araştırması verilmiş olup, önemli denklemler bu çalışmada yapılan ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

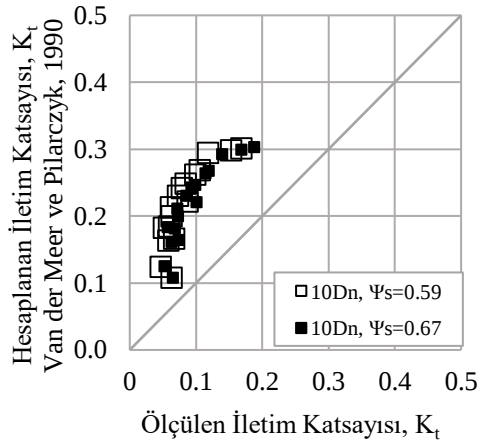
Şekil 6.29'da Van der Meer ve Pilarczyk (1990)'a ait denklem ile hesaplanan iletim katsayısı ve deneyler ile ölçülen iletim katsayıları karşılaştırılmıştır. Şekil 6.29.a, Şekil 6.29.b ve Şekil 6.29.c'de sırasıyla 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişlikleri için ölçülen ve hesaplanan iletim katsayılarının değişimi görülmektedir. Şekil 6.29.d'de tüm kret genişlikleri ve sıklıkları birlikte gösterilmektedir. 4D_n kret genişliği verileriyle en uyumlu olan kret genişliği olup, kret genişliği arttıkça ifade iletim tahmininde zayıflamaktadır.



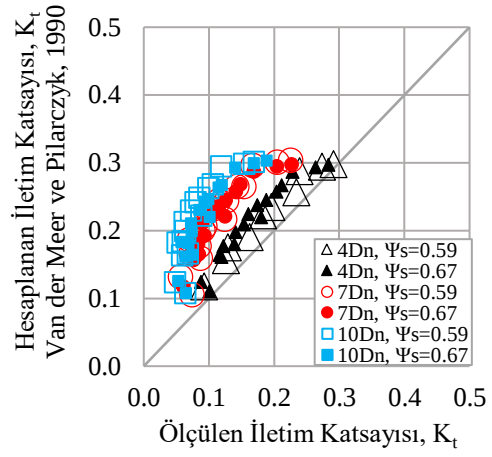
a)



b)



c)



d)

Şekil 6.29 İletim katsayısının Van Der Meer ve ve Pilarczyk (1990) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

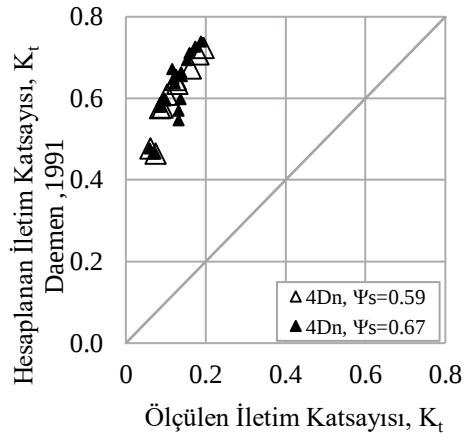
Şekil 6.30'da Daemen (1991) çalışmasına ait denklemler kullanılarak iletim katsayıları hesaplanmış ve ölçülen iletim katsayıları ile grafiklerde gösterilmiştir. Daemen (1991)'in sonuçları ölçülen iletim katsayılarına göre çok yüksek tahmin göstermektedir. Şekil 6.30.a'da $4D_n$ kret genişliği, Şekil 6.30.b'de $7D_n$ kret genişliği ve Şekil 6.30.c'de $10D_n$ kret genişliği için karşılaştırmalar verilmiştir. Şekil 6.30.d'de tüm kret genişlikleri birlikte gösterilmektedir. Bu ifade verilerle uyum sağlamamıştır.

Van der Meer ve Daemen (1994)'in iletim katsayısı ifadesi bu çalışma verileri ile karşılaştırılıp Şekil 6.31'de gösterilmiştir. Bu ifade Daemen (1991) çalışmasına göre daha iyi sonuçlar vermiştir. $4D_n$ kret genişliği için Şekil 6.31.a'da ölçülen iletim katsayısının hesaplanan iletim katsayılarına yakın tahminler verdiği görülmektedir. Ancak diğer kret genişlikleri için iyi bir uyum gözlenmemiştir.

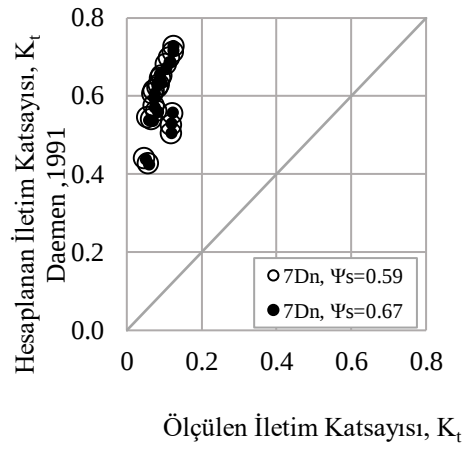
D'Angremond vd. (1996) ifadesinin ölçüm verileriyle karşılaştırılmaları sırasıyla $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için Şekil 6.32 a, b ve c'de iletilen ve hesaplanan iletim katsayıları karşılaştırılmıştır. Bu ifade verilerle en iyi uyumu sağlayan ifade olsa da büyük iletim katsayılarını büyük hesaplamaktadır. Şekil 6.32.d'ye bakıldığında, $4D_n$ ve $7D_n$ kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ sıklık ile yapılan model deneyinde elde edilen sonuçlar $\Psi_s=0.67$ olan sıkı dizilime göre daha iyi sonuçlar verirken, $10D_n$ için ise tam tersi durum söz konusu olup, sıkı dizilim ile elde edilen sonuçlar daha iyi uyum sağlamıştır.

Şekil 6.33 a,b,c' de Goda ve Ahrens (2008)'in vermiş olduğu ifade için iletim katsayıları her bir genişlik için ayrı ayrı, Şekil 6.33 d'de ise tüm genişliklerin birlikte değerlendirilmesi görülmektedir. Şekillerden bu ifade verilerle hiçbir uyumu göstermemiştir.

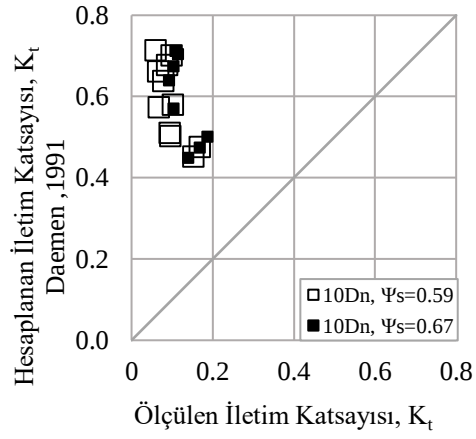
Tomasichhio ve D'Alessandro (2011) çalışmalarını Goda ve Ahrens (2008)'in çalışmasını revize ederek geçirimli düşük kretli dalgakıranlar için çalışmışlardır. Şekil 6.34.a, Şekil 6.34.b ve Şekil 6.34.c' ve Şekil 6.34.d' de görüldüğü üzere bu tarihe dek olan çalışmalara göre en belirgin farklılığı Tomasichhio ve D'Alessandro (2011) çalışmasına ait denklemler kullanılarak hesaplanan iletim katsayıları ölçülen iletim katsayılarından daha düşük hesap sonuçları vermiştir.



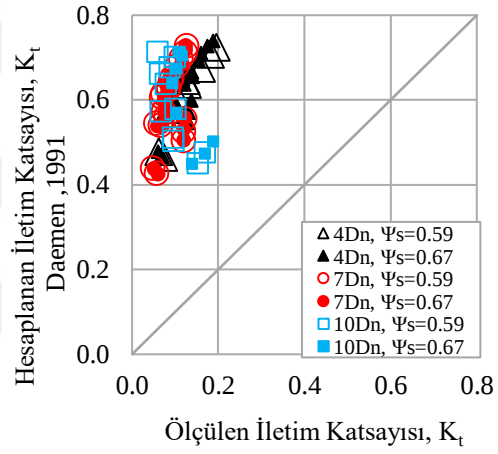
a)



b)

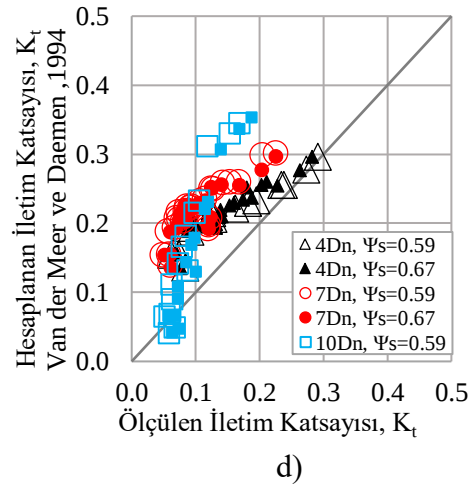
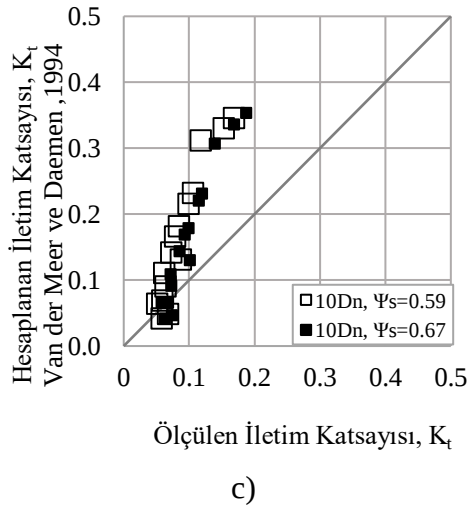
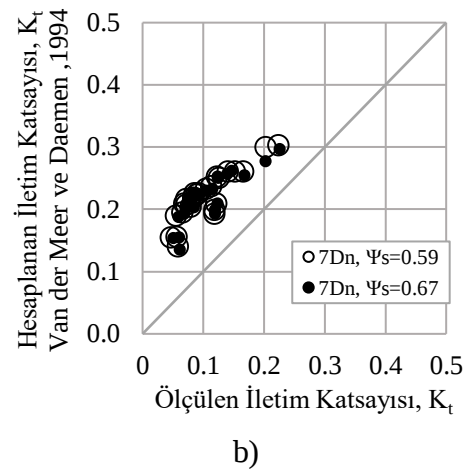
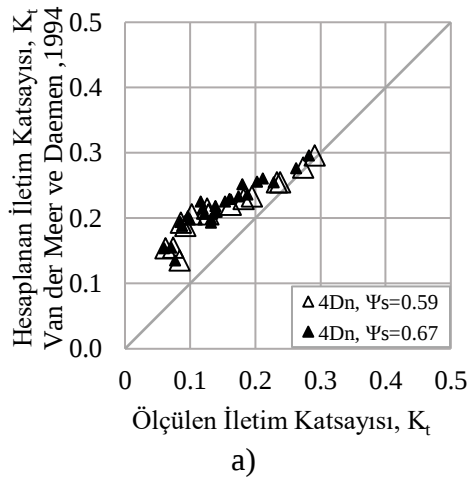


c)

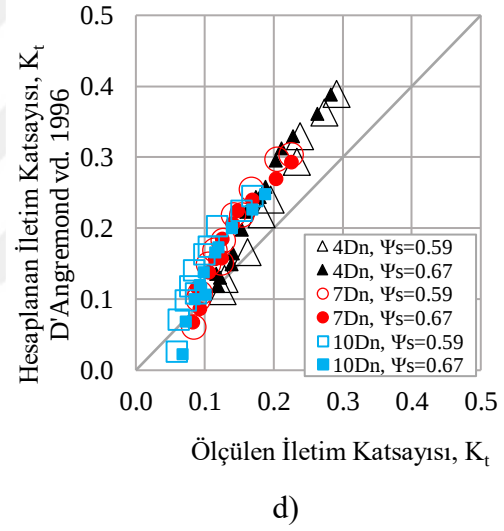
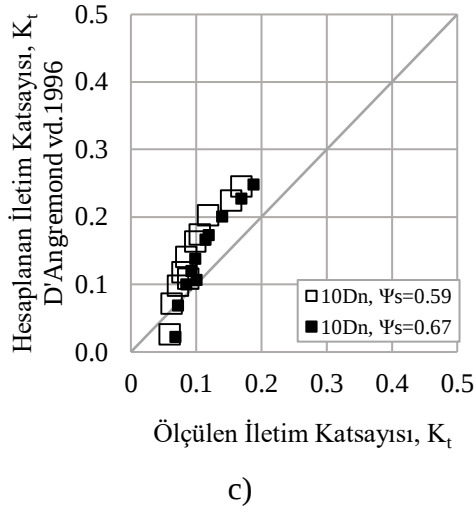
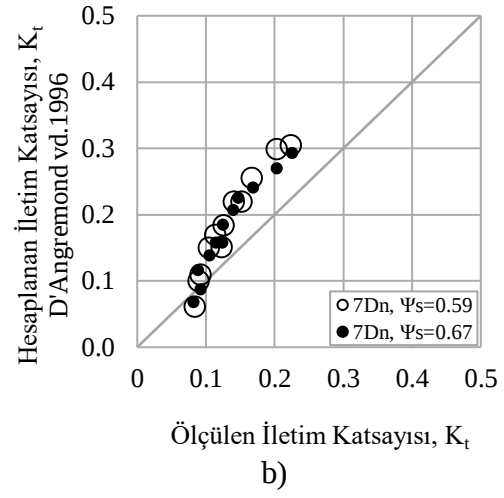
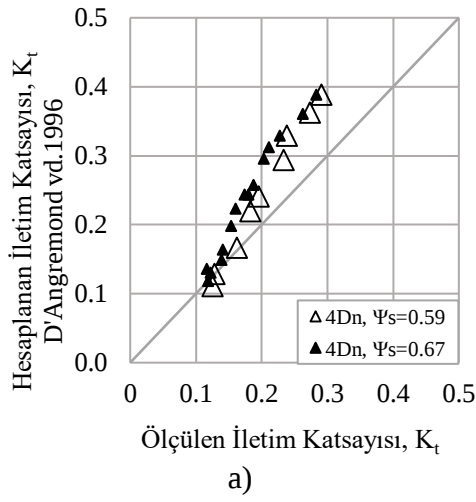


d)

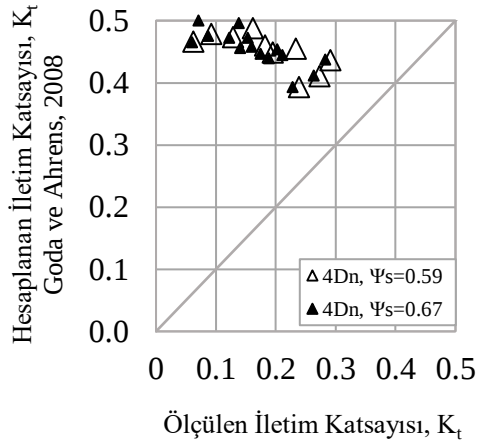
Şekil 6.30 İletim katsayısının Daemen (1991) ile karşılaştırılması. a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri



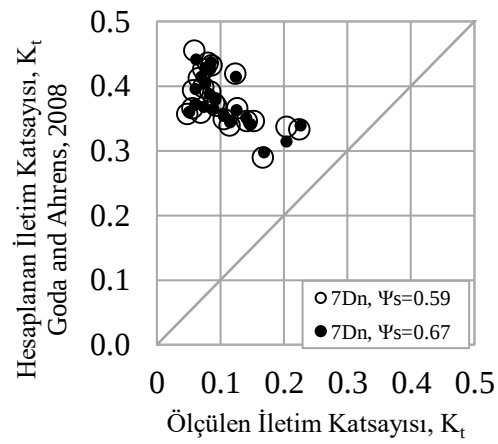
Şekil 6.31 İletim katsayısının Van der Meer ve Daemen (1994) ile karşılaştırılması. a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri



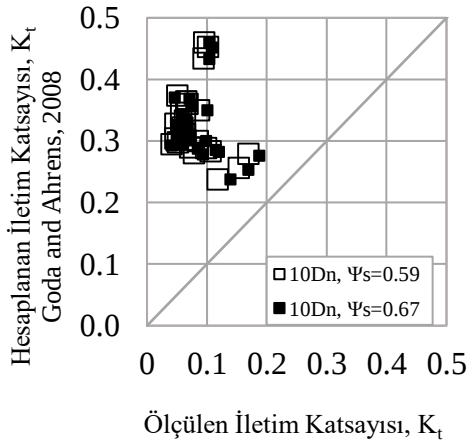
Şekil 6.32 İletim katsayısının D'Angremond vd. (1996) ile karşılaştırılması. a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikler



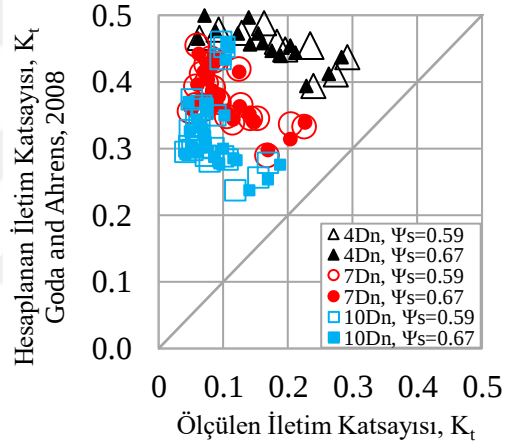
a)



b)

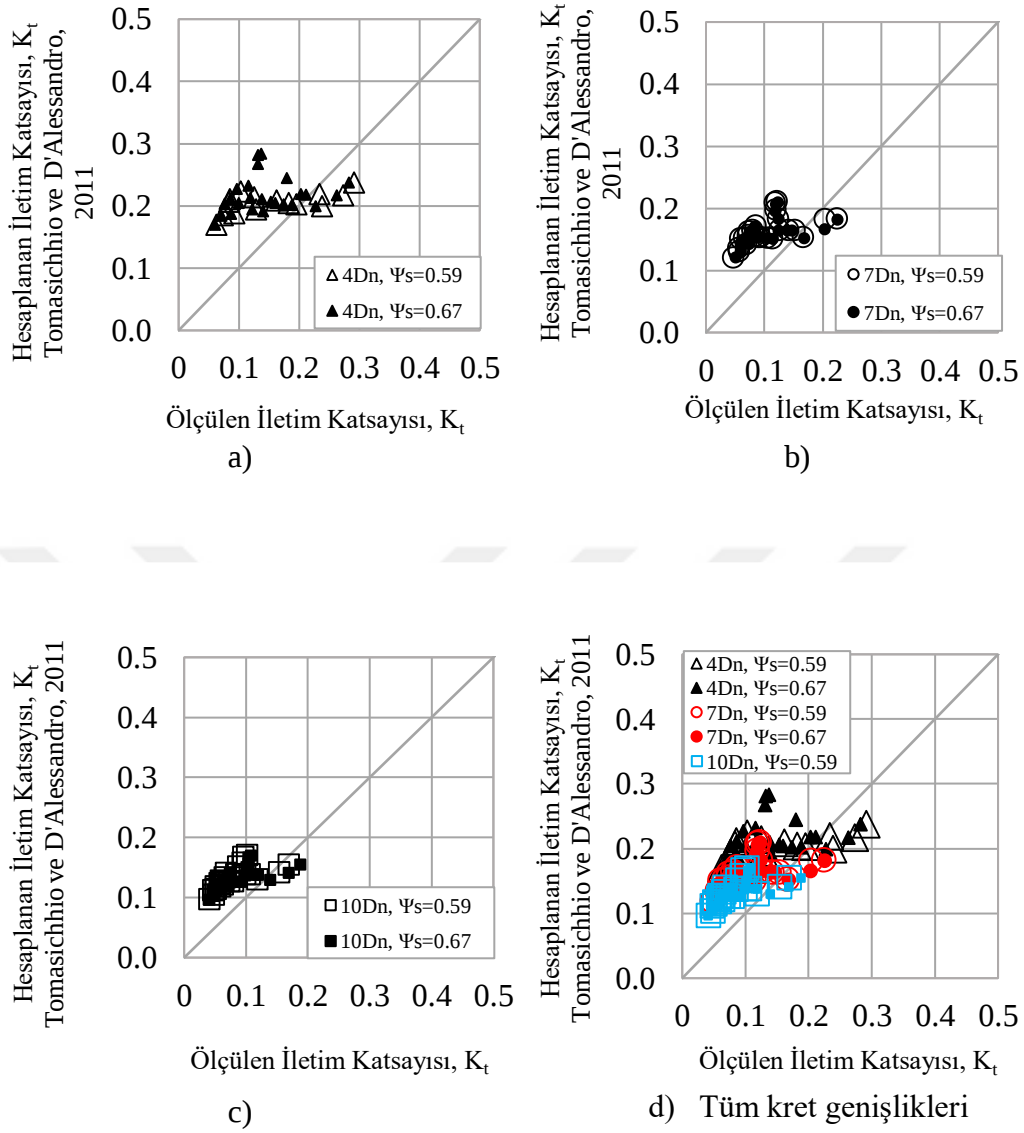


c)



d)

Şekil 6.33 İletim katsayısının K_t ile Goda ve Ahrens (2008) denklemi ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

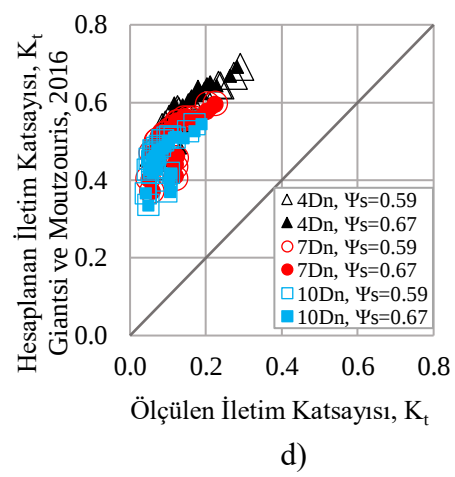
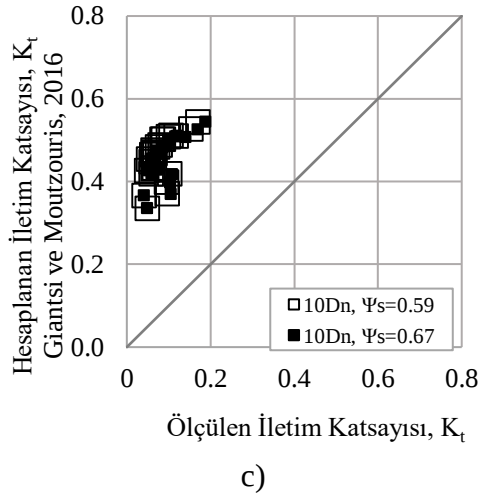
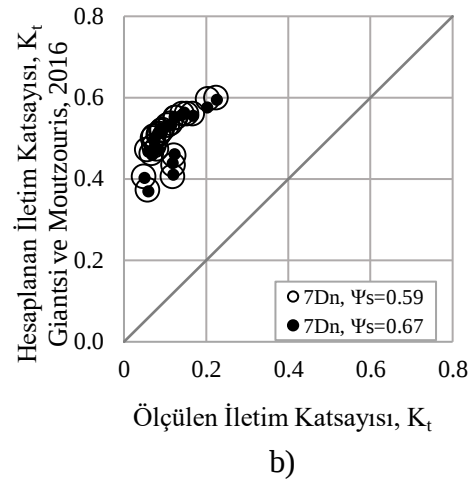
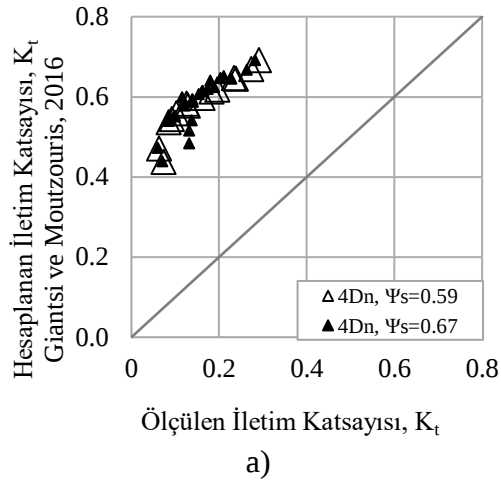


Şekil 6.34 İletim katsayısının K_t ile Tomasichchio ve D'Alessandro (2011) denklemi ile karşılaştırılması. a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

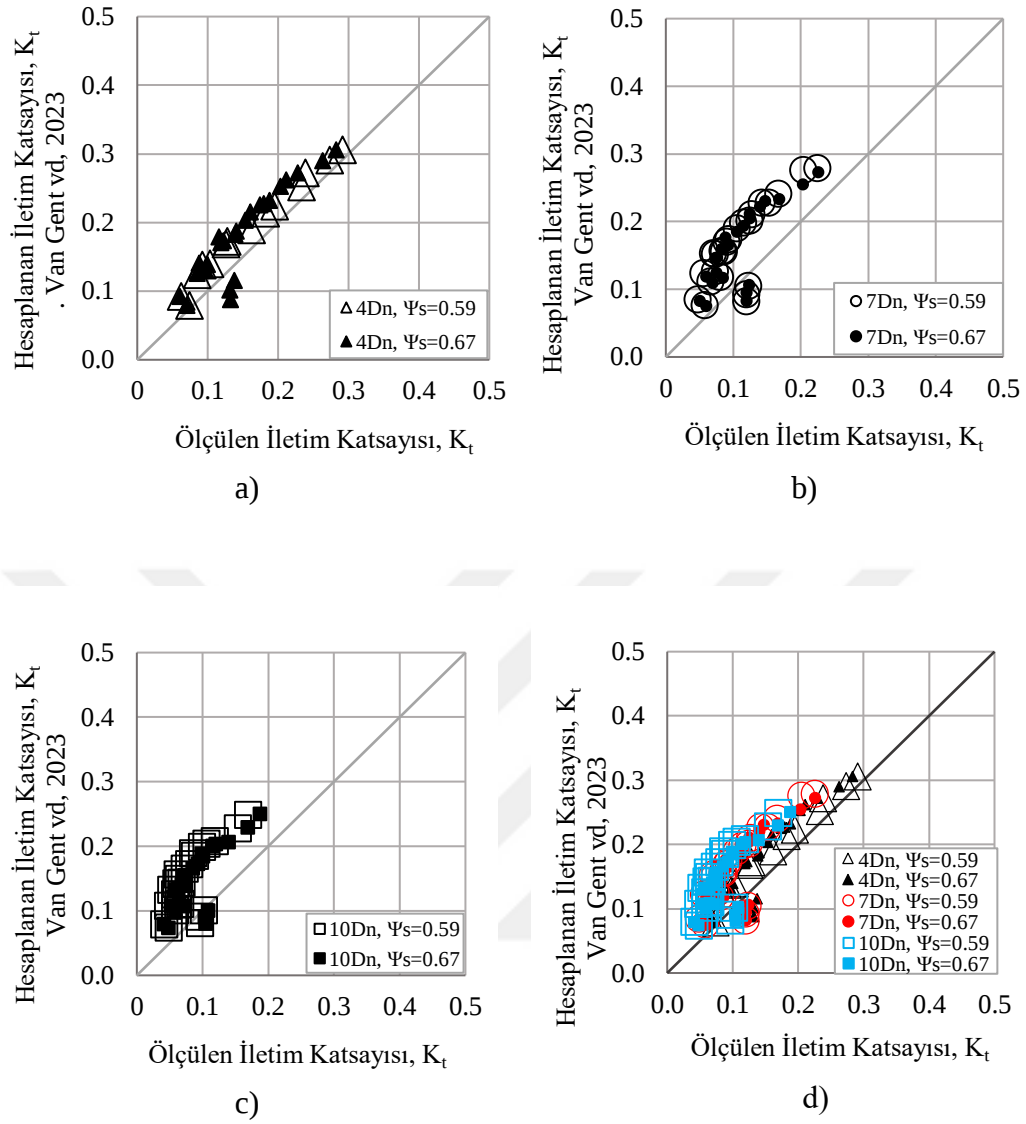
Giantsi ve Moutzouris (2016)'in verdikleri ifade ile hesaplanan iletim katsayıları ve ölçülen iletim katsayılarının karşılaştırılması Şekil 6.35.a'da $4D_n$, Şekil 6.35.b'de $7D_n$ ve Şekil 6.35.c'de $10D_n$ kret genişlikleri için gösterilmektedir. Daemen (1991) çalışmasında benzer olarak iletim katsayısının hesap aralığı 0-0.8 arasında değişmektedir. $4D_n$ kret genişliğinde hesaplanan iletim değerleri $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerine göre daha büyüktür. Tüm kret genişliklerinde bu araştırmaya ait denklemler ile çok büyük tahminlerde bulunulmuştur.

Van Gent vd. (2023) literatürde en güncel çalışma konumundadır. Şekil 6.36.a'da $4D_n$ kret genişliğinde hesaplanan iletim katsayısı ölçülen iletim katsayısına çok yakın değerler elde edilmiştir. Şekil 6.36.b'de $7D_n$ kret genişliği için iletim katsayıları hesaplanmış ve $4D_n$ kret genişliğine göre ölçülen iletim katsayısı değerlerinden daha yüksek iletim katsayısı elde edilmiştir. $10D_n$ kret genişliği için ise Şekil 6.36.c'de grafik verilmiştir. $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinin sonuçları çok benzerdir. Şekil 6.36.d'den kret genişliği arttıkça daha büyük iletim katsayıları hesaplandığı görülmektedir.

Tüm araştırmacıların ifadelerinin ve ölçümler ile karşılaştırılmasında kret genişliği arttıkça ölçüm ile hesaplanan iletim katsayıları arasındaki uyum gittikçe azalmaktadır. Ayrıca tüm kret genişlikleri ve her iki sıklıkta ölçülen düşük iletim katsayılarında hesaplanan iletim katsayıları daha yakın sonuçlar vermiş olup, iletim katsayısı arttıkça daha büyük hesaplanmıştır.



Şekil 6.35 İletim katsayısının K_t ile Giantsi ve Moutzouris (2016) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

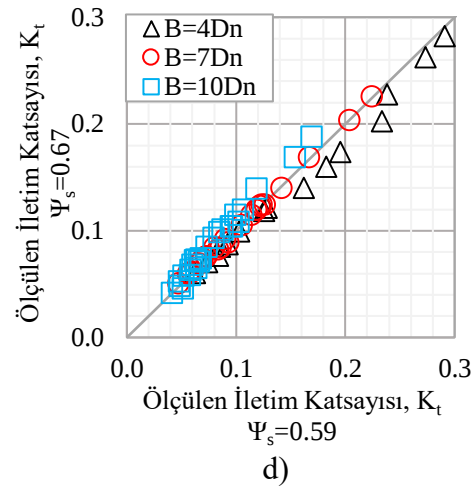
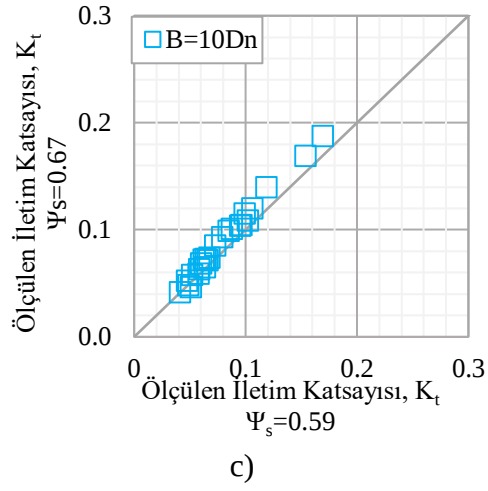
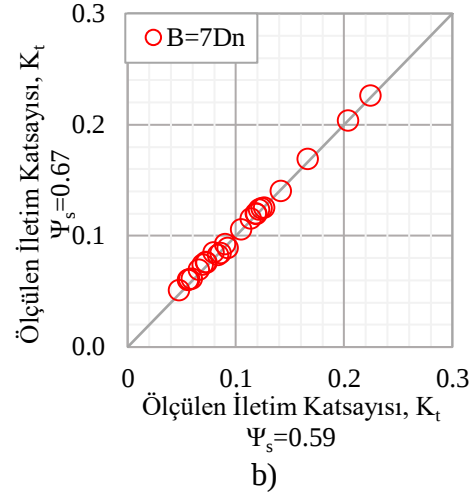
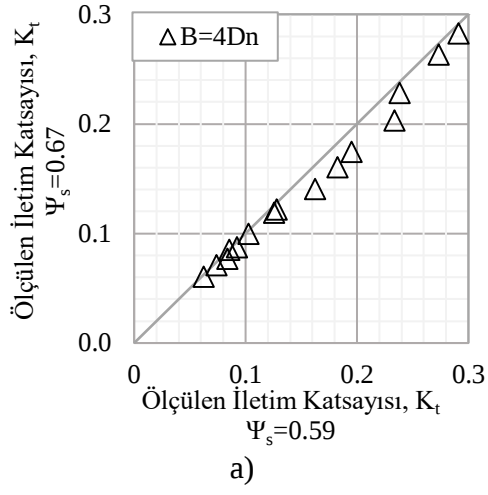


Şekil 6.36 İletim katsayısının K_t ile Van Gent vd (2023) ile karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

6.2.6 K p blokların düzenli yerleşiminde sıklığın iletim üzerine etkisi

Üç farklı kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ ile $\Psi_s=0.67$ olmak üzere iki ayrı sıklıkta k p blokların tek sıra düzenli dizilmesiyle kurulan modellerde yapılan deneyler ile elde edilen veriler kullanılarak iletim katsayıları     lm şt r. Her deney setine ait iletim katsayılarının karşılaştırılması ve kret genişliği ile yerleşim sıklığının etkisinin araştırılması adına Şekil 6.19’da grafikler oluşturulmuştur.

Şekil 6.37.a’da $4D_n$ kret genişliği için yerleşim sıklığının     len iletim katsayısı üzerindeki etkisi görülmektedir. Şekilde iletimin; $B=4D_n$ kret genişliğine sahip modelde 0.59 olan daha düşük yerleştirme sıklığında 0.67 yerleştirme sıklığına göre daha büyük     ld ğ  gözlenmiştir. Bunun nedeninin, daha düşük yerleştirme sıklığında yapının içinden olan iletimin katkısı olduğu düşünülmektedir. Şekil 6.37.b’de $B=7D_n$ kret genişliğine sahip modelde koruma tabakasındaki k p blokların yerleşim sıklığının iletim performansı üzerine hiçbir etkisi gözlenmemiştir, tüm veriler iki ayrı sıklıkta da hemen hemen üst üste gelmiştir. Şekil 6.37.c’de görüldüğü gibi $B=10D_n$ kret genişliğine sahip modelde k p blokların yerleşim sıklığının iletim üzerine etkisi ise 0.67 olan daha sıkı yerleştirme olan modelde 0.59’a göre daha büyük     ld ğ  gözlenmektedir. Bunun nedeni kret genişliğinin çok geniş olması nedeniyle yapı içerisinden iletimin olmaması ve daha sıkı yerleştirme ile elde edilen daha düzgün yüzeyde pürüzsüz yüzeyin dalga aşması ile iletimi arttırdığı şeklinde yorumlanmaktadır. Ayrıca bu etkiler büyük iletim katsayılarında daha belirgin olarak gözlenmektedir. Şekil 6.37.d’de ise tüm kret genişlikleri için veriler birlikte görülmektedir. Buradan aynı k p beton elemanın farklı sıklıklarda yerleştirilmesinin ve kret genişliğinin iletim üzerine etkisi olduğu daha belirgin bir şekilde gözlenmektedir.

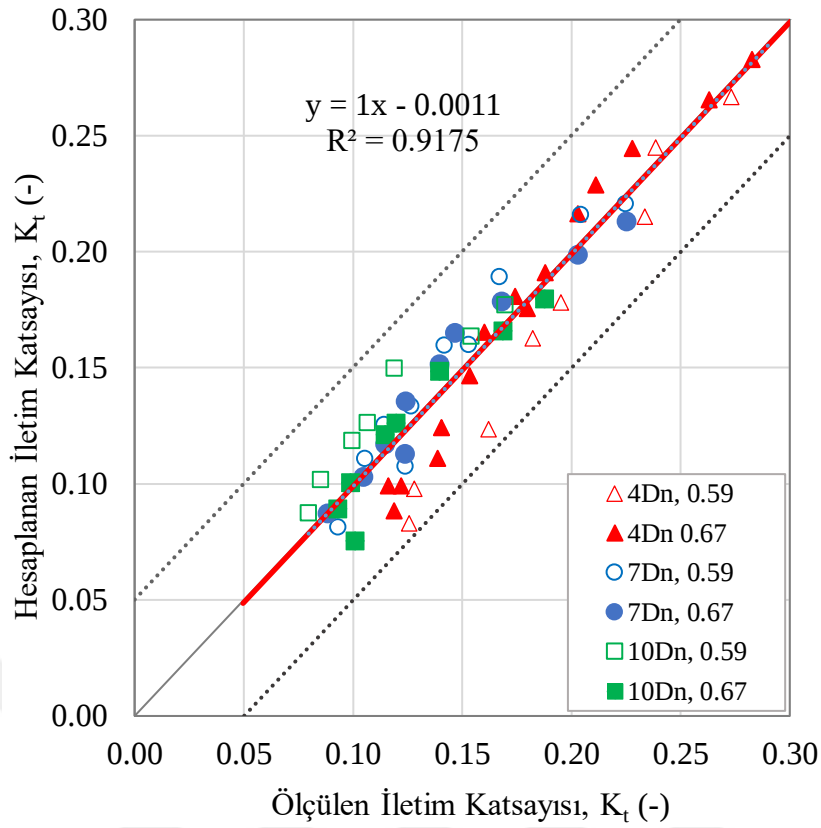


Şekil 6.37 Ölçülen iletim katsayısı değerlerinin $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkları için karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

6.2.7 İletim İfadesinin Türetilmesi

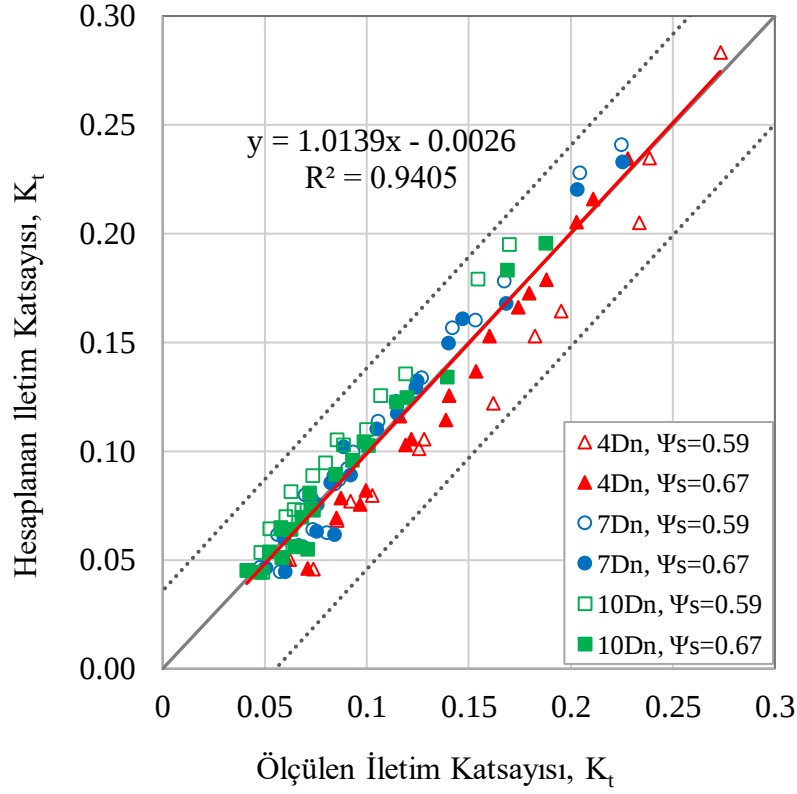
Yukardaki değerlendirmeler ışığında Şekil 6.32’de ve 6.36’da görüldüğü gibi ölçüm verileriyle en iyi uyum sağlayan iki denklem D’Angremond (1996) ve Van Gent (2023) ifadeleri olmuştur. Bu nedenle bu iki araştırmacının vermiş olduğu ifadeler modifiye edilerek üç farklı kret genişliğine sahip düşük kretli ve koruma tabakasına küp blokların iki farklı sıklıkta düzenli dizilimiyle oluşturulmuş dalgakıran modellerinden ölçülen iletim katsayıları tekrar değerlendirilmiştir. D’Angremond (1996)’un vermiş olduğu ifade modifiye edilerek Denklem (6.1) elde edilmiş ve Şekil 6.38’de ölçüm verileriyle uyumu gösterilmiştir. Şekilde farklı deney koşulları farklı sembollerle, eğilim çizgisi kırmızı ve %90 güven limitleri kırmızı kesikli çizgilerle gösterilmiştir. Görüldüğü gibi tahmin edilen veriler ölçümlerle oldukça iyi bir uyum sağlamıştır. Tahmin verilerine ait istatistik parametrelerden, ortalama karesel hata RMSE=0.03 değerinde ve determinasyon katsayısı $R^2=0.917$ ile 0.85’den büyük olması nedeniyle çok iyi bir uyum sağlandığı söylenebilmektedir.

$$K_{t1} = -0.279 \frac{R_c}{H_{m0}} + \left(0.4403 \times \left(\frac{B}{H_{m0}} \right)^{-0.32} \times (1 - e^{(-0.576\xi_p)}) \right) \quad (6.40)$$



Şekil 6.38 Ölçülen ve hesaplanan iletim katsayıları ilişkisi

Benzer şekilde ikinci en iyi ifade Şekil 6.39’da, Van Gent (2023)’in iletim katsayısının hesaplanması için batık dalgakıranlar için vermiş olduğu ifade aynı sınır şartları dikkate alınarak modifiye edilmiş ve Denklem (6.2)’de %90 güven limitleri ile birlikte gösterilmiştir. Bu denklemden elde edilen istatistiksel parametrelerden, korelasyon katsayısı $R^2=0.9405$ ve ortalama karesel hata $RMSE=0.023$ olarak hesaplanmıştır. D’Angremond ifadesinden hareketle elde edilmiş Denklem (6.1) ile karşılaştırıldığında hem ortalama karesel hatanın daha düşük olması hem de korelasyon katsayısının daha büyük olması bu çalışma verileriyle çok daha uyumlu bir ifade ile güvenilir tahminler elde edileceği öngörülmektedir. Van Gent (2023)’ün vermiş olduğu ifadelerden verilerin kret genişliğine göre kümelendiği şekilde gözlenmektedir.



Şekil 6.39 Ölçülen ve hesaplanan iletim katsayıları ilişkisi

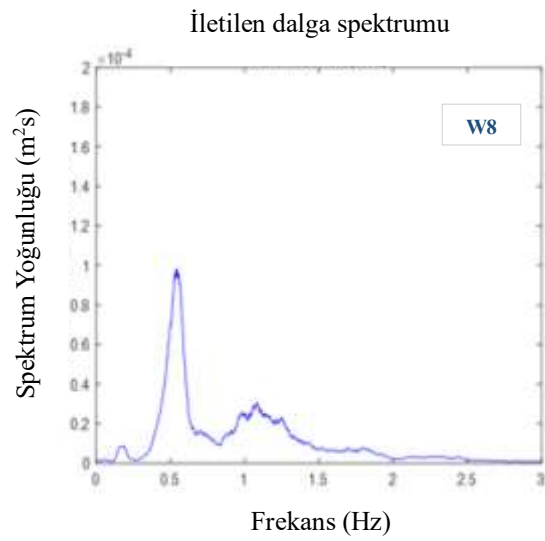
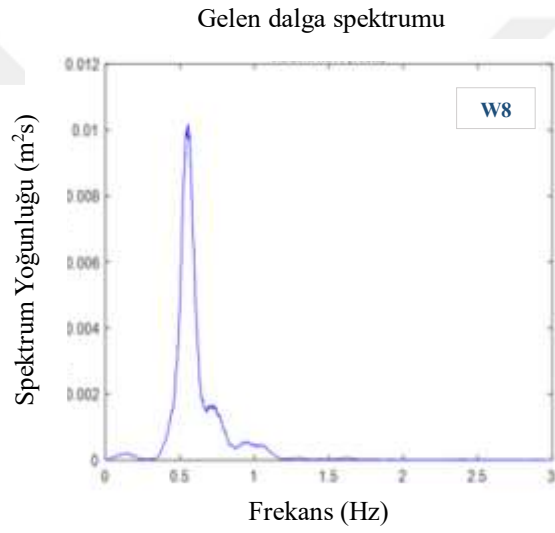
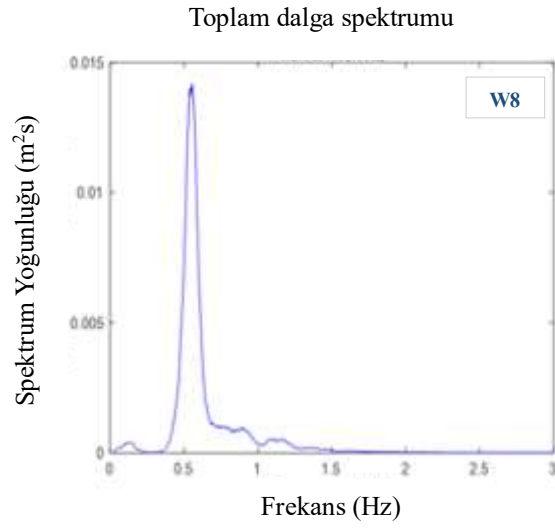
$$K_{t2} = 0.47 \times \tanh \left(-1.198 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} + 4.678 \left(\frac{B}{L_{m-1,0}} \right)^{0.578} - 0.54 \right) \right) + 0.514 \quad (6.2)$$

Dalga iletim katsayısı sadece dalga yükseklikleri bilgisini içermektedir. Ancak dalga spektrumu hem dalga yüksekliği hem dalga periyodu ve hem de enerjinin dağılımı hakkında bilgi vermektedir. Çalışılan tüm dalga şartları için iletilen dalga spektrumları üç farklı kret genişliği ve iki farklı sıklık için çizilmiştir. Şekil 6.40'ta örnek bir dalga kaydına ait topukta ölçülen dalganın spektrumu, gelen dalga ve iletilen dalganın spektrumu sırayla gösterilmektedir. Toplam dalgaya ait spektrumda maksimum spektrum yoğunluğu 0.015, gelen dalganın maksimum spektrum yoğunluğu 0.01 ve iletilen dalga maksimum spektrum yoğunluğunun ise 1×10^{-4} olduğu görülmektedir. İletilen dalganın spektrumunun gelen dalga spektrumundan oldukça küçük olduğundan birlikte değerlendirilebilmeleri için boyutsuzlaştırılmış spektrumlar değerlendirilmiştir.

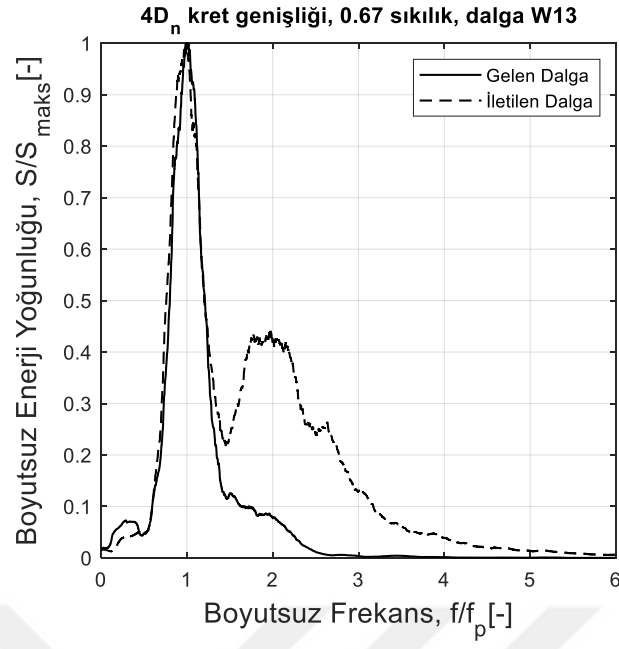
Şekil 6.41 $4D_n$ kret genişliğine sahip ve küp blokların 0.67 sıklıkta yerleştirildiği modelde W13 dalgasının boyutsuz gelen ve iletilen dalga spektrumlarının birlikte gösterildiği bir örnek sunulmuştur. Gelen dalganın aşması dalgakıranın arka tarafında daha yüksek frekanslarda daha düşük enerjili dalgaların oluşmasına neden olmaktadır. Model deneylerinde çalışılan ve dalga iletiminin gerçekleştiği tüm dalgaların gelen ve iletilen dalgalarının spektrumlarına Ek C' de yer verilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi iletilen dalga spektrumu çift tepelidir. Gelen dalganın pik periyodu ile iletilen dalganın pik periyotları hemen hemen üst üste çakışmaktadır. Bu şekillerde yaklaşık $1.5 \times f_p$ 'ye kadar gelen ve iletilen dalga spektrumları benzerdir. Ancak iletilen dalgada ikinci bir pik daha görülmektedir. Bu ikinci pik yaklaşık birinci pik frekansın iki katı frekansta oluşmaktadır. Bu form batık dalgakıranların iletim spektrumlarından biraz daha farklıdır batık dalgakırandan iletim durumunda spektrumun $1.5 \times f_p$ ile $3.5 \times f_p$ arasındaki frekans aralığında enerji üniform dağılım gösterirken (Van der Meer, 2005) düşük kretli dalgakıran durumunda ikinci bir pikin olduğu bir dağılım gözlenmektedir.

Ayrıca Şekil 6.42'de aynı kret genişliği ve aynı yerleşim sıklığı için artan dalga yüksekliği ile iletilen spektrumunun şekli gösterilmektedir. Yine dalga yüksekliğinin artması ile iletim arttığından dalga spektrumunun ikinci piki diğerine oranla artmakta ancak şekli değişmemektedir.

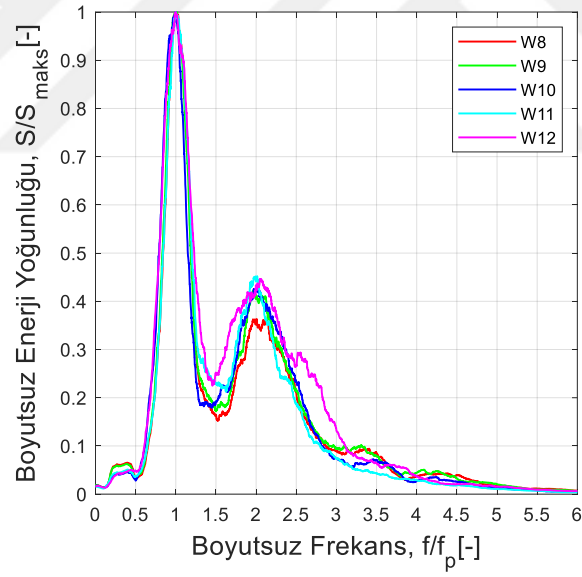
Düşük kretli dalgakıranlarda iletilen dalganın spektrum şekli üzerinde yapı kret genişliğinin etkisinin araştırılması için Şekil 6.43' de iki farklı dalga dikkate alınarak (W9 ve W10) gösterilmiştir. Şekilde aynı dalganın üç farklı kret genişliğine sahip modelde iletiminin dalga spektrumu üzerindeki etkisi birlikte görülmektedir. Yapı kret genişliğinin artması ile beklendiği gibi iletilen dalganın enerjisi azalmakta ve benzer bir şekil göstermelerine rağmen, ikinci pik daha üniform şekil almaktadır.



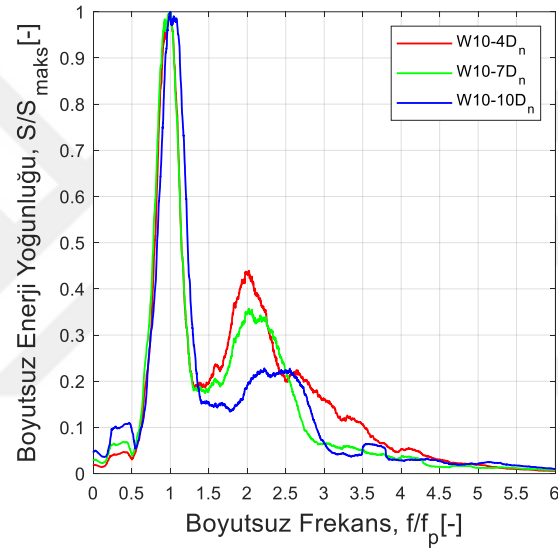
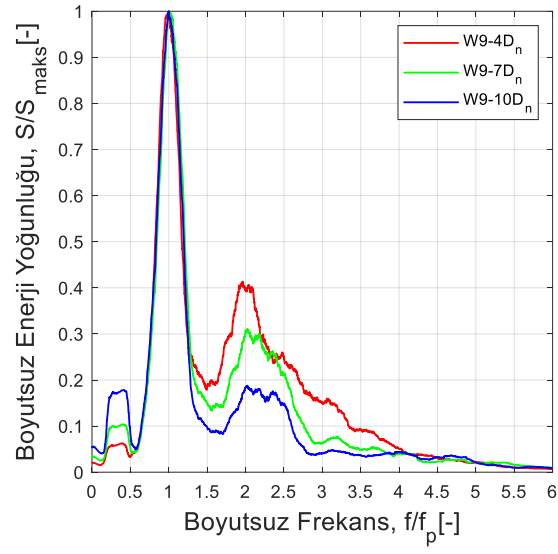
Şekil 6.40 Modelde topukta ölçülen, gelen ve iletilen dalgalara ait spektrum



Şekil 6.41 4D_n kret genişliği için gelen ve iletilen dalga spektrumları



Şekil 6.42 4D_n kret genişliğinde farklı dalgaların iletim spektrumları



Şekil 6.43 W9 ve W10 dalgalarının üç kret genişliği için iletim spektrumları

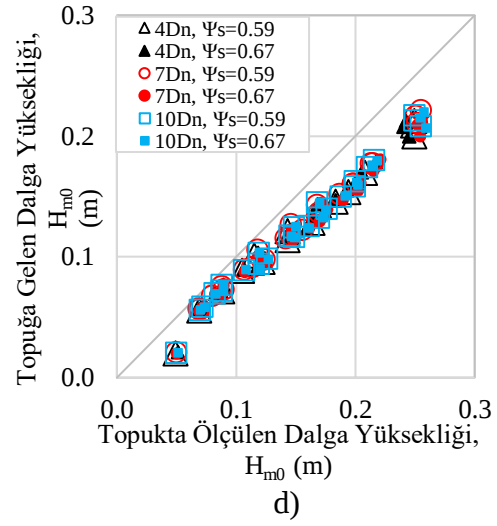
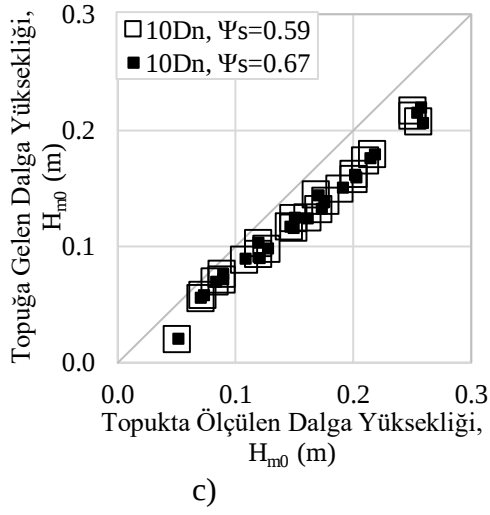
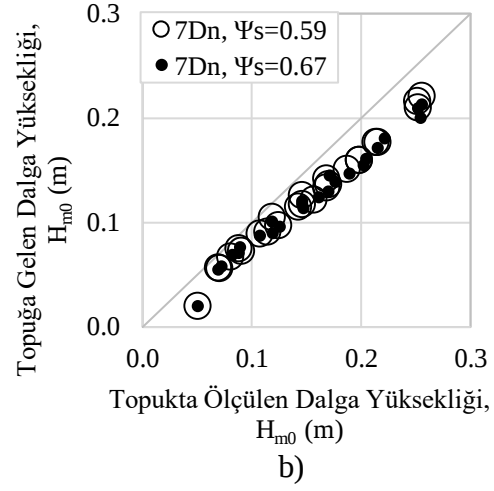
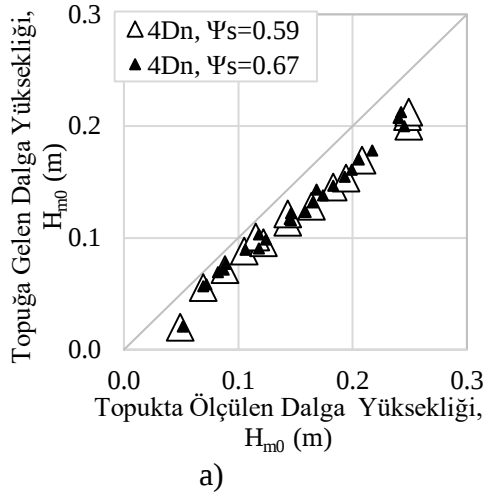
6.3 Düşük Kretli Tek Sıra K p Blokl  Dalgakıran Yansıma

Sonuçlarının Değerlendirilmesi

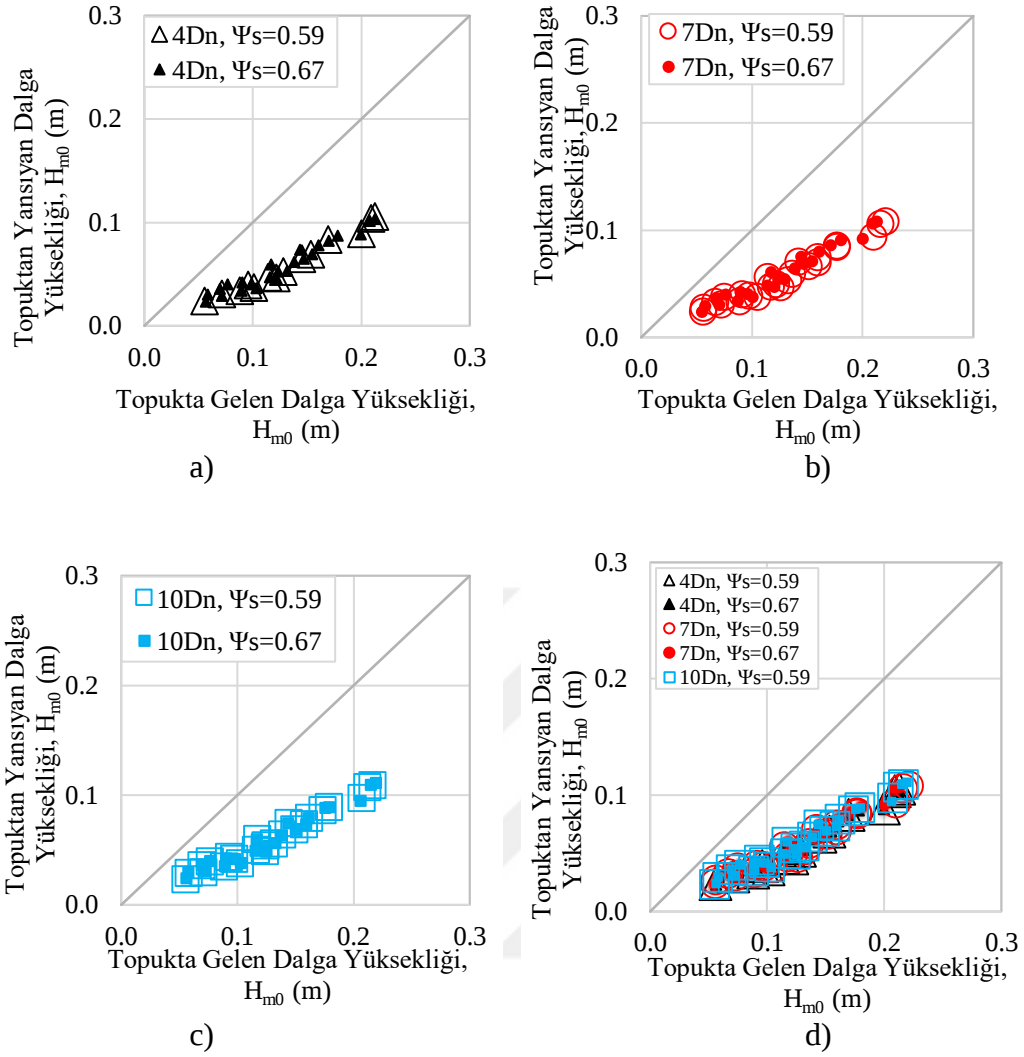
Şekil 6.44 a, b, c' de sırasıyla $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde ve Şekil 6.44d'de ise tüm kret genişliklerinde topukta ölçülen ve yansıma analiziyle ayrıştırılmış topuğa gelen dalga yüksekliklerinin değışimi, Şekil 6.45 a, b, c' de sırasıyla $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde ve Şekil 6.45 d'de ise tüm kret genişliklerinde topukta gelen ve yansıma analiziyle ayrıştırılmış yansıyan dalga yüksekliklerinin değışimi görülmektedir.

Tüm kret genişlikleri ve sıklıklar dikkate alındığında, dizilim sıklığının topuktan yansıyan dalga yüksekliğı üzerinde etkisi gözlenmemiştir.





Şekil 6.44 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için topukta ölçülen ve topuğa gelen dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması. a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

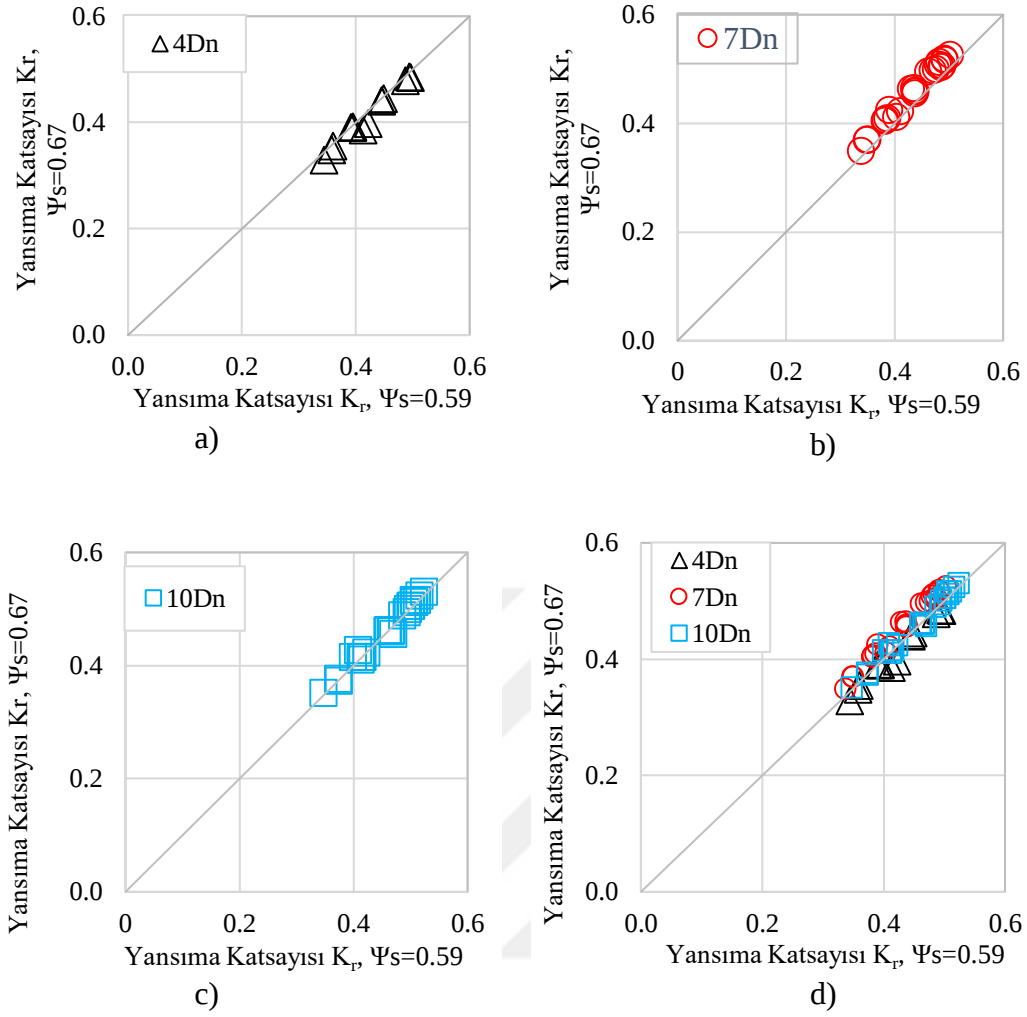


Şekil 6.45 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için topukta gelen dalga yüksekliği ile topuktan yansıyan dalga yüksekliğinin karşılaştırılması.

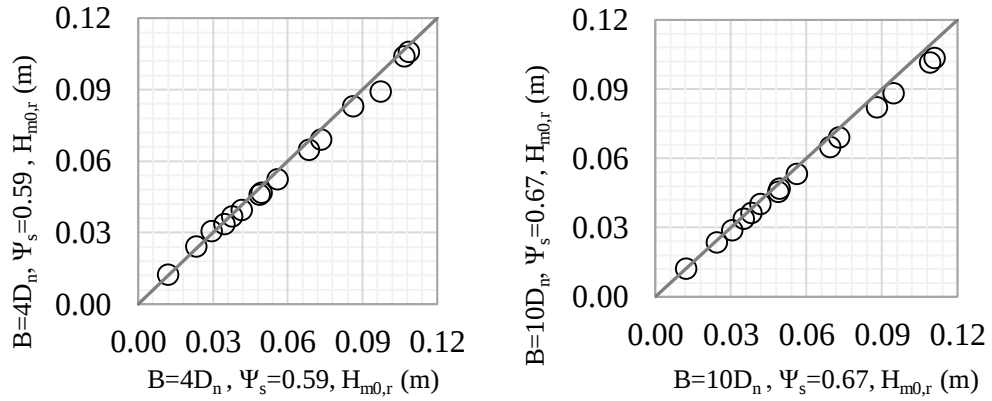
a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

Şekil 6.46.a' da $4D_n$ kret genişliği için, Şekil 6.46.b' de $7D_n$ kret genişliği için, Şekil 6.46.c'de $10D_n$ kret genişliği için yansımaya katsayısının ($\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$) sıklıkla değişimi gösterilmiştir. $4D_n$ kret genişliğinde her iki sıklıkta K_r , yansımaya katsayısı birbirlerine yakın değerdedir. Yansımaya katsayısı $0.3 < K_r < 0.5$ arasında değişmektedir. $7D_n$ kret genişliği için $\Psi_s=0.67$ sıklıktaki yansımaya katsayısının $\Psi_s=0.59$ sıklığa göre daha büyük olduğu görülmektedir. Yansımaya katsayısı $0.32 < K_r < 0.53$ arasında değişmektedir. $10D_n$ kret genişliğinin için ise her iki sıklıkta da yansımaya katsayısı değerleri birbirine yakındır. Yansımaya katsayısı $0.34 < K_r < 0.54$ arasında değişmektedir. Şekil 6.46d'de tüm kret genişliklerinde yansımaya katsayısının $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklılıkları için değişimi verilmiştir.

Şekil 6.47'de kret genişliğinin yansımaya üzerindeki etkisinin belirlenmesi için $4D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri iki ayrı sıklık ($\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$) için ayrı ayrı karşılaştırılmıştır. Her iki sıklıkta da küçük dalga yüksekliklerinde yansıyan dalga yükseklikleri dar ve geniş krette aynı iken, büyük dalga yüksekliklerinde geniş krette yansıyan dalga yükseklikleri daha büyük ölçülmüştür. $\Psi_s=0.67$ sıklık için bu durum daha belirgindir.

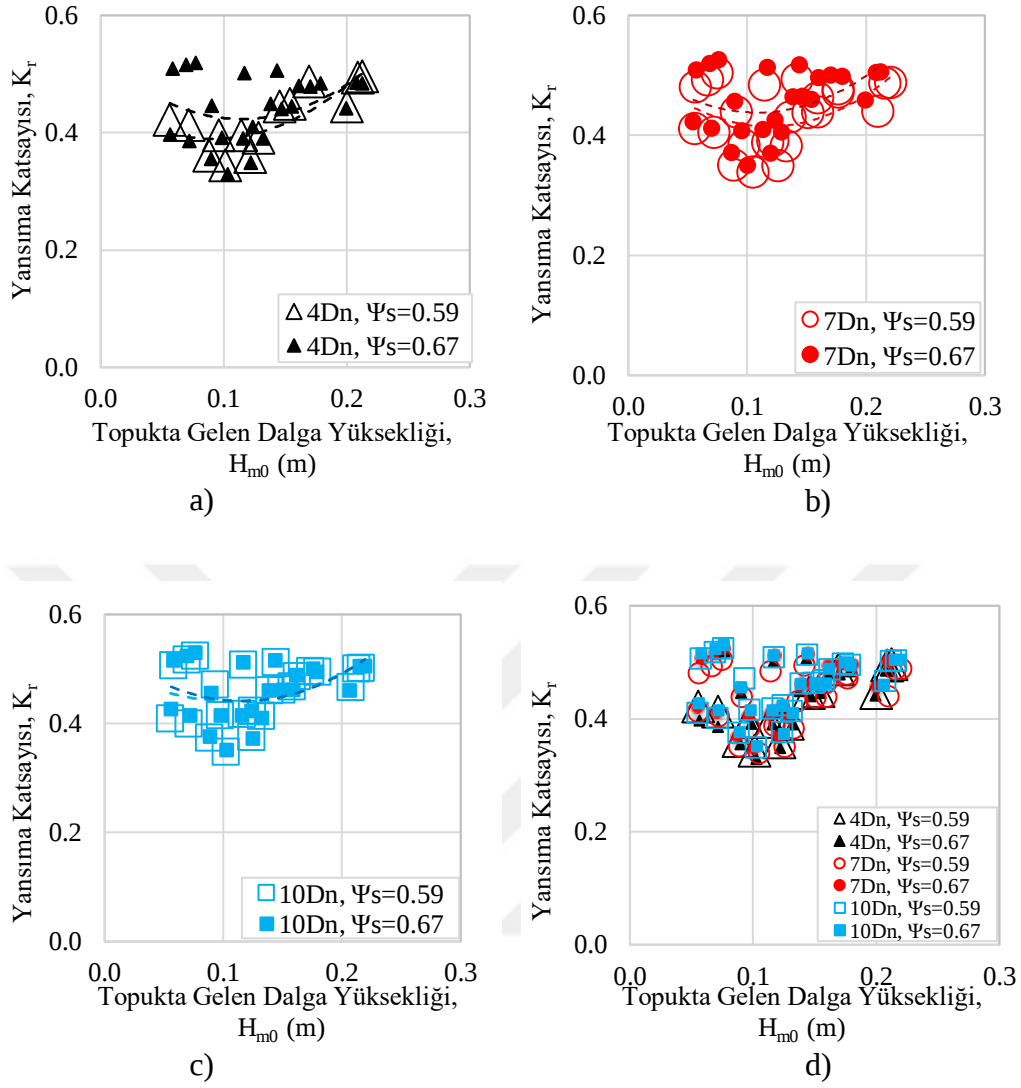


Şekil 6.46 Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için yansımaya katsayısı, K_r karşılaştırılması. a) $4D_n$ kret genişliği, b) $7D_n$ kret genişliği, c) $10D_n$ kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri



Şekil 6.47 $4D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için yansıyan dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması

Şekil 6.48 a, b ve c’de sırasıyla $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliğinin iki ayrı sıklığı için topukta gelen dalga yüksekliklerine karşılık yansımaya katsayısının değişimi gösterilmektedir. Hem gevşek dizilim hem de sıkı dizilim ile yapılan deneylerde yansımaya katsayısı değerleri benzer şekilde saçılım göstermiştir. $4D_n$ kret genişliğinde yansımaya katsayısı aralığı $0.329 < K_r < 0.519$ arasındadır. Sıklılığın fazla olduğu dizilimde yansımaya katsayısı daha büyük ölçülmüştür. $7D_n$ kret genişliğinin yansımaya katsayısı değerleri $0.35 < K_r < 0.525$ arasındadır. $4D_n$ kret genişliğine göre daha büyük yansımaya katsayıları elde edilmiştir. $4D_n$ kret genişliğine sahip modelde olduğu gibi sıkı dizilimlerde yansımaya katsayısı daha büyüktür. Ancak etkisi $4D_n$ kret genişliğine göre nispeten daha azdır. $10D_n$ kret genişliği için yansımaya katsayısı $0.348 < K_r < 0.524$ arasındadır. Değer aralığı $7D_n$ kret genişliğine yakındır. $4D_n$ ve $7D_n$ kret genişliğine benzer olarak sıkı dizilimlerde yansımaya katsayısı daha büyüktür. Ancak etkisi $4D_n$ kret genişliğine göre nispeten daha azdır. Şekil 6.48.d’de tüm kret genişliklerinin topuğa gelen dalga yükseklikleri ile yansımaya katsayısı görülmektedir. Kret genişliği arttıkça yansımaya katsayısı üzerinde sıkı dizilimin etkisi azalmaktadır. $4D_n$ kret genişliğinde sıkı dizilimde ölçülen yansımaya katsayısı $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerine göre daha büyüktür. Ayrıca kret genişliği arttıkça yansımaya katsayısı da artmaktadır.

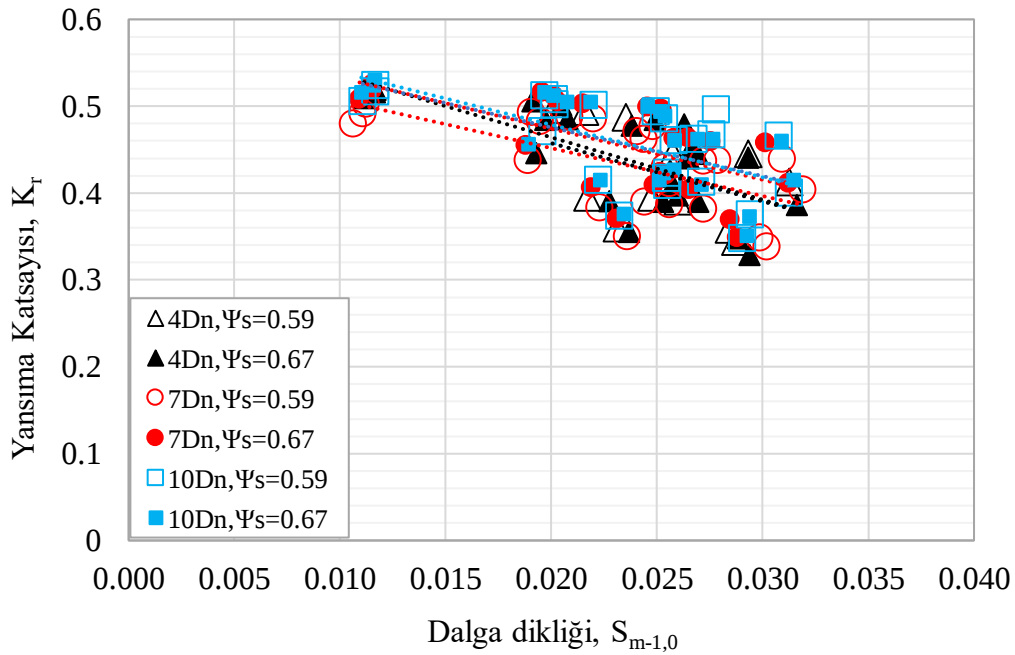


Şekil 6.48 Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklıkları için topukta gelen dalga yüksekliğinin yansıma katsayısı ile karşılaştırılması. a) 4D_n kret genişliği, b) 7D_n kret genişliği, c) 10D_n kret genişliği, d) Tüm kret genişlikleri

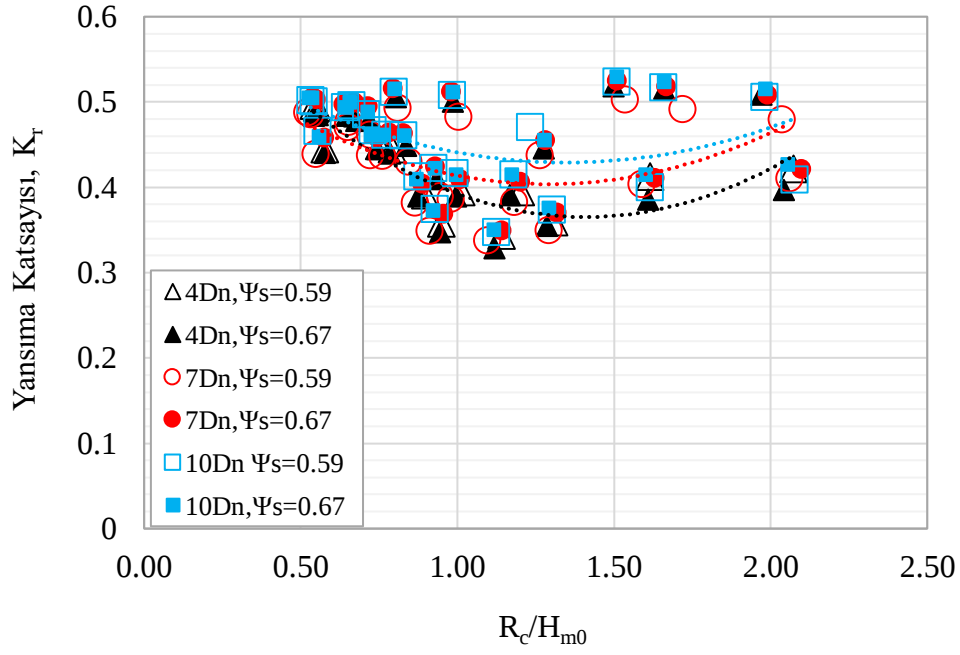
$4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ olmak üzere tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ sıklıklarında yansımaya katsayısının dalga dikliği $S_{m-1,0}$ ile değişimi Şekil 6.49’da gösterilmiştir. Dalga dikliğinin artmasıyla yansımaya katsayısının azaldığı ve bu durumun tüm kret genişlikleri ve her iki sıklıkta benzer olduğu görülmektedir.

Şekil 6.50’de yansımaya katsayısının K_r rölatif kret havapayı, R_c/H_{m0} ile değişimi gösterilmiştir. $0.5 < R_c/H_{m0} < 1.0$ arasında rölatif kret hava payı arttıkça yansımaya katsayısı azalmaktadır, çünkü sabit kret hava payında dalga yüksekliği azalmakta bu da yansımaya azaltmaktadır. Ancak $1.0 < R_c/H_{m0} < 2.5$ aralığında ise rölatif kret hava payı arttıkça yansımaya katsayısı tekrar artmaktadır. Bu aralık dalga serilerindeki en küçük dalga yüksekliklerine karşılık gelmektedir, bu küçük dalga yükseklikleri küp beton eleman boyutuna yakın olduğundan büyük yansımaya katsayılarına neden olmaktadır.

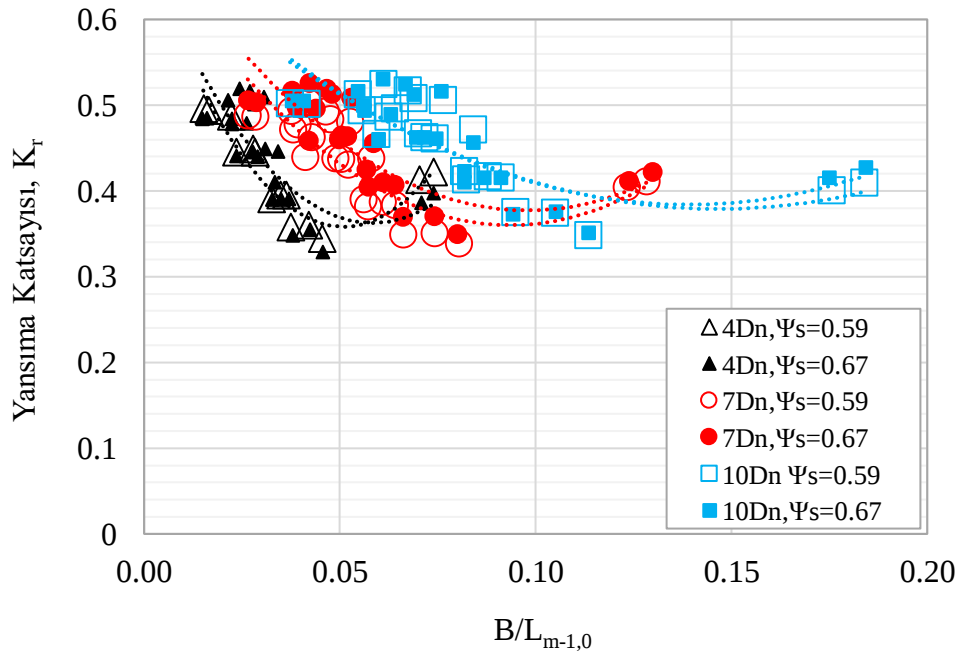
Şekil 6.51’de rölatif kret genişliği, $B/L_{m-1,0}$ ile yansımaya katsayısı K_r ilişkisi görülmektedir. Tüm deneylerde $B/L_{m-1,0}$ arttıkça, yansımaya katsayısı azalmaktadır. Buradan uzun dalgaların daha büyük yansımaya neden oldukları görülmektedir.



Şekil 6.49 Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için dalga dikliği, $S_{m-1,0}$ ile yansımaya katsayısı, K_r ile karşılaştırılması



Şekil 6.50 Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için rölatif kret hava payı, R_c/H_{m0} ile yansımaya katsayısı, K_r ile karşılaştırılması

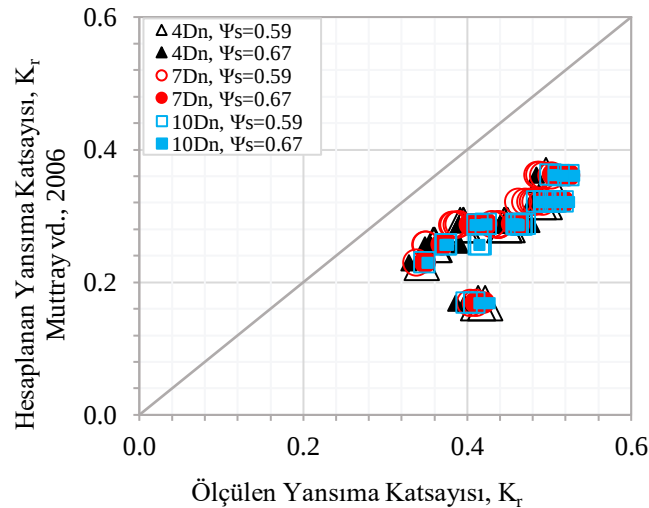


Şekil 6.51 Tüm kret genişliklerinde $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ için rölatif kret genişliği, R_c/H_{m0} ile yansımaya katsayısı, K_r ile karşılaştırılması

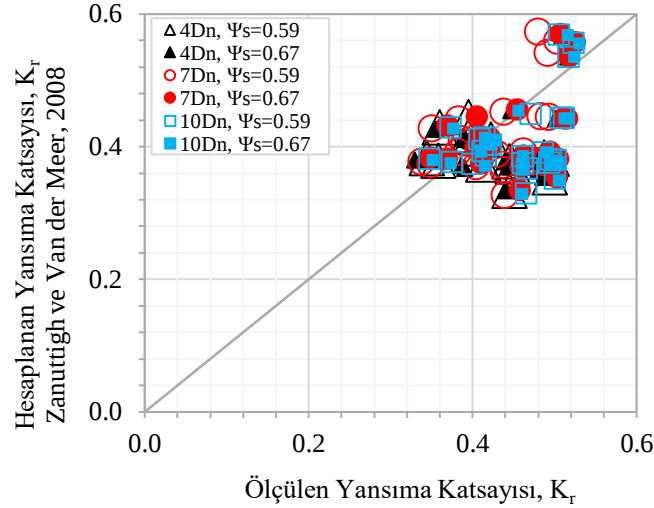
Bölüm 3.4'te dalga yansımalarına dair yapılan literatür araştırması verilmiş olup, önemli ve günümüze yakın zamanda geliştirilen denklemler bu çalışmada elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 6.52'de koruma tabakasında Accropode beton koruma elemanları kullanılarak oluşturulan taş dolgu dalgakıranlar üzerine Muttray vd., (2006) tarafından elde edilen denklem ve Şekil 6.53' de ise geçirimli, geçirimsiz pürüzsüz yüzeyler ile oluşturulmuş taş dolgu dalgakıranlar üzerine Zanuttigh ve Van der Meer (2008) tarafından elde edilen denklem ile hesaplanan yansımaya katsayıları bu çalışmada elde edilen ölçümlerle karşılaştırılmıştır.

Şekil 6.52' de ölçülen yansımaya katsayısı değerleri tüm deney şartlarında Muttray vd., (2006) ne göre hesaplanan yansımaya katsayısı değerlerinden daha büyük olup, Muttray vd., (2006) denkleminin küçük tahmin değerleri vermiştir.

Şekil 6.53' de ölçülen ve Zanuttigh ve Van der Meer (2008)'e göre hesaplanan yansımaya katsayısı değişimi görülmektedir. Zanuttigh ve Van der Meer (2008) denklemini Muttray vd. (2006) sonuçları ile karşılaştırıldığında, Zanuttigh ve Van der Meer (2008) denkleminin daha iyi tahmin sonuçları verdiği görülmekle birlikte iyi lineer ilişki vermemiştir.



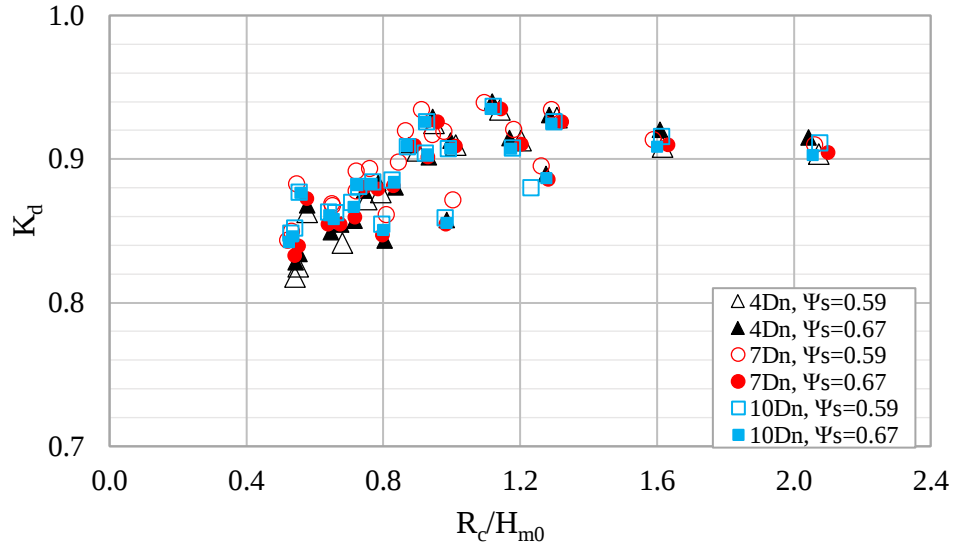
Şekil 6.52 Yansımaya katsayısının mevcut Muttray vd., 2006 ile karşılaştırılması



Şekil 6.53 Yansımaya katsayısının mevcut Zanuttigh ve Van der Meer, 2008 ile karşılaştırılması

Enerjinin korunumuna göre yapıya ulaşan dalga enerjisinin bir kısmı iletilmekte, bir kısmı yansıtılmakta ve diğer kısmı ise yapı üzerinde harcanmaktadır. Bu yapı üzerinde harcanan enerji miktarı enerji kayıp katsayısı (K_d) ile ifade edilmekte olup (Denklem 6.3) bir çok parametreye bağlıdır. Bu çalışmadaki modellerin birbirlerinden en önemli iki farkı kret genişliği ve yerleştirme sıklığıdır. Şekil 6.54'te görüldüğü üzere rölatif kret hava payına karşı enerji kayıp katsayısı (K_d) çizildiğinde kret hava payının artmasıyla enerji kaybının arttığı genel eğilimi tüm modellerde gözlenmektedir. Yerleştirme sıklığı ve kret genişliğinin de dikkate alındığı grafikte altı farklı model karşılaştırıldığında enerji kaybında modeller arasında çok belirgin bir gruplanma ile farklılık izlenmemektedir. Ancak $7D_n$ kret genişliğinde $\Psi_s=0.59$ sıklıkta enerji kaybının diğerlerine göre az da olsa daha fazla olduğu izlenmiştir. Enerji kayıp katsayısı modellerde topukta ölçülen iletim katsayıları ve yansımaya katsayıları Ek D'de Tablo D.1 ve Tablo D.2'de verilmiş olup bunlar arasındaki bağıntıdan oluşan denklem (6.3)'te verildiği gibi hesaplanmaktadır.

$$K_d = \sqrt{(1 - (K_r^2 + K_t^2))} \quad (6.3)$$



Şekil 6.54 Rölatif kret hava payının, R_c/H_{m0} enerji kayıp katsayısı, K_d ile karşılaştırılması

Bu tez kapsamında, her iki sevi 1:1.5 eğimli tek bir sabit kret hava payına sahip düşük kretli taş dolgu dalgakıran gövde kesitlerinin stabilite ve iletim performansı fiziksel model deneyleriyle araştırılmıştır. $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ olmak üzere üç farklı kret genişliğine sahip modellerde koruma tabakasında küp beton blokların tek sıra düzenli yerleştirme tekniği ile $\Psi_s=0.59$ ve $\Psi_s=0.67$ olmak üzere iki farklı sıklıkta yerleştirilmesiyle toplamda altı farklı dalgakıran modeli üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirilmiştir.

Bu modellerin stabilitelerinin araştırılması için her bir modelde 15 farklı JONSWAP tipinde düzensiz dalga koşulunda deneyler yapılmıştır. Stabilite analizlerinde yapının ön şev, kret ve arka şevinin stabilite davranışı önce ayrı ayrı daha sonra yapının düşük kretli olması nedeniyle bütün olarak stabilitesi analiz edilmiştir. Stabilite analizinde koruma tabakası elemanlarının önce hareketliliği, daha sonra hasar başlangıcı ve nihai tam hasar durumları incelenmiştir.

- Tüm model deneylerinde küp blokların hareketliliği en fazla krette, en az ise arka şevde gerçekleşmiştir.
- Literatürde küp blokların %70-80 sıklıkta tek sıra düzenli dizilimiyle oluşturulan geleneksel dalgakıranlarda hasar başlangıcı ve tam hasar için stabilite sayısı 3 ve 3.75 olarak verildiği halde bu çalışmada dikkate alınan düşük kretli ve sıklığın büyük olduğu ($\Psi_s=0.67$) modellerde yapı son derece stabil davranmıştır. Büyük sıklıkta her üç kret genişliği için de bu çalışmada ulaşılan en büyük stabilite sayısı olan 3.9'a kadar ön ve arka şevde herhangi bir hasar izlenmemiştir. Sadece $4D_n$ kret genişliğinde krette stabilite sayısının 3.7 değerinde hasar başlangıcı görülmüştür. Böylece benzer sıklıktaki geleneksel dalgakıranlardan daha stabil davranmıştır.
- Sıkı yerleştirmede ön şevde ve toplam kesitte stabilite sayısına karşılık rölatif hasarın elde edildiği ölçüm sonuçları, literatürde geleneksel dalgakıranlarda iki sıra düzensiz yerleştirilmiş küp bloklu dalgakıranları için Van der Meer (1988c) sonuçları ve tek sıra düzenli yerleştirilmiş küp bloklar için Van Gent (1999) sonuçlarına göre daha stabil davrandığı sonucuna ulaşılmıştır.

- $\Psi_s=0.59$ olan düşük sıklıkta yapılan deneylerde ise arka şevde yine hiçbir kret genişliğinde hasar gözlemlenmemiştir. En fazla hasar önce krette ve sonra ön şevde oluşmuştur.
- Tüm rölatif kret genişlikleri dikkate alındığında, kret genişliği arttıkça ön şevdeki küp bloklar daha geç hasar almaya başlamıştır. Krette ise bu durum tam tersi olup krete ait küp bloklar, kret genişliği arttıkça daha erken hasar almaya başlamış olduğu görülmektedir.
- Düşük kretli ve küp blokların tek sıra düzenli yerleşim için hasar değerlendirmesinde hasar başlangıcı $N_0=0$, tam hasar ise $N_0=0.2$ olarak kabul edilmektedir. Sıklığın $\Psi_s=0.59$ olduğu $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için ön şevde hasar başlangıcı için stabilite sayıları sırasıyla 2.3, 2.9 ve 3.7 olarak elde edilmiştir, tam hasar ise 3.0, 3.2 olup $10D_n$ kret genişliğinde ön şev tam hasara uğramamıştır. Krette hasar başlangıcı için stabilite sayıları $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişlikleri için sırasıyla 3.6, 2.9 ve 2.8'dir. Tam hasar ise sırasıyla 3.7, 3.8 ve 3.8 değerindedir. Ayrıca modelin kret ve ön şev koruma tabakası birlikte değerlendirilerek toplam hasar da analiz edilmiştir. Toplam kesitte hasar başlangıcı için stabilite sayıları $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde sırasıyla 2.2, 2.8 ve 2.8 olup tam hasar için 3.0, 3.1 ve 3.8 olarak elde edilmiştir. Böylece kret genişliğinin artması ile toplam yapının stabilitesinin arttığı gözlenmiştir.
- Tek sıra küp bloklar ile yapılan dalgakıranlarda yapının hasar almaya başlaması ile birlikte ani olarak tam hasara uğrayabilme ihtimalinden dolayı "hasarın kabul edilemez" olduğundan güvenlik faktörü kullanılması kaçınılmazdır.
- Hidrolik modelin kurulumunda küp blokların tek sıra düzenli yerleşiminde en önemli problem, şevden krete geçişte blokların birbirine temasının sağlanmasının güçlüğü ya da temasın zayıf olması şeklinde yaşanmıştır. Düşük kretli yapılarda ön şev ve yatay tepe arasında boşlukların varlığını önlemek için krete blokların düzensiz yerleştirilmesi gerektiği sonucu önemlidir. Bu sebeple ön şevin düzenli dizilimi ile kretin düzensiz diziliminin tercih edilmesi önerilmektedir.

İletim performansının araştırılması için ise her bir modelde 25 farklı JONSWAP tipinde düzensiz dalga koşulunda deneyler gerçekleştirilmiştir.

- Tüm kret genişliklerinde dalga yüksekliğinin artmasıyla iletim katsayısı artmış ve bu artış kret genişliğinin artmasıyla düşmüştür.

- $4D_n$, $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerinde, iletim katsayısı ile rölatif kret hava payının değişimi incelenmiş olup, rölatif kret hava payı arttıkça iletim katsayısının azaldığı görülmüştür.
- İletim katsayısının B/H_{m0} ile değişimi tüm kret genişliklerinde incelendiğinde, kret genişliğinin artmasıyla iletim katsayısının azaldığı sonucuna varılmıştır.
- Tüm deneylerde, rölatif kret genişliğinin, B/L_p , artmasıyla iletim katsayısı azalma göstermiştir.
- Surf parametresi ile iletim katsayısının değişimi incelenmiş olup, $3 < \xi_0 < 4$ aralığında surf parametresi artmış, $4 < \xi_0 < 5$ aralığında iletim azalmıştır. $6 < \xi_0 < 7$ aralığında ise surf parametresinin artışı ile iletim katsayısının sabit kaldığı görülmüştür.
- Yapılan iletim analizlerine göre, $4D_n$ kret genişliğinde sıklığın etkisi gözlenmiş olup, $\Psi_s=0.59$ gevşek dizilimde daha fazla iletimin olduğu görülmüştür. $7D_n$ kret genişliğinde sıklığın iletim üzerine etkisi gözlenmezken, $10D_n$ kret genişliğinde ise $\Psi_s=0.67$ sıkı dizilim ile yapılan deneylerde iletimin daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.
- Bu çalışmada ölçülen iletim katsayıları ile literatürdeki farklı araştırmacılar tarafından farklı şartlarda elde edilen mevcut denklemler karşılaştırılmıştır. İletim katsayısını hesaplayan formüllerden verilerle en iyi uyum sağlayan iki ifade D'Angremond (1996) ve Van Gent (2023)'ın vermiş oldukları denklemlerdir. Her iki ifade modifiye edilerek bu çalışma verileriyle en iyi uyum sağlayan iki ifade sunulmuştur. D'Angremond (1996)'dan elde edilen ifadenin determinasyon katsayısı $R=0.957$ ($R^2=0.917$) ve $RMSE=0.03$ olarak elde edilmiştir. Van Gent (2023) ifadesinin modifiye edilmesinden elde edilen denklemin de ölçüm sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Bu denklem için korelasyon katsayısı $R=0.97$ ($R^2=0.9504$) ve $RMSE=0.023$ olarak elde edilmiştir. Van Gent (2023) ifadesi ölçüm verileriyle çok daha fazla uyum sağlamıştır. Burada veriler kret genişliklerine göre kümelenmişlerdir. Bu nedenle biraz daha irdelenmesi ile çok daha uyumlu bir denklem elde edilmesi öngörülmektedir.
- İletim dalgalarının enerji spektrumları elde edilmiştir. Yapıya gelen dalgaın aşması nedeniyle yapının arkasında düşük enerjili yüksek frekanslı dalgalar oluşmaktadır. Gelen dalgaın pik periyodu ile iletilen dalgaın pik periyotları

hemen hemen üst üste çakışmaktadır. Bu şekillerde yaklaşık $1.5 \times f_p$ 'ye kadar gelen ve iletilen dalga spektrumları benzerdir. Ancak iletilen dalgada bu frekanstan sonra ikinci bir pik daha görülmektedir. Bu ikinci pik yaklaşık birinci pik frekansın iki katı frekansta oluşmaktadır. İletilen dalganın spektrum formu batık dalgakıranların iletim spektrumlarından biraz daha farklıdır, batık dalgakırandan iletim durumunda spektrumun $1.5 \times f_p$ ile $3.5 \times f_p$ arasındaki frekans aralığında “enerji nispeten üniform dağılım” gösterirken (Van der Meer, 2005) düşük kretli dalgakıran durumunda “ikinci bir pikin” olduğu bir dağılım gözlenmiştir.

- Aynı kret genişliği ve aynı yerleşim sıklığı için artan dalga yüksekliği ile iletilen spektrumunun şekli değerlendirildiğinde yine dalga yüksekliğinin artması ile iletim arttığından dalga spektrumunun ikinci piki diğerine oranla artmakta ancak şekli değişmemektedir.
- Düşük kretli dalgakıranlarda iletilen dalganın spektrum şekli üzerinde yapı kret genişliğinin etkisi de araştırılmış, yapı kret genişliğinin artması ile iletilen dalganın enerjisi azalmakta ve benzer bir şekil göstermelerine rağmen, batık dalgakırandaki gibi ikinci pik daha üniform şekil almaktadır.
- Kütle Enerjisinin korunumuna göre, dalganın enerjisi; toplam enerji; iletilen enerji, yansıyan enerji ve kaybolan enerjiden oluşmaktadır. Yapıya ulaşan dalgaların bir kısmı iletilmekte, bir kısmı yansımakta yansıma ve beraberinde oluşan aşma ve geri çekilme gibi dalga prosesleri oluşumu ile birlikte bir enerji kaybı yaşanmaktadır. Bu kayıp katsayısı tüm model deneylerinde irdelenmiş ve rölatif kret hava payına karşı enerji kayıp katsayısı çizildiğinde (K_d) kret hava payının artmasıyla enerji kaybının arttığı genel eğilimi tüm modellerde görülmüştür. Yapılan altı farklı model karşılaştırıldığında, enerji kaybında modeller arasında çok belirgin bir gruplanma ile farklılık izlenmemektedir.

Tüm modellerde yansıma analizleri yapılmış ve çeşitli parametreler ile yansıma katsayısı karşılaştırılmış olup sonuçlar elde edilmiştir.

- Tüm kret genişlikleri ve sıklıklar için, dizilim sıklığının topuktan yansıyan dalga yüksekliği üzerinde etkisi gözlenmemiştir.
- Kret genişliğinin yansıma üzerine etkisi incelenmiş olup, her iki sıklık için küçük dalga yüksekliklerinde yansıyan dalga yükseklikleri dar ve geniş

krette aynı iken, büyük dalga yüksekliklerinde geniş krette yansıyan dalga yükseklikleri biraz daha büyük ölçülmüştür. $\Psi_s=0.67$ sıklık için bu durum, $\Psi_s=0.59$ sıklığına göre daha belirgin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

- Yapı topuğuna gelen dalga yükseklikleri ile yansıma katsayısı tüm model deneylerinde karşılaştırılmış, kret genişliği arttıkça yansıma katsayısı üzerinde sıkı dizilimin etkisinin azaldığı sonucu ortaya çıkmıştır. $4D_n$ kret genişliğinde sıkı dizilimde ölçülen yansıma katsayısı $7D_n$ ve $10D_n$ kret genişliklerine göre daha büyük olup, kret genişliği arttıkça yansıma katsayısının arttığı görülmüştür.
- Yansıma katsayısının K_r rölatif kret havapayı, R_c/H_{m0} ile değişimi irdelenmiş ve $0.5 < R_c/H_{m0} < 1.0$ arasında R_c/H_{m0} arttıkça yansıma katsayısı azalmakta, $1.0 < R_c/H_{m0} < 2.5$ aralığında ise rölatif kret hava payı arttıkça yansıma katsayısının tekrar arttığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Rölatif kret genişliği, $B/L_{m-1,0}$ ile yansıma katsayısı arasındaki değişime göre tüm modellerde $B/L_{m-1,0}$ arttıkça, yansıma katsayısı azalmış olup, buradan uzun dalgaların daha büyük yansımaya neden oldukları sonucu çıkarılmıştır.
- Bu çalışmada ölçülen yansıma katsayıları ile literatürdeki farklı araştırmacılar tarafından farklı şartlarda elde edilen Zanuttigh ve Van der Meer (2008) ve Muttray vd. (2006) tarafından verilmiş olan mevcut denklemler karşılaştırılmıştır. Zanuttigh ve Van der Meer (2008) denkleminin daha iyi tahmin sonuçları vermiş ancak iyi bir lineer ilişki görülmemiştir.

- Allsop, N.W.H. (March 1988). Concrete Armour Units For Rubble Mound Breakwaters and Sea Walls: Recent Progress (Report SR100). Hydraulics Research Wallingford, Oxfordshire.
- Almeida, L.I.P. (2013). Experimental Evaluation of the Behaviour of Rubble Mound Breakwaters with a Single Layer of Cubic Blocks. MSc-Thesis. Faculty of Engineering of University of Porto, Oporto, Portugal (Portuguese).
- Andersen, T.L., ve Burcharth, H.F. (2009). Three-dimensional investigations of wave overtopping on rubble mound structures. *Coastal Engineering*, 56, 180–189.
- Battjes, J. (1974). Surf similarity. In: Proc. XIV International Conference of Coastal Engineering. ASCE, pp. 466–480.
- Brancasi, A., Leone, E., Francone, A., Scaravaglione, G. ve Tomasicchio, G.R. (2022). On formulae for wave transmission at submerged and low-crested breakwaters. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022 (10), 1986.
- “Breakwaters and shore protection on remote island locations”. Erişim: 2 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.xbloc.com/applications/breakwaters-and-shore-protection-on-remote-island-locations>
- British Standard. (1991). Kısım, 6349.
- Bruce, T., Van der Meer, J.W., Franco, L., Pearson, J.M. (2006). A comparison of overtopping performance of different rubble mound breakwater armour. In *Proceedings 30th International Conference on Coastal Engineering*, 5, 4567–4579. World Scientific.
- Bruce, T., Van der Meer, J.W., Franco, L., Pearson, J.M. (2009). Overtopping performance of different armour units for rubble mound breakwaters. *Coastal Engineering*, 56, 166–179.
- Buccino, M., ve Calabrese, M. (2007). Conceptual approach for prediction of wave transmission at low-crested Breakwaters, ASCE. *J. Waterway, Port, Coast. Ocean Eng.*
- Buerger, W., Oumeraci, H. ve Partenscky, H.W. (1988). Geohydraulic investigations of rubble mound breakwaters. *Proc. Int. Conf. Coastal Eng.*, Vol. 21, pp. 15; Malaga, Spain.
- Burcharth, H.F., Liu, Z., ve Troch, P. (1999). Scaling of core material in rubble mound breakwater model tests, *Proceedings of the COPEDEC V, Cape Town, South Africa*, 1518-1528.
- Calabrese, M., Vicinanza, D., ve Buccino, M. (2003). Large-Scale Experiments On The Behaviour Of Low Crested And Submerged Breakwaters In Presence Of Broken Waves. *Coastal Engineering 2002*, 1900–1912.

- “CDIP Products – Wave run-up”. Erişim: 8 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://cdip.ucsd.edu/m/documents/products.html>
- CERC. (1984). Shore Protection Manual (4th ed.). Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, USA.
- CERC. (1998). Core-loc Breakwater Armour Research. US Army Corps of Engineers, Vicksburg, USA.
- CERC. (2003). Coastal Engineering Manual. Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers, Vicksburg, USA.
- Chakrabarti, S. K. (1987). Hydrodynamics of Offshore Structures. Computational Mechanics Publications.
- Chen, W., Van Gent, M.R.A., Warmink, J.J. ve Hulscher, S.J.M.H. (2020). The influence of a berm and roughness on the wave overtopping at dikes. Coastal Engineering.
- CIRIA. (2012 ve 2009). Rock Manual, C683.
- CIRIA CUR. (2007). Rock Manual: The use of rock in hydraulic engineering (Publication C683). London.
- “Civitavecchia Photo Gallery (Port of Rome)”. Erişim: 2 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://europeforvisitors.com/rome/civitavecchia/civitavecchia-photos-9.htm>
- Coastal Engineering Manual. (2006). Chapter 5.
- Coastal Engineering Research Center. (2002). Coastal Engineering
- “Coastal Wiki – Stability of rubble mound breakwaters and shore revetments”. Erişim: 15 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: https://www.coastalwiki.org/wiki/Stability_of_rubble_mound_breakwaters_and_shore_revetments
- “Coastal Wiki - Wave transmission”. Erişim: 15 Aralık 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.coastalwiki.org/wiki/File:WaveTransmission.jpg>
- “Concrete Layer Inovations – Core-loc”. Erişim: 2 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.concretelayer.com/en/solutions/technologies/core-loc>
- D’Angremond, K., Van der Meer, J.W. ve De Jong, R. (1996). Wave Transmission at Low-Crested Structures. ASCE. Proc. ICCE 1996, Orlando.
- Daemen, I. (1991). Wave Transmission at Low-Crested Structures. M.Sc. Thesis. TU Delft, Delft.
- D’Angremond, K., Van der Meer, J. W. ve De Jong, R. J. (1997). Wave transmission at low-crested structures. In Coastal engineering (1996), B. L. Edge (Ed.), ASCE, New York, 2418–2426.
- Davidson, M., Bird, P., Bullock, G., ve Huntley, D. (1996). A new non-dimensional number for the analysis of wave reflection from rubble mound breakwaters. Coastal Engineering Proceedings 28, 93–120.

- De Jong, R.J. (1996). Wave transmission at low-crested structures. Stability of tetrapods at front, crest and rear of a low-crested breakwater. MSc-thesis, Delft University of Technology.
- De Keyser, K., ve Jacobs, E. (2020). A literature review on low-crested and submerged structures. MSc. Thesis, Ghent University (BE), June 2020.
- De Rouck, J., Wens, F., Van Damme, L. ve Lemmers, J. (1987). Investigations into the merits of the Haro-Breakwater armour unit. In Proceedings of Coastal & Port Engineering in Developing Countries Vol.1, 1054-1068.
- “Dmc Marine Consultants – Xblock”. Erişim: 2 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.dmc.nl/services/products-and-services/xbloc>
- Ergin, A., Öner, O. ve Günbak, A.R. (1971). Taşdolgu Dalgakıranlar, ODTÜ.
- Esteban, M., Jayaratne, R., Mikami, T., Morikubo I., Shibayama T., Danh Thao, N., Ohira K., Ohtani A., Mizuno Y., Kinoshita M. ve Matsuba S. (2014). Modification of Hudson tsunami. Research Gate, January 2016.
- EurOtop. (2018). Manual on Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures.
- Filipe Vieira, Francisco Taveira-Pinto, Paulo Rosa-Santos (April 2020). Single-layer cube armoured breakwaters: Critical review and technical challenges. Ocean Engineering, 216, 108042.
- Frens, A.B. (2007). The Impact of Placement Method on Antifer-block Stability. Master of Science Thesis, Delft University Civil Engineering, Delft.
- Frens, A.B., Van Gent, M.R.A. ve Olthof, J. (2009). Placement Methods for Antifer Armour Units.
- Giantsi, T. ve Moutzouris, C.I. (2016). Experimental investigation of wave transmission and reflection at a system of low crested breakwaters. 13th International Conference on Protection and Restoration of the Environment.
- Giraduel, C., Garcia, N., Ledoux, S. (November 2020). Single-layer Breakwater Armouring: Feedback on the Accropode Technology from site experience. In 22nd International Conference on Coastal Engineering.
- Goda, Y., ve Ahrens, J.P. (2009). New Formulation Of Wave Transmission Over And Through Low-Crested Structures. Coastal Engineering 2008, 3530–3541.
- Günbak, A.R. (1979). Rubble Mound Breakwaters. Div. Port and Ocean Eng., The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway. Rept. 1-1979.
- Günbak, A.R. (1999). Antifer cubes on rubble mound breakwaters. In Proceedings of the Copedec V, Cape Town, South Africa, 1450-1455.
- Günbak, A.R. (2000). Use of rock, tetrapod, antifer, accropode, core-lock armor units on the rubble mound breakwaters. PIANC seminar for development and cooperation, Buenos Aires, Argentina.
- H.J. Verhagen, K. d’Angremond, F. van Roode. (2009). Breakwaters and Closure Dams, 2nd ed., VSSD, Delft, the Netherlands.

- Hasselmann, K., Barnett, T. P., Bouws, E., Carlson, H., Cartwright, D. E., Enke, K., Walden, H. (1973).
- “How to get to: The breakwater at Maria East”. Erişim: 10 Kasım 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.timeout.com/singapore/things-to-do/breakwater-at-marina-east>
- Hudson, R.Y. (1959). Laboratory Investigation of Rubble Mound Breakwaters. Proc. ASCE, 85, 93-121.
- Hudson, R.Y. ve Davidson, D.D. (1975). Reliability of Rubble mound breakwater stability models, 2nd symposium on modelling techniques, American Society of Civil Engineers, Vol 2, 1603-1622.
- Hughes, S.A. (1993). Physical models and laboratory techniques in coastal engineering, Coastal Engineering Research Center, Waterways Experiment Station, USA.
- Hunt, J.R., (1959). Design of Sea Walls And Breakwaters. Journal of Waterways and Harbors Division, Proceedings of the ASCE, 85(WW3), 123-152.
- Hydraulics Research Station. (1970). High Island water scheme-Hong-Kong. Wallingford, Rept. EX 532.
- Iribarren, C.R. (1938). A Formula For The Calculation Of Rock Fill Dikes. Revista de Obras Publicas, in Spanish, The Bulletin Of The Beach Erosion Bord, vol no 3, no 1 in English.
- J.W. Van der Meer. (1988). Stability of cubes, tetrapods and accropode, Breakwaters '88, Thomas Telford Limited, London.
- Kaya, H. A. (2022). The use of high density concrete cube in the armour layer of breakwaters. Master of Science Thesis, Yıldız Technical University, Civil Engineering.
- Kıyı Yapıları - Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, T.C. Ulaştırma, Haberleşme ve Denizcilik Bakanlığı Altyapı Yatırımları Genel Müdürlüğü (AYGM), (Şubat, 2016).
- Kurdistani, S.M., Tomasicchio, G.R., D'Alessandro, F. ve Francone, A. (2022). Formula for wave transmission at submerged homogeneous porous breakwaters. Ocean Eng. 266.
- Le Mehaute, B. (1976). Similitude in Coastal Engineering. Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, 3, 317-335.
- Lykke Andersen, T. (2006). Hydraulic response of rubble mound Breakwaters. Scale effects – berm breakwaters. Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, Aalborg University, Denmark.
- M. Kramer, B. Zanuttigh, J.W. Van der Meer, C. Vidal F.X. Gironella. (2005). Laboratory experiments on low-crested breakwaters. Coastal Engineering 52 (2005) 867– 885.
- Maquet, J.F. (1985). Port of Antifer, France: Design and construction of mounds for breakwaters and coastal protection. In Bruun, P. (Ed.), 696-703.

- Marcel R.A. Van Gent, Lisanne Buis, Jeroen P. van den Bos, Davide Wüthrich. (2023). Wave transmission at submerged coastal structures and artificial reefs. *Coastal Engineering* 184 (2023) 104344.
- Miche, M. (1951). Le pouvoir reflechissant des ouvrages maritimes exposes al'action de la houle. *Ann. Ponts Chausees* 121, 285–319.
- Miquel A. Losada, Luis A. Gimenez-Curto. (1979). Mound Breakwaters Under Wave Attack. Department of Oceanographical and Ports Engineering University of Santander, Spain.
- Molines, J. ve Medina, J.R. (2015). Calibration of overtopping roughness factors for concrete armor units in non-breaking conditions using the CLASH database. *Coastal Engineering*, 96, 62-70.
- Molines, J., Perez, T.J., Zarranz, G., Medina, J.R. (2012b). Influence of cube and Cubipod armor porosities on overtopping. In *Proceedings of the 33rd International*.
- Muttray, M., Oumeraci, H. ve Ten Oever, E. (2006). Wave reflection and wave run-up at rubble mound breakwaters. In: *Proc. XXX International Conference of Coastal Engineering*. San Diego.
- Oorschot, J.H. Van ve D'Angremont. (1968). The Effect of Wave Energy Spectra On Wave Run-up. In *Proceedings of the 11th Conference on Coastal Engineering*, London.
- Owen, M.W. (1980). Design of Seawalls Allowing For Wave Overtopping. Report No. EX 924, Hydraulics Research Wallingford, UK.
- Panizzo, A. ve Briganti, R. (2007). Analysis of wave transmission behind low-crested breakwaters using neural networks. *Coast. Eng.* 54, 643–656.
- “Papeete, French Polynesia”. Erişim: 2 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.xbloc.com/node/62>
- Pearson vd. (2004), Andersen ve Burcharth (2009), Molines vd. (2012b), Mares-Nassera vd. (2019).
- Pearson, J., Bruce, T., Franco, L., Van der Meer, J., Falzacappa, M. (2004). Report on Additional Tests, Part B: Standard Tests for Roughness Factors, CLASH WP4 Report. University of Edinburgh, UK.
- PIANC. (2003). State of the Art of Designing and Constructing Berm Breakwaters (WG 40). Brussels.
- Pierson, W. J. ve Moskowitz, L. (1964). A proposed spectral form for fully-developed wind sea based on the similarity law of S. A. Kitaigorodskii. *Journal of Geophysical Research*, 69, 5181-5202.
- Pilar Díaz-Carrasco, Mads Røge Eldrup, Thomas Lykke Andersen. (2021). Advance in wave reflection estimation for rubble mound breakwaters: The importance of the relative water depth. *Coastal Engineering* 168 (2021) 103921.
- Postmar, G.M. (1989). Wave reflection from rock slopes under random wave attack. Msc. Thesis, Delft University of Technology, Delft, Netherlands.

- Pullen, T., Allsop, N. W. H., Bruce, T., Pearson, J. ve Geeraerts, J. (2004). Violent wave overtopping at Samphire Hoe: field and laboratory measurements. In Proc. ICCE, SCE, 4379–4390.
- Reedijk, B. ve Muttray, M. (October 2008). Design of concrete armour layers. Delta Marine Consultants, H.J. Nederhorststraat 1, 2800 AG Gouda, The Netherlands.
- Saville, T. (1962). An Approximation Of The Wave Run-up Frequency Distribution. In Proceedings of the 8th Coastal Engineering Conference, Mexico City, 48-59.
- Seabrook, S.R. ve Hall, K.R. (1998). Wave transmission at submerged rubble mound Breakwaters, ASCE. Proc. ICCE 198.
- Seeling. (1983). The Elevation and Duration of Wave Crests.
- Seeling, W. and Ahrens, J. (1981). Estimation of Wave Reflection and Energy Dissipation Coefficients for Beaches, Revetments and Breakwaters. USACE. MS, Vicksburg. CERC Technical paper 81-1, Fort Belvoir.
- Sollitt, CK. ve Cross, R.H. (1972). Wave transmission through-permeable breakwaters. Proc. Conf on Coastal Eng., 13th, Vancouver: 1827-1846.
- TAW. (2002). Technical Report Wave Run-Up and Wave Overtopping at Dikes. Technical Advisory Committee on Flood Defence, Delft, The Netherlands.
- Thomson, D.M. ve Shuttler, R.M. (1975). Riprap design for wind wave attack. A laboratory study in random waves. HRS, Wallingford, Report EX 707.
- Tomasicchio, G.R., D'Alessandro, F. ve Gianluca Tundo. (2011). Further Developments In A New Formulation Of Wave Transmission. Coastal Structures 2011, Volume: 1.
- Triemstra, R. (2000). The Use of High Density Concrete in the Armourlayer of Breakwaters. Master Thesis. Delft University of Technology.
- Van Buchem, R.V. (2009). Stability of a Single Top Layer of Cubes. Msc. Thesis. Delft University of Technology.
- Van der Lem, Stive, R.J.H.J.C. ve Van Gent, M.R.A. (2016). Sal Rei Breakwaters with Single Layer Cubes. Proc. PIANC-Copedec 2016, Rio de Janeiro.
- Van der Meer J.W. (1985). Stability of rubble mound revetments and breakwaters under random wave attack. Developments in Breakwaters, ICE, Proceedings of Breakwaters '85 Conference, London, Chap. 5.
- Van der Meer J.W. (1987). Stability of breakwater armour layers Design formulae. Coastal Eng., 11, pp, 219-239.
- Van der Meer J.W. (1988). Deterministic and probabilistic design of breakwater armour layers. Proc. ASCE, Journal of WPC and OE, 114(1).
- Van der Meer, J. (1986). Stability of rubble mound revetments and breakwaters under random wave attack. Developments in Breakwaters (pp. 141-154).
- Van der Meer, J. W. ve Pilarczyk, K. W. (1990). Stability of low-crested and reef breakwaters. Delft Hydraulics report no. H986, prepared for CUR C67.

- Van der Meer, J., (1992). Conceptual design of rubble mound breakwaters. Proc. of a short course on the design and reliability of coastal structures. In: XXIII International Conference Coastal Engineering Tecnoprint, pp. 447–510. Venice.
- Van der Meer, J.W. (1988a). Rock slopes and gravel beaches under wave attack. Doctoral thesis, Delft University of Technology. Also Delft Hydraulics Publication no. 396.
- Van der Meer, J.W. (1988b). Deterministic and probabilistic design of breakwater armour layers, Proc. ASCE, Journal of WPC and OE, Vol. 114, No. 1.
- Van der Meer, J.W. (1999). Design of concrete armour layers. In Proceedings of the International Conference on Coastal Structures, Santander, Spain, 213–221.
- Van der Meer, J.W. ve Bruce, T. (2014). New physical insights and design formulas on wave overtopping at sloping and vertical structures. J. Waterw. Port, Coast. Ocean Eng., 140(6), 04014025.
- Van der Meer, J.W. ve Daemen, I.F.R. (1994). Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures. ASCE, J. of Waterways, Ports, Coastal and Ocean Engineering, 120 (Jan/Feb), 1-19.
- Van der Meer, J.W. ve Janssen, J.P.F.M. (1994). Wave Run-Up and Wave Overtopping at Dikes, p. 485. Delft Hydraulics No.
- Van der Meer, J.W. ve Ligteringen J. (1997). Breakwater Design. IHE, Delft.
- Van der Meer, J.W., Briganti, R., Zanuttigh, B. ve Wang, B. (2005). Wave Transmission and Reflection at Low-Crested Structures: Design Formulae, Oblique Wave Attack and Spectral Change. Coast. Eng. 2005, 52, 915–929.
- Van Gent, M.R.A., d’Angremond, K. ve Triemstra, R. (2001). Rubble mound breakwaters: single armour layers and high-density units. In: Proceedings of the International Conference on Coastlines, Structures and Breakwaters, London, ICE, pp. 307–318.
- Van Gent, M.R.A., Spaan, G.B.H., Plate, S.E., Berendsen, E., Van der Meer, J.W. ve d’Angremond, K. (1999). Single-layer rubble mound breakwaters, Balkema, Proc. In: International Conference Coastal Structures, Santander, Spain, 1, pp. 231–239.
- Van Gent, Marcel R.A. ve Van der Werf, I. (October 2017). Single layer cubes in a berm. In Short Course and Conference on Applied Coastal Research (SCACR 2017), Santander.
- Van Rijn, L.C. (2016). Stability design of coastal structures.
- “Western Breakwater – Port Expansion in Hanstholm”. Erişim: 10 Kasım 2023. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.cubipod.com/en/references/western-breakwater-port-expansion-in-hanstholm/>
- “Wikipedia - Dolosse-wall”. Erişim: 2 Ocak 2024. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://en.m.wikipedia.org/wiki/File:Dolosse-wall.jpg>

- Wolters, G. ve Van Gent, M.R.A. (2010). Oblique Wave Attack on Cube and Rock Armoured Rubble Mound Breakwaters. *Ocean Engineering*, 31, 1-10.
- Yağcı, O. ve Kapdaşlı, S. (2002). Alternative placement technique for antifer blocks used on breakwaters. *Ocean Engineering*, 30 (2003), 1433-1451.
- Yağcı, O., Kapdaşlı, S. ve Cigizoğlu, H.K. (2003). The stability of the antifer units used on breakwaters in case of irregular placement. *Ocean Engineering*, 31 (2004), 1111-1127.
- Yüksel, Y. (2011). *Dalgakıran Tasarımı* (1. Baskı). Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Yüksel, Y. ve Çevik, E. (2020). *Kıyı Mühendisliği* (1. Baskı). Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- Zanuttigh, B. ve Van der Meer, J. (2006). Wave reflection from coastal structures. In: *Proc. XXX International Conference of Coastal Engineering*, vol. 5. ASCE, pp. 4337–4349.
- Zanuttigh, B. ve Van der Meer, J. (2008). Wave reflection from coastal structures in design conditions. *Coast. Eng.* 55, 771–779.

TÜM MODEL DENEYLERİNDE HASAR ORANLARI

Tablo A.1 4D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta ön şevde hasar

Ön Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W2	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W3	6	3.9	0	0.0	6	3.9
W4.1	7	4.5	0	0.0	7	4.5
W4.2	9	5.8	1	0.6	10	6.5
W5	11	7.1	3	1.9	14	9.0
W5.1	15	9.7	5	3.2	20	12.9
W6	22	14.2	5	3.2	27	17.4
W7	20	12.9	11	7.1	31	20.0
W8	20	12.9	11	7.1	31	20.0
W9	27	17.4	13	8.4	40	25.8
W10	26	16.8	21	13.5	47	30.3
W11	36	23.2	30	19.4	66	42.6
W12	35	22.6	28	18.1	63	40.6
W13	39	25.2	35	22.6	74	47.7

Ön Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	1	0.6	0.0	0.0	1	0.6
W9	3	1.9	0.0	0.0	3	1.9
W10	5	3.2	0.0	0.0	5	3.2
W11	10	6.5	0.0	0.0	10	6.5
W12	14	9.0	0.0	0.0	14	9.0
W13	12	7.7	2.0	1.3	14	9.0

Tablo A.2 4D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta krette hasar

Kret	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	2	3.2	0	0.0	2	3.2
W2	4	6.5	0	0.0	4	6.5
W3	6	9.7	0	0.0	6	9.7
W4.1	10	16.1	0	0.0	10	16.1
W4.2	15	24.2	0	0.0	15	24.2
W5	17	27.4	0	0.0	17	27.4
W5.1	17	27.4	0	0.0	17	27.4
W6	18	29.0	0	0.0	18	29.0
W7	18	29.0	2	3.2	20	32.3
W8	15	24.2	5	8.1	20	32.3
W9	13	21.0	7	11.3	20	32.3
W10	17	27.4	10	16.1	27	43.5
W11	18	29.0	16	25.8	34	54.8
W12	17	27.4	13	21.0	30	48.4
W13	16	25.8	15	24.2	31	50.0

Kret	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	6	9.7	0.0	0.0	6	9.7
W13	7	11.3	1.0	1.6	8	12.9

Tablo A.3 4D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ arka şevde krette hasar

Arka Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W3	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W4.1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W4.2	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W5	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W5.1	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W6	4	2.6	0	0.0	4	2.6
W7	5	3.2	0	0.0	5	3.2
W8	6	3.9	0	0.0	6	3.9
W9	6	3.9	0	0.0	6	3.9
W10	6	3.9	0	0.0	6	3.9
W11	8	5.2	0	0.0	8	5.2
W12	8	5.2	0	0.0	8	5.2
W13	10	6.5	0	0.0	10	6.5

Arka Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.4 4D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta ön şevde hasar

Ön Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W2	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W3	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W4.1	6	3.4	0	0.0	6	3.4
W4.2	8	4.6	0	0.0	8	4.6
W5	8	4.6	0	0.0	8	4.6
W5.1	9	5.1	0	0.0	9	5.1
W6	12	6.9	0	0.0	12	6.9
W7	17	9.7	0	0.0	17	9.7
W8	25	14.3	1	0.6	26	14.9
W9	29	16.6	1	0.6	30	17.1
W10	32	18.3	3	1.7	35	20.0
W11	35	20.0	3	1.7	38	21.7
W12	44	25.1	3	1.7	47	26.9
W13	39	22.3	8	4.6	47	26.9

Ön Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.5 4D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta krette hasar

Kret	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	1.4	0	0.0	1	1.4
W2	2	2.9	0	0.0	2	2.9
W3	3	4.3	0	0.0	3	4.3
W4.1	4	5.7	0	0.0	4	5.7
W4.2	7	10.0	0	0.0	7	10.0
W5	7	10.0	0	0.0	7	10.0
W5.1	10	14.3	0	0.0	10	14.3
W6	11	15.7	0	0.0	11	15.7
W7	13	18.6	0	0.0	13	18.6
W8	9	12.9	4	5.7	13	18.6
W9	9	12.9	5	7.1	14	20.0
W10	17	24.3	8	11.4	25	35.7
W11	16	22.9	9	12.9	25	35.7
W12	15	21.4	11	15.7	26	37.1
W13	19	27.1	13	18.6	32	45.7

Kret	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	1	1.4	0.0	0.0	1	1.4

Tablo A.6 4D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta arka şevde hasar

Arka Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W2	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W3	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W4.1	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W4.2	8	4.6	0	0.0	8	4.6
W5	11	6.3	0	0.0	11	6.3
W5.1	12	6.9	0	0.0	12	6.9
W6	12	6.9	0	0.0	12	6.9
W7	12	6.9	0	0.0	12	6.9
W8	13	7.4	0	0.0	13	7.4
W9	17	9.7	0	0.0	17	9.7
W10	18	10.3	0	0.0	18	10.3
W11	23	13.1	1	0.6	24	13.7
W12	24	13.7	1	0.6	25	14.3
W13	29	16.6	2	1.1	31	17.7

Arka Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.7 7D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta ön şevde hasar

Ön Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W2	5	3.2	0	0.0	5	3.2
W3	7	4.5	0	0.0	7	4.5
W4.1	12	7.7	0	0.0	12	7.7
W4.2	13	8.4	0	0.0	13	8.4
W5	16	10.3	0	0.0	16	10.3
W5.1	21	13.5	0	0.0	21	13.5
W6	35	22.6	1	0.6	36	23.2
W7	44	28.4	1	0.6	45	29.0
W8	45	29.0	2	1.3	47	30.3
W9	41	26.5	10	6.5	51	32.9
W10	38	24.5	16	10.3	54	34.8
W11	41	26.5	34	21.9	75	48.4
W12	39	25.2	40	25.8	79	51.0
W13	48	31.0	38	24.5	86	55.5

Ön Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	4	2.6	0.0	0.0	4	2.6
W11	13	8.4	0.0	0.0	13	8.4
W12	14	9.0	0.0	0.0	14	9.0
W13	16	10.3	1.0	0.6	17	11.0

Tablo A.8 7D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta krette hasar

Kret	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.9	0	0.0	1	0.9
W2	2	1.9	0	0.0	2	1.9
W3	3	2.8	0	0.0	3	2.8
W4.1	4	3.7	0	0.0	4	3.7
W4.2	5	4.6	0	0.0	5	4.6
W5	6	5.6	0	0.0	6	5.6
W5.1	6	5.6	0	0.0	6	5.6
W6	7	6.5	0	0.0	7	6.5
W7	8	7.4	3	2.8	11	10.2
W8	20	18.5	8	7.4	28	25.9
W9	23	21.3	10	9.3	33	30.6
W10	23	21.3	14	13.0	37	34.3
W11	30	27.8	24	22.2	54	50.0
W12	30	27.8	23	21.3	53	49.1
W13	29	26.9	32	29.6	61	56.5

Kret	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	1	0.9	0.0	0.0	1	0.9
W10	1	0.9	0.0	0.0	1	0.9
W11	3	2.8	0.0	0.0	3	2.8
W12	5	4.6	0.0	0.0	5	4.6
W13	6	5.6	0.0	0.0	6	5.6

Tablo A.9 7D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta arka şevde hasar

Arka Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W4.2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W5.1	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W6	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W7	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W8	5	3.2	0	0.0	5	3.2
W9	4	2.6	1	0.6	5	3.2
W10	4	2.6	1	0.6	5	3.2
W11	4	2.6	1	0.6	5	3.2
W12	3	1.9	2	1.3	5	3.2
W13	3	1.9	2	1.3	5	3.2

Arka Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.10 7D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta ön şevde hasar

Ön Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W2	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W3	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W4.1	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W4.2	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W5	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W5.1	8	4.6	0	0.0	8	4.6
W6	12	6.9	0	0.0	12	6.9
W7	15	8.6	0	0.0	15	8.6
W8	15	8.6	0	0.0	15	8.6
W9	15	8.6	0	0.0	15	8.6
W10	18	10.3	0	0.0	18	10.3
W11	33	18.9	0	0.0	33	18.9
W12	45	25.7	1	0.6	46	26.3
W13	55	31.4	3	1.7	58	33.1

Ön Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.11 7D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıkılıkta krette hasar

Kret	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.8	0	0.0	1	0.8
W2	2	1.6	0	0.0	2	1.6
W3	2	1.6	0	0.0	2	1.6
W4.1	2	1.6	0	0.0	2	1.6
W4.2	3	2.4	0	0.0	3	2.4
W5	5	4.1	0	0.0	5	4.1
W5.1	5	4.1	0	0.0	5	4.1
W6	6	4.9	0	0.0	6	4.9
W7	13	10.6	0	0.0	13	10.6
W8	14	11.4	0	0.0	14	11.4
W9	19	15.4	1	0.8	20	16.3
W10	21	17.1	2	1.6	23	18.7
W11	28	22.8	4	3.3	32	26.0
W12	31	25.2	9	7.3	40	32.5
W13	30	24.4	12	9.8	42	34.1

Kret	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.12 $7D_n$ kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta arka şevde hasar

Arka Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M_1 (adet)	M_1 (%)	M_2 (adet)	M_2 (%)	M_T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W3	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W4.1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W4.2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5.1	2	1.1	0	0.0	2	1.1
W6	2	1.1	0	0.0	2	1.1
W7	2	1.1	0	0.0	2	1.1
W8	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W9	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W10	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W11	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W12	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W13	6	3.4	0	0.0	6	3.4

Arka Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D_1 (adet)	D_1 (%)	D_2 (adet)	D_2 (%)	D_T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.13 10D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta ön şevde hasar

Ön Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M1 (adet)	M1 (%)	M2 (adet)	M2 (%)	MT (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W2	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W3	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W4.1	4	2.6	0	0.0	4	2.6
W4.2	4	2.6	0	0.0	4	2.6
W5	6	3.9	0	0.0	6	3.9
W5.1	10	6.5	0	0.0	10	6.5
W6	13	8.4	0	0.0	13	8.4
W7	15	9.7	0	0.0	15	9.7
W8	18	11.6	1	0.6	19	12.3
W9	18	11.6	1	0.6	19	12.3
W10	20	12.9	2	1.3	22	14.2
W11	25	16.1	7	4.5	32	20.6
W12	28	18.1	10	6.5	38	24.5
W13	31	20.0	11	7.1	42	27.1

Ön Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D1 (adet)	D1 (%)	D2 (adet)	D2 (%)	DT (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	1	0.6	0.0	0.0	1	0.6
W13	2	1.3	0.0	0.0	2	1.3

Tablo A.14 10D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta krette hasar

Kret	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W3	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W4.1	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W4.2	2	1.3	0	0.0	2	1.3
W5	10	6.5	0	0.0	10	6.5
W5.1	12	7.7	1	0.6	13	8.4
W6	18	11.6	1	0.6	19	12.3
W7	24	15.5	7	4.5	31	20.0
W8	26	16.8	8	5.2	34	21.9
W9	29	18.7	9	5.8	38	24.5
W10	29	18.7	11	7.1	40	25.8
W11	33	21.3	13	8.4	46	29.7
W12	41	26.5	19	12.3	60	38.7
W13	41	26.5	25	16.1	66	42.6

Kret	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	3	1.9	0.0	0.0	3	1.9
W11	3	1.9	0.0	0.0	3	1.9
W12	3	1.9	0.0	0.0	3	1.9
W13	4	2.6	0.0	0.0	4	2.6

Tablo A.15 10D_n kret genişliği $\Psi_s=0.59$ sıklıkta arka şevde hasar

Arka Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W4.2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5.1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W6	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W7	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W8	3	1.9	0	0.0	3	1.9
W9	4	2.6	0	0.0	4	2.6
W10	4	2.6	0	0.0	4	2.6
W11	4	2.6	0	0.0	4	2.6
W12	6	3.9	0	0.0	6	3.9
W13	7	4.5	0	0.0	7	4.5

Arka Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.16 10D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta ön şevde hasar

Ön Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W3	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W4.1	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W4.2	6	3.4	0	0.0	6	3.4
W5	11	6.3	0	0.0	11	6.3
W5.1	15	8.6	0	0.0	15	8.6
W6	14	8.0	1	0.6	15	8.6
W7	14	8.0	1	0.6	15	8.6
W8	13	7.4	2	1.1	15	8.6
W9	29	16.6	2	1.1	31	17.7
W10	30	17.1	3	1.7	33	18.9
W11	31	17.7	5	2.9	36	20.6
W12	35	20.0	5	2.9	40	22.9
W13	48	27.4	5	2.9	53	30.3

Ön Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.17 10D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta krette hasar

Kret	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W3	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W4.1	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W4.2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5	2	1.1	0	0.0	2	1.1
W5.1	2	1.1	0	0.0	2	1.1
W6	7	4.0	0	0.0	7	4.0
W7	12	6.9	0	0.0	12	6.9
W8	20	11.4	0	0.0	20	11.4
W9	27	15.4	0	0.0	27	15.4
W10	28	16.0	2	1.1	30	17.1
W11	43	24.6	10	5.7	53	30.3
W12	41	23.4	14	8.0	55	31.4
W13	44	25.1	15	8.6	59	33.7

Kret	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.18 10D_n kret genişliği $\Psi_s=0.67$ sıklıkta arka şevde hasar

Arka Şev	Hareket Eden Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	M ₁ (adet)	M ₁ (%)	M ₂ (adet)	M ₂ (%)	M _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0
W4.2	1	0.6	0	0.0	1	0.6
W5	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W5.1	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W6	3	1.7	0	0.0	3	1.7
W7	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W8	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W9	4	2.3	0	0.0	4	2.3
W10	5	2.9	0	0.0	5	2.9
W11	6	3.4	0	0.0	6	3.4
W12	6	3.4	0	0.0	6	3.4
W13	6	3.4	0	0.0	6	3.4

Arka Şev	Yer Değiştiren Bloklar için Hasar Oranı					
DALGA	D ₁ (adet)	D ₁ (%)	D ₂ (adet)	D ₂ (%)	D _T (adet)	Hasar Oranı (%)
W1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W3	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W4.2	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W5.1	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W6	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W7	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W8	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W9	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W10	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W11	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W12	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0
W13	0	0.0	0.0	0.0	0	0.0

Tablo A.19 Ön şev ve kret toplam hasarı

Dalga	4D _n			7D _n			10D _n		
	N _s	D _T (adet)	N ₀	N _s	D _T (adet)	N ₀	N _s	D _T (adet)	N ₀
W1	0.36	0	0.0	0.36	0	0.0	0.36	0	0.0
W2	0.99	0	0.0	1.00	0	0.0	0.99	0	0.0
W3	1.27	0	0.0	1.29	0	0.0	1.27	0	0.0
W4.1	1.57	0	0.0	1.59	0	0.0	1.58	0	0.0
W4.2	1.71	0	0.0	1.74	0	0.0	1.74	0	0.0
W5	1.80	0	0.0	1.88	0	0.0	1.83	0	0.0
W5.1	2.03	0	0.0	2.10	0	0.0	2.07	0	0.0
W6	2.17	0	0.0	2.25	0	0.0	2.21	0	0.0
W7	2.29	0	0.0	2.38	0	0.0	2.36	0	0.0
W8	2.59	1	0.043	2.70	0	0.0	2.67	0	0.0
W9	2.74	3	0.130	2.85	1	0.043	2.82	0	0.0
W10	3.02	5	0.217	3.16	5	0.217	3.10	3	0.130
W11	3.57	10	0.435	3.75	16	0.696	3.70	3	0.130
W12	3.73	20	0.870	3.86	19	0.826	3.79	4	0.174
W13	3.79	22	0.957	3.94	23	1.000	3.86	6	0.261

B

TÜM MODEL DENEYLERİ VE DALGA ŞARTLARINDA HASAR DURUMLARI

B.1 4D_n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.59$ yerleşim sıklığı

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	4	0	0	0

Dalga Hali	W3			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	6	0	0	0

Dalga Hali	W4.2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	4	0	0	0
3	3	0	0	0
4	3	0	0	0
Toplam	15	0	0	0

Dalga Hali	W5			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	4	0	0	0
3	4	0	0	0
4	4	0	0	0
Toplam	17	0	0	0

Dalga Hali	W5.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	4	0	0	0
3	4	0	0	0
4	4	0	0	0
Toplam	17	0	0	0

Dalga Hali	W6			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	4	0	0	0
3	4	0	0	0
4	5	0	0	0
Toplam	18	0	0	0

Dalga Hali	W7			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	1	0	0
2	5	0	0	0
3	3	1	0	0
4	5	0	0	0
Toplam	18	2	0	0

Dalga Hali	W8			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	2	0	0
2	3	2	0	0
3	3	0	0	0
4	5	1	0	0
Toplam	15	5	0	0

Dalga Hali	W9			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	4	0	0
2	3	2	0	0
3	3		0	0
4	5	1	0	0
Toplam	13	7	0	0

Dalga Hali	W10			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	4	0	0
2	4	2	0	0
3	4	2	0	0
4	4	2	0	0
Toplam	17	10	0	0

Dalga Hali	W11			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	9	0	0
2	6	3	0	0
3	4	2	0	0
4	4	2	0	0
Toplam	18	16	0	0

Dalga Hali	W12			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	5	5	0
2	5	4	1	0
3	5	2	0	0
4	4	2	0	0
Toplam	17	13	6	0

Dalga Hali	W13			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu (adet)			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	4	6	1
2	4	6	1	0
3	6	3	0	0
4	4	2	0	0
Toplam	16	15	7	1

B.2 4D_n Kret Genişliği ve $\Psi_s=0.67$ yerleşim sıklığı

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W3			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	3	0	0	0

Dalga Hali	W4.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
Toplam	4	0	0	0

Dalga Hali	W4.2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	1	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0
Toplam	7	0	0	0

Dalga Hali	W5			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	1	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0
Toplam	7	0	0	0

Dalga Hali	W5.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	3	0	0	0
3	2	0	0	0
4	1	0	0	0
Toplam	10	0	0	0

Dalga Hali	W6			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	3	0	0	0
3	2	0	0	0
4	2	0	0	0
Toplam	11	0	0	0

Dalga Hali	W7			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	1	0	0
2	3	0	0	0
3	2	1	0	0
4	3	0	0	0
Toplam	13	2	0	0

Dalga Hali	W8			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	2	0	0
2	2	1	0	0
3	2	0	0	0
4	2	1	0	0
Toplam	9	4	0	0

Dalga Hali	W9			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	3	0	0
2	2	1	0	0
3	2	0	0	0
4	2	1	0	0
Toplam	9	5	0	0

Dalga Hali	W10			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	6	3	0	0
2	5	1	0	0
3	4	1	0	0
4	2	3	0	0
Toplam	17	8	0	0

Dalga Hali	W11			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	6	3	0	
2	4	2	0	
3	4	1	0	
4	2	3	0	
Toplam	16	9	0	0

Dalga Hali	W12			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4			0
2	5			0
3	4			0
4	2			0
Toplam	15	11	6	0

Dalga Hali	W13			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	7	6	0	0
2	5	3	0	0
3	3	2	0	0
4	4	2	1	0
Toplam	19	13	1	0



B.3 7D_n Kret Genişliği $\Psi_s=0.59$ Yerleşim Sıklılığı

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	0	0	0	0

Dalga Hali	W3			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	3	0	0	0

Dalga Hali	W4.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	4	0	0	0

Dalga Hali	W4.2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	1	0	0	0
Toplam	5	0	0	0

Dalga Hali	W5			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	2	0	0	0
Toplam	6	0	0	0

Dalga Hali	W5.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	2	0	0	0
Toplam	6	0	0	0

Dalga Hali	W6			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	2	0	0	0
Toplam	7	0	0	0

Dalga Hali	W7			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	2	0	0	0
7	1	3	0	0
Toplam	8	3	0	0

Dalga Hali	W8			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	1	0	0
2	3	0	0	0
3	0	0	0	0
4	3	0	0	0
5	6	1	0	0
6	2	3	0	0
7	2	3	0	0
Toplam	20	8	0	0

Dalga Hali	W9			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	3	0	0
2	3	0	0	0
3	3	0	0	0
4	2	0	0	0
5	5	1	1	0
6	5	3	0	0
7	2	3	0	0
Toplam	23	10	1	0

Dalga Hali	W10			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	3	0	0
2	3	0	0	0
3	3	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	4	1	0
6	4	4	0	0
7	2	3	0	0
Toplam	23	14	1	0

Dalga Hali	W11			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	5	2	0
2	5	2	0	0
3	4	1	0	0
4	4	0	0	0
5	5	4	1	0
6	4	6	0	0
7	3	6	0	0
Toplam	30	24	3	0

Dalga Hali	W12			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	4	3	0
2	4	3	0	0
3	4	1	0	0
4	4	0	0	0
5	5	4	1	0
6	4	5	1	0
7	4	6	0	0
Toplam	30	23	5	0

Dalga Hali	W13			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	6	4	3	0
2	3	7	0	0
3	4	3	0	0
4	4	3	0	0
5	4	4	2	0
6	4	5	1	0
7	4	6	0	0
Toplam	29	32	6	0

B.4 7D_n Kret Genişliği $\Psi_s=0.67$ Yerleşim Sıklığı

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W3			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W4.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W4.2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
Toplam	3	0	0	0

Dalga Hali	W5			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	1	0	0	0
Toplam	5	0	0	0

Dalga Hali	W5.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	1	0	0	0
Toplam	5	0	0	0

Dalga Hali	W6			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	2	0	0	0
Toplam	6	0	0	0

Dalga Hali	W7			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	1	0	0	0
Toplam	13	0	0	0

Dalga Hali	W8			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	2	0	0	0
7	4	0	0	0
Toplam	14	0	0	0

Dalga Hali	W9			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	2	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	3	0	0	0
7	6	1	0	0
Toplam	19	1	0	0

Dalga Hali	W10			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	0	0	0
2	2	0	0	0
3	1	0	0	0
4	2	0	0	0
5	1	0	0	0
6	5	0	0	0
7	5	2	0	0
Toplam	21	2	0	0

Dalga Hali	W11			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	1	0	0
2	4	0	0	0
3	2	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	0	0	0
6	5	0	0	0
7	6	3	0	0
Toplam	30	4	0	0

Dalga Hali	W12			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	8	2	0	0
2	6	0	0	0
3	2	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	1	0	0
6	5	1	0	0
7	4	5	0	0
Toplam	31	9	0	0

Dalga Hali	W13			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	8	2	0	0
2	6	1	0	0
3	2	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	2	0	0
6	5	1	0	0
7	3	6	0	0
Toplam	30	12	0	0

B.5 10D_n Kret Genişliği $\Psi_s=0.59$ Yerleşim Sıklığı

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W3			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W4.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W4.2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W5			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	1	0	0	0
8	1	0	0	0
9	1	0	0	0
10	1	0	0	0
Toplam	10	0	0	0

Dalga Hali	W5.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	1	0	0
2	1	0	0	0
3	1	0	0	0
4	0	0	0	0
5	1	0	0	0
6	2	0	0	0
7	2	0	0	0
8	1	0	0	0
9	1	0	0	0
10	1	0	0	0
Toplam	12	1	0	0

Dalga Hali	W6			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	1	0	0
2	2	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	3	0	0	0
8	1	0	0	0
9	2	0	0	0
10	2	0	0	0
Toplam	18	1	0	0

Dalga Hali	W7			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	1	0	0
2	2	0	0	0
3	2	0	0	0
4	1	0	0	0
5	2	0	0	0
6	1	1	0	0
7	3	0	0	0
8	2	1	0	0
9	4	2	0	0
10	3	2	0	0
Toplam	24	7	0	0

Dalga Hali	W8			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	1	0	0
2	2	0	0	0
3	2	0	0	0
4	1	0	0	0
5	2	0	0	0
6	2	1	0	0
7	2	1	0	0
8	2	1	0	0
9	4	2	0	0
10	5	2	0	0
Toplam	26	8	0	0

Dalga Hali	W9			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	1	0	0
2	2	0	0	0
3	2	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	0	0	0
6	2	1	0	0
7	1	2	0	0
8	3	1	0	0
9	4	2	0	0
10	5	2	0	0
Toplam	29	9	0	0

Dalga Hali	W10			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	1	0	0
2	3	0	0	0
3	1	1	0	0
4	3	0	0	0
5	2	1	0	0
6	2	1	1	0
7	1	1	1	0
8	3	2	1	0
9	4	2	0	0
10	5	2	0	0
Toplam	29	11	3	0

Dalga Hali	W11			
Kret Küp Dizilimi Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	1	0	0
2	4	0	0	0
3	1	1	0	0
4	3	0	0	0
5	4	1	0	0
6	2	1	1	0
7	2	1	1	0
8	5	2	1	0
9	3	3	0	0
10	4	3	0	0
Toplam	33	13	3	0

Dalga Hali	W12			
Kret Küp Dizilimi Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	6	2	0	0
2	3	3	0	0
3	2	2	0	0
4	5	0	0	0
5	3	2	0	0
6	4	1	1	0
7	3	1	1	0
8	5	2	1	0
9	5	3	0	0
10	5	3	0	0
Toplam	41	19	3	0

Dalga Hali	W13			
Kret Küp Dizilimi Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	7	2	1	0
2	5	3	0	0
3	2	2	0	0
4	5	0	0	0
5	3	2	0	0
6	3	2	1	0
7	4	1	1	0
8	4	3	1	0
9	3	7	0	0
10	5	3	0	0
Toplam	41	25	4	0

B.6 10D_n Kret Genişliği $\Psi_s=0.67$ Yerleşim Sıklığı

Dalga Hali	W1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	0	0	0	0

Dalga Hali	W2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W3			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W4.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W4.2			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	1	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	1	0	0	0

Dalga Hali	W5			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W5.1			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	0	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	0	0	0	0
9	0	0	0	0
10	0	0	0	0
Toplam	2	0	0	0

Dalga Hali	W6			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	2	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	0	0	0	0
8	1	0	0	0
9	1	0	0	0
10	1	0	0	0
Toplam	7	0	0	0

Dalga Hali	W7			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	3	0	0	0
2	2	0	0	0
3	0	0	0	0
4	0	0	0	0
5	0	0	0	0
6	0	0	0	0
7	1	0	0	0
8	2	0	0	0
9	2	0	0	0
10	2	0	0	0
Toplam	12	0	0	0

Dalga Hali	W8			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	2	0	0	0
3	1	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	1	0	0	0
8	3	0	0	0
9	3	0	0	0
10	3	0	0	0
Toplam	20	0	0	0

Dalga Hali	W9			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	3	0	0	0
3	2	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	1	0	0	0
7	3	0	0	0
8	4	0	0	0
9	4	0	0	0
10	4	0	0	0
Toplam	27	0	0	0

Dalga Hali	W10			
Küp Blok Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	0	0	0
2	3	0	0	0
3	2	0	0	0
4	1	0	0	0
5	1	0	0	0
6	2	0	0	0
7	3	0	0	0
8	4	0	0	0
9	5	0	0	0
10	3	2	0	0
Toplam	28	2	0	0

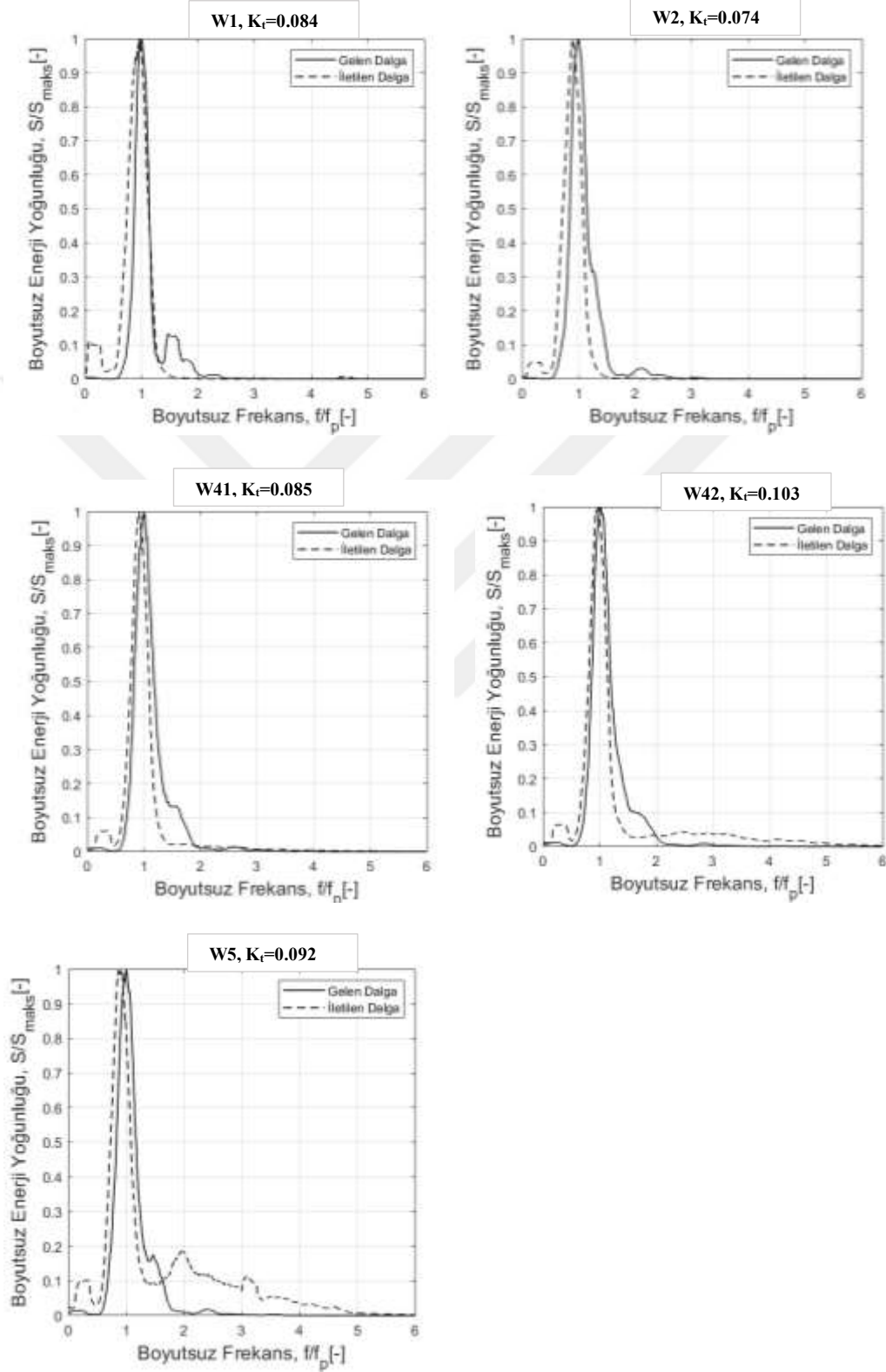
Dalga Hali	W11			
Kret Küp Dizilimi Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	6	1	0	0
2	4	0	0	0
3	3	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	0	0	0
6	6	0	0	0
7	5	1	0	0
8	3	3	0	0
9	7	1	0	0
10	3	4	0	0
Toplam	43	10	0	0

Dalga Hali	W12			
Kret Küp Dizilimi Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	4	3	0	0
2	4	0	0	0
3	3	0	0	0
4	3	0	0	0
5	3	0	0	0
6	6	0	0	0
7	5	1	0	0
8	4	3	0	0
9	5	3	0	0
10	4	4	0	0
Toplam	41	14	0	0

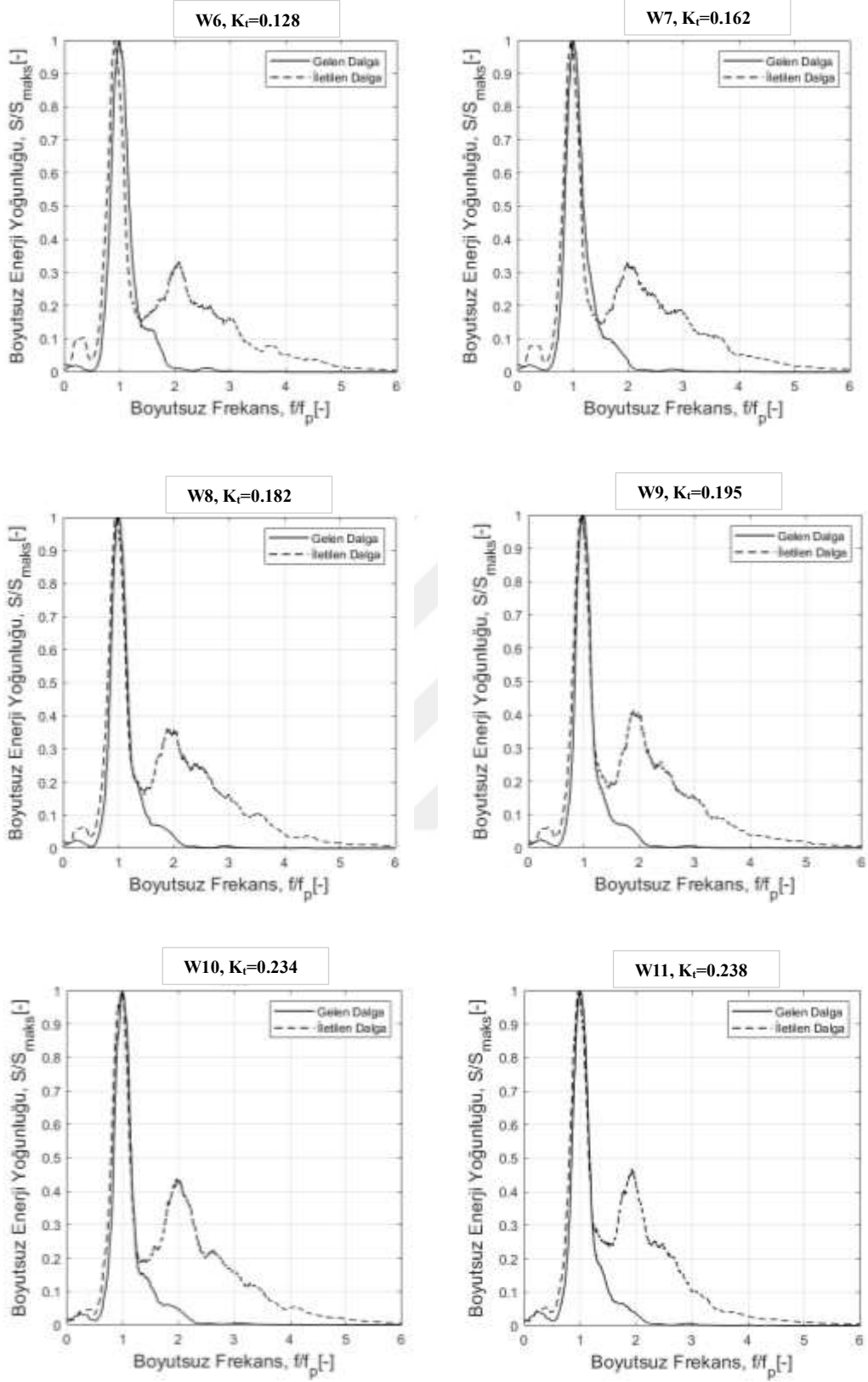
Dalga Hali	W13			
Kret Küp Dizilimi Sırası	Hasar Durumu			
	M ₁	M ₂	D ₁	D ₂
1	5	3	0	0
2	4	0	0	0
3	3	0	0	0
4	4	0	0	0
5	3	0	0	0
6	6	0	0	0
7	4	2	0	0
8	5	3	0	0
9	6	3	0	0
10	4	4	0	0
Toplam	44	15	0	0

C

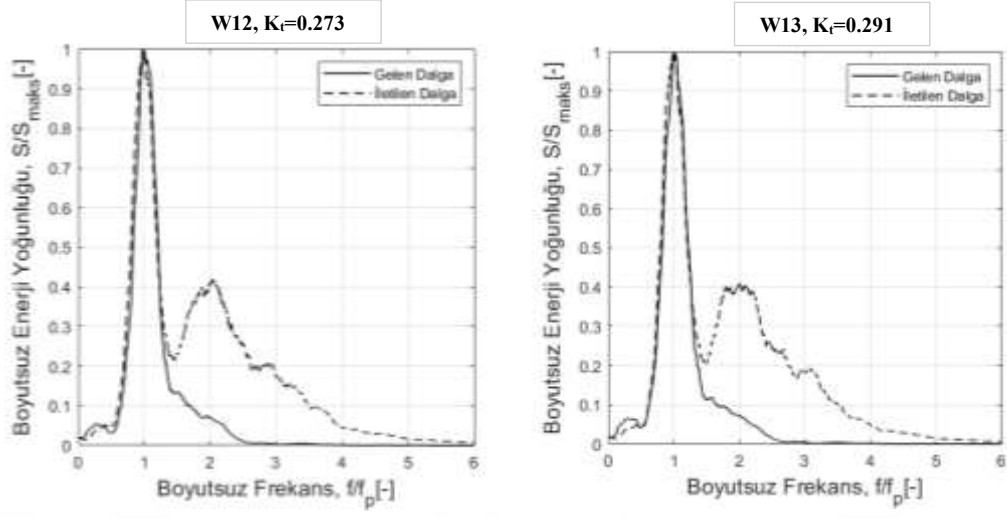
SPEKTRUM GRAFİKLERİ



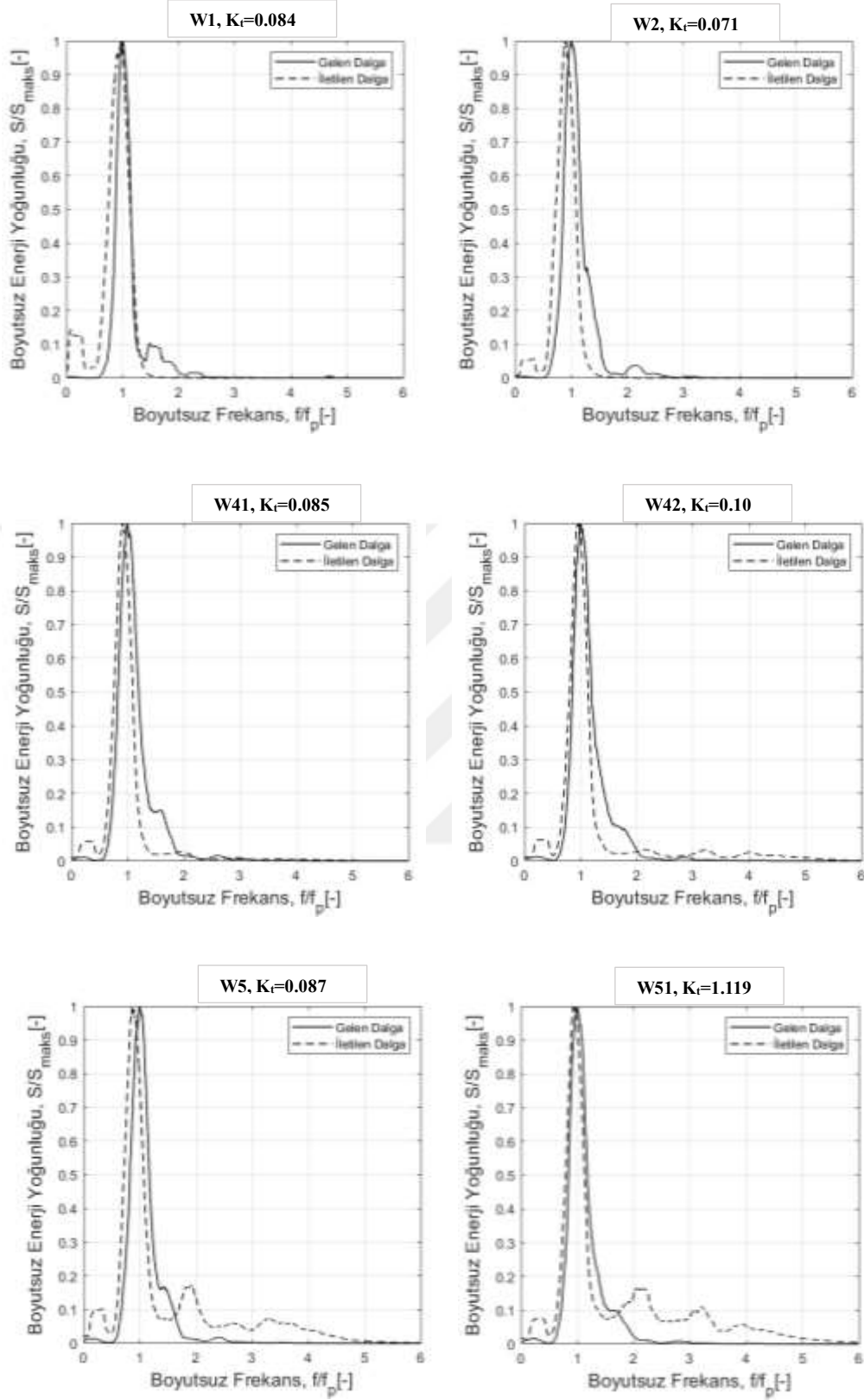
Şekil C.1 $4D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları



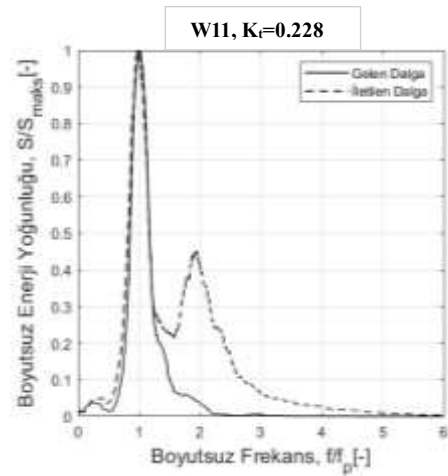
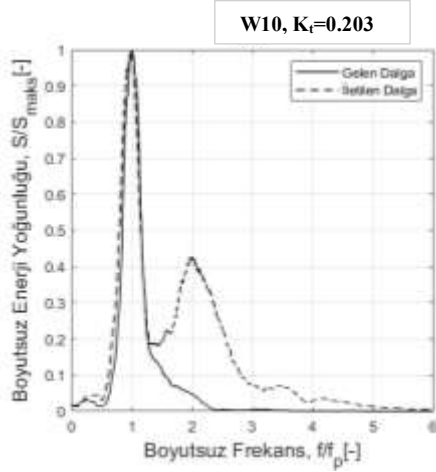
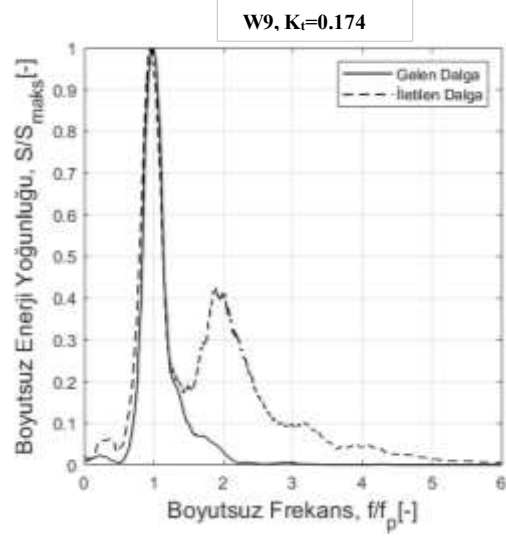
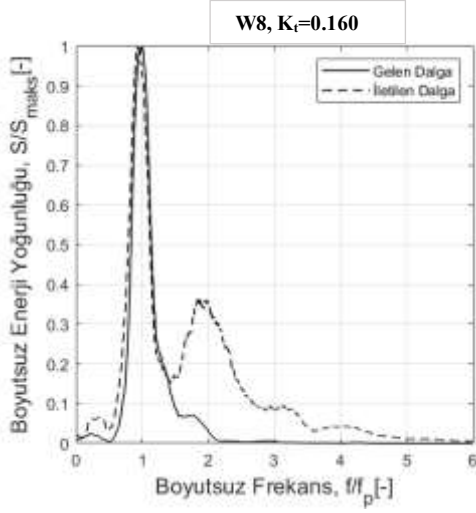
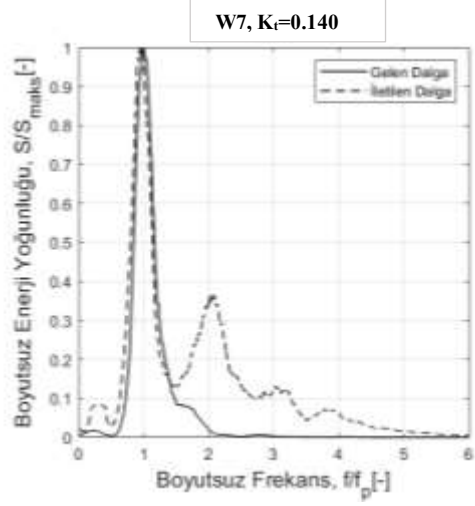
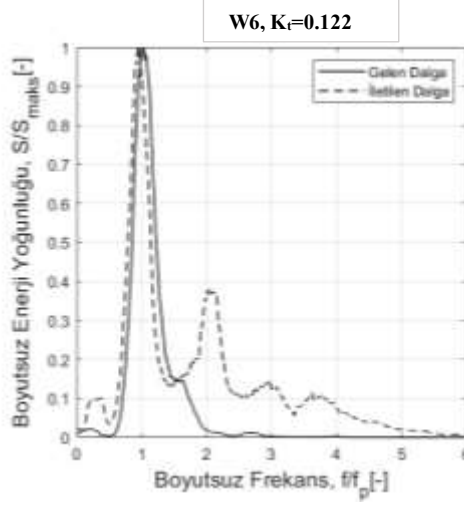
Şekil C.1 $4D_n\Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)



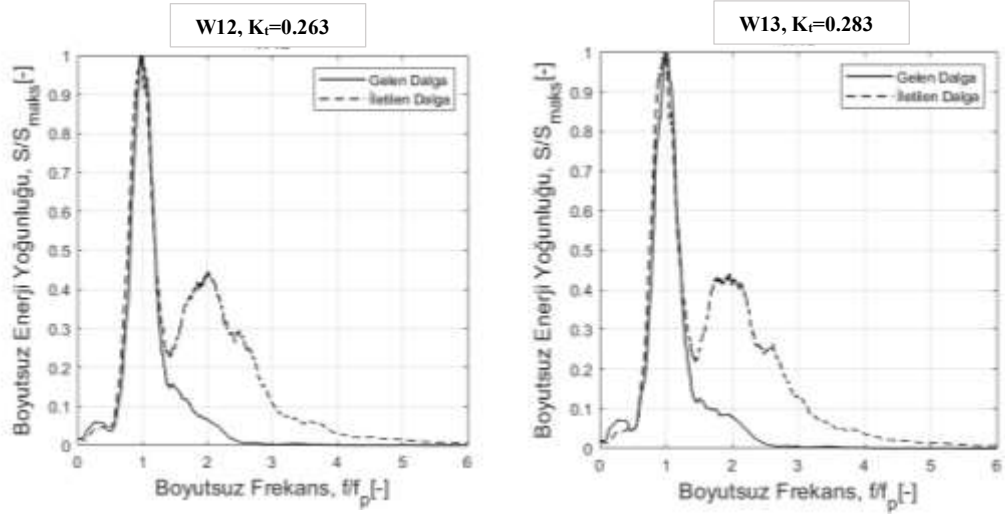
Şekil C.1 $4D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)



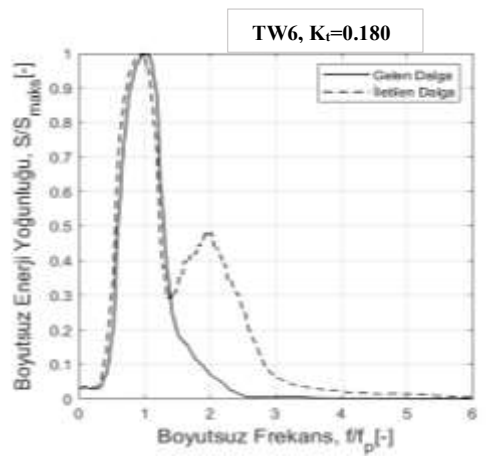
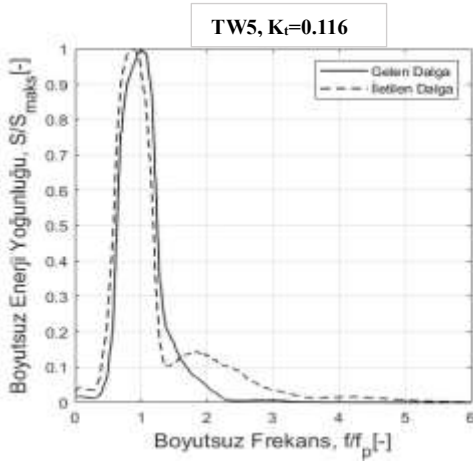
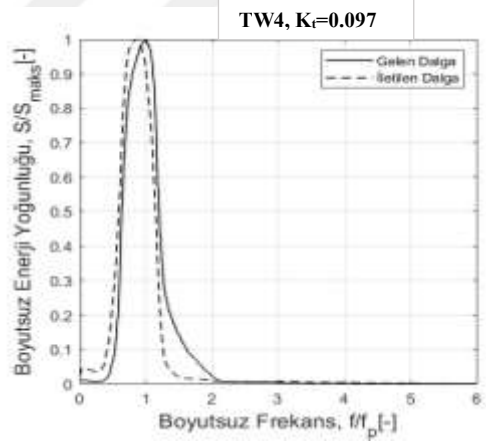
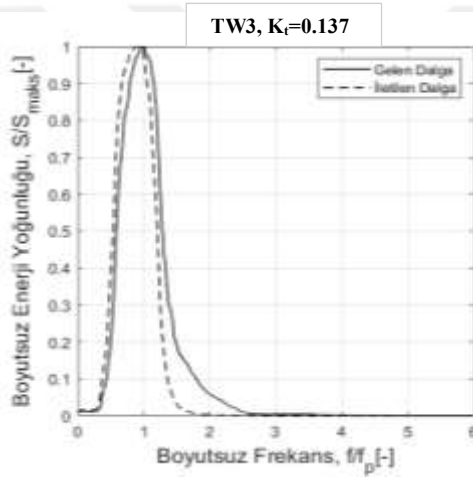
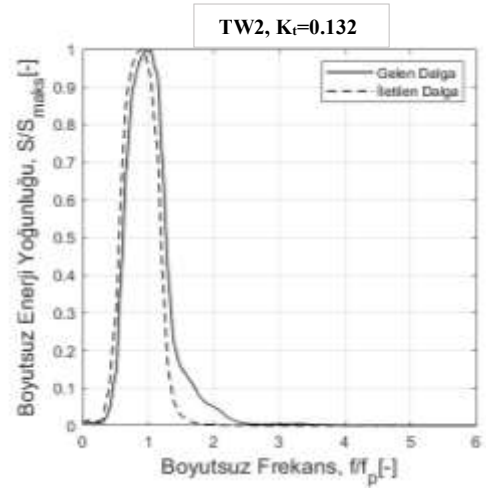
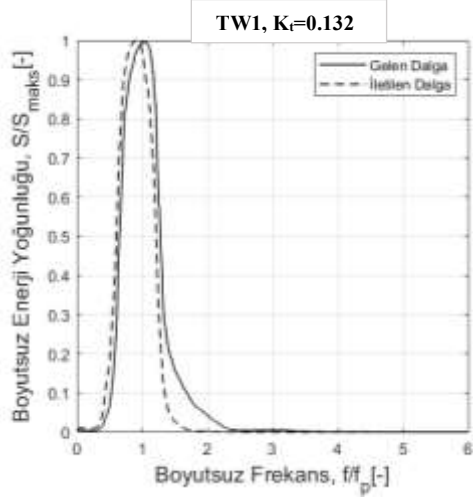
Şekil C.2 $4D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları



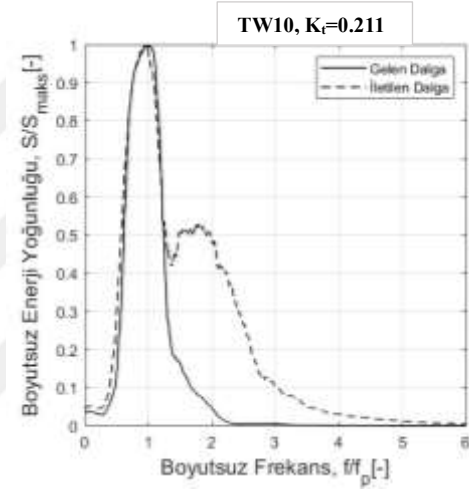
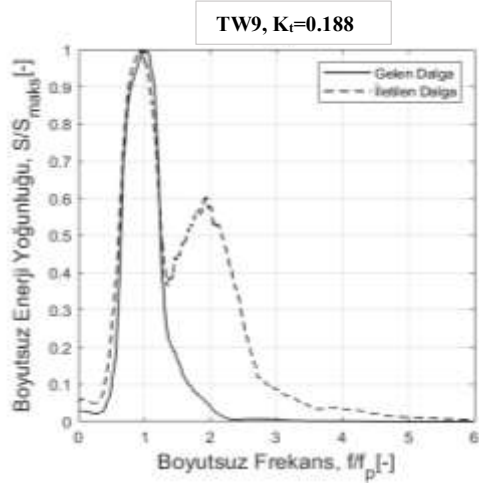
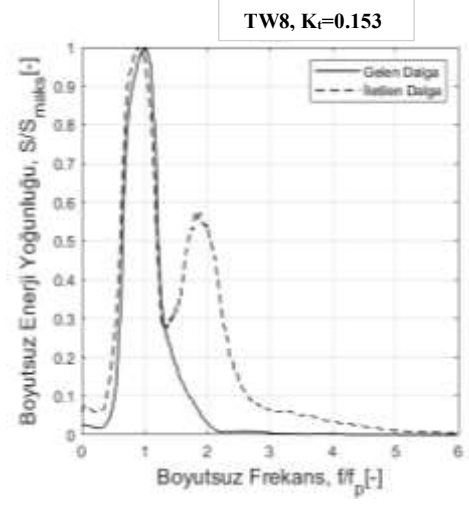
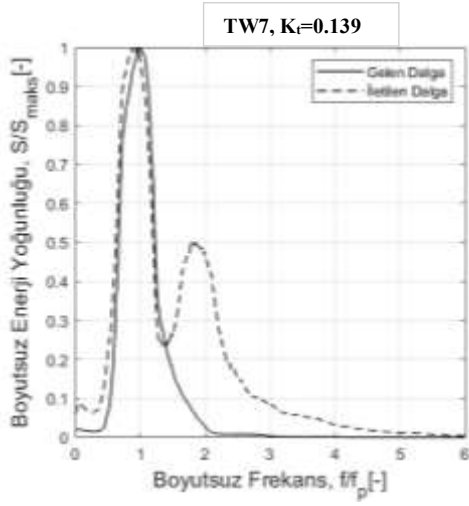
Şekil C.2 $4D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları (devamı)



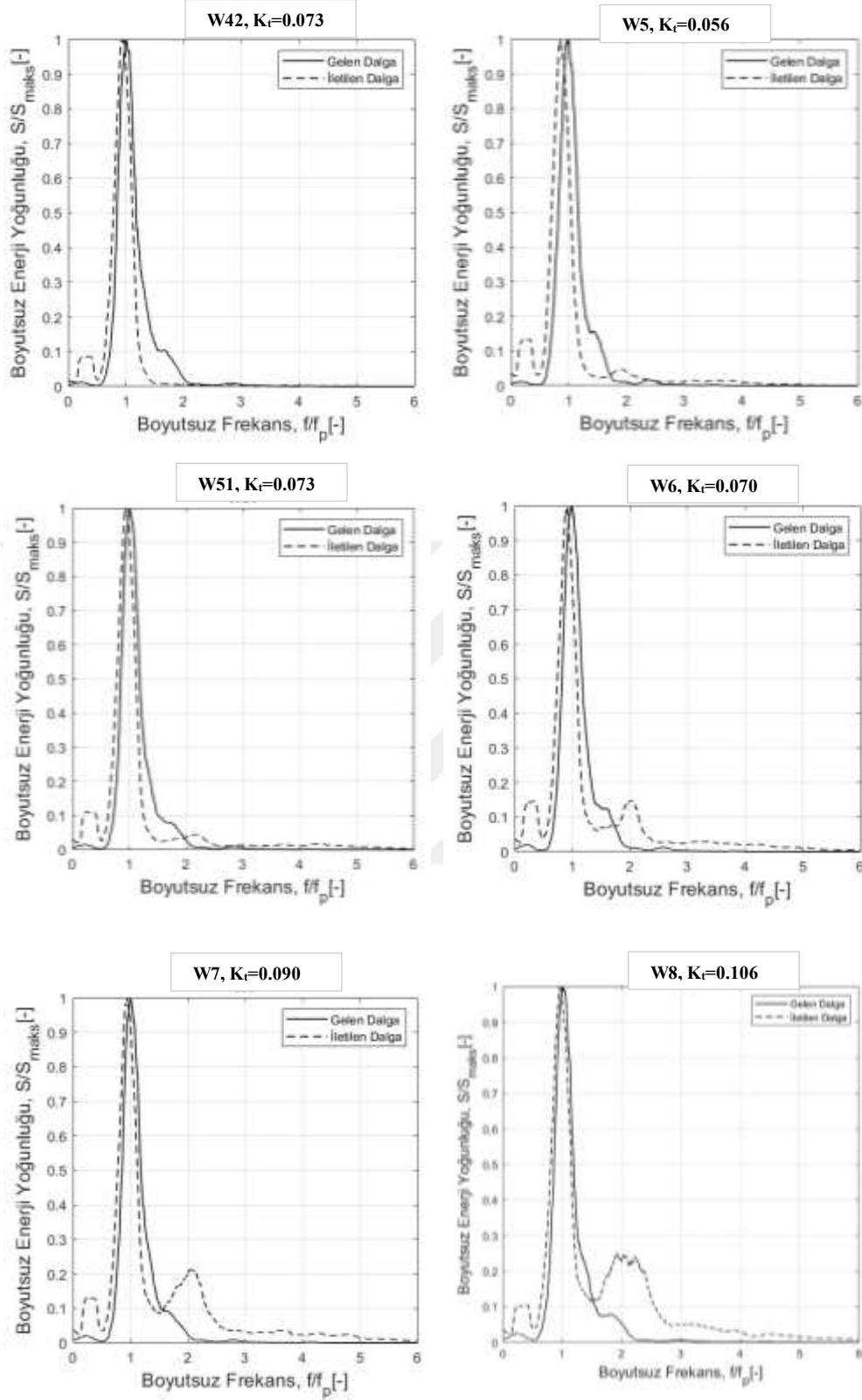
Şekil C.2 $4D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları (devamı)



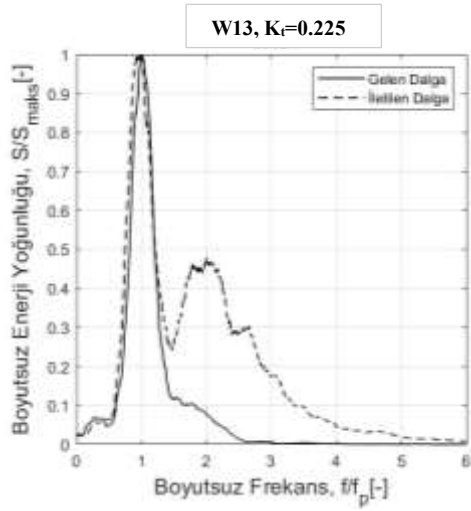
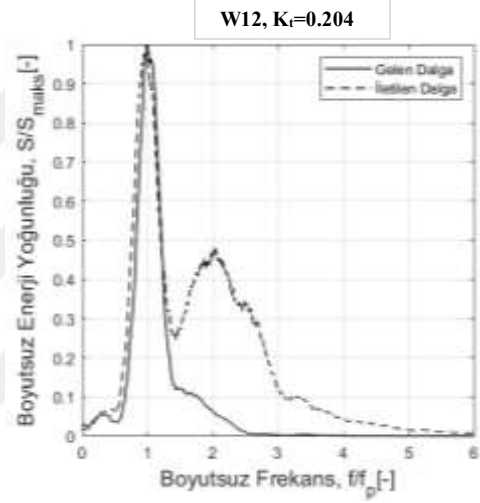
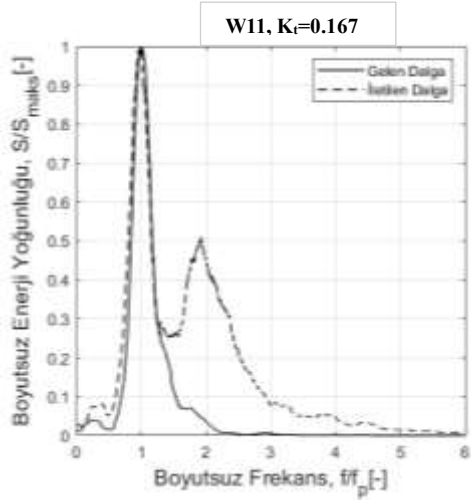
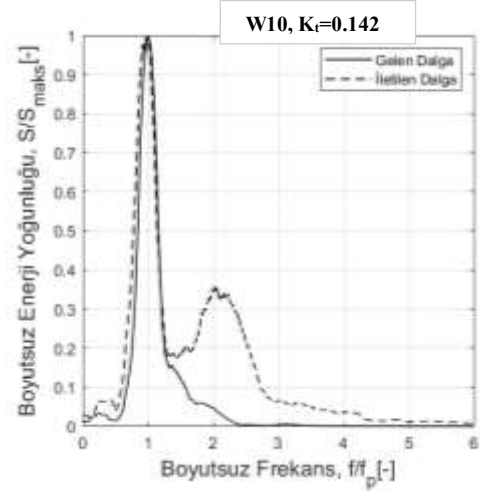
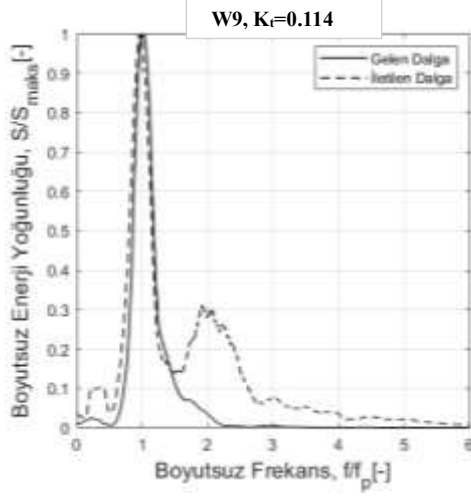
Şekil C.3 $4D_n \Psi_s=0.67$ iletim dalgaları



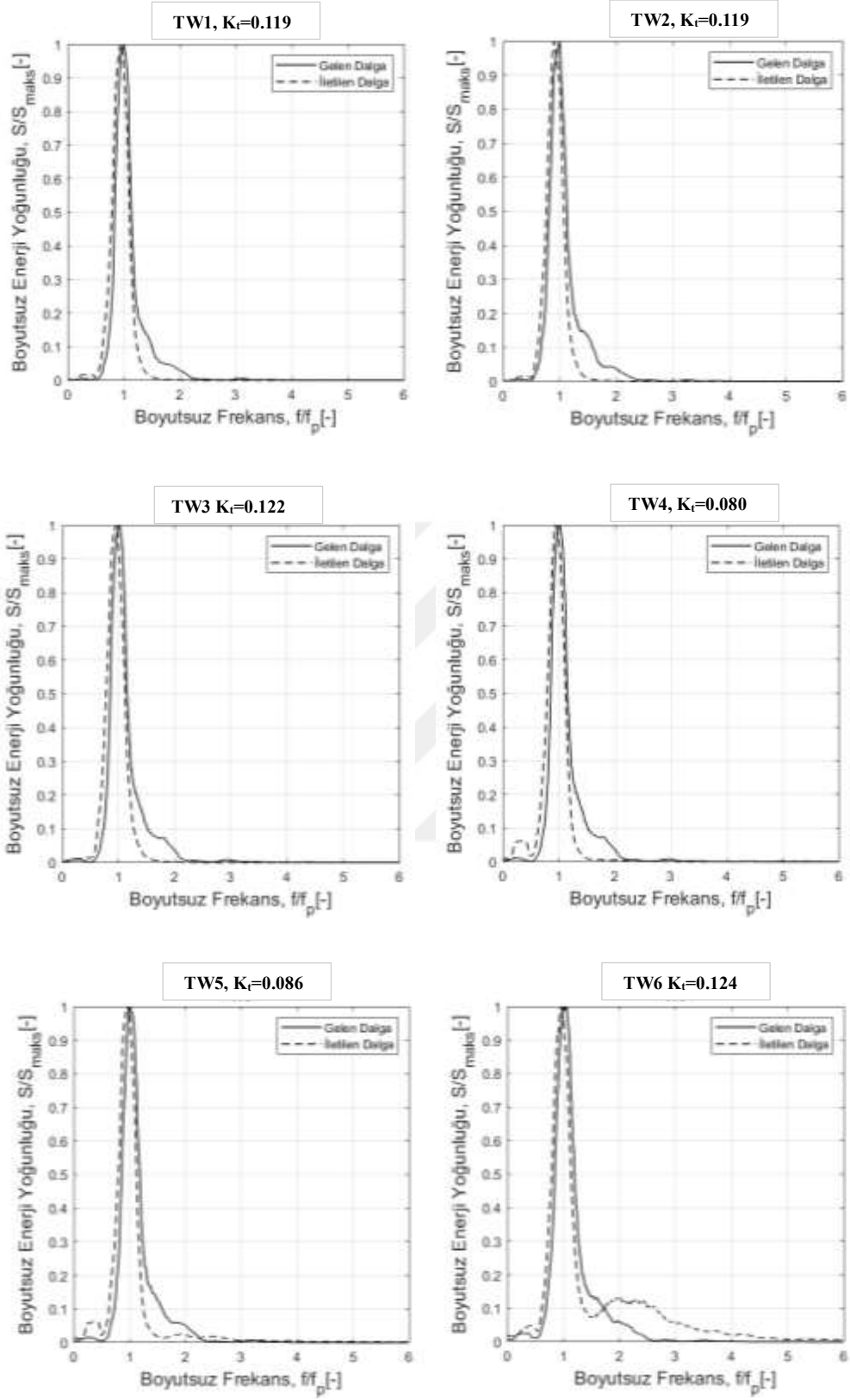
Şekil C.3 $4D_n \Psi_s=0.67$ iletim dalgaları (devamı)



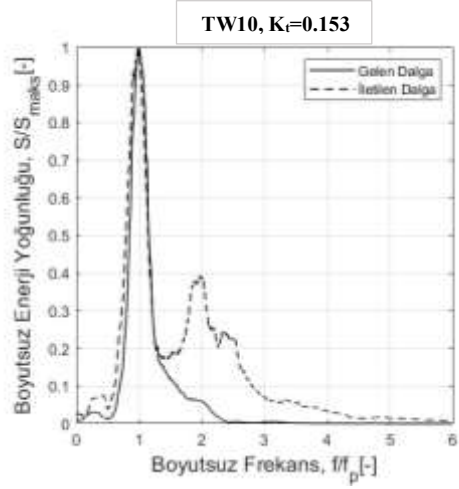
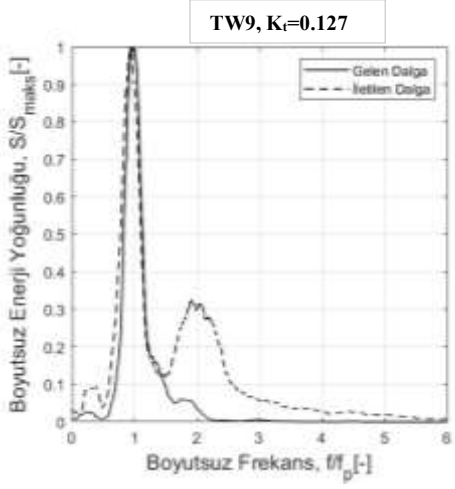
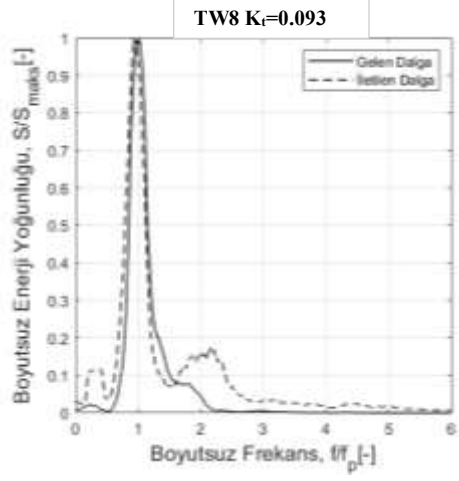
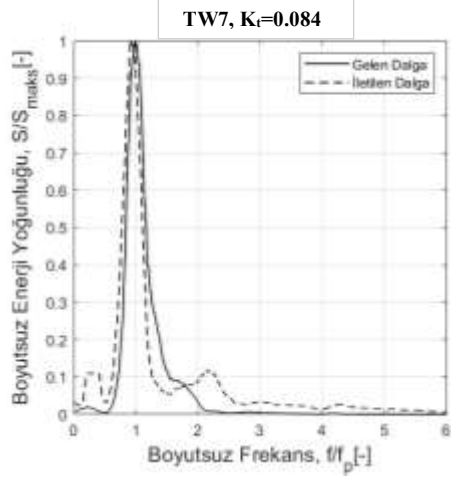
Şekil C.4 $7D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları



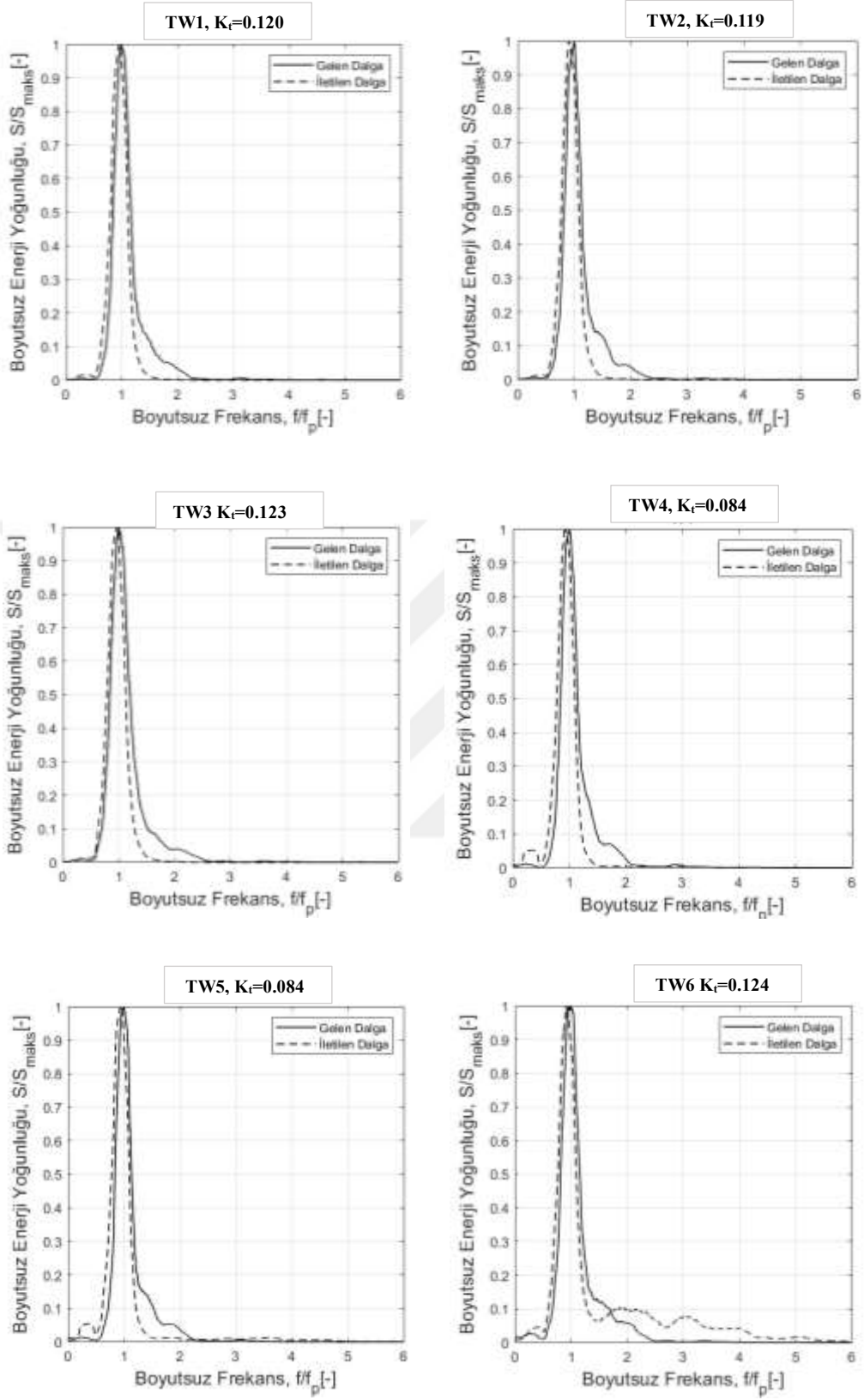
Şekil C.4 $7D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)



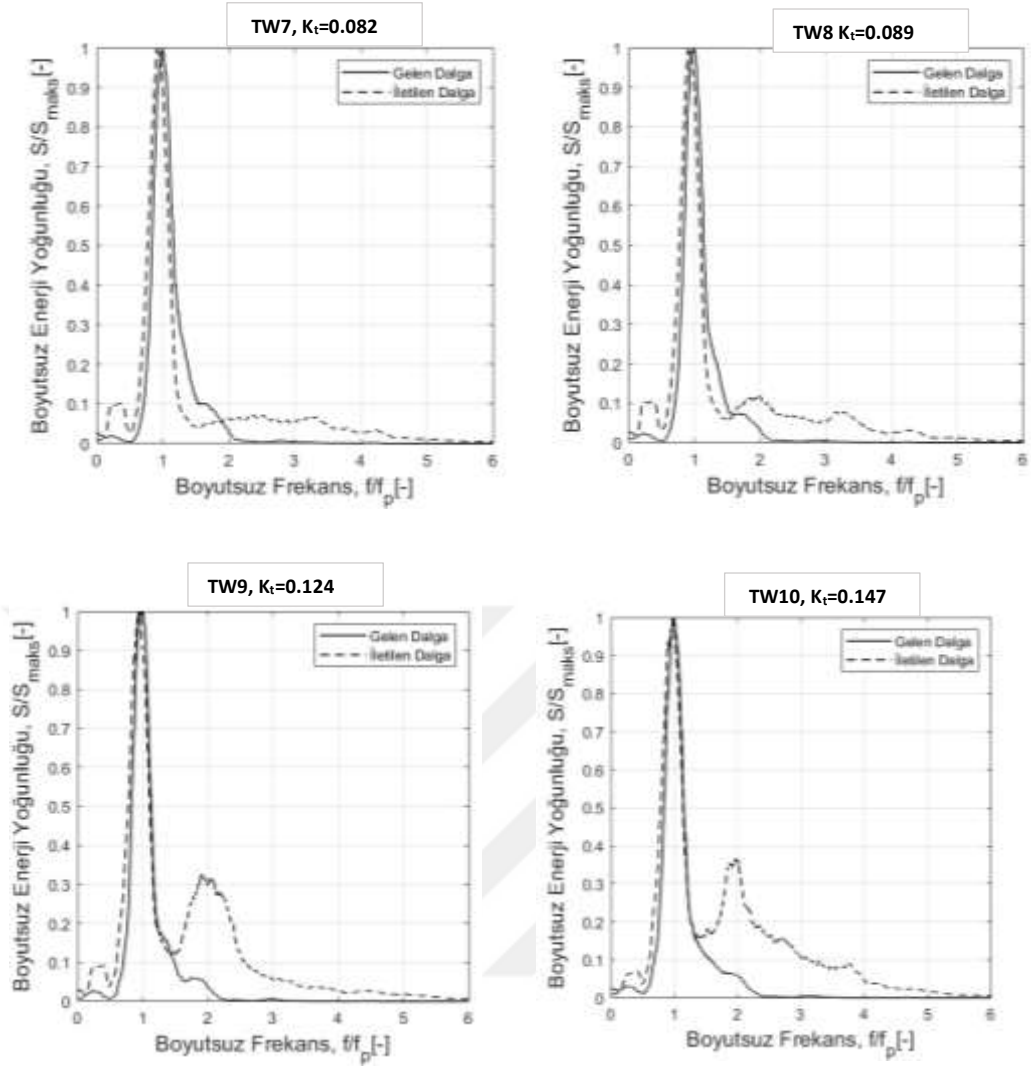
Şekil C.5 $7D_n \Psi_s=0.59$ iletim dalgaları



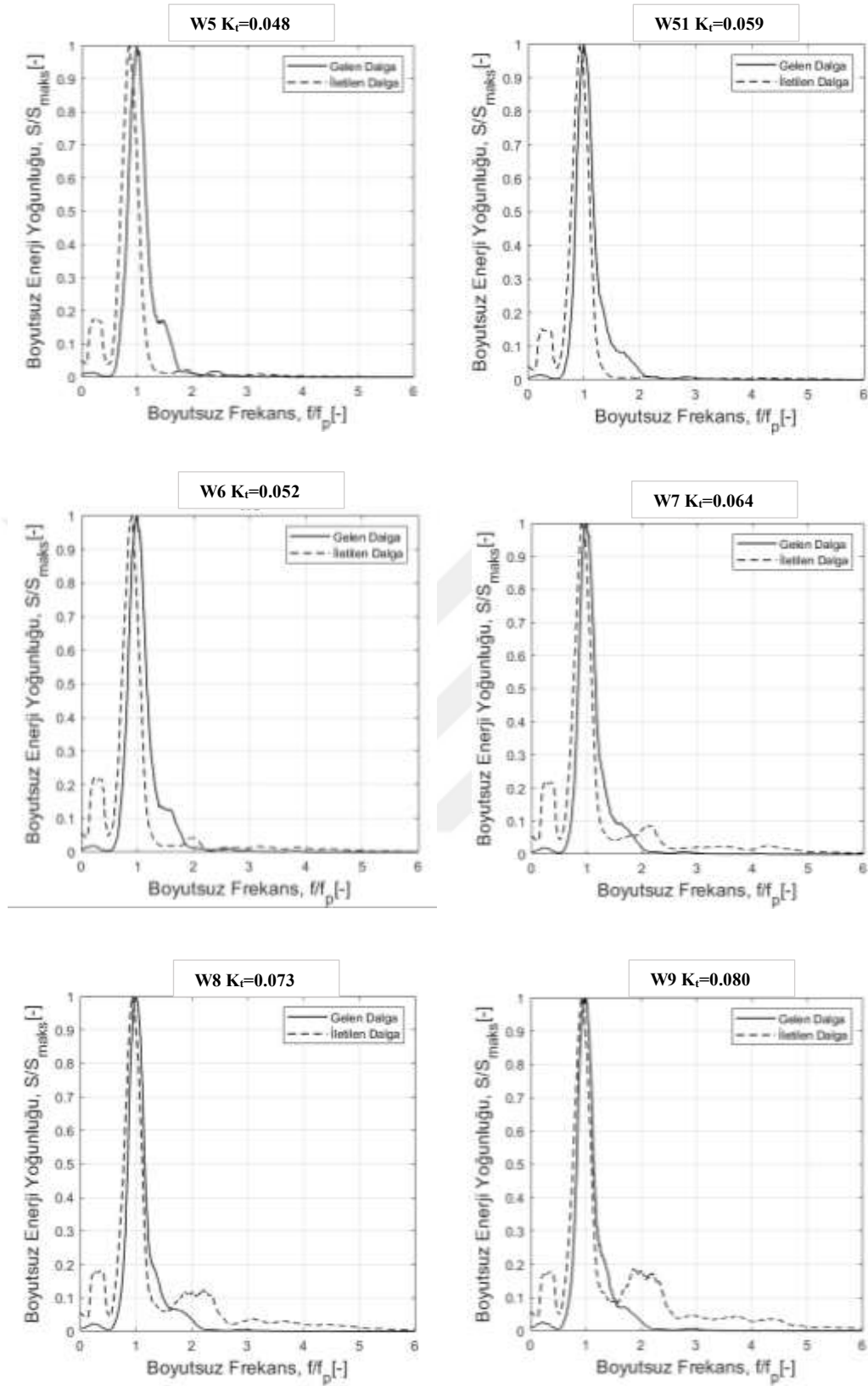
Şekil C.5 $7D_n \Psi_s=0.59$ iletim dalgaları (devamı)



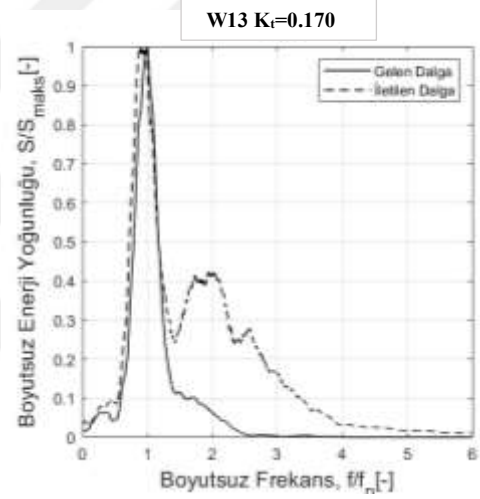
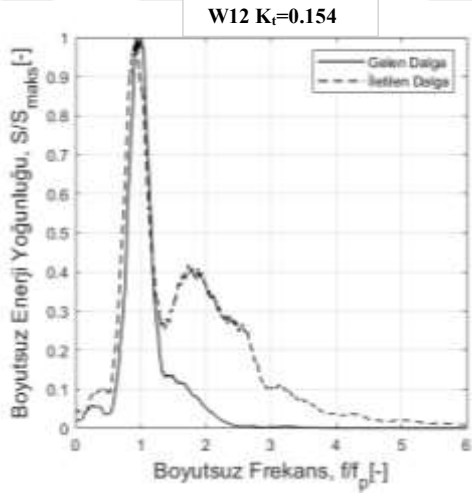
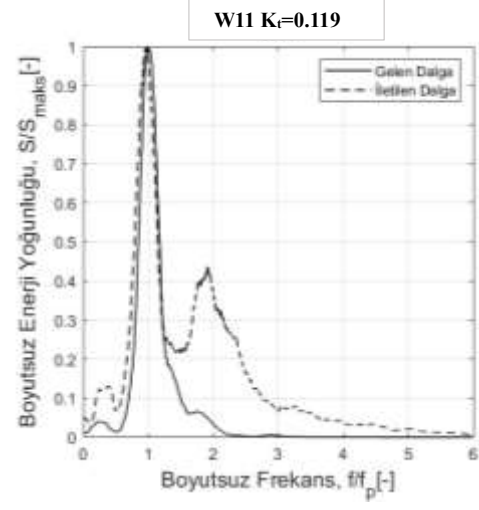
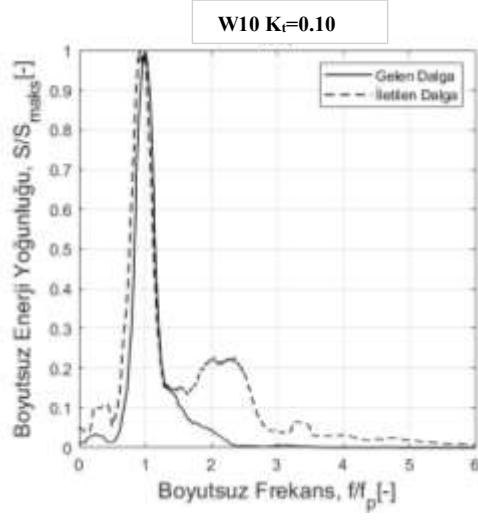
Şekil C.6 $7D_n$ $\Psi_s=0.67$ iletim dalgaları



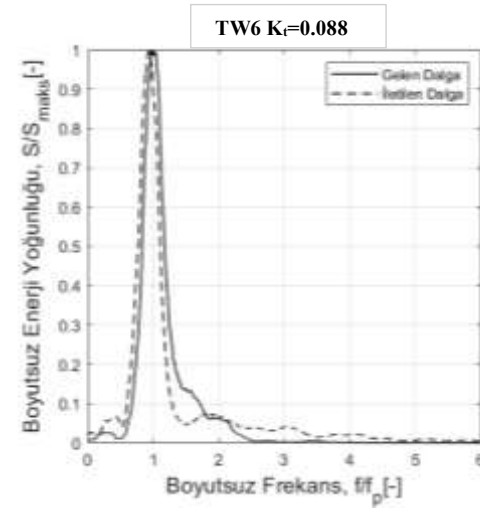
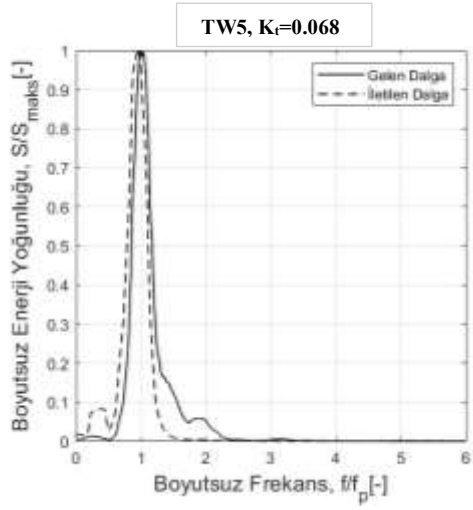
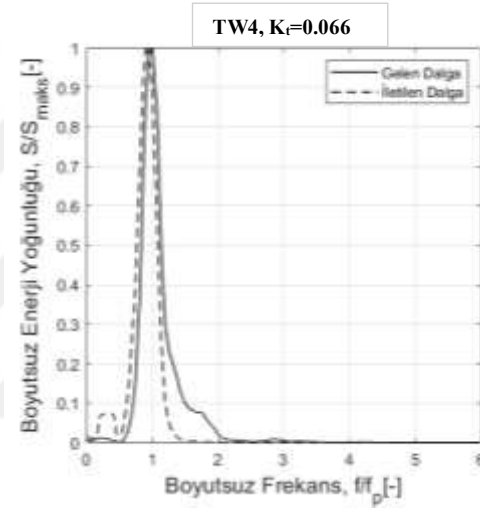
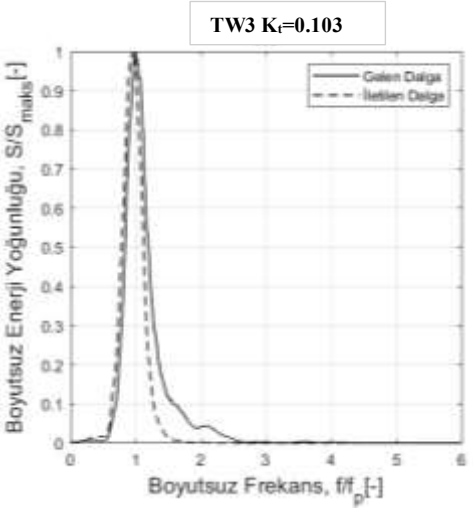
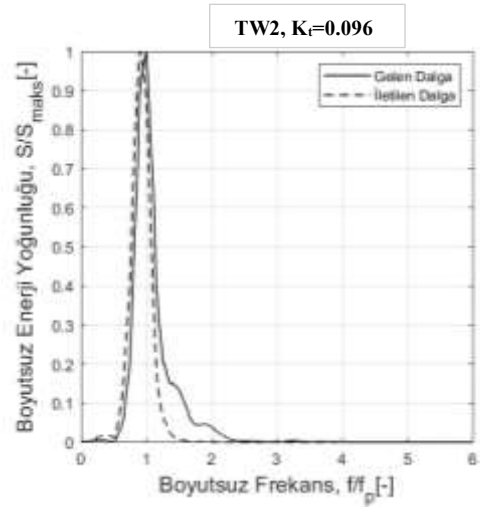
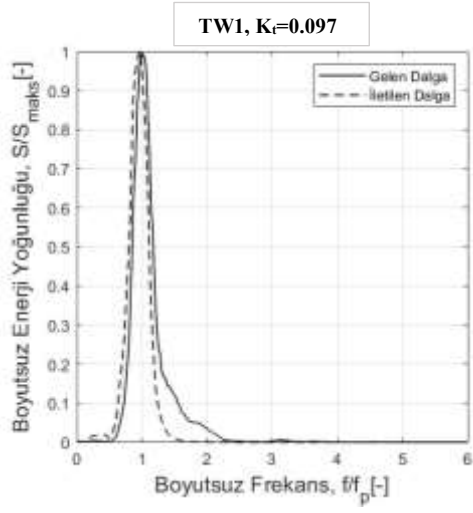
Şekil C.6 $7D_n \Psi_s=0.67$ iletim dalgaları (devamı)



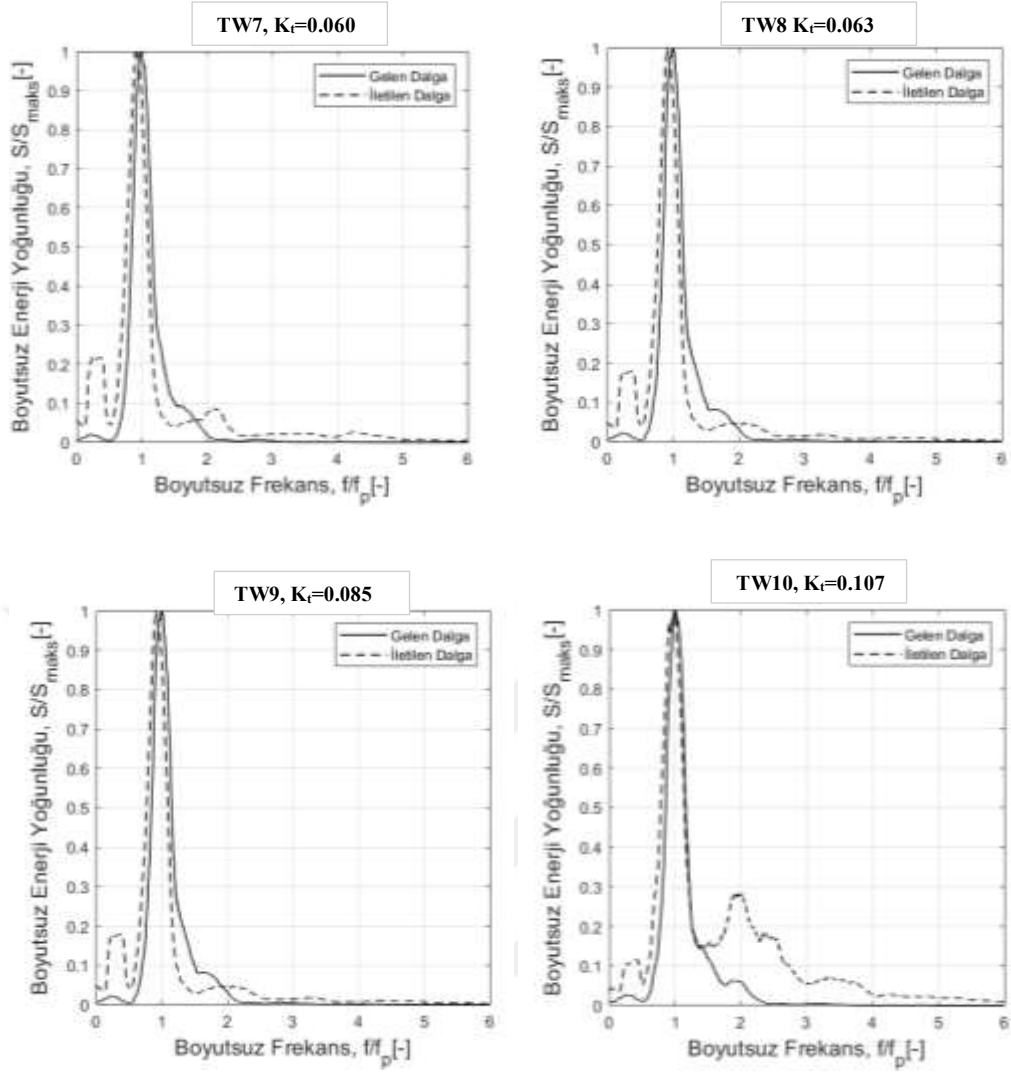
Şekil C.7 $10D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları



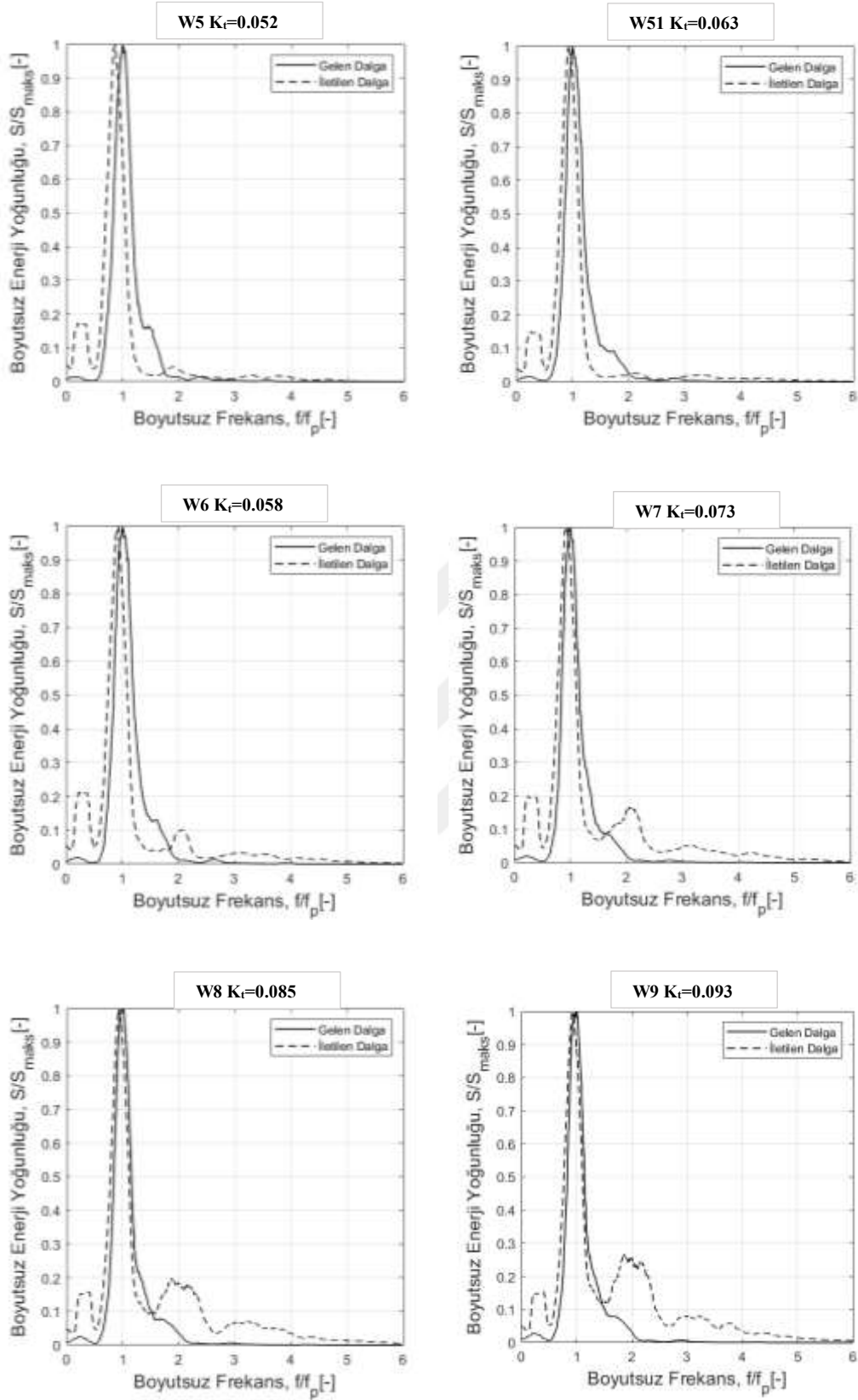
Şekil C.7 $10D_n \Psi_s=0.59$ stabilite dalgaları (devamı)



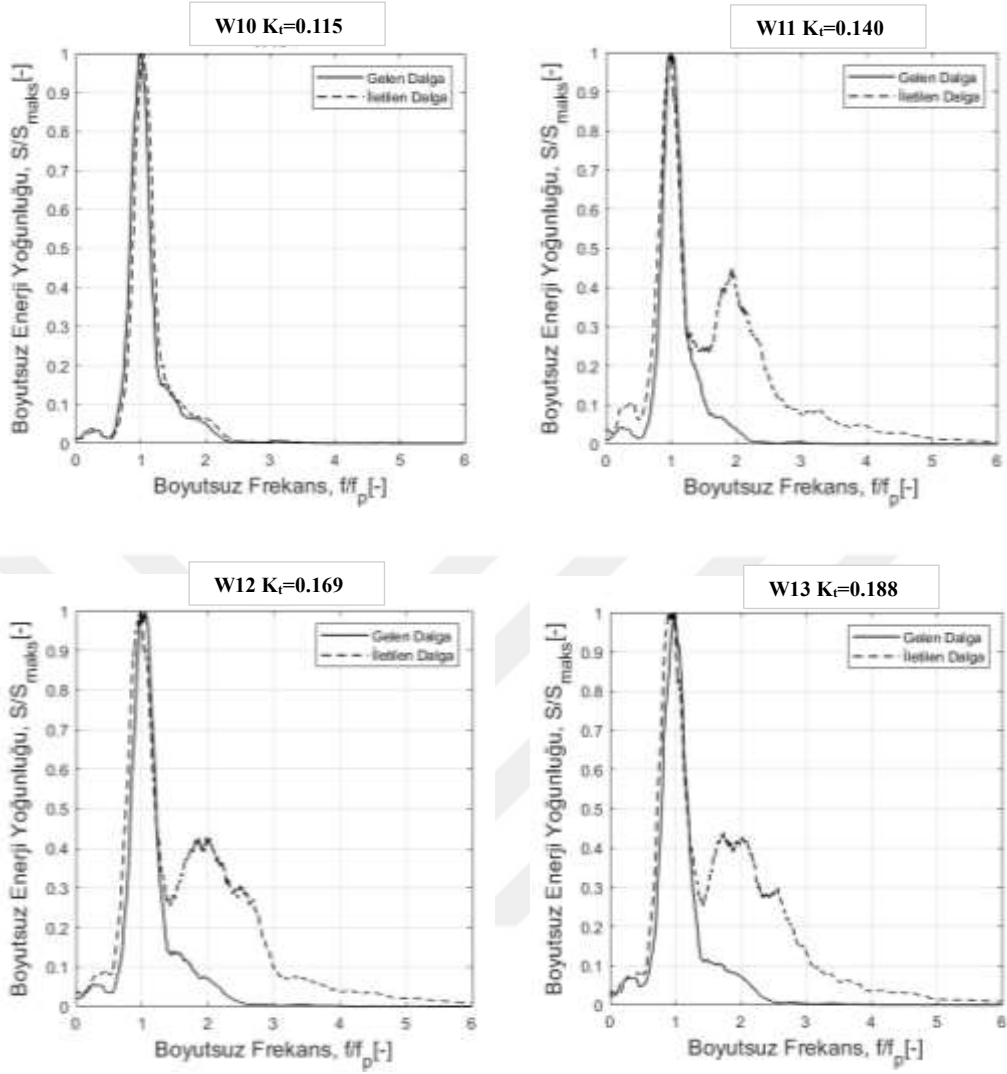
Şekil C.8 $10D_n$ $\Psi_s=0.59$ iletim dalgaları



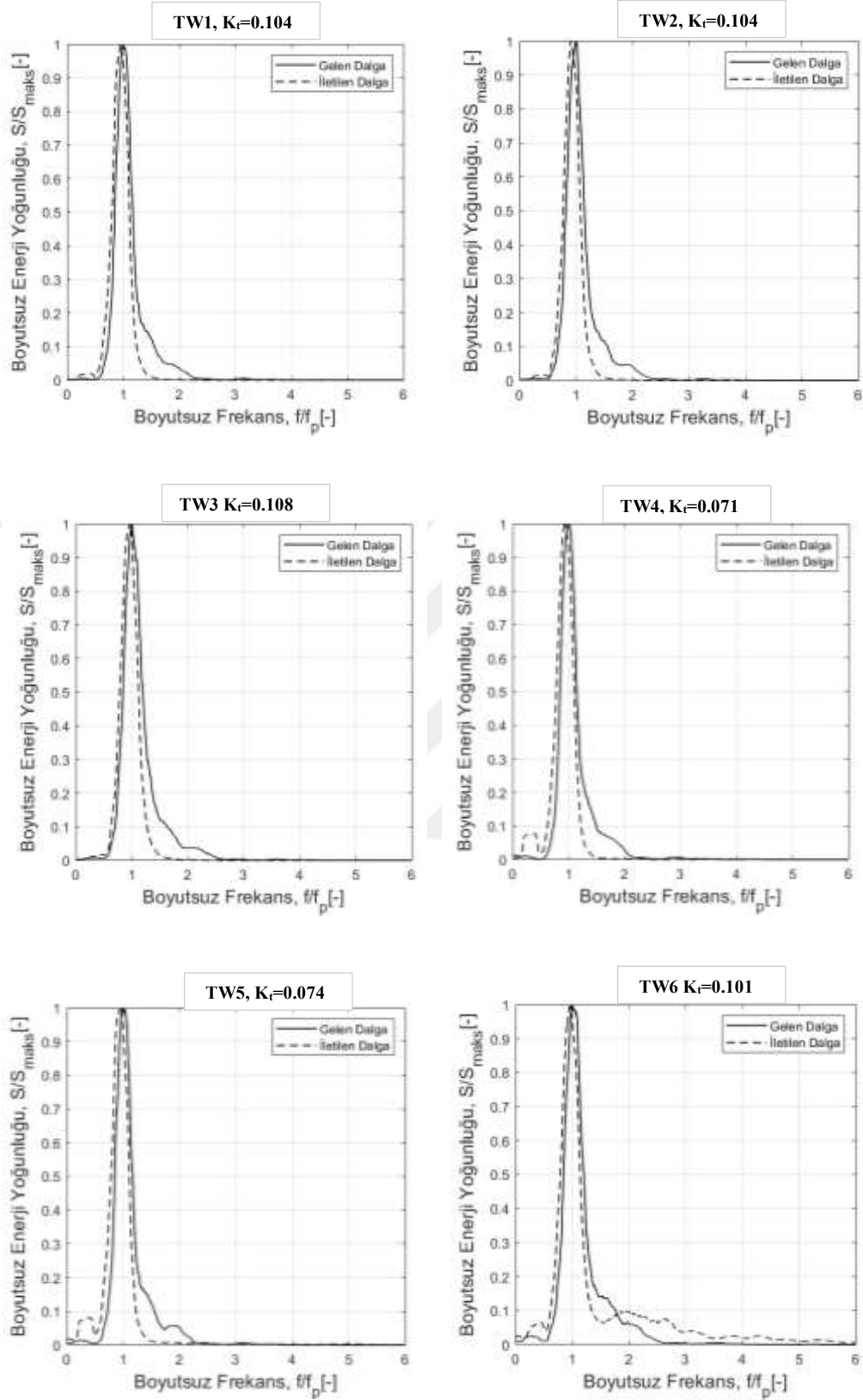
Şekil C.8 $10D_n \Psi_s=0.59$ iletim dalgaları (devamı)



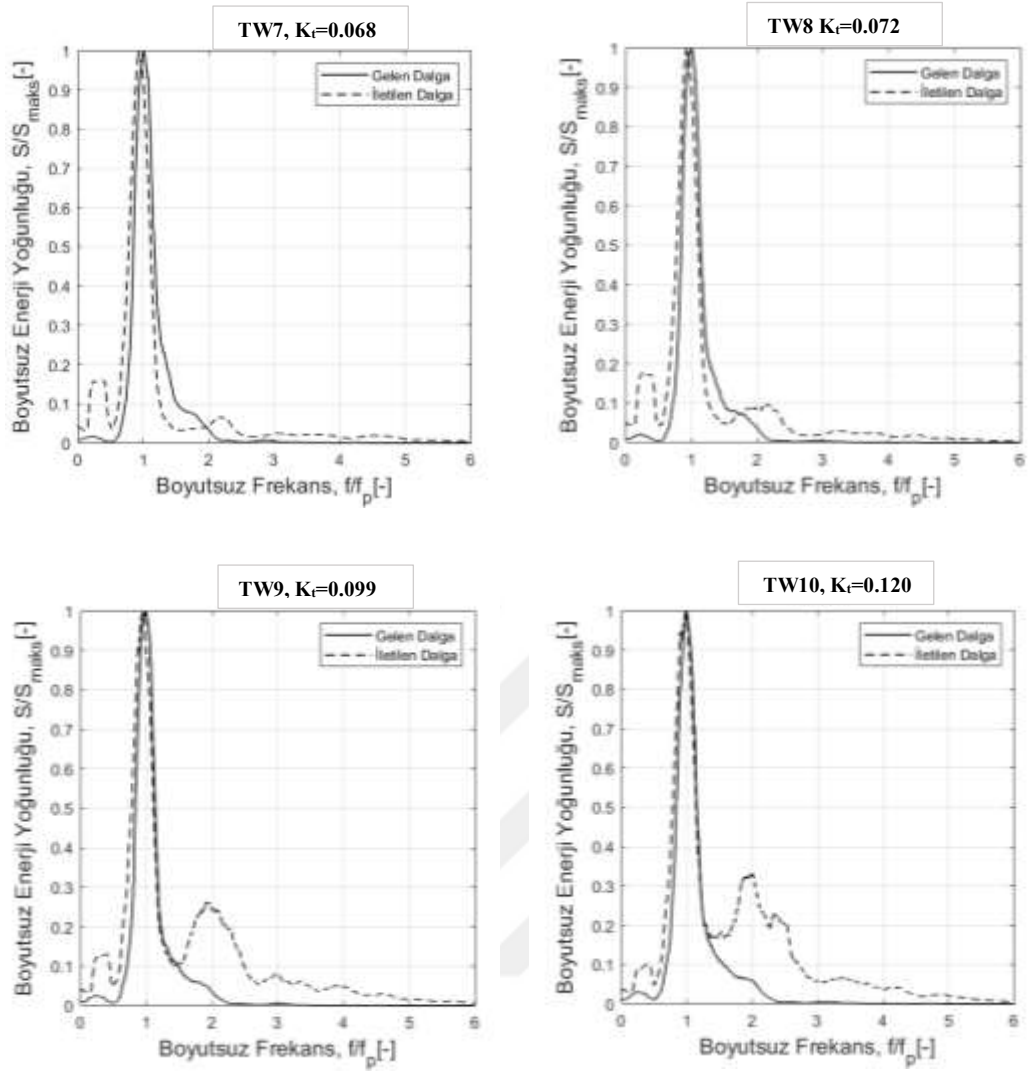
Şekil C.9 $10D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları



Şekil C.9 $10D_n \Psi_s=0.67$ stabilite dalgaları (devamı)



Şekil C.10 $10D_n$ $\Psi_s=0.67$ iletim dalgaları



Şekil C.10 $10D_n \Psi_s=0.67$ iletim dalgaları (devamı)

D

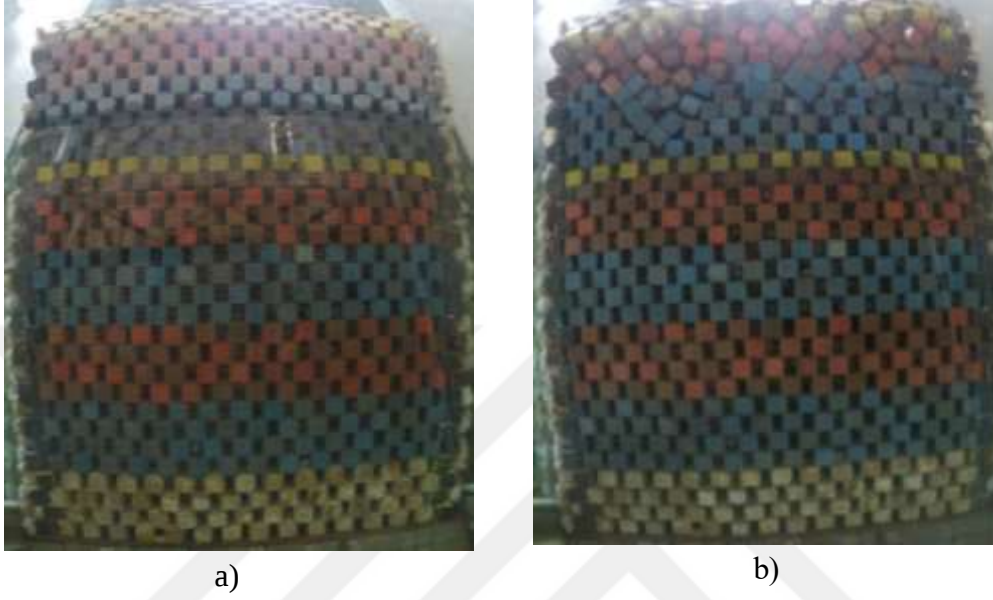
TÜM MODEL DENEYLERİNDE ENERJİ KAYIP KATSAYISI

Tablo D.1 4D_n, 7D_n ve 10D_n kret genişliği ve $\Psi_s=0.59$ sıklıkta enerji kayıp katsayısı değerleri

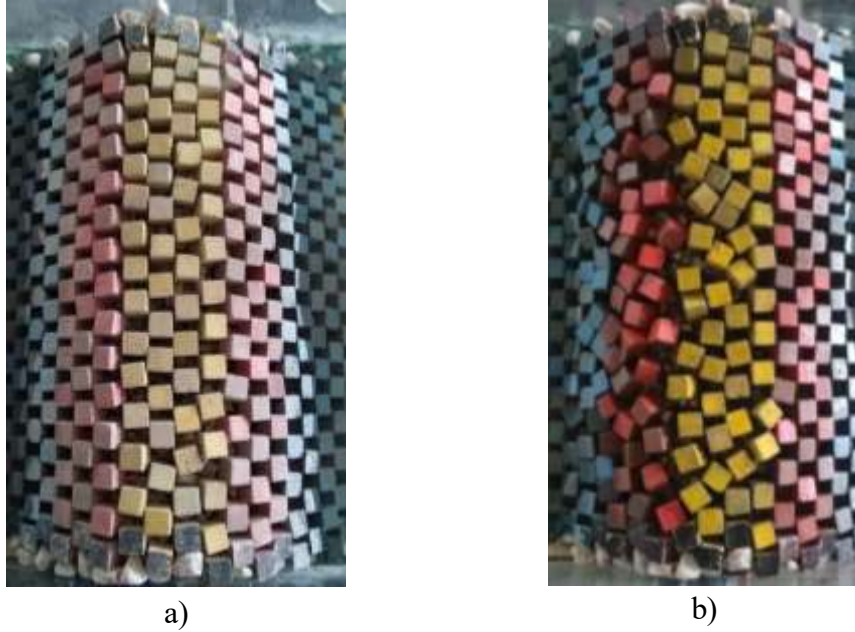
Dalga	4D _n				7D _n				10D _n			
W	K _r	K _t	$\frac{1}{\sqrt{(K_r^2+K_t^2)}}$	R _c /H _{m0}	K _r	K _t	$\frac{1}{\sqrt{(K_r^2+K_t^2)}}$	R _c /H _{m0}	K _r	K _t	$\frac{1}{\sqrt{(K_r^2+K_t^2)}}$	R _c /H _{m0}
W2	0.422	0.074	0.904	2.072	0.411	0.058	0.910	2.061	0.409	0.049	0.911	2.076
W3	0.413	0.062	0.909	1.615	0.404	0.048	0.914	1.588	0.400	0.042	0.916	1.615
W4.1	0.360	0.085	0.929	1.307	0.350	0.067	0.934	1.292	0.374	0.058	0.926	1.301
W4.2	0.395	0.103	0.913	1.202	0.383	0.073	0.921	1.181	0.415	0.064	0.908	1.178
W5	0.344	0.092	0.934	1.140	0.338	0.056	0.939	1.095	0.348	0.048	0.936	1.123
W5.1	0.395	0.126	0.910	1.011	0.387	0.073	0.919	0.978	0.417	0.059	0.907	0.991
W6	0.358	0.128	0.925	0.948	0.349	0.070	0.935	0.911	0.375	0.052	0.926	0.927
W7	0.391	0.162	0.906	0.898	0.382	0.090	0.920	0.864	0.413	0.064	0.908	0.872
W8	0.445	0.182	0.877	0.791	0.437	0.106	0.893	0.761	0.462	0.073	0.884	0.770
W9	0.449	0.195	0.872	0.750	0.438	0.114	0.892	0.721	0.467	0.080	0.881	0.729
W10	0.487	0.234	0.842	0.679	0.477	0.142	0.867	0.651	0.496	0.100	0.863	0.662
W11	0.445	0.238	0.863	0.576	0.439	0.167	0.883	0.547	0.466	0.119	0.877	0.554
W12	0.494	0.273	0.825	0.551	0.486	0.204	0.850	0.532	0.501	0.154	0.852	0.542
W13	0.496	0.291	0.818	0.541	0.488	0.225	0.843	0.521	0.502	0.170	0.848	0.531
TW4					0.438	0.080	0.895	1.262	0.471	0.066	0.880	1.233
TW5					0.483	0.086	0.871	1.003	0.508	0.068	0.859	0.982
TW6					0.493	0.124	0.861	0.809	0.512	0.088	0.854	0.797
TW7					0.390	0.084	0.917	0.944	0.423	0.060	0.904	0.923
TW8					0.430	0.093	0.898	0.844	0.461	0.063	0.885	0.827
TW9					0.462	0.127	0.878	0.721	0.486	0.085	0.870	0.709
TW10					0.471	0.153	0.869	0.650	0.494	0.107	0.863	0.641

E

DENEY MODELLERİNDE HASAR GÖRÜNTÜLERİ



Şekil E.1 $4D_n \Psi_s=0.59$ sıklıkta ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



Şekil E.2 $4D_n \Psi_s=0.59$ sıklıkta krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



a)

b)

Şekil E.3 $7D_n$ $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



a)

b)

Şekil E.4 $7D_n$ $\Psi_s=0.59$ sıkılıkta krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



a)



b)

Şekil E.5 $10D_n$ $\Psi_s=0.59$ sıklıkta ön şevde küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası



a)



b)

Şekil E.6 $10D_n$ $\Psi_s=0.59$ sıklıkta krette küp bloklarda hasar. a) Kesitin ilk hali, b) Hasar sonrası

TEZDEN TÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. İşsever D., Gümüş S., Çevik E., Yüksel Y., (2023). Düşük Kretli Dalgakıranlarda Dalga İletiminin İncelenmesi. 10. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu (s. 509-517). İzmir, Türkiye.
2. Gümüş S., İşsever D., Çevik E., Yüksel Y., (2023). Wave Transmission on Low Crested Cube Breakwaters. 10th Short Course/Conference on Applied Coastal Research. İstanbul, Türkiye.

