

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***POSİDONIA OCEANICA* ÇAYIRLARININ DALGA ÖZELLİKLERİ VE
KUMSAL MORFOLOJİSİ İLE ETKİLEŞİMİ**

**DOKTORA TEZİ
Nilay ELGİNÖZ**

Anabilim Dalı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

NİSAN 2010

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

***POSİDONIA OCEANICA* ÇAYIRLARININ DALGA ÖZELLİKLERİ VE
KUMSAL MORFOLOJİSİ İLE ETKİLEŞİMİ**

DOKTORA TEZİ
Nilay ELGİNÖZ
(517022010)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Şubat 2010

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Nisan 2010

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ayşegül TANIK (İTÜ)
Eş Danışman : Prof. Dr. M. Sedat KABDAŞLI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. H. Kerem CİĞİZOĞLU
Prof. Dr. Esin ÇEVİK (YTÜ)
Prof. Dr. İsmail DURANYILDIZ (İTÜ)
Prof. Dr. Oya OKAY (İTÜ)
Prof. Dr. Bihrat ÖNÖZ (İTÜ)

NİSAN 2010

Aileme,

ÖNSÖZ

Doktora süreci zevkli olduğu kadar öğretici ve yorucu da bir süreçti benim için. Bazı insanların desteği olmasa bu tezin tamamlanması mümkün olmazdı. Burada onlara teşekkür etmek istiyorum.

Disiplinlerarası çalışmam konusunda beni her zaman yüreklendiren, Yüksek Lisans'tan beri hiç bir konuda desteğini esirgemeyen, sevecenlikle öğreten ve kapısı öğrencilerine daima açık olan danışmanlarımdan Prof. Dr. Sedat Kabdaşlı'ya, tez çalışmamın her adımında desteğini esirgemediği ve fikirleriyle ufkumu açtığı, takıldığım noktalarda bir sonraki aşamaya geçebilmenin yöntemlerini gösterdiği için çok teşekkür ederim. Danışmanım Prof. Dr. Ayşegül Tanık'a, tavrı ve davranışlarıyla akademisyenliği sevmemi sağladığı, tezimi yazabilmem için gereken sakin ortamı sunduğu, katkılarını asla esirgemediği için çok teşekkür ederim. İki danışmanıma da zor zamanlarımda yanımda oldukları ve beni yüreklendirdikleri için ayrıca teşekkür ederim.

Bugünlere gelmem için maddi manevi tüm imkânlarını kullanan annem Meliha Elginöz ve babam Atilla Elginöz'e, bana neredeyse ikinci bir anne gibi emek veren ablam Nilcihan Elginöz Yolcu'ya ve ağabeyim Ahmet Elginöz'e, her zaman bana destek oldukları ve güvenilir bir yuva sundukları için teşekkür ederim.

Tez izleme jürimdeki Prof. Dr. Oya Okay, Prof. Dr. İsmail Duranyıldız ve Prof. Dr. Kerem Cıgızoğlu'na tezimin gelişmesine katkıda bulunan değerli yorumları için tek tek teşekkürlerimi sunarım. Prof. Dr. Ergün Toğrol ve Prof. Dr. Nebiye Musaoğlu'na, dergideki görevim ile akademik çalışmalarım arasındaki dengeyi sağlamamda yardımcı oldukları, gülyüzlü tavırlarıyla huzurlu bir çalışma ortamı yarattıkları için çok teşekkür ederim.

Değerli fikirleri ve koşulsuz desteğiyle, takıldığım noktalarda her zaman başvurabildiğim, Dr. Oral Yağcı'ya, yurtdışında çalışma yapmam konusunda beni desteklediği için çok teşekkür ederim. Tezim ile ilgili araştırma yapmak için gittiğim Cardiff Üniversitesi'nde, bana danışmanlık yapan, sempatik tavırlarıyla yabancı olduğumu unutturan Dr. Catherine Wilson'a, çalışmama yaptığı katkı ve programlama konusunda önümü açtığı için teşekkür ederim.

Değerli meslektaşlarım, Nuray Gedik, Bilge Baş, Esin Bozkurt, Taylan Bağcı, Özgür Kırca, Evren Varol, Dilek Eren Akyüz, Atakan Yüce, Aysun Köroğlu ve Erkan Kaçmaz'a destek ve yardımları için, Hidrolik Laboratuvarı teknisyenlerinden Hasan Yalçın'a, deneyler sırasında yardımcı olduğu için teşekkür ederim.

Son olarak sevgili dostlarım Emek Eren, Zelal Esin Erkovan ve Gülcay Güney'e varlıkları ile hayatıma renk kattıkları, üzüntümü ve sevincimi paylaştıkları için teşekkür ederim.

Şubat 2010

Nilay ELGİNÖZ

(Çevre Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xi
ŞEKİL LİSTESİ.....	xiii
SEMBOL LİSTESİ	xiiix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	1
1.2 Tezin Kapsamı.....	2
2. DENİZ ÇAYIRLARININ TANITIMI.....	3
2.1 <i>Posidonia Oceanica</i>	4
2.1.1 <i>Posidonia oceanica</i> 'nın yaşam alanları ve çayırların morfolojisi.....	6
2.1.2 <i>Posidonia oceanica</i> 'nın yapısı, sürgün yoğunluğu ve yaprak boyutları	8
2.1.3 Türkiye'de <i>Posidonia oceanica</i> 'nın yasal durumu.....	10
2.2 <i>Posidonia oceanica</i> ile ilgili yapılmış çalışmalar.....	12
3. LİTERATÜR ÖZETİ	15
3.1 Kıyı Morfolojisi.....	15
3.1.1 Kıyıda katı madde hareketi	15
3.1.2 Kıyı profilinin oluşumu.....	16
3.1.3 Kıyı profilinin geometrik özellikleri	20
3.2 Bitkilenmenin akıma etkisi.....	28
3.2.1 <i>Posidonia oceanica</i> 'nın akıma etkisi.....	30
3.3 Bitkilenmenin dalga özelliklerine ve kıyıdaki katı madde hareketine etkisi....	33
3.3.1 <i>Posidonia oceanica</i> 'nın kıyıdaki katı madde hareketine etkisi.....	40
4. ÇALIŞMAYA ESAS TEŞKİL EDEN TEORİK YAKLAŞIM	43
4.1 Katı madde taşınım oranı	43
4.2 <i>Posidonia oceanica</i> Çayırı Bulunan Kıyılarda Kıyı Morfolojisine Etki Eden Parametreler.....	44
4.3 Boyut Analizi	45
4.4 Olaya Etki Eden Boyutsuz Parametreler	47
5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI.....	49
5.1 Fiziksel Modelin Esasları	49
5.2 Ölçek Seçimi	52
5.3 <i>Posidonia Oceanica</i> 'nın Modellenmesi.....	53
5.3.1 Bitki yüzey alanı yoğunluğu.....	55
5.3.2 Malzeme özellikleri ve malzeme seçimi.....	55
5.4 Deney Sisteminin Kurulması.....	58
5.5 Deney Düzeni.....	61

5.6 Dalga Verileri ve Analizi.....	63
5.6.1 Dalga enerjisi ve dalga enerji akısı.....	69
5.6.2 Dalga kırılması.....	72
5.7 Kıyı Profili Verileri ve Analizi.....	73
5.8 Hız Verileri ve Analizi.....	101
6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	113
6.1 Çalışma Sonucunda Elde Edilen Ampirik Formüller.....	113
6.1.1 Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c).....	113
6.1.2 Bar alanı.....	116
6.1.3 Erozyon alanı.....	117
6.1.4 Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi.....	118
6.1.5 Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi.....	118
6.1.6 Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi.....	120
6.1.7 Bar tepe noktası derinliği.....	121
6.1.8 Denge noktası derinliği.....	123
6.1.9 Erozyon başlangıç noktası yüksekliği.....	123
6.1.10 Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığı.....	123
6.1.11 Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi.....	124
6.2 Literatürdeki Ampirik Formüllerin Bu Çalışmanın Sonuçlarına Uygulanması.....	125
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	131
KAYNAKLAR.....	137
EKLER.....	143

KISALTMALAR

AÖKA	: Akdeniz'de Özel Koruma Alanları
ODTÜ SAT	: Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sualtı Topluluğu
SAD	: Sualtı Araştırmaları Derneği
POYİP	: <i>Posidonia Oceanica</i> Yayılımını İnceleme Projesi
ADV	: Acoustic Doppler Velocimeter

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : <i>Posidonia oceanica</i> 'nın genel özellikleri	10
Çizelge 3.1 : Günaydın ve Kabdaşlı (2003) çalışmasında bulunan formüller	26
Çizelge 3.2 : Günaydın ve Kabdaşlı (2005) çalışmasında bulunan formüller	27
Çizelge 3.3 : Türker ve diğ. (2006) çalışmasında bulunan formüller	28
Çizelge 4.1 : Kıyı profilinin geometrik büyüklükleri	46
Çizelge 4.2 : Dalga, katı madde, ortam ve bitkilenme özellikleri	47
Çizelge 5.1 : Elde edilen Froude modeli ölçekleri	52
Çizelge 5.2 : Elde edilen model ölçek değerleri	53
Çizelge 5.3 : Yürütülen deneysel çalışma düzeni	62
Çizelge 5.4 : Dalga sönümlenmesi oranları (AT)	66
Çizelge 5.5 : Bitkili taraftaki dalga yüksekliğinin bitkisiz taraftaki dalga yüksekliğine oranı ($H_{\text{bitkili}}/H_{\text{bitkisiz}}$)	66
Çizelge 5.6 : Dalga yüksekliği etkilenme oranları	68
Çizelge 5.7 : Dalga enerjisi etkilenme oranları	71
Çizelge 5.8 : Kırılan dalga yükseklikleri ve kırılma derinlikleri	73
Çizelge 6.1 : Bar alanı için bulunan formüllerin katsayıları	117
Çizelge 6.2 : Erozyon alanı için bulunan formüllerin katsayıları	117
Çizelge 6.3 : Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları	118
Çizelge 6.4 : Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları	119
Çizelge 6.5 : Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları	120
Çizelge 6.6 : Bar tepe noktası derinliği için bulunan formüllerin katsayıları	122
Çizelge 6.7 : Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığı için bulunan formüllerin katsayıları	123
Çizelge 6.8 : Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları	124

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : <i>Posidonia oceanica</i>	5
Şekil 2.2 : <i>Posidonia oceanica</i>	6
Şekil 2.3: <i>Posidonia</i> çayırlarının oluşturduğu mat ve banket.....	8
Şekil 2.4 : <i>Posidonia oceanica</i> 'nın şematik yapısı.....	9
Şekil 3.1 : Yaz ve kış profillerinin şematik gösterimi.....	17
Şekil 3.2 : Fırtına koşulları altında profil değişimleri.....	18
Şekil 3.3 : Sakin dönem koşulları	18
Şekil 3.4 : Sakin dönem ve fırtına kıyı profillerinin H_0/L_0 ve $\pi w/gT$ parametrelerine göre sınıflandırması.....	19
Şekil 3.5 : Kıyı profilini tanımlayan geometrik büyüklükler ve notasyon.....	21
Şekil 3.6 : Hız gradyanının derinlikle değişimi	38
Şekil 5.1 : <i>Posidonia oceanica</i> 'nın modeli.....	54
Şekil 5.2 : Bitkinin yüksekliğine göre Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu.....	55
Şekil 5.3 : Çekme deneyi sonuç grafiği	57
Şekil 5.4 : <i>Posidonia oceanica</i> modeli	57
Şekil 5.5 : Model deneylerinde kullanılacak dalga kanalının fotoğrafı.....	58
Şekil 5.6 : Kanalın cam levha vasıtası ile ikiye bölünmesi	59
Şekil 5.7 : Model <i>posidonia</i> 'ların kanala yerleştirilmesi.....	59
Şekil 5.8 : Kanalın model <i>posidonia</i> yerleştirilmeyen tarafı.....	59
Şekil 5.9 : Kanalda oluşturulan 1/5 eğimli şev	60
Şekil 5.10 : Kullanılan malzemenin granülometri eğrisi	60
Şekil 5.11 : Dalga ölçüm problemlerinin kanaldaki yerleşimi	63
Şekil 5.12 : 101 Nolu deneyde 1. probda ölçülen su yüzeyi değişimi zaman serisi...64	
Şekil 5.13 : Boyutsuz su yüzeyi değişimi zaman serisi (Deney No:101).....	64
Şekil 5.14 : Bitkilenmeden etkilenen ve etkilenmeyen dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması	65
Şekil 5.15 : Bitkili taraftaki dalga yüksekliğinin, bitkisiz taraftaki dalga yüksekliğine oranının, bitkilenme yerine göre değişimi	67
Şekil 5.16 : Etkilenmenin açık deniz dalga yüksekliği ile değişimi.....	68
Şekil 5.17 : Etkilenme oranının bitkilenme yerine göre değişimi	69
Şekil 5.18 : Bitkili alandan önceki dalga yüksekliklerinin oranı.....	69
Şekil 5.19 : Bitkilenmeden etkilenen ve etkilenmeyen dalga enerjilerinin karşılaştırılması	70
Şekil 5.20 : Bitkilenmeden etkilenen ve etkilenmeyen bölgelerde dalga enerjisi akılarının karşılaştırılması	71
Şekil 5.21 : 102 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta meydana gelen kıyı profilleri	74
Şekil 5.22 : Bar alanının boyutsuz dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).....	75
Şekil 5.23 : Bar alanının dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).....	75
Şekil 5.24 : Erozyon alanının dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	76
Şekil 5.25 : Erozyon alanının boyutsuz dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzensiz dalgalar)	76

Şekil 5.26 : Barın tepe noktası derinliğinin boyutsuz dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzenli dalgalar)	77
Şekil 5.27 : Barın tepe noktası derinliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	77
Şekil 5.28 : Denge noktası derinliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	78
Şekil 5.29 : Denge noktası derinliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	78
Şekil 5.30 : Erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	79
Şekil 5.31 : Erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	79
Şekil 5.32 : Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	79
Şekil 5.33 : Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	80
Şekil 5.34 : Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	80
Şekil 5.35 : Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	81
Şekil 5.36 : Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	81
Şekil 5.37 : Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	82
Şekil 5.38 : Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığının dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	82
Şekil 5.39 : Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığının dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	83
Şekil 5.40 : Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzenli dalgalar)	83
Şekil 5.41 : Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzensiz dalgalar)	84
Şekil 5.42 : Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	84
Şekil 5.43 : Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	85
Şekil 5.44 : Bar alanının Iribarren sayısı ile değişimi (düzenli dalgalar)	85
Şekil 5.45 : Bar alanının Iribarren sayısı ile değişimi (düzensiz dalgalar)	86
Şekil 5.46 : Bitkili taraftaki bar alanının dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	86
Şekil 5.47 : Bitkili taraftaki bar alanının dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	87
Şekil 5.48 : Bitkili taraftaki erozyon alanının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	87
Şekil 5.49 : Bitkili taraftaki erozyon alanının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	88
Şekil 5.50 : Bitkili taraftaki bar tepe noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	88
Şekil 5.51 : Bitkili taraftaki bar tepe noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	89

Şekil 5.52 : Bitkili taraftaki denge noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	89
Şekil 5.53 : Bitkili taraftaki denge noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	90
Şekil 5.54: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	90
Şekil 5.55 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	91
Şekil 5.56 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç kesişim noktasının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	91
Şekil 5.57 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç kesişim noktasının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	92
Şekil 5.58 : Bitkili taraftaki bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	92
Şekil 5.59 : Bitkili taraftaki bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	93
Şekil 5.60 : Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	93
Şekil 5.61: Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	94
Şekil 5.62 : Bitkili taraftaki erozyon ve bar ağırlık merkezlerinin birbirine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	94
Şekil 5.63 : Bitkili taraftaki erozyon ve bar ağırlık merkezlerinin birbirine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	95
Şekil 5.64 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	95
Şekil 5.65 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	96
Şekil 5.66 : Bitkili taraftaki bar ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar)	96
Şekil 5.67: Bitkili taraftaki bar ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar)	97
Şekil 5.68: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı	97
Şekil 5.69 : Bitkili taraftaki bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı	98
Şekil 5.70 : Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı	98
Şekil 5.71 : Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının bar tepe noktasına uzaklığının bitkisiz tarafa oranı	99
Şekil 5.72 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının bar tepe noktasına uzaklığının bitkisiz tarafa oranı	99

Şekil 5.73 : Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin bitkisiz tarafa oranı	100
Şekil 5.74: Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı	100
Şekil 5.75 : Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının denge noktasına mesafesinin bitkisiz tarafa oranı	101
Şekil 5.76 : Hız ölçüm noktaları a)Konfigürasyon 1, b)Konfigürasyon 2.....	102
Şekil 5.77 : Dalga orbital hızı ve ivmesi	103
Şekil 5.78 : Hız zaman serisi, u: yatay doğrultudaki hız, w: dikey doğrultudaki hız	104
Şekil 5.79 : Ölçülen ve hesaplanan dalga orbital hızlarının karşılaştırması a) Yatay hız bileşeni (u) b) Düşey hız bileşeni (w)	105
Şekil 5.80 : 102h A hız profilinin ölçüm sonuçlarında program kullanılarak ve hesaplanarak elde edilen değerlerinin karşılaştırılması a) Yatay hız bileşeni (u), b)Düşey hız bileşeni (w)	107
Şekil 5.81 : 102h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	108
Şekil 5.82: Bitkili alandan önceki bölgede, bitkili (B) ve bitkisiz (C) tarafta aynı derinlikte ölçülmüş olan iki noktadaki hız zaman serilerinin karşılaştırılması (Deney No:102h-yatay hız bileşeni)	109
Şekil 5.83: 102h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	110
Şekil 5.84 : 102h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	110
Şekil 5.85 : Bitkili alandan önceki bölgede, bitkili (B) ve bitkisiz (C) tarafta aynı derinlikte ölçülmüş olan iki noktadaki hız zaman serilerinin karşılaştırılması (Deney No:102h-dikey hız bileşeni)	111
Şekil 5.86 : 102h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	112
Şekil 6.1 : Bitkili ve bitkisiz durumlarda bar tepe noktası mesafeleri oranının dalga dikliği ile değişimi	119
Şekil 6.2 : Bitkili ve bitkisiz durumlarda denge noktası mesafeleri oranının dalga dikliği ile değişimi	124
Şekil 6.3: Bitkili ve bitkisiz durumlarda erozyon başlangıç noktası oranının dalga dikliği ile değişimi	121
Şekil 6.4: Bitkili ve bitkisiz durumlarda bar tepe noktası derinliği oranının dalga dikliği ile değişimi.....	122
Şekil 6.5 : Bitkili ve bitkisiz durumlarda barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi oranının dalga dikliği ile değişimi	124
Şekil 6.6 : Birim boydaki bar hacmi ($V_{bar}-A_{bar}$) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	125
Şekil 6.7 : Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	126
Şekil 6.8 : Denge noktası derinliği (h_e) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	126
Şekil 6.9 : Bar tepe noktasının derinliği (h_c) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	127
Şekil 6.10 : Erozyon derinliği (h_m) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	127

Şekil 6.11 : Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	128
Şekil 6.12 : Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	128
Şekil 6.13 : Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_m) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması	129
Şekil A.1 : 101 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	144
Şekil A.2 : 102 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	144
Şekil A.3 : 103 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	144
Şekil A.4 : 104 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	145
Şekil A.5 : 105 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	145
Şekil A.6 : 106 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	145
Şekil A.7 : 201 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	146
Şekil A.8 : 202 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	146
Şekil A.9 : 203 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	146
Şekil A.10 : 204 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	147
Şekil A.11 : 301 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	147
Şekil A.12 : 302 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	147
Şekil A.13 : 303 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	148
Şekil A.14 : 304 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	148
Şekil A.15 : 305 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	148
Şekil A.16 : 306 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	149
Şekil A.17 : 401 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri	149
Şekil A.18 : 402 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	149
Şekil A.19 : 403 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	150
Şekil A.20 : 404 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.....	150
Şekil C.1 : 102hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	155
Şekil C.2 : 102hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	155
Şekil C.3 : 102hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	155
Şekil C.4 : 102hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	156
Şekil C.5 : 104h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	156
Şekil C.6 : 104h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	156
Şekil C.7 : 104h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	157
Şekil C.8 : 104h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	157
Şekil C.9 : 104hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	157
Şekil C.10 : 104hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	158
Şekil C.11 : 104hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	158
Şekil C.12 : 104hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	158

Şekil C.13 : 302h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	159
Şekil C.14 : 302h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	159
Şekil C.15 : 302h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	159
Şekil C.16 : 302h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	160
Şekil C.17 : 302hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	160
Şekil C.18 : 302hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	160
Şekil C.19 : 302hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	161
Şekil C.20 : 302hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	161
Şekil C.21 : 304h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	161
Şekil C.22 : 304h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	162
Şekil C.23 : 304h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	162
Şekil C.24 : 304h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	162
Şekil C.25 : 304h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri	163
Şekil C.26 : 304hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri	163
Şekil C.27 : 304hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri	163
Şekil C.28 : 304hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri	164

SEMBOL LİSTESİ

H_0	: Açık deniz dalga yüksekliği
L_0	: Açık deniz dalga uzunluğu
H_0/L_0	: Dalga dikliği
T^*	: Katı maddelerin dinamik denge konumuna ulaşması için geçen süre
T	: Dalga periyodu
$\tan \beta$	: Şev eğimi
γ_s	: Katı madde özgül ağırlığı
γ_w	: Suyun özgül ağırlığı
d_{50}	: Medyan dane çapı
w	: Çökelme hızı
ξ_0	: Iribarren sayısı, sörf benzerlik parametresi
ξ_θ	: Değiştirilmiş Iribarren sayısı
X_c	: Başlangıç kıyı çizgisinin barın tepe noktasına olan mesafesi
X_b	: Boyutsuz erozyon uzunluğu
h_e	: Boyutsuz denge noktası derinliği
X_e	: Boyutsuz denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi
W_0	: Boyutsuz çökelme hızı
X_m	: Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi
h_m	: Erozyon derinliği
ψ	: Bitkilenme parametresi
s_d	: Sedimentin özgül ağırlığının suyun özgül ağırlığına oranı
ϕ	: Bitkinin ortalama çapı
Δ_d	: Bitkiler arasındaki dalga doğrultusuna paralel mesafe
Δ_s	: Bitkiler arasındaki dalga doğrultusuna dik mesafe
A_{erozyon}	: Erozyon alanı
A_{bar}	: Bar alanı
C_D	: Sürüklenme katsayısı
A	: Cismin akıma dik doğrultudaki yüzey kesit alanı
E	: Elastisite modülü, dalga enerjisi
μ	: Kinematik viskozite
Q_s	: Kıyıdan açığa doğru taşınan katı madde debisi
K	: Taşınım oranı parametresi
D	: Birim hacim için mevcut (dalga kırılması nedeniyle açığa çıkan) enerji
D^*	: Kıyı profili denge halindeyken birim hacimdeki enerji harcanımı
D_w	: Birim hacim için mevcut (dalga kırılmasıyla beraber birim hacimde ortaya çıkan) enerji
D_{eq}	: Birim hacim için mevcut denge halindeki enerji harcanımı
D_s	: Katı maddenin yer değiştirmesi için birim hacim başına gerekli enerji
D_b	: Bitkinin birim hacim başına harcadığı enerji
F_r	: Modeldeki bir kuvvetin, prototiptekine oranı
W_r	: Modeldeki bir nesnenin ağırlığının, prototiptekine oranı

E_r	: Modeldeki açığa çıkan enerjinin, prototipte açığa çıkan enerjiye oranı
A_r	: Modeldeki bir alanın, prototiptekine oranı
Q_r	: Modeldeki akışkan debisinin, prototiptekine oranı
X_s	: Bitkili alanın açıkdenize doğru son noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi
η	: Su yüzeyi değişimi
H_s	: Belirgin dalga yüksekliği
C_e	: Etkilenme oranı
E_e	: Enerji etkilenme oranı
u	: Dalga orbital hızının yatay bileşeni
w	: Dalga orbital hızının düşey bileşeni

***POSİDONİA OCEANICA* ÇAYIRLARININ DALGA ÖZELLİKLERİ VE KUMSAL MORFOLOJİSİ İLE ETKİLEŞİMİ**

ÖZET

Batmış ve batmamış bitkilenmenin, özellikle dalganın tabandan etkilendiği kıyıya yakın sığ su bölgesinde, dalgaları sönümleme eğiliminde olduğu, akış direncini arttırdığı ve akım yapısını kontrol ettiği bilinmektedir. Bu süreç katı madde birikimine ve erozyon oranının azalmasına yol açar. Son otuz yıldır bitkilenmenin neden olduğu dalga sönümleme miktarı ve bitkilenmenin kıyı erozyonuna etkisi, arazi çalışmaları, sayısal ve fiziksel modelleme çalışmaları ile araştırılmaktadır.

Genel olarak bitkilenme diye tabir edilen kavram, kelp gibi makroalgleri, deniz çayırları gibi çiçekli bitkileri ve diğer tüm suda yaşayan bitkileri içermektedir. Deniz çayırları; Antarktika hariç tüm kıtaların kıyılarında bulunan ve 60 civarında türü olan tamamen batık olarak haliç ve denizlerde yetişen sualtı çiçekli bitkileridir ve dünya genelinde kıyı ekosistemlerinin önemli ekolojik ve ekonomik bileşenlerine ev sahipliği yaparlar.

Posidonia oceanica uluslararası sözleşmelerle koruma altında olan Akdeniz’de endemik bir deniz çayırı türüdür. Türkiye kıyılarında yaygın olarak bulunduğu için bu çalışmada modellenmek üzere *Posidonia oceanica* türü deniz çayırları seçilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, *Posidonia oceanica* çayırlarının neden olduğu dalga ve dalga enerjisi sönümlemesi miktarı ile kıyı profilinde meydana getirdiği değişimin deneysel yöntemlerle araştırılmasıdır. Deneyler İTÜ Hidrolik Laboratuvarı’ndaki bir dalga kanalında, nikel-krom tel ve dübelleri kullanılarak 1/10 ölçekte imal edilmiş *Posidonia oceanica* modelleri kullanılarak yürütülmüştür. Modeller dalga kanalında doğal kum kullanılarak oluşturulmuş olan 1/5 eğimli kıyı modeline yerleştirilmiştir. Dalga kanalı, bitkili ve bitkisiz tarafta aynı anda ölçüm yapılabilmesi için kıyıya dik bir cam yardımıyla ikiye bölünmüş ve bir tarafa modeller yerleştirilirken diğer taraf boş bırakılmıştır. Deneyler farklı dalga dikliklerine sahip düzenli ve düzensiz dalgalar kullanılarak yapılmıştır.

Sonuçlar, daha önceki çalışmalarla uyumlu olarak, *Posidonia oceanica* çayırlarının etkin bir şekilde dalgaları sönümlediğini ve dalga enerjisini azalttığını göstermiştir. Dalga sönümleme miktarı, bitkili alan kıyı çizgisine yaklaştıkça artmaktadır ve dalga yüksekliği ya da dalga periyodu ile orantılı değildir.

Fırtına koşulları altında oluşan kıyı profili erozyon bölgesi ve açıkdeniz barı olarak iki bölgeye ayrılabilir. Aynı dalga koşullarında, bitkili tarafta bar, bitkisiz tarafa nazaran kıyıya daha yakın oluşmaktadır. Taşıma mesafesi azaldığı için kum hareketine harcanan enerji azalmaktadır. Gelen enerji sabit olduğuna göre aradaki fark bitki tarafından harcanmaktadır. Erozyon alanı, bitkisiz tarafta, bitkili tarafa göre fazladır ve kıyı profilinin denge noktası bitkili tarafta, bitkisiz tarafa nazaran kıyı çizgisine daha yakında oluşmaktadır. Çalışma sonucunda hem *Posidonia oceanica*’lı

hem de *Posidonia oceanica*'sız kıyı profiline geometrik büyüklükleri için ampirik formüller önerilmiştir.

Bitkilenmeden sonra kıyıya doğru olan bölgede, bitkilenme, hem kıyıdan açığa doğru hem de açıktan kıyıya doğru olan yataydaki dalga orbital hızını azaltmaktadır. Bitkilenmeden önceki bölgede bitkili kısım kıyıya doğru olan yatay hızı genellikle etkilemezken, kıyıdan açığa doğru olan hızı azaltmaktadır. Bitkilenmeden kıyıya doğru olan bölgede ise bitkilenmenin hem aşağı doğru hem de yukarı doğru düşey hız bileşenini azalttığı görülmektedir.

INTERACTION BETWEEN *POSIDONIA OCEANICA* SEAGRASS MEADOWS, WAVE FEATURES AND BEACH MORPHOLOGY

SUMMARY

Submerged and emergent vegetation tends to attenuate waves, increases flow resistance and controls flow regime, especially in shallow waters where waves are affected by the sea bottom, this process cause sediment accumulation and decrease erosion rates. In the last three decades, magnitude of wave attenuation caused by vegetation and effect of vegetation on beach erosion was being studied by in-situ researches, numerical and physical modelling studies.

Submerged and emerged vegetation includes macroalgas like kelp species, flowering plants like seagrasses and all the other plant species, which grow in water. Seagrasses, which includes almost 60 species, present all over the world except coasts of Antarctica. Seagrasses, are fully submerged flowering plants, exist in estuaries and seas. Also, they are habitats of very important components of coastal ecosystems.

Posidonia oceanica is a seagrass species under protection by international conventions and is endemic in Mediterranean Sea. Since it is widely spread around coasts of Turkey, *Posidonia oceanica* was chosen to be modelled physically.

The aim of this study is to investigate the ratio of wave attenuation, energy dissipation and coastal profile changes caused by *Posidonia oceanica* meadows with experimental methods. Experiments were conducted in a wave flume in ITU Hydraulics Laboratory using 1:10 scaled *Posidonia oceanica* models manufactured with nickel-crom strings and wall plugs. Models were placed on a modelled sandy coast with 1:5 slope in the wave flume. The wave flume was divided into two sections with a glass wall perpendicular to the coast to measure wave heights, water particle velocity and coastal profiles both in the vegetated and non-vegetated areas simultaneously. Experiments were conducted for regular and irregular waves with different wave steepnesses.

The results of the study showed that *Posidonia oceanica* meadows attenuated waves and dissipated wave energy significantly and this result is comparable with previous research studies. Wave attenuation increased when the vegetated area was moved to onshore direction and wave attenuation was correlated with neither offshore wave height nor wave period.

Coastal profile under storm conditions can be divided into two sections as erosion area and offshore bar. Under same wave conditions, offshore bar formed closer to the coastline, on the vegetated side of the wave flume. Therefore, the transport distance of sediment was shorter and the wave energy used for sediment transport was less than that of the non-vegetated side. The actual wave energy was the same in both sides so the energy difference was used by vegetation. The erosion area on the vegetated side was smaller relative to the non-vegetated side, and equilibrium point

of the coastal profile was closer to the coastal line on the vegetated side. Empirical equations were proposed for coastal profile's geometric characteristics for vegetated and non-vegetated coasts.

Horizontal wave orbital velocities were affected by vegetation before and after the vegetated area. Water particle velocities decreased due to vegetation in both offshore and onshore directions after the vegetated area. However, there was velocity decrease only on the offshore direction before vegetated area. Velocity values declined for both directions as for vertical wave orbital velocities.

1. GİRİŞ

1.1 Tezin Amacı

Araştırmanın amacı Akdeniz’de koruma altında endemik bir tür olan *Posidonia oceanica* çayırlarının dalga özellikleri ve kıyı morfolojisi ile etkileşiminin ve *Posidonia oceanica*’nın katı maddenin stabilizasyonuna etkisinin deneysel yöntemlerle belirlenmesidir. Kum ve benzeri malzemeden oluşan yumuşak yapıdaki kıyıların morfolojisinin genel olarak ifade edilmesinde kullanılan parametreler; kıyı profilinin geometrik özellikleri (erozyon derinliği, erozyon uzunluğu, yığılma derinliği ve uzunluğu), profil boyunca dane dağılımının değişimi ve benzeri büyüklüklerdir. Bunlarla birlikte yukarıdaki parametrelerin değişimine yol açan dalga özellikleri ve akıntı hızı ile yönü de olayı kontrol eden etken parametrelerdir.

Bu çalışmada *Posidonia oceanica* çayırları modellenmiş, kontrollü laboratuvar ortamında, *Posidonia oceanica*’lı ve *Posidonia oceanica*’sız deniz tabanı hallerinde kıyı profilinin dalga etkisi altındaki değişimi ve kıyıya dik yönde katı madde hareketinin farkı belirlenerek *Posidonia oceanica*’nın kıyının doğal denge koşullarına etkisi ortaya konmuştur.

Posidonia oceanica çayırlarının pek çok canlıya ev sahipliği yaptığı, dalgaları sönümleyici etkisi olduğu ve dolayısıyla kıyı erozyonunu engellediği genel olarak bilinmektedir, özellikle son otuz yıldır genelde bitkilenmenin kıyıdaki süreçlere etkisi ile ilgili araştırmalar yapıyor olmakla beraber, bitkilenmenin katı madde hareketine etkisi tam olarak anlaşılmış bir süreç değildir. Özelde de, *Posidonia oceanica*’nın dalga özelliklerine ve katı madde hareketine etkisi ile ilgili araştırmalar yapılmakta olmasına rağmen, *Posidonia oceanica* çayırının varlığının kıyı profilinin geometrik özelliklerini nasıl değiştirdiğini araştıran bir çalışma yapılmamıştır. Bu çalışma ile kontrollü laboratuvar ortamında deneyler yapılarak, dalga özelliklerinin ve kıyıya dik katı madde hareketinin *Posidonia oceanica*’nın varlığından ne şekilde etkilendiği belirlenmiş, *Posidonia oceanica*’nın bulunduğu ve bulunmadığı durumlarda kıyı profilinin geometrik özelliklerinin belirlenmesi için ampirik

formüller önerilerek literatürdeki bu boşluk kısmen kapatılmıştır. Çalışmanın diğer bir orijinal yanı da *Posidonia oceanica*'nın ölçekli olarak modellendiği ilk çalışma olmasıdır.

1.2 Tezin Kapsamı

Çalışmanın konusu ülkemiz kıyılarında da yer alan *Posidonia oceanica* çayırlarının kıyı morfolojisine katkı ve etkilerinin deneysel yöntemlerle araştırılmasıdır. Kıyıların ekolojik ve morfolojik açıdan ele alındığında birbirini tamamlayan doğal bileşenlerin oluşturduğu dinamik bir sistem olduğu görülmektedir. Kıyı sisteminin doğal dengesinin sürdürülebilirliğini sağlayan temel dış parametreler dalga ve akıntılardır. Doğal bir kıyı, dalga enerjisini sönümleyip ve/veya yansıtır küresel enerji dengesi içindeki işlevini yerine getirirken aynı zamanda kendi doğal ekolojik ve morfolojik dengesinin devamını da sağlayacak enerjiyi elde etmektedir. Bu denge içinde kıyıda var olan tüm canlıların kendilerine ait rolü oynamakta oldukları söylenebilir. Bu bağlamda, *Posidonia oceanica* çayırları da deniz tabanındaki varlıkları ile kıyının morfolojik dengesine katkı ve etki yapmaktadırlar.

Bu tez çalışması ile bu etkinin deneysel yöntemlerle, pilot ölçekteki düzenekte incelenmesi, bilimsel açıdan somut parametrelerle ortaya konması hedeflenmektedir.

Bu kapsamda, öncelikle bu konuda yapılmış çalışmalar incelenerek literatürde hangi konuda boşluklar olduğu ortaya konmuş, *Posidonia oceanica*'nın kıyıda hangi süreçleri etkilediği araştırılmış, çalışma yöntemi olarak seçilmiş olan deneysel yöntemin nasıl uygulanacağı belirlenmiş, laboratuvar ortamında model *Posidonia oceanica* çayırı oluşturulmuş, bu çayırın dalga özelliklerine ve kıyı profiline etkisi deneyler yapılarak belirlenmiştir.

Elde edilen deneysel sonuçlar kullanılarak *Posidonia oceanica*'lı ve *Posidonia oceanica*'sız kıyı profilinin geometrik büyüklüklerinin belirlenmesi için denklemler önerilmiş, deney sonuçlarının daha önce yapılmış olan çalışmalarda bulunmuş formüller ile uyumu incelenmiş ardından *Posidonia oceanica*'nın dalga özellikleri ve katı madde hareketine etkisi ile ilgili bulunan sonuçlar özetlenmiş ve sonuçların pratikteki kullanımı ile ilgili öneriler sunulmuştur.

2. DENİZ ÇAYIRLARININ TANITIMI

Deniz çayırları; Antarktika hariç tüm kıtaların kıyılarında bulunan ve 60 civarında türü olan tamamen batık olarak haliç ve denizlerde yetişen sualtı çiçekli bitkileridir ve dünya genelinde kıyı ekosistemlerinin önemli ekolojik ve ekonomik bileşenlerine ev sahipliği yaparlar. Deniz çayırları; balıklar ve kabuklulara yaşam alanı sağlarlar ve kıyı sularını filtrelemek, dalga enerjisini sönmölemek, katı maddeyi tutmak gibi önemli fiziksel fonksiyonları vardır. Aynı zamanda dugonglar, yeşil deniz kaplumbağaları gibi çeşitli hayvanlar için birincil besindirler (Green ve Short, 2003).

Deniz ekosistemi için çok önemli ve değerli olan deniz çayırlarını tehdit etmekte olan, hem kara kaynaklı hem de denizde yapılan pek çok insan kaynaklı faaliyet vardır. Kıyı yapılarının inşaaı, gemicilik faaliyetleri, deniz dibinin taranması, kıyının doldurulması, yanlış işletilen balık çiftlikleri, tanker kazaları sonucu kıyıya gelen petrol ve petrol türevleri, kara kökenli yayılı ve noktasal kaynaklı kirleticiler, yeterli arıtma yapılmaksızın denize deşarj edilen atıksular bu tehditlerden bazılarıdır. Örneğın, yayılı kaynaklardan gelen besi maddeleri ve katı madde suyun bulanıklığının artmasına bu da deniz dibindeki çayırlara yeterli ışığın ulaşamamasına neden olur. Ortamda ışık geçirgenliğinin azalması da tüm canlı hayatı olumsuz olarak etkiler.

Deniz çayırları; balıkların yetişmesi, katı madde tutulması ve kıyı erozyonunun engellenmesini sağlamaları açısından insanlar için en önemli sığ su ekosistemleri olarak kabul edilirler. Fotosentez yapan canlılar içinde deniz tabanının altında kök ve rizom sistemleri olan tek batık deniz canlıları denizçayırlarıdır. Deniz tabanının altındaki bu biyokütle genellikle yer üstündeki biyokütleyle eşittir ve örneğın *Posidonia oceanica* için daha fazla da olabilmektedir. Katı madde bağlayıcılığı açısından kök ve rizomlar çok önemlidir. Fırtınalar sırasında bitkili bölgeler ile bitkisiz bölgelerdeki erozyonu karşılaştıran birçok çalışmada bu konu araştırılmıştır (Dean ve diğ., 1976; 1978; Coops ve diğ., 1996; Lovas, 2000; Lovas ve Torum, 2001; Türker ve diğ., 2006). Bu süreçte denizçayırlarının sürgünleri de önemlidir; sürgünler bentosun üzerinde sabit bir tabaka oluşmasını sağlar, akıntıları

kararsızlaştırır ve bunun sonucunda katı maddenin yerleşmesine yardımcı olduğu gibi tekrar askıya geçmesini önler (Green ve Short, 2003).

Bazı deniz çayırlarının taksonomisi ile ilgili çalışmalar halen devam ediyor olmakla birlikte deniz çayırları taksonomik olarak 5 aileye (familya) mensupturlar, bunlar; Hydrocharitaceae, Cymodoceaceae, Posidoniaceae, Zosteraceae, Ruppiaceae'dir. Bunlardan Posidoniaceae ailesine mensup 8 tür bulunmaktadır: *Posidonia angustifolia*, *Posidonia australis*, *Posidonia coriacea*, *Posidonia denhartogii*, *Posidonia kirkmanii*, *Posidonia oceanica*, *Posidonia ostenfeldii*, *Posidonia sinuosa*'dır (Green ve Short, 2003).

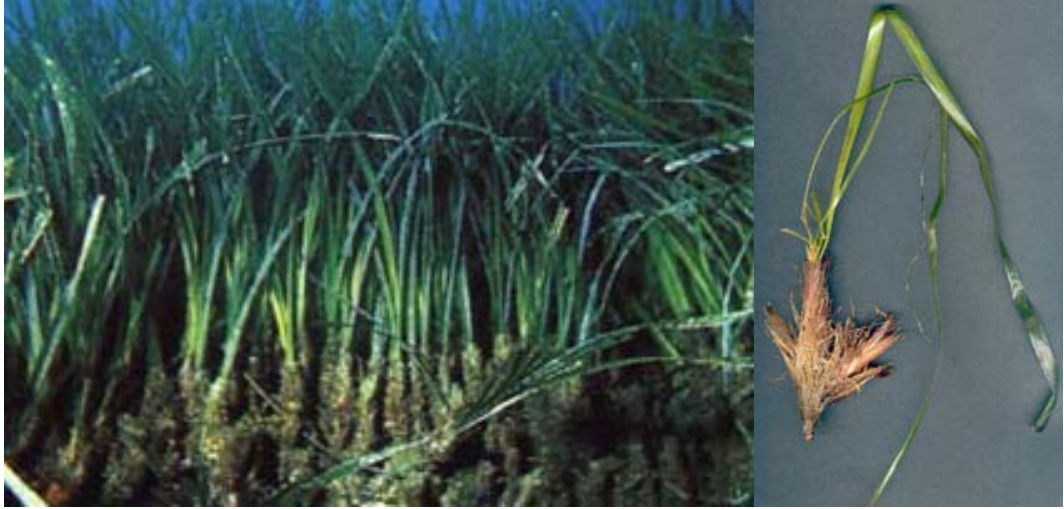
2.1 *Posidonia Oceanica*

Akdeniz'de endemik bir tür olması dolayısıyla Türkiye kıyılarında da yoğun olarak bulunması, ayrıca uluslararası sözleşmelerle koruma altında olması çalışmanın önemini arttırmaktadır. Bunun yanı sıra, yapraklarının büyüklüğü ve şekli nedeniyle fiziksel olarak modellenmesinin göreceli olarak kolay olması, daha önce yapılmış fiziksel model çalışmalarının varlığı bu çalışmaya yön vermektedir. Sürgün yoğunluğunun fazlalığı nedeniyle kıyı erozyonu için önemli bir tür olması da *Posidonia oceanica*'nın kumsal morfolojisi ve dalga özelliklerine olan etkisinin incelenmesini önemli ve cazip kılmaktadır.

Posidonia oceanica çayırları (Şekil 2.1) çoğu uzman tarafından Akdeniz'in en müthiş ekosistemi olarak kabul görmektedir (Ateş ve diğ., 2004). Bu çayırlar, 1 metreden 25-40 metre derinliğe kadar çok geniş alanlara yayılmıştır ve çok zengin ve çeşitli flora ve faunayı muhafaza eder. Bu flora ve fauna bir çok besin zincirinden oluşan gerçek bir besin ağı teşkil eder ve bu besin zincirlerinden bir kısmı; krustase (kabuklular), echinoderm (derisi dikenliler) ve balıklar gibi ekonomik değeri olan türlerle sona erer (Augier ve diğ., 1993). Türkiye'nin Ege Denizi kıyılarındaki *Posidonia oceanica* çayırlarının dekapod Krustase (kabuklu) faunası ile ilgili yapılmış bir çalışmada 69 tür kaydedilmiştir (Ateş ve diğ., 2004).

Posidonia oceanica (L) Delile'nin sistematik açıklaması aşağıdaki şekildedir (Çelebi ve diğ., 2005):

Alem: Plantae
Şube: Spermatophyta
Alt Şube: Angiospermae
Sınıf: Monocotyledoneae
Takım: Majadales
Aile: Posidoniaceae
Cins: Posidonia
Tür: Posidonia oceanica



Şekil 2.1: *Posidonia oceanica* (Url-1, Url-2).

Posidonia oceanica, tüm denizçayırları gibi, bir alg değil çiçekli (Şekil 2.2) bir bitkidir, rizom (kök gövde), kök, yaprak, çiçek ve meyve gibi karakteristik elemanlara sahiptir. İlk bakışta çayırı anımsattığından deniz çayırı olarak adlandırılmıştır. *Posidonia oceanica* hem eşeyli hem de eşeysiz olarak üreyebilir. Uygun koşulların oluşması durumunda üreme döneminin başlangıcı olan Eylül-Ekim aylarında çiçeklenme meydana gelir. Kasım ayı itibarıyla de meyveler olgunlaşmaya başlar. Olgunlaşan meyveler ilkbahar aylarında kopup suda yayılırlar. Serbest kalan meyveler pozitif yüzerliğe sahip olup, tek tohumdan oluşurlar. Negatif yüzerliğe sahip olan tohumlar herhangi bir uyku evresi geçirirmeden, birkaç gün içinde çimlenirler. Ancak, eşeyli üremesi için uygun koşulların oluşması çok zor olduğundan *Posidonia oceanica*'nın büyük çoğunlukla eşeysiz ürediği görülmektedir. Eşeysiz üreme ise yatay büyümenin sonucu olarak kökte oluşan filizlenmelerle gerçekleşir. Yatay büyüme, matın deniz dibinde yayılımı şeklinde olup, büyüme hızı yılda 3-10 cm kadardır (Çelebi ve diğ., 2005).



Şekil 2.2: *Posidonia oceanica* (Url-1, Url-3).

Deniz çayırı yatakları küçük parçalardan sürekli çayırlara kadar değişen çeşitli morfolojik formlarda oluşurlar. Endemik Akdeniz çayırı *Posidonia oceanica* birkaç değişik morfotipte (şebekeli yani çıplak kum gibi başka bir habitat tipi ile iç içe veya sürekli) bulunur (Borg ve diğ., 2005).

Dalgaları kıran ve katı madde için bir tutucu olarak çayırlar deniz kıyılarının ve hareketli tabanların stabilizasyonunda önemli bir rol oynar. Ayrıca *Posidonia oceanica* sudaki çözünmüş oksijenin artmasına yani yaşam dengesi için oksidasyonun artmasına neden olur (Augier ve diğ., 1993).

2.1.1 *Posidonia oceanica*'nın yaşam alanları ve çayırların morfolojisi

Posidonia oceanica Akdeniz'de endemik bir tür olmakla beraber yapılan bazı yakın tarihli çalışmalarda Marmara Denizi'nde de bu türün varlığı saptanmıştır (Yüksek ve diğ., 2004; Meinesz ve diğ., 2009). Çanakkale Boğazı'nın içinde, 0-25 metre derinlikte geniş yataklar, Marmara Denizi'nde 0-5 metre derinlikte izole yataklar (Meinesz ve diğ., 2009) ve Paşalimanı Adası'nın Harmanlar Koyu'nda (Yüksek ve diğ., 2004) *Posidonia oceanica* varlığı saptanmıştır. Bu gözlem normalde 36,5-39,5 ppt tuzlulukta suda yaşayan *Posidonia oceanica*'nın Çanakkale Boğazı ve Marmara Denizi'nde 21,5-28 ppt tuzlulukta var olabildiğini göstermiştir (Meinesz ve diğ., 2009).

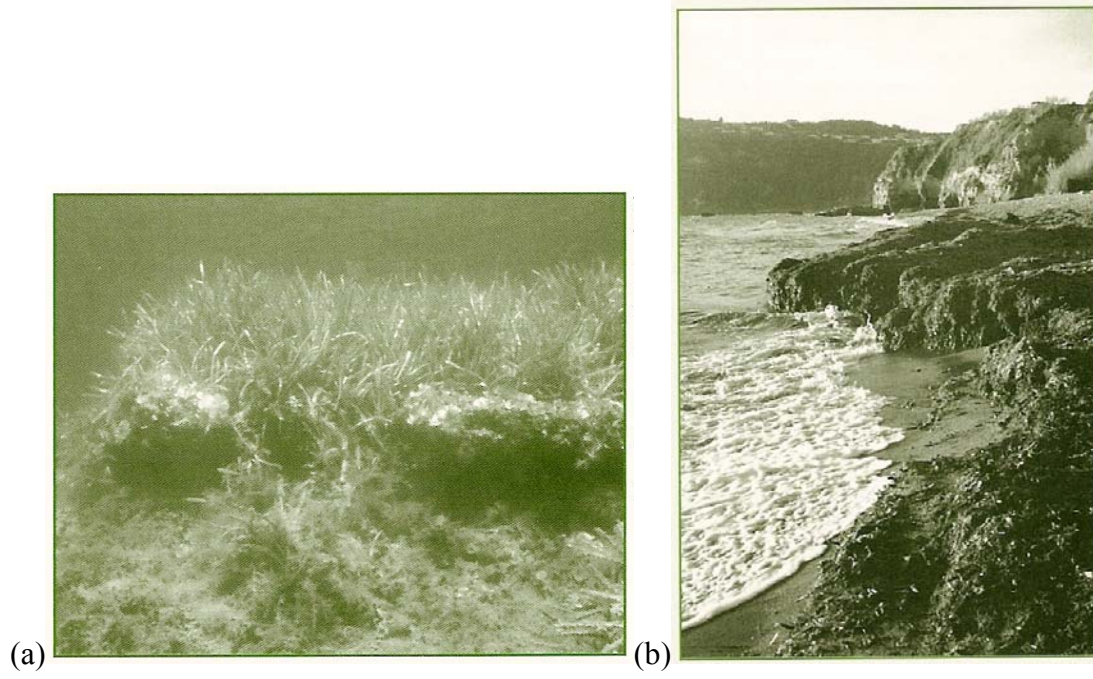
Posidonia oceanica taşlı dipler dahil çoğu süstratta yaşar, fakat çamurlu sedimentte yetişmez (Mazella ve diğ., 1993). *Posidonia oceanica* Akdeniz'in kumluk kıyı diplerinin tipik bitkisidir (Ciraolo ve diğ., 2006).

Tabanı kaplama oranına ve altındaki süstrata göre *Posidonia oceanica* çayırları 3 farklı bölgeye ayrılabilir; sürekli deniz çayı (taban kaplama oranı>%50), kaya üzerinde mozaik olarak deniz çayı (taban kaplama oranı<%50) ve matte üzerinde mozaik olarak (taban kaplama oranı<%50) (Ballesta ve diğ., 2000).

Posidonia oceanica tatlı su ve ince katı madde girişinin fazla olduğu haliçler hariç taşlıktan kumluğa kadar çeşitli diplerde mevcuttur. Rizomların yatay ve düşey büyümesi ve bu maddenin yavaş bozunması *Posidonia oceanica* nın mat (matte) adı verilen biyojenik (yaşayan bir organizma tarafından üretilmiş) yapıyı oluşturmaya neden olur. Mat yapısı dipten birkaç metre yükseğe kadar oluşabilir ve yaşı yüzyıllar mertebesinde olabilir (Green ve Short, 2003).

Posidonia oceanica'nın hem deniz dibinin üstündeki hem de deniz dibinin altındaki biyokütle değerleri diğer denizçayırlarından (Avustralya'daki *Posidonia* türler dahil) fazladır. Göze çarpan bir özellik, çoğunluğunu odunlaşmış rizomların oluşturduğu (toplam biyokütlenin %90'ına kadar çıkabilen) biyokütledeki belirgin bölünme ve yaprakların %90'dan fazlasını oluşturduğu üretimdir (Green ve Short, 2003).

Posidonia oceanica'nın oluşturduğu mat karbon ve diğer elementler için bir kaynak olmakla kalmaz; aynı zamanda yüzey yakınında büyürken dalga hareketini de zayıflatır. Bu tür koşullar altında 1m³ matın yok olmasının 20 metrelik kıyı gerilemesine yol açabileceği tahmin edilmiştir. Ayrıca ölü yaprakların karaya oturmasıyla banket adı verilen ve kumla karışarak bazı bölgelerde 2–3 m yüksekliğe varabilen tipik bir yapı oluşur. Dalgaların zayıflatılması ve kıyının erozyondan korunması konusunda banketin önemli bir rolü vardır. Ek olarak banket denizçayırlarının ayrıştırılmasına yardımcı olan fauna elemanlarına ev sahipliği yapar (Green ve Short, 2003).

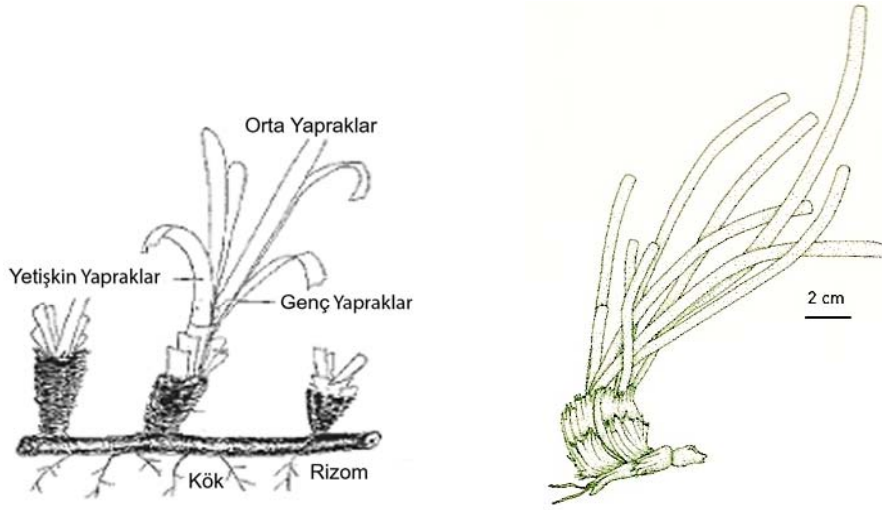


Şekil 2.3: *Posidonia* çayırlarının oluşturduğu mat ve banket (Green ve Short, 2003)
(a) Mat oluşumu, Porto Conte, Sardinia (b) Banket oluşumu, Cava dell'Isola Beach, Ischia Adası, İtalya (fotoğraflar, Bentik Ekoloji Laboratuvarı).

2.1.2 *Posidonia oceanica*'nın yapısı, sürgün yoğunluğu ve yaprak boyutları

Bu çalışmada, *Posidonia oceanica* çayırı fiziksel olarak modelleneyeceği için, *Posidonia* bitkisinin fiziksel özellikleri çalışmanın gerçeği yansıtması açısından çok önemlidir. Bu nedenle bu bölümde *Posidonia oceanica*'nın fiziksel özellikleri ile ilgili bilgiler verilmiş daha sonra bu bilgiler modellemede kullanılmıştır. Aşağıda *Posidonia oceanica* ile ilgili verilmiş olan fiziksel özelliklerin, özellikle sürgün yoğunluğu ve yaprak boyutu ile ilgili olanların, çalışmadan çalışmaya bazı farklılıklar gösterdiği görülmüştür. Bunun nedeninin, çalışmanın yapıldığı alana ve yapılan örneklemeye göre bitkinin özelliklerinin değişmesi olduğu düşünülmektedir. Modelleme aşamasında çeşitli çalışmalarda verilen bu fiziksel özellikler göz önüne alınarak tipik ortalama *Posidonia oceanica*'nın özellikleri yansıtılmaya çalışılmıştır.

Posidonia oceanica Potamogetonacees genusuna ait olup, kökler, rizom denilen kısa bir sap ve yapraklardan oluşur (Şekil 2.4). Rizom hem düşey hem de yatay doğrultuda büyür (Ciraolo ve diğ., 2006).



Şekil 2.4: *Posidonia oceanica*'nın şematik yapısı.

Çelebi ve diğ. (2005) çalışmasında; *Posidonia oceanica*'nın uzun ve kenarları düz olan yaprakları olduğu, bunların genişliğinin 7- 11 mm arasında değiştiği ve ortalama 40cm olan yaprak uzunluğunun 120 cm'e kadar ulaşabildiği görülmüştür. Kök üzerindeki her vejetatif noktada 5–8 yaprak bulunduğu, yeni yaprakların, vejetatif noktadan çıkan yaprak buketinin ortasından çıktığı, eski yaprakların ise kenara doğru açıldığı ve ömrünü tamamlayan yaprağın gövde üzerinde pul bir diğer adıyla kın bırakarak düştüğü de bu çalışmada belirtilmiştir.

Mazella ve diğ. (1993)'e göre *Posidonia oceanica* yaprakları mevsime bağlı olarak 1 m civarında büyüyebilir. Her sürgün farklı uzunlukta 7–9 yaprak verebilir. Yaprak uzunluğu, genişliği, dışbükeyliği ve büyüme oranının mevsimselliği, karmaşık bir yapı ve mikrohabitatlardaki değişkenliğe yol açar; bu durum da alg ve hayvansal organizmalar için hayati önem taşır.

Ciraolo ve diğ. (2006) çalışmasında *Posidonia oceanica*'nın, 1 cm genişliğinde ve 1,5 m boyunda, çok ince ve esnek şeride benzer yapraklardan oluştuğu ve tabanı genellikle 500–1000 sürgün/m² yoğunlukla kapladığı belirtilmiştir. Çizelge 2.1'de *Posidonia oceanica*'nın genel özellikleri verilmektedir.

Yüksek ve diğ. (2004) Marmara Denizi'nde yaptıkları araştırmada *Posidonia oceanica*'nın dağılımının kumlu taşlı alanda kıyıdan yaklaşık 10 m açıktaki 2,5 m derinlikte başladığı ve 6 m'ye kadar devam ettiği saptanmıştır. 3 m'den itibaren başlayan çayırılar eğimsiz sahada ~7 m'de sonlanmaktadır. Aynı araştırmada 3 m'de %40'lık sıklıkta 82 sürgün/m² dağılım yaptığı gözlenmiştir. 6 m'de ise sıklık daha artmış (%60) 1 m² alanda sürgün sayısı 200'e çıkmıştır. Bu yoğunlukta gözlenen

çayırdaki yaprak uzunluğu ortalama 15 cm'dir. Minimum yaprak boyu 4 cm, maksimum yaprak boyu ise 24 cm'dir. Bu oran Akdeniz ile kıyaslandığında oldukça küçüktür.

Çizelge 2.1: *Posidonia oceanica*'nın genel özellikleri (Green ve Short, 2003).

	Posidonia oceanica sığ suda	Posidonia oceanica derin suda
Yoğunluk (sürgün/m ²)	700	161
Yaprak alan indeksi (m ² /m ²)	6,16–29	1,1–2,6
Yaprak biyokütlesi (g dw/m ²)	175–670	52–94
Alt biyokütle (g dw/m ²)	6526	324
Epifit biyokütlesi (g dw*/m ²)	7–147	3–21,3
Hayvan biyokütlesi (g dw/m ²)	0,077–0,4	-
Alg türü sayısı	36	50
Hayvan türü sayısı	38–60	22–84
Hayvan yoğunluğu (birey/ m ²)	380–1100	210–680
Yaprak üretimi (g dw/m ² /y)	162–722	71,3–232
Rizom uzanımı (cm/y)	1,1–7,4	-
Yaprak ömrü (ay)	11	11
Yoğunluk (sürgün/m ²)	700	161
Yaprak alan indeksi (m ² /m ²)	6,16–29	1,1–2,6

* dw= kuru ağırlık

2.1.3 Türkiye’de *Posidonia oceanica*’nın yasal durumu

22 Temmuz 2002 tarih ve 2002/4545 sayılı Bakanlar Kurulu Kararıyla, 22 Ağustos 2002 tarih ve 24854 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanmış olan Akdeniz’de Özel Koruma Alanları (AÖKA) ve Biyolojik Çeşitliliğe İlişkin Protokol’de *Posidonia oceanica* “Tehlikeye Düşmüş veya Tehdit Altındaki Türler Listesi”nde yer almaktadır (Url-4). Bu protokolün 12. Maddesine göre;

(i) Taraflar, bu Protokol’ün, Tehdit ve Tehlike Altındaki Türler Listesi ve Kullanımı Düzenlemiş Olan Türler Listesi’yle ilgili eklerinde sıralanan bitki ve hayvanların korunmasını ve esirgenmesini güvence altına almak için işbirliği önlemleri alacaklardır.

(ii) Taraflar, Tehlikeye Düşmüş ve Tehdit Altındaki Türler Listesi’yle ilgili Ek’te sıralanan türlerin yaşama ortamlarının tahribini ve bunlara zarar verilmesini yasaklayacaklar ve esirgenmesi veya yeniden kazanılması için eylem planları hazırlayacak ve uygulayacaklardır. Kabul edilen ilgili eylem planlarının uygulanması için işbirliğini sürdüreceklerdir.

(iii) Tehdit altındaki veya tehlikeye düşmüş bir türün alanı bir ulusal sınırın veya bu Protokol'ün iki Tarafının egemenliğine ve ulusal yargı yetkisine tabi ülkeleri veya alanları ayıran bir çizginin her iki tarafına yayılmışsa, bu Taraflar bu türün korunması, muhafazası ve gerekiyorsa yeniden kazanılması amacıyla işbirliği yapacaklardır.

Aynı protokolün 20 Maddesine göre teknik ve bilimsel araştırmada, Taraflar AÖKA'lara ve bu Protokol'ün eklerinde görülen türlere öncelik vereceklerdir. Madde 22'ye göre Taraflar, karşılıklı yardımlaşma meselelerinde AÖKA'lara ve bu Protokolün Eklerinde görülen türlere öncelik vereceklerdir.

09.01.1984 tarih ve 84/7601 sayılı Bakanlar Kurulu Kararıyla onaylanarak, 20.02.1984 tarih ve 18318 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanmış olan Avrupa'nın Yaban Hayatı ve Doğal Yaşama Ortamlarını Koruma Sözleşmesi (Bern Sözleşmesi)'nin Ek-1 sayılı listesinde verilen Kesin Koruma Altına Alınan Flora Türleri arasında *Posidonia oceanica* yer almaktadır. Bu sözleşmeye göre taraflar yabani flora ve fauna türlerinin yaşama ortamlarının, özellikle I ve II no.lu ek listelerde belirtilenlerin ve yok olma tehlikesi altında bulunan doğal yaşama ortamlarının muhafazasını ve I no.lu ek listede belirtilen yabani flora türlerinin özel olarak korunmasını güvence altına almak üzere, uygun ve gerekli yasal ve idari önlemleri alacaktır. Aynı sözleşmenin 5. maddesine göre I no.lu listede yer alan bitkilerin kasıtlı olarak koparılması, toplanması, kesilmesi veya köklenmesi yasaklanacaktır ve taraflar uygun hallerde, bu türlerin elde bulundurulmasını veya alımsatımını yasaklayacaktır.

Posidonia oceanica 01/09/2008 - 31/08/2012 tarihleri arasında amatör (sportif) amaçlı su ürünleri avcılığında uygulanacak yasak, sınırlama ve yükümlülükleri düzenlemek için çıkarılmış olan, Amatör (Sportif) Amaçlı Su Ürünleri Avcılığını Düzenleyen 2/2 Numaralı Tebliğ'de (Tebliğ No: 2008/49) Avlanması Tamamen Yasak Olan Türler arasında yer almaktadır. Aynı zamanda 01/09/2008 - 31/08/2012 tarihleri arasında ticari amaçlı su ürünleri avcılığında uygulanacak yasak, sınırlama ve yükümlülükleri düzenleyen 2/1 no.lu Ticari Amaçlı Su Ürünleri Avcılığını Düzenleyen Tebliğ'de (Tebliğ No: 2008/48) avlanmaları ve toplanmaları yasak olan türler arasında yer almaktadır.

2.2 *Posidonia oceanica* ile ilgili yapılmış çalışmalar

Bu tezde, *Posidonia* çayırının kıyı morfolojisi ve dalga özellikleri ile etkileşimi incelendiğinden, *Posidonia*'nın ve deniz dibindeki bitkilenmenin dalga ve akım koşullarına etkisi, kıyı morfolojisine etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar ile ilgili literatür ayrıntılı olarak Bölüm 3'te verilmiştir. Ancak, *Posidonia* çayırları ile ilgili yapılmış çalışmalar bu konularla sınırlı değildir. Aşağıda *Posidonia oceanica* ile ilgili yapılmış diğer çalışmalarla ilgili kısa bilgiler verilmiştir.

Akdeniz kıyılarında çok yaygın olan *Posidonia oceanica* çayırları, kısmi olarak hem kirliliğe hem de insan faaliyetlerinin etkilerine karşı hassastır (Pergent-Martini ve diğ., 1999). *Posidonia oceanica* çayırları birçok sebebe bağlı olarak Akdeniz'de çoğu bölgede ciddi bir azalış göstermektedir. Bu sebepler çoğunlukla, endüstriyel ve evsel atıksuların deşarjı, balık çiftlikleri, tarak ağı ile balıkçılık, kıyılardaki insan faaliyetlerine bağlıdır (Ruiz ve Romero, 2003). Bunun sonucu olarak varlığı ve yaşam gücü (ya da ölü mat ile kendini gösteren gerilemesi) ve dibe bağlı olarak yaşadığı gibi faktörler yüzünden üzerindeki deniz suyunun kalitesini göstermesi açısından iyi bir indikatördür. Ayrıca, *Posidonia oceanica* kimyasal kirliliği gösteren bir biyolojik indikatör olarak son 20 yıldır kullanılmaktadır (Pergent-Martini ve diğ., 1999). Biyoindikatör türlerin kullanımı deniz ortamının kalitesini gösteren pratik ve güvenilir bir araştırma yöntemidir. Bu tür bioindikatör türler, özellikle uzun yaşamları olanlar, ortamın durumunu ve zaman içindeki değişimini yansıtır. Bu açıdan deniz fanerogamları (çiçekli bitkiler) ideal adaylardır (Lange ve Lambert, 1994; Phillips ve Rainbow, 1994). *Posidonia oceanica* rizomlarındaki koruyucu işlevini yitirmiş yaprak dokularının özelliklerini taşır ve yaşları tam olarak belirlenebilir (Pergent-Martini ve Pergent, 1995). Böylece ortamın uzun süreler boyunca gelişimini izlemek mümkün olur. *Posidonia oceanica* deniz çayırı yataklarının maksimum derinliği bu türün telafi derinliğine (solunum=fotosentez) bağlıdır. Bu limitin gözlemlendiği derinlik, suyun berraklığına bağlıdır (Pergent-Martini ve diğ., 1999).

Ruiz ve Romero (2003) yaptıkları çalışmada Akdeniz'de *Posidonia oceanica*'nın azalmasına suyun bulanıklığının yol açıp açmadığını anlamak için limandan etkilenen bir bölgede ışık sınırlılığı hipotezini test etmişlerdir. Deniz çayırının yıllık büyüme, fotosentez ve rizom (kök gövde), nişasta konsantrasyonu ölçülmüş ve ışık

geçirgenliği, limana yakın bölgeden uzak bölgeye doğru, çayırların bozulması çözülmüş nütrient konsantrasyonuyla ilişkilendirilmiştir. Çevresel değişkenler ve bitki değişkenleri bu bölgeler boyunca 3 istasyonda ölçülmüş ve bozulmamış bir referans çayırla karşılaştırılmıştır. Işık zayıflama (light attenuation) katsayısı (k) katı maddenin askıya geçmesi nedeniyle liman iç sahasına doğru artmıştır. *Posidonia oceanica* sürgünlerinin, sürgün yoğunluğu ve yaprak üretimi liman iç sahasındaki rahatsız edilen istasyonlarda dıştakilere ve referans istasyona göre düşüktür. Bu çalışmanın sonuçlarına göre, ışığın azalması denizçayırının çoğalmasını azaltır; dolayısıyla varlığının azalmasına yol açar. Buna rağmen liman bölgesindeki sürgün azalması (sürgün ölümü bağlamında) benzer ışık alan yakındaki çayırlardakinden çok fazladır. Nitekim denizçayırlarının ölümünde ışığın kısıtlı olmasından başka faktörler (daha karmaşık ilişkileri olan- örneğin epiphytes-grazers, su kalitesi-siltasyon) de vardır (Ruiz ve Romero, 2003). Bu çalışma sonucunda, sürgün büyüklüğünün, yaprak büyüme oranının ve her sürgündeki yaprak sayısının liman iç sahasındaki istasyonda, daha dışarıda olanlara ve referans istasyona göre belirgin olarak düşük olduğu ve en büyük farkların sürgün büyüklüğünde olduğu görülmüştür. Bunun tersine epiphyte (asalak olmadığı halde başka bir bitkinin üstünde büyüyen bitki) yüklemesi ve otçul baskısı 3 liman istasyonunda genelde homojendir (Ruiz ve Romero, 2003). Limandaki deniz çayırları ile ilgili su kalitesi değişimi büyük ihtimalle suyun bulanıklığındaki artış ile ilişkilidir. Körfezdeki taşkın yatağı boyunca gelen karasal deşarjlardan kaynaklanan bulanık suyun tutulması gibi hidrodinamik ve katı madde değişimlerine bağlı birçok fiziksel neden bu artışla ilgilidir. Bulanıklığın artışı fitoplankton büyümesi (liman içindeki istasyonlarda tespit edilmiştir) gibi biyolojik nedenlere bağlı olabilir ki bu süreç sadece daha fazla bulanıklığa yol açmakla kalmaz su sütunundaki nütrient konsantrasyonunun da artmasına yol açar (Ruiz ve Romero, 2003).

Ruiz ve Romero, (2003)'ün sonuçları kıyı yapılarına bağlı ışık azalmasının deniz çayırlarının azalmasına yol açtığını göstermiştir; ancak en azından bu vakada ışık azalmaya yola açan tek faktör değildir. En azından diğer iki faktör de göz önüne alınmalıdır: Bu faktörler; nütrientler arasındaki etkileşim, epiphyteler makro grazerlar ve katı maddenin kalitesindeki değişime bitkilerin toleransıdır.

Günümüzde dünyadaki deniz çayırları alanlarının haritalanması konusunda geniş çaplı çalışmalar sürdürülmektedir. Deniz çayırlarını haritalamak için çeşitli

yöntemler kullanılabilir. Hangi yöntemin seçileceği çalışılacak alana, toplulukların derinlik limitine (maksimum derinlik), gereken hassasiyete, harcanan zamanın maliyete oranına bağlıdır. Günümüzde uydu ile uzaktan algılama geniş ölçekli haritalamada kullanılmaktadır, Landsat Thematic Mapper (TM) or SPOT High-Resolution Visible (HRV) gibi yüksek çözünürlüklü araçlar ekosistemi tanımlayıcı çözünürlükte sağlarlar, fakat kullanımları kısıtlıdır (Pasqualini ve diğ., 2005).

Türkiye’de yürütölmüş olan bir çalışma Orta Doğu Teknik Üniversitesi Sualtı Topluluğu (ODTÜ SAT) / Sualtı Araştırmaları Derneğı (SAD) Ekoloji Grubu’nun *Posidonia oceanica* Yayılımını İnceleme Projesi (POYİP) kapsamında yapılmış olup Akdeniz ekosisteminde çok önemli bir yere sahip olan *Posidonia oceanica* yataklarının Edremit Körfezi kıyılarındaki yayılımının incelenmesi amacıyla gerçekleştirilmiştir. 2004 yılında Nisan ve Eylül aylarında SCUBA’lı ve serbest dalışlarla *Posidonia oceanica* yataklarının yaprak yoğunluğu, yaprak uzunluğu, yatak durumu gibi özellikleri saptanmış ayrıca yatakların haritadaki yerleşimi belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda tüm Edremit Körfezi kıyılarında *Posidonia oceanica* yataklarının 20 metre derinliğe dahi ulaşmadığı gözlemlenmiştir. 20m ve daha derinlerde dip yapısının çok gevşek balçık bir yapıya sahip olduğu ve suyun ışık geçirgenliğinin az olduğu tespit edilmiştir. Çok gevşek dip yapısının, düşük ışık geçirgenliğinin ve soğuk kaynak sularının çıkışının *Posidonia oceanica* yataklarının yayılmasına engel teşkil ettiği tahmin edilmektedir (Çelebi ve diğ., 2005).

3. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölümde, deniz dibindeki bitkilenmenin ve özelde *Posidonia oceanica* çayırılarının akıma, dalga özelliklerine ve kıyı morfolojisine etkisi ile ilgili yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Bu konularda yapılmış arazi çalışmaları, fiziksel ve nümerik modelleme çalışmaları mevcuttur. Literatürde çok çeşitli bitkilenme türlerinin akıma etkisi ile ilgili çalışmalar bulunduğundan bu çalışmaların sadece bir kısmından burada bahsedilecektir.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde fiziksel modelleme çalışmalarının, daha çok bitkilenmenin ve *Posidonia oceanica*'nın akıma etkisi konusunda yapıldığı görülmüştür. Literatürde, *Posidonia oceanica*'nın dalga özelliklerine ve kıyı morfolojisine etkisini araştıran bir fiziksel modelleme çalışmasına ise rastlanmamıştır.

3.1 Kıyı Morfolojisi

3.1.1 Kıyıda katı madde hareketi

Kıyı bölgeleri sert ve yumuşak yapıdaki kıyılar olmak üzere 2 gruba ayrılabilir. Sert kıyılar genellikle dalga enerjisine karşı rijit bir şekilde davranan, profillerin değişimi insan ömrünün üzerinde zaman dilimlerinde oluşan kıyılardır. Yumuşak yapıdaki kıyılar ise hafif malzemeden kıyı bölgeleridir. Eğimleri çok azdır ve dalga enerjisini profillerindeki değişime yol açan oluşum ile sönümlerler. Bu tip kıyıların profillerinin değişimi çok kısa periyotlarda hatta günlük olarak meydana gelebilir. Yumuşak kıyıları oluşturan malzeme kum, çakıl, silt ve benzeri katı maddelerden oluşabilir ve genel olarak plaj veya kumsal olarak isimlendirilirler (Kabdaşlı, 1992).

Dalgaların kırılmaya başladıkları nokta ile kıyı çizgisi arasındaki bölgeye yakın kıyı bölgesi, kırılma noktasının açığında deniz tabanının dalga etkisini hissettiği nokta arasındaki bölgeye de uzak kıyı bölgesi adı verilir. Deniz tabanı dalgadan, su derinliğinin dalga boyunun yarısına eşit olduğu durumdan itibaren etkilenmeye

başlar, daha büyük su derinliklerinde ise etkilenmez. Dalganın tabanı etkilemediği bölge ise açık deniz olarak isimlendirilir (Kabdaşlı, 1992).

Yumuşak yapıdaki kıyıları oluşturan kum ve çakıl malzemenin ana kaynağı kayalar içerisinde çeşitli etkenlerle oluşan erozyon ve kayaların parçalanması ile oluşan malzemelerdir. Bunlar sel ve akarsular yoluyla denize dökülürler ve bu zaman süresince iri malzemeler kum ve çakıl boyutuna ve şekline ulaşırlar. Denize dökülen katı maddeler dalga ve akıntı etkileri ile kıyı bölgesine dağılırlar. Kıyılardaki katı maddeler dalga etkilerinin kıyı gerisinde zaman zaman ulaştıkları sert kıyılardan kopardıkları katı maddelerden oluşabilirler. Daha ufak bir kaynak ise yerel olarak açık denizden kıyıya doğru ulaşan net katı madde taşınımı ile uzak kıyıdan kıyı çizgisine ulaşan katı maddelerdir (Kabdaşlı, 1992).

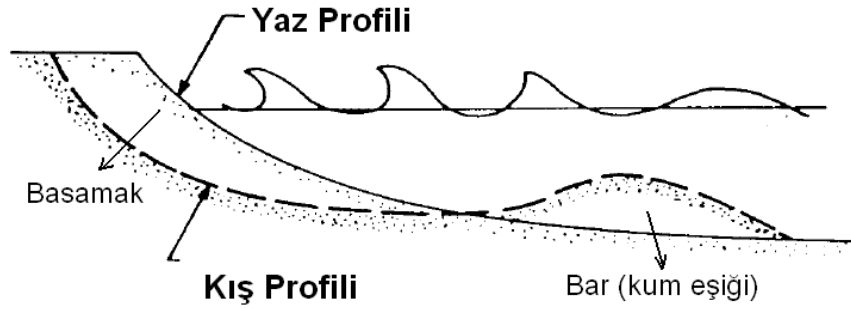
Kıyılarda katı madde hareketi özellikle yakın kıyı bölgesinde oluşur. Başka bir deyişle açık denizden gelen dalgaların kırıldıkları andan itibaren oluşan akım ortamı ve bunun yol açtığı etkenler (örneğin türbülans ve kayma gerilmeleri) bu bölge içinde yoğun katı madde hareketine yol açar. Katı madde hareketine yol açan etkenler; dalgalar, çeşitli nedenlerle oluşan akıntılar ve gel-git olaylarıdır. Açık denizde su yüzeyine aktarılan rüzgâr enerjisi dalgaların oluşumuna sebep olduğu gibi dalga enerjisine dönüşerek bir enerji akısı halinde kıyı bölgesine ulaşır. Dolayısıyla bu bölgede deniz tabanı ile su kütlesinin karşılıklı etkileşimi ile sönümlenir. Genel olarak ifade etmek gerekirse dalgalar kıyılarda katı madde hareketine yol açan en önemli etkindir (Kabdaşlı, 1992).

3.1.2 Kıyı profilinin oluşumu

Kıyıya ulaşan dalgaların yakın kıyı bölgesinde ortalama kıyı çizgisine paralel enerji bileşenleri kıyı boyu katı madde taşınımına yol açarken ortalama kıyı çizgisine dik enerji bileşeni kıyıya dik yönde katı madde taşınımına yol açar. Bu çalışmada kurulmuş olan model 2 boyutlu bir model olduğundan sadece kıyıya dik yöndeki katı madde taşınımı göz önüne alınmıştır. Hareket edebilen malzemedan oluşan yumuşak yapıdaki kıyılarda, kıyıya dik yöndeki taşınım dalga enerjisinin kıyı üzerinde sönümlenmesi olayında önemli işleve sahiptir. Kıyıya dik katı madde taşınımı genellikle kıyıya dik yönde alınan birim genişlikteki kıyının boyuna profili üzerinde incelenir ve bu profile kıyı profili adı verilir. Kıyıya dik yöndeki katı madde hareketi

sonucunda kıyı profilindeki değişimler, gelen dalganın dikliğine ve kıyıyı oluşturan katı madde boyutlarına bağlıdır.

Genellikle kıyı profili yıllık fırtına-sakin zaman döngüsüne göre değişmektedir (Kamphuis, 2000). Kıyı profilleri yaz veya normal ile kış veya fırtına profili olmak üzere ikiye ayrılabilir, yaz ve kış profillerinin şematik gösterimi Şekil 3.1’de verilmiştir.

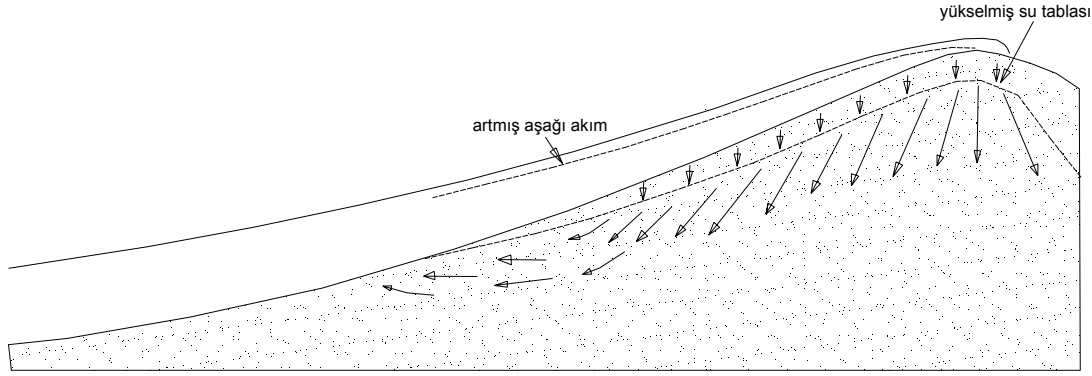


Şekil 3.1: Yaz ve kış profillerinin şematik gösterimi.

Kış aylarında dalga şartları yaz aylarına göre daha şiddetlidir. Sonbahar, kış ve ilkbaharda meydana gelen büyük ve dik fırtına dalgaları kumsaldaki katı maddeyi açığa doğru taşır (Kamphuis, 2000). Katı maddelerin, kumsaldan açığa taşınıp belli bir bölgede birikmesiyle oluşan doğal yapıya; bar, açık kıyı eşiği ya da kum eşiği denir. Fırtına dalgaları ortalama su seviyesinin üstünde daha fazla su ihtiva ederler ve farklı periyotlarda yani geniş bir spektrumda dalgalar oluşur. Neredeyse her saniye kıyıya bir dalga tepesi gelir ve önemli miktarda su kumsal yüzeyine ulaşır ve kumsal tarafından hızla emilir (Şekil 3.2). Böylece su tablası neredeyse kumsal yüzeyine ulaşır. Yüzeyden denize doğru olan aşağı akım neredeyse yukarı akım kadardır, böylece daha fazla kum aşağı doğru taşınır. Basamak erozyona uğrar ve basamaktaki kum askıya geçer. Etki eden diğer faktör de, denize dönen yeraltı suyudur (Silvester ve Hsu, 1997). Açığa katı madde taşınım oranı başlangıçta fazladır, ancak barın şeklini almasıyla erozyon kuvvetleri zayıfladıkça, zamanla azalır.

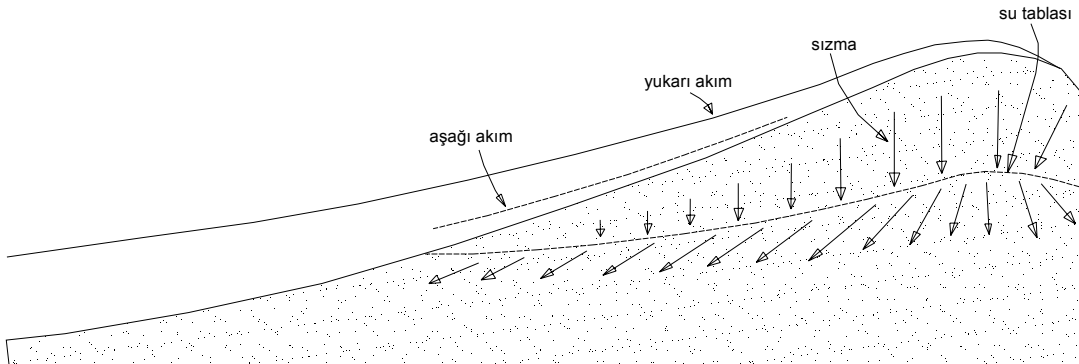
Basamaktan taşınan katı madde barın üstüne doğru taşınır ve burada aşırı dalga hareketinin etkisiyle barın açığa doğru olan tarafında yığılır. Katı madde içsel sürtünme açısıyla birikmeye meyillidir (Silvester ve Hsu, 1997). Sonuç olarak bir veya daha fazla bar meydana gelebilir (Yüksel, 2005). Kış profilinde oluşan bar koruyucu bir yapı olarak görülebilir çünkü gelen dalgaların kırılmasına neden olur ve kıyı çizgisindeki enerji sönümlenmesi miktarı azalmış olur. Bar bir kere tam olarak

şeklini alıp gelen fırtına dalgalarının çoğunluğunu kırmaya başladığında dalga kırılma bölgesi en geniş halini alır ve dalga kırılma yükseklikleri en büyük haline ulaşır (Kamphuis, 2000). Çalışmalar, dalga ve katı madde özelliklerinin, kumun açıkdenizde bar oluşturup oluşturumamasında etkili olduğunu göstermiştir (Dean, 1978).



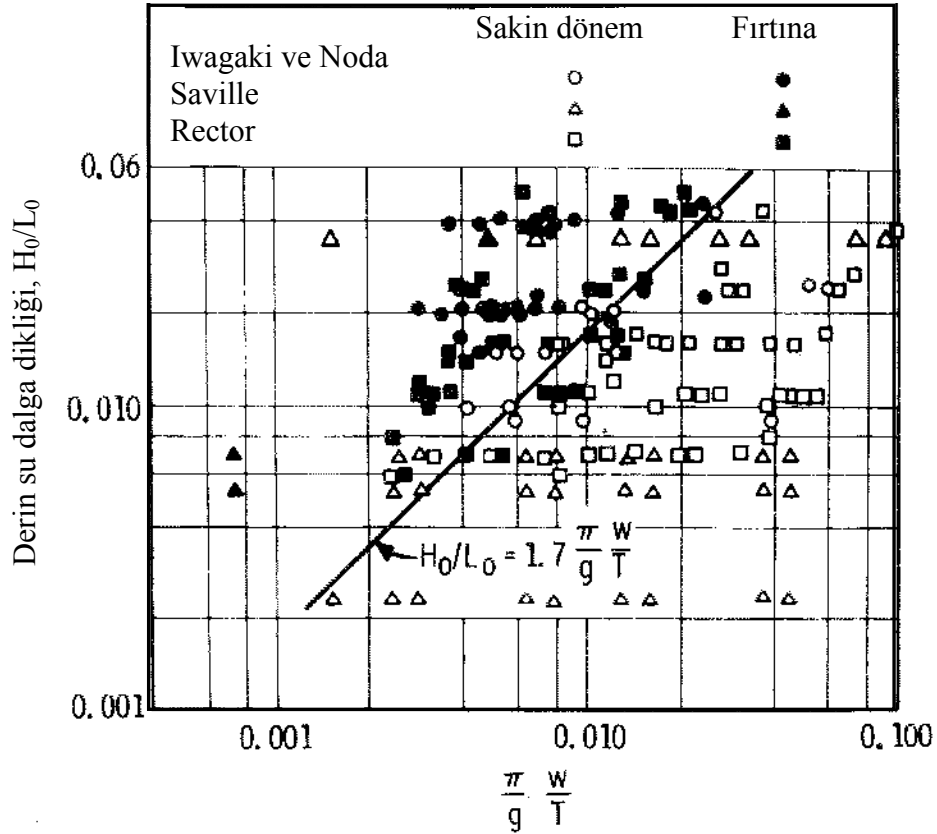
Şekil 3.2: Fırtına koşulları altında profil değişimleri (Silvester ve Hsu, 1997).

Sakin periyotlarda, genellikle yaz aylarında ise ortalama dalga yüksekliği azalır, buna karşın ortalama dalga periyodu artar, bu küçük ve dikliği az dalgalar katı maddeyi kıyıya geri taşır (Silvester ve Hsu, 1997; Kamphuis, 2000). Bu durumda ise barların yüksekliği azalır, deniz tabanı düzelir ve kumsalın üst kısmında tekrar basamak oluşur. Kırılan dalga tepesi kumsala vardığında kumsalın ön yüzüne tırmanır ve eğer dalgalar arasında yeterli zaman varsa deniz suyu sonunda denize dönmek üzere, kumsalın içine doğru su tablasına sızar (Şekil 3.3). Dalga çukuru geldiğinde oluşan geri akım, sızma dolayısıyla tırmanmadan daha küçüktür ve kumsalın yüzeyinden denize doğru fazla katı madde taşıyamaz. Sonuçta, dalga tepeleri arasında yeterli zaman olan dalgalar yüzeye malzeme bırakır ve dolayısıyla kumsalda birikim oluşur. Basmağın gelişimi açıkdenizden kırılan dalgalar vasıtasıyla malzeme gelebildiği sürece devam eder (Silvester ve Hsu, 1997).



Şekil 3.3: Sakin dönem koşulları (Silvester ve Hsu, 1997).

Yaz ve kış profilleri başlıca dalga karakteristiklerine bağlıdır. Johnson (1952) normal ve fırtına profili arasındaki geçiş için kritik dalga dikliğini (H_0/L_0) 0,025-0,030 aralığında bulmuştur. Dean (1976) Şekil 3.4’de verilen grafikte fırtına ve normal profil oluşumunu sınıflandırmıştır. Bu grafiğe göre $H_0/L_0=1,7 \frac{\pi w}{gT}$ çizgisinin altındaki bölgede bir açıkdeniz barı oluşmakta ve kritik değerin üstünde dalga dikliği arttıkça kumsaldan erozyona uğrayan ve barda biriken kum hacmi artmaktadır.



Şekil 3.4: Sakin dönem ve fırtına kıyı profillerinin H_0/L_0 ve $\pi w/gT$ parametrelerine göre sınıflandırması (Dean, 1976; 1978).

Fırtına dalgaları nedeniyle oluşan kıyı erozyonu, kumsaldan bar oluşturmak için yeterli miktarda kum sökülene ya da fırtına koşulları dinene kadar devam eder. Eğer kumsala yakın bir kumul varsa aynı miktarda kum, daha az kıyı çizgisi gerilemesi ile de sağlanabilir. Kumullar fırtına sırasında kum kaynağı olarak görev yaparak, kıyı çizgisi erozyonunun, kıyıya dik doğrultudaki genişliğinin daha az olmasını sağlar bu sistemler yok olduğunda kumsaldaki erozyon önemli miktarda artar (Dean, 1978; Kamphuis, 2000).

Bu fırtına-sakin dönem döngülerine bağlı katı maddenin yer değiştirmesi ve kıyı çizgisindeki değişim oldukça önemli miktarda olduğu halde yıllar içindeki net

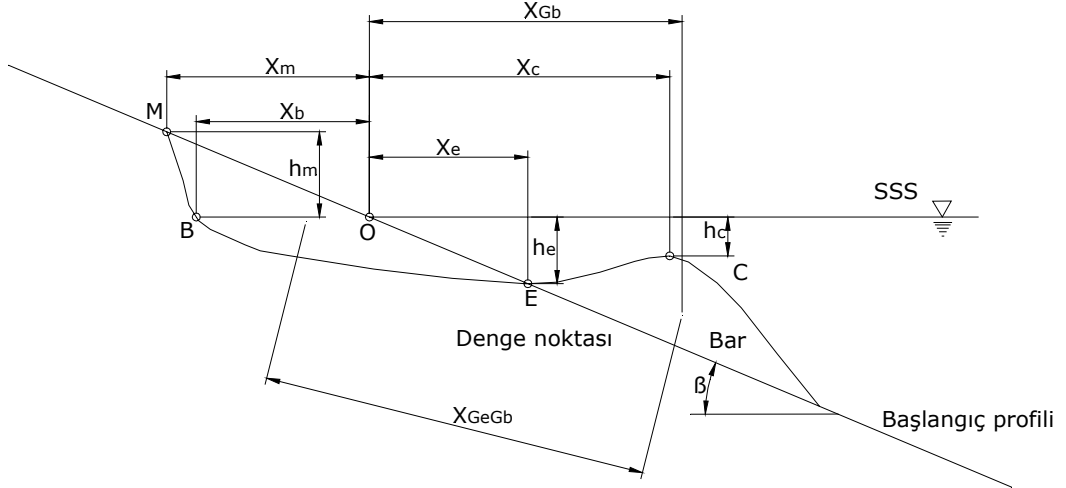
değişim oldukça küçük miktarda olabilir. Eğer ortalama kıyı profili kıyıya dik yönde yer değiştirmiyorsa kumsal dinamik denge halindedir denebilir. Eğer kıyıya dik ve kıyıya paralel katı madde hareketi sonucunda kumsaldaki katı madde azalıyorsa sistem erozyona uğramaktadır bu durumda ortalama kıyı profili kara tarafına doğru kayar ve kıyı çizgisi geriler (Kamphuis, 2000).

Profil değişimleri ve dolayısıyla kıyıya dik katı madde taşınımını etkileyen diğer faktörler katı madde dane boyutu (veya çökme hızı) ortalama kıyı eğimi ve dalga yüksekliğidir. Su seviyesindeki bir değişim kıyıya dik katı madde taşınımını değiştirmez. Su seviyesindeki bir değişim sadece kıyı profilinin konumunu değiştirir, profilin kendisini değiştirmez (Yüksel, 2005).

Kıyıya dik katı madde taşınımı incelendiğinde, çok karmaşık bir mekanizmanın söz konusu olduğu görülür. Diğer akıntılar mevcut olmadığında ve dalgaların oluşturduğu net kütle taşınımı sıfır olduğunda bile dalgalar net katı madde taşınımına neden olabilir (Yüksel, 2005).

3.1.3 Kıyı profilinin geometrik özellikleri

Fırtına dalgaları sonucunda meydana gelen kış (fırtına) profilinin geometrik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu geniş dalga tanklarında ya da dalga kanallarında yürütülen deneysel çalışmalardır. Bu tür çalışmaların amacı; oluşan profilin geometrik özelliklerinin, dalga, katı madde ve ortam özellikleri ile değişimini belirlemektir ve bu tür deneysel çalışmaların sonucunda profilin geometrik özelliklerini veren ampirik formüller elde edilmiştir. Bu çalışmalardan pek çoğunun sonuçları aşağıda özetlenmiştir. Her çalışmada kıyı profilinin geometrik özelliklerinin notasyonu aynı olmadığından literatürdeki formüller burada ifade edilirken Şekil 3.5'te verilen notasyona uyularanarak verilmiştir. Aşağıda verilen çalışmalar incelendiğinde burada verilen formüller ile çalışmadakinden farklı bile gözüксе aynı geometrik büyüklüğü ifade ettiği hatırlanmalıdır.



Şekil 3.5: Kıyı profilini tanımlayan geometrik büyüklükler ve notasyon.

Türker ve Kabdaşlı (2002) fırtına dalgalarının etkisi altında meydana gelen dinamik kıyı profilinde, oluşan barın yerini dalga özellikleri ve katı madde özelliklerini göz önüne alarak saptamaya çalışmışlardır. Çalışmada dalganın kırılmasından sonra katı madde taşınımı için gerekli olan birim hacimdeki enerji miktarının, dalganın kırıldığı anda birim hacimde açığa çıkan enerji miktarı ile profilin denge halinde olabilmesi için gerekli olan enerji miktarı arasındaki farka eşit olduğunu belirtmişlerdir. Çalışma sonucunda enerji miktarları arasındaki fark yaklaşımı kullanılarak, oluşan barın ağırlık merkezi ile erozyona uğrayan bölgenin ağırlık merkezi arasındaki mesafeyi veren aşağıdaki teorik formül elde edilmiştir.

$$X_L = \sqrt{\frac{\frac{1}{8} \rho g^{3/2} \left(\left[H_b^2 h_b^{1/2} - \Gamma^2 h_b^{5/2} \right] \frac{1}{h_b} \frac{T^*}{T} - \left[H_b^2 h_b^{-1/2} + \frac{5}{3} \Gamma^2 h_b^{3/2} \right] \right)}{V_{bar} (\gamma_s - \gamma_w) \cos \beta (\tan \phi - \tan \beta) \frac{1}{T^*} \frac{1}{h_b}}} \quad (3.1)$$

Burada; X_L , katı maddelerin dinamik denge konumuna ulaşana kadar katettikleri ortalama mesafe, T^* , bu olayın gerçekleşmesi için geçen süre, ρ , suyun yoğunluğu, g , yer çekimi ivmesi, H_b , kırılan dalga yüksekliği, h_b , dalganın kırıldığı su derinliği, Γ , stabil dalga sabiti, T , dalga periyodu, γ_s ve γ_w , katı maddenin ve suyun özgül ağırlıkları, V_{bar} , oluşan barın birim uzunluktaki hacmi, ϕ , katı maddenin içsel sürtünme açısı, β , şev açısıdır.

Türker ve Kabdaşlı (2002) aynı zamanda dalga kanalında yaptıkları fiziksel model deneyleri sonucunda aşağıdaki ampirik formülleri elde etmişlerdir.

Düzenli dalgalar için elde edilmiş olan formüller:

$$\frac{T^*}{T} = 0,9571 \left(1,89 + \frac{H_0}{wT} \right) + 0,1286 \quad (3.2)$$

$$\frac{V_{bar}}{d_{50}^2} = 0,430 \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^{2,25} \left(\frac{H_0}{wT} \right)^{0,015} \quad (3.3)$$

Düzensiz dalgalar için elde edilmiş olan formüller:

$$\frac{T^*}{T} = 1,0124 \left(1,89 + \left(0,742 \frac{H_0}{wT} \right) \right) + 0,0614 \quad (3.4)$$

$$\frac{V_{bar}}{d_{50}^2} = 0,0845 \left(\frac{H_0}{d_{50}} \right)^{2,471} \left(\frac{H_0}{wT} \right)^{0,18} \quad (3.5)$$

Burada H_0 , açıkdeniz dalga yüksekliği, w , çökme hızı, d_{50} , medyan dane çapıdır.

Bu formüllere göre, bar hacminin dalga yüksekliği ile doğru, dane çapı, çökme hızı ve dalga periyodu ile ters orantılı olduğu görülmektedir. Düzensiz dalgalar için bulunmuş formüllerde, parametreler düzenli dalgalar için bulunmuş formüllerdeki parametreler aynı olup sadece ağırlıkları farklıdır.

Larson ve Kraus (1989) yaptıkları çalışmada başlangıç kıyı çizgisinin barın tepe noktasına olan mesafesini (X_c), dalga dikliği ve kumsal eğimine göre ifade eden aşağıdaki formülü elde etmişlerdir. İlk sabit olan 0,022 sıfır kabul edilebilir çünkü H_0/L_0 sıfır iken bar formasyonu oluşmaz ve X_c sıfır olur.

$$\frac{X_c}{L_0} = 0,022 + 1,508 \frac{H_0 / L_0}{\tan \beta} + 0,1404 \left(\frac{H_0 / L_0}{\tan \beta} \right)^2 \quad (3.6)$$

Burada L_0 , açıkdeniz dalga boyudur. Bu formüle göre başlangıç kıyı çizgisinin barın tepe noktasına olan mesafesi; dalga dikliği ile doğru, şev eğimi ile ters orantılıdır.

Hsu 1998'de yaptığı çalışmada tekil bar oluşumu gözlenen fırtına profillerinin geometrik özelliklerini incelemiş ve Iribarren Sayısının (Sörf Benzerlik Parametresi, ξ_0) dalgaların kıyıya geliş açısını (θ) da kapsayacak şekilde modifiye edilmesi ile elde edilen Değiştirilmiş Iribarren Sayısı'nı (ξ_θ) önermiştir.

$$\xi_\theta = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0 / L_0}} \quad (3.7)$$

$$\xi_{\theta} = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H_0 / L_0}} \cos \theta_b \quad (3.8)$$

Hsu (1998), Değiştirilmiş Iribarren Sayısı'nın fırtına profilinin geometrik karakteristiklerinde rol oynayan en önemli parametre olduğunu belirtmiştir. Bu çalışma sonucunda profilin geometrik özelliklerini Iribarren Sayısına bağlı olarak gösteren formüller önerilmiştir. Boyutsuz erozyon uzunluğu (X_b) formülü aşağıda verilmiştir:

$$\frac{X_b}{L_0} = 0,40 \xi_{\theta}^{-0,99} \quad (3.9)$$

Boyutsuz bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin (X_c) dalga dikliği arttıkça arttığı ve kumsal eğiminin, barın tepe noktasının yeri üzerinde önemli bir etkisi olduğu görülmüştür. Bu parametrenin Değiştirilmiş Iribarren Sayısı'nın artışı ile azaldığı da kaydedilmiş ve şu formüle ulaşılmıştır (Hsu, 1998):

$$\frac{X_c}{L_0} = 0,40 \xi_{\theta}^{-1,12} \quad (3.10)$$

Bu formüllere göre erozyon uzunluğu ve bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi; Değiştirilmiş Iribarren Sayısı ile ters orantılıdır.

Denge noktası derinliğinin açık deniz dalga yüksekliği ile orantılı olduğu bulunmuştur. Boyutsuz denge noktası derinliği (h_e) parametresi ile Değiştirilmiş Iribarren Sayısı arasında lineer regresyon sonucunda aşağıdaki formül elde edilmiştir (Hsu, 1998):

$$\frac{h_e}{L_0} = 0,15 \xi_{\theta}^{-1,02} \quad (3.11)$$

Boyutsuz denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_e) parametresinin Değiştirilmiş Iribarren sayısındaki artışla azaldığı ve aşağıdaki bağıntıya uyduğu belirtilmiştir (Hsu, 1998):

$$\frac{X_e}{L_0} = 0,19 \xi_{\theta}^{-1,42} \quad (3.12)$$

Hsu ve Wang (1997) yaptıkları çalışmada daha önceden yapılmış deneysel çalışmaları yeniden analiz ederek, kıyı profilinin geometrik özelliklerini, Iribarren

Sayısı (ξ_0) ve boyutsuz çökelme hızına (W_0) bağlı olarak ifade eden formüller bulmuşlardır.

$$W_0 = \frac{H_0}{wT} \quad (3.13)$$

Bulunmak istenen boyutsuz geometrik büyüklüklerin ($V_{bar}/(H_0L_0)$), (h_c/L_0), (X_c/L_0) (h_e/L_0) (X_e/L_0) (X_b/L_0), çeşitli boyutsuz çökelme hızı değerleri ($W_0=H_0/wT$) için Iribarren Sayısı ile değişimini gösteren grafikler çizilip regresyon analizi yapılarak aşağıdaki formüller bulunmuştur (Hsu ve Wang, 1997):

$$\frac{V_{bar}}{H_0L_0} = 0,022\xi_0^{-0,147}W_0^{1,260} \quad (3.14)$$

$$\frac{h_c}{L_0} = 0,010\xi_0^{-0,409}W_0^{-0,265} \quad (3.15)$$

$$\frac{X_c}{L_0} = 0,235\xi_0^{-1,513}W_0^{-0,110} \quad (3.16)$$

$$\frac{h_e}{L_0} = 0,017\xi_0^{-2,194}W_0^{-0,952} \quad (3.17)$$

$$\frac{X_e}{L_0} = 0,170\xi_0^{-1,981}W_0^{-0,569} \quad (3.18)$$

$$\frac{X_b}{L_0} = 0,245\xi_0^{-1,886}W_0^{-0,582} \quad (3.19)$$

Hsu ve Wang'ın (1997) ifade ettikleri formüllere göre, bar hacmi Iribarren Sayısı ile ters, boyutsuz çökelme hızı parametresi ile doğru orantılıdır. Bar tepesinin derinliği, bar tepesinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi, denge noktasının derinliği, denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi parametreleri, hem Iribarren Sayısı hem de boyutsuz çökelme hızı parametresi ile ters orantılıdır.

Silvester ve Hsu, (1997)'de ise geniş dalga tanklarında yapılmış olan kıyı profili deneylerinin sonuçlarını toplu olarak yeniden analiz etmişlerdir.

Barın tepe noktasının derinliği (h_c); barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c), dalga karakteristikleri veya kumsal eğimi ile ilişkilendirilebilir bununla birlikte tüm formüllerin yaklaşık aynı derinliği (h_c) vermesi beklenir.

$h_c/(L_0 \tan \beta)$ 'nin X_c/L_0 ile değişimi incelendiğinde aşağıdaki denklem edilmiştir (Silvester ve Hsu, 1997):

$$h_c / (L_0 \tan \beta) = 0,0269 + 0,391 X_c / L_0 \quad (3.20)$$

Bu denklemde de yukarıda açıklanan nedenden dolayı ilk sabit sıfır kabul edilebilir.

$h_c/\tan \beta$ 'nin $X_c(m)$ 'ye göre değişimi incelendiğinde elde edilen denklem aşağıda verilmiştir (Silvester ve Hsu, 1997):

$$h_c / \tan \beta = 0,6366 + 0,436 X_c \quad (3.21)$$

0,6366 ihmal edilebilir ve sıfır alınabilir.

h_c/H_0 'in $\tan \beta/(H_0/L_0)$ ile değişimi incelendiğinde:

$$h_c / H_0 = 0,7529 + 0,0096 \tan \beta / (H_0 / L_0) + 0,0011 \left[\tan \beta / (H_0 / L_0) \right]^2 \quad (3.22)$$

denklemini elde edilir (Silvester ve Hsu, 1997).

Bu denklemlerin sonuçları birbiriyle uyumludur. Elde edilen h_c 'lerin arasında fark olmakla beraber bu fark kabul edilebilir mertebededir.

Kumsalın birin uzunluğundaki bar hacmi muhtemelen X_c ve h_c 'den daha önemli bir parametredir. $V_{bar}/(H_0 L_0)$ 'in $(H_0/L_0)\tan \beta$ ile değişimi incelendiğinde aşağıdaki denklem elde edilmiştir (Silvester ve Hsu, 1997):

$$V_{bar} / H_0 L_0 = 160 (H_0 / L_0) \tan \beta + 11,560 \left[(H_0 / L_0) \tan \beta \right]^2 \quad (3.23)$$

$V_{bar}/H_0 L_0$, $(H_0/wT)\tan \beta$ ile de ilişkilendirilebilir ancak dane boyutunun çeşitli büyüklüklerde olduğu kumsallarda dane boyutuna bağlı olan çökme hızı parametresi için tek bir sabit değerin alınması zordur (Silvester ve Hsu, 1997).

Profilin denge noktasının yerinin belirlenmesi için X_e/L_0 'in $(H_0/L_0)\tan \beta$ ile değişimi incelenmiş ve aşağıdaki denklem elde edilmiştir:

$$X_e / L_0 = 0,96 (H_0 / L_0) \tan \beta \quad (3.24)$$

$$h_e = X_e \tan \beta \quad (3.25)$$

Günaydın ve Kabdaşlı (2003) yaptıkları çalışmada kıyı profilinin geometrik özelliklerinin Iribarren Sayısı ve dalga dikliğine göre değişimini veren formüller bulmuşlardır. Günaydın ve Kabdaşlı'nın (2003) çalışmasında tüm geometrik

parametreler için formüller bulunmuş olmakla beraber bu parametrelerin çoğunun gösterimi, bu çalışma ve yukarıda verilen çalışmalardan farklı bir kıyı profili çizimine göre verildiği için notasyon uymamaktadır, bu nedenle sadece X_m ve h_m formülleri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Günaydın ve Kabdaşlı (2003) çalışmasında bulunan formüller.

Düzensiz dalgalar için	Düzenli dalgalar için	Düzenli ve düzensiz dalgalar için
$X_m = 62,626 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,6256} L_0$ (3.26)	$X_m = 60,826 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,7128} L_0$ (3.27)	$X_m = 28,433 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,4154} L_0$ (3.28)
$h_m = 12,525 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,6256} L_0$ (3.29)	$h_m = 6,7189 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,5367} L_0$ (3.30)	$h_m = 4,0526 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,3148} L_0$ (3.31)

Burada H_s , belirgin dalga yüksekliğidir. Bu formüllere göre erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_m) ve erozyon derinliği (h_m), dalga dikliği ve Iribarren Sayısı ile doğru orantılıdır.

Günaydın ve Kabdaşlı (2005) kıyı profilinin geometrik özelliklerini dalga dikliği ve Iribarren Sayısı ile ilişkilendiren Çizelge 3.2’de verilen formülleri bulmuşlardır:

Çizelge 3.2. Günaydın ve Kabdaşlı (2005) çalışmasında bulunan formüller.

Düzenli dalgalar için	Düzensiz dalgalar için	Düzenli ve düzensiz dalgalar için
$X_c = 64,966 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,6754} L_0$ (3.32)	$X_c = 270,99 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{2,11493} L_0$ (3.33)	$X_c = 105,13 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,8295} L_0$ (3.34)
$h_c = 3,2041 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,413} L_0$ (3.35)	$h_c = 18,134 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,8971} L_0$ (3.36)	$h_c = 3,8718 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,4459} L_0$ (3.37)
$X_e = 113,98 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,9762} L_0$ (3.38)	$X_e = 88,687 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,8925} L_0$ (3.39)	$X_e = 99,405 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,9287} L_0$ (3.40)
$h_e = 11,87 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,7626} L_0$ (3.41)	$h_e = 49,765 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{2,2114} L_0$ (3.42)	$h_e = 20,474 \left(\frac{H_s}{L_0} \xi \right)^{1,9414} L_0$ (3.43)

Yukarıda özetlenmiş olan çalışmalarda bitkilenmenin kıyı profiline etkisi araştırılmamış olup sadece tek bar oluşumu gözlenen bir fırtına durumunda kıyı profilinin geometrik özelliklerini veren bağıntılar elde edilmiştir. Türker ve diğ. (2006)'nin yaptığı çalışmada ise kıyı eğimi başlamadan önceki düzlükte batmamış bitkilenme (sazlık) olması durumunda kıyı profilinin geometrik özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda bitkilenmenin etkisini de içeren formüller elde edilmiştir. Bitkilenmenin olaya etkisi η_T parametresi ile gösterilmiştir. Burada:

$$\eta_T = \frac{\tan \beta}{s_d \psi} \quad (3.44)$$

Bu formülde $\tan \beta$, şev eğimi, s_d katı maddenin özgül ağırlığının suyun özgül ağırlığına oranı, ψ bitkilenme parametresidir.

$$\psi = n \frac{\phi^2}{\Delta d \Delta s} \quad (3.45)$$

Burada n , bitki sayısı, ϕ , bitkinin ortalama çapı, Δ_d , bitkiler arasındaki dalga doğrultusuna paralel mesafe, Δ_s , bitkiler arasındaki dalga doğrultusuna dik mesafedir. Çalışma sonucunda erozyon ve bar alanları için bulunmuş formüller çizelgede verilmiştir:

Çizelge 3.3: Türker ve diğ. (2006) çalışmasında bulunan formüller.

Düzenli dalgalarda	Düzensiz dalgalarda
$\frac{A_{erozyon}}{H^2} = 26,46 \left(\frac{H_s}{\phi_{50}} \right)^{0,19} (\eta_T)^{0,54} - 0,885 \quad (3.46)$	$\frac{A_{erozyon}}{H_{rms}^2} = 3,99 \left(\frac{H_{rms}}{\phi_{50}} \right)^{0,46} (\eta_T)^{0,62} + 0,6 \quad (3.47)$
$\frac{A_{bar}}{H^2} = 0,648 \left(\frac{H_s}{\phi_{50}} \right)^{1,2} (\eta_T)^{1,09} - 0,1274 \quad (3.48)$	$\frac{A_{bar}}{H_{rms}^2} = 0,257 \left(\frac{H_{rms}}{wT} \right)^{0,001} \left(\frac{H_{rms}}{\phi_{50}} \right)^{0,93} (\eta) \quad (3.49)$

Bu formüllere göre erozyon ve bar alanları ($A_{erozyon}$ ve A_{bar}), bitkinin çapı ve sayısı arttıkça azalmakta, bitkiler arasındaki mesafe arttıkça artmaktadır. Bu da bitki yoğunluğu arttıkça bar ve erozyon alanlarının azaldığı anlamına gelmektedir.

3.2 Bitkilenmenin akıma etkisi

Batmış ve batmamış bitkilenmenin akım üzerindeki etkilerini araştıran çok sayıda araştırma yürütülmektedir. Literatüre göre bitkilenme kanallarda ve kıyı bölgelerinde akış direncini arttırmakta, ortalama ve türbülanslı akış yapısını kontrol etmekte ve böylece katı madde taşınımını ve birikmesini etkilemektedir (Nepf ve Vivoni, 2000; Yen, 2002). Bu durum, taşkın tahmininde olduğu kadar kirlilik ve katı madde taşınımı tahmininde de önem arz eder. (Wilson ve diğ., 2003).

Nepf ve Vivoni (2000) yapay bitki modelleri ile yaptıkları deneysel çalışmada, batmış bitkilenmenin akıma etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonucunda hem

ortalama akım hızının hem de türbülanslı akım hızının bitkinin morfolojisi ile doğrudan bağlantılı olduğunu görmüşlerdir.

Bitkilenmenin akıma etkisini araştıran çalışmaların önemli bir kısmında, bitkiye etki eden sürüklenme kuvveti incelenmektedir (Wilson ve Horritt, 2002; Wallace, 2003; Wilson ve diğ., 2003; Wilson, 2007; Wilson ve diğ., 2008). Sürüklenme kuvveti, bir akışkanın, içindeki cisme, akım doğrultusunda etkidiği kuvvettir ve iki bileşenden oluşmaktadır. Birinci bileşen, cismin menba ve mansap tarafları arasındaki basınç farkından dolayı oluşan, şekilden kaynaklanan sürüklenme kuvveti, ikinci bileşen ise yüzey sürtünmesinden kaynaklanan sürüklenme kuvvetidir. Bu iki bileşenin toplamı, toplam sürüklenme kuvvetini verir ve bu kuvvet aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A u^2 \quad (3.50)$$

Burada; C_D , sürüklenme katsayısı, A , cismin akıma dik doğrultudaki yüzey kesit alanı, u , akım yönündeki ortalama hızdır.

Akışkanın içindeki cismin bitki olması durumunda, sürüklenme katsayısı; bitkinin şekli, büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü ve Reynolds sayısının bir fonksiyonudur (Wilson ve Horrit, 2002; Wallace, 2003). Reynolds sayısı, bitkili durum için aşağıdaki formül ile hesaplanabilir (Wallace, 2003). Burada; u_c , akım hızı ve d , sürgün çapıdır.

$$Re_d = \frac{u_c d}{\nu} \quad (3.51)$$

Wilson ve diğ., (2003), tam batmış, esnek bitkilenmenin şeklinin, akım üzerindeki etkisini araştıran çalışmalarında, bitkinin sadece saptan oluşuyor olması hali ile sap ve yapraktan oluşması halini, laboratuvar ortamında deneyler yaparak karşılaştırmışlardır. Sonuçlar; akımın bitkili kısmında, hız profilinin logaritmik hız profili olmadığını, sap ve yapraktan oluşan bitki bulunduğu meydana gelen ortalama hızın, sadece sap olduğunda meydana gelen ortalama hızın yarısından az olduğunu göstermiştir. Bitkilenmenin neden olduğu ek sürüklenme kuvvetinin, bitkisiz duruma göre, ortalama akım hızını azalttığı bilinmektedir, fakat bu çalışma bitki şeklinin akıma önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur, bu da nehir ve sulak alan sistemlerinin yönetim stratejileri açısından önemlidir.

Bitkinin şeklinin, sürüklenme kuvveti üzerindeki etkisini inceleyen diğer bir çalışmada (Wilson ve diğ., 2008) bitki yaprağının, toplam sürüklenme kuvveti üzerinde önemli bir etkisi olduğu ortaya konmuştur. Bu durum, özellikle yaprağın akım nedeniyle büzülmediği, böylece bitki yüzey alanının maksimum olduğu, düşük hızlarda etkisini göstermektedir. Bitki yaprağının esnekliği ve akıma göre büzülme miktarı toplam sürüklenme kuvvetini önemli miktarda azaltabilir.

Salt marshlar da akıma etkisi araştırılan bitkilenme türlerindendir. Salt marsh gel-git dolayısıyla tuzlu suya maruz kalan, körfez ve haliç kıyılarında bulunan, tuza dayanıklı bitkilerin baskın olduğu bir sulak alan türüdür.

Salt marshların akıma etkisini araştıran laboratuvar çalışmalarında (Shi ve diğ., 1995; Shi ve diğ., 1996) bitkili alanda yapılan hız ölçümleri, hız profillerinin bitki yoğunluğu ile değiştiğini ve bitkili alanın üstündeki kayma hızının, içindekinden büyük olduğunu göstermiştir. Shi ve diğ., (1996)'nin çalışmasında doğadan toplanmış *Spartina anglica* türü saltmarshlar, batmış olarak akım kanalına çeşitli sıklıklarda yerleştirilmiş ve derinlik boyunca hız profilleri ölçülmüştür. Hız profillerinin şekilleri ve ilgili kayma hızları bitki sıklığı ile değişmektedir. Bu da bitkinin içindeki ve üstündeki akım yapısının bitki sıklığı ile değiştiğini göstermektedir.

3.2.1 *Posidonia oceanica*'nın akıma etkisi

Posidonia oceanica'nın akıma etkisinin deneysel yöntemlerle belirlenmesi ile ilgili en yakın tarihli çalışma Ciraolo ve diğ., (2006) tarafından yapılmıştır. Bu çalışma plastik şeritlerden oluşturulmuş bitkiler kullanılarak laboratuvar kanalında yapılmıştır. Deneylerde, lagünlerde sıkça görülen bir durum olan sığ su koşullarının yaratılması için yaprak uzunluğu su derinliğinden fazla tutulmuştur. Sonuçlar bitkilerin hidrolik davranışının; akımın Reynolds sayısına ve yaprak uzunluğu-su derinliği oranına bağlı olarak anlaşılmasını sağlamaktadır. Bölgedeki hız dağılımı da incelenmiş ve Darcy-Weisbach'ın sürtünme faktörünü sadece belirli bir Reynolds sayısının fonksiyonu olarak ifade eden basit bir akım direnci kanunu ortaya konmuştur.

Ciraolo ve diğ. (2006)'nin çalışmasında bitkilenme tam batmış olarak modellenmemiştir çalışma bu yönüyle tartışmaya açıktır çünkü *Posidonia oceanica* çayıruları suda tam batmış olarak bulunmaktadır.

Laboratuvar kanalının tabanına, üstlerine yapay bitkilerin dizildiği her biri 1 m genişliğinde, 59,5 cm eninde 10 panel yerleştirilmiştir. Paneller; 8 mm çapında delikler açılmış olan 1 mm kalınlığında çelik tabakalarının vidalarla tahta panellere birleştirilmesi ile oluşturulmuştur. Çelik tabakalar üzerindeki deliklerin hidrolik dirence yol açmaması için polietilen tabakalar ile kaplanmıştır. Bitkiler 1 cm genişliğinde, 0,2 mm kalınlığında, 6 adet düşük yoğunluklu polietilen şeridi ile oluşturulmuştur. Dış yaprak çifti 50 cm uzunluğunda, ortadaki yaprak çifti, 25 cm ve en içteki yaprak çifti 12,5 cm uzunluğunda olacak şekilde bitkiler oluşturulmuştur. Bitkiler çelik tabakadaki deliklere 1cm sokulmuş ve tahta panelle birleştirilmiştir. Bitki yoğunluğu 682 bitki/m² olacak şekilde düzenlenmiştir (Ciraolo ve diğ., 2006).

Hız değerleri Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) ile ölçülmüştür. Örnekleme frekansı saniyede 25 ölçüm olarak seçilmiştir. Her noktada 1500 anlık hız değeri (örnekleme zamanı: 1 dakika) alınmış ve hız değerlerinin zamansal ortalaması alınmıştır (Ciraolo ve diğ., 2006).

Yakın tarihli diğer bir başka çalışmanın amacı ilk olarak, sığ ortamlardaki modellenmiş *Posidonia oceanica* gruplarının etrafında bulunan ortalama akım ve türbülans patternlerini belirlemek ve ölçmek, ikinci olarak bunların *Posidonia oceanica* gruplarının içindeki hidrodinamik durumu nasıl etkilediğini belirlemek, üçüncü olarak da gözlenen hidrodinamik durumun; ekolojik, katı madde ile ilgili ve hidrolik anlamlarını belirlemektir (Folkard, 2005).

Çalışma; uzunluğu 7 metre, genişliği 0,9 m, yüksekliği 0,4 m olan bir laboratuvar kanalında yapılmıştır. 1 m uzunluğundaki model *Posidonia oceanica* grupları kanalın tabanına monte edilmiştir. Gruplarının tabanları kontrplaktan imal edilmiştir. Yapay denizçayırı bitkileri tabanı 36,5 mm genişliğinde karelere bölmek suretiyle yerleştirilmiştir. Bütün karelere 5 mm çapında birer delik açılarak yapay bitkiler yerleştirilmiştir. Bu şekilde bitki yoğunluğu ~750 m⁻² olarak elde edilmiştir, bu yoğunluk Mazella ve diğerleri (1993) benzeri çalışmalara göre doğadaki *Posidonia oceanica* yoğunluğu temsil etmektedir. Delikler bir sıra oluşturmayacak şekilde açılarak *Posidonia oceanica* gruplarının içinde düz akım yolları olması önlenmiştir (Folkard, 2005).

Yapay bitkiler kalınlığı yaklaşık 0,2 mm olan polietilenden yapılmıştır. Bu kalınlık büyüme dönemleri olan Temmuz ayında Sicilya kıyılarından toplanmış olan

Posidonia oceanica’ların ortalama kalınlığıdır. Polietilen levhanın yoğunluğu $\rho=900\pm20$ kg/m³, Elastisite Modülü $E=5,4 \pm 0,1\times10^8$ N/m², kinematik viskozite $\mu=0,47 \pm 0,03$. Bunlar doğal *Posidonia oceanica* için ölçülmüş değerlerle ($\rho=910\pm110$ kg/m³, $E=4,7 \pm 0,6\times10^8$ N/m², $\mu=0,44 \pm 0,04$) karşılaştırılabilir (Folkard, 2005).

Her yapay bitki 3 çift yapraktan oluşturulmuştur. Doğadaki olgun *Posidonia oceanica*’lar üzerinde yapılan ölçümlere dayanarak bunlar genişliği 1 cm, uzunlukları sırasıyla; 0,50 m, 0,25 m, 0,15 m olan parçalardan oluşturulmuştur. Yapraklar en kısılları en içe, en uzunları en dışa gelecek şekilde düzenlenmiştir. Bu yapay bitkiler deliklerine silikon ile sabitlenmişlerdir. Bu bitki grubundan akım geçtiğinde üç katmanlı bir yapı oluşur. Tabandan yüksekliğin %30’luk bölümüne kadar en yoğun kısım oluşur, çünkü 3 çeşit yaprak da akımı etkiler, %30, %50 arasında iki yaprak çeşidi, en üst kısımda ise tek tür yaprak akımı etkiler (Folkard, 2005).

Posidonia oceanica’nın dibindeki matı temsil edebilmek için kontrplaklar kanal tabanından 4 cm yükseğe yerleştirilmiştir. Deniz çayırı gruplarının hidrodinamik etkileri yapraklarının yoğunluğuna bağlıdır. Bu yaprak yüzey yoğunluğu $a(z)$ ile ölçülür (Kaimal ve Finnigan, 1994). Bu birimi hassas olarak ölçmek zordur. Bununla beraber, üst limit $a(z)_{maks}$ her yaprağın akımı maksimum engellediği varsayılarak hesaplanabilir, örneğin her yaprak akıma dik şekildedir ve yapraklar birbirinin arkasına gelmemektedir. Bitkinin üst yarısında $a(z)_{maks}=15$ m⁻¹, yüksekliğin %30’u ile %50 si arasında $a(z)_{maks}=30$ m⁻¹ ve dip %30’da $a(z)_{maks}=45$ m⁻¹’dir. Bu değerler benzer bitki modellerindekilerden çok fazladır. Nepf ve Vivoni (2000) çalışmasında bu değer <6 m⁻¹’dir. Pratikte bitkinin alt yarısı hemen hemen geçirimsiz bir yaprak kütlesi meydana getirir ve bu bölgede çok kısıtlı bir akım oluşur. Aslında bu bölgedeki bitki yoğunluğu hız ölçümlerini imkânsızlaştırmaktadır (Folkard, 2005).

Bütün deneylerde su derinliği 0,35 m olarak sabit tutulmuştur, kanalın ortasında bu derinlik en uzun yaprağın boyunun %70’i kadar olmaktadır, bu da tipik bir sığ su ortamını modeller. Deneyler sırasında bitkilerin batmış olmasının sebebi akımın bitkileri eğmesidir. Üç farklı değerde debi (25, 50 ve 75 l/s) uygulanmıştır. Bu da ortalama 0,08, 0,16 ve 0,24 m/s’lik hızlar oluşturmaktadır. Bitkiler orijinal boyutları ile modellenmiş olduğundan deneysel sonuçların dinamik olarak ölçeklendirilmesi gerekmemiştir. Bu debiler için bitki gruplarının memba tarafında Froude sayıları; 0,043, 0,086 ve 0,130’dur. Akım bitki gruplarını geçerken yerel Froude sayıları 0,14,

0,23 ve 0,47'ye çıkmıştır (hız profilinin ortalama derinliği derinlik skalasında inflection noktası olarak kullanılmıştır). Böylece tüm durumlarda akım kritikaltı olmakta ve akımda kritik geçişleri oluşmamaktadır (Folkard, 2005).

3.3 Bitkilenmenin dalga özelliklerine ve kıyıdaki katı madde hareketine etkisi

Sudaki bitkilenme, örneğin deniz çayırları, makroalgler, ağaçlar, kıyı ekosisteminin önemli bileşenleridir ve batmış ya da batmamış olsun üzerlerinde ya da içlerinde ilerleyen dalganın enerjisini azaltırlar (Dubi ve Torum, 1994). Genel olarak bitkilenme diye tabir edilen kavram, kelpier gibi makroalgleri, deniz çayırları gibi çiçekli bitkileri ve diğer tüm suda yaşayan bitkileri içermektedir.

Denizlerdeki bitkilenmenin önemli bir bölümünü oluşturan deniz çayırları doğal ortamlarında rüzgar dalgaları, akıntılar ve gelgite maruz kalmaktadırlar (Koch, 2001). Deniz çayırları doğal ortamlarında akıntı ve dalgalarından etkilendikleri gibi kendileri de dalga ve akıntı koşullarını etkilemektedir.

Bu çalışmada bitkilenmenin dalga ve kıyı profili üzerindeki etkileri, ana araştırma konusu olduğundan, dalgaların bitkilenme üzerindeki etkisi konusunda ayrıntılı bilgi verilmeyecektir. Ancak, dalgaların deniz çayırları üzerindeki etkileri aşağıdaki paragrafta kısaca özetlenmektedir.

Dalgaların deniz çayırları üzerinde hem olumlu hem de olumsuz etkileri vardır. Dalgaların bitki üzerindeki olumsuz etkisi; dalgaların neden olduğu erozyon dolayısıyla katı maddenin stabilitesini kaybetmesi nedeniyle meydana gelir. Bu durum hem deniz çayırlarının üzerinde fazla miktarda katı madde birikmesine hem de ışığa ihtiyacı olan deniz çayırlarının üstündeki su sütununda bulanıklığın artmasına neden olur. Olumlu etkisi, dalga nedeniyle yaprakların yatayda esnek bir şekilde hareket etmesi, bunun da su sütunu ile bitki arasındaki alışverişin artmasına ve besi maddelerinin bitki yüzeyine ulaşmasını kolaylaştırmasıdır. Bu hareket, aynı zamanda ışığın, bitkinin alt bölgelerine ulaşmasına da neden olur (Koch, 2006).

Deniz çayırları, etkin bir şekilde akıntı hızlarını azaltmakta ve dalgaları sönmülmektedirler (Fonseca ve diğ., 1982; Fonseca ve Fisher 1986; Gambi ve diğ., 1990; Fonseca, 1996; Koch, 1996; Wallance ve Cox, 1997; Koch ve Gust 1999; Verduin ve Backhaus 2000; Peterson ve diğ., 2004). Deniz çayırları özellikle dalgaların deniz çayırı topluluklarıyla etkileşime girdiği sığ sularda, sığ su

dalgalarının deniz tabanından etkilenmesine benzer şekilde dalgaları sönümleme eğilimindedirler. Bir deniz çayırı yatağındaki dalga sönümlemesi miktarı o su sütunundaki bitkilenme miktarı ile doğrudan ilgilidir. Yüksek miktarda sönümleme, bitkilenme miktarının % 50'den yüksek olduğu sularda meydana gelmektedir (Ward ve diğ., 1984; Fonseca ve Cahalan, 1992).

Fonseca ve Cahalan (1992) tarafından gerçekleştirilen kanal deneylerinde su sütununun tamamen bitkilerle kaplı olduğu durumda sönümleme miktarının % 20–76 arasında değiştiği belirlenmiştir. Fonseca ve Cahalan (1992) yaptıkları bu deneysel çalışmada, Kuzey Amerika'da yaygın olarak bulunan dört deniz çayırı türünün dalga enerjisini sönümlemedeki etkisini incelemişler ve Knutson ve diğ. (1982) nin saltmarslarla ilgili yaptıkları çalışmanın sonucuyla karşılaştırmışlardır. Doğadan toplanmış olan *Halodule wrightii*, *Syringodium filiforme*, *Thalassia testudinum* ve *Zostera marina* örnekleri dalga kanalına yerleştirilerek batmış ve batmamış bitkilenme koşulları için deneyler yapılmıştır. Bitkili bölgenin dalgaya etkisini anlamak için bölgeye giren dalga enerjisi ve çıkan dalga enerjisi farkından, aşağıdaki formülle dalga enerjisindeki azalma oranı hesaplanmıştır:

$$E_{azalma} = [(E_{giren} - E_{çıkan} / E_{giren})100] \quad (3.52)$$

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (3.53)$$

Yaprak uzunluğu, su derinliği ve sürgün sıklığı parametrelerinin dalga enerjisindeki azalma miktarına etkisi incelenmiştir. Çalışma sonucunda, su derinliği arttığında ya da yaprak uzunluğu azaldığında (tek tek ya da ikisi beraber) dalga enerjisindeki azalma miktarının hızla düştüğü, değişik morfoloji ve sürgün yoğunluklarının ise fazla değişken olmayan bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Su derinliğinin ortalama yaprak uzunluğunun iki katına eşit ya da daha fazla olduğu durumlarda ise, dalga enerjisinde bitkilenme nedeniyle oluşan azalmanın, 1 metre uzunluğundaki bitkili alan için hesaplandığında, ihmal edilebilir düzeyde olduğu bulunmuştur.

Resif ya da denizçayırı yatağı nedeniyle meydana gelen, taban pürüzlülüğündeki yerel bir değişim bir dalgakıran ile benzer etkilere yol açar; aradaki fark dalga enerjisinin tamamının engellenmesi yerine tedrici bir enerji kaybının olmasındandır. Bu durum, dalgakırandan daha fazla miktarda, gelen dalga enerjisinin resifi ya da çayırı geçerek ilerlemeye devam etmesine yol açar (Koch ve diğ., 2006).

Batmış ve batmamış bitkilenme tarafından oluşan dalga sönümlemesi; bitki karakteristiklerinin (geometri, sürgün yoğunluğu, kapladığı alan, yüzerlik, elastiklik) bir fonksiyonu olduğu kadar su derinliği, dalga periyodu, dalga yüksekliği ve dalga ilerleme yönü gibi hidrodinamik koşulların da bir fonksiyonudur (Mendez ve Losada, 2004; Augustin ve diğ., 2009). Ek olarak su derinliği, h ile batmış bitki yüksekliğinin l_s oranını veren bitkinin batıklığını gösteren göreceli derinlik, akım koşulunda dikey hız profilini önemli oranda etkiler (Nepf, 2004). Augustin ve diğ. (2009)'nin yaptıkları deneysel çalışmada Nepf'in (2004) çalışmasında akım ortamında bitkilenmenin etkilerini araştırırken kullandığı bitki batıklığı oranını dalga koşullarına uyarlamışlardır. Bu batıklık sınıflandırmasına göre batmamış bitkilenme, $h/l_s=1$, neredeyse batmamış, $h/l_s=1-2$, derin batmış, $h/l_s>10$ ve geçiş batmış, $h/l_s=2-10$ olmaktadır. Augustin ve diğ. (2009) laboratuvar ortamında, *Spartina alterniflora* türü sulak alan bitkilerini modelleyen rijit ve esnek iki ayrı şekilde imal edilmiş sentetik bitkiler ile yaptıkları bu çalışmada, aynı bitki konfigürasyonu ve dalga koşulları için batmamış bitkilenmenin, neredeyse batmamış bitkilenmeden dalga uzunluğu başına %50–200 daha fazla sönümlemeye neden olduğunu bulmuşlardır. Bunun nedenini, batmamış durumda dalga ilerlerken sürüklenme etkisinin su sütunu boyunca mevcut olması, bu nedenle tüm düşey hız profili boyunca dalga hızlarının etkilenmesi, oysa neredeyse batmamış durumda su sütununun bir bölümünde bitki etkisi olmadığından akımın serbestçe akması ve bunun da daha az dalga sönümlemesine neden olması şeklinde açıklamışlardır.

Koch (1996) ile Prager ve Halley (1999) tarafından yürütülen arazi çalışmalarında deniz çayırlarının yarattığı dalga sönümleme oranının % 1,6–80 arasında değiştiği gösterilmiştir. Arazi çalışmalarında elde edilen bu geniş sönümleme aralığı su sütunundaki bitki oranının gelgite bağlı olarak değişmesinden kaynaklanmaktadır. Dalga enerjisindeki azalma ayrıca uzun dalgalara maruz kalan daha derin deniz çayırı yataklarında da görülmektedir.

Koch ve diğ. (2006) yürüttükleri modelleme çalışmaları sonucunda deniz çayırlarının dalgaya etkisi hakkında birkaç genel sonuca varmışlardır. Bu sonuçlar dalga orbital hızları ile deniz çayırarı arasında önemli bir etkileşim olduğu sürece geçerlidir. Sonuçlardan birincisi, dalga ilerleme yönünde bulunan daha geniş deniz çayırı yataklarının daha fazla dalga sönümlemesine neden olduğu ve kıyı çizgisine daha az dalga enerjisi ulaşmasına neden olduğudur. İkinci olarak; deniz tabanına etkileyen

toplam kuvvet, deniz çayırı yatakları açık denizde ise azalmaktadır. Üçüncü ve son olarak, bağıl dalga sönümlenmesi ve taban gerilmesi azalması değerleri daha yüksek gelen dalga değerleri için daha büyüktür.

Denizçayırı yataklarının geometrisinin dalga sönümleme miktarına ve askıda katı madde taşınımı miktarına etkisini araştırmak amacıyla Chen ve diğ. (2007) modifiye Nearshore Community Model (NearCoM) modelini kullanmışlardır. Model kullanılarak tahmin edilen dalga sönümlenmesi miktarları arazide gözlenen mevsimsel eğilimlere uygun çıkmış; dalga sönümlenme miktarı, çiçek açma mevsiminde pik yapmış ve sürgün sıklığı ve bitki yüksekliği azaldıkça azalmıştır. İdeal batimetrlerde uygulanan model senaryoları, dalga orbital hızı ile denizçayırları etkileşim içine girdiğinde, dalga ilerleme yönünde denizçayırı yatağının uzunluğu arttıkça dalga sönümlenmesinin arttığını ve gelen dalga yüksekliği arttıkça dalga sönümlenme miktarının göreceli olarak arttığını göstermiştir. Model aynı zamanda bitkilenmenin içinde ve arkasında, daha düşük yüzey sürtünmesi, azalmış erozyon oranları ve bitki arkasında daha yüksek katı madde birikimi olduğunu göstermiştir. Dalga yönündeki denizçayırının kapladığı alanın uzunluğu arttıkça dalga sönümlenme miktarı artmakta ve rölatif dalga sönümlenmesi miktarı gelen dalga yüksekliğinin artmasıyla artmaktadır.

Mendez ve Losada (2004) bitkili alan üzerinde ilerleyen dalganın değişimi için bir model önermişlerdir. Bitkilenmenin yarattığı dalga sönümlenmesi geniş bir yelpazede değiştiği için bitkinin yarattığı sönümlenme davranışını genellemek neredeyse imkansızdır. Bu nedenle, bitkili alan üzerinde ilerleyen bir dalganın değişimi modellenirken, sürüklenme katsayısının her bitki tipi için kalibre edilmesi gerekir.

Bitkilenmeye etki eden sürüklenme kuvveti, kıyı süreçlerinin önemli bir bileşenidir. Myrhaug ve diğ. (2009) bitkili bir alana, düzensiz dalgalar altında etkiyen sürüklenme kuvvetinin hesabı için pratik bir yöntem önermektedir. Bu yöntem, Mendez ve diğ. (1999)'nin önerdiği ampirik sürüklenme katsayısı ve Asano ve diğ. (1993)'nin deneysel sonuçları kullanılarak geliştirilmiştir.

Bitkilenmenin mevcut olduğu yerde ilerleyen dalga, bitki tarafından yapılan iş dolayısıyla enerji kaybeder (Mendez ve Losada, 2004). Enerji akısı azalması oranı, artan dalga yüksekliği ile artmaktadır bunun sebebi daha yüksek dalganın tabanda dalga orbital hızının karesiyle orantılı olan daha yüksek gerilme harcamasıdır. Dalga

enerjisi azalması oranı, pürüzlü türbülanslı akımda, gerilme üretimi ve dalga orbital hızı ile orantılıdır (Dean and Dalrymple, 1991). Öyleyse dalga enerjisi azalması orbital hızın (dalga yüksekliği) kübüyle orantılıyken dalga enerji akısı dalga yüksekliğinin sadece karesiyle orantılıdır. Dalga sönümlemesi ile ilgili varılan çıkarımlar genellikle dalga orbital hızı ile bitkilenme arasında belirgin bir etkileşim varsa geçerlidir.

Deniz çayırları tarafından dalga enerjisinin sönümlenmesi kıyı koruma amaçlı olarak kullanılabilecek bir yöntemdir (Koch ve diğ., 2006) çünkü bitkilenme içinde ve etrafında akım hızını azaltır bu da katı maddenin çökmesini sağlar ve bulanıklığı azaltır (Madsen ve diğ., 2001). Bununla birlikte, deniz çayırları ılıman bölgelerde mevsimsel olarak gelişirken, kıyı erozyonu da düzensiz olarak yıllık ya da on yıllık zaman dilimlerinde meydana gelen büyük dalga olaylarıyla ilgilidir (Wilcock ve diğ., 1998). Bu nedenle, deniz çayırlarının gelişmesi ile söz konusu dalga olaylarının zamanlaması deniz çayırlarının kıyı korumada kullanılması potansiyelini etkilemektedir.

Bitkilenme, erozyon etkisini en az 4 farklı mekanizmayla azaltmaktadır:

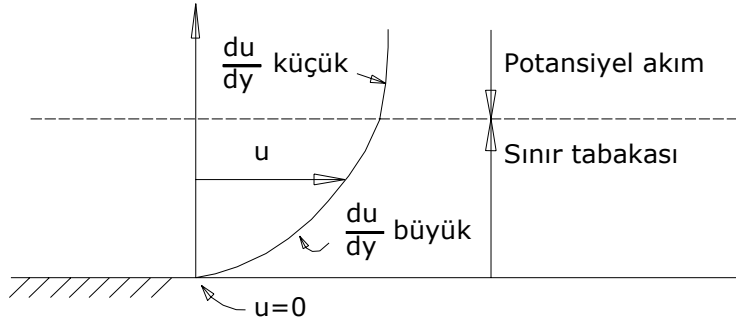
- (1) Kıyı çizgisinin dayanıklılığının daha dayanıklı bir toprak/kök oluşumu nedeniyle artması,
- (2) Dalgalar kıyı çizgisine varmadan bitkilerin dalgayı sönümlemesi,
- (3) Akım hızındaki düşüş nedeniyle katı maddenin birikmesi,
- (4) Kumullardaki kum birikme kapasitesinin artması buna bağlı olarak da fırtına dalgaları sırasında kumun mevcut olması.

Bu 4 mekanizma da erozyon kontrolünde faydalı etkilerle sonuçlanmakla beraber etkinin tipi farklıdır (Dean, 1978).

Bunlara ek olarak bitkilenme hem tatlı su hem de deniz ortamında katı madde büyüklüğünü ve dağılımını etkiler. Öyleyse hem tatlı su hem de deniz ortamlarında bitkilenmenin varlığı ve sürekliliği su kalitesini artırır, katı maddeyi stabilize eder, tekrar askıya geçmeyi, erozyonu ve bulanıklığı azaltır (Madsen ve diğ., 2001).

Dip tabakanın (substratum) suyun akışına etki ettiği alan bentik sınır tabaka olarak bilinir. Bu tabakanın özellikleri hem akım hızına hem de alt tabakanın doğasına bağlıdır. Bitkilerin yokluğunda akım hızı (u), derinlikle (y) logaritmik olarak azalır

ve hız gradyanı (du/dy) olarak tanımlanan enerji harcanımı taban yakınında maksimum olur (Şekil 3.6). Bitkili tabanda buna ek olarak bitkinin su akımı ile etkileşiminden doğan bir enerji harcanım piki oluşur, böylece akım bitkiden geçerken genel bir gecikme olur ki bu durum potansiyel olarak katı madde birikimini artırır. Hız gradyanının sıfıra eşit olduğu nokta substratumun pürüzlülük yüksekliğidir (y_0) ve bitkilenme ile artar (Gacia ve diğ., 1999).



Şekil 3.6: Hız gradyanının derinlikle değişimi (Sümer ve diğ., 1994).

Hareket eden suyun oluşturduğu kuvvetler (sürüklemeye ve kaldırma) yerçekimi ve sürtünme kaynaklı kuvvetlerden fazla olduğunda erozyon meydana gelir (Middleton and Southard, 1984).

Bir katı madde danesini harekete geçirmek için yeterli gücün uygulandığı hıza kritik kayma hızı (u_{krit}) denir. Shields diyagramı yatay bir tabandaki belli bir büyüklükteki daneleri hareket ettirmek için gerekli τ kayma gerilmesini belirlemek için kullanılır ($u_*^2 = \tau/\rho$ ρ suyun özgül ağırlığı). Gelgitin değil de dalganın baskın olduğu su ortamında bitki yaprakları sürekli öne arkaya salındıkları için su sütunu ve bitkilenme arasında daha çok ilişki olur. Bunun sonucu olarak akımdaki azalma daha az olur ve yatağın içindeki tabandaki kayma hızı (u_*) bitkisiz alan kadar çok olabilir (Madsen, 2001).

Dalga etkisinin baskın olduğu ortamda, tabandaki katı maddeye etki eden toplam güç, denizçayırı yatağı açığa taşındıkça, yatağın arkasındaki etkilenen alan arttığı için azalır. Bu denizçayırıların yatak ile kıyı çizgisi arasındaki bölgede tabandaki katı maddeyi stabilize ettiğine işaret eder. Bitkilenmenin içinde ve arkasında daha düşük yüzey sürtünmesi kayma gerilmesi, daha düşük erozyon oranı ve tabanda daha fazla katı madde görülmektedir. Deniz çayırı yataklarında katı madde birikiminin olmasının nedeni olarak görülen mekanizma deniz çayırının neden olduğu momentum kaybına bağlı azalan kayma gerilmesinin tekrar askıya geçmeyi azaltması

ve katı madde birikimini arttırması olarak ifade edilebilir. Bunun için yatak dışında yeterli katı madde kaynağı olması ve taşınım mekanizmasının olması gerekmektedir (Chen ve diğ., 2007).

Bitkilenme ve oluşan dalgalar arasındaki ilişkinin bilinmesi kıyı sularındaki ekolojik ve jeomorfolojik süreçlerin anlaşılmasına ve kıyı koruma yönetimine yardımcı olur. Türker ve diğ. (2006) çalışmasının amacı batmamış bitkilenmenin kıyı bölgesindeki morfolojik değişimlere karşı koruma potansiyelinin belirlenmesidir. Bu çalışmada kıyı profili önündeki bitkili alanının koruma potansiyelinin belirlenmesi için laboratuvar çalışması yürütülmüştür. Ayrıca bitkili bir bölgede kıyı erozyonuna neden olan dalga ve kum özelliklerine bağlı en önemli parametreler değerlendirilmiştir. Her deneyin en başından itibaren dalga yüksekliği arttıkça erozyona meyilli bölgede katı madde danelerinin aşamalı olarak yer değiştirdiği gözlenmiştir. Bu çoklukla dalgaların yüksek enerji potansiyeline bağlıdır. Erozyon etkisinin doğal sonucu olarak, kumsal profilindeki bitkili alan arttıkça erozyonda önemli bir düşüş gözlenmiştir. Bu düşüşün nedeni bitkili alanın sürtünme ve sürüklenme kuvvetine bağlı olarak önemli miktarda dalga enerjisini emmesidir (absorblamasıdır), kumsal profilini erozyona uğratan fırtına dalgaları böylece enerjilerini kaybederler. Deneysel çalışmalar, erozyon miktarının doğrudan dalga yüksekliğine bağlı olduğunu ve katı madde dane çapı ve bitkilenmenin yoğunluğu ile ters orantılı olduğunu göstermiştir.

Çalışma sonucunda genellikle bitkili alanın büyüklüğü arttıkça erozyon alanının azaldığı, kumsaldaki hasar arttıkça dalga enerjisinin harcanımının düştüğü bunun da ya yüksek dalga iklimine ya da seyrek bitkilenmeye işaret ettiği, kumsal morfolojisindeki değişimlerin dalga, akışkan, katı madde, bitkilenme ve kumsal profili parametrelerinin kombinasyonunun fonksiyonu olduğu görülmüştür (Türker ve diğ., 2006).

Batmamış bitkilenmenin kıyı erozyonu üzerine etkisini araştıran ve laboratuvar da dalga baseninde gerçek bitkiler yetiştirilerek Coops ve diğerleri (1996) tarafından yapılan bir çalışmada iki helophytes türü (*Phragmites australis*, *Scirpus lacustris*) iki çeşit katı maddeye (kum ve siltli kum) ekilmiş ve 3 yıl süren bu çalışmada bank profili, bitki ve dalga geçiş paternleri ölçülmüştür. Çalışmada hem bitkilenmenin dalga üzerindeki hem de dalganın bitki performansı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Batmamış bitkilenmenin dalgaların erozyon etkisini hem dalgayı sönmüleyerek hem

de katı maddeyi sabitleyerek etkilediği görülmüş ve bitkili alanlarda bitkisiz alanlara nazaran daha az erozyon ölçülmüştür. En fazla dalga sönümlemesi, her yıl bitkilerin tam gelişmiş olduğu Ağustos ayında ölçülmüştür.

Bitkilenmenin dalgaya veya katı madde hareketine etkisini inceleyen çalışmalardan iki tanesi özellikle, ölçekli yapay bitkiler imal edilerek fiziksel modeller kurulduğu için bu çalışma açısından önemlidir. Bu çalışmalardan birincisi Dubi'nin (1995) *Laminaria hyperborean* türü kelp bitkilerinin 1/10 ölçekli modelleri ile yaptığı fiziksel model çalışmasıdır. Bu doktora çalışmasında batmış kelpelerin dalga sönümlemesi etkisi laboratuvar ortamında, düz bir taban için araştırılmıştır. Bu çalışmada kullanılan 1/10 ölçekli 5000 adet plastik kelp modeli Lovas (2000) tarafından yapılan doktora çalışmasında da kelpelerin, dalga sönümlemesi ve kumul erozyonuna etkisinin araştırılması için kurulan fiziksel modelde kullanılmıştır. Lovas (2000) çalışmasında, kelpelerin, kırılmayan düzenli dalgalara, hem düz bir tabanda hem de eğimli sabit tabanda etkisini ve eğimli kum tabanda düzensiz dalgalara etkisini araştırmıştır.

Lovas ve Torum (2001) kelpelerin, eğimli tabanda, düzensiz dalgalara ve bu dalgaların neden olduğu erozyona olan etkilerini özellikle kelpelerin dalga orbital hızlarına olan etkilerini göz önüne alarak vermişlerdir. Bu çalışma sonucunda kelpelerin, önemli miktarda dalga sönümleme etkisi olduğunu, dalga kırılmasını azalttıklarını ve derinlik boyunca hız profilini değiştirdiklerini bununla beraber kumul erozyonuna etkilerinin az olduğunu bulmuşlardır.

3.3.1 *Posidonia oceanica*'nın kıyıdaki katı madde hareketine etkisi

Posidonia oceanica çayırılarının katı maddenin birikmesi ya da askıya geçmesi ve kıyı erozyonu üzerine olan etkileri de yapılan araştırmalar arasındadır (Gacia ve diğ., 1999; Gacia ve Duarte, 2001). Deniz çayırı yatakları genellikle akım hızını düşürerek partiküller için bir toplanma yeri oluştururlar.

Tabanda biriken toplam katı madde miktarı ($D_t = D_p + D_r$) 2 grupta incelenebilir; (i) birincil birikim (D_p) (ölçüm bölgesinde ilk defa biriken partiküller) ve (ii) tekrar askıya geçenlerin birikimi (D_r) (ölçüm bölgesinde daha önce çökelmiş ardından tekrar askıya geçen katı madde partikülleri) (Gacia ve Duarte, 2001). Net sedimentasyon oranı hem partiküllerin birikmesine hem de tekrar askıya geçme nedeniyle meydana gelen kayıpların azalmasına bağlıdır (Gacia ve diğ., 1999).

Bitki yapraklarının neden olduğu artan sşrtşnme, kayma hızını ve pşrşzlşlşk yşksekliğini arttırmakta, bitkisiz bşlgelerle karşılaştırıldığında ise akım hızını azaltmaktadır. Akım hızındaki azalma bitkisiz bşlge ile karşılaştırıldığında *Posidonia oceanica* çayırında partikşl birikimini arttırmaktadır. Benzer olarak bitkilerin yarattığı (dolaylı olarak hem dşşey hem yatay hızı dşşşren) enerji harcanımı bitkinin içindeki tekrar askıya geçmeyi tamponlar (Gacia ve diğ., 1999).

Gacia ve diğerleri (1999) *Posidonia oceanica* çayırı içindeki katı madde birikimini ve akımı belirlemek için *Posidonia oceanica*'nın var olduğu ve olmağı durumlarda ADV ile akım hızını, katı madde kapanları ile de katı madde birikiminin miktarını şlmşşlerdir. ADV probu aşağı bakacak şekilde silindirik, paslanmazelik birereveye tutturulmuş, u hız bileşeni baskın dalga hareketi yşnşnde şlşlecek şekilde yerleştirilmiştir.çerçeveyi ortalayan milin ucu bir tripod ile sedimente sabitlenmiştir. Hız profilleri çayırların en az 5 m açığında kumlu diplerde, çayırın sınırından 2 m içerdeki bitkilerin içinde ve şstşnde ayrı ayrı belirlenmiştir. katı madde kapanları da bitkili ve bitkisiz tabana SCUBA dalgıları tarafından yerleştirilmiştir.

Gacia ve diğerlerinin (1999)alışmasında yapılan arazi şlşmleri; deniz çayırlarının yapısının, şzellikle bitkilerin yşzey alanının, bitki tarafından harcanan enerjinin belirlenmesinde, deniz çayırının sşrgşn yoğunluğundan daha şnemli olduğunu gşstermiştir.

Posidonia oceanica kayma hızını, enerji harcanımını, pşrşzlşlşk yşksekliğini bitkisiz alana nazaran artırır. *Posidonia oceanica* sedimentasyonu 2 şekilde etkiler; (1) enerji harcanımına ve bitkinin içindeki tşrbşlansı yeniden şleklendirerek tekrar askıya geçmeyi tamponlar (2) Partikşl miktarı az, korunaklı sularda birincil birikimin miktarını artırır. Bitkilerin birincil birikimi arttırmadaki rolş az iken tekrar askıya geçme üzerindeki etkisiok belirgindir (Gacia ve diğ., 1999).

Benzer şekilde Gacia ve Duarte (2001)'ninalışmalarının sonucuna gşre yıllık dşngşde artan birincil birikime *Posidonia oceanica*'nın etkisi fazla değildir. Ancak *Posidonia oceanica* katı maddenin tekrar askıya geçmesini engellemektedir, dolayısıyla bitkisiz bşlgeye nazaran askıya geçme 1/3 oranında azalmıştır. Birikimin yıllık akısında tekrar askıya geçmiş partikşllerinşkmesi baskındır. Bu oran çayırın içinde toplam akının %85'ini bitkisiz alanda %95'ini oluşturur. Bşylecealışma

yapılan bölgede deniz çayırıları tekrar askıya geçmeyi azaltır, katı maddenin tutulmasını artırır, kıyı bölgesindeki erozyonu azaltır, Akdeniz’de *Posidonia oceanica*’nın varlığı tekrar askıya geçmeyi azaltarak katı madde stabilitesini geliştirir.

4. ÇALIŞMAYA ESAS TEŞKİL EDEN TEORİK YAKLAŞIM

4.1 Katı madde taşınım oranı

Katı madde taşınımı, dalgalar nedeniyle açığa çıkan enerjinin harcanımı temelinde modellenebilir. Denge profili kavramı kullanılarak Kriebel ve Dean (1985) tarafından önerilen modelde kıyıya dik katı madde taşınımı debisi aşağıdaki formülle verilmiştir:

$$Q_s = K(D - D_*) \quad (4.1)$$

Burada Q_s kıyıdan açığa doğru taşınan katı madde debisi, K , taşınım oranı parametresi, D , birim hacim için mevcut (dalga kırılması nedeniyle açığa çıkan) enerji ve D_* , kıyı profili denge halindeyken birim hacimdeki enerji harcanımıdır. Bu denklem, kıyıya dik katı madde taşınımının devam edebilmesi için kıyıya, profil denge halindeyken harcanandan daha fazla enerji ulaşması gerektiğini göstermektedir. Bu iki enerji miktarı arasındaki fark, katı madde taşınım oranını belirler. Bu enerji farkı Türker (2002) tarafından aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$D_s = D_w - D_{eq} \quad (4.2)$$

Burada D_w ve D_{eq} sırasıyla birim hacim için mevcut (dalga kırılmasıyla beraber birim hacimde ortaya çıkan enerji) ve denge halindeki enerji harcanım oranlarıdır. D_s ise katı maddenin yer değiştirmesi için birim hacim başına gerekli enerjidir. Mevcut ve denge halindeki enerji harcanım oranları birbirine eşit olduğunda ($D_w = D_{eq}$) denge kıyı profili koşulları sağlanmış olmaktadır ve net katı madde taşınım oranı sıfır kabul edilebilir (Türker, 2002; Türker ve Kabdaşlı, 2002).

Bu enerji dengesi, ortamda bitki bulunmadığı zaman geçerlidir, oysa deniz tabanında bitkilenme söz konusu olduğunda enerji harcanımı için yeni bir etken işin içine girmiş olur, bitkinin birim hacim başına harcadığı enerjiye D_b denirse yukarıdaki denklem aşağıdaki hale dönüşür:

$$D_s = D_w - D_b - D_{eq} \quad (4.3)$$

Bu durumda bitkili ortamda, katı maddenin harekete geçmesi için bitkinin harcadığı kadar daha fazla enerjiye ihtiyaç vardır, dalga nedeniyle açığa çıkan enerji miktarı sabit olduğuna göre bitkili ortamda katı maddenin taşınımı için daha az enerji mevcuttur; bu da fırtına dalgaları nedeniyle oluşan kıyı profilinde barın büyüklüğünün veya konumunun değişmesi anlamına gelir.

Bu çalışmada, bitkili ve bitkisiz ortamda deneysel çalışma yapılarak bitkilenme tarafından harcanan bu enerji miktarının oranı belirlenmeye çalışılmış ve deniz tabanında batmış bitkilenme mevcutken oluşan kıyı profilinin geometrik büyüklükleri için ampirik formüller türetilmiştir.

4.2 *Posidonia oceanica* çayırı bulunan kıyılarda kıyı morfolojisine etki eden parametreler

Kıyıda dik katı madde hareketine yol açan en önemli etkenin dalgalar olduğu Bölüm 3'te belirtilmiştir. Dolayısıyla kıyı profilinin oluşumuna etki eden en önemli parametreler dalga özelliklerini veren, dalga yüksekliği, periyodu ve dalga boyu olduğu bilinmektedir. Kıyıdaki katı madde hareketi, hareket eden katı maddenin özelliklerine de doğrudan bağlıdır ki, katı maddenin özelliklerini ifade eden parametreler, özgül ağırlığı, dane çapı ve çökme hızıdır. Suyun özgül ağırlığı, viskozitesi, kumsalın eğimi ve su derinliği de profilin oluştuğu ortamın özelliklerini veren parametrelerdir.

Deniz tabanında bitkilenme var ise sayılan tüm bu parametrelerin yanı sıra bitkilenme özelliklerini veren parametreler de kıyı profilinin oluşumuna etki eder. Deniz tabanındaki bitkilenmenin dalga ve katı madde hareketine etkisi, bitkilenmenin deniz çayırı mı yoksa yosun mu olduğuna göre değiştiği gibi bitkinin türüne bağlı olarak da değişir. Bunun nedeni, yaprak boyutu ve şeklinin, sürgün sıklığının ve dolayısıyla bitkinin su sütununda kapladığı alanın bitkinin türüne göre değişkenlik göstermesidir. Kıyıdaki katı madde hareketinin önemli oranda dalga kırılması dolayısıyla oluştuğu göz önüne alındığında bitkilenmenin, dalga kırılma bölgesine göre konumunun da katı madde hareketinde etkili olduğu düşünülebilir. Bitkilenmeyi ifade eden parametreler; bitkili alanın kıyı çizgisine mesafesi, bitkili alanın kıyıya dik doğrultuda uzunluğu ve bitkilenmenin su sütununda kapladığı alandır.

4.3 Boyut Analizi

Bu çalışmanın amaçlarından biri, bitkili ve bitkisiz ortam için fırtına dalgaları sonucunda oluşan kıyı profilinin geometrik özelliklerinin bitkilenme ile ne şekilde değiştiğinin bulunması ve bu geometrik büyüklüklerin bitkili ve bitkisiz durumda hesaplanabilmesi için deney sonuçları kullanılarak ampirik formüller üretilmesidir.

Deney sonuçlarından ampirik formüller türetilirken, denklemlerdeki boyut homojenliğinin sağlanması için boyutsuz büyüklüklerin kullanılması tercih edilir. Bu nedenle, çalışmada öncelikle boyut analizi yapılmıştır. Boyut analizi yapılması için ele alınan fiziksel olaydaki (burada fırtına dalgaları sonucunda kıyı profilinin oluşumu) değişkenler belirlenmiştir.

Fırtına dalgaları sonucu oluşan kıyı profili ile ilgili değişkenler; (a) bağımlı değişkenler; kıyı profilinin geometrik özellikleri, (b) bağımsız değişkenler; kıyı profilinin oluşmasına neden olan dalga özellikleri, profilin şeklini etkileyen, katı madde, ortam ve bitkilenme özellikleri olarak ikiye ayrılabilir. Kıyı profilinin geometrik özellikleri, sembolleri ve boyutları Çizelge 4.1’de, dalga, katı madde, ortam ve bitkilenme özellikleri, sembolleri ve boyutları ise Çizelge 4.2’de verilmiştir. Kıyı profilinin geometrik büyüklüklerinin şekil üzerinde gösterimi Bölüm 3’te verilmiştir (Şekil 3.5).

Bu durumda araştırılan fiziksel olayı tanımlayan fonksiyon, bulunması istenen her bir parametre için (örnek olarak Bar Alanı) aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$f(A_{bar}, H, L, T, \gamma_s, d_{50}, w, X_s, e, h_s, S_s, a(z), h_y, \gamma_w, \nu, g, \tan \beta, h) = 0 \quad (4.4)$$

Bu parametrelerden $a(z)$ tanım olarak, e , h_y ve S_s parametrelerini de içerdiği için bu parametreler fonksiyondan çıkarılabilir. h_s parametresi de X_s , h_y ve $\tan \beta$ ’nın fonksiyonu olduğu için çıkarılmıştır. Bu durumda fonksiyon aşağıdaki şekle dönüşür:

$$f(A_{bar}, H, L, T, \gamma_s, d_{50}, w, X_s, a(z), \gamma_w, \nu, \tan \beta, h) = 0 \quad (4.5)$$

Çizelge 4.1: Kıyı profilinin geometrik büyüklükleri.

Sembol	Açıklama	Boyut
X_e	Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi	$\{L\}$
h_e	Denge noktasının derinliği	$\{L\}$
X_c	Bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi	$\{L\}$
h_c	Bar tepe noktasının derinliği	$\{L\}$
X_m	Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi	$\{L\}$
h_m	Erozyon derinliği	$\{L\}$
X_b	Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi	$\{L\}$
A_{bar}	Bar alanı	$\{L^2\}$
$A_{erozyon}$	Erozyon alanı	$\{L^2\}$
$X_{G_e G_b}$	Erozyon ağırlık merkezinin bar ağırlık merkezine mesafesi	$\{L\}$
X_{G_b}	Bar ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi	$\{L\}$

Bu fonksiyondaki boyutlu A_i büyüklüklerinin sayısı, $n=13$; A_i büyüklüklerinde görülen temel boyutların sayısı, $r=3$ 'tür. Bu durumda boyutsuz Π_i büyüklüklerinin sayısı $m=n-3=10$ olacaktır. Bu fonksiyon Buckingham Pi teoremi kullanılarak ve $A_1 = \gamma_w, A_2 = w, A_3 = L$ seçilerek boyutsuzlaştırılırsa boyutsuz büyüklükler cinsinden aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$F\left(\frac{A_{bar}}{L^2}, \frac{H}{L}, \frac{wT}{L}, \frac{\gamma_s}{\gamma_w}, \frac{d_{50}}{L}, \frac{X_s}{L}, a(z)L, \frac{v}{wL}, \tan \beta, \frac{h}{L}\right) \quad (4.6)$$

Boyut analizi kıyı profilinin diğer geometrik parametreleri için de yapılmış olup bulunan boyutsuz büyüklükler aynı olduğu için tekrar verilmesine gerek yoktur.

Çizelge 4.2: Dalga, katı madde, ortam ve bitkilenme özellikleri.

Sembol	Açıklama	Boyut
Dalga özellikleri		
H	Dalga yüksekliği	$\{L\}$
L	Dalga boyu	$\{L\}$
T	Dalga periyodu	$\{T\}$
Katı madde özellikleri		
γ_s	Katı maddenin özgül ağırlığı	$\{ML^{-2}T^{-2}\}$
d_{50}	Medyan dane çapı	$\{L\}$
w	Çökelme hızı	$\{LT^{-1}\}$
Bitkili alanın özellikleri		
X_s	Bitkili alanın açık denize doğru son noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi	$\{L\}$
e	Bitkili alanın uzunluğu	$\{L\}$
h_s	Bitkili alanın açık denize doğru son noktasında bitki tepesinin derinliği	$\{L\}$
S_s	Sürgün sıklığı	$\{L^{-2}\}$
$a(z)$	Bitki yüzey alanı yoğunluğu	$\{L^{-1}\}$
h_y	Bitki yüksekliği	$\{L\}$
Ortam özellikleri		
γ_w	Suyun özgül ağırlığı	$\{ML^{-2}T^{-2}\}$
ν	Suyun viskozitesi	$\{L^2T^{-1}\}$
$\tan \beta$	Kumsalın eğimi	-
h	Su derinliği	$\{L\}$

4.4 Olaya Etki Eden Boyutsuz Parametreler

Kıyıya dik katı madde taşınımında en önemli etken dalga kırılması olduğundan, dalga kırılmasını belirleyen en önemli faktör de dalga dikliği olduğundan olaya etki eden en önemli boyutsuz parametre dalga dikliğidir. Dalga yüksekliği (H), dalga boyu (L) ile boyutsuzlaştırıldığında elde edilen boyutsuz parametre, dalga dikliği (H/L) olmaktadır. Bölüm 3'te verilen, daha önceki çalışmalarda bulunmuş olan

ampirik formüller incelendiğinde, kıyı profilinin geometrik büyüklüklerini veren formüllerin pek çoğunun dalga dikliği parametresini içerdiği görülmektedir.

Boyut analizi yapmanın faydalarından biri de deneyler sırasında değiştirilecek parametrelerin sayısını azaltmaktır. Bu çalışmada dalga dikliğinin farklı değerler almasını sağlayacak dalga yükseklikleri ve periyotları seçilerek deneyler bu dalgalar için yapılmıştır. Böylece ampirik formüllerde yer alacak dalga dikliği için birbirinden farklı değerler elde edilmiştir.

Boyut analizi yapmanın diğer bir faydası ise, bulunması istenen bağımlı değişkenin, bağımsız değişkenlere göre nasıl değiştiği incelenirken, özellikle ölçekli bir çalışma yapıldığında, boyutsuz parametreler kullanılmasına olanak vermesidir. Çalışmanın bundan sonraki bölümünde kıyı profilinin geometrik özelliklerinin dalga dikliğine göre değişimi verilmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA VE SONUÇLARI

5.1 Fiziksel Modelin Esasları

Bir hidrolik model, doğadaki temsil ettiği olay olan prototipi, oldukça yakın bir şekilde temsil edebilir; böylelikle fiziksel bir model, teorik olarak iyi anlaşılamayan veya iyi tanımlanamayan süreçler için bile kalitatif sonuçlar üretir (Kamphuis, 2000). Model ve prototip arasında geometrik, kinematik ve dinamik benzerlikler bulunabilir. L_m modelde bir uzunluk ve prototipte bu uzunluğa karşı gelen uzunluk L_p ise ve her L_m , L_p çifti için $L_r = L_m/L_p$ oranı sabit ise bu iki sistem birbirine benzerdir denir. L_r uzunluk ölçeği olarak adlandırılır. Model üzerinde bir noktadaki akışkan hızı V_m ve prototipte bu noktaya karşı gelen hız V_p ise ve her V_m , V_p için hesaplanan $V_r = V_m/V_p$ oranı sabit ise bu iki sistem arasında kinematik benzerlik vardır denir. Model ve prototipte birbirine karşı gelen noktalara etkiyen muhtelif kaynaklı kuvvetler arasında sabit bir oran mevcut ise, bu iki sistem dinamik olarak benzerdir denir. Yani kuvvet ölçeği $F_r = F_m/F_p$ oranı her noktada sabit kalmalıdır. Bununla beraber, bütün kuvvetler arasında aynı bir F_r oranının temini genellikle mümkün olamayacağından, modelle prototipin davranışları arasında istenen yönlerden, sınırlı bir uygunluk olacak şekilde model ölçeği (=geometrik ölçek) seçilir (Sümer ve diğ., 1994).

Model ve prototip arasındaki benzerlik koşullarının elde edilmesi için kullanılan dinamik yöntem, model ve prototipe etkiyen kuvvetlerin (yerçekimi, atalet ve viskozite kuvvetleri) oranlarının aynı olmasına dayanır. Model ve prototipteki yerçekimi kuvvetlerinin atalet kuvvetlerine oranlanması, model ve prototipteki Froude sayılarının eşitliğine yaklaştırırken, viskozite kuvvetlerinin atalet kuvvetlerine oranlanması model ve prototipteki Reynolds sayılarının eşitliğine götürür. Bu durumda dinamik benzerliğin sağlanabilmesi için model ve prototipte hem Froude hem Reynolds sayılarının aynı olması gerekir fakat bu ancak model ölçeğinin bir olması yani modelin prototiple aynı büyüklükte inşa edilmesiyle mümkündür. Bunun çözümü için prototipteki olayda sürtünme ve yerçekimi kuvvetinden hangisi daha önemli ise o parametre esas alınır. Hareketi kontrol eden ana kuvvetler viskozite ve atalet kuvvetleri ise Froude sayısının benzerliği aranmaz

ve bu tip modeller Reynolds modelleri olarak adlandırılır. Modellenecek olan olayda hareketi kontrol eden kuvvet esas kuvvet yerçekimi kuvveti ise, Reynolds sayısının benzerliği aranmaz ve bu tip modellere Froude modelleri denir. Pratikte serbest yüzeyli akımların modelleri genellikle Froude modeli olarak yapılır (Sümer ve diğ., 1994).

Herhangi bir geometrik ölçek belirlendiğinde model koşullarında kullanılacak parametrelerin incelenip yorumlanması için gerekli bağıntılar Froude Model Benzeşimi kanunlarından türetilir. Alan, hacim, kuvvet vb. için model (m) ve prototip (p) arasındaki bağıntılar aşağıdaki gibidir.

Hız

Hız oranları doğrudan Froude model benzeşiminden çıkarılabilir,

$$\frac{V_m}{(g_m L_m)^{1/2}} = \frac{V_p}{(g_p L_p)^{1/2}} \quad (5.1)$$

buradan,

$$\frac{V_m}{V_p} = \left(\frac{g_m L_m}{g_p L_p} \right) \quad (5.2)$$

ve

$$V_r = (g_r L_r)^{1/2} \quad (5.3)$$

elde edilir.

Burada V_m , modelde bir noktadaki akışkan hızı, V_p prototipte bu noktaya karşı gelen noktadaki akışkan hızı, L_m , modelde bir uzunluk, L_p , prototipte bu uzunluğa karşı gelen uzunluk, g_m , modelde yerçekimi ivmesi, g_p , prototipte yerçekimi ivmesi, V_r , modeldeki hızın, prototipteki hıza oranı, L_r , modeldeki uzunluğun prototipteki uzunluğa oranı (uzunluk ölçeği), g_r , modeldeki yerçekimi ivmesinin prototiptekine oranıdır.

Zaman

Mesafe, hız ve zamanın çarpımı olduğundan,

$$L_r = V_r T_r \Rightarrow V_r = \frac{L_r}{T_r} = (g_r L_r)^{1/2} \quad (5.4)$$

$$T_r = L_r^{1/2} g_r^{1/2} = \left(\frac{L_r}{g_r} \right)^{1/2} \quad (5.5)$$

elde edilir.

Burada T_r , modelde bir olayın gerçekleşmesi için geçen zamanın, prototipte aynı olayın gerçekleşmesi için geçen zamana oranıdır.

Kuvvet

Kuvvet kütle ile ivmenin çarpımı olduğundan;

$$F_r = M_r \frac{dV_r}{dT_r} = L_r^3 \frac{\gamma}{g_r} \frac{V_r}{T_r} \quad (5.6)$$

elde edilir. Buradan

$$F_r = L_r^3 \gamma_r \quad (5.7)$$

elde edilir.

Burada F_r , modeldeki bir kuvvetin, prototiptekine oranıdır.

Ağırlık

Ağırlık, özgül ağırlık ile hacmin çarpımına eşittir dolayısıyla da,

$$W_r = \gamma_r L_r^3 \quad (5.8)$$

$$E_r = F_r L_r = L_r^4 \gamma_r \quad (5.9)$$

Burada W_r , modeldeki bir nesnenin ağırlığının, prototiptekine oranı, E_r , modeldeki açığa çıkan enerjinin, prototipte açığa çıkan enerjiye oranıdır.

Benzer olarak A alanı, V hacmi, Q debisi ve P basıncı için,

$$A_r = L_r^2 \quad (5.10)$$

$$\bar{V} = L_r^3 \quad (5.11)$$

$$Q_r = L_r^{5/2} \quad (5.12)$$

ve

$$P_r = \frac{F_r}{L_r^2} = \frac{L_r^3 \gamma_r}{L_r^2} = L_r \gamma_r \quad (5.13)$$

Burada A_r , modeldeki bir alanın, prototiptekine oranı, Q_r , modeldeki akışkan debisinin, prototiptekine oranıdır.

Model ve prototipte yerçekimi ve suyun özgül ağırlığı aynı olduğundan $g_r=1$ ve $\gamma_r=1$ dir. Bu bilgiler ışığında hesaplanan ölçekler Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1: Elde edilen Froude modeli ölçekleri.

Parametre	Boyut	Model – Prototip Ölçeği
Uzunluk	L	L_r
Alan	L^2	$A_r = L_r^2$
Hacim	L^3	$V_r = L_r^3$
Zaman	T	$T_r = L_r^{1/2}$
Hız	L/T	$V_r = L_r^{1/2}$
Debi	L^3/T	$Q_r = L_r^{5/2}$
Kuvvet	F	$F_r = L_r^3$
Ağırlık	F	$W_r = L_r^3$
Basınç	F/L^2	$P_r = L_r$
Enerji	FL	$E_r = L_r^4$
Enerji	FL	$E_r = L_r^4$

Kamphuis’e (2000) göre, kıyıdaki katı madde hareketini modellemek tüm hidrolik modeller arasında en zordur. Model ve prototip arasında tam benzerlik sağlamak hiçbir zaman mümkün değildir, çünkü bazı büyüklükler ölçekle küçültülemez.

5.2 Ölçek Seçimi

Bir kıyı modelinde hareketli tabanı modellerken gerekli ölçeği belirlemek için, katı madde taşınımı, tabandaki kayma gerilmesinin fonksiyonu olarak alınır. Modeldeki katı madde dane boyutunun bir alt sınırı olduğundan, sedimentin sürekli askıya geçmemesi için, prototipteki dane boyutu yeterince büyük değilse, dane boyutu tam olarak ölçeklendirilemez. Bu durum, katı madde taşınım oranı, tabandaki sürtünme, kumsala sızma ile ilintili ölçek etkilerine yol açar (Kamphuis, 2000). Ölçek etkisini minimize edebilmek için mümkün olan en küçük ölçek seçilir.

Deneylerin yürütüleceği dalga kanalı 1 m derinliğe sahip olmakla beraber, daha önce aynı kanalda yapılmış olan çalışmalar, kanaldaki dalgalar açısından en verimli derinliğin 60 cm olduğunu göstermiştir, bu nedenle su derinliği 60 cm seçilmiştir. Bu derinlik ölçek 1/10 olduğunda prototipte 6 metre su derinliğine karşı gelir. Doğada *Posidonia oceanica* çayırları 0 metreden 45 metre derinliğe kadar bulunabilmektedir, fakat fiziksel koşullar ve kıyıdaki katı madde hareketini büyük oranda etkileyen

dalga kırılması olayının bu derinlik aralığında gerçekleşmesi nedeniyle 0–6 metre derinlikte çalışılması uygundur. Bu bilgiler ışığında, model ölçeği 1/10 olarak seçilmiştir. Uzunluk için 1/10 olan model ölçeği diğer parametreler için Çizelge 5.1’e göre hesaplanarak Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2: Elde edilen model ölçek değerleri.

Parametre	Model – Prototip Ölçeği	Model – Prototip Ölçeği
Uzunluk	L_r	1/10
Alan	$A_r = L_r^2$	1/100
Hacim	$V_r = L_r^3$	1/1000
Zaman	$T_r = L_r^{1/2}$	1/3,16
Hız	$V_r = L_r^{1/2}$	1/3,16
Debi	$Q_r = L_r^{5/2}$	1/316,23
Kuvvet	$F_r = L_r^3$	1/1000
Ağırlık	$W_r = L_r^3$	1/1000
Basınç	$P_r = L_r$	1/10
Enerji	$E_r = L_r^4$	1/10000

5.3 *Posidonia oceanica*’nın Modellenmesi

Su ortamındaki esnek yapılı bitkilerin modellenmesi karmaşık olduğundan, modellerde bitki yüksekliğinin yaprak uzunluğuna eşit olduğu varsayılan rijit silindirler kullanılmaktadır, bu da bitki yüksekliğinin ve dolayısıyla bitkinin akıma etkisinin olduğundan fazla görünmesine yol açmaktadır (Koch, 2006). Dolayısıyla, bu çalışmada *Posidonia oceanica* şekil olarak orijinaline mümkün olduğunca yakın şekilde şerit yapraklı ve esnek olarak modellenmiştir.

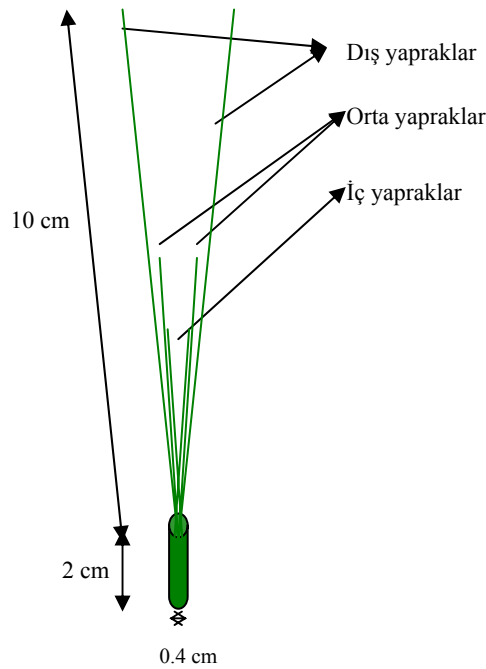
Posidonia oceanica’nın fiziksel özellikleri Bölüm 2’de verilmiştir, bu fiziksel özelliklere göre modeli yapılacak olan prototip *Posidonia oceanica*’nın özellikleri (yaprak uzunluklarının oranı, yaprak uzunluğu ve genişliği, bir sürgündeki yaprak sayısı), doğal *Posidonialar* üzerinde yapılmış araştırmalar (Green ve Short, 2003; Yüksek ve diğ., 2004) ve *Posidonialar* üzerine yapılmış deneysel çalışmalar (Folkard, 2005; Ciraolo ve diğ., 2006) göz önüne alınarak belirlenmiştir. Folkard (2005) çalışmasında sürgünlerin yaprak uzunluklarını sırasıyla; 50 cm, 25 cm ve 15 cm olan parçalardan oluşturmuştur. Yapraklar en kısımları en içe, en uzunları en dışa gelecek şekilde düzenlenmiştir. Bu sıralamanın nedeni genç yaprakların bitkinin ortasından çıkmasıdır. Ciraolo ve diğerleri (2006) ise dış yaprak çifti 50 cm uzunluğunda, ortadaki yaprak çifti, 25 cm ve en içteki yaprak çifti 12,5 cm uzunluğunda olacak şekilde bitkiler oluşturmuştur. Bu iki çalışmada da yaprak

genişliği 1 cm olarak alınmış ve bitki boyları leksiz olarak gerçek boyutlara göre yapılmıştır. Bu çalışmada ise 1/10 ölçek kullanıldığından en büyük yaprak boyutu 100 cm seçilerek *Posidonia oceanica* modellerinin çok küçük olmaması sağlanmıştır. Doğada yapılmış araştırmalara göre, *Posidonia oceanica*'nın yaprak boyutu 4–150 cm arasında değişebilmektedir. Bu nedenle prototip *posidoniada* en büyük yaprak boyunun 100 cm seçilmesi önceki araştırmalarla uyumludur.

Posidonia oceanica'nın önemli yapılarından birisi rizomudur. Çalışmada, rizom yapısının modellenmesi de amaçlanmıştır. Rizomun da sediment hareketine etkisinin modellenmesi için yaprak demetinin dibinde şekil 5.1'de gösterilen yapı oluşturulmuştur. Rizom uzunluğuna çok sayıda *Posidonia oceanica* fotografi incelenerek karar verilmiştir.

Bu bilgiler ışığında, prototip *Posidonia oceanica*'nın yaprak uzunlukları dış yapraklardan i yapraklara doğru; 100 cm, 50 cm ve 30 cm, yaprak adedi 6 yaprak/bitki, yaprak genişliği 1 cm, rizom uzunluğu 20 cm ve rizom genişliği 4 cm olarak belirlenmiştir. Bitkiler kuma konurken, rizomun yaklaşık yarısı kumun içinde olacak şekilde yerleştirilmiştir, bu nedenle bitkinin toplam boyu 11 cm'dir.

Ölçek 1/10 olarak seçildiğinde model *Posidonia oceanica*'nın ölçüleri; yaprak uzunlukları dıştan içe doğru, 10 cm, 5 cm ve 3 cm, yaprak adedi 6 yaprak/bitki, yaprak genişliği 0,1 cm, rizom uzunluğu 2 cm ve rizom genişliği 0,4 cm olmaktadır (şekil 5.1).

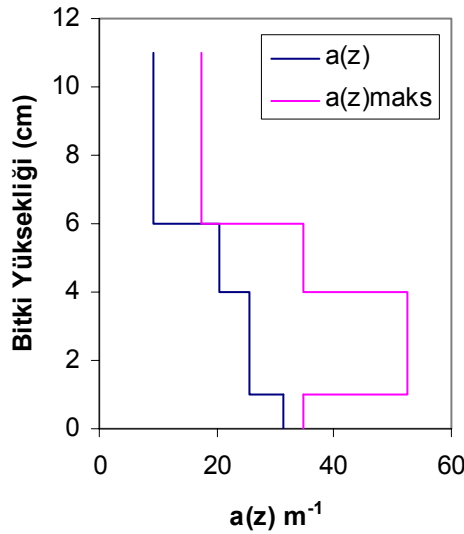


şekil 5.1: *Posidonia oceanica*'nın modeli.

5.3.1 Bitki yüzey alanı yoğunluğu

Kaimal ve Finnigan (1994) bitkilenme yoğunluğunu belirlemek için Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu (Foliage Area Density) $a(z)$, kavramını önermişlerdir. Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu birim hacimdeki bitki yüzey alanını vermektedir. Bu çalışmada kullanılan *Posidonia oceanica* modelinde 3 farklı boyda yaprak bulunduğundan ve bir de rizom kısmı bulunduğundan modelde 4 farklı yoğunluğa sahip katman vardır. Bitkinin yapraklarının birbirini kapatmadığı düşünülürse $a(z)_{maks}$ hesaplanabilir. Bununla beraber yaprakların birbirini örtmediği varsayımı çoğunlukla geçersiz bir varsayımdır. Daha gerçekçi bir Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu $a(z)$ hesabı için tekil bir modelin fotoğrafı AutoCAD programına aktarılmış ve burada farklı katmanların yüzey alanları bulunmuş ve bu farklı katmanlar için Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu hesaplanmıştır. $a(z)_{maks}$ ve $a(z)$ 'in bitki yüksekliği ile değişimi Şekil 5.2'de verilmektedir. Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanır.

$$\frac{A}{V} = \frac{\text{Bir sürgünün yüzey alanı} \times \text{sürgün sayısı}}{\text{Bitkili alanın hacmi}} \quad (5.14)$$



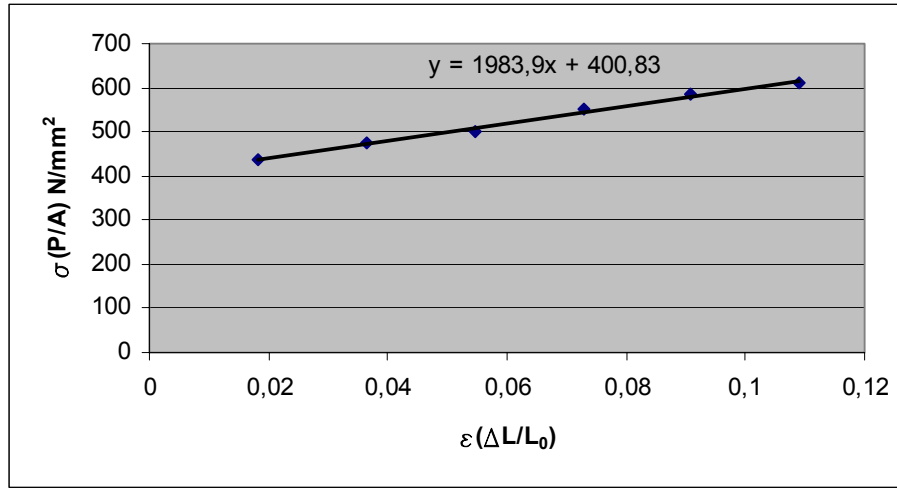
Şekil 5.2: Bitkinin yüksekliğine göre Bitki Yüzey Alanı Yoğunluğu.

Bitkinin tamamı için tek bir değer hesaplandığında sonuç olarak $a(z)=17,6 \text{ m}^{-1}$ bulunmuş olup bu değer tüm bitkili alanı temsil ettiği kabul edilmiştir.

5.3.2 Malzeme özellikleri ve malzeme seçimi

Posidonia oceanica modellerinin yapılması için çeşitli malzeme seçenekleri araştırılmıştır. Öncelikle yaprakların ne tür bir malzemeden yapılması gerektiği

belirlenmiştir. Bu konuda öncelikle *Posidonia oceanica*'yı laboratuvar ortamında modellemiş olmaları nedeniyle Ciraolo ve diğ., (2006) ve Folkard'ın (2005) çalışmaları göz önüne alınmıştır. Bu iki çalışmada da, yapraklar 0,2 mm kalınlığında polietilen malzeme kullanılarak modellenmiştir, fakat bu çalışmalarda *Posidonia oceanica*'lar 1/1 oranında modellenmiştir, yani ölçek kullanılmamıştır. Söz konusu malzemenin bu çalışmada 1/10 ölçek uygulanacağı için kullanılması mümkün olamamıştır. Bu nedenle farklı malzemelerin yaprak oluşturmakta kullanılıp kullanılamayacağı araştırılmıştır. Bu malzemeler; bir kaç çeşit yapay süs bitkisi yaprağı, kurutulmuş bitki yaprakları (Hindistan'dan gelen ve strip grass olarak adlandırılan bitki), bakır levha, nikel-krom tel ve rafyadır. Öncelikle yapay süs bitkilerinden örnek modeller yapılmış, fakat bu bitkilerden 1 mm kalınlığında şeritlerin kesilmesinin zor olması nedeniyle, yapılacak bitki sayısının çokluğu da göz önüne alındığında kullanışlı olmayacakları anlaşılmıştır. Aynı durumun kurutulmuş bitki için de geçerli olduğu görülmüştür. Bakır levha ve rafya ile de örnek modeller yapılmış, ancak uygun bulunmamıştır. Nikel-krom telin (Nichrome®60) 1 mm genişliğinde, 0,08 mm kalınlığında ve yassı olması nedeniyle model yapımı açısından kullanışlı olacağı düşünülmüştür. Folkard'ın (2005) çalışmasında kullanılan polietilen levhanın yoğunluğu $\rho = 900 \pm 20 \text{ kg/m}^3$, Elastisite Modülü $E = 5,4 \pm 0,1 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ dir. Bunlar doğal *Posidonia oceanica* için ölçülmüş değerlerle ($\rho = 910 \pm 110 \text{ kg/m}^3$, $E = 4,7 \pm 0,6 \times 10^8 \text{ N/m}^2$) karşılaştırılmıştır (Folkard, 2005). Malzemelerin karşılaştırılması açısından Nikel-Krom telin yoğunluğu ve Elastisite Modülü hesaplanmıştır. Telin yoğunluğu $\rho = 7757 \text{ kg/m}^3$ olarak bulunmuştur. Elastisite Modülünün hesaplanması için İTÜ İnşaat Fakültesi Malzeme Laboratuvarı'nda çekme deneyi yapılmış (Şekil 5.3) ve $E = 19,8 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ olarak bulunmuştur. Nikel-Krom telin Elastisite modülü polietilen levhanın Elastisite modülünün yaklaşık 4 katı ve yoğunluğu polietilen levhanın yoğunluğunun yaklaşık 8 katıdır.



Şekil 5.3: Çekme deneyi sonuç grafiği.

Bu veriler ışığında Nikel-Krom telin modellerin yapılması için pratik, uygun ve kullanışlı olduğuna karar verilmiştir.

Yaprak malzemesinin seçiminin ardından hem yaprakların bir arada durmasını sağlayacak hem de rizomu modelde temsil edecek malzeme olarak dübel seçilmiştir, dübel aynı zamanda modellerin kuma saplanması sağlayacak olan telin de yapraklara birleştirilmesini sağlamıştır. Modellerin kuma saplanması için kullanılan tel, yaklaşık 10 cm uzunluğunda çelik teldir. Rizomun genişliği 4 mm olarak hesaplandığı için 4 mm'lik dübeller kullanılmıştır. Malzeme seçiminin ardından modellerin yapım aşamasına geçilmiştir. Tekil bir model Şekil 5.4'te görülmektedir.



Şekil 5.4: *Posidonia oceanica* modeli.

5.4 Deney Sisteminin Kurulması

Deneyler İTÜ Hidrolik Laboratuvarı'nda bulunan 24 m x 1 m x 1 m ölçülerindeki dalga kanalında gerçekleştirilmiştir. Cam cidarları bulunan bu dalga kanalına (Şekil 5.5) monte edilmiş halde, hidrolik bir pistonla düzensiz ve düzenli dalga serileri oluşturabilen bir dalga üreticisi bulunmaktadır. Kanalda üretilen düzensiz dalga serileri Pierson-Moskowitz dalga enerji spektrumunu yansıtmaktadır ki, bu spektrum Rayleigh dağılımına uymakta ve genel düzensiz dalga serileri karakteri taşımaktadır.

Pistona sinüzoidal hareketler yaptırılarak kanal içinde düzenli dalga serileri üretilmesi de mümkündür. Bu sayede, hem düzenli hem de düzensiz dalgalarla deney yapılabilmektedir.



Şekil 5.5: Model deneylerinde kullanılan dalga kanalının fotoğrafı.

Bitkili ve bitkisiz ortamda kıyı profiline dalga etkisinin aynı anda, aynı dalgaların etkisi altında nasıl olduğunun anlaşılabilmesi için kanal, kıyıya dik bir cam levha yardımıyla ikiye bölünmüş ve levhanın bir tarafına modeller yerleştirilirken diğer tarafı boş bırakılmıştır (Şekil 5.6, Şekil 5.7 ve Şekil 5.8).



Şekil 5.6: Kanalin cam levha vasıtası ile ikiye bölünmesi.



Şekil 5.7: Model *posidonia*'ların kanala yerleştirilmesi.

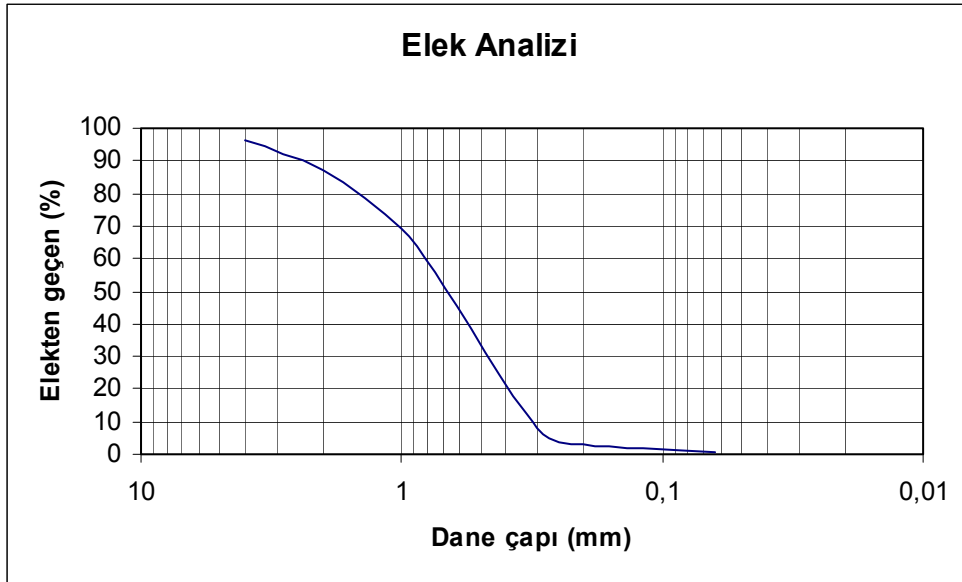


Şekil 5.8: Kanalin model *posidonia* yerleştirilmeyen tarafı.

Posidonia modellerinin yerleştirileceği kumsalın şev eğimi profil değişiminin izlenebilmesi için 1/5 olarak seçilmiştir (Şekil 5.9). Kumsal eğimi ve malzemesi tüm deneylerde sabit tutulmuştur. Kumsal malzemesinin medyan dane çapı $d_{50}=0,65$ mm olup, yapılan elek analizi sonucu çizilen granülometri eğrisi Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.9: Kanalda oluşturulan 1/5 eğimli şev.



Şekil 5.10: Kullanılan malzemenin granülometri eğrisi.

Posidonia oceanica üzerine yapılmış araştırmalarda, sürgün sıklığı ile ilgili oldukça farklı değerlere rastlanmaktadır. Green ve Short (2003) m²'de sürgün sıklığını ortalama sığ suda 700, derin suda 161 olarak verirken, 1000 sürgün/m² ve üzerinde de olabileceğini belirtmişlerdir. Ciraolo ve diğ. (2006) sıklığın 500–1000 sürgün/m² olduğunu ifade etmişlerdir. Yüksek ve diğ. (2004) Marmara Denizi'nde yaptıkları çalışmada *Posidonia oceanica* sıklığının derinlikle değiştiğini ve 82 sürgün/m²'den 200 sürgün/m²'ye kadar çıktığını bulmuşlardır.

Prototipteki 100 m²'lik, 100 sürgün/m² sıklığa sahip sürekli bir deniz çayırının modelleneyeceği düşünülürse, modeldeki sıklık 10000 bitki/m² olarak hesaplanır. Modellerin yapım süreci uzun sürdüğünden ve 10000 modelin yapılması çok zaman aldığından aynı zamanda da sürgün sıklığının düşük olması istenmediğinden 2850 adet model *posidonia* 8732 sürgün/m² olacak şekilde 0,3 m²'lik bir alana yerleştirilmiştir. Sürgün sıklığının hesabı ve bu sıklığın prototipteki karşılığı aşağıda verilmiştir:

$$\text{Modelde Bitkili Alan} = 68\text{cm} \times 48\text{cm} = 3264\text{cm}^2 = 0,3\text{m}^2$$

$$\text{Prototipte Bitkili Alan} = 6,8\text{m} \times 4,8\text{m} = 32,64\text{m}^2$$

$$\text{Modelde Sürgün Sıklığı} = 2850 \text{ sürgün} / 0,3264\text{m}^2 = 8732 \text{ sürgün} / \text{m}^2$$

$$\text{Prototipte Sürgün Sıklığı} = 2850 \text{ sürgün} / 32,64\text{m}^2 = 87,32 \text{ sürgün} / \text{m}^2$$

Böylece prototipteki karşılığı 33 m²'ye yayılmış, 87 sürgün/m² sıklığında bir *Posidonia oceanica* çayırı modellenmiştir.

5.5 Deney Düzeni

Deneyler sırasında, model *posidonialar*, bir cam levha vasıtasıyla dikey olarak ikiye bölünmüş olan kanalın bir tarafına yerleştirilmiştir. 6 farklı düzenli dalga (101, 102, 103, 104, 105 ve 106 no.lu deneyler) ve 4 farklı düzensiz dalga (201, 202, 203 ve 204 no.lu deneyler) için deneyler yapılmıştır. Bu deneyler sırasında dalga yüksekliği ve periyodu ölçülmüş, deney sonunda kıyı profili dengeye ulaştığında kanalın hem bitkili tarafında hem de bitkisiz tarafında oluşan kıyı profilleri ölçülmüştür.

Yakın kıyıdaki denizçayırı yataklarını doğrudan etkileyen dalgalar rüzgar dalgalarıdır (Koch, 2006). Önceki bölümlerde belirtildiği gibi kıyı erozyonuna yol

açan dalgalar da bu tip dalgalardır. Deneylerde kullanılacak dalgalar seçilirken fırtına koşullarını ve kıyı erozyonunu oluşturabilecek dalgalar seçilmiştir.

Deneyler sırasında kıyı profilinin ortalama 30 dakikada dengeye ulaştığı gözlenmiştir, fakat dalga devam ettiği sürece aslında profil az da olsa değişmeye devam etmektedir. Queen's Üniversitesi'nde yapılmış bazı hidrolik model deneylerinde tek bir dalga ve sabit su seviyesinde 1500 saat (2 ay) boyunca sürekli yapılan deneylerde bile kıyı profili değişmeye devam etmiştir, bu da denge profiline ancak yaklaşılabileceğini göstermektedir (Kamphuis, 2000).

İlk grup deneyler tamamlandıktan sonra en büyük (102h) ve en küçük (104h) düzenli dalga için deneyler tekrarlanmış ve hız ölçümleri yapılmıştır. Ardından tabanın sabit olması durumunda bitkili ortamın dalga orbital hızını nasıl etkilediğinin anlaşılması için şevin üzerine çimento dökülerek taban sabitlemiş, en büyük (102hr) ve en küçük (104hr) düzenli dalga için hız ve dalga ölçümleri yapılmıştır. Bu deneyler tamamlandıktan sonra bitkinin yeri 17 cm kıyıya yaklaştırılmış ve deneylerin tamamı bitkili alanın yeni yeri için tekrarlanmıştır (300 ve 400 kodlu deneyler). Yapılan deneylerin özeti Çizelge 5.3'te verilmiştir.

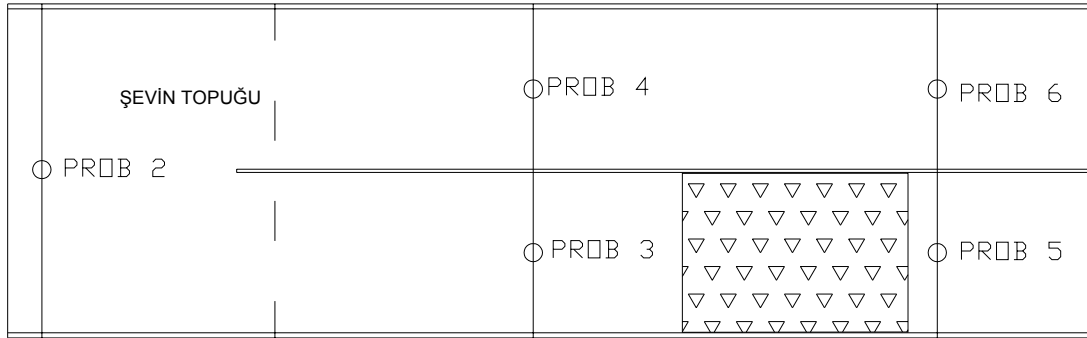
Çizelge 5.3: Yürütülen deneysel çalışma düzeni.

Deney No	Dalga Türü	Taban Türü	Ölçümler	Bitkinin Yeri (X_s^*) (cm)
101	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
102	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
103	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
104	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
105	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
106	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
201	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
202	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
203	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
204	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	180
102h	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Hız	180
104h	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Hız	180
102hr	Düzenli	Sabit	Dalga ve Hız	180
104hr	Düzenli	Sabit	Dalga ve Hız	180
301	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
302	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
303	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
304	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
305	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
306	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
401	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
402	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
403	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
404	Düzensiz	Hareketli	Dalga ve Kıyı Profili	163
302h	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Hız	163
304h	Düzenli	Hareketli	Dalga ve Hız	163
302hr	Düzenli	Sabit	Dalga ve Hız	163
304hr	Düzenli	Sabit	Dalga ve Hız	163

* X_s : Bitkili alanın açıkdenize doğru son noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi

5.6 Dalga Verileri ve Analizi

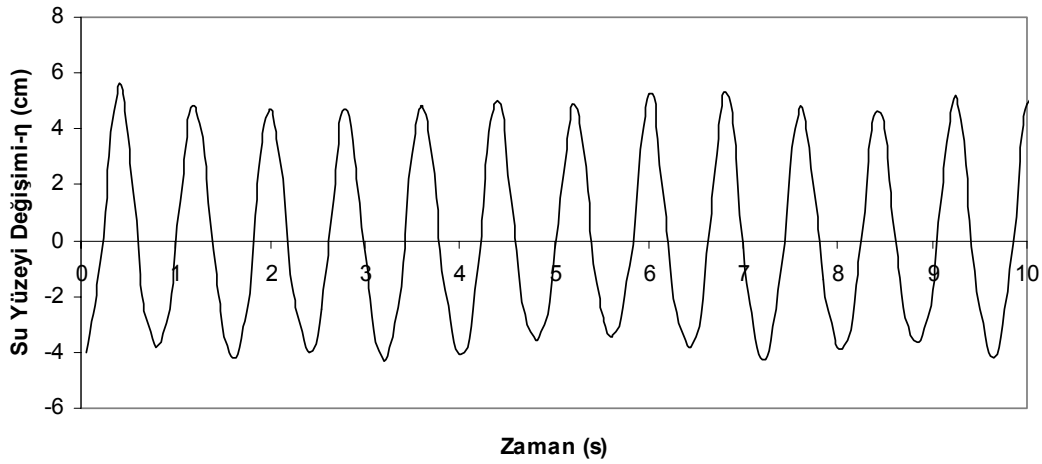
Dalga kanalında 6 farklı noktada direnç tipi dalga problemleri ile dalga verisi alınmıştır. Bunlardan 1 ve 2 no.lu problemler açık deniz dalga yüksekliğini ölçecek şekilde biri pistona diğeri şeve yakın olacak şekilde ve şevden önce yerleştirilmiştir. 3. prob şevin üzerinde bitkili alandan önceki dalga yüksekliğini ölçecek şekilde yerleştirilmiş, 4. prob kanalın bitkisiz tarafında 3. prob ile aynı hizada olacak şekilde yerleştirilmiştir. 5. prob kanalın bitkilerin yerleştirildiği tarafında bitkilerden sonraki dalga yüksekliğini ölçecek şekilde yerleştirilmiş, 6. prob kanalın bitkisiz tarafına ve 5. prob ile aynı hizada olacak şekilde yerleştirilmiştir. Problemlerin kanaldaki yerleşimi Şekil 5.11’de verilmiştir. Bu yerleştirme ile bitkili alanın dalga özelliklerine etkisinin anlaşılması hedeflenmektedir.



Şekil 5.11: Dalga ölçüm problemlerinin kanaldaki yerleşimi.

Koch (2006) denizçayırları ya da kelpelerin neden olduğu dalga sönümlemesinin belirlenmesi için, genellikle dalga bitkiye ulaşmadan önceki ve dalga bitkili alanı geçtikten sonraki bir uzaklıkta dalga özelliklerinin ölçüldüğünü belirtmiştir.

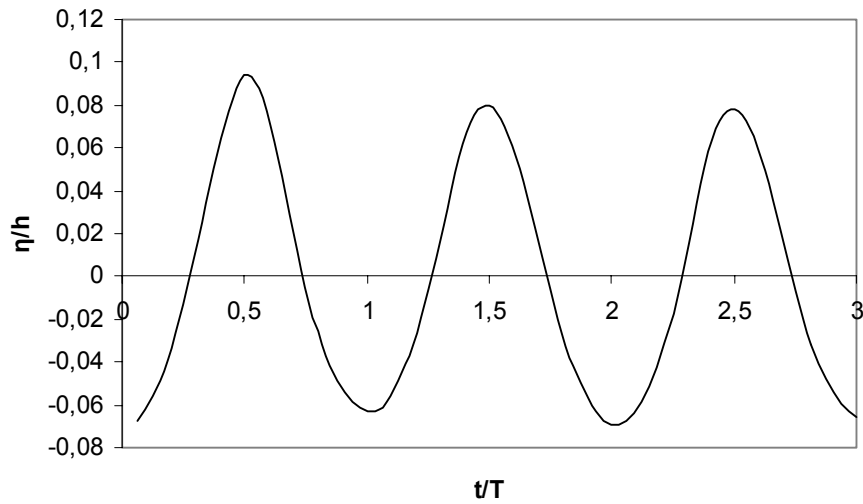
Dalga verileri analog veri formunda, volt olarak dalga monitörü vasıtasıyla, düzenli dalgalar için 90 s, düzensiz dalgalar için 300 s süresince kaydedilmiştir. Analog veri bilgisayara bağlı bir Analog/Dijital çevirici kart vasıtasıyla dijital veriye çevrilmiştir. Elde edilen volt cinsinden zaman serisi, kalibrasyon eğrisi yardımıyla ve dos tabanlı cvr.exe programı kullanılarak yükseklik değerlerine çevrilmiştir. Bu adımın sonunda $dt=0,05$ s aralıklı su yüzeyi değişimi (η) verisi elde edilmiş olmaktadır. 101 No.lu deneyde 1.probda ölçülen su yüzeyi değişimi zaman serisinin ilk 10 saniyelik bölümü örnek olarak Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12: 101 Nolu deneyde 1. probda ölçülen su yüzeyi değişimi zaman serisi.

Elde edilen zaman serilerinden tüm tekil dalgaların dalga yükseklikleri ve periyotları sıfırı yukarı doğru kesme (zero up-crossing) yöntemi ile bulunmuş ve waveist.exe programı kullanılarak dalga istatistikleri elde edilmiştir. Aşağıda verilen grafiklerde düzensiz dalgalar için dalga istatistiği sonucu elde edilen belirgin dalga yüksekliği değerleri kullanılmıştır.

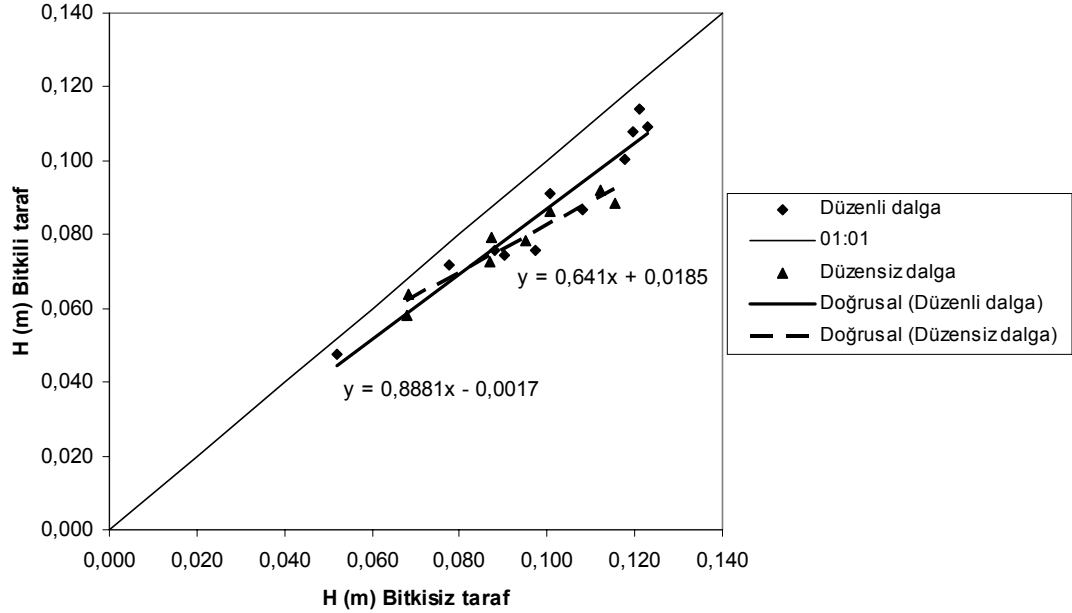
Su yüzeyi zaman serisi boyutsuzlaştırılarak verilmek istenirse, η/h su derinliğine, zaman dalga periyoduna oranlanarak verilebilir (Şekil 5.13).



Şekil 5.13: Boyutsuz su yüzeyi değişimi zaman serisi (Deney No:101).

Bitkilenmenin etkilediği ve etkilemediği dalga yüksekliklerinin karşılıklı grafikleri çizildiğinde, genellikle 1:1 çizgisinin altında kaldığı görülür ki, bu da bitkilenmenin dalgayı sönmülendirdiğini ifade eder. Regresyon doğrusunun eğimi, bitkilenmenin dalgayı sönmülendirme derecesini gösterir (Koch, 2006). Bitkilenmenin etkilediği

dalga yüksekliği 5. prob ile bitkilenmenin etkilemediği dalga yüksekliği ise 6. prob ile ölçülmüştür. Bu problemler aynı su derinliğindedir, yani bitkilenme olmasaydı bu 2 problemin verdiği dalga sonuçları aynı olacaktı. Oysa Şekil 5.14'te de görüldüğü gibi bitkilenme dalga yüksekliğini etkin bir şekilde azaltmaktadır. Regresyon doğrusunun eğimi düzenli dalgalar için 0,89 iken düzensiz dalgalar için 0,64'tür.



Şekil 5.14: Bitkilenmeden etkilenen ve etkilenmeyen dalga yüksekliklerinin karşılaştırılması.

Daha önce de belirtildiği gibi, deniz çayırları, dalganın tabandan etkilenmeye başladığı bölgede dalga enerjisinin bir kısmının çeşitli şekilde harcanmasını sağlayarak dalga enerjisinin azalmasına neden olmaktadır. Dalga sönümlenmesi (AT) oranı, açık deniz dalga yüksekliği (H_0) ve deniz çayırı yatakları içinde gözlenen dalga yüksekliği (H_s) verileri kullanılarak aşağıdaki eşitlikle belirlenebilmektedir (Koch, ve diğ., 2006):

$$AT = \frac{H_s}{H_0} \sqrt{\frac{c_g}{c_{g0}}} * 100 \quad (5.15)$$

Burada bitkilenmenin üzerinde dalga yüksekliği ölçülmediği için H_s olarak bitkilenmeden sonraki probda ölçülen dalga yüksekliği alınmıştır. Dalga grup hızlarının oranı sığlaşma etkisinin hesaba katılması için formülde yer almıştır. Deney sonuçları için hesaplanmış olan AT değerleri Çizelge 5.4'te verilmiştir. Bu çalışmada deniz çayırları üzerinde değil, çayırlardan sonra dalga yüksekliği ölçüldüğünden AT hesaplanırken bu değerler kullanılmıştır.

Çizelge 5.4: Dalga sönümlenmesi oranları (AT).

Dalga türü	Deney No	AT	Deney No	AT
Düzenli	101	69,00	301	60,72
Düzenli	102	63,96	302	61,91
Düzenli	103	71,54	303	65,10
Düzenli	104	81,16	304	82,74
Düzenli	105	67,42	305	65,77
Düzenli	106	61,78	306	60,41
Düzensiz	201	66,60	401	61,93
Düzensiz	202	64,24	402	58,59
Düzensiz	203	67,29	403	63,33
Düzensiz	204	69,67	404	64,25

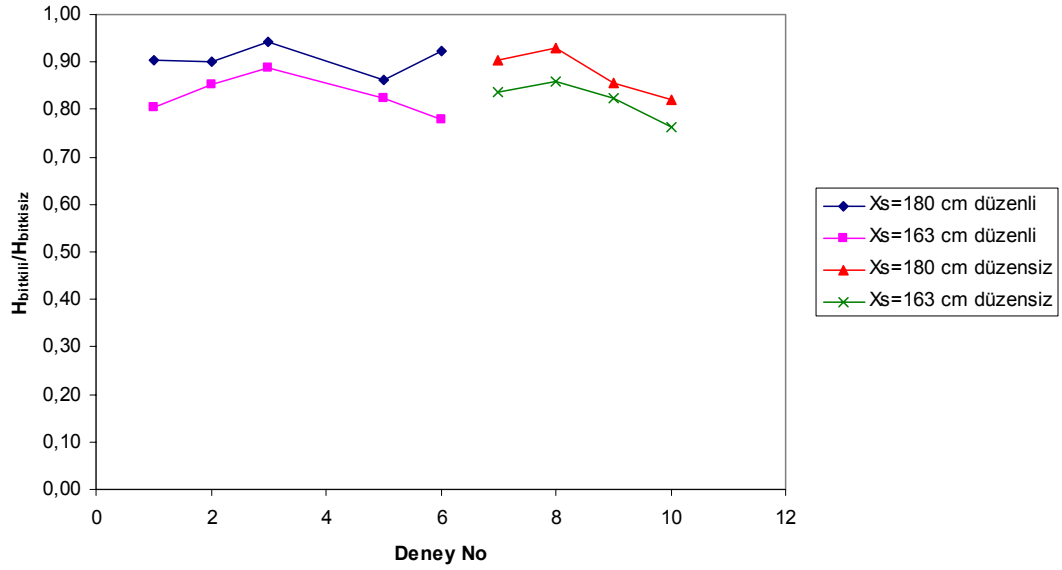
Dalga yüksekliğinin bitkilenmeden etkilenmesi, bitkiden sonra ölçülen dalga yüksekliğinin bitkisiz tarafta aynı derinlikte ölçülen dalga yüksekliğine oranı ile ifade edilebilir. Deneyler sonucunda elde edilmiş olan dalga yüksekliği oranları Çizelge 5.5’te verilmiştir.

Çizelge 5.5: Bitkili taraftaki dalga yüksekliğinin bitkisiz taraftaki dalga yüksekliğine oranı ($H_{\text{bitkili}}/H_{\text{bitkisiz}}$).

Dalga türü	Deney No	$H_{\text{bitkili}}/H_{\text{bitkisiz}}$	Deney No	$H_{\text{bitkili}}/H_{\text{bitkisiz}}$
Düzenli	101	0,90	301	0,80
Düzenli	102	0,90	302	0,85
Düzenli	103	0,94	303	0,89
Düzenli	104	0,91	304	1,01
Düzenli	105	0,86	305	0,82
Düzenli	106	0,92	306	0,78
Düzensiz	201	0,91	401	0,84
Düzensiz	202	0,93	402	0,86
Düzensiz	203	0,86	403	0,82
Düzensiz	204	0,82	404	0,76

Çizelge 5.5 incelendiğinde bir deney hariç tüm deneylerde dalga yüksekliğinin bitki etkisiyle azaldığı görülmektedir. Dalga yüksekliğinin etkilenmediği deneyde (deney No: 304) dalga en küçük dalga olup açık deniz dalga yüksekliği 4,9 cm’dir. Bu durum dalga yüksekliği küçük olan dalgalarda bitkilenmenin dalgayı etkilemediğini düşündürmektedir.

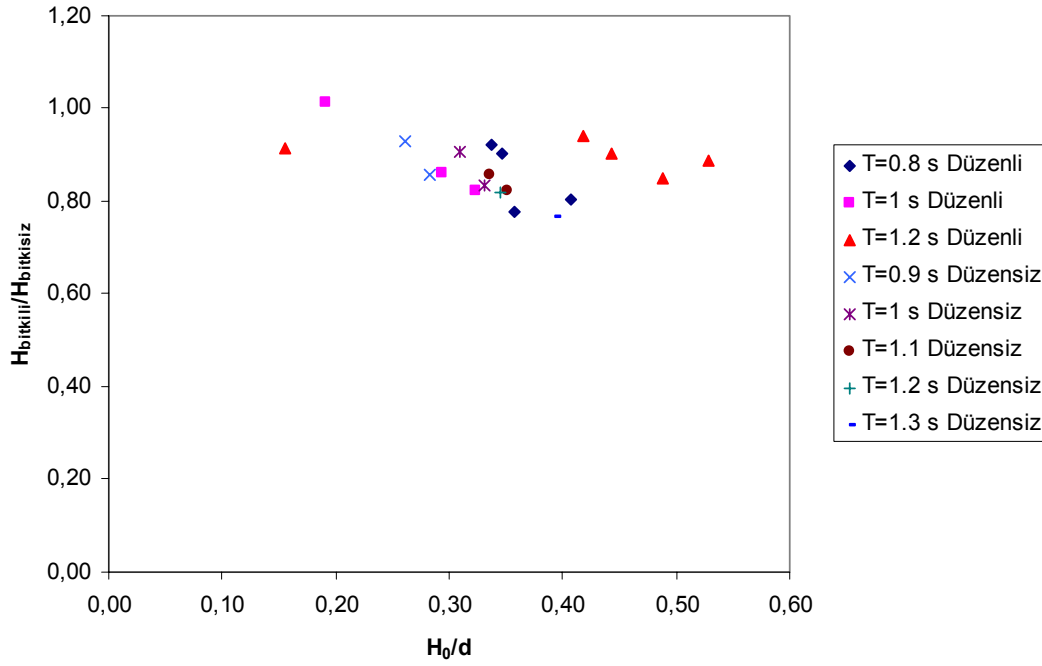
Dalga yüksekliğinin bitkilenmeden etkilenmesinin bitkinin yerine göre nasıl değiştiğinin anlaşılması için bitkilenmenin yerine göre dalga etkilenme grafiği çizilerek Şekil 5.15’te verilmiştir. Bu grafikte en küçük dalganın olduğu deneyler (Deney No: 104 ve Deney No: 304) hatalı bir sonuca ulaşılmaması için grafikten çıkarılmıştır.



Şekil 5.15: Bitkili taraftaki dalga yüksekliğinin, bitkisiz taraftaki dalga yüksekliğine oranının, bitkilenme yerine göre değişimi.

Grafikte $X_s=180$ cm olduğunda, yani bitkilenme daha açıkta olduğunda hem düzensiz dalgalarda hem de düzenli dalgalarda dalga yüksekliğinin bitkilenmeden, bitkilenmenin kıyıya daha yakın olduğu duruma göre ($X_s=163$ cm), daha az etkilendiği görülmektedir. Bitkilenme şev üzerinde olduğundan, bitkilenmenin kıyıya daha yakın olduğu durum bu deney koşullarında bitkilenmenin daha sık suda olduğu anlamına gelmektedir. Bu durumda bitkilenmenin sığa taşınmasıyla dalga yüksekliğini daha fazla etkilemesi beklenen bir durumdur.

$H_{bitkili}/H_{bitkisiz}$ oranının, açıkdeniz dalga yüksekliği ile değişiminin anlaşılması için çizilen grafik Şekil 5.16'da verilmiştir. Bu grafikte noktalar periyotlarına göre ayrılmıştır, bu sayede etkilenmenin periyoda göre nasıl değiştiği anlaşılmasına çalışılmıştır. Grafikte hem düzenli hem düzensiz dalgalar için $H_{bitkili}/H_{bitkisiz}$ oranının 0,8-1 aralığında kaldığı ve $H_{bitkili}/H_{bitkisiz}$ oranının açık deniz dalga yüksekliği ve dalga periyodundan etkilenmediği görülmektedir.



Şekil 5.16: Etkilenmenin açık deniz dalga yüksekliği ile değişimi.

Bitkilenmenin dalga yüksekliğine etkisi (Etkilenme oranı, C_e) % değer olarak aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

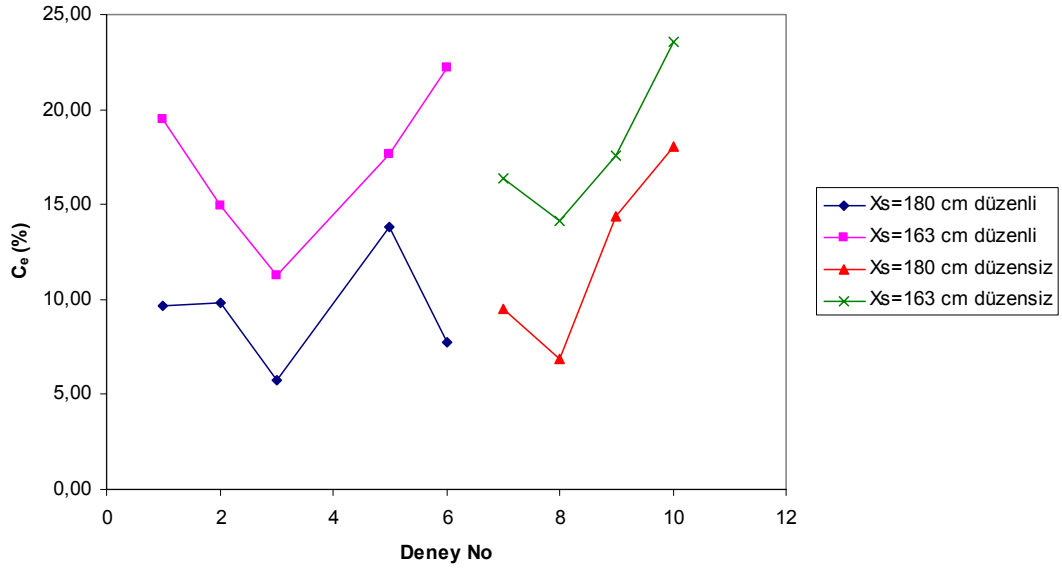
$$C_e = \frac{H_{bitkısız} - H_{bitkili}}{H_{bitkısız}} \times 100 \quad (5.16)$$

Bu formülle hesaplanan etkilenme oranları Çizelge 5.6’da verilmiştir. Çizelgede, etkilenme oranlarının düzenli dalgalarda % 5–22 aralığında kaldığı, düzensiz dalgalarda ise % 6–24 aralığında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.6: Dalga yüksekliği etkilenme oranları.

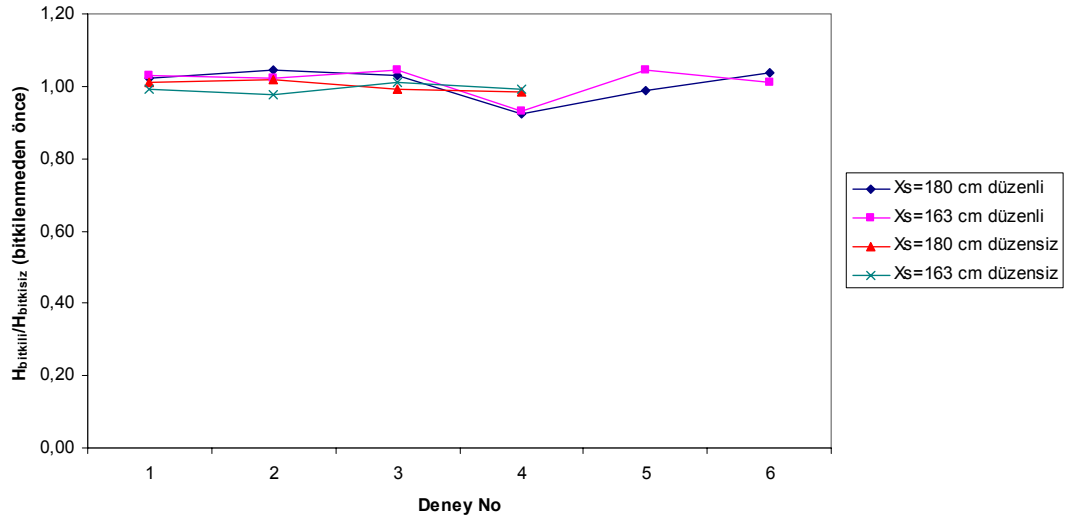
Dalga türü	Deney No	C_e (%)	Deney No	C_e (%)
Düzenli	101	9,63	301	19,52
Düzenli	102	9,80	302	14,90
Düzenli	103	5,76	303	11,28
Düzenli	104	8,57	304	-1,49
Düzenli	105	13,84	305	17,63
Düzenli	106	7,71	306	22,20
Düzensiz	201	9,48	401	16,39
Düzensiz	202	6,91	402	14,18
Düzensiz	203	14,34	403	17,55
Düzensiz	204	18,06	404	23,57

Etkilenme oranının bitkilenmenin yerine göre ne şekilde değiştiği Şekil 5.17’de görülebilir. Bu grafik de dalga yüksekliğinin bitkilenmeden etkilenme oranının, bitkili alan kıyıya yaklaştıkça arttığını göstermektedir.



Şekil 5.17: Etkilenme oranının bitkilenme yerine göre değişimi.

Bitkilenmenin, bitkiden önceki alanda dalga yüksekliğinde değişime neden olup olmadığının anlaşılması için, bitkilenmeden önceki probda ölçülen dalga yükseklikleri ile bu prob ile aynı derinlikte bitkisiz tarafta ölçülen dalga yükseklikleri oranlanmış ve Şekil 5.18’de gösterilmiştir. Grafikte bu oranın 1 civarında olduğu görülmektedir. Bu durum bitkilenmenin, bitkili alandan önce dalga yüksekliklerini değiştirmedığını göstermektedir.

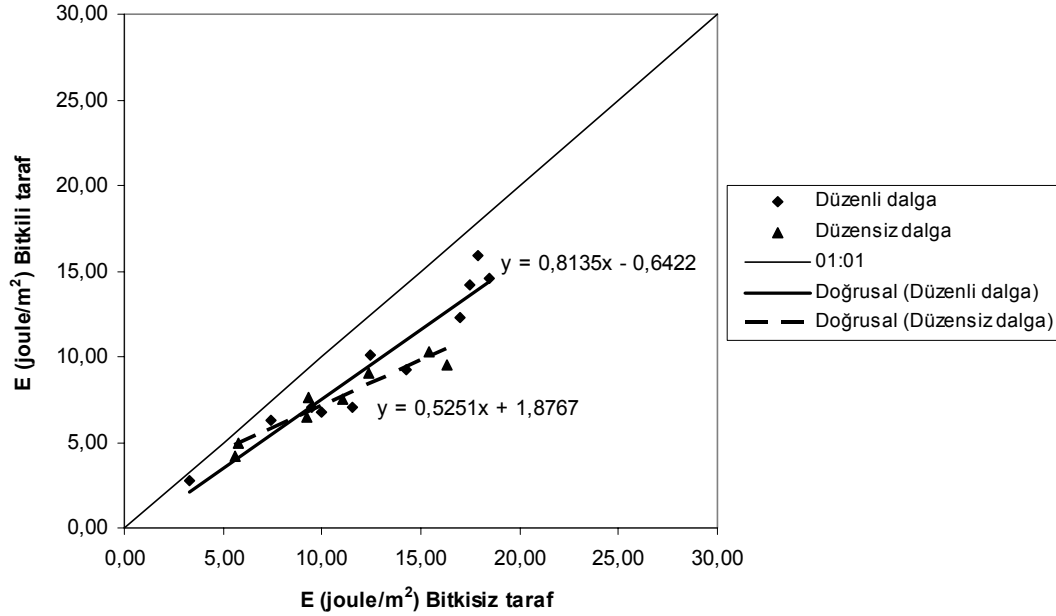


Şekil 5.18: Bitkili alandan önceki dalga yüksekliklerinin oranı.

5.6.1 Dalga enerjisi ve dalga enerji akısı

Bitkili ve bitkisiz taraftaki enerji durumunun karşılaştırması için, dalga enerjileri, bitkilenmeden sonraki prob ve bu probun paralelindeki bitkisiz taraftaki prob ile

ölçülen dalga yükseklikleri kullanılarak, Denklem 3.53'te verilmiş olan formüle göre hesaplanmış ve Şekil 5.19'da verilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi bitkilenme dalga enerjisini belirgin bir şekilde azaltmaktadır.



Şekil 5.19: Bitkilenmeden etkilenen ve etkilenmeyen dalga enerjilerinin karşılaştırılması.

Bitkilenmenin dalga enerjisine etkisi (Enerji etkilenme oranı, E_e) % değer olarak, dalga yüksekliği etkilenme oranına benzer şekilde, aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanabilir.

$$E_e = \frac{E_{bitkisiz} - E_{bitkili}}{E_{bitkisiz}} \times 100 \quad (5.17)$$

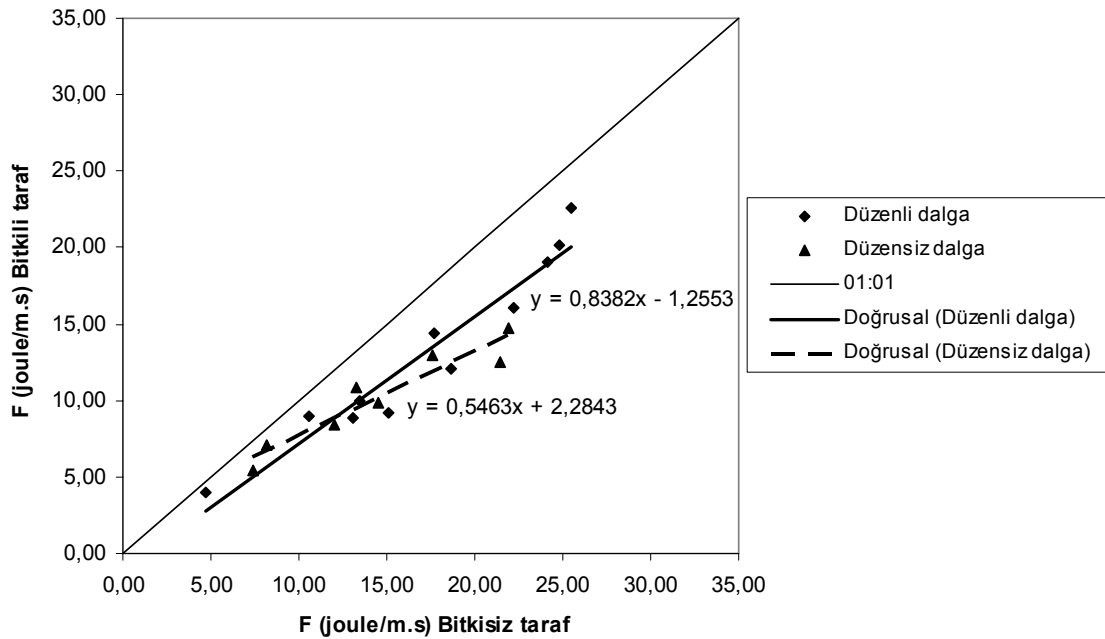
Bu formülle hesaplanan etkilenme oranları Çizelge 5.7'de verilmiştir. Çizelgede, enerji etkilenme oranlarının % 11–40 aralığında kaldığı görülmektedir.

Çizelge 5.7: Dalga enerjisi etkilenme oranları.

Dalga türü	Deney No	E_e (%)	Deney No	E_e (%)
Düzenli	101	18,34	301	35,23
Düzenli	102	18,63	302	27,57
Düzenli	103	11,18	303	21,30
Düzenli	104	16,41	304	-3,00
Düzenli	105	25,76	305	32,15
Düzenli	106	14,83	306	39,47
Düzensiz	201	18,06	401	30,10
Düzensiz	202	13,34	402	26,34
Düzensiz	203	26,63	403	32,01
Düzensiz	204	32,86	404	41,58

Bu durumda bitkinin gelen dalga enerjisinin %11-40'lık kısmını absorbe ettiği görülmektedir. Ortalama olarak bitkilenmenin, dalga enerjisinin %25'lik bir kısmını absorbe ettiği söylenebilir. Dolayısıyla Bölüm 4'te verilen $D_s = D_w - D_b - D_{eq}$ formülünde bitkinin harcadığı enerji (D_b), mevcut dalga enerjisinin (D_w) ortalama % 25'lik bölümüdür.

Bitkilenmenin dalga enerji akısına ($F=EC_g$) etkisi de bitkili ve bitkisiz taraftaki dalga enerji akılarının karşılaştırması olarak Şekil 5.20'de verilmiştir. Bitkilenmenin dalga enerji akısını da belirgin şekilde azalttığı görülmektedir.



Şekil 5.20: Bitkilenmeden etkilenen ve etkilenmeyen bölgelerde dalga enerji akılarının karşılaştırılması.

5.6.2 Dalga kırılması

Dalga kırılma mekanizmasının karmaşıklığı nedeniyle kırılma yüksekliğinin tahmini laboratuvar verilerinden üretilmiş ampirik ya da yarı ampirik formüllere dayanır. Literatürde kırılan dalga yüksekliği (H_b) ve dalga kırılma derinliği (h_b) ile ilgili çeşitli formüller önerilmiştir (Komar ve Gaughan, 1972; Goda, 1974; Ostendorf ve Madsen, 1979; Fredsoe ve Deigaard, 1992; Larson ve Kraus, 1989; Rattanapitikon ve Shibayama 2000). Rattanapitikon ve Shibayama (2000) literatürde yer alan kırılma derinliği formüllerini incelemişler, çoğu formülün yumuşak eğimli ($0 < m \leq 0,07$) kıyılarda iyi sonuç vermekle beraber dik ($0,1 < m \leq 0,44$) kıyılarda tatmin edici sonuçlar vermediğini belirlemişler ve seçtikleri bazı formülleri modifiye etmişlerdir. Çalışmada her eğimde en iyi sonucu veren 3 formül (Komar ve Gaughan, 1972; Goda, 1974; Ostendorf ve Madsen, 1979) taban eğimi etkisini de içerecek şekilde modifiye edilmiştir.

Bu çalışmada kırılan dalga yüksekliği, Rattanapitikon ve Shibayama (2000) tarafından modifiye edilmiş olan Komar ve Gaughan (1972) formülü (Denklemler 5.17) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$H_b = (10,02m^3 - 7,46m^2 + 1,32m + 0,55)H_0 \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{-1/5} \quad (5.18)$$

Düzenli dalgalar tek bir derinlikte hemen hemen sabit dalga yüksekliğine sahip olarak kırılırlar. Ancak düzensiz dalga durumunda büyük dalgalar daha açıkta küçük dalgalar ise kıyıya daha yakında kırılırlar. Düzensiz dalgalarda meydana gelen bu durumda tariflenen ortalama kırılma hattı, belirgin dalga yüksekliğinde kırılmanın (H_s veya H_{rms}) meydana geldiği yer olarak açıklanmaktadır (Yüksel, 2005). Bu yüzden düzensiz dalgalarda da yukarıdaki formülde açık deniz dalga yüksekliği olarak belirgin dalga yüksekliği kullanılarak kırılan dalga yüksekliği bulunmuştur.

Kırılan dalga yüksekliklerinin bulunmasının ardından aşağıda verilen kırılma indeksi kullanılarak kırılma derinlikleri hesaplanmıştır. Mc Cowan (1891) kırılma indeksini 0,78 olarak vermiştir.

$$\gamma_b = \frac{H_b}{h_b} \quad (5.19)$$

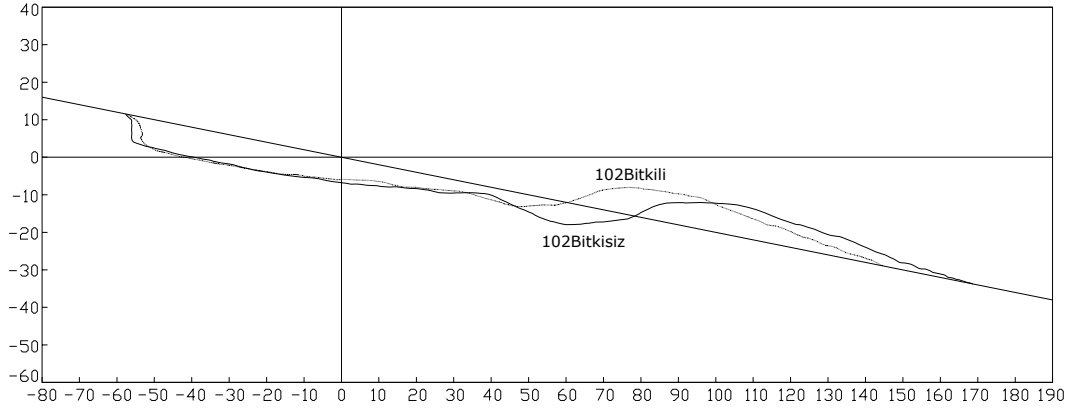
Hesaplanan kırılan dalga yükseklikleri ve kırılma derinlikleri Çizelge 5.8’de verilmiştir. Dalgaların kırıldığı derinlikler ölçümlerin yapıldığı yerler ile karşılaştırıldığında, birinci konfigürasyonda ($X_s=180$ cm) tüm dalgalar için hız ve dalga yüksekliği ölçümlerinin dalga kırılma bölgesinden önce yapılmış olduğu görülmektedir. İkinci konfigürasyonda ise ($X_s=163$ cm) ölçüm yapılan nokta kıyıya yaklaştığından, 302 ve 303 Nolu deneylerde, ölçüm yapılan nokta ve kırılma derinliği birbirine yakındır.

Çizelge 5.8: Kırılan dalga yükseklikleri ve kırılma derinlikleri.

Dalga türü	Deney No	H_b	h_b	Deney No	H_b	h_b
Düzenli	101	9,5	12,2	301	9,8	12,6
Düzenli	102	13,6	17,4	302	12,8	16,4
Düzenli	103	13,0	16,7	303	13,2	16,9
Düzenli	104	5,9	7,5	304	5,8	7,5
Düzenli	105	9,1	11,7	305	8,9	11,4
Düzenli	106	9,4	12,0	306	8,8	11,3
Düzensiz	201	9,6	12,3	401	9,1	11,7
Düzensiz	202	7,9	10,2	402	7,7	9,9
Düzensiz	203	10,5	13,5	403	9,9	12,7
Düzensiz	204	11,2	14,3	404	11,6	14,8

5.7 Kıyı Profili Verileri ve Analizi

Deneylerin yapıldığı dalga kanalının iki tarafı da cam olduğu için deney sonucunda bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri açıkça görülebilmektedir. Kanal ikiye bölünmüş olduğu için bitkili taraf ve bitkisiz tarafın eni 48 cm olup bu bölgelerde profil oluşumu homojendir. Kanal camlarından dolayı profilin cam tarafındaki ve orta taraftaki kıyı profilinde bir fark oluşmamıştır. Her deneyden sonra iki tarafta da oluşan kıyı profilleri, dalga kanalının camlarına yapıştırılan asetatlar üzerine çizilmiş, daha sonra bu asetatlar taranarak kıyı profilleri TIFF dosyaları halinde bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ardından bu resim dosyaları AUTOCAD programına aktarılmış ve vektörel veriye çevrilmiştir. Vektörel veri elde edildikten sonra Şekil 3.2’de gösterilen kıyı profilinin geometrik büyüklükleri ölçülmüştür. 102 Nolu deneyde deney sonucunda bitkili ve bitkisiz tarafta meydana gelmiş olan kıyı profilleri örnek olarak Şekil 5.21’de verilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilmiş olan tüm kıyı profilleri, her bir deney için bitkili taraf ve bitkisiz taraf profilleri aynı şekil üzerinde olacak şekilde EK A’da verilmiştir.

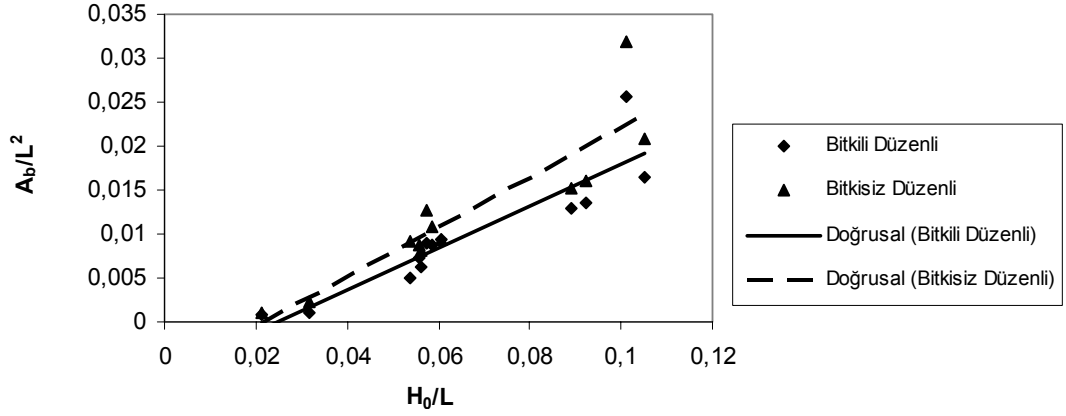


Şekil 5.21: 102 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta meydana gelen kıyı profilleri.

Bulunan geometrik büyüklüklerin analizi Bölüm 4.2’de verilmiş olan boyut analizi sonucunda bulunan boyutsuz büyüklüklerin karşılaştırmalı grafikleri çizilerek yapılmıştır. Boyutsuz büyüklüklerin profilin geometrik özelliklerini ne şekilde etkilediğinin görülmesi için tek tek tüm boyutsuz parametreler ile kıyı profilinin özelliğini gösteren boyutsuz parametrenin değişimini gösteren grafikler çizilmiştir. Aşağıdaki grafiklerde düzensiz dalgalar için H_s değerleri kullanılmıştır.

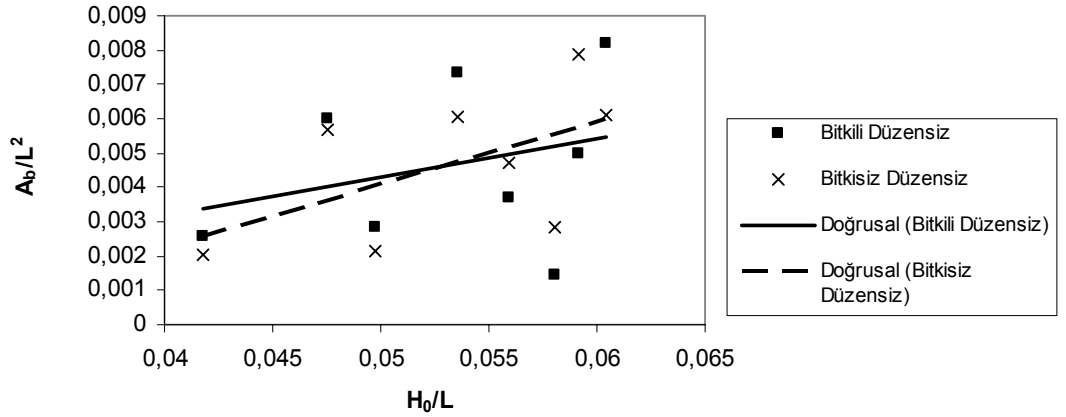
Deneyler, farklı dalga yüksekliği ve dalga periyotları için tekrarlandığından en anlamlı grafikler kıyı profilinin geometrik özelliklerinin dalga dikliği H_0/L boyutsuz parametresi ile değişimini gösteren grafikler olmaktadır ve bu grafikler aşağıda verilmiştir. Deney süresince değiştirilmemiş olan parametreler; dane çapı, bitki yüzey alanı, viskozite ve su derinliğidir. Bu parametreleri içeren boyutsuz parametreler ile çizilen grafiklerin hepsi aslında bağımlı parametrenin $1/L$ ile değişimini vermektedir. Aşağıdaki grafiklerde bitkili ve bitkisiz alan için elde edilen sonuçlar bir arada verilerek bitkilenmenin olaya etkisi anlaşılmaya çalışılmıştır. Sonuçlar düzenli ve düzensiz dalgalar için ayrı ayrı verilmiştir.

Düzenli dalgalarda, bar alanı, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmakta (Şekil 5.22) ve aynı dalga dikliği için bitkisiz tarafta daha büyük olmaktadır, bitkili ve bitkisiz alandaki bar alanları küçük dalga dikliklerinde birbirine daha yakınken, dalga dikliği arttıkça aralarındaki fark da artmaktadır.



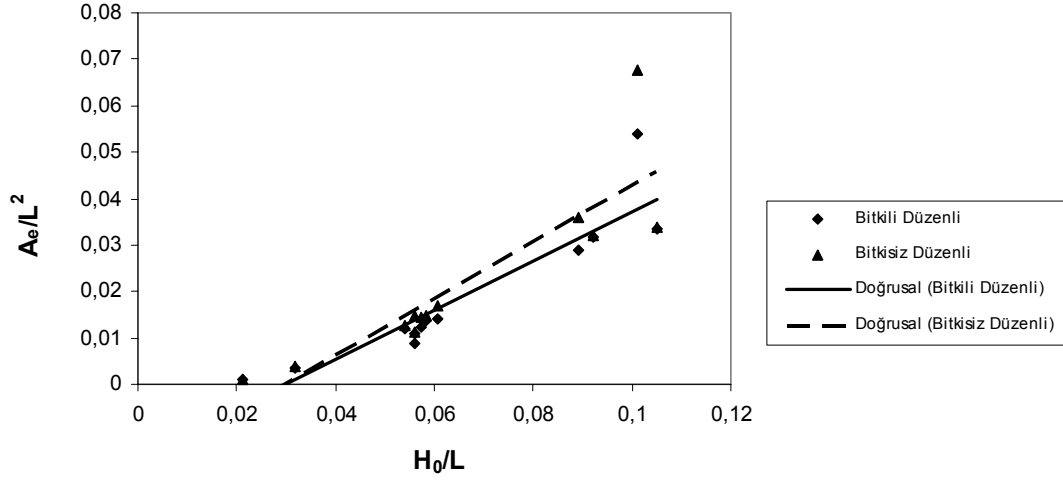
Şekil 5.22: Bar alanının boyutsuz dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

Düzensiz dalgalar ile deney yapıldığında, bar alanının dalga dikliğindeki artış ile arttığı görülmekte (Şekil 5.23) ve aynı dalga dikliği için bazı deneylerde bitkili tarafta bar alanının daha büyük olduğu, bazı deneylerde ise tam tersine bitkisiz tarafta bar alanının daha büyük olduğu görülmektedir.



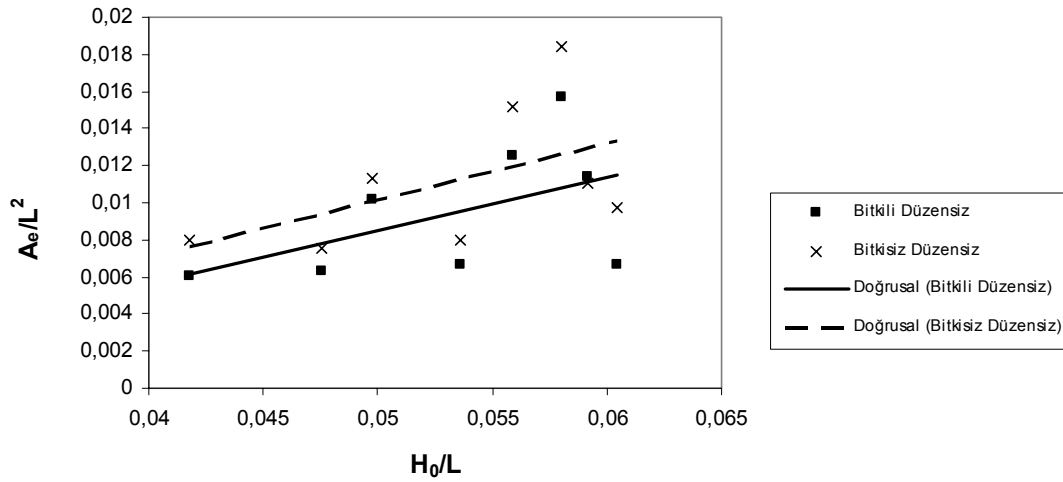
Şekil 5.23: Bar alanının dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, erozyon alanının dalga dikliği ile değişimi (Şekil 5.24), bar alanının dalga dikliği ile değişimi ile benzer sonuç vermektedir. Bitkisiz tarafta erozyon alanı bitkili tarafa göre fazla olup, aradaki fark dalga dikliği arttıkça artmaktadır.



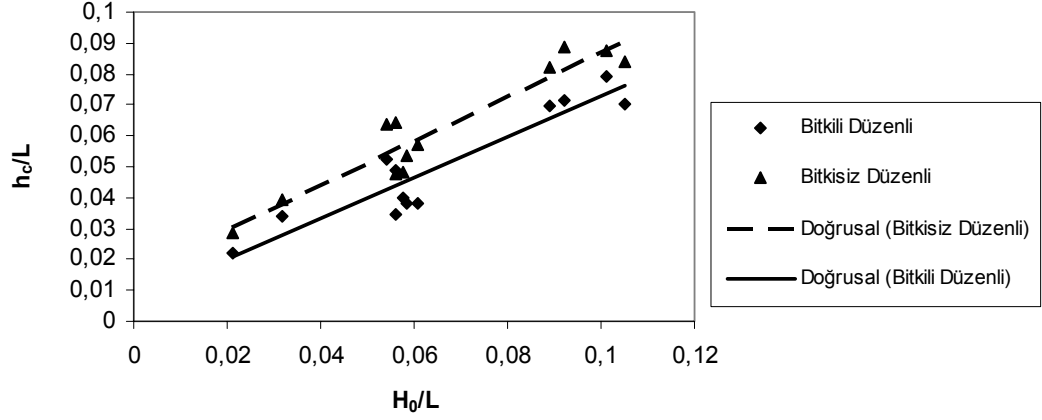
Şekil 5.24: Erozyon alanının dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

Düzensiz dalgalarda, aynı dalga dikliği için erozyon alanı bitkisiz tarafta daha büyük olup, bitkili ve bitkisiz taraflardaki erozyon alanları arasındaki fark dalga dikliğinin artışı ile değişmemekte, sabit kalmaktadır (Şekil 5.25). Hem düzenli hem düzensiz dalgalar için iki tarafta da erozyon alanı dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır.



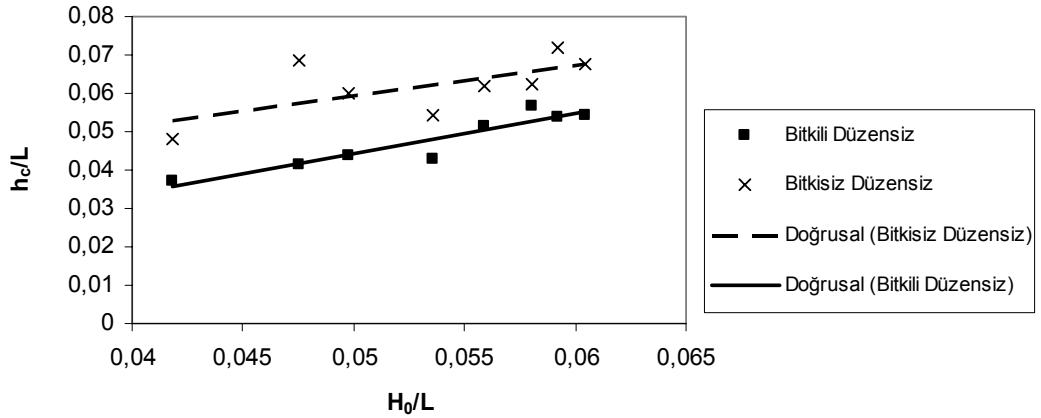
Şekil 5.25: Erozyon alanının boyutsuz dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarla yapılan deney sonuçlarında, barın tepe noktası, aynı dalga dikliği değerinde, bitkisiz tarafta bitkili tarafa nazaran daha derindedir (Şekil 5.26). Bitkili alan barın daha kıyıya yakın oluşmasına neden olmaktadır. Bitkili ve bitkisiz tarafta bar tepe noktasının derinlikleri arasındaki fark, dalga dikliğindeki artış ile değişmemektedir.



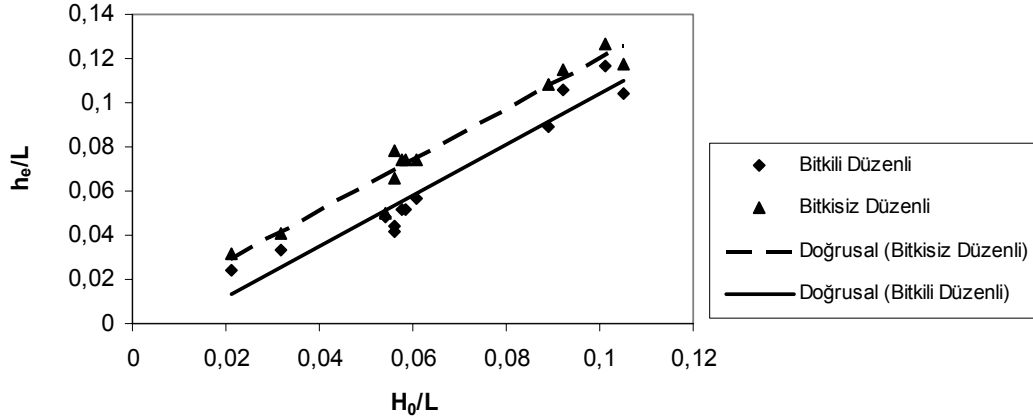
Şekil 5.26: Barın tepe noktası derinliğinin boyutsuz dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzenli dalgalar).

Düzensiz dalgalarda da bar, bitkisiz tarafta daha derinde oluşmaktadır ve bar derinlikleri arasındaki fark, dalga dikliğindeki artış ile belirgin oranda değişmemektedir (Şekil 5.27). Barın yeri, hem düzenli hem düzensiz dalgalarda, iki tarafta da dalga dikliği arttıkça derine doğru ötelenmektedir.



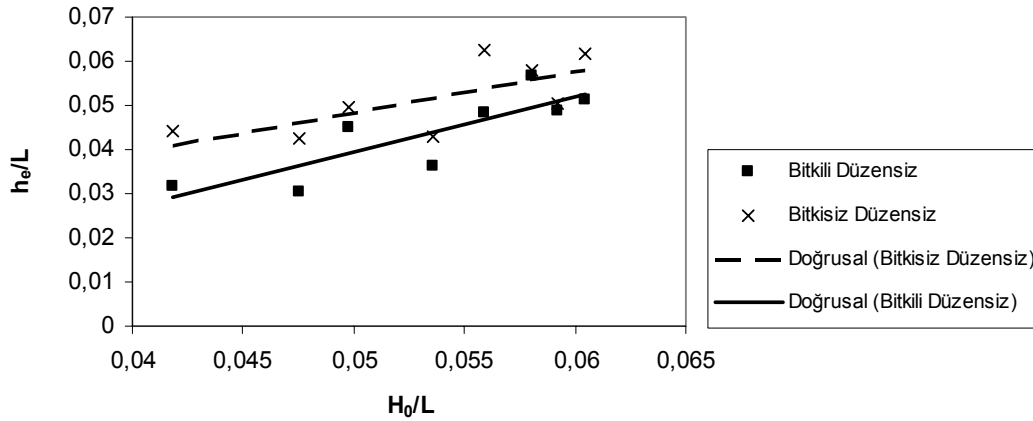
Şekil 5.27: Barın tepe noktası derinliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda oluşan profil sonuçlarında, denge noktasının derinliğinin, dalga dikliği ile doğru orantılı olduğu ve bitkisiz tarafta denge noktasının daha derinde oluştuğu görülmektedir (Şekil 5.28). Bu sonuç bar tepe noktasının dalga yüksekliği arttıkça daha derinde oluşması sonucu ile uyumludur. Bitkili taraf ile bitkisiz taraf arasındaki fark dalga yüksekliğindeki artış ile değişmemektedir.



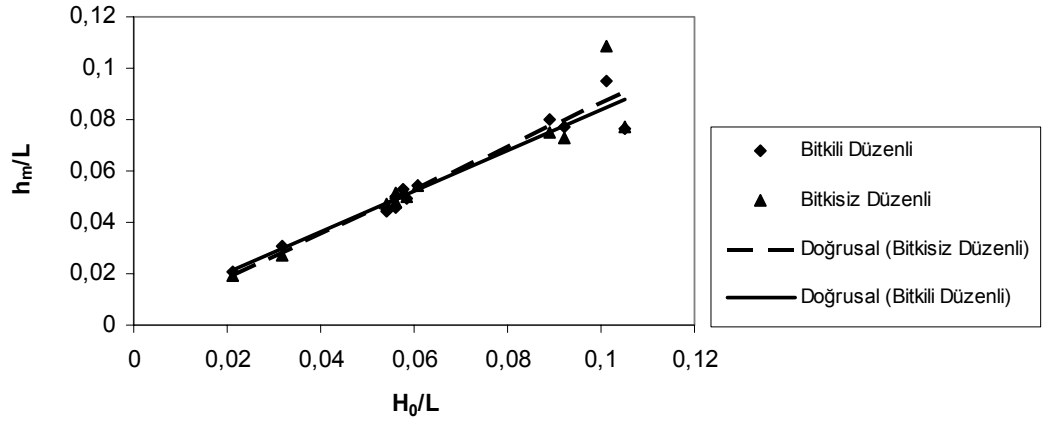
Şekil 5.28: Denge noktası derinliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

Düzensiz dalgalarda da denge noktası derinliği, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 5.29). Denge noktası, bitkisiz tarafta, aynı dalga yüksekliğinde bitkili tarafa göre daha derinde bulunmaktadır. Çok belirgin olmamakla beraber dalga yüksekliğinin artması ile bitkili taraf-bitkisiz taraf arasındaki denge noktası derinlik farkının azaldığı söylenebilir.

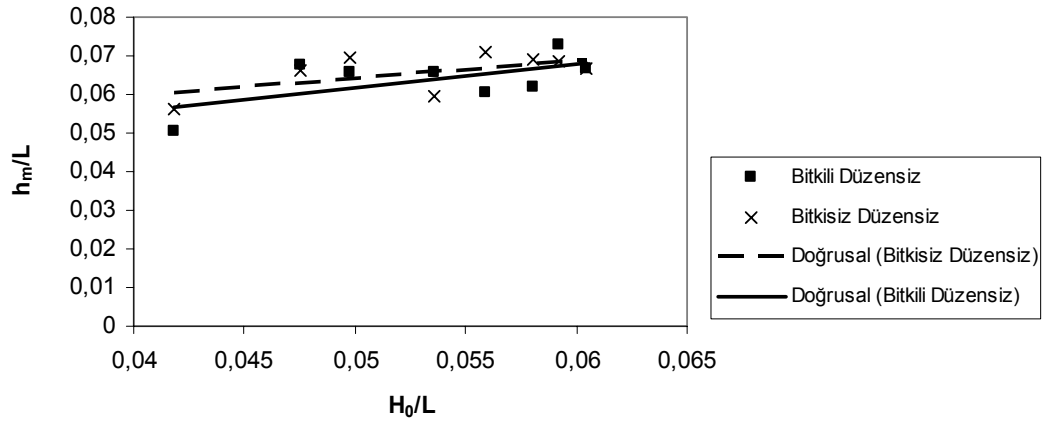


Şekil 5.29: Denge noktası derinliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Hem düzenli hem de düzensiz dalgalarda erozyon başlangıç noktasının yüksekliği, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 5.30 ve 5.31). Bu parametrenin büyüklüğü bitkili ve bitkisiz durumlarda hemen hemen aynıdır, bu durum bitkilenmenin erozyon başlangıç noktası yüksekliğini etkilemediğini göstermektedir.

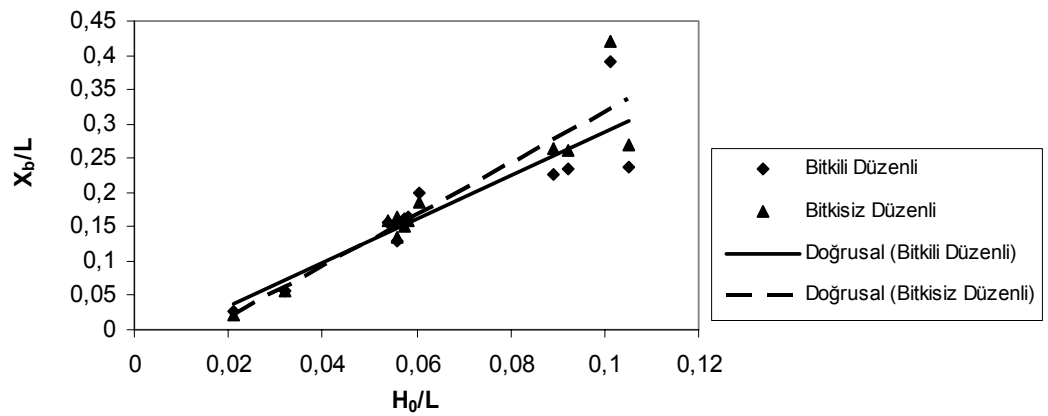


Şekil 5.30: Erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).



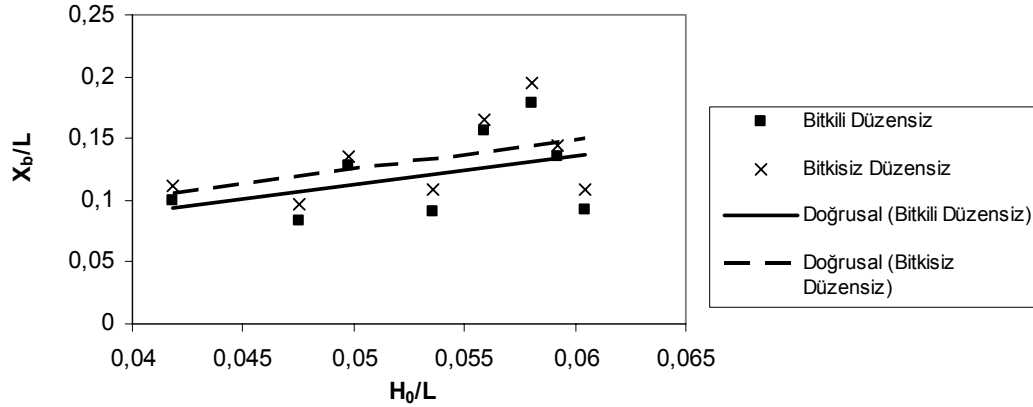
Şekil 5.31: Erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalar sonucunda oluşan profillerde X_b , dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmakta ve bitkili taraf ile bitkisiz taraf arasında bir fark görülmemektedir (Şekil 5.32).



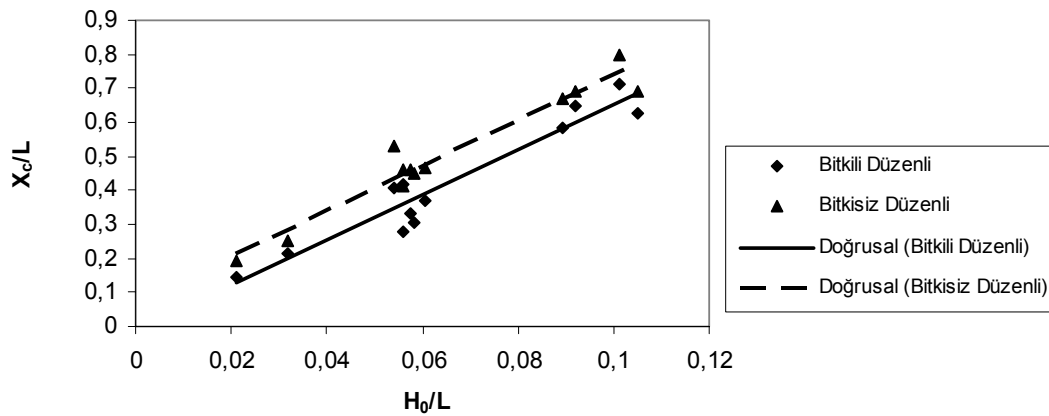
Şekil 5.32: Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

Düzensiz dalgalar sonucu oluşan profillerde, erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 5.33). X_b aynı dalga dikliğinde bitkisiz tarafta bitkili tarafa nazaran daha büyüktür.

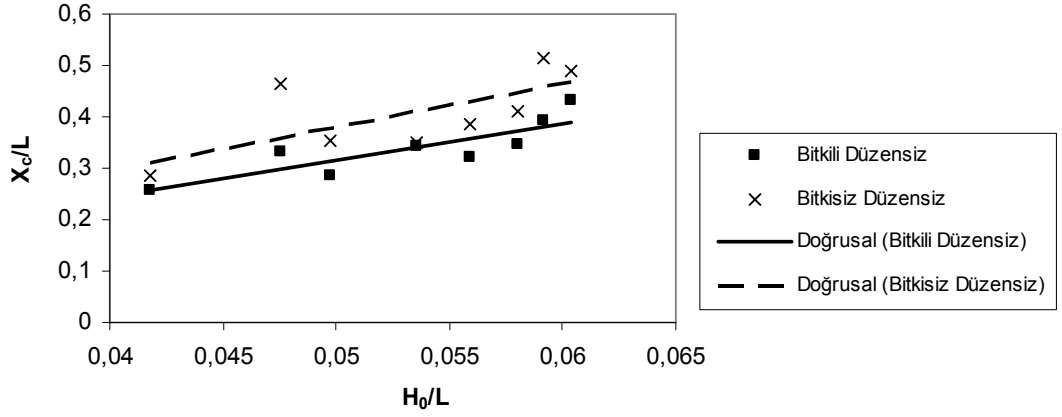


Şekil 5.33: Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Hem düzenli hem de düzensiz dalgalarda oluşan profil sonuçlarında, barın tepe noktasının yerinin, dalga dikliği ile doğru orantılı olduğu ve bitkisiz tarafta barın daha derinde olduğu görülmektedir (Şekil 5.34 ve 5.35). Bu sonuç bar tepe noktasının dalga yüksekliği arttıkça daha derinde oluşması sonucu ile uyumludur. Bitkili taraf ile bitkisiz taraf arasındaki fark dalga yüksekliğindeki artış ile değişmemektedir.

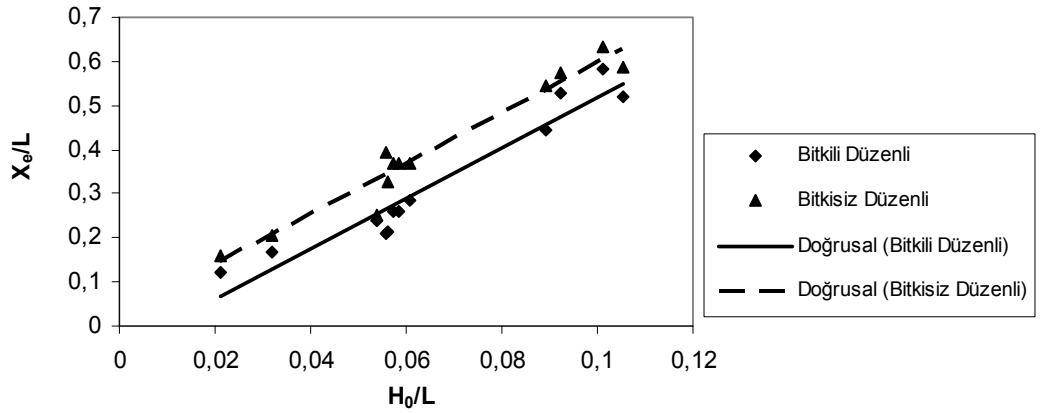


Şekil 5.34: Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

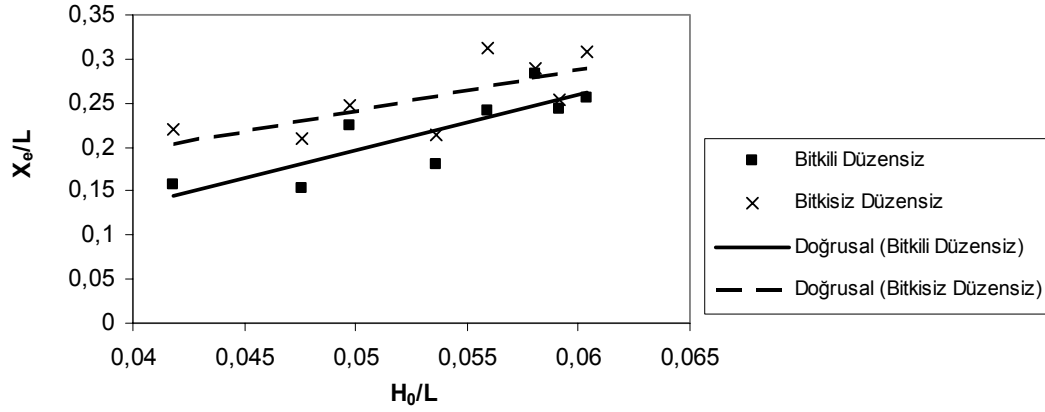


Şekil 5.35: Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli ve düzensiz dalgalarda, denge noktası, dalga dikliği arttıkça açığa taşınmaktadır (Şekil 5.36 ve 5.37) ve bitkisiz durumda denge noktası, bitkili tarafa göre daha açıkta meydana gelmektedir. Düzenli dalgalarda bitkili ve bitkisiz durum arasındaki fark, dalga yüksekliğinin artışı ile değişmemektedirken düzensiz dalgalarda bitkili ve bitkisiz durum arasındaki fark dalga yüksekliğinin artışı ile bir miktar azalmaktadır.

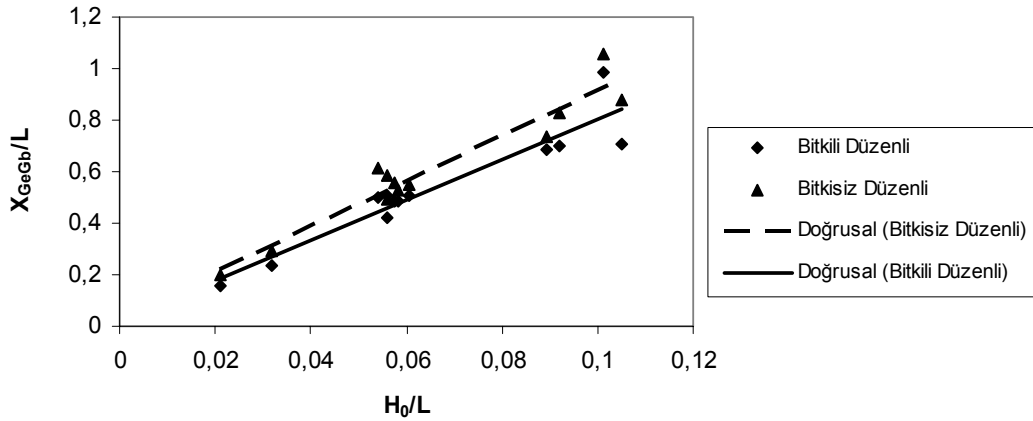


Şekil 5.36: Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

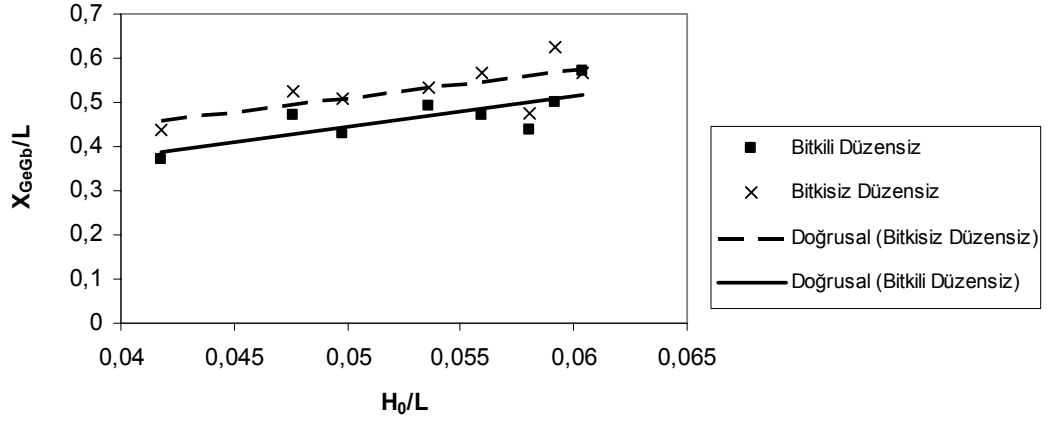


Şekil 5.37: Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezleri arasındaki mesafe, düzenli dalgalarda, dalga dikliği arttıkça artmaktadır (Şekil 5.38). Düzensiz dalgalarda, erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezleri arasındaki mesafe, dalga yüksekliği ile artmakla beraber bu artış düzenli dalgalarındaki kadar belirgin değildir (Şekil 5.39). Düzenli ve düzensiz dalgalarda aynı dalga dikliği için bitkisiz tarafta ağırlık merkezleri arasındaki mesafe bitkili tarafa nazaran daha fazladır. Bitkili ve bitkisiz taraf arasındaki fark, düzenli dalgalarda dalga yüksekliği arttıkça artmaktayken, düzensiz dalgalarda değişmemektedir.

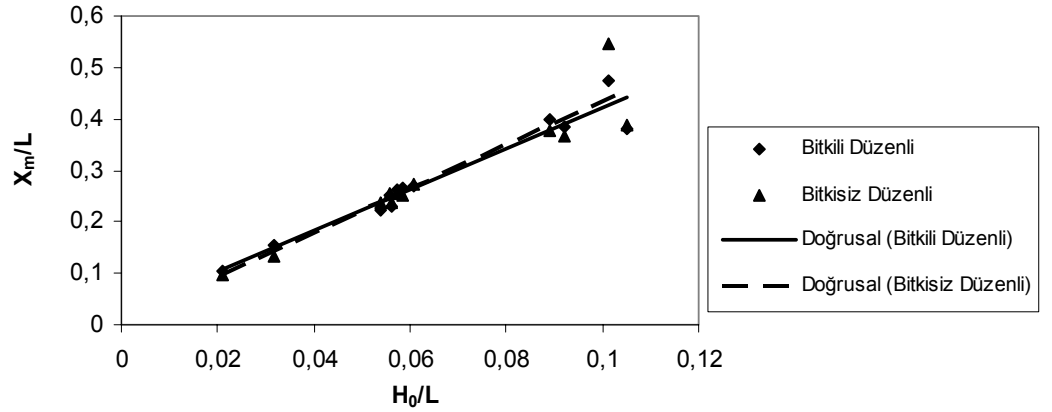


Şekil 5.38: Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığının dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

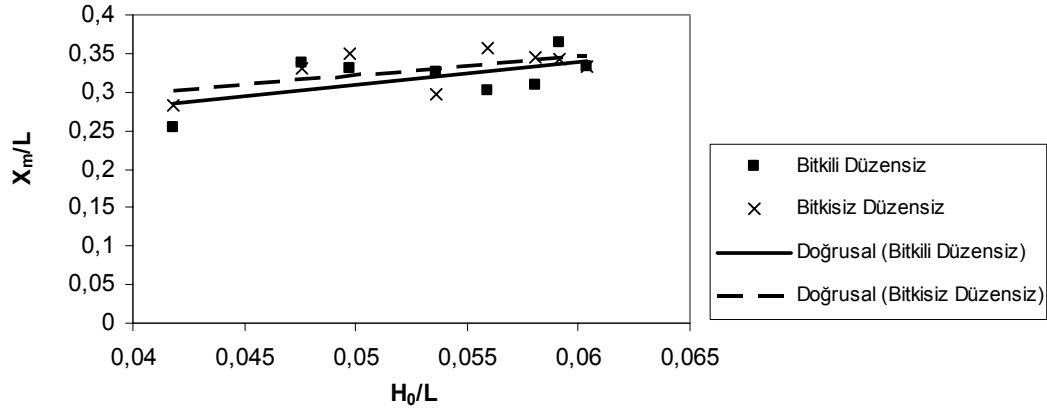


Şekil 5.39: Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığının dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

h_m 'deki duruma benzer şekilde, erozyon başlangıç noktasının kıyı çizgisine mesafesi, düzenli dalgalarda, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmaktadır (Şekil 5.40). Bununla beraber bitkili ve bitkisiz taraf arasında bir fark bulunmamaktadır. Bu da bitkilenmenin erozyon başlangıcına etki etmediğini göstermektedir. Düzensiz dalgalarda da erozyon başlangıcı dalga yüksekliği ile düzenli dalgalardan daha az belirgin olmak üzere, artmaktadır (Şekil 5.41). Bitkili ve bitkisiz taraf arasında ise belirgin bir fark bulunmamaktadır.



Şekil 5.40: Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzenli dalgalar).

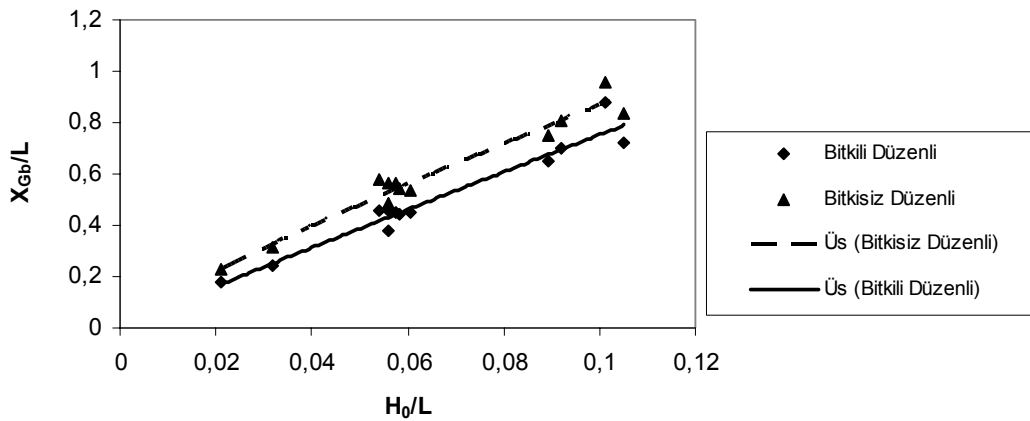


Şekil 5.41: Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga yüksekliği parametresi ile değişimi (düzensiz dalgalar).

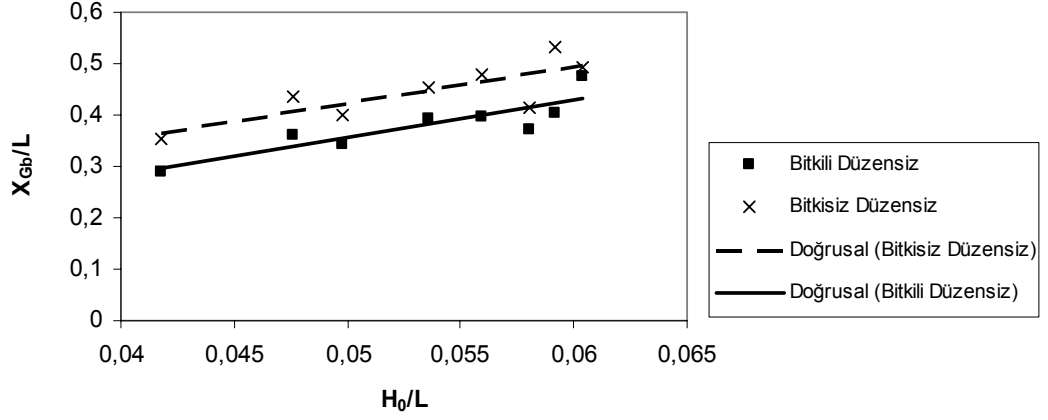
Barın tepe noktasının tespiti, barın şekline göre değişkenlik gösterdiğinden bu noktanın başlangıç kıyı çizgisine olan mesafesini gösteren X_b yerine, barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesini gösteren X_{Gb} parametresi, barın yerini gösteren parametre olarak kullanılabilir.

Barın yerini belirlerken, yukarıda belirtilen nedenden ötürü ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi kullanılırsa, grafiklerin aslında barın tepe noktası ile aynı sonuçları verdiği görülebilir.

Hem düzenli (Şekil 5.42) hem de düzensiz (Şekil 5.43) dalgalarda barın yerinin dalga yüksekliği arttıkça açığa taşındığı ve bitkisiz tarafta barın yerinin bitkili tarafa nazaran daha açıkta olduğu görülmektedir. Barın yerinin bitkili taraf ile bitkisiz taraf arasındaki farkı, dalga yüksekliği arttıkça değişmemektedir.

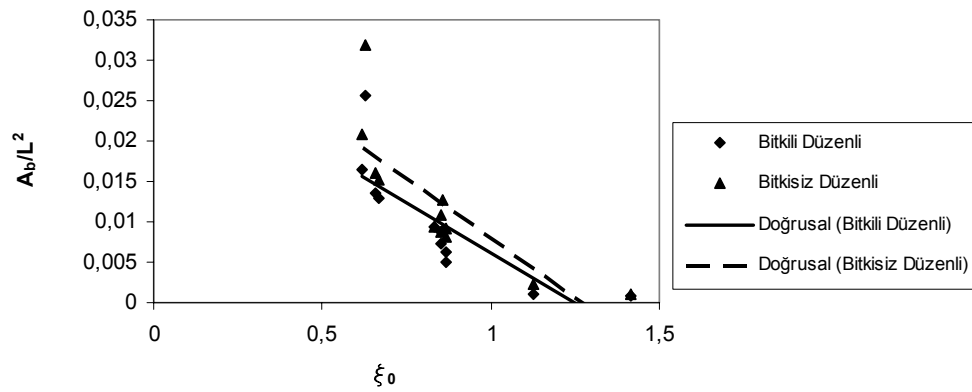


Şekil 5.42: Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

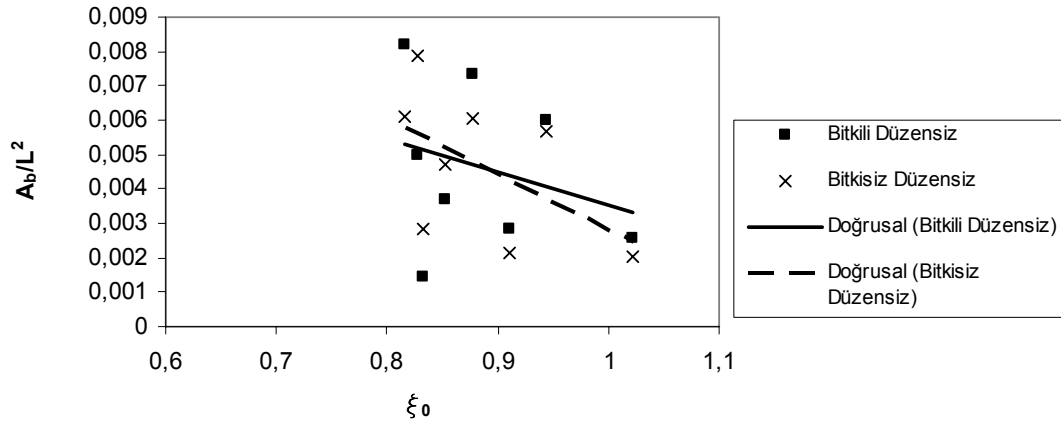


Şekil 5.43: Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Profilin geometrik özelliklerini inceleyen ve çeşitli ampirik formüller öneren önceki çalışmalarda Iribarren sayısının profilin oluşumu açısından önemli bir parametre olduğu belirtilmiş ve bazı çalışmalarda profilin geometrik özelliklerini Iribarren sayısına göre hesaplayan ampirik formüller verilmiştir (Hsu ve Wang, 1997; Hsu, 1998; Günaydın ve Kabdaşlı, 2003; Günaydın ve Kabdaşlı, 2005). Hsu ve Wang (1997)'e göre Iribarren sayısı fırtına profilinin geometrik karakteristiklerini tanımlayan anahtar parametredir. Bu nedenle, Iribarren sayısı, bu çalışmada boyut analizi sonucunda elde edilen boyutsuz parametrelerden biri olmadığı halde, literatürde profilin geometrik özelliklerini tanımlamak için genelde kabul görmüş bir parametre olduğundan, profilin geometrik özelliklerinin Iribarren sayısına göre değişimini veren grafikler de çizilmiştir. Aşağıda örnek olması açısından sadece bar alanının Iribarren sayısı ile değişimini gösteren Şekil 5.44 ve Şekil 5.45 verilmiştir. Grafiklerde hem düzenli hem düzensiz dalgalarda bar alanı, Iribarren sayısı arttıkça azalmaktadır.

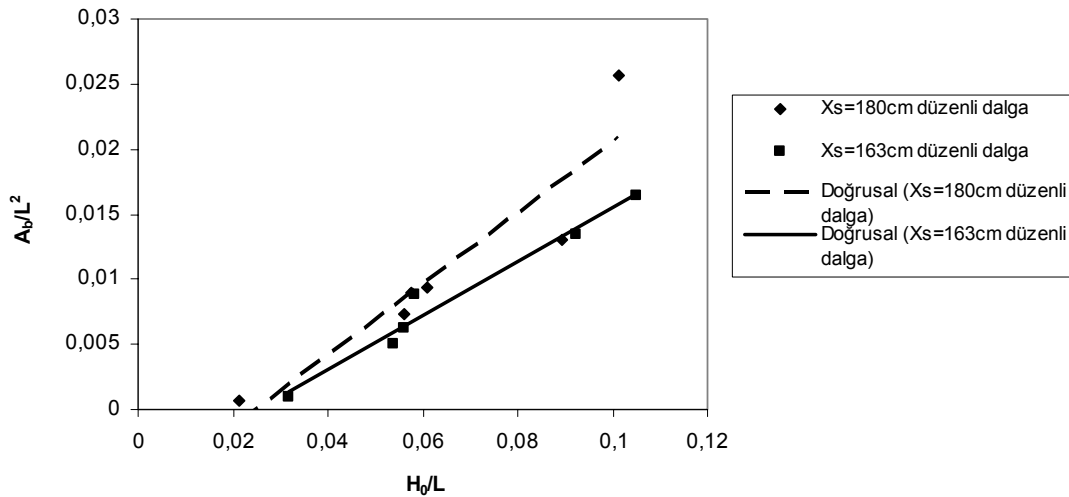


Şekil 5.44: Bar alanının Iribarren sayısı ile değişimi (düzenli dalgalar).

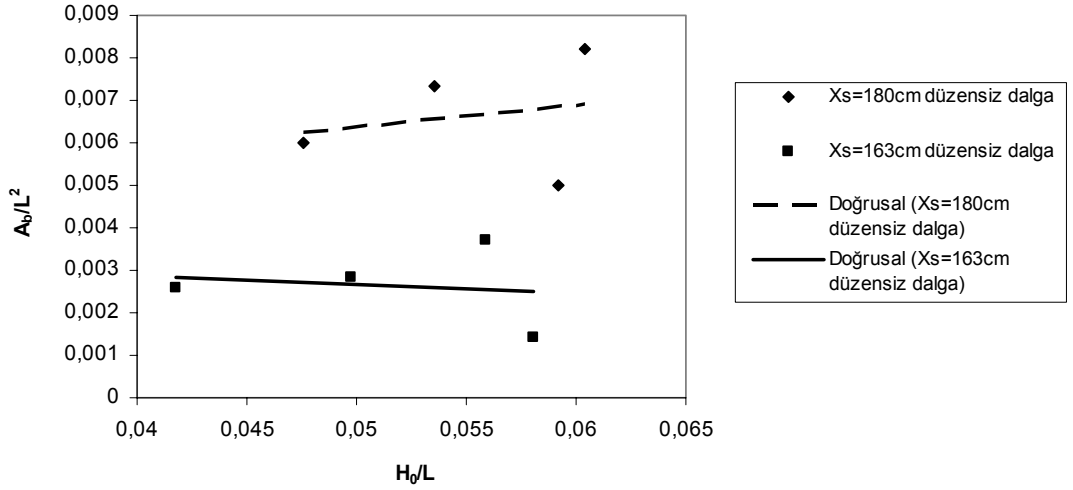


Şekil 5.45: Bar alanının Iribarren sayısı ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Deneylerde hep aynı sediment kullanıldığından sediment özellikleri değişmemektedir. Ortam özellikleri de deneyler boyunca sabit tutulmuştur. Bitkili alanın özelliklerinden bitki yüzey alanı yoğunluğu, $a(z)$, değişmemekle beraber, bitkili alanın yeri değiştirildiği için X_s parametresinin değeri değişmiştir. Bu nedenle yukarıdaki grafiklerde gözlenen tüm sonuçlardan bitkili alandakiler ayrılmış ve farklı X_s değerleri için ayrı ayrı çizilerek aşağıda verilmiştir. Bu grafiklerde, bitkili alanın yerinin değişmesinin, kıyı profilinin geometrik özelliklerinin dalga dikliği ile değişimini nasıl etkilediği görülmektedir. Hem düzenli (Şekil 5.46) hem de düzensiz (Şekil 5.47) dalgalarda bitkili alan kıyı çizgisine yaklaştıkça bar alanının azaldığı görülmektedir.

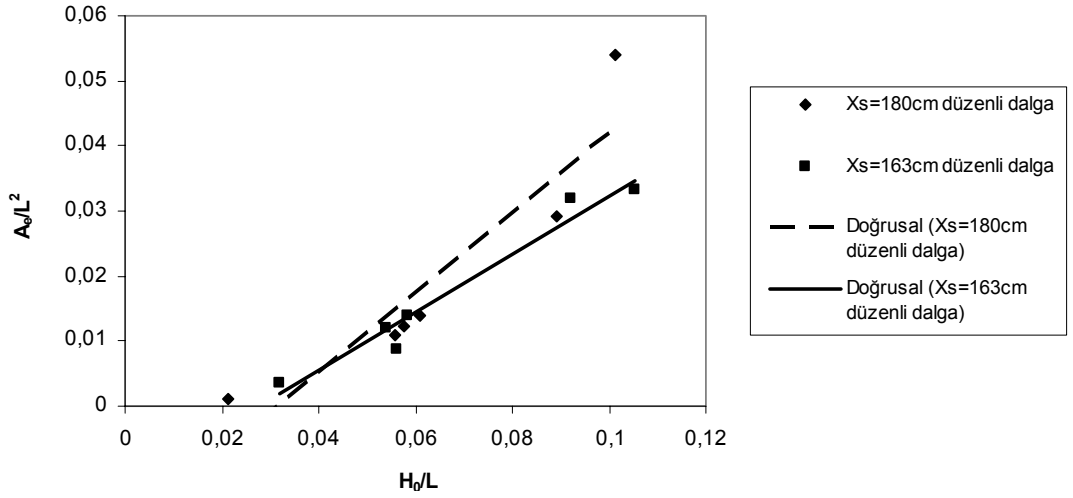


Şekil 5.46: Bitkili taraftaki bar alanının dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

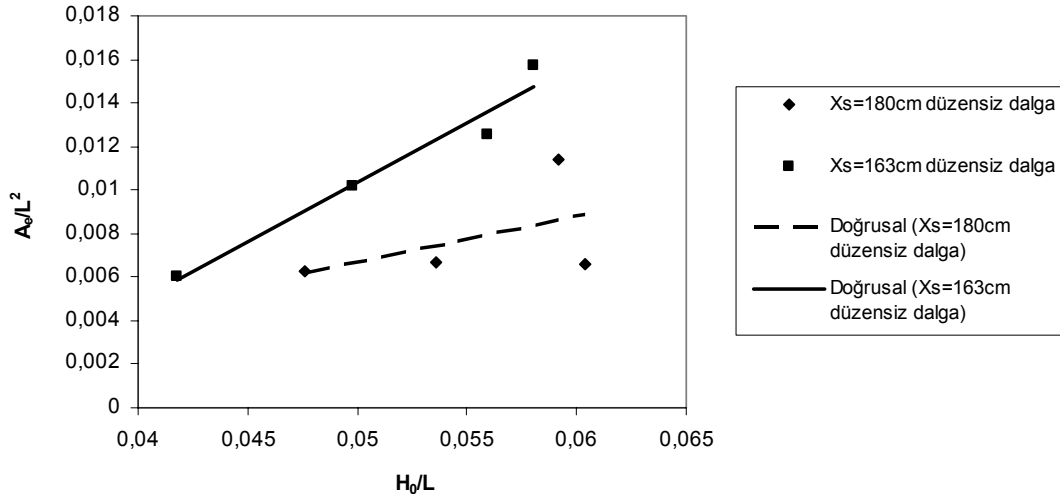


Şekil 5.47: Bitkili taraftaki bar alanının dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, erozyon alanının, bitkili alan kıyıya yaklaştıkça azaldığı, fakat dalga dikliği azaldıkça aradaki farkın kapandığı görülmektedir (Şekil 5.48). Düzensiz dalgalarda ise, düzenli dalgaların tersine bitkilenme kıyıya yaklaştıkça erozyon alanının arttığı görülmektedir (Şekil 5.49).

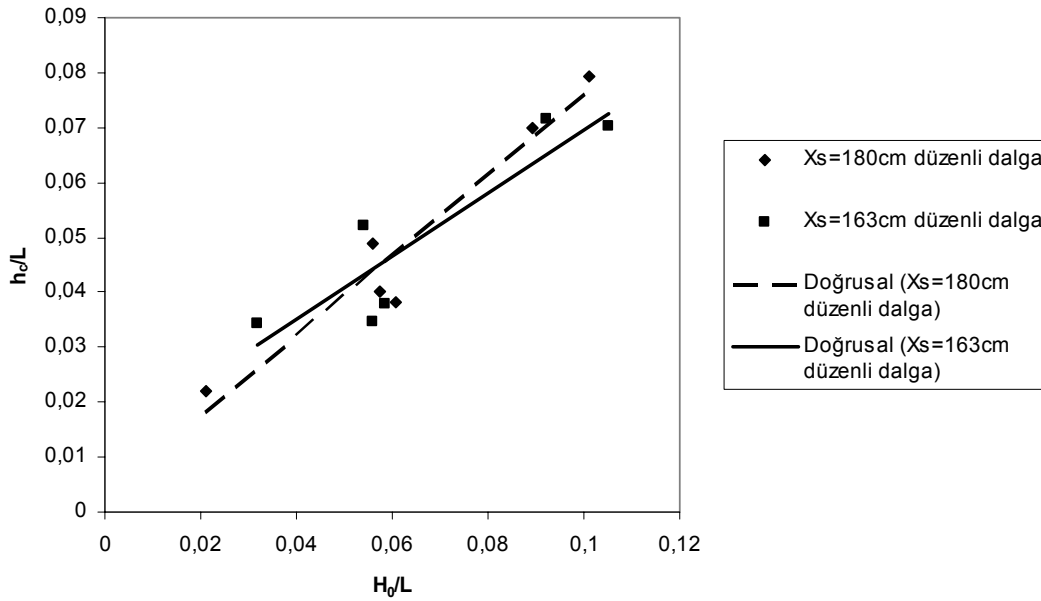


Şekil 5.48: Bitkili taraftaki erozyon alanının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

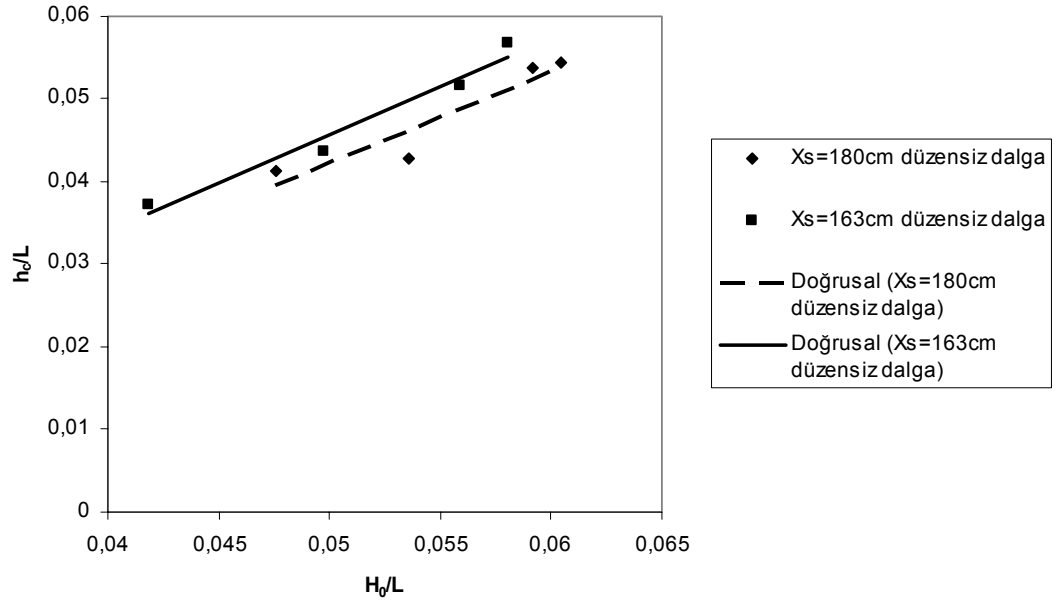


Şekil 5.49: Bitkili taraftaki erozyon alanının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda bar tepe noktasının bitkili alanın yerine göre değişimi ile ilgili belirgin bir eğilim görülmemektedir (Şekil 5.50). Düzensiz dalgalarda, bar tepe noktası derinliğinin, bitkili alan kıyıya yaklaştıkça arttığı görülmektedir (Şekil 5.51).

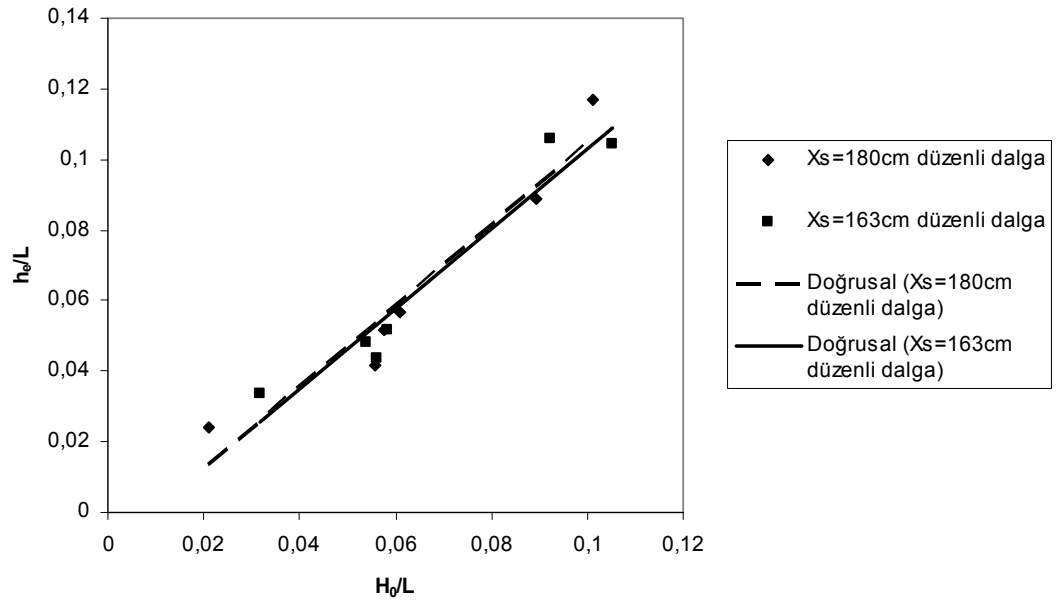


Şekil 5.50: Bitkili taraftaki bar tepe noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

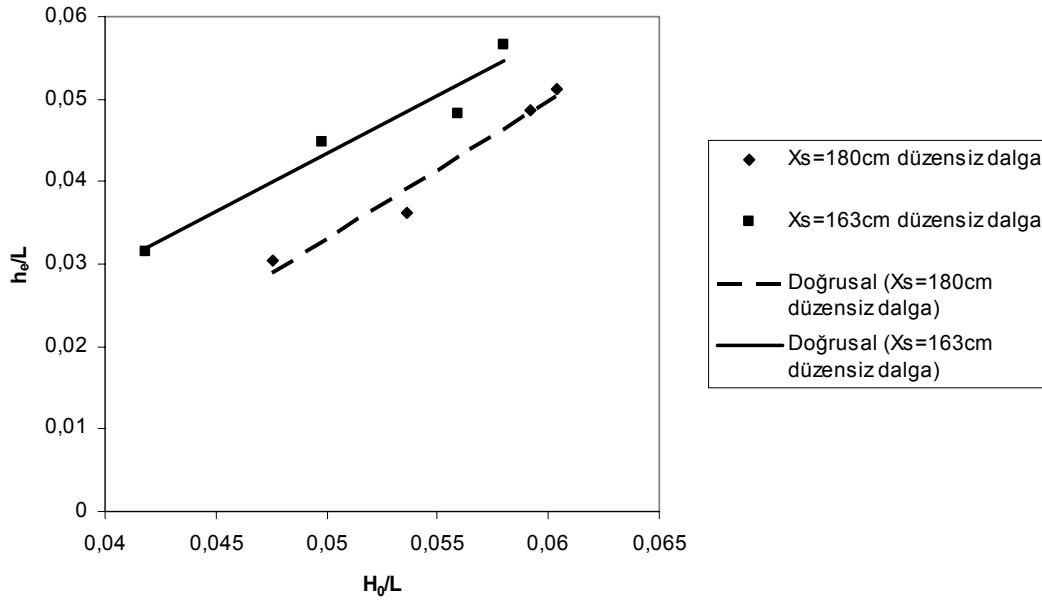


Şekil 5.51: Bitkili taraftaki bar tepe noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, denge noktasının konumu bitkili alanın kıyıya mesafesine göre değişmemektedir (Şekil 5.52). Düzensiz dalgalarda, denge noktası, bitkilerin kıyıya daha yakın olduğu durumda kıyıdan daha açıkta meydana gelmektedir (Şekil 5.53).

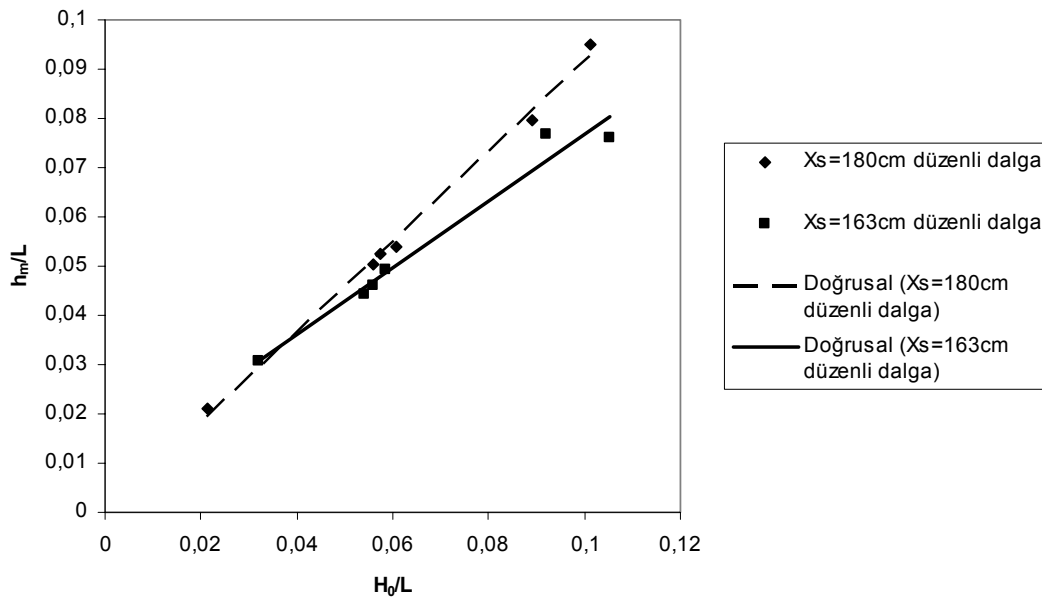


Şekil 5.52: Bitkili taraftaki denge noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

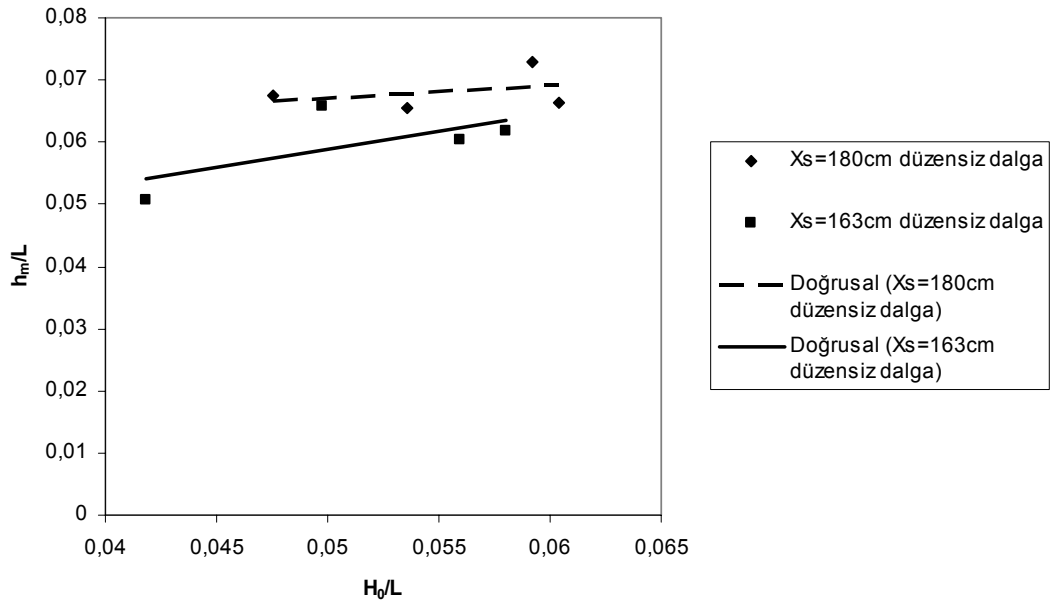


Şekil 5.53: Bitkili taraftaki denge noktası derinliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin, aynı dalga dikliği için bitkili alan daha açıktayken, daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 5.54). Küçük dalga dikliklerinde aradaki fark azken dalga yüksekliği arttıkça aradaki farkın arttığı görülmektedir. Düzensiz dalgalarda, erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin, aynı dalga yüksekliği için bitkili alan açığa gittikçe fazlalaştığı görülmektedir (Şekil 5.55).

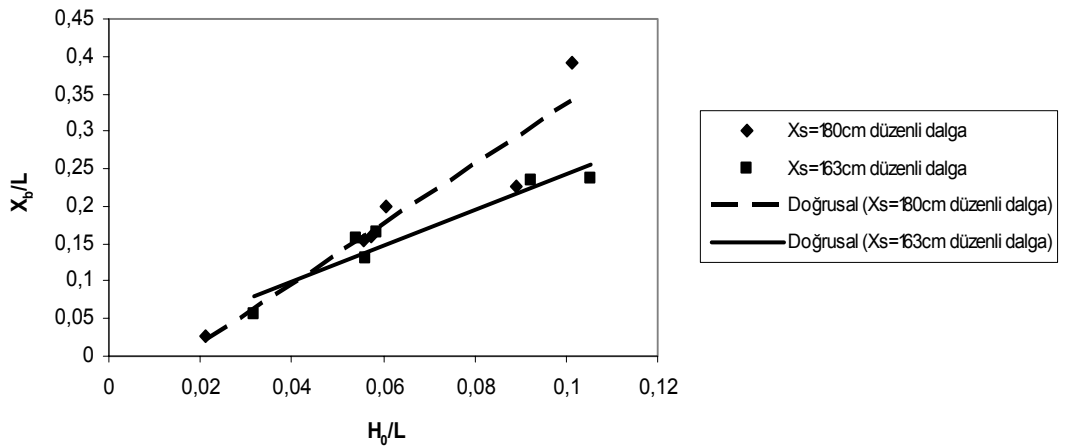


Şekil 5.54: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

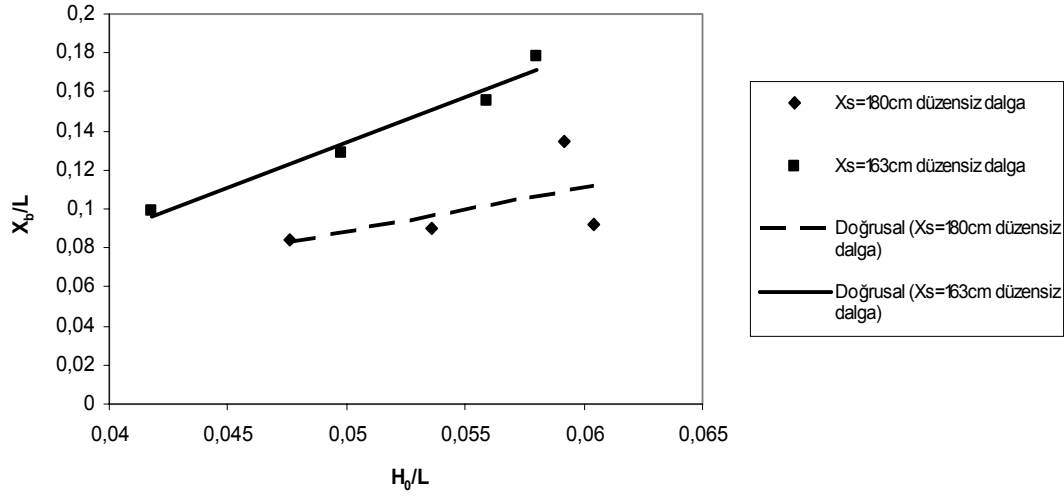


Şekil 5.55: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, bitkili taraftaki erozyon başlangıç kesişim noktası, bitkili alan derine gittikçe karanın içine doğru ilerlemektedir. Bitkilenmenin yerinin yarattığı bu fark dalga dikliği azaldıkça azalmaktadır (Şekil 5.56). Düzensiz dalgalarda, erozyon başlangıç noktasının bitkilenme kıyısına daha yakinken daha karanın içine doğru ilerlediği görülmektedir. Bu, düzenli dalgalarda elde edilen sonuçla uyum göstermemektedir (Şekil 5.57).

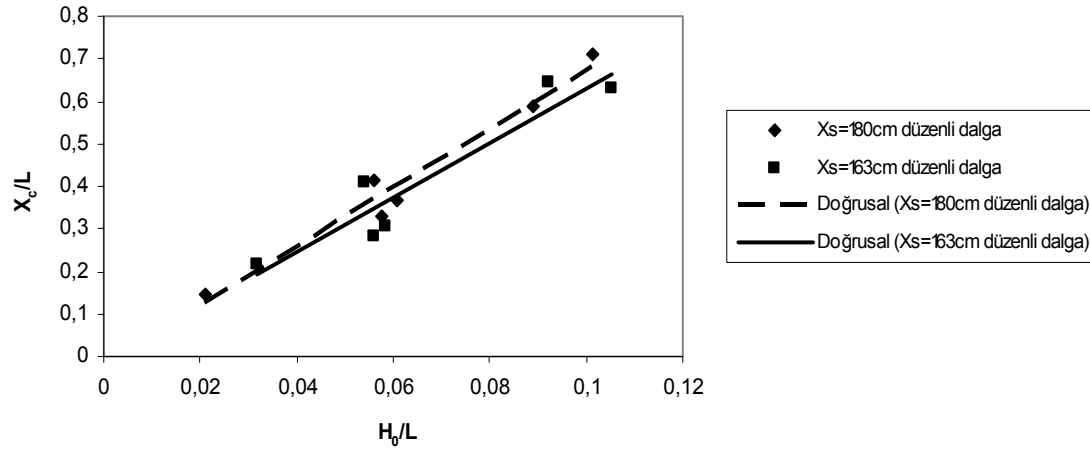


Şekil 5.56: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç kesişim noktasının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

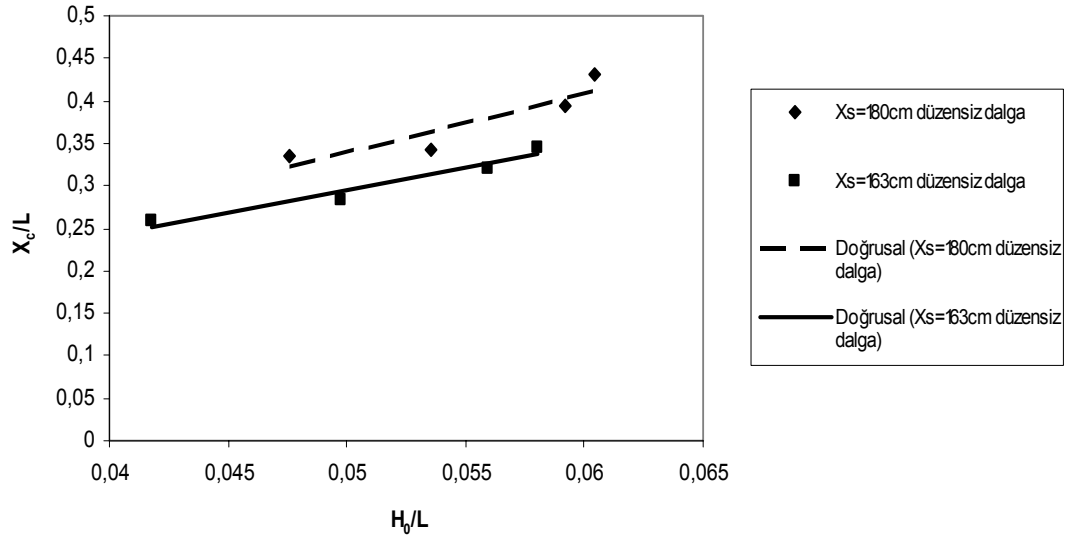


Şekil 5.57: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç kesişim noktasının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, barın yerinin bitki alanının yerinin değişimine göre belirgin bir değişim göstermediği görülmektedir (Şekil 5.58). Düzensiz dalgalarda, bitkili alan kıyıdan açığa gittikçe bar daha derin bölgede oluşmaktadır (Şekil 5.59).

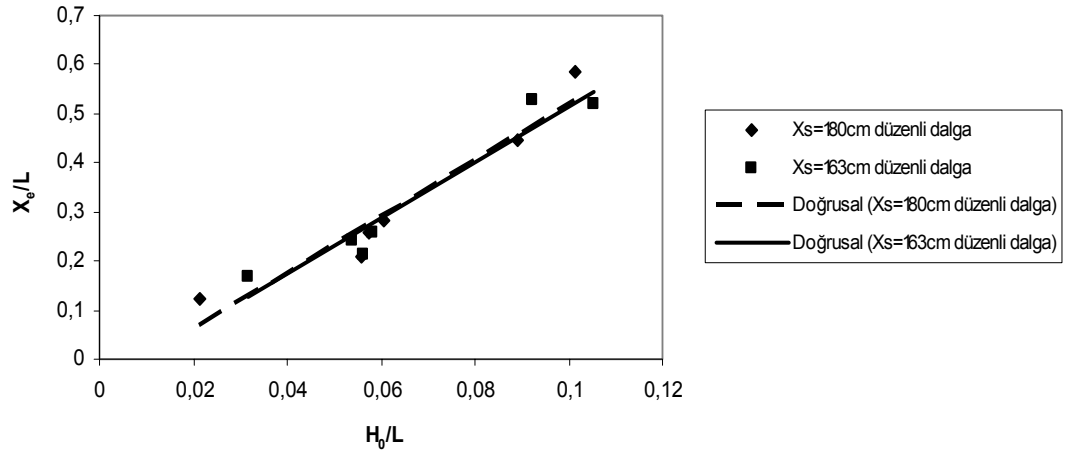


Şekil 5.58: Bitkili taraftaki bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

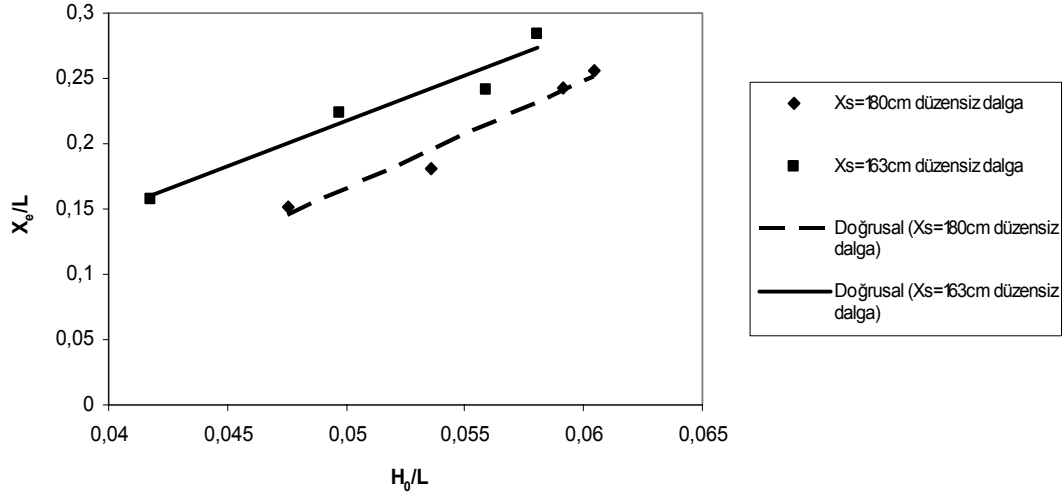


Şekil 5.59: Bitkili taraftaki bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Düzenli dalgalarda, denge noktasının konumu bitkilenmenin yeri ile değişmemektedir (Şekil 5.60) fakat düzensiz dalgalarda denge noktası, bitkili alan kıyıya yaklaştıkça daha açıkta meydana gelmektedir (Şekil 5.61).

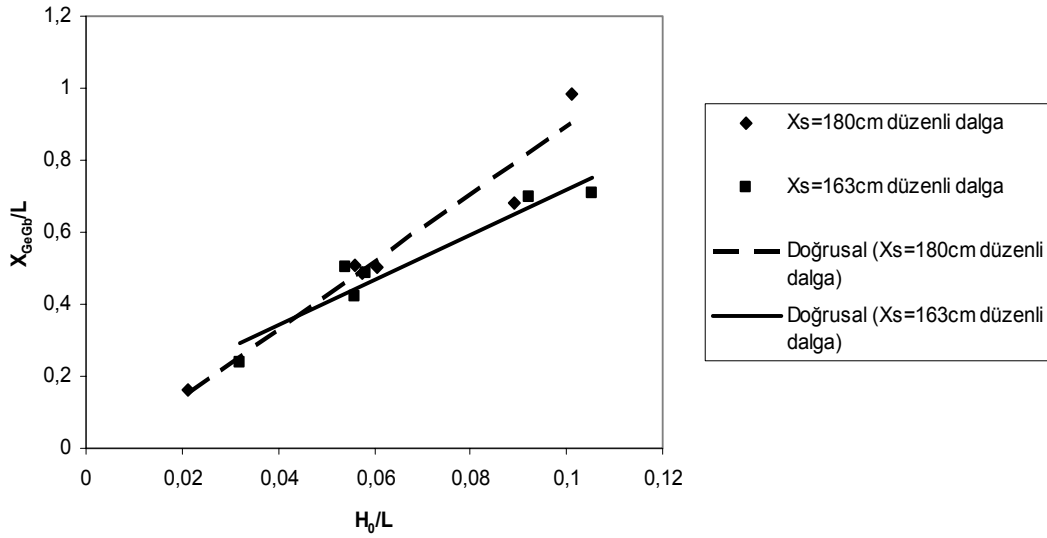


Şekil 5.60: Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

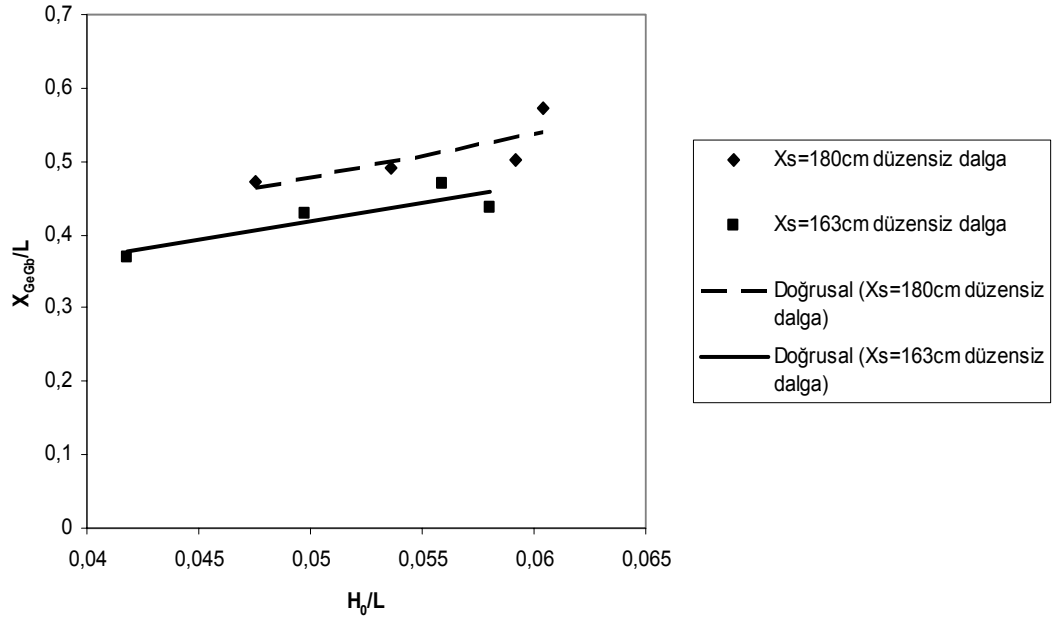


Şekil 5.61: Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Hem düzenli (Şekil 5.62) hem de düzensiz (Şekil 5.63) dalgalarda erozyon ve barın ağırlık merkezleri arasındaki mesafe bitkili alan daha açıktayken daha fazla olmaktadır. Düzenli dalgalarda aradaki fark dalga dikliği arttıkça artmaktayken düzensiz dalgalarda değişmemektedir.

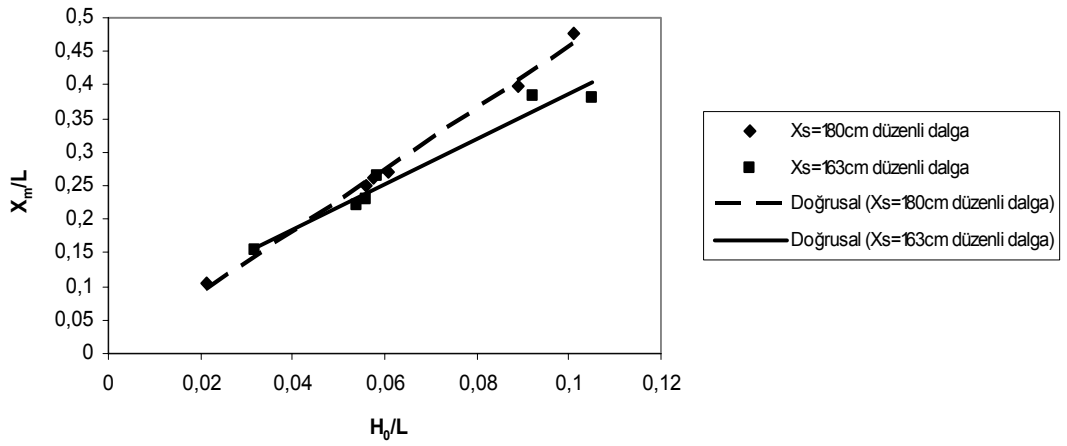


Şekil 5.62: Bitkili taraftaki erozyon ve bar ağırlık merkezlerinin birbirine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

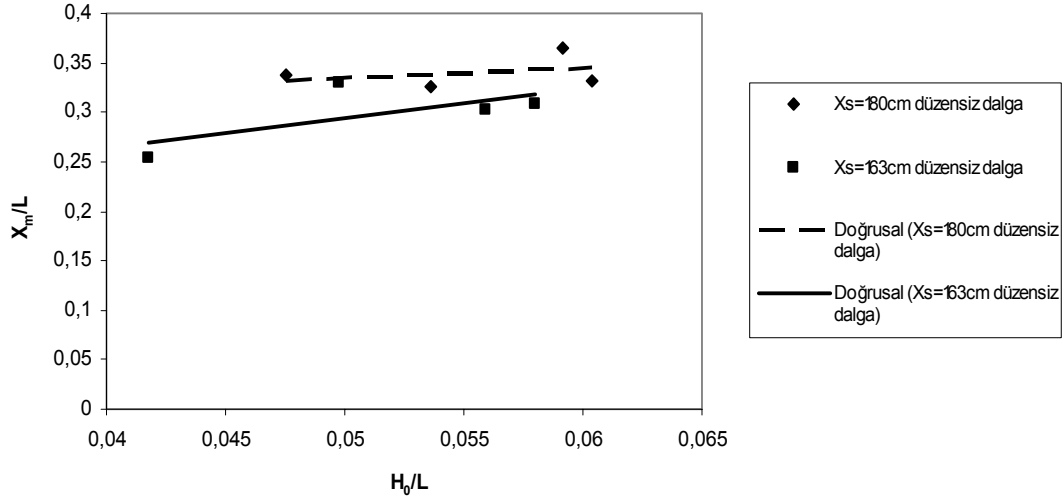


Şekil 5.63: Bitkili taraftaki erozyon ve bar ağırlık merkezlerinin birbirine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Hem düzenli (Şekil 5.64) hem de düzensiz (Şekil 5.65) dalgalarda erozyon başlangıcı bitki kıyıya yaklaştıkça kısaltmakta, yani erozyon karanın içinde daha az ilerlemektedir. Düzenli dalgalarda bu fark dalga dikliği ile artmaktayken düzensiz dalgalarda değişmemektedir.

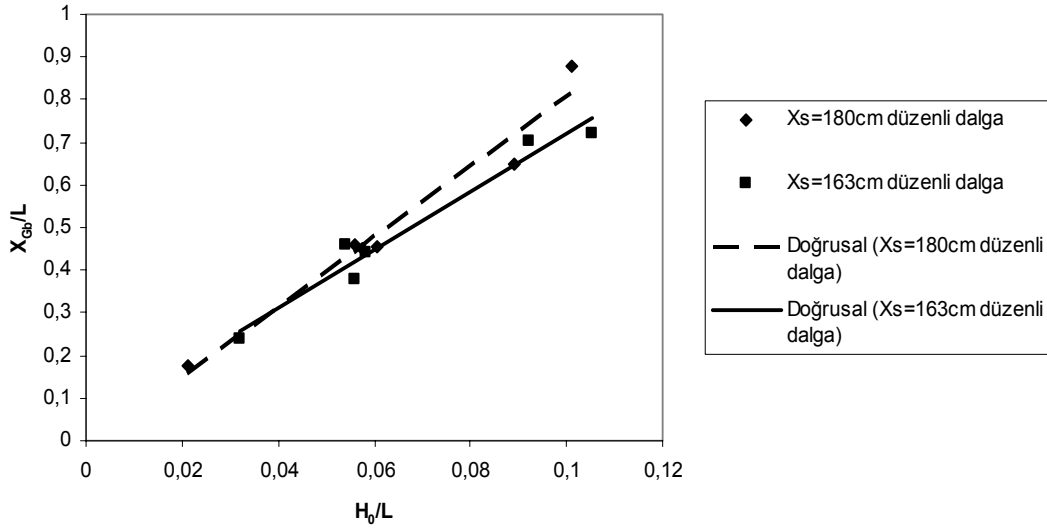


Şekil 5.64: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).

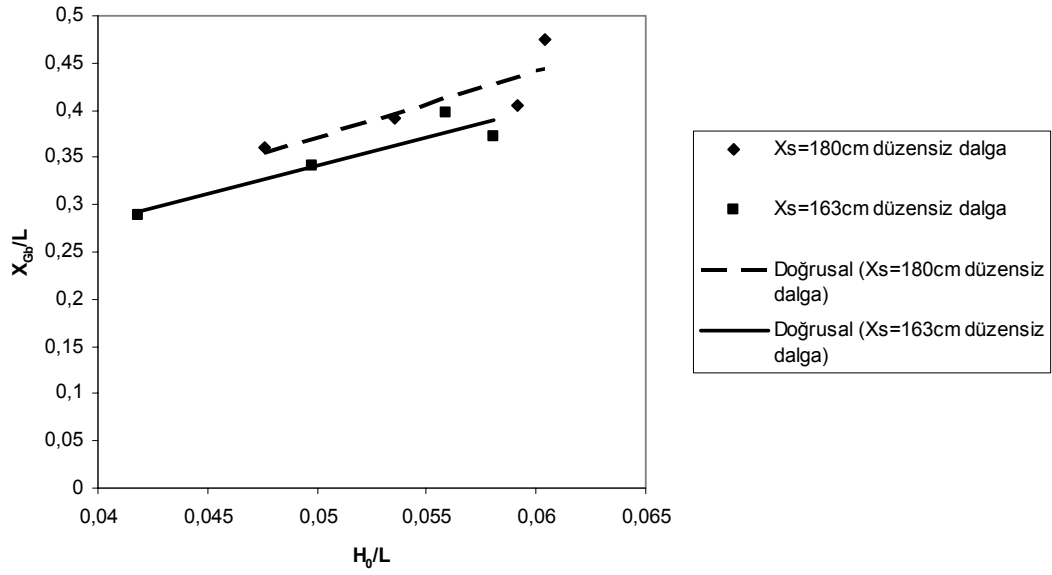


Şekil 5.65: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

Hem düzenli (Şekil 5.66) hem de düzensiz (Şekil 5.67) dalgalarda bitkilenmenin yeri derinleştikçe bar kıyından daha açıkta oluşmaktadır. Düzenli dalgalarda aradaki fark dalga dikliği arttıkça artmaktayken, düzensiz dalgalarda değişmemektedir.



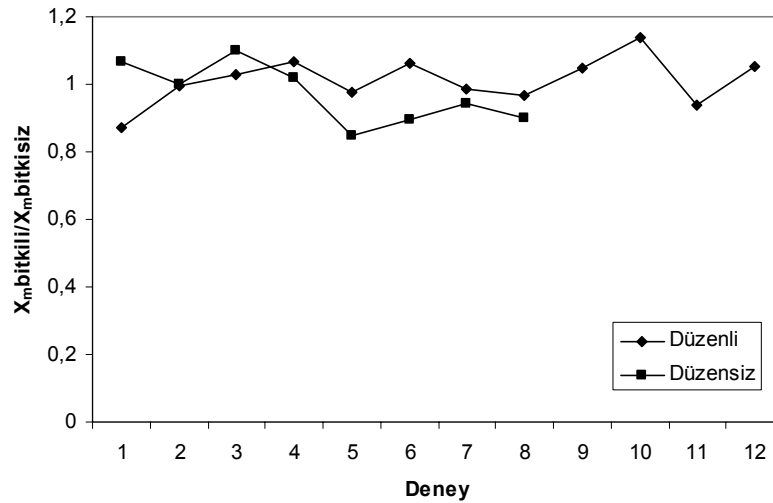
Şekil 5.66: Bitkili taraftaki bar ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzenli dalgalar).



Şekil 5.67: Bitkili taraftaki bar ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkilenmenin yerine göre dalga dikliği ile değişimi (düzensiz dalgalar).

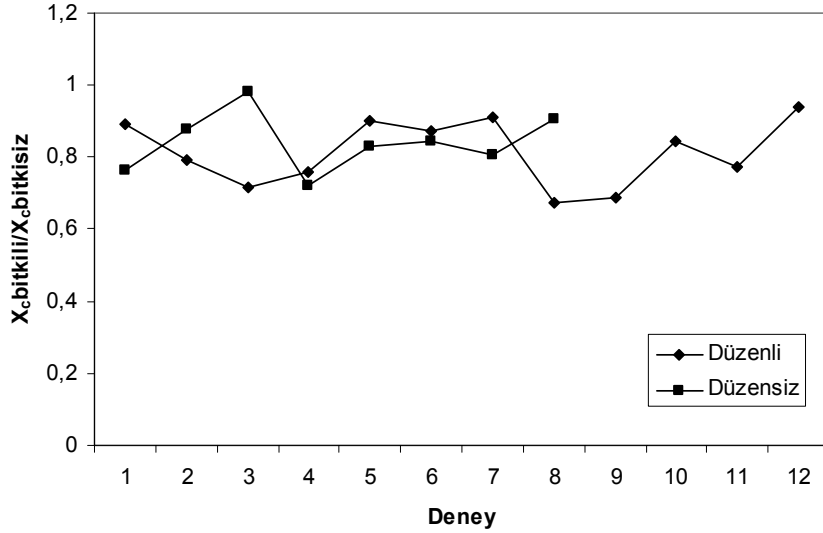
Deneyler sonucunda elde edilen kıyı profillerinin geometrik özellikleri incelendiğinde, bazı parametrelerin, aynı dalga koşulları altında, bitkili durumdaki büyüklükleri ile bitkisiz durumdaki büyüklükleri arasında belli bir oran olduğu ve bu oranın dalga özellikleri ile değişmediği göze çarpmaktadır. Bu oranlar Şekil 5.68-5.75'teki grafiklerde oldukça çarpıcı olarak görülmektedir.

Erozyon başlangıcının bitkili ve bitkisiz taraftaki yerleri karşılaştırıldığında, bitkilenmenin bir fark yaratmadığı görülmüştü, Şekil 5.68'de de bitkili ve bitkisiz taraftaki X_m 'ler oranlandığında 1 civarında değiştiği görülmektedir, bu durumda bitkilenmenin erozyonun karada başladığı noktayı değiştirmediği söylenebilir.



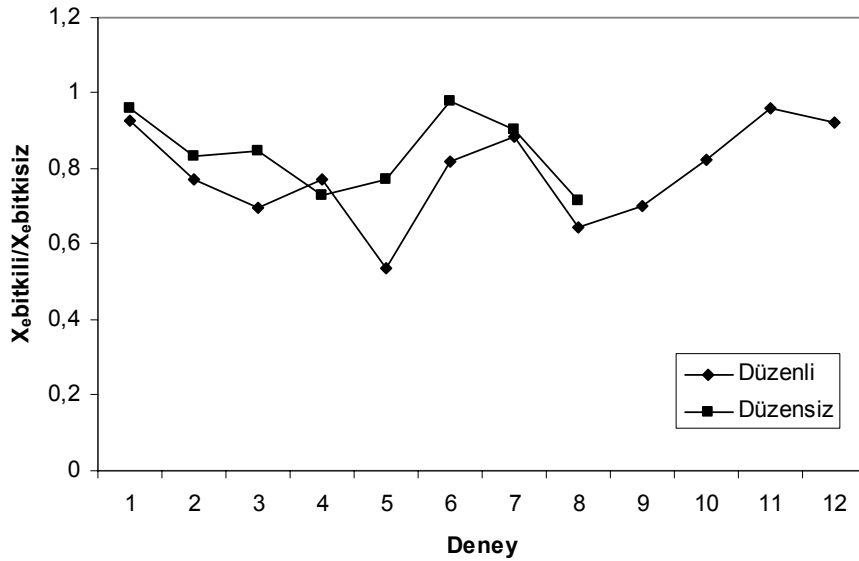
Şekil 5.68: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı.

Şekil 5.34 ve Şekil 5.35'teki grafiklerde bitkisiz durumda barın daha açıkta olduğu görülmüştü. Şekil 5.69'da barın bitkili taraftaki yeri ile bitkisiz taraftaki yeri arasındaki oranın 0,8 civarında olduğu görülmektedir. Bitkisiz durumda barın kıyı çizgisinden mesafe olarak % 20 daha açıkta olduğu sonucu çıkarılabilir.



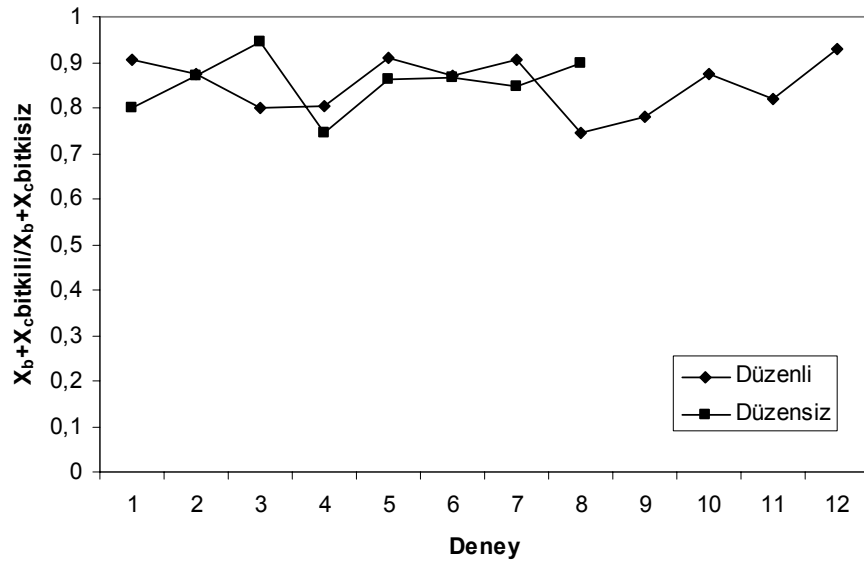
Şekil 5.69: Bitkili taraftaki bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı.

Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin bitkili durumdaki değerinin bitkisiz durumdaki değerine oranı da 0,8 civarındadır (Şekil 5.70). Bu da bitkilenmenin kıyı profilinin su altındaki kısmını %20 kıyıya yaklaştırdığı sonucunu vermektedir.

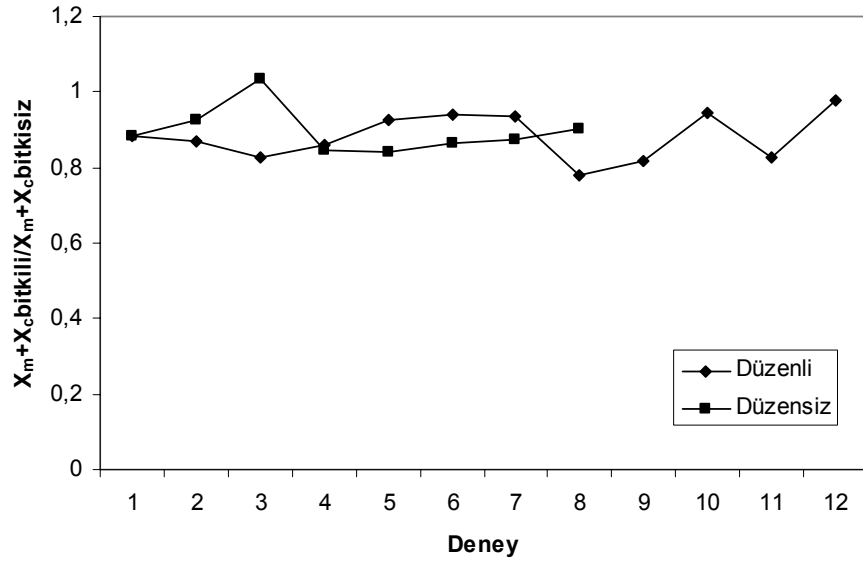


Şekil 5.70: Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı.

Kıyı profilinin bitkilenme sonucu ne kadar yer deşiştirdiğinin anlaşılması için erozyon kesişim noktasının barın tepe noktasına mesafesinin (X_b+X_c) ve erozyon başlangıç noktasının bar tepe noktasına mesafesinin (X_m+X_c) bitkili ve bitkisiz durumdaki oranlarına bakılabilir. şekil 5.71’de X_b+X_c ’nin bitkili taraftaki değerinin bitkisiz taraftaki değerine oranının 0,8–0,9 civarında olduğu görülmektedir. şekil 5.72’de ise X_m+X_c bitkili taraftaki değerinin bitkisiz taraftaki değerine oranının 0,8–1 aralığında olduğu görülmektedir.

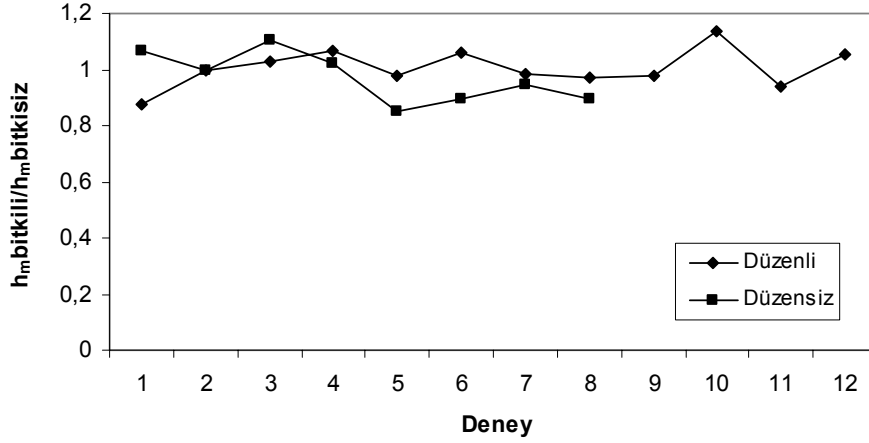


şekil 5.71: Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının bar tepe noktasına uzaklığının bitkisiz tarafa oranı.



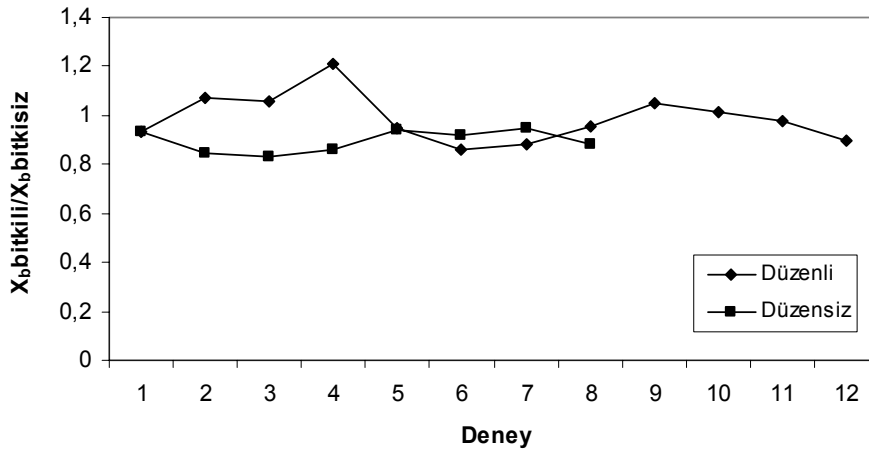
şekil 5.72: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktasının bar tepe noktasına uzaklığının bitkisiz tarafa oranı.

Yukarıda bitkilenmenin erozyon başlangıç noktası yüksekliğini değiştirmedığı görülmüştü. Şekil 5.73'te de bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliği bitkisiz tarafa oranlanırsa oranın 1 civarında olduğu görülmektedir.



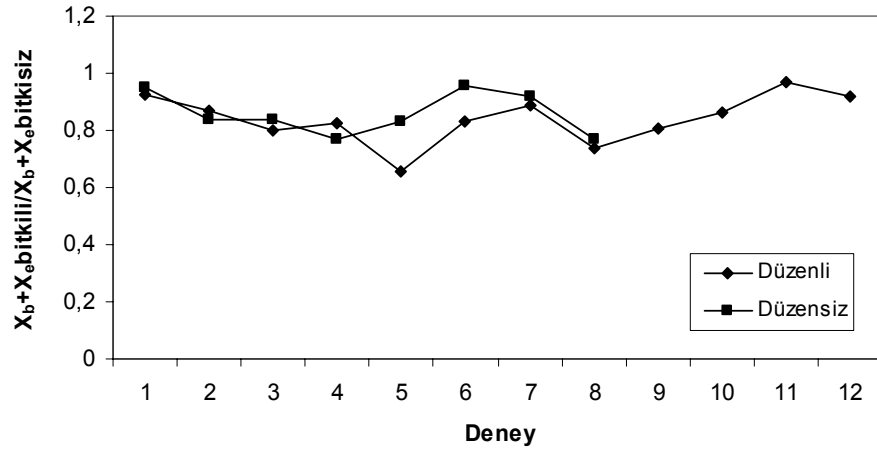
Şekil 5.73: Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin bitkisiz tarafa oranı.

Erozyon kesişim noktasının (X_b) kıyı çizgisine mesafesinin, bitkili ve bitkisiz tarafta aldığı değerler oranlanırsa düzenli dalgalar için 1 civarında düzensiz dalgalar için ise 0,9 civarında olduğu görülmektedir (Şekil 5.74).



Şekil 5.74: Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine uzaklığının bitkisiz tarafa oranı.

Erozyon kesişim noktasının denge noktasına mesafesinin bitkili ve bitkisiz tarafta aldığı değerler oranlanırsa, bu oranın 0,8 civarında olduğu görülmektedir (Şekil 5.75).



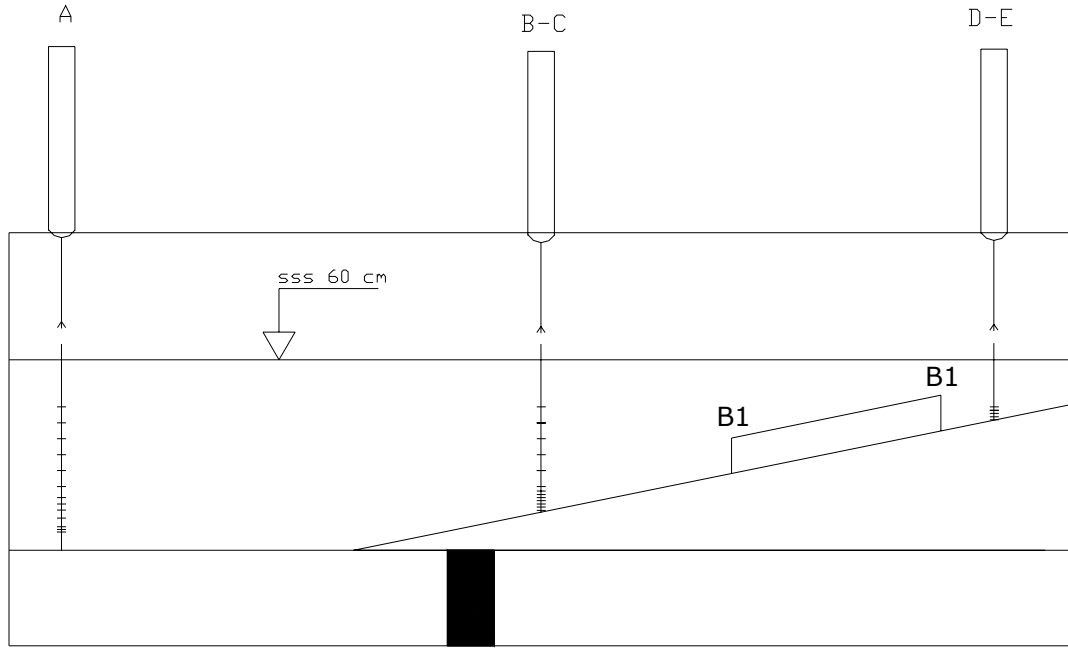
Şekil 5.75: Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının denge noktasına mesafesinin bitkisiz tarafa oranı.

5.8 Hız Verileri ve Analizi

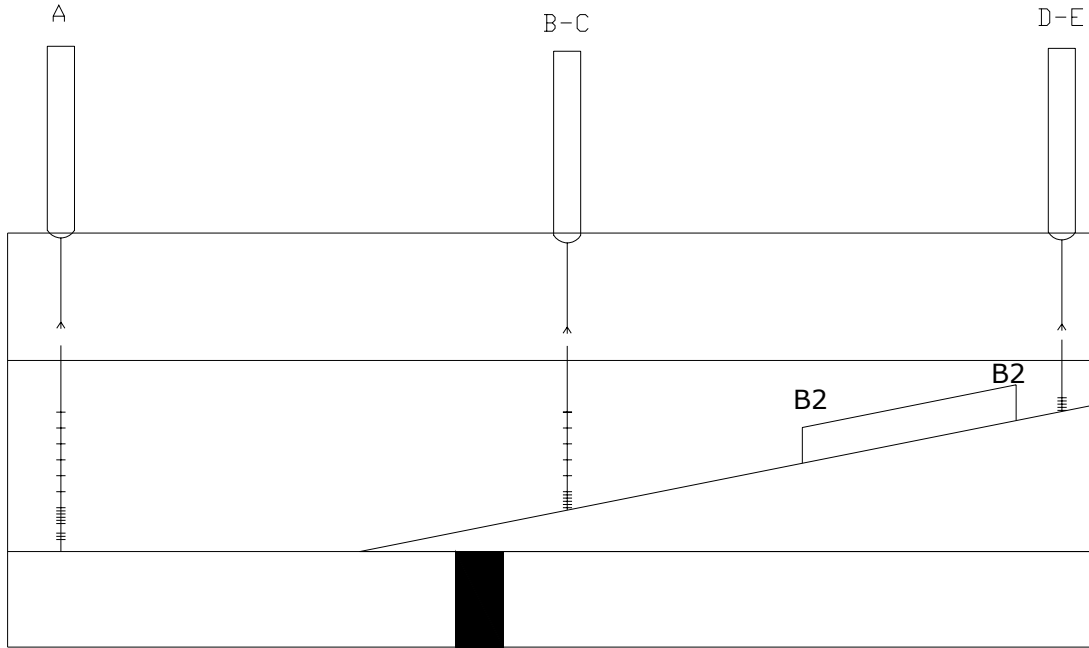
Deniz çayırları, dalga etkileşimi inceleniyorsa dalga yüksekliği ve periyodu belirlenmesi gereken en önemli parametrelerdir. Bitkili alandaki katı madde hareketi de inceleniyorsa, deniz tabanındaki dalga orbital hızının yatay bileşeninin bilinmesi de gereklidir (Koch, 2006). Dolayısıyla, deney koşullarında dalga orbital hızları ile bitkilenme arasında etkileşim olup olmadığının varsa bitkilenmenin dalga orbital hızlarını ne şekilde etkilediğinin anlaşılması için en büyük ve en küçük düzenli dalga için dalga orbital hızları da ölçülmüştür.

Hız ölçümleri Nortek marka ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) cihazı ile yapılmıştır. ADV suyun hızını Doppler etkisini kullanarak ölçen bir cihazdır. Hız ölçümleri kanalın beş farklı noktasında derinlik boyunca yapılmıştır. Dalga ölçüm noktalarından farklı olması için hız ölçüm noktaları A, B, C, D ve E notasyonu ile gösterilmiştir. A noktası şevin başlangıcından önce dalga orbital hızının şevden ve bitkilenmeden etkilenmeden önceki halinin belirlenmesi için seçilmiş noktadır. B noktası, kanalın bitkilerin yerleştirildiği tarafında şevin üstünde ve bitkili alandan öncedir. C noktası kanalın bitkisiz tarafında B noktasının paralelindedir. D noktası kanalın bitkili tarafında bitkili alandan sonradır. E noktası kanalın bitkisiz tarafında D noktasının paralelindedir. A, B, C, D ve E noktalarında hız profillerinin çıkarılması için derinlik boyunca dalga orbital hızları ölçülmüştür. Bu noktalarda şevden dolayı derinlik değiştiği için derinlik boyunca hız ölçüm noktalarının sayısı birbirinden farklıdır. Hız ölçümleri derinlik boyunca 1–5 cm aralıklarla yapılmıştır. Bu ölçümler sonucunda toplamda 432 adet hız zaman serisi elde edilmiştir.

Konfigürasyon 1 ve Konfigürasyon 2 için hız ölçümlerinin yapıldığı noktaların kanaldaki yerlerinin gösterimi Şekil 5.76’da verilmiştir.



a)



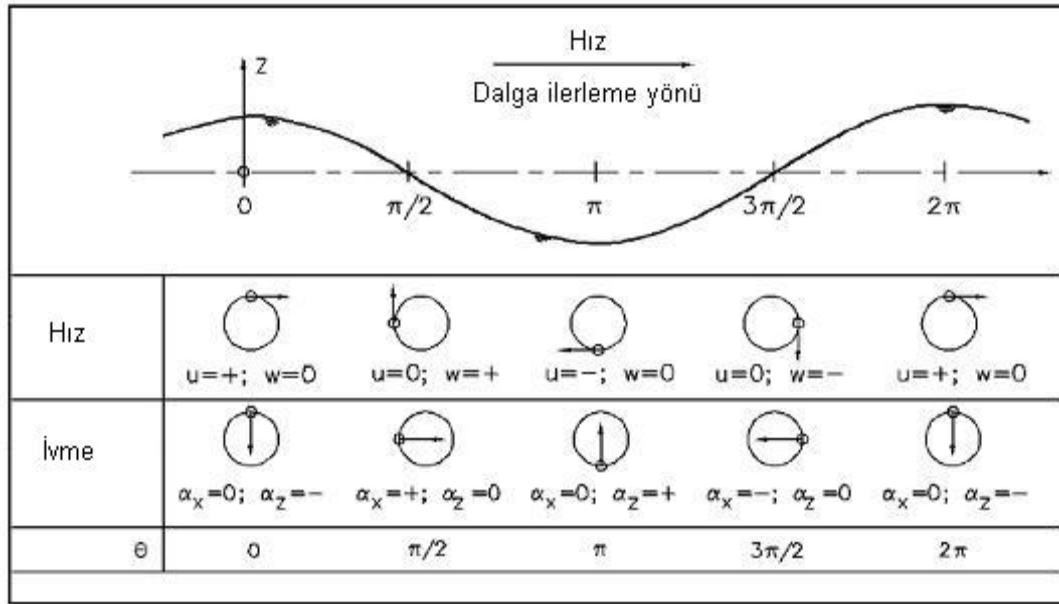
b)

Şekil 5.76: Hız ölçüm noktaları a)Konfigürasyon 1, b)Konfigürasyon 2.

Şekil 5.76’da görüldüğü gibi, dalga hızı ölçümüne su yüzeyinin hemen altında başlanmamıştır. Bunun sebebi dalga nedeniyle su yüzeyinde meydana gelen değişimdir. Hız ölçümü ancak dalga çukurunun altında yapılabilir. Bu

çalışmada ölçülen en yüksek dalga genliği 6,5 cm'dir. Ayrıca ADV prob ucunun bütünüyle suyun altında kalması gerekmektedir. Kullanılan ADV'nin hızı ölçtüğü nokta ile prob ucu arasındaki mesafe 5 cm'dir; bu nedenlerle hız ölçümüne sakin su seviyesinin yaklaşık 15 cm altında başlanmış ve hız dikey profil boyunca ölçülmüştür.

Lineer dalga teorisine göre dalga nedeniyle oluşan orbital hızı ve ivmesi aşağıdaki şekilde (Şekil 5.77) gösterilebilir ve hızın yatay (u) ve düşey (w) hız bileşenleri aşağıdaki formüllerle hesaplanabilir (USACE, 2003).



Şekil 5.77: Dalga orbital hızı ve ivmesi.

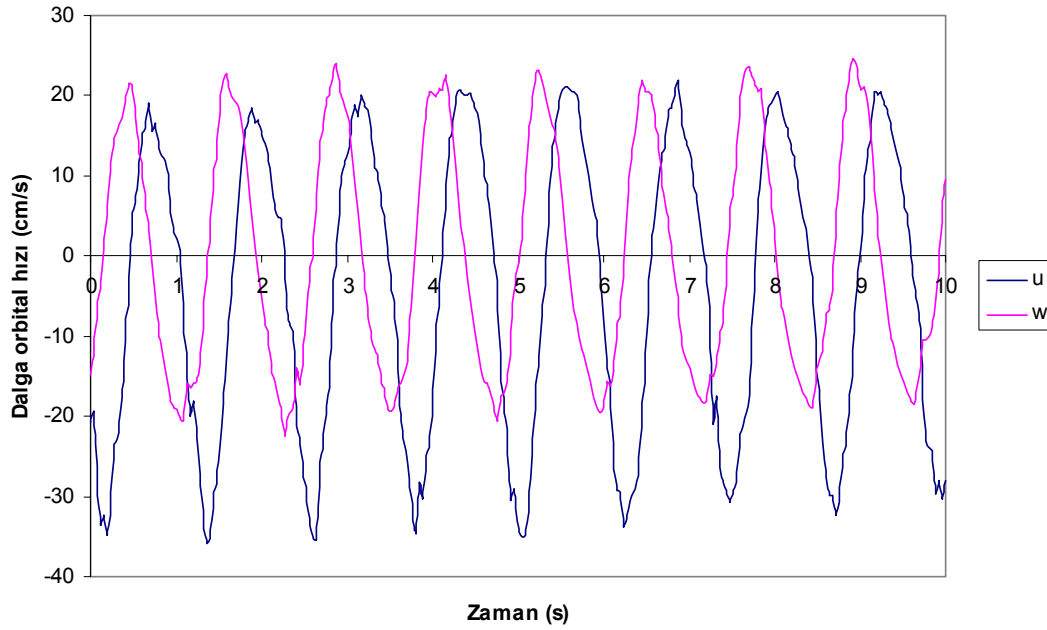
$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \cos \theta \quad (5.20)$$

$$w = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\sinh[2\pi(z+d)/L]}{\cosh(2\pi d/L)} \sin \theta \quad (5.21)$$

Burada H, dalga yüksekliği, g, yerçekimi ivmesi, T, dalga periyodu, L, dalga boyu, z, hızın hesaplanacağı noktanın dikey eksenindeki konumu, d, su derinliği, θ , dalga faz açısıdır.

ADV hızı 3 boyutlu olarak ölçmektedir. Hız bileşenlerinden x eksenindeki u, yatay hızı, z eksenindeki w, ise dikey hızı vermektedir. Bu çalışmada kurulan fiziksel model 2 boyutlu bir model olduğundan kanalın camlarına dik doğrultu olan y eksenindeki v hızı ihmal edilebilir. 102 No'lu deneyde A ekseninde su yüzeyine en

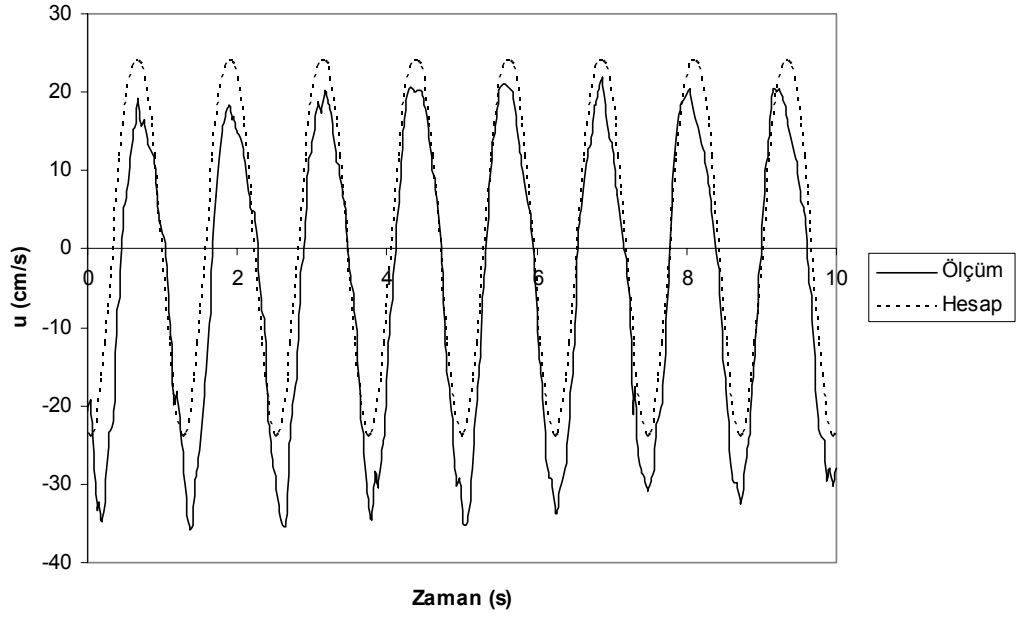
yakın noktada ölçülmüş olan dalga orbital hızları zaman serisinin ilk 10 saniyelik kısmı örnek olarak Şekil 5.78’de verilmiştir.



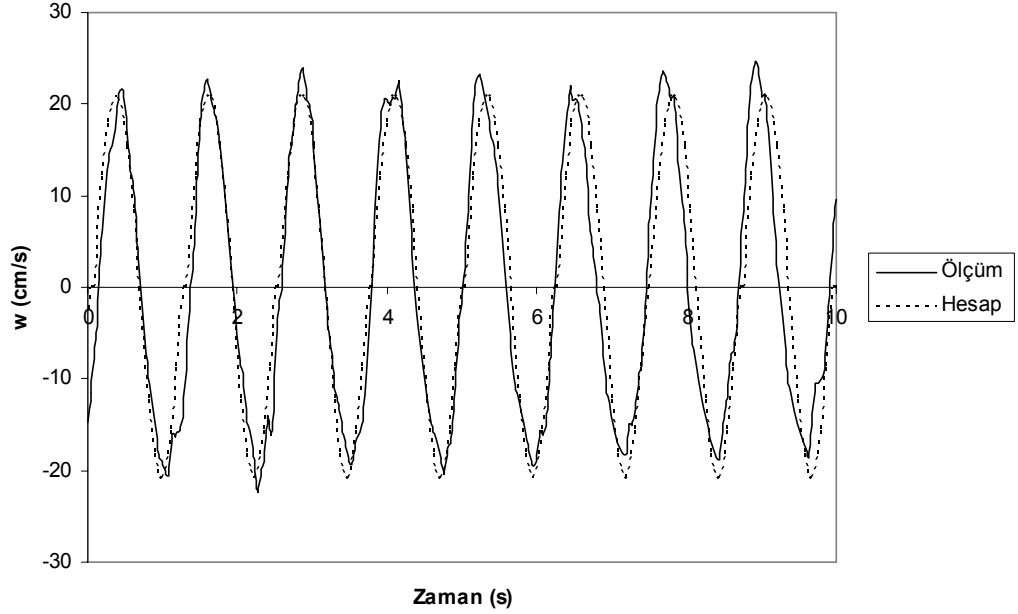
Şekil 5.78: Hız zaman serisi, u: yatay doğrultudaki hız, w: dikey doğrultudaki hız.

Hız ölçüm sonuçlarından beklenileceği gibi, yatay hız bileşeni sıfırken düşey hız bileşeninin pozitif ve negatif piklerini yaptığı, düşey hız bileşeni sıfırken de yatay hız bileşeninin maksimum ve minimum piklerini yaptığı görülmektedir. Dalga kanalında elde edilen koşullar geçiş koşulu olduğundan ($1/20 < d/L < 1/2$) dalga orbitalleri elips şeklindedir. Bu nedenle yatay hız bileşeni, düşey hız bileşeninden büyüktür. Derinlik boyunca hız zaman serilerinin tümü incelendiğinde u ve w arasındaki farkın derine doğru giderek arttığı da görülmüştür, bu da geçiş koşulunda beklenen bir durumdur.

Hız ölçümlerinin kontrolü açısından, Şekil 5.78’de verilen hız ölçümünün elde edildiği dalga için, dalga orbital hız bileşenleri yukarıda verilmiş olan denklemler ile de hesaplanmış ve ölçüm sonuçları ile hesaplanan sonuçların karşılaştırması Şekil 5.79’da verilmiştir.



a)



b)

Şekil 5.79: Ölçülen ve hesaplanan dalga orbital hızlarının karşılaştırması a) Yatay hız bileşeni (u) b) Düşey hız bileşeni (w).

Hesaplanan ve ölçülen orbital hızları karşılaştırıldığında sonuçların uyumlu olduğu görülmektedir. Yatay hız bileşeninde görülen fark, dalganın gerçekte tam simetrik olmamasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 5.78, Şekil 5.79 a ve b’de görüldüğü gibi dalga orbital hızı sıfır etrafında salınmaktadır. Dalgalar genellikle tam simetrik olmadıkları için dalga orbital hızının zamansal ortalaması sıfır olmamaktadır. Ancak dalga bileşenlerinin sıfırın etrafında

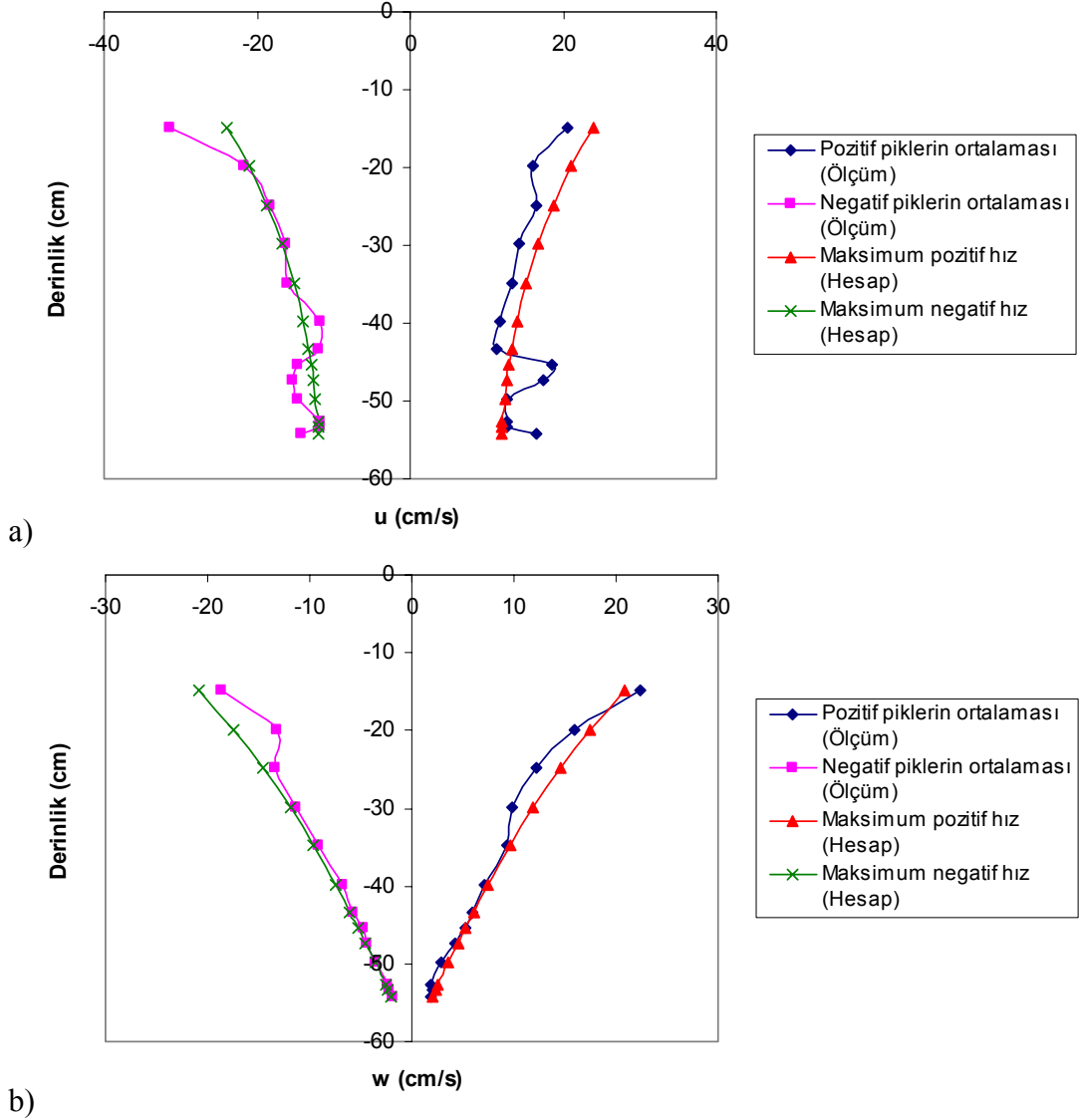
salınmasından dolayı, ortalama sıfıra yakın bir değer almaktadır. Bu durumda dalga orbital hızının zamansal ortalaması akımın yönü ile ilgili bir fikir vermekle beraber, hızın büyüklüğü ile ilgili bir fikir vermemektedir. Bu nedenle ölçümler sonucunda elde edilen hız zaman serilerinin, zamansal ortalama almanın yanı sıra başka bir yöntemle de değerlendirilmesi gerekmektedir. Zaman serisindeki maksimum ve minimum piklerin ortalamaları alınırsa bu değerler; dalga periyodu süresince açıktan kıyıya ve kıyıdan açığa doğru oluşan hızları (u için) verecektir. Bu yöntemle hem derinlik boyunca hızın değişimi görülecek, hem de bir noktada kıyıdan açığa ve açıktan kıyıya doğru oluşan hızlar arasındaki fark anlaşılacaktır. Bitkilenmenin olduğu bir alanda bu fark çok önemlidir, çünkü deney sonuçlarında da görüleceği gibi bitkilenme, dalga nedeniyle kıyıdan açığa ve açıktan kıyıya doğru oluşan akımların ikisini de etkilemektedir.

Zaman serisindeki pikleri elde etmek için 2 farklı algoritma kullanılabilir. Bunlardan birincisi, ilk pozitif veya negatif pikin meydana geldiği zamanı bulmak ve buna karşılık gelen hız değerini almak, ardından zamana bir dalga periyodu ekleyip ikinci piki bulmak ve bu şekilde ayrı ayrı tüm negatif ve pozitif pikleri bulup bunların ortalamalarının alınmasıdır. Matlab 2007a programı kullanılarak bu algoritma ile çalışan EK B1'deki program yazılmıştır.

Pikleri bulmanın ikinci yolu ise şu şekilde özetlenebilir: Öncelikle zaman serisindeki zaman-hız çiftleri pozitif ve negatif hız değerlerine göre alt matrislere atanır. Program ilk olarak hızın negatiften pozitive ya da pozitiften negatife geçtiği ilk noktayı bulur. Daha sonra işaretin değiştiği ikinci noktayı, bu şekilde tamamı negatif ya da tamamı pozitif hız değerlerinden oluşan alt matrisler elde edilmiş olur. Ardından pozitif alt matristeki maksimum, negatif alt matristeki minimum değer elde edilerek bu değerlerin ortalaması alınır. Bu algoritmaya göre yazılmış olan program EK B2'de verilmiştir.

Programın kullanılabilirliğinin anlaşılması için bir deneydeki tüm noktalar için piklerin ortalaması, birinci programla, ikinci programla ve manuel olarak bulunmuş ve bu sonuçlar karşılaştırılmıştır. Birinci programla elde edilen sonuçlar manuel olarak bulunan sonuçlardan çok farklıdır bu nedenle bu programın kullanışsız olduğu anlaşılmıştır. İkinci program ile manuel olarak bulunan sonuçlar karşılaştırıldığında ise sonuçların birbirine çok yakın olduğu görülmüş ve ölçülmüş olan hız-zaman serilerinin analizi için ikinci program kullanılmıştır.

Program kullanılarak, pozitif ve negatif yöndeki piklerin ortalamalarının alınmasıyla elde edilen maksimum hızlar ile hız denklemleri kullanılarak elde edilen maksimum yatay ve düşey hızlar bir deneydeki tüm profiller için karşılaştırılmış ve sonuçların uyumlu olduğu görülmüştür, Şekil 5.80’de 102h deneyinde A doğrultusundaki hız profili için yapılan karşılaştırma verilmiştir.



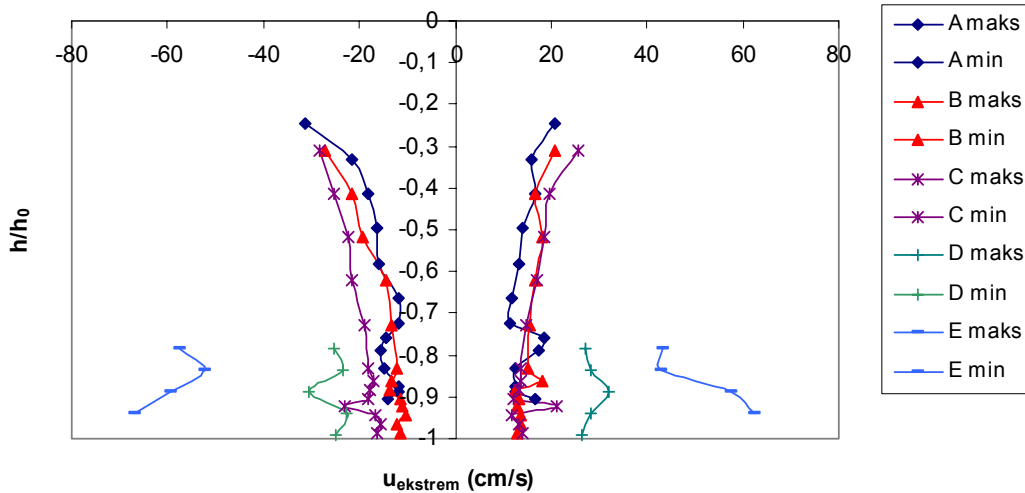
Şekil 5.80: 102h A hız profilinin ölçüm sonuçlarında program kullanılarak ve hesaplanarak elde edilen değerlerinin karşılaştırılması a) Yatay hız bileşeni (u), b) Düşey hız bileşeni (w).

Deneylerde, yukarıda açıklanmış olan konumlarda, derinlik boyunca yapılmış olan hız ölçüm sonuçlarından elde edilen zamansal ortalama hız profilleri ve yine yukarıda açıklandığı şekilde bulunmuş olan pik hız profilleri ile bu hız profillerinin yorumları aşağıda verilmiştir. Grafiklerde yatay hız bileşeni için pozitif yön, açıktan kıyıya doğru akımı, negatif yön ise kıyıdan açığa doğru meydana gelen akımı

göstermektedir, dikey hız bileşeninde ise pozitif yön yukarı doğru, negatif yön aşağı doğrudur.

Aşağıda hız grafikleri verilmiş olan deneylerden 102h ve 104h, hareketli tabanda, Konfigürasyon 1’de ($X_s=180$ cm) en büyük ve en küçük dalga için yapılmış hız ölçüm sonuçlarını göstermektedir. 302h ve 304h hareketli tabanda, Konfigürasyon 2’de ($X_s=163$ cm) en büyük ve en küçük dalga için yapılmış hız ölçüm sonuçlarını sergilemektedir. Benzer şekilde 102hr ve 104hr sabit tabanda, Konfigürasyon 1’de ($X_s=180$ cm) en büyük ve en küçük dalga için yapılmış hız ölçüm sonuçları ile 302hr ve 304hr sabit tabanda, Konfigürasyon 2’de ($X_s=163$ cm) en büyük ve en küçük dalga için yapılmış hız ölçüm sonuçlarını vermektedir. Grafiklerde ölçüm yapılan derinlik (h), ölçüm yapılan profildeki toplam derinliğe (h_0) bölünerek dikey eksen boyutsuz olarak verilmiştir.

102h deneyinde elde edilen maksimum ve minimum yatay hız bileşeni profillerinin verildiği Şekil 5.81 incelendiğinde, bitkili alandan önceki ölçüm noktaları için, bitkili (B) ve bitkisiz (C) tarafta kıyıya doğru oluşan hız profillerinin hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bununla beraber açığa doğru oluşan hız profilleri incelendiğinde bitkisiz taraftaki hızın bitkili tarafa nazaran derinlik boyunca daha büyük olduğu görülmektedir. Bu deneyde bitkilenmenin, bitkiden açıktaki bölge için, kıyıya doğru oluşan akımı etkilemezken açığa doğru olan akımı azalttığı görülmektedir.

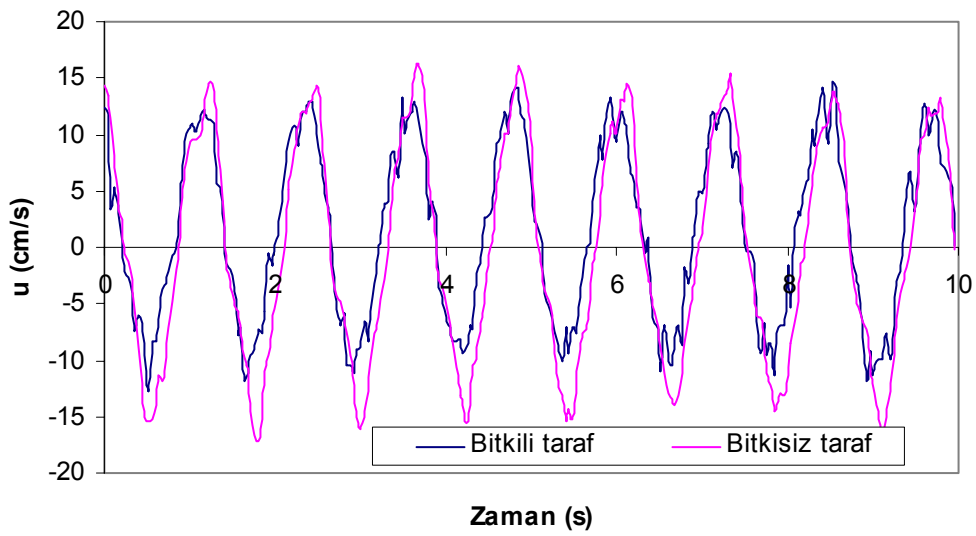


Şekil 5.81: 102h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.

Bitkili alandan sonraki hız profilleri karşılaştırıldığında kıyıdan açığa ve açıktan kıyıya doğru oluşan hızların bitkili tarafta bitkisiz tarafa nazaran daha düşük değerler

aldığı görülmektedir. Bu da bitkili alanın, bitkilenmeden kıyıya doğru olan bölgede hem kıyıdan açığa hem de açıktan kıyıya doğru oluşan akımı azalttığını göstermektedir.

B ve C’de tabana en yakın noktada ölçülmüş olan hız zaman serileri karşılaştırıldığında (Şekil 5.82), negatif tarafta (kıyıdan açığa doğru oluşan hız) bitkisiz alanda bitkili alana nazaran piklerin daha aşağıda olduğu görülmektedir. Bununla beraber pozitif tarafta (açıktan kıyıya doğru oluşan hız) piklerin bitkili ve bitkisiz taraf için hemen hemen üstüste olduğu görülmektedir. Bu durum yukarıdaki sonuçla uyumludur.



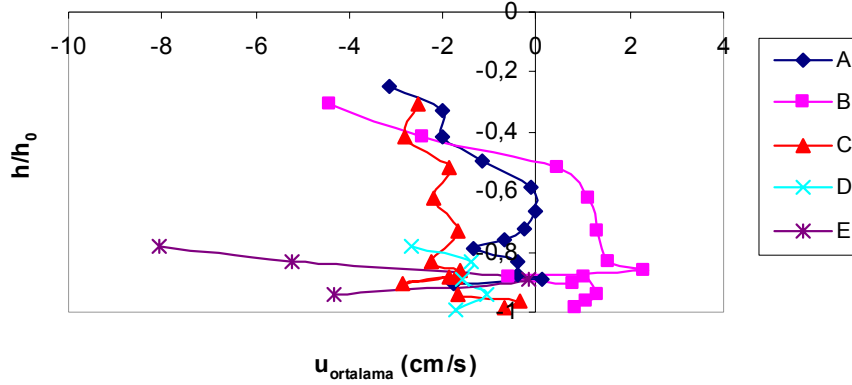
Şekil 5.82: Bitkili alandan önceki bölgede, bitkili (B) ve bitkisiz (C) tarafta aynı derinlikte ölçülmüş olan iki noktadaki hız zaman serilerinin karşılaştırılması (Deney No:102h-yatay hız bileşeni).

Lovas (2000) dalga orbital hızlarının zaman serilerinin, türbülans olmadığında düzgün olduğunu, oysa türbülans olduğunda akımın üstünde küçük çalkantıların olduğunu belirtmiştir. Şekil 5.82’de bu tekil noktada bitkili taraftaki hızın zaman serisindeki çalkantılar göz önüne alındığında daha türbülanslı olduğu görülmektedir.

Bitkilenmeden önceki bölgede bitkili (B) ve bitkisiz (C) alandaki zamansal ortalama yatay hız profilleri karşılaştırıldığında (Şekil 5.83) bitkisiz tarafta derinlik boyunca hızın negatif tarafta olduğu, bitkili tarafta ise -24cm’den daha derinde, bir nokta hariç, hızın pozitif tarafta olduğu görülmektedir. Bu durum bitkilenmenin kendinden önceki bölgede açığa doğru oluşan hızı azalttığı görüşünü desteklemektedir.

Bitkilenmeden kıyıya doğru olan bölgedeki zamansal ortalama hız profilleri karşılaştırıldığında bitkisiz tarafta (E) hızın negatif tarafta daha büyük olduğu yani

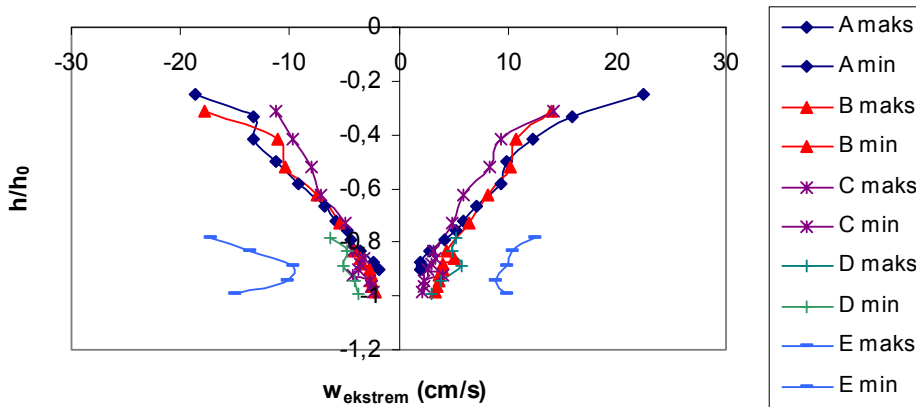
bitkili alanın açığa doğru olan hızı azalttığı görülmektedir. İki profilin de negatif tarafta olması, hem bitkili tarafta hem bitkisiz tarafta, açığa doğru oluşan hızın kıyıya doğru oluşan hızdan büyük olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.83: 102h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.

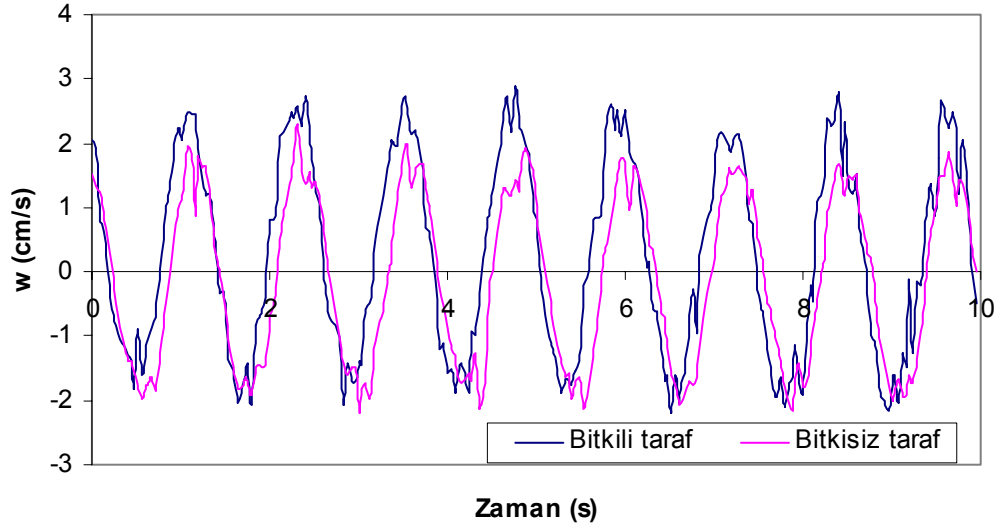
Bitkili alandan açığa doğru olan bölgede bitkili ve bitkisiz taraftaki dikey ekstrem hız profilleri karşılaştırılırsa (Şekil 5.84) pozitif tarafta (yukarı doğru) hız, bitkili tarafta bitkisiz taraftakinden daha büyüktür. Negatif tarafta (aşağı doğru) hız, -30cm'den daha derin olan bölgede bitkili ve bitkisiz tarafta hemen hemen aynıdır. -30 cm ile ölçüm yapılabilen su yüzeyine en yakın nokta arasında aşağı doğru hız, bitkili tarafta daha fazladır. Bu durum bitkilenmenin, açığa doğru olan bölgede, derinlik boyunca, yukarı doğru olan hızı arttırdığını, su seviyesine yakın bölgede de aşağı doğru olan hızı arttırdığını göstermektedir.

Bitkili alandan sonraki bölgede ise bitkili tarafta hem aşağı doğru hem de yukarı doğru hız bitkisiz taraftan düşüktür. Bu da bitkilenmenin kıyıya doğru olan bölgede dikey hız bileşenini iki yönde de azalttığı anlamına gelmektedir.



Şekil 5.84: 102h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.

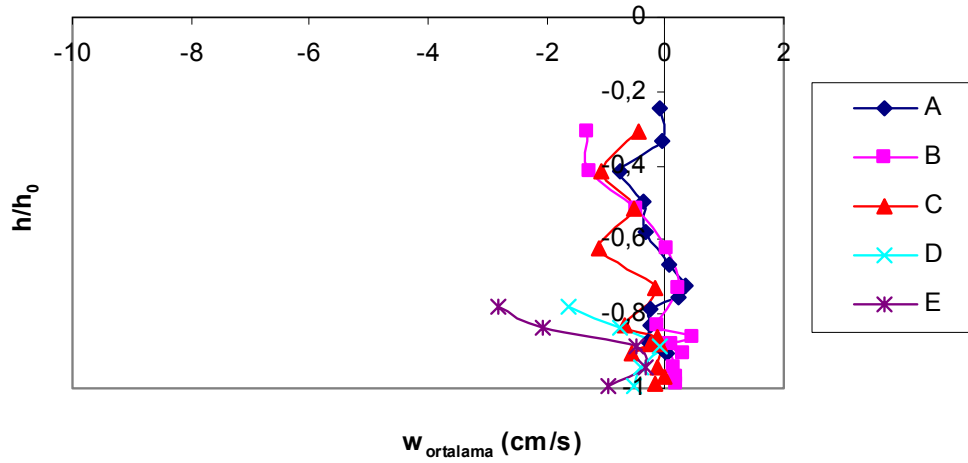
Bitkili ve bitkisiz taraftaki bitkilenmeden önceki bölgede tabana en yakın noktadaki hız-zaman serileri karşılaştırılırsa (Şekil 5.85) yukarı doğru hız bitkili alanda daha fazla olup aşağı doğru hız iki tarafta da aynıdır.



Şekil 5.85: Bitkili alandan önceki bölgede, bitkili (B) ve bitkisiz (C) tarafta aynı derinlikte ölçülmüş olan iki noktadaki hız zaman serilerinin karşılaştırılması (Deney No:102h-dikey hız bileşeni).

Bitkilenmeden açığa doğru olan bölge için zamansal ortalama dikey hız profilleri karşılaştırıldığında (Şekil 5.86), bitkili ve bitkisiz taraf arasındaki fark yatay hız bileşenindeki kadar belirgin olmasa da bitkisiz tarafta (C) zamansal ortalama hız profiline hep negatif tarafta olduğu, yani aşağı doğru hızın her zaman yukarı doğru olan hızdan fazla olduğu; oysa ki bitkili tarafta (B) -30cm'den daha derinde ortalama hızın pozitif tarafta olduğu görülmektedir. -30 cm ile su yüzeyi arasındaki bölgede ise hız profili negatife geçmektedir. Bu durum bitkilenmenin kendisinden önceki bölgede -30cm'den daha derin bölgede aşağı doğru hızı azalttığını fakat -30cm'in üstündeki bölgede hızı etkilemediğini göstermektedir.

Bitkilenmeden sonraki bölgede bitkili taraf (D) ile bitkisiz taraf (E) karşılaştırılırsa, bitkili tarafta ortalama hızın bitkisiz tarafa göre daha düşük olduğu yani bitkilenmenin aşağı doğru hızı azalttığı görülmektedir. İki tarafta da profilin negatif tarafta olması aşağı doğru hızın yukarı doğru hızdan fazla olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 5.86: 102h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.

Tüm hız ölçümleri yukarıdaki gibi değerlendirilmiş olup diğer deneyler için çizilen grafikler tekrar olmaması açısından EK C’de verilmiştir. Genel olarak hız ölçümlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir.

Bitkilenme, kendinden açıktaki bölgede de dalga orbital hızını etkilemektedir. Bitkilenmeden önceki bölgede bitkili kısım kıyıya doğru olan hızı (u) genellikle etkilemezken, kıyıdan açığa doğru olan hızı azaltmaktadır.

Bitkilenmeden sonra kıyıya doğru olan bölgede, bitkilenme, hem kıyıdan açığa doğru hem de açıktan kıyıya doğru olan yataydaki dalga orbital hızını (u) azaltmaktadır.

Dalga orbital hızının düşeydeki bileşeni (w) incelendiğinde, bitkilenmeden önceki bölgede, bitkinin yukarı doğru ve aşağı doğru olan hızı etkilemesi konusunda net bir sonuca ulaşılamamıştır.

Bitkilenmeden kıyıya doğru olan bölgede ise bitkilenmenin hem aşağı doğru hem de yukarı doğru düşey hız bileşenini azalttığı görülmektedir.

6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Çalışma Sonucunda Elde Edilen Ampirik Formüller

Deneylerde fırtına dalgaları sonucunda oluşan kıyı profilinin geometrik büyüklüklerinin bağımsız değişkenlere göre değişimini belirleyen ampirik formüllerin elde edilmesi için regresyon analizi yapılmıştır. Bölüm 3'te verilen literatür özeti, kıyı profilinin geometrik özelliklerinin değerlerini ağırlıklı olarak etkileyen boyutsuz büyüklüğün dalga dikliği parametresi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle regresyon analizi öncelikle her bir geometrik büyüklüğün dalga dikliğine bağlı olarak ifade edilmesi için yapılmıştır.

Deney sonuçları, beklendiği gibi bitkilenmenin olduğu ortamda kıyı profilinin geometrik özelliklerinin bitkilenmenin olmadığı ortama göre farklı olduğunu göstermektedir. Aynı zamanda bitkili durumda dalga dikliğinin yanı sıra, bitkili alanın konumunun da kıyı profilini değiştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, bitkinin yoğunluğunu ve yüzey alanını betimleyen $a(z)$ parametresinin de kıyı profili üzerinde etkili olduğu düşünülmektedir. Çalışma tek bir bitki üzerine yapıldığından $a(z)$ parametresi deneyler süresince değiştirilmemiştir ancak bu parametrenin de ampirik formüllerde yer alması gerekmektedir. Sıralanan sebeplerden dolayı, bitkili taraftaki kıyı profilinin geometrik büyüklükleri için, dalga dikliği, bitkili alanın başlangıç kıyı çizgisine mesafesi ve $a(z)$ parametresini de içeren çoklu regresyon analizleri yapılmıştır. Çoklu regresyon analizlerinde Microsoft Excel'in Analysis Toolpak modülü kullanılmıştır.

6.1.1 Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c)

Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesini (X_c) ifade eden, düzenli ve düzensiz dalgalar sonucunda oluşan kıyı profilleri için elde edilen denklemler ve bu denklemlerin determinasyon katsayıları (R^2) aşağıda verilmiştir.

Düzenli dalgalar için elde edilen denklemler (X_c , bitkisiz tarafta barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesini, X_{c_b} , bitkili tarafta barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesini göstermektedir.):

$$\frac{X_c}{L} = 5,4385 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{0,8675} \quad (R^2=0,96) \quad (6.1)$$

$$\frac{X_{c_b}}{L} = 6,0451 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{0,9803} \quad (R^2=0,92) \quad (6.2)$$

Bu iki denklem birbirine oranlanırsa

$$\frac{X_{c_b}}{X_c} = 1,1115 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{0,1128} \quad (6.3)$$

denkleminde ulaşılmaktadır.

Düzensiz dalgalar için elde edilen denklemler ise şöyledir:

$$\frac{X_c}{L} = 10,869 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{1,1237} \quad (R^2=0,51) \quad (6.4)$$

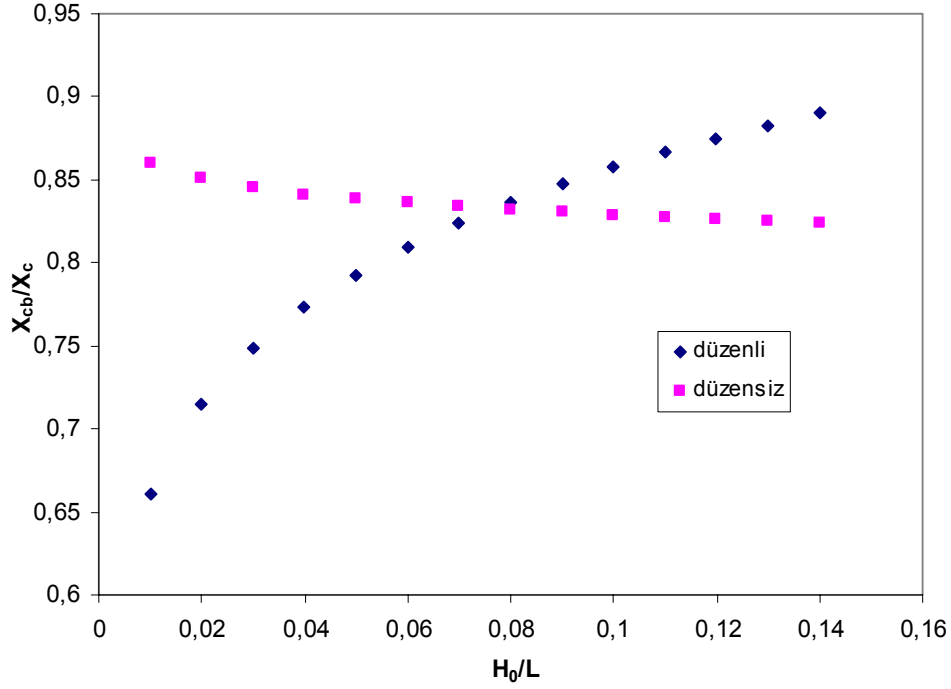
$$\frac{X_{c_b}}{L} = 8,6798 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{1,1075} \quad (R^2=0,73) \quad (6.5)$$

Bu iki denklem birbirine oranlanırsa

$$\frac{X_{c_b}}{X_c} = 0,7986 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{-0,0162} \quad (6.6)$$

denkleminde ulaşılmaktadır.

X_{c_b} / X_c oranı denklemleri değişen dalga dikliği değerlerinde, bitkili alandaki barın konumunun bitkisiz alandaki barın konumuna oranının nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 6.1’de dalga dikliğine göre düzenli ve düzensiz dalgalar için bu oranın değişimi verilmiştir.



Şekil 6.1: Bitkili ve bitkisiz durumlarda bar tepe noktası mesafeleri oranının dalga dikliği ile değişimi.

Sonuç olarak, bitkili durumda barın konumunun, bitkisiz durumda barın konumuna oranı, düzenli dalgalar için %65-%90 (ortalama %80), düzensiz dalgalar için %80-85'dir. Bu bulguya göre;

Bitkilenme kumların kıyıdan daha açığa taşınmalarına engel olmaktadır.

Taşıma mesafesi azaldığına göre, kum hareketine harcanan enerji azalmaktadır. Gelen enerji sabit olduğuna göre aradaki fark bitki tarafından harcanmaktadır.

Düzenli dalgalarda dalga dikliği arttıkça yani dalga kırılmaya yaklaştıkça bitkilerin etkisi göreceli olarak azalmaktadır.

Dalga dikliğinin yanı sıra, bitkinin konumunun ve bitki yüzey alanının etkisini de içeren, barın başlangıç kıyı çizgisine mesafesi formülleri düzenli ve düzensiz dalgalar için çoklu regresyon analizi ile elde edilmiş olup aşağıda verilmiştir:

Düzenli dalgalar için:

$$\frac{X_{cb}}{L} = 1,115 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{0,794} \left(\frac{X_s}{L} \right)^{0,718} (a(z)L)^{0,329} \quad (R^2=0,96) \quad (6.7)$$

Düzensiz dalgalar için

$$\frac{X_{c_b}}{L} = 0,001 \left(\frac{H_0}{L} \right)^{-0,09} \left(\frac{X_s}{L} \right)^{2,088} (a(z)L)^{1,556} (R^2=0,99) \quad (6.8)$$

Düzenli dalgalar için elde edilmiş olan, hem tek değişkenli hem de çok değişkenli formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu görülmektedir. Düzensiz dalgalar için elde edilmiş formüllerde, tek değişkenli formüllerin determinasyon katsayılarının düşük olduğu, çok değişkenli formülün determinasyon katsayısının yüksek olduğu görülmektedir.

6.1.2 Bar Alanı

Kıyı profilinin geometrik özellikleri için elde edilmiş formüllerin genel formu aşağıdaki gibidir:

Tek değişkenli: $y = ax_1^b$

Çok değişkenli: $y = ax_1^b x_2^c x_3^d$

Bu formüllerde x_1 , H_0 / L , x_2 , X_s / L , x_3 , $a(z)L$ 'dir.

Bar alanı için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1'de düzenli dalgalar sonucu oluşan bar için, bar alanı formüllerinin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu, fakat düzensiz dalgalar için elde edilen formüllerin özellikle tek değişkenli denklemler için çok düşük olduğu görülmektedir. Bu durumda düzensiz dalgalar için elde edilen formüller bar alanı hesabı için kullanılabılır değildir.

Çizelge 6.1: Bar alanı için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
A_{bar} / L^2	Düzenli	1	1,9869	1,9093	-	-	0,94
A_{bar_b} / L^2	Düzenli	1	3,132	2,179	-	-	0,92
A_{bar_b} / A_{bar}	Düzenli	1	1,5763	0,2697	-	-	-
A_{bar} / L^2	Düzensiz	1	5,3361	2,4321	-	-	0,35
A_{bar_b} / L^2	Düzensiz	1	0,0712	0,9766	-	-	0,04
A_{bar_b} / A_{bar}	Düzensiz	1	0,0133	-1,4555	-	-	-
A_{bar_b} / L^2	Düzenli	3	0,00004	2,639	2,815	3,704	0,94
A_{bar_b} / L^2	Düzensiz	3	4,4×10 ⁻¹⁵	1,963	8,569	9,797	0,70

6.1.3 Erozyon Alanı

Erozyon alanı için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.2’de verilmiştir. Düzenli dalgalar sonucu oluşan kıyı profilinin erozyon alanı için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu fakat düzensiz dalgalar için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının düşük olduğu görülmektedir. Bitkili taraftaki erozyon alanı için çok değişkenli denklemlerin ise, determinasyon katsayılarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.2: Erozyon alanı için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
$A_{erozyon} / L^2$	Düzenli	1	9,1747	2,2905	-	-	0,96
$A_{erozyon_b} / L^2$	Düzenli	1	6,1765	2,1929	-	-	0,97
$A_{erozyon_b} / A_{erozyon}$	Düzenli	1	0,6732	-0,0976	-	-	-
$A_{erozyon} / L^2$	Düzensiz	1	0,6814	1,4151	-	-	0,31
$A_{erozyon_b} / L^2$	Düzensiz	1	0,9377	1,5858	-	-	0,29
$A_{erozyon_b} / A_{erozyon}$	Düzensiz	1	1,3761	0,1707	-	-	-
$A_{erozyon_b} / L^2$	Düzenli	3	0,89249	2,185	0,586	0,561	0,90
$A_{erozyon_b} / L^2$	Düzensiz	3	6,44×10 ¹¹	4,85	-6,566	-5,183	0,80

6.1.4 Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi

Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.3'te verilmiştir. Düzenli dalgalar sonucu oluşan kıyı profilinin erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu, buna karşın düzensiz dalgalar için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının düşük olduğu görülmektedir. Bitkili taraftaki erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için çok değişkenli denklemlerin ise determinasyon katsayılarının hem düzenli hem de düzensiz dalgalar için oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.3: Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
X_b / L	Düzenli	1	15,019	1,6304	-	-	0,94
X_{b_b} / L	Düzenli	1	9,1133	1,4589	-	-	0,92
X_{b_b} / X_b	Düzenli	1	0,6068	0,1715	-	-	-
X_b / L	Düzensiz	1	1,752	0,8852	-	-	0,22
X_{b_b} / L	Düzensiz	1	1,7954	0,9316	-	-	0,18
X_{b_b} / X_b	Düzensiz	1	1,0248	0,0464	-	-	-
X_{b_b} / L	Düzenli	3	0,161	1,683	0,948	1,387	0,86
X_{b_b} / L	Düzensiz	3	$8,9 \times 10^9$	3,245	-5,476	-4,559	0,86

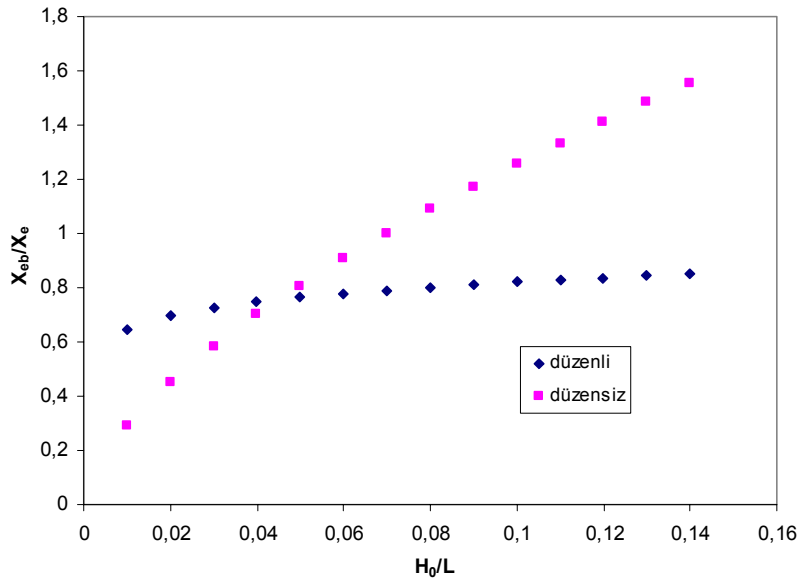
6.1.5 Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi

Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.4'te verilmiştir. Düzenli dalgalar sonucu oluşan kıyı profilinin denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu, düzensiz dalgalar için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının ortalama olduğu görülmektedir. Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için çok değişkenli denklemlerin ise, determinasyon katsayılarının hem düzenli hem de düzensiz dalgalar için oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.4: Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
X_e / L	Düzenli	1	4,6065	0,8968	-	-	0,94
X_{e_b} / L	Düzenli	1	4,8106	1,0011	-	-	0,91
X_{e_b} / X_e	Düzenli	1	1,0443	0,1043	-	-	-
X_e / L	Düzensiz	1	3,6719	0,909	-	-	0,50
X_{e_b} / L	Düzensiz	1	19,974	1,5459	-	-	0,71
X_{e_b} / X_e	Düzensiz	1	5,4397	0,6369	-	-	-
X_e / L	Düzenli	3	3,39	0,811	0,322	-	0,95
X_{e_b} / L	Düzensiz	3	7795,2	1,019	-1,77	-2,21	0,95

X_{e_b} / X_e oranı denklemleri değişen dalga dikliği değerlerinde, bitkili alandaki denge noktası konumunun bitkisiz alandaki denge noktası konumuna oranının nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 6.2’de dalga dikliğine göre düzenli ve düzensiz dalgalar için bu oranın değişimi verilmiştir.



Şekil 6.2: Bitkili ve bitkisiz durumlarda denge noktası mesafeleri oranının dalga dikliği ile değişimi.

Grafikte, düzenli dalgalar için, bitkili ve bitkisiz taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi oranının 0,6–0,8 arasında kaldığı görülmektedir ki, bu da bitkilenmenin denge noktasının konumunu kıyı çizgisine, bitkisiz alana nazaran yaklaştırdığını göstermektedir.

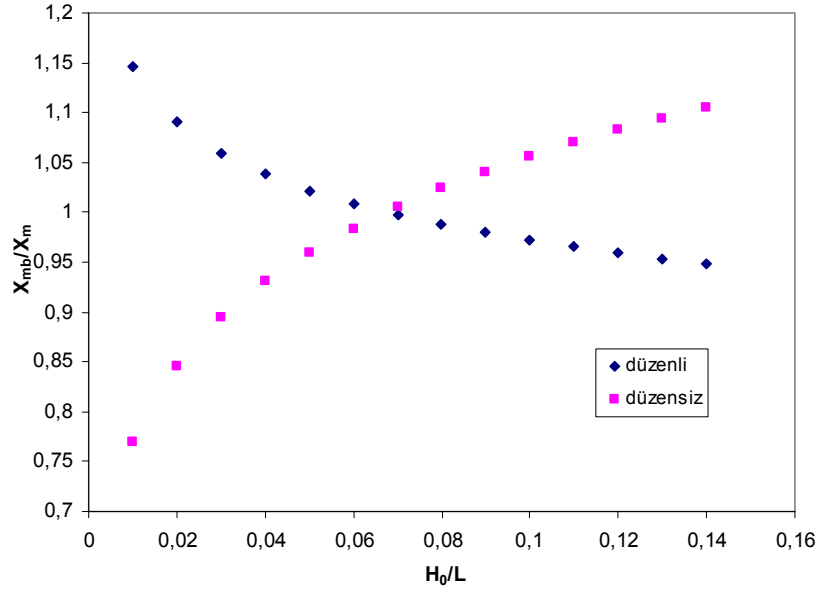
6.1.6 Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi

Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.5'te verilmiştir. Düzenli dalgalar sonucu oluşan kıyı profilinin erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu, düzensiz dalgalar için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının ise düşük olduğu görülmektedir. Bitkili taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için çok değişkenli denklemlerine bakılırsa, özellikle düzenli dalgalar için determinasyon katsayısının oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.5: Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
X_m / L	Düzenli	1	3,9583	0,9657	-	-	0,96
X_{m_b} / L	Düzenli	1	3,2628	0,8941	-	-	0,97
X_{m_b} / X_m	Düzenli	1	0,8243	-0,0716	-	-	-
X_m / L	Düzensiz	1	1,089	0,4078	-	-	0,39
X_{m_b} / L	Düzensiz	1	1,5781	0,5454	-	-	0,41
X_{m_b} / X_m	Düzensiz	1	1,4491	0,1376	-	-	-
X_m / L	Düzenli	3	0,197	0,885	0,847	0,816	0,97
X_{m_b} / L	Düzensiz	3	0,262	1,1	0,639	1,01	0,68

X_{m_b} / X_m oranı denklemleri, değişen dalga dikliği değerlerinde, bitkili alandaki erozyon başlangıcının bitkisiz alandaki erozyon başlangıcına oranının nasıl değiştiğini göstermektedir. Şekil 6.3'te dalga dikliğine göre düzenli ve düzensiz dalgalar için bu oranın değişimi verilmiştir. Bu oranın 1 civarında olduğu görülmektedir ki, bu da bitkilenmenin erozyon başlangıç noktasını değiştirmedığı sonucunu desteklemektedir.



Şekil 6.3: Bitkili ve bitkisiz durumlarda erozyon başlangıç noktası oranının dalga dikliği ile değişimi.

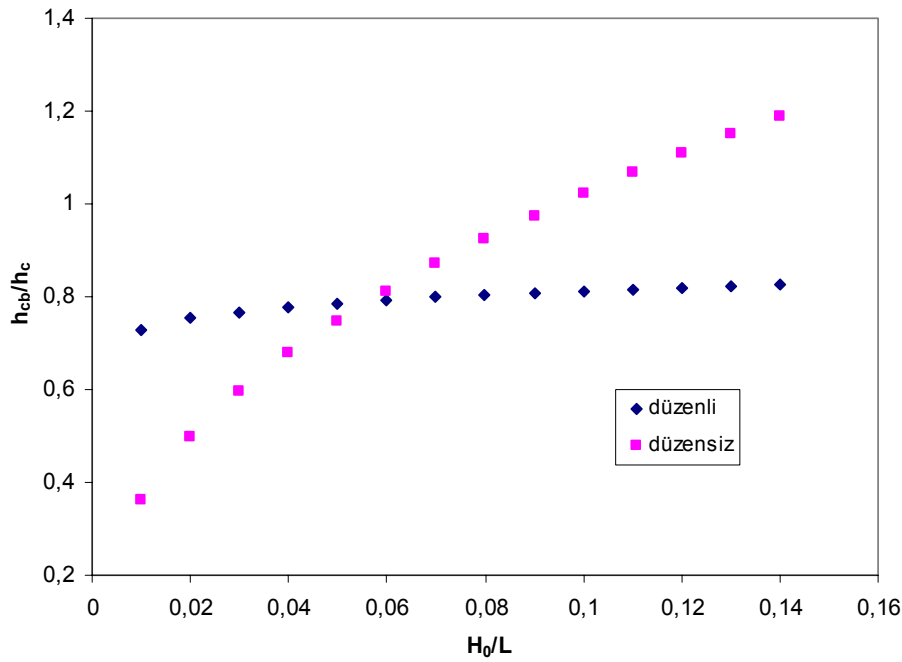
6.1.7 Bar tepe noktası derinliği

Bar tepe noktası derinliği için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.6’da verilmiştir. Düzenli dalgalar sonucu oluşan bar tepe noktasının derinliği için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu, düzensiz dalgalar için elde edilen formüllerden bitkisiz taraf için bulunan formülün determinasyon katsayısı düşükken, bitkili taraf için elde edilen formülün determinasyon katsayısının yüksek olduğu görülmektedir. Bitkili taraftaki bar tepe noktasının derinliği için çok değişkenli denklemlerine bakılırsa hem düzenli hem de düzensiz dalgalar için elde edilmiş olan formülün determinasyon katsayılarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.6: Bar tepe noktası derinliği için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
h_c / L	Düzenli	1	0,4363	0,7105	-	-	0,91
h_{c_b} / L	Düzenli	1	0,3945	0,7572	-	-	0,84
h_{c_b} / h_c	Düzenli	1	0,9042	0,0467	-	-	-
h_c / L	Düzensiz	1	0,4838	0,7022	-	-	0,45
h_{c_b} / L	Düzensiz	1	1,3876	1,1505	-	-	0,87
h_{c_b} / h_c	Düzensiz	1	2,8681	0,4483	-	-	-
h_c / L	Düzenli	3	0,621	0,485	0,177	-0,378	0,96
h_{c_b} / L	Düzensiz	3	3,289	0,619	-0,378	-0,714	0,95

h_{c_b} / h_c oranının dalga dikliğine göre değişimi Şekil 6.4'te verilmiştir. Bu oranın düzenli dalgalar için 0,8 olduğu görülmektedir, bu da bitkilenmenin, barın yerini belli bir oranda kıyı çizgisine yaklaştırdığı sonucunu desteklemektedir.



Şekil 6.4: Bitkili ve bitkisiz durumlarda bar tepe noktası derinliği oranının dalga dikliği ile değişimi.

6.1.8 Denge noktası derinliği

Denge noktası derinliği ile denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi arasında Şekil 3.5'te de görüldüğü gibi, geometrik $h_e = X_e \times \tan \beta$ bağıntısı mevcuttur. Bu nedenle, burada denge noktası derinliği için denklemler verilmeyecektir. Denge noktası derinliği, denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin kıyı eğimi ile çarpılması ile hesap edilebilir.

6.1.9 Erozyon başlangıç noktası yüksekliği

Erozyon başlangıç noktası yüksekliği ile erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi arasında Şekil 3.5'te görülen geometrik $h_m = X_b \times \tan \beta$ bağıntısı mevcuttur. Bu nedenle, burada erozyon başlangıç noktası yüksekliği için denklemler verilmeyecektir. Erozyon başlangıç noktası yüksekliği, X_b 'nin kıyı eğimi ile çarpılması ile hesap edilebilir.

6.1.10 Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığı

Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığı için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.7'de verilmiştir. Düzenli dalgalar sonucu oluşan bar tepe noktasının derinliği için elde edilen formüllerin determinasyon katsayılarının yüksek olduğu fakat düzensiz dalgalar için elde edilen formüller determinasyon katsayılarının düşük olduğu görülmektedir. Çok değişkenli denklemlerin determinasyon katsayılarının ise oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.7: Erozyon ve bar alanlarının ağırlık merkezlerinin uzaklığı için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
$X_{G_e G_b} / L$	Düzenli	1	8,5952	0,9696	-	-	0,96
$X_{(G_e G_b)_b} / L$	Düzenli	1	8,5902	1,0207	-	-	0,95
$X_{(G_e G_b)_b} / X_{G_e G_b}$	Düzenli	1	0,9994	0,0511	-	-	-
$X_{G_e G_b} / L$	Düzensiz	1	3,3929	0,6331	-	-	0,51
$X_{(G_e G_b)_b} / L$	Düzensiz	1	4,7277	0,7896	-	-	0,61
$X_{(G_e G_b)_b} / X_{G_e G_b}$	Düzensiz	1	1,3934	0,1565	-	-	-
$X_{G_e G_b} / L$	Düzenli	3	0,459	1,07	0,817	0,9	0,92
$X_{(G_e G_b)_b} / L$	Düzensiz	3	0,014	0,381	1,478	1,355	0,88

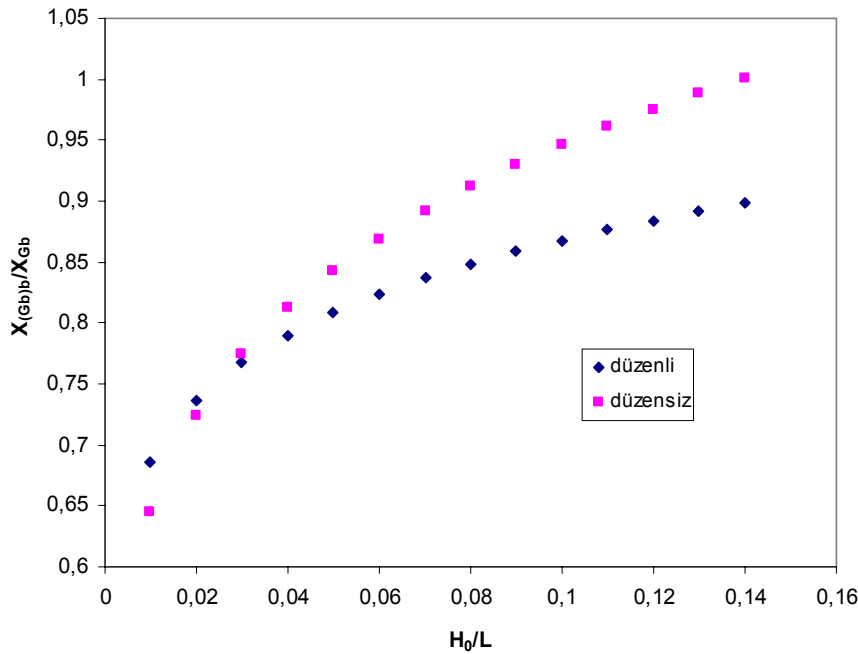
6.1.11 Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi

Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için elde edilmiş formüllerin katsayıları ve determinasyon katsayıları Çizelge 6.8’de verilmiştir. Tüm formüllerin determinasyon katsayılarının oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Çizelge 6.8: Barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için bulunan formüllerin katsayıları.

Geometrik büyüklük	Dalga türü	Değişken adedi	a	b	c	d	R ²
X_{G_b} / L	Düzenli	1	6,2074	0,8548	-	-	0,97
$X_{(G_b)_b} / L$	Düzenli	1	6,8199	0,9572	-	-	0,97
$X_{(G_b)_b} / X_{G_b}$	Düzenli	1	1,0987	0,1024	-	-	-
X_{G_b} / L	Düzensiz	1	5,2363	0,8415	-	-	0,67
$X_{(G_b)_b} / L$	Düzensiz	1	7,26	1,0075	-	-	0,80
$X_{(G_b)_b} / X_{G_b}$	Düzensiz	1	1,3865	0,1660	-	-	-
X_{G_b} / L	Düzenli	3	0,868	0,921	0,656	0,573	0,96
$X_{(G_b)_b} / L$	Düzensiz	3	0,081	0,514	1,093	0,892	0,88

Bitkili taraftaki barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin bitkisiz tarafa oranının, düzenli dalgalar için 0,7–0,9 arasında, düzensiz dalgalar içinse 0,65–1 arasında olduğu görülmektedir (Şekil 6.5).



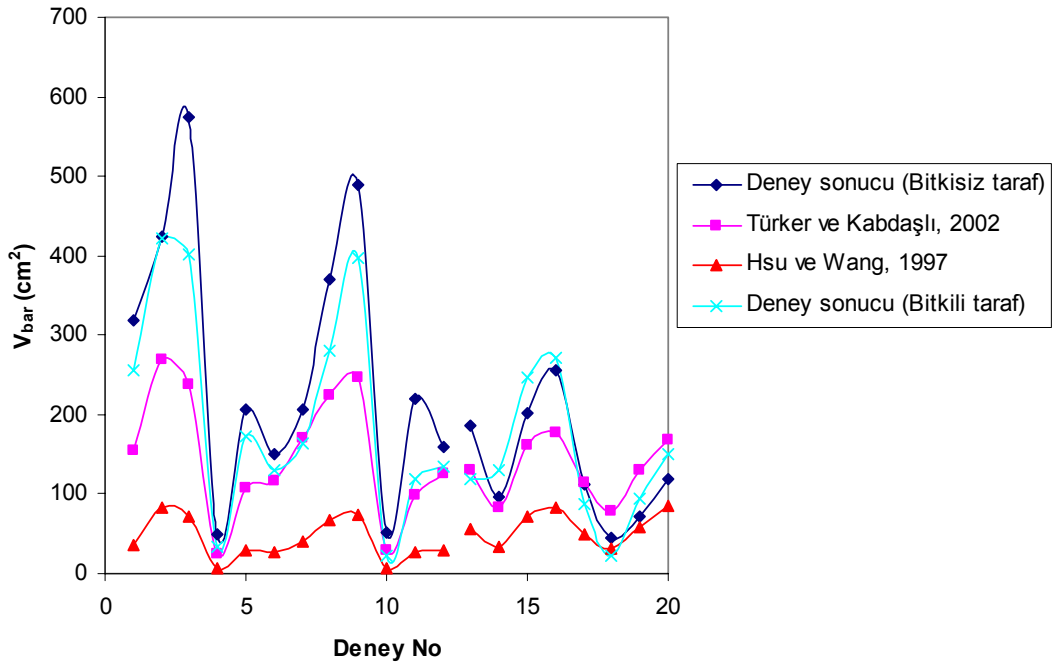
Şekil 6.5: Bitkili ve bitkisiz durumlarda barın ağırlık merkezinin başlangıç kıyı çizgisine mesafesi oranının dalga dikliği ile değişimi

6.2 Literatürdeki Ampirik Formüllerin Bu Çalışmanın Sonuçlarına Uygulanması

Literatür özetinin kıyı profilinin geometrik özellikleri bölümünde, daha önce yapılmış olan çalışmalarda kıyı profilinin geometrik parametreleri için bulunmuş olan formüller verilmişti. Literatürdeki ve bu çalışmadaki formül türetilen ortak parametreler; birim boydaki bar hacmi ($V_{\text{bar}}-A_{\text{bar}}$), erozyon kesişim noktası (X_b), denge noktası derinliği (h_e), bar tepe noktası derinliği (h_c), erozyon derinliği (h_m), barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c), denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_e) ve erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_m)'dir.

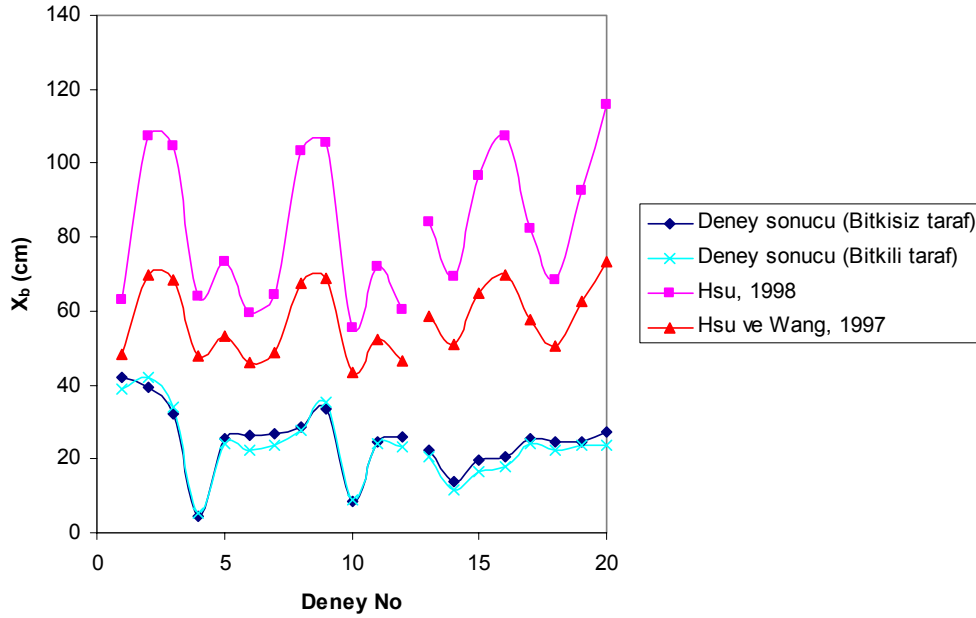
Bu bölümde, bu çalışmanın dalga ve ortam verileri, literatürdeki formüllerde yerine konarak daha önceden bulunmuş olan formüllerin verdiği sonuçlar ile deney sonuçlarının ne kadar uyumlu olduğuna bakılmıştır (Şekil 6.6–6.13).

Bar alanı için, deney sonuçları ile karşılaştırılan formüller; Denklem 3.3 ve 3.5 (Türker ve Kabdaşlı, 2002) ile Denklem 3.14'tür (Hsu ve Wang, 1997) (Şekil 6.6).



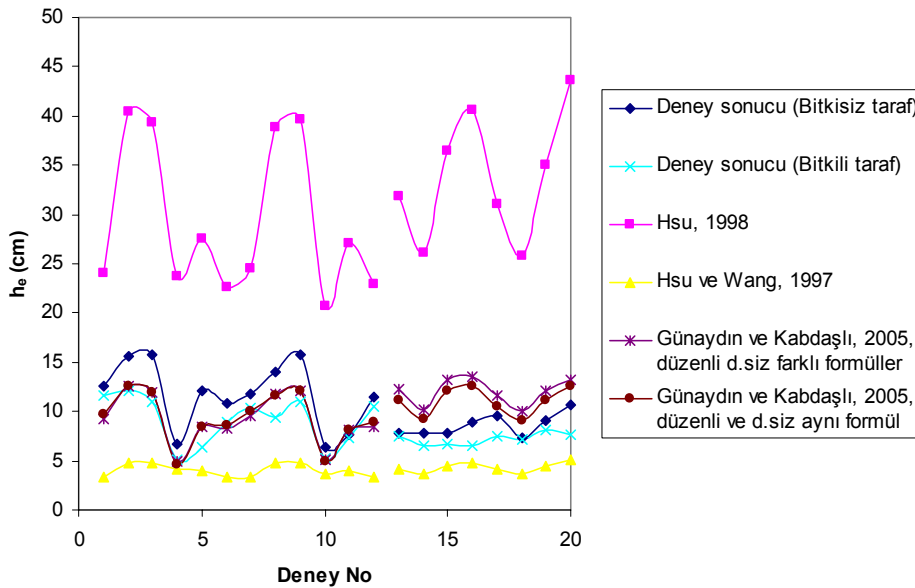
Şekil 6.6: Birim boydaki bar hacmi ($V_{\text{bar}}-A_{\text{bar}}$) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için literatürde verilen formüller; Denklem 3.9 (Hsu, 1998) ve Denklem 3.19'dur (Hsu ve Wang, 1997). Bu formüllerin sonuçlarıyla deney sonuçlarının karşılaştırması Şekil 6.7'de verilmiştir.



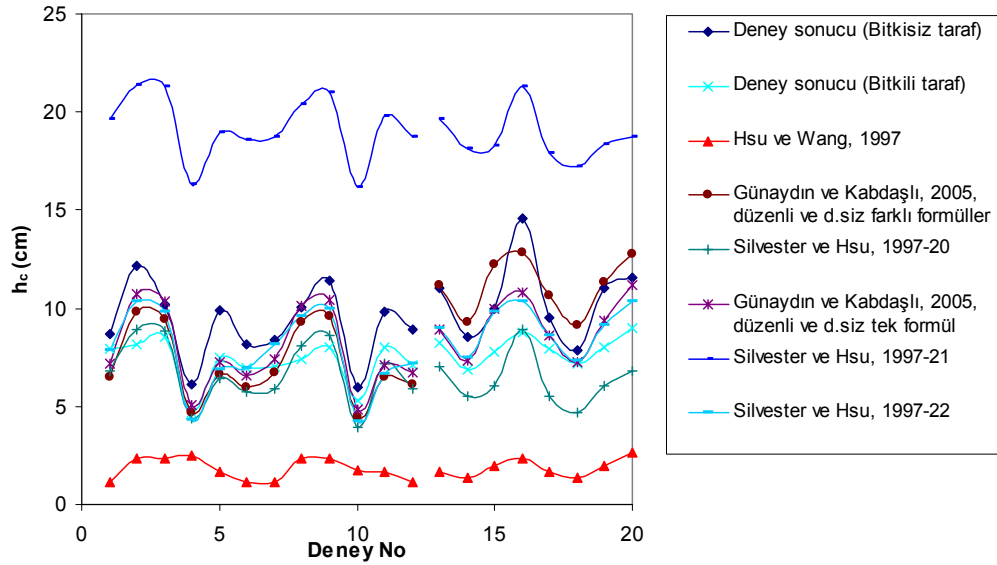
Şekil 6.7: Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

Denge noktası derinliği için literatürde verilen formüller; Denklem 3.11 (Hsu, 1998), Denklem 3.17 (Hsu ve Wang, 1997), Denklem 3.41, 3.42 ve 3.43'tür (Günaydın ve Kabdaşlı, 2005) (Şekil 6.8).



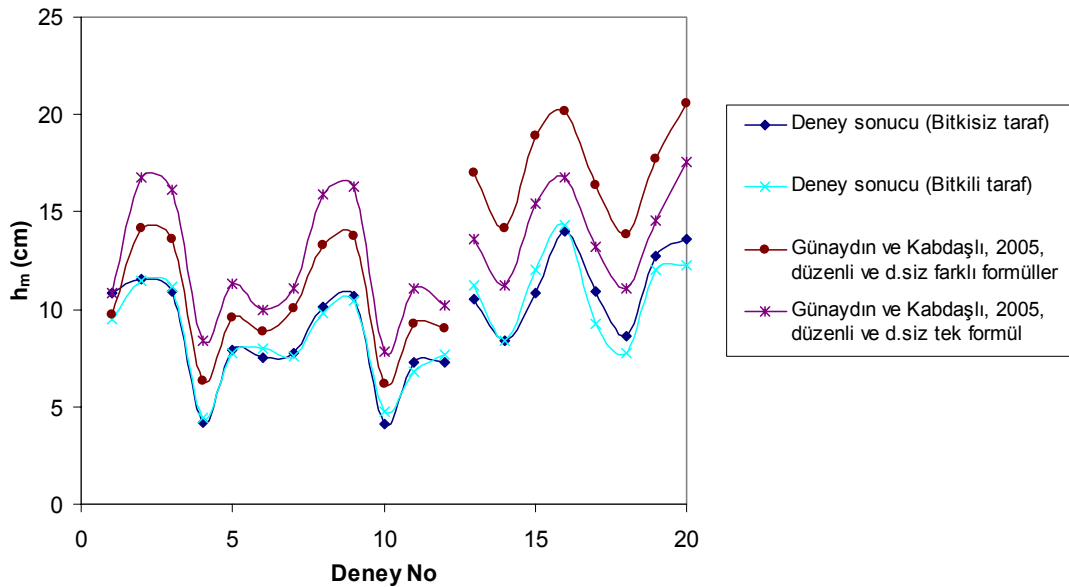
Şekil 6.8: Denge noktası derinliği (h_e) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

Bar tepe noktası derinliği için literatürde çok sayıda formül verilmiştir, bunlar; Denklem 3.15 (Hsu ve Wang, 1997), Denklem 3.20, 3.21 ve 3.22 (Silvester ve Hsu, 1997), Denklem 3.35, 3.36 ve 3.37'dir (Günaydın ve Kabdaşlı, 2005) (Şekil 6.9).



Şekil 6.9: Bar tepe noktasının derinliği (h_c) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

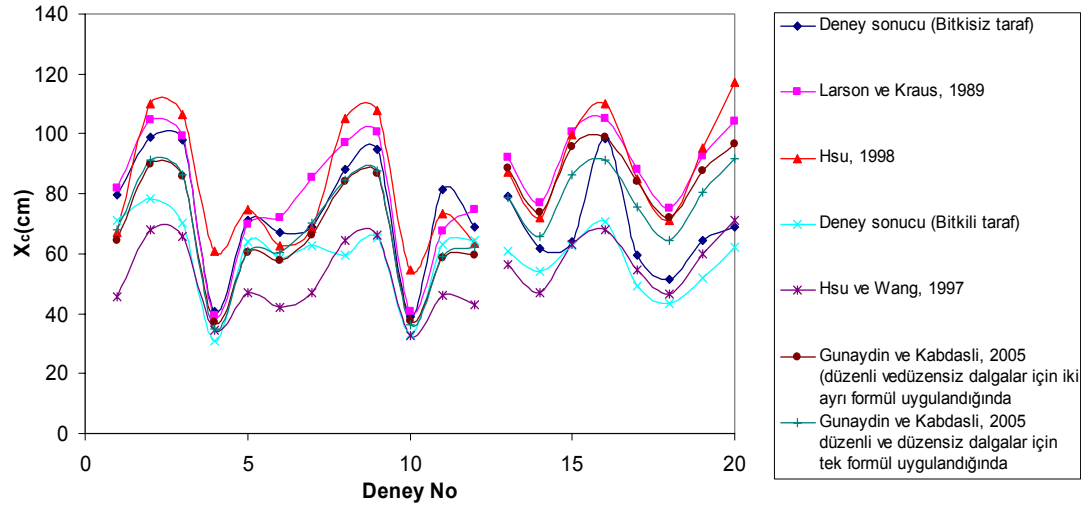
Erozyon derinliği için literatürde verilen formüller; Denklem 3.29, 3.30 ve 3.31'dir (Günaydın ve Kabdaşlı, 2005).



Şekil 6.10: Erozyon derinliği (h_m) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması

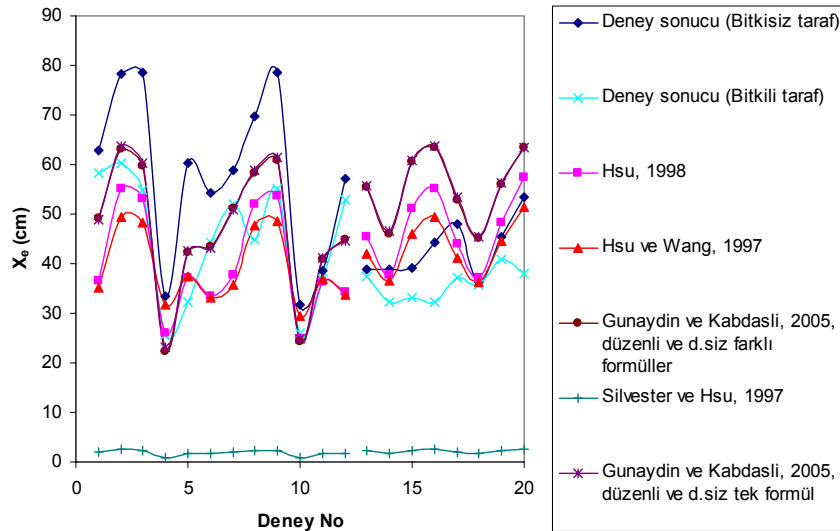
Bar tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için literatürde verilen formüller; Denklem 3.6 (Larson ve Kraus, 1989); Denklem 3.10 (Hsu, 1998),

Denklem 3.16 (Hsu ve Wang, 1997), Denklem 3.32, 3.33 ve 3.34'tür (Günaydın ve Kabdaşlı, 2005) (Şekil 6.11).



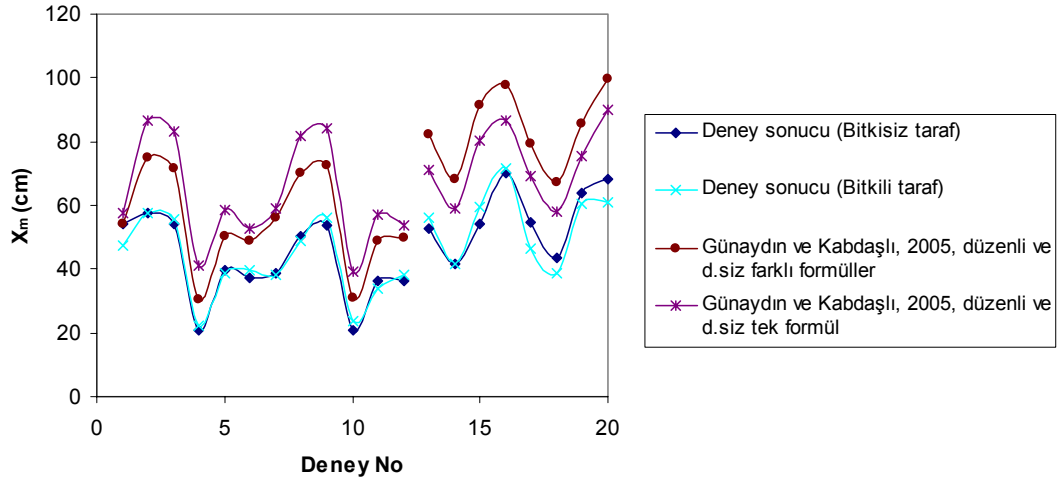
Şekil 6.11: Barın tepe noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_c) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için literatürde verilen formüller; Denklem 3.12 (Hsu, 1998), Denklem 3.18 (Hsu ve Wang, 1997), Denklem 3.24 (Silvester ve Hsu, 1997), Denklem 3.38, 3.39 ve 3.40'tır (Günaydın ve Kabdaşlı, 2005) (Şekil 6.12).



Şekil 6.12: Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_e) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi için literatürde verilen formüller; Denklem 3.26, 3.27 ve 3.28'dir (Günaydın ve Kabdaşlı, 2003) (Şekil 6.13).



Şekil 6.13: Erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi (X_m) için verilen formüllerin deney sonuçlarına uygulanması.

Grafikler incelendiğinde, kıyı profilinin geometrik büyüklükleri için literatürdeki formüllerin verdiği sonuçlar ile deney sonuçlarının oldukça uyumlu olduğu görülmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, laboratuvar ortamında deneyler yapılarak, dalganın deniz tabanından etkilendiği yakın kıyı bölgesinde, *Posidonia oceanica* çayırlarının dalga özelliklerine ve kıyıya dik katı madde hareketine etkisi belirlenmiş, fırtına dalgaları altında oluşan kıyı profilinin geometrik özelliklerinin, dalga özellikleri ve bitkilenme özelliklerine göre hesaplanabilmesi için ampirik formüller önerilmiştir. Aynı zamanda, bitkisiz durumda kıyı profilinin geometrik özelliklerinin belirlenmesi için dalga özelliklerine bağlı formüller önerilmiş ve bitkisiz durumdaki bu formüllerle elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer formüllerle elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Çalışma, *Posidonia oceanica* türü deniz çayırlarının kıyı profiline etkisini araştıran ilk çalışma olduğu gibi, herhangi bir deniz çayırı türünün fırtına dalgaları etkisinde oluşan kıyı profiline etkisini araştıran ve ampirik formüller öneren ilk çalışma olma özelliğini de taşımaktadır. Ayrıca bu çalışma *Posidonia oceanica*'nın ölçekli olarak modellendiği ilk çalışmadır. Literatürde *Posidonia oceanica*'nın dalga orbital hızlarına etkisini araştıran bir çalışmaya da rastlanmamıştır. Bu açılarından çalışma eşsizdir ve literatürdeki önemli bir boşluğu doldurmaktadır.

Posidonia oceanica çayırlarının dalga özellikleri ve kıyıdaki katı madde hareketine etkisini araştırmak amacıyla yapılmış olan bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

Bitkili alan, kıyı profilinin önemli bölümlerinden biri olan ve dalgaların kırılmasını sağlayan barın, kıyıya daha yakın oluşmasına neden olmaktadır. Bitkili durumda barın konumunun kıyı çizgisine mesafesinin, bitkisiz durumda barın konumunun kıyı çizgisine mesafesine oranı, düzenli dalgalar için %65-%90 (ortalama %80 denilebilir), düzensiz dalgalar için %80-85'dir. Bu bulguya göre;

Bitkilenme kumların kıyıdan daha açığa taşınmalarına engel olmaktadır.

Taşıma mesafesi azaldığı için kum hareketine harcanan enerji azalmaktadır. Gelen enerji sabit olduğuna göre aradaki fark bitki tarafından harcanmaktadır.

Düzenli dalgalarda dalga dikliği arttıkça yani dalga kırılmaya yaklaştıkça bitkilerin etkisi göreceli olarak azalmaktadır.

Düzenli dalgalarda, barın yerinin bitki alanının yerinin değişimine göre belirgin bir değişim göstermediği görülmektedir. Düzensiz dalgalarda, bitkili alan kıyıdan açığa gittikçe bar daha derin bölgede oluşmaktadır.

Düzenli dalgalarda, bar alanı, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmakta ve aynı dalga dikliği için bitkisiz tarafta daha büyük olmaktadır, bitkili ve bitkisiz alandaki bar alanları küçük dalga dikliklerinde birbirine daha yakınken, dalga dikliği arttıkça aralarındaki fark da artmaktadır. Düzensiz dalgalarda ise, bar alanının dalga dikliğindeki artış ile arttığı görülmekte ve aynı dalga dikliği için bazı deneylerde bitkili tarafta bar alanının daha büyük olduğu, bazı deneylerde ise tam tersine bitkisiz tarafta bar alanının daha büyük olduğu görülmektedir.

Düzenli dalgalarda bar tepe noktasının bitkili alanın yerine göre değişimi ile ilgili belirgin bir eğilim görülmemektedir. Düzensiz dalgalarda, bar tepe noktası derinliğinin, bitkili alan kıyıya yaklaştıkça arttığı görülmektedir.

Düzenli ve düzensiz dalgalarda erozyon alanı, bitkisiz tarafta, bitkili tarafa göre fazladır. Bitkili taraf ile bitkisiz tarafta görülen erozyon alanları arasındaki fark düzenli dalgalarda, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmaktayken, düzensiz dalgalarda bu fark dalga dikliği ile değişmemektedir.

Erozyon başlangıç noktasının yüksekliği bitkili ve bitkisiz durumlarda hemen hemen aynıdır, bu durum bitkilenmenin erozyon başlangıç noktası yüksekliğini etkilemediğini göstermektedir. Erozyon kesişim noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesi ise bitkisiz tarafta, bitkili tarafa nazaran daha fazladır.

Düzenli dalgalarda, erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin, aynı dalga dikliği için bitkili alan daha açıktayken, daha fazla olduğu görülmektedir. Küçük dalga dikliklerinde aradaki fark azken dalga yüksekliği arttıkça aradaki farkın arttığı görülmektedir. Düzensiz dalgalarda, erozyon başlangıç noktası yüksekliğinin, aynı dalga dikliği için bitkili alan açığa gittikçe fazlaştığı görülmektedir.

Düzenli dalgalarda, bitkili taraftaki erozyon başlangıç kesişim noktası, bitkili alan derine gittikçe karanın içine doğru ilerlemektedir. Bitkilenmenin yerinin yarattığı bu fark dalga dikliği azaldıkça azalmaktadır. Düzensiz dalgalarda, erozyon başlangıç

noktasının bitkilenme kıyıya daha yakınken daha karanın içine doğru ilerlediği görülmektedir. Bu düzenli dalgalarda elde edilen sonuçla uyum göstermemektedir.

Hem düzenli hem de düzensiz dalgalarda erozyon başlangıcı, bitki kıyıya yaklaştıkça kısalmakta, yani erozyon karanın içinde daha az ilerlemektedir. Düzenli dalgalarda bu fark dalga dikliği ile artmaktayken düzensiz dalgalarda değişmemektedir.

Düzenli dalgalarda, erozyon alanının, bitkili alan kıyıya yaklaştıkça azaldığı, fakat dalga dikliği azaldıkça aradaki farkın kapandığı görülmektedir. Düzensiz dalgalarda ise, düzenli dalgaların tersine bitkilenme kıyıya yaklaştıkça erozyon alanının arttığı görülmektedir.

Denge noktasının derinliği, dalga dikliği ile doğru orantılı olarak artmakta ve bitkisiz tarafta denge noktasının, bitkili tarafa nazaran daha derinde olduğu görülmektedir. Düzenli ve düzensiz dalgalarda, denge noktası, dalga dikliği arttıkça açığa taşınmaktadır. Bitkili ve bitkisiz taraftaki denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafeleri arasındaki oranın 0,6-0,8 arasında kaldığı görülmektedir bu da bitkilenmenin denge noktasının konumunu, kıyı çizgisine, bitkisiz alana nazaran yaklaştırdığını göstermektedir.

Düzenli dalgalarda, denge noktasının konumu bitkili alanın kıyıya mesafesine göre değişmemektedir. Düzensiz dalgalarda, denge noktası, bitkilerin kıyıya daha yakın olduğu durumda kıyıdan daha açıkta meydana gelmektedir

Aynı dalga dikliği için bitkisiz tarafta, bar alanı ile erozyon alanının ağırlık merkezleri arasındaki mesafe, bitkili tarafa nazaran daha fazladır. Erozyon ve barın ağırlık merkezleri arasındaki mesafe bitkili alan daha açıktayken daha fazladır.

Deneyler sonucunda elde edilen kıyı profillerinin geometrik özellikleri incelendiğinde, bazı parametrelerin, aynı dalga koşulları altında, bitkili durumdaki büyüklükleri ile bitkisiz durumdaki büyüklükleri arasında belli bir oran olduğu ve bu oranın dalga özellikleri ile değişmediği göze çarpmaktadır. Buna göre;

Barın bitkili taraftaki yeri ile bitkisiz taraftaki yeri arasındaki oranın 0,8 civarında olduğu görülmektedir. Bitkisiz durumda barın kıyı çizgisinden mesafe olarak %20 daha açıkta olduğu sonucu çıkarılabilir.

Denge noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafesinin bitkili durumdaki değerinin bitkisiz durumdaki değerine oranı da 0,8 civarındadır. Bu da bitkilenmenin kıyı profilinin su altındaki kısmını %20 kıyıya yaklaştırdığı sonucunu vermektedir.

Bitkili ve bitkisiz taraftaki erozyon başlangıç noktasının başlangıç kıyı çizgisine mesafeleri oranlandığında, bu oranın 1 civarında değiştiği görülmektedir. Bitkili taraftaki erozyon başlangıç noktası yüksekliği bitkisiz tarafa oranlanırsa bu oranın da 1 civarında olduğu görülmektedir. Bu durumda bitkilenmenin erozyonun karada başladığı noktayı değiştirmedeği söylenebilir.

Erozyon kesişim noktasının kıyı çizgisine mesafesinin aldığı bitkili ve bitkisiz tarafta aldığı değerler oranlanırsa düzenli dalgalar için 1 civarında düzensiz dalgalar için ise 0,9 civarında olduğu görülmektedir.

Erozyon kesişim noktasının denge noktasına mesafesinin bitkili ve bitkisiz tarafta aldığı değerler oranlanırsa, bu oranın 0,8 civarında olduğu görülmektedir.

Bitkilenmenin dalga yüksekliğine etkisi ile ilgili sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Bitkilenme dalga yüksekliğini etkin bir şekilde azaltmaktadır.

Bitkili taraftaki dalga yüksekliğinin, bitkisiz tarafa oranı 0,78-0,94 arasında değişmektedir.

Etkilenme oranlarının düzenli dalgalarda %5–22 aralığında kaldığı, düzensiz dalgalarda ise %6–24 aralığında kaldığı görülmektedir.

Bitkilenme, bitkili alandan önce dalga yüksekliklerini değiştirmemektedir.

Bitkilenme daha açıkta olduğunda hem düzensiz dalgalarda hem de düzenli dalgalarda dalga yüksekliğinin bitkilenmeden, bitkilenmenin kıyıya daha yakın olduğu duruma göre, daha az etkilendiği görülmektedir.

Bitkilenme, dalga enerjisini ve dalga enerji akısını belirgin şekilde azaltmaktadır. Bitkinin, gelen dalga enerjisinin %11-40'lık kısmını absorbe ettiği görülmektedir. Ortalama olarak bitkilenmenin, dalga enerjisinin %25'lik bir kısmını absorbe ettiği söylenebilir diğer bir deyişle, bitkinin harcadığı enerji, mevcut dalga enerjisinin ortalama %25'lik bölümüdür.

Bitkilenmenin dalga orbital hızlarına etkisi ile ilgili sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Bitkilenme, kendinden açıktaki bölgede de dalga orbital hızını etkilemektedir. Bitkilenmeden önceki bölgede bitkili kısım kıyıya doğru olan yatay hızı genellikle etkilemezken, kıyıdan açığa doğru olan hızı azaltmaktadır.

Bitkilenmeden sonra kıyıya doğru olan bölgede, bitkilenme, hem kıyıdan açığa doğru hem de açıktan kıyıya doğru olan yataydaki dalga orbital hızını azaltmaktadır.

Dalga orbital hızının düşeydeki bileşeni incelendiğinde, bitkilenmeden önceki bölgede, bitkinin yukarı doğru ve aşağı doğru olan hızı etkilemesi konusunda net bir sonuca ulaşılamamıştır.

Bitkilenmeden kıyıya doğru olan bölgede ise bitkilenmenin hem aşağı doğru hem de yukarı doğru düşey hız bileşenini azalttığı görülmektedir.

Sonuç olarak; bitkilenme, kıyı erozyonunu azalttığından mevcut *posidonia oceanica* çayırlarının korunması, kumsalların korunması açısından da önemlidir. *Posidonia oceanica* dalga yüksekliğini azalttığından ve kıyıdaki katı madde hareketini etkilediğinden, kıyı yapıları planlanırken yapılan nümerik modelleme çalışmalarında, *Posidonia oceanica*'nın etkisi göz önüne alınabilir. Bu etki göz önüne alınırken *Posidonia oceanica* çayırlarının dalga özelliklerini ve kıyıdaki katı madde hareketini etkilediği bölgenin, dalganın tabandan etkilendiği yani derinliğin dalga boyunun yarısı kadar ya da daha az olduğu bölge olduğu unutulmamalıdır.

Bundan sonraki çalışmalarda deneyler, farklı şev eğimleri ve farklı dane boyutları için tekrarlanabilir, böylece şev eğimi ve dane boyutunun sürece etkisi de kapsanabilir. Ayrıca *Posidonia oceanica* çayırlarının dalga özelliklerine etkisinin araştırılması için Akdeniz veya Ege denizinde pilot bir kumsal seçilerek arazide dalga ve hız ölçümleri yapılabilir. Arazide yapılan bu çalışma ile önerilen ampirik formüller geliştirilebilir.

KAYNAKLAR

- Asano, T., Deguchi, H., Kobayashi, N.,** 1993: Interaction between water waves and vegetation. In: Edge, B.L. (Ed.), *Proceedings of the 23rd Coastal Engineering Conference*, ASCE, New York, pp. 2710–2723.
- Ateş, A.S., Katağan, T., Kocataş, A.,** 2004: Türkiye'nin Ege Denizi Kıyıları *Posidonia oceanica* (L.) Delile, 1813 Çayırılarının Dekapod Krustase Faunası, *E.Ü. Su Ürünleri Dergisi*, 21(1-2): 39-42.
- Augier, H., Eugene, C., Harmand-Desforjes J.M., Sougy, A.,** 1993. *Posidonia oceanica* reimplantation technology of the marine gardeners is now operational on a large scale, *The First International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, MEDCOAST 93, November 2-5, 1993; Antalya, Turkey.
- Augustin, L.N., Irish, J.L., Lynett, P.,** 2009: Laboratory and numerical studies of wave damping by emergent and near-emergent wetland vegetation, *Coastal Engineering*, 56, 332–340.
- Ballesta, L., Pergent, G., Pasqualini, V., Pergent-Martini, C.,** 2000: Distribution and dynamics of *Posidonia oceanica* beds along the Albères coastline, *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la vie/Life Sciences*, 323(4), 407-414.
- Borg, J.A., Attrill, M.J., Rowden, A.A., Schembri, P.J., Jones, M.B.,** 2005: Architectural characteristics of two bed types of the seagrass *Posidonia oceanica* over different spatial scales, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 62, 667–678.
- Ciraolo, G., Ferreri, G.B., La Loggia, G.,** 2006: Flow resistance of *Posidonia oceanica* in shallow water, *Journal of Hydraulic Research*, 44(2), 189-202.
- Chen, S., Sanford, L.P., Koch, E.W., Shi, F., North, E.W.,** 2007: A Nearshore Model to Investigate the Effects of Seagrass Bed Geometry on Wave Attenuation and Suspended Sediment Transport, *Estuaries and Coasts*, 30(2), 296–310.
- Coops, H., Geilen, N., Verheij, H.J., Boeters, R., van der Velde, G.,** 1996: Interaction between waves, bank erosion and emergent vegetation: An experimental study in a wave tank, *Aquatic Botany*, 53, 187-198.
- Çelebi B., Bayındırlı, C., Türkmen, H.,** 2005: Edremit Körfezi'nde *Posidonia oceanica* yayılımının incelenmesi, *Sualtı Bilim ve Teknoloji Toplantısı*, İstanbul Teknik Üniversitesi, SBT 2005, İstanbul.
- Dean, R.G.,** 1976: Beach erosion: Causes, processes and remedial measures, *Critical Reviews in Environmental Control*, 259-296.
- Dean, R.G.,** 1978: Effects of vegetation on shoreline erosional processes, Wetland functions and values, American Water Resources Association, November, 415-426.

- Dean, R.G., Dalrymple, R.A.**, 1991: *Water wave mechanics for engineers and scientists*, World Scientific.
- Dubi, A.M.**, 1995: Damping of water waves by submerged vegetation: A case study on *Laminaria hyperborean*, *PhD thesis*, Department of Structural Engineering, The Norwegian University of Trondheim, Institute of Technology, Norway, 108 pp. ISBN 82-7119-859-9, ISSN 0802-3271.
- Dubi, A.M., Tørum A.**, 1994: Wave damping by kelp vegetation, *Proceedings of 24th International Conference on Coastal Engineering*, Kobe, Japan, vol. 1, ASCE, 142-156.
- Eckman, J.E.**, 1983: Hydrodynamic processes affecting benthic recruitment, *Limnology and Oceanography*, 28, 241-257.
- Folkard, A.M.**, 2005: Hydrodynamics of model *Posidonia oceanica* patches in shallow water, *Limnology and Oceanography*, 50(5), 1592–1600.
- Fonseca, M.S.**, 1996: The role of seagrasses in nearshore sedimentary processes a review. In *Estuarine shores: Evolution environments and human alterations*, K. F. Nordstrom and C. T. Roman, ed., 261-286. John Wiley and Sons Ltd.
- Fonseca, M.S., Fisher, J.S., Zieman, J.C., Thayer, G.W.** 1982: Influence of the seagrass *Zostera marina* on current flow, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 15, 351-364.
- Fonseca, M.S., Fisher, J. S.**, 1986: A comparison of canopy friction and sediment movement between four species of seagrass with reference to their ecology and restoration, *Marine Ecology Progress Series*, 29: 15-22.
- Fonseca, M.S., Cahalan, J.A.**, 1992: A preliminary evaluation of wave attenuation for four species of seagrass, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 35, 565-576.
- Fredsøe, J., Deigaard, R.**, 1992: *Mechanics of Coastal Sediment Transport*, Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 3, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- Gacia, E., Duarte C.M.**, 2001: Sediment retention by a Mediterranean *Posidonia oceanica* Meadow: The balance between deposition and resuspension, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 52, 505-514.
- Gacia, E., Granata, T.C., Duarte, C.M.**, 1999: An approach to measurement of particle flux and sediment retention within seagrass (*Posidonia oceanica*) meadows, *Aquatic Botany*, 65, 255-268.
- Gambi, M.C., Nowell, A.R.M., Jumars, P.A.**, 1990: Flume observations on flow dynamics in *Zostera marina* (eelgrass) beds. *Marine Ecology Progress Series*, 61, 159-169.
- Green E.P., Short F.T.**, 2003: *World Atlas of Seagrasses*, Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California Press, Berkeley, USA.
- Gunaydin, K., Kabdasli, M.S.**, 2003: Characteristics of coastal erosion geometry under regular and irregular waves, *Coastal Engineering*, 30(13), 1579-1593.

- Gunaydin, K., Kabdasli, M.S., 2005:** Investigation of offshore bar geometry under regular and irregular waves, *Journal of Coastal Research*, 21(2), 374-382.
- Hsu, T.W., 1998:** Geometric characteristics of storm-beach profiles caused by inclined waves, *Ocean Engineering*, 25(1), 69-84.
- Hsu, T.W., Tseng, I.F., Lee, C.P., 2006:** A new shape function for bar-type beach profiles, *Journal of Coastal Research*, 22(3), 728-736.
- Hsu, T.W., Wang, H., 1997:** Geometric characteristics of storm beach profiles, *Journal of Coastal Research*, 13(4), 1102-1110.
- Johnson, J.W., 1952:** *Sand transport by littoral currents*, Wave Research Laboratory, University of California, Berkeley, California, IER, Technical Report, Series 3, Issue 338.
- Kabdaşlı, S., 1992:** *Kıyı Mühendisliği*, İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Kaimal, J., Finnigan, J., 1994:** *Atmospheric boundary layer flows*, Oxford Univ. Press.
- Kamphuis, J.W., 2000:** *Introduction to Coastal Engineering Management*, Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 16, World Scientific.
- Knutson, P.L., Brochu, R.A, Seelig, W.N., Inskeep, M., 1982:** Wave damping in *Spartina alterniflora* marshes, *Wetlands*, 2, 87-104.
- Kobayashi, N., A. W. Raichle, T. Asano., 1993.** Wave attenuation by vegetation, *Journal of Waterway Port Coastal and Ocean Engineering*, 119(1), 30-48.
- Koch, E.W., 1996:** Hydrodynamics of a shallow *Thalassia testudinum* bed in Florida, USA. In *Seagrass Biology – Proceedings of an International Workshop, Western Australia Museum, Perth, Australia*. J. Kuo, R. C. Phillips, D. I. Walker and H. Kirkman, ed., 105-110.
- Koch, E. W., Gust, G., 1999:** Water flow in tide- and wave-dominated beds of the seagrass *Thalassia testudinum*, *Marine Ecology Progress Series*, 184, 63-72.
- Koch, E.W., 2001:** Beyond light: Physical, geological and geochemical parameters as possible submersed aquatic vegetation habitat requirements, *Estuaries*, 24, 1-17.
- Koch, E.W., Sanford, L.P., Chen, S., Shafer, D.J, Smith, J.M., 2006:** *Waves in Seagrass Systems: Review and Technical Recommendations*, ERDC TR-06-15, Engineer Research and Development Center, U. S. Army Corps of Engineers Washington, DC.
- Kriebel, D.L. ve Dean, R.G., 1985:** Numerical simulation of time dependent beach and dune erosion, *Coastal Engineering*, 9, 221-245.
- Lange, C.R., Lambert, K.E., 1994:** Biomonitoring, *Water Environment Research*, 66(4), 642-651.
- Larson, M., Kraus, N.C., 1989:** *SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change*, Report 1, empirical foundation and model development, U.S. Army Engineer Waterway Experiment Station

Technical Report, CERC-89-9, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi.

- Løvas, S.M.**, 2000: Hydro-physical conditions in kelp forests and the effect on wave damping and dune erosion, A case study on *Laminaria Hyperborea*, *PhD Thesis*, Department of Structural Engineering, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway, 187, ISBN 82-79-050-8, ISSN 0802-3271.
- Løvas S.M., Tørum, A.**, 2001: Effect of the kelp *Laminaria hyperborean* upon sand dune erosion and water particle velocities, *Coastal Engineering*, 44, 37-63.
- Madsen, J.D., Chambers, P.A., James, W.F., Koch, E.W., Westlake D.F.**, 2001: The interaction between water movement, sediment dynamics and submersed macrophytes, *Hydrobiologia*, 444, 71–84.
- Mazella, L., Scipione, M.B., Gambi, M. C., Buia M.C., Lorenti, M., Zupo, V., Cancemi, G.**, 1993: The Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* and *Cymodocea nodosa*: A comparative overview, *The First International Conference on the Mediterranean Coastal Environment*, MEDCOAST 93, November 2-5, 1993; Antalya, Turkey.
- Meinesz, A., Cirik, S., Akcali, B., Javel, F., Migliaccio, M., Thibaut, T., Yüksek, A., Procaccini, G.**, 2009: *Posidonia oceanica* in the Marmara Sea, *Aquatic Botany*, 90, 18–22.
- Mendez, F.J., Losada, I.J.**, 2004: An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields *Coastal Engineering*, 51, 103–118.
- Middleton, G. V., Southard, J. B.**, 1984: *Mechanics of Sediment Movement*, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Providence, RI.
- Myrhaug, D., Holmedal, L.E, Ong, M.C.**, 2009: Nonlinear random wave-induced drag force on a vegetation field, *Coastal Engineering*, 56, 371–376.
- Nepf, H. M.** 1999: Drag, turbulence and diffusion in flow through emergent vegetation, *Water Resources Research*, 35, 479-489.
- Nepf, H.M.**, 2004: Vegetated flow dynamics. In: Fagherazzi, S., Marani, M., Blum, L. (Eds.), *Ecogeomorphology of Tidal Marshes, Coastal and Estuarine Studies*, vol. 59, 137–164.
- Nepf, H. M., Vivoni, E.R.**, 2000: Flow structure in depth-limited, vegetated flow, *Journal of Geophysical Research*, 105, C12, 28547-28557.
- Pasqualini, V., Pergent-Martini, C., Pergent G., Agreil, M., Skoufas G., Sourbes, L., Tsirika, A.**, 2005: Use of SPOT 5 for mapping seagrasses: An application to *Posidonia oceanica*, *Remote Sensing of Environment*, 94, 39-45.
- Pergent-Martini, C., Pergent, G.**, 1995: Lepidochronological analysis in the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica*: State of the art and future developments, *Oceanologica Acta*, 17(6), 673-681.

- Pergent-Martini C., Pergent G., Fernandez C. ve Ferrat L,** 1999: Value and use of *Posidonia oceanica* as a biological indicator, *The fourth international conference on the Mediterranean coastal environment: MEDCOAST 99*, November 9-13 1999; Antalya, Turkey /ed. Erdal Özhan.
- Peterson, C. H., Luettich Jr., R. A., Michelli, F., Skilleter, G. A.,** 2004: Attenuation of water flow inside seagrass canopies of differing structure, *Marine Ecology Progress Series*, 268, 81-92.
- Phillips, D.J.H., Rainbow, P.S.,** 1994: *Biomonitoring of Trace Aquatic Contaminants*, second edition, Chapman and Hall, London.
- Prager, E. J., Halley, R. B.,** 1999: The influence of seagrass on shell layers and Florida Bay mudbanks, *Journal of Coastal Research*, 15, 1151-1162.
- Rattanapitikon, W., Shibayama, T.,** 2000: Verification and modification of breaker height formulas, *Coastal Engineering Journal*, 42, 4, 389-406.
- Ruiz, J.M., Romero, J.,** 2003: Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass *Posidonia oceanica*, *Marine Pollution Bulletin*, 46, 1523-1533.
- Sakakiyama, T., Liu, P, L.-F.,** 2001: Laboratory experiments for wave motions and turbulence flows in front of a breakwater, *Coastal Engineering*, 44(2), 117-139.
- Shi, Z., Pethick, J. S., Pye, K.,** 1995: Flow Structure in and above the Various Heights of a Saltmarsh Canopy: A Laboratory Flume Study, *Journal of Coastal Research*, 11(4), 1204-1209.
- Shi, Z., Pethick, J.S., Burd, F., Murphy, B.,** 1996: Velocity profiles in a salt marsh canopy, *Geo-Marine Letters*, 16, 319-323.
- Silvester, R., Hsu, J.R.C.,** 1997: *Coastal Stabilization, Advanced Series on Ocean Engineering*, Volume 14, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., Singapore.
- Sümer, B.M., Ünsal, İ., Bayazıt, M.,** 1994: *Hidrolik*, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Türker, U.,** 2002: Beach profile response analysis during storm waves, *Doktora Tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Türker, U., Kabdaşlı, M.S.,** 2002: Fırtına dalgalarının kıyı profiline yaptığı etkinin analizi, *İTÜ Dergisi/d Mühendislik*, 1(1), 43-53.
- Türker, U., Kabdaşlı, M.S.,** 2004: Average sediment dislocation analysis for barred profiles, *Ocean Engineering*, 31(14-15), 1741-1756.
- Türker, U., Yağcı, O., Kabdaşlı, M. S.** 2006: Analysis of coastal damage of a beach profile under the protection of emergent vegetation, *Ocean Engineering*, 33, 810-828.
- Url-1** <<http://marenostrum.org/vidamarina/vegetalia/fanerogamas/posidonia/>>, alındığı tarih, 19.03.2005.
- Url-2** <<http://www.uib.es/depart/dba/botanica/herbari/generes/Posidonia/oceanica/>>, alındığı tarih, 20.03.2005.
- Url-3** <http://www.mystic-blue.org/EN/Default.asp?area=mooring_buoys>, alındığı tarih, 09.08.2006.

- Url-4** <<http://www.cevre.org/Tcm/Sozlesmeler/Akdeniz%20ozel%20koruma.htm>>, 22 Ağustos 2002 tarih ve 24854 sayılı Resmi Gazete, Akdeniz'de Özel Koruma Alanları Ve Biyolojik Çeşitliliğe İlişkin Protokol, alındığı tarih, 18.02.2005.
- U.S. Army Corps of Engineers (USACE)**, 2003: Coastal Engineering Manual (CEM), Engineer Manual 1110-2-1100, Washington, D.C. (in 6 volumes).
- Verduin, J. J., Backhaus, J. O.**, 2000: Dynamics of plant-flow interactions for the seagrass *Amphibolis antarctica*: Field observations and model simulations, *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 50, 185-204.
- Wallace, S., Cox, R.**, 1997: Seagrass and wave hydrodynamics, Pacific Coasts and Ports '97: Proceedings of the 13th Australasian Coastal and Ocean Engineering Conference and the 6th Australasian Port and Harbour Conference, Christchurch, New Zealand, 69-73.
- Wallace, S. L.**, 2003: The effect of seagrass canopies on shallow-water dynamics, *PhD Thesis*, University of New South Wales, Australia.
- Ward, L.G., Kemp, W.M., Boynton, W.E.**, 1984: The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment, *Marine Geology*, 59, 85-103.
- Wilcock, P.R., Miller, D.S., Shea, R. H., Kerkin, R.T.**, 1998: Frequency of effective wave activity and the recession of coastal bluffs: Calvert Cliffs, Maryland, *Journal of Coastal Research*, 14, 256-268.
- Wilson, C.A.M.E., Horritt, M.S.**, 2002: Measuring the flow resistance of submerged grass, *Hydrological Processes*, 16, 2589-2598.
- Wilson; C.A.M. E., Stoesser, T., Bates; P.D., Batemann Pinzen, A.**, 2003: Open Channel Flow through Different Forms of Submerged Flexible Vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 129(11), 847-853.
- Wilson, C.A.M.E.**, 2007: Flow resistance models for flexible submerged vegetation, *Journal of Hydrology*, 342, 213- 222.
- Wilson, C.A.M.E., Hoyt, J., Schnauder, I.**, 2008: Impact of Foliage on the Drag Force of Vegetation in Aquatic Flows, *Journal of Hydraulic Engineering*, 134(7), 885-891.
- Yağcı, O., Kırca, V.S.O., Kabdaşlı, M.S., Çelik, A.O., Ünal, N.E., Aydınakko A.**, 2006: An experimental model application of wavescreeen: Dynamic pressure, water particle velocity, and wave measurements, *Ocean Engineering*, 33, 1299-1321.
- Yen, B.C.**, 2002: Open channel flow resistance, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1), 20-39.
- Yüksek, A., Okuş E., Yılmaz, İ.N., Aslan Yılmaz, A.**, 2004: Güney Marmara Takım Adalarında Magnoliophyta üzerine ön araştırma, *V. Ulusal Ekoloji ve Çevre Kongresi*, Bolu, 2004; 183-193.
- Yüksel, Y.**, 2005: Deniz Tabanı Hidrodinamiği ve Kıyı Morfolojisi, Arıkan, İstanbul.

EKLER

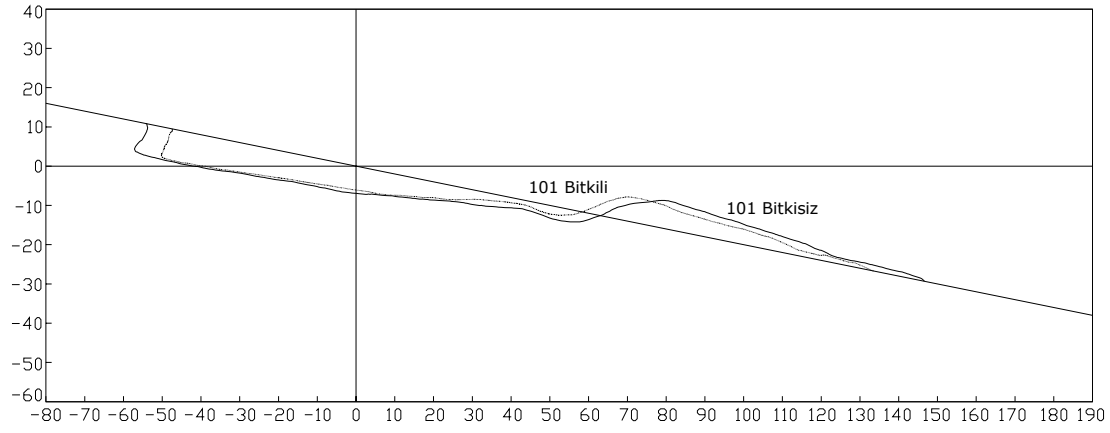
EK A: Kıyı Profilleri

EK B1: Program 1

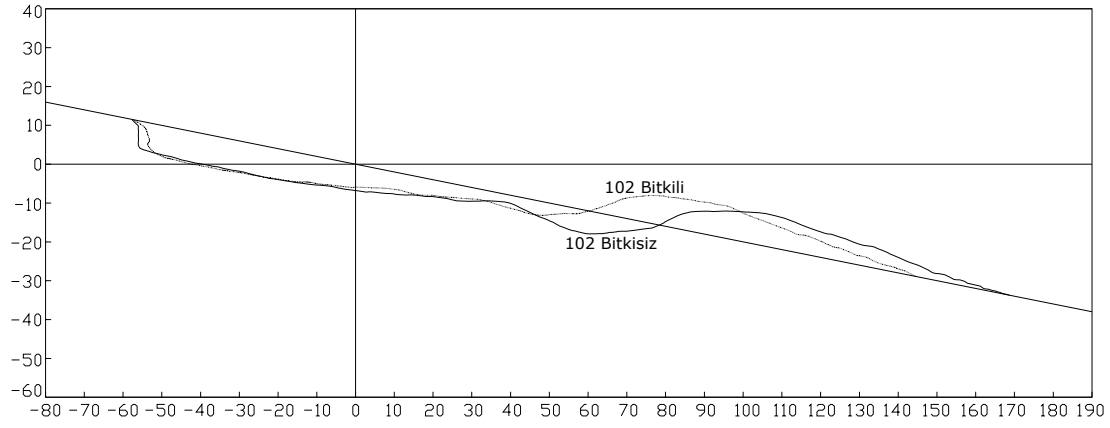
EK B2: Program 2

EK C: Hız Profilleri

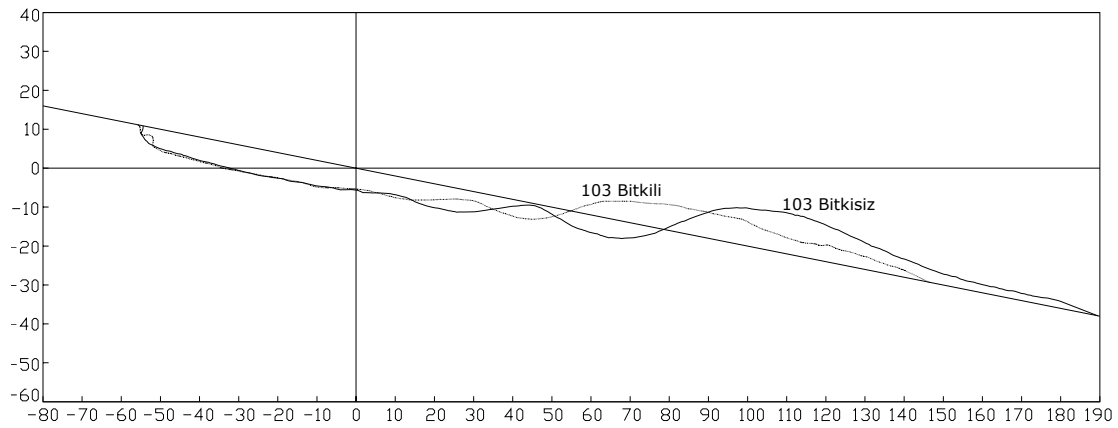
EK A: Kıyı Profilleri



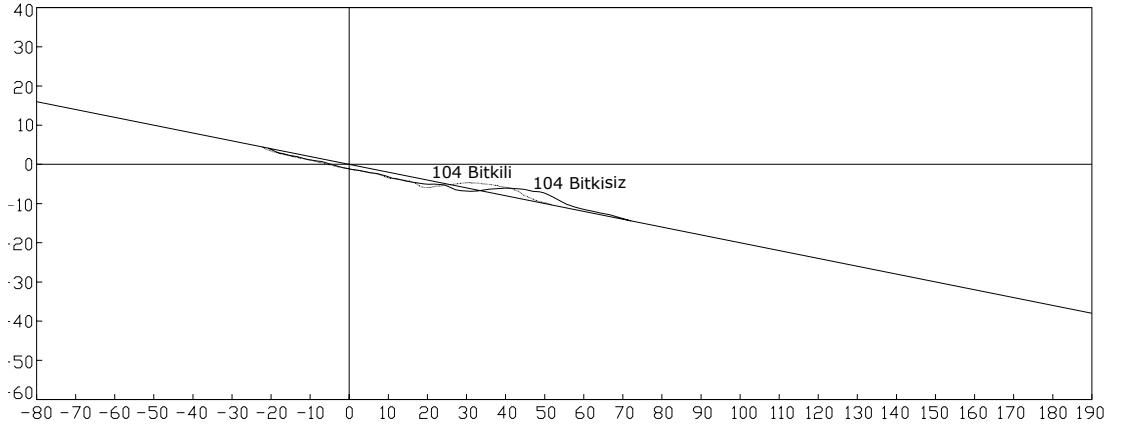
Şekil A.1: 101 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



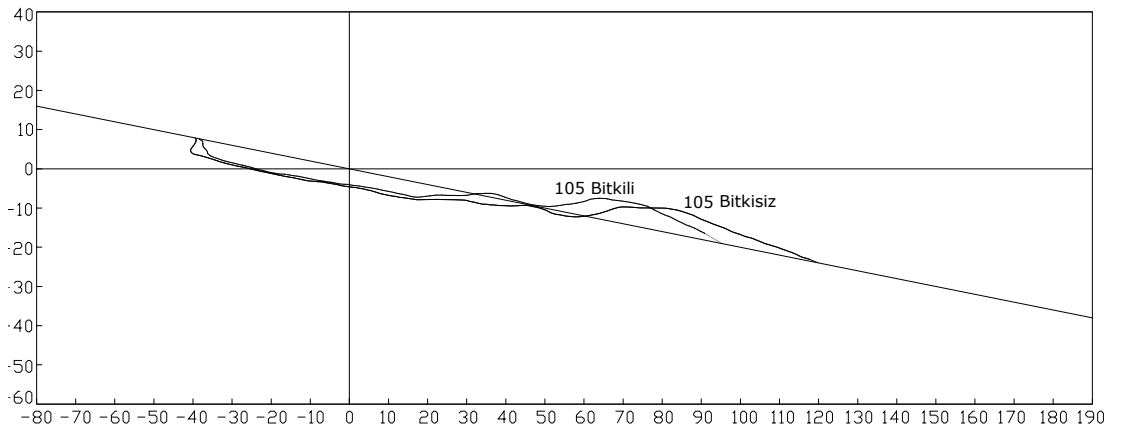
Şekil A.2: 102 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



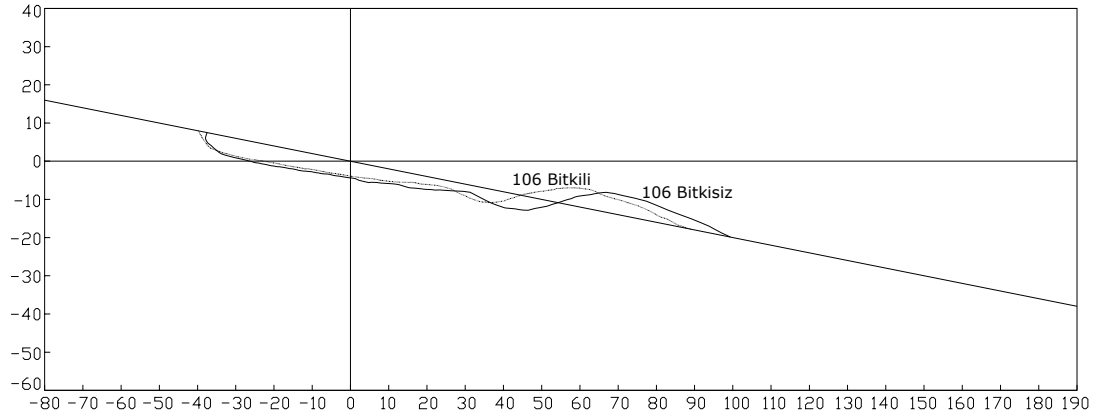
Şekil A.3: 103 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



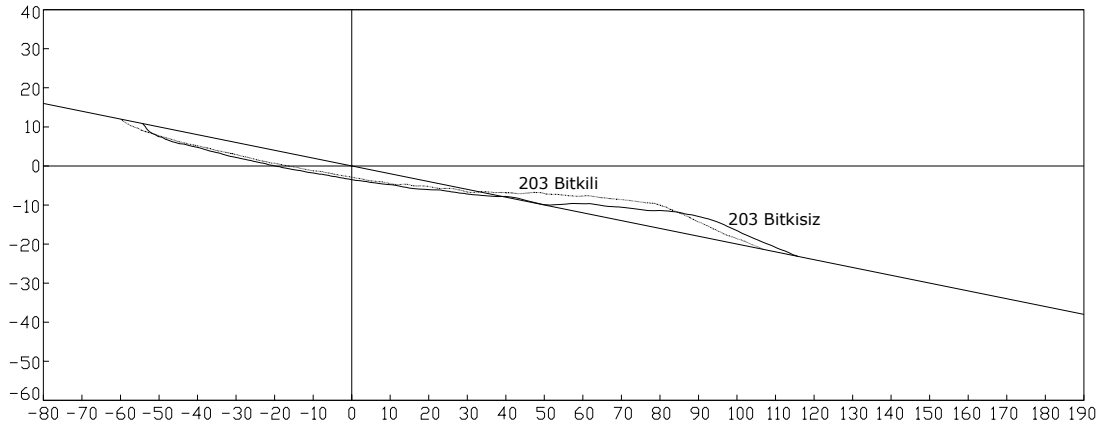
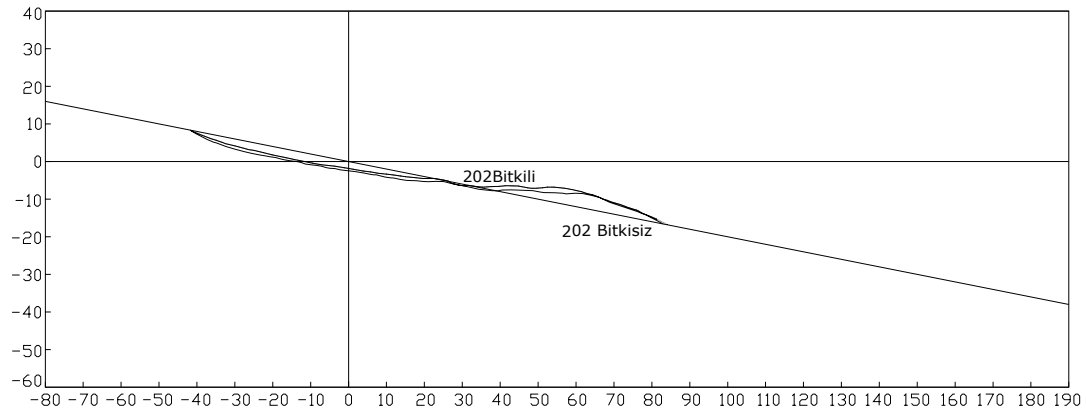
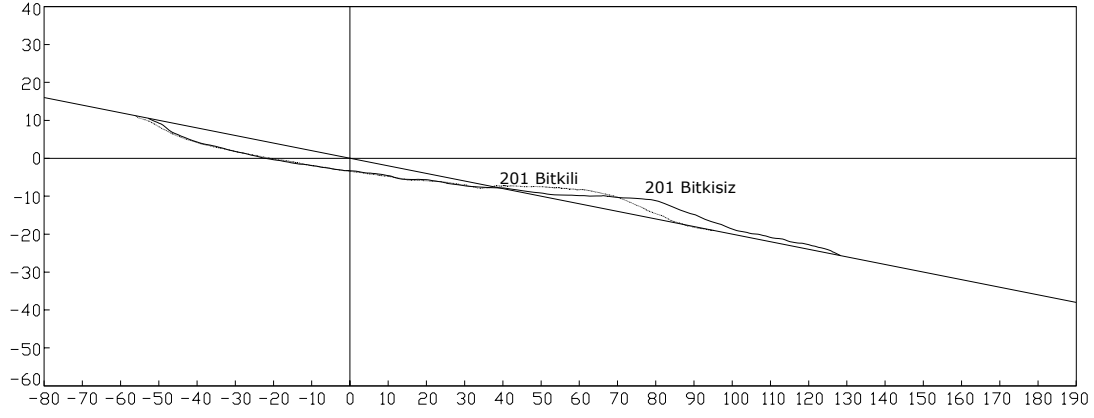
Şekil A.4:104 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.

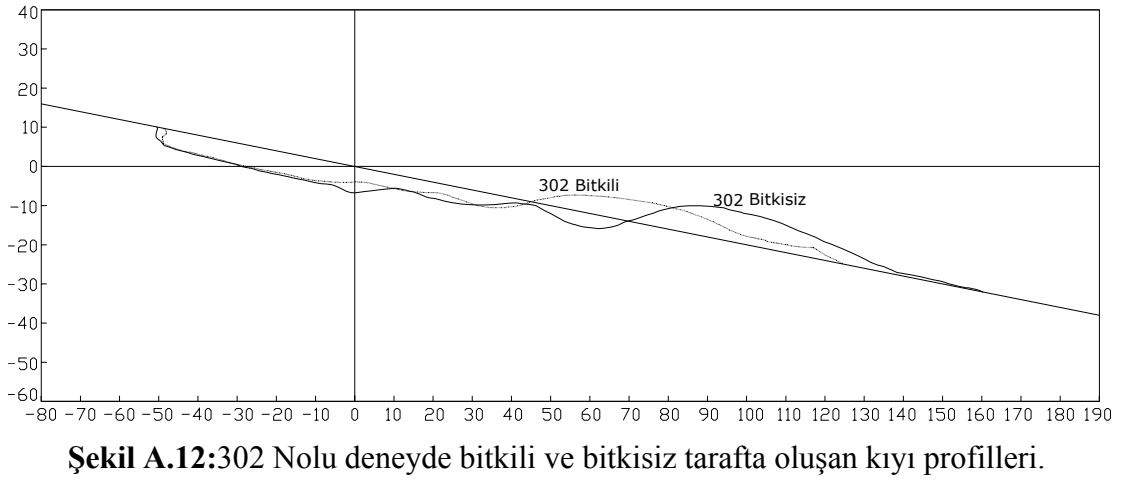
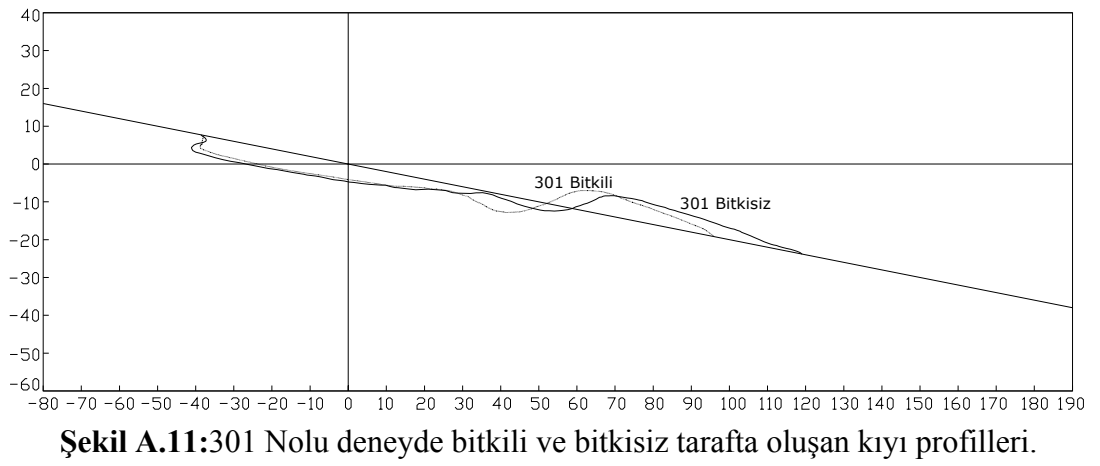
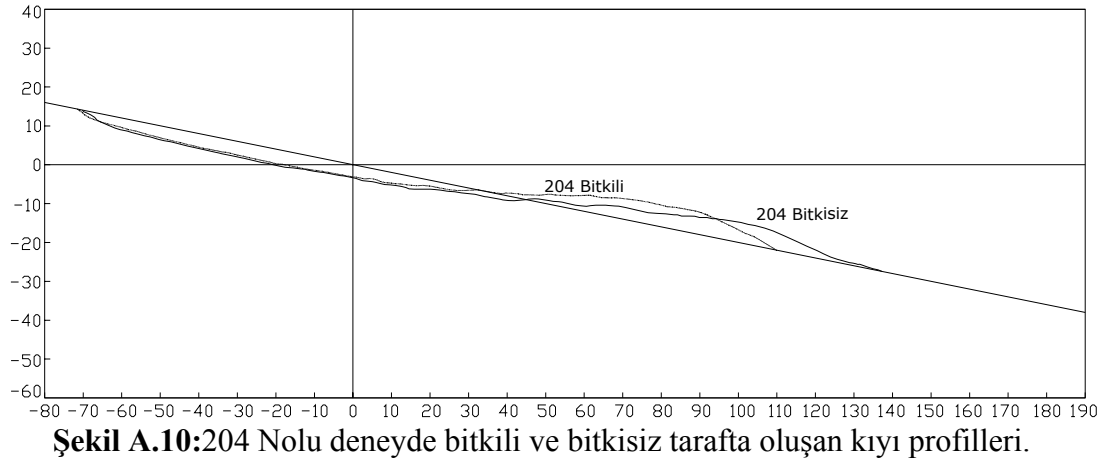


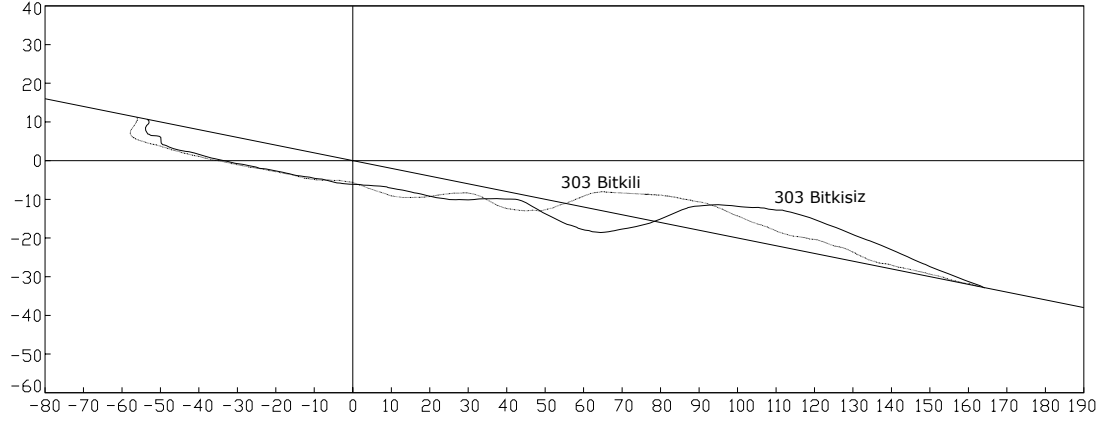
Şekil A.5:105 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



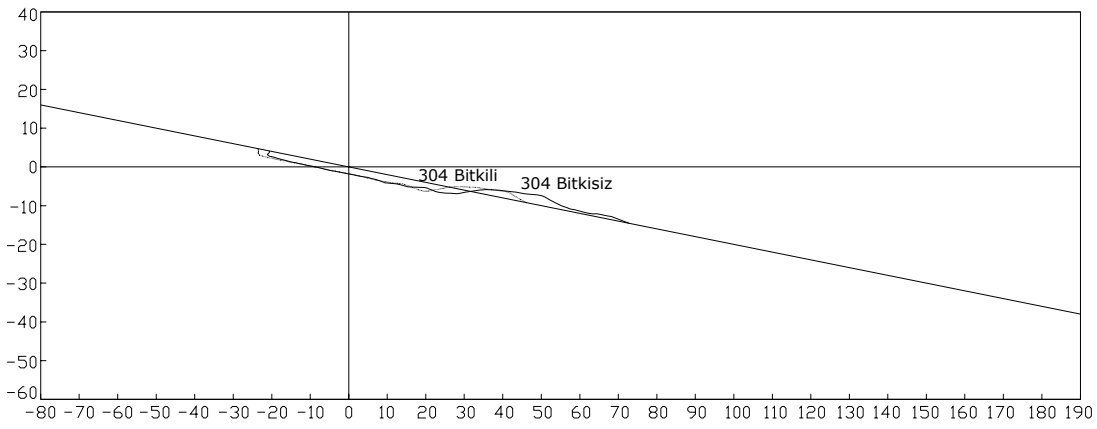
Şekil A.6: 106 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



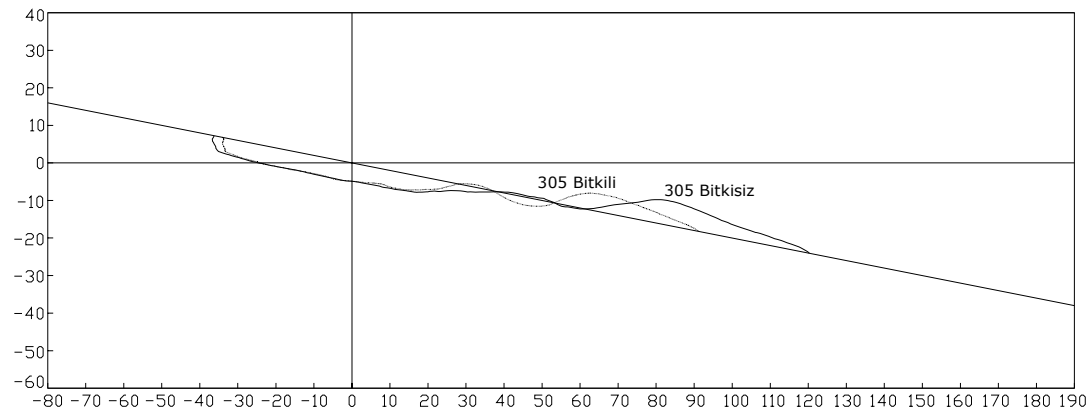




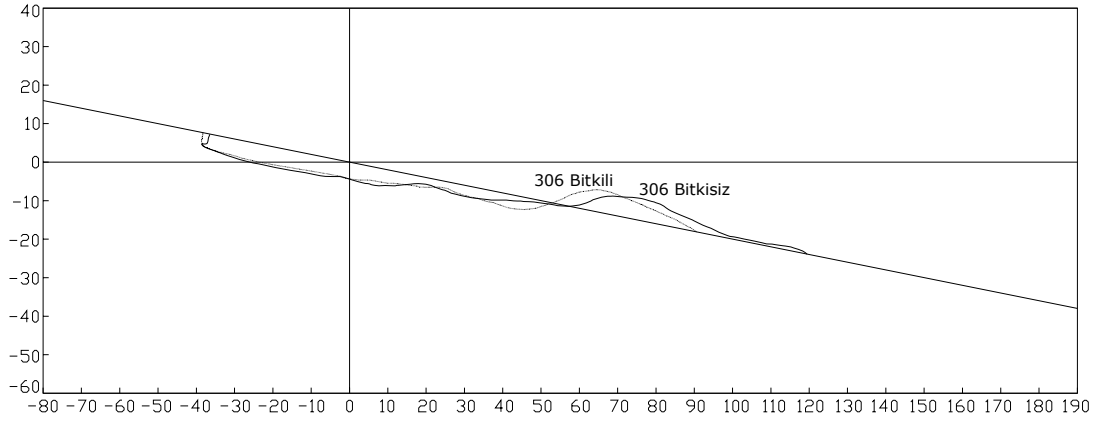
Şekil A.13:303 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



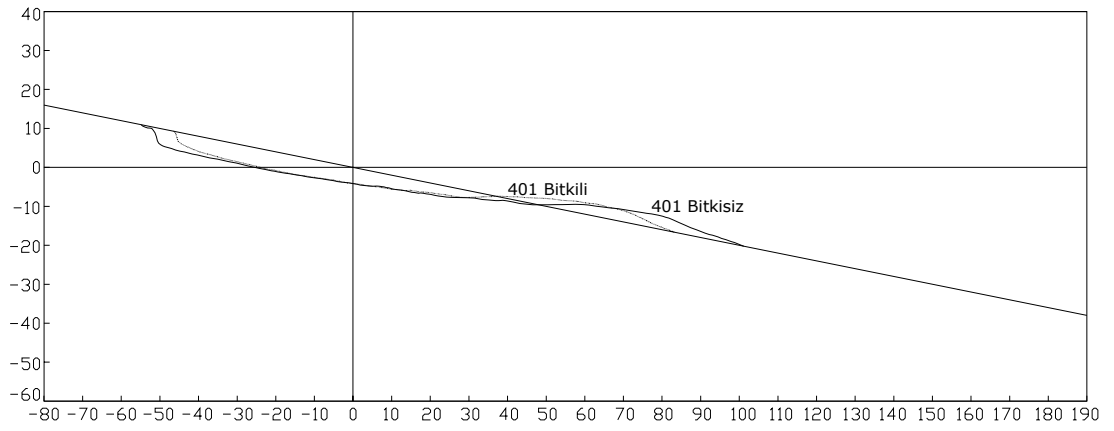
Şekil A.14:304 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



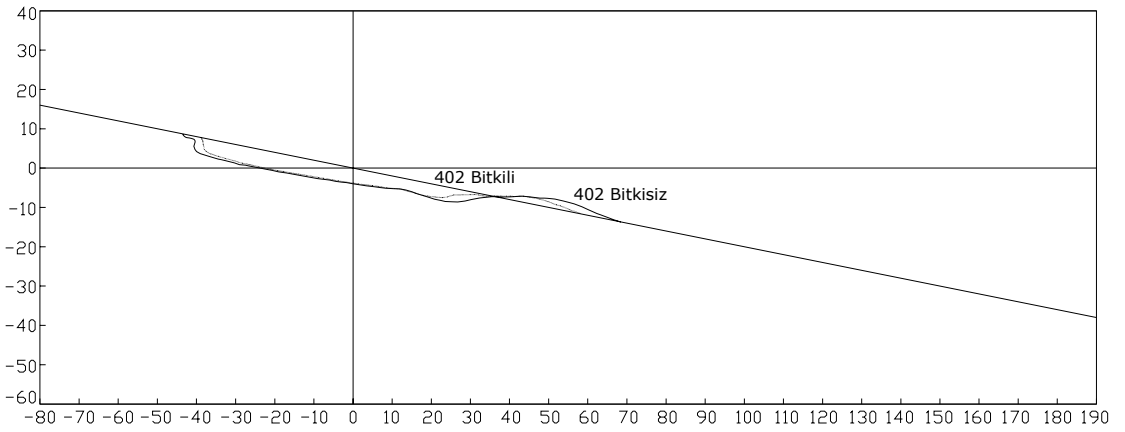
Şekil A.15:305 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



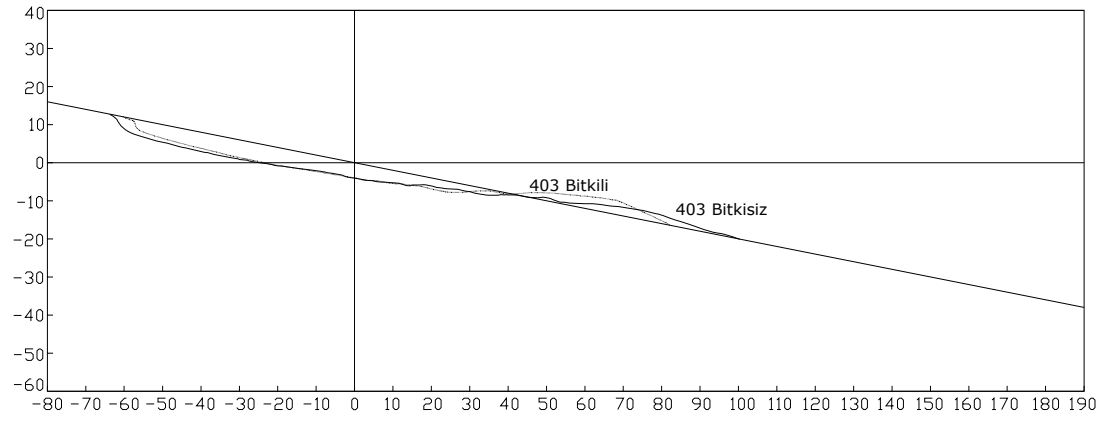
Şekil A.16:306 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



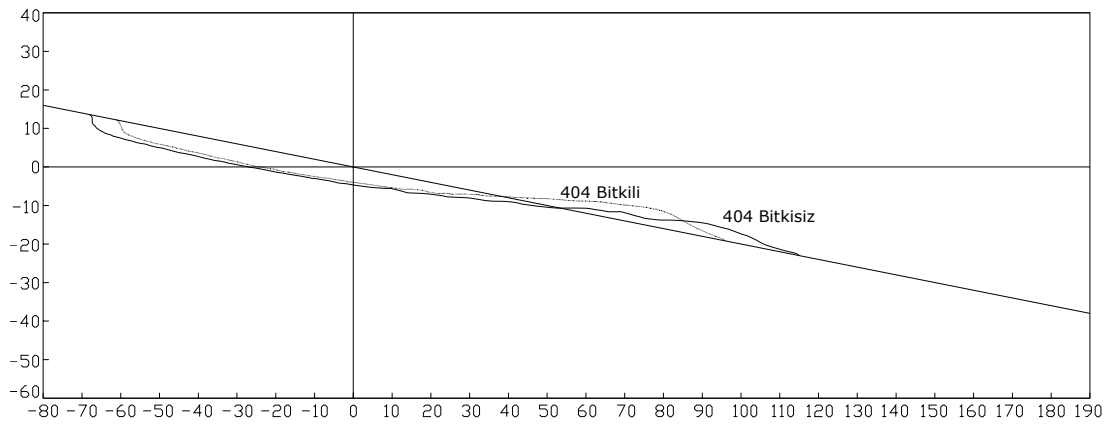
Şekil A.17:401 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri



Şekil A.18:402 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



Şekil A.19:403 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.



Şekil A.20:404 Nolu deneyde bitkili ve bitkisiz tarafta oluşan kıyı profilleri.

EK B1: Program 1

%Bu program düzenli bir dalganın dalga orbital hızı zaman serisinin minimum
% ve maksimum değerlerinin ortalamasını bulmak için yazılmıştır.

```
clc;
T=1.2;          %Wave period T=input('Wave Period (s): ')
load 102h_A_01.dat    %Loading the dat file which contains velocity data versus
time(s)
time=X102h_A_01(:,1); %Assign column to variable
u=X102h_A_01(:,2);    %Assign column to variable
TS=[time,u];          %Create a new matrix called Time Series(TS) which contains
only
                    %time versus horizontal velocity
```

%Find the starting value

```
if TS(1,2)>0
    for i=2:28;
        if TS(i,2)<0
            mat1(i,1)=TS(i,1); %mat1 is the matrix of first group of negative values
            mat1(i,2)=TS(i,2);
        end
    end
    disp(mat1)
    uex1=min(mat1(:,2))    %uex1 is the first extreme
```

```
elseif TS(1,2)<0
    for i2=2:28;
        if TS(i2,2)>0
            mat1(i2,1)=TS(i2,1); %mat1 is the matrix of first group of positive values
            mat1(i2,2)=TS(i2,2);
        end
    end
    disp(mat1)
    uex1=max(mat1(:,2))
end
```

```
for k=1:750
    if TS(k,2)==uex1;
        m=k;
        disp(m)
    end
end
```

```
EX1=[TS(m,1),TS(m,2)]
tex1=TS(m,1)
```

```
for l=1:51;
    tex2=tex1+0.6*l;
    for n=1:750;
```

```

        if tex2==TS(n,1);
            mat2(n,1)=TS(n,1);
            mat2(n,2)=TS(n,2);
        end
    end
end
mat3=nonzeros(mat2(:,1));
mat4=nonzeros(mat2(:,2));
mat5=[mat3 mat4]

k=size(mat5);
plus=0;
minus=0;
s1=0;
s2=0;
for n=1:k
    if mat5(n,2)>0;
        plus=plus+(mat5(n,2));
        s1=s1+1;
    elseif mat5(n,2)<0;
        minus=minus+(mat5(n,2));
        s2=s2+1;
    end
end
meanplus=plus/s1;
meanminus=minus/s2;
disp('meanplus')
disp(meanplus)
disp('meanminus')
disp(meanminus)

```

EK B2: Program 2

%Bu program düzenli bir dalganın dalga orbital hızı zaman serisinin minimum
% ve maksimum değerlerinin ortalamasını bulmak için yazılmıştır.

```
clc;
clear;
T=1.2; %Wave period T=input('Wave Period (s): ');
load 102h_A_01.dat %Loading the dat file which contains velocity data
versus time(s)
time=X102h_A_01(:,1); %Assign column to variable
u=X102h_A_01(:,2); %Assign column to variable
TS=[time,u]; %Create a new matrix called Time Series(TS) which
contains only time versus horizontal velocity
%%% Find the values where sign changes
[sizex]=size(TS);
TSsgn(1)=sign(TS(1,2));
ic=1;%counter;
for i=2:sizex(1)
    TSsgn(i)=sign(TS(i,2));
    if TSsgn(i)~=TSsgn(i-1);
        EX(ic,1:2)=TS(i,1:2);
        EX(ic,3)=i;
        ic=ic+1;
    end;
end
%%% Clean zero values from EX
m=size(EX);
n=m(1,1);
ic2=1;
for it=1:n
    if EX(it,2)~=0;
        EX2(ic2,1:3)=EX(it,1:3);
        ic2=ic2+1;
    end
end
%%% Find the extreme values of submatrices of TS
[sxEX2,syEX2]=size(EX2);
countp=1;
countm=1;
for ix=1:(sxEX2-1);
    firstR=EX2(ix,3);
    lastR=(EX2(ix+1,3)-1);
    if lastR-firstR >= (sizex(1,1))*(T/2)/90 %Discard short interval times
        sig=sign(TS(firstR,2));
        plusminus=(2*-sig);
        sortEX2=sortrows(TS(firstR:lastR,:),plusminus);
        peak(ix,:)=sortEX2(1,:);
        %%%% Assign positive and negative extreme values in different matrices
```

```

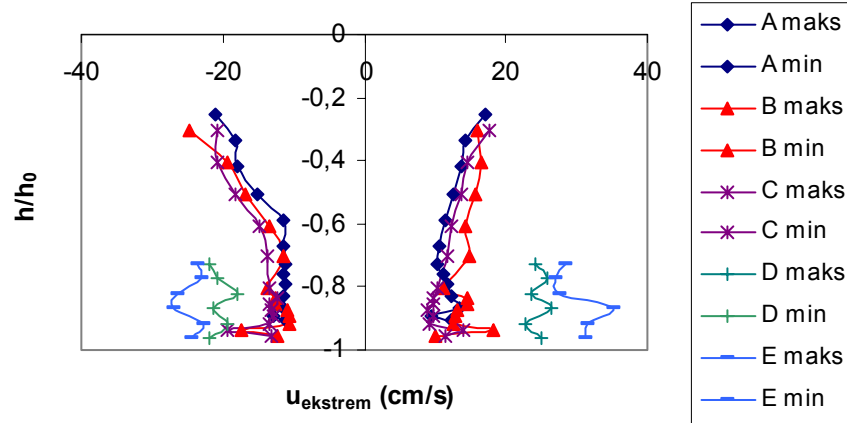
    if sig>0
        peakplus(countp,:)=sortEX2(1,:);
        countp=countp+1;
    elseif sig<0
        peakminus(countm,:)=sortEX2(1,:);
        countm=countm+1;
    end
end
end

disp('peakplus')
disp(peakplus)
disp('peakminus')
disp(peakminus)

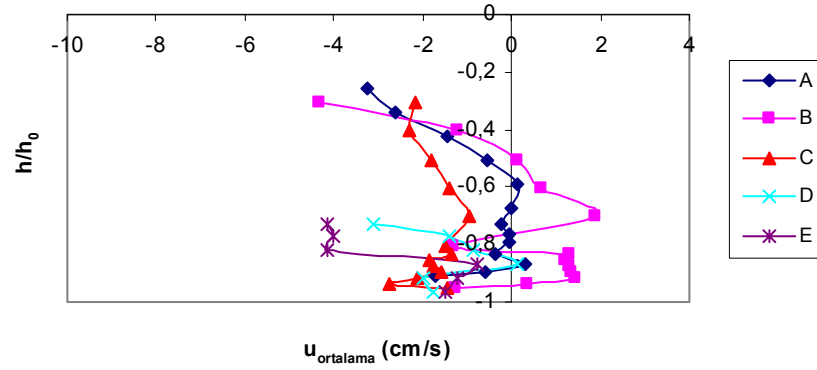
meanpeakminus=mean(peakminus(:,2));
meanpeakplus=mean(peakplus(:,2));
fprintf('\n meanpeakminus= %f',meanpeakminus)
fprintf('\n meanpeakplus= %f',meanpeakplus)
result(1,1:2)=[meanpeakminus, meanpeakplus]
result(2,1:2)=[3, 5]

```

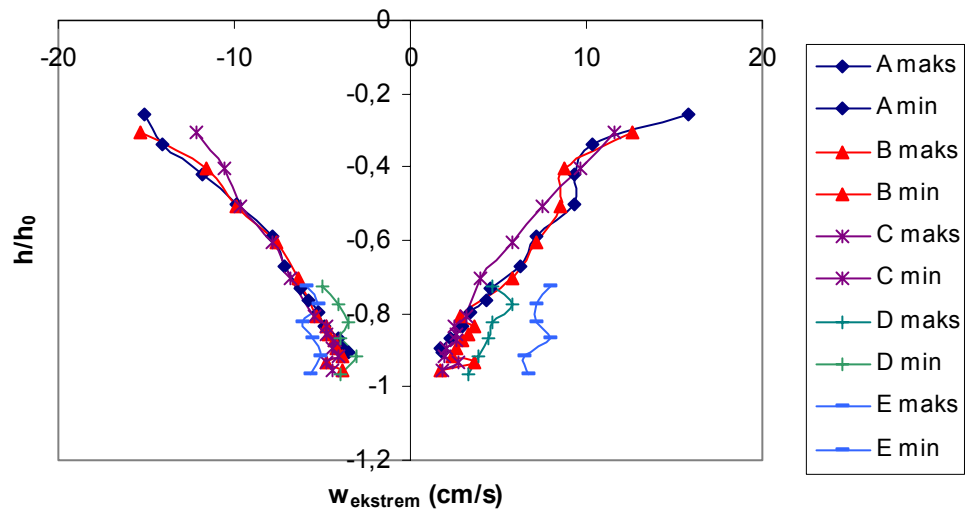
EK C: Hız Profilleri



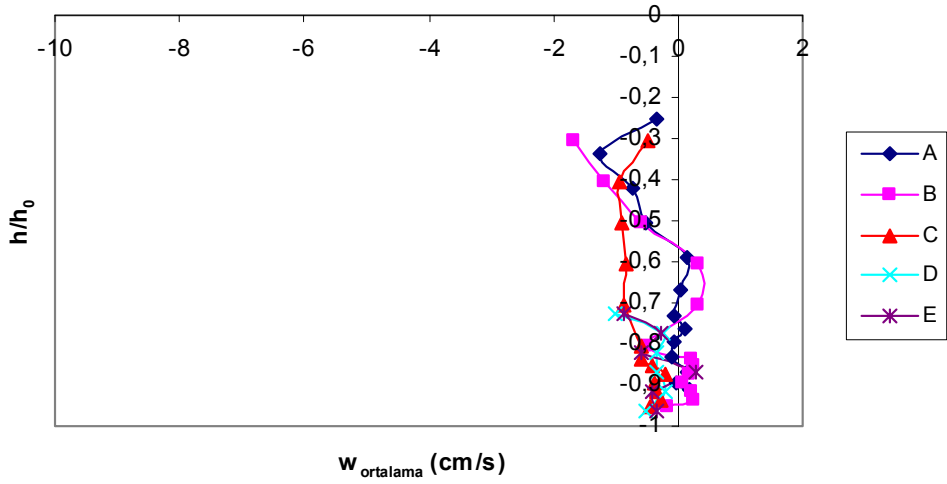
Şekil C.1: 102hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



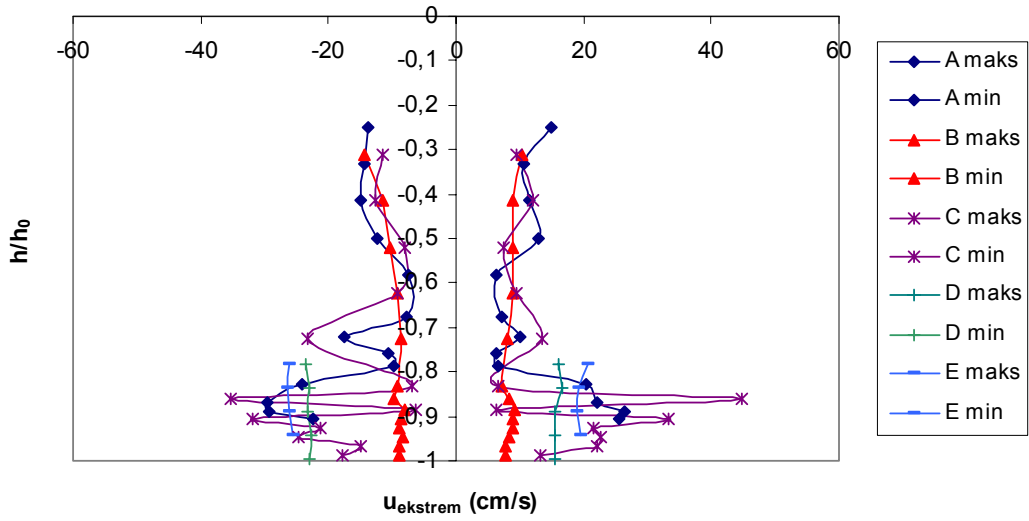
Şekil C.2: 102hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



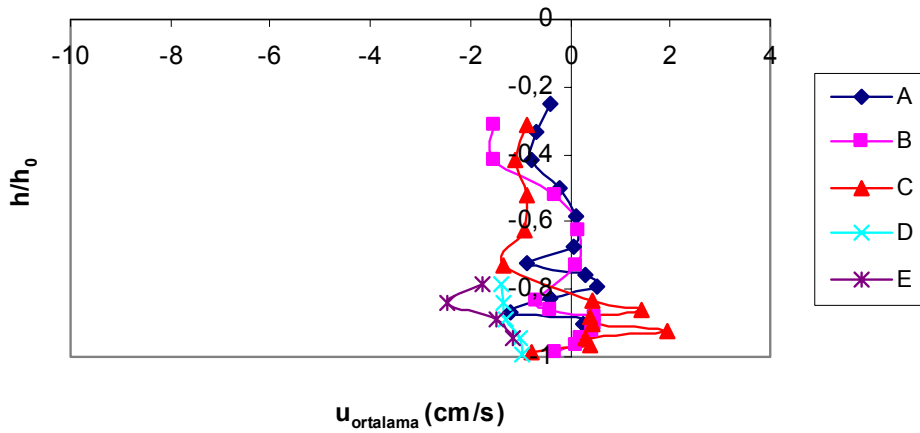
Şekil C.3: 102hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



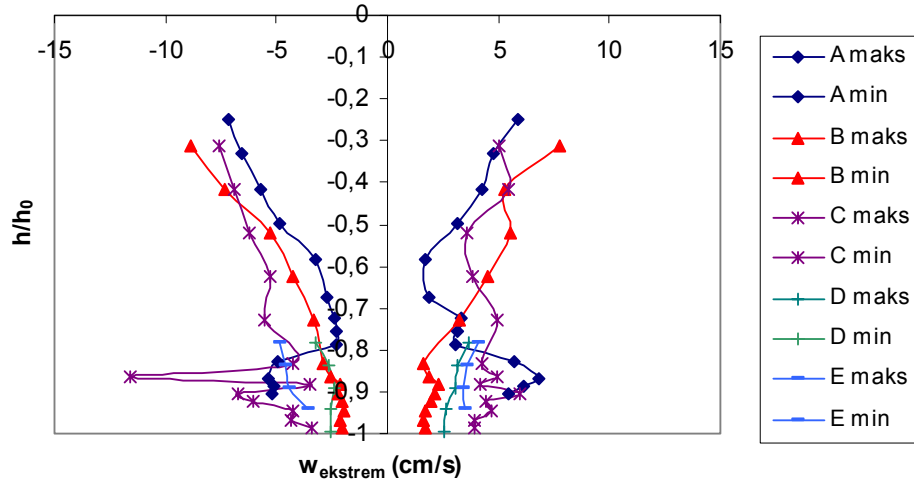
Şekil C.4:102hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.



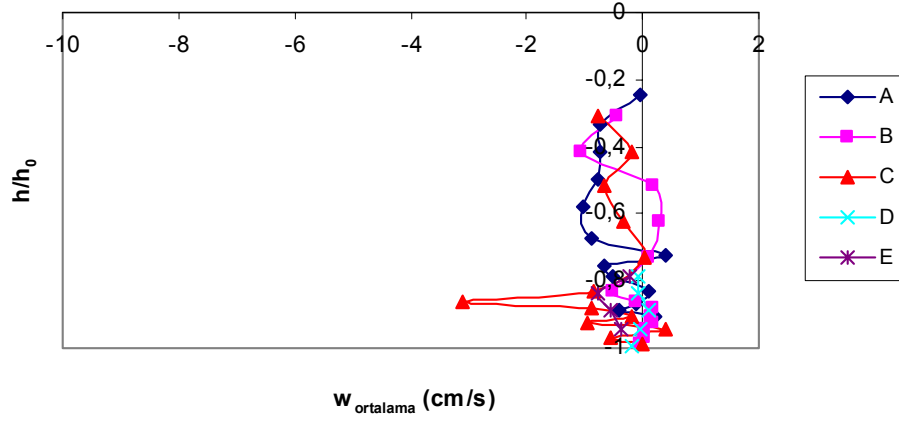
Şekil C.5:104h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



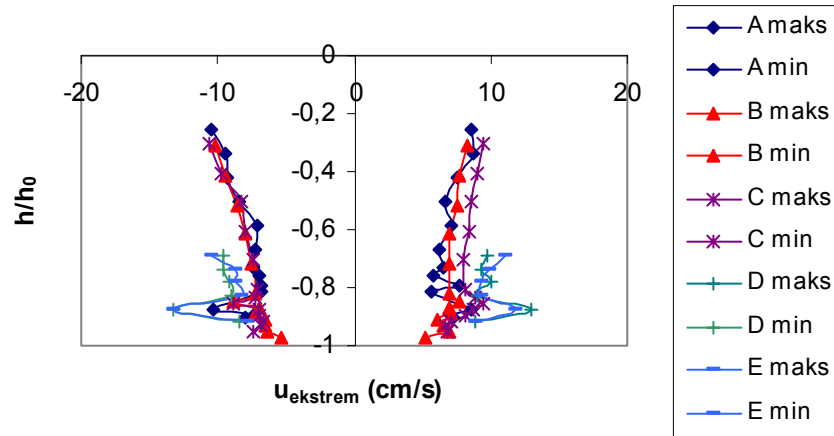
Şekil C.6:104h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



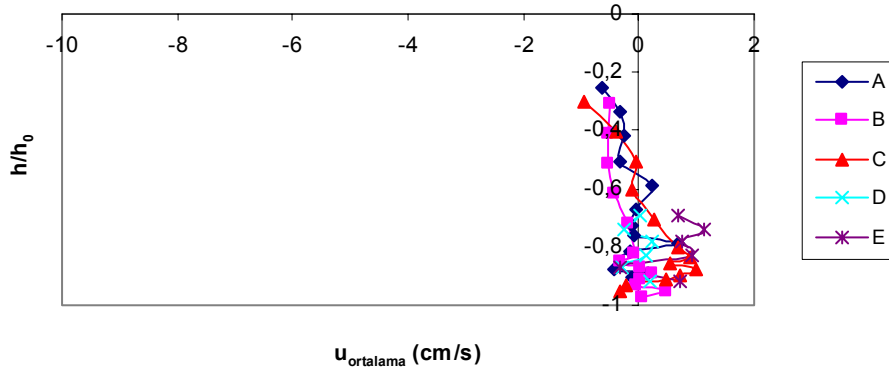
Şekil C.7:104h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



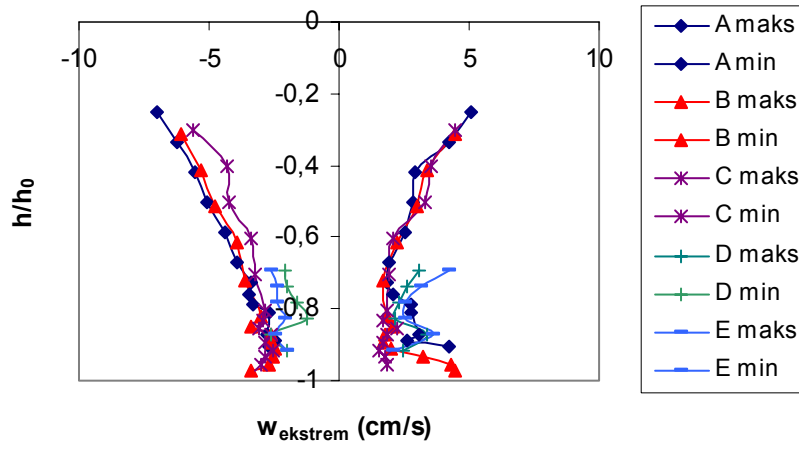
Şekil C.8:104h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.



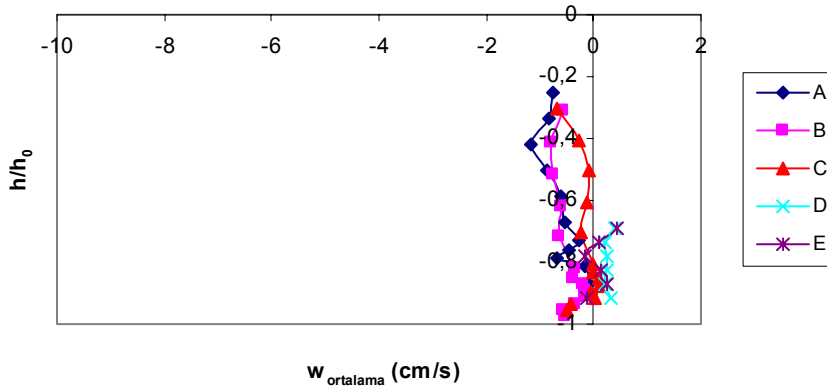
Şekil C.9:104hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



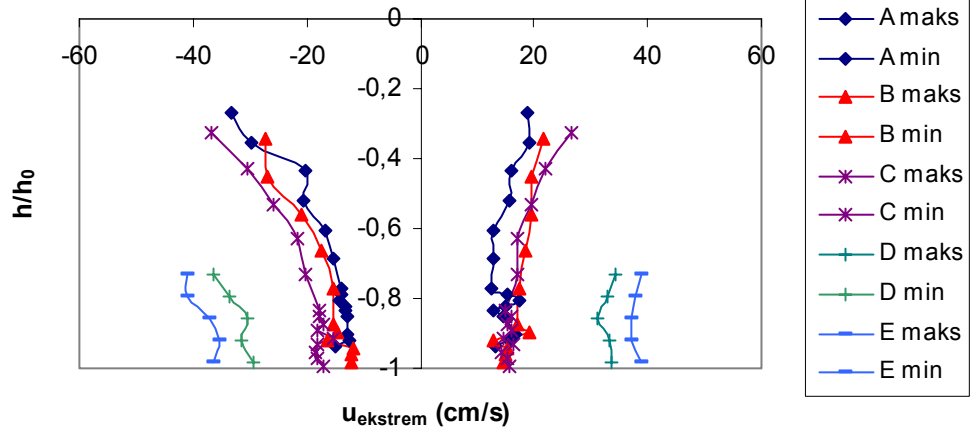
Şekil C.10:104hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



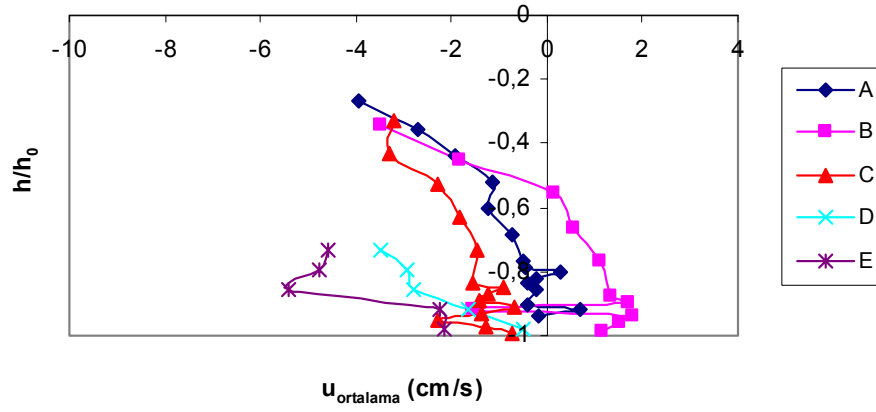
Şekil C.11:104hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



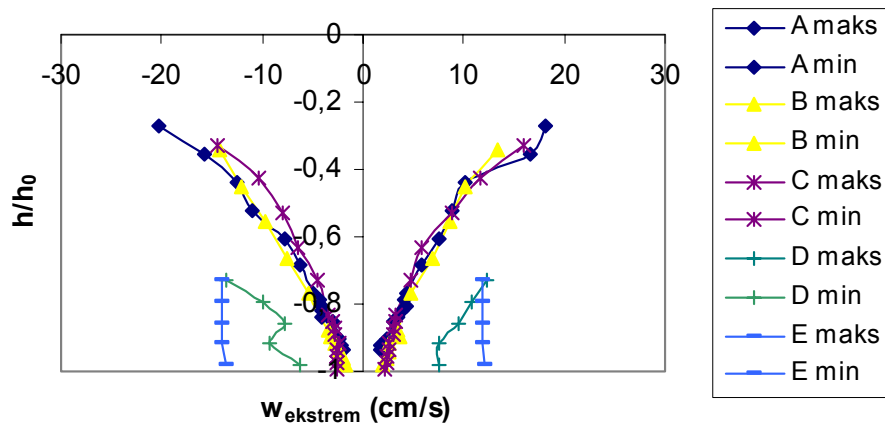
Şekil C.12:104hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.



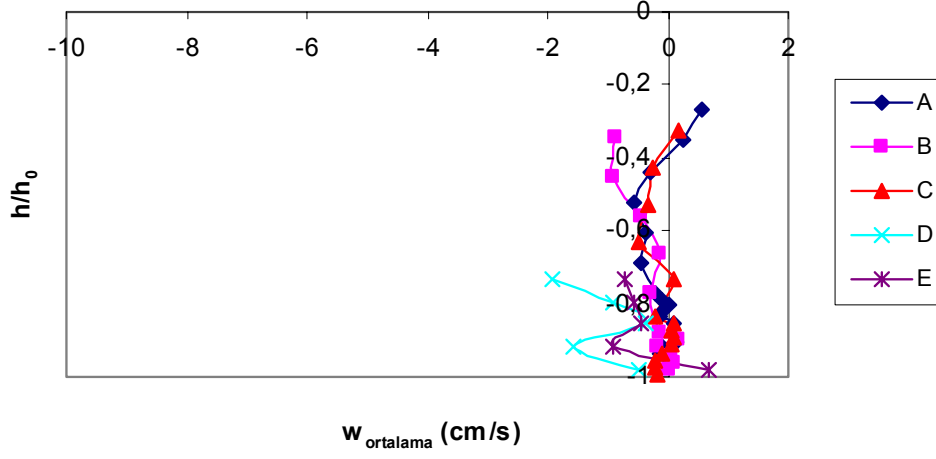
Şekil C.13:302h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



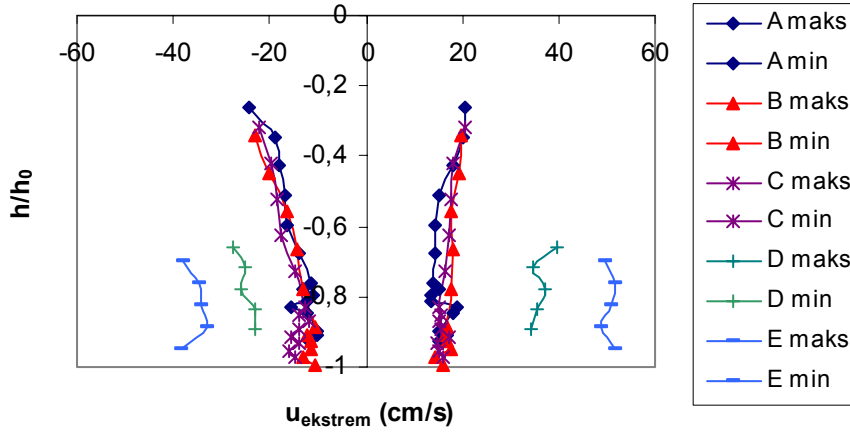
Şekil C.14:302h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



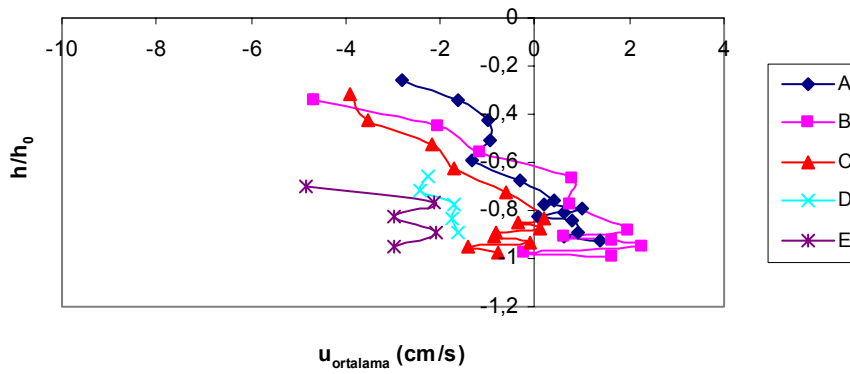
Şekil C.15:302h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



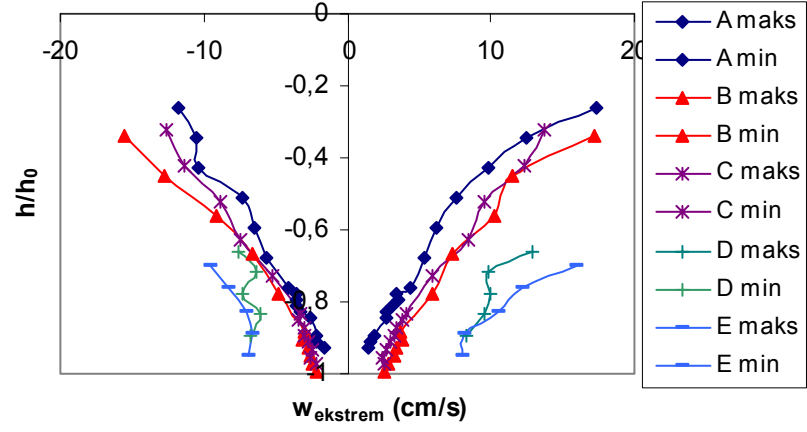
Şekil C.16:302h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.



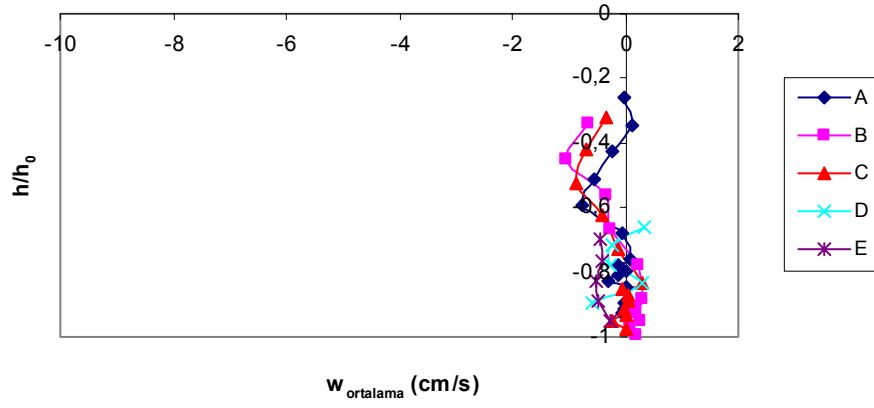
Şekil C.17:302hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



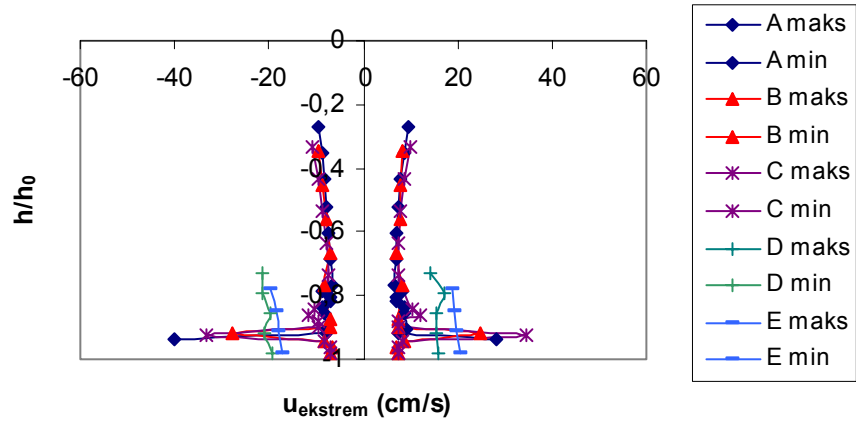
Şekil C.18:302hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



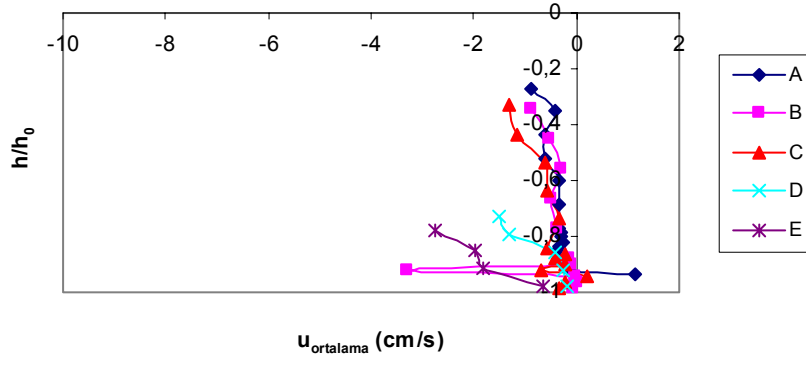
Şekil C.19:302hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



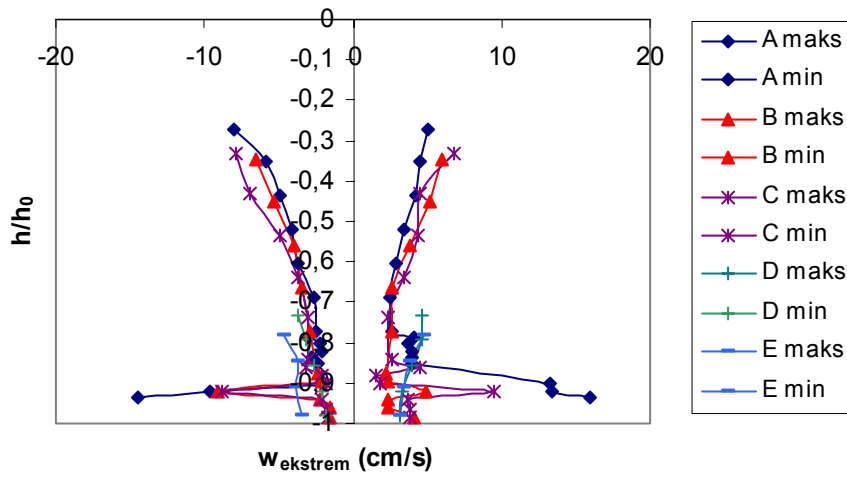
Şekil C.20:302hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.



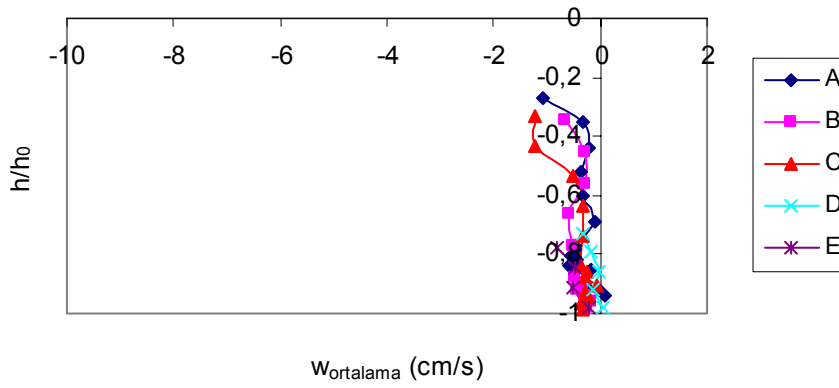
Şekil C.21:304h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



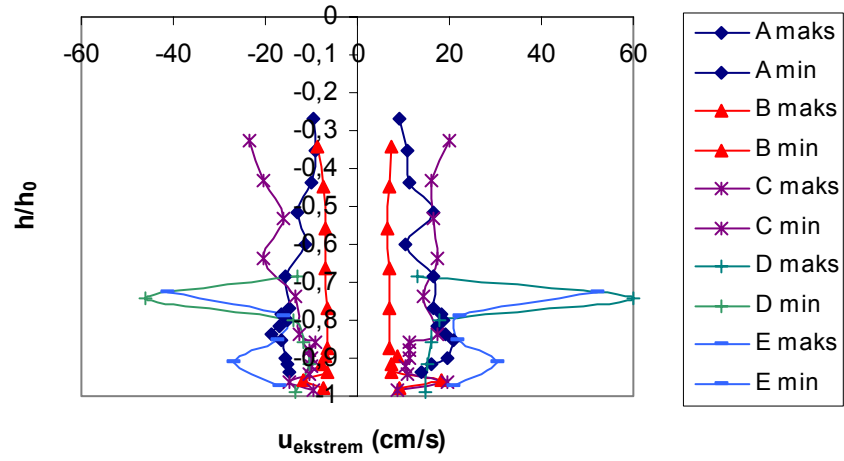
Şekil C.22:304h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



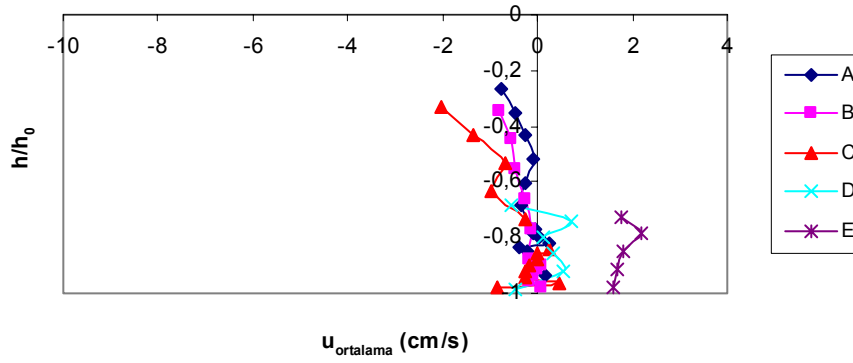
Şekil C.23:304h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



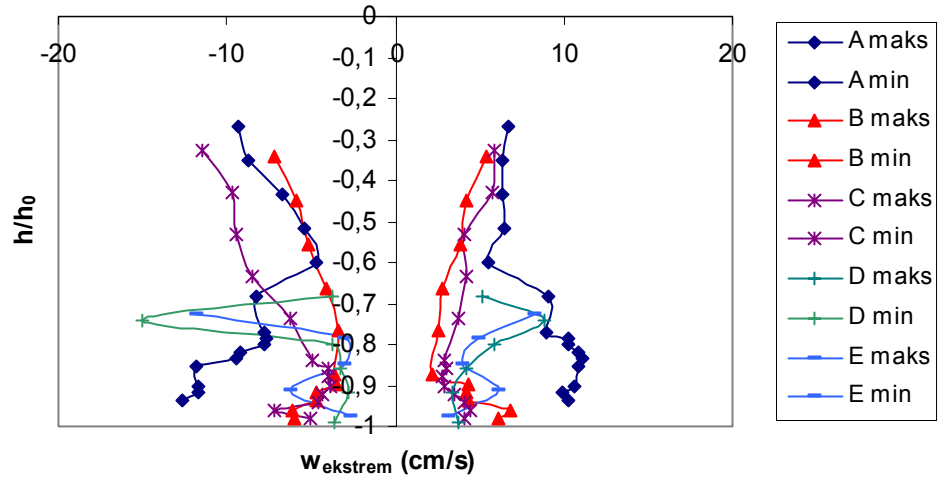
Şekil C.24:304h deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.



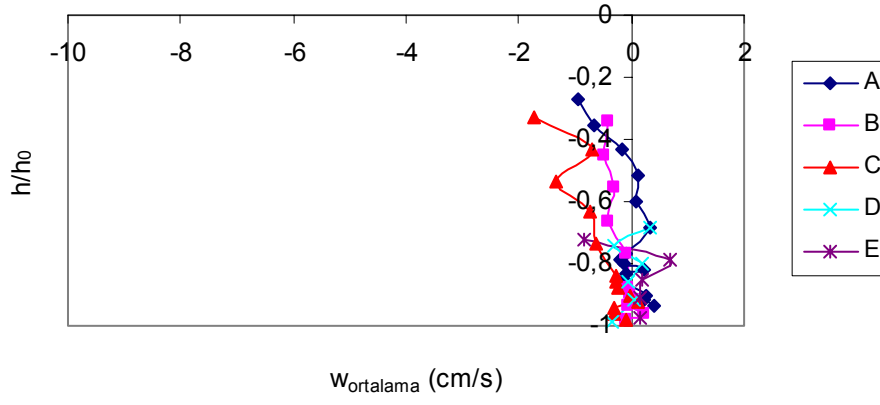
Şekil C.25:304h deneyinde elde edilmiş olan ekstrem yatay hız bileşeni profilleri.



Şekil C.26:304hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama yatay hız bileşeni profilleri.



Şekil C.27:304hr deneyinde elde edilmiş olan ekstrem dikey hız bileşeni profilleri.



Şekil C.28:304hr deneyinde elde edilmiş olan zamansal ortalama dikey hız bileşeni profilleri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nilay ELGİNÖZ

Doğum Yeri ve Tarihi: İstanbul, 09.03.1978

Adres: Ahmet Fetgari Sok., Niyagara Apt., No:138, D:10
Teşvikiye, Şişli, İstanbul

Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi, Çevre Mühendisliği
Bölümü

Yayın Listesi:

Uluslararası Makaleler

- Coastal forest effects on tsunami run-up heights (E. Irtem, N. Gedik, M. Sedat Kabdasli, **Nilay E. Yasa**), *Ocean Engineering*, Volume 36, Issue 3-4, 313-320, 2009.
- Monitoring differential urbanisation to integrate with basin management and a basin information system modelling for Istanbul (S.E. Kacmaz, M. S. Kabdasli, **N. Elginöz Yasa**, V. S. O. Kirca), *Environmental Forensics*, Volume 9 Issue 2-3, 258–264, 2008. DOI: 10.1080/15275920802122999.
- Utility of Remote Sensing Technology for Determining Characteristics of Sandy Beaches (S. Kaya, D. Z. Seker, **N. E. Yasa**, S. Kabdasli, A. Tanik) *Clean - Soil, Air, Water*, Volume 35, Issue 6, 654-659, 2007. DOI: 10.1002/clen.200700116.

Uluslararası Bildiriler

- An experimental study on geotextile usage for protection of scour under submarine pipelines (T. Bağcı, **N. Elginöz Yasa**, B. Bas, E. Oğuz, A. Akgül, A. Yüce, M. S. Kabdasli), 13th Congress of Intl. Maritime Assoc. of Mediterranean, IMAM 2009, İstanbul, Turkey, 12-15 Oct. 2009.

- Monitoring differential urbanisation to integrate with basin management and a basin information system modelling for Istanbul (S.E. Kacmaz, M. S. Kabdasli, V. S. O. Kirca, **N. Elginöz Yasa**), IWA Dipcon 2006, 10th International Specialised Conference on Diffuse Pollution and Sustainable Basin Management, September, 18-22, 2006, İstanbul. (*Environmental Forensics* adlı dergide yayınlanmak üzere seçilmiştir.) (Nilay ELGİNÖZ YAŞA tarafından sunulmuştur.)
- Monitoring a Coastal Zone for Conflict Management (N. Musaoglu, S. Kapdaşli, D.Z. Seker, **N. Elginöz**, S. Kaya), GIS Ostrava 2003 GI/GIT Theory and Practice Bring them Together, January, 27-29, 2003, Ostrava. (Nilay ELGİNÖZ YAŞA tarafından sunulmuştur.)
- Analyzing and management of tourism activities by means of GIS, (D.Z. Şeker, S. Kapdasli, E. Duran, D. Mercan, **N. Elginöz**), GIS 2002, International Symposium on Geographic Information Systems, September, 23-26, 2002, İstanbul.

Ulusal Bildiriler

- İstanbul Boğazı'nda kıyı kullanım çeşitliliğinin ve ortaya çıkardığı sorunların araştırılması, (M. S. Kabdasli, E. Kaçmaz, **N. Elginöz Yasa**, B. Baş, A. Köroğlu), Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VII. Ulusal Kongresi, 27-30 Mayıs 2008, Ankara.
- Su altı bitkilerinin dalga karakteristiklerine etkisinin deneysel olarak araştırılması (**N. Elginöz Yasa**, M. S. Kabdasli, B. Bas, O. Yagci), 6. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, 25-28 Ekim 2007, İzmir. (Nilay ELGİNÖZ YAŞA tarafından sunulmuştur.)
- Filyos Çayı Havzasının Genel Karakteristiklerin Belirlenmesinde Uzaktan Algılama ve Sayısal Arazi Modelinin Kullanım Olanakları, (S. Kaya, M. S. Kabdasli, D.Z. Seker, A. Tanik, N. Musaoglu, **N. Elginöz Yasa**, D. E. Mercan), Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları VI. Ulusal Konferansı, 7-11 Kasım 2006, Muğla.