

TC
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASAMAKLI DALGAKIRANLARDA DALGA AŞMASININ
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Şule ARUKAN

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

Danışman
Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Temmuz, 2019

TC
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASAMAKLI DALGAKIRANLARDA DALGA AŞMASININ
DENEYSEL ARAŞTIRILMASI

Şule ARUKAN tarafından hazırlanan tez çalışması 11.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda 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

Doç. Dr. V.Ş. Özgür KIRCA, Üye

İstanbul Teknik Üniversitesi

Danışmanım Prof. Dr. Esin ÇEVİK sorumluluğunda tarafımca hazırlanan “Basamaklı Dalgakıranlarda Dalga Aşmasının Deneysel Araştırılması” başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer 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.

Şule ARUKAN

İmza

“Belki efsane oluruz, belki de olmayız.

Ama hayır diyorum, dur bir dakika.

Kimse İncil’leri yazmamış olsa

İsa’yı bugün kim hatırlardı?”

C.P.

Anneme, Babama ve

Kardeşim Zeynep’e

Geleneksel dalgakıranların geliştirilmesi sonucunda ortaya çıkan basamaklı dalgakıranlar kıyı mühendisliği disiplininin önemli bir çalışma konusudur. Bu çalışmada alt sevi ve basamağı küp beton ve üst sevi taş koruma elemanlarından oluşan, farklı basamak genişlikleri, farklı kret hava payları ve su seviyesine göre farklı basamak konumlarına sahip basamaklı dalgakıran modellerinin düzensiz dalga etkisi altında dalga aşma ve yansıma performansları deneysel olarak araştırılmıştır.

Varoluşsal sancılar içinde boş duvarları izlemek ile sadece uyumayı istemek arasında yazdığım bu tez bana zaman yönetimini öğretememiş olsa da -ki bu mucize olurdu- birçok teorik bilginin yanında bazı şeylerin uzun vadede sonuçlanabileceğini, bu yüzden sabırlı olmak gerektiğini öğretti.

Ve bu -uzun- süreçte beni sakince ve sabırla hizada tutan, yardımlarını, tecrübesini ve güleryüzünü esirgemeyen, yalnızca akademik değil her anlamda hayatıma katkıda bulunan sevgili danışman hocam Prof. Dr. Esin ÇEVİK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans hayatımın başından sonuna kadar, bütün tecrübesi ve bilgi birikimini paylaşan, hepimizi evladı gibi kabul eden kıymetli hocam sayın Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e teşekkürü bir borç bilirim.

Laboratuvarda yaşadığımız aylar boyunca tüm gevezeliklerimi çeken güzel arkadaşlarım Ahmet ALTUNSU ve Özge GÜLVER'e, tüm mızımızlanmalarına katlanan sevgili 1Betül ÖZCAN'a, Aqıl KAZIMOV'a ve Oğuzhan Murat HALAT'a, Kıyı ve Liman Mühendisliği Programı'ndaki tüm hocalarıma ve yolu düşmüş arkadaşlarıma, ne zaman bunalsam beni telkin eden, hep güzel hayallere sahip ve onlara kalbinin en derinlerinden inanan anneme, sevgisini ve desteğini hep hissettiren, akılcı, pratik ve nazik olmayı gösteren babama ve bu süreçte bütün yükümü omzumdan alan kardeşim Zeynep'e müteşekkirim.

Şule ARUKAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ.....	X
KISALTMA LİSTESİ.....	XIV
ŞEKİL LİSTESİ	XV
TABLO LİSTESİ.....	XXVIII
ÖZET	XXX
ABSTRACT	XXXII
1 Giriş	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Hipotez	3
2 Basamaklı Dalgakıranlar.....	5
2.1 Dalgakıranların Tanımı ve Sınıflandırılması	5
2.2 Dalgakıranlarda Beton Elemanlar.....	8
2.3 Basamaklı Dalgakıranlar	15
2.4 Basamaklı Dalgakıranların Sınıflandırılması.....	18
2.5 Hidrolik Performans.....	24
2.5.1 Dalga Tırmanması ve Geri Çekilmesi.....	24
2.5.2 Dalga Aşması.....	25
2.5.3 Yansıma	25
2.5.4 Dalga İletimi.....	26
2.6 Basamaklı Dalgakıranlarında Dalga Aşması.....	27

2.6.1 Aşma Tipleri.....	27
2.6.2 Sıfır Aşma.....	28
2.6.3 Dalga Aşması Süreci ve Tehlikeleri.....	28
2.6.4 Tolerans Debileri.....	30
2.6.4.1 Dalga Yüksekliğinin Tolerans Aşma Debisine Etkisi.....	35
2.6.4.2 Yapısal Tasarım için Tolerans Aşma Debileri.....	36
2.6.5 Basamaklı Dalgakıranlar için Dalga Aşma Modelleri.....	39
2.6.5.1 Van der Meer ve Janssen Formülü (1994).....	39
2.6.5.2 Lykke Andersen Formülü (2006).....	42
2.6.5.3 EurOtop Formülü (2007)	45
2.6.5.4 Yapay Sinir Ağı (YSA)	47
2.6.5.5 Krom Formülü (2012).....	48
2.6.5.6 Van der Meer ve Sigurdarson Formülü (2012).....	49
2.6.5.7 EurOtop (2016) ve Van der Meer ve Sigurdarson (2017).....	50
3 Deneysel Çalışma	65
3.1 Modelleme	65
3.2 Ölçek Etkileri ve Metodoloji	69
3.2.1 Model ve Ölçüm Etkileri.....	73
3.2.2 Metodoloji.....	74
3.3 Deney Sistemi	75
3.3.1 Dalga Kanalı ve Üreteci	75
3.3.2 Dalga Üretimi ve Dalga Ölçüm Sistemi.....	79
3.3.2.1 Çevresel Şartlar.....	82
3.3.3 Basamaklı Dalgakıran Modelleri	84

3.3.4 Modele Ait Yapısal Parametreler	95
3.3.4.1 Koruma Tabakası	95
3.3.4.2 Alt Tabaka	100
3.3.4.3 Arka Şev	101
3.3.5 Aşma Ölçüm Sistemi	101
3.3.6 Deney Yöntemi	103
4 Değerlendirme.....	118
4.1 Dalga Yansıması.....	118
4.1.1 Basamak Su Seviyesinin Üzerinde (Su Derinliği 0.45 m) ($-d_b/d < 0$)	122
4.1.2 Basamak Su Seviyesinde (Su Derinliği 0.55 m) ($d_b/d = 0$).....	126
4.1.3 Basamak Su Seviyesinin Altında (Su Derinliği 0.65 m) ($d_b/d > 0$) ..	129
4.2 Dalga Aşması.....	132
4.2.1 Basamak Su Seviyesinin Üzerinde, BSÜ (Su Derinliği 0.45 m) ($-d_b/d < 0$).....	132
4.2.1.1 Basamak Genişliği $3D_n$	132
4.2.1.2 Basamak Genişliği $5D_n$	137
4.2.2 Basamak Su Seviyesinde, BSS (Su Derinliği 0.55 m) ($d_b/d = 0$)	141
4.2.2.1 Basamak Genişliği $3D_n$	141
4.2.2.2 Basamak Genişliği $4D_n$	142
4.2.2.3 Basamak Genişliği $5D_n$	147
4.2.3 Basamak Su Seviyesinin Altında, BSA (Su Derinliği 0.65 m) ($d_b/d > 0$)	153
4.2.3.1 Basamak Genişliği $3D_n$	153
4.2.3.2 Basamak Genişliği $4D_n$	154

4.2.3.3 Basamak Genişliği $5D_n$	155
4.2.4 Aynı Kret Hava Payı için Basamak Konumunun Etkisinin Araştırılması	162
4.2.5 Aynı Kret Hava Payı ve Aynı Su Derinliği için Farklı Basamak Genişliğinin Etkisi	167
4.2.6 Tüm Aşma Verilerinin Değerlendirilmesi	171
4.2.7 Farklı Azaltma Faktörü Etkilerinin Değerlendirilmesi	173
4.2.8 Çalışmada Kullanılan Modeller için Basamak Azaltma Faktörünün Belirlenmesi	178
4.2.8.1 Periyot Parametresi Etkisi	178
5 Sonuç ve neriler	204
KAYNAKLAR	209
A Farklı Su Derinliklerine Ait Model Verileri	213
TEZDEN RETİLMİş YAYINLAR	276

SİMGE LİSTESİ

γ	Diklik parametresi
γ_b	Basamak azaltma faktörü
γ_{BB}	Basamak azaltma faktörü
$\gamma_{BB,EO}$	Basamak azaltma faktörü (EurOtop (2016) ifadesi)
$\gamma_{BB,VdM}$	Basamak azaltma faktörü (Van der Meer ve Sigurdarson (2016) ifadesi)
γ_f	Azaltma faktörü (pürüzlülük ve permeabilite)
γ_h	Sığ su düzeltme katsayısı
γ_v	Düşey duvar ya da dik şev için azaltma faktörü
γ_β	Açılı gelen dalga azaltma faktörü
A_c	Kret hava payı
B	Basamak genişliği
B_x	Dikkate alınan alanın genişliği
C_r	Yansıma katsayısı
d	Yapı topuğundaki su derinliği
D_{15}	Nominal çap (M_{15} kullanılarak bulunan)
D_{50}	Nominal çap (M_{50} kullanılarak bulunan)
D_{85}	Nominal çap (M_{85} kullanılarak bulunan)
d_b	Göreceli basamak seviyesi
D_n	Nominal çap (beton eleman)
$D_{n,koruma}$	Koruma tabakası elemanının nominal çapı
D_{n50}	Nominal çap
$D_{n50,alttabaka}$	Alt tabakadaki elemanın nominal çapı
F	Froude sayısı
f_{H0}	Stabilite sayısının etkisi (basamak çekilme faktörü)
f_{hb}	Basamak azaltma faktörü
F_i	Atalet kuvveti

F_p	Basınç kuvveti
Fr	Froude sayısı
F_v	Viskoz kuvvet
g	Yerçekimi ivmesi
G_c	Kret genişliği
$H_{\%2}$	Aşılma olasılığı %2 olan dalga yüksekliği
$H_{1/3}$	En büyük 1/3 dalganın ortalama dalga yüksekliği
H_{m0}	Spektral belirgin dalga yüksekliği
$H_{m0,i}$	Gelen belirgin dalga yüksekliği
$H_{m0,r}$	Yansıyan belirgin dalga yüksekliği
$H_{m0,t}$	İletilen belirgin dalga yüksekliği
H_o	Stabilite sayısı
$H_o T_o$	Ortalama dalga periyodunu içeren dinamik stabilite sayısı
$H_o T_{om}$	Dinamik stabilite sayısı
H_s	Belirgin dalga yüksekliği ($H_{1/3}$)
H_{sD}	Tahmini 100 yıllık tasarım dalga yüksekliği
K_D	Hudson stabilite katsayısı
K_r	Dalga yansıma katsayısı
K_t	Dalga iletim katsayısı
L_0	Dalga boyu
l_{im}	Modelin i . dereceden boyutu
l_{ip}	Prototipin i . dereceden boyutu
$L_{m-1,0}$	Dalga enerji periyoduna bağlı dalga boyu
L_Y	Dikkate alınan alanın uzunluğu
M	Mach Sayısı
M_{50}	Elemanın ağırlığı
$M_{50,alttabaka}$	Alt tabakadaki elemanın ağırlığı
M_{koruma}	Koruma tabakası elemanının ağırlığı
m_n	n . spektrum yoğunluk momenti

$m_{n,x}$	x spektral yoğunluğun n. momenti
NBL	Alana yerleştirilen blok sayısı
N_{PBL}	Alana yerleştirilebilecek maksimum blok sayısı
p	Permeabilite
P	Porozite
q	Yapının birim genişliğindeki ortalama aşma debisi
q^*	Boyutsuz dalga aşma debisi
r_b	Basamak genişliğinin etkisi
R_c	Kret hava payı
R_d	Dalga geri çekilmesi
r_{db}	Göreceli basamak seviyesi ve sakin su seviyesi arasındaki düşey mesafe
R_e	Reynolds Sayısı
Rec	Geri çekilme
R_u	Dalga tırmanması
s_0	Dalga dikliği
s_{0m}	Ortalama dalga dikliği
$s_{0m-1,0}$	Dalga enerji periyodundan elde edilen dalga dikliği
s_{0p}	Pik periyottan elde edilen dalga dikliği
S_d	Hasar ifadesi
$s_{m-1,0, R}$	Revize edilmiş dalga enerji periyodundan elde edilen dalga dikliği
T_{0^*}	geçiş noktası boyutsuz dalga periyodu
$\tan\alpha$	Yapı eğimi
T_m	Ortalama dalga periyodu
$T_{m0,1}$	Dalga spektrumunun 0. ve 1. momentlerinden elde edilen ortalama periyot
$T_{m0,2}$	Dalga spektrumunun 0. ve 2. momentlerinden elde edilen ortalama periyot
$T_{m-1,0}$	Dalga enerji periyodu
$T_{m-1,0, R}$	Revize edilmiş dalga enerji periyodu

T_o	Dinamik stabilite numarası ifadesine ait dalga periyodu
T_p	Pik periyot
U	Akım hızı
V_{maks}	Maksimum aşma hacmi
W	Weber Sayısı
X_0	Boyutsuz feç
α_d	Basamağın altındaki şev eğimi
α_{eq}	Basamağı dikkate alan yapının eşdeğer eğimi
α_u	Sırasıyla üstündeki şev eğimi
β	Ortalama dalga yönü
Δ	Rölatif Yoğunluk
$\Delta\gamma_{BB}$	Basamak azaltma faktörü farkı
λ_1	Uzunluk ölçek faktörü
λ_a	İvme ölçek faktörü
λ_v	Hız ölçek faktörü
μ	Değişkenlerin ortalaması
ν	Kinematik viskozite
ξ_0	Kırılma parametresi
ξ_{0p}	Pik periyoda bağlı kırılma parametresi
$\xi_{m-1,0}$	Dalga enerji periyoduna bağlı kırılma parametresi
ρ_r	Taşın özgül ağırlığı
ρ_w	Suyun özgül ağırlığı
σ	Standart sapma
σ	Yüzeysel gerilme
ψ_s	Yerleştirme sıklığı
ω_p	Pik açısal frekans

KISALTMA LİSTESİ

ARC	Aktif yansıma sönümlleme sistemi
BSA	Basamak su seviyesinin altında
BSS	Basamak su seviyesinde
BSÜ	Basamak su seviyesinin üzerinde
FR-MA	Partly Reshaping Mass Armoured (Tamamen şekillenen tek tip anroşmanlı)
HR-IC	Hardly Reshaping Icelandic Type (Çok az şekillenen İzlanda tipi)
M4	Düzenli dizilime ait model
M4_10	10D _n basamak genişliğine sahip düzenli dizilim modeli
M4_14	14D _n basamak genişliğine sahip düzenli dizilim modeli
M4_3	3D _n basamak genişliğine sahip düzenli dizilim modeli
M4_5	5D _n basamak genişliğine sahip düzenli dizilim modeli
M5	Düzensiz dizilime ait model
M5_10	10D _n basamak genişliğine sahip düzensiz dizilim modeli
M5_14	14D _n basamak genişliğine sahip düzensiz dizilim modeli
M5_3	3D _n basamak genişliğine sahip düzensiz dizilim modeli
M5_4	4D _n basamak genişliğine sahip düzensiz dizilim modeli
M5_5	5D _n basamak genişliğine sahip düzensiz dizilim modeli
PR-IC	Partly Reshaping Icelandic Type (Kısmen şekillenen İzlanda tipi)
PR-MA	Partly Reshaping Mass Armoured (Kısmen şekillenen tek tip anroşmanlı)
SSS	Sakin su seviyesi
TDD	Taş dolgu dalgakıran

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2.1	Kıyı koruma yapısı örneği ve dalgakıran tipleri 6
Şekil 2.2	Dalgakıran tipleri [11] 7
Şekil 2.3	Beton koruma tabakası elemanlarına ait bazı örnekler [12] 8
Şekil 2.4	Beton koruma tabakası örnekleri.....10
Şekil 2.5	Dalga kanalı ve dalgakıran modeli [20] 11
Şekil 2.6	Dalgakıran modeli [20] 11
Şekil 2.7	Antifer blokların alternatif yerleştirme yöntemleri [20].....12
Şekil 2.8	Tek Tip Anroşmanlı Basamaklı Dalgakıran (MA).....21
Şekil 2.9	İzlanda Tipi Basamaklı Dalgakıran (IC).....21
Şekil 2.10	Basamaklı dalgakıran kesitlerinin şematik görünümü 24
Şekil 2.11	Dalga tırmanması ve aşmasının şematik görünümü [27] 25
Şekil 2.12	Eşdeğer eğim a)basamağın dikkate alındığı, b)basamağın dikkate alınmadığı 42
Şekil 2.13	Basamaklı dalgakıran kesiti ve parametrelerin şematik gösterimi 44
Şekil 2.14	Sedde tipi yapılarda kırılmayan dalga şartlarında dalga aşması, Denklem (2.39), EurOtop (2016) [30] 57
Şekil 2.15	Boyutsuz aşma debisine karşılık boyutsuz kret hava payı (Farklı azaltma faktörü eğrileri) (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10] 58
Şekil 2.16	1:1.5 eğimli taş koruma tabakalı yapılarda dalga aşması, Denklem (2.39), EurOtop (2016) [30] 59
Şekil 2.17	Keilisnes Dalgakıranı(PR-IC) için dalga aşması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10] 60
Şekil 2.18	Farklı dalga dikliklerine karşılık basamak azaltma faktörü aralığı (FR) (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10] 60
Şekil 2.19	Rölatif basamak genişliğine karşılık basamak azaltma faktörü farkı (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017)[10] 61
Şekil 2.20	Çok az ve kısmen şekillenen basamaklı dalgakıranlar için dalga aşması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10] 63
Şekil 2.21	Tamamen şekillenen basamaklı dalgakıranlar için dalga aşması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10] 63

Şekil 3.1	Dalga kanalı görüntüleri.....	76
Şekil 3.2	Dalga kanalı boykesiti şematik gösterimi.....	77
Şekil 3.3	Dalga üretici görünüş ve şeması	78
Şekil 3.4	Wave Synthesis programı ekran görüntüsü	79
Şekil 3.5	Wave Synthesis programına ait JONSWAP spektrumlu düzensiz dalga kaydı ve bu dalga kaydının spektrumu.....	80
Şekil 3.6	CLE3C30 tipi dalga monitörü	81
Şekil 3.7	Dalga kanalında dalga problemleri	81
Şekil 3.8	Su seviyesi değişimlerinin voltaj cinsinden kaydı.....	82
Şekil 3.9	Basamaklı dalgakıranların şematik görünüşleri ve ilgili parametreler.....	86
Şekil 3.10	Dalgakıran modellerinden bazılarının kesit görünüşleri	87
Şekil 3.11	Dalgakıran modelinin basamak detayına ait görünüş.....	87
Şekil 3.12	Dalgakıran modelinin önden görünüşü	88
Şekil 3.13	0.45 m su derinliğinde modellerin şematik gösterimi	91
Şekil 3.14	0.55 m su derinliğinde modellerin şematik gösterimi	92
Şekil 3.15	0.65 m su derinliğinde modellerin şematik gösterimi	93
Şekil 3.16	0.65 m su derinliğinde geniş basamaklı modellerin şematik gösterimi	94
Şekil 3.17	Küp beton eleman	95
Şekil 3.18	Küp beton elemanların yerleşiminin şematik gösterimi	95
Şekil 3.19	Çift piramit (düzenli) yerleştirme yöntemine ait 3 boyutlu modelleme detayı.....	96
Şekil 3.20	Düzensiz yerleştirme yöntemine ait 3 boyutlu modelleme detayı	96
Şekil 3.21	Basamaklı dalgakıran modelinde üst şev koruma tabakasında kullanılan kuvars malzeme.....	99
Şekil 3.22	Üst şev koruma tabakasında kullanılan malzemenin granülometri eğrisi	99
Şekil 3.23	Basamaklı dalgakıran modelinde alt tabakada kullanılan kuvars malzeme.....	100
Şekil 3.24	Alt tabakada kullanılan malzemenin granülometri eğrisi.....	101
Şekil 3.25	Aşma debisi ölçüm tankları	102

Şekil 3.26	Dalgakıran arkasında bulunan aşma debisi ölçüm tanklarının şematik gösterimi 102
Şekil 3.27	a) Sığ su bölgelerindeki rölatif dalga yüksekliğine karşılık rölatif su derinliği b) Farklı derinlik koşulları için spektral yoğunluk grafiği [27].....105
Şekil 3.28	0.45 m su derinliği ve $H_{m0}=0.05$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W1, M5_4, $R_c=0.50$ m).....110
Şekil 3.29	0.45 m su derinliği ve $H_{m0}=0.20$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W11, M5_4, $R_c=0.50$ m).....110
Şekil 3.30	0.55 m su derinliği ve $H_{m0}=0.05$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W1, M4_5, $R_c=0.40$ m).....111
Şekil 3.31	0.55 m su derinliği ve $H_{m0}=0.21$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W11, M4_5, $R_c=0.40$ m).....111
Şekil 3.32	0.65 m su derinliği ve $H_{m0}=0.05$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W1, M4_5, $R_c=0.30$ m).....112
Şekil 3.33	0.65 m su derinliği ve $H_{m0}=0.24$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W11, M4_5, $R_c=0.30$ m).....112
Şekil 3.34	0.45 m su derinliğinde ilk dalga (W1) ve son dalga (W11) için gelen ve yansıyan dalgaların enerji spektrumlarının frekansla değişimi.....113
Şekil 3.35	0.55 m su derinliğinde ilk dalga (W1) ve son dalga (W11) için gelen ve yansıyan dalgaların enerji spektrumlarının frekansla değişimi.....114
Şekil 3.36	0.65 m su derinliğinde ilk dalga (W1) ve son dalga (W11) için gelen ve yansıyan dalgaların enerji spektrumlarının frekansla değişimi.....115
Şekil 3.37	0.45 m su derinliği yansıma katsayısının frekansla değişimi...116
Şekil 3.38	0.55 m su derinliği yansıma katsayısının frekansla değişimi...116
Şekil 3.39	0.65 m su derinliği yansıma katsayısının frekansla değişimi...116
Şekil 3.40	Farklı su derinliği için W1 dalgasının yansıma katsayısının frekansla değişimi 117
Şekil 3.41	Farklı su derinliği için W5 dalgasının yansıma katsayısının frekansla değişimi 117
Şekil 3.42	Farklı su derinliği için W11 dalgasının yansıma katsayısının frekansla değişimi 117
Şekil 4.1	Stabilite katsayısına karşılık yansıma katsayısı 121

Şekil 4.2	Stabilite katsayısına karşılık yansımaya katsayısı	121
Şekil 4.3	Düzenli dizilim $3D_n$ ve $5D_n$ küp blok basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları.....	123
Şekil 4.4	Düzensiz dizilim $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ küp blok basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları.....	124
Şekil 4.5	0.45 m su derinliğindeki tüm deney şartlarına ait yansımaya katsayıları.....	124
Şekil 4.6	0.45 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi.....	125
Şekil 4.7	Düzenli dizilim $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları.....	126
Şekil 4.8	Düzensiz dizilim $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları.....	127
Şekil 4.9	0.55 m su derinliğinde yapılan tüm deneylerde yansımaya katsayılarının dalga dikliğine göre değişimi.....	128
Şekil 4.10	0.55 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi.....	128
Şekil 4.11	Düzenli dizilim $3D_n$ ve $5D_n$ küp blok basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları.....	129
Şekil 4.12	Düzensiz dizilim $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları.....	130
Şekil 4.13	0.65 m su derinliğinde yapılan tüm deneylerde yansımaya katsayılarının dalga dikliğine göre değişimi.....	130
Şekil 4.14	0.65 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi.....	131
Şekil 4.15	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri	134
Şekil 4.16	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)	134
Şekil 4.17	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....	134
Şekil 4.18	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.37$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri	135

Şekil 4.19	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.37$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 135
Şekil 4.20	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.37$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 135
Şekil 4.21	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m ve 0.37 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) 136
Şekil 4.22	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ ve 0.37 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 136
Şekil 4.23	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ ve 0.37 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 136
Şekil 4.24	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) 138
Şekil 4.25	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 138
Şekil 4.26	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 138
Şekil 4.27	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) 139
Şekil 4.28	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 139
Şekil 4.29	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 139
Şekil 4.30	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.20 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 140
Şekil 4.31	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.20 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 140
Şekil 4.32	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.20 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 140
Şekil 4.33	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 143
Şekil 4.34	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 143

Şekil 4.35	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....143
Şekil 4.36	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.27$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 144
Şekil 4.37	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.27$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 144
Şekil 4.38	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.27$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....144
Şekil 4.39	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) 145
Şekil 4.40	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 145
Şekil 4.41	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....145
Şekil 4.42	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 146
Şekil 4.43	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 146
Şekil 4.44	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....146
Şekil 4.45	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 149
Şekil 4.46	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 149
Şekil 4.47	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....149
Şekil 4.48	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 150
Şekil 4.49	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 150
Şekil 4.50	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$).....150

Şekil 4.51	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 151
Şekil 4.52	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 151
Şekil 4.53	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 151
Şekil 4.54	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.40, 0.20$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 152
Şekil 4.55	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.40, 0.20$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 152
Şekil 4.56	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40, 0.20$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 152
Şekil 4.57	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 156
Şekil 4.58	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 156
Şekil 4.59	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 156
Şekil 4.60	M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.17$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 157
Şekil 4.61	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.17$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 157
Şekil 4.62	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.17$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 157
Şekil 4.63	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 158
Şekil 4.64	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 158
Şekil 4.65	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 158

Şekil 4.66	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) 159
Şekil 4.67	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 159
Şekil 4.68	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 159
Şekil 4.69	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 160
Şekil 4.70	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 160
Şekil 4.71	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 160
Şekil 4.72	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 161
Şekil 4.73	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 161
Şekil 4.74	M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 161
Şekil 4.75	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 164
Şekil 4.76	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 164
Şekil 4.77	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 164
Şekil 4.78	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.55 m olduğu durumlarda $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 165
Şekil 4.79	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.55 m olduğu durumlarda $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 165

Şekil 4.80	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.55 m olduğu durumlarda $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 165
Şekil 4.81	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.55 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri 166
Şekil 4.82	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.55 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$) 166
Şekil 4.83	M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.55 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$) 166
Şekil 4.84	0.45 m su derinliği ve $R_c=0.50$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri.....168
Şekil 4.85	0.45 m su derinliği ve $R_c=0.50$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,VdM}$) 168
Şekil 4.86	0.45 m su derinliği ve $R_c=0.50$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,EO}$) 168
Şekil 4.87	0.55 m su derinliği ve $R_c=0.40$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri.....169
Şekil 4.88	0.55 m su derinliği ve $R_c=0.40$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,VdM}$) 169
Şekil 4.89	0.55 m su derinliği ve $R_c=0.40$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,EO}$) 169
Şekil 4.90	0.65 m su derinliği ve $R_c=0.30$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri.....170
Şekil 4.91	0.65 m su derinliği ve $R_c=0.30$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,VdM}$) 170
Şekil 4.92	0.65 m su derinliği ve $R_c=0.30$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,EO}$) 170
Şekil 4.93	0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi.....172
Şekil 4.94	0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi.....172
Şekil 4.95	0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi.....172

Şekil 4.96	0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,VdM}, T_{Op}$) 175
Şekil 4.97	0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,OR}$) 175
Şekil 4.98	0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,O}$) 175
Şekil 4.99	0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,VdM}, T_{Op}$) 176
Şekil 4.100	0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,OR}$) 176
Şekil 4.101	0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,O}$) 176
Şekil 4.102	0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,VdM}, T_{Op}$) 177
Şekil 4.103	0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,OR}$) 177
Şekil 4.104	0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi ($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,O}$) 177
Şekil 4.105	0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,VdM}$) 179
Şekil 4.106	0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,EO}$) 179
Şekil 4.107	0.45 m su derinliği için dalga dikliği S_{Op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) 181
Şekil 4.108	0.45 m su derinliği için rölatif basamak genişliğine karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) 181
Şekil 4.109	0.45 m su derinliği için dalga dikliği S_{Op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR).....181
Şekil 4.110	0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.2) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{Op}) 182
Şekil 4.111	0.45 m su derinliği için (4.2) ve (4.3) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_p 'ye bağlı) 182
Şekil 4.112	0.45 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) 184
Şekil 4.113	0.45 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) 184

Şekil 4.114	0.45 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR).....	184
Şekil 4.115	0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.4) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($T_{m-1,0}$)	185
Şekil 4.116	0.45 m su derinliği için (4.4) ve (4.5) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)	185
Şekil 4.117	0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,VdM}$)	186
Şekil 4.118	0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,EO}$)	186
Şekil 4.119	0.55 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) (Denklem (4.6)).....	188
Şekil 4.120	0.55 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) (Denklem (4.6))	188
Şekil 4.121	0.55 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) (Denklem (4.7)).....	188
Şekil 4.122	0.55 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.8))	189
Şekil 4.123	0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.6) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op})	189
Şekil 4.124	0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.8) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op})	190
Şekil 4.125	0.55m su derinliği için (4.6) ve (4.7) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_p 'ye bağlı)	190
Şekil 4.126	0.55m su derinliği için (4.8) azaltma faktörü ifadesinin kullanımı (T_p 'ye bağlı).....	190
Şekil 4.127	0.55 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR)	192
Şekil 4.128	0.55 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR)	192
Şekil 4.129	0.55 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) ($T_{m-1,0}$)	192

Şekil 4.130	0.55 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.11)) 193
Şekil 4.131	0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.11) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($T_{m-1,0}$) 193
Şekil 4.132	0.55 m su derinliği için (4.8) ve (4.9) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı) 194
Şekil 4.133	0.55 m su derinliği için (4.11) azaltma faktörü ifadesinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı) 194
Şekil 4.134	0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,VdM}$) 195
Şekil 4.135	0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,EO}$) 195
Şekil 4.136	0.65 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) (Denklem (4.12)).....197
Şekil 4.137	0.65 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) (Denklem (4.12)) 197
Şekil 4.138	0.65 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) (Denklem (4.13)).....197
Şekil 4.139	0.65 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.14)) 198
Şekil 4.140	0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.12) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op}) 198
Şekil 4.141	0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.14) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op}) 199
Şekil 4.142	0.65 m su derinliği için (4.12) ve (4.13) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_{op} 'ye bağlı).....199
Şekil 4.143	0.65 m su derinliği için (4.14) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_{op} 'ye bağlı).....199
Şekil 4.144	0.65 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) (Denklem (4.15)).....201
Şekil 4.145	0.65 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) (Denklem (4.15)) 201

Şekil 4.146	0.65 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) (Denklem (4.16)).....	201
Şekil 4.147	0.65 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.17))	202
Şekil 4.148	0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.17) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($T_{m-1,0}$)	202
Şekil 4.149	0.65m su derinliği için (4.15) ve (4.16) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)	203
Şekil 4.150	0.65m su derinliği için (4.17) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)	203



TABLO LİSTESİ

Tablo 1.1	Basamaklı dalgakıranlarda boyutsuz dalga aşma debisi ifadeleri ile ilgili yapılan çalışmalar [6]	2
Tablo 2.1	Her bir sıklığa ait deney sonuçları [20]	13
Tablo 2.2	Basamaklı dalgakıranların sınıflandırılması (PIANC, 2003) [24]	19
Tablo 2.3	100 yıllık dalga şartlarına göre basamaklı dalgakıranların sınıflandırılması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2012) [25]	23
Tablo 2.4	Dalga aşması sınır değerleri (EurOtop, 2016) [30]	32
Tablo 2.5	Dalga aşma debisi için tolerans değerleri (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016) [31]	33
Tablo 2.6	Model çalışmalarında kullanılan boyutsuz ifadelerin aralıkları (Lykke Andersen, 2006) [26]	43
Tablo 2.7	Literatürde yer alan pürüzlülük faktörleri (γ_f) [6]	54
Tablo 3.1	Çeşitli problemler için dinamik benzerlik şartları (Khan, I, 1995) [45]	69
Tablo 3.2	Ölçek etkileri ve kritik limitler (Khan, I, 1995) [45]	72
Tablo 3.3	Alt şevde küp beton elemanların dizilimi	97
Tablo 3.4	Basamakta küp beton elemanların dizilimi	97
Tablo 3.5	Alt ve üst şevler için koruma/alt tabaka kütle ve çap oranları	101
Tablo 3.6	0.45 m su derinliği için boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri	107
Tablo 3.7	0.55 m su derinliği için boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri	107
Tablo 3.8	0.65 m su derinliği için boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri	108
Tablo 3.9	0.45 m su derinliği için veri setlerine ait bazı boyutsuz parametreler	108
Tablo 3.10	0.55 m su derinliği için veri setlerine ait bazı boyutsuz parametreler	109
Tablo 3.11	0.65 m su derinliği için veri setlerine ait bazı boyutsuz parametreler	109

Tablo A.1	0.45 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.50$ m verileri.....	214
Tablo A.2	0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.50$ m verileri.....	216
Tablo A.3	0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.37$ m verileri.....	218
Tablo A.4	0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.20$ m verileri.....	220
Tablo A.5	0.45 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.50$ m verileri.....	222
Tablo A.6	0.45 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.50$ m verileri.....	224
Tablo A.7	0.45 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri.....	226
Tablo A.8	0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.50$ m verileri.....	228
Tablo A.9	0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri.....	230
Tablo A.10	0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri.....	232
Tablo A.11	0.55 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.40$ m verileri.....	234
Tablo A.12	0.55 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.40$ m verileri.....	236
Tablo A.13	0.55 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.27$ m verileri.....	238
Tablo A.14	0.55 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.40$ m verileri.....	240
Tablo A.15	0.55 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.27$ m verileri.....	242
Tablo A.16	0.55 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.40$ m verileri.....	244
Tablo A.17	0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.40$ m verileri.....	246
Tablo A.18	0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri.....	248
Tablo A.19	0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.10$ m verileri.....	250
Tablo A.20	0.65 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.30$ m verileri.....	252
Tablo A.21	0.65 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.30$ m verileri.....	254
Tablo A.22	0.65 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.17$ m verileri.....	256
Tablo A.23	0.65 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.30$ m verileri.....	258
Tablo A.24	0.65 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.17$ m verileri.....	260
Tablo A.25	0.65 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri.....	262
Tablo A.26	0.65 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri.....	264
Tablo A.27	0.65 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.10$ m verileri.....	266
Tablo A.28	0.65 m su derinliğinde M4_10 modelleri $R_c=0.30$ m verileri..	268
Tablo A.29	0.65 m su derinliğinde M5_10 modelleri $R_c=0.30$ m verileri..	270
Tablo A.30	0.65 m su derinliğinde M4_14 modelleri $R_c=0.30$ m verileri..	272
Tablo A.31	0.65 m su derinliğinde M5_14 modelleri $R_c=0.30$ m verileri..	274

Basamaklı Dalgakıranlarda Dalga Aşmasının Deneysel Araştırılması

Şule ARUKAN

İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Basamaklı dalgakıranlar, hasar seviyesini, taş çaplarını ve dalga aşmasını azaltmak amacıyla geleneksel taş dolgu dalgakıranlara alternatif olarak geliştirilmiş olan yapılardır. Taş koruma elemanlarına ulaşmanın maliyetli olduğu veya mümkün olmadığı durumlarda çeşitli beton koruma elemanlarından yararlanılmaktadır. Çalışmada, alt şevi 1/1.5 eğime üst şevi ½ eğime sahip, alt şevde ve basamağın koruma tabakasında küp beton blok üst şevde ise taş elemanların kullanıldığı basamaklı dalgakıran modelleri çalışılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan basamaklı dalgakıran modellerinin düzensiz dalga etkisi altındaki dalga aşma ve yansımaya karşı performansları fiziksel model deneyleri ile incelenmiştir. Farklı basamak genişlikleri, farklı kret hava payları ve basamağın su seviyesine göre konumu için model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda literatürde mevcut basamak azaltma faktörlerinin çalışmada dikkate alınan modeller için uygunluğu test edilmiş ve farklı su seviyeleri için yeni basamak azaltma faktörleri önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basamaklı dalgakıran, küp blok, dalga yansıması, dalga aşması, basamak azaltma faktörü



Experimental Investigation of Wave Overtopping at Berm Breakwaters

Şule ARUKAN

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Prof. Dr. Esin ÇEVİK

Berm breakwaters are structures that have been developed as an alternative to traditional rubble mound breakwaters to reduce damage, rock sizes, and wave overtopping. Various types of concrete units are utilized when rock units are costly or not possible to access. Therefore, cube concrete armour units are used in the hydraulic performance of lower slope ($1/1.5$) and berm, and rock units are used in the upper slope ($1/2$). In this study, wave overtopping and reflection performances under the irregular wave attack of the berm breakwater models are examined by physical model tests. Experimental study were conducted with scaled models with different berm widths, different crest freeboards and relative position of berm elevation with respect to still water level.

As a result of the tests, suitability of the current berm reduction factors in the literature were tested for the models considered in this study and new berm reduction factors were proposed for different water levels.

Keywords: Berm breakwater, cube block, wave reflection, wave overtopping,
Berm reduction factor



1.1 Literatür Özeti

Basamaklı dalgakıran, deniz tarafı eğimli ve genellikle su seviyesinin (SSS) üzerinde basamağı bulunan bir taş dolgu dalgakıran yapısıdır. Basamaklı dalgakıranlar ilk olarak 1980'lerin başlarında Alaska'daki bir pist uzantısındaki kullanımlarıyla büyük dikkat çekmiştir. Basamaklı dalgakıranların, geleneksel taş dolgu dalgakıranlara göre avantajları, Baird ve Hall [1], Jensen ve Sorensen [2], Sayao ve Fournier [3] gibi araştırmacılar tarafından tanımlanmıştır. Büyük taşların veya ağır inşaat ekipmanlarının mevcudiyetinde bir sınırlama olduğunda, basamaklı dalgakıranlar daha avantajlı olmasına rağmen, geleneksel veya basamaklı dalgakıran arasındaki seçim, yapının toplam maliyetine ve koruma kabiliyetine bağlı olmaktadır. Van der Meer ve Sigurdarson [4] tarafından basamaklı dalgakıranlara yönelik genel tasarım kitabı kısa bir süre önce yayınlanmış ve maksimum dalga etkisinin gerçekleştiği alanlara daha büyük taşlar yerleştirilerek, taş ocağı ürünlerinin kullanımını en yüksek seviyeye çıkarmayı önermişlerdir. Bu durum, taşların dalgakıranlara yerleştirilmeden önce derecelendirilmesi ile mümkündür. Basamaklı dalgakıranların geleneksel dalgakıranlara kıyasla diğer önemli avantajları şunlardır:

- Koruma tabakasında kullanılan taşlar çok daha küçüktür, hasar yerine yeniden şekillenme mevcuttur ve aşmaya karşı daha gelişmiş bir performansa sahiptir.
- Kompleks inşaat ekipmanı gereksiniminin daha az olması nedeniyle daha düşük inşaat ve onarım maliyetlerine sahiptir.
- Taş yerleştirilme hassasiyetine karşı daha yüksek toleransa sahiptir.

Kıyı bölgelerindeki güvenlik, büyük ölçüde kıyı yapısının dalga aşma performansına bağlıdır. Dalgakıran arkasındaki insanların, arazilerin ve mülklerin

güvenliğini sağlamak için dalga aşma miktarı, işletme ve tasarım koşulları altında izin verilen oranların altında olmalıdır. Son zamanlarda yapılan çalışmalar küresel iklim değişikliğinin kıyı bölgelerinde şiddetli dalga aşması ve sel risklerini artırabileceğini göstermiştir. Zviely ve diğ. [5], yüksek miktarlardaki dalga aşmasının liman altyapısında ve demirleyen gemilerde büyük hasarlara yol açabileceğini bildirmişlerdir. Bu nedenle, dalgakıranların, değişen koşulları dikkate alan kurallar kullanılarak tasarlanması gerekmektedir.

Basamaklı dalgakıranlarda dalga aşması için çeşitli araştırmacıların verdiği boyutsuz dalga aşma debisi (q_*) ifadeleri Tablo 1.1’de verilmiştir.

Tablo 1.1 Basamaklı dalgakıranlarda boyutsuz dalga aşma debisi ifadeleri ile ilgili yapılan çalışmalar [6]

Formül	Referans
$\xi_{op} < 2 \text{ ise } q_* \sqrt{\frac{s_{0p}}{\tan \alpha}} = 0.06 \exp \left(-5.2 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{\sqrt{s_{0p}}}{\tan \alpha} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right)$ $\xi_{op} > 2 \text{ ise } q_* = 0.2 \exp \left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right)$	Van der Meer ve Jensen (1994) (1.1)
$q_* = 1.79 \times 10^{-5} \left(f_{H_0}^{1.34} + 9.22 \right) s_{0p}^{-2.52} \exp \left(-5.63 \left(\frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{0.92} - 0.61 \left(\frac{G_c}{H_{m0}} \right)^{1.39} - 0.55 h_b^{1.48} B_*^{1.39} \right)$	Lykke Andersen (2006) (1.2)
$q_* = 0.2 \exp \left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta} \right)$	EurOtop (Allsop ve ark., 2007) (1.3)
$q_* = 0.2 \exp \left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_{BB} \gamma_\beta} \right)$	Sigurdarson ve Van der Meer (2012) (1.4)
$q_* = \exp \left(-0.97 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f} - 0.4 \frac{G_c}{H_{m0}} - 1.04 \tan \alpha_{ave} - 4.975 \right)$	Etemad-Shahidi ve Jafari (2015) (1.5)
$q_* = 0.09 \exp \left(- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_{BB} \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right)$	Van der Meer ve Sigurdarson (2017) (1.6)

1.2 Tezin Amacı

Kıyı yapılarının tasarlanmasında koruma sağlamanın yanı sıra maliyet de önem arz etmektedir. Öyle ki bu iki kavramın optimum şartlarda buluşturulması gerekmektedir. Dalga aşmasını azaltmak ya da engellemek için kret kotunun sürekli yükseltilmesi yerine, basamaklı dalgakıran inşaa ederek aşma debisinin azaltılması sağlanabilmektedir. Basamaklı dalgakıranlar aşma debisini azaltmanın yanında, yapısal hasarı ve taş boyutlarını da azaltmakta, inşaat maliyetlerini düşürmektedir. Daha önce basamaklı dalgakıranlarla ilgili çeşitli çalışmalar yapılmış olsa da bu çalışmalarda taş koruma elemanları ile beton blok koruma elemanları birlikte kullanılmamıştır.

Bu çalışmada alt şev ve basamağın koruma tabakasında küp beton elemanlar, üst şevde ise taş elemanlar kullanılan modeller çalışılmıştır. Alt şev ve basamağın koruma tabakasında, çift piramit düzenli ve düzensiz yerleştirme yöntemleri kullanılarak iki tabaka olacak şekilde dizildiği beton elemanlar kullanılmıştır.

Yapılan deneyler farklı basamak genişlikleri, farklı kret hava payları ve basamağın yerinin su seviyesine göre değiştiği modellerle gerçekleştirilmiş ve tüm bu modellerin aşma ve yansımaya karşı hidrolik performansları anlaşılmaya çalışılmıştır.

1.3 Hipotez

Kıyı Mühendisliği'nin önemli yapılarından biri olan dalgakıranlar; kıyı alanlarındaki kumlanma ve kıyı erozyonunun önlenmesi, akıntıların yönlendirilmesi, gemilerin emniyetli bir şekilde seyirlerini gerçekleştirmesi ve barınması ve liman içi faaliyetlerin güvenli bir biçimde gerçekleştirmesine olanak sağlamak için kullanılan yapılardır.

Yapım maliyetleri bir hayli yüksek olan bu yapıların verimliliği ve ekonomikliği arasında optimum bir değerin yakalanması gerekmektedir. Buradan hareketle araştırma konusu olarak basamaklı dalgakıranlar seçilmiştir. Farklı basamak genişlikleri ile kret hava payı ve basamağın yerinin su seviyesine göreceli konumunun aşma debisi ve yansımaya olan etkileri araştırılmıştır. Çalışma

sonucunda farklı su seviyeleri için yeni basamak azaltma faktörü formülleri önerilmiştir. Araştırmanın gelecekte yapılacak çalışmalara katkı sağlaması beklenmektedir.



2

Basamaklı Dalgakıranlar

2.1 Dalgakıranların Tanımı ve Sınıflandırılması

Dalgakıranlar, limanların içinde ve dışındaki gemilerin güvenli bir şekilde seyirlerine yardımcı olmakta ve yüklerin güvenli bir şekilde elleçlenebilmesi için liman sınırları içinde korunaklı bir su alanı sağlamaktadır. Dalgakıran yapımında yenilikçilik, maliyet ile inşaat süresinin azaltılması, verimliliğin artırılması ve sahaya özgü koşulların karşılanması konusunda sürekli gelişmeler meydana gelmektedir. Bir dalgakıranın temel amacı, dalganın liman tarafına oldukça az iletilmesini ya da hiç iletilmemesini sağlamaktır. Dalgakıranlar öncelikle; deniz tabanına oturan sabit yapılar ve sabitleyiciler tarafından tutulan yüzen tipler olarak ayrılmaktadır. Özel tip dalgakıranlar ise genellikle belirli saha gereksinimleri için benimsenmiştir ve bu nedenle yaygın olarak uygulanmamaktadır. Şekil 2.1’de gemi ve deniz araçları için emniyetli ve korunaklı alan sağlamak amacıyla inşaa edilmiş bir liman ve dalgakıran örneği görülmektedir.



a) Hanstholm Limanı, Danimarka [7]



b) St. Tropez Yat Limanı, Fransa [8]



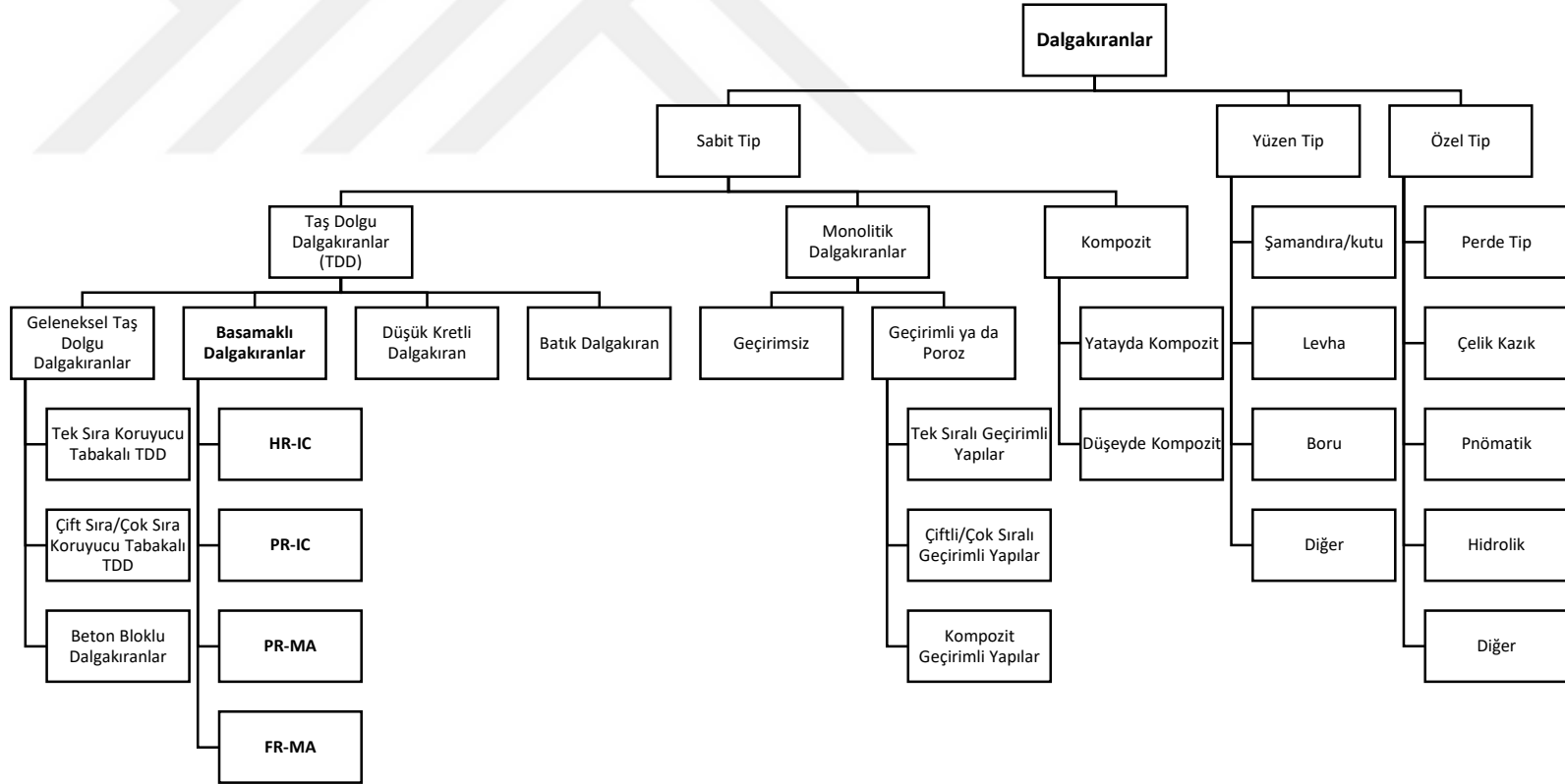
c) Beton bloklı dalgakıran (Cupipod),
Port of Coruña, İspanya[9]



d) Helguvık basamaklı dalgakıranı,
İzlanda [10]

Şekil 2.1 Kıyı koruma yapısı örneği ve dalgakıran tipleri

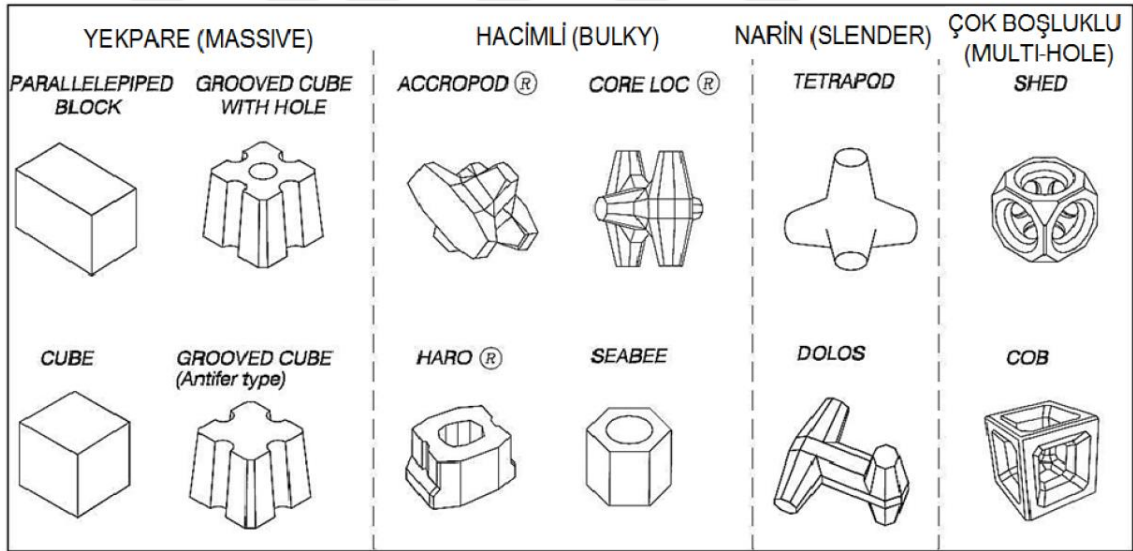
Sabit tipin geniş sınıflandırması altında, dalgakıranlar tipik olarak Şekil 2.2'de tasvir edilen birçok tipe alt bölümlere ayrılmıştır. Gerekli emniyet derecesine ve çevre koşullarına bağlı olarak, inşaat için özel bir tür dalgakıran seçilmektedir.



Şekil 2.2 Dalgakıran tipleri [11]

2.2 Dalgakıranlarda Beton Elemanlar

Taş dolgu dalgakıranlar dünyada en yaygın kullanılan dalgakıran tipidir. Bu yapılar düşük maliyet ve uygulama kolaylığı sağlamaları sebebiyle tercih edilmektedir. Ancak bazen koruma elemanı olarak kullanılması planlanan taşlar, kalitesinin dalgakıran inşaatında kullanmaya elverişli olmaması veya taş ocağına ulaşımın maliyetli olması ya da mümkün olmaması gibi nedenlerden ötürü kullanılamamaktadır. Bu durumda doğal taş elemanlara alternatif olarak beton koruma elemanları kullanılmaktadır. Beton koruma elemanları yapıların daha stabil olması, uygulama kolaylığı sağlaması, maliyeti düşürmesi amacıyla çeşitli geometrilerde tasarlanmaktadır. Düzensiz yerleştirme yöntemi kullanılan beton koruma elemanları yekpare, hacimli ve narin olmak üzere üç yapısal dayanıklılık kategorisinde incelenmektedir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Beton koruma tabakası elemanlarına ait bazı örnekler [12]

Küp bloklar yüksek dayanıklılık, kısa ve kolay imalat, kolay taşınım ve depolama gibi avantajlarının yanında yüz yüze oturma, filtre tabakası ile düşük sürtünme ve düşük hidrolik stabilite gibi dezavantajlara da sahiptir. Yekpare beton elemanlar olan küp blokların taşınımları basınçlı mengene ile yapılabilmektedir. Şekil 2.4'te koruma tabakasında beton elemanların kullanıldığı dalgakıranlara bazı uygulama örnekleri görülmektedir.

Frens ve ark., [13] koruma tabakasında antifer blok olarak adlandırılan yivli küplerin kullanıldığı dalgakıranlar için farklı yerleşim yöntemlerini araştırmışlardır. Çünkü literatürde antifer blok ile ilgili herhangi bir yerleşim yöntemi tarif edilmemiştir. Antifer geometrisi itibariyle küp bloklarla benzer olduğu için yerleştirme yöntemleri ve yapısal davranışları da benzerlik göstermektedir.

Yerleşim yönteminin belirlenebilmesi için fiziksel model deneyleri 40 m uzunluğunda, 0.8 m genişliğinde ve 1.0 m yüksekliğinde dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Model tabanı dalga üreticisinden itibaren 8 m sonra başlamaktadır. Taban eğimi 1:35'tir. Topuk ise kıynın sığılaştığı bölgeden itibaren 6.3 m ileridedir (Şekil 2.5). Alt tabakada 19.6 mm çaplı, çekirdek tabakada ise 10.8 mm çaplı kullanılmıştır. Gerçekleştirilen 17 deneyde sıklıklar %44.8 ile %61.1 arasında değişmektedir. Model deneylerinde 0.60 m'lik su seviyesinde ve sekiz farklı düzensiz dalga ile çalışılmıştır (Şekil 2.6). JONSWAP spektrumuna göre üretilen düzensiz dalgaların yükseklikleri 0.09 m ile 0.20 m arasında değişmektedir. Bütün dalga serilerinde dalga adedi 1000 ile 1500 arasında değişmektedir. Pik periyot kullanılarak hesaplanan dalga dikliği s_{0p} , 0.03'tür.



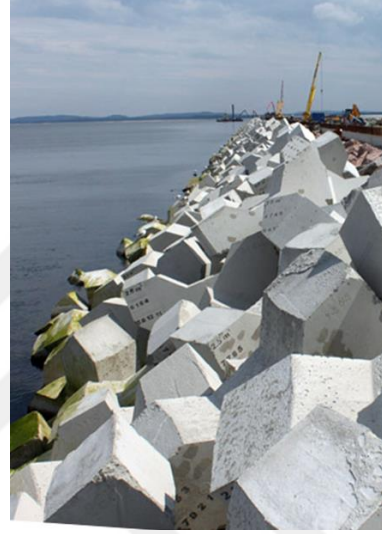
Accropode [14]



Core-Loc [15]



Dolos [16]



X-Block [17]



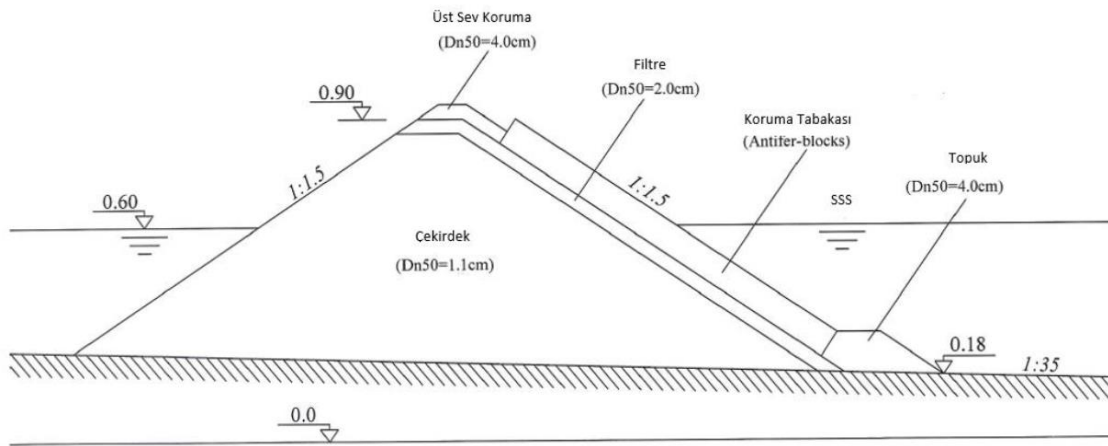
Tetrapode [18]



Küp [19]

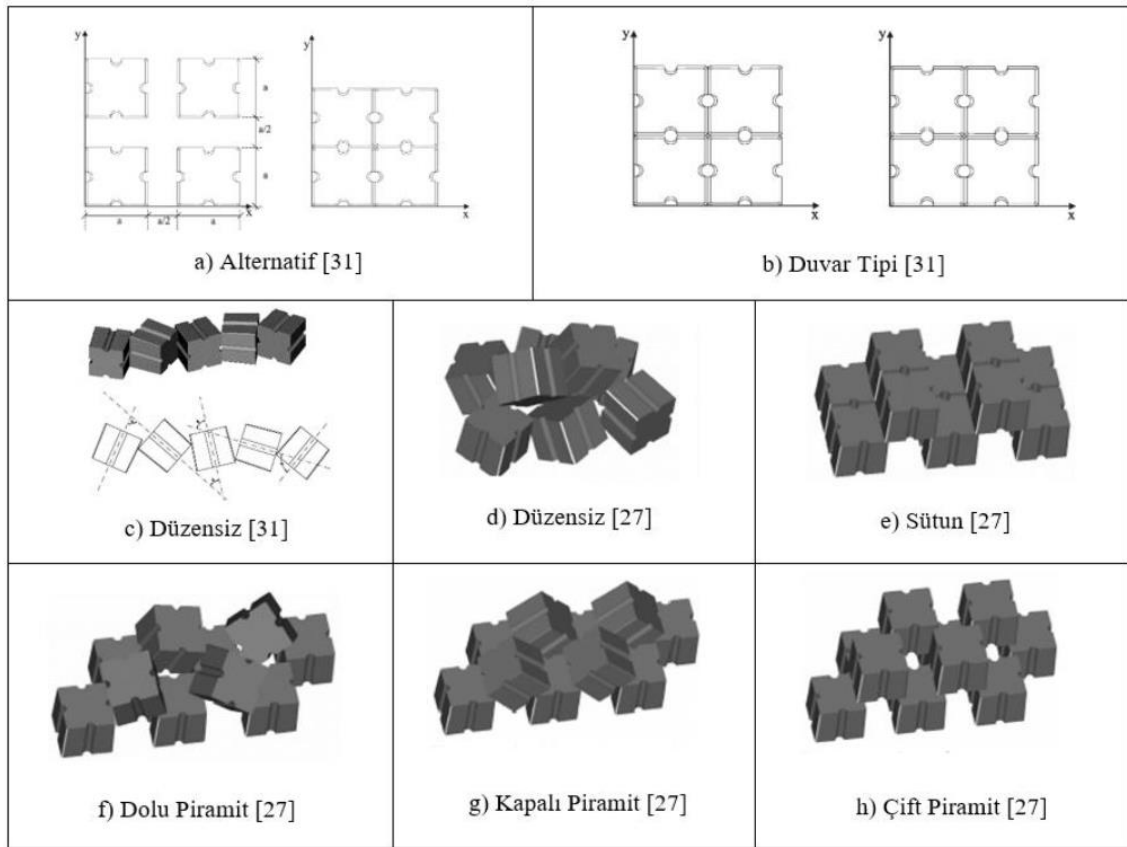
Şekil 2.4 Beton koruma tabakası örnekleri

Şekil 2.5 Dalga kanalı ve dalgakıran modeli [20]



Şekil 2.6 Dalgakıran modeli [20]

Yerleştirme metotları düzenli ve düzensiz yerleştirme olmak üzere iki başlık altında incelenmiştir. Düzensiz yerleştirme, blokların her tabaka ve her sütun için belli bir mesafeden rastgele bırakılarak yerleştirilmesiyle meydana gelmektedir. Düzenli yerleştirme ise sütun yöntemi, doldurulmuş piramit yöntemi, kapalı piramit yöntemi ve çift piramit yerleştirme yöntemi olmak üzere dört farklı şekilde denenmiştir (Şekil 2.7). Antifer küpler için ilk olarak sütun ve çift piramit yerleştirme yöntemleri uygulanmıştır. Bu deneyler taşların aşağı doğru kaymasına ve daha düzensiz ancak daha az kesinlikte yerleşmelerine neden olmuştur. Blokların aşağı doğru kayması nedeniyle düzensiz yerleştirilen bloklarda istenilen sıklığın elde edilmesinin olduğu ifade edilmiştir. Sütun yönteminde taşlar birbirlerine tutunma etkisini arttırmak ve dizilim sıklığını yakalamak amacıyla farklı açılarla dizilmiştir. Çift piramit yerleştirme yönteminde ise taş aralarındaki mesafeler önemli rol oynamış ve yansıma katsayısını da etkilemiştir.



Şekil 2.7 Antifer blokların alternatif yerleştirme yöntemleri [20]

Tablo 2.1’de yapılan deneylere ait sıklık, ψ_s , stabilite katsayısı, K_D , aşmanın meydana gelmediği şartlarda elde edilen yansıma katsayısı, K_r , ayrıca farklı yerleşim şekillerine ait bilgiler verilmektedir. Elde edilen veriler sıklık gruplarına göre ve her grubun en stabil şartı en başta olacak şekilde gösterilmiştir.

Tablo 2.1 Her bir sıklığa ait deney sonuçları [20]

Sıklık (yaklaşık %45)				
Yerleştirme Yöntemleri	Deney	$\psi_s(\%)$	K_D	C_r
Kapalı Piramit	14	44.8	4.1	0.34
Sıklık (yaklaşık %50)				
Yerleştirme Yöntemleri	Deney	$\psi_s(\%)$	K_D	C_r
Sütun	6	49.1	16.3	0.36
Sütun (açılı)	8	50	9.4	0.36
Kapalı Piramit	1	49.7	9.4	0.34
Çift Piramit (0 – 1/8D _n)	12	49.1	4	0.31
Dolu Piramit	4	49.1	-	0.31
Sıklık (yaklaşık %55)				
Yerleştirme Yöntemleri	Deney	$\psi_s(\%)$	K_D	C_r
Çift Piramit (1/2D _n)	11	54.3	16.4	0.29
Kapalı Piramit	13	54.3	16	0.35
Çift Piramit (3/4D _n)	15	53.9	15.9	0.31
Çift Piramit (1/8D _n -1/4D _n)	10	53.2	15.7	0.31
Çift Piramit (0 - 1/8D _n)	17	53.5	13.2	0.32
Düzensiz (tabaka)	16	57.4	9.7	0.29
Düzensiz (kolon)	2	57	9.4	0.3
Sütun (düzensiz)	3	54.2	4	0.31
Sıklık (yaklaşık %60)				
Yerleştirme Yöntemleri	Deney	$\psi_s(\%)$	K_D	C_r
Çift Piramit (0 - 1/8D _n)	9	58.5	23.7	0.33
Çift Piramit (düzensiz)	7	58.5	16.7	0.31
Düzensiz (tabaka)	5	61.1	16.3	0.33

Literatürdeki yerleştirme yöntemlerinin daha önceden incelendiği araştırmalardan düzenli, düzensiz ve duvar tipi yerleştirme yöntemlerini Yağcı [20] çalışmasında kendi geliştirmiş olduğu alternatif yerleştirme yöntemiyle karşılaştırmıştır (Şekil 2.7). Yapı stabilitesi açısından düzensiz, duvar tipi ve alternatif yerleştirme yöntemleri aynı performansı gösterirken düzensiz yerleştirme yönteminin dizilim zorluğu ve duvar tipi yerleştirme yönteminin yarattığı yüksek yansıma katsayıları nedeniyle alternatif yerleştirme yönteminin kullanılmasını önermiştir.

Koruma tabakasının hidrolik stabilitesi, D_n , Δ , H_{m0} vb. gibi bir dizi yapısal ve tasarım fırtınası değişkenlerine bağlıdır. Koruma tabakası porozitesi, enerji dağılımını, dalga yansımaları, hidrolik stabiliteyi, tırmanmayı, dalga aşması ve koruma tabakası elemanlarının heterojen yerleşimini etkilemektedir. Bununla birlikte, literatürde verilen çoğu ifade ve stabilite deneyi, koruma tabakasının

porozitesini dikkate almamaktadır. Koruma tabakasının porozitesi inşaat sırasındaki malzeme tedarikini ve maliyetlerini doğrudan etkilemektedir. Ek olarak, koruma tabakası porozitesi, dalgakıran hizmet ömrü boyunca değişim göstermektedir. Gerçek koruma tabakası porozitesi tasarlanandan daha yüksekse, heterojen yerleşim olasılığı daha yüksektir ve koruma tabakası porozitesi azaldıkça tırmanma ve aşma oranları artabilmektedir.

Frens (2007) [13], porozitesi $39 < p < 43$ olan çift tabakalı rastgele yerleştirilmiş Antifer bloklu üç dalgakıran ile deneyler gerçekleştirmiş, bunun sonucunda stabilite sayısı, $H_s/(\Delta D_n)$, koruma tabakası porozitesi %10 azaldığında yaklaşık %20 artış göstermiştir. Yağcı ve Kapdaşlı (2003) [20], $p = 44$ ve $p = 53$ poroziteye sahip çift sıra Antifer koruma tabakalı dalgakıran için hidrolik stabilite deneyleri gerçekleştirmişler ve yüksek poroziteli koruma tabakası için hasarın çok daha yüksek olduğunu elde etmişlerdir.

Bakker ve diğ. (2005) [20], farklı yerleştirme yöntemleriyle, $41 < p < 46$ arasında değişen poroziteye sahip, tek sıra X-bloc koruma tabakası elemanlı dalgakıran için hidrolik stabilite deneyleri gerçekleştirmişlerdir. X-bloc için rastgele yerleştirme önerilmiştir. Yüksek poroziteli koruma tabakasında, istenmeyen oturmalar meydana gelmiştir. X-bloc koruma tabakalı dalgakıran modelinde porozite $p = 43$ 'den $p = 41$ 'e düşürüldüğünde hidrolik stabilite belirgin biçimde artış göstermiş, stabilite sayısı, $H_s/(\Delta D_n)$, koruma tabakası porozitesi %5 azaldığında yaklaşık %15 artmıştır.

Van der Meer (1999) [20], rastgele yerleştirme yöntemi ile $49 < p < 56$ aralığında poroziteye sahip çift sıra tetrapod koruma tabakalı dalgakıran için hidrolik stabilitesi deneyleri gerçekleştirmiştir. Tetrapod koruma tabakası için hidrolik stabilite, $p = 56$ 'dan $p = 49$ 'a yükseltilmiş ve stabilite sayısı, $H_s/(\Delta D_n)$, koruma tabakası porozitesi %12 azaldığında, yaklaşık %10 artmıştır.

2.3 Basamaklı Dalgakıranlar

Taş dolgu dalgakıranlar dünya genelinde en çok kullanılan ve yapı arkasındaki su alanını dalga etkilerinden koruyan, belirli tasarım kriterlerine uygun biçimde taşların yığılarak inşa edildiği sabit yapılardır (Şekil 2.1). Bu yapılar kullanım amaçlarına göre kıyıyla bağlantılı ya da açık denizde kıyıyla bağlantısı olmayacak şekilde inşaa edilebilmektedir. Taş dolgu dalgakıranlar en altta çekirdek, üzerine filtre en üstte de koruma tabakası olacak şekilde üç ayrı tabakadan oluşmaktadır. Dalgakıran, bu tabakaların birbiri içinden yıkanarak malzemenin boşluklardan yapıyı terk edemeyeceği şekilde inşaa edilmelidir.

Taş dolgu dalgakıranlar, tek sıra koruma tabakalı taş dolgu, çift veya çok sıra koruma tabakalı taş dolgu, beton bloklu ve basamaklı dalgakıranlar olarak farklı şekillerde tasarlanmaktadır.

Bu yapılar arasından basamaklı dalgakıranlar; daha stabil, daha düşük hasar seviyesi, daha küçük taş çapı, daha fazla dalga enerjisi sönmüleme, daha düşük kret seviyesi ve daha az miktarda aşma sağladığı için tercih edilmektedir.

Basamaklı dalgakıran, deniz tarafı eğimli ve genellikle su seviyesinin (SSS) üzerinde basamağı bulunan bir taş dolgu dalgakıran yapısıdır (Şekil 2.1-d). Basamaklı bir dalgakıranın planlanması, tasarımı ve inşası için; teknik, ekonomik, çevresel ve sosyal konuların göz önünde bulundurulması, taş kalitesi ve miktarına bakılması, tasarım araçlarının kullanılması ve inşaat yöntemleri dikkate alınması gerekmektedir. Basamaklı dalgakıran tasarımında, fiziksel saha koşullarının ve veri toplamanın tesis edilmiş olduğu ve kullanılabileceği varsayılmıştır. Bunları ağırlıklı olarak batimetri, hidrolik sınır koşulları ve geoteknik araştırma verileri oluşturmaktadır. Zorunlu tasarım koşullarını ise, çeşitli yineleme periyotları için belirgin dalga yükseklikleri, dalga periyotları, su derinlikleri, su seviyeleri değişimleri ve gel-git etkileri oluşturmaktadır.

Basamaklı dalgakıranlarda doğru bir yapısal davranış tahmini elde edilebilmesi ve doğru tasarım yöntemleri kullanılabilmesi amacıyla tasarım koşulları yapı topuğundaki dalga şartları ile tarif edilmektedir. Dalga şartlarının dalgakırana ulaşmadan önce birden değişmesi durumunda, yapı topuğundaki tasarım

dalgasının yerine yarım dalga boyu ya da daha ötedeki dalga şartlarının alınması tasarım açısından daha iyi bir karar olabilmektedir. Böyle bir karar, daha güvenli bir tasarım sağlayacaktır, ancak bunun yanında yapısal davranışı daha az doğru tanımlamayacaktır.

Tasarımda kullanılacak dalga yüksekliği, yapının topuğundaki belirgin dalga yüksekliğidir (H_s). Dalga iklimi çalışmalarından elde edilen spektral dalga yüksekliği de, $H_{m0}=4(m_0)^{0.5}$, sıklıkla kullanılmaktadır. Belirgin dalga yüksekliğinin bir başka tanımı, $H_{1/3}$ en büyük üçte bir dalganın yükseklikleri ortalamasıdır. Prensipde bu dalga yüksekliği, $H_{1/3}$, Van der Meer formüllerinde kullanılması gereken dalga yüksekliğidir (Van der Meer, 1988-a [21]). Derin deniz durumunda, her iki tanım da hemen hemen aynı değeri verirken, sığ suda %10-15'lik bir farklılık olabilmektedir. Özellikle sığ su koşullarındaki stabilite hesaplarında, $H_{\%2}$ 'nin kullanımının dikkate alınması önerilmektedir. Dalga yüksekliği, uzun dalga enerjisini içerecek şekilde toplam spektrum üzerinden hesaplanmalıdır. Spektral belirgin dalga yüksekliğine dayanarak, Battjes ve Groenendijk (2000) [22] yöntemini kullanarak dalga yüksekliği dağılımını ve $H_{1/3}$ belirgin dalga yüksekliğini hesaplamak oldukça kolaydır.

Bir dalga spektrumu veya dalga kaydı için çeşitli dalga periyotları tanımlanabilmektedir. Bunlardan bilinen dalga periyotları; T_p , spektrumun tepe noktasını veren pik periyot ve T_m , dalga kaydından zaman alanında hesaplanan ortalama periyottur. T_p/T_m ilişkisi genellikle 1.1 ile 1.25 arasındadır. Son yıllarda daha sık kullanılan bir dalga periyodu, dalga tırmanmasında ve aşma formüllerinde karşılaşılan dalga enerji periyodudur, $T_{m-1,0}$ ($=m_{-1}/m_0$). Bu periyot, spektrumdaki daha uzun periyotlara, ortalama periyoda göre daha fazla ağırlık vermekte ve spektrum tipinden bağımsız olarak, aynı $T_{m-1,0}$ değerleri ve aynı dalga yükseklikleri için benzer dalga tırmanması veya dalga aşması sonucu vermektedir. Bu şekilde, çift pikli ve basık spektrumlar için diğer zor yöntemlere gerek kalmaksızın, dalga tırmanması ve aşması, kolaylıkla belirlenebilmektedir. Basamaklı dalgakıran tasarımında çok kullanılmamış olan bir dalga periyodudur. Tek pikli spektrumda $T_p/T_{m-1,0}=1.1$ civarındadır. Ancak çift pikli spektrumda $T_{m-1,0}$ 'ın kullanılması daha doğru sonuçlar vermektedir.

Dalga dikliği, $s_0=H_s/L_0$, dalga yüksekliğinin dalga boyuna oranı olarak tanımlanmaktadır. Burada L_0 , ($L_0=2\pi H_s/(gT^2)$) derin deniz dalga boyudur. Pik periyot T_p 'nin kullanılması durumunda diklik s_{0p} , ortalama periyot T_m kullanılması durumunda s_{0m} , $T_{m-1,0}$ kullanılması durumunda ise $s_{0m-1,0}$ olmaktadır. Dalga dikliği, dalganın geğmişi ve özellikleri hakkında bilgi vermektedir. Genel olarak, $s_{0m}=0.01$ olması, tipik bir soluğan dalgasına sahip deniz durumunu ve $s_{0m}=0.04$ ila 0.06 arasında olması ise tipik bir rüzgâr dalgasına sahip deniz durumunu temsil etmektedir. Soluğan dalgasına sahip denizler genellikle uzun periyotlu dalgalarla ilişkilendirilmektedir. Dalga kırılması sırasında dalga periyodu değişmediği halde dalga yüksekliği azalmaktadır. Bu durum küçük dalga dikliğine sebep olmaktadır. Rölatif olarak derin sularda bu soluğan anlamına gelirken, derinlik limitli yerlerde kırılma anlamına gelmektedir.

Stabilite formülleri genellikle $H_s/\Delta D_{n50}$ stabilite sayısını içermektedir. Burada rölatif yoğunluk, $\Delta=(\rho_r-\rho_w)/\rho_w$ 'dur, ρ_r taşın kütsel yoğunluğu ve ρ_w suyun kütsel yoğunluğunu temsil etmektedir. Nominal ap $D_{n50}=(M_{50}/\rho_r)^{1/3}$ olarak verilmektedir, burada M_{50} taş sınıfının ortalama kütsesidir. Aslında, D_{n50} , taşın gerçek şeklinden bağımsız olarak, ortalama kütleye sahip olan taşın "küp" boyutunu tanımlamaktadır. H_s 'in payda ve ΔD_{n50} 'in ise paydada olduğu unutulmamalıdır.

Dalgakıranlar tasarım dalga koşullarına ve hatta daha ağır koşullara dayanmalıdır. 1000 yıllık veya daha fazlası gibi çok ağır şartlar için, hasar görmesine izin verilebilmekle birlikte yapının bozulmaması (yıkılmaması) gerekmektedir. Çok ağır şartlarla başa çıkma yeteneği dayanıklılık olarak adlandırılmaktadır. Bazı dalgakıran tasarımları diğerlerine göre daha iyi dayanıklılığa sahiptir. Ayrıca basamaklı dalgakıranlar dalga etkilerine karşı daha etkilidirler.

Tamamen şekillenen basamaklı bir dalgakıranın daha fazla şekillenebilme kapasitesi fazla yoktur, çünkü çok şiddetli koşullar altında, kretin üst eğimi erozyona uğrayabilmekte ve böylelikle dalga aşması sonucunda dalgakıranın deniz tarafı erozyona uğramaya başlayabilmektedir.

Artan dalga aşması, dalgakıranın deniz tarafının hasar görmesine yol açmakta, bu durum kret seviyesinin, su seviyesi hizasına kadar düşmesine ve yapının tamamen bozulmasına yol açabilmektedir. Öte yandan, tasarım koşullarında neredeyse statik stabil bir şekilde tasarlanan basamaklı bir dalgakıran, dalga aşmasının önemli ölçüde artmasından önce erozyon sonucunda şekillenmeyi sağlayabilecek halihazırda bir basamağa sahiptir.

Tamamen şekillenen basamaklı dalgakıranlar, kısmen veya çok az şekillenen basamaklı dalgakıranlara göre daha az dayanıklılığa sahiptir ve bu bakımdan farklı basamaklı dalgakıran türleri arasındaki temel fark dayanıklılık ya da rezerv kapasitedir.

2.4 Basamaklı Dalgakıranların Sınıflandırılması

- **Van der Meer ve Pilarczyk (1984) Sınıflandırması**

Profil gelişimine dayanan basamaklı dalgakıranların ilk kapsamlı sınıflandırması 1984 yılında Van der Meer ve Pilarczyk [23] tarafından yapılmıştır. Bu dalgakıranlar,

- i. Statik stabil dalgakıranlar ($1 \leq H_o \leq 4$),
- ii. S profilli basamaklı dalgakıranlar ($3 \leq H_o \leq 6$)
- iii. Dinamik stabil dalgakıranlar ($6 \leq H_o \leq 20$) olarak sınıflandırılmıştır.

H_o , aşağıdaki şekilde tanımlanan stabilite sayısıdır:

$$H_o = \frac{H_{m0}}{\Delta D_{n50}} \quad (2.1)$$

H_{m0} , spektral analizden elde edilen belirgin dalga yüksekliği, D_{n50} , bir numunenin ağırlıkça %50'sini aşan malzemenin eşdeğer küp blok uzunluğu ve Δ , aşağıda verildiği gibi rölatif özgül kütle:

$$\Delta = \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \quad (2.2)$$

ρ_s ve ρ_w , sırasıyla taş ve suyun özgül kütleleridir.

- **PIANC (2003) Sınıflandırması**

PIANC (2003) [24], basamaklı dalgakıranları anroşman hareketliliğini dikkate alarak,

- i. Statik stabil şekillenmeyen ($H_o \leq 1.5$),
- ii. Statik stabil şekillenebilen ($1.5 < H_o \leq 2.7$)
- iii. Dinamik stabil ($H_o > 2.7$) şeklinde üç kategoriye ayırmıştır.

Baird and Hall (1984) [1] tarafından tarif edildiği gibi yeniden şekillenen basamaklı dalgakıranların tasarım prensibi sadece küçük ve büyük bir taş sınıfına ve çekirdeğe kıyasla daha fazla taş sınıfına sahip, daha az şekillenen ve daha stabil basamaklı dalgakıranlar için daha da geliştirilmiştir. PIANC (2003) [24], farklı yapısal davranışa sahip basamaklı dalgakıranlar için sınıflandırma kriterlerini Tablo 2.2'deki gibi vermiştir.

Tablo 2.2 Basamaklı dalgakıranların sınıflandırılması (PIANC, 2003) [24]

Dalgakıran Tipi	$H_s/\Delta D_{n50}$	$H_o T_{om}$
Statik Stabil Şekillenmeyen Bu şartta birkaç taşın hareket etmesine izin verilmektedir, Geleneksel taş dolgu dalgakırana benzer davranışa sahiptir.	<1.5–2.0	<20-40
Statik Stabil Şekillenen Bu şartta profilin yine stabil bir profile dönüşümüne izin verilmektedir, bağımsız taşlar da ayrıca stabildir.	1.5–2.0	40-70
Dinamik Stabil Şekillenen Bu şartta profil yine stabil bir profile dönüşmektedir, ancak ön şevde taşlar aşağı-yukarı hareket edebilmektedir.	>2.7	>70

Sınıflandırma için hem $H_s/\Delta D_{n50}$ stabilite sayısı hem de boyutsuz dalga yüksekliği-dalga periyodu parametresi, $H_o T_{om}$, kullanılmaktadır. $H_o T_{om}$ dinamik stabilite numarası olarak aldandırılmaktadır (Denk.2.5). Burada H_o , stabilite sayısı, T_o dinamik stabilite numarası ifadesine ait dalga periyodudur. Stabilite sayısı herhangi bir dalga periyodu etkisini içermediğinden ve $H_o T_{om}$ parametresi dalga yüksekliğine ve dalga periyoduna benzer bir etki verdiği için parametreler arasında büyük bir fark mevcuttur.

$$H_o = \frac{H_s}{\Delta D_{n50}} \quad (2.3)$$

$$T_{om} = T_m \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} \quad (2.4)$$

$$H_o T_{om} = \frac{H_s}{\Delta D_{n50} T_m \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}}} \quad (2.5)$$

Dinamik stabil şekillenebilen dalgakıran, dalga etkileri altında taşların sürekli olarak hareket edeceği anlamına gelmekte, bu da taşların kırılmasına ve kıyı boyunca taşınmasına neden olabilmektedir. Yapı stabilitesini etkilediği için önemli miktarlardaki kıyı boyu taşınımından her zaman kaçınılmalıdır. Bu durum, taşların yer değiştirmesinin daha stabil bir profille sonuçlanacağı beklenen yeniden şekillenme durumundan farklıdır. Aslında, dinamik stabil basamaklı dalgakıranlar, dalgakıranların tasarım ömürleri boyunca statik veya stabil olması gerektiği için kabul edilemez olduğu sonucuna varılabilir.

- ***Yeni Sınıflandırma: Van der Meer ve Sigurdarson (2017)***

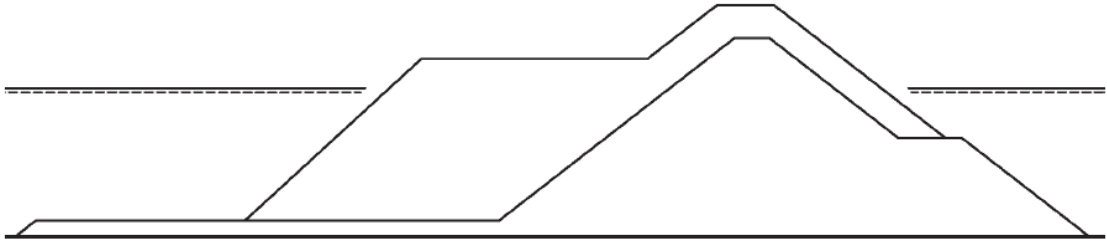
Baird ve Hall, 1984 [1]'de tarif edildiği gibi yeniden şekillenen tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran, birçok durumda en büyük taş sınıfının basamağın en üst kısmında ve kısmen de ön şevde bulunduğu, daha fazla taş sınıfına sahip bir basamaklı dalgakırana dönüşmüştür. Bu anlamda “tek tip anroşmanlı” (MA) ve “İzlanda tipi” (IC) basamaklı dalgakıranlar olmak üzere iki tip basamaklı dalgakırandan bahsedilir. Tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran Şekil 2.8’de verilmiştir.

Daha fazla taş sınıfına sahip ve en büyük taş sınıfının basamakta ve kısmen de yapının ön şevinde bulunduğu İzlanda tipi basamaklı dalgakıran, IC, Şekil 2.9’da verilmiştir. En büyüğünden en küçüğüne doğru taş sınıfları Sınıf I’den V’e kadar uzanmaktadır.

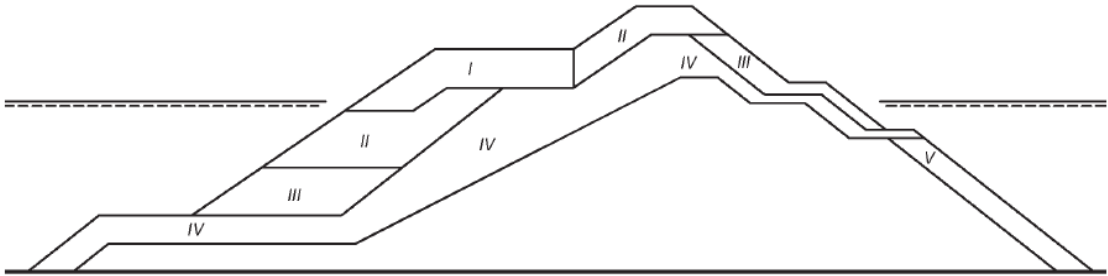
Tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakırandan nispeten küçük taşların, İzlanda tipi basamaklı dalgakırandaysa çok daha büyük taşların kullanılmasına bağlı olarak her iki tipin davranışı çok farklı olmaktadır. Tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran tamamen şekillenme eğilimi gösterebilirken, İzlanda tipi basamaklı dalgakıran belirgin bir şekillendirme söz konusu olmadan statik stabilite gösterebilmektedir. Ancak benzer taş sınıflarının kullanılmasıyla, her iki türün de kısmen şekillenme göstermesi mümkün olabilmektedir. Bu tür dalgakıranlar her

zaman benzer davranış göstermezler, bu nedenle basamaktaki geri çekilme sınıflandırmanın bir parçası olarak göz önünde bulundurulmaktadır.

Van der Meer ve Sigurdarson (2012) [25], basamaklı dalgakıranları kullanılan taş sınıflarına bağlı olarak Mass Armoured (Tek Tip Anroşmanlı) (MA) ve Icelandic Type (İzlanda Tipi) (IC) ve geri çekilme miktarına göre Hardly Reshaping (HR) (çok az şekil değiştiren), Partly Reshaping (PR) (kısmen şekil değiştiren) ve Fully Reshaping (tam şekil değiştiren) (FR) olarak sınıflandırmıştır (Tablo 2.3). Tablo 2.3'teki sınıflandırma, (HR/PR/FR) yeniden şekillenme limitlerine ek olarak, farklı tiplerde basamaklı dalgakıranları (MA/IC) tanımladığı için PIANC sınıflandırmasının bir güncellemesidir.



Şekil 2.8 Tek Tip Anroşmanlı Basamaklı Dalgakıran (MA)



Şekil 2.9 İzlanda Tipi Basamaklı Dalgakıran (IC)

Basamaklı dalgakıranların yapısal davranışları geri çekilme miktarlarına göre;

Çok az şekillenen

HR (Hardly Reshaping)

Kısmen şekillenen

PR (Partly Reshaping)

Tamamen şekillenen

FR (Fully Reshaping)

olarak sınıflandırılmıştır.

Hem basamaklı dalgakıran türleri hem de farklı yapısal davranışlar birlikte değerlendirildiğinde, dört tip basamaklı dalgakıran sınıflandırması meydana getirmektedir:

Çok az şekillenen İzlanda tipi basamaklı dalgakıran	HR-IC
Kısmen şekillenen İzlanda tipi basamaklı dalgakıran	PR-IC
Kısmen şekillenen tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran	PR-MA
Tamamen şekillenen tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran	FR-MA

Sonuç olarak, bir dalgakıran yapısı 1 yıllık fırtınadan 1000 yıllık fırtınaya kadar her türlü şiddette fırtınaya maruz kalabilmektedir. Dalgakıranlar genellikle stabilite sayısının geniş bir $H_s/\Delta D_{n50}$ aralığında olası tüm dalga koşulları için deneylere tabii tutulmaktadır. Basamaklı dalgakıranlar için net bir sınıflandırma yapabilmek amacıyla, stabilite sayısında 100 yıllık yinleme periyoduna ait belirgin dalga yüksekliğinin (H_{SD}) kullanılması önerilmektedir. Gerçekte, deneyler veya sonuçların açıklanması sırasında, daha küçük ve daha büyük değerler kullanılabilir, ancak sabit bir yinleme periyodunun seçilmesi daha kesin bir sınıflandırma sağlamaktadır.

Tablo 2.3, stabilite sayısı ($H_s/\Delta D_{n50}$) hasar (S_d) ve geri çekilme (Rec/D_{n50}) içeren gösterge değerleri dikkate alınan, basamaklı dalgakıranlar için yeni sınıflandırmayı göstermektedir. Bu değerler 100 yıllık dalga şartı için verilmiştir.

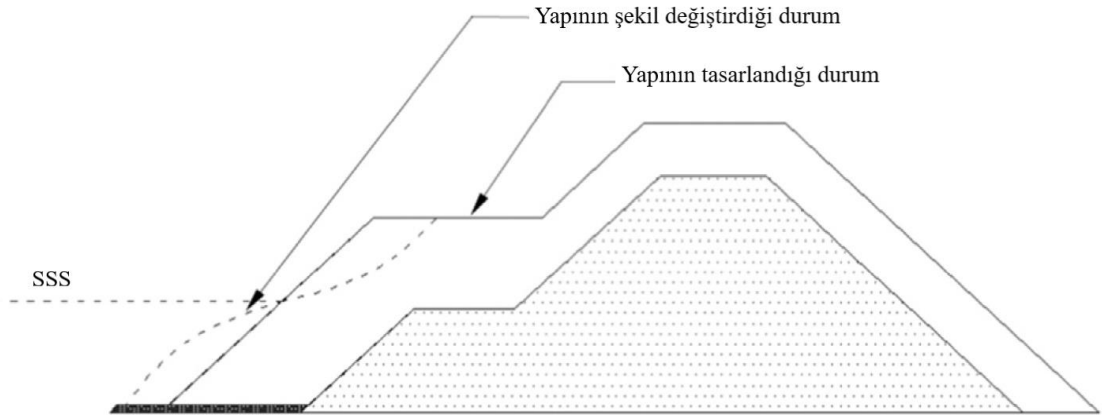
Tablo 2.3 100 yıllık dalga şartlarına göre basamaklı dalgakıranların sınıflandırılması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2012) [25]

Dalgakıran Tipi	Kısaltma	$H_{SD}/\Delta D_{n50}$	S_d	Rec/D_{n50}
Çok az şekil değiştiren İzlanda tipi basamaklı dalgakıran (HR-IC)	HR-IC	1.7-2.0	2.0-8.0	0.5-2.0
Kısmen şekil değiştiren İzlanda tipi basamaklı dalgakıran (PR-IC)	PR-IC	2.0-2.5	10-20	1.0-5.0
Kısmen şekil değiştiren tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran (PR-MA)	PR-MA	2.0-2.5	10-20	1.0-5.0
Tamamen şekil değiştiren tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran	FR-MA	2.5-3.0	--	3.0-10

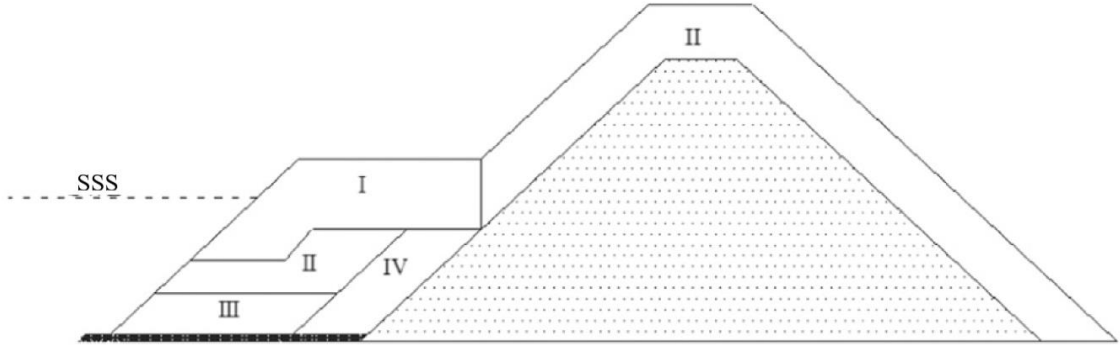
Çok az şekil değiştiren tek tip anroşmanlı basamaklı dalgakıran (HR-MA) dalgakıran tipi ise, gerçekte tasarlanıp inşa edilebilecek türde bir dalgakıran değildir. Bunun nedeni, şevin ve basamağın tamamında Sınıf I'e ait çok büyük taşların kullanılmasının gerekmesidir. Tek tip anroşmanlı yerine İzlanda tipi basamaklı dalgakıran kullanmaması durumunda büyük taşlar yalnızca denize bakan şevin üst kısmı ve basamağın ön kısmında kullanılacağı için çok daha ekonomik olacaktır. Bu tipin sınıflandırmaya eklenmesinin nedeni Lykke Andersen'in (2006) [26] bu tip dalgakıranların deney sonuçlarını tanımlamış olmasıdır.

Genellikle, statik olarak kararlı bir basamaklı dalgakıranda, taşlar şevden aşağı doğru hareket etmekte ve dalga hareketine bağlı olarak diğer hareketlerin nadir gerçekleştiği stabil bir profile dönüşmektedir. Oysa dinamik stabil basamaklı bir dalgakıranda, profil deformasyondan sonra stabil hale gelmesine rağmen, fırtınalar sırasında taşlar sürekli olarak hareket etmeye devam etmektedir. Dinamik yapılar, taş dayanıklılığı ile ilgili sorunlar nedeniyle artık inşa edilmemektedir. Şekil 2.10-a, basamaklı dalgakıranların yeniden şekillenmesini ve profillerinin statik/dinamik stabil olarak aldıkları şekli, Şekil 2.10-b ise şekil değiştirmeyen dalgakıran ve taş sınıflarını göstermektedir. Ayrıca, şekillenmeyen basamaklı dalgakıranda, taşların hareketi geleneksel taş dolgu dalgakırana göre sınırlıdır. Basamaklı dalgakıranların sınıflandırılması, şekillenebilen basamaklı

dalgakıranın aşma oranının, şekillenmeyen basamaklı dalgakırandan daha fazla olduğu gözlemlendiğinden beri önem kazanmıştır.



a) Statik/Dinamik şekil değiştiren basamaklı dalgakıran



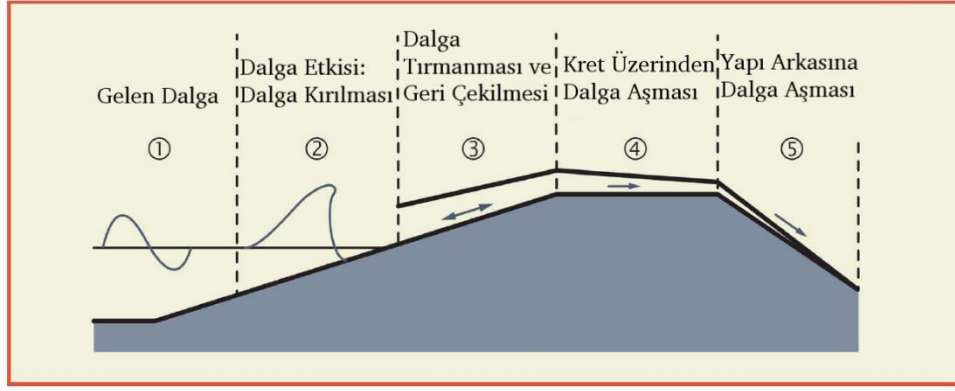
b) Şekil değiştirmeyen dalgakıran ve taş sınıfları (Sınıf I-IV)

Şekil 2.10 Basamaklı dalgakıran kesitlerinin şematik görünümü

2.5 Hidrolik Performans

2.5.1 Dalga Tırmanması ve Geri Çekilmesi

Dalga tırmanması R_u , dalganın sakin su seviyesine göre yapı üzerinde yükseldiği en yüksek, geri çekilme R_d ise dalganın su seviyesine göre yapı üzerinde alçaldığı en düşük düşey seviye olarak ifade edilmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11 Dalga tırmanması ve aşmasının şematik görünümü [27]

Dalga tırmanması yapının yüksekliği ve izin verilen dalga aşma miktarına göre kret kotunun belirlenmesinde kullanılmaktadır.

2.5.2 Dalga Aşması

Dalga aşması, q , yapının birim genişliğinden yapı arkasına aşan ortalama debidir. Bir diğer ifadeyle yapı üzerinde tırmanan dalga yüksekliği maksimum kret hava payından büyük olduğu durumda tırmanan dalganın yapı arkasına aşması olarak tarif edilmektedir. Dalgakıranların tasarımında dalga aşması oldukça önemli bir konudur, çünkü kret seyivesini ve çalışma koşullarını doğrudan etkilemektedir. Bir taş dolgu dalgakıranda aşma miktarı yapısal ve çevresel koşullara bağlıdır.

2.5.3 Yansıma

Bir dalgakıranın stabilitesi ve kret yüksekliğinin tasarımı, genellikle dalgakıran tasarım prosedürünün ana yönleri olarak görülmektedir. Basamaklı bir dalgakıranda ise bu, geri çekilmenin tanımlanması (çekilmenin çok sınırlı olması durumunda hasarın tanımlanması), aşma miktarının hesaplanması ve izin verilen aşma miktarına göre kret yüksekliğinin hesaplanması anlamına gelmektedir. Tasarımın başka bir yönü de dalga yansıması olabilmektedir. Büyük dalga yansıması, gemi seyrini olumsuz etkileyeceğinden veya komşu plajların erozyonunu artırabileceğinden istenmeyen bir durumdur.

Çoğu yansıma formülü, $\alpha = \tan \alpha / s^{0.5}$ kırılma parametresinin fonksiyonu olarak verilmektedir, Burada $\tan \alpha$, şev açısı ve s , dalga dikliğidir.

Basamaklı dalgakıranlar ile ilgili problem, ilk olarak, basamaklı yapının aslında kompozit bir şev olmasıdır, fakat bu şev aynı zamanda geri çekilme sırasında az ya da çok değişim göstermektedir. Tamamen şekillenen bir basamaklı dalgakıran sonunda dik şevli bir yapıdan farklı olarak S şekilli bir profil halini almaktadır. Bu da, Zanuttigh ve Van der Meer 2008 [28]'deki gibi kırılma parametresi ile geleneksel yöntemi takip etmenin çok zor olduğu anlamına gelmektedir.

Geleneksel analiz yöntemi, şev açısını ve dalga dikliğini kullanmaktadır. Diğer dalgakıranlar için veriler, dalga dikliğinin dalga yansıması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Bu gerçeği ve yeniden şekillenebilen bir basamaklı dalgakıran için ortalama bir şev oluşturmanın problemi göz önüne alındığında, sadece dalga dikliği için bir ilk analiz yapılabilmektedir.

Basamaklı dalgakıranlar için dalga yansıması aşağıdaki tahmin formülleri ile hesaplanabilmektedir (Van der Meer ve Sigurdarson (2017) [10]):

Şekillenmeyen ve kısmen yeniden şekillenebilen basamaklı dalgakıranlar için ($H_{sD}/\Delta D_{n50} < 2.5$ veya $Rec/D_{n50} < 4-5$):

$$K_r = 1.3 - 1.7s_{0p}^{0.15} \quad (2.6)$$

1:1.5'den daha dik şevlerde biraz daha fazla yansıma gerçekleşebilmektedir.

Basamaklı dalgakıranların tamamen şekillenebilmesi için ($H_{sD}/\Delta D_{n50} > 2.5$ veya $Rec/D_{n50} > 4-5$):

$$K_r = 1.8 - 2.65s_{0p}^{0.15} \quad (2.7)$$

2.5.4 Dalga İletimi

Bir yapıyı aşan dalgalar, dalga iletimi olarak adlandırılmaktadır ve bu durum yapının ardında dalga oluşturabilmektedir. Düşük kretli yapılarda yoğun dalga iletimi gerçekleşebilmektedir, ancak çoğu dalgakıran genellikle tasarım koşulları sırasında sadece sınırlı dalga iletimine izin vermektedir. Dalga iletim katsayısı K_t , sırasıyla $H_{m0,t}$ ve $H_{m0,i}$ iletilen ve gelen dalga yüksekliğinin oranı $K_t = H_{m0,t}/H_{m0,i}$ olarak tanımlanmaktadır.

Basamaklı dalgakıranlar pratikte düşük kretli yapılar olarak inşa edilmemektedir, bu da dalga aşmasının her zaman çok küçük olacağı anlamına gelmektedir. Dalga iletiminin bir kısmı kret üzerinden aşarak, bazıları da doğrudan yapı içinden geçerek oluşmaktadır.

2.6 Basamaklı Dalgakıranlarında Dalga Aşması

Dalga aşması, dalgakıranların fonksiyonel verimliliğini ve yapısal güvenliğini etkileyen en önemli hidrolik tepkilerden biridir. İlk basamaklı dalgakıranlar tek tip anroşmanlı yapılar olduklarından, çalışmalar dalga hareketinin neden olduğu yeniden şekillenme ve profil gelişimi üzerine yoğunlaştırılmıştır. Kıyı bölgelerinin etkin şekilde yönetilebilmesi için doğru dalga aşması tahmin araçlarının kullanılması gerekmektedir. Dalga aşması, yapı arkasındaki insanların ve malların zarar görmesine neden olabileceği için gerekli tasarım aşma limitleri, sosyo ekonomik faktörler tarafından belirlenir.

2.6.1 Aşma Tipleri

Dalgakıran yüzünde ve kret üzerinde tırmanan dalganın neden olduğu aşan su kütlesi çoğunlukla 'yeşil su' olarak adlandırılır. Bunun aksine, dalgalar koruma yapısının üzerinde veya yapının denize bakan tarafında kırıldığında sürekli olmayan aşma ve/veya önemli miktarda sprej ürettiği zaman, 'beyaz su' veya sprejlenme şeklinde aşma görülür. Sprejlenme ile aşma, kendi momentumuyla duvar üzerinden taşınabilir veya bir kara rüzgârı ile ilerleyebilir/desteklenebilir. İlave sprej, doğrudan dalga tepesine etkiyen rüzgâr ile üretilebilir, özellikle de yansıyan dalgalar, gelen dalgalarla etkileşime girerek yerel 'klapot' meydana getirdiğinde oluşabilir. Bu tür sprejlenme, dalga aşması olarak sınıflandırılmaz ve burada kullanılacak yöntemlerle tahmin edilmez.

Güçlü yakın kıyı rüzgârları olmadığında sprejlenme ender olarak belirgin biçimde aşma miktarına katkıda bulunur, ancak yerel tehlikelere neden olabilir. Hafif sprejlenme, araç kullanımı sırasında görüş mesafesini azaltabilir (kıyı otoyollarında önemli) ve sprejlenmenin uzamsal olarak genişlemesi, tarım ürünleri/bitki örtüsüne zarar verebilir veya bina malzemesinin bozulmasına sebep olabilir.

Rüzgârın ve spreyl oluşumunun etkileri tam olarak modellenmemiştir. Bazı araştırma çalışmaları, yakın kıyı rüzgârlarının, yeşil su aşma miktarı üzerindeki etkilerinin az olduğunu ancak şiddetli rüzgârlarda birim genişlik (m) başına $q=1l/s$ 'nin oldukça altında olan bu aşma miktarının 4 katına kadar artabileceğini belirtmektedir.

2.6.2 Sıfır Aşma

Tecrübeler, bazı müşterilerin ve tasarımcıların "sıfır aşma" amacını karşılayacak bir tasarım isteyebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, özellikle de tahmin denklemleri üstel (eksponansiyel) olduğundan, 'sıfır aşma'nın ne olduğunu tanımlamak kolay değildir, bu nedenle aslında hiçbir zaman sıfır değeri öngörülememektedir. Güçlü bir rüzgâr olmadığında ve dalgalar küçük olduğunda, tahmin denklemlerinin bir kısmının (ekstrem miktarda az) bir aşma miktarını öngörmesine rağmen, yapıda etkili bir şekilde sıfır aşma gerçekleşeceği açıktır. Burada, kritik bir soru "Ne zaman başlıyor?" sorusu olabilir. Bir fırtına olması durumunda, büyük dalgaların su seviyelerinde artışa neden olması sonucu kabarma görülmektedir. Dalga yüksekliği yaklaşık 1m veya daha küçükse, bir saatte yaklaşık beş ila on dalga, ortalama 0.1 l/s/m yapıyı aşacaktır. Bu, oldukça iyi tanımlanmış ve çok sınırlı bir aşma miktarı olmasına rağmen 'sıfır aşma' olarak görülemez.

2.6.3 Dalga Aşması Süreci ve Tehlikeleri

Aşmanın neden olduğu tehlikeler çok sayıda akım parametresiyle ilişkili olmakla birlikte, birkaç doğrudan etkili temel akım parametresi vardır:

Ortalama aşma debisi, q ;

Tekil maksimum aşma hacmi V_{maks}

Bu doğrudan etkili akım parametreleri (q ve V_{maks}) öncelikle burada tolerans dalga aşma miktarı için tavsiye vermek amacıyla kullanılmıştır. Maksimum hacim V_{maks} , bu bölümde de açıklanacak olan aşma hacimleri dağılımını takip etmektedir.

Az miktarda oluşan doğrudan tepkiler (veya benzeri tepkiler, koruma yapısından daha geriye doğru) aşma etkilerini değerlendirmek için kullanılabilir ve aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Kret üzerindeki yatay ve düşey aşma hızları;
- Kret üzerinde ölçülen veya hesaplanan aşma yoğunluğu;
- Aşma mesafesi;
- Aşma kaynaklı akım yoğunluğu ve arka şevde yatay ve düşey hızlar;
- Aşma kaynaklı dalga basınçları/kuvvetler (impulsif veya impulsif olmayan).

Tepkiler için artan müdahale sırasına göre her zaman üç seçenek göz önüne alınmalıdır:

- İnsan faaliyetlerinin aşma ve/veya taşkın tehlikesine maruz kalan bölgeden uzaklaştırılması, arazi kullanım kategorisinin ve/veya yaşam alanı statüsünün değiştirilmesi;
- Verilen tehlike olasılığının kabul edilmesi (kabul edilebilir risk), güvenilir tahminlere dayanarak, uyarı ve tahliye sistemleri ve/veya geçici/demonte edilebilir koruma sistemleri kullanılması;
- Korumayı arttırarak ve/veya yükleri azaltarak riski kabul edilebilir seviyelere düşürmek için koruma standardının arttırılması.

Kabul edilebilir aşma miktarlarının belirlenmesi aşağıdakilere bağlıdır:

- Kamu ve/veya personel için koruma yapısına erişim de dahil olmak üzere, koruma yapısının kullanımı;
- Yapı arkasındaki arazinin (veya suyun) kullanımı;
- Ulusal ve/veya yerel standartlar ve idari uygulama;
- Koruma yapısı finansmanının ekonomik ve sosyal temeli.

Nispeten düşük su seviyesi ve dalga koşulları, aşmaların ani ve şiddetli olduğu "impulsif" kırılmaya neden olabilir. Buna karşılık, dik eğimli, düşey veya bileşik yapılar daha fazla impulsif kırılmaya maruz kalırlar ve aşma daha büyük şiddet ve

hızlarla gerçekleşir. Bu nedenle kırılma biçimi, aşmanın neden olacağı tehlikeyi etkilemektedir.

Yansıyan dalgalar çalkantıyı artırmaktadır, bu da seyir halindeki veya demirlemiş gemilere zarar verebilir, komşu kıyılarda dalgaları artırabilir ve/veya yerel oyulmayı başlatabilir veya hızlandırabilir. Böylece derinlik limitli dalga yüksekliği artabilir.

2.6.4 Tolerans Debileri

Bir fırtına ya da gelgit sırasında, tolerans aşma hacimleri; izin verilen su hacmi, alanın boyutu ve kullanımı, drenaj kanallarının uzunluğu ve büyüklüğü, taşkın-hasar eğrileri ve dönüş periyoduna bağlı olarak, alana özel olmaktadır.

Bununla birlikte bölgede yaşayan, çalışan veya eğlenen insanları koruyan kıyı koruma yapıları için; bu yapıları tasarlayanlar, aynı zamanda dalga aşmasının meydana getirebileceği potansiyel tehlikeleri de hesaba katmalılardır. Bu da, tehlike seviyesinin ve oluşma olasılığının değerlendirilmesini gerektirir. Böylece, aşma kaynaklı riskleri iyileştirmek için uygun eylem planları oluşturulabilir.

Dalgakıranlar aynı zamanda, liman ya da yat limanı alanlarına dalga iletimini de sınırlarlar, bu yüzden asıl mesele, K_t iletim katsayısı ile verilen dalga iletim miktarı olabilir veya iletilen dalganın toplam tedirginliğe katkısı olarak değerlendirilebilir.

Kıyı koruma yapıları üzerinde veya yakınında ölüm, yaralanma, boğulma, mal mülk hasarları veya doğrudan dalga etkisinden kaynaklanan trafik aksamaları gibi önemli tehlikeler söz konusu olabilir. Doğrudan dalga aşma etkileri ve sonuçları dört genel kategori altında analiz edilebilir:

- Dalgaların yapı üzerinde kırılması veya taşkın olasılıkları ile birlikte, kısa ve uzun vadeli kıyı koruma yapılarının hasar durumları;
- Kıyı koruma yapısının hemen arkasındaki yayalar, bisikletliler veya araçla seyahat eden insanların fark etmeksizin, yaralanma veya ölüm gibi doğrudan maruz kalabilecekleri tehlikeler;

- Ekonomik ve çevresel kayıplar ile diğer kaynakların kaybı ya da ekonomik faaliyet veya sürecin bozulması da dahil olmak üzere; korunan alanda mülkiyet, işletme ve/veya altyapının zarar görmesi;
- Düşük derinlikli taşkın (rahatsız edici ama tehlikeli olmayan)

Dalga aşması veya jetlerin karakteristik özellikleri ve neden oldukları tehlikeler; yapının geometrisine, dalgakıran kretinin arkasındaki hinterlandın niteliğine, aşmanın biçimi ve izlediği yörüngeye bağlıdır. Yani, aşmanın neden olduğu tehlikeler hem yerel topoğrafya hem de yapılara gelen doğrudan aşma özelliklerine bağlıdır.

Tüm koşullarda tolerans aşması için kesin ve net sınırlar vermek mümkün değildir. Ancak, çeşitli koşullar veya kullanımlar için tolerans ortalama aşma miktarları ve maksimum aşma hacimleri hakkında bazı öneriler bulunmaktadır. Bu limitler koşullara göre değiştirilebilir.

İlk EurOtop'tan (2007) [29] sonra, aşmaya neden olan dalga yüksekliğinin, tolerans aşma debisi ile güçlü bir şekilde ilişkili olduğu gibi tolerans aşma debisinin tekil aşma hacimlerine çok bağlı olduğu, temel gözlemlerden biridir. Belli bir ortalama aşma miktarı için, küçük dalgalar, çoğu zaman olduğu gibi, sadece küçük aşma hacimlerine neden olacaktır.

Ancak, yüksek bir kret (büyük hava payı) karşısındaki büyük dalgalar, çok daha az dalga aşabilir durumda olsa bile, tek bir dalgada çok büyük hacimlerde aşmaya neden olabilir. Bu anlamda, ortalama tolerans dalga aşma miktarı, bu miktara neden olan dalga yüksekliğine bağlı olmalıdır.

EurOtop (2016) [30] tarafından önerilen izin verilen aşma debileri Tablo 2.4'te gösterilmiştir.

Tablo 2.4 Dalga aşması sınır değerleri (EurOtop, 2016) [30]

Kategori	Hasar Tipi ve Sebebi	Ortalama Debi q(l/s/m)
Yayalar	İyi korunmuş, ıslanmanın öngörülebildiği, düşük miktarda dalga aşması, çarpan su jetleri yok, yürüyüş yolundan düşme tehlikesi düşük	1-10
	Yayaların deniz durumundan haberdar olacak şekilde denizi görebildikleri, ıslanmayı tolere edebildikleri geniş yürüyüş yolları	0.1
Araçlar	Düşük hızlarda seyir, düşük derinliklerde pulsatil akıma bağlı olarak dalga aşması, çarpan su jeti olmaz, araçlar suya batmaz	10-50
	Orta ve yüksek hızlarda seyir, çarpan ya da yüksek hıza sahip su jetlerinden kaynaklı ani dalga aşması	0.01-0.05
Koruma Yapısı Arkasındaki Mülkiyet	Büyük yatların batması veya ciddi biçimde zarar görmesi	50
	Koruma duvarından 5-10m ilerideki küçük teknelerin batma riski, Daha büyük yatların zarar görmesi	10
	Bina yapı elemanları	1
	5 -10 m gerideki ekipmanların zarar görme riski	0.4

Ülkemizde kıyı yapıları ile ilgili tasarım kriterlerini barındıran Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları'nda izin verilen aşma debileri Tablo 2.5'te verilmiştir. Tablolarda da gösterildiği gibi, bu oranlar kategoriye bağlı olarak değişmektedir.

Tablo 2.5 Dalga aşma debisi için tolerans değerleri (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016) [31]

Hasar Bileşeni ve Sebepler	Q Ortalama Dalga Aşma Debisi (l/s/m)	V_{maks} Maksimum Dalga Aşma Hacmi (l/m)
Yayalar		
Çoğunlukla düşey yüzlü yapılarda, mümkün olan en şiddetli aşma halinde yapı üzerindeki yayalar.	Ön görülen herhangi aşma debisi için geçişe müsaade edilmez.	Ön görülen herhangi aşma debisi için geçişe müsaade edilmez.
Taş dolgu dalgakıran kretinde ve sedde kretindeki yayalar. Deniz açık görünümlü. $H_{m0}=3$ m $H_{m0}=2$ m $H_{m0}=1$ m $H_{m0}<0.5$ m	$Q<0.3$ $Q<1.0$ $Q<0.20$ Limit yok	400 – 600 400 – 600 400 – 600 Limit yok
Araçlar		
Sedde denetimi için sedde kreti üzerindeki araçlar. $H_{m0}=3$ m $H_{m0}=2$ m $H_{m0}=1$ m	$Q<5$ 10 – 20 <75	1000 – 2000 1000 – 2000 1000 – 2000
Otoyol ve yollar, hızlı trafik.	Moloz fırlatılması tehlikesine karşı önceden kapatılmalıdır. Tehlike büyük olabilir.	Moloz fırlatılması tehlikesine karşı önceden kapatılmalıdır. Tehlike büyük olabilir.
Demiryolu hatları, yavaş hareket eden tren.	Sedde üzerindeki araçlara bakınız	Sedde üzerindeki araçlara bakınız
Yat Limanları		
Belirgin hasar veya büyük yatların batması, $H_{m0}>5$ m	$Q>10$	>5,000 – 30,000
Belirgin hasar veya büyük yatların batması, $H_{m0}=3 - 5$ m	$Q>20$	>5,000 – 30,000
Duvardan 5 – 10m açıkta bulunan küçük teknelerin batması $H_{m0}=3 - 5$ m Büyük yatların hasar görmesi.	$Q>5$	>3,000 – 5,000
Büyük yatlar için emniyetli, $H_{m0}>5$ m	$Q<5$	5,000
Duvardan 5 – 10m açıkta bulunan küçük tekneler için emniyetli $H_{m0}=3 - 5$ m	$Q<1$	2,000

Tablo 2.5 Dalga aşma debisi için tolerans değerleri (Devamı) (Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Teknik Esasları, 2016) [31]

Hasar Bileşeni ve Sebepler	Q Ortalama Dalga Aşma Debisi (l/s/m)	V _{maks} Maksimum Dalga Aşma Hacmi (l/m)
Binalar		
Binaların yapı elemanları, H _{m0} =1 – 3m	Q<1	<1,000
Duvardan 5 – 10m geride bulunan tesisat ve ekipmanlarda hasar	Q<1	<1,000
Kıyı Duvarları: Toprak, Taş Dolgu		
Taş dolgu dalgakıranlar, H _{m0} >5 m hasar yok	Q<1	2,000 – 3,000
Taş dolgu dalgakıranlar, H _{m0} >5 m dalga aşması için arka tarafı tasarlanmalı	Q<5 – 10	10,000 – 20,000
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H _{m0} =1 – 3m Bitkilendirme tamamlanmış	Q <5	2,000 – 3,000
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H _{m0} =1 – 3m Bitkilendirme işi devam ediyor.	Q <1	1,000 – 2,000
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H _{m0} =0.5 – 3m Bitkilendirme işi sürdürülüyor. Açık alanlar var, yosunlanma, sebze bahçeleri.	Q <0.1	500
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H _{m0} <1m	Q=5 – 10	500
Kreti veya kara tarafındaki şevi bitkilendirilmiş H _{m0} <0.3m	Limit yok	Limit yok

2.6.4.1 Dalga Yüksekliğinin Tolerans Aşma Debisine Etkisi

İlk EurOtop (2007) [29] yayalar, araçlar, koruma yapısı arkasındaki mülkiyet ve kret ile arka eğimde yapısal hasar gibi belirli tehlikeler için tahmini limit değerlerini içeren dört tablo vermiştir. Bu tablolar, tasarım amacıyla, kret seviyesinin değerlendirilmesinde birçok kez kullanılmıştır. EurOtop'tan (2007) [29] sonra geliştirilen temel bilgilerden birisi de tolerans aşma debisinin pik hacme ve dolayısıyla aşmaya neden olan dalga yüksekliğine oldukça bağlı olduğudur.

Belirli bir ortalama aşma miktarı için, küçük dalgalar yalnızca küçük aşma hacimlerine sebep olurken, tek bir büyük dalga yüksek miktarda aşmaya sebep olabilmektedir. Bu anlamda, tolerans aşma miktarı, aşmaya neden olan dalga yüksekliğine bağlıdır (maksimum hacmin kendisini değerlendirmekten daha basittir). Bu önemli kavram, tolere edilebilen aşma limitlerini değiştirmektedir.

Aşan dalga hacimlerinin istatistiksel dağılımı yapı türüne, gelen dalga şartlarına (dalga yüksekliği ve dalga periyodu), hava payına, aşan dalgaların sürekliliğine ve ortalama aşma miktarına bağlıdır. Dalga koşulları ve bunun sonucunda ortaya çıkan ortalama aşma miktarı, eğimli kıyı duvarları ve seddeler, taş dolgu dalgakıranlar ve düşey yüzölçümlü yapılar olmak üzere çeşitli yapılar için benzerlik gösteriyorsa, aşan dalga hacimlerinin dağılımı da aynı düzende olacaktır.

Hesaplamalar $H_{m0}=1\text{m}$, 3m ve 5m 'lik dalga yükseklikleri için yapılmıştır ve birim genişlik (m) başına ortalama aşma miktarları 0.1 l/s 'den 75 l/s 'ye kadar değişmektedir. Aşan dalga hacim dağılımları 5-10 dalgadan daha azsa, dağılım oldukça belirsiz olacaktır ve aşma hacimleri doğru hesaplanamayacaktır.

Yukarıdaki üç dalga yüksekliği uygulamada ortaya çıkabilecek üç durum arasında "kabaca" bir ayırım yapmaktadır:

$H_{m0} \leq 1\text{m}$	Nehirler, geniş kanallar ve küçük göller. Genellikle çimenle kaplı seddeler.

$H_{m0}=1-3m$	Korunaklı kıyılar ve büyük göller. Seddeler, taş dolgu dalgakıranlar, beton bloklar veya blok kaplama duvarları. Çimen kaplı kreterler veya korunaklı yürüyüş alanları/yollar.
$H_{m0}\geq 3-5m$	Yapı yakınındaki yüksek dalgalar ve büyük su derinlikleri ($>10m$). Dalgakıranlar, arazi ıslahı için yapılmış kıyı duvarları.

2.6.4.2 Yapısal Tasarım için Tolerans Aşma Debileri

Kıyı koruma yapıları ve dalgakıranlar şiddetli dalga etkilerine dayanıklı olmak zorunda oldukları için genellikle deniz tarafında taş, beton elemanlar veya bloklarla kaplanırlar. Dalgakıran, dalga aşmasını sınırlandırdığı için deniz tarafında olduğundan daha küçük malzeme ile korunan bir arka şeve sahip olabilir. Bununla birlikte, tüm bu durumlarda, tolerans dalga aşması, yapı türüne bakılmaksızın krete veya yapı arkasında önemli ölçüde zarara neden olmamalıdır.

Dalgakıranlar

Düşük kretli dalgakıranlar için, kret ve arka şev deniz tarafına benzer şekilde korunmaktadır. Çok miktarda dalga aşması, belirgin bir dalga iletimi meydana getirebilir, ancak böyle bir iletime izin verilirse, aşma miktarları ve aşma hacimleri değerlendirmesi pek de yarar sağlamaz.

Keson dalgakıranlar, rıhtımlar veya kıyı duvarları çoğunlukla, çok miktarda aşmaya dayanabilecek şekilde sağlam betonlarla kaplıdır. Bu nedenle, bu tür yapılar için tolerans aşma miktarı, yapısal tasarımla değil, dalgakıran kretindeki liman operasyonları veya korunmasız ekipmanların (boru hatları, konteynerler) koşulları ile daha fazla ilişkilendirilmiştir (demirlemiş gemiler).

Taş dolgu dalgakıranların yapısal tasarımı için dalga aşması çok önemli bir parametredir. Doğru tasarım yapılmadığında tüm dalgakıran çökebilir veya sular altında kaybolabilir. Deniz tarafı dalga etkisine karşı tamamen korunmuş olsa dahi, dalga aşması arka tarafı vurabilir ve arka taraftaki koruma yapılarının yerlerini değiştirebilir.

Bu durum, kronman duvarı elemanının desteğinin azalmasına ve daha sonra da kaymaya başlamasına sebep olabilir.

Mülkiyet ve İşletme için Tolerans Aşma Debisi

Dalgakıran ya da kıyı koruma yapısının üzerinden aşan dalga, yapı kretinin arkasındaki mevcut olan ne varsa onu vurabilir. Tolerans aşma miktarı fazlasıyla alana ve yapıya özgü olacaktır. Bu bölümde, yürüyüş alanları/sokaklar, (geçici) fırtına duvarları, bina ve mülkler ile dalgakıran arkasında demirleyen gemiler/yatlar için birkaç genel örnek verilecektir. Ortalama aşma miktarı oldukça küçük olsa bile, büyük dalga yüksekliğinin, büyük aşma hacimlerine neden olabileceğini hatırlamak yararlı olur. Üstelik belirli bir aşma limiti geçildiğinde, mülkleri yok edebilecek, önemli ölçüde büyük aşma hacimlerine yol açabilir.

Mülk/Ekipman

Bazı limanlarda mülk ya da ekipman (boru hatları, konveyör bantları vb.) dalgakıran kronman duvarı üzerinde (taş dolgu ya da keson) gibi yerlerde bulunabilir. Bu tür ekipmanlar ender olabilecek şiddetli aşmalara nadiren direnecek şekilde tasarlanırlar ve bu da tasarım için iki muhtemel çözüm getirir: ya yapı tasarımı revize edilerek, aşma kabul edilebilir bir limitle sınırlandırılmalı ya da mülk/ekipman öngörülen aşmaya karşı korunmalıdır. İkinci durumda, ekipmanın çok miktarda aşmaya karşı dayanabilen bir yapı ile korunması veya kaplanması daha iyi olabilir.

Büyük aşma hacimleri, dalgakıran kretinin üzerinden havada eğri bir yörünge izleyerek ve dalgakıranın arka tarafında göreceli olarak yakın mesafe içinde demirlenmiş tekneleri veya yatları vurabilir.

Tahkimatlar

Birçok kıyı yerleşim bölgesinde, bina veya konutlar, sahil yolu veya yürüyüş koridorunun hemen kıyısında inşa edilmektedir. Koridorun kendisi iyi korunmuş olabilir, ancak aşan hacimler yolu aşıp binalara çarpabilir ancak az miktarda pencere veya kapı, bu tür kuvvetlere direnecek şekilde tasarlanmaktadır.

İnsanlar ve Araçlar için Tolerans Aşma Debisi

Bazı bölgelerde, şiddetli fırtınaların tahmin edilmesi durumunda kamusal erişim sınırlandırmaktadır, ancak her yerde bu mümkün olmayabilir. Bu alanlarda, dalga aşmalarından kaynaklanabilecek olası tehlikelere karşı insanlar uyarılmalıdır. Bir fırtına kabarması sırasında, kıyı koruma yapılarının durumu gözleme ve denetlemeden sorumlu personelce kontrolde tutulmalıdır.

Dalgakıranlar özellikle insanların sürüklenebileceği fırtına durumlarında tehlikeli olabilir. Bazı durumlarda, bir işletme yetkilisi erişimi hesaba katmamış olabilir, ancak, şiddetli dalga koşullarına rağmen halk buraya erişmeye devam edebilir ve bu durumda da dalga aşması insanlar için tehlikeli olabilir.

Kıyı duvarı önündeki geniş koruma tabakası uzun periyotlu dalgaları genellikle sığlaştırır, böylece fırtına veya soluğan koşullarında (yakın) düşey kıyı duvarı üzerinde ani kırılma ve aşma meydana gelebilir.

Ayrıca, günlük (yaz koşullar) şartlar altında aşmanın görülmediği, ancak normal kış koşullarında şiddetli derecede aşmanın meydana geldiği taş dolgu dalgakıranlar da mevcuttur.

Bazı kıyı bölgelerinde kıyı duvarları ve dalgakıranlar rekreasyon amacıyla kullanılmaktadır. Dalgakıran insanlara ulaşım yolu sağlar. Kret geniş olmasına rağmen dalgakıran yüksek değilse, normal kış fırtınalarıyla yüksek gelgitlerde aşma meydana gelmesi beklenebilir.

Hava tahmin sistemi sayesinde tahmin edilen dalga koşulları, su seviyeleri ile bir ortalama aşma miktarı ve maksimum aşma hacimlerini hesaplamak için kullanılmıştır.

İnsanlar açısından tolerans aşma debisi üzerine birkaç genel sonuç çıkarılabilir. Dalga yüksekliği yaklaşık 3 m'yi aşarsa, insanların dalga esnasında herhangi bir yapı üzerinde bulunmaları tehlikeli olabilir. Dalga yüksekliği 3 m'den küçükse ve dalga aşması genel olarak yatay bir akışa sahipse, kret veya yol üzerinde olduğu gibi, tolerans aşma hacimleri m başına 500 l'ye yakın olacaktır. 2 m'nin biraz üzerindeki dalga yükseklikleri için, m başına 1 l/s'den daha düşük tolerans aşma

miktarına neden olur. Daha küçük dalga yükseklikleri için, ortalama aşma m başına 5 l/s'ye yükselebilir. Çok küçük dalga yükseklikleri için <0.5 m herhangi bir limite ihtiyaç yoktur.

Özellikle taşkın derinlikleri araçların 'yüzmesine' neden olacak seviyedeysen, aşma durumunda taşıt kullanımı tehlikeli olabilmektedir. Fırtına koşullarında yapı arkasında ayakta bulunmak çok tehlikeli olsa da dört çekişli bir araçta seyir halinde olmak daha güvenli olabilir. Araca çarpan su hacmi veya hızlar çok şiddetliyse, araç kayabilir.

Dolgu yol üzerinde hızla seyreden araçların maruz kalacağı hemen hemen her aşma miktarı trafiği tehlikeye sokacaktır.

Çok kuvvetli rüzgârlar (Beaufort'a göre 10 ya da daha büyük), plaj malzemesi, tahta, (plastik) şişeler gibi pislik taşıyabilen sprey oluşturabilir. Bu durum, trafik için sıradan spreylenemeden çok daha fazla tehlike arz edebilir. Gerçek aşma başlamadan önce, bu tip otoyollar genellikle kapalı olmalı ya da ciddi şekilde belli sınırlamalar getirilmelidir.

2.6.5 Basamaklı Dalgakıranlar için Dalga Aşma Modelleri

Lissev [32], Lissev ile Tørum [33] ve Kuhnén [34] tarafından gerçekleştirilen basamaklı dalgakıranlar üzerinden dalga aşma ölçümleri PIANC [24] tarafından yayımlanmıştır. Ayrıca, PIANC [24], şekillenebilen basamaklı dalgakıranlar için Lissev ve Tørum [33] ve Alikhani [35] tarafından geliştirilen ampirik aşma miktarı tahminlerine atıfta bulunmuştur. Lissev ve Tørum [33] tarafından önerilen boyutlu tahmin formülü, sadece tek bir kesit için geçerlilik sağlamaktadır. Basamaklı dalgakıranlarda aşma oranı tahminine ilişkin diğer tahmin modelleri aşağıdaki bölümlerde ele alınmıştır.

2.6.5.1 Van der Meer ve Janssen Formülü (1994)

Van der Meer ve Janssen [36] formülleri, seddeler, tahkimatlar ve kıyı duvarları için yapılan model deney verileri kullanılarak geliştirilmiştir.

Owen'in (1980) [37] düz şev verileri de formülleri geliştirmek için kullanılmıştır. Bu verilerde, aşma geçirimsiz bir kret üzerinde ölçülmüş ve bu nedenle kret

genişliğinin (G_c) etkisi formüllere dahil edilmemiştir. Van der Meer ve Janssen'e [36] göre, kıyı yapılarındaki dalga aşması, esas olarak yapının kret hava payına, R_c , bağlıdır.

Düz ve geçirimsiz bir basamak, sık bir ön kıyı, koruma elemanlarının pürüzlülüğü ve dalga yaklaşım açısı gibi faktörler dalga aşma miktarını azaltmaktadır. Bu etkiler Van der Meer ve Janssen [36] formüllerinde sırasıyla γ_b , γ_h , γ_f ve γ_β azaltma faktörleri olarak yer almaktadır. Formüllerin güvenilirliği, değişkenlerin normal dağılım gösterdiği varsayımıyla değişkenlerin ortalaması (μ) ve standart sapması (σ) cinsinden ifade edilmiştir. Van der Meer ve Janssen [36] tarafından geliştirilen olasılık formülleri $\xi_{0p} < 2$ iken $\mu = 5.2$ ve $\sigma = 0.55$, $\xi_{0p} > 2$ iken μ ve σ sırasıyla 2.6 ve 0.35'tir. Deterministik formüller (Denk. (2.8) ve (2.9)) genellikle yapının tasarım ve güvenlik değerlendirmesi için kullanılırken, probabilistik formüller (Denk. (2.11) ve (2.12)) ölçülen ve tahmin edilen aşma oranlarının karşılaştırılmasında kullanılır.

$$\xi_{0p} < 2 \text{ ise; } q_* \sqrt{\frac{S_{0p}}{\tan \alpha}} = 0.06 \exp \left(-4.7 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{\sqrt{S_{0p}}}{\tan \alpha} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right) \quad (2.8)$$

$$\xi_{0p} > 2 \text{ ise; } q_* = 0.2 \exp \left(-2.3 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right) \quad (2.9)$$

$$\xi_{0p} < 2 \text{ ise; } q_* \sqrt{\frac{S_{0p}}{\tan \alpha}} = 0.06 \exp \left(-5.2 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{\sqrt{S_{0p}}}{\tan \alpha} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right) \quad (2.10)$$

$$\xi_{0p} > 2 \text{ ise; } q_* = 0.2 \exp \left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} \right) \quad (2.11)$$

Burada ξ_{0p} ve S_{0p} , pik periyoda (T_{0p}) bağlı surf parametresi ve pik dalga dikliğidir. α yapının şev açısıdır.

Azaltma faktörleri γ_b , γ_h ve γ_β :

$$\gamma_b = 1 - r_b (1 - r_{hb}) \quad (2.12)$$

$$r_b = \begin{cases} \text{yatay basamak için} & \left(\frac{B/H_{m0}}{2\cot\alpha + B/H_{m0}} \right) \\ \text{diğerleri} & 1 - \frac{\tan\alpha_{eq}}{\tan\alpha} \end{cases} \quad (2.13)$$

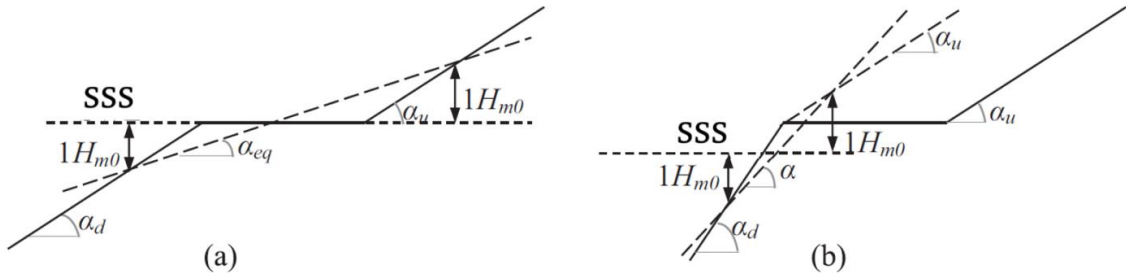
$$r_{bb} = 0 \leq r_{db} \leq 1 \quad 0.5 \left(\frac{d_b}{H_{m0}} \right)^2 \quad (2.14)$$

$$\gamma_d = \begin{cases} \frac{d}{H_{m0}} < 4 & 1 - 0.03 \left(4 - \frac{d}{H_{m0}} \right)^2 \\ \frac{d}{H_{m0}} \geq 4 & 1 \end{cases} \quad (2.15)$$

$$\gamma_\beta = 1 - 0.0033\beta^0 \quad (2.16)$$

Burada B basamak genişliği, d_b basamak üstündeki su derinliği (basamak SSS'nin üzerindeyse negatiftir), d yapı topuğundaki su derinliği, β ortalama dalga yönüdür ve α_{eq} basamağı dikkate alan yapının eşdeğer eğimidir (Şekil 2.12 a). γ_b azaltma faktörü, r_b ve r_{db} aracılığıyla sırasıyla B ve d_b 'nin etkisini dikkate alır. d_b , $\pm \sqrt{2H_{m0}}$ aralığının dışında olduğunda, basamağın aşma üzerindeki etkisi ihmal edilmekte ve eğim Şekil 2.12 b'de gösterildiği gibi hesaplanmaktadır.

Dalga aşması için, Van der Meer ve Janssen [36] tarafından, kırılan dalga şartları ($\xi_{op} < 2$) ve kırılmayan dalga şartları ($\xi_{op} > 2$) olmak üzere iki formül ifade edilmiştir.



Şekil 2.12 Eşdeğer eğim a)basamağın dikkate alındığı, b)basamağın dikkate alınmadığı

Van der Meer ve Janssen'e [36] göre, pürüzsüz ve geçirimsiz bir basamağın SSS'de olması durumu dalga aşmasının azaltılmasında maksimum etkiye sahiptir ve bu nedenle de γ_b minimum değer (0.6) olma eğilimindedir. SSS'deki bir yatay basamağın $\gamma_b = 0.6$ olması için gerekli olan B,

$$B = \frac{4}{3} H_{m0} \cot \alpha \quad (2.17)$$

Denklem (2.9) ve (2.11)'de, s_{op} ve α 'nın, $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$ üzerinde hiçbir etkisi olmadığı kabul edilir. γ_b , $\cot \alpha = 4.0$ şev eğimi ve pürüzsüz basamak içeren model deney verilerinden geliştirilmiştir. Sığ kıyı alanının $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$ üzerindeki etkisi γ_h ile birleştirilmiştir. Ancak, sadece 1:100'lük bir kıyı eğimi için doğrulanmıştır. Ayrıca, basamaklı dalgakıranlar, deniz tarafı $1.1 \leq \cot \alpha \leq 1.5$ 'lik dik eğimli taş dolgu yapılarıdır. Bu faktörler, Van der Meer ve Janssen [] formülü kullanılarak $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$

'ın büyük hesaplanması ile sonuçlanabilir.

2.6.5.2 Lykke Andersen Formülü (2006)

Lykke Andersen [26], stabilite koşullarının şekillenemeyenden ($H_o = 0.96$) tamamen şekillenebilene ($H_o = 4.86$) kadar değiştiği taş dolgu basamaklı dalgakıran kesitleri üzerinde fiziksel model deneyleri gerçekleştirmiştir. Bunun sonucunda şekillenmeyen, kısmen şekillenebilen ve tamamen şekillenebilen olmak üzere üç tip basamaklı dalgakıranın mevcut olduğu sonucuna varılmıştır.

Deney edilen profiller yeniden şekillendirildikten ve uygulanan dalga koşulları için stabilize edildikten sonra kretin deniz tarafındaki aşma ölçülmüştür. Deneylerin büyük çoğunluğunun $s_{op} \approx 0.035$ ile yürütülmesine rağmen, veri seti Tablo 2.6'da gösterildiği gibi çok çeşitli yapısal ve hidrolik parametreler ile temsil etmektedir.

Tablo 2.6 Model çalışmalarında kullanılan boyutsuz ifadelerin aralıkları [26]

Formül	R_c/H_{m0}	G_c/H_{m0}	B/H_{m0}	d_b/H_{m0}	S_{op}	d/H_{m0}
Van der Meer ve Janssen (1994); EurOtop (2007)	0.57-2.95	-	2.02-16.17	-0.57-1.50	0.01-0.05	1.66-7.50
Lykke Andersen (2006)	0.60-2.00	1.00-4.00	1.38-8.00	-0.61-1.79	0.01-0.05	1.79-6.77
Van der Meer ve Sigurdarson (2012)	0.60-1.70	-	1.50-5.00	-0.20-(-)1.60	0.01-0.06	-
Krom (2012)	1.03-2.71	1.02-2.71	1.71-6.42	-1.20-1.26	0.01-0.05	2.84-7.81
Yapay Sinir Ağı (2007)	0.55-1.95	0.73-6.93	0.37-5.15	-0.87-0.91	0.01-0.05	1.41-7.38

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 1.79 \times 10^{-5} \left(f_{H_0}^{1.34} + 9.22 \right) s_{op}^{-2.52} \exp \left(-5.63 R_*^{0.92} - G_*^{1.39} - 0.55 d_{b*}^{1.48} B_*^{1.39} \right) \quad (2.18)$$

Burada;

$$G_* = \frac{G_c}{H_{m0}} \quad (2.19)$$

$$B_* = \frac{B}{H_{m0}} \quad (2.20)$$

$$d_{b*} = \begin{cases} d_b < 3H_{m0}; & \frac{3H_{m0} - d_b}{3H_{m0} + R_c} \\ d_b \geq 3H_{m0}; & 0 \end{cases} \quad (2.21)$$

$$T_0 = \sqrt{\frac{g}{D_{n50}}} T_{0.1} \quad (2.22)$$

$$T_0^* = \frac{19.8 \exp \left(\frac{-7.08}{H_0} \right) S_{0m}^{-0.5} - 10.5}{0.05 H_0} \quad (2.23)$$

$$f_{H0} = \begin{cases} T_0 \geq T_0^*; & 19.8 \exp\left(\frac{-7.08}{H_0}\right) S_{0m}^{-0.5} \\ T_0 < T_0^*; & 0.05 H_0 T_0 \end{cases} \quad (2.24)$$

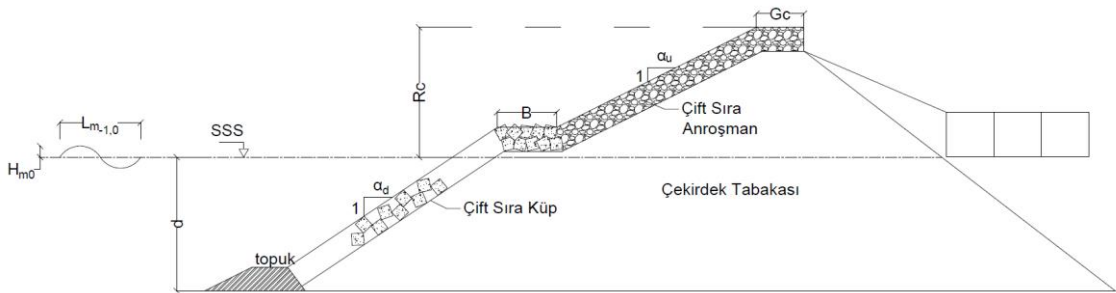
f_{H0} , stabilite sayısının etkisini açıklamaktadır. G_* , d_{b*} ve B_* sırasıyla kret genişliği, basamak yüksekliği ve basamak genişliğini temsil eden boyutsuz parametrelerdir. T_0^* boyutsuz dalga periyodu, $T_{0,1}$ ortalama dalga periyodu, s_{0m} ortalama dalga dikliği ve $H_0 T_0$ ortalama dalga periyodunu içeren dinamik stabilite sayısıdır.

Lykke Andersen [26] tarafından, aşma olasılık tahminleri için verinin dağılımını, 2.22 varyasyon katsayısının temsil ettiği öne sürülmüştür. Denk. (2.18), $\cot\alpha=1.25$ ile veriler kullanılarak geliştirilmiştir. $\cot\alpha \neq 1.25$ olması halinde Denklem (2.18)'de kullanılacak G_* ve B_* aşağıdaki gibidir:

$$G_* = \frac{G_c + 0.5(R_c + d_b)(\cot(\alpha_u) - 1.25)}{H_{m0}} \quad (2.25)$$

$$B_* = \frac{B + 0.5(R_c + d_b)(\cot(\alpha_u) - 1.25) + 0.5(d - d_b)(\cot(\alpha_d) - 1.25)}{H_{m0}} \quad (2.26)$$

Burada α_d ve α_u , sırasıyla basamağın altındaki ve üstündeki şev eğimlerini göstermektedir. (Şekil 2.13)



Şekil 2.13 Basamaklı dalgakıran kesiti ve parametrelerin şematik gösterimi

Lykke Andersen [26] formülü, deneysel verilere uyumlu değişkenler ile çok parametrelili olarak geliştirilmiştir. B ve d_b 'nin q_* üzerindeki etkisi, sırasıyla B_* ve d_{b*} boyutsuz parametreleriyle belirtilmiştir. Deneyler kıyıya paralel yaklaşan dalga etkisi altında ve tek bir kıyı eğimi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, dalga sapması ve kıyı eğiminin etkisi, formüle dâhil edilmemiştir. Bu nedenle, bu

alan daha fazla araştırma gerektirmektedir. Şekillenebilen basamaklı dalgakıranlar Denklem (2.18) temel olarak basamak çekilme tahmini için geliştirilmiş olan f_{H0} faktörü ile tanımlanmıştır. Son araştırmalar, f_{H0} 'ın $H_o \sqrt{T_o}$ gibi faktörlerle daha iyi tanımlanabileceğini göstermiştir. Formül, basamaklı dalgakıranlardaki aşma miktarını etkileyen tüm yapısal ve hidrolik parametrelerin etkisini içermektedir. Birçok değişkeni hesaba kattığından, Lykke Andersen [26] formülünün diğerlerine göre karmaşık bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

2.6.5.3 EurOtop Formülü (2007)

EurOtop (2007) [29], taş dolgu basamaklı dalgakıranlar ile ilgili özel araştırmaların bulunmadığını saptamış ve basamak üzerinden aşma oranının eğimli geçirgen seddeler üzerinden aşmaya benzeyebileceğini önermiştir. Böylece, seddeler ve tahkimat için geliştirilen TAW [38] eğimli geçirgen taş dolgu dalgakıranları temsil etmek için EurOtop (2007) [29] tarafından uyarlanmıştır.

EurOtop (2007) [29]'ta, boyutsuz aşma debisi $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$ 'ın olasılık ve deterministik

tahminler için şu şekilde verilmiştir:

Olasılık yaklaşım:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan\alpha}} \gamma_b \xi_{m1,0} \exp\left(-4.75 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right) \quad (2.27)$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right) \quad \text{maksimum değeri} \quad (2.28)$$

Deterministik yaklaşım:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.067}{\sqrt{\tan\alpha}} \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp\left(-4.3 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\xi_{m-1,0} \gamma_f \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}\right) \quad (2.29)$$

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp\left(-2.3 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_f \gamma_\beta}\right) \quad \text{maksimum değeri} \quad (2.30)$$

Burada $\xi_{m-1,0}$, dalga enerji periyodu $T_{m-1,0}$ 'a bağlı surf parametresidir.

Sigurdarson ve Van der Meer [25], basamaklı dalgakıranların dik eğimlere sahip olduğunu ve dolayısıyla maksimum dalga aşması tahmini için yukarıdaki ifadelerin (Denklem (2.28) ve (2.30)) daha uygun olduğunu öne sürmüşlerdir.

Anroşmanlı geniş krete ($G_c > 3D_{n50}$) sahip taş dolgu dalgakıranlarda dalga aşmasındaki azaltma, orijinal olarak Besley [39] tarafından, Owen'in (1980) [37] deniz duvarlarında dalga aşmasına ilişkin tahmin formülleri için önerilen C_r azaltma faktörü kullanılarak hesaba katılabilir.

$$C_r = \min \begin{cases} 3.06 \exp\left(\frac{-1.5G_c}{H_{m0}}\right) \\ 1 \end{cases} \quad (2.31)$$

TAW [38] raporunda açılı gelen dalga etkisi için azaltma faktörü değiştirilmiştir, çünkü aşmadaki azalmanın daha fazla olduğu görülmüştür.

$$\gamma_\beta = \begin{cases} 0^\circ \leq |\beta| \leq 80^\circ \text{ için; } 1 - 0.0063|\beta| \\ |\beta| > 80^\circ \text{ olduğu durumlarda } |\beta| = 80^\circ \text{ uygulanabilir.} \end{cases} \quad (2.32)$$

Bununla birlikte γ_β , $\cot\alpha = 2.0$ eğime sahip tek şevli taş dolgu dalgakıranda yapılan deneylerden geliştirilmiştir.

EurOtop (2007) [29], γ_f 'i şekillenemeyen basamaklı dalgakıranlar ve şekillenebilen basamaklı dalgakıranlar için sırasıyla 0.35 ve 0.40 önermiştir. Denklem (2.28)'in güvenilirliği 0.35'lik σ ile tanımlanmıştır. Basamak “çok geniş” olmadığı sürece, dalga aşma miktarının tek şevli bir taş dolgu dalgakıran eğimindeki ile aynı olduğu varsayılmıştır. $\cot\alpha \leq 2$ için, basamağın etkisi ihmal edilebilir veya sınırlı kabul edilir. Ayrıca, EurOtop (2007) [29], basamaklı dalgakıranlarda dalga aşmasını tahmin etmek için Yapay Sinir Ağı (YSA) [40] veya Lykke Andersen [26] formülünün kullanılmasını önermiştir.

2.6.5.4 Yapay Sinir Ağı (YSA)

Bilgisayar işlemcilerinin gücündeki artış, kıyı yapılarında dalga aşma oranını tahmin etmek için yapay sinir ağının gelişmesine yol açmıştır.

YSA [40], Avrupa CLASH projesinin bir parçası olarak geliştirilmiştir. Van Gent ve ark. tarafından önerilen YSA [40] farklı kıyı yapılarını kapsamaktadır. Verhaeghe ve arkadaşları [41] tarafından aynı verilere dayanan aşma oranını sınıflandırmak ve ölçmek için kullanılan 2 fazlı bir başka sinir ağı modeli geliştirilmiştir. YSA [40] aşma modeli, küçük ölçekli deneyleri, büyük ölçekli deneyleri ve prototip ölçümlerini içeren 10.532 veriden oluşan kapsamlı CLASH [42] veritabanına dayanmaktadır. Modelin güvenilirliği, yapay sinir ağını geliştirmek için kullanılan verilere dayanmaktadır. Taş dolgu basamaklı dalgakıranları temsil eden veri kayıtları, çoğunlukla Lykke Andersen'in [26] önceki deneylerinden elde edilen veri tabanıdır.

Genel olarak, YSA [40] modeli, girdilerin karmaşık regresyon analizini kullanır ve çoğu durum için doğru bir şekilde aşma oranlarını tahmin eder. Bununla birlikte, YSA [40] gibi yumuşak bilgi işlem araçları, iyi bir model geliştirmek için problem alanını kapsayacak yeterli veriye ihtiyaç duyar.

Ayrıca, YSA [40] modeli, ampirik tahmin formülleri kadar net değildir ve gelişimi, zaman alıcı olan sinir ağı topolojisinin optimizasyonunu gerektirir.

Farklı modelleri geliştirmek için kullanılan veri setlerinin detayları Tablo 1.1'de özetlenmiştir. Lykke Andersen [26] formülünün değişken aralıkları Van der Meer ve Janssen [36] ve EurOtop'tan (2007) [29] daha dar görünmektedir. Bununla birlikte, ikincisi için veri tabanlarının, taş dolgu basamaklı dalgakıranlar dışındaki yapıları kapsadığına dikkat edilmelidir. Sigurdarson ve Van der Meer [25] formülünün değişken aralıkları, Lykke Andersen'in [26] kullandıkları dışındaki veriler formülleri geliştirmek için kullanılmış olsa bile, Lykke Andersen [26] formülü ile iyi bir şekilde örtüşmüştür. Lykke Andersen [26] formülü ile karşılaştırıldığında, Krom [43] formülü rölatif olarak yüksek kret seviyeleri ve yüksek su seviyeleri değerleri için daha uygundur. Bununla birlikte, su seviyesi üzerinde basamağa sahip dalgakıranlara daha az uygulanmaktadır. Formülü elde

etmek için kullanılan veri setlerine dayanarak, Van der Meer ve Janssen [36] formülleri, geçirimsiz basamağa sahip yapılar için en uygunlarıdır. Lykke Andersen [26] formülü, çok katmanlı İzlanda tipi dalgakıranların performansı için tatmin edici olmasına rağmen, taş anroşmanlı taş dolgu basamaklı dalgakıranları için uygundur. EurOtop (2007) [29] formülü basittir ve yaygın olarak kullanılmaktadır. Oysa Van der Meer ve Sigurdarson [25] formülü, EurOtop (2007) [29] formülü ile karşılaştırıldığında, şekillenebilen ve şekillenmeyen basamaklı dalgakıranlar için aşma oranlarında daha başarılı bir değerlendirme sağlayabilmektedir.

2.6.5.5 Krom Formülü (2012)

Krom [43], basamaklı dalgakırandaki aşma ile aşmanın uzamsal dağılımını incelemiştir. Geçirgenliği yüksek bir basamağa sahip taş korumalı kesit ($\cot\alpha=2.0$ ve $D_{n50}=0.062m$) çalışılmıştır. Aşan debi, kretin deniz tarafındaki bitiminden itibaren toplanmıştır. Deneylerde verilerin çoğu batık basamağı temsil ederken, sadece bir tanesi su seviyesinin üzerinde basamak ile ($d_b=-0.1m$) çalışılmıştır. Bununla birlikte, basamaklı dalgakıranlar genellikle su seviyesinin üzerinde basamaklarla tasarlanıp ve üretilmektedir.

Geliştirilen formül (Denk. 2.33), EurOtop (2007)'ninkine [29] benzemektedir. Denklem (2.28) ve (2.2)'de basamağın etkisi, γ_b terimi ile temsil edildi ve γ_f , $\gamma_{f,surging}$ olarak değiştirildi. Denk. (2.34)'te $\gamma_{f,surging}$ tanımlanırken rüzgâr dalgalarını daha iyi temsil etmek için üst sınır 10'dan 6'ya değiştirilmiştir.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp \left(-D \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_{f,surging} \gamma_b \gamma_\beta} \right) \quad (2.33)$$

$$\gamma_{f,surging} = \begin{cases} \xi_{m-1,0} < 1.8 & \gamma_f \\ 1.8 < \xi_{m-1,0} < 6.0 & \gamma_f + (\xi_{m-1,0} - 1.8) \frac{1 - \gamma_f}{4.2} \\ \xi_{m-1,0} > 6.0 & 1.0 \end{cases} \quad (2.34)$$

$$\gamma_b = \begin{cases} d_b & 1-f_{d_b \geq 0} r_b (1-r_{d_b}) \\ \frac{d_b}{A_c} \approx -0.5 & \exp\left(\frac{-f_{d_b < 0} B}{H_{m0} \xi_{m-1,0}}\right) \end{cases} \quad (2.35)$$

Burada D, % 5–95 güven aralığında 2.25 ila 3.10 arasında değişen ampirik bir katsayıdır. $f_{hb} \geq 0$, $f_{hb} < 0$, sırasıyla batık ve su seviyesi üzerindeki basamakları hesaba katan azaltma faktörleridir. Deneysel verilere göre $f_{hb} \geq 0$ ve $f_{hb} < 0$ için sırasıyla 0.40 ve 0.43 değerleri verilmiştir. A_c yapının kret hava payıdır. Krom,

SSS'nin altında veya üstünde, geçirgen bir basamağın $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$ 'ın azalmasına yol

açtığını gözlemlemiştir. Bu azalma, geçirgen basamak içinden geçen suyun yol açtığı enerji kaybından kaynaklanmaktadır. Su seviyesi üzerindeki basamaklar için formül sadece $d_b/A_c \approx -0.50$ olduğu durum için tanımlıdır.

Krom formülü daha az popülerdir çünkü batık basamaklı dalgakıranlarla yapılan deneylerden geliştirilmiştir (sadece bir tane su seviyesi üzerinde basamaklı yapı test edilmiştir). Bununla birlikte, basamaklı dalgakıranlar genellikle basamak su seviyesi üzerinde olacak şekilde tasarlanır ve inşa edilir. Bu nedenle, daha fazla analize yer verilmemiştir.

2.6.5.6 Van der Meer ve Sigurdarson Formülü (2012)

Formül, Lykke Andersen [26] ve çeşitli proje (Proje 1, 4 ve 5) (Van der Meer ve Sigurdarson (2012) [25]) verilerine dayanmaktadır. Veriler, Tablo 2.2'deki kriterlere göre HR/PR/FR basamaklı dalgakıran olarak sınıflandırılmıştır. Proje 1'den elde edilen veriler, ortalama basamak genişliği ($B/H_{m0}=4.3$) ve yüksek basamaklar ($d_b/H_{m0}=-1.60$) ile yapılan deneyleri içermektedir. Proje 5, su seviyesi üzerindeki basamaklar ($d_b/H_{m0}=-0.60$ ila -1.0) ve rölatif olarak düşük kret seviyelerini ($R_c/H_{m0}=0.60-1.0$) içeren enkesitlerden oluşmaktadır.

Sigurdarson ve Van der Meer [25], basamaklı dalgakıranda (Denk. (2.36)) aşma modelinin, EurOtop'taki (2007) [29] taş dolgu dalgakıran formülü ile benzer olması gerektiğini öne sürmüştür (Denklem (2.28)). Bununla birlikte, azaltma

faktörü, basamaklı dalgakıran sınıflandırması (HR/PR/FR) ile dalga dikliklerinin ve s_{0p} (Denklem (2.37)) bir fonksiyonudur.

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.2 \exp \left(-2.6 \frac{R_c}{H_{m0}} \frac{1}{\gamma_{BB} \gamma_\beta} \right) \quad (2.36)$$

Burada γ_{BB} , basamağın varlığını hesaba katacak azaltma faktörünü temsil eder:

$$\gamma_{BB} = \begin{cases} \text{HR ve PR basamaklı dalgakıranlar için} & 0.68-4.5S_{0p}-0.05B/H_{m0} \\ \text{FR basamaklı dalgakıranlar için} & 0.70-9.0S_{0p} \end{cases} \quad (2.37)$$

γ_{BB} , pratik tasarım koşullarına yakın olarak $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} > 10^{-5}$ olan bir veri setine dayalı

olarak formüle edilmiştir. Batık basamakların etkisi, pratikte daha sık görülen, su seviyesi üzerindeki basamaklar gibi ele alınmamıştır. Lykke Andersen [26] tarafından yapılan FR basamaklı dalgakıran deneylerini temsil eden $0.03-0.04 S_{0p}$ aralığında ölçülen ve tahmin edilen dalga aşma verilerinde bir miktar dağılma olmuştur. Bununla birlikte, tahmin edilen verilerin çoğu, EurOtop (2007) [29] formülüne benzer şekilde, 0.35 'lik bir σ değeri veren %5 aşılma eğrileri içinde yer almıştır.

2.6.5.7 EurOtop (2016) ve Van der Meer ve Sigurdarson (2017)

EurOtop (2016) [30] dalga aşmasını belirlemek için sadece tahmin formülleri değil, aynı zamanda PC Aşma ve Yapay Sinir Ağı [40] gibi tahmin araçları da sunmaktadır. Ancak, PC-Overtopping basamaklı dalgakıranlardan ziyade, sedde tipi yapılar için geliştirilmiştir, bu nedenle geçirimli bir kretle başarı sağlayamamıştır. EurOtop (2016)'ya [30] bağlı olan Yapay Sinir Ağı [40] tahmin aracı, geçerli profili kullanmak koşuluyla Lykke Andersen (2006) [26]'ın tüm basamaklı dalgakıranlarını içermektedir. Dalga boyu ve nominal çap D_{n50} bir çeşit stabilite sayısı vermiştir. Stabilite sayısı, ilk profilin yeniden şekillenmesi hakkında iyi bir fikir vermiş ve bu nedenle bu etki yeni bir Yapay Sinir Ağı'na [40] dahil edilmiştir. EurOtop (2016)'ya [30] verilmiş olan Yapay Sinir Ağı [40], basamaklı dalgakıranlar üzerinden meydana gelen dalga aşmasını makul bir şekilde tahmin edebilmektedir.

İzin verilen aşma miktarı, basamaklı dalgakıranın tasarım kret yüksekliğini belirlemek açısından önemlidir. EurOtop (2016) [30] yapı arkasında insanların veya hareketli taşıtların mevcut olması durumunda izin verilen aşma miktarı hakkında kılavuzluk etmektedir. Fakat normalden şiddetli yani, 10 yılı aşan fırtınalar söz konusu olduğunda, hiç kimsenin dalgakıran üzerinde olmasına izin verilmemektedir. Diğer durumlar için izin verilen aşma, aşan dalgalardan korumayı gerektirecek başka bir şeyin varlığına (demirleyen gemiler veya demirlemiş gemilere ya da boru hatları gibi altyapılara erişim gibi) bağlı olmaktadır. Bu durumda ise dalgakıranın kret yüksekliğini arttırmak yerine dalga aşmasına karşı altyapıya bir miktar daha koruma sağlamak düşünülebilmektedir.

Dalgakıranın üzerinde hiçbir şeyin korunmasına gerek olmadığı durumlarda, kret yüksekliği, kretin ve/ veya arka tarafın çok fazla zarar vermediği veya iletilen dalgalar ile gerçekleşen aşma izin verilen bir değerle sınırlı kalacağı seviyeye kadar iyileştirilebilmektedir. Bu gibi durumlarda, kretin ve arka tarafın veya dalga iletiminin stabiliteye etkisi, tasarım kret yüksekliğini belirlemektedir.

İzin verilecek ortalama aşma debisinin 0.1 veya 1 l/s/m değerinde mi olacağının kararını vermek zor olabilmektedir. Bu değerler gerçekte, yapının kretine ulaşarak aşan büyük dalgaların meydana getirdiği ortalama aşma debisi olarak verilmektedir. Fakat “Kaç tane dalga aşması, 0.1, 1 veya 10 l/s/m’lik debi anlamına gelmektedir”, bu sorunun değerlendirilmesi için iki yaklaşım söz konusudur.

Hollanda, Belçika, ABD ve Vietnam’da bulunan Dalga Aşma Simülatörleri tarafından aşma simülasyonları gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar, 1–3 m arasındaki önemli dalga yükseklikleri olduğu varsayılan deniz durumları için gerçekleştirilmiştir. Simülasyonlar, 1 l/s/m’den daha az ortalama aşma debilerinin, çimlerle kaplanmış sedde yamaçlarına zarar vermediğini ve insanların bir sedde yamacında dururken dayanabilecekleri kadar küçük olduğunu göstermiştir. Birim genişlik başına 0.1 l/ s ile yapılan deneylerde, çoğu kez aşma debilerinin küçük ve olayların sayısı az olduğu için dikkate alınmamıştır. Aşma debileri 10 l/s/m’yi aştığında önemli aşma olarak dikkate alınmaktadır.

Basamaklı dalgakıranların durumu, seddelerden biraz daha farklı olmaktadır. Çok küçük dalgaların aşması, taşlara çarpan dalgalarından sıçrama olarak meydana gelebilmektedir. Ancak önemli ölçülerdeki aşma, seddelerde olduğu gibi kret üzerinden yatay bir akış olarak gelmektedir. Tasarım koşulları için dikkate alınan dalga yüksekliği aralarındaki temel farktır. Seddelerde genellikle 3 m'den daha büyük dalga yükseklikleri tecrübe edilmemektedir, oysa basamaklı dalgakıranlar genellikle 5 m civarındaki dalga yüksekliğiyle karşılaşmaktadır. Bu durum küçük aşma debileri için aşma davranışını değiştirmektedir.

Ayrıca, CLASH (2004) [42] projesinde dalga aşması için yapılan prototip ölçümlerinde, ortalama debinin 1 l/s/m'den daha az olması durumunda, taş dolgu dalgakıranlar için aşma üzerinde ölçek etkilerinin mevcut olduğunu göstermiştir. Bu yapılan tartışmalar ve ölçek etkileri basamaklı dalgakıranlar için, yaklaşık 0.5 l/s/m'den daha düşük debiler anlamlı olmamaktadır.

EurOtop (2016) [30], sedde gibi yumuşak eğimli şevler ve dik şeve sahip taş dolgu yapılar için aşma formülleri vermektedir. Bu formüller basamaklı dalgakıranlarda dalga aşmasını tanımlamak için temel oluşturmaktadır.

Şevli bir yapı için dalga aşması şöyle tarif edilmektedir:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = \frac{0.023}{\sqrt{\tan\alpha}} \gamma_b \xi_{m-1,0} \exp \left[- \left(2.7 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_{m0} \gamma_b \gamma_f \gamma_\beta \gamma_v} \right)^{1.3} \right] \quad (2.38)$$

Maksimum değer için:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_f \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \quad (2.39)$$

Burada:

q = birim genişlikteki aşma debisi [m³/s/m]

g = yerçekimi ivmesi [m/s²]

H_{m0} = spektral belirgin dalga yüksekliği = 4 m_0 [m]

α = yapı şevinin yatayla yaptığı açı [°]

$$\xi_{m-1,0} = \text{surf parametresi} = \tan \alpha / (s_{m-1,0})^{0.5} \quad [-] \quad (1)$$

$s_{m-1,0}$ = $T_{m-1,0}$ 'a bağlı bulunan $L_{m-1,0}$ ile dalga dikliği:

$$H_{m0}/L_{m-1,0} = 2\pi H_{m0}/(gT_{m-1,0}^2) \quad [-] \quad (2)$$

$$T_{m-1,0} = m_{-1}/m_0 \text{ ile tanımlanan dalga enerji periyodu} \quad [s] \quad (3)$$

$$m_n = \int_{f_1}^{f_2} f^n S(f) df = n^{\text{th}} \text{ spektrum yoğunluk momenti} \quad [m^{2+n}s] \quad (4)$$

$$m_{n,x} = \text{spektrum yoğunluğunun n. momenti} \quad [m^{2+n}s] \quad (5)$$

x: i gelen spektrum (incident)

r yansıyan spektrum (reflected)

$$R_c = \text{kret hava payı} \quad [m] \quad (6)$$

$$\gamma_b = \text{basamak azaltma faktörü} \quad [-] \quad (7)$$

$$\gamma_f = \text{şev, pürüzlülük ya da permeabilite için azaltma faktörü} \quad [-] \quad (8)$$

$$\gamma_\beta = \text{açılı gelen dalga için azaltma faktörü} \quad [-] \quad (9)$$

$$\gamma_v = \text{düşey duvar ya da dik şev için azaltma faktörü} \quad [-] \quad (10)$$

Pürüzlülük faktörü (γ_f), dalga aşması tahmini yapabilmek için koruma tabakası geometrisinin etkilerini, koruma tabakası sayısını ve diğer yapısal özellikleri hesaba katan bir parametredir. Aynı koruma tabakaları için γ_f 'nin farklı değerleri Tablo 2.7'deki gibi literatürde verilmiştir.

Tablo 2.7 Literatürde yer alan pürüzlülük faktörleri (γ_f) [6]

Koruma Tabakası 2 S = Çift Sıra 1 S = Tek Sıra	Sıklık (ϕ)	Owen (1980)	Hebsgaard ve ark. (1998)	Coeveld ve ark. (2005) CLNN	Pearson ve ark. (2004) Bruce ve ark. (2006) EurOtop (2007)	Smolka ve ark. (2009)	Bruce ve ark. (2009)	Kortenhaus ve ark. (2014)
Düz	–	1	–	1	1	–	1	–
Taş (2 L)	1.38	0.50–0.60	0.55	0.5	0.4	–	0.4	–
Küp (2S, rastgele)	1.17	–	–	0.5	0.47	0.5	0.47	–
Küp (2 S, düz)	1.17	–	–	–	0.47	–	0.47	–
Küp (1 S, düz)	0.7	–	–	–	0.5	–	0.49	–
Antifer (2S)	1.17	–	0.65	0.5	0.47	–	0.5	–
HaroR (2S)	–	–	–	0.47	0.47	–	0.47	0.57/0.63
HaroR (1S)	–	–	–	–	–	–	–	0.57/0.63
Tetrapod (2S)	1.04	–	–	0.4	0.38	–	0.38	–
Accropode™ (1S)	0.62	–	0.55	0.49	0.46	–	0.46	–
Core-Loc™ (1S)	0.56	–	–	0.47	0.44	–	0.44	–
XblocR (1S)	0.58	–	–	0.49	0.45	–	0.44	–
Dolos (2S)	–	–	0.45	0.43	0.43	–	0.43	–
CubipodR (2S)	1.18	–	–	–	–	0.44	–	–
CubipodR (1S)	0.61	–	–	–	–	0.46	–	–

Birçok durumda $H_{1/3}$, H_{m0} 'a oldukça benzemektedir, fakat kesinlikle oldukça dik eğimin olduğu sığ su şartlarında, $H_{1/3}$, H_{m0} 'dan önemli ölçüde daha büyük olabilmektedir (yaklaşık %10-%15). Ayrıca, kıyının nispeten dik (1:50'den daha küçük) ve dalga dikliğinin meydana gelmesi durumunda (%2'den daha küçük s_{op}) $H_{1/3}$ ve H_{m0} gibi diğer ilgili parametreler Battjes ve Groenendijk (2000)[22] yöntemi ile yeterince iyi tanımlanamamaktadır.

Salaudun ve ark., (2015) [44] koruma tabakası tek sıralı beton bloklu dalgakıranlarda dalga aşması üzerine yaptıkları son çalışmalarda, $H_{1/3}$ ve H_{m0} arasında % 15'lik sapmalar olduğunu göstermiştir. Bu sonuçlar 1:30 kıyı eğimi ve $s_{op}=0.015$ dalga dikliği olması durumunda meydana gelmiştir. Aşma formüllerinde $H_{1/3}$ kullanıldığında ölçümlerle çok daha iyi karşılaştırma sağlamış, aynı formüllerde H_{m0} kullanıldığında ise ifadeler oldukça küçük tahminler vermiştir. Bu nedenle dik kıyı eğimi ile çok düşük dalga dikliğinin birlikte olduğu koşullarda H_{m0} kullanılması konusunda dikkatli olunmalıdır.

Azaltma faktörleri, EurOtop (2016)'da [30] ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Seddeler, Denklem (2.38)'in uygulandığı yerlerdir ve genellikle yumuşak eğimlere sahiptir. Daha dik eğim veya daha düşük dalga dikliği olması durumunda, "kırılmayan" veya yapı üzerinde tırmanan dalgalar için Denklem (2.39) uygulanabilmektedir. Basamaklı dalgakıranların yanı sıra taş dolgu dalgakıranların eğimleri dik olduğu için, basamaklı dalgakıranlar için sadece alt şev eğimi için Denklem (2.39) dikkate alınmaktadır.

Aslında, Denklem (2.39)'daki $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$ boyutsuz aşma debisi, boyutsuz kret hava

payı R_c/H_{m0} ve iki azaltma faktörüne (dalga açısı ve pürüzlülük azaltma faktörleri) bağlı Weibull fonksiyonu olarak verilmiştir. Weibull fonksiyonu log-lineer bir grafik üzerinde bir eğri vermektedir. Doğru azaltma faktörleri yatay ekseninde uygulandığında bu verileri kırılmayan dalgalar altındaki geçirimsiz düz bir eğim için verilen çizgiye doğru kaydırmaktadır.

Dalga aşması, tamamen şekillenen basamaklı dalgakıranlar için ölçülmemiştir. Bu nedenle, Lykke Andersen (2006) [26]'nın gerçekleştirmiş olduğu bazı

deneylerdeki geri çekilme sonuçlarını dinamik stabil olmayan dalgakıran profili ile elde ettiği (aslında çoğu profil dinamik olarak kararludur) göz önünde bulundurulmuştur. "Tasarım" stabilite sayısı, $H_s/\Delta D_{n50}=3.5$ olarak verilmiştir. Daha büyük stabilite sayıları için dalga aşması dikkate alınmamıştır. Ayrıca, Lissev'in (1993) [32] gerçekleştirdiği deneylerde, $H_s/\Delta D_{n50}=4.5$ stabilite sayısının, statik stabil sınırın çok ötesinde olduğu göz önünde bulundurulmamıştır.

Laboratuvar şartlarında dalga aşması oldukça doğru bir şekilde ölçülebilir, ancak çok küçük aşma debileri her zaman anlamlı değildir. 1 l/s/m'den daha düşük aşma oranları ölçek etkisi altındadır. Dalga aşma grafikleri, boyutsuz aşma miktarı

$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}}$ kullanılarak göreceli biçimde verilmektedir. Bu, belirgin dalga yüksekliğine ve göreceli aşma miktarı için belirli bir sınır değeri alındığında gerçek aşma miktarının ne olacağına bağlıdır. Sınır değerin $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 10^{-5}$ olduğu kabulü

ile aşağıdaki gerçek aşma miktarları hesaplanabilmektedir:

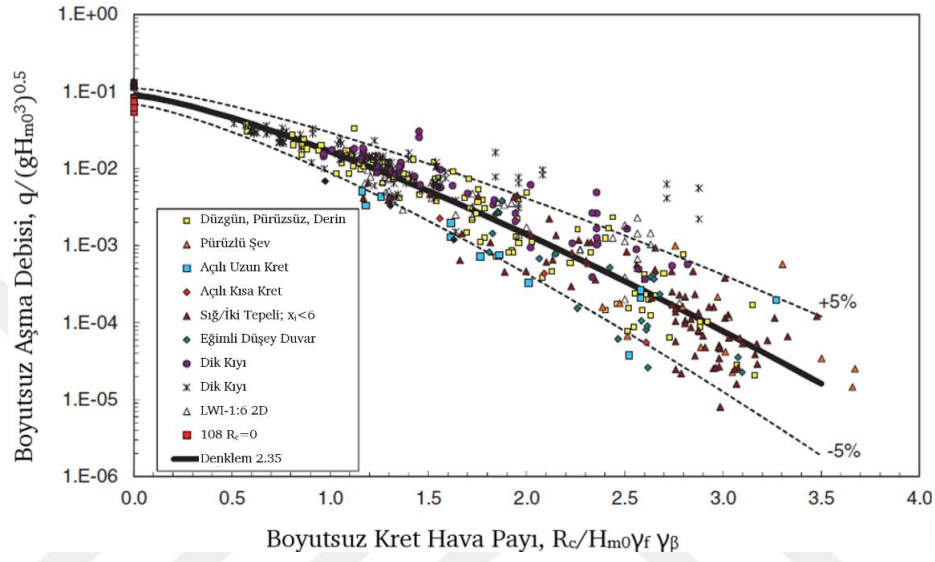
$H_s=1m$	$q = 0.03 \text{ l/s/m}$
$H_s=4m$	$q = 0.25 \text{ l/s/m}$
$H_s=5m$	$q = 0.35 \text{ l/s/m}$
$H_s=6m$	$q = 0.46 \text{ l/s/m}$

$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} < 10^{-5}$ değeri genellikle 0.5 l/s/m'den daha az aşmaya tekabül etmektedir.

Bu da ölçek etkilerinin rol oynayabileceği bir sınır değerdir. Aşma verilerinin analizi için bu nedenle $\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} > 10^{-5}$ üzeri değerlerin değerlendirilmesi daha

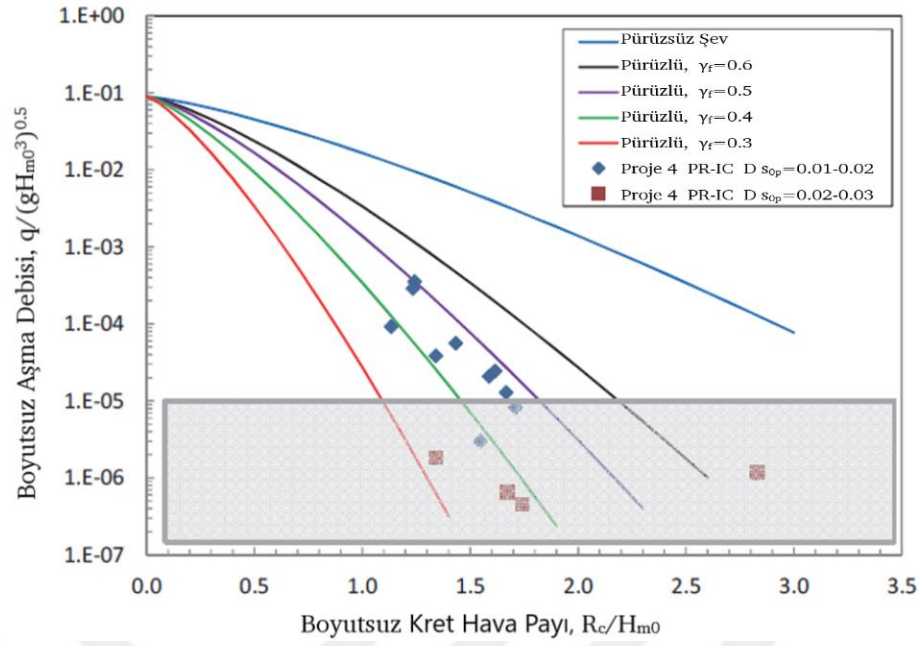
gerçekçi olacaktır. Çünkü daha küçük değerler için saçılım artmaktadır. Aşma grafiklerinde, verilen sınır değerin altındaki alan, küçük aşma verilerinin hala görülebileceği şekilde taranarak, değerlendirilen asıl verilerin çok küçük olanlar değil daha büyük aşma miktarları olduğu belirtilebilir.

Denklem (2.38)'in güvenilirliği $\sigma(0,023)=0,003$, $\sigma(2,7)=0,20$ ile Denklem (2.39)'un ise $\sigma(0,09)=0,0135$, $\sigma(1,5)=0,15$ olarak verilmiştir. Tasarım veya değerlendirme yaklaşımı için ortalama debinin yaklaşık bir standart sapma kadar artırılması gerekmektedir. Ölçüm tahminleriyle veya ölçümlerle karşılaştırmak amacıyla, Denklem (2.39), %5 alt ve üst aşılma eğrileri yani % 90 güven aralığı ile birlikte Şekil 2.14'te görülmektedir.



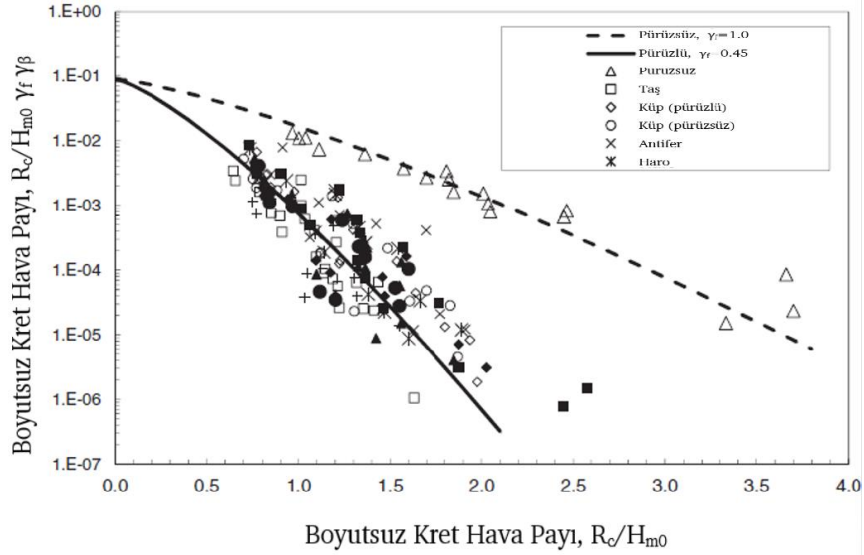
Şekil 2.14 Sedde tipi yapılarda kırılmayan dalga şartlarında dalga aşması, Denklem (2.39), EurOtop (2016) [30]

Pürüzlülük ve geçirgenliğin dalga aşması üzerindeki etkisi, yatay eksenle rölatif kret hava payı R_c/H_{m0} kullanılması ve farklı γ_f azaltma faktörleri için farklı çizgilerin çizilmesiyle de gösterilebilmektedir. Azaltma faktörü, Şekil 2.15'te gösterildiği gibi dalga aşması için eğriyi aşağıya kaydırmaktadır. Bu şekil, Şekil 2.14'teki eğriye benzer şekilde, düzgün bir şev için $\gamma_f = 1$ eğrisini göstermektedir, fakat aynı zamanda $\gamma_f = 0.3, 0.4, 0.5$ ve 0.6 azaltma faktörleri için eğrileri de göstermektedir.



Şekil 2.15 Boyutsuz aşma debisine karşılık boyutsuz kret hava payı (Farklı azaltma faktörü eğrileri) (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10]

Taş dâhil olmak üzere farklı koruma tabakası elemanlarının 1:1.5'lik bir şevde kullanıldığı ve aşmanın ölçüldüğü Şekil 2.15'teki veriler CLASH (2004) [42]'den alınmıştır. Taş dolgu dalgakıranlar ile ilgili olarak pürüzlülük ve/veya geçirgenlik, yumuşak bir şevle kıyaslandığında aşmayı etkili bir şekilde azaltmaktadır. Veri noktalarının büyük çoğunluğu, 0.3 ile 0.6 arasında azaltma faktörleri olan eğriler arasında uzanmaktadır. EurOtop'ta (2016) [30], her bir koruma tabakası tipi için uygun bir azaltma faktörünün kullanılması ve toplam saçılımın anlamlı şekilde azalması sağlanmıştır.



Şekil 2.16 1:1.5 eğimli taş koruma tabakalı yapılarda dalga aşması, Denklem (2.39), EurOtop (2016) [30]

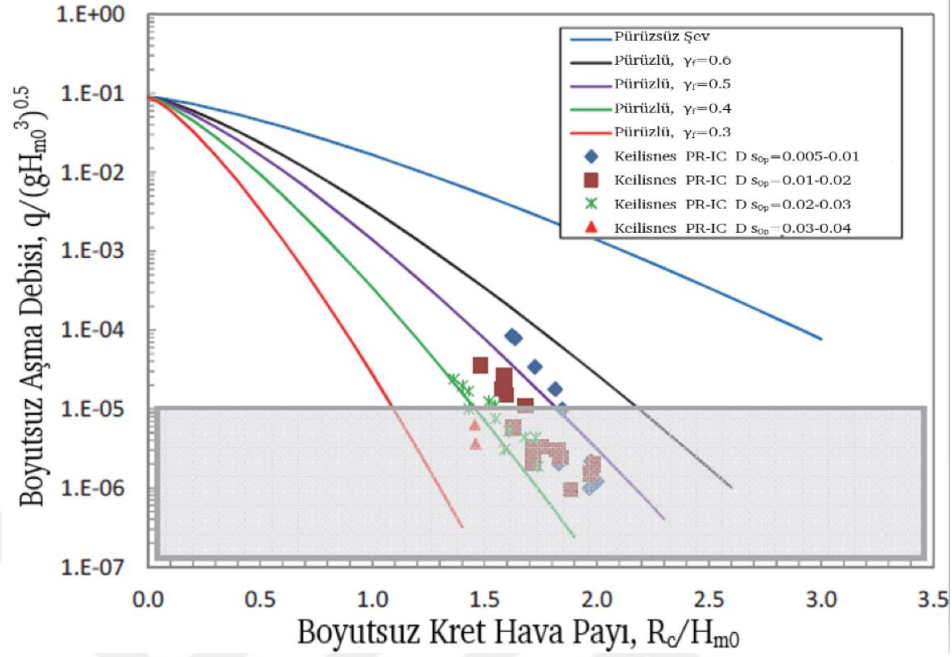
Basamaklı bir dalgakıran yüksek pürüzlülük ve geçirgenliğe sahip bir taş dolgu dalgakıran olarak tanımlanabilmektedir. Ancak, Şekil 2.15'teki verilerin işaret ettiği gibi dik bir şeve sahip değilken, genellikle kısmen veya tamamen şekillenebilen bir basamakla birlikte deniz tarafında rölatif olarak dik bir şevi bulunmaktadır. Azaltma faktörü, basamaklı dalgakıran geometrisinin veya dalga koşullarının bir fonksiyonu olabilmektedir. Eğer bu azaltma faktörü çok yönlü bir biçimde bulunabilir ve tanımlanabilirse, basamaklı dalgakıranlar için diğer tüm kıyı yapılarında olduğu gibi Denklem (2.39) kullanılabilen ve benzer bir grafiğe yerleştirebilmek mümkün hale gelebilmektedir. Bu durumda Denklem (2.39) küçük bir değişiklikle aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \times \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{H_{m0} \gamma_{BB} \gamma_{\beta}} \right)^{1.3} \right] \quad (2.40)$$

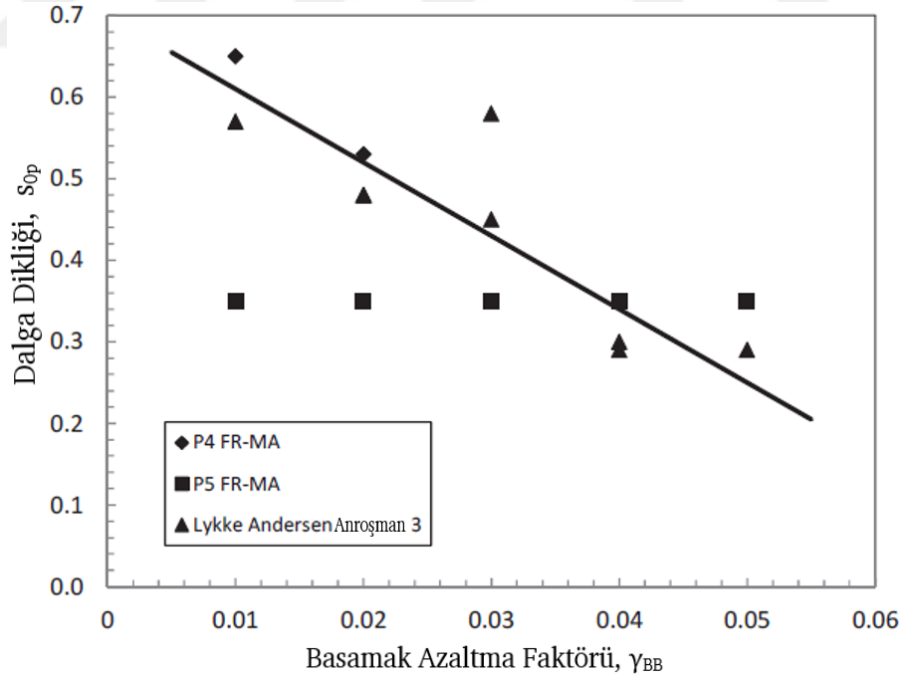
burada γ_{BB} , basamaklı dalgakıran için azaltma faktörüdür.

Şekil 2.17, kısmen şekillenebilen İzlanda tipi basamaklı dalgakırandaki Keilisnes'in aşma verilerini göstermektedir (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017 [10]). Verilerin yarısı eşğin altında olsa da, daha küçük dalga dikliğinin (daha

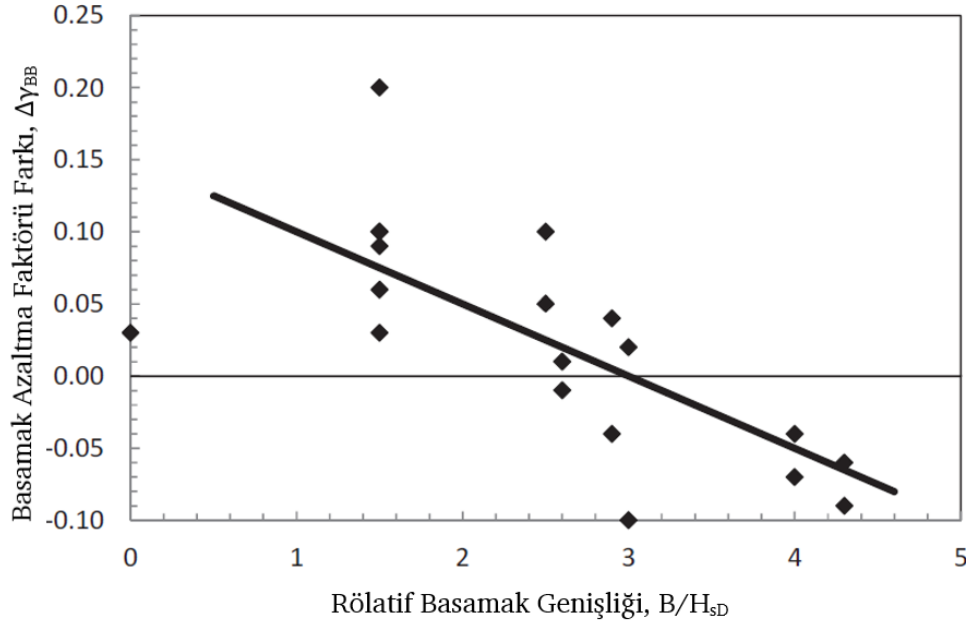
büyük dalga periyotları) daha büyük dalga aşmasına neden olduğu açıkça görülmektedir.



Şekil 2.17 Keilisnes Dalgakıranı(PR-IC) için dalga aşması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10]



Şekil 2.18 Farklı dalga dikliklerine karşılık basamak azaltma faktörü aralığı (FR) (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10]



Şekil 2.19 Rölatif basamak genişliğine karşılık basamak azaltma faktörü farkı (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017)[10]

Burada basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ ifadesi, Denklem (2.40)'tan elde edilen basamak azaltma faktörü ile ölçülen aşma debilerine bağlı olarak Denklem (2.41) elde edilen basamak azaltma faktörü farkına eşittir.

Çeşitli grafiklerin analizinden farklı tiplerdeki basamaklı dalgakıranlarda farklı olsa da dikliğin aşma üzerinde belirgin bir etkisi olduğu görülmektedir.

Dalga dikliğinin basamaklı dalgakıranlarda dalga aşması üzerindeki etkisinin doğrusal bir eğilim içinde olduğu görülmektedir:

$$\text{HR ve PR için} \quad \gamma_{BB} = 0.53 - 4.5s_{op} \quad (2.41)$$

$$\text{FR için} \quad \gamma_{BB} = 0.70 - 9.0s_{op} \quad (2.42)$$

Basamak genişliğinin eğilim üzerindeki bir etkisi olabileceği ortaya çıkmıştır. Veriler genel olarak $B/H_{SD} = 1.5$ olan küçük basamaklara sahiptir, burada aşağıdaki veriler $B/H_{SD} = 4.3$ 'e kadar geniş basamaklara sahiptir.

$$\text{HR ve PR için} \quad \Delta\gamma_{BB} = 0.15 - 0.05B/H_{SD} \quad (2.43)$$

Denklem (2.43)'te $\Delta\gamma_{BB} = 0$ ve $B/H_{SD} = 3$ ise, tasarım koşullarında böyle bir basamak genişliğinin sadece Denk.(2.41) ile açıklanabileceği anlamına

gelmektedir. Daha küçük basamak genişlikleri pozitif $\Delta\gamma_{BB}$ (daha fazla aşma) sonucu vermekteyken, negatif $\Delta\gamma_{BB}$ daha geniş basamak genişlikleri için daha az aşma sonucunu vermektedir.

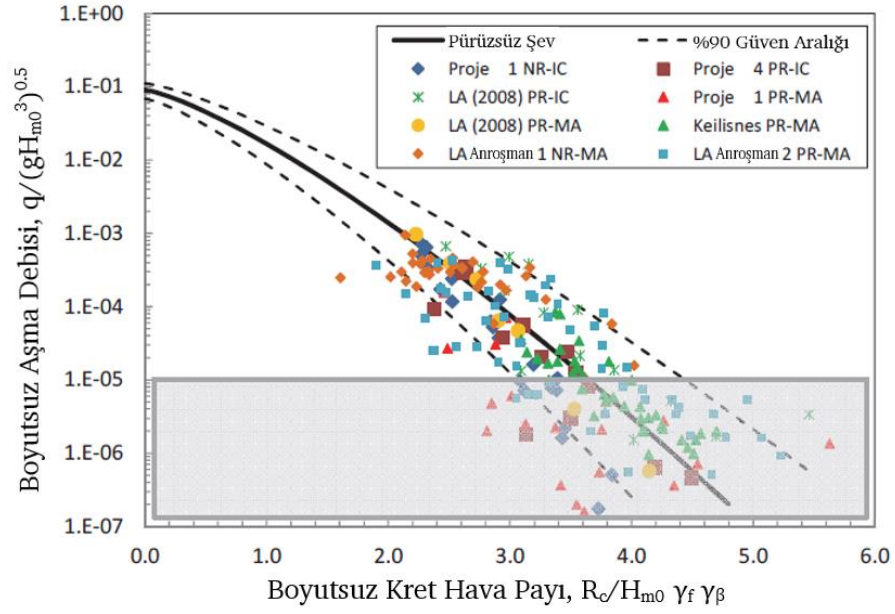
HR ve PR basamaklı dalgakıranlar için γ_{BB} 'nin son hali daha sonra Denklem (2.41) ve (2.43)'ün kombinasyonu ile açıklanabilmektedir:

$$\text{HR ve PR için} \quad \Delta\gamma_{BB} = 0.68 - 4.5s_{op} - 0.05B/H_{SD} \quad (2.44)$$

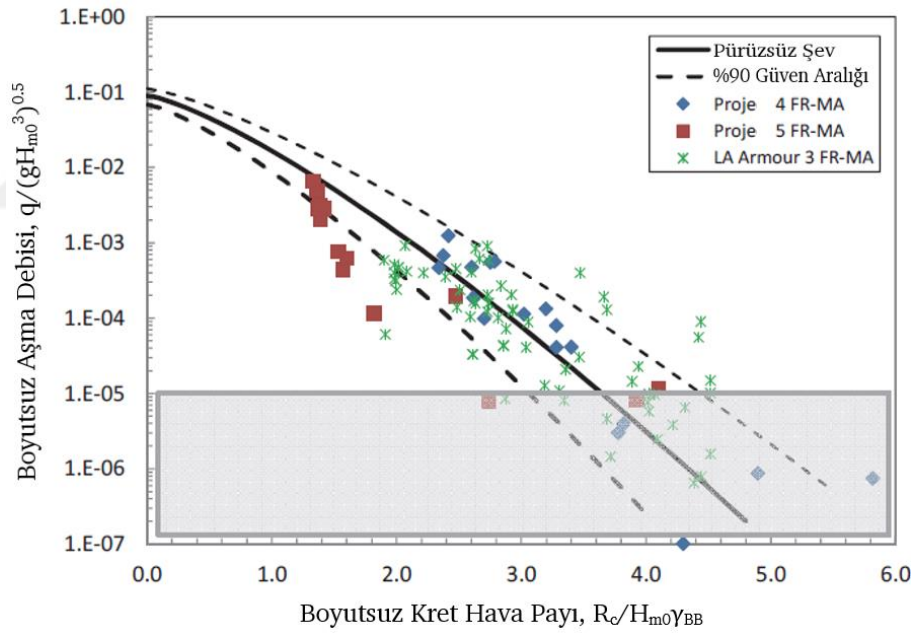
Denklemler (2.42) ve (2.43), iki farklı basamaklı dalgakıran üzerindeki şekillenmeyen ve kısmen şekillenebilen basamaklı dalgakıranlar ve tamamen şekillenebilen basamaklı dalgakıranlar için nihai γ_{BB} azaltma faktörü formüllerini vermektedir. İlk sınıf, tasarım koşulları altında dalga dikliği ve rölatif basamak genişliğinden etkilenirken, ikincisi sadece dalga dikliğinden etkilenmektedir.

Denklemler (2.39) ve (2.41) tarafından verilen azaltma faktörleri, $R_c/(H_s\gamma_{BB})$ gibi rölatif kret yüksekliğinde kullanılabilmektedir ve yine dağılımın azaltılması gereken yerlerde, aşma grafikleri oluşturulabilmektedir. γ_{BB} 'nin yatay ekseninde rölatif kret yüksekliğinde kullanılması durumunda, basamaklı dalgakıranlar için tüm veri noktaları sağa kaymakta ve artık “düzgün pürüzsüz eğimli şev” için verilen eğri ile doğrudan karşılaştırılabilmektedir.

Şekil 2.20 ve Şekil 2.21 grafiklerinde, birleştirilen tüm veriler nihai sonucu vermektedir. Tahmin çizgisi, % 5 alt ve üst aşılma eğrileriyle birlikte verilmektedir ve verilerin büyük çoğunluğu bu iki aşma eğrisi arasında yer almaktadır.



Şekil 2.20 Çok az ve kısmen şekillenen basamaklı dalgakıranlar için dalga aşması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10]



Şekil 2.21 Tamamen şekillenen basamaklı dalgakıranlar için dalga aşması (Van der Meer ve Sigurdarson, 2017) [10]

Elde edilen azaltma faktörleri ile dik pürüzsüz ve pürüzlü şevler için genel aşma formülünün, benzer güvenilirliğe sahip basamaklı dalgakıranların aşmasını da temsil ettiği anlamına gelmektedir. Özetle, basamaklı dalgakıranlar için aşma şu şekilde hesaplanabilmektedir:

- EurOtop (2016) []:

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_{m0} \gamma_{BB} \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \quad (2.45)$$

$$\text{HR ve PR için} \quad \Delta \gamma_{BB} = 0.68 - 4.1 s_{m-1,0} - 0.05 B/H_{SD} \quad (2.46)$$

$$\text{FR için} \quad \gamma_{BB} = 0.70 - 8.2 s_{m-1,0} \quad (2.47)$$

- Van der Meer ve Sigurdarson (2017):

Ortalama Değer Yaklaşımı

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.09 \exp \left[- \left(1.5 \frac{R_c}{\xi_{0p} H_{m0} \gamma_{BB} \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \quad (2.48)$$

$$\text{HR ve PR için} \quad \Delta \gamma_{BB} = 0.68 - 4.5 s_{0p} - 0.05 B/H_{SD} \quad (2.49)$$

$$\text{FR için} \quad \gamma_{BB} = 0.70 - 9.0 s_{0p} \quad (2.50)$$

Tasarım ve Değerlendirme Yaklaşımı

$$\frac{q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.1035 \exp \left[- \left(1.35 \frac{R_c}{\xi_{m-1,0} H_{m0} \gamma_{BB} \gamma_\beta} \right)^{1.3} \right] \quad (2.51)$$

$$\text{HR ve PR için} \quad \Delta \gamma_{BB} = 0.68 - 4.5 s_{0p} - 0.05 B/H_{SD} \quad (2.52)$$

$$\text{FR için} \quad \gamma_{BB} = 0.70 - 9.0 s_{0p} \quad (2.53)$$

B/H_{SD} tasarım dalga yüksekliği ile verilmektedir.

3.1 Modelleme

Mühendislikte, hidrolik yapıların, makinelerin, türbinlerin, pompaların, uçakların, vb. tasarımında kullanılan matematiksel işlemler ve denklemler sayısız basitleştirici varsayımlara dayanmaktadır. Bu nedenle, akım koşullarının ayrıntılı matematiksel analizinin mevcut olmadığı durumlarda, tasarımcının birçok öznel yargı yapması gerekmektedir. Bu ve diğer nedenler için, laboratuvardaki benzer akım koşulları altında modelin davranışını gözlemleyerek prototipin gerçek akım koşulları altında nasıl davranacağını önceden tespit etmek için model çalışmaları yapmak alışılmış bir uygulamadır. Bir modelin, prototipin davranışını doğru bir şekilde tahmin etmesi için model ile prototip arasındaki belirli benzerlik koşullarının karşılanması gerekmektedir. Bu benzerlik koşulları geometrik benzerlik, kinematik benzerlik ve dinamik benzerliklerdir.

Geometrik Benzerlik

Geometrik benzerlik, modeldeki herhangi bir uzunluğun prototipte karşılık gelen uzunluğa oranının her yerde aynı olmasını gerektirmekte ve bu oran ölçek faktörü (λ_1) olarak bilinmektedir.

Model ve prototipin geometrik benzerlik koşulunun sağlanabilmesi için, aşağıdaki denklem kullanılmaktadır:

$$\frac{l_{1p}}{l_{1m}} = \frac{l_{2p}}{l_{2m}} = \frac{l_{3p}}{l_{3m}} = \frac{l_{ip}}{l_{im}} = \lambda_1 \quad (3.1)$$

burada l_{ip} prototipin i . dereceden boyutu, l_{im} modelin i . dereceden boyutu ve λ_1 ise uzunluk ölçek faktörüdür.

Geometrik benzerlik her zaman mükemmel bir şekilde elde edilemeyebilmektedir. Örneğin, bir modelde, prototipin sadece fiziksel boyutları değil, pürüzlülük

yüksekliği de ölçek faktörü ile azaltılmalıdır. Ancak bazı durumlarda bunun uygulaması zor olabileceğinden bu şartlarda, distorsiyonlu bir model ortaya çıkmaktadır.

Kinematik Benzerlik

Model ve prototip arasındaki kinematik benzerlik ise, birbirine karşılık gelen noktalardaki hız ve ivme değerlerinin sabit bir orana sahip olmasıdır. Bu koşulun sağlanması için aşağıdaki denklemler kullanılmaktadır:

$$\frac{V_{1p}}{V_{1m}} = \frac{V_{2p}}{V_{2m}} = \frac{V_{ip}}{V_{im}} = \lambda_v \quad (3.2)$$

$$\frac{a_{1p}}{a_{1m}} = \frac{a_{2p}}{a_{2m}} = \frac{a_{ip}}{a_{im}} = \lambda_a \quad (3.3)$$

Burada λ_v ve λ_a , sırasıyla hız ve ivme ölçek faktörleridir. Kinematik benzerliğin sağlanabilmesi için, geometrik benzerliğin mevcut olması şarttır.

Dinamik Benzerlik

Dinamik benzerlik terimi, model ve prototipte birbirine karşılık gelen noktalarda kuvvetlerin sabit bir orana sahip olması gerektiği anlamına gelmektedir. Bir akışkan çeşitli kuvvetlere maruz kalabilmektedir. Bazı olası kuvvetler:

1. Basınç kuvvetleri, akışkandaki çeşitli noktalar arasındaki basınç farklarından kaynaklanmaktadır.
2. Viskoz kuvvetler, sıvının viskozitesinden kaynaklanmaktadır.
3. Elastik kuvvetler, sıvının sıkışabilirliğinden kaynaklanmaktadır.
4. Yüzeysel gerilme kuvvetleri.
5. Yerçekimi kuvvetleri.
6. Atalet kuvvetleri, Newton'un İkinci Hareket Yasası'ndan, atalet kuvvetleri -ma'ya eşittir yani, akışkan partikülünün ivmesini sıfıra getirmek için, -ma'ya eşit hayali bir kuvvet gereklidir.

Model prototip sisteminde, modelde olduğu gibi prototipte de akışkan kütlelerinin (m) bir parçacığı düşünüldüğünde, bu parçacık basınç ve viskoz kuvvetler tarafından etkilenmektedir. Bu kuvvetler sırasıyla F_p ve F_v olsun. Newton'un İkinci Yasasından, elde edilen kuvvet (yani, atalet kuvveti, F_i) ma 'ya eşittir. Kinematik ve geometrik benzerlikten, prototipteki kuvvet üçgeninin, modeldeki kuvvet üçgenine benzer olması gerektiği sonucu elde edilmektedir. Bu nedenle:

$$\frac{(F_p)_p}{(F_p)_m} = \frac{(F_v)_p}{(F_v)_m} = \frac{(ma)_p}{(ma)_m} = \frac{(F_i)_p}{(F_i)_m} \quad (3.4)$$

Yukarıdaki eşitlikten, kuvvet oranlarından herhangi ikisinin eşit olması durumunda, üçüncü kuvvet oranının da bu kuvvet oranlarına eşit olması gerektiği sonucuna ulaşılmaktadır. Bu sebeple, eğer sadece üç kuvvet söz konusuysa, kuvvetlerin ikisi doğrudan orantılı olduğunda dinamik benzerliğe ulaşılmaktadır. Örneğin, bir akım durumunda, atalet ve viskoz kuvvetler söz konusu ise; dinamik benzerlik için:

$$\frac{(F_v)_p}{(F_v)_m} = \frac{(F_i)_p}{(F_i)_m} \quad (3.5)$$

ya da

$$\left(\frac{F_i}{F_v} \right)_p = \left(\frac{F_i}{F_v} \right)_m \quad (3.6)$$

yazılabilir.

Üçüncü kuvveti göz önünde bulundurmaya gerek yoktur çünkü bu kuvvetteki benzerlik koşulu otomatik olarak sağlanmaktadır.

Partiküllerin ivmesi ve dolayısıyla atalet kuvvetleri tüm akım durumlarında önemli bir rol oynamaktadır ve bu nedenle atalet kuvvetini basınç, viskoz, elastik, yüzeysel gerilme veya ağırlık kuvvetlerinden biri olarak eklemek alışılmış bir hale gelmiştir. Atalet kuvvetinin diğer kuvvetlerden birine oranı, bilinen bir sayı ile gösterilmektedir; örneğin, atalet kuvvetinin ağırlık kuvvetine oranı, Froude Sayısı ile temsil edilmektedir. Bu nedenle, hem modelde hem de prototipte Mach,

Reynolds, Froude veya Weber sayısını aynı yaparak dinamik benzerliğin elde edilebileceği sonucuna varılmıştır.

Örneğin, serbest yüzeyli akımlarda, atalet kuvvetleri ve yerçekimi kuvvetleri hakim kuvvetlerdir; bu nedenle, bir noktadaki Froude Sayısı model ve prototip için aynı ise, model ve prototip arasındaki dinamik benzerlik sağlanabilmektedir, veya;

$$\left(\frac{V}{\sqrt{gL}} \right)_m = \left(\frac{V}{\sqrt{gL}} \right)_p \quad (3.7)$$

Boruda sabit bir akım olması durumunda, atalet ve viskoz kuvvetler hakim kuvvetlerdir. Dolayısıyla, Reynolds Sayısı model ve prototipte aynı olduğunda dinamik benzerlik elde edilmektedir. Böylece:

$$\left(\frac{VL\rho}{\mu} \right)_m = \left(\frac{VL\rho}{\mu} \right)_p \quad (3.8)$$

Dinamik benzerlik otomatik olarak kinematik benzerliği sağlamaktadır. Benzerlik konusundaki tartışma; model deney sonuçlarının prototipin davranışını öngörmede geçerli olması için aşağıdaki koşulların yerine getirilmesi gerektiği belirtilerek özetlenebilir.

1. Model prototipe geometrik olarak benzer olmalıdır.
2. Dinamik benzerlik mevcut olmalıdır.

Yukarıdaki iki koşul mevcutsa kinematik benzerlik koşulu otomatik olarak yerine getirilmektedir.

Çeşitli problemler için dinamik benzerlik şartları Tablo 3.1’de sıralanmıştır.

Tablo 3.1 Çeşitli problemler için dinamik benzerlik şartları [45]

Etkin Kuvvetler	Pratik Örnekler	Dinamik Benzerlik Şartı
Viskoz Basınç Atalet	1.Borularda basınçlı akımlar 2.Düşük hızlı uçaklarda hava akımı 3.Yüzey dalgası oluşturmayacak kadar derinde seyreden bir denizaltından kaynaklı akım	$(R)_m = (R)_p$ (Reynolds)
Ağırlık Basınç Atalet	1.Açık kanalda bir sıvının akımı 2.Sudaki bir geminin neden olduğu dalga hareketi 3.Su bendi ve dolusavaklar üzerinden akım 4.Bir orifisten atmosfere akım	$(F)_m = (F)_p$ (Froude)
Yüzeysel Gerilme Basınç Atalet	1.Kapiler dalgalar 2.Küçük jetler 3.Bir yüzey üzerinde ince bir sıvı tabakası akımı	$(W)_m = (W)_p$ (Weber)
Elastik Basınç Atalet	1.Yüksek hızlı uçak ve füzeler 2.Pervaneler ve döner kompresörler 3.M 0.4'ü aştığında gazlarda izentropik koşulları içeren problemler	$(M)_m = (M)_p$ (Mach)

3.2 Ölçek Etkileri ve Metodoloji

Su-yapı etkileşiminin çalışabilmesi amacıyla oluşturulan prototipin hatalı ölçeklendirilmesi ölçek ve model etkilerine neden olmaktadır. Ölçeklendirilmiş modellerden güvenilir sonuçların alınması ancak Froude ve Reynolds yasalarını aynı anda yerine getirmesi durumunda beklenmektedir. Ancak bu durum modellemede mümkün olmadığı için ölçeklendirilmiş model deneyleri gerçekleştirilirken ölçek etkilerinden kaçınmak mümkün olamamaktadır.

Yerçekimi, basınç ve atalet kuvvetleri dalga hareketi için ilgili kuvvetler olduğundan, çoğu modeller Froude kanununa göre ölçeklendirilmektedir. Viskoz kuvvetler Reynolds yasası, elastistik kuvvetler Cauchy yasası ve yüzeysel gerilme kuvvetleri Weber yasası tarafından yönetilmektedir ve bu kuvvetlerin çoğunun modellerde ihmal edilmesi gerekmektedir. Bu kuvvetlerin dikkate alınmamasından kaynaklanan tüm etki ve hatalar ölçek etkisi olarak adlandırılmaktadır. Tüm bu ölçek etkilerinin belirlenmesi sorunu hala çözülmemiş olmakla birlikte, Avrupa'daki CLASH [42] araştırma projesi, dalga aşmasıyla ilgili ölçek etkilerine dair biraz daha fazla fikir vermektedir.

Ölçek etkileri; viskozite, yüzeysel gerilme, sürtünme ve havalandırma etkileridir. Bu etkiler çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır ve fiziksel model çalışmaları için gözetilmesi gereken bazı genel kurallara dikkat çekilmiştir.

- Çok kısa dalga boylarında veya çok sığ sularda, **yüzeysel gerilme** kuvvetlerinden dolayı ölçek etkileri olmaktadır. Dalga periyodunun 0.35 s ve su derinliğinin 2 cm'den daha az olması durumunda yüzeysel gerilme etkileri dikkate alınmalıdır (Hughes, 1993 [46]). Bu değerlerde, yüzeysel gerilmenin düzeltici kuvveti önemli olmaya başlamakta ve prototipte meydana gelmeyen dalga hareketinin sönümlenmesi durumuna neden olmaktadır. Genel olarak, yüzeysel gerilme etkilerinden kaçınmak için modeldeki su derinlikleri $d=2$ cm'den çok daha büyük, dalga periyodu $T=0.35$ s'den daha büyük ve dalga yükseklikleri de $H_s=5$ cm'den daha büyük olmalıdır. Yapılan bu çalışmada hem dalga periyodu hem de su derinliği yeterince büyük olduğundan yüzeysel gerilme ölçek etkisi ihmal edilebilmektedir.
- Hall 1990 yılında yürüttüğü deneysel çalışmada dalgaların yapı üzerinde kırılmasıyla meydana gelen hava kabarcıklarının hareketini ve sürüklenmesini incelemiş ve sürüklenen hava kabarcıklarının küçük ölçekli fiziksel deneylerle benzerlik göstermeyeceğini belirtmiştir (Hughes, 1993 [46]). Bunun nedeni model ve prototipteki Weber sayılarının farklı olmasıdır ($W = \frac{\rho U^2 L}{\sigma}$, σ =yüzeysel gerilme). Modelde oluşan hava kabarcıklarının prototipte oluşarlardan daha büyük olmasından dolayı modelde çok daha fazla enerji kaybı olmaktadır. Tüm bu sonuçların ışığında, “taş dolgu yapıların şevlerinde toplam enerji kaybı daha fazla meydana gelecek ve dalga tırmanması da buna bağlı olarak durumdan etkilenecektir” sonucuna ulaşılmaktadır.
- Malzeme çapları lineer olarak geometrik benzerlik kullanılarak ölçeklendirildiğinde bu durum çok büyük **viskoz kuvvetlere** ve çok küçük Reynolds sayılarına neden olmaktadır. Akım direnci arttığında filtre ve çekirdek tabakalarında meydana gelen akım azalmaktadır. Wilson ve

Cross [47] yaptıkları çalışmalarda çok küçük Reynolds sayılarında modelin daha fazla enerji yansıttığını ve yapı içinden daha az dalga enerjisi iletildiği sonucunu elde etmişlerdir (Hughes, 1993 [46]). Bunun sonucunda, tırmanma seviyeleri yükselirken ve koruma tabakasının stabilitesi düşmektedir (Burcharth vd. [48]). Taş dolgu dalgakıranlarda koruma tabakası stabilitesi için Reynolds sayısı 3×10^4 ten büyük olmalıdır; kıyı seddelerinden aşma için $Re > 1 \times 10^3$; özellikle küçük modellerde taş dolgu dalgakıranların çekirdeğindeki taş büyüklükleri taş boyutlarından ziyade, çekirdekteki hızlara göre ölçeklendirilmelidir. Reynolds sayısı aşağıda verilen ifadelerle tanımlanmış ve hesaplanmıştır.

$$U = \left(\frac{PH_i L}{2hT} \right) \quad (3.9)$$

$$U = \left(\frac{0.47 \times 0.14 \times 5.63}{2 \times 0.45 \times 1.16} \right) = 0.35 \text{ m/s}$$

$$R_e = \left(\frac{U \times D_{n50}}{\nu} \right) \quad (3.10)$$

$$R_e = \left(\frac{0.35 \times 0.019}{1.33 \times 10^{-6}} \right) = 5 \times 10^3$$

Burada, porozite, (P) 0.47, topuktaki belirgin dalga yüksekliği, (H_i) 0.14 m, dalga boyu, (L) 5.63 m, su derinliği (h) 0.45 m, topuktaki ortalama periyot (T) 1.16 s alınmış ve akım hızı $U = 0.35 \text{ m/s}$ olarak elde edilmiştir. Alt tabaka taş çapı, D_{n50} , 0.019 m, kinematik viskozite, ν , $1.33 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak alındığında Reynolds sayısı 5×10^3 olarak belirlenmiş olup 1×10^3 değerinden büyük olduğundan viskoz ölçek etkisi ihmal edilebilmektedir.

Viskozite ve yüzeysel gerilme etkileri için kritik sınırlar Tablo 3.2'de verilmektedir, daha fazla ayrıntı Schüttrumpf ve Oumeraci'de (2005) [49] bulunabilir.

Tablo 3.2 Ölçek etkileri ve kritik limitler [45]

Süreç	İlgili Kuvvetler	Benzetim Yasası	Kritik Limitler
Dalga İlerlemesi	Ağırlık kuvveti Sürtünme kuvvetleri Yüzeysel gerilme	Fr_w Re_w We	$Re_w > Re_{w,crit} = 1 \times 10^4$ $T > 0,35 \text{ s}; h > 2,0 \text{ cm}$
Dalga Kırılması	Ağırlık kuvveti Sürtünme kuvvetleri Yüzeysel gerilme	Fr_w Re_w We	$Re_w > Re_{w,crit} = 1 \times 10^4$ $T > 0,35 \text{ s}; h > 2,0 \text{ cm}$
Dalga Tırmanması	Ağırlık kuvveti Sürtünme kuvvetleri Yüzeysel gerilme	Fr_A, Fr_q Re_q We	$Re_q > Re_{q,crit} = 10^3$ $We > We_{crit} = 10$
Dalga Aşması	Ağırlık kuvveti Sürtünme kuvvetleri Yüzeysel gerilme	Fr_A, Fr_q Re_q We	$Re_q > Re_{q,crit} = 10^3$ $We > We_{crit} = 10$

Burada;

$$Fr_w = \frac{c}{(g \times h)^{1/2}} \quad (3.11)$$

$$Fr_A = \frac{v_A}{(g \times h_A)^{1/2}} \quad (3.12)$$

$$Fr_q = \frac{v_A}{(g \times R_u)^{1/2}} \quad (3.13)$$

$$Re_w = \frac{c \times h}{\nu} \quad (3.14)$$

$$Re_q = \frac{(R_u - R_c)^2}{(\nu \times T)} \quad (3.15)$$

$$We = \frac{v_A \times h_A \times \rho_w}{\sigma_w} \quad (3.16)$$

olarak verilmektedir.

- **Sürtünme ölçek etkileri** göreceli olarak büyük uzunluk ölçeği nedeniyle taşdolgu dalgakıran modelleri için dikkate alınmamaktadır. Taban sürtünme ölçek etkileri, çok uzun dalga ilerleme mesafesine sahip kıyı yapıları modellerinde önem arz etmektedir. Bir başka sürtünme etkisi ise birbirine temas eden koruma tabakası elemanları arasında meydana gelen sürtünmeden kaynaklanmaktadır. İnşa edilmiş taşdolgu dalgakıran

yapılarında temas sürtünme kuvvetleri genellikle ihmal edilmektedir. Ancak bu yapıların küçük ölçekli fiziksel modellerinde, elemanlar arasındaki sürtünme kuvvetleri prototipleri ile benzerlik göstermemektedir. Buna, koruma tabakası yüzeyinin büyük ölçekli yapılara göre rölatif olarak daha pürüzlü olması sebep olmaktadır. Yapılan çalışmalar neticesinde, koruma tabakası elemanları arasındaki sürtünmeyi olabildiğince azaltabilmek amacıyla modellerin son derece düzgün yüzeyli yapılması gerekmektedir. Bu amaçla taşların boyanması daha pürüzsüz bir yüzey sağlamaktadır.

Prototip ve ölçeklendirilmiş modellerde yapılan gözlemlerden, hangi model ve ölçüm etkilerinin ne kadar katkıda bulunduğunu tanımlamaksızın bu farklılıkları hesaba katan bir metodoloji türetilmiştir.

3.2.1 Model ve Ölçüm Etkileri

Model veya laboratuvar etkileri; prototip yapısının geometrisi ile dalga ve akıntının yanlış benzeştirilmesinden veya bir dalga kanalının (yan duvarlar, dalga üreteçleri vb.) sınır koşullarından kaynaklanmaktadır. Modelleme teknikleri önemli ölçüde gelişim göstermiş olmasına rağmen hidrolik modellerde model etkileri hala devam etmektedir.

Ölçüm etkileri, prototip ve modelde örnekleme verileri için kullanılan “farklı ölçüm” ekipmanlarından kaynaklanmaktadır. “Ölçüm etkileri” olarak adlandırılan bu etkiler, prototip ile model veya iki aynı modelin sonuçlarının karşılaştırılmasını önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bu nedenle, farklı tekniklerle ilgili etki ve belirsizliklerin niceliksel olarak değerlendirilmesi son derece önemlidir.

Dalga aşma model etkisine önemli bir örnek ölçüm genişliğidir. Güvenilir bir ortalama dalga aşması elde etmek için genellikle koruyucu eleman sayısının 20’den büyük olması tavsiye edilmektedir (EuroTop 2016 [30]). Bu çalışmada 15~16 olup oldukça yakın bir değerdir.

3.2.2 Metodoloji

Yukarıda yapılan tartışmaların ve tanımların ardından, model ve prototip verileri arasındaki farklılıkların nedenlerinin, modelden mi yoksa ölçek etkilerinden mi kaynaklandığını belirlemek bazen çok zor olabilmektedir. CLASH [42] projesi sırasında, rüzgâr etkisi neredeyse tüm hidrolik modellerde göz ardı edildiğinden, model etkilerine ana katkılardan birisinin rüzgâr olduğu görülmüştür. Rüzgâr etkisinin dikkate alınmamasına rağmen, yapının pürüzlülüğü ve geçirgenliği gibi özellikler de model üzerinde ilave etkiler olarak bulunmuştur.

Aşağıdaki olaylar, rüzgârın yanı sıra en önemli model etkilerinin katkılarına dair göstergeler de vermektedir. Deneylerin tekrarlanabilirliği, dalga parametrelerinin değişim katsayısının (H_{m0} , T_p , $T_{m-1,0}$), $\sigma' \sim \%3$ mertebelerinde olduğunu ve iki dalga kanalındaki dalga aşması için $\sigma' \sim \%13$ ve $\sigma' \sim \%10$ farklı olduğunu göstermiştir (EurOtop 2016 [30]).

Dalga analizi için farklı örnekleme aralıkları ve farklı dalga üretme yöntemleri, tahmin edilen dalga parametrelerini ($\sigma \sim \%3$) pek etkilememiştir. Bununla birlikte fırtına süresinin dalga aşması üzerinde etkili olduğu görülmüştür. 200 ila 1000 dalganın yarattığı aşma miktarı ortalama aşma miktarında %20 farklılık yaratmıştır. Değişkenlik yaratan bir başka unsur ise, oluşturulan rastgele zaman serisinin özelliği Romano ve diğerlerinde (2015) [] gösterildiği gibi bu değişkenlik ve aşma olasılığının %5'in altında olması ve $R_c/H_{m0} > 2$ için daha belirgin olduğu ve yüksek dalga aşma debilerinin azaldığı durumlarda daha belirgin olmaktadır.

Aşma tepsisinin kanaldaki konumu, levhanın kretin ortasına yerleştirildiği durumdaki sonuçlara göre aşma oranlarında ($\sigma \sim \%20$) farklılık göstermiştir. Bunun nedeni, aşma tepsisinin önündeki koruma tabakası elemanlarının farklı düzeninden ya da kanalın yan duvarlarının etkisinden dolayı olabilmektedir. Bu nedenle deney gerçekleştirilen kanalın genişliği, gerçek ortalama aşma debisini doğru bir şekilde belirlemek için çok küçük kalmaktadır (EurOtop 2016 [30]).

3.3 Deney Sistemi

3.3.1 Dalga Kanalı ve Üreteci

Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik ve Kıyı Liman Mühendisliği Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir. Dalgakıran model deneyleri Şekil 3.1 a ve b'de gösterilen 26 m uzunluğa, 1 m genişliğe ve 1 m yüksekliğe sahip olan ve piston tipi dalga üreteci ile donatılmış olan dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Dalga kanalının 22 m uzunluğu boyunca her iki tarafı camdan imal edilmiştir. Bu sebeple deneyler sırasında kolaylıkla gözlem yapılabilmektedir. Dalga kanalıyla ilgili daha detaylı bilgi için Şekil 3.2'de gösterilen boy kesit verilmiştir. Dalga üreteci piston, motor, kontrol sistemi ve güç kaynağı ünitelerinden oluşmaktadır. Deplasman tipi piston arka tarafta dalga yaratmadığından herhangi bir sönümleyici gerektirmemektedir (Şekil 3.3). Dalga kanalının bir ucunda konumlanan dalga üreteci hem düzenli hem de düzensiz dalgalar üretebilme özelliğine sahiptir. Dalga üreteci, aktif yansıma sönümleme sistemine (ARC) sahip olup yansıyan dalgaları algılayarak bir sonraki gönderilecek dalgayı ayarlayabilmekte ve böylece dalga yansıma etkisi engellenmektedir.

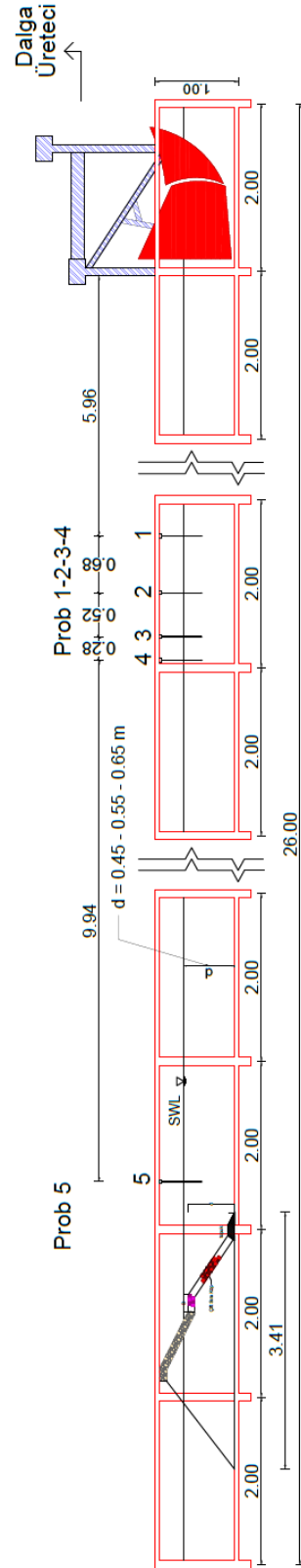


a)



b)

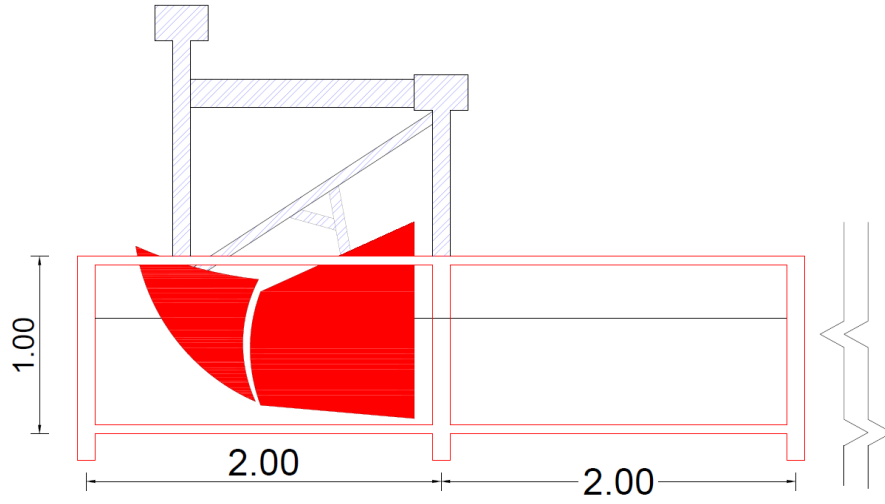
Şekil 3.1 Dalga kanalı görüntüleri



Şekil 3.2 Dalga kanalı boykesiti şematik gösterimi



a) Dalga üretici



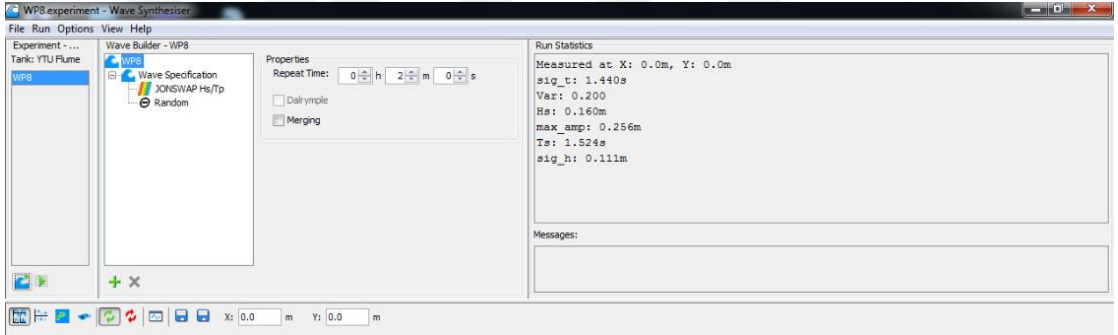
b) Dalga üreticinin şematik gösterimi

Şekil 3.3 Dalga üretici görünüş ve şeması

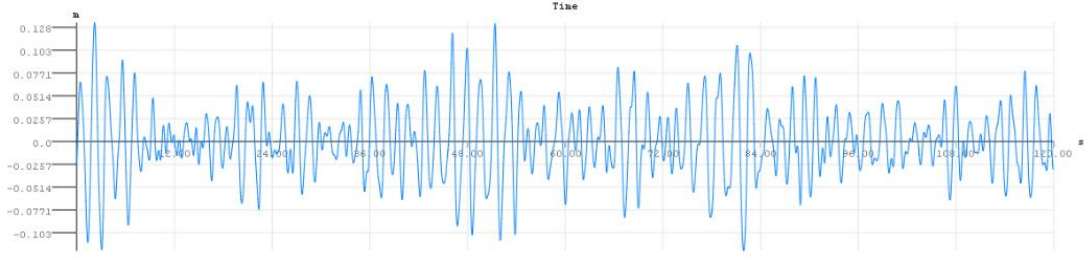
3.3.2 Dalga Üretimi ve Dalga Ölçüm Sistemi

Bu çalışmada yapılan tüm deneyler düzensiz dalgalar ile gerçekleştirilmiş, böylece doğadaki dalgaların daha iyi benzeştirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma dalga kanalında gerçekleştirildiğinden yalnızca yapıya dik açıyla gelen dalgalar dikkate alınabilmektedir.

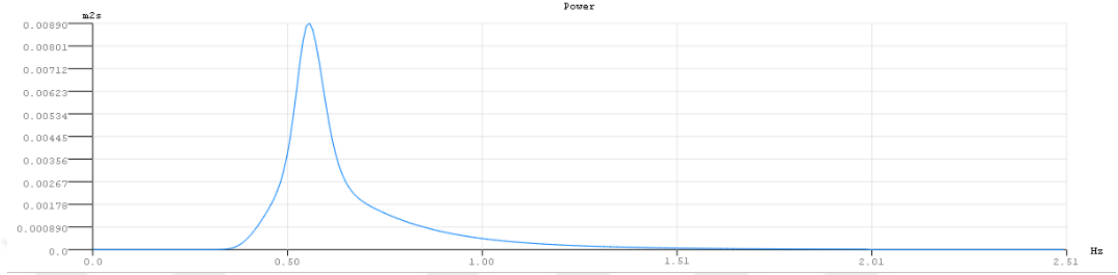
Dalga üretimi için Wave Synthesis programı kullanılmıştır. Deneylerde kullanılan düzensiz dalgalar JONSWAP spektrumu yardımıyla üretilerek doğadaki dalgalara benzeştirilmişlerdir. Bu program için girdiler dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga dikliğidir. JONSWAP spektrumuna ait diklik parametresi (γ) bu çalışmada 3.3 olarak alınmıştır. Wave Synthesis Programına ait bir ekran görüntüsü Şekil 3.4'te görülmektedir. Şekil 3.5 a ve b'de ise bir fırtınaya ait düzensiz dalga kaydı ve bu kaydın spektrumu görülmektedir.



Şekil 3.4 Wave Synthesis programı ekran görüntüsü



a) JONSWAP spektrumu ile üretilen düzensiz bir dalga kaydı



b) Bu fırtına dalgasının spektrumu

Şekil 3.5 Wave Synthesis programına ait JONSWAP spektrumlu düzensiz dalga kaydı ve bu dalga kaydının spektrumu

Dalga üreticinin meydana getirdiği dalgalar; rezistans tipi ikiz çubuk elektrotlu problar vasıtasıyla ve 8 kanallı CLE3C30 tipi bir dalga monitörü kullanılarak su seviyesi değişiminin ölçülmesi ile belirlenmiştir. Dalga monitörüne ait bir fotoğraf Şekil 3.6’da görülmektedir. Şekil 3.7’de ise dalga ölçüm probunun yer aldığı bir fotoğraf görülmektedir. Dalga probu iki çelik tel arasından geçen akımın ölçülme prensibine dayanmaktadır. Şekil 3.8’de zaman bağlı olarak değişen su seviyesi değişimlerinin voltaj cinsinden kaydına bir örnek gösterilmektedir. Suya batık problar etrafında su seviyesinin alçalıp yükselmesi ile değişen direnç su seviyesi değişimine dönüştürülmekte, böylece ölçülen su seviyesi değişimlerinden dalgalar hesaplanabilmektedir.

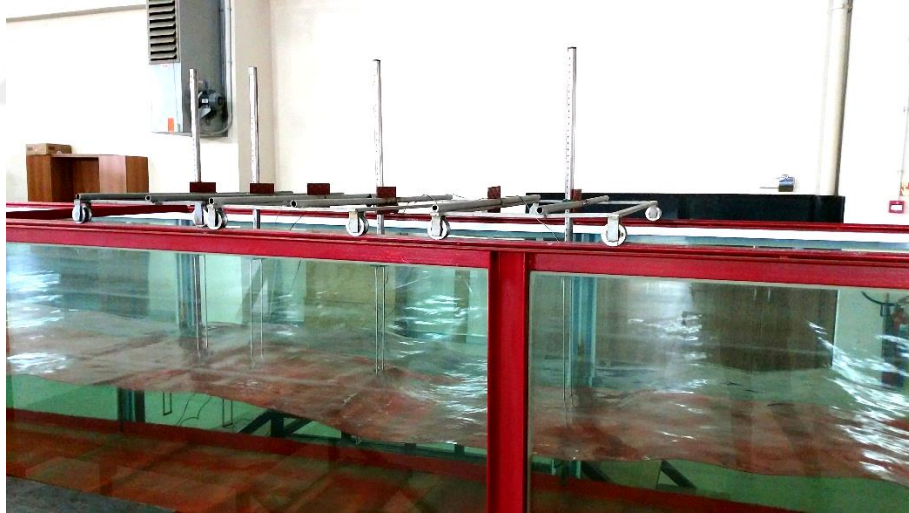
Deneylerde 5 adet dalga probu kullanılmıştır. Bunlardan dört tanesi dalga üretici yakınına, beşinci prob ise yapı topuğuna yerleştirilmiştir. Beşinci dalga probu yapı topuğundaki yani aşma değerlendirmesinde kullanılacak olan dalgayı ölçmüştür. Şekil 3.2’de görülen dörtlü dalga prob grubu ise (prob 1, 2, 3, 4) sabit bir su derinliğine yerleştirilmiştir ayrıca problar arasındaki mesafe ve dalga üreticine olan mesafeler ise önceden tanımlanmıştır. Bu problar vasıtası ile hem sistemde

meydana gelecek olan yansıma belirlenebilmiş hem de açıkta üretilen dalga ölçülebilmektedir.

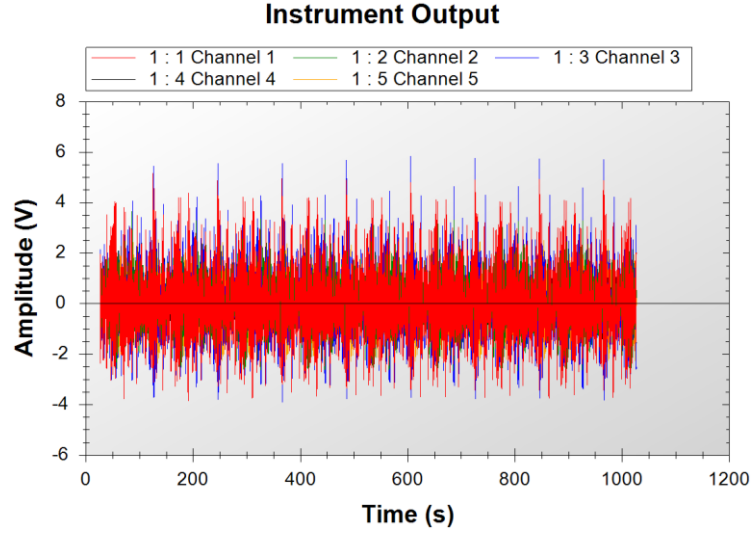
Doğru veriler elde edebilmek amacıyla her deneyden önce problar ve kablolar kalibre edilmiştir. Elektrotlarda meydana gelen akım değişimi HR Wallingford'a ait "HR Wave Data- Data Acquisition and Analysis Software" programı ile su seviyesi değişimine dönüştürülmüştür. Su seviyesi değişimlerinden ise her bir tekil dalga belirlenmiştir. Daha sonra bu dalgalar kullanılarak fırtınaya ait çeşitli karakteristik dalga parametreleri elde edilmiştir.



Şekil 3.6 CLE3C30 tipi dalga monitörü



Şekil 3.7 Dalga kanalında dalga probları



Şekil 3.8 Su seviyesi değişimlerinin voltaj cinsinden kaydı

3.3.2.1 Çevresel Şartlar

Karakteristik dalga parametreleri aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır;

Belirgin Dalga Yüksekliği, $H_{1/3}$, bir fırtına kaydındaki en büyük 1/3 dalganın ortalamasına eşit dalga yüksekliğidir.

Spektral Belirgin Dalga Yüksekliği, H_{m0} , spektral dalga analizi sonucu elde edilen belirgin dalga yüksekliğidir.

Pik Dalga Periyodu, T_p , dalga spektrumunun pik yaptığı noktaya karşılık gelen dalga periyodudur.

Ortalama Enerji Periyodu $T_{m-1,0}$, dalga spektrumunun -1. ve 0. momentlerinden elde edilen dalga periyodudur. Ortalama enerji periyodu, çift pikli spektrumu daha iyi temsil etmektedir.

$T_{m0,1}$, ortalama periyot olarak adlandırılmakta ve dalga spektrumunun 0. ve 1. momentlerinden elde edilen dalga periyodudur ($T_{m0,1} = \frac{m_0}{m_1}$).

$T_{m0,2}$, ortalama periyoda ($\bar{T}$) karşılık gelmekte, dalga spektrumunun 0. ve 2. momentlerinden elde edilen dalga periyodudur ($T_{m0,2} = \sqrt{m_0/m_2}$).

Dalga Spektrumu

Doğada meydana gelen rastgele dalgalar için tanımlanması gereken en önemli konu dalga spektrumudur. Dalga spektrumu deniz durumunu tanımlamaktadır. Karakteristik dalga parametreleri de dalga spektrumundan elde edilebilmektedir. JONSWAP Spektumu, 1964 yılında Pierson ve Moskowitz (1964) benzerlik teorisine dayanan ve Tucker [50] tarafından Kuzey Atlantik'te kaydedilmiş dalga ölçüm verileri analizi sonucu ortaya çıkan Pierson-Moskowitz Spektrumu (P-M modeli) geliştirilerek elde edilmiştir. Hasselmann ve ark. (1973) [51] tarafından **JO**int **N**orth **S**ea **W**ave **P**roject adıyla bilinen 1968-1969 yılları arasında yapılan dalga ölçümlerinden sonra geliştirilmiştir. JONSWAP Spektrumu beş parametrelili bir spektrum modeli olmasına karşın genellikle bu beş parametreden üçü sabit tutulmaktadır. γ diklik parametresi ve ω_p pik açısal frekans parametrelerine bağlı olarak değişmektedir. P-M modelinin değiştirilmesi ile elde edilen JONSWAP Spektrumu formülü aşağıda verilmiştir:

$$S(\omega) = \alpha g^2 \omega^{-5} \exp \left[-1.25 \left(\frac{\omega}{\omega_p} \right)^4 \right] \gamma^{\exp \left[\frac{(\omega - \omega_p)^2}{2\tau^2 \omega_p^2} \right]} \quad (3.17)$$

Burada γ diklik parametresi, τ şekil parametresidir ($\omega < \omega_p$ için τ_a , $\omega > \omega_p$ için τ_b)

$$\gamma = 3.30$$

1-7 arasında değişmektedir.

$$\tau_a = 0.07$$

Sabit kabul edilmektedir. (Pik frekansa kadarki değerlerde kullanılmaktadır.)

$$\tau_b = 0.09$$

Sabit kabul edilmektedir. (Pik frekanstan büyük değerlerde kullanılmaktadır.)

$$\alpha = 0.076(X_0)^{-0.22}$$

Ölçek parametresi, $\alpha = 0.0081$

(X bilinmediğinde)

$$\omega_p = 2\pi \left(\frac{g}{U_w} \right) (X_0)^{-0.33}$$

Normalde γ ile ilgilidir.

$$X_0 = \frac{gX}{U_w^2}$$

Boyutsuz feç, genellikle kullanılmamaktadır.

g Yerçekimi ivmesidir.

Wave Synthesis programı kullanılarak ve JONSWAP spektrumuna uygun oluşturulan fırtına şartlarına ait düzensiz dalgalar, küçük dalga yüksekliği ve periyotlarından başlatılarak yapının tam hasar aldığı süreç boyunca artırılarak gönderilmiş ve her dalga şartı için aşmalar ölçülmüştür.

Fırtına süresi

Dalga aşma miktarının doğru bir şekilde belirlenebilmesi için deneyler tekrarlı olarak yapılmıştır. İlk deneyler fırtına süresi yaklaşık 1000 dalgaya eşdeğer olacak şekilde seçilerek gerçekleştirilmiştir. Daha sonra kontrol amacıyla deneyler ikişer kere tekrarlanmıştır Bu tekrarlarda fırtınalar 8'er dakika olarak alınmıştır.

3.3.3 Basamaklı Dalgakıran Modelleri

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde, basamak genişliği ile basamağın su seviyesine göre konumunun dalga aşması üzerine olan etkilerinin araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmada, alt şevi 1/1.5 eğime üst şevi ½ eğime sahip, alt şevde ve basamağın koruma tabakasında küp beton blok üst şevde ise taş elemanların kullanıldığı farklı basamak genişliğine sahip basamaklı dalgakıran modelleri kullanılmıştır. Dalgakıran modelleri yatay tabanda kurulmuştur ve topuk stabilitesizliğinin yapıyı olumsuz etkilemesini engellemek amacıyla sabit bir topuk kullanılmıştır. Topuk yüksekliği 0.08 m olup genişliği $4D_n$ 'dir. Dalgakıran kreti $4D_{n50}$ genişliğinde imal edilmiştir ($4 \times 0.34 = 0.136$ m). Şekil 3.9'da basamaklı dalgakıranların şematik görünüşleri ile dalgakıran özelliklerini tanımlayan ilgili parametreler görülmektedir.

Burada, H_{m0} yapı önündeki spektral belirgin dalga yüksekliği, $L_{m-1,0}$ yapı önündeki dalga enerji periyoduna dayanan dalga boyu, d yapı önündeki su derinliği, d_b

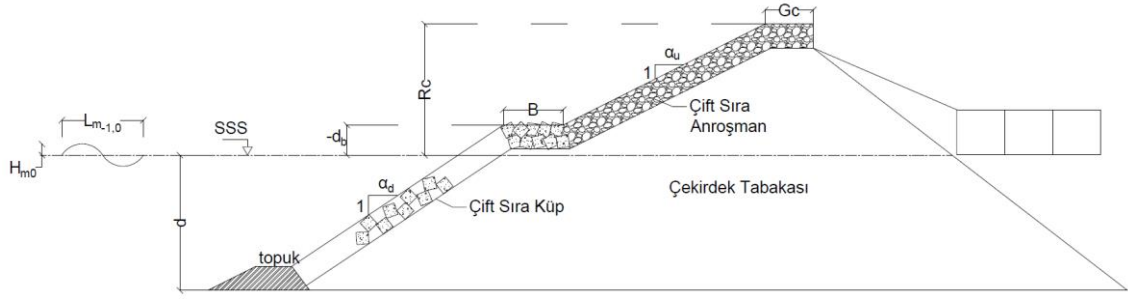
basamak konumu, R_c kret hava payı, B basamak genişliği, G_c kret genişliği, α_d alt şev eğimi, α_u üst şev eğimi olarak gösterilmiştir.

Model deneyleri gerçekleştirilirken G_c kret genişliği, α_d alt şev eğimi, α_u üst şev eğimi sabit tutulmuş, H_{m0} spektral belirgin dalga yüksekliği, T_p pik periyot, $T_{m-1,0}$ dalga enerji periyodu, d yapı önündeki su derinliği, R_c kret hava payı ve B basamak genişliği parametreleri değiştirilmiştir.

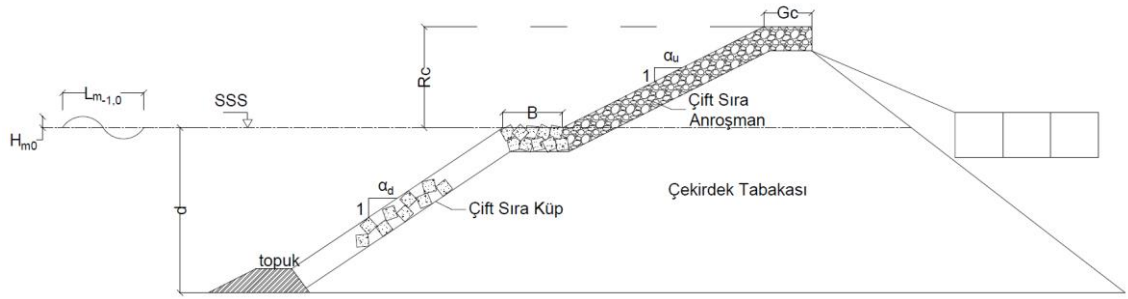
Dalgakıran modeline ait kesit ve detaylar Şekil 3.9'da ve modellere ait fotoğraflar, Şekil 3.10, Şekil 3.11 ve Şekil 3.12'de yer almaktadır.

Deneylere başlanırken yapı kret yüksekliği tabana göre 0.95 m olarak seçilmiştir. Bu durumda çalışılan üç farklı su derinliği için (0.45, 0.55, 0.65 m) üç farklı kret hava payı (0.50, 0.40, 0.30 m) elde edilmiştir. Ancak bu yapı yüksekliği için 0.45 ve 0.55 m su derinliklerinde aşma gözlenmezken 0.65 m su derinliğinde ise çoğu aşma değerleri 10^{-5} boyutsuz aşma debisi altında kalmış olup ölçek etkilerinin hâkim olduğu bölgede yer almıştır. Bu nedenle aşmanın değerlendirilebilmesi için anlamlı veriler elde edilene kadar kret seviyeleri düşürülerek (0.37, 0.27, 0.20, 0.17, 0.10 m) deneyler gerçekleştirilmiştir.

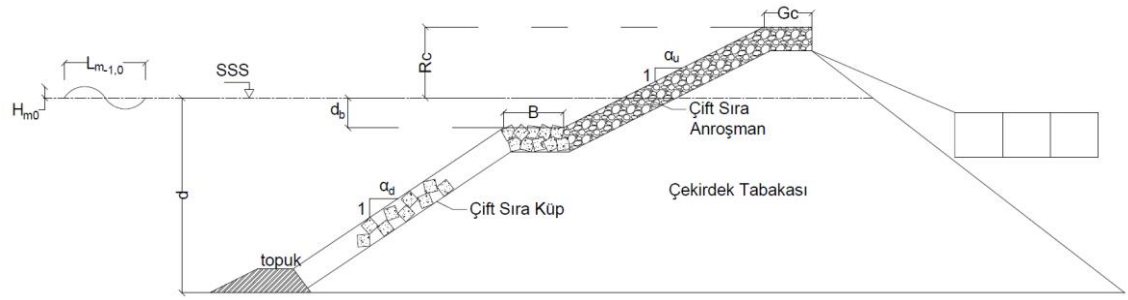
Ayrıca deneylerde farklı basamak genişliklerinin etkisini araştırmak amacıyla $3D_n$, $4D_n$, $5D_n$, $10D_n$ ve $14D_n$ basamak genişlikleri ile çalışılmıştır. Deneyler sırasında çift piramit düzenli dizilim ve yine çift piramit düzensiz dizilim olmak üzere iki farklı dizilim yöntemi kullanılmıştır.



a) 0.45 m su derinliği



b) 0.55 m su derinliği



c) 0.65 m su derinliği

	Su Derinliği $d=0.45$ m	Su Derinliği $d=0.55$ m	Su Derinliği $d=0.65$ m
Basamak Genişliği B (Dn)	3, 4, 5, 10, 14	3, 4, 5, 10, 14	3, 4, 5, 10, 14
Kret Hava Payı Rc (m)	0.50, 0.37, 0.30, 0.20	0.40, 0.27, 0.20, 0.10	0.30, 0.17, 0.10

řekil 3.9 Basamaklı dalgakıranların řematik görüńümleri ve ilgili parametreler



a)



b)

Şekil 3.10 Dalgakıran modellerinden bazılarına ait kesit görünümleri



Şekil 3.11 Dalgakıran modelinin basamak detayına ait görünüm



Şekil 3.12 Dalgakıran modelinin önden görünümü

Yapılan deneylerde farklı basamak genişlikleri ve farklı yerleştirme yöntemleri ile çalışıldığından bu farklı modellere ait verileri ayırt edebilmek amacıyla belirtilen bu şartlar göz önünde bulundurularak modeller adlandırılmıştır. Düzenli yerleştirme yöntemi kullanılan modellere M4, düzensiz yerleştirme yöntemi kullanılan modellere M5 ön adı verilmiştir. Bu M4 ve M5 adı verilen modellere basamak genişlikleri yani basamakta kullanılan küp beton eleman sayısı indis olarak eklenmiştir. (Örn: M4_3, düzenli yerleştirme yöntemi $3D_n$ basamak genişliğine sahip modeli temsil etmektedir.)

Bunun yanı sıra modellerde daha çok aşma verisi elde etmek amacıyla kret hava payı da değiştirilmiştir. Modellerin şematik gösterimlerinde model adları yanında kret hava payı değerleri de verilmiştir Şekil 3.13, Şekil 3.14, Şekil 3.15, Şekil 3.16'da gösterilmektedir.

Aşma deneyleri için 0.45 m su derinliğinde kullanılan 9 model Şekil 3.13'te şematik olarak gösterilmektedir. Düzenli yerleşime sahip modelde (M4) $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerinde 0.50 m kret hava payı için deneyler gerçekleştirilmiştir. Fakat bu su derinliğinde aşma debileri çok küçük ölçüldüğünden $5D_n$ basamak genişliğinde 0.20 m kret hava payı için yeni deneyler yapılmıştır.

Düzensiz yerleşime sahip modelde (M5) $3D_n$, $4D_n$, $5D_n$ basamak genişliklerinde dalga aşmasını ölçmek amacıyla öncelikle 0.50 m kret hava payı için model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Daha sonra $3D_n$ basamak genişliği için 0.37 m ve $5D_n$ basamak genişliği için 0.37 ve 0.20 m düşük kret hava payları için deneyler tekrarlanmıştır.

0.55 m su derinliğinde aşma deneylerinde kullanılan 9 model Şekil 3.14'te şematik olarak gösterilmektedir. Düzenli yerleşime sahip modelde (M4) $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerinde 0.4 m kret hava payı için model deneyleri gerçekleştirilmiştir.

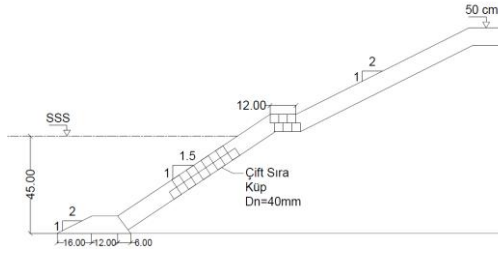
Düzensiz yerleşime sahip modelde (M5) $3D_n$, $4D_n$, $5D_n$ basamak genişliklerinde önce 0.40 m kret hava payı için model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu yerleştirme yöntemine sahip model için daha sonra $3D_n$ ve $4D_n$ basamak genişliklerinde için 0.27 m kret hava payı ve $5D_n$ basamak genişliğinde ise 0.20 ve 0.10 m kret hava payları için deneyler gerçekleştirilmiştir.

0.65 m su derinliğinde çalışılan 8 model Şekil 3.15'te şematik olarak gösterilmektedir. Düzenli yerleşime sahip modelde (M4) $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerinde dalga aşmasını ölçmek amacıyla model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu yerleştirme yöntemine sahip model için 0.30 m kret hava payında $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişlikleri için deneyler yapılmıştır.

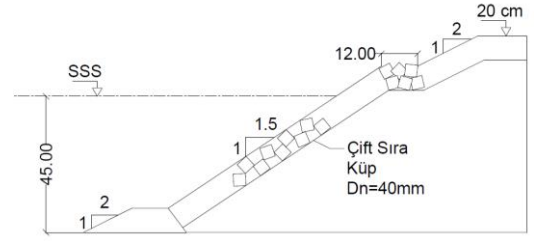
Düzensiz yerleşime sahip modelde (M5) $3D_n$, $4D_n$, $5D_n$ basamak genişliklerinde dalga aşmasını ölçmek amacıyla önce 0.30 m kret hava payı için, model daha sonra $3D_n$ ve $4D_n$ basamak genişliklerinde 0.17 m kret hava payı ve $5D_n$ basamak genişliğinde ise 0.10 m kret hava payı için deneyler gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca geniş basamağa ($10D_n$ ve $14D_n$) sahip dalgakıran modellerinde de düzenli ve düzensiz yerleşimlerle deneyler yapılmış, ancak yalnızca 0.65 m su derinliğinde aşma meydana gelmiştir (Şekil 3.16).

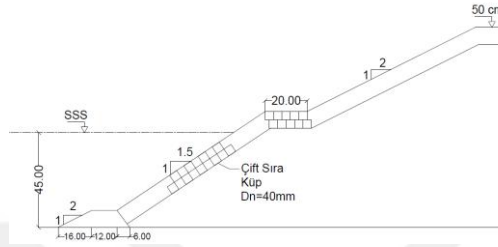




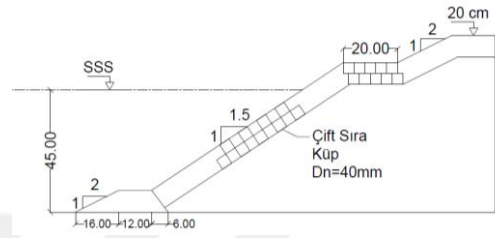
a) M4_3D_n R_c=0.50 m



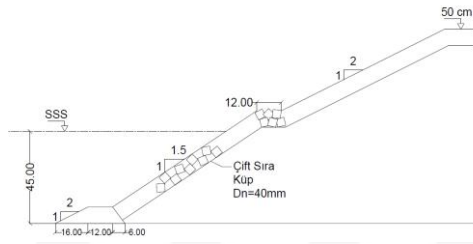
b) M5_3D_n R_c=0.20 m



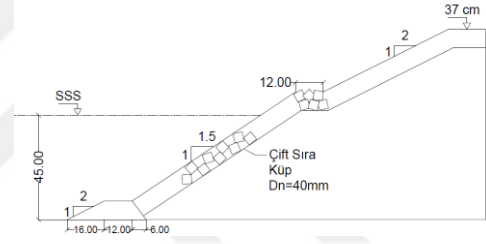
c) M4_5D_n R_c=0.50 m



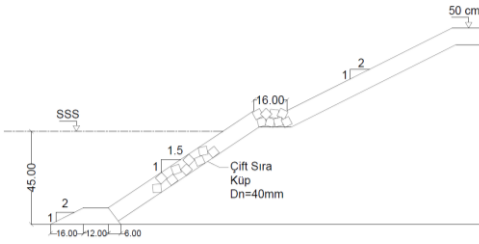
d) M4_5D_n R_c=0.20 m



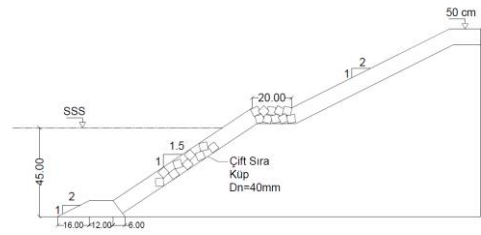
e) M5_3D_n R_c=0.50 m



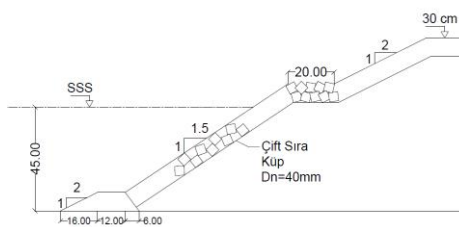
f) M5_3D_n R_c=0.37 m



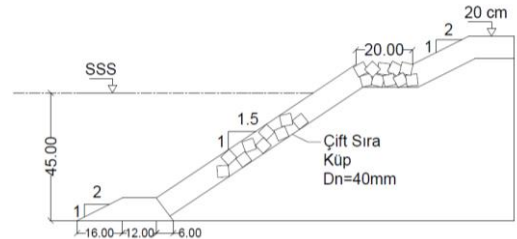
g) M5_4D_n R_c=0.50 m



h) M5_5D_n R_c=0.50 m

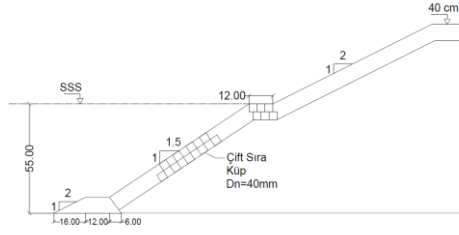


i) M5_5D_n R_c=0.30 m

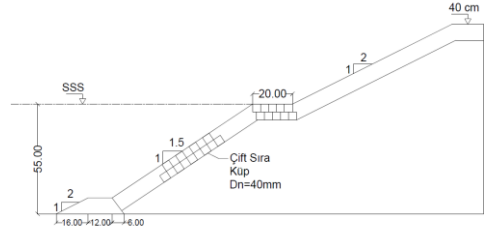


j) M5_5D_n R_c=0.20 m

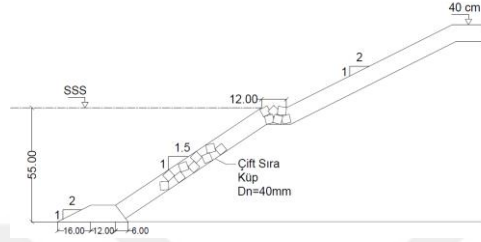
Şekil 3.13 0.45 m su derinliğinde modellerin şematik gösterimi



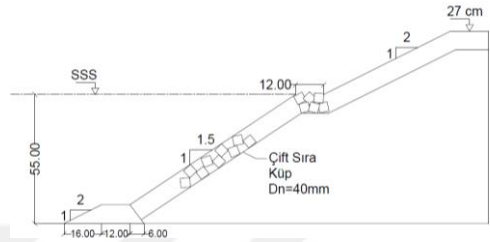
a) M4_3 $R_c=0.40$ m



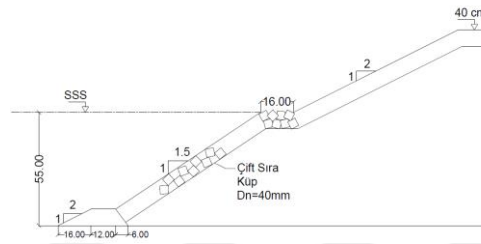
b) M4_5 $R_c=0.40$ m



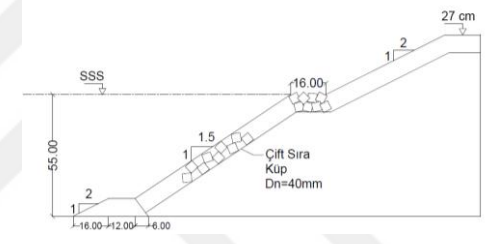
c) M5_3 $R_c=0.40$ m



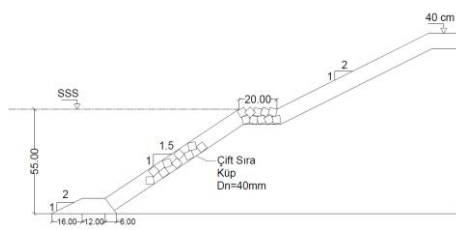
d) M5_3 $R_c=0.27$ m



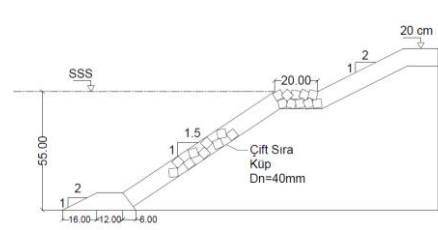
e) M5_4 $R_c=0.40$ m



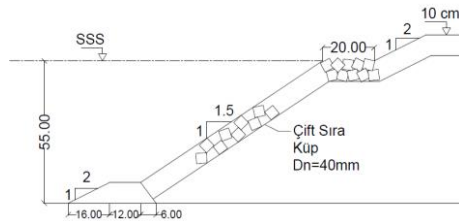
f) M5_4 $R_c=0.27$ m



g) M5_5 $R_c=0.40$ m

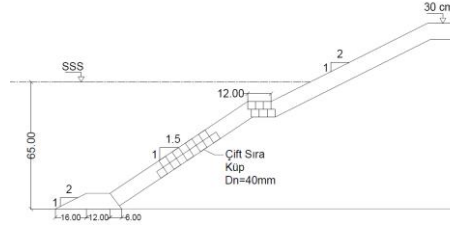


h) M5_5 $R_c=0.20$ m

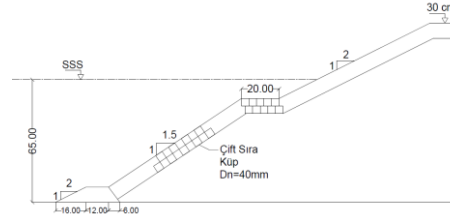


i) M5_5 $R_c=0.10$ m

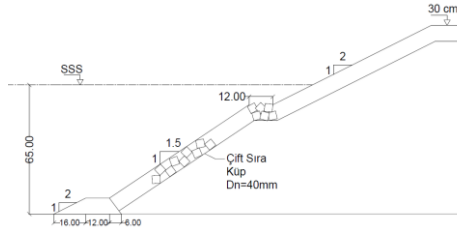
Şekil 3.14 0.55 m su derinliğinde modellerin şematik gösterimi



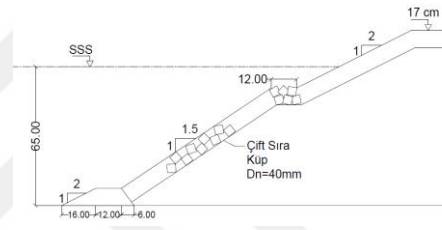
a) M4_3 $R_c=0.30$ m



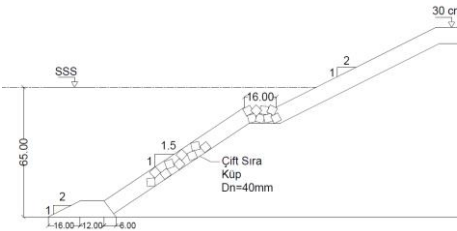
b) M4_5 $R_c=0.30$ m



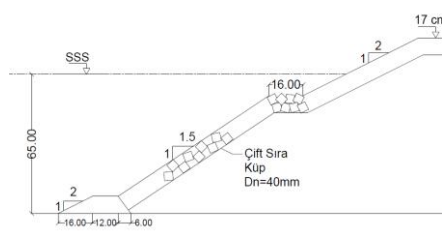
c) M5_3 $R_c=0.30$ m



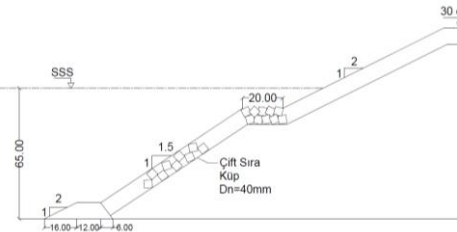
d) M5_3 $R_c=0.17$ m



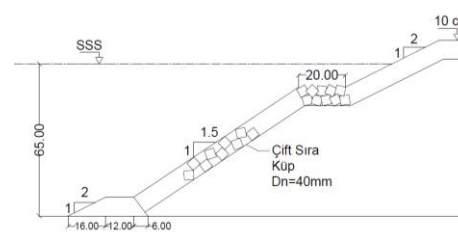
e) M5_4 $R_c=0.30$ m



f) M5_4 $R_c=0.17$ m

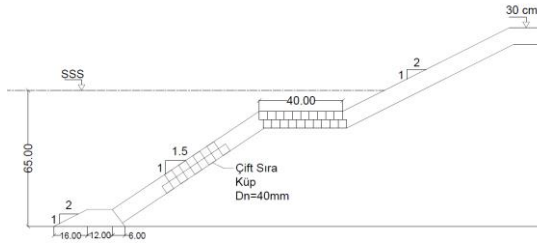


g) M5_5 $R_c=0.30$ m

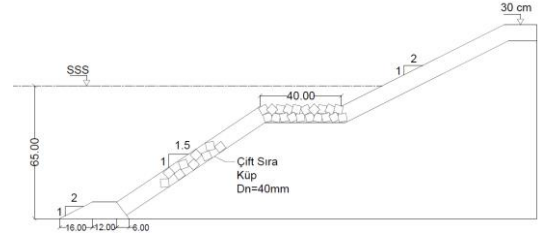


h) M5_5 $R_c=0.10$ m

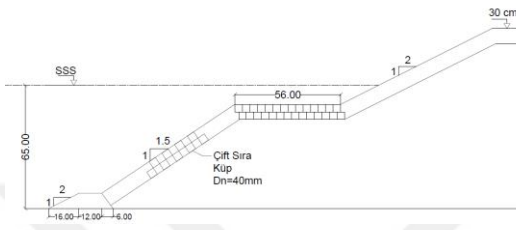
Şekil 3.15 0.65 m su derinliğinde modellerin şematik gösterimi



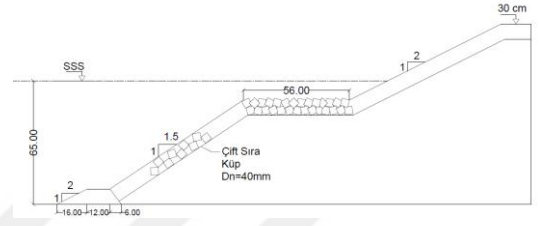
a) M4_10 $R_c=0.40$ m



b) M5_10 $R_c=0.40$ m



c) M4_14 $R_c=0.56$ m



d) M4_14 $R_c=0.56$ m

Şekil 3.16 0.65 m su derinliğinde geniş basamaklı modellerin şematik gösterimi

3.3.4 Modele Ait Yapısal Parametreler

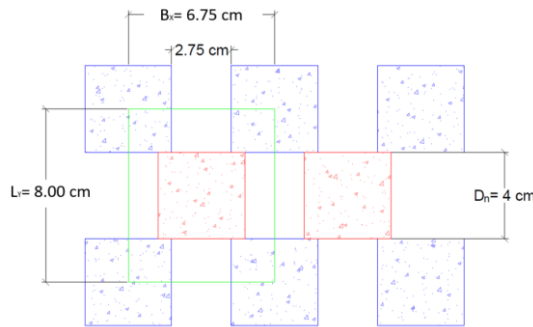
3.3.4.1 Koruma Tabakası

Dalgakıran modelinin alt şevi ve basamağının koruma tabakası, nominal çapı 0.04 m olan küp beton bloklar kullanılarak çift sıra düzenli ve düzensiz olacak şekilde yerleştirilerek oluşturulmuştur. Küp beton bloklar 400 dozlu betondan imal edilmiş olup blokların ortalama kütlesi 155.73 gram, özgül kütlesi, 2433 kg/m^3 , hacimleri $(4 \times 10^{-3}) \times (4 \times 10^{-3}) = 65 \times 10^{-6} \text{ m}^3$ 'tür (Şekil 3.17).

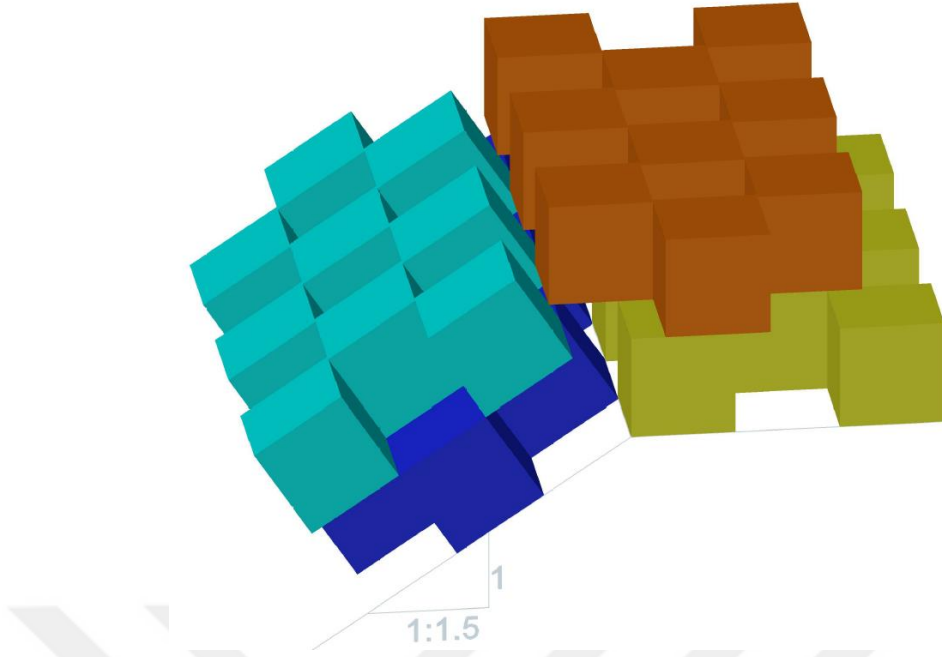
Her iki yerleştirmede de koruma tabakasında %59 sıklık olacak şekilde beton elemanlar yerleştirilmiştir. Bu sıklık için çift sıra piramit yerleşim detayı ve ölçüler Şekil 3.18'de, düzenli ve düzensiz dizilim yöntemlerine ait 3 boyutlu modelleme detayları Şekil 3.19 ve Şekil 3.20'de görülmektedir. Ayrıca alt şev ve basamağın koruma tabakasının her sırasında kullanılan beton eleman sayıları Tablo 3.3'te ve Tablo 3.4'te gösterilmektedir.



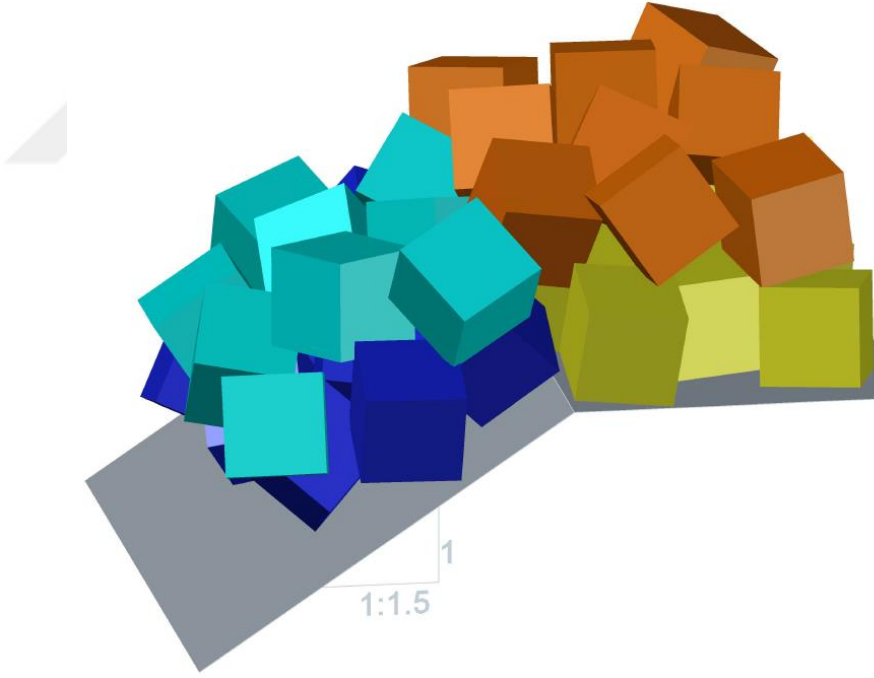
Şekil 3.17 Küp beton eleman



Şekil 3.18 Küp beton elemanların yerleşiminin şematik gösterimi



Şekil 3.19 Çift piramit (düzenli) yerleştirme yöntemine ait 3 boyutlu modelleme detayı



Şekil 3.20 Düzensiz yerleştirme yöntemine ait 3 boyutlu modelleme detayı

Tablo 3.3 Alt şevde küp beton elemanların dizilimi

Alt Şevde Küp Beton Elemanların Dizilimi		
Sıra	1. Sıra Koruma Tabakası	2. Sıra Koruma Tabakası
20	15	16
19	16	15
18	15	16
17	16	15
16	15	16
15	16	15
14	15	16
13	16	15
12	15	16
11	16	15
10	15	16
9	16	15
8	15	16
7	16	15
6	15	16
5	16	15
4	15	16
3	16	15
2	15	16
1	16	15

Tablo 3.4 Basamakta küp beton elemanların dizilimi

Basamakta Küp Beton Elemanların Dizilimi		
Sıra	1. Sıra Koruma Tabakası	2. Sıra Koruma Tabakası
14	15	16
13	16	15
12	15	16
11	16	15
10	15	16
9	16	15
8	15	16
7	16	15
6	15	16
5	16	15
4	15	16
3	16	15
2	15	16
1	16	15

Koruma tabakasında boşluk oranı ve sıklık hesapları aşağıda görüldüğü gibi yapılmıştır.

B_x =dikkate alınan alanın genişliği, (6.75 cm)

L_y =dikkate alınan alanın uzunluğudur (8 cm).

Toplam Alan=54 cm²

Dolu Alan=(4×4)×2=32 cm²

Boş Alan=54-32=22 cm²

Porozite = Boşluk Oranı=P = $\frac{22}{54} \times 100 = \%41$

Sıklık= $\psi=(1-p)=\%59$

Sıklık birim alana yerleştirilen blok sayısının birim alana yerleştirilebilecek maksimum blok sayısına oranı olarak tanımlanır, ψ_s :

$$\psi_s = \frac{N_{BL}}{N_{PBL}} = \frac{N_{BL} \times D_n^2}{B_x L_y} \quad (3.18)$$

$$\psi_s = \frac{2 \times 4^2}{6.75 \times 8} = \frac{32}{54} = 0.59 = \%59$$

Burada,

ψ_s = sıklık

N_{BL} = $B_x \times L_y$ alana yerleştirilen blok sayısı

$N_{PBL} = \frac{B_x \times L_y}{D_n^2}$, $B_x \times L_y$ alana yerleştirilebilecek maksimum blok sayısı

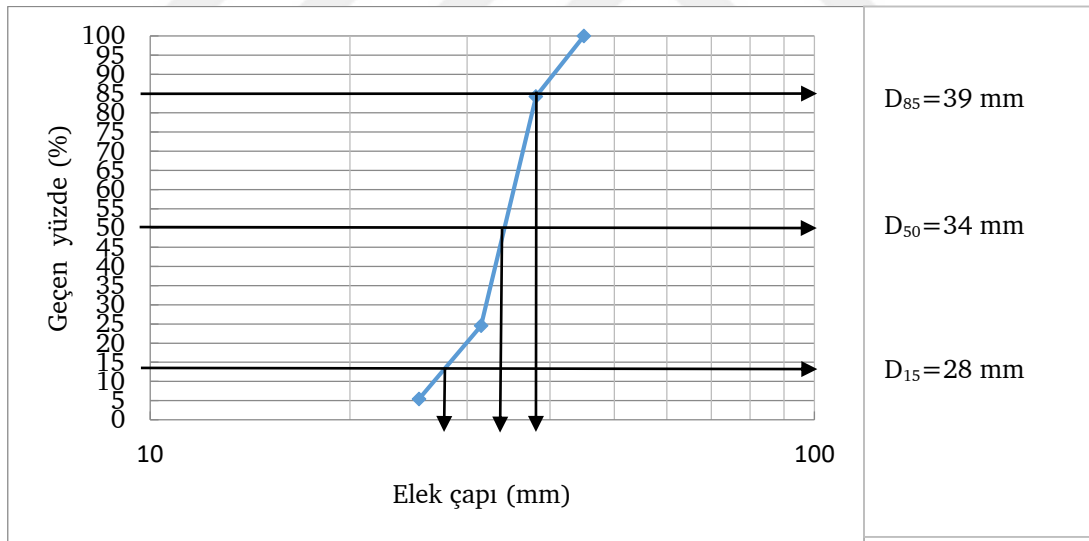
D_n =nominal blok çapıdır.

Dalgakıranın alt şevinde Van Der Meer (1988) [21] tarafından küp bloklar için tavsiye edilen 1/1.5 eğim kullanılmıştır. Alt şevden basamağa geçişte stabilitesizliğin önlenmesi için küp bloklar birbirine temas ettirilerek yerleştirilmiştir. Üst şevde ½ eğim kullanılmıştır. Üst şevin koruma tabakasında $D_{n50}=0.0340$ m çaplı kuvars taşlar çift sıra olacak şekilde yerleştirilmiştir (Şekil 3.21). Üst şevde kullanılan malzemenin granülometri eğrisi Şekil 3.22’de

görülmektedir. Buradan $D_{15}=28$ mm, $D_{50}=34$ mm ve $D_{85}=39$ mm olarak belirlenmiştir. Üst şev koruma tabakasında porozite 0.46 olarak elde edilmiştir.



Şekil 3.21 Basamaklı dalgakıran modelinde üst şev koruma tabakasında kullanılan kuvars malzeme



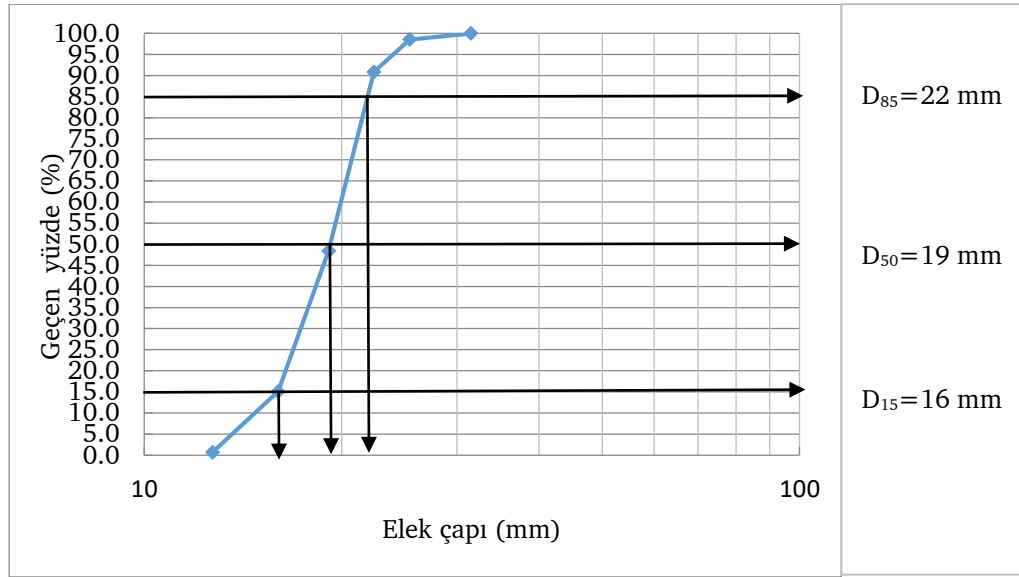
Şekil 3.22 Üst şev koruma tabakasında kullanılan malzemenin granülometri eğrisi

3.3.4.2 Alt Tabaka

Alt tabaka için boyutlandırma standart Froude ölçeklendirme modeline dayanan koruma tabakası elemanının ağırlığı ile alt tabaka elemanının ağırlıklarının oranlarına dayanmaktadır ($M_{koruma}/M_{50,alttabaka}$). Van Gent ve Spaan [52], bu değerin 10 ila 20 arasında olması durumunda güvenilir sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir. CEM (2003) [12] ağırlık oranının 10 civarında olmasını önermektedir. Koruma tabakası ile alt tabaka nominal çaplarının oranı $D_{n,koruma}/D_{n50,alttabaka}$ da yaygın olarak kullanılmaktadır. Van Gent, (2006) [53] bu oranı 2 ila 2.5 arasında önermiştir. Dalgakıran modelinin alt tabakasında nominal çapı (D_{n50}) 0.19 m, kütlesi (M_{50}) 18.25 gram ve özgül kütlesi (ρ_s) 2.66 ton/m³ olan kuvars çakıl kullanılmıştır (Şekil 3.23). Alt tabakada kullanılan malzemenin granülometri eğrisi Şekil 3.24'te verilmiştir. Buradan $D_{15}=16$ mm, $D_{50}=19$ mm ve $D_{85}=22$ mm olarak belirlenmiştir. Böylece $D_{n85}/D_{n15}=1.38$ 'dir. Alt tabakada kullanılan malzemenin porozitesi ise 0.48 olarak elde edilmiştir (Gültekin, C. [54]). Bu malzeme özellikleri kullanıldığında ağırlık ve çap oranları Tablo 3.5'te olduğu gibi elde edilmiştir. Görüldüğü üzere alt şev ve basamak ile üst şev nominal çap oranları Van Gent (2006)'daki [52] gibi 2 ila 2.5 arasında elde edilmiştir. Kütle oranları ise ~9 olarak, CEM (2006)'nın [12] verdiği 10 değerine yakın elde edilmiştir.



Şekil 3.23 Basamaklı dalgakıran modelinde alt tabakada kullanılan kuvars malzeme



Şekil 3.24 Alt tabakada kullanılan malzemenin granülometri eğrisi

Tablo 3.5 Alt ve üst şevler için koruma/alt tabaka kütle ve çap oranları

Alt şev ve basamak için koruma/alt tabaka kütle oranı	Alt şev ve basamak için koruma/alt tabaka nominal çap oranı:
$\frac{M_{koruma}}{M_{50,alt\ tabaka}} = \frac{155.73}{18.25} = 8.53$	$\frac{D_{n,koruma}}{D_{n50,alt\ tabaka}} = \frac{4.00}{1.90} = 2.11$
Üst şev için koruma/alt tabaka kütle oranı:	Üst şev için koruma/alt tabaka nominal çap oranı:
$\frac{M_{koruma}}{M_{50,alt\ tabaka}} = \frac{157.20}{18.25} = 8.61$	$\frac{D_{n,koruma}}{D_{n50,alt\ tabaka}} = \frac{3.90}{1.90} = 2.05$

3.3.4.3 Arka Şev

Dalgakıranın arka şevi yine alt şevde kullanılan malzemenin 1/1.5 eğim ile yerleştirilmesi ile oluşturulmuştur.

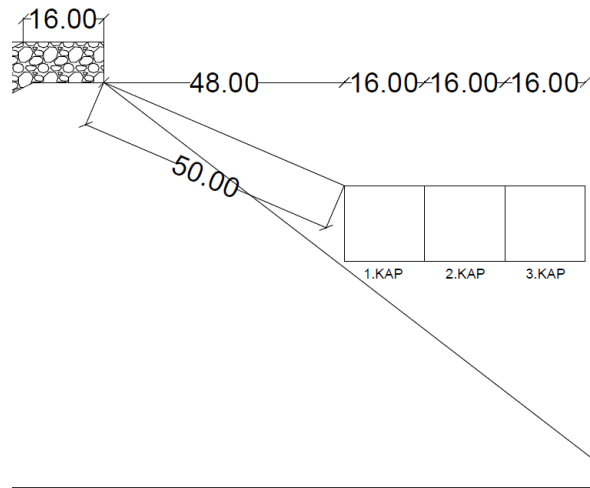
3.3.5 Aşma Ölçüm Sistemi

Deneyler sırasında meydana gelen dalga aşma debilerini ölçmek için modelin arka tarafına yan yana üç adet 0.16×0.90×0.15m ölçülerinde tank yerleştirilmiştir (Şekil 3.25). Bu ölçüm tankları Şekil 3.26'dan görüldüğü gibi kretten sırasıyla 0.48 m, 0.64 m ve 0.80 m uzaklıkta yer almaktadır.

Aşmanın bu tanklarda toplanabilmesi amacıyla kretten tanklara doğru 0.50×0.90m ölçülerinde levha yerleştirilmiş, aşma debisinin tanklara yönlendirmesi amacıyla levhanın kenarlarına yönlendirme setleri eklenmiştir. Dalgakıran kreti içinden iletilen su miktarını da toplayabilmek amacıyla levha dalgakıran kretinin altına denk gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Aşma miktarını doğru elde edebilmek amacıyla levhadan tanklara ulaşacak şekilde ve tanklar arasındaki boşluklardan debi kaybını önleyecek biçimde naylon branda kullanılmıştır. Aşma debileri 0.9 m genişlik için ölçülmüş, daha sonra birim genişliğe dönüştürülmüştür.



Şekil 3.25 Aşma debisi ölçüm tankları



Şekil 3.26 Dalgakıran arkasında bulunan aşma debisi ölçüm tanklarının şematik gösterimi

3.3.6 Deney Yöntemi

3.3.3 başlığı altında anlatılan tüm modeller için dalga aşma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Her model 0.45 m su derinliğinde 14, 0.55 m ve 0.65 m su derinliklerinde 11 farklı fırtınaya maruz kalmıştır. Bu fırtınalara ait dalga şartları ile meydana gelen aşma, boyutsuz aşma debileri, yansıma katsayıları vb. EK-A'da görülmektedir.

Yapı topuğundaki dalga şartları derinliğin sebep olduğu dalga prosesleri ile tanımlanmaktadır, örn: yapı önünde dalga kırılması yapı önü kıyı eğimi yatay veya en fazla 1:10 olabilir. 1:10'dan daha dik eğimler yapının bir parçasıymış gibi dikkate alınır. Ön kıyı sığ su derinliği derin, sığ, çok sığ ve hatta aşırı derecede sığ olabilir. Eğer su derinliği sığ veya çok sığ ise sığlaşma ve derinlik limitli etkiler dikkate alınmalıdır. Bu durumda dalga yüksekliği ile birlikte dalga periyodu da dikkate alınmalıdır.

Hoffland ve ark. [] ön kıyı için dört alan tanımlamışlardır.

1) $d/H_{m0,derin} > 4$, *derin su*

Su derinliği en az derin su dalga yüksekliğinin 4 katıdır. Bu durumlarda dalgalar derinlik etkisi ile sığlaşmayacak ya da kırılmayacak, ancak sapma ve taban sürtünmesinden dolayı değişeceklerdir.

2) $1 < d/H_{m0,derin} < 4$, *sığ su*

Bu durumda dalgalar sığlaşacak ve sonra kırılmaya başlayacaklardır. Bu dalgalar küçük dikliktedirler. Eğer ön kıyı eğimi idk ise sığlaşma ve sonucunda dalga kırılması daha sığda oluşur. Genellikle $d/H=1$ 'de dalga yüksekliği kabaca derin su dalga yüksekliğinin yarısı olur. Spektrum şekli hâlâ açık denizdeki gibi tek piklidir.

3) $0.3 < d/H_{m0,derin} < 1$, *çok sığ su*

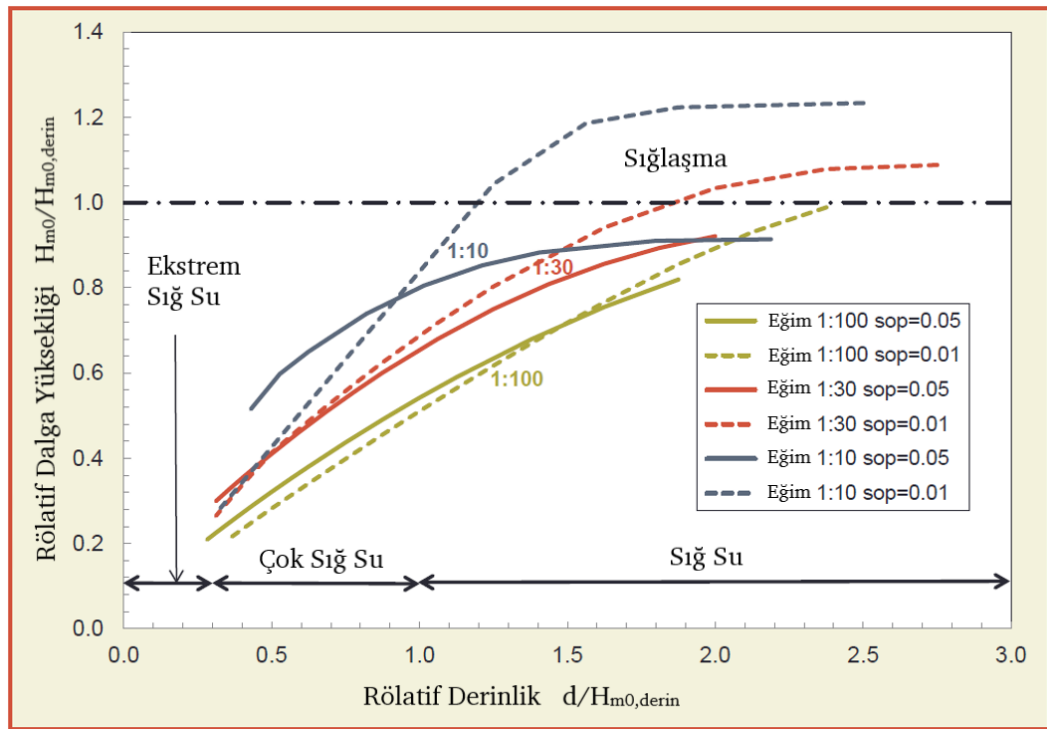
Bu bölge dalgaların daha da kırıldığı bölgedir, ancak dalga periyodu $T_{m-1,0}$ artabilir. T_p tek pikli açık deniz spektrumu daha basık olabilir, ikinci pik görülebilir veya yüksek frekanstan alçak frekansa kayabilir.

4) $d/H_{m0,derin} < 0.3$, aşırı sığ su

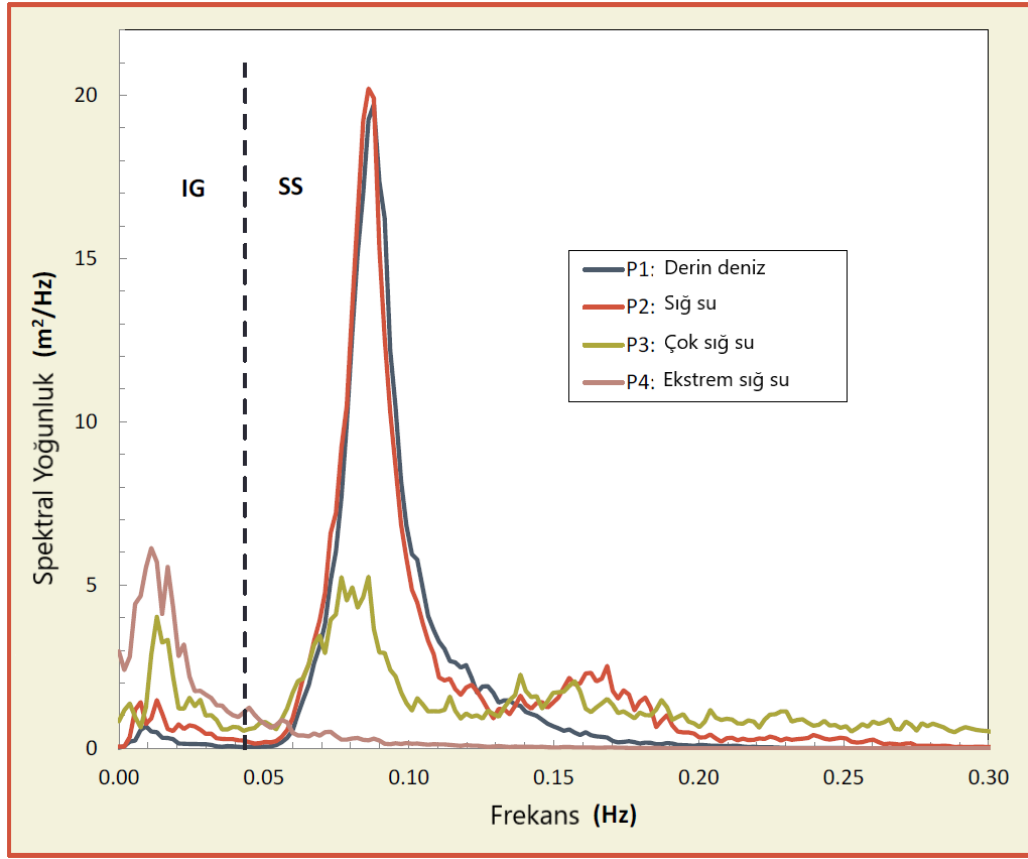
Infragravity dalgalar hakim olmaya başlamaktadır. Bu durumda dalga yüksekliği derin denize göre önemli ölçüde azalmaktadır. Dalga dikliği küçüktür. Sonuç olarak tırmanma ve aşma formüllerinde kırılma parametresi çok büyüktür. $\xi_0=4\sim 10$ kırılma parametresi mümkündür.

EurOtop (2018) hesaplanan dalga yüksekliğini, 1: 100, 1:30 ve 1:10 eğime sahip kıyılarda ve $s_{op}=0.05$ dikliğe sahip rüzgar dalgaları ve $s_{op}=0.01$ dikliğe soluğan dalgaları için vermiştir (Şekil 3.27). Su derinliği ve belirgin dalga yüksekliği oranı $d/H_{m0} > 4$ olduğu durumlar derin su olarak kabul edilmektedir. Böyle bir durumda dalgalar, derinlik nedeniyle henüz sığlaşmaz veya kırılmaz. Ancak taban etkileşimi ve kırılma vb. nedenlerle değişebilir. Bu sınır grafikte $H_{m0}/H_{m0,derin}$ oranının 1'e eşit olduğu çizgidir. Sığ su $4 > d/H_{m0,derin} > 1$ şartlarında geçerlidir.

Tüm modellerden elde edilen boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri Tablo 3.6, Tablo 3.7 ve Tablo 3.8'de verilmiştir. Ayrıca her su derinliğinde üretilen dalgaların üreteç ve topuk önünde ölçülen değerleri ile d/H_{m0} değerleri Tablo 3.9, Tablo 3.10 ve Tablo 3.11'de yer almaktadır.



a)



Şekil 3.27 a) Sığ su bölgelerindeki rölatif dalga yüksekliğine karşılık rölatif su derinliği b) Farklı derinlik koşulları için spektral yoğunluk grafiği [27]

Üç farklı su derinliğinde gerçekleştirilen deneylerden her biri için en küçük ve en büyük dalgalara ait spektrum yoğunluk grafiklerine ait birer örnek Şekil 3.28, Şekil 3.29, Şekil 3.30, Şekil 3.31, Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te gösterilmektedir. Şekil 3.25, 0.45 m su derinliğinde en küçük dalgaya ait spektrum yoğunluğunu göstermekte ve tek pikli bir dağılımdır ancak Şekil 3.26, bu su derinliğindeki en büyük dalgaya ait spektrum yoğunluğu çift pikli olmaktadır. Bu şartta küçük ve büyük frekanslardaki enerji seviyeleri birbirlerine oldukça yakın çıkmıştır. Bu durum dalga enerji periyodu üzerinde oldukça etkilidir. Spektral belirgin dalga yüksekliği 0.05 m olan dalganın pik periyodu $T_p = 0.92$ s ve dalga enerji periyodu $T_{m-1,0} = 1.25$ s, 0.19m olan dalganın pik periyodu $T_p = 1.69$ s ve dalga enerji periyodu $T_{m-1,0} = 3.51$ s olarak elde edilmiştir. Yani enerji periyodu, pik periyodun iki katına çıkmıştır. Bu durum sığ su etkisini göstermektedir. Benzeri durumlar, 0.55 m ve 0.65 m su derinlikleri için de geçerlidir. Küçük dalgalar tek pikli iken

serinin sonundaki en büyük dalgalar çift pikli olmakta ve sığ su dalgasına dönüşmektedir. Bu sebeple dalga enerji periyodu pik periyodun 1.5-2 katına çıkmaktadır.

Dalga aşma deneyleri düzensiz dalga şartlarında gerçekleştirildiğinden bir fırtına içerisindeki her bir dalga farklı bir yansıma sebebi olmaktadır.

Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36'da 0.45, 0.55 ve 0.65 m su derinlikleri için W1 ve W11 dalga şartlarına ait gelen ve yansıyan dalga spektrumları verilmiştir.

Dalga yansıma katsayısının frekansla değişimi seçilen üç dalga şartı (W1, W5 ve W11) için sırasıyla 0.45, 0.55 ve 0.65 m su derinliklerinde Şekil 3.37, Şekil 3.38 ve Şekil 3.39'da gösterilmektedir. Şekillerden en büyük yansıma sırasıyla 0.45, 0.65 ve 0.55 m su derinliklerinde gözlenmiştir.

Ayrıca seçilen bu üç dalganın her birinin farklı su derinliklerinde davranışının anlaşılması için grafikler Şekil 3.40, Şekil 3.41 ve Şekil 3.42'de yer almaktadır. Çalışmada dikkate alınan tüm fırtınanın ortalama yansıma katsayıları ise EK-A'da yer almaktadır. Dalgaların büyümesiyle yansıma katsayıları da artış göstermektedir.

Tablo 3.6 0.45 m su derinliği için boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

d (m)	B (m)	R _c (m)		S _{m-1,0, R}	S _{m-1,0}	S _{0p}	R _c /H _{m0}	B/H _{m0}	B/L ₀	d/H _{m0}	Q _{ölç} /(gH _{m0} ³) ^{0.5}
0.45	0.12	0.50	min	0.030	0.007	0.025	2.78	0.67	0.01	2.50	2.88E-09
			maks	0.046	0.040	0.040	10.00	2.40	0.09	9.00	2.84E-08
		0.37	min	0.037	0.007	0.026	2.06	0.67	0.01	2.50	2.98E-08
			maks	0.046	0.024	0.040	2.64	0.86	0.02	3.21	2.89E-07
		0.20	min	0.030	0.008	0.025	1.05	0.63	0.01	2.37	4.08E-08
			maks	0.046	0.038	0.043	4.00	2.40	0.09	9.00	7.60E-05
0.45	0.16	0.50	min	0.030	0.008	0.025	2.63	0.85	0.01	2.37	1.39E-08
			maks	0.049	0.036	0.043	10.00	3.20	0.07	9.00	1.39E-08
0.45	0.20	0.50	min	0.029	0.005	0.024	2.50	1.00	0.01	2.25	2.66E-09
			maks	0.048	0.040	0.045	10.00	4.00	0.16	9.00	2.66E-09
		0.30	min	0.030	0.013	0.025	1.67	1.11	0.01	2.50	2.70E-08
			maks	0.046	0.041	0.040	6.00	4.00	0.17	9.00	9.20E-07
		0.20	min	0.031	0.007	0.025	1.00	1.00	0.01	2.25	4.54E-08
			maks	0.052	0.041	0.045	4.00	4.00	0.17	9.00	9.69E-05

Tablo 3.7 0.55 m su derinliği için boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

d (m)	B (m)	R _c (m)		S _{m-1,0, R}	S _{m-1,0}	S _{0p}	R _c /H _{m0}	B/H _{m0}	B/L ₀	d/H _{m0}	Q _{ölç} /(gH _{m0} ³) ^{0.5}
0.55	0.12	0.40	min	0.027	0.013	0.021	1.50	0.67	0.01	3.06	1.40E-08
			mak	0.049	0.040	0.045	8.00	2.40	0.09	11.00	2.10E-05
		0.27	min	0.041	0.013	0.034	1.50	0.67	0.01	3.06	9.40E-08
			mak	0.046	0.033	0.042	1.93	0.86	0.03	3.93	2.10E-05
0.55	0.16	0.40	min	0.027	0.194	0.021	2.50	1.00	0.02	3.44	9.16E-09
			mak	0.045	0.502	0.045	8.00	3.20	0.07	11.00	9.15E-08
		0.27	min	0.032	0.199	0.025	1.80	1.07	0.02	3.67	5.44E-08
			mak	0.042	0.332	0.037	2.25	1.33	0.04	4.58	1.10E-06
0.55	0.2	0.40	min	0.026	0.010	0.021	0.77	0.95	0.01	2.62	5.22E-09
			mak	0.048	0.041	0.045	8.00	4.00	0.17	11.00	4.38E-04
		0.20	min	0.027	0.018	0.024	1.25	1.25	0.02	3.44	9.51E-06
			mak	0.045	0.041	0.039	4.00	4.00	0.17	11.00	1.09E-04
		0.10	min	0.027	0.020	0.024	0.77	1.54	0.04	4.23	4.02E-07
			mak	0.043	0.041	0.037	2.00	4.00	0.17	11.00	4.38E-04

Tablo 3.8 0.65 m su derinliği için boyutsuz parametrelerin minimum ve maksimum değerleri

d (m)	B (m)	R _c (m)		S _{m-1,0, R}	S _{m-1,0}	S _{0p}	R _c /H _{m0}	B/H _{m0}	B/L ₀	d/H _{m0}	q _{ölç} / (gH _{m0} ³) ^{0.5}
0.65	0.12	0.30	min	0.019	0.018	0.017	1.13	0.67	0.01	3.61	1.69E-02
			maks	0.044	0.035	0.044	6.00	2.40	0.05	13.00	4.44E-02
		0.17	min	0.023	0.018	0.017	1.13	0.80	0.02	4.33	1.69E-02
			maks	0.042	0.035	0.035	2.13	1.50	0.05	8.13	3.51E-02
0.65	0.16	0.30	min	0.023	0.016	0.017	1.88	1.00	0.02	4.06	1.69E-02
			maks	0.044	0.038	0.044	6.00	3.20	0.07	13.00	4.44E-02
		0.17	min	0.023	0.019	0.017	1.21	1.14	0.03	4.64	1.69E-02
			maks	0.042	0.039	0.034	2.13	2.00	0.07	8.13	3.42E-02
0.65	0.20	0.30	min	0.023	0.019	0.017	1.25	0.83	0.02	2.71	5.84E-09
			maks	0.054	0.040	0.051	6.00	4.00	0.14	13.00	3.53E-05
		0.10	min	0.024	0.019	0.017	0.77	1.54	0.04	5.00	1.80E-06
			maks	0.044	0.042	0.044	2.00	4.00	0.17	13.00	8.09E-04
0.65	0.40	0.30	min	0.026	0.015	0.022	1.58	2.11	0.04	3.42	1.46E-06
			maks	0.046	0.041	0.041	6.00	8.00	0.33	13.00	3.54E-05
0.65	0.56	0.30	min	0.025	0.015	0.021	1.36	2.55	0.05	2.95	3.79E-05
			maks	0.052	0.043	0.049	6.00	11.20	0.49	13.00	6.35E-05

Tablo 3.9 0.45 m su derinliği için veri setlerine ait bazı boyutsuz parametreler

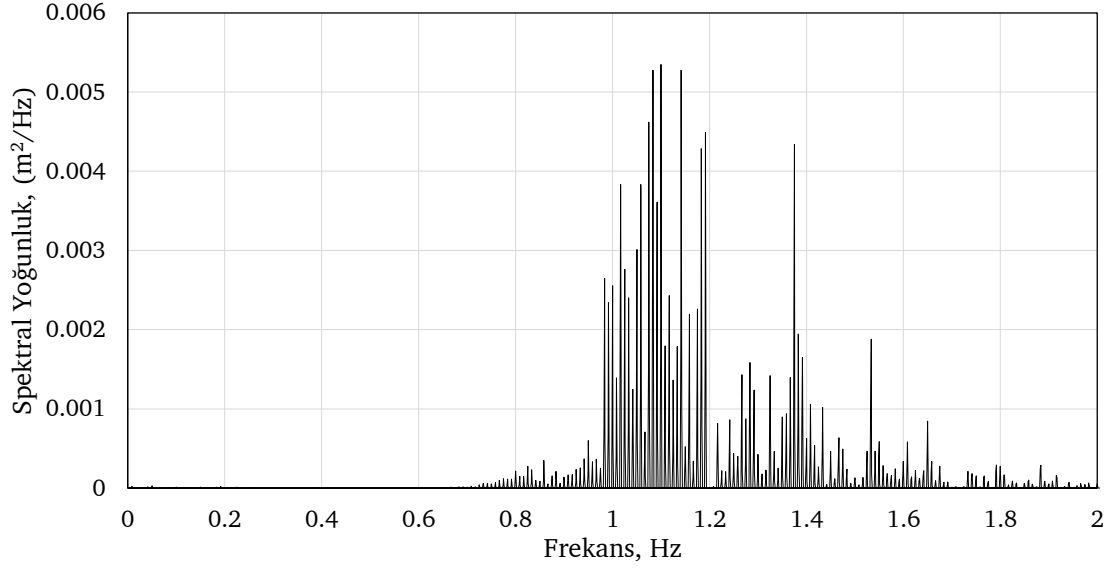
Su Derinliği, d= 0.45 m, d _b =-0.10 m					
	H _{m0,P1} (m)	H _{m0,P5} (m)	H _{m0,P5} /H _{m0,P1}	d/H _{m0,P5}	d _b /H _{m0,P5}
W1	0.06	0.05	0.83	9.00	-2.00
W2	0.08	0.08	1.00	5.63	-1.25
W3	0.10	0.10	1.00	4.50	-1.00
W4	0.10	0.11	1.10	4.09	-0.91
W4.1	0.11	0.12	1.09	3.75	-0.83
W4.2	0.12	0.13	1.08	3.46	-0.77
W5	0.13	0.14	1.08	3.21	-0.71
W5.1	0.14	0.15	1.07	3.00	-0.67
W6	0.15	0.16	1.07	2.81	-0.63
W7	0.16	0.16	1.00	2.81	-0.63
W8	0.16	0.17	1.06	2.65	-0.59
W9	0.17	0.18	1.06	2.50	-0.56
W10	0.18	0.18	1.00	2.50	-0.56
W11	0.19	0.19	1.00	2.37	-0.53

Tablo 3.10 0.55 m su derinliği için veri setlerine ait bazı boyutsuz parametreler

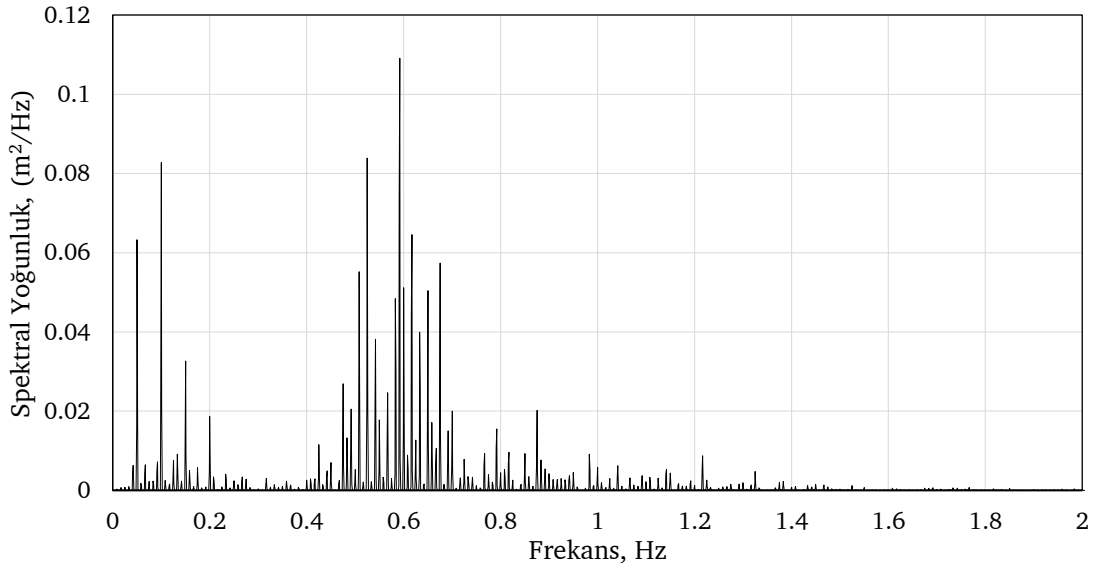
	Su Derinliği, $d = 0.55$ m, $d_b = 0.00$ m				
	$H_{m0,P1}$ (m)	$H_{m0,P5}$ (m)	$H_{m0,P5}/H_{m0,P1}$	$d/H_{m0,P5}$	$d_b/H_{m0,P5}$
W1	0.06	0.05	0.83	11.00	0.00
W2	0.08	0.07	0.88	7.85	0.00
W3	0.10	0.09	0.90	6.11	0.00
W4	0.10	0.10	1.00	5.50	0.00
W4.1	-	-	-	-	-
W4.2	-	-	-	-	-
W5	0.13	0.13	1.00	4.23	0.00
W5.1	-	-	-	-	-
W6	0.15	0.13	0.87	4.23	0.00
W7	0.16	0.14	0.88	3.93	0.00
W8	0.17	0.15	0.88	3.66	0.00
W9	0.18	0.16	0.89	3.44	0.00
W10	0.18	0.16	0.89	3.44	0.00
W11	0.21	0.21	1.00	2.62	0.00

Tablo 3.11 0.65 m su derinliği için veri setlerine ait bazı boyutsuz parametreler

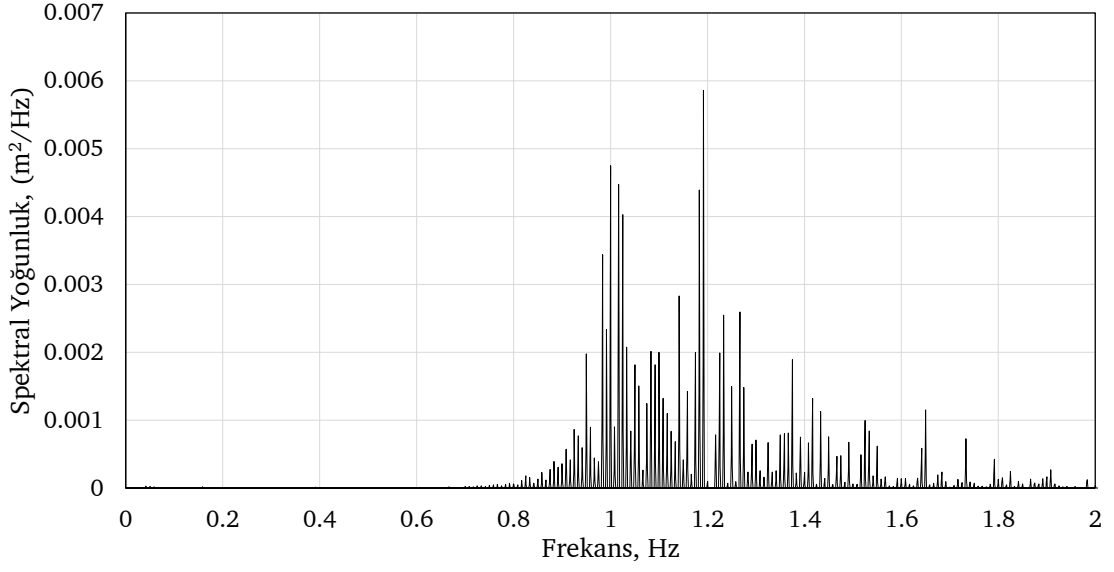
	Su Derinliği, $d = 0.65$ m, $d_b = 0.10$ m				
	$H_{m0,P1}$ (m)	$H_{m0,P5}$ (m)	$H_{m0,P5}/H_{m0,P1}$	$d/H_{m0,P5}$	$d_b/H_{m0,P5}$
W1	0.05	0.05	1.00	13.00	2.00
W2	0.07	0.07	1.00	9.29	1.43
W3	0.09	0.09	1.00	7.22	1.11
W4	0.09	0.09	1.00	7.22	1.11
W4.1	-	-	-	-	-
W4.2	-	-	-	-	-
W5	0.12	0.11	0.92	5.90	0.91
W5.1	-	-	-	-	-
W6	0.14	0.13	0.93	5.00	0.77
W7	0.15	0.14	0.93	4.64	0.71
W8	0.16	0.16	1.00	4.06	0.63
W9	0.18	0.18	1.00	3.61	0.56
W10	0.18	0.19	1.06	3.42	0.53
W11	0.22	0.24	1.09	2.71	0.42



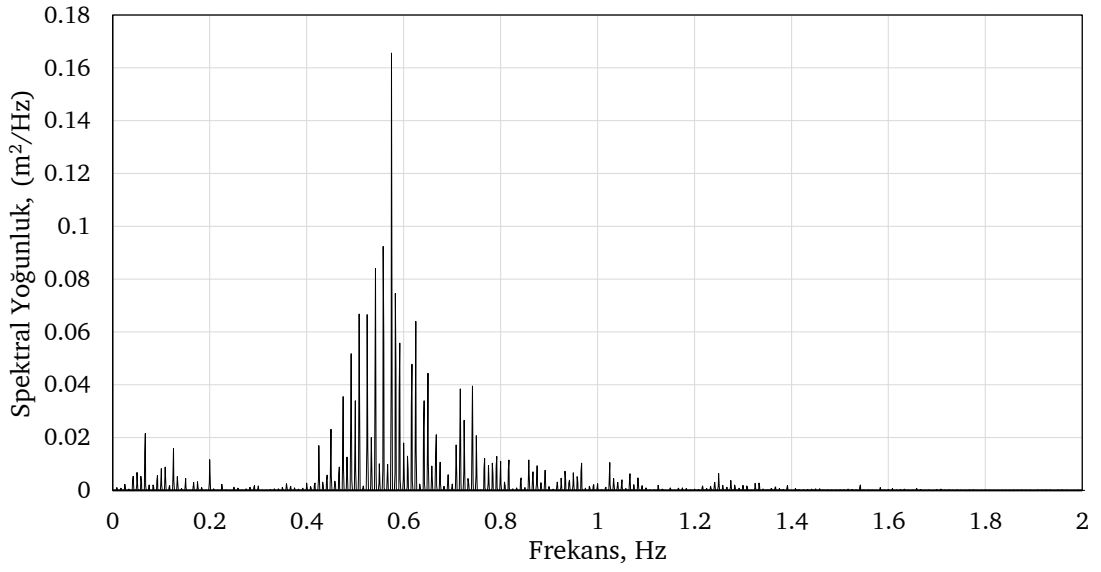
Şekil 3.28 0.45 m su derinliği ve $H_{m0}=0.05$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W1, M5_4, $R_c=0.50$ m)



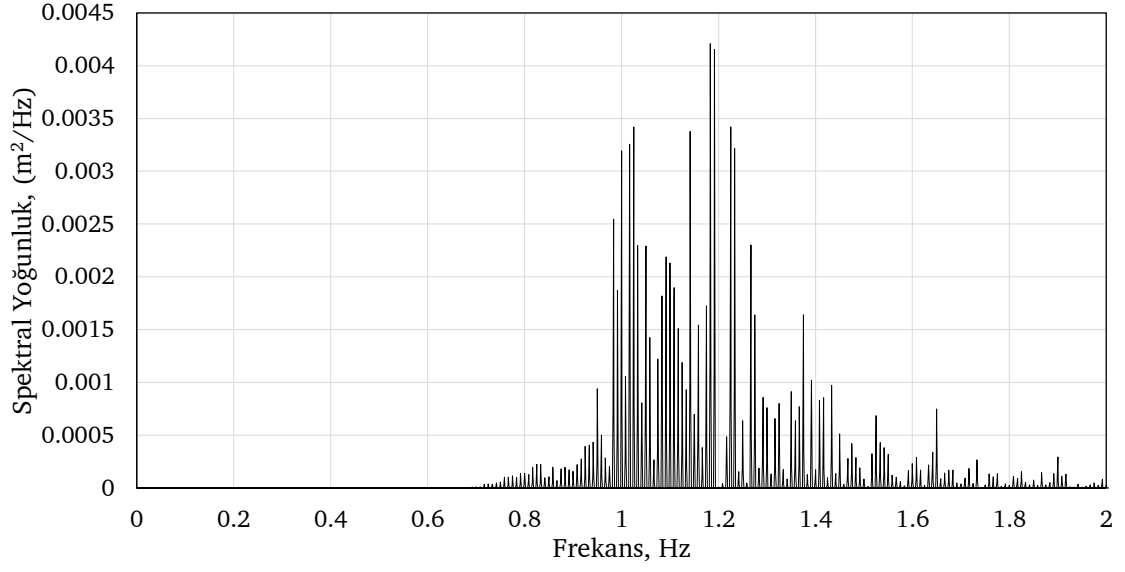
Şekil 3.29 0.45 m su derinliği ve $H_{m0}=0.20$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W11, M5_4, $R_c=0.50$ m)



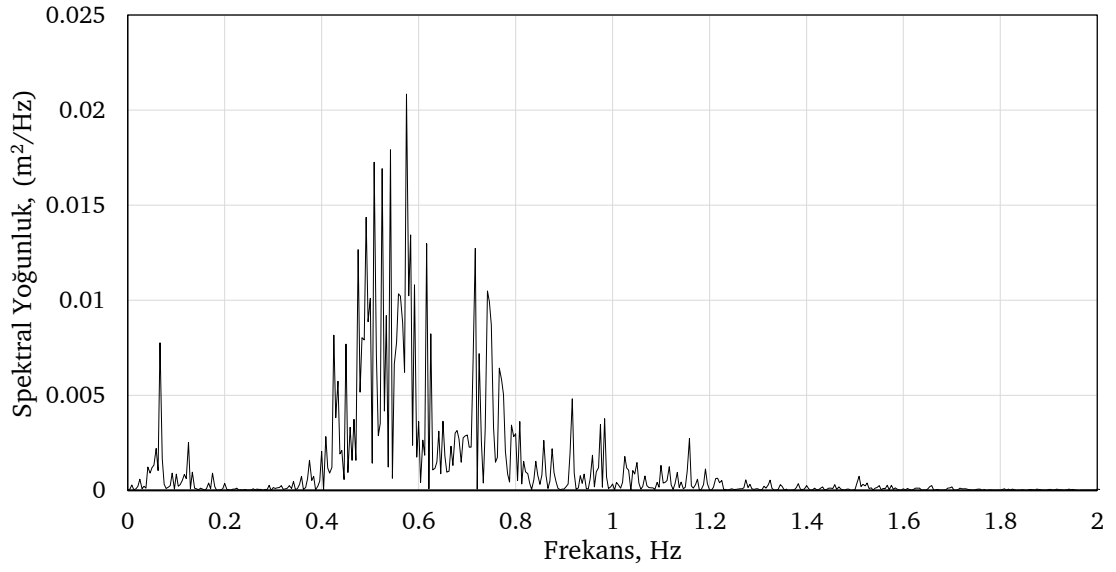
Şekil 3.30 0.55 m su derinliği ve $H_{m0}=0.05$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W1, M4_5, $R_c=0.40$ m)



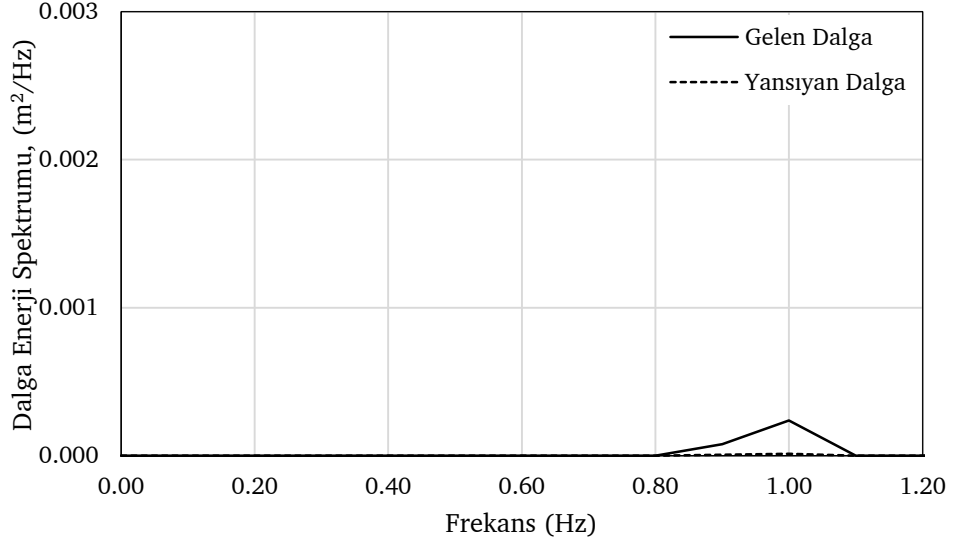
Şekil 3.31 0.55 m su derinliği ve $H_{m0}=0.21$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W11, M4_5, $R_c=0.40$ m)



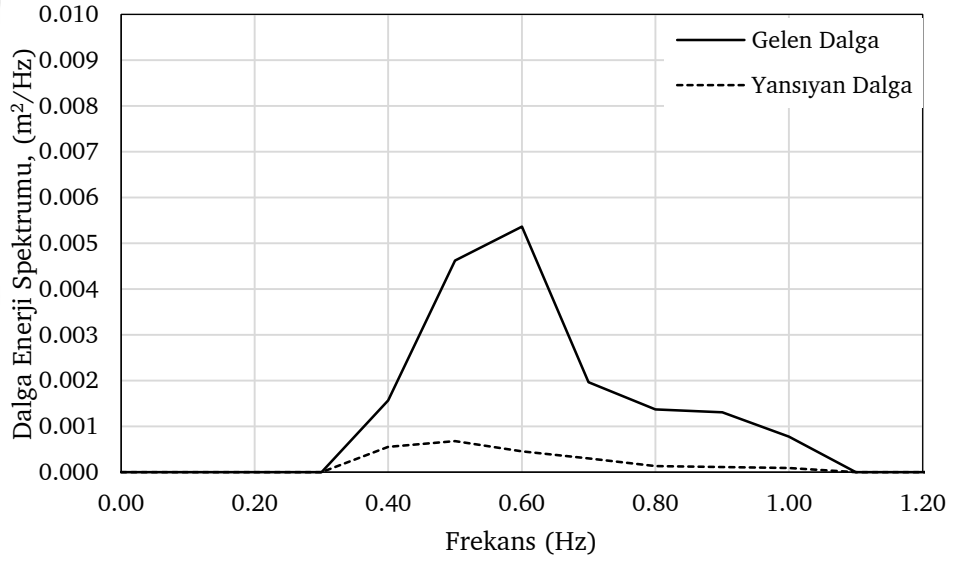
Şekil 3.32 0.65 m su derinliği ve $H_{m0}=0.05$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W1, M4_5, $R_c=0.30$ m)



Şekil 3.33 0.65 m su derinliği ve $H_{m0}=0.24$ m için frekansa karşılık spektral yoğunluğun değişimi (W11, M4_5, $R_c=0.30$ m)

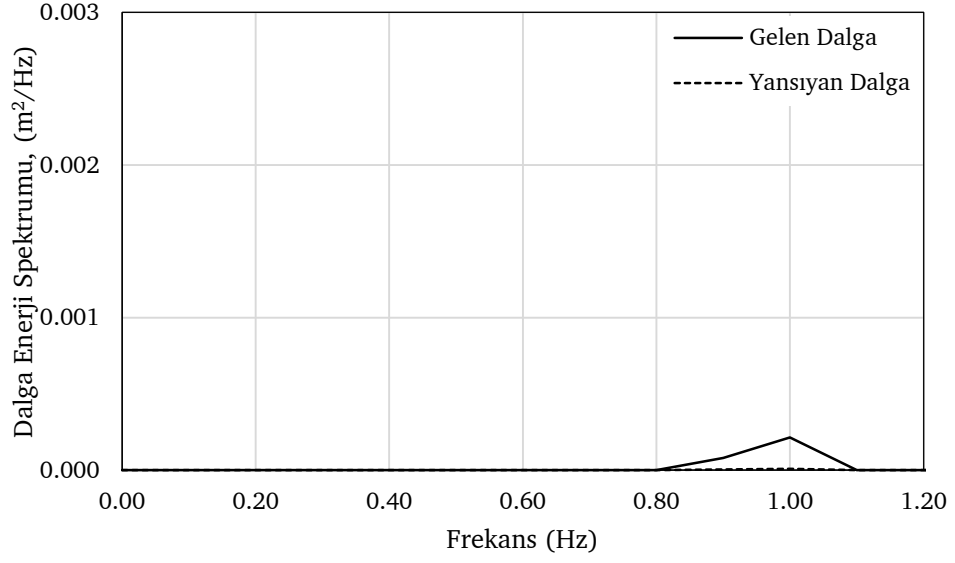


a) W1, $H_{m0} = 0.05$ m

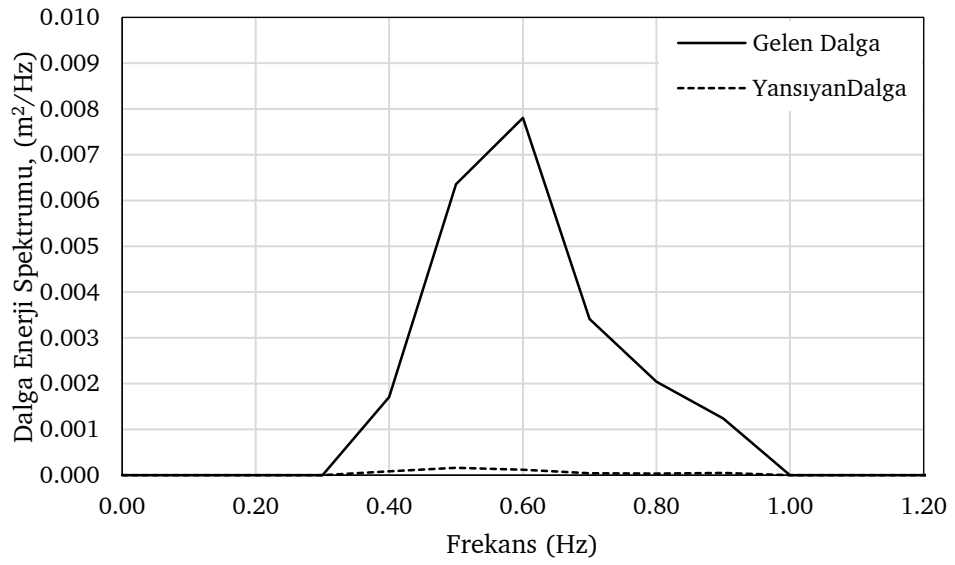


b) W11, $H_{m0} = 0.20$ m

Şekil 3.34 0.45 m su derinliğinde ilk dalga (W1) ve son dalga (W11) için gelen ve yansıyan dalgaların enerji spektrumlarının frekansla değişimi

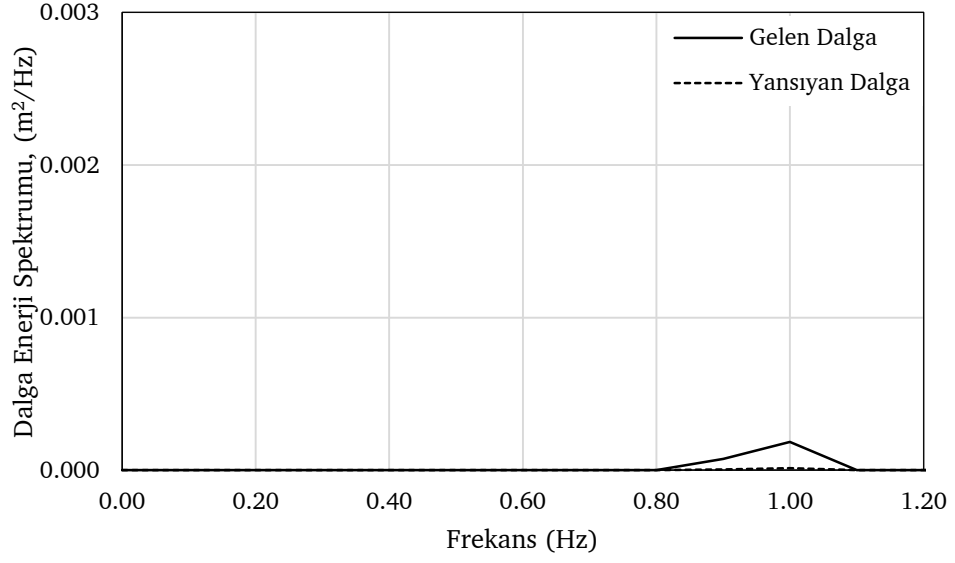


a) W1, $H_{m0}=0.05$ m

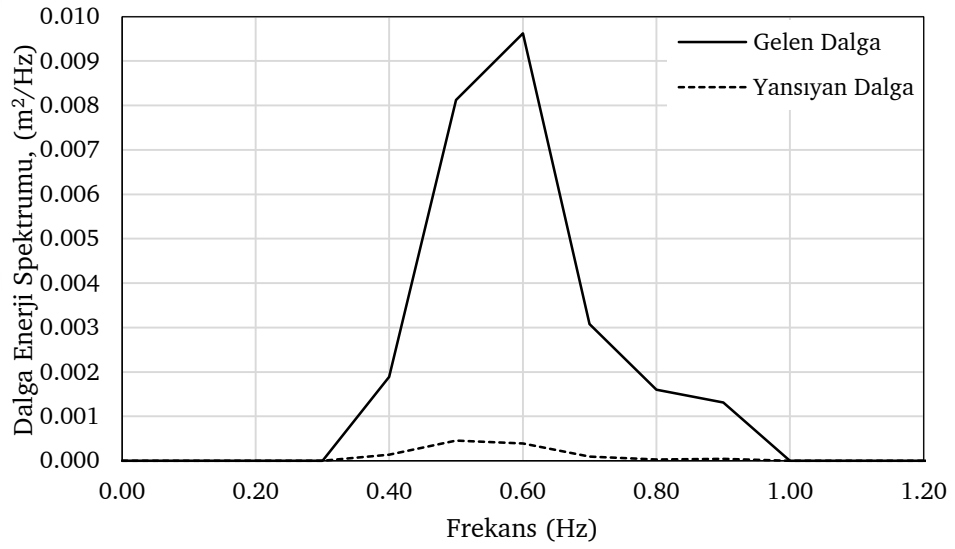


b) W11, $H_{m0}=0.21$ m

Şekil 3.35 0.55 m su derinliğinde ilk dalga (W1) ve son dalga (W11) için gelen ve yansıyan dalgaların enerji spektrumlarının frekansla değişimi

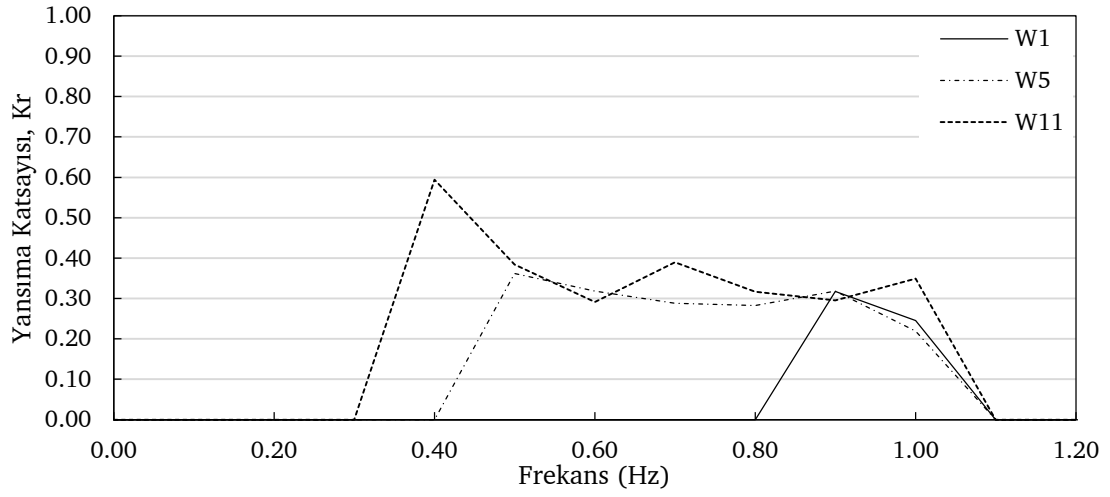


a) W1, $H_{m0}=0.05$ m

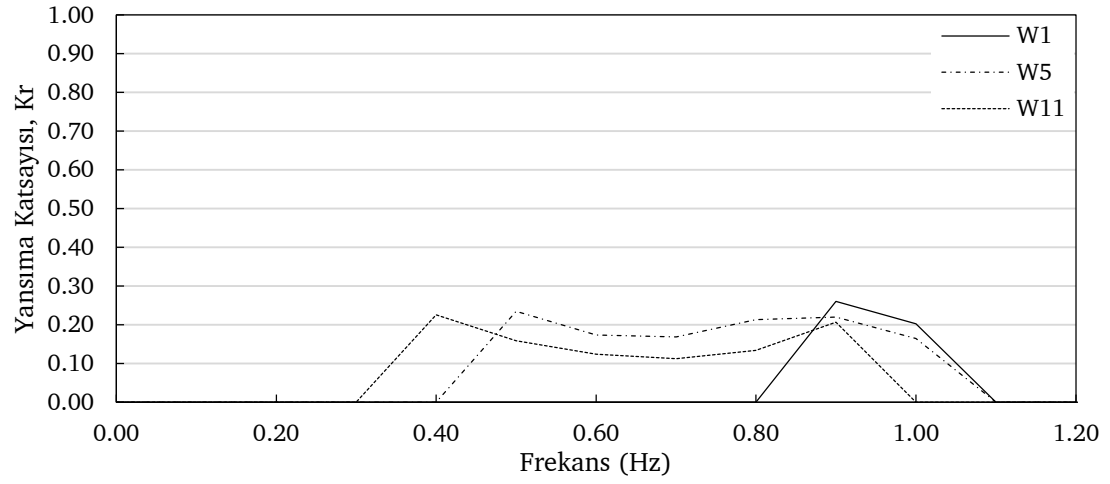


b) W11, $H_{m0}=0.24$ m

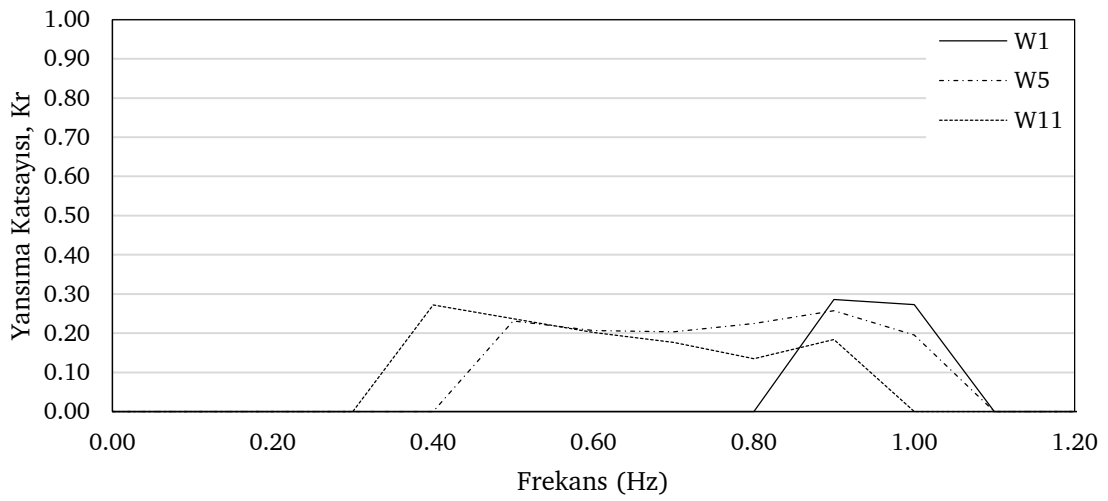
Şekil 3.36 0.65 m su derinliğinde ilk dalga (W1) ve son dalga (W11) için gelen ve yansıyan dalgaların enerji spektrumlarının frekansla değişimi



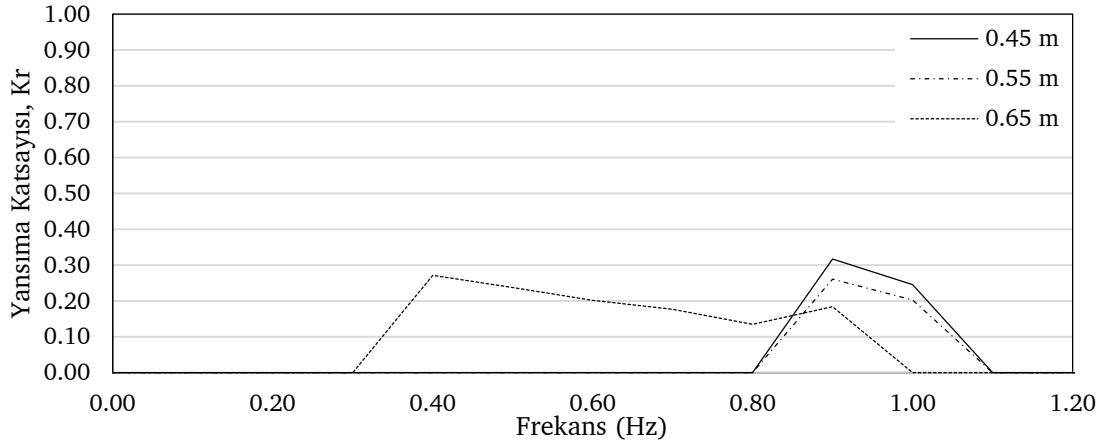
Şekil 3.37 0.45 m su derinliği yansım katsayısının frekansla değişimi



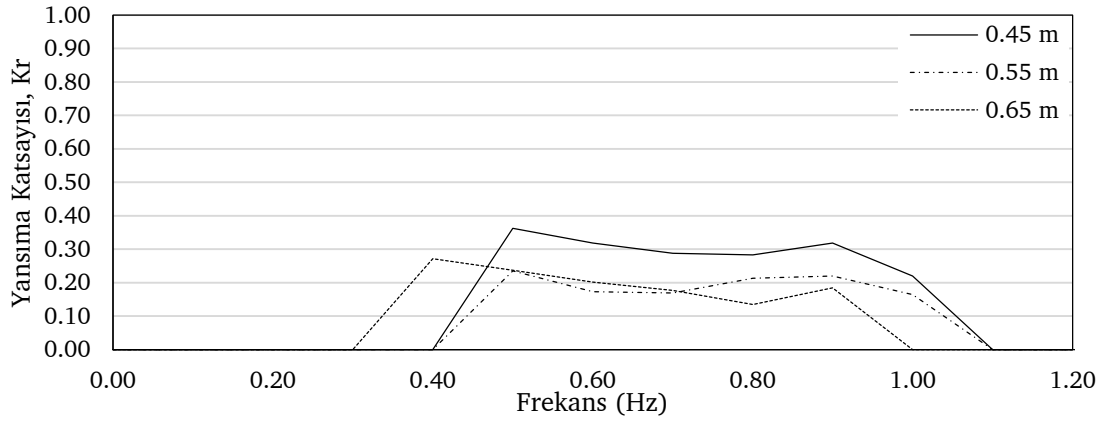
Şekil 3.38 0.55 m su derinliği yansım katsayısının frekansla değişimi



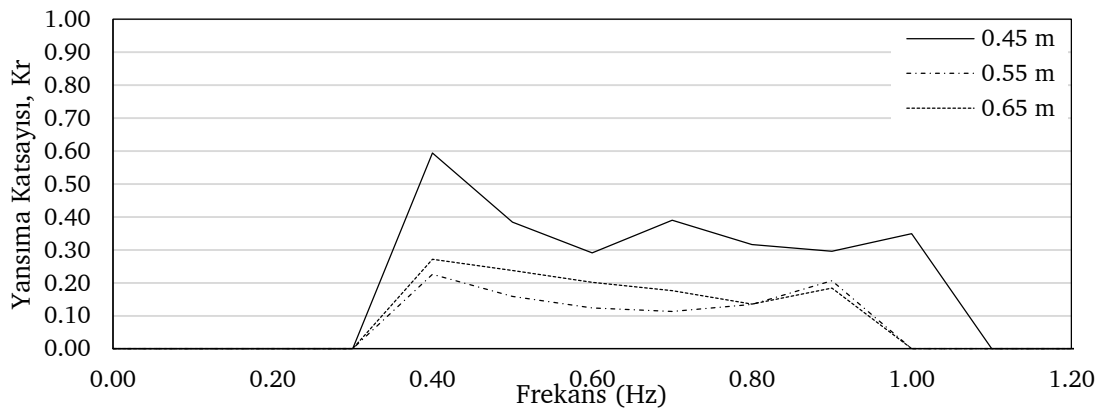
Şekil 3.39 0.65 m su derinliği yansım katsayısının frekansla değişimi



Şekil 3.40 Farklı su derinliği için W1 dalgasının yansımaya katsayısının frekansla değişimi



Şekil 3.41 Farklı su derinliği için W5 dalgasının yansımaya katsayısının frekansla değişimi



Şekil 3.42 Farklı su derinliği için W11 dalgasının yansımaya katsayısının frekansla değişimi

4

Değerlendirme

Bu araştırmada seçilen dalgakıran kesitleri alt şevde 1/1.5, üst şevde $\frac{1}{2}$ eğime sahip basamaklı dalgakıranlardır. Alt şev ve basamağın koruma tabakasında küp beton blok eleman kullanılmış ve bu elemanlar düzenli ve düzensiz olmak üzere iki farklı şekilde yerleştirilmiştir. Üst şevde ise taş koruma elemanları kullanılmıştır. Kesitlerin basamak genişlikleri $3D_n$, $4D_n$, $5D_n$, $10D_n$ ve $14D_n$ küp beton eleman olmak üzere değiştirilmiştir. Ayrıca basamağın sakin su seviyesine göre konumunun etkisini belirlemek için üç farklı su derinliği çalışıldığından araştırmada çok farklı kret hava payına sahip modeller elde edilmiş olup bu modellerin aşma ve yansıma karşı hidrolik performansları detaylı bir şekilde değerlendirilmiştir.

4.1 Dalga Yansıması

Dalgakıranların stabilite analizleri ile aşmaya karşı kret yüksekliklerinin belirlenmesi dalgakıranların tasarım aşamasının en önemli bileşenleridir. Ancak bunlara ilaveten bir diğer önemli bileşen ise yapının neden olduğu dalga yansımasıdır. Çünkü yapılardan büyük dalga yansımaları gerek gemilerin seyirlerini olumsuz etkilemeleri gerekse yakın kıyılarda erozyona sebep olması ya da erozyonu artırması açısından istenmeyen durumlardır.

Aslında basamaklı dalgakıranlarda dalga yansıması diğer yapılara göre bir hayli düşüktür, bununla birlikte bu çalışmada farklı geometrilere sahip basamaklı dalgakıranlar çalışıldığından her birinin hidrolik davranışını anlamak açısından değerlendirilmeleri önemlidir.

Yapının hidrolik davranışı yaratılan her bir alternatif için; küp blokların düzenli/düzensiz yerleştirilmesi, farklı basamak genişliği ve aşmanın olup/olmaması alternatifleri grafikler üzerinde ayrı ayrı gösterilerek bunların yansıma üzerine etkileri anlaşılmaya çalışılmıştır. Ancak aşmanın yansıma üzerindeki etkileri çalışılırken 10^{-5} boyutsuz aşma debisi altında kalan aşma değerleri yansımaların değerlendirilmesi sırasında “aşma yok” olarak kabul edilmiştir. Laboratuvar ortamında çok küçük debiler ölçülebilse de bunların fiziksel bir anlamı pek yoktur. Bu nedenle 10^{-5} boyutsuz aşma debisine karşılık gelen 0.5 lt/s/m altındaki debiler yansıma grafiklerinde aşma yok olarak değerlendirilecektir çünkü bu aşma değerleri çoğunlukla sıçramalar şeklinde gerçekleşmektedir. Bununla birlikte aşma değerlendirmesi sırasında oluşturulan grafiklerde ise bu değer altındaki alan taranarak dikkat çekilecektir.

Dalga yansıma katsayısı, K_r , yansıyan dalganın $H_{m0,r}$ gelen dalgaya, $H_{m0,i}$ oranı ile ifade edilmektedir.

$$K_r = H_{m0,r} / H_{m0,i} \quad (4.1)$$

Yapılardaki dalga yansıması genellikle surf parametresinin fonksiyonu olarak verilmektedir. Ancak basamaklı dalgakıranlar kompozit eğimli yapılar olmakla birlikte basamağın şekil değiştirmesi ile de eğim değişmekte ve tam şekil değiştiren yapılar yumuşak S şekilli form almaktadır. Bu nedenle geleneksel yöntemlerin burada kullanılması güçleştiğinden alternatif yöntemler önerilmiştir.

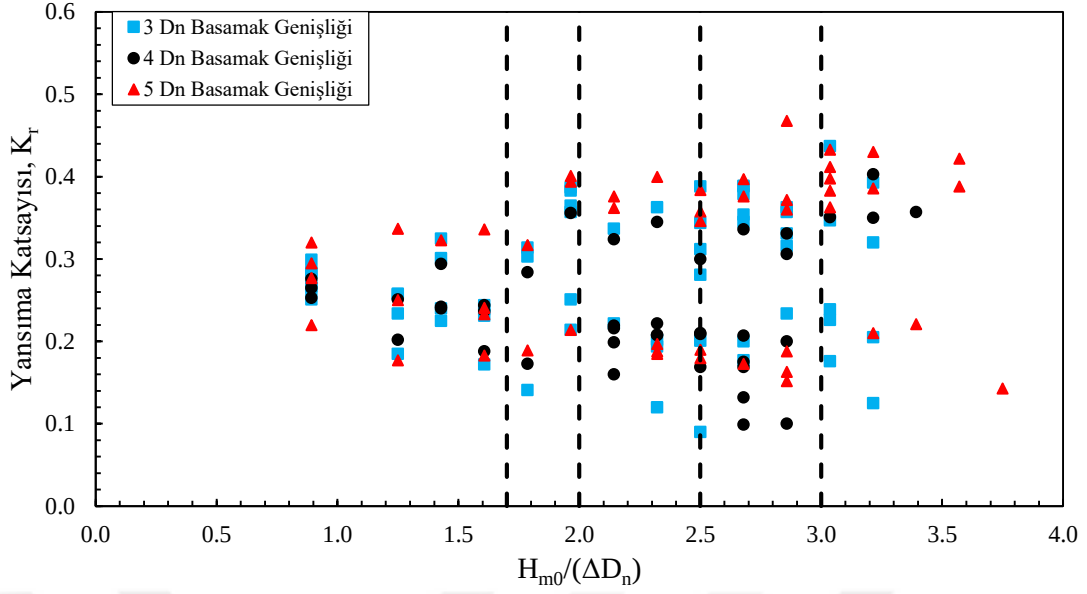
Yukarıda bahsedildiği gibi elde edilen bu alternatif modellerin değerlendirilmesinde düzenli/düzensiz yerleştirme, basamak genişliği ve aşmanın olup olmaması durumları ayrı ayrı dikkate alınarak yansıma üzerine etkileri tartışılmıştır.

Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 tüm yansıma verilerinin stabilite katsayısına göre değişimini göstermektedir. Şekil 4.1’de yansıma katsayıları basamak genişliğine ($3D_n$ (3×4), $4D_n$ (4×4) ve $5D_n$ (5×4)) göre gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Ancak bu şekil üzerinde basamak genişliğinin yansıma katsayıları üzerine etkisi belirlenememiştir. Basamak genişliği etkisinin gözlenememiş olmasının nedeni basamak genişliğindeki değişimin küçük olmasından kaynaklanabilir. Basamak

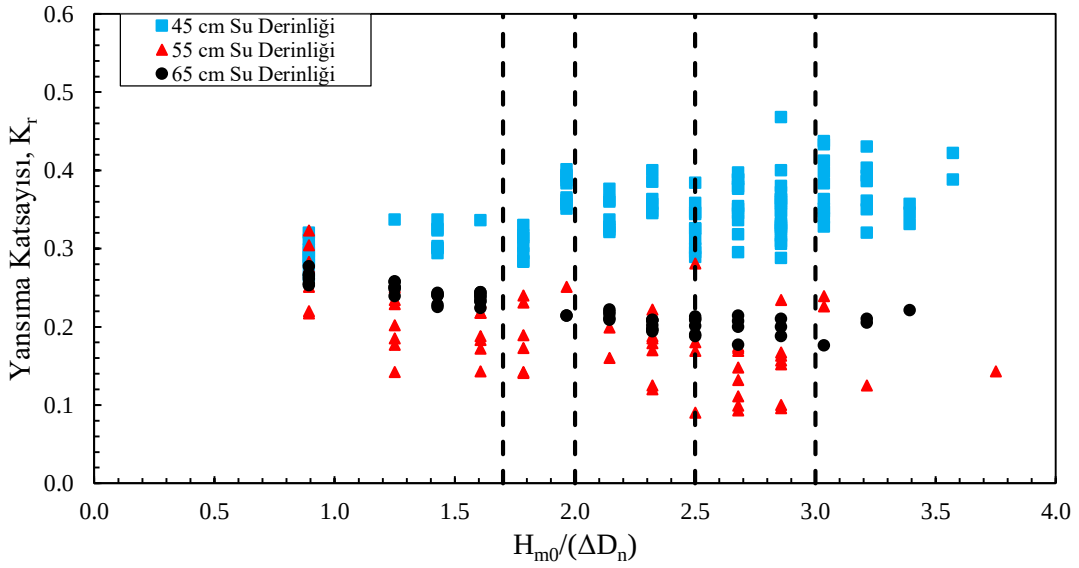
genişliğindeki değişimin daha belirgin olması yansıma üzerinde etkisini ortaya koyabilir fakat bu çalışma şartlarında basamak genişliği etkisi gözlenememiştir.

Şekil 4.2’de ise veriler 3 farklı su derinliği için gruplandırılmıştır. Çok küçük stabilite sayılarında üç farklı su derinliği için yansıma katsayılarında belirgin bir fark oluşmamıştır tüm veriler birbirlerine yakındır. Ancak stabilite sayısının artması ile su derinliklerinin etkisi belirginleşmeye başlamıştır. Şekilden 0.45 m su derinliğinde yansıma katsayılarının en büyük olduğu ve sırasıyla 0.65 m ve 0.55 m su derinliklerinin izlediği görülmektedir. 0.45 m su derinliğinde stabilite katsayısı arttıkça yansıma katsayıları artmaktadır. Oysa 0.55 m ve 0.65 m su derinliklerinde stabilite katsayılarının artması ile yansıma katsayıları azalma göstermektedir. 0.45 m su derinliğinde yapının daha stabil olduğu gözlenmekte ve hasar görmediği için yansıma katsayısı artan stabilite sayısı ile artmaktadır. Yani yansıma üzerinde dalga yüksekliği etkisinin hâkim olduğu görülmektedir. Bununla birlikte artan dalga yüksekliği ile hem stabilite sayısı hem de yansıma katsayısı artmaktadır. Oysa 0.65 m ve 0.55 m su derinliklerinde yapı daha küçük stabilite sayılarında hasar görmeye başladığından yapı eğimi değişmekte ve bu sebeple yansıma davranışı da değişmektedir.

Bu bilgiler ışığında basamağın sakin su seviyesine göre konumunun yansıma katsayıları üzerinde bir hayli etkili olduğu görülmektedir. Bu nedenle yansıma etkisinin her farklı su derinliği için ayrı ayrı değerlendirmesi yapılacaktır.



Şekil 4.1 Stabilite katsayısına karşılık yansımaya katsayısı



Şekil 4.2 Stabilite katsayısına karşılık yansımaya katsayısı

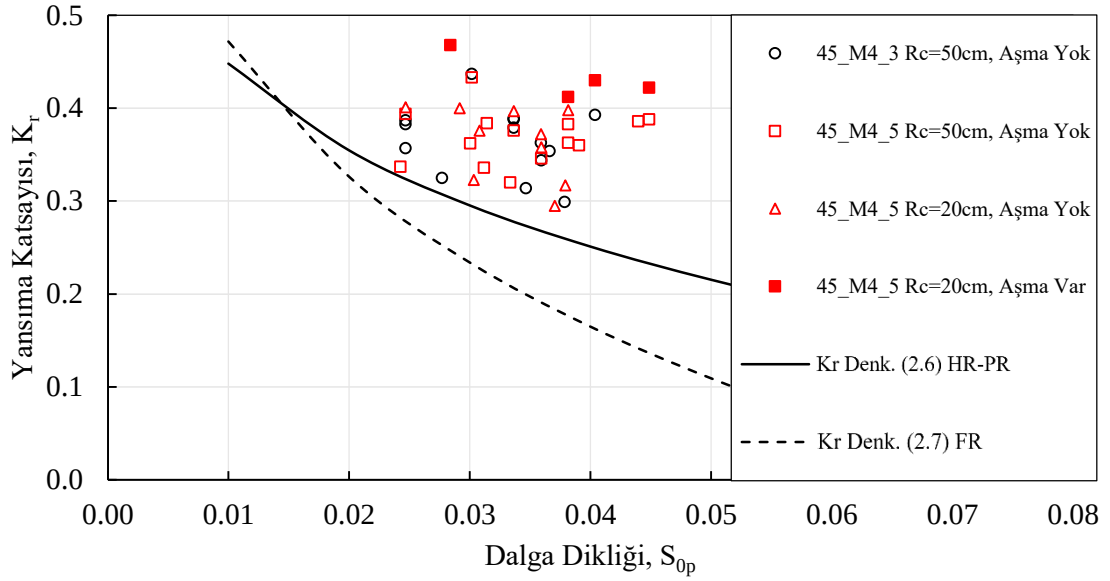
Geleneksel yansımaya analizi yönteminde dalga dikliği ile birlikte şev eğimi de kullanılmaktadır. Ancak burada kompozit eğime sahip basamaklı bir yapı söz konusudur. Dalgakıranlarda dalga dikliği dalga yansımaları üzerinde belirgin bir etkiye sahiptir. Bu sebeple ilk olarak sadece dalga dikliği dikkate alınarak analiz yapılacaktır.

Detaylı dalga yansımaya analizinde; basamak su seviyesinin üzerinde (0.45 m su derinliği), basamak su seviyesinde (0.55 m su derinliği) ve basamak su seviyesinin

altında yani batık basamak (0.65 m su derinliği) durumları için ayrı ayrı değerlendirilmeler yapılmıştır.

4.1.1 Basamak Su Seviyesinin Üzerinde (Su Derinliği 0.45 m) ($-d_b/d < 0$)

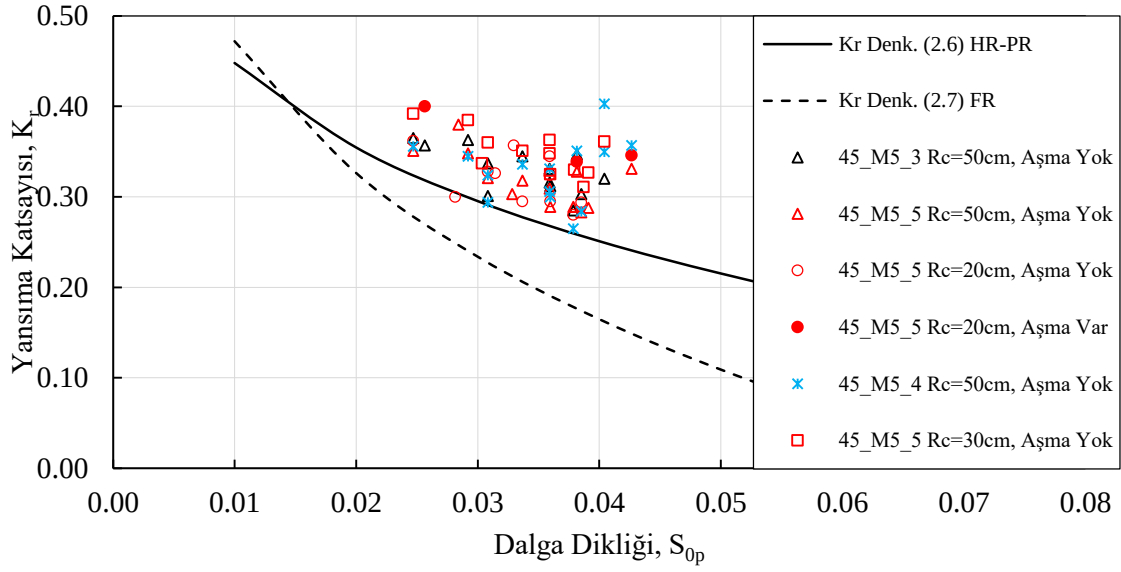
Şekil 4.3'te basamağın su seviyesi üzerinde olduğu durum olan 0.45 m su derinliğinde, düzenli dizilim yerleştirme yöntemi (M4 modeli) ve 3 sıra küp blok basamak genişliğine ($3D_n$) sahip model ile 5 sıra küp blok basamak genişliğine ($5D_n$) sahip modelin yansımaya katsayıları pik periyoda bağlı dalga dikliği ile değerlendirilmiştir. Ayrıca grafikte kısmen ya da çok az şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için verilmiş olan (2.6) denklemi ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranların yansımaya katsayıları için verilmiş (2.7) denklemi de gösterilmektedir. Şekilde $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliği için verilerde belirgin bir ayırım görülmemektedir. Ancak $5D_n$ basamak genişliğine ait modelin kret hava payı 0.20 m iken ve aşma olması durumunda yansımaya katsayısı verilerinin daha büyük olduğu görülmektedir. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde yansımaların basamaklı dalgakıranlar için verilen (2.6) denkleminin yukarısında yer aldığı görülmektedir. Yansımaya katsayıları çok az şekil değiştiren ya da kısmen şekil değiştiren basamaklı yapılar için verilmiş olan ve şekilde kesiksiz çizgi ile gösterilen eğrinin üzerinde yer almıştır. Yani yansımaya katsayıları Van der Meer ve Sigurdarson'un [10] vermiş olduğu ifadeden elde edilen teorik yansımalarından daha büyüktür. Basamağın su seviyesi üzerinde olduğu durum olan 0.45 m su derinliğinde, düzenli dizilim yerleştirme yöntemine sahip modellerde ve dalga dikliğinin 0.024-0.045 aralığında olduğu dalga şartlarında yansımaya katsayıları 0.295 ile 0.468 arasında değişim göstermiştir.



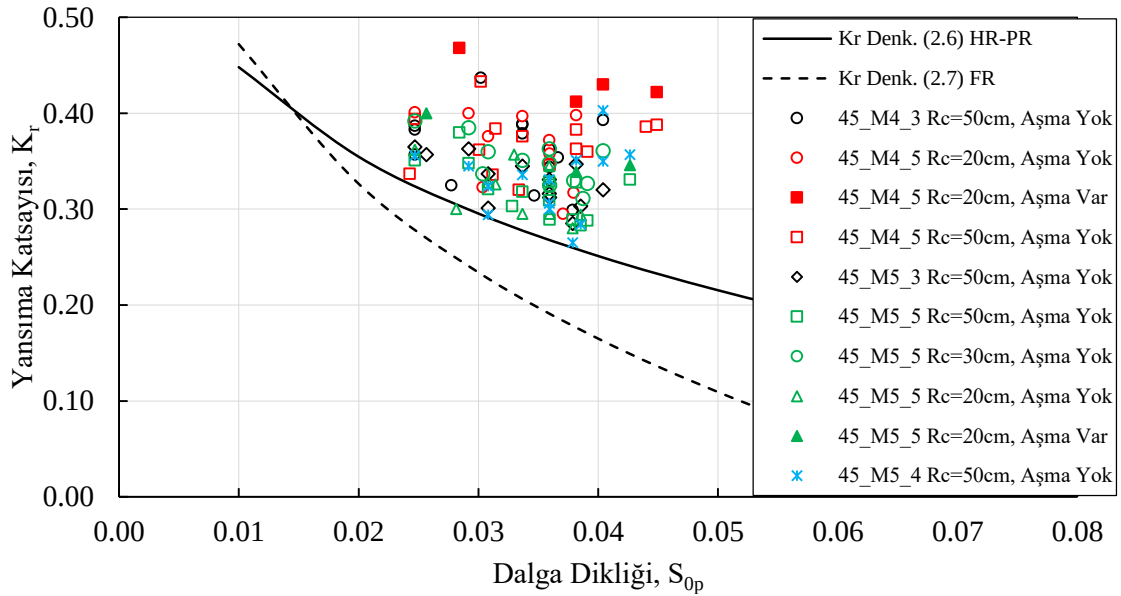
Şekil 4.3 Düzenli dizilim $3D_n$ ve $5D_n$ küp blok basamak genişliklerine ait yansıma katsayıları

Şekil 4.4'te basamağın su seviyesi üzerinde olduğu durum olan 0.45 m su derinliğinde, düzensiz yerleştirme yöntemi (M5 modeli) ve $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliğine sahip modellerin yansıma katsayılarının dalga dikliği ile değişimi ile kısmen ya da çok az şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için verilmiş olan (2.6) denklemi ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar için verilmiş olan (2.7) denklemi de gösterilmektedir. Basamağın su seviyesi üzerinde olduğu durum olan 0.45 m su derinliğinde, düzensiz dizilim yerleştirme yöntemine sahip modellere ait yansıma katsayıları 0.280 ila 0.400 arasında değişmektedir. Tüm veriler birlikte değerlendirildiğinde yansımaların basamaklı dalgakıranlar için verilen (2.6) denklemi ile verilen yansılardan daha büyük olduğu görülmektedir. Farklı semboller ile gösterilen alternatif modellerin yansıma katsayıları arasında belirgin bir ayrım görülmemektedir.

Şekil 4.5'te 0.45 m su derinliğinde yapılan tüm deney verileri birlikte değerlendirilmiştir. Düzensiz yerleştirme durumunda yansıma miktarlarının düzenli yerleştirmeye göre nispeten daha küçük olduğu tespit edilmiştir. 0.45 m su derinliğindeki tüm deney şartları birlikte değerlendirildiğinde yansıma katsayısı dağılım aralığı 0.265 ila 0.403 arasında elde edilmiştir.



Şekil 4.4 Düzensiz dizilim 3D_n, 4D_n ve 5D_n küp blok basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları

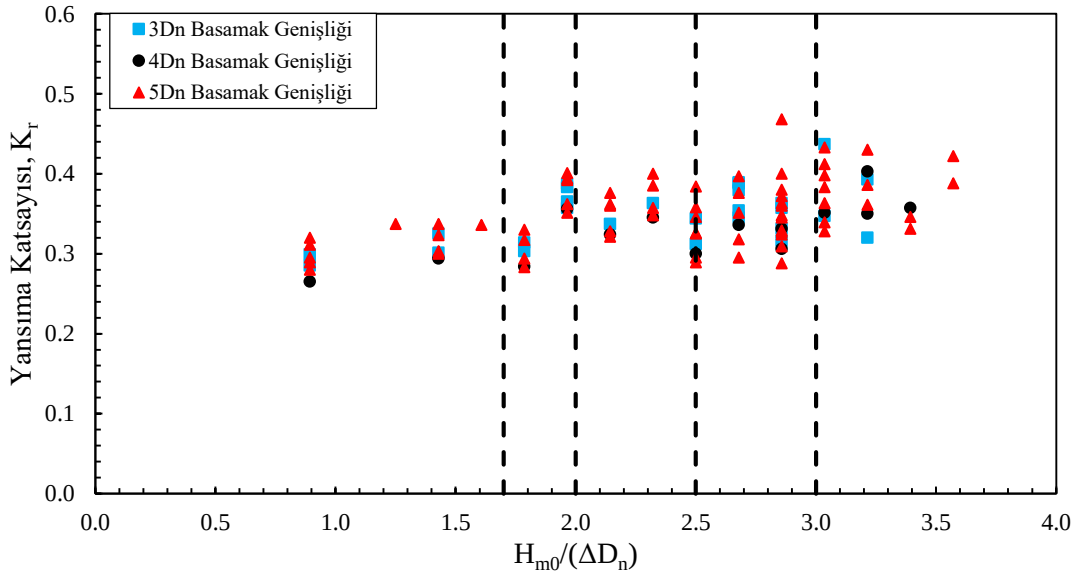


Şekil 4.5 0.45 m su derinliğindeki tüm deney şartlarına ait yansımaya katsayıları

Bu su derinliğinde dalgalar çoğunlukla daha dik olan alt şev üzerinde tırmanmaktadır. Ayrıca alt şev ve basamak ise küp beton elemanlardan oluşmaktadır. Alt şevde ve basamakta küp beton elemanların düzenli yerleştirilmesi daha düzgün bir yüzey oluşturmuş bu nedenle yansımaya katsayıları daha büyük görülmüştür. Ancak 0.45 m su derinliğinde aşmanın gözlenememesi üzerine kret seviyesi azaltılarak kret hava payı 0.50 m'den 0.20 m'ye indirilmiş ve böylece aşma elde edilebilmiştir. Bu aşmanın olduğu düşük kretli dalgakıran

durumlarında ise yansımaya katsayıları büyük ölçülmüştür. Bu su derinliğindeki tüm dalga şartlarında yansımaya katsayıları çok az şekil değiştiren ya da kısmen şekil değiştiren (HR-PR) hasar durumları için verilen yansımaya katsayısı denkleminin üzerinde yer almıştır. Stabilitate deneylerinde en az hasar bu su derinliğinde gözlenmiştir. Fakat verilerin tümünün bu eğrinin üzerinde yer almasının yani yansımaya katsayılarının taş dolgu basamaklı dalgakıranlar için verilen eğrinin üzerinde yer almasının nedeninin modelin alt şevinde taş eleman değil küp beton elemanların kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir

Şekil 4.6'da yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi görülmektedir. Bu su derinliğinde farklı basamak genişliklerinin yansımaya olan etkisi net bir şekilde gözlenememiştir. Stabilitate sayısı arttıkça yansımaya katsayısının hafif de olsa arttığı izlenmektedir. Bu su derinliği çok fazla hasarın görülmediği yapının en stabil olduğu durumdur. Bu nedenle yansımaya katsayısının büyük olması dalga yüksekliğindeki artışla ilişkilendirilmiştir.



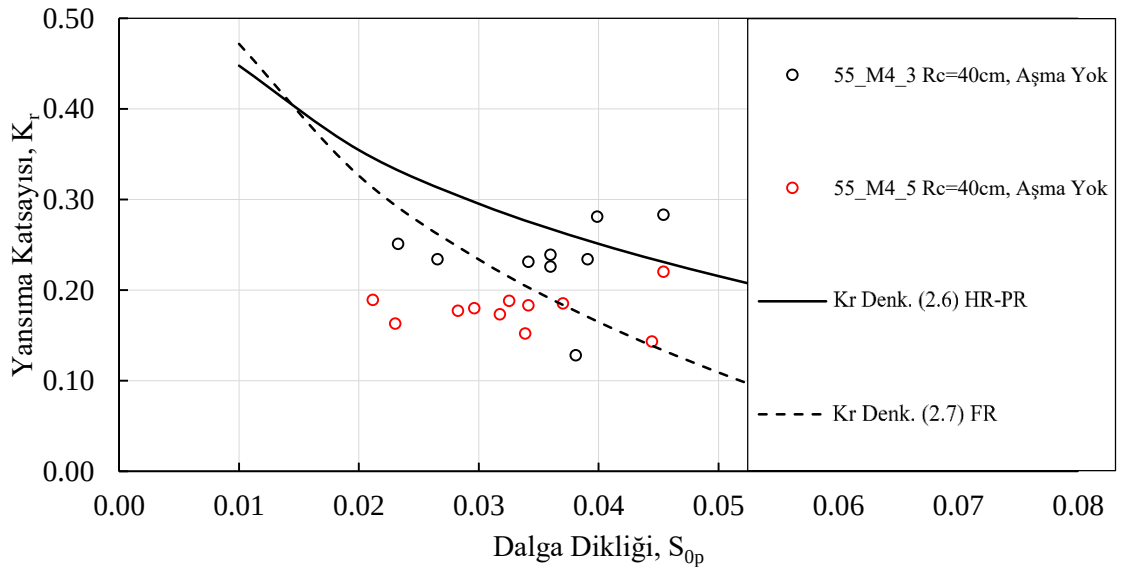
Şekil 4.6 0.45 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi

4.1.2 Basamak Su Seviyesinde (Su Derinliği 0.55 m) ($d_b/d=0$)

Şekil 4.7’de basamağın su seviyesinde olduğu durum olan 0.55 m su derinliğinde, düzenli dizilim yerleştirme yöntemi (M4 modeli) ile $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliğine sahip modellerin yansımaya katsayıları dalga dikliğinin değişimi ile değerlendirilmiştir. Ayrıca grafikte kısmen ya da çok az şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için verilmiş olan (2.6) denklemi ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranların yansımaya katsayıları için (2.7) denklemi de gösterilmektedir.

Düzenli yerleştirme için düşük kret yani küçük hava payında çalışılmamıştır. Bu sebeple sadece aşma olmaması durumları için değerlendirme yapılmıştır. Aşmanın gözlenmediği bu dalga şartlarında düzenli dizilim yerleştirme yöntemi ve $3D_n$ basamak genişliğine sahip modelde yansımaya katsayılarının $5D_n$ basamak genişliğine sahip modelden daha büyük olduğu görülmektedir. Yani basamak genişliğinin artması sonucu yansımaya katsayılarının azaldığı görülmektedir.

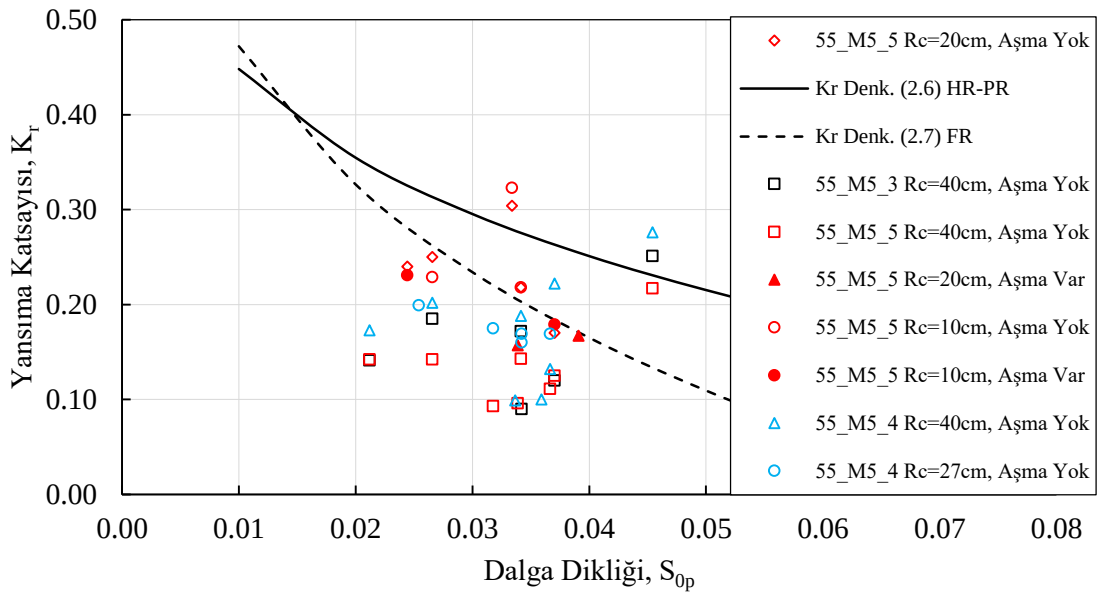
Basamağın su seviyesi ile aynı seviyede olduğu durum olan 0.55 m su derinliğinde, düzenli dizilim yerleştirme yöntemine sahip modellere ait yansımaya katsayıları 0.128 ila 0.283 arasında değişmektedir. Yansımaya katsayıları 0.45 m su derinliğindeki modellerin yansımaya katsayılarına göre önemli ölçüde bir azalma göstermiştir.



Şekil 4.7 Düzenli dizilim $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları

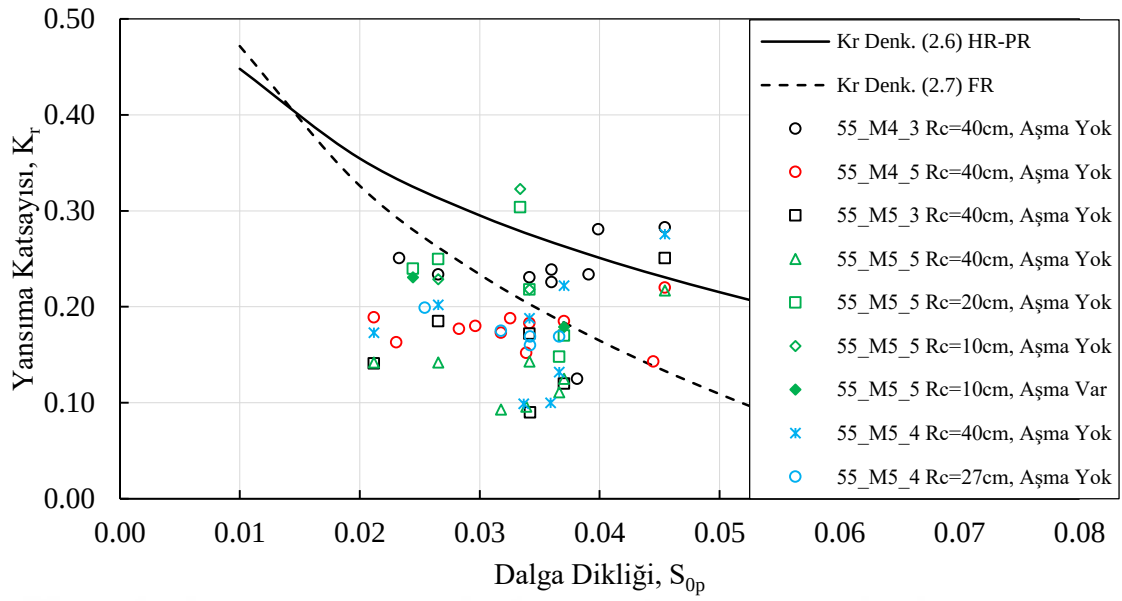
Şekil 4.8’de basamağın su seviyesinde olduğu durum olan 0.55 m su derinliğinde, düzensiz yerleştirme yöntemi (M5 modeli) ile $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliğine sahip modellerin yansımaya katsayıları değerlendirilmiştir. Ayrıca grafikte kısmen ya da çok az şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için verilmiş olan (2.6) denklemi ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranların yansımaya katsayıları için verilen (2.7) denklemleri de yer almaktadır.

Basamağın su seviyesinde olduğu 0.55 m su derinliğinde, düzensiz dizilim yerleştirme yöntemine sahip modellerde basamak genişliği etkisini gösteren bir gruplaşma tespit edilmemiştir. Bunun nedeni $3D_n$ basamak genişliği için yapılan deneylerde yapının erken hasar almasından dolayı elde edilen veri sayısının çok az olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu deney şartlarında yansımaya katsayıları 0.096 ila 0.323 arasında değişmektedir.



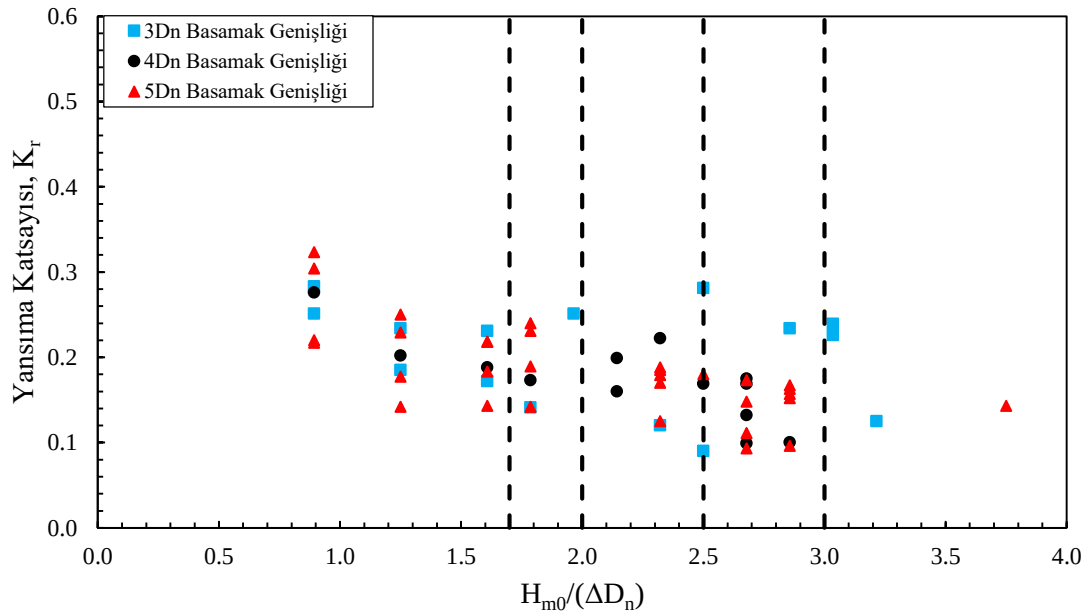
Şekil 4.8 Düzensiz dizilim $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları

Şekil 4.9’da 0.55 m su derinliğinde yapılan tüm deney verileri birlikte değerlendirilmiştir. Verilerin çoğunun tamamen şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar için verilmiş yansımaya katsayısı denkleminin etrafında yoğunlaştığı veya altında kaldığı görülmektedir. Bu şart yapı stabilitesinin en düşük olduğu durumdur. 0.55 m su derinliğindeki tüm deney şartları birlikte değerlendirildiğinde yansımaya katsayısı dağılım aralığı 0.096 ila 0.323 arasında elde edilmiştir.



Şekil 4.9 0.55 m su derinliğinde yapılan tüm deneylerde yansımaya katsayılarının dalga dikliğine göre değişimi

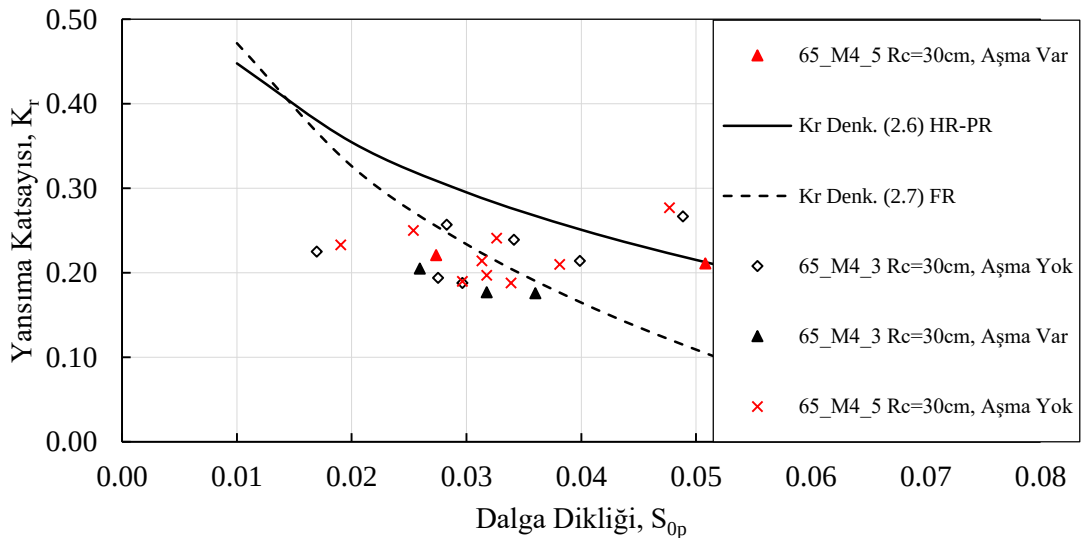
Şekil 4.10'da 0.55 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi görülmektedir. Stabilite sayısının artması ile yansımaya katsayısının azaldığı genel eğilimi görülmektedir. Çünkü bu şart stabilitenin en düşük olduğu durumdur ve yapı tamamen şekil değiştirmiştir. Bu grafikte farklı basamak genişliklerinin yansımaya olan etkisi net bir şekilde gözlenememiştir.



Şekil 4.10 0.55 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi

4.1.3 Basamak Su Seviyesinin Altında (Su Derinliği 0.65 m) ($d_b/d > 0$)

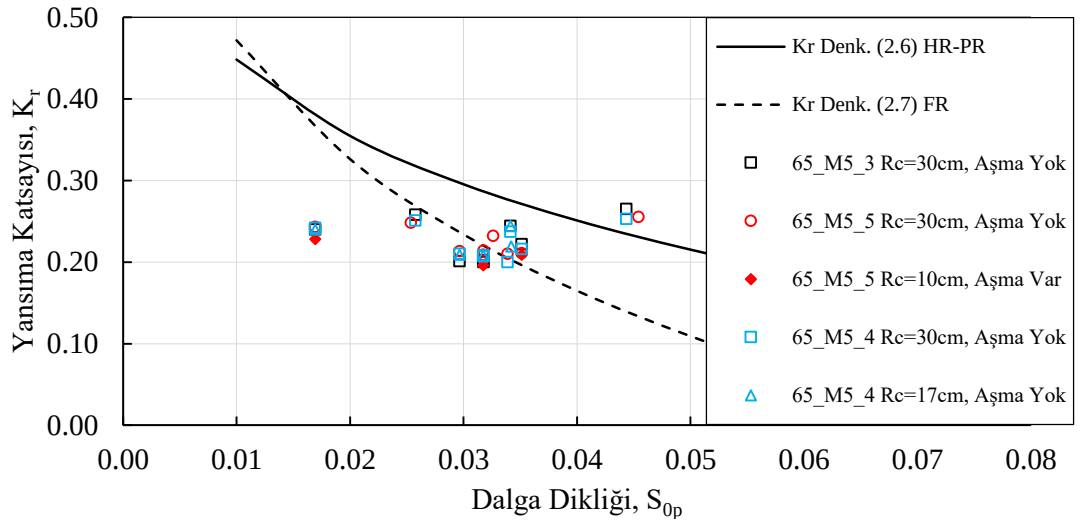
Şekil 4.11’de basamağın su seviyesinin altında olduğu batık durum olan 0.65 m su derinliğinde, düzenli dizilim yerleştirme yöntemi ve $3D_n$ basamak genişliğine sahip model ile $5D_n$ basamak genişliğine sahip modelin yansımaya katsayıları değerlendirilmiştir. Ayrıca grafikte kısmen ya da çok az şekil değiştiren basamaklı dalgakıran ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranların yansımaya katsayıları için sırasıyla (2.6) ve (2.7) denklemleri de gösterilmektedir. Bu şartlardaki tüm modellerde yansımaya katsayıları sembollere göre belirgin bir gruplanma göstermemekle birlikte aşmanın olduğu durumlar nispeten biraz daha az yansımaya sebep olmuştur. Basamağın su seviyesinin altında olduğu durum olan 0.65 m su derinliğinde, düzenli dizilim yerleştirme yöntemine sahip modellere ait yansımaya katsayıları 0.176 ila 0.277 arasında değişmektedir.



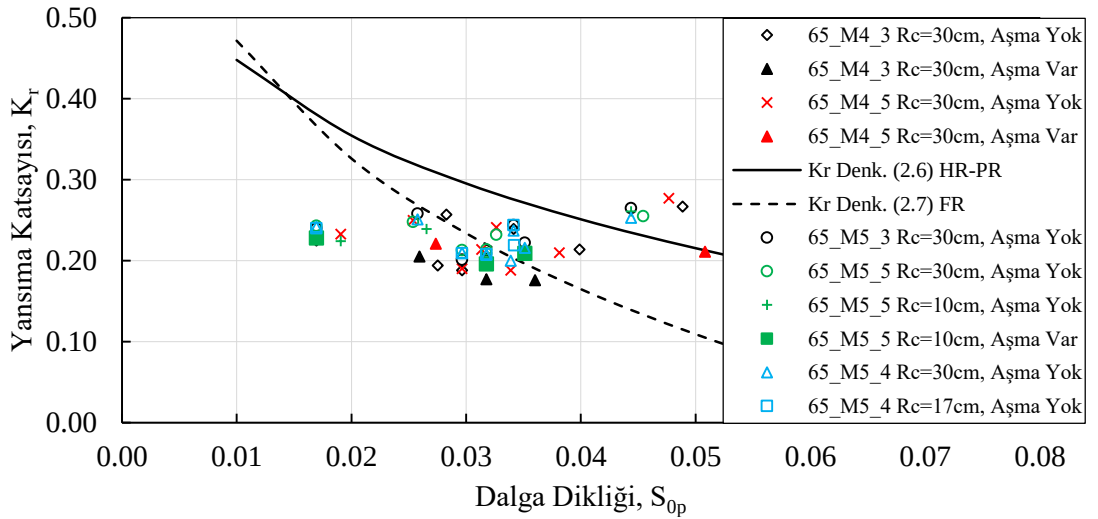
Şekil 4.11 Düzenli dizilim $3D_n$ ve $5D_n$ küp blok basamak genişliklerine ait yansımaya katsayıları

Şekil 4.12’de basamağın su seviyesinin altında olduğu batık durum olan 0.65 m su derinliğinde, düzensiz yerleştirme yöntemi ve $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliğine sahip modellerin yansımaya katsayıları değerlendirilmiştir. Aşma olmaması durumlarında elde edilen yansımaya katsayılarının aşma olması durumunda elde edilen yansımaya katsayılarından çok belirgin olmasa da büyük olduğu görülmektedir. Bu deney şartında verilerin çoğu tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için verilmiş olan denkleme uygunluk sağlamıştır. Batık

basamak durumunda 0.45 m su derinliğine göre yansıma çok daha küçük olmakla birlikte, 0.55 m su derinliğine göre daha büyüktür. Üst şevde eğimin daha yatık olması ve taş koruma elemanlarına sahip olması yansımanın azalmasına neden olmuştur. Batık basamak durumunda yani 0.65 m su derinliğinde, düzensiz yerleştirme yöntemine sahip modellere ait yansıma katsayıları 0.196 ila 0.265 arasında değişmektedir. Şekil 4.13, 0.65 m su derinliğinde yapılan tüm deney verileri için yansıma katsayılarını göstermektedir. Bu durumda yansıma katsayısı değişim aralığı 0.176 ila 0.277'dir.



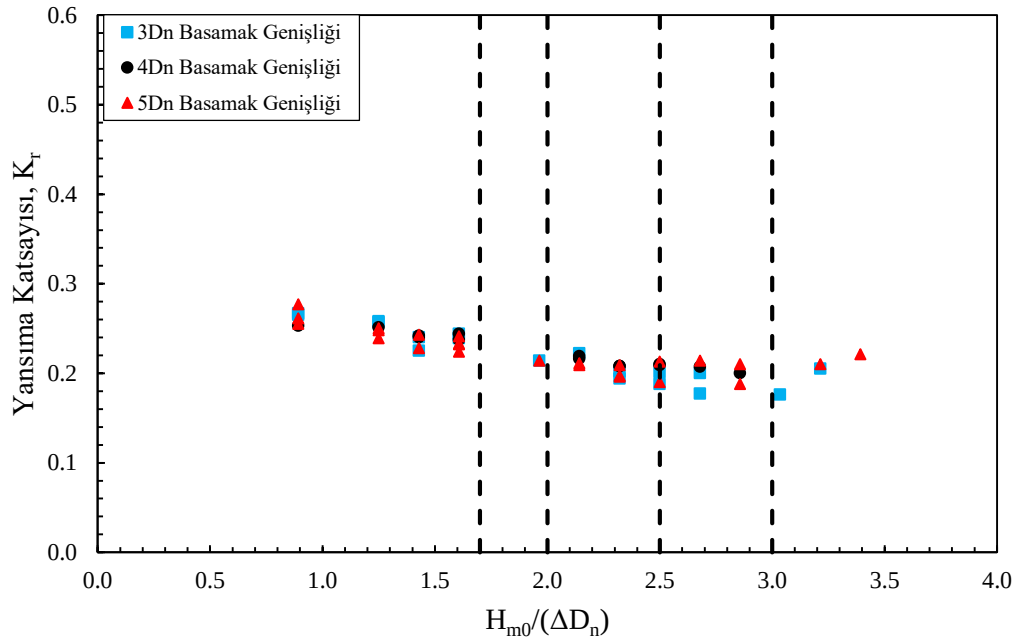
Şekil 4.12 Düzensiz dizilim 3D_n 4D_n ve 5D_n basamak genişliklerine ait yansıma katsayıları



Şekil 4.13 0.65 su derinliğinde yapılan tüm deneylerde yansıma katsayılarının dalga dikliğine göre değişimi

Şekil 4.14'te 0.65 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi üç farklı basamak genişliği için verilmiştir. Bu su derinliğinde de farklı basamak genişliklerinin yansımaya olan etkisi gözlenememiştir. Fakat stabilite sayısının artması ile yansımaya katsayısının azaldığı izlenmektedir.

Çalışmada seçilen basamaklı dalgakıran modelinin üç su derinliği için yansımaya karşı performansları yukarıdaki grafiklerle birlikte değerlendirilmiştir. Yansımamanın en az gözlendiği ve performansın yüksek olduğu durumdan, yansımamanın en çok ve performansın en düşük olduğu duruma doğru sırasıyla 0.55 m (0.093-0.323), 0.65 m (0.176-0.277) ve 0.45 m (0.265-0.468) su derinlikleri olduğu görülmüştür.



Şekil 4.14 0.65 m su derinliğinde yansımaya katsayısının stabilite sayısı ile değişimi

4.2 Dalga Aşması

Küp bloklu basamaklı dalgakıranlarda dalga aşması üzerine yapılan bu çalışmada basamak seviyesinin sakin su seviyesine göreceli konumunun da dalga aşması üzerindeki etkilerini araştırmak için su derinliği 0.45, 0.55, 0.65 m olacak şekilde değiştirilerek aşma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.2.1 Basamak Su Seviyesinin Üzerinde, BSÜ (Su Derinliği 0.45 m) ($-d_b/d < 0$)

0.45 m su derinliğinde çalışılan dalgakıran modellerinin tamamı batık olmayan basamaklı dalgakıran şartını oluşturmaktadır. Bu şartta dalgakıran modelinde $3D_n$ ve $5D_n$ olmak üzere iki farklı basamak genişliği çalışılmıştır. Daha önce de bahsedildiği gibi dalgakıranda küp beton elemanların düzenli ve düzensiz yerleştirme tipleri için alternatif modeller geliştirilmiştir.

Bu şartta kret hava payı 0.50, 0.37, 0.30 ve 0.20 m olacak şekilde kret yüksekliklerinin değiştirildiği modeller çalışılmıştır (Şekil 3.13).

4.2.1.1 Basamak Genişliği $3D_n$

Şekil 4.15'te kret hava payı (R_c) 0.50 m olan dalgakıran modeline ait boyutsuz aşma debilerinin boyutsuz kret hava payı ile değişimi görülmektedir. Bu kret yüksekliğinde aşma olarak ölçülen veriler aslında sıçrama şeklindedir. Bu nedenle çok küçük olup ölçek etkisinin önemli olduğu alanda kalmaktadır. M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde $3D_n$ basamak genişliği (M4_3 ve M5_3) ve $R_c=0.50$ m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dahil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken aşma verilerinin (sıçramalar şeklinde) sürtünme azaltma faktörünün (γ_f) 0.5 – 0.6 aralığında olduğu şekilden görülmektedir.

Bu çalışmada basamak azaltma faktörü için hem Van der Meer ve Sigurdarson (2017) [10] ($\gamma_{BB,VdM}$) hem de EurOtop (2016) [30] ($\gamma_{BB,EO}$) da verilen formüllerin her ikisi de ayrı ayrı dikkate alınacaktır. Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $3D_n$ basamak genişliği (M4_3 ve M5_3) ve $R_c=0.50$ m kret hava payı için aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı

gözlenmektedir. Ancak bu şartlarda ölçülen aşmalar sıçramalar şeklinde olduğundan veriler saçılım göstermektedir.

0.45 m su seviyesinde, yani basamağın su seviyesi üzerinde olduğu durumda ve $3D_n$ basamak genişliğinde gerçekleşen aşmalar Van der Meer ve Sigurdarson'un [10] belirtmiş olduğu 10^{-5} boyutsuz aşma debisi sınır değeri altında kalmıştır. Bu nedenle kret hava payı 0.37 m'ye düşürülerek düzensiz dizilime ait modelde deneyler tekrarlanmıştır.

M5 basamaklı dalgakıran modelinde $3D_n$ basamak genişliği (M5_3) ve $R_c=0.37$ m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü γ_f 0.4≈0.5 civarında dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.18).

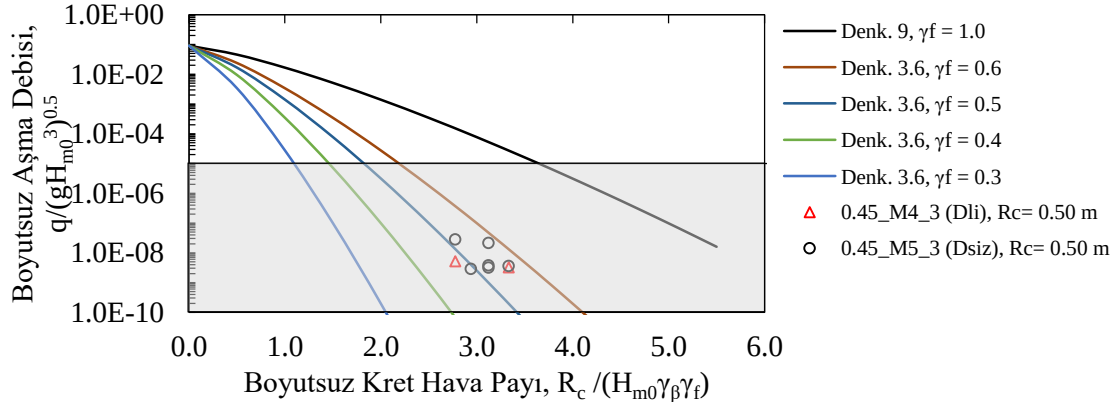
M5 basamaklı dalgakıran modelinde $3D_n$ basamak genişliği (M5_3) ve $R_c=0.37$ m kret hava payı için aşma verilerine Van der Meer ve Sigurdarson [10] ve EurOtop 2016 [30] azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı, sonuç olarak model deneyi verilerinin verilen ifadelerle uygunluk gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.19 ve Şekil 4.20). Ancak bu şartta da elde edilen veriler 10^{-5} boyutsuz aşma debisi sınır değeri altında kalmıştır.

Düzenli ve düzensiz yerleştirme yöntemlerinin bu şartlarda aşma üzerine belirgin bir etkisi görülmemiştir.

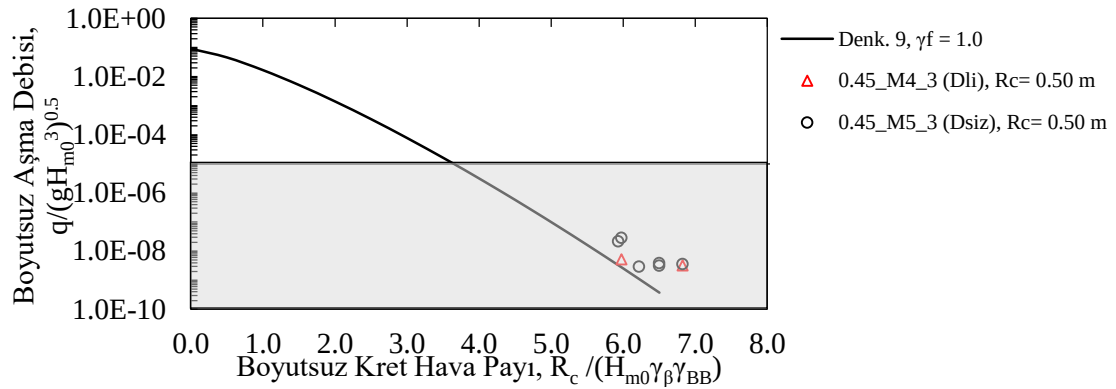
Şekil 4.21'de $3D_n$ basamak genişliği için iki farklı kret hava payına (0.50 ve 0.37 m) sahip model sonuçları birlikte görülmektedir. Düzensiz yerleştirme yöntemi için $3D_n$ basamak genişliği (M5_3) ve 0.45 m su seviyesinde kret hava payı (R_c) 0.50 m'den 0.37 m'ye düşürüldüğünde aşma değerleri hala 10^{-5} boyutsuz aşma debisi altında kalmış, yani yalnızca sıçramalar meydana gelmiştir. 0.50 m kret seviyesinde meydana gelen aşmalar sürtünme azaltma faktörü γ_f 0.5 ila 0.6 aralığında iken, 0.37 m kret seviyesinde meydana gelen aşmalar sürtünme azaltma faktörü γ_f 0.4 ila 0.5 aralığında yer almıştır.

Şekilden kret hava payının azalması ile aşmanın arttığı görülse de bu miktarların halen ölççek etkisinin hakim olduğu bölgededir. M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde $3D_n$ basamak genişliği (M4_3 ve M5_3) ile 0.50 ve 0.37 m kret hava payları için aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil

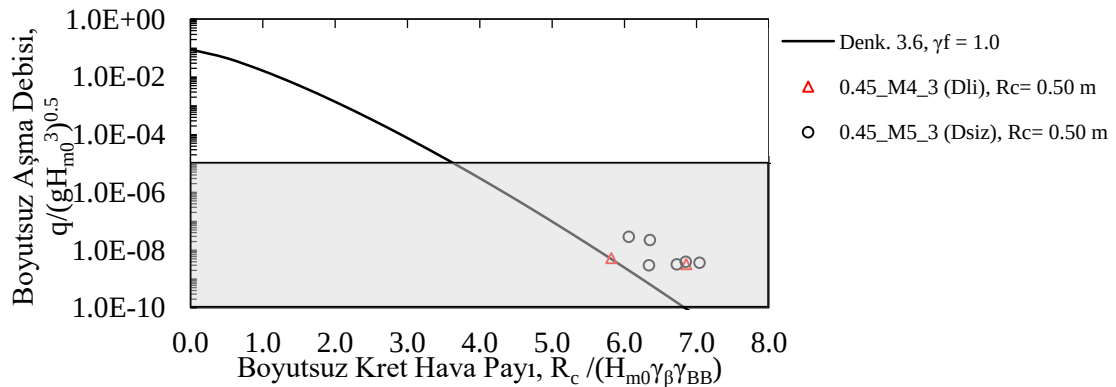
edildiği şekiller sırasıyla Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'tür. Her iki ifade için de verilerin $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı, sonuç olarak model deneyi verilerinin verilen ifadelerle uygunluk gösterdiği görülmektedir.



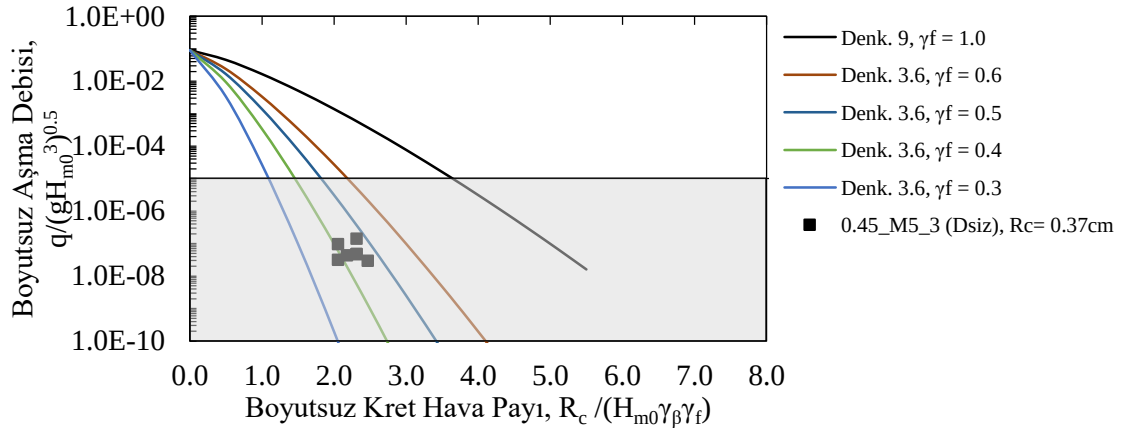
Şekil 4.15 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



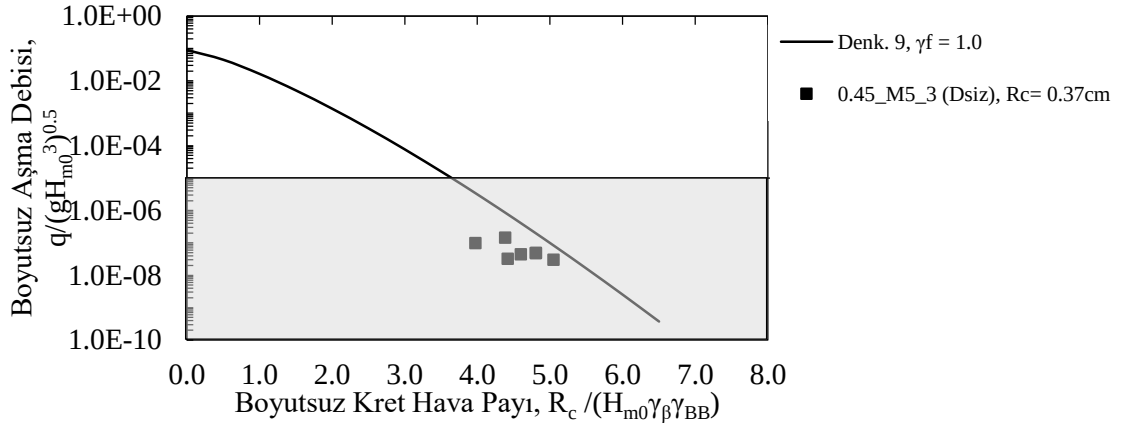
Şekil 4.16 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



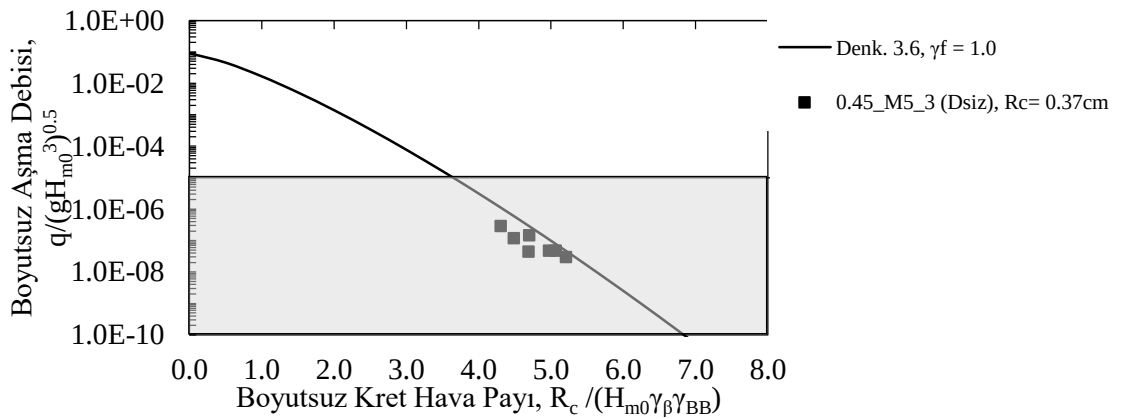
Şekil 4.17 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



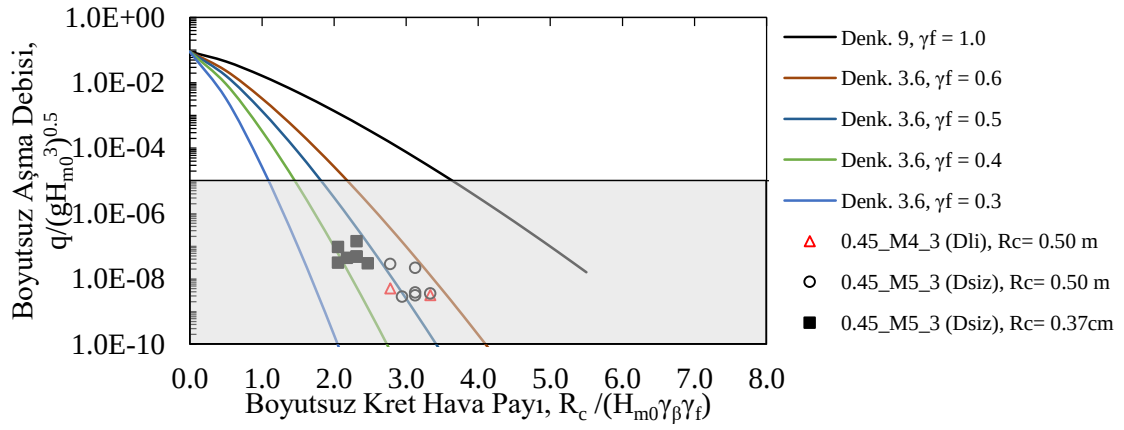
Şekil 4.18 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.37$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



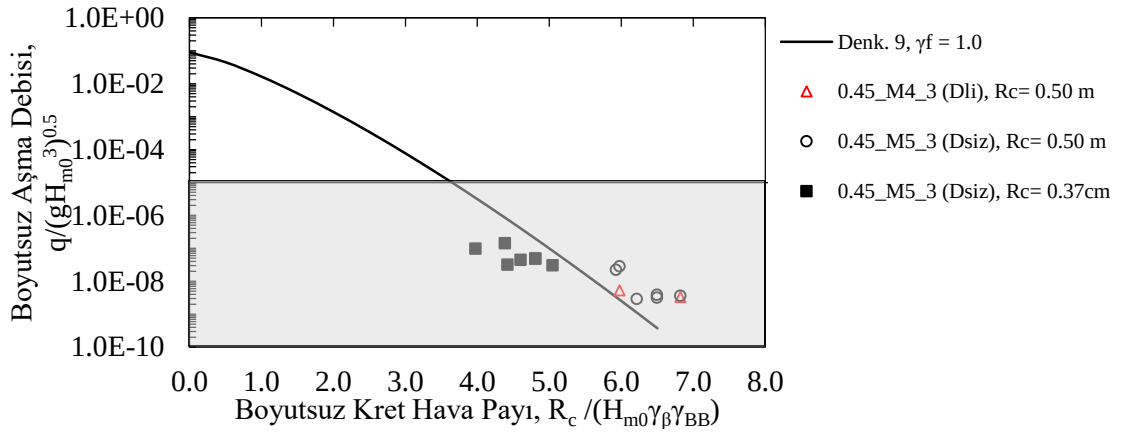
Şekil 4.19 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.37$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vdM}$)



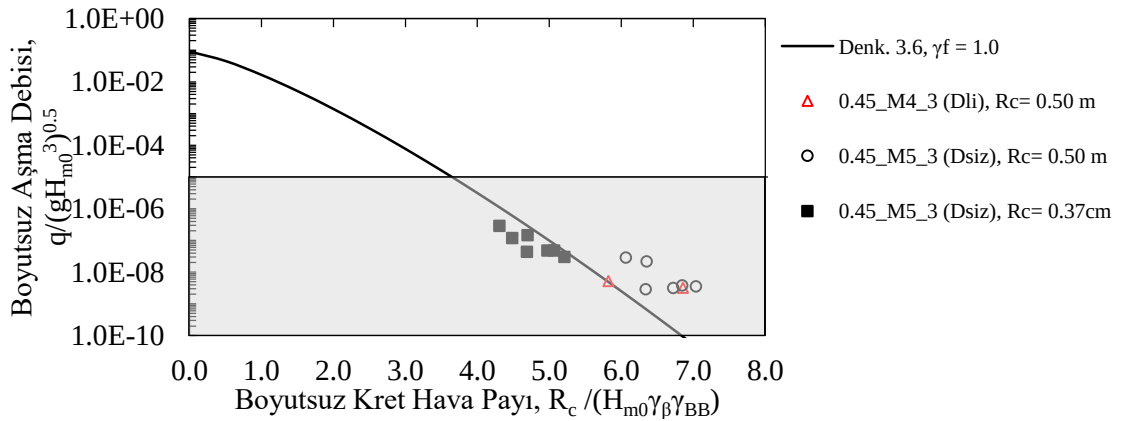
Şekil 4.20 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.37$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.21 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ m ve 0.37 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$)



Şekil 4.22 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ ve 0.37 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, \text{vdm}}$)

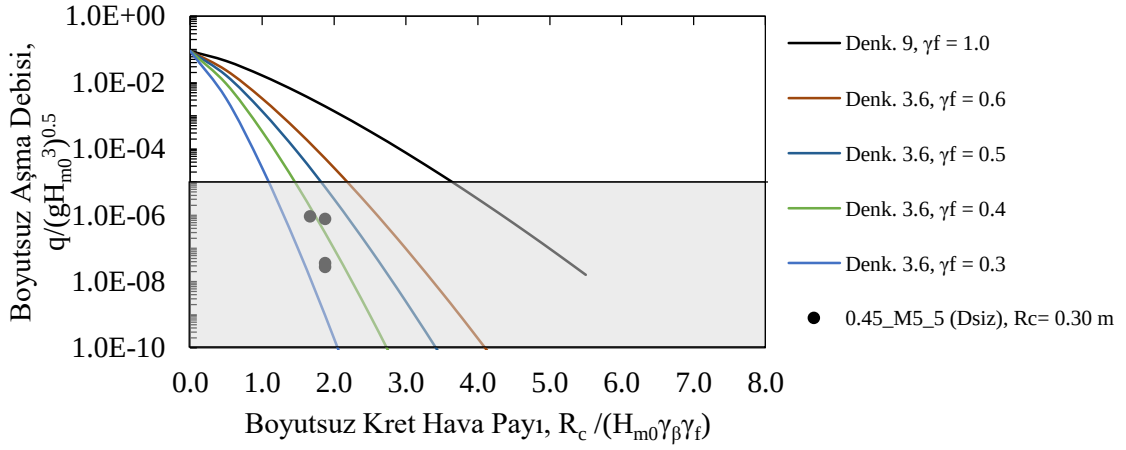


Şekil 4.23 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.50$ ve 0.37 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, \text{EO}}$)

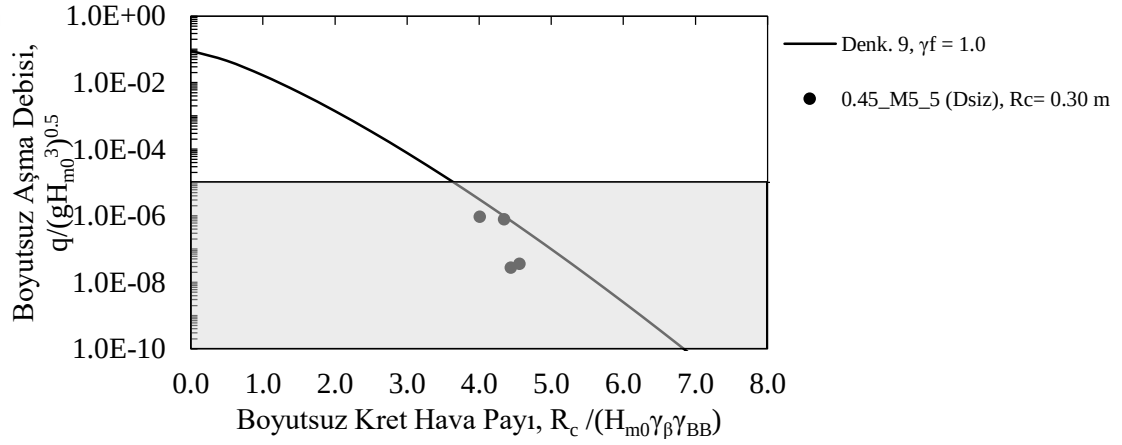
4.2.1.2 Basamak Genişliği 5D_n

0.45 m su derinliğinde kret hava payı 0.50 m olan modelde yapılan aşma deneylerinde basamak genişliği artırıldığında (5D_n) aşma hiç gözlenmemiştir. Bu nedenle kret hava payı azaltılarak aşma deneyleri tekrarlanmıştır. Düzensiz dizilim 5D_n basamak genişliğinde (M5_5) kret kotu sırasıyla 0.30 ve 0.20 m, aynı şekilde düzenli dizilim 5D_n basamak genişliğinde (M4_5) kret kotu düşürülerek 0.20 m'lik kret hava payına sahip model deneyleri gerçekleştirilmiştir. 0.30 m hava payında düzensiz yerleştirme için basamak etki faktörü dâhil edilmeden boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi değişimi şekil 4.24'te görülmektedir. şekil 4.25 ve şekil 4.26'da ise basamak etki faktörü dâhil edilmiş grafikler görülmektedir. Her iki ifade için de verilerin $\gamma_{BB}=1.0$ eğrisine yaklaştığı görülmektedir.

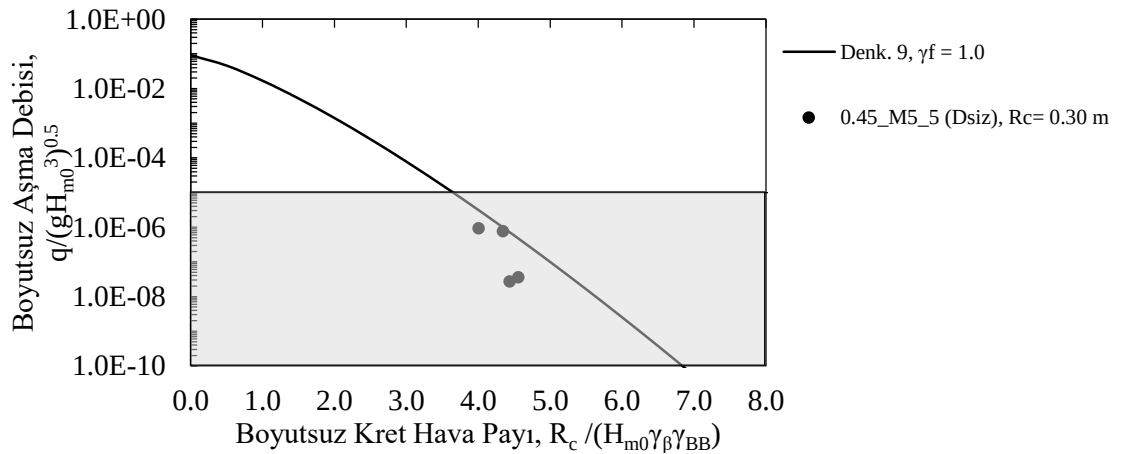
şekil 4.27'de 5D_n basamak genişliğinde, 0.20 m kret hava payı için düzenli (M4 tipi) ve düzensiz (M5 tipi) yerleştirme yöntemlerinin aşma üzerine etkisi görülmektedir. Basamak etki faktörünün dikkate alınmadığı bu grafikte veriler sürtünme azaltma faktörünün 0.3 ila 0.4 aralığında yer almıştır. Basamak azaltma faktörünün $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ formülleri ile hesaplanarak dâhil edildiği verilerin boyutsuz kret hava payı ile değişimleri sırasıyla şekil 4.28 ve şekil 4.29'da görülmektedir. Basamak etki faktörünün dikkate alındığı verilerin sürtünme azaltma faktörü 1.0'e doğru yaklaştığı görülmekle birlikte,ölçek etkisi bölgesindeki veriler büyük saçılımlar gösterirken 10^{-5} 'ten bykllen aşma miktarları sürtünme azaltma faktörü $\gamma_f=1.0$ eğrisine doğru daha fazla yaklaştığı izlenmektedir. şekil 4.30, şekil 4.31 ve şekil 4.32'de 0.45 m su derinliğinde ve basamak genişliği 5D_n olan modellerde farklı kret hava paylarındallen tüm aşma miktarları birlikte görülmektedir.



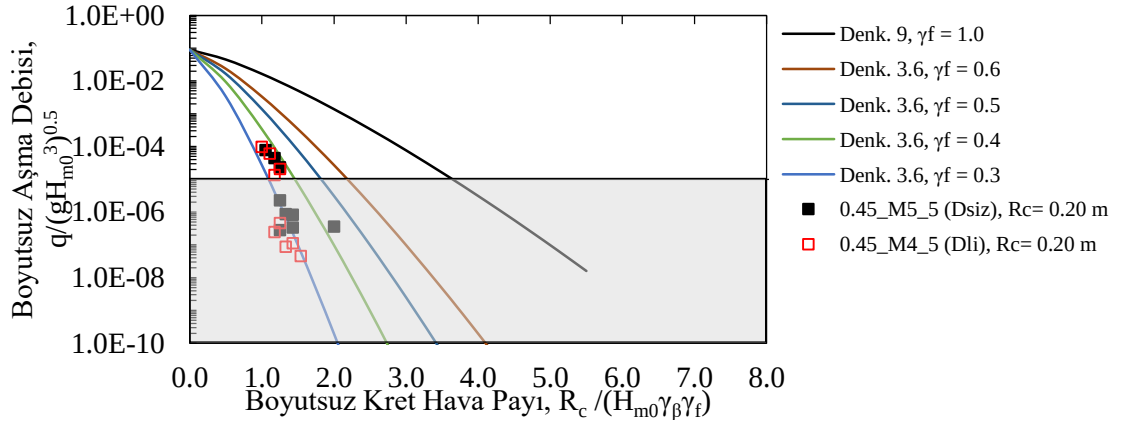
Şekil 4.24 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$)



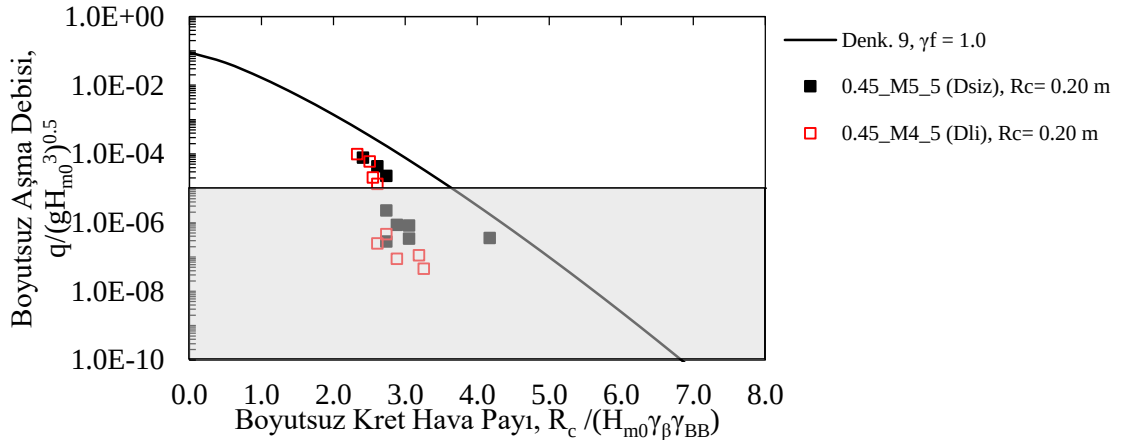
Şekil 4.25 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, VdM}$)



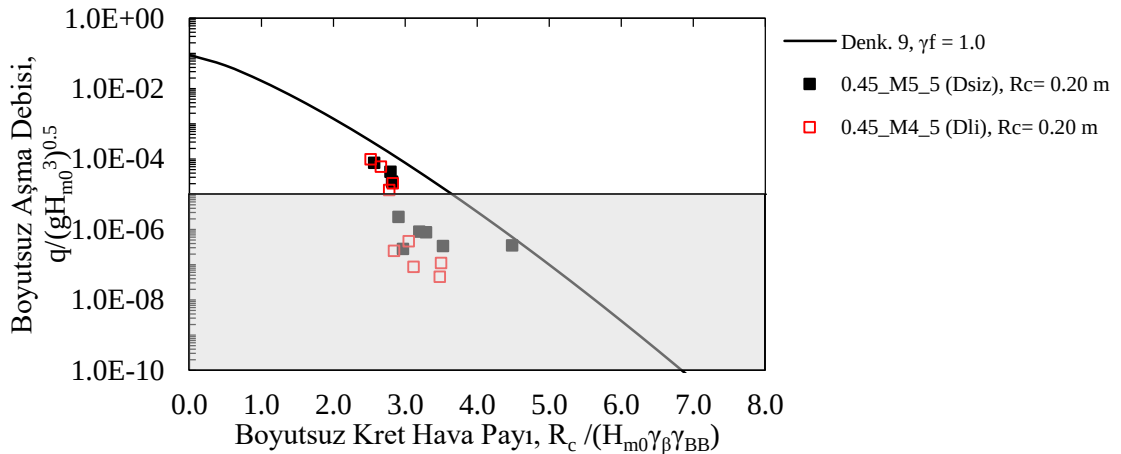
Şekil 4.26 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, EO}$)



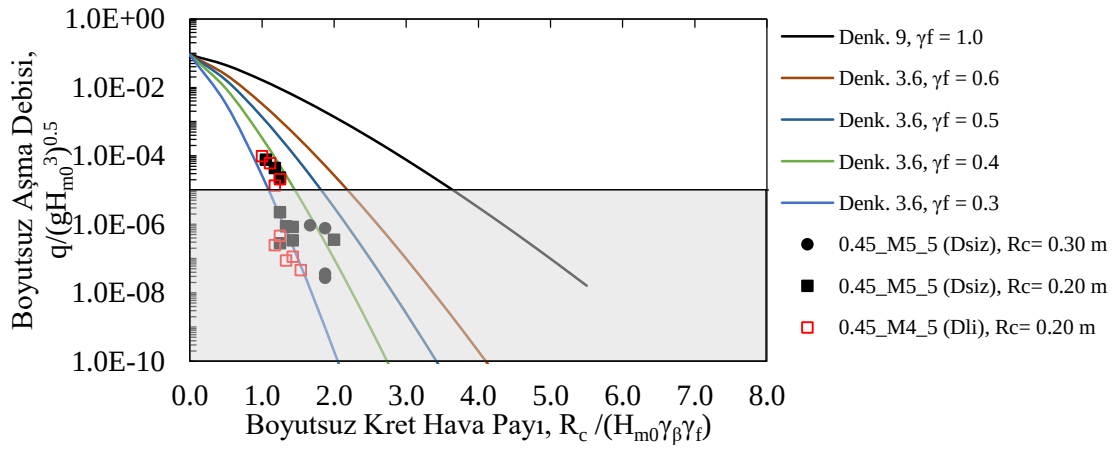
Şekil 4.27 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$)



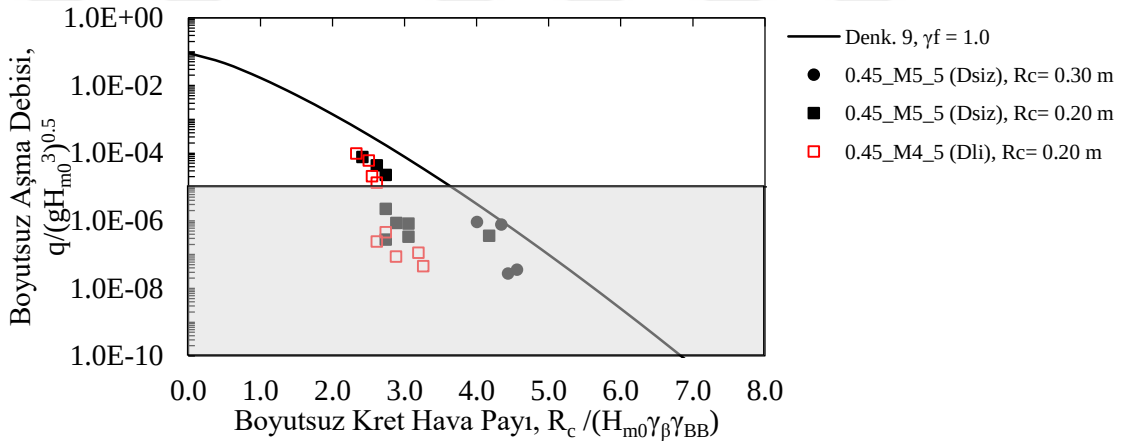
Şekil 4.28 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



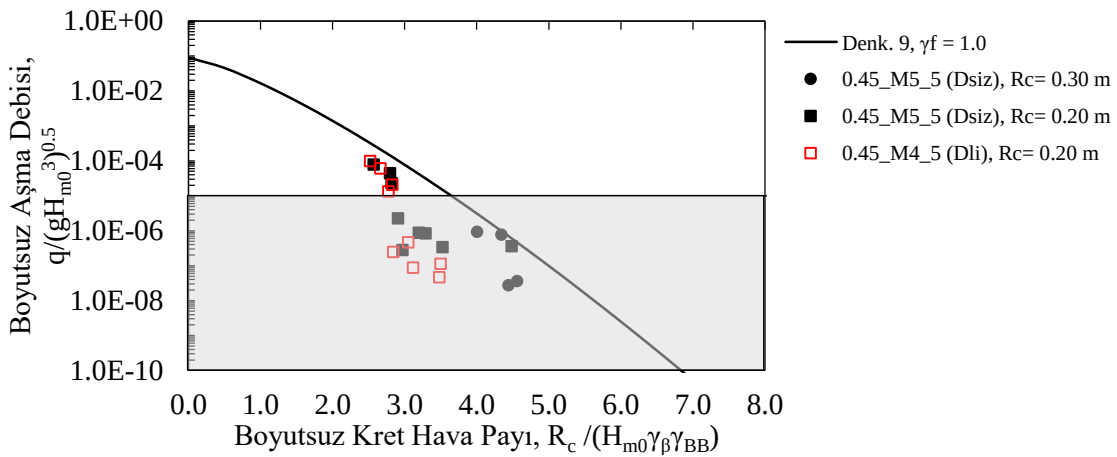
Şekil 4.29 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.30 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.20 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



Şekil 4.31 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.20 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vdM}$)



Şekil 4.32 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.20 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)

4.2.2 Basamak Su Seviyesinde, BSS (Su Derinliği 0.55 m)

$$(d_b/d=0)$$

0.55 m su seviyesinde çalışılan dalgakıran modellerinin tamamı basamağın su seviyesi ile eşit seviyede olduğu basamaklı dalgakıran şartını oluşturmaktadır. Bu su derinliğinde $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ olmak üzere üç farklı basamak genişliğine sahip dalgakıran modelleri ile çalışılmıştır. Dalgakıranın alt şevinde ve basamakta küp beton elemanların düzenli ve düzensiz yerleştirme tipleri için alternatif modeller geliştirilmiştir. Tüm bu modeller Şekil 3.14'te isimleri ile birlikte ayrı ayrı gösterilmektedir.

Basamak su seviyesindeyken kret hava payı, R_c , 0.40, 0.27, 0.20 ve 0.10 m olacak şekilde yapının kret yükseklikleri azaltılarak deneyler gerçekleştirilmiştir.

4.2.2.1 Basamak Genişliği $3D_n$

Şekil 4.33'te kret hava payı 0.40 m olan dalgakıran modeline ait boyutsuz aşma debilerinin boyutsuz kret hava payı ile değişimi görülmektedir. M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde $3D_n$ basamak genişliği (M4_3 ve M5_3) ve $R_c=0.40$ m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken hem düzenli dizilim hem de düzensiz dizilim aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü γ_f değerinin 0.5 – 0.6 arasında dağılım gösterdiği görülmektedir. Düzenli dizilim yöntemi kullanılan modelde daha fazla tırmanma meydana gelmiş olup, bunun sonucunda daha çok aşma meydana gelmiştir.

Basamak azaltma faktörünün $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ formülleri ile hesaplanarak dâhil edildiği verilerin boyutsuz kret hava payı ile değişimleri ise sırasıyla Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'te görülmektedir. Ancak bu aşma miktarları ölçek etkisinin hâkim olduğu bölgede yer almakta ve $\gamma_f=1.0$ etrafında saçılım göstermektedir. Bu nedenle kret hava payı düşürülerek deneyler tekrarlanmıştır.

Şekil 4.36'da M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde $3D_n$ basamak genişliği (M5_3) ve $R_c=0.27$ m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken düzensiz dizilim aşma verilerinin sürtünme faktörü γ_f değerinin 0.4 civarında dağılım gösterdiği görülmektedir.

Sırasıyla Şekil 4.37 ve Şekil 4.38’de M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde $3D_n$ basamak genişliği (M5_3) ve $R_c=0.27$ m kret hava payı için aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisine doğru ötelendiği görülmektedir.

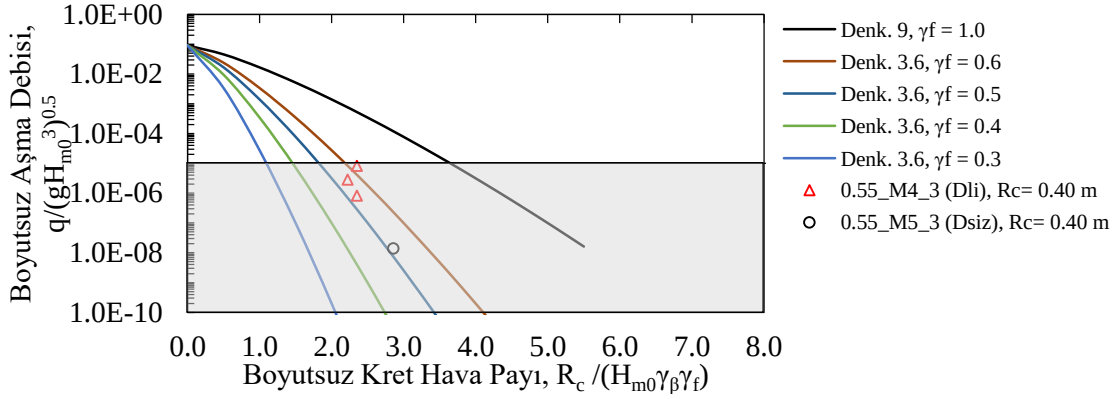
M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde $3D_n$ basamak genişliğine (M4_3 ve M5_3) sahip ancak kret hava payı (R_c) 0.40 m ve 0.27 m olan modellerden elde edilen için herhangi bir azaltma faktörü kullanılmadan Şekil 4.39’da birlikte görülmektedir. Şekilden kret hava payının azaltılması ile verilerin daha küçük sürtünme azaltma faktörüne doğru kaydığı bununla birlikte aşma miktarında artış meydana geldiği izlenmektedir. Düzensiz dizilim yöntemi kullanılan modelde pürüzlülük daha belirgin olduğu için bu yöntemde dalga enerjisinin daha iyi sönmüldüğü, bu sayede dalga aşmasının azaldığı yorumu yapılabilmektedir. Şekil 4.40 ve Şekil 4.41’te basamak azaltma faktörlerinin dahil edildiği grafikler yer almaktadır.

4.2.2.2 Basamak Genişliği $4D_n$

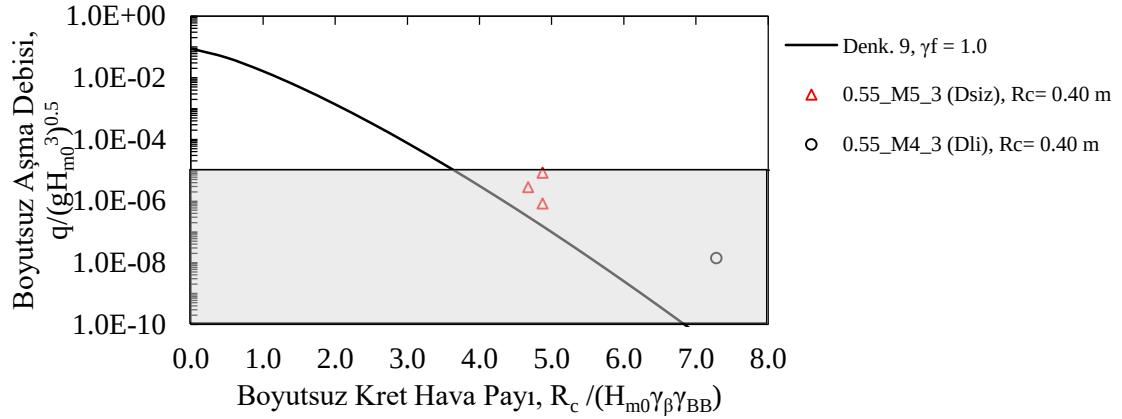
Şekil 4.42’de görüldüğü gibi basamağın su seviyesinde olduğu 0.55 m su derinliğinde, kret hava payı 0.40 m ve $4D_n$ basamak genişliğinde düzensiz dizilim yöntemi kullanılan modelden (M5_4) elde edilen boyutsuz aşma debilerinin tamamı 10^{-5} sınır değerinin altında kalmıştır. Bu aşma miktarları çoğunlukla sıçrama olarak meydana gelmiştir. Bu nedenle kret hava payı 0.27 m’ye düşürülerek deneyler tekrar edilmiştir. Bunun sonucunda elde edilen aşmalar da ölçek etkisinin hâkim olduğu bölgede kalmıştır. M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde $4D_n$ basamak genişliği (M5_4) ve $R_c=0.40$ m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda sürtünme azaltma faktörü $\gamma_f=0.5$ civarında, kret hava payı 0.27 m iken herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda aşma verileri sürtünme azaltma faktörünün 0.4 – 0.5 arasında dağılım gösterdiği ve aşmanın nispeten arttığı yine aynı şekilden görülmektedir.

M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde $4D_n$ basamak genişliği (M5_4) ve $R_c=0.40$ m ve 0.27 m kret hava payı değerleri için aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil edildiğinde elde edilen grafikler sırasıyla Şekil 4.43 ve

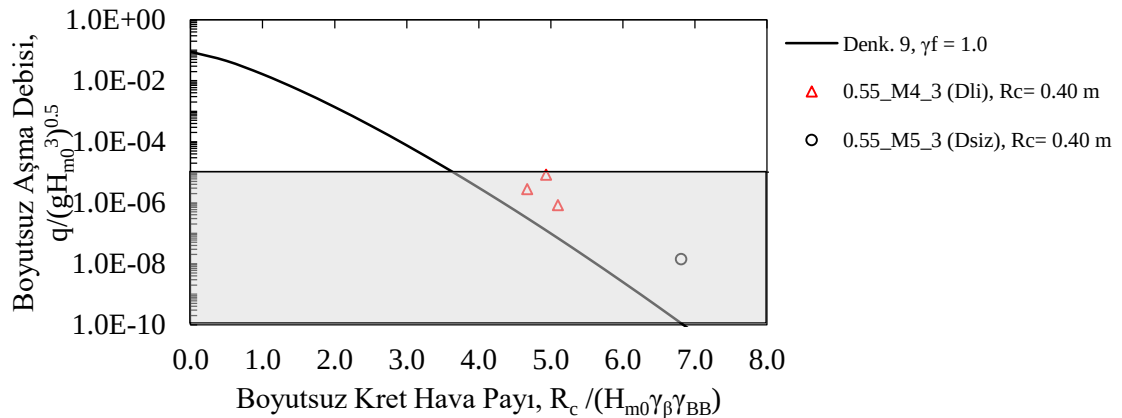
Şekil 4.44'te görülmektedir. Bu verilerin her iki formülde de $\gamma_f=1.0$ eğrisine yaklaştığı görülmektedir.



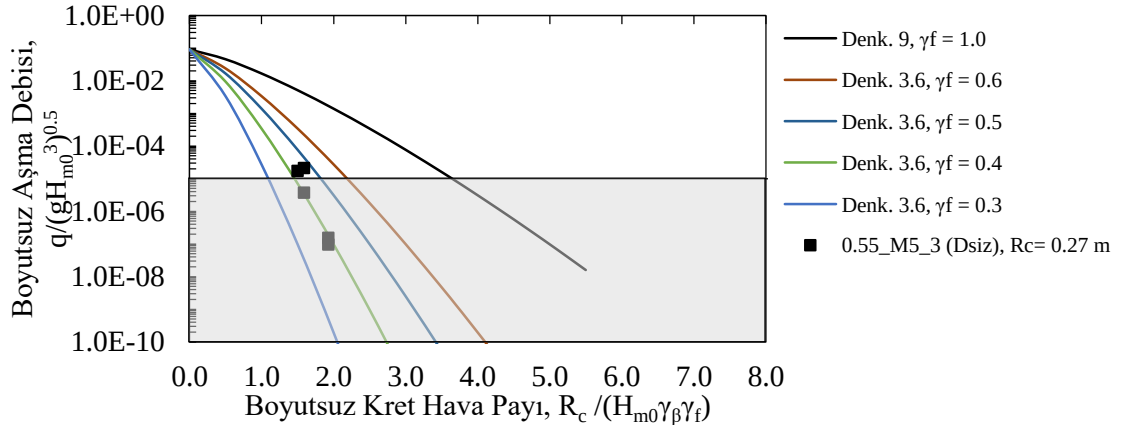
Şekil 4.33 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



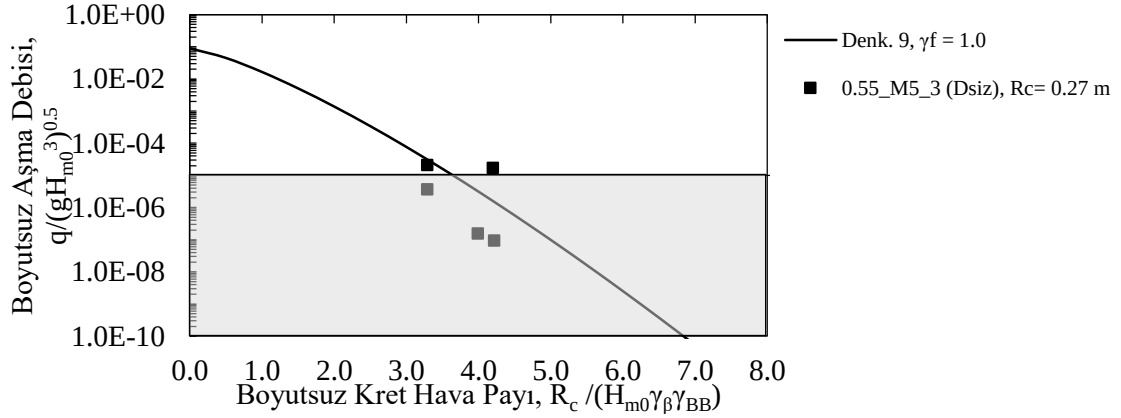
Şekil 4.34 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vdM}$)



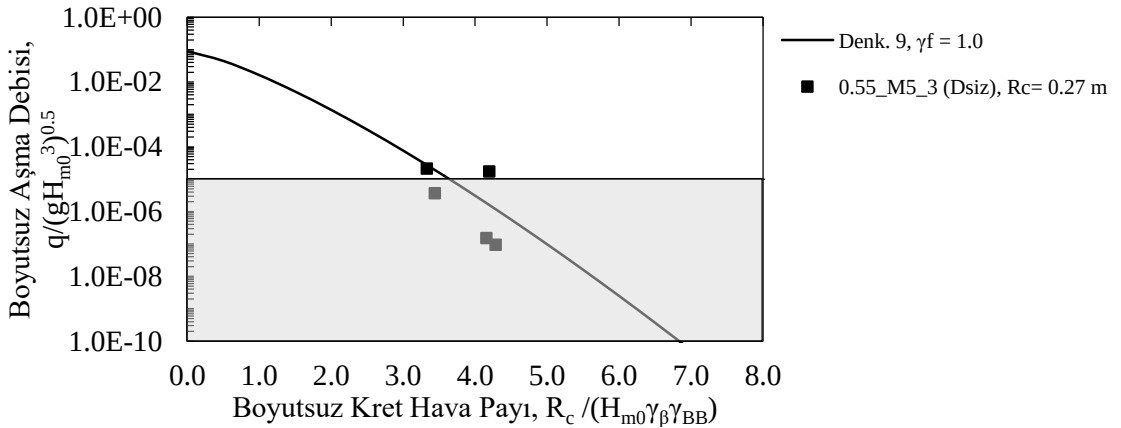
Şekil 4.35 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



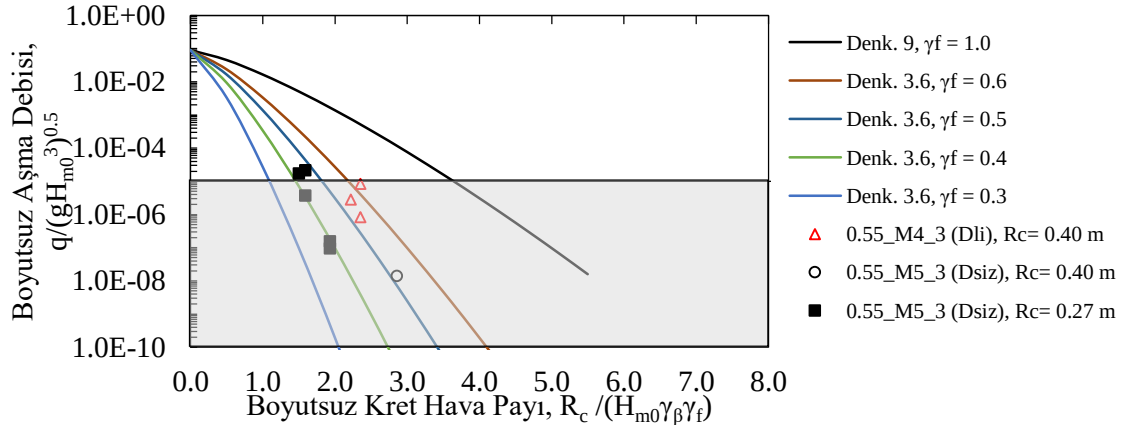
Şekil 4.36 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.27$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



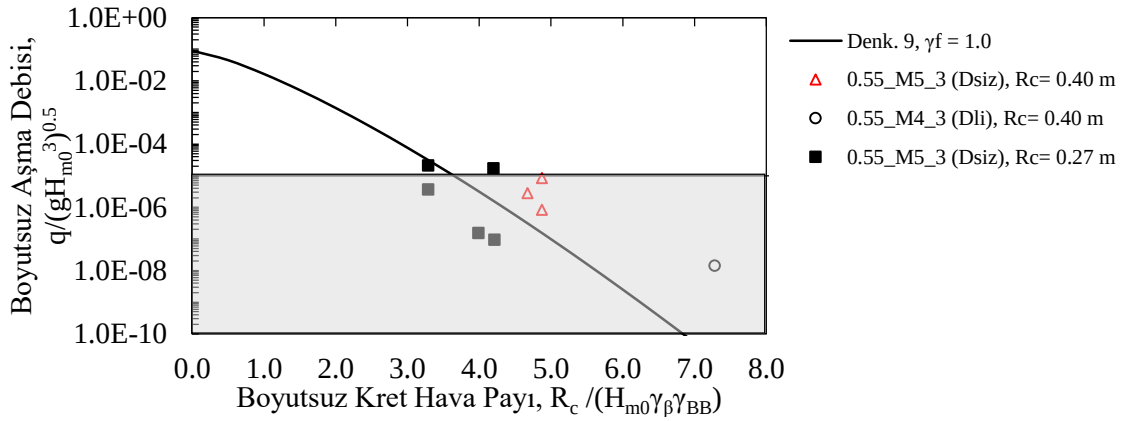
Şekil 4.37 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.27$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



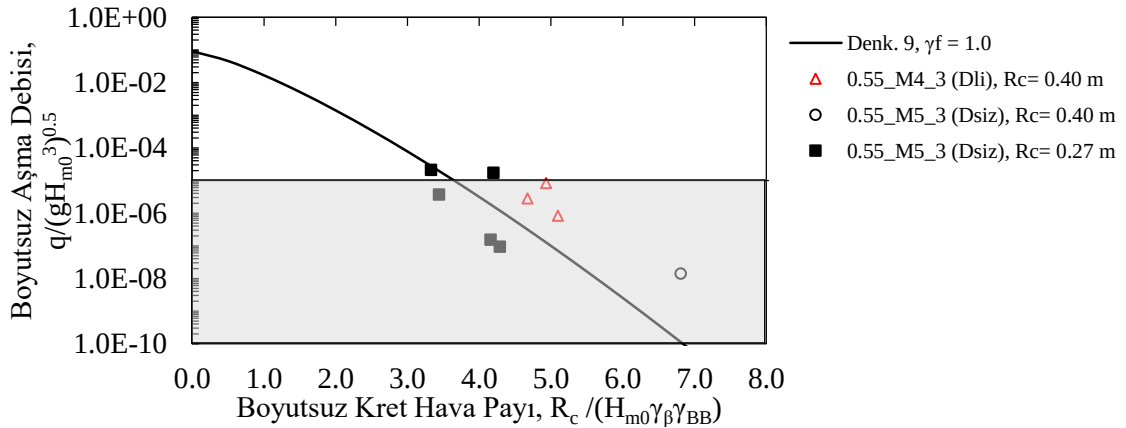
Şekil 4.38 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.27$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



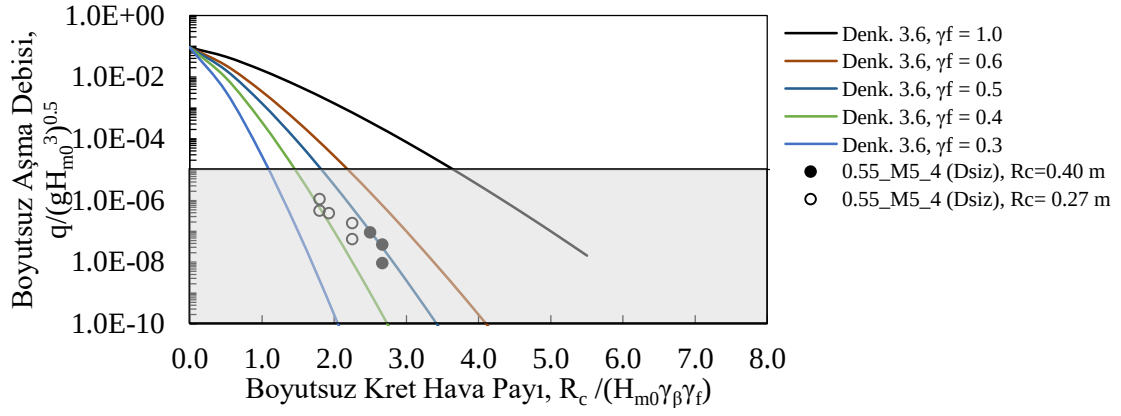
Şekil 4.39 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$)



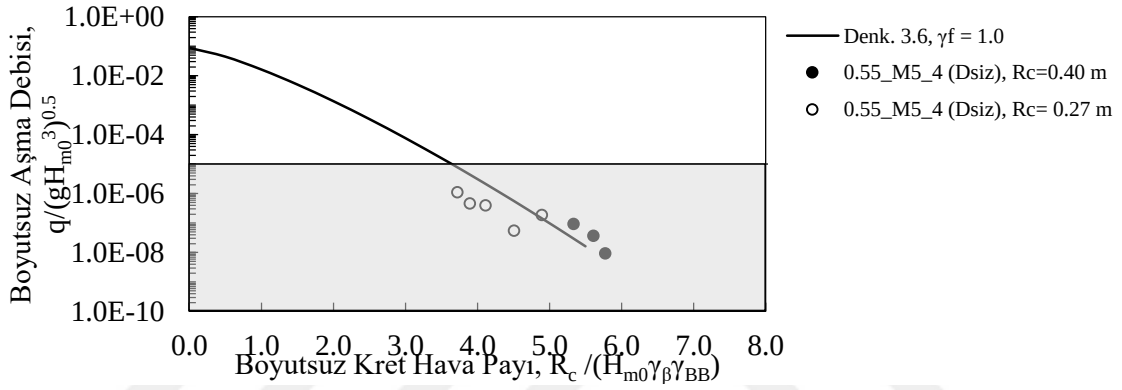
Şekil 4.40 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vDM}$)



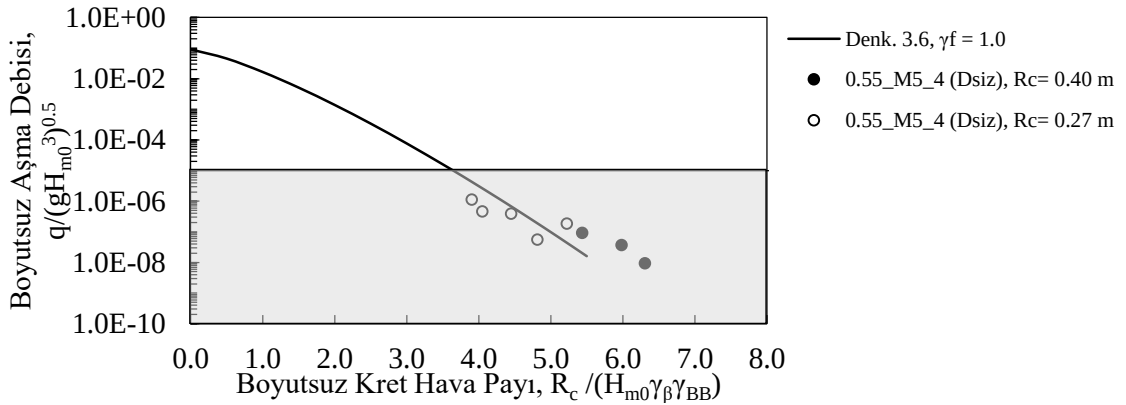
Şekil 4.41 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.42 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



Şekil 4.43 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vDM}$)



Şekil 4.44 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ ve 0.27 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)

4.2.2.3 Basamak Genişliği 5D_n

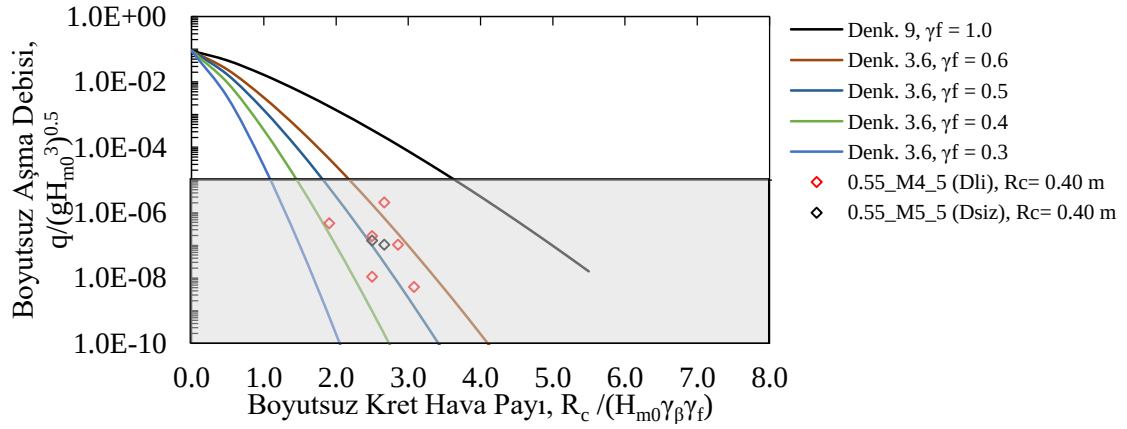
M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde 5D_n basamak genişliği (M4_5 ve M5_5) ve R_c=0.40 m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken düzenli ve düzensiz dizilim aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü $\gamma_f=0.4 - 0.6$ arasında dağılım gösterdiği şekil 4.45'te görülmektedir. Basamak genişliğinin artması ile dalga aşma miktarı da azalmaktadır. Basamak etki faktörünün dâhil edildiği grafikler şekil 4.46 ve şekil 4.47'de görülmektedir. Bu şekillerde veriler $\gamma_f=1.0$ 'e doğru yaklaşmakla birlikte büyük saçılımlar göstermektedir. Ancak veriler ölçek etkisinin hâkim olduğu bölgede yer almaktadır. Düzenli dizilim yöntemi kullanılan modelde daha fazla tırmanma meydana gelmiş olup, bunun sonucunda daha çok aşma meydana gelmiştir. Bu durum düzensiz dizilim yöntemi kullanılan modelde pürüzlülük daha belirgin olduğu için bu nedenle dalga enerjisinin daha iyi sönümlendiği, bu sayede dalga aşmasının azaldığı yorumu yapılabilir.

Kret hava payının azaltılarak 0.20 m'ye indirildiği 5D_n basamak genişliğine sahip M5 tip basamaklı dalgakıran modeline (M5_5) ait aşma verileri şekil 4.48'de görülmektedir. Herhangi bir azaltma faktörünün dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörünün $\gamma_f=0.4$ civarında dağılım gösterdiği bununla birlikte aşma miktarının arttığı şekilden görülmektedir. Bu verilere $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörlerinin dâhil edilmesi durumunda her iki grafikte de verilen de $\gamma_{BB}=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı şekil 4.49 ve şekil 4.50'den görülmektedir.

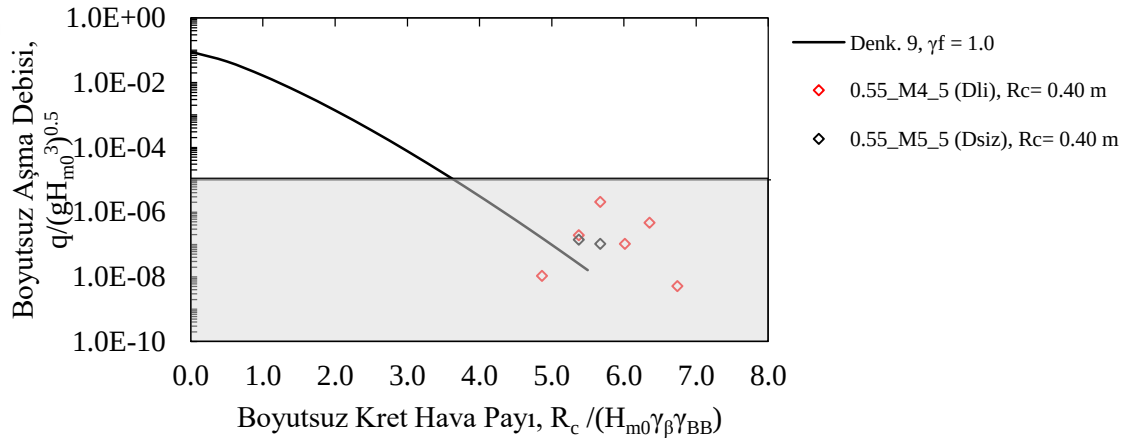
Kret hava payının daha da azaltılarak 0.10 m'ye indirildiği 5D_n basamak genişliğine sahip M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde (M5_5) herhangi bir azaltma faktörünün dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü $\gamma_f=0.3$ civarında dağılım gösterdiği bununla birlikte aşmanın artışıının gözlendiği şekil 4.51'de görülmektedir. Bu verilere $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörlerinin dâhil edilmesi ile elde edilen grafikler sırasıyla şekil 4.52 ve şekil 4.53'te görülmektedir. Veriler $\gamma_f=1.0$ eğrisine doğru yaklaşmakla birlikte saçılımların büyük olduğu söylenbilir.

M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde $5D_n$ basamak genişliğine (M4_5 ve M5_5) sahip modellerin $R_c=0.40$ m, 0.20 m ve 0.10 m olarak farklı kret hava payları değerleri için dalga aşma debileri hep birlikte Şekil 4.54'te görülmektedir. Şekilden görüldüğü gibi kret hava payları küçülmekte ve aşma debileri artış göstermektedir. Kret hava payı azaldıkça daha küçük sürtünme azaltma faktörüne doğru kaymaktadır. $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörlerinin dikkate alındığı şekiller sırasıyla Şekil 4.55 ve Şekil 4.56'da verilmektedir. Verilerin $\gamma_f=1.0$ etrafındaki saçılımlarının büyük olduğu görülmektedir. Özellikle kret hava payının $R_c=0.10$ m olduğu düşük kretli yapıda saçılımların belirgin bir şekilde büyük olduğu şekillerden görülmektedir

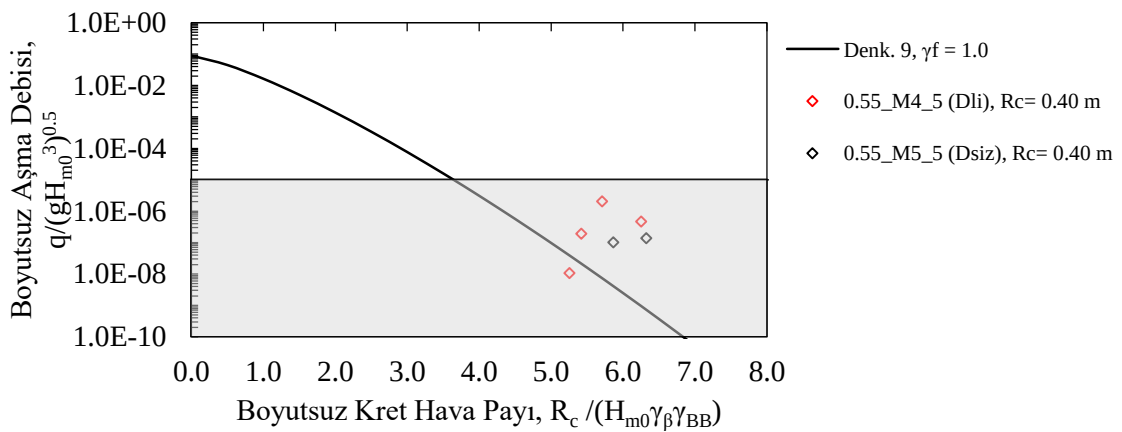




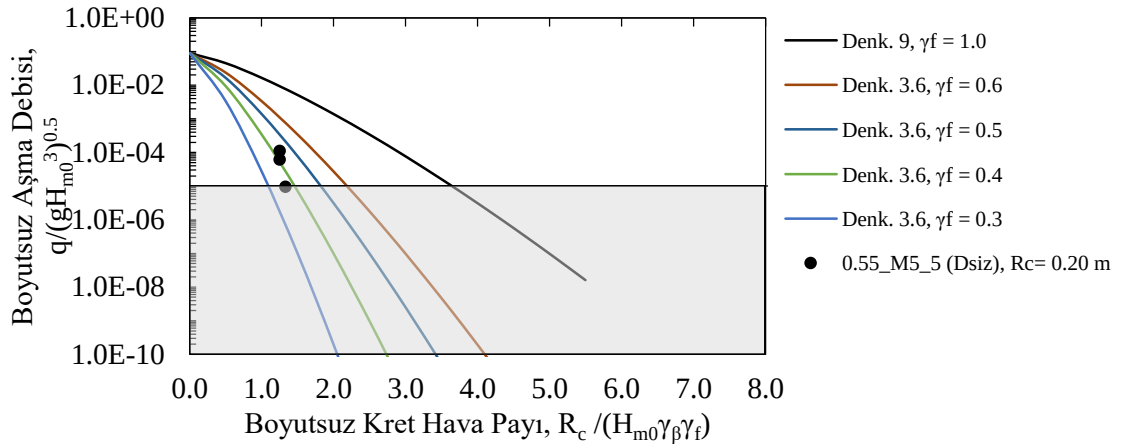
Şekil 4.45 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



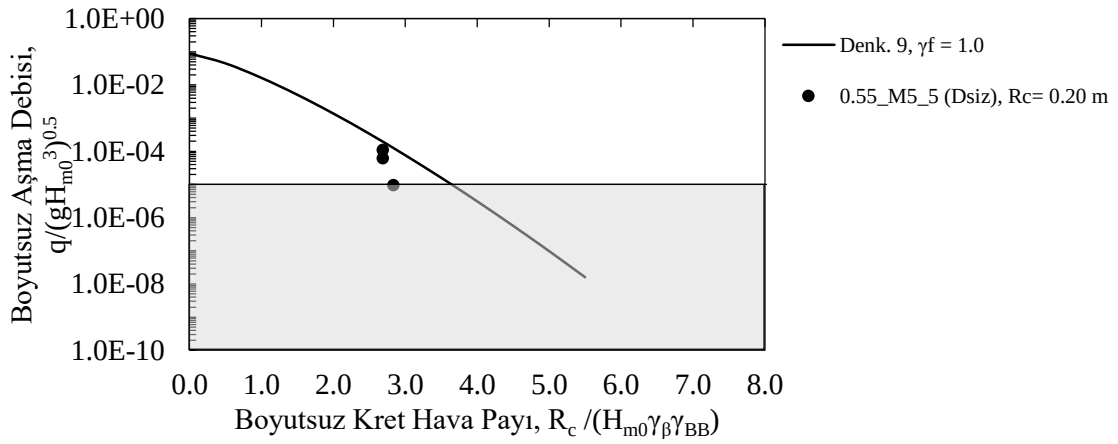
Şekil 4.46 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



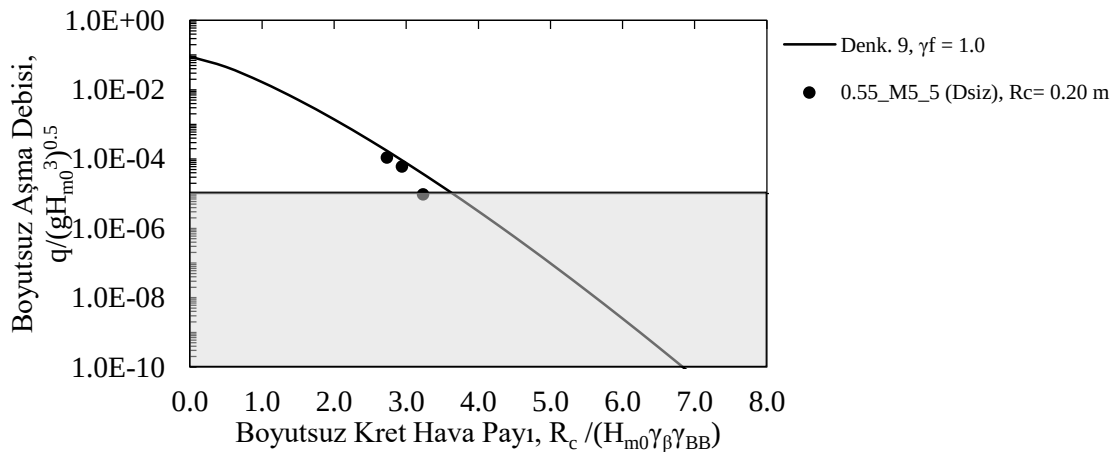
Şekil 4.47 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



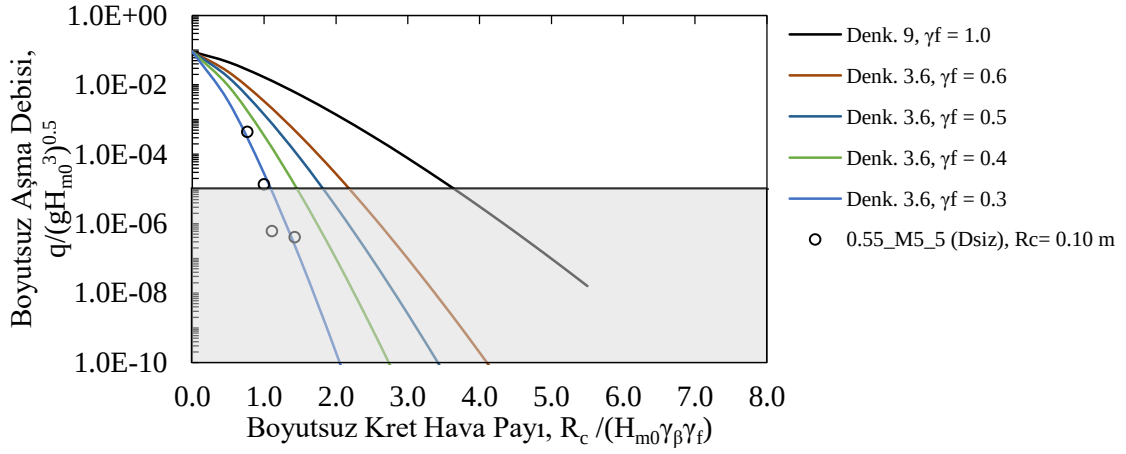
Şekil 4.48 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



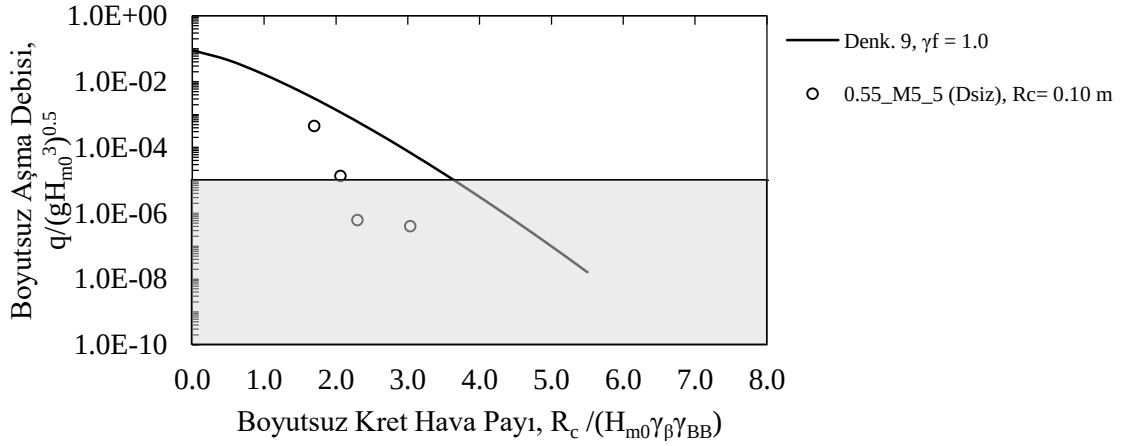
Şekil 4.49 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



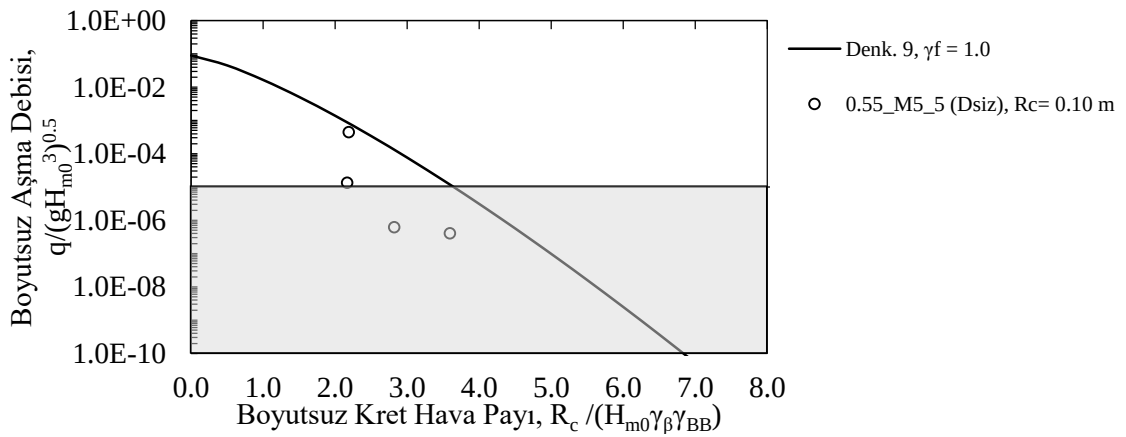
Şekil 4.50 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



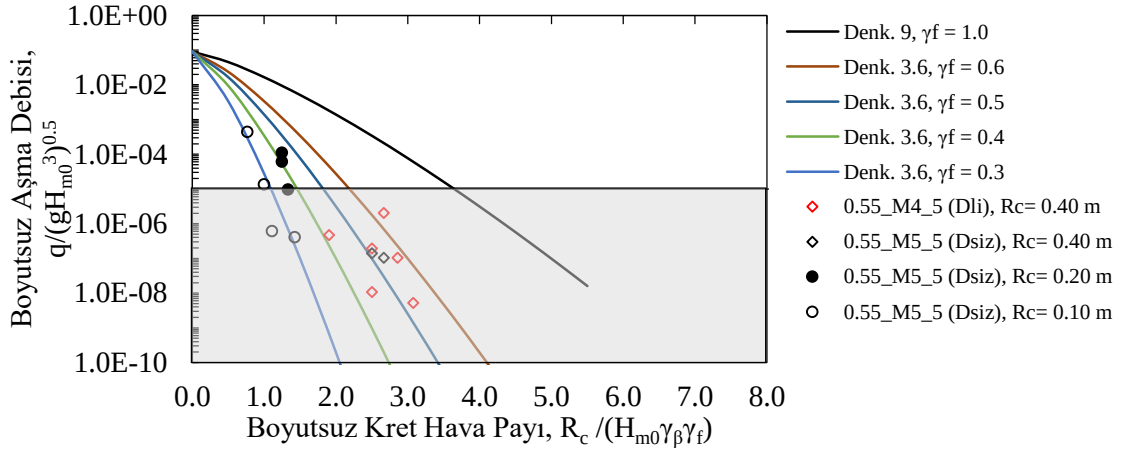
Şekil 4.51 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



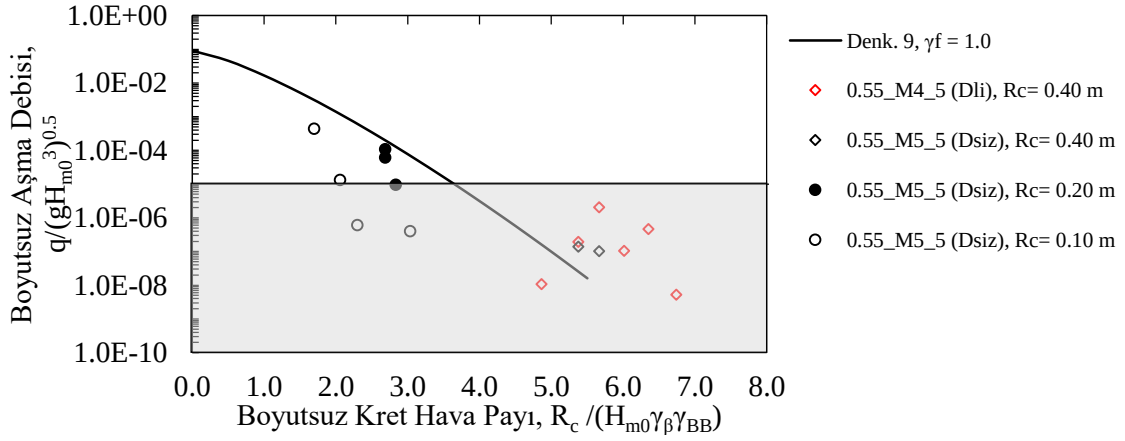
Şekil 4.52 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



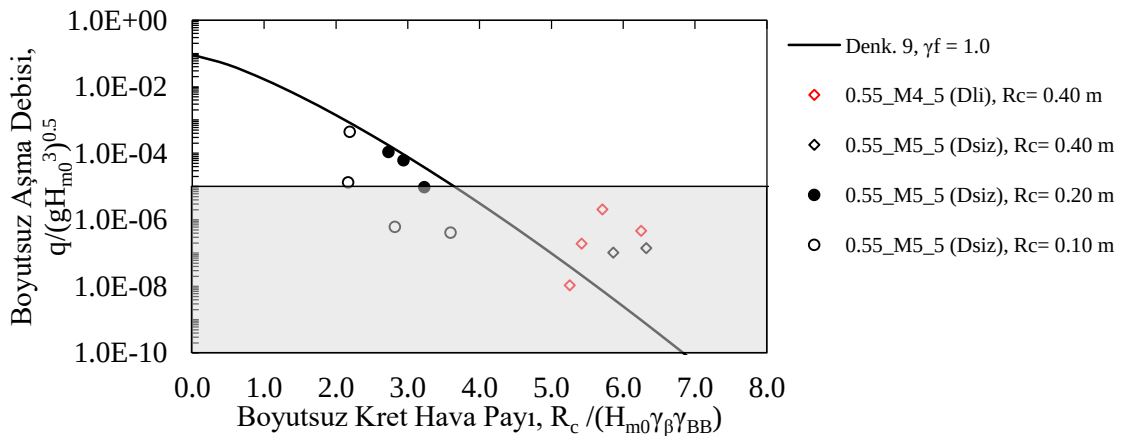
Şekil 4.53 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.54 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.40, 0.20$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



Şekil 4.55 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.40, 0.20$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vdM}$)



Şekil 4.56 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.40, 0.20$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)

4.2.3 Basamak Su Seviyesinin Altında, BSA (Su Derinliği 0.65 m) ($d_b/d > 0$)

0.65 m su seviyesinde çalışılan dalgakıran modellerinin tamamı batık basamaklı dalgakıran şartını oluşturmaktadır. Bu şarttaki dalgakıran modelinde $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ olmak üzere üç farklı basamak genişliği yaratılmıştır. Dalgakıranda küp beton elemanların alt şev ve basamakta düzenli (M4) ve düzensiz (M5) yerleştirme tipleri için alternatif modeller geliştirilmiştir.

$3D_n$ basamak genişliği için düzenli ve düzensiz dizilim olan modellerde (M4_3 ve M5_3) 0.30 ve 0.17 m kret hava payı; düzensiz dizilim (M5_3) için 0.17 m kret hava payında; $4D_n$ basamak genişliğinde düzensiz dizilim (M5_4) için 0.30 ve 0.17 m kret hava payı; $5D_n$ basamak genişliğinde (M5_5) düzenli ve düzensiz yerleşimde 0.30 m kret hava payı ve düzensiz yerleşimde ise (M5_5) 0.10 m kret hava payı oluşturulan model deneyleri gerçekleştirilmiştir. Tüm bu modeller Şekil 3.15 ve Şekil 3.16'da ayrı ayrı gösterilmektedir.

4.2.3.1 Basamak Genişliği $3D_n$

Şekil 4.57'de $3D_n$ basamak genişliğine ve 0.30 m kret hava payına sahip düzenli dizilim dalgakıran modelinde (M4_3) herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken boyutsuz aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü 0.5–0.6 arasında, düzensiz dizilim (M5_3) boyutsuz aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü 0.5 civarında dağıldığı gözlenmektedir. Düzensiz dizilim yöntemi kullanılan modelden elde edilen aşma değerlerinin tamamı, düzenli dizilim yöntemi kullanılan modelden elde edilen aşma değerlerinin ise bazıları 10^{-5} boyutsuz aşma debisi sınır değerinin altında kalmıştır. Bu modellerde aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında yer aldığı ayrıca, düzenli dizilime sahip model daha stabil olduğu ve dalgalar daha fazla tırmadığı için düzensiz dizilim modeline göre daha büyük aşma değerleri elde edildiği Şekil 4.58 ve Şekil 4.59'da görülmektedir.

Kret hava payının azaltılarak 0.17 m'ye düşürüldüğü düzensiz yerleşim M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde $3D_n$ basamak genişliği (M5_3) için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda sürtünme azaltma faktörü 0.4–0.5

arasında dağılım gösterdiği Şekil 4.60'ta izlenmektedir. Bu aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı yani teorik ifadelerle uygunluk gösterdiği Şekil 4.61 ve Şekil 4.62'de görülmektedir.

0.65 m su derinliği, $3D_n$ basamak genişliği ve 0.30 ve 0.17 m kret hava payında yapılan tüm deneyler önce herhangi bir azaltma faktörü dikkate alınmaksızın daha sonra $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri ile birlikte değerlendirilmesi sırasıyla Şekil 4.63, Şekil 4.64 ve Şekil 4.65'te verilmektedir. Basamak azaltma faktörlerinin tüm verilere dâhil edilmesi durumunda aşma verilerinin $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında olduğu görülmektedir.

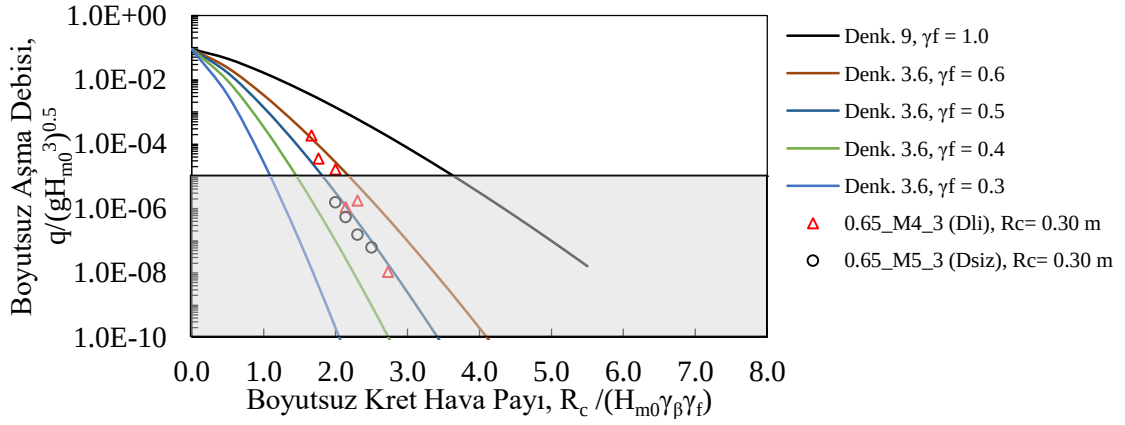
4.2.3.2 Basamak Genişliği $4D_n$

Basamağın su seviyesinin altında olduğu 0.65 m su seviyesinde, düzensiz dizilim yöntemi kullanılan $4D_n$ basamak genişliğine sahip (M5_4) ve 0.30 m kret hava payı olan modelden elde edilen aşma değerlerinin tamamı 10^{-5} boyutsuz aşma debisi sınır değerinin altında kalmıştır. Bu nedenle kret hava payı 0.17 m'ye düşürülerek deneyler tekrar edilmiştir. Her iki kret hava payında da M5 tipi basamaklı dalgakıran modelinde boyutsuz aşma verileri sürtünme azaltma faktörü 0.3–0.5 arasında dağılım gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.66). M5 basamaklı dalgakıran modelinde $4D_n$ basamak genişliği (M5_4) ve 0.30 m ve 0.17 m kret hava payına sahip modellerde boyutsuz aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil edildiğinde model deneyi verilerinin $\gamma_f=1.0$ eğrisine yaklaştığı Şekil 4.67 ve Şekil 4.68'de görülmektedir. Ancak Şekil 4.68'de saçılımlar daha fazladır.

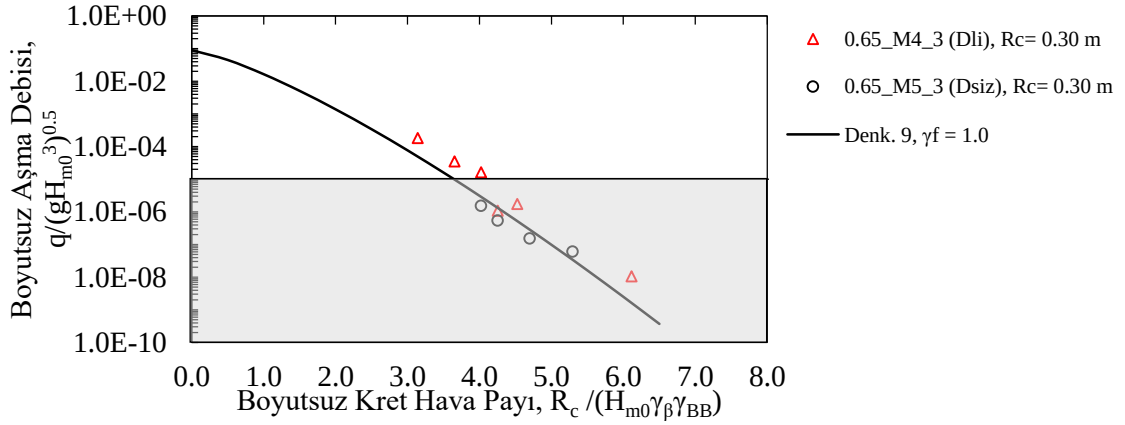
4.2.3.3 Basamak Genişliği 5D_n

M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde 5D_n basamak genişliği (M4_5 ve M5_5) ve 0.30 m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB}=1.0$ iken hem düzenli dizilim hem de düzensiz dizilim aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü 0.4 – 0.5 arasında dağılım gösterdiği Şekil 4.69’da görülmektedir. $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı sırasıyla Şekil 4.70 ve Şekil 4.71’de görülmektedir.

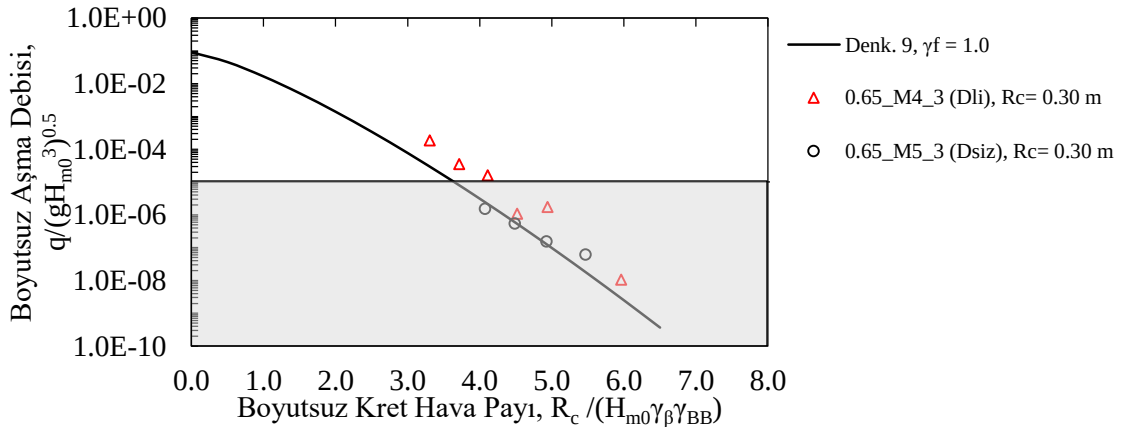
M4 ve M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde 5D_n basamak genişliği (M4_5 ve M5_5) ve 0.30 m kret hava payı ile M5 basamaklı dalgakıran modelinde 5D_n basamak genişliği (M5_5) ve 0.10 m kret hava payı için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği boyutsuz aşma debileri Şekil 4.72’de görülmektedir. Boyutsuz aşma verilerinin sürtünme azaltma faktörü 0.3–0.4 arasında dağılım gösterdiği bununla birlikte aşma miktarlarının arttığı görülmektedir. Bu verilere $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f=1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı sırasıyla Şekil 4.73 ve Şekil 4.74’te görülmektedir.



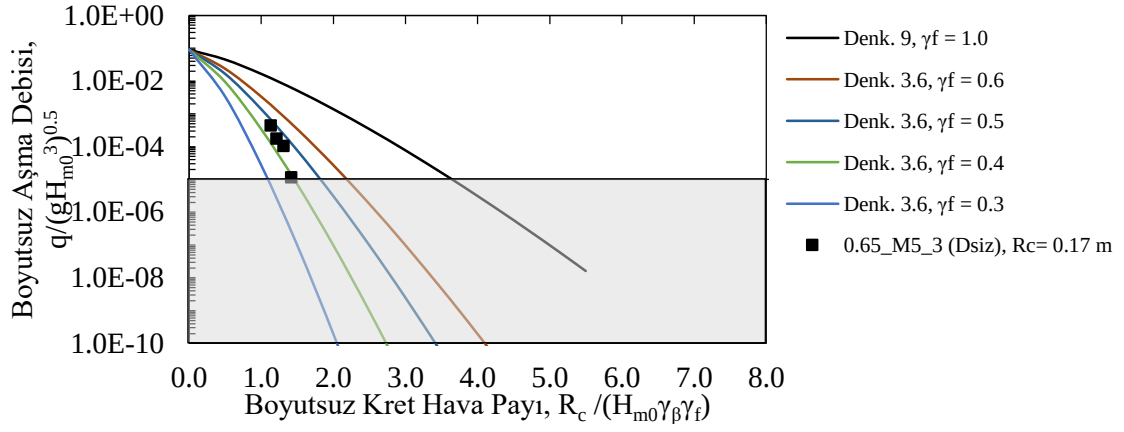
Şekil 4.57 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



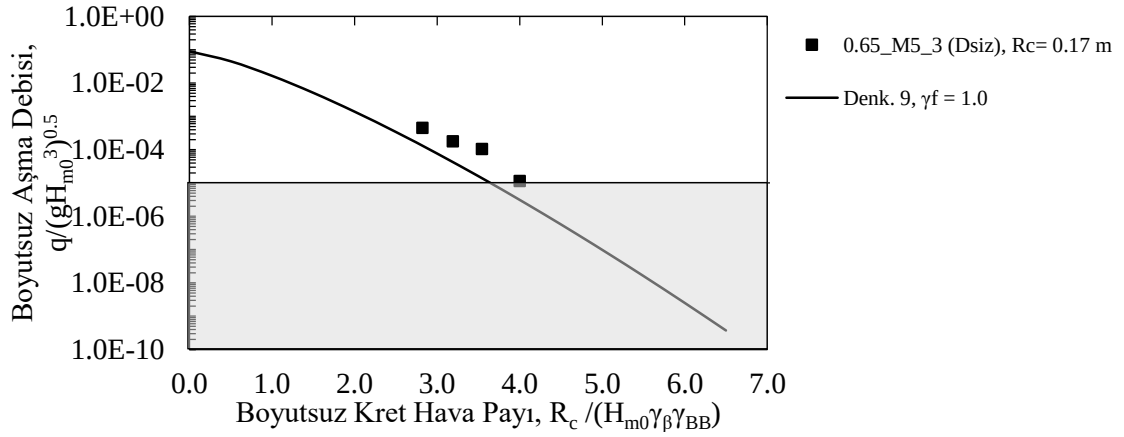
Şekil 4.58 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



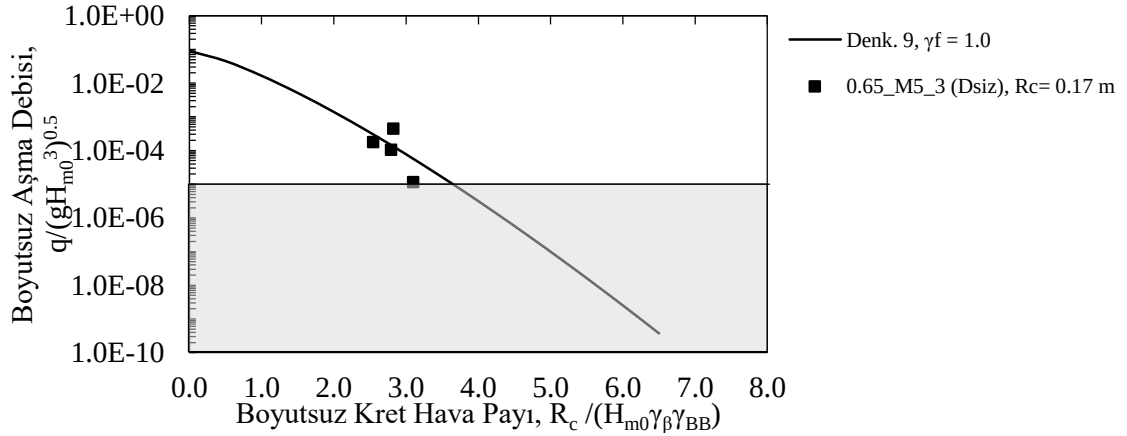
Şekil 4.59 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



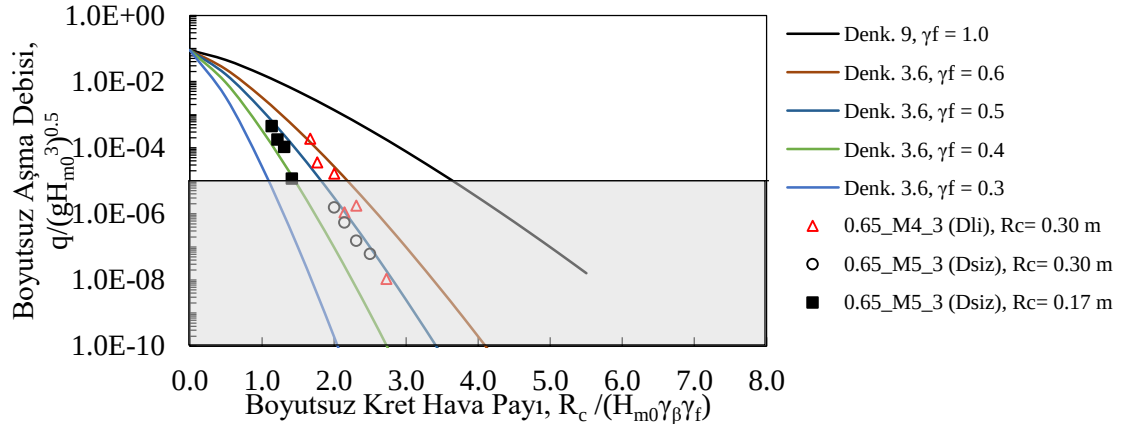
Şekil 4.60 M5 basamaklı dalgakıran modelinde $R_c=0.17$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürünme faktörleri



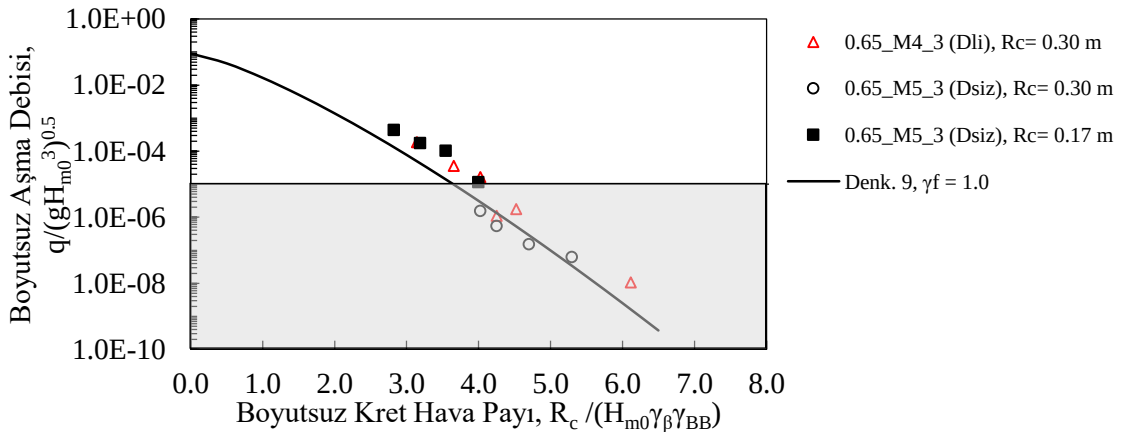
Şekil 4.61 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.17$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



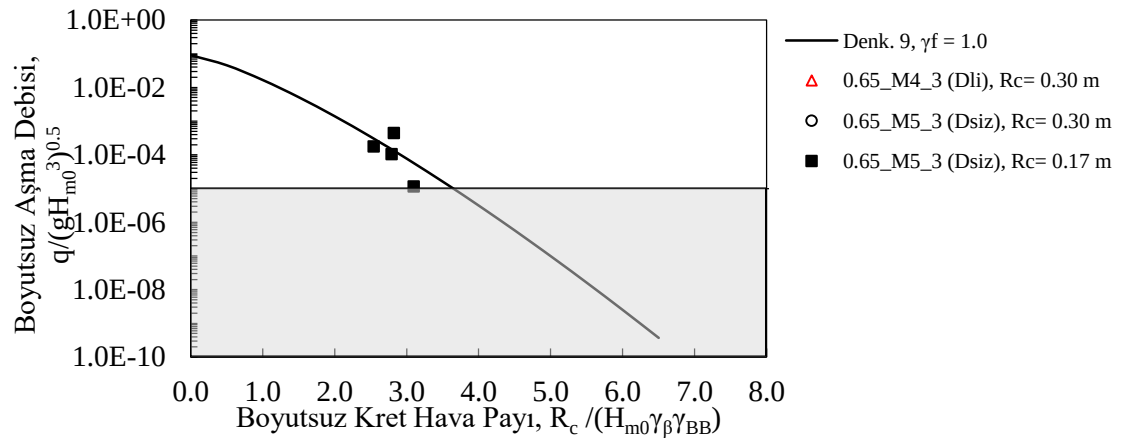
Şekil 4.62 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.17$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



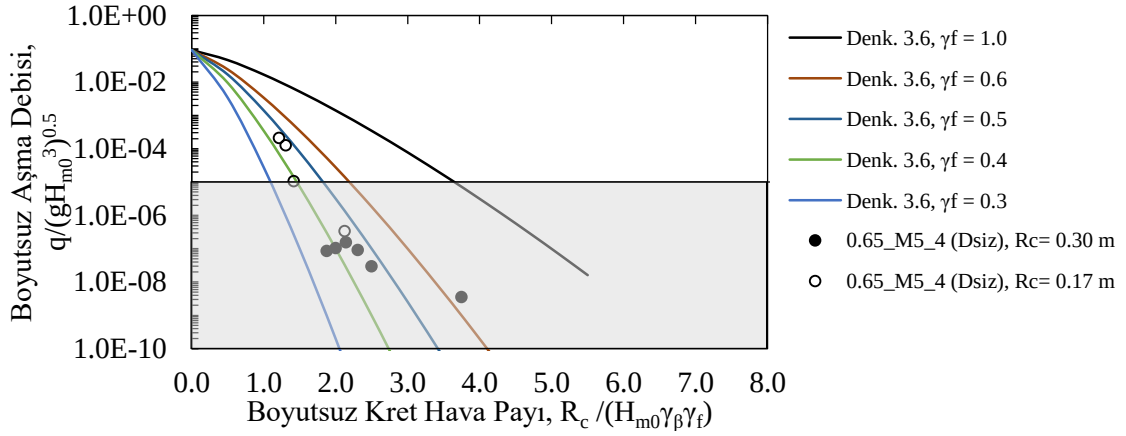
Şekil 4.63 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



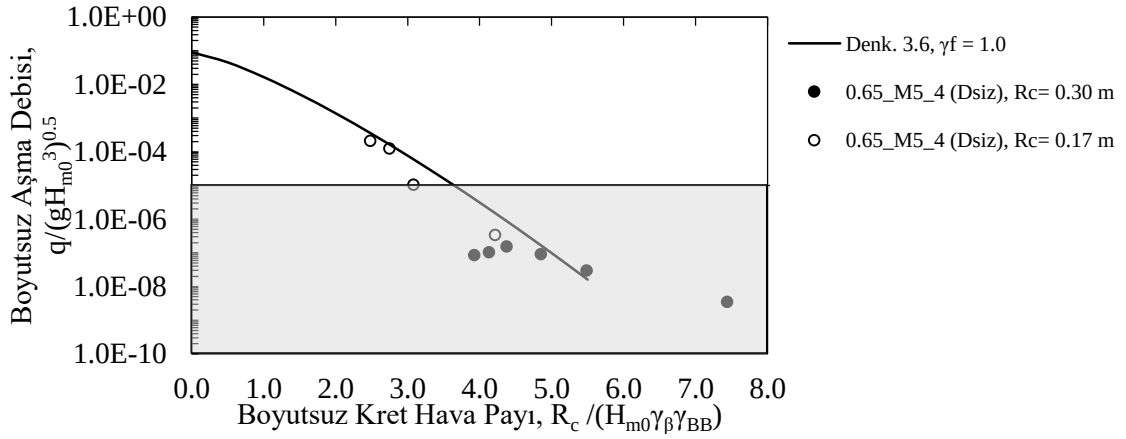
Şekil 4.64 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VDM}$)



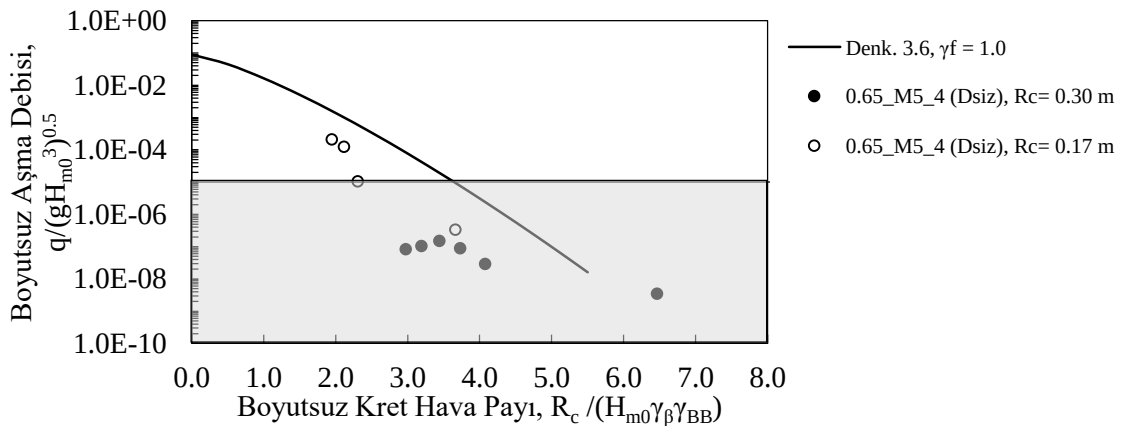
Şekil 4.65 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



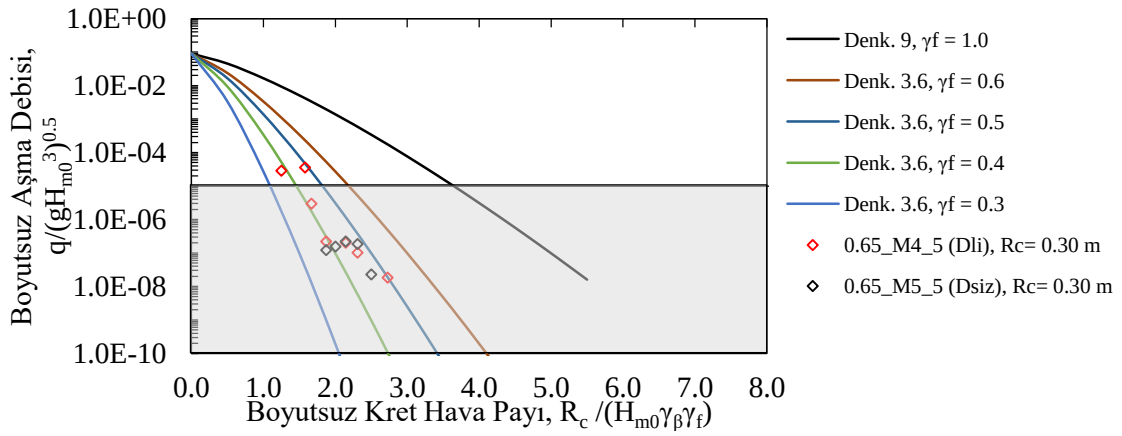
Şekil 4.66 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$)



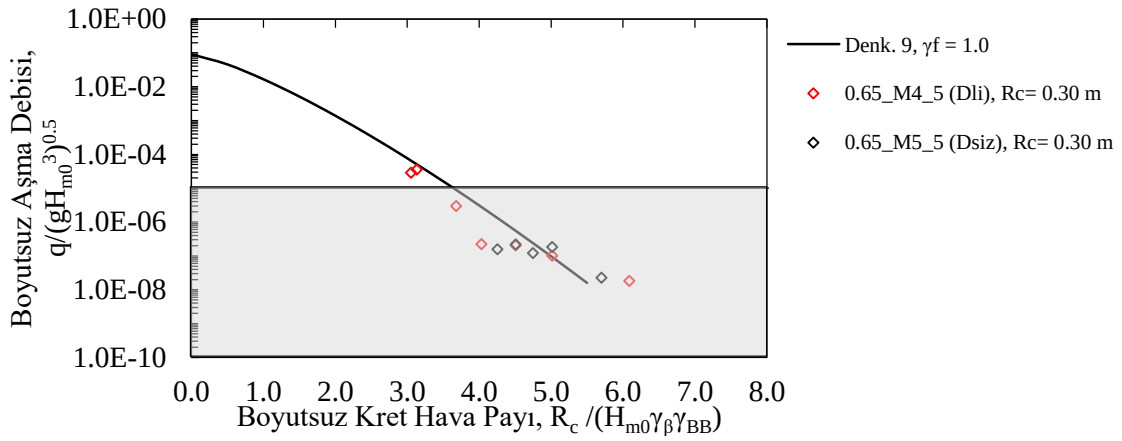
Şekil 4.67 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vdM}$)



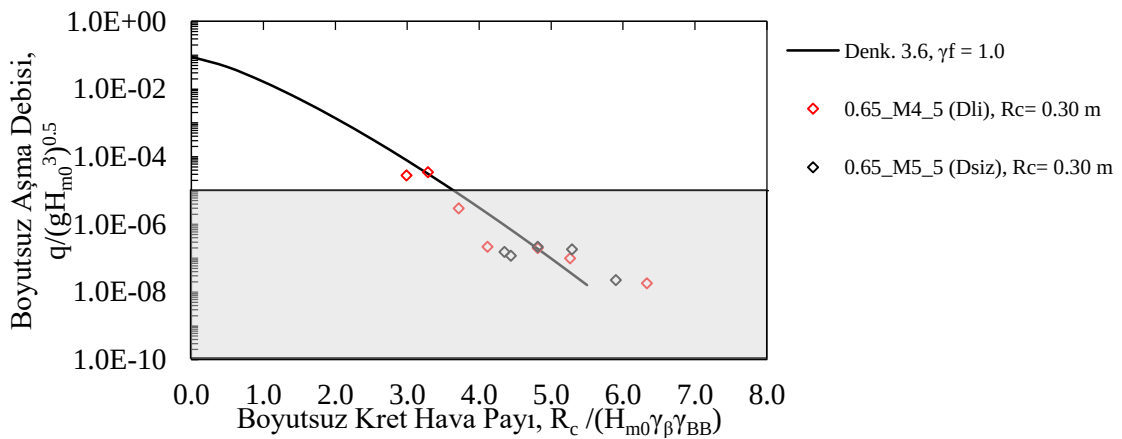
Şekil 4.68 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ ve 0.17 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



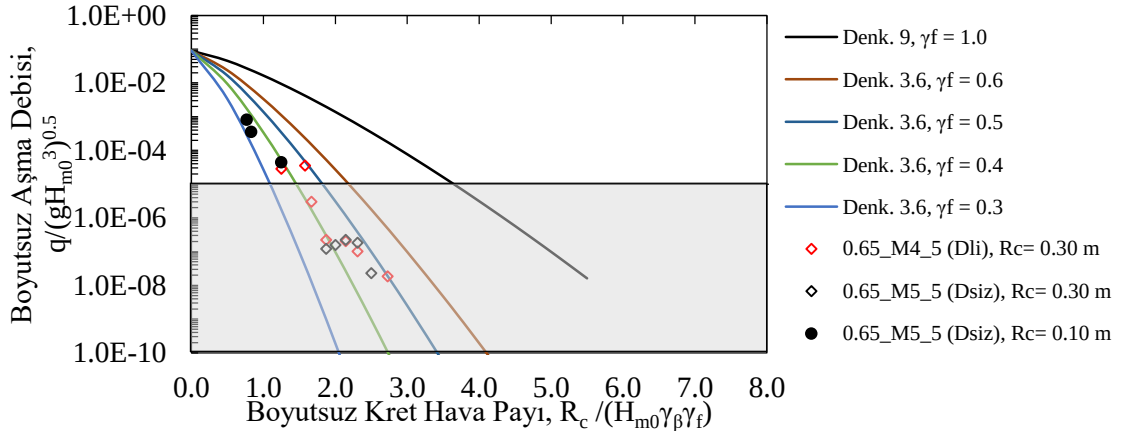
Şekil 4.69 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



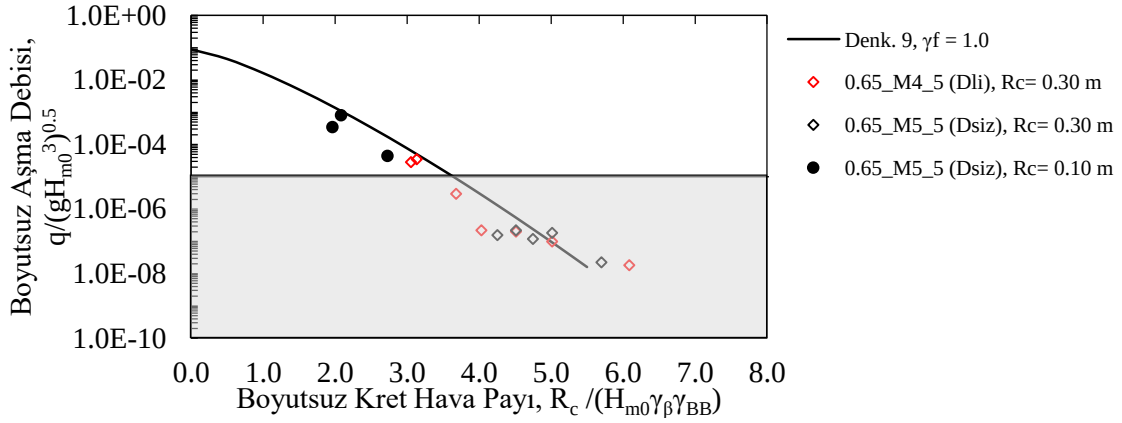
Şekil 4.70 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, vDM}$)



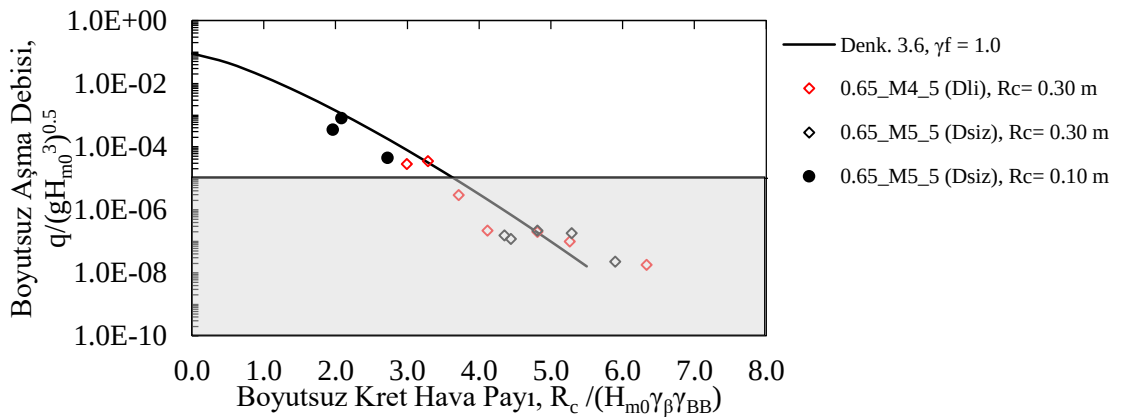
Şekil 4.71 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.72 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c = 0.30$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB} = 1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



Şekil 4.73 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c = 0.30$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, vDM}$)



Şekil 4.74 M4 ve M5 basamaklı dalgakıran modellerinde $R_c = 0.30$ ve 0.10 m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, EO}$)

4.2.4 Aynı Kret Hava Payı için Basamak Konumunun Etkisinin Araştırılması

Çalışmanın bu aşamasında aynı kret hava payına ve aynı basamak genişliğine sahip ancak basamağın sakin su seviyesine göre konumunun değişmesinin aşma üzerine etkisinin araştırılması için aşağıdaki değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

- Kret hava payı $R_c = 0.30$ m, basamak genişliği $5D_n$

Düzensiz yerleşim M5 tipi basamaklı dalgakıran modellerinde $5D_n$ basamak genişliği (M5_5) ve basamağın su seviyesi üzerinde olduğu 0.45 m su derinliği ve basamağın su seviyesinin altında olduğu 0.65 m su derinliği için her iki modelde de kret hava payının 0.30 m olduğu şartlarda herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB} = 1.0$ iken aşma verilerinin dağılımı Şekil 4.75'te görülmektedir. Bu aşma verileri çoğunlukla $\gamma_f = 0.3 - 0.5$ arasında dağılım göstermektedir. Aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin, her iki ifade için de $\gamma_f = 1.0$ eğrisi etrafında dağıldığı izlenmektedir (Şekil 4.76, Şekil 4.77). Ancak şekillerden her iki şartta da aşmaların çok az olduğu ve verilerin ölçek etkisinin söz konusu olduğu bölgede yer aldığı görülmektedir. Bu nedenle aynı kret hava payı ($R_c = 0.30$ m) için su seviyesinin basamağa göre konumunun etkisi bu şartlarda elde edilememiştir.

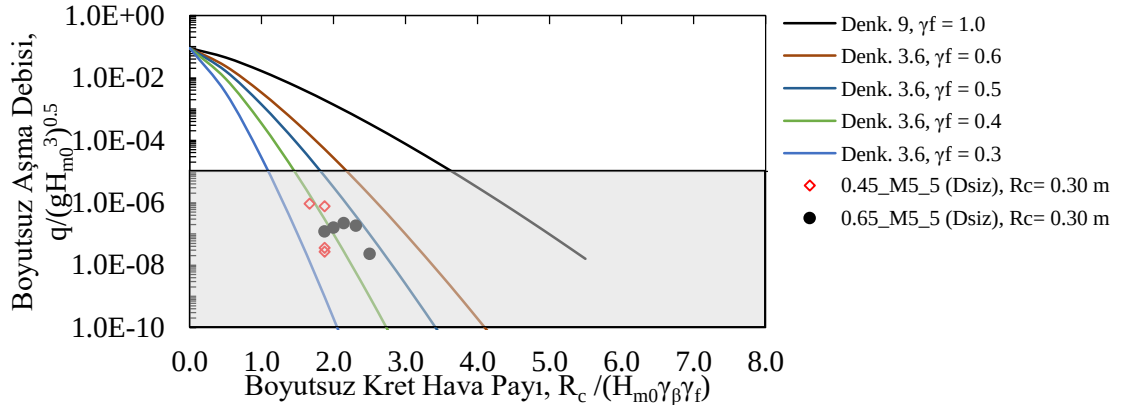
- Kret hava payı $R_c = 0.20$ m, basamak genişliği $5D_n$

Kret hava payının 0.20 m ve $5D_n$ basamak genişliğe sahip düzenli yerleşim M4 tipi ve düzensiz yerleşim M5 tipi tüm basamaklı dalgakıran modellerinde (M4_5 ve M5_5) basamağın su seviyesi üzerinde olduğu 0.45 m su derinliği ve basamağın su seviyesi ile aynı konumda olduğu 0.55 m su derinliği için her model için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB} = 1.0$ iken aşma verilerinin dağılımı Şekil 4.78'de görülmektedir. Aşma verileri çoğunlukla $\gamma_f = 0.3-0.4$ arasında dağılım göstermektedir. Bu aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil edildiğinde verilerin $\gamma_f = 1.0$ eğrisine yaklaştığı izlenmektedir (Şekil 4.79, Şekil 4.80). Ancak ölçek etkisinin görülmeye başlandığı 10^{-5} boyutsuz aşma debilerinden küçük verilerin daha dağınık olduğu görülmektedir. Kret hava payının $R_c = 0.20$ m olduğu, basamak genişliğinin $5D_n$

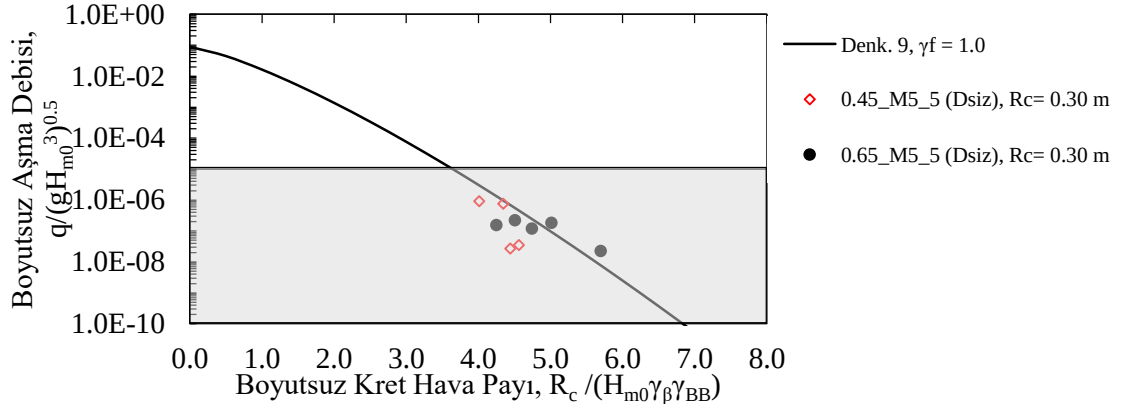
olduğu tüm modellerde 0.45 m su derinliğinin aşmaya karşı performansının daha iyi olduğu görülmektedir.

- Kret hava payı $R_c = 0.10$ m, basamak genişliği $5D_n$

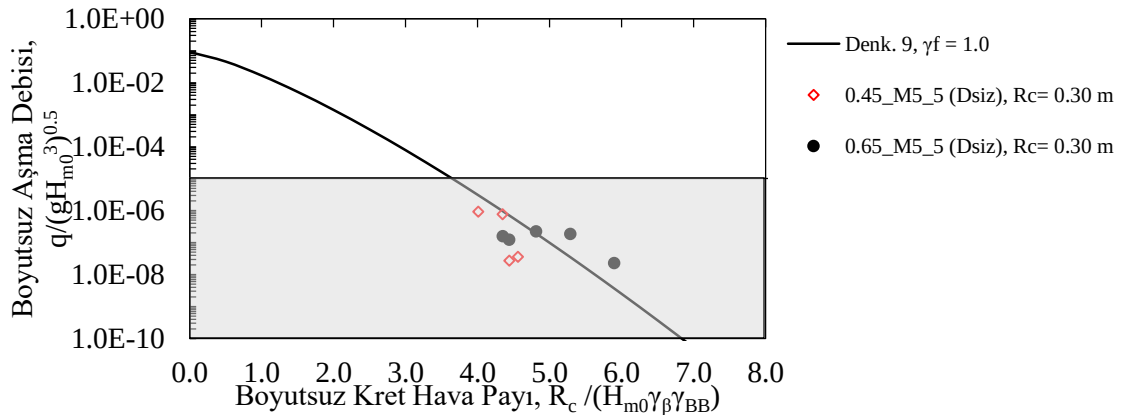
Kret hava payının 0.10 m ve $5D_n$ basamak genişliğe sahip düzenli yerleşim M4 tipi ve düzensiz yerleşim M5 tipi tüm basamaklı dalgakıran modellerinde (M4_5 ve M5_5) basamağın su seviyesinde olduğu 0.55 m su derinliği ve basamağın su seviyesinin üzerinde olduğu 0.65 m su derinliğindeki her model için herhangi bir azaltma faktörü dâhil edilmediği durumda, yani $\gamma_{BB} = 1.0$ iken aşma verilerinin dağılımı Şekil 4.81’de görülmektedir. Aşma verileri çoğunlukla $\gamma_f = 0.3-0.4$ arasında dağılım göstermektedir. 0.55 m su derinliği için düzensiz yerleşim (M5) verilerinin çoğunlukla $\gamma_f = 0.3$ üzerinde, 0.65 m su derinliği için düzensiz yerleşim (M5) verilerinin ise $\gamma_f = 0.4$ üzerinde dağılım gösterdiği görülmektedir. Bu aşma verilerine $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ azaltma faktörleri dâhil edildiğinde biraz saçılım görülse de verilerin $\gamma_f = 1.0$ eğrisine yaklaştığı izlenmektedir (Şekil 4.82, Şekil 4.83). Kret hava payının $R_c = 0.10$ m olduğu, basamak genişliğinin $5D_n$ olduğu tüm modellerde aynı aşma debisi 0.55 m su derinliğinin aşma üzerindeki performansının daha iyi olduğu görülmektedir.



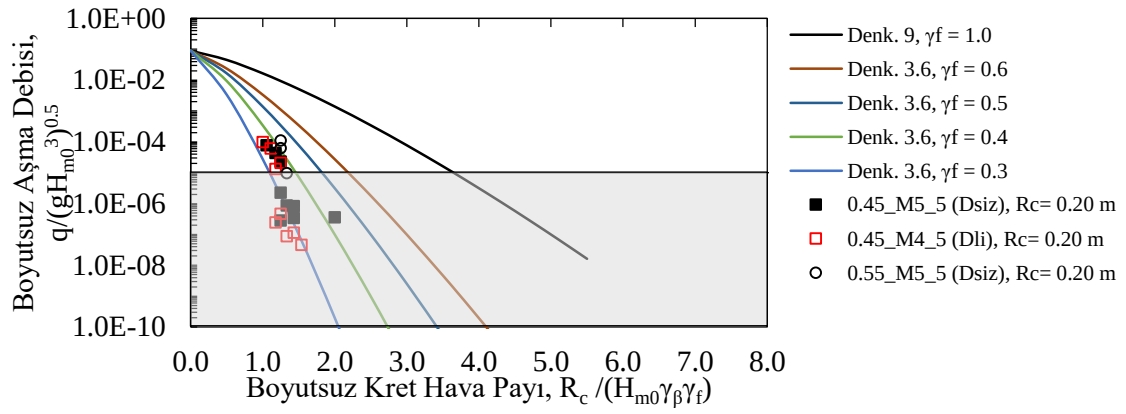
Şekil 4.75 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB} = 1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



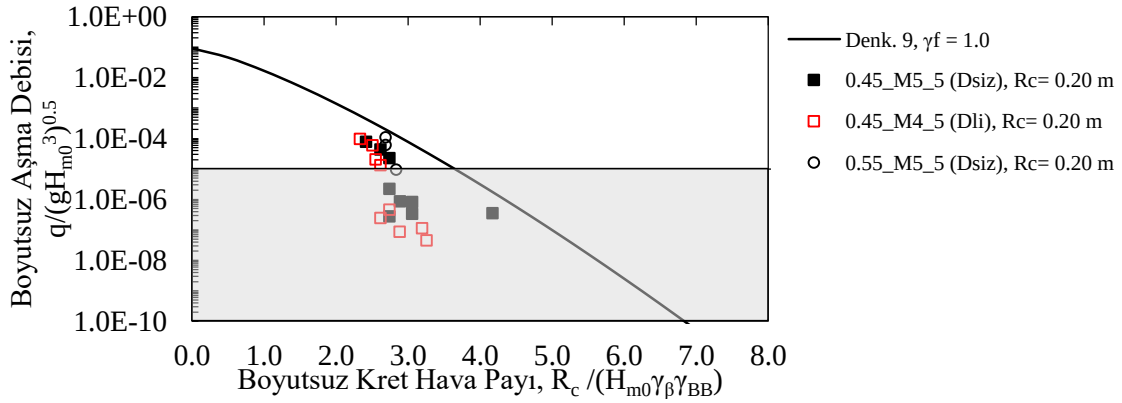
Şekil 4.76 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, vDM}$)



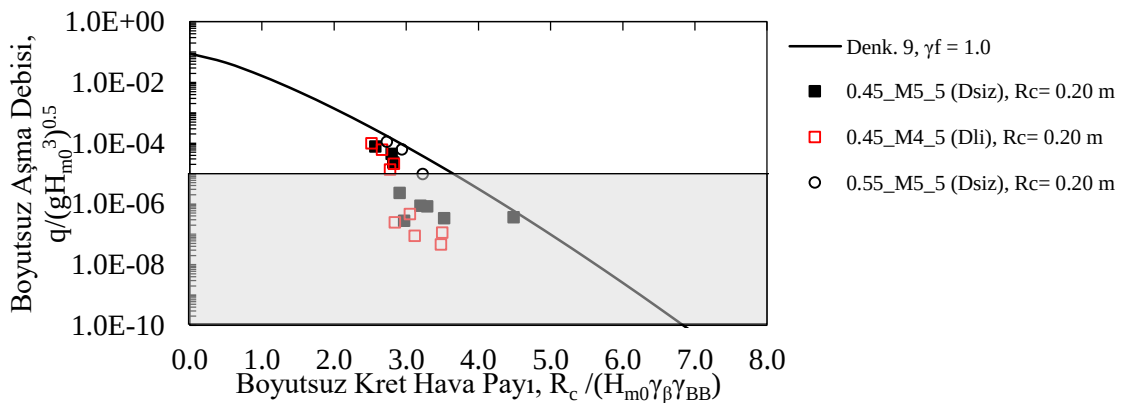
Şekil 4.77 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.30$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB, EO}$)



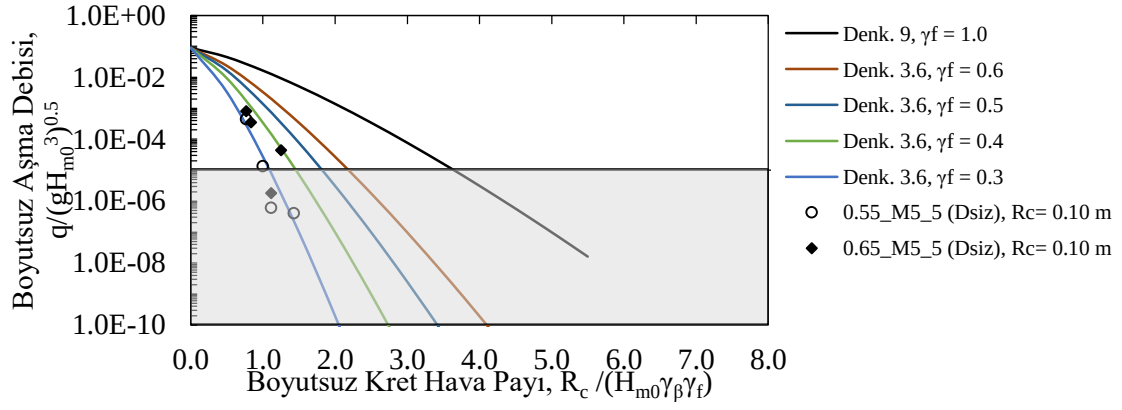
Şekil 4.78 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.55 m olduğu durumlarda $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



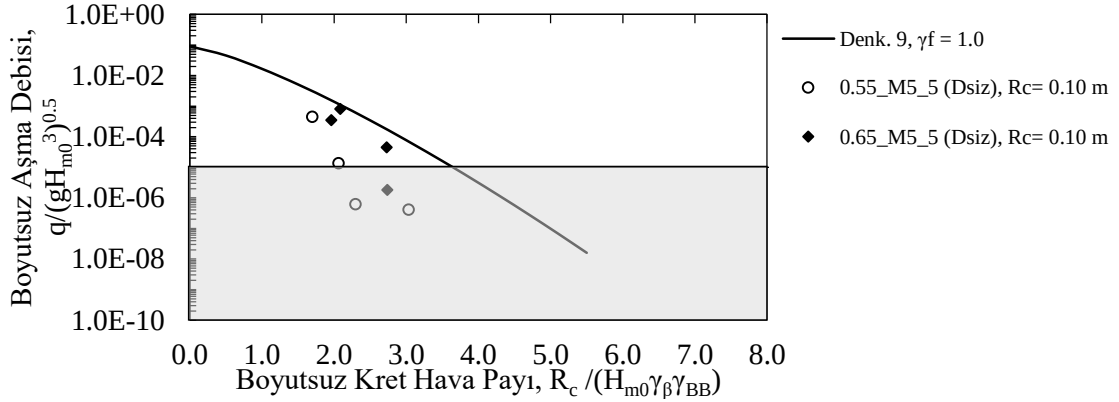
Şekil 4.79 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.55 m olduğu durumlarda $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,vdM}$)



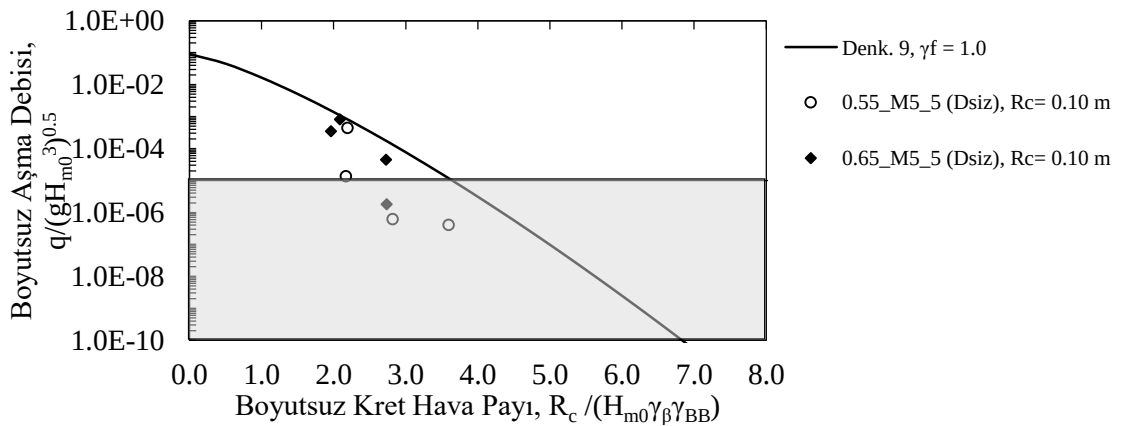
Şekil 4.80 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.45 ve 0.55 m olduğu durumlarda $R_c=0.20$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.81 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.55 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



Şekil 4.82 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.55 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,VdM}$)



Şekil 4.83 M5 basamaklı dalgakıran modellerinde su seviyelerinin 0.55 ve 0.65 m olduğu durumlarda $R_c=0.10$ m kret hava payı için boyutsuz aşma debisi değişimi ($\gamma_{BB,EO}$)

4.2.5 Aynı Kret Hava Payı ve Aynı Su Derinliği için Farklı

Basamak Genişliğinin Etkisi

Çalışmanın bu aşamasında aynı kret hava payında ve aynı su derinliğinde basamak genişliğinin aşma üzerine etkisinin araştırılması için aşağıdaki değerlendirmeler gerçekleştirilmiştir.

- **Basamak Su Seviyesinin Üstünde, BSÜ (Su Derinliği 0.45 m) ($-d_b/d < 0$)**

0.45 m su derinliğinde ve 0.50 m kret hava payında $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişlikleri için boyutsuz aşma debisinin boyutsuz kret hava payı ile değişimi Şekil 4.84, Şekil 4.85 ve Şekil 4.86'da görülmektedir. Bu şartlarda ölçülen aşmalar sadece sıçramalar şeklinde meydana gelmiştir. Bu nedenle verilerin sağlıklı yorumlanması pek mümkün değildir.

- **Basamak Su Seviyesinde, BSS (Su Derinliği 0.55 m) ($d_b/d = 0$)**

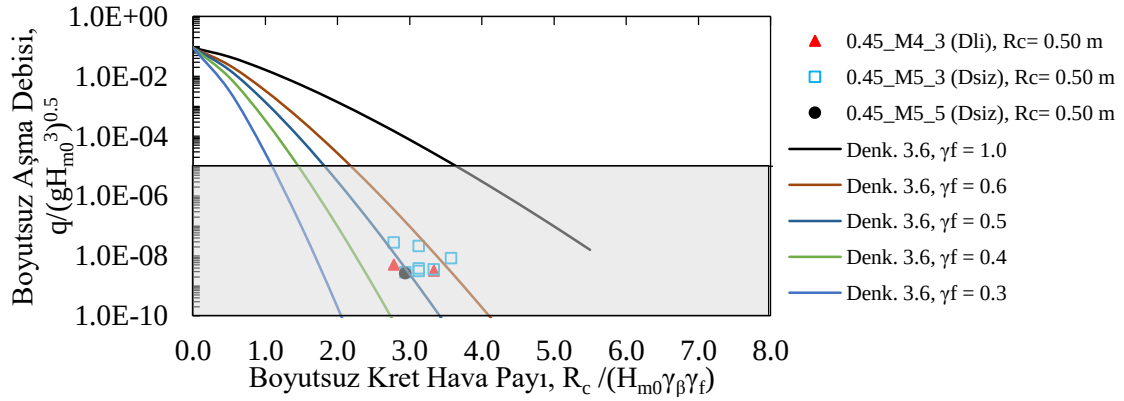
0.55 m su derinliğinde ve 0.40 m kret hava payında $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişlikleri için Şekil 4.87, Şekil 4.88 ve Şekil 4.89 görülmektedir. Bu su derinliğinde ölçülen debiler 0.45 m'ye göre daha büyük olsa da yine de 10^{-5} boyutsuz aşma debisinden daha küçük gerçekleşmiştir. $3D_n$ basamak genişliğine ait düzenli dizilim yöntemi kullanılan modelde üç adet aşma verisi elde edilmiştir. Bunun yanı sıra aynı şartlarda düzensiz dizilim kullanılan modelde bir aşma verisi elde edilmiştir. Bunun sebebi, düzensiz dizilime ait modelin yapının ağır hasar alması ve çekirdek tabakası görünmesi nedeniyle deneyin sonlandırılmasıdır. Bu şartlarda $5D_n$ basamak genişliği aşma performansı daha iyi olduğu görülmektedir.

- **Basamak Su Seviyesinin Altında, BSA (Su Derinliği 0.65 m) ($d_b/d > 0$)**

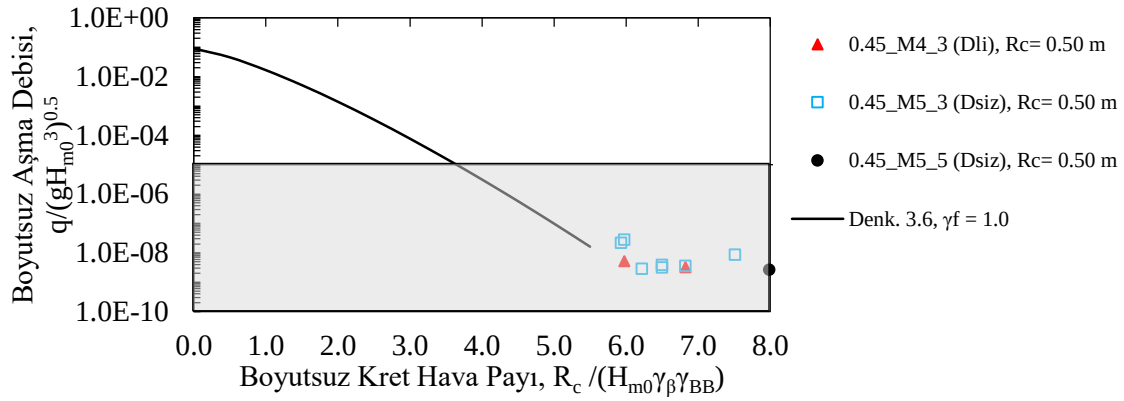
0.65 m su derinliğinde ve 0.30 m kret hava payında $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişlikleri için Şekil 4.90, Şekil 4.91 ve Şekil 4.92 görülmektedir. $3D_n$ basamak genişliğine sahip modelde gerçekleşen aşma miktarları, $5D_n$ basamak genişliğine sahip modelde gerçekleşen aşma miktarlarından biraz daha büyük elde edilmiştir.

Sonuç olarak basamak genişliği hariç diğer şartların sabit tutularak basamak genişliğinin etkisi araştırılmaya çalışılmış ancak hem veri sayısının az olması hem

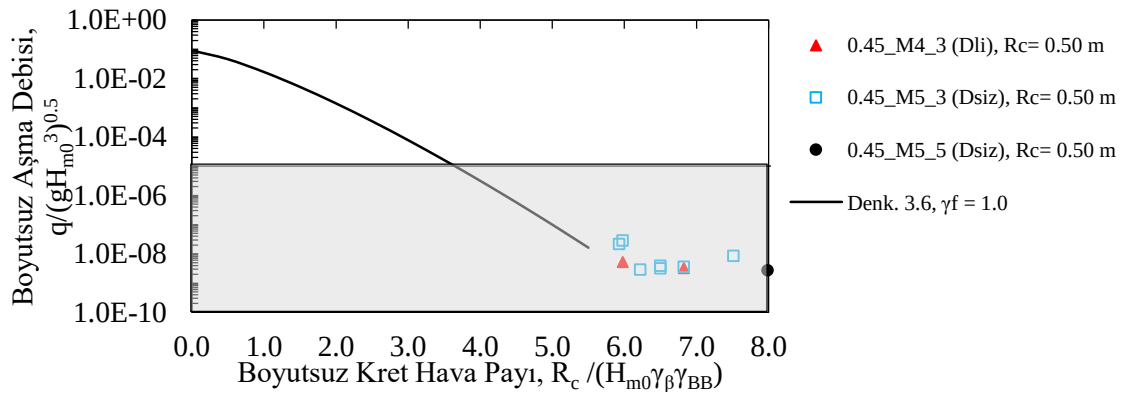
de basamak genişliğindeki değişimin çok belirgin olmaması buradaki incelemede çok fikir vermemiştir.



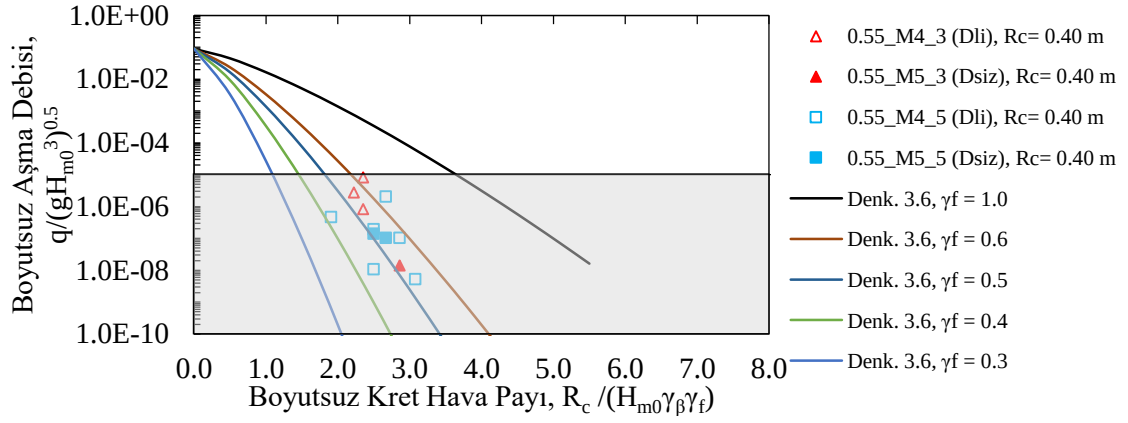
Şekil 4.84 0.45 m su derinliği ve $R_c=0.50$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



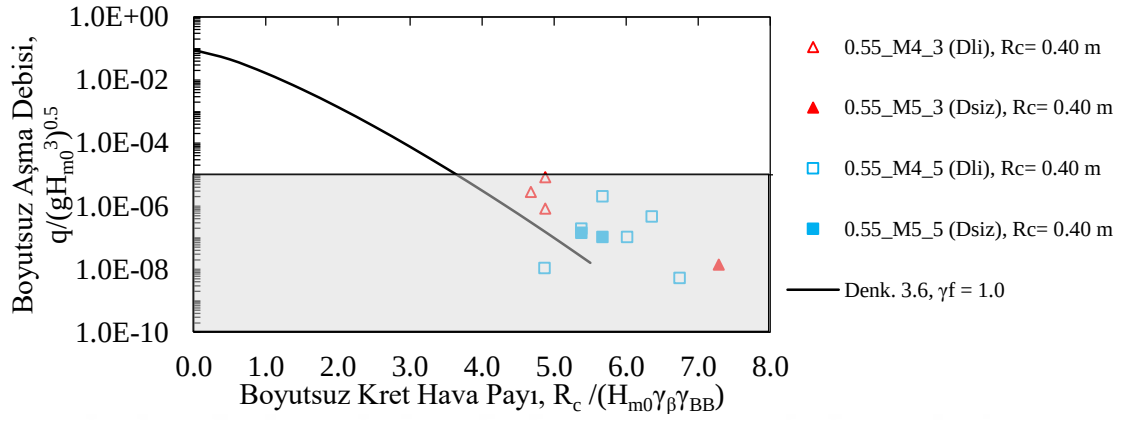
Şekil 4.85 0.45 m su derinliği ve $R_c=0.50$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,VdM}$)



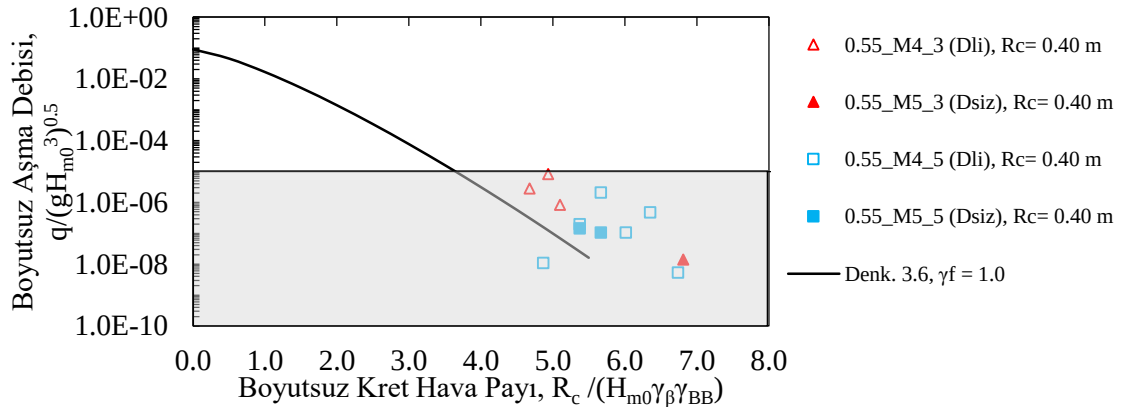
Şekil 4.86 0.45 m su derinliği ve $R_c=0.50$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,EO}$)



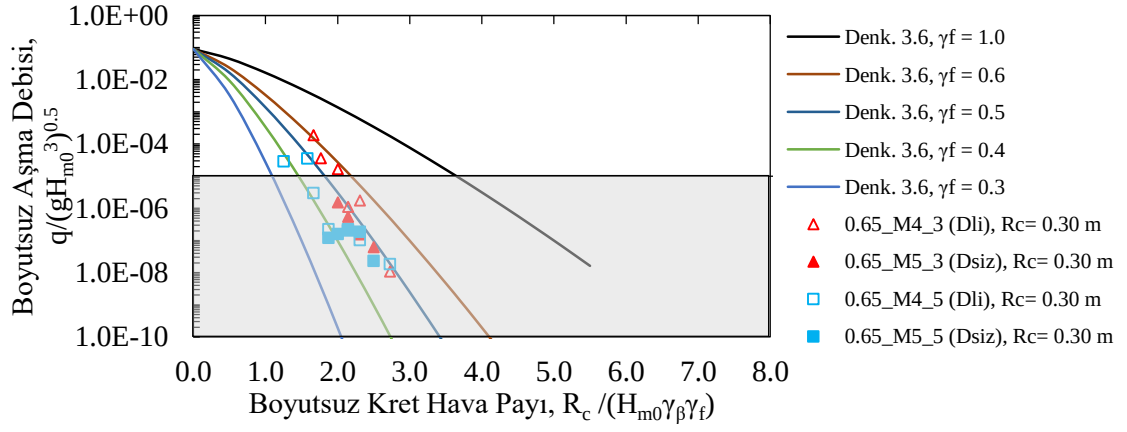
Şekil 4.87 0.55 m su derinliği ve $R_c=0.40$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



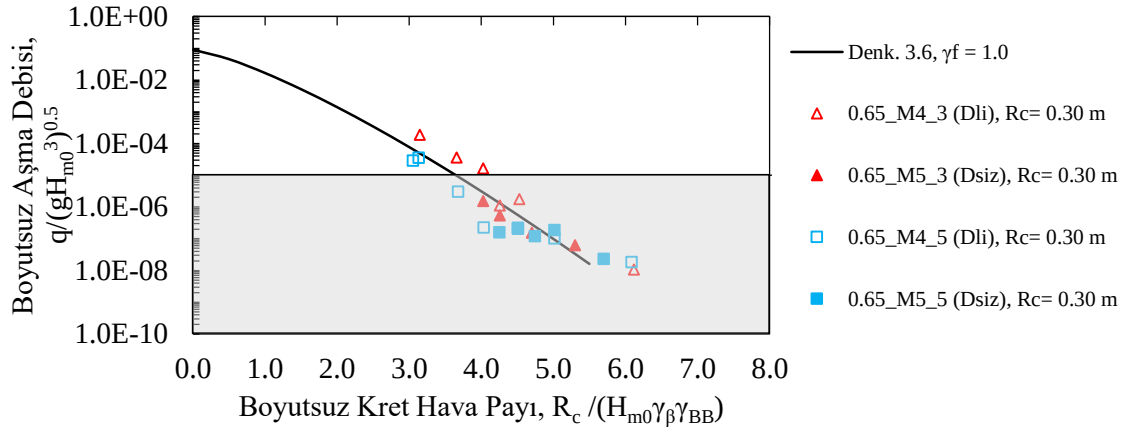
Şekil 4.88 0.55 m su derinliği ve $R_c=0.40$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,vdM}$)



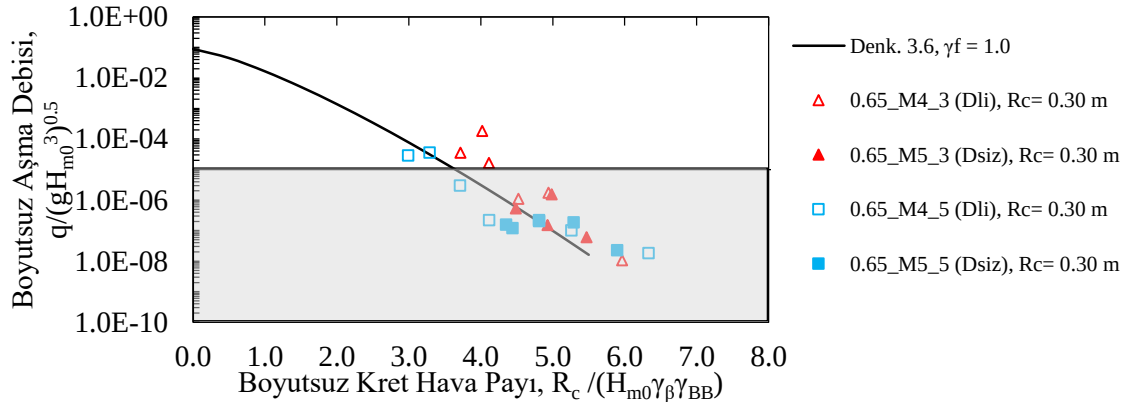
Şekil 4.89 0.55 m su derinliği ve $R_c=0.40$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,EO}$)



Şekil 4.90 0.65 m su derinliği ve $R_c=0.30$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB}=1.0$) ile farklı sürtünme faktörleri



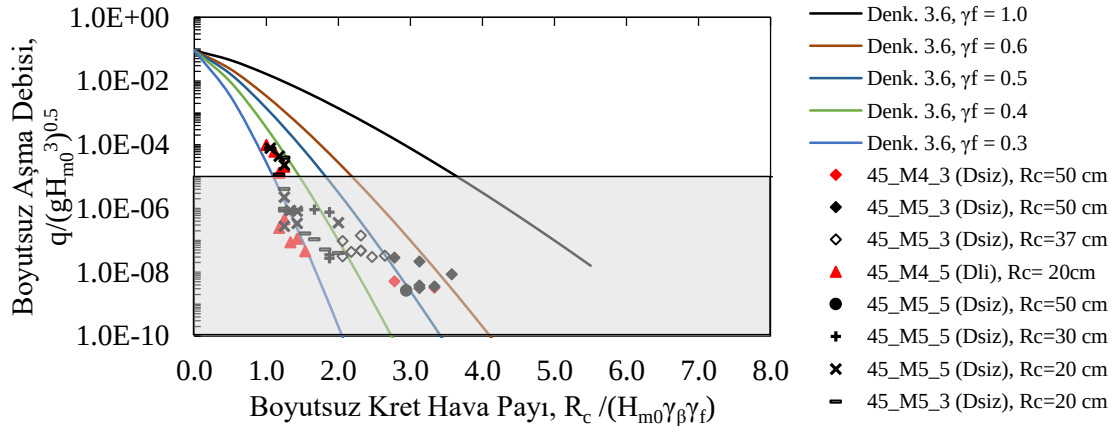
Şekil 4.91 0.65 m su derinliği ve $R_c=0.30$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,VdM}$)



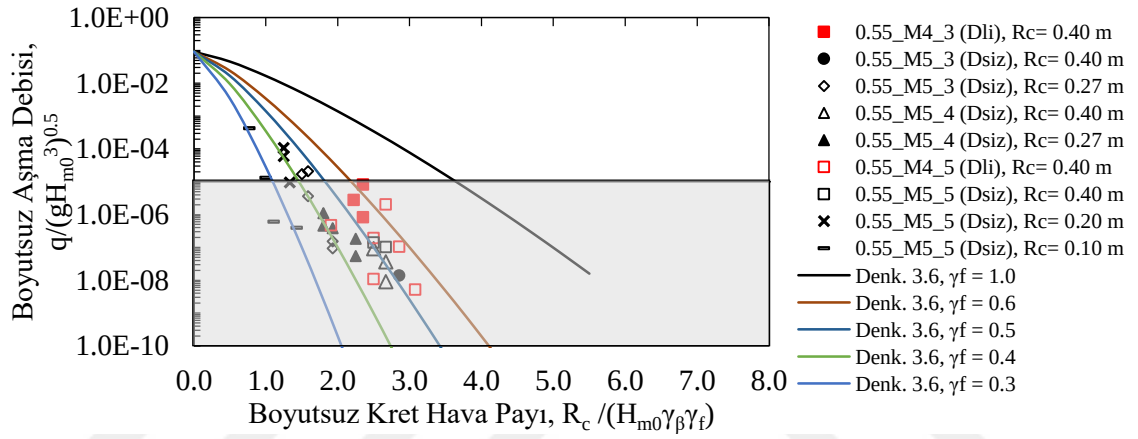
Şekil 4.92 0.65 m su derinliği ve $R_c=0.30$ m için basamak genişliğinin etkisi ($\gamma_{BB,EO}$)

4.2.6 Tüm Aşma Verilerinin Değerlendirilmesi

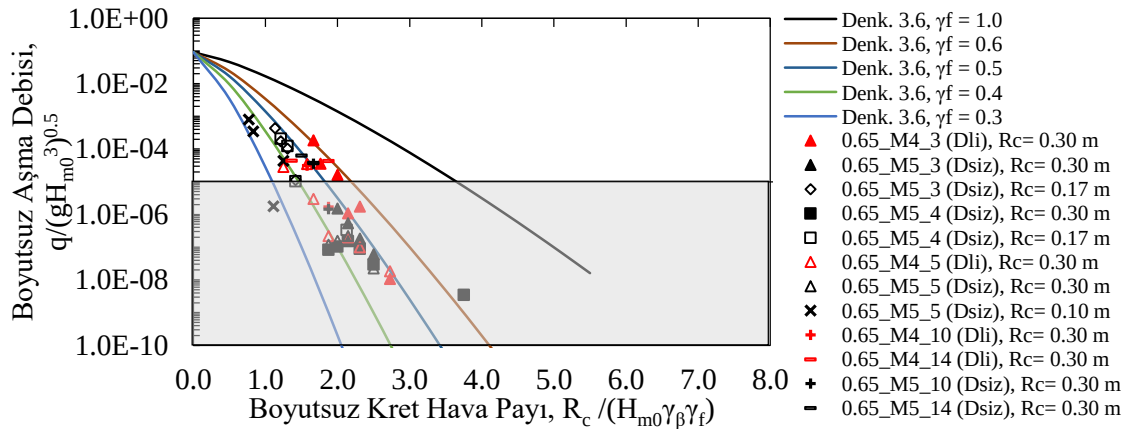
Bu çalışma sırasında beton elemanların düzenli ve düzensiz yerleştirilmeleri, farklı basamak genişlikleri ve farklı kret hava payları ile modeller oluşturulmuştur. Bu modellerde 0.45 m su derinliğinde önceden belirlenen 14, 0.55 ve 0.65 m su derinlikleri için ise 11 farklı fırtına şartında boyutsuz dalga aşma miktarları ayrı ayrı ölçülmüş ve sırasıyla Şekil 4.93, Şekil 4.94 ve Şekil 4.95'te verilmiştir. $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ basamak genişliklerinde çalışıldıktan sonra $10D_n$ ve $14D_n$ basamak genişliklerinde de model deneyleri gerçekleştirilmiş ancak bu basamak genişliklerinde yalnızca 0.65m su derinliğinde aşma gerçekleşmiştir. 10 ve 14 D_n basamak genişliğine ait aşma verileri Şekil 4.95'te verilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi her su derinliğinde aşma performansı farklı izlenmiştir. Bu nedenle bölüm 4.2.7'de literatürde mevcut basamak azaltma faktörlerinin ölçüm verileri ile uygunluğu araştırılmıştır.



Şekil 4.93 0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi



Şekil 4.94 0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi



Şekil 4.95 0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi

4.2.7 Farklı Azaltma Faktörü Etkilerinin Değerlendirilmesi

Veriler önce üç farklı su derinliği ve daha sonra her su derinliği için ise çok az/kısmen (HR-PR) ve tam (FR) şekil değiştiren olmak üzere iki gruba ayrılarak değerlendirilmiştir. Her su derinliği için de aşağıda ifade edilen farklılıklarla elde edilmiş basamak azaltma faktörleri;

- 1) Pik periyoda (T_p) bağlı dalga dikliğinin kullanıldığı $\gamma_{BB,VdM}$ basamak azaltma faktörü,
- 2) Dalga enerji periyodunda küçük frekanslı bileşenlerin temizlenerek elde edilen periyodun ($T_{m-10,R}$) kullanılması ile hesaplanan dalga dikliğinin kullanıldığı $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörü,
- 3) Dalga enerji periyodunun ölçülen değerinin (T_{m-10}) kullanılması ile hesaplanan dalga dikliğinin kullanıldığı $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörü

kullanılarak değerlendirmeler yapılmıştır.

- **Basamak Su Seviyesinin Üstünde, BSÜ (Su Derinliği 0.45 m,**
- **$-d_b/d < 0$)**

Bu su derinliğinde yukarıda bahsedilen üç farklı basamak azaltma faktörünün kullanılması ile elde edilen grafikler Şekil 4.96, Şekil 4.97 ve Şekil 4.98'de gösterilmektedir. Her üç şekilde de veriler çoğunlukla $\gamma=1.0$ eğrisi altında yer almıştır. Ancak T_p ile $T_{m-1,0R}$ kullanılan basamak azaltma faktörleri birbirlerine yakın sonuçlar verirken $T_{m-1,0}$ kullanılan azaltma faktörü sonucunda veriler belirgin bir şekilde $\gamma=1.0$ eğrisi altında kalmıştır. Yani bu basamak azaltma faktörü debinin daha büyük hesaplanmasına neden olmaktadır.

- **Basamak Su Seviyesinde, BSS (Su Derinliği 0.55 m, $d_b/d=0$)**

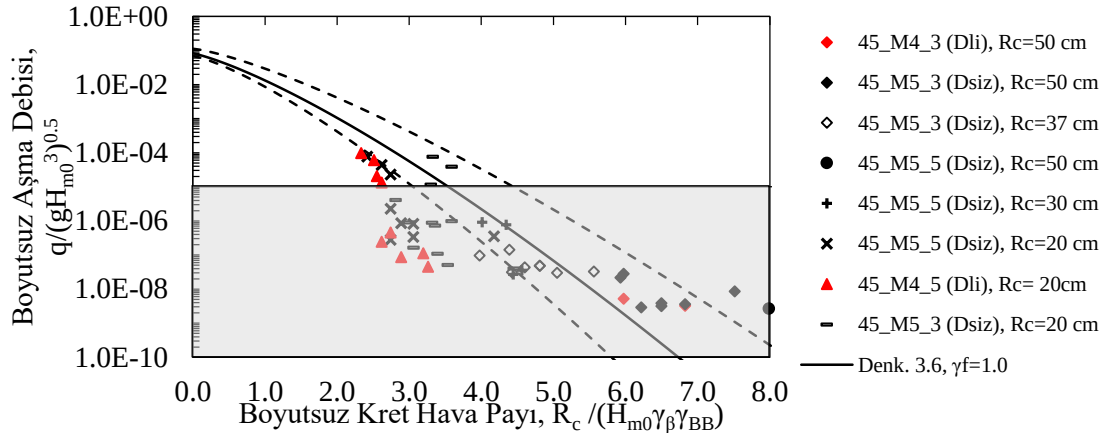
Bu su derinliğinde yukarıda bahsedilen üç farklı basamak azaltma faktörünün kullanılması ile elde edilen grafikler Şekil 4.99, Şekil 4.100 ve Şekil 4.101 gösterilmektedir. Bu su derinliğinde küçük debilerde aşma $\gamma=1.0$ eğrisi etrafında saçılım gösterirken daha büyük aşma debilerinde yine eğrinin altında yer almıştır. Ancak T_p ile $T_{m-1,0R}$ kullanılan basamak azaltma faktörleri birbirlerine yakın sonuçlar verirken $T_{m-1,0}$ kullanılan azaltma faktörü sonucunda veriler belirgin bir

şekilde $\gamma=1.0$ eğrisi altında kalmıştır. Görülen en fazla saçılım ise $R_c=0.10$ m olduğu düşük kretli durumda gözlenmiştir.

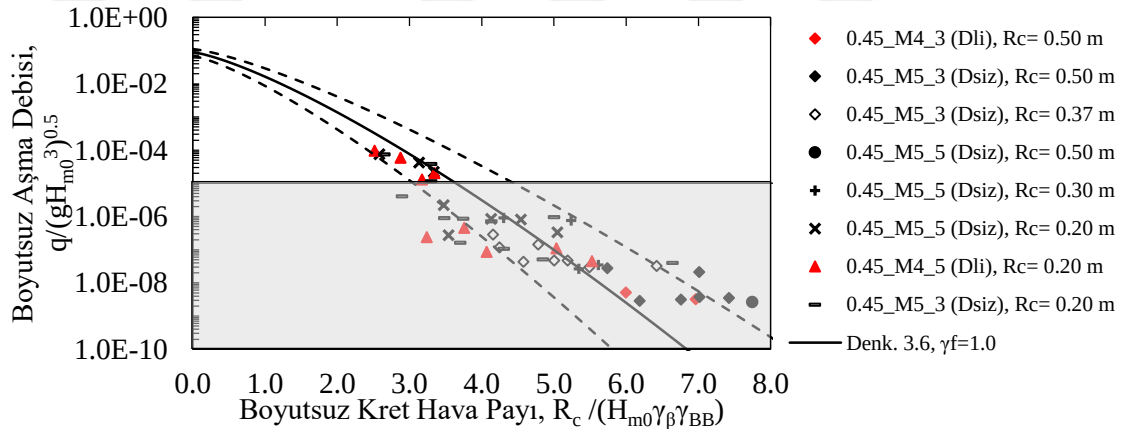
- **Basamak Su Seviyesinin Altında, BSA (Su Derinliği 0.65 m, $d_b/d>0$)**

Bu su derinliğinde yukarıda bahsedilen üç farklı basamak azaltma faktörünün kullanılması ile elde edilen grafikler Şekil 4.102, Şekil 4.103 ve Şekil 4.104'te gösterilmektedir. Her üç şekilde de veriler $\gamma=1.0$ eğrisi etrafında yer almıştır. Ancak T_{0p} ile $T_{m-1,0}$ kullanılan basamak azaltma faktörleri birbirlerine benzer saçılımlar gösterirken $T_{m-1,0R}$ kullanılan azaltma faktörü sonucunda veriler $\gamma=1.0$ eğrisi etrafında daha fazla saçılım göstermiştir.

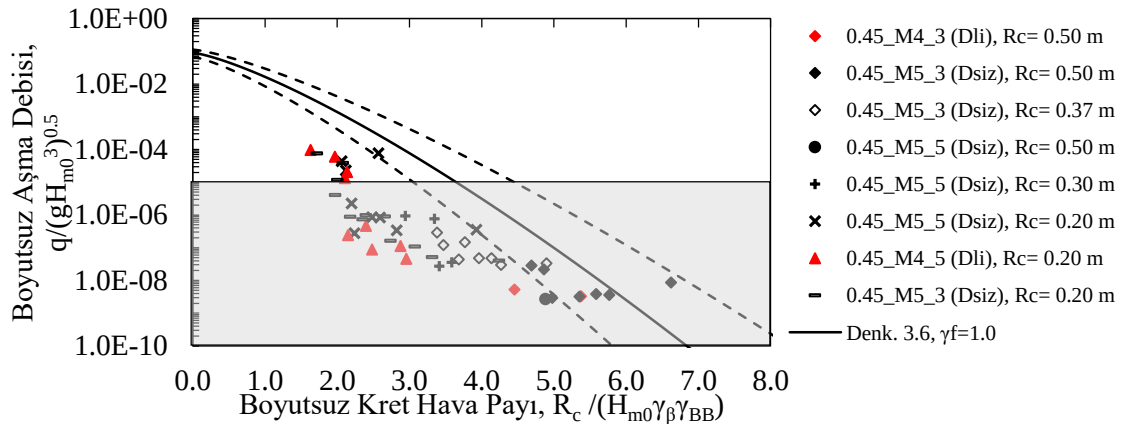
• **Basamak Su Seviyesinin Üstünde, BSÜ (Su Derinliği 0.45 m)**



Şekil 4.96 0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi
($\gamma_{BB,VdM}, T_{Op}$)

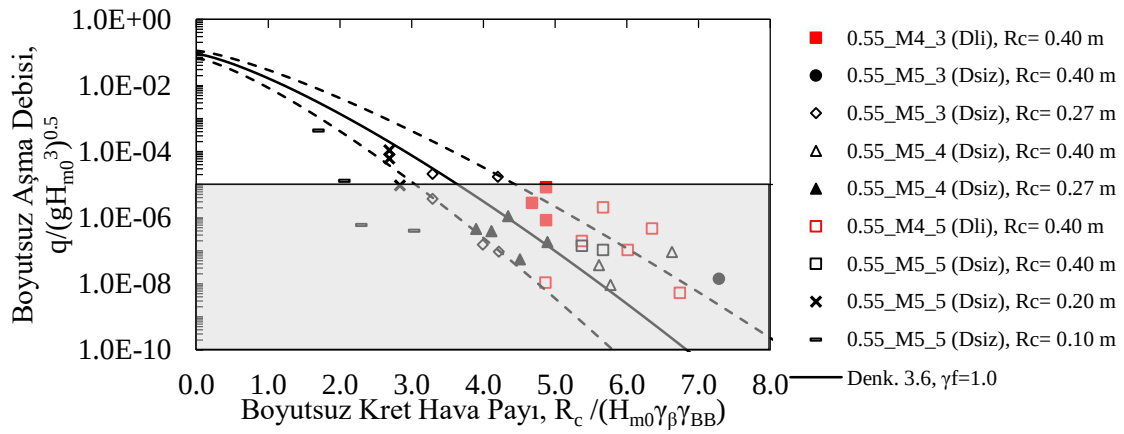


Şekil 4.97 0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi
($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,OR}$)

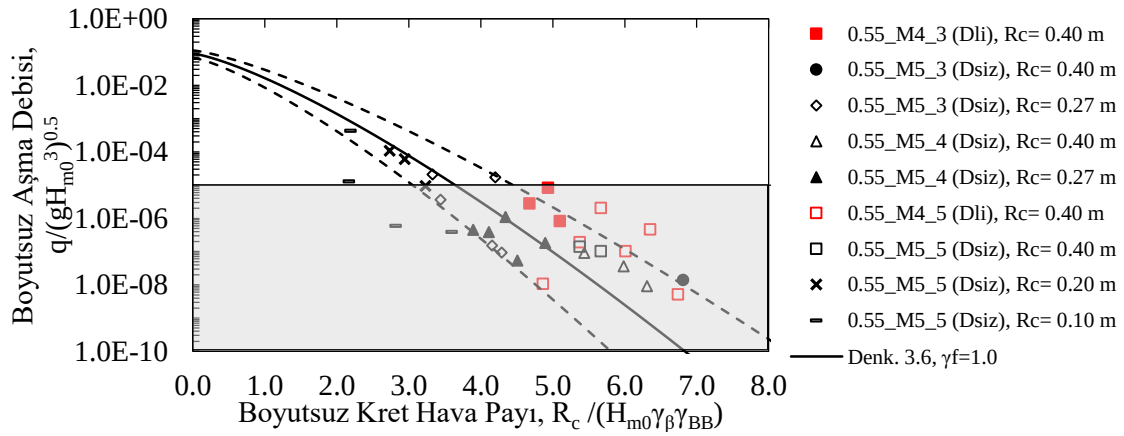


Şekil 4.98 0.45 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi
($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,0}$)

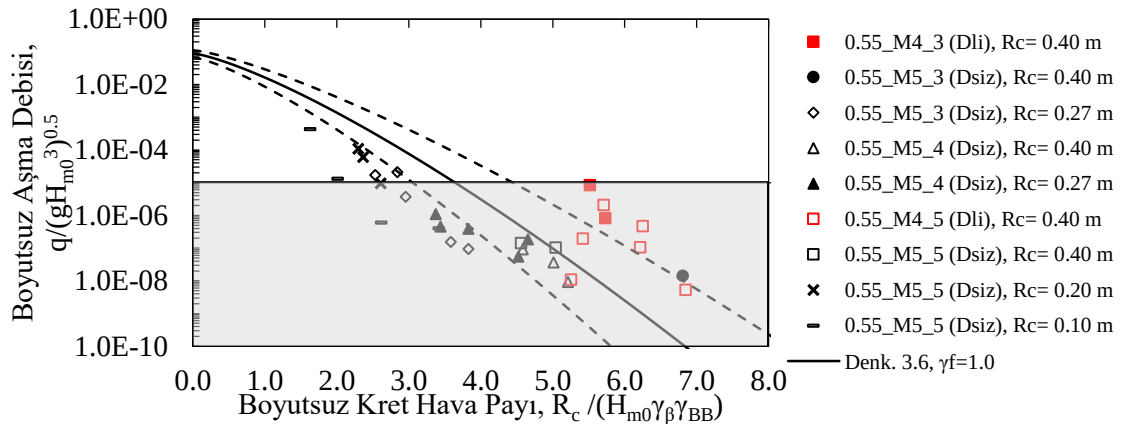
• **Basamak Su Seviyesinde, BSS (Su Derinliği 0.55 m)**



Şekil 4.99 0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi
($\gamma_{BB,VdM}, T_{Op}$)

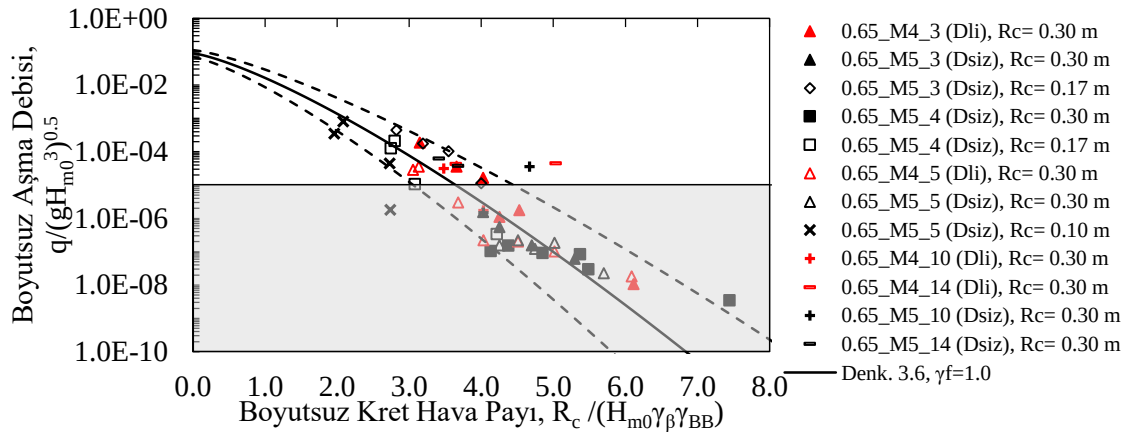


Şekil 4.100 0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi
($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,0R}$)

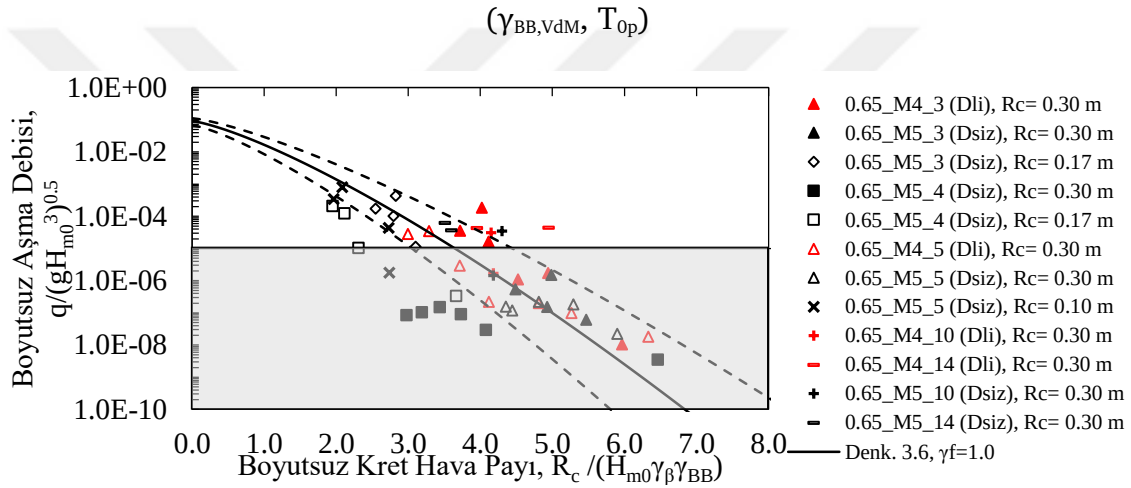


Şekil 4.101 0.55 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi
($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,0}$)

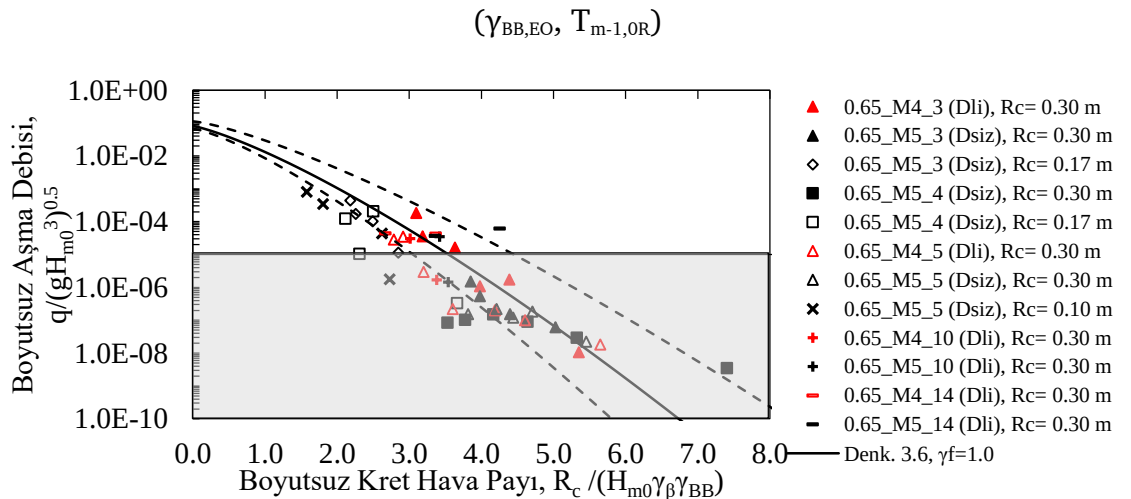
• **Basamak Su Seviyesinin Altında, BSA (Su Derinliği 0.65 m)**



Şekil 4.102 0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi



Şekil 4.103 0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi



Şekil 4.104 0.65 m su derinliğindeki tüm modellerin birlikte değerlendirilmesi

($\gamma_{BB,EO}, T_{m-1,0}$)

4.2.8 Çalışmada Kullanılan Modeller için Basamak Azaltma Faktörünün Belirlenmesi

4.2.8.1 Periyot Parametresi Etkisi

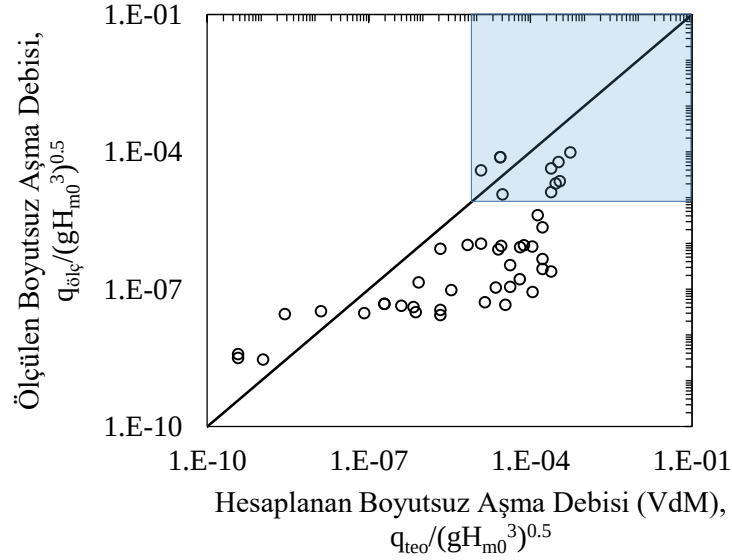
Literatürde basamak azaltma faktörü ifadelerini elde edebilmek amacıyla çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Çalışmalarda alt şev, üst şev ve basamakta koruma tabakasında taş elemanlar kullanılmıştır. Ayrıca bu çalışmaların çoğunda basamak su seviyesinin üzerindedir. Bu çalışmada ise kullanılan modellerde alt şev ve basamakta küp beton eleman üst şevde ise taş koruma elemanları kullanılmış ayrıca basamak yeri su seviyesinin üzerinde ($d_b/d = -0.10/0.45 = -0.22$), su seviyesinde ($d_b/d = 0.00/0.55 = 0.00$) ve batık ($d_b/d = 0.10/0.65 = 0.22$), olmak üzere ayrı ayrı incelenmiştir. Bölüm 4.2.7’de literatürde verilen basamak azaltma faktörleri kullanılması durumunda saçılımlar gözlemlendiğinden dikkate alınan modeller için deneylerden elde edilen veriler kullanılarak yeni basamak azaltma faktörü hesapları yapılmıştır.

Model deneylerinde bazı fırtına şartlarında $T_{m-1,0}$ dalga enerji periyodu, T_p pik periyottan daha büyük elde edilmiştir. Bölüm 3’te tartışıldığı gibi sığ su şartları bu duruma neden olmaktadır. $T_{m-1,0}$ verileri MATLAB programı kullanılarak düşük frekanslı değerlerin temizlenmesi ile $T_{m-1,0,R}$ düzeltilmiş enerji periyodu elde edilmiştir. Basamak azaltma faktöründe T_p pik periyot, $T_{m-1,0,R}$ düzeltilmiş ve $T_{m-1,0}$ ölçülen dalga enerji periyodu değerleri kullanılarak grafikler elde edilmiştir.

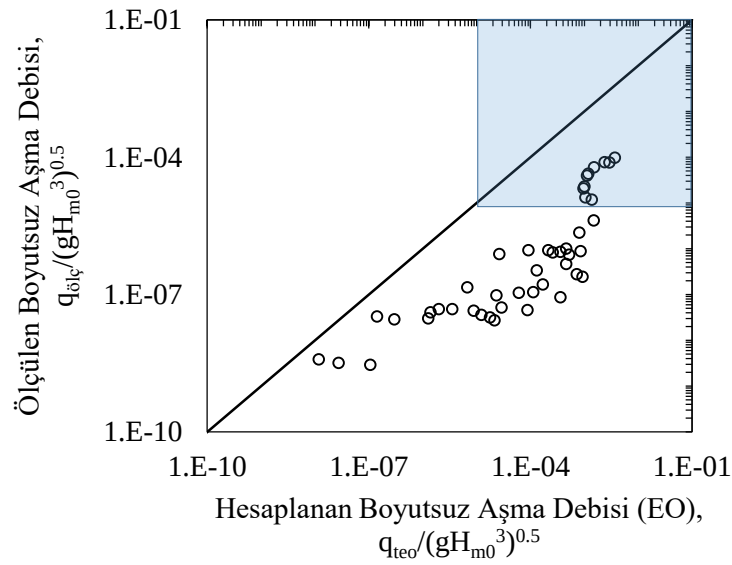
Aşağıdaki çalışmalarda basamak azaltma faktörü hem T_p hem de $T_{m-1,0}$ periyot parametreleri kullanılarak elde edilmiş ve değerlendirmeler yapılmıştır.

- **Basamak Su Seviyesinin Üstünde, BSÜ (Su Derinliği 0.45 m)**

Şekil 4.105'te 0.45 m su derinliğine ait ölçülen aşma verileri ile $\gamma_{BB,VdM}$ ifadesi kullanılarak elde edilen aşma değerleri, Şekil 4.106'da ölçülen aşma verileri ile $\gamma_{BB,EO}$ ifadesi kullanılarak elde edilen aşma değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.105 0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,VdM}$)

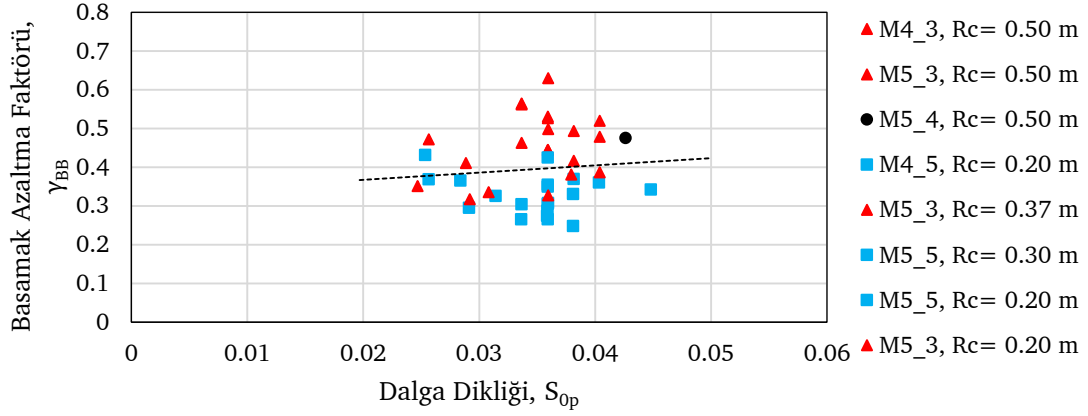


Şekil 4.106 0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,EO}$)

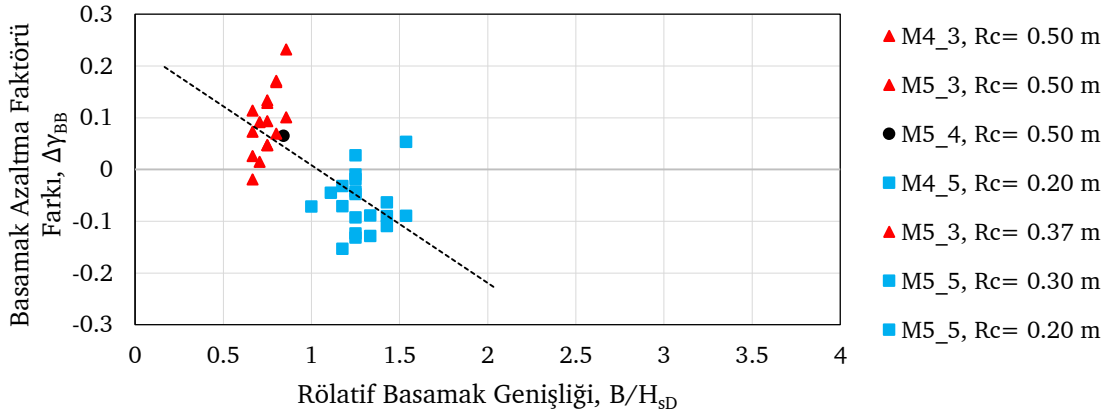
Karşılaştırmada hem $\gamma_{BB,VdM}$ hem de $\gamma_{BB,EO}$ ifadesi kullanılarak elde edilen aşma verileri daha büyük hesaplanmaktadır. Bu nedenle deney verileri kullanılarak, basamağın su seviyesinin üzerinde olduğu durumda çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar olmak üzere iki basamak azaltma faktörü elde edilmiştir. Çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi için Şekil 4.107 ve Şekil 4.108 kullanılmıştır. Şekil 4.107’de basamak azaltma faktörünün dalga dikliği (s_{op}) ile değişimi görülmektedir. Şekilden bu su derinliğinde, dalga dikliğinin artması ile basamak azaltma faktörünün de artış gösterdiği görülmektedir. Şekil 4.108’de ise basamak azaltma faktörü farkının rölatif basamak genişliği ile değişimi görülmektedir. Şekilden rölatif basamak genişliği arttıkça azaltma faktörü azalmaktadır. Bu grafiklerin kullanılmasıyla Denklem (4.2) elde edilmiştir. Şekil 4.109’da ise tam şekillenen basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörünün dalga dikliği (S_{op}) ile değişimi görülmektedir. Bu şekildeki eğilim çizgisinden basamak azaltma faktörü dalga dikliğine bağlı olarak elde edilmiştir ve Denklem (4.3) verilmiştir. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan aşma verileri ile ölçülen aşma değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.110’da verilmiştir. Yeni azaltma faktörü ifadeleri kullanılarak elde edilen boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi grafiği Şekil 4.111’de verilmiştir. Verilerin çoğunun %5 alt ve %5 üst güven limitleri içinde yer aldığı görülmektedir.

$$\text{HR-PR} \quad \gamma_{BB\_BSÜ} = 0.57 + 1.85S_{op} - 0.23 \frac{B}{H_{SD}} \quad (4.2)$$

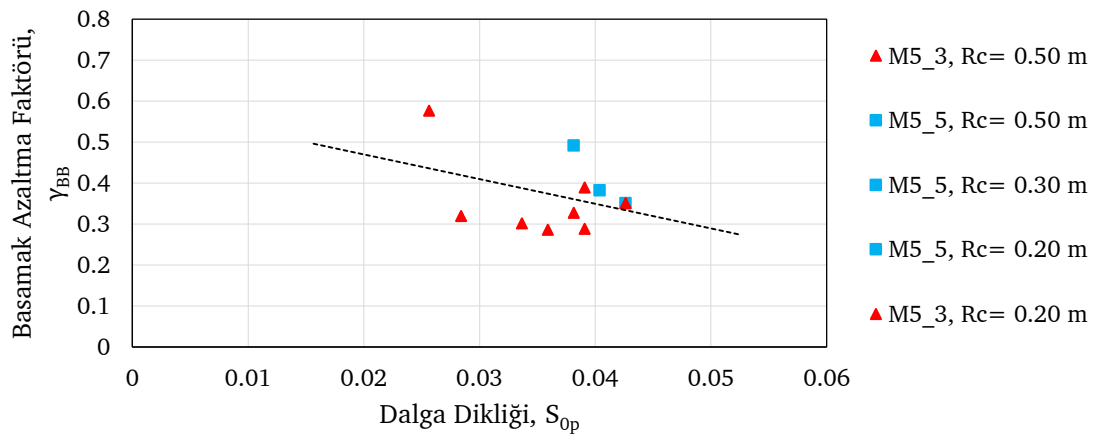
$$\text{FR} \quad \gamma_{BB\_BSÜ} = 0.59 - 6.02S_{op} \quad (4.3)$$



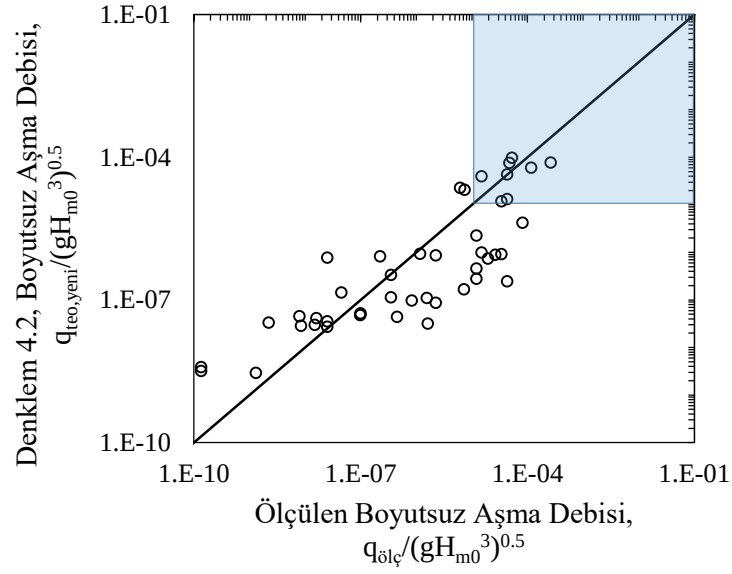
Şekil 4.107 0.45 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR)



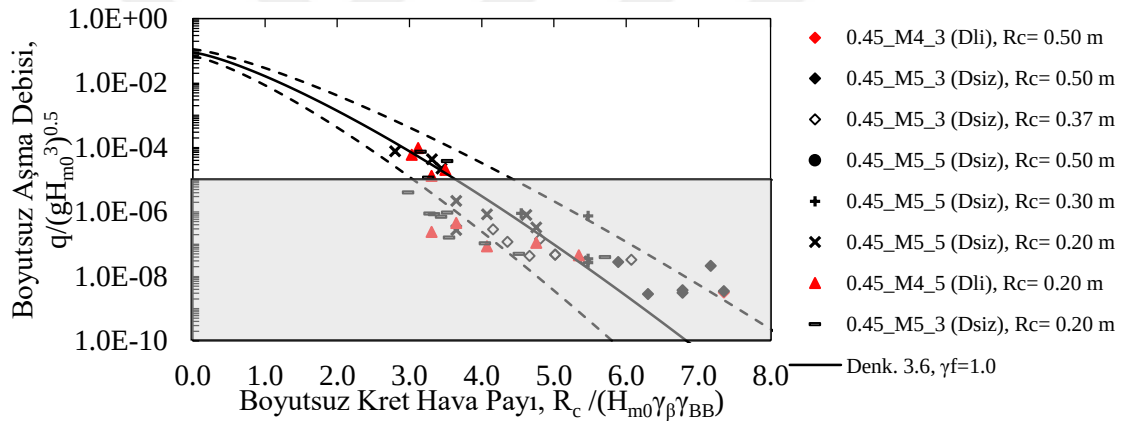
Şekil 4.108 0.45 m su derinliği için rölatif basamak genişliğine karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR)



Şekil 4.109 0.45 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR)



Şekil 4.110 0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.2) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{0p})

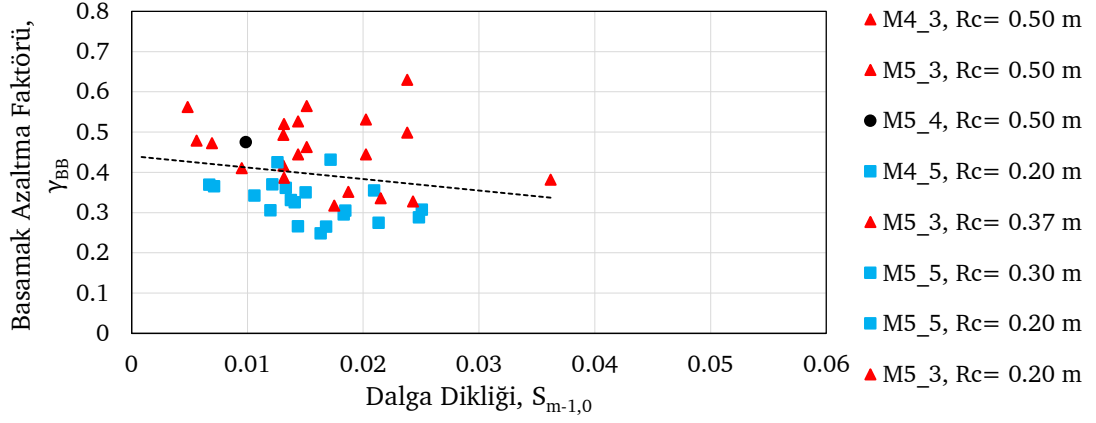


Şekil 4.111 0.45 m su derinliği için (4.2) ve (4.3) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_p 'ye bağlı)

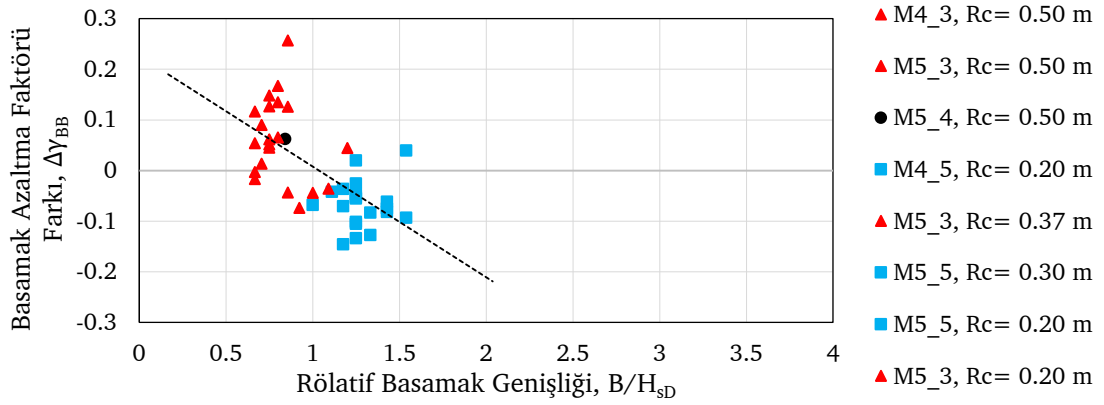
Aynı değerlendirmeler HR-PR Şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için pik periyot yerine dalga enerji periyodunun ($T_{m-1,0}$) kullanılması ile tekrarlanmıştır. Şekil 4.112’de basamak azaltma faktörünün dalga dikliği ile değişimi, Şekil 4.113’te ise basamak azaltma faktörü farkının rölatif basamak genişliği ile değişimi görölmektedir. Bu iki grafikten Denklem (4.4) elde edilmiştir. Şekil 4.112’de basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıķa azaldığı, Şekil 4.113’te de basamak azaltma faktörü farkının rölatif basamak genişliği arttıķa azaldığı görölmektedir. Aynı Şekilde tam Şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.114’teki eğilim çizgisinden dalga dikliği parametresine bağlı olarak Denklem (4.5)’teki gibi elde edilmiştir. Şekil 4.114’te basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıķa azaldığı görölmektedir. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan aşma verileri ile ölçölen aşma değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.115’te verilmiştir. $T_{m-1,0}$ bağlı elde edilen yeni azaltma faktörü ifadeleri kullanılarak elde edilen boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi grafiği Şekil 4.116’da verilmiştir. Verilerin çoğunun %5 alt ve %5 üç güven limitleri içinde yer aldığı görölmektedir.

$$\text{HR-PR} \quad \gamma_{BB\_BSÜ} = 0.68 - 2.87S_{m-1,0} - 0.22 \frac{B}{H_{sD}} \quad (4.4)$$

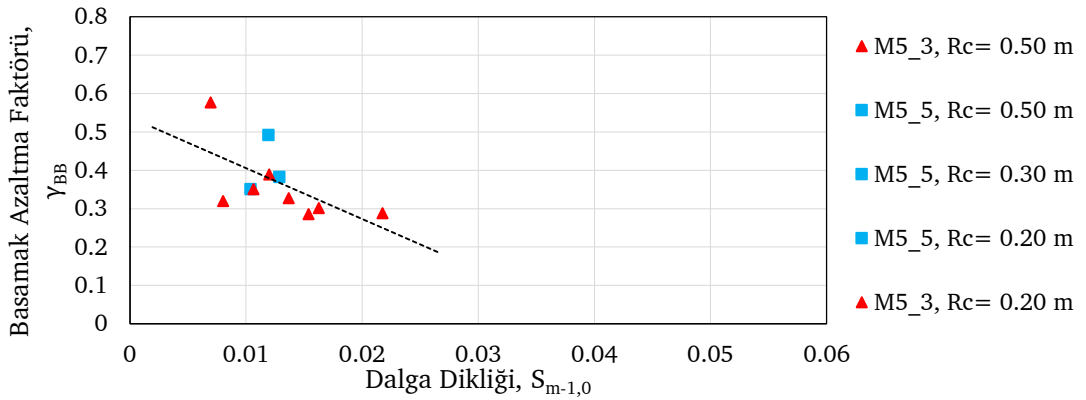
$$\text{FR} \quad \gamma_{BB\_BSÜ} = 0.54 - 13.24S_{m-1,0} \quad (4.5)$$



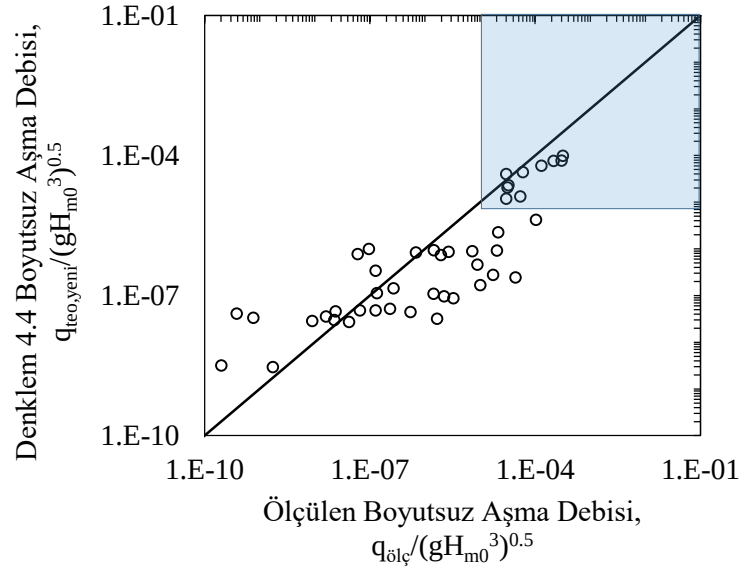
Şekil 4.112 0.45 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR)



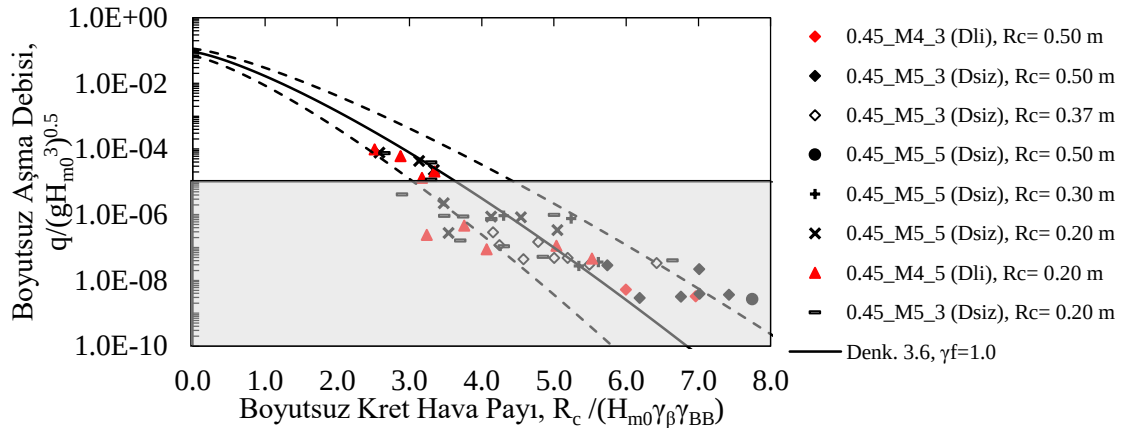
Şekil 4.113 0.45 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{SD} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR)



Şekil 4.114 0.45 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR)



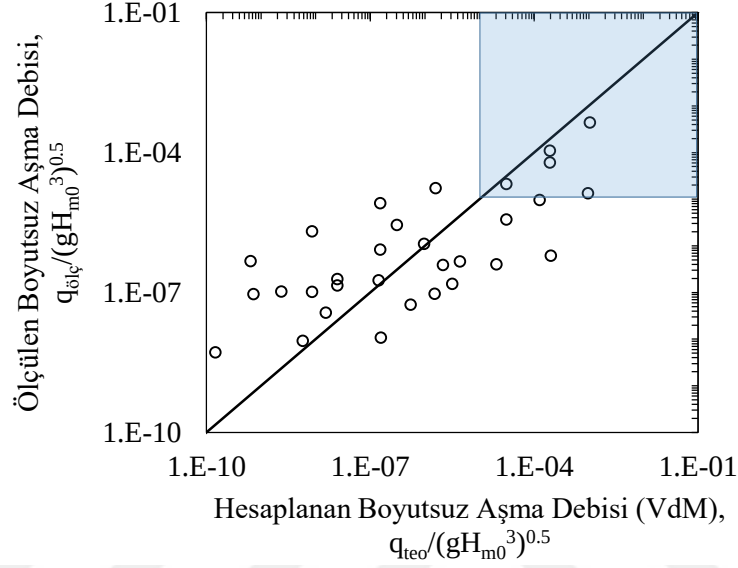
Şekil 4.115 0.45 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.4) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($T_{m-1,0}$)



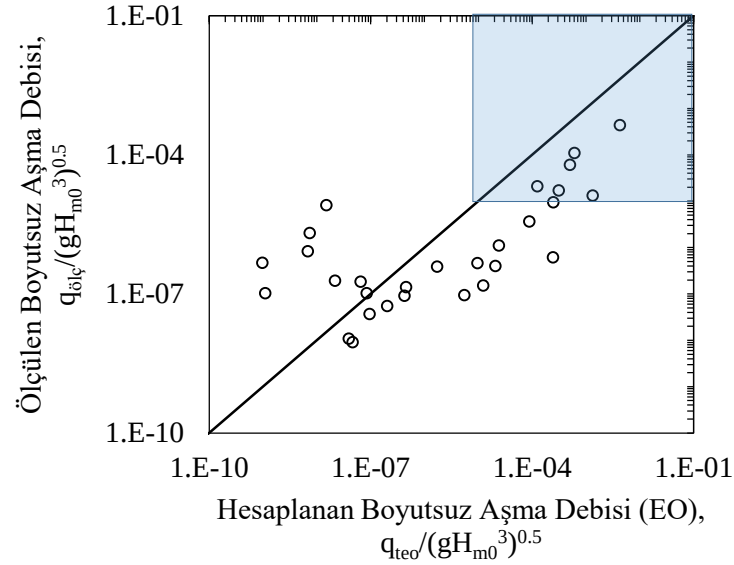
Şekil 4.116 0.45 m su derinliği için (4.4) ve (4.5) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)

- **Basamak Su Seviyesinde, BSS (Su Derinliği 0.55 m)**

Şekil 4.117 ve Şekil 4.118’de 0.55 m su derinliğine ait ölçülen aşma verileri ile EurOtop (2016) [30] ve Van der Meer ve Sigurdarson’da (2017) [10] verilmiş olan ifadelerden elde edilen aşma değerleri karşılaştırılmış aralarındaki ilişki gözlenmiştir.



Şekil 4.117 0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,VdM}$)



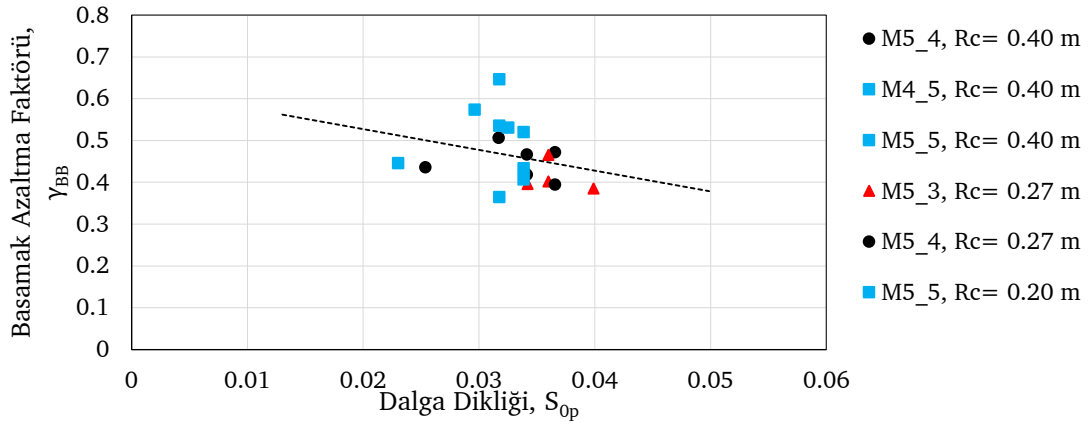
Şekil 4.118 0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,EO}$)

Verilerin saçılım göstermesi üzerine mevcut deneyler için, basamağın su seviyesiyle eşit konumda olduğu durumda çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar için olmak üzere iki basamak azaltma faktörü elde edilmiştir. Çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.119 ve Şekil 4.120'deki pik dalga periyodunun (T_p) kullanıldığı dikliğine bağlı olarak Denklem (4.6)'daki gibi elde edilmiştir. Bu denklem elde edilirken $R_c=0.10$ m'ye ait veriler yapının kret hava payı çok düşük olduğundan dolayı anlamlı veriler elde edilemediği için kullanılmamıştır. Şekil 4.119'da basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı, Şekil 4.120'de ise basamak azaltma faktörü farkının neredeyse yatay seyrettiği, yani basamak genişliğinden etkilenmediği gözlemlenmektedir. Bu nedenle Denklem (4.6)'da rölatif basamak genişliği parametresi dikkate alınmamıştır. Tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.121'deki eğilim çizgisinden pik dalga periyodunun (T_p) kullanıldığı dalga dikliğine bağlı olarak elde edilmiş ve Denklem (4.7)'de verilmiştir. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan aşma verileri ile ölçülen aşma değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.123'te verilmiştir. Şekil 4.121'de basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Göreceli basamak genişliği etkisinin görülmemesi nedeniyle Denklem (4.6) ve Denklem (4.7)'den elde edilen değerler tek bir grafikte birleştirilerek (Şekil 4.122) yeni bir eğilim çizgisi elde edilmiş, bu eğilim çizgisi kullanılarak Denklem (4.8) bulunmuştur. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan aşma verileri ile ölçülen aşma değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.124'te verilmiştir. Yeni azaltma faktörü ifadeleri kullanılarak elde edilen boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi grafikleri Şekil 4.125 ve Şekil 4.126'da verilmiştir.

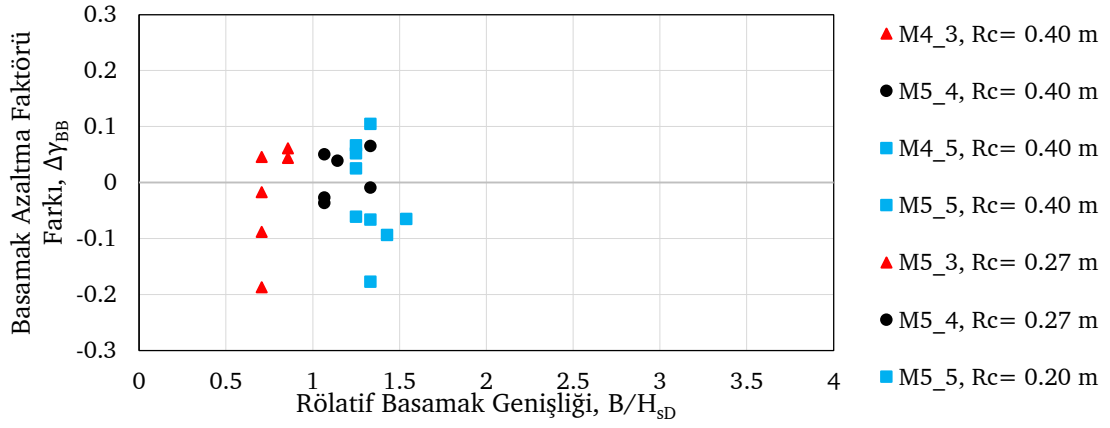
$$\text{HR-PR} \quad \gamma_{\text{BB\_BSS}}=0.60-4.96S_{0p} \quad (4.6)$$

$$\text{FR} \quad \gamma_{\text{BB\_BSS}}=0.60-3.38S_{0p} \quad (4.7)$$

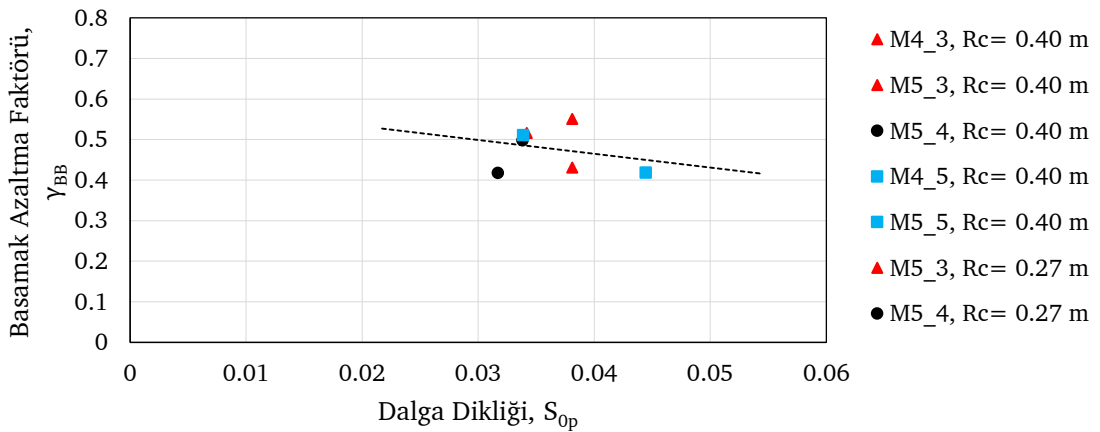
$$\gamma_{\text{BB\_BSS}}=0.58-3.35S_{0p} \quad (4.8)$$



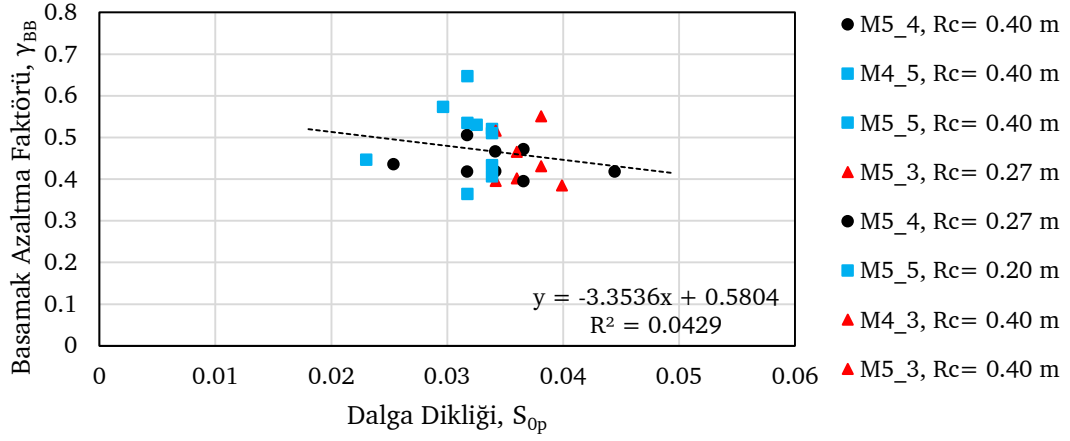
Şekil 4.119 0.55 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) (Denklem (4.6))



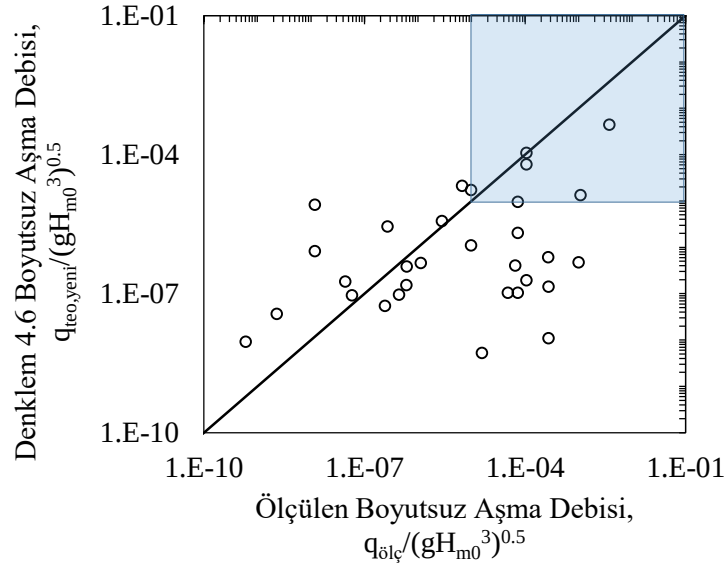
Şekil 4.120 0.55 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) (Denklem (4.6))



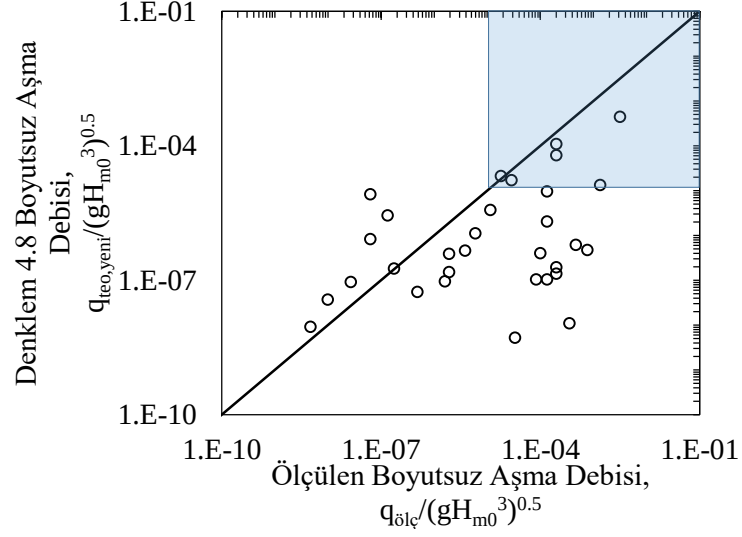
Şekil 4.121 0.55 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) (Denklem (4.7))



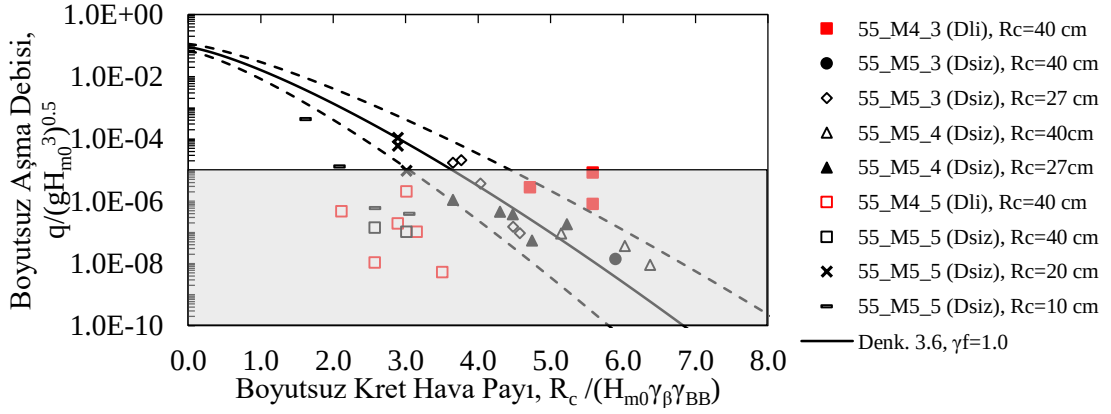
Şekil 4.122 0.55 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.8))



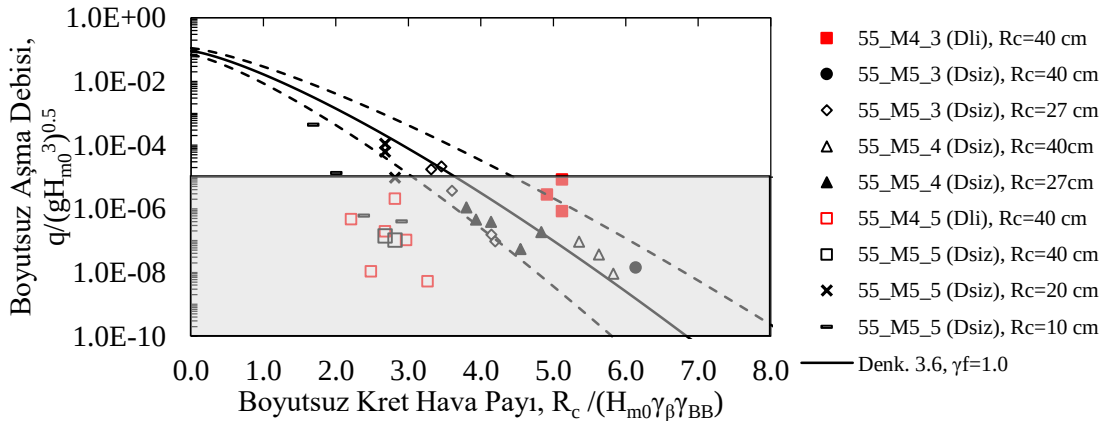
Şekil 4.123 0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.6) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op})



Şekil 4.124 0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.8) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{0p})



Şekil 4.125 0.55m su derinliği için (4.6) ve (4.7) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_p 'ye bağlı)



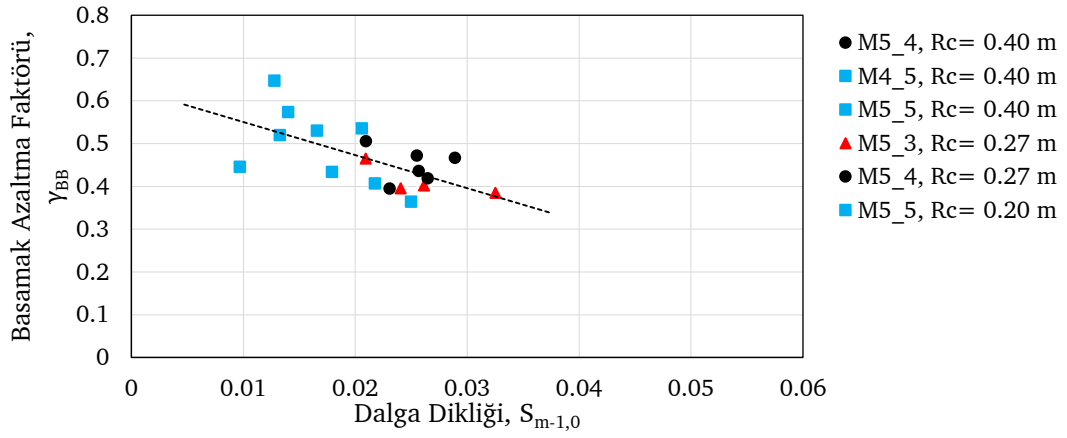
Şekil 4.126 0.55m su derinliği için (4.8) azaltma faktörü ifadesinin kullanımı (T_p 'ye bağlı)

Aynı deney verileri ile çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi dalga enerji periyodu cinsinden Şekil 4.127 ve Şekil 4.128 kullanılarak Denklem (4.9)'daki gibi elde edilmiştir. Bu denklem elde edilirken $R_c=0.10$ m'ye ait veriler yapının kret hava payı çok düşük olduğundan dolayı anlamlı veriler elde edilemediği için kullanılmamıştır. Şekil 4.127'de basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı, Şekil 4.128'de ise basamak azaltma faktörü farkının rölatif basamak genişliği arttıkça neredeyse yatay seyrettiği görülmektedir. Aynı şekilde tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.129'daki eğilim çizgisinden dalga dikliğine bağlı olarak elde edilmiştir (Denklem (4.9)). Şekil 4.129'da basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Göreceli basamak genişliği etkisinin görülmemesi nedeniyle Denklem (4.9) ve Denklem (4.10)'dan elde edilen değerler tek bir grafikte birleştirilerek (Şekil 4.122) yeni bir eğilim çizgisi elde edilmiş, bu eğilim çizgisi kullanılarak Denklem (4.11) bulunmuştur. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan aşma verileri ile ölçülen aşma değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.123'de verilmiştir. Yeni azaltma faktörü ifadeleri kullanılarak elde edilen boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi grafiği Şekil 4.132 ve Şekil 4.133'te verilmiştir. Bu elde edilen ifade (4.11) verilerle daha iyi uyum sağlamıştır.

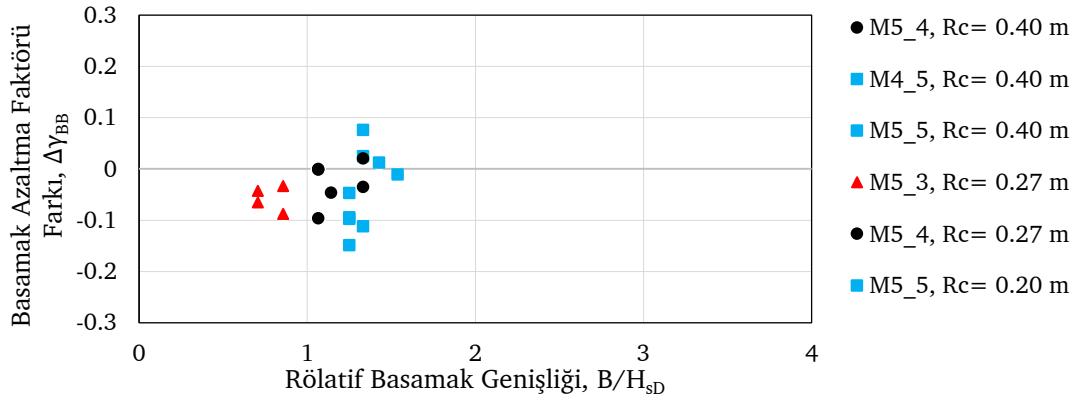
$$\text{HR-PR} \quad \gamma_{\text{BB\_BSS}} = 0.52 - 7.74S_{m-1,0} \quad (4.9)$$

$$\text{FR} \quad \gamma_{\text{BB\_BSS}} = 0.56 - 5.54S_{m-1,0} \quad (4.10)$$

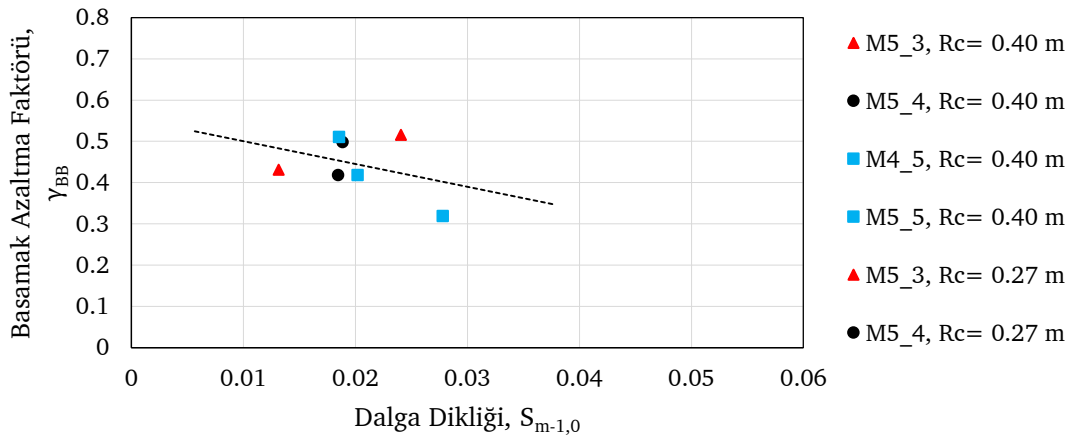
$$\gamma_{\text{BB\_BSS}} = 0.61 - 7.16S_{m-1,0} \quad (4.11)$$



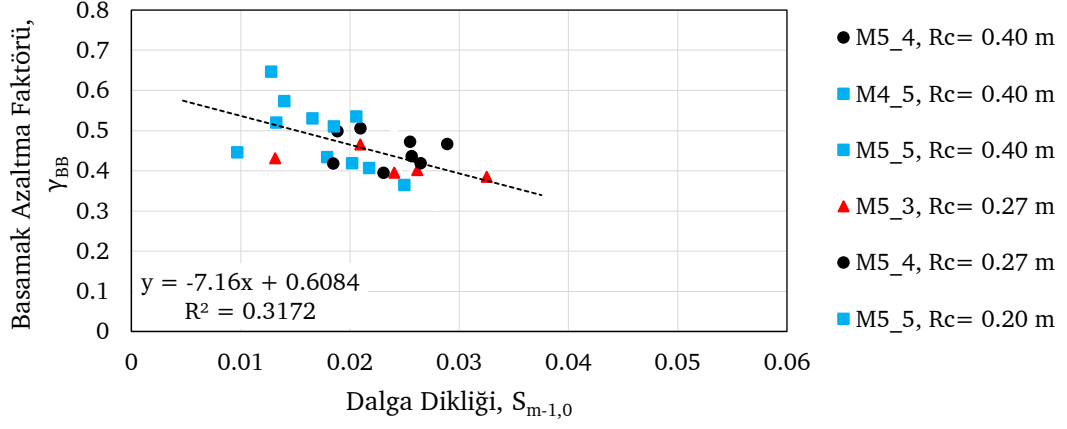
Şekil 4.127 0.55 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR)



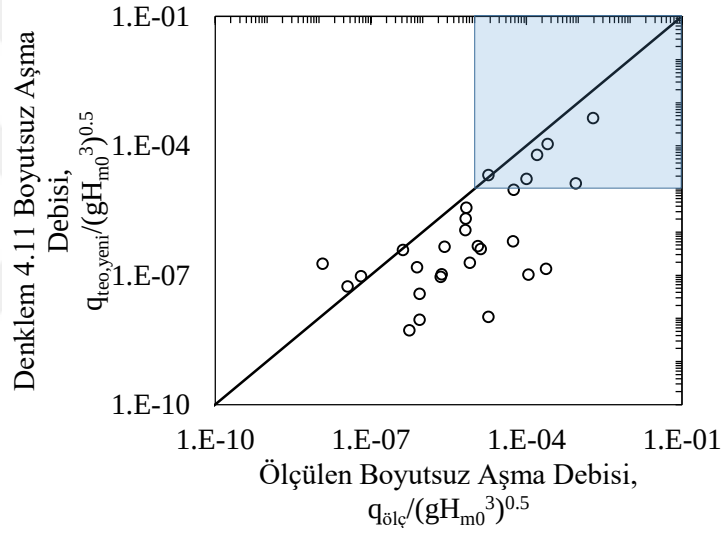
Şekil 4.128 0.55 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{SD} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR)



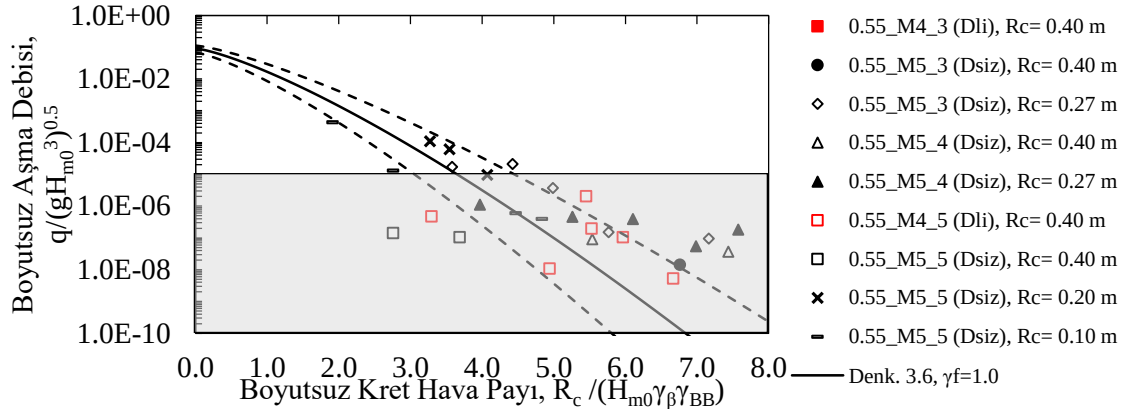
Şekil 4.129 0.55 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) ($T_{m-1,0}$)



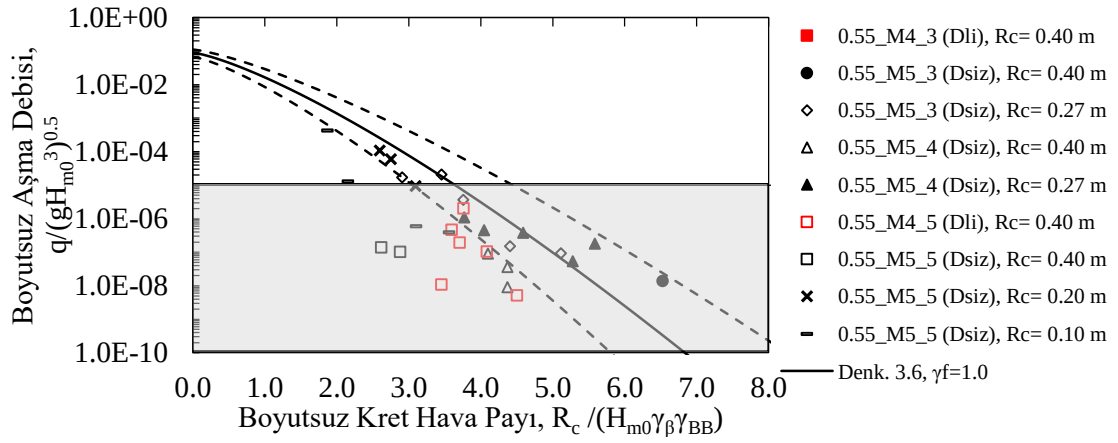
Şekil 4.130 0.55 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.11))



Şekil 4.131 0.55 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.11) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($T_{m-1,0}$)



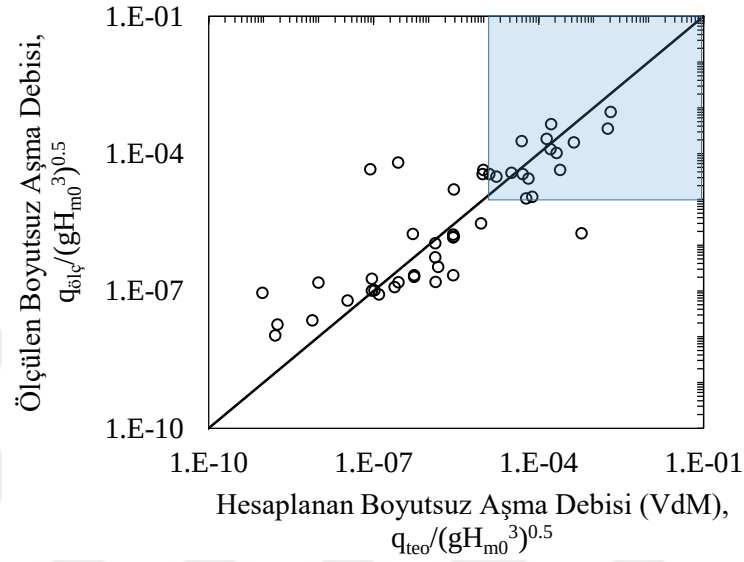
Şekil 4.132 0.55 m su derinliği için (4.8) ve (4.9) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)



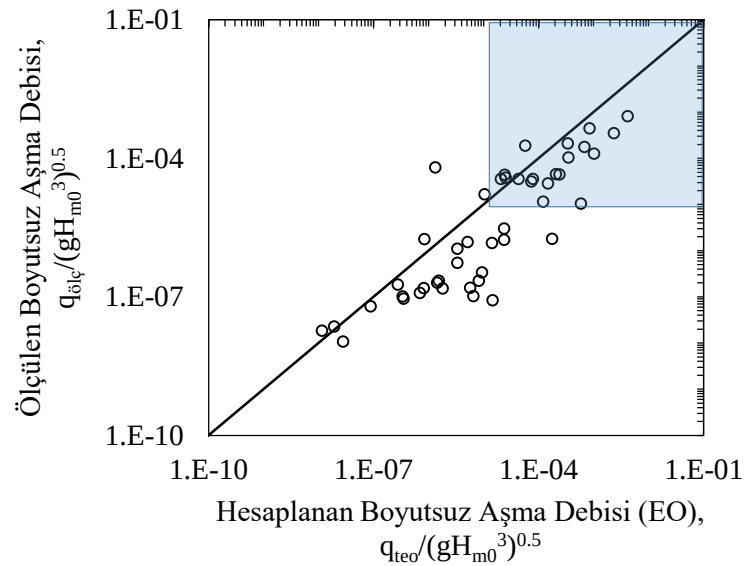
Şekil 4.133 0.55 m su derinliği için (4.11) azaltma faktörü ifadesinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)

- **Basamak Su Seviyesinin Altında, BSA (Su Derinliği 0.65m)**

Şekil 4.134 ve Şekil 4.135'te 0.65 m su derinliğine ait ölçülen veriler ile EurOtop (2016) [30] ve Van der Meer ve Sigurdarson'da (2017) [10] verilmiş olan ifadelerden elde edilen boyutsuz aşma verileri karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.134 0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,VdM}$)



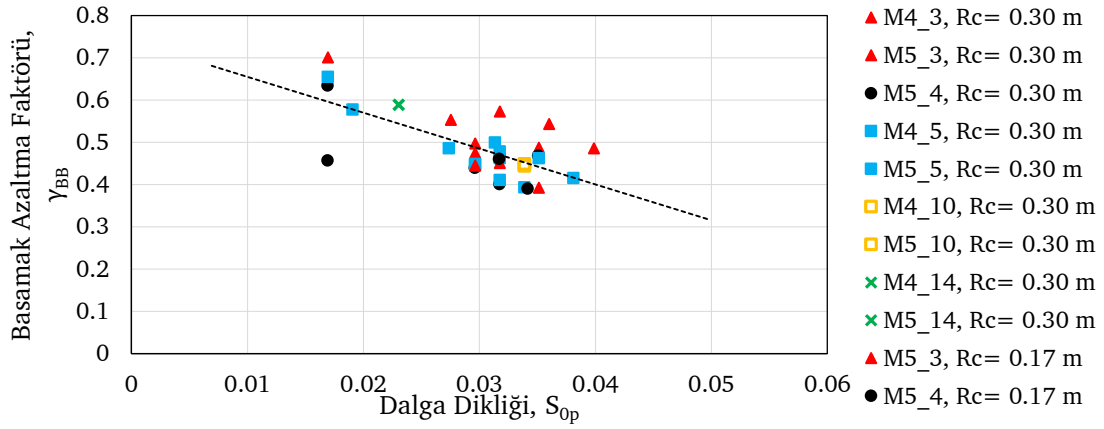
Şekil 4.135 0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($\gamma_{BB,EO}$)

Verilerin saçılım göstermesi üzerine mevcut deneyler için, basamağın su seviyesinin altında yani batık olduğu durumda çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar ile tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıranlar için olmak üzere iki basamak azaltma faktörü ifadesi elde edilmiştir. Çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için pik dalga periyodunun (T_p) kullanılmasıyla elde edilen basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.136 ve Şekil 4.137'den elde edilmiştir (Denklem (4.12)). Bu denklem elde edilirken $R_c=0.10$ m'ye ait veriler yapının kret hava payı çok düşük olduğundan dolayı anlamlı veriler elde edilemediği için kullanılmamıştır. Şekil 4.136'da basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı, Şekil 4.137'de ise basamak azaltma faktörü farkının neredeyse yatay seyrettiği, yani basamak genişliğinden etkilenmediği gözlemlenmektedir. Bu nedenle Denklem (4.12)'de rölatif basamak genişliği parametresi dikkate alınmamıştır. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan ve ölçülen boyutsuz aşma verileri arasındaki ilişki Şekil 4.140'de verilmiştir Tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.138'deki eğilim çizgisinden pik dalga dikliğine bağlı olarak elde edilmiştir (Denklem (4.13)). Şekil 4.138'de basamak azaltma faktörünün pik dalga dikliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Göreceli basamak genişliği etkisinin görülmemesi nedeniyle Denklem (4.12) ve Denklem (4.13)'ten elde edilen değerler tek bir grafikte birleştirilerek yeni bir eğilim çizgisi elde edilmiş (Şekil 4.139), bu eğilim çizgisi kullanılarak Denklem (4.14) bulunmuştur. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan ve ölçülen boyutsuz aşma verileri arasındaki ilişki Şekil 4.141'de verilmiştir. Pik dalga periyoduna (T_{op}) bağlı yeni azaltma faktörü ifadeleri kullanılarak elde edilen boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi grafikleri Şekil 4.142 ve Şekil 4.143'te verilmiştir.

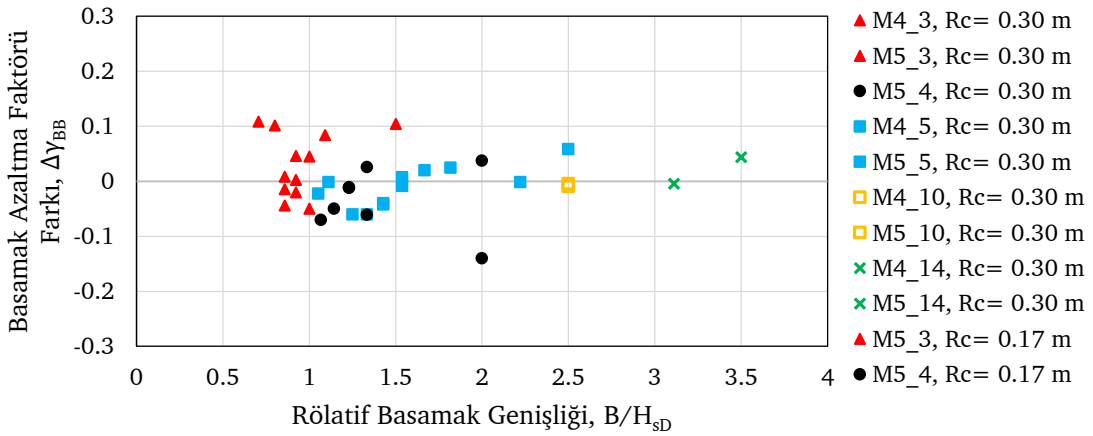
$$\text{HR-PR} \quad \gamma_{BB\_BSA} = 0.74 - 8.48 S_{op} \quad (4.12)$$

$$\text{FR} \quad \gamma_{BB\_BSA} = 0.67 - 6.46 S_{op} \quad (4.13)$$

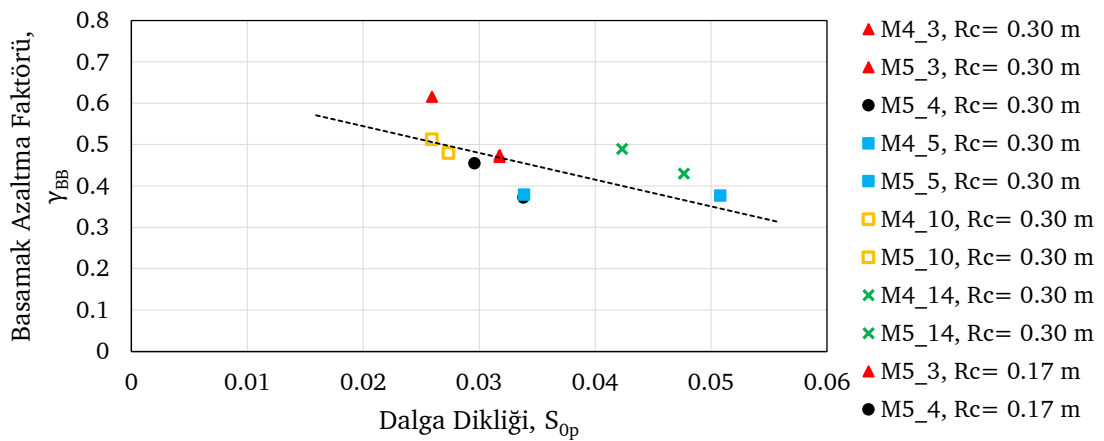
$$\gamma_{BB\_BSA} = 0.72 - 7.89 S_{op} \quad (4.14)$$



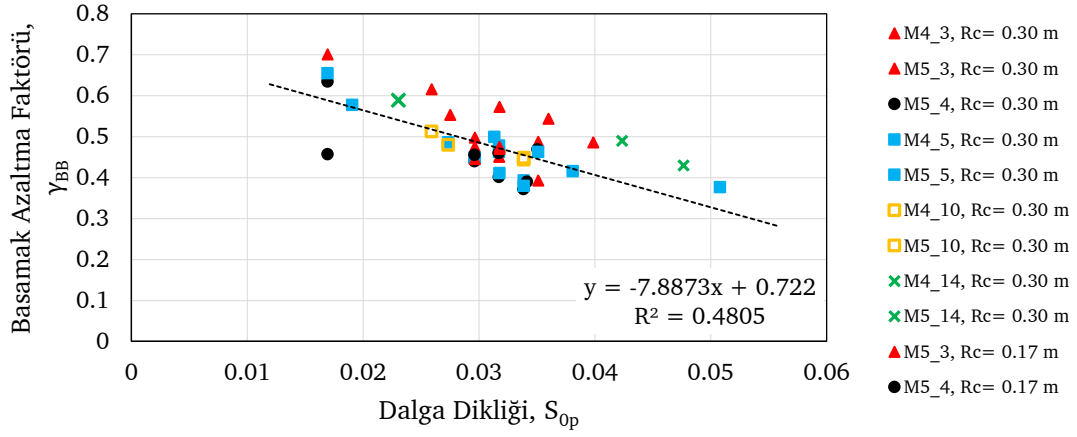
Şekil 4.136 0.65 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) (Denklem (4.12))



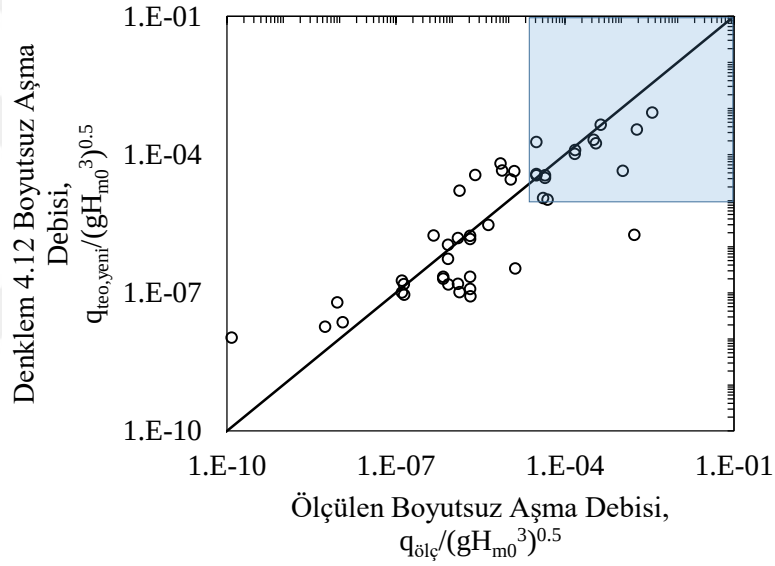
Şekil 4.137 0.65 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{sd} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) (Denklem (4.12))



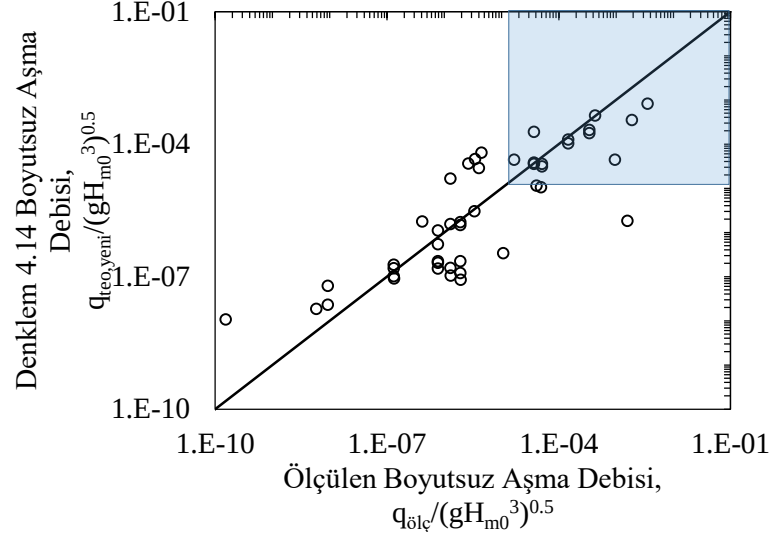
Şekil 4.138 0.65 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) (Denklem (4.13))



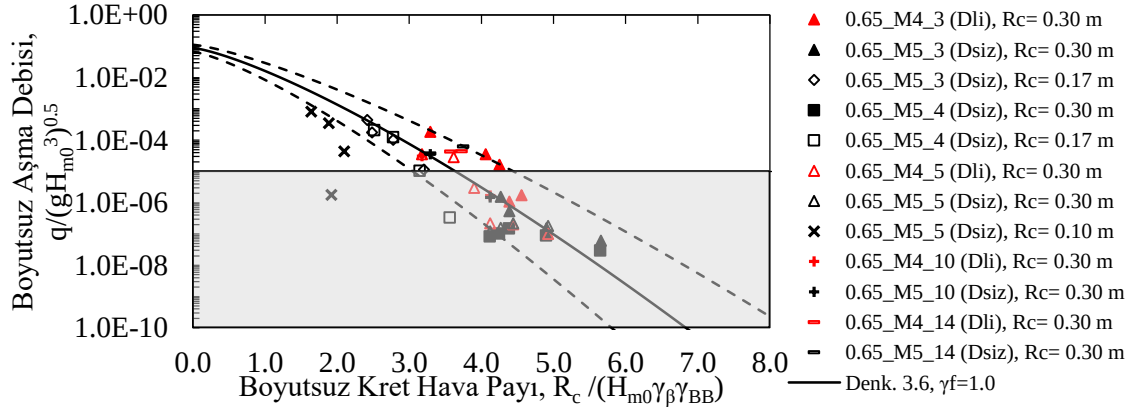
Şekil 4.139 0.65 m su derinliği için dalga dikliği S_{op} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.14))



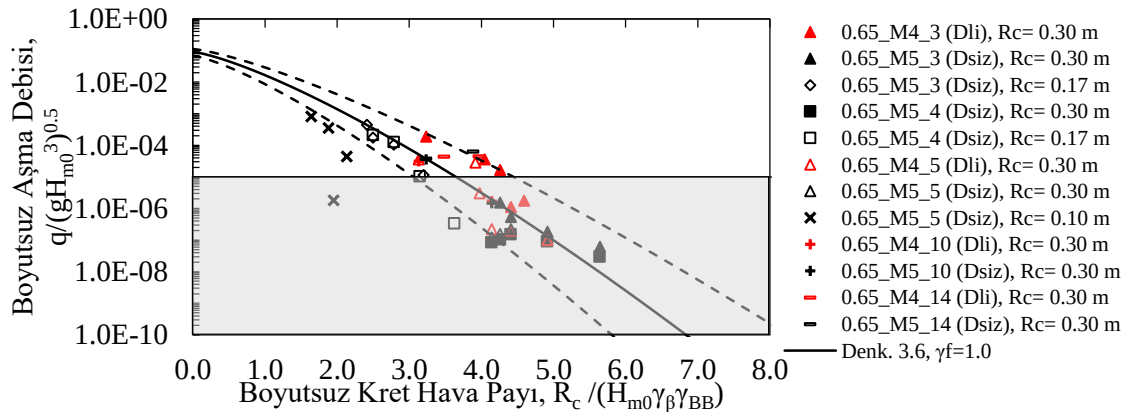
Şekil 4.140 0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.12) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op})



Şekil 4.141 0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.14) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri (T_{op})



Şekil 4.142 0.65 m su derinliği için (4.12) ve (4.13) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_{op} 'ye bağlı)



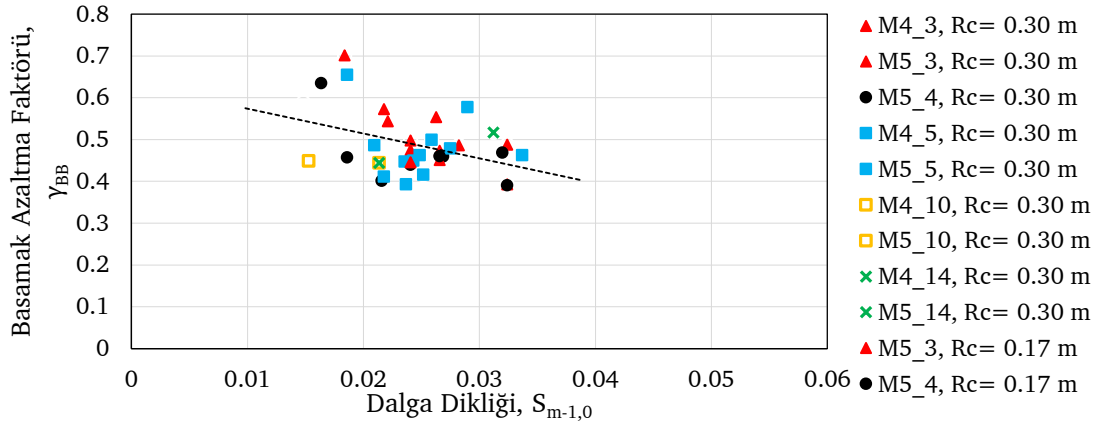
Şekil 4.143 0.65 m su derinliği için (4.14) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı (T_{op} 'ye bağlı)

Aynı deney verileri ile çok az ve kısmen şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi dalga enerji periyodu cinsinden Şekil 4.144 ve Şekil 4.145'teki eğilim çizgilerinden dalga dikliğine bağlı olarak elde edilmiştir (Denklem (4.15)). Bu denklem elde edilirken $R_c=0.10$ m'ye ait veriler yapının kret hava payı çok düşük olduğundan dolayı anlamlı veriler elde edilemediği için kullanılmamıştır. Şekil 4.145'te basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı, Şekil 4.145'te ise basamak azaltma faktörü farkının neredeyse yatay seyrettiği, yani basamak genişliğinden etkilenmediği gözlemlenmektedir. Bu nedenle Denklem (4.15)'te rölatif basamak genişliği parametresi dikkate alınmamıştır. Aynı şekilde tam şekil değiştiren basamaklı dalgakıran için basamak azaltma faktörü ifadesi Şekil 4.146'daki eğilim çizgisinden dalga dikliğine bağlı olarak elde edilmiştir (Denklem (4.16)). Şekil 4.146'da basamak azaltma faktörünün dalga dikliği arttıkça azaldığı görülmektedir. Göreceli basamak genişliği etkisinin görülmemesi nedeniyle Denklem (4.15) ve Denklem (4.16)'dan elde edilen değerler tek bir grafikte birleştirilerek yeni bir eğilim çizgisi elde edilmiş (Şekil 4.147), bu eğilim çizgisi kullanılarak Denklem (4.17) bulunmuştur. Elde edilen bu yeni ifade ile hesaplanan ve ölçülen boyutsuz aşma verileri arasındaki ilişki Şekil 4.148'de verilmiştir. Dalga enerji periyoduna ($T_{m-1,0}$) bağlı yeni basamak azaltma faktörü ifadeleri kullanılarak elde edilen boyutsuz kret hava payına karşılık boyutsuz aşma debisi grafiği Şekil 4.149 ve Şekil 4.150'de verilmiştir. Verilerin çoğu %5 alt ve %5 üst güvenilirlik limitleri içerisinde kalmıştır.

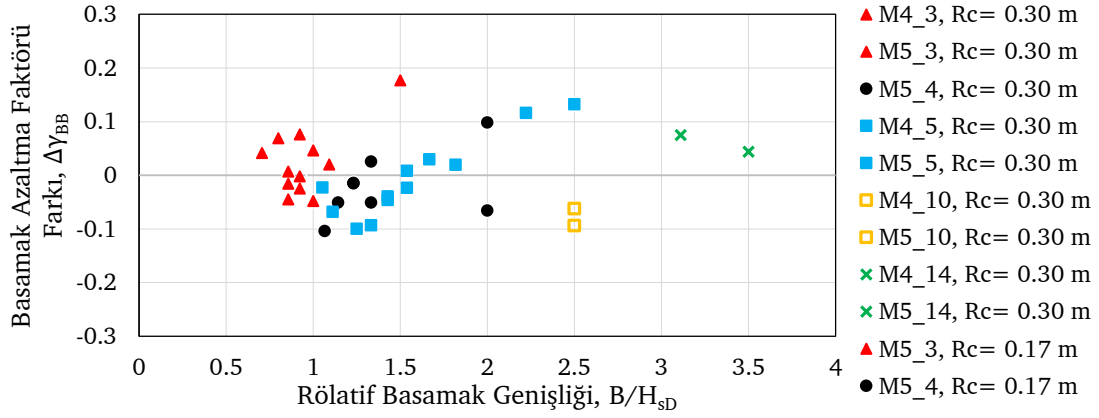
$$\text{HR-PR} \quad \gamma_{BB\_BSA} = 0.59 - 5.93S_{m-1,0} \quad (4.15)$$

$$\text{FR} \quad \gamma_{BB\_BSA} = 0.68 - 9.95S_{m-1,0} \quad (4.16)$$

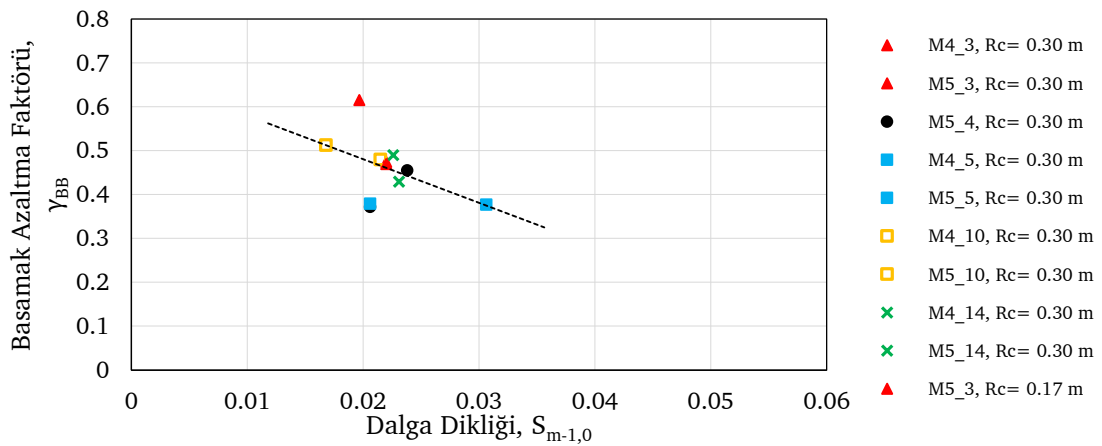
$$\gamma_{BB\_BSA} = 0.61 - 5.51S_{m-1,0} \quad (4.17)$$



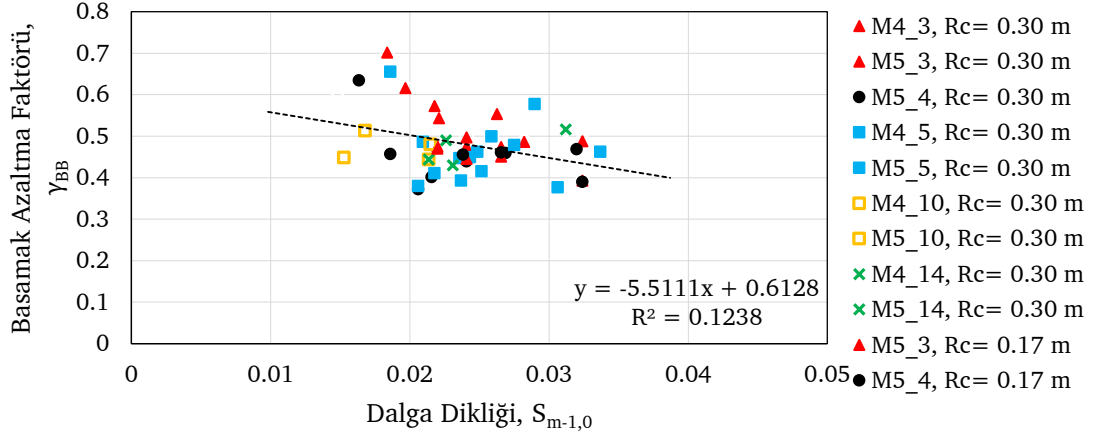
Şekil 4.144 0.65 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (HR-PR) (Denklem (4.15))



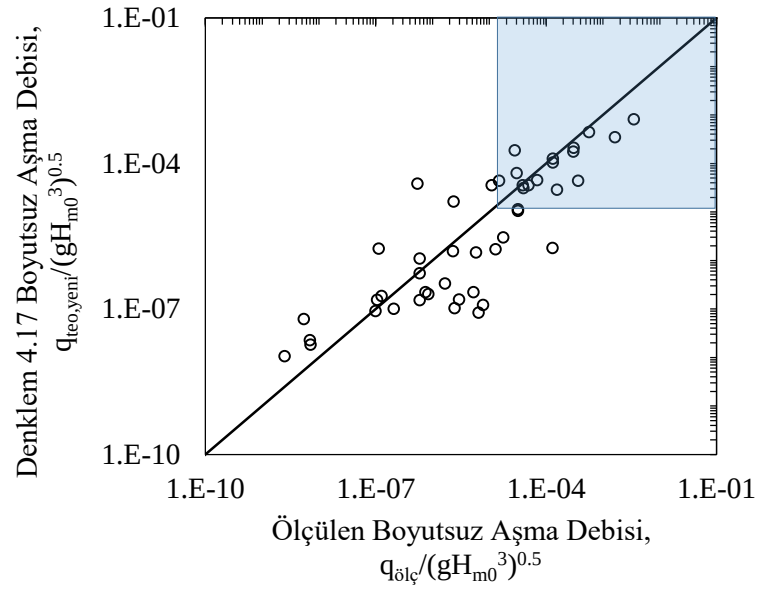
Şekil 4.145 0.65 m su derinliği için rölatif basamak genişliği B/H_{SD} 'ye karşılık basamak azaltma faktörü farkı $\Delta\gamma_{BB}$ (HR-PR) (Denklem (4.15))



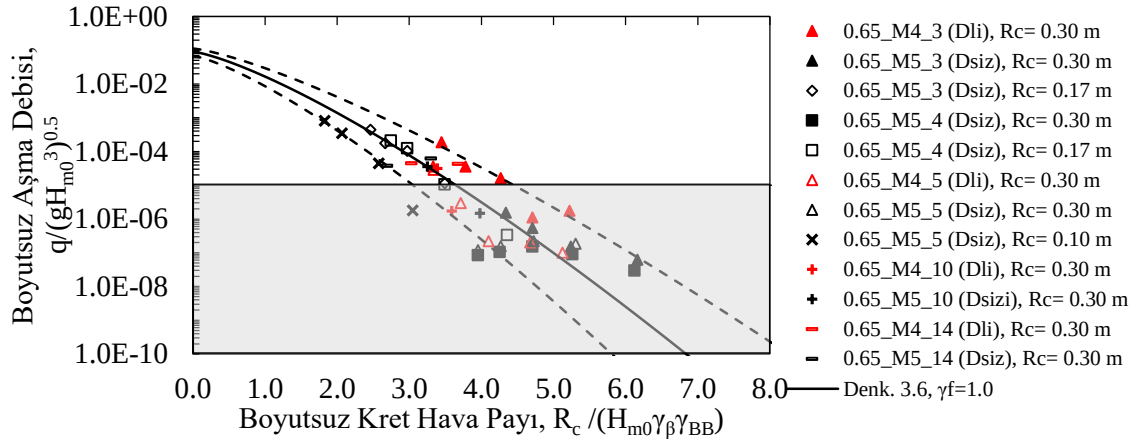
Şekil 4.146 0.65 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (FR) (Denklem (4.16))



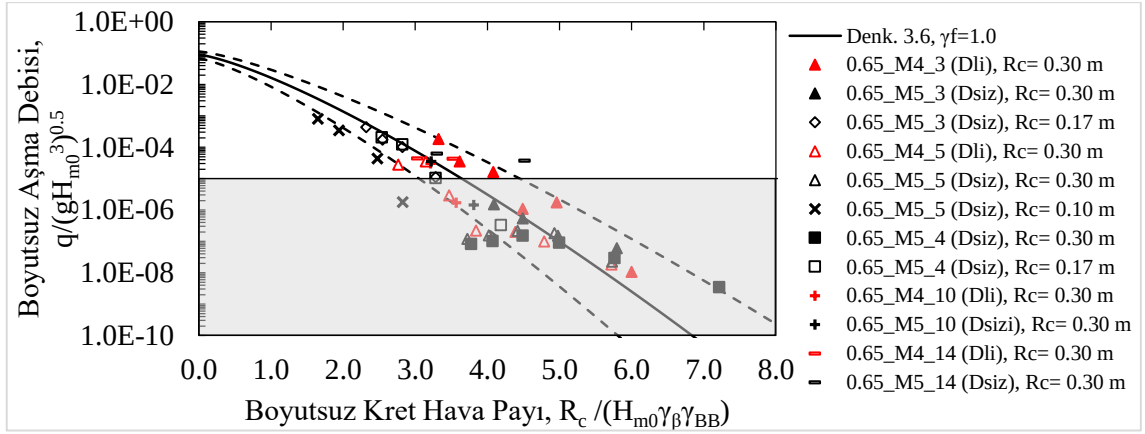
Şekil 4.147 0.65 m su derinliği için dalga dikliği $S_{m-1,0}$ 'a karşılık basamak azaltma faktörü γ_{BB} (Denklem (4.17))



Şekil 4.148 0.65 m su derinliğinde ölçülen boyutsuz aşma debisine karşılık Denklem (4.17) ile hesaplanan boyutsuz aşma debisi değerleri ($T_{m-1,0}$)



Şekil 4.149 0.65m su derinliği için (4.15) ve (4.16) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)



Şekil 4.150 0.65m su derinliği için (4.17) azaltma faktörü ifadelerinin kullanımı ($T_{m-1,0}$ 'a bağlı)

5

Sonuç ve Öneriler

Yapılan deneysel çalışma birim genişliğe sahip bir dalga kanalında, alt şevde 1/1.5 üst şevde ½ eğime sahip basamaklı dalgakıran modeli ile gerçekleştirilmiştir. Alt şev ve basamakta küp beton elemanlar, üst şevde ise taş elemanlar kullanılmıştır.

Deneyler 0.45 m (BSÜ), 0.55 m (BSS) ve 0.65 m (BSA) olmak üzere üç farklı su derinliğinde; 3D_n, 4D_n, 5D_n, 10D_n ve 14D_n basamak genişliklerinde ve farklı kret hava paylarında gerçekleştirilmiştir. Böylece basamağın su seviyesine göre konumunun, basamak genişliğinin aşma debisi ve yansımaya olan etkileri araştırılmıştır.

Gerçekleştirilen deneylerde, 0.45 m su derinliğinde R_c= 0.50 m, 0.37 m, 0.30 m ve 0.20 m kret hava payları ile, 0.55 m su derinliğinde R_c= 0.40 m, 0.27 m, 0.20 m ve 0.10 m kret hava payları ile, 0.65 m su derinliğinde R_c= 0.30 m, 0.17 m, 0.10 m kret hava payları ile çalışılmıştır.

0.45m su derinliğinde (BSÜ) 131 adet, 0.55m su derinliğinde (BSS) 65 adet ve 0.65m su derinliğinde (BSA) 107 adet olmak üzere toplam 303 adet deney bu deneylerin kontrolleri ile birlikte toplam 909 adet deney gerçekleştirilmiştir.

Alt şev ve basamaktaki beton elemanlar çift piramit düzenli ve düzensiz dizilim yöntemine göre yerleştirilmiştir. Düzenli dizilim yöntemine göre yerleştirilen modeller için M4, düzensiz dizilim yöntemine göre yerleştirilen modeller içinse M5 isimleri kullanılmıştır. Ek olarak model isimlerinde basamak genişliği 3D_n için (M4_3 ve M5_3), 4D_n için (M5_4), 5D_n için (M4_5 ve M_5), 10D_n için (M4_10 ve M_10), 14D_n için (M4_14 ve M_14) ayrıca belirtilmiştir.

Yansıma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- 1) Modellerin yansıma karşı performansları sadece üç basamak genişliği için değerlendirilmiştir. Bunlar $3D_n$, $4D_n$ ve $5D_n$ (dar basamak genişliği) basamak genişlikleridir. $10D_n$ ve $14D_n$ (geniş basamak) basamak genişlikleri yansıma etkilerinin değerlendirilmesinde yer almamıştır. Yansımanın stabilite katsayısına göre değişimi önce basamak genişliğine ($3D_n$ (3×4), $4D_n$ (4×4) ve $5D_n$ (5×4)), sonra su derinliğine (0.45m BSÜ, 0.55 m BSS, 0.65 m BSA) göre gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Ancak basamak genişliğinin yansıma katsayıları üzerine belirgin bir etkisi belirlenememiştir. Basamak genişliği etkisinin gözlenememiş olmasının nedeni basamak genişliğindeki değişimin küçük olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.
- 2) Çok küçük stabilite sayılarında üç farklı su derinliği için de yansıma katsayılarında belirgin bir fark oluşmamıştır, tüm veriler birbirlerine yakındır. Ancak stabilite sayısının artması ile su derinliklerinin etkisi belirginleşmeye başlamıştır. 0.45 m su derinliğinde yansıma katsayılarının en büyük olduğu onu sırasıyla 0.65 m ve 0.55 m su derinlikleri izlediği gözlenmiştir.
- 3) 0.45 m su derinliğinde basamak genişliğinin stabiliteye etkisi net bir şekilde gözlenememiştir. Stabilite sayısı arttıkça yansıma katsayısının hafif de olsa arttığı izlenmektedir. Bu su derinliği yapının en stabil yani çok fazla hasar görülmediği, (yapı geometrisinin değişmediği) durumdur. Bu nedenle yansımanın stabilite sayısı ile artması dalga yüksekliğindeki artışla ilişkilendirilmiştir.
- 4) 0.55 m su derinliğinde, yani basamağın sakin su seviyesinde olması durumunda düzenli dizilim ve $5D_n$ basamak genişliğinde yansımanın $3D_n$ basamak genişliğine göre belirgin bir şekilde azaldığı izlenmiştir. Ancak düzensiz dizilimde $3D_n$ basamak genişliğine sahip model çok çabuk hasar aldığından, deneyler çok ileri götürülemedi. Bu nedenle basamak genişliği etkisi incelenememiştir. Bu su derinliğinde yansıma katsayıları çok büyük saçılım göstermiştir ve stabilite sayısının artması ile yansıma katsayısı azalma eğilimi göstermiştir. Bu durum, basamağın şekil

değiştirmesinden dolayı yapı geometrisinin değişimi olarak açıklanmaktadır.

- 5) 0.65 m su derinliği yani batık basamak durumunda (BSA), 0.45 m su derinliğine (BSÜ) göre yansıma katsayısı önemli ölçüde azalmaktadır. Bunun nedeni dalganın daha yatık olan üst şevde tırmanması ve bu şevde taş koruma elemanları kullanılmış olması olarak yorumlanmıştır. Bununla birlikte yansıma 0.55 m'ye (BSS) göre daha büyüktür. Batık basamak durumunda alt şev ve basamakta küp beton elemanların yerleştirme şeklinin yansıma üzerine etkisi izlenmemiştir.
- 6) Yansıma katsayıları 0.45 m su derinliği (BSÜ) için 0.265-0.403 aralığında, 0.55 m su derinliği (BSS) için 0.096-0.323 aralığında, 0.65 m su derinliği (BSA) için 0.176-0.277 aralığında ölçülmüştür.
- 7) Aşmanın yansıma üzerindeki etkileri çalışılırken 10^{-5} boyutsuz aşma debisi altında kalan aşma değerleri sıçrama olarak gözlendiğinden yansımaların değerlendirilmesi sırasında bu şartlar “aşma yok” olarak kabul edilmiştir.
- 8) Aşma miktarı arttıkça yansımanın azaldığı gözlenmiştir.

Aşma Sonuçlarının Değerlendirilmesi

- 9) Aynı kret hava payı için basamağın sakin su seviyesine göre konumunun etkisi araştırıldığında kret hava payı $R_c=0.30$ m'de aşmalar sıçrama şeklinde olduğundan sonuç elde edilememiştir. $R_c=0.20$ m olduğunda basamağın su seviyesi üzerinde olması durumu basamağın su seviyesinde olması durumuna göre daha yüksek performans göstermiştir. Kret hava payı $R_c=0.10$ m için BSS (0.55 m) ve BSA (0.65 m) olmak üzere iki durum karşılaştırılmıştır. Basamağın su seviyesinde olması durumu (BSS), batık basamak durumuna (BSA) göre daha iyi bir performans göstermiştir.
- 10) Aynı kret hava payı ve aynı su derinliği için basamak genişliğinin artması aşma performansını artırmaktadır.
- 11) Her üç su derinliği için ölçülen boyutsuz aşma debileri, $\gamma_{BB,EO}$ ve $\gamma_{BB,VdM}$ basamak azaltma faktörlerin kullanılarak hesaplanan boyutsuz aşma debileri ile karşılaştırılmıştır.
 - 0.45 m su derinliğinde $\gamma_{BB,VdM}$ basamak azaltma faktörünün kullanılması, 10^{-5} ve 10^{-8} aralığındaki aşma debilerinin daha büyük

hesaplanması ile sonuçlanmıştır. 10^{-5} 'ten büyük debiler daha iyi öngörülmüştür. $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörüyle ise hemen hemen tüm veriler büyük hesaplanmıştır. Bu su derinliği için basamak azaltma faktörleri pik periyot ve dalga enerji periyotlarının ayrı ayrı dikkate alınması ile yeniden hesaplanmıştır. Yeni hesaplanan basamak azaltma faktörlerinde aşmalar daha iyi öngörülmüş ve veriler %90 güven limitleri içinde kalmıştır.

- 0.55 m su derinliğinde $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri ile hesaplanan aşma debileri ile ölçüm verileri değerlendirildiğinde büyük saçılımlar görülmüştür. Bu su derinliğinde basamak etkisi görülmezken, aşmayı kontrol eden parametre dalga dikliği olmuştur.
- 0.65 m su derinliğinde $\gamma_{BB,VdM}$ ve $\gamma_{BB,EO}$ basamak azaltma faktörleri ile hesaplanan aşma debileri ile ölçüm verileri değerlendirildiğinde bu su derinliğinde de basamak etkisi gözlenmemiş ve aşmayı dalga dikliği kontrol etmiştir. Bu su derinliğinde pik periyot ve dalga enerji periyodu kullanılarak elde edilen basamak azaltma faktörleri ile aşmalar hesaplandığında saçılım azalmıştır.

12) $10D_n$ ve $14D_n$ 'e sahip modellerde yalnızca 0.65 m su derinliğinde (BSA) limitli sayıdaki deneylerde aşma ölçülebilmektedir. Bu veriler geniş basamağa ($10D_n$ ve $14D_n$) sahip modellerin etkisinin anlaşılabilmesi için yeterli olmamıştır. Geniş basamağın aşma performansına etkisinin belirlenebilmesi için 0.45 m ve 0.55 m su derinliklerinde aşmaya olanak verecek kret hava paylarında deneyler yapılması gerekmektedir. Tüm su derinliklerinde bu etkinin anlaşılabilmesi amacıyla daha fazla model deneyi verisine ihtiyaç duyulmaktadır.

13) Aşma verilerinin bu ifadelerle tam olarak uyuşmaması sonucu mevcut modeller için üç farklı su derinliğine ait yeni basamak azaltma faktörleri önerilmiştir. Düşük kretli modellere ait ($R_c=0.10$ m) veriler bu değerlendirmelerde kullanılmamıştır. Bu basamak azaltma faktörleri; hem pik periyot hem de dalga enerji periyotları kullanılarak elde edilmiştir.

14) 0.65 m su derinliğinde $3D_n$ ve $5D_n$ basamak genişlikleri karşılaştırıldığında $5D_n$ basamak genişliğinde aşma daha az gözlenmiş olmasına rağmen 0.55 ve 0.65 m su derinliklerinde tüm verilerin birlikte değerlendirilmesi durumunda belirgin bir basamak etkisi gözlenmemiştir. Ancak batık basamak (BSA) ve basamağın su seviyesinde olması (BSS) durumlarında, bu durum basamak genişliği etkisinin olmadığı anlamına gelmemelidir. Çünkü geniş basamak ile çok az sayıda deney yapılmıştır ve bu nedenle sadece bu deney koşulları için yorumlar gerçekleştirilmiştir.

ÖNERİLER

Geniş basamağın aşma üzerine etkisi ve basamak azaltma faktörü ifadesinde göreceli basamak seviyesinin (d_b/d) etkisinin araştırılması faydalı olacaktır.

- [1] W. F. Baird and K. R. Hall, "The Design of Breakwaters Using Quarried Stones," in *Proc. 19th Conf. Coastal Eng., ASCE*, 1984, pp. 2580–2591.
- [2] T. Jensen, O. J., Sorensen, "Hydraulic performance of berm breakwaters. Berm Breakwaters: Unconventional Rubble-Mound Breakwaters," New York, 1988.
- [3] C. P. Sayao, O. J., Fournier, "Hydraulic design of offshore breakwater in Sergipe, Brazil," in *Proceedings of the International Conference on Civil Engineering in the Oceans*, 1992, pp. 679–693.
- [4] J. Van der Meer and S. Sigurdarson, "Geometrical Design of Berm Breakwaters," *Coast. Eng. Proc.*, 2014.
- [5] D. Zviely, M. Bitan, and D. M. DiSegni, "The effect of sea-level rise in the 21st century on marine structures along the Mediterranean coast of Israel: An evaluation of physical damage and adaptation cost," *Appl. Geogr.*, vol. 57, no. February, pp. 154–162, 2015.
- [6] K. Pillai, A. Etemad-Shahidi, and C. Lemckert, "Wave overtopping at berm breakwaters: Review and sensitivity analysis of prediction models," *Coast. Eng.*, vol. 120, no. October 2016, pp. 1–21, 2017.
- [7] "Hanstholm Harbour." [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=682&tbm=isch&sa=1&ei=Hd7RXKKqLYbUwQLU6InoBQ&q=hanstholm+harbour&oq=hanstholm+&gs_l=img.1.1.35i39l2j0i19l5j0i30i19l3.204722.206385..208655...0.0..0.158.759.0j5.....1....1..gws-wiz-img.V9yu-UtdafY#imgsrc=2rwI5--oyg.
- [8] "St . Tropez Limanı," 2016. [Online]. Available: https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=jqbYXNf9OsTXwQKR0aOICw&q=marina+st+tropez&oq=marina+st+&gs_l=img.1.0.0i30j0i8i30i9.20831.22325..23348...0.0..0.126.487.0j4.....1....1..gws-wiz-img.....0i67j0.8nBuh1fjtUA#imgsrc=FQkOVRxMtYSzLM:%0A.
- [9] "Port of Coruna." [Online]. Available: https://www.google.com/search?tbm=isch&sa=1&ei=FafYXMGpLrWI1fAP3_yBmA4&q=breakwater&oq=break&gs_l=img.1.0.35i39l2j0i67j0i6.104054.104887..106097...0.0..0.155.621.0j5.....1....1..gws-wiz-img.PynoI3sqIYA#imgsrc=VgwIKpcDoqpqjM:
- [10] J. Van der Meer and S. Sigurdarson, *Design and Construction of Berm Breakwaters*. World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2017.
- [11] P. Rajendra, K., Balaji, R., Mukul, "Review of Indian research on innovative breakwaters," *Indian J. Geo Mar. Sci.*, vol. 46, no. 03, pp. 431–452, 2017.
- [12] US Army Corps of Engineers, *Coastal Engineering Manual*. Washington DC, USA, 2006.

- [13] A. B. Frens, M. R. A. Van Gent, and J. Olthof, "Placement Methods for Antifer Armour Units," 2009.
- [14] "Accropode." [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=731&tbm=isch&sa=1&ei=32rPXMzyD8bdwAK-6Y2IBA&q=core-loc+breakwater&oq=core-loc+breakwater&gs_l=img.3...286128.289732..290534...0.0..0.113.1053.0j10.....1....1..gws-wiz-img.U_D6NBzoXak#imgsrc=XdwR-Y6WAvnBSM:
- [15] "Core-Loc," 2001. [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=731&tbm=isch&sa=1&ei=32rPXMzyD8bdwAK-6Y2IBA&q=core-loc+breakwater&oq=core-loc+breakwater&gs_l=img.3...286128.289732..290534...0.0..0.113.1053.0j10.....1....1..gws-wiz-img.U_D6NBzoXak#imgsrc=HT3co8L1ymHICM:
- [16] "Dolos Örneği." [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=682&tbm=isch&sa=1&ei=AmzPXPCSMYvOwAKU6oioCg&q=dolos+breakwater&oq=dolos+breakwater&gs_l=img.3..0i19.307320.309954..310733...0.0..0.236.1493.1j11j1.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0j0i7i30j0i7i5i30j0i8i7i30j0:
- [17] "X-Block Örneği." [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=682&tbm=isch&sa=1&ei=hG3PXL6SJ5an1fAPiae4qAc&q=x+block+breakwater&oq=x+block+breakwater&gs_l=img.3...93145.96203..97107...0.0..0.109.1113.4j7.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0j0i7i30.JE8Pnz139BM#imgsrc=VLJplt.
- [18] "Tetrapod." [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=682&tbm=isch&sa=1&ei=5m3PXOnaIfHCxgOshKCABA&q=tetrapod+breakwater&oq=tet+breakwater&gs_l=img.1.0.0i7i30l3.130643.132307..133690...0.0..0.173.1039.1j8.....1....1..gws-wiz-img.....35i39j0.__78YQucMSs#imgdii=zll_
- [19] "Cube Örneği." [Online]. Available: https://www.google.com/search?biw=1536&bih=682&tbm=isch&sa=1&ei=Om3PXM6SE8XuxgPztqxY&q=cube+breakwater&oq=cube+breakwater&gs_l=img.3...68934.72703..73517...1.0..0.110.1009.3j7.....1....1..gws-wiz-img.....0i7i30j35i39j0j0i7i5i30.U3lRHM8GcMc#imgdii=UmIG6.
- [20] O. Yagci and S. Kapdasli, "Alternative placement technique for antifer blocks used on breakwaters," *Ocean Eng.*, 2003.
- [21] J. W. Van Der Meer, "Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack," *PhD Thesis*. 1988.
- [22] J. A. Battjes and H. W. Groenendijk, "Wave Height Distributions on Shallow Foreshores," *Coast. Eng.*, no. 40, pp. 161–182, 2000.
- [23] J. W. Van der Meer and K. W. Pilarczyk, "Stability of rubble mound slopes under random wave attack," in *Proc. 19th Conf. Coastal Eng., ASCE*, 1984, pp. 2620–2634.
- [24] PIANC, "Co International Navigation Association Association Internationale State-of-the-Art of Designing and Constructing Berm Breakwaters," 2003.

- [25] S. Sigurdarson and J. W. Van der Meer, "Wave Overtopping At Berm Breakwaters in Line With Eurotop," in *Coastal Engineering Proceedings*, 2012, vol. 1, no. 33, p. 12.
- [26] T. L. Andersen, "Hydraulic Response of Rubble Mound Breakwaters," Aalborg University, Denmark, 2006.
- [27] J. W. Van der Meer *et al.*, "EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures - Second Edition," 2018.
- [28] B. Zanuttigh and J. W. van der Meer, "Wave reflection from coastal structures in design conditions," *Coast. Eng.*, 2008.
- [29] T. Pullen, N. W. H. Allsop, T. Bruce, A. Kortenhaus, H. Schuttrumpf, and J. W. Van der Meer, "EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures," 2007.
- [30] J. W. Van der Meer *et al.*, "EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures. An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application," 2016.
- [31] Y. Yüksel *et al.*, "Kıyı Yapıları Planlama ve Tasarım Esasları," İstanbul, 2016.
- [32] A. Lissev, N., Torum, "Influence of the core configuration on the stability of berm breakwaters, Experimental model investigations," Trondheim, Norway, 1993.
- [33] N. Lissev and A. Tørum, "Influence of the Core Configuration on the Stability of Berm Breakwaters," 2015.
- [34] A. Toørum, F. Kuhnén, and A. Menze, "On berm breakwaters. Stability, scour, overtopping," *Coast. Eng.*, vol. 49, no. 3, pp. 209–238, 2003.
- [35] A. Alikhani, "On Reshaping Breakwaters," Aalborg University, Denmark, 2000.
- [36] J. W. Van der Meer and J. P. F. M. Janssen, "Wave run-up and wave overtopping at dikes and revertments," 1994.
- [37] M. W. Owen, *Design of seawalls allowing for wave overtopping*. 1980.
- [38] J. W. Van der Meer, "Technical report wave run-up and wave overtopping at dikes," *Tech. Advis. Comm. Flood Defence, Delft, Netherlands*, p. 43, 2002.
- [39] P. Besley, "Wave overtopping of seawalls, design and assessment manual," *R\&D Tech. Rep. W178*, 199AD.
- [40] M. R. A. van Gent, H. F. P. van den Boogaard, B. Pozueta, and J. R. Medina, "Neural network modelling of wave overtopping at coastal structures," *Coast. Eng.*, 2007.
- [41] H. Verhaeghe, "Neural Network Prediction of Wave Overtopping at Coastal Structure (PhD thesis)," Ghent University, 2005.
- [42] H. F. Lykke Andersen, T., Burcharth, "CLASH D24 report on additional tests part D (Report no. EVK3-CT-2001-00058)," 2004.
- [43] J. Krom and V. Oord, "Wave overtopping at rubble mound breakwaters with a non-reshaping berm," *Delft Univ. Technol.*, no. December, 2012.

- [44] M. Salauddin, A. Broere, J. W. V. D. Meer, H. J. Verhagen, and E. Bijl, "A New Symmetrical Unit for Breakwater Armour: First Tests," in *Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters 2015: Resilient Coastal Communities - Proceedings of the Coastal Structures and Solutions to Coastal Disasters Joint Conference 2015*, 2015.
- [45] A. I. Khan, *Fluid Mechanics*. Saunders College Publishing, 1995.
- [46] S. A. Hughes, "Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering," in *Advanced Series on Ocean Engineering*, 1993.
- [47] K. W. Wilson and H. R. Cross, "Scale Effects in Rubble-Mound Breakwaters," in *13th Int. Conf. Coastal Eng., ASCE. 10-14 June, Vancouver, Canada*, 1972.
- [48] H. F. Burcharth, Z. Liu, and P. Troch, "Scaling of Core Material in Rubble Mound Breakwater Model Tests," in *Proceedings of the COPEDEC V, 19-23 April, Cape Town, South Africa*, 1999, pp. 1518–1528.
- [49] H. Schüttrumpf and H. Oumeraci, "Layer thicknesses and velocities of wave overtopping flow at seadikes," *Coast. Eng.*, 2005.
- [50] M. J. Tucker, *Waves in Ocean Engineering Measurement, Analysis, Interpretation*. Ellis Horwood series in Marine Science, 1991.
- [51] K. Hasselmann, D. B. Ross, P. Müller, and W. Sell, "A Parametric Wave Prediction Model," *J. Phys. Oceanogr.*, 1976.
- [52] M. R. A. van Gent and G. B. H. Spaan, "Breakwaters with A Single Layer of Cubes-Report H3387," Delft, Netherland, 1998.
- [53] M. R. A. Van Gent, "Hearing," 2006.
- [54] C. Gültekin, "Basamaklı Dalgakıranların Hidrolik Performansı," Yıldız Teknik Üniversitesi, 2017.



Tablo A.1 0.45 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.50$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzenli, M4	0.50	W1	0.05	0.85	0.90	0.92	0.299	0.044	0.040	0.038
			W2	0.08	1.20	1.27	1.36	0.325	0.036	0.032	0.028
			W3	0.10	1.21	1.34	1.36	0.314	0.044	0.036	0.035
			W4	0.11	1.54	1.94	1.69	0.387	0.030	0.019	0.025
			W4.1	0.11	1.54	1.94	1.69	0.357	0.030	0.019	0.025
			W4.2	0.11	1.54	1.94	1.69	0.383	0.030	0.019	0.025
			W5	0.14	1.48	1.95	1.58	0.344	0.041	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.55	2.45	1.69	0.379	0.040	0.016	0.034
			W6	0.15	1.51	2.18	1.62	0.354	0.042	0.020	0.037
			W7	0.16	1.61	2.61	1.69	0.363	0.040	0.015	0.036
			W8	0.15	1.60	2.81	1.69	0.389	0.038	0.012	0.034
			W9	0.15	1.60	2.90	1.69	0.388	0.038	0.011	0.034
			W10	0.17	1.64	3.86	1.90	0.437	0.041	0.007	0.030
			W11	0.18	1.67	3.43	1.69	0.393	0.041	0.010	0.040

Tablo A.1 0.45 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.50$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , VdM	Y _{BB} , EO,R
3	Düzenli, M4	0.50	W1	-	-	0.89	10.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	6.25	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	5.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W4.1	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W4.2	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W5	-	-	2.50	3.57	PR	-	-
			W5.1	-	-	2.68	3.33	FR	-	-
			W6	-	-	2.68	3.33	FR	-	-
			W7	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W8	-	-	2.68	3.33	FR	-	-
			W9	5.90E-10	3.24E-09	2.68	3.33	FR	4.89E-01	4.86E-01
			W10	-	-	3.04	2.94	FR	-	-
			W11	1.24E-09	5.20E-09	3.21	2.78	FR	4.65E-01	4.77E-01

Tablo A.2 0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.50$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.50	W1	0.05	0.85	0.90	0.92	0.285	0.044	0.040	0.038
			W2	0.08	1.20	1.26	1.29	0.301	0.036	0.032	0.031
			W3	0.10	1.21	1.32	1.29	0.303	0.044	0.037	0.039
			W4	0.11	1.52	1.97	1.69	0.365	0.030	0.018	0.025
			W4.1	0.12	1.46	1.90	1.58	0.337	0.036	0.021	0.031
			W4.2	0.13	1.53	2.23	1.69	0.363	0.036	0.017	0.029
			W5	0.14	1.42	1.94	1.58	0.312	0.045	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.54	2.52	1.69	0.345	0.041	0.015	0.034
			W6	0.16	1.50	2.25	1.69	0.316	0.045	0.020	0.036
			W7	0.16	1.54	2.67	1.69	0.331	0.043	0.014	0.036
			W8	0.17	1.57	2.88	1.69	0.347	0.044	0.013	0.038
			W9	0.18	1.58	2.96	1.69	0.320	0.046	0.013	0.040
			W10	0.16	1.67	3.84	2.00	0.357	0.037	0.007	0.026
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.2 0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.50$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
3	Düzensiz, M5	0.50	W1	-	-	0.89	10.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	6.25	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	5.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	4.17	PR	-	-
			W4.2	-	-	2.32	3.85	PR	-	-
			W5	1.40E-09	8.53E-09	2.50	3.57	PR	4.75E-01	4.55E-01
			W5.1	6.50E-10	3.57E-09	2.68	3.33	FR	4.89E-01	4.73E-01
			W6	7.67E-10	3.82E-09	2.86	3.13	FR	4.81E-01	4.56E-01
			W7	6.33E-10	3.16E-09	2.86	3.13	FR	4.81E-01	4.65E-01
			W8	6.33E-10	2.88E-09	3.04	2.94	FR	4.73E-01	4.64E-01
			W9	6.78E-09	2.84E-08	3.21	2.78	FR	4.65E-01	4.58E-01
			W10	4.35E-09	2.17E-08	2.86	3.13	FR	5.27E-01	4.92E-01
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.3 0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.37$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.37	W1	-	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	-	-	-	-	-	-
			W4	-	-	-	-	-	-	-	-
			W4.1	-	-	-	-	-	-	-	-
			W4.2	-	-	-	-	-	-	-	-
			W5	0.14	1.42	1.94	1.58		0.045	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.54	2.52	1.69		0.041	0.015	0.034
			W6	0.16	1.50	2.25	1.69		0.045	0.020	0.036
			W7	0.16	1.54	2.67	1.69		0.043	0.014	0.036
			W8	0.17	1.57	2.88	1.69		0.044	0.013	0.038
			W9	0.18	1.58	2.96	1.69		0.046	0.013	0.040
			W10	0.16	1.67	3.84	2.00		0.037	0.007	0.026
			W11	0.18	1.67	3.48	2.00		0.041	0.010	0.029

Tablo A.3 0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.37$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	γ _{BB, vdm}	γ _{BB, EO,R}
3	Düzensiz, M5	0.37	W1	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	-	-	-	-	-
			W4	-	-	-	-	-	-	-
			W4.1	-	-	-	-	-	-	-
			W4.2	-	-	-	-	-	-	-
			W5	-	-	-	-	-	-	-
			W5.1	5.42E-09	3.30E-08	2.50	2.64	PR	4.75E-01	4.55E-01
			W6	5.42E-09	2.98E-08	2.68	2.47	FR	4.89E-01	4.73E-01
			W7	9.58E-09	4.78E-08	2.86	2.31	FR	4.81E-01	4.56E-01
			W8	9.58E-09	4.78E-08	2.86	2.31	FR	4.81E-01	4.65E-01
			W9	9.58E-09	4.37E-08	3.04	2.18	FR	4.73E-01	4.64E-01
			W10	2.83E-08	1.18E-07	3.21	2.06	FR	4.65E-01	4.58E-01
			W11	2.92E-08	1.46E-07	2.86	2.31	FR	5.27E-01	4.92E-01

Tablo A.4 0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.20$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.20	W1	0.05	-	0.92	0.92		-	0.038	-
			W2	0.08	-	1.27	1.36		-	0.032	-
			W3	0.10	1.22	1.33	1.30		0.043	0.036	0.038
			W4	0.11	1.53	1.94	1.69		0.030	0.019	0.025
			W4.1	0.12	1.48	1.89	1.58		0.035	0.022	0.031
			W4.2	0.13	1.54	2.18	1.69		0.035	0.018	0.029
			W5	0.14	1.42	1.92	1.58		0.044	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.55	2.43	1.69		0.040	0.016	0.034
			W6	0.16	1.50	2.17	1.62		0.046	0.022	0.039
			W7	0.16	1.54	2.58	1.69		0.043	0.015	0.036
			W8	0.17	1.58	2.82	1.69		0.043	0.014	0.038
			W9	0.16	1.60	2.92	1.62		0.040	0.012	0.039
			W10	0.16	1.68	3.57	1.90		0.036	0.008	0.028
			W11	0.19	1.70	3.38	1.69		0.042	0.011	0.043

Tablo A.4 0.45 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.20$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , VdM	Y _{BB} , EO,R
3	Düzensiz, M5	0.20	W1	-	-	0.89	4.00	-	-	-
			W2	-	-	1.43	2.50	-	-	-
			W3	4.04E-09	4.08E-08	1.79	2.00	HR	4.49E-01	4.44E-01
			W4	5.93E-09	5.19E-08	1.96	1.82	HR	5.14E-01	5.03E-01
			W4.1	1.41E-08	1.09E-07	2.14	1.67	PR	4.91E-01	4.85E-01
			W4.2	2.43E-08	1.66E-07	2.32	1.54	PR	5.03E-01	4.89E-01
			W5	1.51E-07	9.17E-07	2.50	1.43	PR	4.75E-01	4.55E-01
			W5.1	1.34E-07	7.34E-07	2.68	1.33	FR	3.97E-01	3.72E-01
			W6	1.99E-07	9.92E-07	2.86	1.25	FR	3.48E-01	3.27E-01
			W7	1.77E-07	8.83E-07	2.86	1.25	FR	3.77E-01	3.47E-01
			W8	2.59E-06	1.18E-05	3.04	1.18	FR	3.57E-01	3.45E-01
			W9	7.89E-06	3.94E-05	2.86	1.25	FR	3.48E-01	3.73E-01
			W10	8.29E-07	4.14E-06	2.86	1.25	FR	4.44E-01	4.03E-01
			W11	1.97E-05	7.60E-05	3.39	1.05	FR	3.16E-01	3.53E-01

Tablo A.5 0.45 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.50$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
4	Düzensiz, M5	0.50	W1	0.05	0.85	1.25	0.92	0.265	0.044	0.021	0.038
			W2	0.08	1.20	1.26	1.29	0.294	0.036	0.032	0.031
			W3	0.10	1.21	1.33	1.29	0.284	0.044	0.036	0.039
			W4	0.11	1.52	1.97	1.69	0.356	0.030	0.018	0.025
			W4.1	0.12	1.46	1.89	1.58	0.324	0.036	0.022	0.031
			W4.2	0.13	1.53	2.22	1.69	0.345	0.036	0.017	0.029
			W5	0.14	1.42	1.93	1.58	0.300	0.045	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.54	2.48	1.69	0.336	0.041	0.016	0.034
			W6	0.16	1.50	2.20	1.69	0.306	0.045	0.021	0.036
			W7	0.16	1.54	2.62	1.62	0.331	0.043	0.015	0.036
			W8	0.17	1.57	2.86	1.69	0.351	0.044	0.013	0.038
			W9	0.18	1.58	2.98	1.69	0.350	0.046	0.013	0.040
			W10	0.18	1.57	3.84	1.90	0.403	0.047	0.008	0.040
			W11	0.19	1.57	3.51	1.69	0.357	0.049	0.010	0.043

Tablo A.5 0.45 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.50$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
4	Düzensiz, M5	0.50	W1	-	-	0.89	10.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	6.25	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	5.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	4.17	PR	-	-
			W4.2	-	-	2.32	3.85	PR	-	-
			W5	-	-	2.50	3.57	PR	-	-
			W5.1	-	-	2.68	3.33	FR	-	-
			W6	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W7	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W8	-	-	3.04	2.94	FR	-	-
			W9	-	-	3.21	2.78	FR	-	-
			W10	-	-	3.21	2.78	FR	-	-
			W11	3.60E-09	1.39E-08	3.39	2.63	FR	3.17E-01	2.96E-01

Tablo A.6 0.45 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.50$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzenli, M4	0.50	W1	0.05	0.85	0.90	0.98	0.320	0.044	0.040	0.033
			W2	0.07	1.19	1.24	1.36	0.337	0.032	0.029	0.024
			W3	0.09	1.20	1.31	1.36	0.336	0.040	0.034	0.031
			W4	0.11	1.56	2.68	1.69	0.394	0.029	0.010	0.025
			W4.1	0.12	1.56	2.46	1.60	0.362	0.032	0.013	0.030
			W4.2	0.14	1.56	3.22	1.69	0.384	0.037	0.009	0.031
			W5	0.14	1.43	2.46	1.58	0.346	0.044	0.015	0.036
			W5.1	0.15	1.56	3.76	1.69	0.376	0.040	0.007	0.034
			W6	0.16	1.52	3.14	1.62	0.360	0.044	0.010	0.039
			W7	0.17	1.56	4.07	1.69	0.363	0.045	0.007	0.038
			W8	0.17	1.61	4.40	1.69	0.383	0.042	0.006	0.038
			W9	0.18	1.61	4.45	1.62	0.386	0.045	0.006	0.044
			W10	0.17	1.65	4.74	1.90	0.433	0.040	0.005	0.030
			W11	0.20	1.64	4.53	1.69	0.388	0.048	0.006	0.045

Tablo A.6 0.45 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.50$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
5	Düzenli, M4	0.50	W1	-	-	0.89	10.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	7.14	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	5.56	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	4.17	PR	-	-
			W4.2	-	-	2.50	3.57	PR	-	-
			W5	-	-	2.50	3.57	PR	-	-
			W5.1	-	-	2.68	3.33	FR	-	-
			W6	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W7	-	-	3.04	2.94	FR	-	-
			W8	-	-	3.04	2.94	FR	-	-
			W9	-	-	3.21	2.78	FR	-	-
			W10	-	-	3.04	2.94	FR	-	-
			W11	-	-	3.57	2.50	FR	-	-

Tablo A.7 0.45 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri

Su Derinliği, $d= 0.45$ m											
B (D_n)	Yerleşim	R_c (m)	Dalga	H_{m0} (m)	$T_{m-1,0,R}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	T_p (s)	K_r	$S_{m-1,0,R}$	$S_{m-1,0}$	S_{0p}
5	Düzenli, M4	0.20	W1	0.05	0.85	0.88	0.93	0.295	0.045	0.041	0.037
			W2	0.08	1.21	1.27	1.30	0.323	0.035	0.032	0.030
			W3	0.10	1.23	1.34	1.30	0.317	0.042	0.036	0.038
			W4	0.11	1.52	1.90	1.69	0.401	0.031	0.020	0.025
			W4.1	0.12	1.47	1.87	1.58	0.376	0.036	0.022	0.031
			W4.2	0.13	1.52	2.13	1.69	0.400	0.036	0.018	0.029
			W5	0.14	1.42	1.90	1.58	0.358	0.045	0.025	0.036
			W5.1	0.15	1.53	2.39	1.69	0.397	0.041	0.017	0.034
			W6	0.16	1.49	2.19	1.69	0.372	0.046	0.021	0.036
			W7	0.17	1.54	2.58	1.69	0.398	0.046	0.016	0.038
			W8	0.17	1.57	2.81	1.69	0.412	0.044	0.014	0.038
			W9	0.18	1.58	2.94	1.69	0.430	0.046	0.013	0.040
			W10	0.16	1.62	3.79	1.90	0.468	0.039	0.007	0.028
			W11	0.20	1.57	3.47	1.69	0.422	0.052	0.011	0.045

Tablo A.7 0.45 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
5	Düzenli, M4	0.20	W1	-	-	0.89	4.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	2.50	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	2.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	1.82	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	1.67	PR	-	-
			W4.2	6.67E-09	4.54E-08	2.32	1.54	PR	4.72E-01	4.42E-01
			W5	1.83E-08	1.12E-07	2.50	1.43	PR	4.47E-01	4.08E-01
			W5.1	1.58E-08	8.70E-08	2.68	1.33	FR	4.62E-01	4.28E-01
			W6	9.17E-08	4.57E-07	2.86	1.25	FR	4.56E-01	4.10E-01
			W7	5.33E-08	2.43E-07	3.04	1.18	FR	4.50E-01	4.13E-01
			W8	2.90E-06	1.32E-05	3.04	1.18	FR	4.50E-01	4.23E-01
			W9	1.43E-05	6.00E-05	3.21	1.11	FR	4.43E-01	4.17E-01
			W10	4.10E-06	2.05E-05	2.86	1.25	FR	4.90E-01	4.42E-01
			W11	2.72E-05	9.69E-05	3.57	1.00	FR	4.28E-01	3.97E-01

Tablo A.8 0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.50$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz, M5	0.50	W1	0.05	0.85	0.89	0.92	0.289	0.044	0.040	0.038
			W2	0.08	1.19	1.23	1.25	0.303	0.036	0.034	0.033
			W3	0.10	1.21	1.32	1.29	0.283	0.044	0.037	0.039
			W4	0.11	1.54	1.98	1.69	0.351	0.030	0.018	0.025
			W4.1	0.12	1.48	1.92	1.58	0.321	0.035	0.021	0.031
			W4.2	0.13	1.55	2.22	1.69	0.348	0.035	0.017	0.029
			W5	0.14	1.37	1.95	1.58	0.289	0.048	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.57	2.50	1.69	0.318	0.039	0.015	0.034
			W6	0.16	1.52	2.24	1.62	0.288	0.044	0.020	0.039
			W7	0.16	1.57	2.64	1.69	0.309	0.042	0.015	0.036
			W8	0.16	1.63	2.88	1.69	0.329	0.039	0.012	0.036
			W9	0.17	1.64	3.02	1.69	0.328	0.041	0.012	0.038
			W10	0.16	1.75	3.82	1.90	0.380	0.033	0.007	0.028
			W11	0.19	1.67	3.48	1.69	0.331	0.044	0.010	0.043

Tablo A.8 0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.50$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	q _{ölç} (m ³ /s/m)	q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	γ _{BB} , VdM	γ _{BB} , EO,R
5	Düzensiz, M5	0.50	W1	-	-	0.89	10.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	6.25	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	5.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	4.55	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	4.17	PR	-	-
			W4.2	-	-	2.32	3.85	PR	-	-
			W5	-	-	2.50	3.57	PR	-	-
			W5.1	-	-	2.68	3.33	FR	-	-
			W6	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W7	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W8	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W9	5.83E-10	2.66E-09	3.04	2.94	FR	3.57E-01	3.68E-01
			W10	-	-	2.86	3.13	FR	-	-
			W11	-	-	3.39	2.63	FR	-	-

Tablo A.9 0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz, M5	0.30	W1	0.05	0.85	0.88	0.91	0.311	0.044	0.041	0.039
			W2	0.08	1.21	1.27	1.30	0.337	0.035	0.032	0.030
			W3	0.10	1.23	1.33	1.30	0.330	0.042	0.036	0.038
			W4	0.11	1.52	1.94	1.69	0.392	0.030	0.019	0.025
			W4.1	0.12	1.47	1.88	1.58	0.360	0.036	0.022	0.031
			W4.2	0.13	1.53	2.18	1.69	0.385	0.036	0.018	0.029
			W5	0.14	1.41	1.93	1.58	0.325	0.045	0.024	0.036
			W5.1	0.15	1.53	2.46	1.69	0.351	0.041	0.016	0.034
			W6	0.16	1.49	2.21	1.62	0.327	0.046	0.021	0.039
			W7	0.16	1.54	2.61	1.69	0.348	0.043	0.015	0.036
			W8	0.16	1.57	2.85	1.69	0.363	0.041	0.013	0.036
			W9	0.18	1.58	2.99	1.69	0.361	0.046	0.013	0.040
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.9 0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	q _{ölç} (m ³ /s/m)	q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	γ _{BB} , VdM	γ _{BB} , EO,R
5	Düzensiz, M5	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	3.75	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	3.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	2.73	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	2.50	PR	-	-
			W4.2	-	-	2.32	2.31	PR	-	-
			W5	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W5.1	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W6	7.08E-09	3.53E-08	2.86	1.88	FR	4.56E-01	4.11E-01
			W7	5.42E-09	2.70E-08	2.86	1.88	FR	4.56E-01	4.22E-01
			W8	1.53E-07	7.63E-07	2.86	1.88	FR	4.56E-01	4.31E-01
			W9	2.20E-07	9.20E-07	3.21	1.67	FR	4.43E-01	4.16E-01
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.10 0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.45 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz, M5	0.20	W1	0.05	0.85	0.88	0.92	0.280	0.045	0.041	0.038
			W2	0.08	1.21	1.26	1.35	0.300	0.035	0.032	0.028
			W3	0.10	1.23	1.32	1.29	0.294	0.042	0.037	0.039
			W4	0.11	1.52	1.95	1.69	0.362	0.031	0.019	0.025
			W4.1	0.12	1.47	1.89	1.58	0.328	0.036	0.022	0.031
			W4.2	0.13	1.46	1.93	1.59	0.357	0.039	0.022	0.033
			W5	0.14	1.41	1.89	1.58	0.295	0.045	0.025	0.036
			W5.1	0.14	1.52	2.52	1.69	0.326	0.039	0.014	0.031
			W6	0.15	1.48	2.28	1.69	0.295	0.044	0.018	0.034
			W7	0.16	1.53	2.67	1.69	0.324	0.044	0.014	0.036
			W8	0.16	1.57	2.92	1.69	0.345	0.042	0.012	0.036
			W9	0.17	1.56	2.99	1.69	0.339	0.045	0.012	0.038
			W10	0.16	1.62	3.90	2.00	0.400	0.039	0.007	0.026
			W11	0.19	1.58	3.42	1.69	0.346	0.049	0.010	0.043

Tablo A.10 0.45 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.45 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
5	Düzensiz, M5	0.20	W1	-	-	0.89	4.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.43	2.50	HR	-	-
			W3	-	-	1.79	2.00	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	1.82	HR	-	-
			W4.1	-	-	2.14	1.67	PR	-	-
			W4.2	3.50E-08	3.53E-07	2.32	1.54	PR	4.79E-01	4.46E-01
			W5	5.50E-08	3.35E-07	2.50	1.43	PR	4.67E-01	4.05E-01
			W5.1	1.35E-07	8.23E-07	2.50	1.43	PR	4.67E-01	4.34E-01
			W6	1.56E-07	8.56E-07	2.68	1.33	FR	4.62E-01	4.17E-01
			W7	5.54E-08	2.76E-07	2.86	1.25	FR	4.56E-01	4.20E-01
			W8	4.49E-07	2.24E-06	2.86	1.25	FR	4.56E-01	4.29E-01
			W9	9.51E-06	4.33E-05	3.04	1.18	FR	4.49E-01	4.20E-01
			W10	4.55E-06	2.27E-05	2.86	1.25	FR	4.56E-01	4.43E-01
			W11	1.99E-05	7.69E-05	3.39	1.05	FR	4.35E-01	4.09E-01

Tablo A.11 0.55 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.40$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzenli, M4	0.40	W1	0.05	0.86	1.23	0.84	0.283	0.043	0.021	0.045
			W2	0.07	1.17	1.34	1.30	0.234	0.033	0.025	0.027
			W3	0.09	1.20	1.32	1.30	0.231	0.040	0.033	0.034
			W4	0.11	1.20	1.81	1.74	0.251	0.049	0.022	0.023
			W5	0.14	1.40	1.69	1.50	0.281	0.046	0.031	0.040
			W6	0.16	1.48	1.91	1.62	0.234	0.047	0.028	0.039
			W7	0.17	1.56	2.12	1.74	0.239	0.045	0.024	0.036
			W8	0.17	1.63	2.34	1.74	0.226	0.041	0.020	0.036
			W9	0.18	1.66	2.42	1.74	0.125	0.042	0.020	0.038
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.11 0.55 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.40$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
3	Düzenli, M4	0.40	W1	-	-	0.89	8.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	5.71	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	4.44	HR	-	-
			W4	-	-	1.96	3.64	HR	-	-
			W5	-	-	2.50	2.86	PR	-	-
			W6	-	-	2.86	2.50	FR	-	-
			W7	1.81E-07	8.24E-07	3.04	2.35	FR	4.83E-01	4.61E-01
			W8	1.81E-06	8.23E-06	3.04	2.35	FR	4.83E-01	4.77E-01
			W9	6.67E-07	2.79E-06	3.21	2.22	FR	4.75E-01	4.75E-01
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.12 0.55 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.40$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.40	W1	0.05	0.86	0.90	0.84	0.251	0.044	0.040	0.045
			W2	0.07	1.18	1.22	1.30	0.185	0.032	0.030	0.027
			W3	0.09	1.21	1.27	1.30	0.172	0.040	0.036	0.034
			W4	0.10	1.54	1.78	1.74	0.141	0.027	0.020	0.021
			W5	0.13	1.38	1.66	1.50	0.120	0.044	0.030	0.037
			W6	0.14	1.46	1.93	1.62	0.090	0.042	0.024	0.034
			W7	-	-	-	-	-	-	-	-
			W8	-	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.12 0.55 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.40$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
3	Düzensiz M5	0.40	W1	-	-	0.89	8.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	5.71	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	4.44	HR	-	-
			W4	-	-	1.79	4.00	HR	-	-
			W5	-	-	2.32	3.08	PR	-	-
			W6	2.30E-09	1.40E-08	2.50	2.86	PR	3.92E-01	4.20E-01
			W7	-	-	-	-	-	-	-
			W8	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.13 0.55 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.27$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.27	W1	-	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	-	-	-	-	-	-
			W4	-	-	-	-	-	-	-	-
			W5	0.14	1.40	1.66	1.58		0.046	0.033	0.036
			W6	0.14	1.46	1.93	1.62		0.042	0.024	0.034
			W7	0.17	1.56	2.04	1.62		0.045	0.026	0.042
			W8	0.17	1.63	2.28	1.74		0.041	0.021	0.036
			W9	0.18	1.66	2.96	1.74		0.042	0.013	0.038
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.13 0.55 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.27$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
3	Düzensiz M5	0.27	W1	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	-	-	-	-	-
			W4	-	-	-	-	-	-	-
			W5	1.54E-08	9.40E-08	2.50	1.93	PR	4.58E-01	4.50E-01
			W6	2.50E-08	1.52E-07	2.50	1.93	PR	4.83E-01	4.64E-01
			W7	8.06E-07	3.67E-06	3.04	1.59	FR	4.83E-01	4.61E-01
			W8	4.62E-06	2.10E-05	3.04	1.59	FR	4.83E-01	4.77E-01
			W9	4.09E-06	1.71E-05	3.21	1.50	FR	3.57E-01	3.57E-01
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.14 0.55 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.40$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
4	Düzensiz, M5	0.40	W1	0.05	0.86	1.63	0.84	0.276	0.044	0.207	0.045
			W2	0.07	1.18	1.23	1.30	0.202	0.032	0.502	0.027
			W3	0.09	1.21	1.28	1.30	0.188	0.040	0.472	0.034
			W4	0.10	1.54	1.80	1.74	0.173	0.027	0.305	0.021
			W5	0.13	1.38	1.69	1.50	0.222	0.044	0.309	0.037
			W6	0.15	1.46	1.94	1.62	0.132	0.045	0.248	0.037
			W7	0.15	1.55	2.14	1.69	0.099	0.040	0.216	0.034
			W8	0.16	1.65	2.33	1.69	0.100	0.038	0.194	0.036
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.14 0.55 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.40$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , v _{dM}	Y _{BB} , EO,R
4	Düzensiz M5	0.40	W1	-	-	0.89	8.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	5.71	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	4.44	HR	-	-
			W4	-	-	1.79	4.00	HR	-	-
			W5	-	-	2.32	3.08	PR	-	-
			W6	1.67E-09	9.16E-09	2.68	2.67	FR	3.71E-01	3.29E-01
			W7	6.67E-09	3.66E-08	2.68	2.67	FR	4.15E-01	3.70E-01
			W8	1.83E-08	9.15E-08	2.86	2.50	FR	3.96E-01	3.90E-01
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.15 0.55 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.27$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
4	Düzensiz, M5	0.40	W1	-	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	-	-	-	-	-	-
			W4	0.12	1.54	1.73	1.74	0.199	0.032	0.330	0.025
			W5	0.12	1.38	1.63	1.50	0.160	0.041	0.332	0.034
			W6	0.14	1.46	1.84	1.62	0.169	0.042	0.276	0.034
			W7	0.15	1.54	2.04	1.62	0.169	0.041	0.237	0.037
			W8	0.15	1.62	2.28	1.74	0.175	0.037	0.199	0.032
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.15 0.55 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.27$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , v _{dM}	Y _{BB} , E _{O,R}
4	Düzensiz M5	0.40	W1	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	-	-	-	-	-
			W4	7.08E-09	5.44E-08	2.14	2.25	PR	4.99E-01	4.67E-01
			W5	2.38E-08	1.82E-07	2.14	2.25	PR	4.60E-01	4.31E-01
			W6	6.33E-08	3.86E-07	2.50	1.93	PR	4.69E-01	4.33E-01
			W7	8.33E-08	4.58E-07	2.68	1.80	FR	4.62E-01	4.44E-01
			W8	2.00E-07	1.10E-06	2.68	1.80	FR	4.15E-01	3.98E-01
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.16 0.55 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.40$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzenli, M4	0.40	W1	0.05	0.85	0.89	0.84	0.220	0.044	0.040	0.045
			W2	0.07	1.17	1.24	1.26	0.177	0.033	0.029	0.028
			W3	0.09	1.20	1.27	1.30	0.183	0.040	0.036	0.034
			W4	0.10	1.56	1.95	1.74	0.189	0.026	0.017	0.021
			W5	0.13	1.40	1.86	1.50	0.185	0.043	0.024	0.037
			W6	0.13	1.49	2.24	1.60	0.188	0.038	0.017	0.033
			W7	0.14	1.57	2.53	1.74	0.180	0.036	0.014	0.030
			W8	0.15	1.64	2.74	1.74	0.173	0.036	0.013	0.032
			W9	0.16	1.64	2.78	1.74	0.152	0.038	0.013	0.034
			W10	0.16	1.72	3.25	2.11	0.163	0.035	0.010	0.023
			W11	0.21	1.67	2.58	1.74	0.143	0.048	0.020	0.044

Tablo A.16 0.55 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.40$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
5	Düzenli M4	0.40	W1	-	-	0.89	8.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	5.71	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	4.44	HR	-	-
			W4	-	-	1.79	4.00	HR	-	-
			W5	-	-	2.32	3.08	PR	-	-
			W6	7.67E-10	5.22E-09	2.32	3.08	PR	4.57E-01	4.49E-01
			W7	1.71E-08	1.04E-07	2.50	2.86	PR	4.75E-01	4.59E-01
			W8	3.72E-07	2.05E-06	2.68	2.67	FR	4.70E-01	4.67E-01
			W9	3.86E-08	1.93E-07	2.86	2.50	FR	4.65E-01	4.61E-01
			W10	2.17E-09	1.08E-08	2.86	2.50	FR	5.14E-01	4.76E-01
			W11	1.41E-07	4.69E-07	3.75	1.90	FR	3.00E-01	3.05E-01

Tablo A.17 0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.40$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz, M5	0.40	W1	0.05	0.86	0.88	0.84	0.217	0.044	0.041	0.045
			W2	0.07	1.17	1.22	1.30	0.142	0.033	0.030	0.027
			W3	0.09	1.19	1.26	1.30	0.143	0.041	0.036	0.034
			W4	0.10	1.55	1.79	1.74	0.142	0.027	0.020	0.021
			W5	0.13	1.38	1.68	1.50	0.125	0.044	0.030	0.037
			W6	0.15	1.48	1.94	1.62	0.111	0.044	0.026	0.037
			W7	0.15	1.58	2.16	1.74	0.093	0.039	0.021	0.032
			W8	0.16	1.66	2.35	1.74	0.096	0.037	0.019	0.034
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.17 0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.40$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , v _{dM}	Y _{BB} , E _{O,R}
5	Düzensiz M5	0.40	W1	-	-	0.89	8.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	5.71	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	4.44	HR	-	-
			W4	-	-	1.79	4.00	HR	-	-
			W5	-	-	2.32	3.08	PR	-	-
			W6	-	-	2.68	2.67	FR	-	-
			W7	1.88E-08	1.04E-07	2.68	2.67	FR	4.70E-01	4.55E-01
			W8	2.81E-08	1.40E-07	2.86	2.50	FR	4.65E-01	3.95E-01
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.18 0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz, M5	0.20	W1	0.05	0.86	0.88	0.98	0.304	0.043	0.041	0.033
			W2	0.07	1.20	1.23	1.30	0.250	0.031	0.030	0.027
			W3	0.09	1.21	1.28	1.30	0.218	0.039	0.035	0.034
			W4	0.10	1.54	1.77	1.62	0.240	0.027	0.020	0.024
			W5	0.13	1.38	1.69	1.50	0.170	0.043	0.029	0.037
			W6	0.15	1.47	1.96	1.62	0.148	0.045	0.025	0.037
			W7	0.16	1.55	2.17	1.62	0.167	0.043	0.022	0.039
			W8	0.16	1.62	2.39	1.74	0.157	0.039	0.018	0.034
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.18 0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.20$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
5	Düzensiz M5	0.20	W1	-	-	0.89	4.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	2.86	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	2.22	HR	-	-
			W4	-	-	1.79	2.00	HR	-	-
			W5	-	-	2.32	1.54	PR	-	-
			W6	1.73E-06	9.51E-06	2.68	1.33	FR	4.70E-01	4.12E-01
			W7	1.22E-05	6.09E-05	2.86	1.25	FR	4.65E-01	4.25E-01
			W8	2.18E-05	1.09E-04	2.86	1.25	FR	4.65E-01	4.58E-01
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.19 0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.10$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.55 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz, M5	0.10	W1	0.05	0.86	0.88	0.98	0.323	0.043	0.041	0.033
			W2	0.07	1.20	1.24	1.30	0.229	0.031	0.029	0.027
			W3	0.09	1.22	1.28	1.30	0.218	0.039	0.035	0.034
			W4	0.10	1.56	1.77	1.62	0.231	0.027	0.020	0.024
			W5	0.13	1.40	1.73	1.50	0.179	0.043	0.028	0.037
			W6	-	-	-	-	-	-	-	-
			W7	-	-	-	-	-	-	-	-
			W8	-	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.19 0.55 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.10$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.55 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
5	Düzensiz M5	0.10	W1	-	-	0.89	2.00	HR	-	-
			W2	2.33E-08	4.02E-07	1.25	1.43	HR	4.70E-01	3.97E-01
			W3	5.17E-08	6.11E-07	1.61	1.11	HR	4.83E-01	3.94E-01
			W4	1.32E-06	1.33E-05	1.79	1.00	HR	4.85E-01	4.61E-01
			W5	6.43E-05	4.38E-04	2.32	0.77	PR	4.52E-01	3.51E-01
			W6	-	-	-	-	-	-	-
			W7	-	-	-	-	-	-	-
			W8	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.20 0.65 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzenli, M4	0.30	W1	0.05	0.87	1.29	0.81	0.267	0.042	0.019	0.049
			W2	0.07	1.21	1.49	1.26	0.257	0.031	0.020	0.028
			W3	0.09	1.21	1.41	1.30	0.239	0.039	0.029	0.034
			W4	0.08	1.66	1.71	1.74	0.225	0.019	0.018	0.017
			W5	0.11	1.31	1.58	1.33	0.214	0.041	0.028	0.040
			W6	0.13	1.43	1.78	1.74	0.194	0.041	0.026	0.028
			W7	0.14	1.50	1.93	1.74	0.188	0.040	0.024	0.030
			W8	0.15	1.60	2.10	1.74	0.177	0.038	0.022	0.032
			W9	0.17	1.62	2.22	1.74	0.176	0.042	0.022	0.036
			W10	0.18	1.82	2.42	2.11	0.205	0.035	0.020	0.026
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.20 0.65 m su derinliğinde M4_3 modeli $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
3	Düzenli M4	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	-	-	1.43	3.75	HR	-	-
			W5	1.22E-09	1.06E-08	1.96	2.73	HR	4.46E-01	4.57E-01
			W6	2.57E-07	1.75E-06	2.32	2.31	PR	5.10E-01	4.67E-01
			W7	1.80E-07	1.09E-06	2.50	2.14	PR	5.04E-01	4.74E-01
			W8	2.98E-06	1.64E-05	2.68	2.00	FR	4.97E-01	4.86E-01
			W9	7.82E-06	3.56E-05	3.04	1.76	FR	4.83E-01	4.75E-01
			W10	4.45E-05	1.86E-04	3.21	1.67	FR	5.30E-01	4.15E-01
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.21 0.65 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.30	W1	0.05	0.86	1.25	0.85	0.265	0.044	0.021	0.044
			W2	0.07	1.19	1.28	1.32	0.258	0.031	0.027	0.026
			W3	0.09	1.20	1.28	1.30	0.244	0.040	0.035	0.034
			W4	0.08	1.49	1.67	1.74	0.240	0.023	0.018	0.017
			W5	0.12	1.35	1.54	1.48	0.222	0.042	0.032	0.035
			W6	0.13	1.44	1.77	1.62	0.202	0.040	0.027	0.032
			W7	0.14	1.52	1.93	1.74	0.201	0.039	0.024	0.030
			W8	0.15	1.62	2.09	1.74	0.200	0.036	0.022	0.032
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.21 0.65 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
3	Düzensiz M5	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	1.98E-09	2.80E-08	1.43	3.75	HR	5.29E-01	5.10E-01
			W5	8.00E-09	6.14E-08	2.14	2.50	PR	4.72E-01	4.57E-01
			W6	2.25E-08	1.53E-07	2.32	2.31	PR	4.91E-01	4.68E-01
			W7	8.85E-08	5.40E-07	2.50	2.14	PR	5.04E-01	4.77E-01
			W8	2.80E-07	1.54E-06	2.68	2.00	FR	4.97E-01	4.01E-01
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.22 0.65 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.17$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
3	Düzensiz, M5	0.17	W1	-	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-	-
			W3	0.09	1.20	1.28	1.30		0.040	0.035	0.034
			W4	0.08	1.49	1.71	1.74		0.023	0.018	0.017
			W5	0.12	1.35	1.54	1.48		0.042	0.032	0.035
			W6	0.13	1.44	1.77	1.62		0.040	0.027	0.032
			W7	0.14	1.52	1.93	1.74		0.039	0.024	0.030
			W8	0.15	1.62	2.09	1.74		0.036	0.022	0.032
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.22 0.65 m su derinliğinde M5_3 modeli $R_c=0.17$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
3	Düzensiz M5	0.17	W1	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	1.61	1.89	HR	-	-
			W4	-	-	1.43	2.13	HR	-	-
			W5	1.48E-06	1.14E-05	2.14	1.42	PR	4.72E-01	4.57E-01
			W6	1.52E-05	1.03E-04	2.32	1.31	PR	4.91E-01	4.68E-01
			W7	2.87E-05	1.75E-04	2.50	1.21	PR	5.04E-01	4.77E-01
			W8	8.01E-05	4.40E-04	2.68	1.13	FR	4.14E-01	4.01E-01
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.23 0.65 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
4	Düzensiz, M5	0.30	W1	0.05	0.86	1.20	0.85	0.253	0.044	0.022	0.044
			W2	0.07	1.19	1.42	1.32	0.251	0.031	0.022	0.026
			W3	0.09	1.20	1.24	1.30	0.237	0.040	0.038	0.034
			W4	0.08	1.49	1.77	1.74	0.242	0.023	0.016	0.017
			W5	0.12	1.35	1.55	1.48	0.216	0.042	0.032	0.035
			W6	0.13	1.44	1.76	1.62	0.208	0.040	0.027	0.032
			W7	0.14	1.52	1.93	1.74	0.210	0.039	0.024	0.030
			W8	0.15	1.62	2.11	1.74	0.207	0.036	0.022	0.032
			W9	0.16	1.62	2.23	1.74	0.200	0.039	0.021	0.034
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.23 0.65 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
4	Düzensiz M5	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	2.47E-10	3.48E-09	1.43	3.75	HR	5.04E-01	4.76E-01
			W5	3.83E-09	2.94E-08	2.14	2.50	PR	4.56E-01	4.24E-01
			W6	1.32E-08	9.02E-08	2.32	2.31	PR	4.76E-01	4.37E-01
			W7	2.49E-08	1.52E-07	2.50	2.14	PR	4.90E-01	4.48E-01
			W8	1.88E-08	1.03E-07	2.68	2.00	FR	4.15E-01	4.01E-01
			W9	1.68E-08	8.39E-08	2.86	1.88	FR	3.96E-01	3.80E-01
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.24 0.65 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.17$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
4	Düzensiz, M5	0.17	W1	-	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-	-
			W3	0.09	1.20	1.22	1.30	0.244	0.040	0.039	0.034
			W4	0.08	1.48	1.66	1.74	0.240	0.023	0.019	0.017
			W5	0.12	1.35	1.54	1.50	0.219	0.042	0.032	0.034
			W6	0.13	1.43	1.77	1.62	0.208	0.041	0.027	0.032
			W7	0.14	1.51	1.94	1.74	0.209	0.040	0.024	0.030
			W8	-	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.24 0.65 m su derinliğinde M5_4 modeli $R_c=0.17$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
4	Düzensiz M5	0.17	W1	-	-	-	-	-	-	-
			W2	-	-	-	-	-	-	-
			W3	-	-	1.61	1.89	HR	-	-
			W4	2.38E-08	3.35E-07	1.43	2.13	HR	5.04E-01	5.80E-01
			W5	1.36E-06	1.04E-05	2.14	1.42	PR	4.60E-01	6.13E-01
			W6	1.83E-05	1.25E-04	2.32	1.31	PR	4.76E-01	6.18E-01
			W7	3.41E-05	2.08E-04	2.50	1.21	PR	4.34E-01	6.98E-01
			W8	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.25 0.65 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzenli, M4	0.30	W1	0.05	0.86	0.96	0.82	0.277	0.043	0.035	0.048
			W2	0.07	1.20	1.22	1.33	0.250	0.031	0.030	0.025
			W3	0.09	1.20	1.20	1.33	0.241	0.040	0.040	0.033
			W4	0.09	1.48	1.71	1.74	0.233	0.026	0.020	0.019
			W5	0.11	1.35	1.65	1.50	0.214	0.039	0.026	0.031
			W6	0.13	1.44	1.83	1.62	0.197	0.040	0.025	0.032
			W7	0.14	1.50	1.95	1.74	0.190	0.040	0.024	0.030
			W8	0.16	1.61	2.08	1.74	0.188	0.040	0.024	0.034
			W9	0.18	1.64	2.14	1.74	0.210	0.043	0.025	0.038
			W10	0.19	1.84	2.41	2.11	0.221	0.036	0.021	0.027
			W11	0.24	1.69	2.24	1.74	0.211	0.054	0.031	0.051

Tablo A.25 0.65 m su derinliğinde M4_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
5	Düzenli M4	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	4.94E-10	5.84E-09	1.61	3.33	HR	4.48E-01	4.61E-01
			W5	2.09E-09	1.83E-08	1.96	2.73	HR	4.48E-01	4.31E-01
			W6	1.48E-08	1.01E-07	2.32	2.31	PR	4.60E-01	4.39E-01
			W7	3.32E-08	2.02E-07	2.50	2.14	PR	4.75E-01	4.45E-01
			W8	4.43E-08	2.21E-07	2.86	1.88	FR	4.65E-01	4.55E-01
			W9	7.13E-07	2.98E-06	3.21	1.67	FR	4.53E-01	4.49E-01
			W10	9.16E-06	3.53E-05	3.39	1.58	FR	5.04E-01	4.80E-01
			W11	1.05E-05	2.85E-05	4.29	1.25	FR	4.10E-01	4.18E-01

Tablo A.26 0.65 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz M5	0.30	W1	0.05	0.84	1.01	0.84	0.255	0.045	0.031	0.045
			W2	0.07	1.18	1.31	1.33	0.248	0.032	0.026	0.025
			W3	0.09	1.18	1.24	1.33	0.232	0.041	0.038	0.033
			W4	0.08	1.48	1.66	1.74	0.243	0.023	0.019	0.017
			W5	0.12	1.35	1.51	1.48	0.211	0.042	0.034	0.035
			W6	0.13	1.43	1.74	1.62	0.209	0.041	0.028	0.032
			W7	0.14	1.50	1.92	1.74	0.213	0.040	0.024	0.030
			W8	0.15	1.60	2.10	1.74	0.214	0.038	0.022	0.032
			W9	0.16	1.62	2.23	1.74	0.210	0.039	0.021	0.034
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.26 0.65 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
5	Düzensiz M5	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	4.94E-10	6.97E-09	1.43	3.75	HR	4.79E-01	4.59E-01
			W5	2.96E-09	2.27E-08	2.14	2.50	PR	4.39E-01	4.24E-01
			W6	2.69E-08	1.83E-07	2.32	2.31	PR	4.60E-01	4.36E-01
			W7	3.61E-08	2.20E-07	2.50	2.14	PR	4.75E-01	4.45E-01
			W8	2.84E-08	1.56E-07	2.68	2.00	FR	4.70E-01	4.60E-01
			W9	2.41E-08	1.20E-07	2.86	1.88	FR	3.95E-01	4.22E-01
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.27 0.65 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.10$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
5	Düzensiz M5	0.10	W1	0.05	0.86	0.87	0.85	0.261	0.044	0.042	0.044
			W2	0.07	1.20	1.21	1.30	0.239	0.031	0.031	0.027
			W3	0.09	1.20	1.21	1.74	0.224	0.040	0.039	0.019
			W4	0.08	1.47	1.64	1.74	0.228	0.024	0.019	0.017
			W5	0.12	1.35	1.53	1.48	0.209	0.042	0.033	0.035
			W6	0.13	1.44	1.79	1.62	0.196	0.040	0.026	0.032
			W7	-	-	-	-	-	-	-	-
			W8	-	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.27 0.65 m su derinliğinde M5_5 modeli $R_c=0.10$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdM	Y _{BB} , EO,R
5	Düzensiz M5	0.10	W1	-	-	0.89	2.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	1.43	HR	-	-
			W3	1.52E-07	1.80E-06	1.61	1.11	HR	4.83E-01	4.06E-01
			W4	3.12E-06	4.41E-05	1.43	1.25	HR	4.79E-01	4.58E-01
			W5	4.53E-05	3.48E-04	2.14	0.83	PR	4.39E-01	4.25E-01
			W6	1.19E-04	8.09E-04	2.32	0.77	PR	4.14E-01	3.69E-01
			W7	-	-	-	-	-	-	-
			W8	-	-	-	-	-	-	-
			W9	-	-	-	-	-	-	-
			W10	-	-	-	-	-	-	-
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.28 0.65 m su derinliğinde M4_10 modelleri $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, $d= 0.65$ m											
B (D_n)	Yerleşim	R_c (m)	Dalga	H_{m0} (m)	$T_{m-1,0,R}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	T_p (s)	K_r	$S_{m-1,0,R}$	$S_{m-1,0}$	S_{0p}
10	Düzenli M4	0.30	W1	0.05	0.86	0.89	0.88	0.255	0.044	0.040	0.041
			W2	0.07	1.20	1.21	1.33	0.229	0.031	0.031	0.025
			W3	0.09	1.21	1.22	1.33	0.214	0.040	0.039	0.033
			W4	0.09	1.48	1.60	1.62	0.259	0.026	0.023	0.022
			W5	0.13	1.36	1.47	1.48	0.227	0.045	0.039	0.038
			W6	0.14	1.43	1.67	1.62	0.232	0.044	0.032	0.034
			W7	0.14	1.49	1.85	1.62	0.230	0.041	0.026	0.034
			W8	0.15	1.56	2.05	1.74	0.232	0.040	0.023	0.032
			W9	0.17	1.58	2.19	1.74	0.222	0.044	0.023	0.036
			W10	0.16	1.77	2.59	2.11	0.203	0.033	0.015	0.023
			W11	0.19	1.62	2.38	1.74	0.191	0.046	0.022	0.040

Tablo A.28 0.65 m su derinliğinde M4_10 modelleri $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, $d= 0.65$ m										
B (D_n)	Yerleşim	R_c (m)	Dalga	$q_{ölç}$ ($m^3/s/m$)	$q_{ölç}$ (gH_{m0}^3) ^{-0.5}	$H_{m0}/(\Delta D_{n50})$	R_c/H_{m0}	Yapısal Davranış	$\gamma_{BB, vdm}$	$\gamma_{BB, EO,R}$
10	Düzenli M4	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W5	-	-	2.32	2.31	PR	-	-
			W6	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W7	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W8	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W9	3.41E-07	1.70E-06	3.04	1.76	FR	4.65E-01	4.48E-01
			W10	8.06E-06	3.11E-05	2.86	1.88	FR	4.54E-01	3.81E-01
			W11	-	-	3.39	1.58	FR	-	-

Tablo A.29 0.65 m su derinliğinde M5_10 modelleri $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, d= 0.65 m											
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	H _{m0} (m)	T _{m-1,0,R} (s)	T _{m-1,0} (s)	T _p (s)	K _r	S _{m-1,0,R}	S _{m-1,0}	S _{0p}
10	Düzensiz M5	0.30	W1	0.05	0.86	0.88	0.88	0.224	0.044	0.041	0.041
			W2	0.07	1.20	1.20	1.33	0.185	0.031	0.031	0.025
			W3	0.09	1.20	1.21	1.33	0.174	0.040	0.039	0.033
			W4	0.09	1.48	1.61	1.62	0.247	0.026	0.022	0.022
			W5	0.12	1.36	1.47	1.48	0.210	0.041	0.036	0.035
			W6	0.14	1.44	1.66	1.62	0.222	0.044	0.033	0.034
			W7	0.14	1.49	1.85	1.62	0.226	0.040	0.026	0.034
			W8	0.15	1.55	2.05	1.74	0.231	0.040	0.023	0.032
			W9	0.16	1.58	2.19	1.74	0.216	0.041	0.021	0.034
			W10	0.16	1.77	2.62	2.11	0.194	0.033	0.015	0.023
			W11	-	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.29 0.65 m su derinliğinde M5_10 modelleri $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , vdm	Y _{BB} , EO,R
10	Düzensiz M5	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W5	-	-	2.14	2.50	PR	-	-
			W6	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W7	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W8	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W9	2.93E-07	1.46E-06	2.86	1.88	FR	4.65E-01	4.48E-01
			W10	8.46E-06	3.54E-05	2.86	1.88	FR	3.57E-01	3.87E-01
			W11	-	-	-	-	-	-	-

Tablo A.30 0.65 m su derinliğinde M4_14 modelleri $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, $d= 0.65$ m											
B (D_n)	Yerleşim	R_c (m)	Dalga	H_{m0} (m)	$T_{m-1,0,R}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	T_p (s)	K_r	$S_{m-1,0,R}$	$S_{m-1,0}$	S_{op}
14	Düzenli M4	0.30	W1	0.05	0.85	0.98	0.81	0.253	0.044	0.033	0.049
			W2	0.07	1.19	1.29	1.33	0.139	0.031	0.027	0.025
			W3	0.09	1.19	1.21	1.33	0.130	0.041	0.039	0.033
			W4	0.09	1.51	1.60	1.67	0.220	0.025	0.023	0.021
			W5	0.12	1.37	1.49	1.50	0.178	0.041	0.035	0.034
			W6	0.14	1.45	1.64	1.62	0.202	0.043	0.033	0.034
			W7	0.15	1.51	1.79	1.62	0.220	0.042	0.030	0.037
			W8	0.15	1.56	2.00	1.74	0.243	0.040	0.024	0.032
			W9	0.17	1.58	2.15	1.74	0.239	0.043	0.024	0.036
			W10	0.16	1.71	2.63	2.11	0.233	0.035	0.015	0.023
			W11	0.22	1.65	2.47	1.72	0.199	0.052	0.023	0.048

Tablo A.30 0.65 m su derinliğinde M4_14 modelleri $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , v _{dM}	Y _{BB} , E _{O,R}
14	Düzenli M4	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W5	-	-	2.14	2.50	PR	-	-
			W6	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W7	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W8	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W9	-	-	3.04	1.76	FR	-	-
			W10	8.74E-06	4.36E-05	2.86	1.88	FR	5.14E-01	4.74E-01
			W11	1.46E-05	4.51E-05	3.93	1.36	FR	2.71E-01	2.75E-01

Tablo A.31 0.65 m su derinliğinde M5_14 modelleri $R_c=0.30$ m verileri

Su Derinliği, $d= 0.65$ m											
B (D_n)	Yerleşim	R_c (m)	Dalga	H_{m0} (m)	$T_{m-1,0,R}$ (s)	$T_{m-1,0}$ (s)	T_p (s)	K_r	$S_{m-1,0,R}$	$S_{m-1,0}$	S_{op}
14	Düzensiz M5	0.30	W1	0.05	0.85	0.86	0.81	0.242	0.044	0.043	0.049
			W2	0.07	1.19	1.21	1.33	0.133	0.032	0.031	0.025
			W3	0.09	1.19	1.21	1.33	0.122	0.040	0.039	0.033
			W4	0.09	1.50	1.60	1.67	0.207	0.026	0.023	0.021
			W5	0.12	1.37	1.49	1.50	0.159	0.041	0.035	0.034
			W6	0.14	1.45	1.64	1.62	0.179	0.043	0.033	0.034
			W7	0.15	1.51	1.80	1.62	0.197	0.042	0.030	0.037
			W8	0.15	1.56	2.01	1.74	0.224	0.039	0.024	0.032
			W9	0.17	1.59	2.13	1.74	0.216	0.043	0.024	0.036
			W10	0.16	1.71	1.92	2.11	0.218	0.035	0.028	0.023
			W11	0.20	1.61	2.38	1.74	0.184	0.050	0.023	0.042

Tablo A.31 0.65 m su derinliğinde M5_14 modelleri $R_c=0.30$ m verileri (devamı)

Su Derinliği, d= 0.65 m										
B (D _n)	Yerleşim	R _c (m)	Dalga	Q _{ölç} (m ³ /s/m)	Q _{ölç} (gH _{m0} ³) ^{-0.5}	H _{m0} /(ΔD _{n50})	R _c /H _{m0}	Yapısal Davranış	Y _{BB} , v _{dM}	Y _{BB} , E _{O,R}
14	Düzensiz M5	0.30	W1	-	-	0.89	6.00	HR	-	-
			W2	-	-	1.25	4.29	HR	-	-
			W3	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W4	-	-	1.61	3.33	HR	-	-
			W5	-	-	2.14	2.50	PR	-	-
			W6	-	-	2.50	2.14	PR	-	-
			W7	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W8	-	-	2.68	2.00	FR	-	-
			W9	-	-	3.04	1.76	FR	-	-
			W10	9.07E-06	3.79E-05	2.86	1.88	FR	4.53E-01	4.63E-01
			W11	1.78E-05	6.35E-05	3.57	1.50	FR	4.39E-01	4.27E-01

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

İletişim Bilgisi: sulearukan@gmail.com

Konferans Bildirileri

1. Ş. Arukan, E. Çevik, Y. Yüksel, C. Şahin. “Basamaklı Dalgakıranlarda Dalga Aşmasının Deneysel Araştırılması”, 9. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 1-3 Kasım 2018, Adana, Türkiye

