İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAHİL DRENAJI YÖNTEMİNDE DRENAJ DEBİSİ İLE EROZYON MİKTARI İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Şenol DÜNDAR

Anabilim Dalı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

Programı : Kıyı Bilimleri ve Mühendisliği

ARALIK 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SAHİL DRENAJI YÖNTEMİNDE DRENAJ DEBİSİ İLE EROZYON MİKTARI İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ
Şenol DÜNDAR
(517032010)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25 Eylül 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 25 Aralık 2009

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Sedat KABDAŞLI (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Beyhan YEĞEN (İTÜ)
Prof. Dr. Necati AĞIRALİOĞLU (İTÜ)
Doç. Dr. Emel İRTEM (BALIKESİR Ü)
Doç. Dr. Melek KAZEZYILMAZ ALHAN (İÜ)

ARALIK 2009

ÖNSÖZ

Doktora tezimin her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen herkese en samimi teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

Tez danışmanım Sayın Prof.Dr. M.Sedat Kabdaşlı hocama, tezimin her aşamasında verdiği maddi ve manevi tüm desteği için en kalbi şükranlarımı sunmak istiyorum. Deney sisteminin kurulması, deney aşaması ve verilerin değerlendirilmesinde, içinden asla çıkamayacağımı düşündüğüm anlarda devreye girmiş ve söylediği tek bir cümle ile çözüme odaklanmamı sağlamıştır. Kendisinden öğrendiğim her türlü bilgi ve formasyon, önümüzdeki yıllarda yapacağım bilimsel çalışmalarda bana ışık tutacaktır. Kendisinin öğrencisi olmak benim için büyük bir onurdur.

Tez izleme komitesinin değerli üyeleri Prof.Dr. Beyhan Yeğen ve Doç.Dr. Emel İrtem hocalarıma da değerli yönlendirmeleri ve yorumları ile tezimin başarılı bir şekilde hazırlanmasına verdikleri katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunmak istiyorum.

İstanbul Teknik Üniversitesi Hidrolik Laboratuvarında bulunan tüm arkadaşlarıma da yardımları, fikirleri ve görüşleri için teşekkürlerimi sunarım. Elbette burada kelimelerle anlatamayacağım iyilikseverliği ile yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen Dr. Özgür Kırca'ya ve verilerimin değerlendirme aşamasında verdiği ipuçları ile bana zaman kazandıran Dr. Oral Yağcı'ya teşekkürü borç bilirim.

İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Bölüm Başkanımız Sayın Prof.Dr. Akın Önalp'a, çalışmalarımı daha hızlı yürütmemi sağladığı için teşekkür ederim. Ayrıca sevgili öğrencim Kamil Benli, bitmek bilmeyen enerjisi ve yaz-kış demeden Hidrolik laboratuvarının soğuk ortamında beni yalnız bırakmayıp gelmesi ile takdir ve teşekkürlerimi kazanmıştır. Laboratuvar ortamındaki yorucu çalışmaları kendisi olmadan bitirmemin imkânı olmadığını belirtmek isterim.

Eşim Zehra ve kızım Şeyma en büyük motivasyon kaynaklarım olmuşlardır.

Son sözü yedi yıldır beraber çalışma onurunu duyduğum değerli Hocam Dr. Ali Şentürk'e söylemek isterim. Keskin önsezileri, eşsiz iş hayatı tecrübesi ve yaşam deneyimlerinden hayatımın her alanında faydalanma fırsatını buldum.

Eylül, 2009

Şenol Dündar
Yüksek Mühendis

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ... **iii**
İÇİNDEKİLER ... **v**
ÇİZELGE LİSTESİ ... **vii**
ŞEKİL LİSTESİ ... **ix**
SEMBOL LİSTESİ ... **xiii**
ÖZET ... **xvii**
SUMMARY ... **xix**
1. GİRİŞ ... **1**
1.1 Tezin Amacı ... 3
2. LİTERATÜR ÖZETİ ... **5**
2.1 Giriş ... 5
2.2 Laboratuvar Çalışmaları ... 7
2.3 Saha Çalışmaları ... 11
3. SAHİL YER ALTI SUYU DİNAMİĞİ VE KATI MADDE TAŞINIMI ... **17**
3.1 Sahil Yeraltı Suyu Dinamiği ... 17
3.1.1 Gelgit etkisi altında yer altı su dinamiği ... 18
3.1.2 Dalga etkisi altında yer altı suyu dinamiği ... 29
3.2 Dalga Etkisiyle Oluşan Sızma Hızları ... 35
3.3 Kıyı Akiferinde Tatlı Su – Tuzlu Su Arayüzü ... 37
3.3.1 Sahil drenajı halinde tatlı – tuzlu su arayüzünün teorik olarak belirlenmesi ... 40
3.4 Katı Madde Mekaniği ... 42
3.4.1 Kıyılarda katı madde taşınımı ... 47
3.4.1.1 Kıyı boyu katı madde taşınımı ... 48
3.4.1.2 Kıyıya dik katı madde taşınımı ... 49
4. SIZMA ETKİLERİ ... **51**
4.1 Dalga Tırmanması ... 51
4.2 Maksimum Tırmanma Seviyesi ve Yeraltı Suyu Konumlarına Göre Sızma Etkilerinin İncelenmesi ... 55
4.3 Teorik Yaklaşımlar ... 59
4.3.1 Drenaj debisi ile ilgili yaklaşımlar ... 59
4.4 Sızmanın Erozyona Etkileri ... 61
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR ... **69**
5.1 Giriş ... 69
5.2 Deney Düzeneği ve Prosedürler ... 69
5.3 Dalga Kanalı ... 70
5.4 Dalga Üreteci ... 71
5.5 Dalga Ölçer ve Dalga Probları ... 71
5.6 Drenaj Borusu ... 72
5.7. Deney Sonuçları ... 75
5.7.1 Drenaj borusu yerleşim yerinin erozyona etkisi ... 77

5.7.2 Dalga özelliklerinin profile etkisi 85
5.8 Boyutsuz Parametreler 88
5.9 Dalga Tırmanma Yüksekliği 94
6. TARTIŞMA 97
7. SONUÇLAR 99
KAYNAKLAR 101
EKLER 111
ÖZGEÇMİŞ 141

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Ghyben-Herzberg ve Glover denklemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması 40
Çizelge 4.1 : Değişik yüzey kaplamaları için tırmanma seviyesi düzeltme faktörü 53
Çizelge 4.2 : Tırmanma Yükseklikleri..... 54
Çizelge 5.1 : Dalga özellikleri 80
Çizelge 6.1 : Kontrol parametreleri ve ölçülen parametrelerin ilişkisi..... 98
Çizelge B.1 : Drenajsız durumda deney verileri..... 129
Çizelge B.2 : Drenajlı durumda (2. konum) deney verileri 130
Çizelge B.3 : Drenajlı durumda (5. konum) deney verileri 131
Çizelge B.4 : H_s= 8,535 cm dalga etkisinde deney verileri 132
Çizelge B.5 : H_s=14,386 cm dalga etkisinde deney verileri 132
Çizelge B.6 : H_s=18,782 cm dalga etkisinde deney verileri 133
Çizelge C.1 : Sahil drenajı saha uygulamaları..... 135
Çizelge D.1 : Sızma etkileri ile ilgili çalışmalar..... 139

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Sahil drenajının etki alanı 3
Şekil 2.1 : Plaj su tablası ile çalkantı bölgesindeki katı madde hareketinin kavramsal gösterimi 6
Şekil 2.2 : Thorsminde uygulaması: birim kıyı çizgisi için katı maddedeki net Değişim 14
Şekil 3.1 : Gelgit seviyesi ile 7 ve 11 no'lu kuyulardaki su seviyeleri, 7 ve 11 no'lu kuyuların, ortalama su seviyesi ve sahil yüzü kesişimine mesafeleri 6.6m ve 16.6m dir 19
Şekil 3.2 : Gelgit etkisindeki yer altı su seviyesi şematik gösterimi 20
Şekil 3.3 : Gelgit düşerken sızma yüzü oluşumu 22
Şekil 3.4 : Gelgit yükselirken ve düşerken yer altı su tablasındaki değişim 23
Şekil 3.5 : Tuzluluk (kgm^{-3}), hız vektörleri ve doygunluk değerleri (0.1 sahil eğimi ve 4.41 gelgit periyodu için.) 24
Şekil 3.6 : Tuzluluk (kgm^{-3}), hız vektörleri ve doygunluk değerleri (0.1 sahil eğimi ve 44.1 gelgit periyodu için.) 25
Şekil 3.7 : Tuzluluk (kgm^{-3}), hız vektörleri ve doygunluk değerleri (0.0316 sahil eğimi ve 4.41 gelgit periyodu için.) 26
Şekil 3.8 : Gelgit etkisinde, Sahil drenajı yapılan kıyı akiferinde sınır şartları 27
Şekil 3.9 : Düşük gelgit halinde YASS ve yer altı su akımı (drenajlı hal) 28
Şekil 3.10 : Düsüş gelgit halinde YASS ve yer altı su akımı (drenajsız hal) 28
Şekil 3.11 : Yer altı suyu sirkülasyon hücreleri şematik gösterimi 30
Şekil 3.12 : Tırmanma ve geri çekilme esnasında çalkantı suları ve yer altı suyu ilişkisi 31
Şekil 3.13 : Düşük ve yüksek yer altı suyuna sahip sahillerde dalga tırmanması ile oluşacak yer altı suyu sirkülasyon hareketi 32
Şekil 3.14 : Kapiler yükseklik 33
Şekil 3.15 : Hoque ve Asano (2007) tarafından yapılan nümerik modelin şematik gösterimi 35
Şekil 3.16 : Dalga-sahil yüzü kesişimi, sızma hızının yatay ve düşey bileşenleri 36
Şekil 3.17 : Değişik tane boyutları için sızma hızının yatay ve düşey bileşenleri 37
Şekil 3.18 : Ghyben-Herzberg bağıntısı için kullanılan şematik U-tüpü şekli 38
Şekil 3.19 : Kıyı akiferinde tatlı-tuzlu arayüzünü gösteren şematik gösterim 38
Şekil 3.20 : Tuzlu-tatlı su arayüzünün konumu için Glover tarafından önerilen denklemde kullanılan notasyon için şematik gösterim 39
Şekil 3.21 : Ghyben-Herzberg ve Glover denklemlerinin sonuçlarının grafiksel Karşılaştırılması 40
Şekil 3.22 : Kuyu ile akiferden su çekilmesi halinde tatlı-tuzlu su arayüzündeki Değişim 41
Şekil 3.23 : Taban hareket şekilleri 42
Şekil 3.24 : Shields eğrisi 43
Şekil 3.25 : Taban kayma gerilmesi 44

Şekil 3.26 : Sığ sularda su parçacıklarının yörüngesel hareketi 44
Şekil 3.27 : Dane Reynolds Sayısının değişen değerleri için Laminer ve türbülanslı sınır tabakasının ayrılması..... 45
Şekil 3.28 : Tırmanma esnasında sızma ile oluşan stabilizasyon ve sınır tabakası kalınlığındaki değişimi gösteren şematik gösterim..... 46
Şekil 3.29 : Çekilme esnasında dışarı sızma ile hareketin artışı ve sınır tabakası kalınlığındaki değişimi gösteren şematik gösterim..... 47
Şekil 3.30 : Kıyı boyu katı madde taşınımı 48
Şekil 3.31 : Kıyı bölgesi tanımları..... 49
Şekil 3.32 : Kıyı profilleri..... 50
Şekil 3.33 : Yaz ve kış profilleri..... 50
Şekil 4.1 : Dalga tırmanmasını ifade eden şematik gösterim 51
Şekil 4.2 : Pürüzsüz ve geçirimsiz eğimli sahillerde derin deniz dalga dikliği ve sahil eğiminin boyutsuz tırmanma değeri ile grafiği..... 53
Şekil 4.3 : Drenaj borusu yerleşim yerleri (Sato ve diğ. (2003) 59
Şekil 4.4 : A konumunda drenaj debisinin boru derinliğine bağlı değişimi 60
Şekil 4.5 : B konumunda drenaj debisinin boru derinliğine bağlı değişimi 61
Şekil 4.6 : d_{50}=0.10mm kum için net taşınım oranı (Karambas, 2003) 64
Şekil 4.7 : d_{50}=0.6 mm kum için net taşınım oranı..... 65
Şekil 4.8 : d_{50}=1.0 mm kum için net taşınım oranı..... 65
Şekil 4.9 : Sızma etkisinde taşınım oranının katı madde tane çapıyla ilişkisi..... 66
Şekil 4.10 : Sızma etkisinde katı madde tane boyutunun taşınıma etkisi..... 67
Şekil 5.1 : Drenaj konumları şematik gösterimi 70
Şekil 5.2 : Drenaj konumları..... 70
Şekil 5.3 : Dalga kanalı..... 71
Şekil 5.4 : Drenaj borusu üzerindeki delikler 72
Şekil 5.5 : Drenaj borusu ucuna entegre edilen boru-vana tertibatı..... 73
Şekil 5.6 : Drenaj borusunun sahil içerisinde yerleşimi 74
Şekil 5.7 : Drenaj borusu-vana tertibatı..... 74
Şekil 5.8 : Drene edilen suyun hendeğe boşalması..... 75
Şekil 5.9 : Drenaj sularının toplandığı hendek 76
Şekil 5.10 : Drenaj suları hendeğe akarken 76
Şekil 5.11 : Hendek içerisindeki prob..... 77
Şekil 5.12 : Kullanılan kumun granülometrik eğrisi..... 77
Şekil 5.13 : Deney sisteminde kullanılan notasyonu gösteren şematik gösterim..... 78
Şekil 5.14 : Ölçülen profil üzerinden nümerik olarak hesaplanan parametreler 78
Şekil 5.15 : Belirgin dalga yüksekliğine bağlı olarak erozyon alanındaki değişim.... 79
Şekil 5.16 : Konum parametresinin tüm konumlarda aldığı değerler..... 79
Şekil 5.17 : Üç farklı dalga etkisinde altı adet konumun, erozyon alanına etkisi..... 81
Şekil 5.18 : Drenaj borusu konumlarına göre drene edilen su debileri..... 81
Şekil 5.19 : Belirgin dalga yüksekliği ile bar ağırlık merkezinin SSS'ye mesafesi ilişkisi 82
Şekil 5.20 : Belirgin dalga yüksekliği ile bar ağırlık merkezinin SSS' ye düşey mesafesi ilişkisi 82
Şekil 5.21 : Drenaj debisi ile erozyon alanı ilişkisi, H_s=8.535 cm 83
Şekil 5.22 : Drenaj debisi ile erozyon alanı ilişkisi, H_s=14.386 cm 84
Şekil 5.23 : Drenaj debisi ile erozyon alanı ilişkisi, H_s=18.782 cm 84
Şekil 5.24 : 2. konum ve 5. konum erozyon alanlarının drenajsız hal ile kıyaslanması..... 85
Şekil 5.25 : Belirgin dalga yüksekliği ile X_g ilişkisi..... 86

Şekil 5.26 : Belirgin dalga yüksekliği ile h_g ilişkisi..... 87
Şekil 5.27 : Drenajsız durum ve drenajlı (2.konum) erozyon alanındaki azalma yüzdesi ilişkisi..... 87
Şekil 5.28 : Konum parametresinin çekilen su debisine etkisi..... 88
Şekil 5.29 : Boyutsuz debi parametresinin konum parametresi ile değişimi..... 89
Şekil 5.30 : Boyutsuz debi parametresi ile Dean Sayısı İlişkisi. 89
Şekil 5.31 : Deneysel olarak ölçülen ve analitik olarak tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (1-3-4-5 konumlar)..... 90
Şekil 5.32 : Denklem ile tahmin edilen değerler ile 2-6 konumlarında ölçülen değerlerin karşılaştırılması. 91
Şekil 5.33 : Boyutsuz erozyon alanı parametresinin H/gT^2 ile olan ilişkisi (1-3-4-5 konumları veri olarak kullanılmıştır.)..... 92
Şekil 5.34 : 1-3-4-5 konumlarındaki veriler kullanılarak elde edilen denklem ile hesaplanan veriler ile deneysel olarak ölçülen verilerin karşılaştırılması. 93
Şekil 5.35 : 2 ve 6 konumları için deneysel olarak ölçülen ve denklem ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması. 93
Şekil 5.36 : Tırmanma yüksekliğinin erozyonla ilişkisi..... 94
Şekil 5.37 : Drenajsız ve Drenajlı (2. ve 5. konum) hallerde, dalgaların tırmanma yüksekliğine etkisi..... 95
Şekil A.1 : 88 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 112
Şekil A.2 : 86 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 112
Şekil A.3 : 87 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 113
Şekil A.4 : 31 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 113
Şekil A.5 : 32 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli. 114
Şekil A.6 : 33 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 114
Şekil A.7 : 34 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 115
Şekil A.8 : 41 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 115
Şekil A.9 : 42 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 116
Şekil A.10 : 43 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 116
Şekil A.11 : 39 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 117
Şekil A.12 : 40 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 117
Şekil A.13 : 44 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 118
Şekil A.14 : 83 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 118
Şekil A.15 : 84 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 119
Şekil A.16 : 85 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 119
Şekil A.17 : 89 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 120
Şekil A.18 : 90 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 120
Şekil A.19 : 91 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 121
Şekil A.20 : 70 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 121
Şekil A.21 : 71 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 122
Şekil A.22 : 72 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 122
Şekil A.23 : 73 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 123
Şekil A.24 : 74 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 123
Şekil A.25 : 75 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 124
Şekil A.26 : 76 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 124
Şekil A.27 : 77 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 125
Şekil A.28 : 78 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 125
Şekil A.29 : 79 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 126
Şekil A.30 : 80 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli..... 126

Şekil A.31 : 82 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli 127
Şekil A.32 : 81 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli 127

SEMBOL LİSTESİ

a : Dalga genliği
B : Bar alanı
B_c : Kapiler saçak kalınlığı
C_g : Dalga grup hızı
d_a : Akifer derinliği
d : Drenaj borusunun çapı
D : Ortalama akifer kalınlığı
d_0 : Eliptik yörünge çapı
d_s : Kırılma anındaki su derinliği
d_{sr} : Sörf bölgesindeki katı madde medyan tane çapı (mm)
d_{sw} : Çalkantı bölgesinde katı madde medyan tane çapı (mm)
DGI : Danish Geotechnical Institute
d_{50} : Katı madde medyan tane çapı (ağırlıkça yüzde ellisini geçiren elek çapı)
E : Erozyon alanı
f : Sürtünme faktörü
F : Sızma kuvveti
f_0 : Sürtünme katsayısı
g : Yerçekimi ivmesi
h : Su tablası yüksekliği
h_f : Sakin su seviyesi ile yer altı su seviyesi farkı
h_g : Bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesi ile şev kesişim noktasına düşey mesafesi
h_t : Sahil yüzeyinde dalga tırmanma mesafesi
H : Toplam hidrolik yük
H_s : Belirgin dalga yüksekliği
H_o : Açık deniz dalga yüksekliği
k : Zemin geçirimlilik katsayısı
K : Zeminin hidrolik iletkenlik değeri
K_N : Taban pürüzlülüğü
L : Dalga boyu
L_o : Açık deniz dalga boyu
L_z : Sörf bölgesinde katı madde çökelme hızı parametresi
n : Porozite
n_e : Etkin porozite
p : Basınç
q_{bo} : Sızmanın olmaması halinde akımın birim genişliğinden, birim zamanda geçen taban malzemesi miktarı
q_{bw} : Sızmanın olması halinde akımın birim genişliğinden, birim zamanda geçen taban malzemesi miktarı
$Q_ç$: Drene edilen su debisi
Q_{net} : Kıyıboyu net katımadde taşınımı
Q_{toplam} : Kıyıboyu toplam katımadde taşınımı
Q_o : Sızma olmaması halinde boyutsuz katı madde taşınım parametresi

Q_w : Sızma halinde boyutsuz katı madde taşınım parametresi
r : Drenaj borusunun yarıçapı
R : Dalga tırmanma yüksekliğinin sakin su seviyesine düşey mesafesi
Re : Reynolds Sayısı
$R_{2\%}$: Dalgaların sadece %2'si tarafından aşılan tırmanma yüksekliği
s : Özgül veri
s_r : Rölatif yoğunluk
T : Lokal dalga periyodu
tan α : Sahil eğimi
T_s : Belirgin dalga periyodu
u : Yatay yer altı su akımı
U_i : Sızma hızı
u_m : Tabandaki maksimum yatay hız
u_* : Kayma hızı
u_{*0} : Sızmanın olmadığı halde kayma hızı
u_p : Sızma hızının yatay bileşeni
X_g : Bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesi ile şev kesişim noktasına yatay mesafesi
X_b : Drenaj borusunun sakin su seviyesi ile şev kesişim noktasına yatay Mesafesi
x' : Yatay eksenin sahil yüzüne paralel alınması durumunda değiştirilmiş yatay eksen
x_{ie} : Yeraltı suyu çıkış noktasının sakin su seviyesi ile şev birleşim noktasına yatay mesafesi
w : Düşey akım hızı
w_p : Sızma hızının düşey bileşeni
w_{sr} : Sörf bölgesinde katı madde çökelme hızı
Y_b : Drenaj borusunun sakin su seviyesi ile şev kesişim noktasına düşey mesafesi
ν : Kinematik viskozite
w : Katı madde çökelme hızı
z' : Düşey eksenin sahile dik alınması durumunda değiştirilmiş düşey eksen
z_{ie} : Yeraltı suyu çıkış noktasının sakin su seviyesine düşey mesafesi
α : Sahil yüzeyinin yatayla yaptığı açı
α_s : Değiştirilmiş Shields Parametresinin payındaki, sınır tabakasındaki değişimi gösteren sabit
β_s : Değiştirilmiş Shields Parametresinin paydasındaki, katı madde efektif ağırlığındaki değişimi gösteren sabit
ρ : Özgül kütle
τ_o : Taban kayma gerilmesi
τ_c : Kritik kayma gerilmesi
ξ : Yeraltı su tablasının sakin su seviyesine mesafesi
ξ_o : Iribarren sayısı
γ : Yüzey gerilmesi
γ_a : Su tablası ile yatay eksen arasındaki açı
ρ_s : Tuzlu su özgül kütlesi
ρ_f : Tatlı su özgül kütlesi
Φ : Boyutsuz sürüntü malzemesi debisi
θ : Shields Parametresi

κ : Kırılma anında dalga yüksekliğinin su derinliğine oranı
θ_{in} : Sızma etkilerini içeren Shields Parametresi
ϕ : Kumun içsel sürtünme açısı
ε : Düzeltme katsayısı
η : Dalga üst kotunun sakin su seviyesine düşey mesafesi
$\overline{\eta}$: Statik setup miktarı
$\hat{\eta}$: Dinamik setup miktarı

SAHİL DRENAJI YÖNTEMİNDE DRENAJ DEBİSİ İLE EROZYON MİKTARI İLİŞKİSİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

ÖZET

Sahiller hem dalga enerjisinin kırılmasında önemli rol oynamakta hem de turistik açıdan önem arzetmektedir. Sahiller normal şartlar altında dinamik denge halindedir. Ancak gelişen sanayi, sayısı hızla artan nüfus neticesinde kıyı bölgelerine insan müdahalesi olmakta ve dinamik denge bozulmaktadır. Buna göre bazı sahillerde birikme yaşanırken bazılarında erozyon meydana gelmektedir.

Sahil drenajı şimdiye dek saha, laboratuvar ve nümerik çalışmalar ile incelenegelmiş bir kıyı koruma yöntemidir. Sistemin ana felsefesi, yer altı su seviyesini düşürmek ve gelen dalga sularının sızmasını sağlamaktır. Böylece yüksek yer altı su seviyesi halinde yaşanabilecek sıvılaşma ve katı madde efektif ağırlığında düşüş yaşanmayacaktır. Ayrıca, dalga tırmanması esnasında sızan sular, hem dalga tırmanırken hem de çekilirken akım hızında düşüşe yol açacaktır. Böylece kayma gerilmelerinde azalma meydana gelecektir.

Deneysel çalışmalar 22 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde bir dalga kanalında yapılmıştır. Şev eğimi tüm deneylerde 1:5 olarak sabit tutulmuş ve düzenli dalgalar etkisinde profil ve drenaj debisi ölçümleri alınmıştır. Şevde medyan tane çapı d_{50}=0.3 mm olan kum kullanılmıştır. Drenaj borusu olarak 50 mm çapında perfore boru, tüm kanal genişliğince yerleştirilmiştir. Borunun etrafı 8 mm çapında delikler açılarak su girişi sağlanmıştır. Drenaj borusu altı farklı konuma yerleştirilmiş ve bu konumlardan çekilen debiler ölçülmüş, oluşan profiller belirlenmiştir. Yer altı su hendeğinde suyun seviyesi tüm deneylerde sakin su seviyesi ile aynı tutulmuştur.

Deney sonuçlarına göre, drenajsız durumda 4 cm'den az yüksekliğe sahip dalgaların erozyona neden olmadığı, bu değerden sonra ise erozyon alanının dalga yüksekliği ile neredeyse lineer olarak artığı gözlenmiştir. Drenajlı durumlar dikkate alındığında ise, boru konumuna bağlı olarak erozyon yaratmayan dalga yüksekliği değeri 8 cm'ye kadar çıkmıştır. Bar ağırlık merkezi boru konumu SSS ile şevin kesişim noktasına yaklaştıkça karaya doğru ilerlemektedir.

Drenaj debisinin miktarı ile erozyon alanı arasında bir ilişki bulunamamıştır. Ancak drenajın hangi konumdan yapıldığı önem kazanmaktadır. Bir başka deyişle, drene edilen suların tırmanan ve çekilen dalga suları mı yoksa mevcut yer altı suyu mu olduğu önem kazanmaktadır. Drenaj borusu konumu karaya doğru ilerledikçe sahil gerisindeki yer altı suyu çekilmektedir. Deneyler sonucunda erozyon alanında en büyük azalma boru 2 konumunda iken elde edilmiştir. 1, 3, 4 ve 5 konumlarındaki veriler dikkate alınarak boyutsuz erozyon alanı parametresi tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bulunan denklem 2 ve 6 konumlarının verileri ile kontrol edilmiştir.

İki konumunda elde edilen değerler ile drenajsız durumdaki değerler karşılaştırıldığında erozyondaki azalma oranı dalga yüksekliği arttıkça azalmaktadır. Dalga yüksekliği 25 cm ve daha büyük olduğu zaman drenajın etkisi görülmemektedir.

Drenaj debisi boru konumu ve dalga yüksekliği ve periyodu ile değişmektedir. Benzer şekilde boyutsuz drenaj debisi parametresi de 1, 3, 4 ve 5 konumlarından elde edilen veriler kullanılarak üretilmiştir. Üretilen denklem 2 ve 6 konumlarının verileri ile kontrol edilmiştir.

Sahil drenajı ile erozyon alanında azalma yaşanmıştır. Bunun nedeni olarak yer altı su seviyesinin düşmesi ile sızma oranında artma ve buna mukabil katı madde efektif ağırlığında artış söylenebilir. Profil verileri incelendiğinde erozyon alanındaki artışın en önemli nedeni ise dalga tırmanma yüksekliğinde yaşanan azalma görülmüştür. Sızmanın artması tırmanan dalga sularının hızının ve miktarının azalmasına ve böylece tırmanma seviyesinde düşüşe yol açmaktadır. Dalga suları çekilirken ise, sızma ile çekilen su hızı azalmış açığa taşıyabileceği malzeme oranı düşmüştür.

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE RELATION BETWEEN THE DRAINAGE FLOW RATE AND THE EROSION IN THE BEACH DRAINAGE METHOD

SUMMARY

Beaches play important roles in both the dissipation of wave energy and for the recreational purposes. They are generally in dynamic equilibrium. But, due to increasing industrial activities and population, human interference into the beaches occurs and the dynamic equilibrium deteriorates in which some beaches accrete, but some of them erode.

Beach drainage is an erosion control method studied in-situ, in the laboratory and numerically. Main philosophy lying under this method is lowering the water table and increasing the infiltration through the sediment matrix. As the infiltration rate increases, the probability of liquefaction and effective weight reduction of sediments will be reduced. Also, water which infiltrates during the wave runup will lead to reduction in flow velocity both in runup and run-down phases. This reduction in flow velocity will lead to reduction in shear stresses.

Experiments are conducted in a narrow flume with 22 m in length, 1 m in width and 80 cm in depth. Slope of beach profile is always kept constant (1:5), the profile and drainage flow rate data are measured. The median grain size of the sediment is d_{50}=0.3 mm. The diameter of the drainage pipe is 50 mm and is laid along the whole width of the flume. The pipe is perforated in 8 mm holes to allow the water suction. Geotextile sheet is wrapped over the pipe to prevent the holes from sediment clogging. 6 drainage pipe locations are determined, beach profiles and drainage flow rates are measured at these locations. Ground water level is kept constant in all experiments same as the still water level.

According to the experimental analysis, the waves which have lower height than 4 cm do not cause any erosion in the profile in no-drain case. For greater values of wave height, the area of the erosion is almost linearly increasing. In case of drainage, the wave height which does not cause erosion in the profile is observed as 8 cm, depending on the location of drainage pipe. Offshore bar center of gravity migrates landwards as the drainage pipe location approaches the intersection of beach profile and still water line.

There is no direct relation between the drainage flow rate and erosion area. On the other hand, the location of the drainage pipe becomes important. The important factor is that whether the runup/rundown wave water or the existing ground water is drained. The ground water is drained as the pipe location migrates landwards. According to the experimental analysis results, the most obvious reduction in the erosion area is observed when the pipe is placed in location (2). Dimensionless erosion area parameter is derived by using the data measured at locations 1, 3, 4 and 5. Derived equation is verified by using the data measured at locations 2 and 6.

When the data measured in location (2) is compared with the no-drain data, erosion area reduction rate is reduced when the wave height is increased. When the wave height is increased up to 25 cm, drainage has no advantage to reduce erosion.

Drainage flow rate depends on the pipe location, wave height and period. Similarly, dimensionless drainage flow rate parameter is derived by using data measured at locations 1, 3, 4 and 5. Derived equation is verified by using data measured at locations 2 and 6.

Erosion is reduced by beach drainage. The increase in the infiltration rate by lowering the water table leads to reduction in the effective weight of the sediments and decrease in the flow velocity of the runup/rundown swash flows. When the profile graphs are investigated, the main reason for the erosion reduction should be the reduction of the wave runup height. Increase in the infiltration rate leads to reduction of the runup wave flow velocity and quantity, resulting in the decrease of runup limit of water waves. In the down-rush phase, the flow velocity is also reduced and the ability to carry sediment is decreased.

1. GİRİŞ

Plajlar ince kumlardan iri kayalara kadar değişen büyüklükte kayaların birikmesiyle oluşmuş jeolojik bölgelerdir. Plajlar kara, hava ve deniz birleşiminde yer almakta olup morfolojileri dalga mekaniği, katı madde özellikleri ve mekaniği, plaj yeraltı suyu akımı ve dinamiği ile rüzgar etkilerinin etkileşimine bağlıdır. Bu özelliğinden dolayı plaj morfolojisi dinamik bir yapıya sahiptir. Öte yandan yerküre üzerindeki farklı bölgelerde farklı dalga iklimleri görülse ve kıyı bölgelerinin bileşimleri farklılık arz etse de sahillerin doğası ve davranışları büyük oranda benzerlik göstermektedir.

Tarih boyunca insanlar okyanusla karanın buluştuğu bu bölgelere yapılar inşa etmektedirler. Limanlar tarih boyunca deniz kuvvetleri için üs, ticari ulaşım amacıyla kullanıldığından da medeniyetin merkezleri olmuşlardır. Şehirler de ulaşım, yemek imkanları ve ekolojik faydaları nedeniyle kıyı şeritlerinde kurulmuştur. Birleşmiş Milletler, USES raporuna (2006) göre dünyanın en kalabalık on kentinden sekizi kıyı şeridinde kurulmuştur .

1. Tokyo, Japonya - kıyıda
2. Mexico City, Mexico – kıyıdan uzak
3. Mumbai, Hindistan - kıyıda
4. Sáo Paulo, Brezilya – kıyıdan uzak
5. New York City, ABD - kıyıda
6. Shanghai, Çin - kıyıda
7. Lagos, Nijerya - kıyıda
8. Los Angeles, ABD - kıyıda
9. Calcutta, Hindistan - kıyıda
10. Buenos Aires, Arjantin – kıyıda

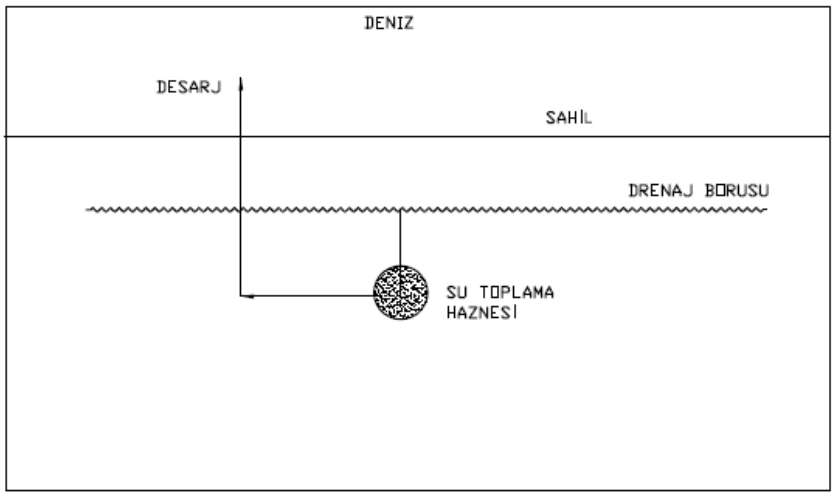
20. yy başlarında 2 milyar olan dünya nüfusu 21. yy başlarında 6 milyara yükselmiştir. Bir başka söylemle, dünya nüfusu son yüz yıl içerisinde üç kat artmıştır ve artmaya devam etmektedir. Dünya nüfusunun %44'ü kıyı çizgisinden 150 km'ye uzanan bölgede yaşamaktadır. Bu rakam 1950 yılında yerküre üzerindeki insan nüfusundan daha fazladır. Kıyı şeridinde nüfus hızla artmaktadır. Artan nüfusla beraber, insanlar ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla kıyı bölgelerinde ziraat yapmakta, evler ve fabrikalar inşaa etmektedirler. Buna bir de sahil turizmi eklenince insanlar bu bölgedeki yapılarını, mallarını, ürünlerini ve canlarını korumak amacıyla kıyı koruma yapıları inşa etmektedirler. Böylece insanlar kıyıda meydana gelen doğa olaylarına müdahale etmek zorunda kalmaktadırlar.

Plaj drenajı, plajdaki yeraltı suyunun düşürülmesi ile plaj yüzündeki katı madde birikmesini artırmak, veya erozyonu azaltmak, amacıyla 1940'lı yıllarda Bagnold (1940) tarafından önerilmiş ve günümüze kadar çeşitli laboratuvar deneyleri, nümerik analizler ve saha çalışmalarıyla çalışılagelmiş bir erozyon kontrol yöntemidir. Yeraltı su tablasının düşmesiyle gelen dalgalar zemine sızabilecek ve dönen dalga hacmi ve momentumu azalacaktır. Ayrıca zeminin doygun olması halinde oluşabilecek sıvılaşmayı engelleyebileceğinden, zemin taneleri arasındaki sürtünmenin artması ve böylece harekette azalma sağlanacaktır. Bir başka etkisi de zemine sızan tanelerin efektif ağırlıklarının artmasıdır. Böylece tanelerin birbirine uyguladıkları normal gerilme artacak, bu sayede sürtünme arttığından taneler dönen dalgaların etkisiyle kolayca taşınamayacaktır (stabilizasyon etkisi). Son zamanlarda çalışılan bir başka etkisi ise sızma ile sınır tabakasının incelmesi ile artan kayma gerilmelerinin erozyona neden olmasıdır. Kaba taneli sahillerde, sınır tabakası etkileri baskın olup, sızma ile taşınımda artma gözlenmektedir. Öte yandan, ince malzemeli sahillerde stabilizasyon etkileri baskın olup, sızma ile taşınımda azalma görülebileceği belirtilmektedir.

Dalga tırmanması esnasında, aşağı yönlü piyezometrik eğim, katı madde etkili ağırlığını artıracak ve böylece harekette azalma görülecektir. Çekilme esnasında ise, yukarı yönlü piyezometrik yük gradyanı, yer altı suyunun dışarı yönelmesine ve hatta sıvılaşmaya neden olabilir. Bunun sonucunda, sıvılaşan katman çekilen dalga sularıyla daha rahat taşınacağından katı madde hareketini artırabilecektir. Yukarı yönlü piyezometrik yük eğimi sıvılaşmaya neden olmayacak kadar küçük olsa dahi, katı madde etkili ağırlığını düşüreceğinden hareketi artırabilir.

Öte yandan, sızma ile sınır tabakası inceldiğinden, katı madde hareketi artmaktadır. Dışarı sızma ile ise, sınır tabakası büyümekte olup, katı madde hareketinde azalma görülmektedir.

En genel halde sahil drenajı yapılmış bir sahilin şematik gösterimi Şekil 1.1'de görülmektedir. Burada sahil çizgisine paralel döşenmiş drenaj boruları vasıtasıyla toplanan sular yerçekimi etkisiyle bir hendeğe aktarılmaktadır. Bu hendekten ise bir pompa vasıtasıyla denize geri gönderileceği gibi, bu sular kum içerisinden geçerken arıtılmış olacağından akvaryum gibi tesislere de gönderilebilmektedir.



Şekil 1.1 : Sahil drenajının etki alanı.

1.1 Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, sahillerdeki katı madde taşınımına etki eden dalga mekaniği, yeraltı suyu dinamiği ve katı madde mekaniği konularını ayrıntılarıyla ortaya koyup, sahil drenajı ile oluşacak etkileri araştırmaktır. Gelgit etkisindeki sahillerde çokça çalışılmış olan konu, dalga tırmanması ve geri çekilmesi ile oluşacak yüksek frekanslı etki altında gerekli ilgiyi bulamamıştır. Bu amaçla, gerekli veriler, kurulacak fiziksel hidrolik modellerde, sahil yüzünde oluşacak morfolojik değişimlerin gözlenmesiyle sağlanacaktır.

Sahil drenajı, sahil erozyonunu azaltmak ve böylece sahil genişliğini korumak amacıyla yapılmaktadır. Sistemin değişik özellikteki dalgaların etkisinde erozyonu hangi oranda azaltacağı, ve bu durumda sahil profilinin belirlenmesi tezin ana amacını oluşturmaktadır. Bunun yanında, drene edilen su debisinin belirlenmesi ile pompa kapasitesinin belirlenebilmesi ve suyun biriktirileceği haznenin tasarımında

kullanılacağından önemlidir. Tez kapsamında önerilen bağıntılar ile hem değişik özellikteki dalgaların etkisinde yaşanacak oyulma miktarı ve hem de çekilen debi tahmin edilebilmektedir.

Ayrıca sahilde oluşacak oyulmanın yanında oyulan malzemenin birikeceği tümseğin konumu da ölçülmüş ve hem oyulma hem tümsek konumları drenajlı ve drenajsız durumlar için analiz edilmiştir.

Elde edilen bağıntılar ve ölçümler neticesinde sahil drenajı uygulanan bir sahilde denajın profil oluşumuna etkileri ortaya konmaya çalışılmıştır.

2. LİTERATÜR ÖZETİ

2.1 Giriş

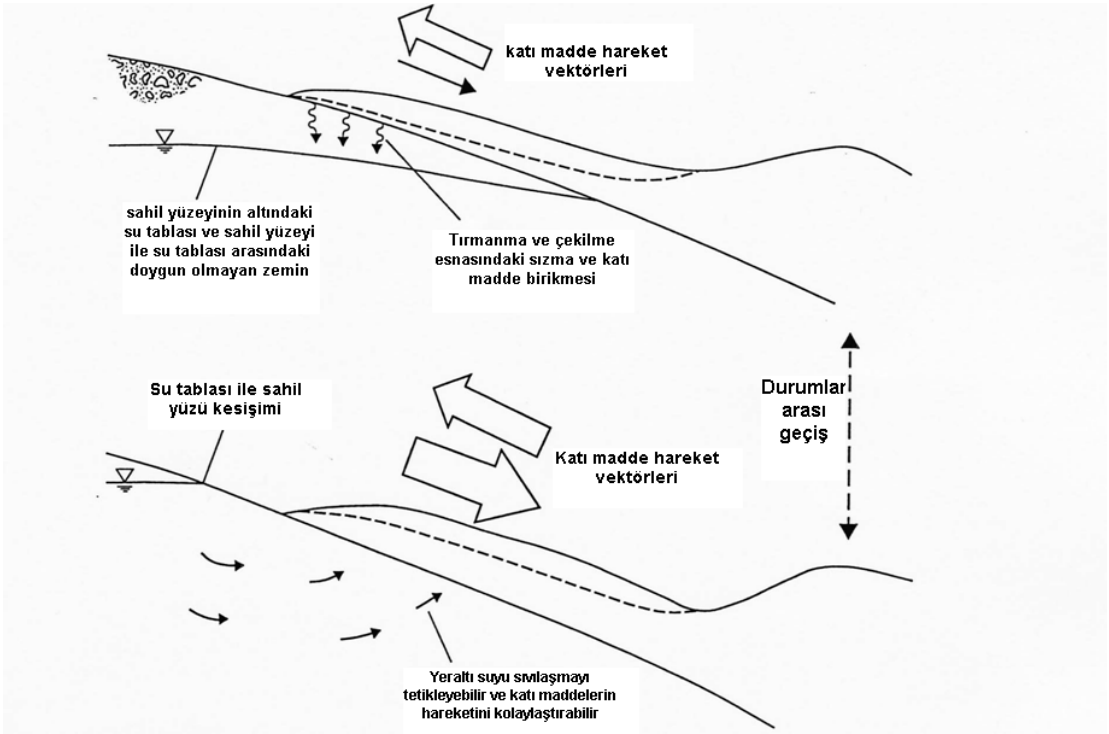
Sahildrenajı kavramının kökeni 1940'lı yıllara dayanmaktadır. Bu yıllarda Bagnold (1940) erozyon kontrolünde sahil yüzü geçirimliliğinin rolünü, Grant (1946, 1948) ise sahil yeraltı suyunun gelgite bağlı dinamiğini incelemişlerdir.

1940 yılında Bagnold yaptığı laboratuvar deneyleri sonucunda, dalga plaj yüzü boyunca tırmanırken sızması azaltılır veya engellenirse, sızmanın olduğu hale nazaran çok daha büyük bir enerji ile geri döneceği tezini ortaya koymuştur. Deneylerinde plaj yüzeyinin altına geçirimsiz bir tabaka yerleştirmiş ve katı madde tane boyutunu değiştirmeden sızmayı azaltmıştır. Bagnold (1940) dalga tırmanması sırasında enerjinin iki yolla sönümlenebileceğini ifade eder. Birincisi akışkan içsel sürtünmesi ve taban pürüzlülüğü, diğeri ise geri dönmeyen ve zemine sızan dalga sularının oluşturacağı potansiyel enerji kaybıdır. Bagnold'un deney sonuçlarına göre, dalga tırmanması esnasında plaj yüzünde sızma artırılabilirse kum taneciklerinin erozyonu azaltılabilecektir.

Bagnold (1940) sahil yüzü eğiminin, herhangi bir seviye üzerinde sönümlenen tırmanma enerjisinin bu seviyeden geçen toplam tırmanma enerjisine oranının bir fonksiyonu olduğunu ifade eder. Buna göre, sahil drenajı ile yeraltı suyu seviyesi düşürülür ve tırmanan dalgaların zemine sızması sağlandığında belirli bir seviye üzerinde sönümlenen tırmanma enerjisi artırılmış olur. Dolayısıyla, bu seviye üzerinde sönümlenen enerjinin bu seviyeden geçen toplam enerjiye oranı artacağından sahil yüzü eğimi de artacak ve daha dik hale gelecektir.

Grant (1946, 1948) Kaliforniya sahillerinde yaptığı çalışmalarla sahil yeraltı su seviyesinin kıyı çizgisinin morfolojik dinamiğine önemli etkisinin olduğunu niteliksel olarak ortaya koymuştur. Grant, düşük yeraltı su seviyesine sahip geçirgen bir sahilin, yüksek yeraltı su seviyesine sahip bir sahilden daha stabil olduğunu söylemektedir. Düşük yeraltı su seviyesine sahip sahillerde, dalga çalkantı bölgesinde tırmanırken doygun olmayan – geçirgen zeminde yeraltı suyuna doğru sızacaktır. Bu sızma

sonucunda hem sahil yüzünde tırmanan dalganın hem de dönen dalganın hızı ve miktarı azalacaktır. Hızlar, katı madde taşınımı için gerekli kritik değerin altına düştüğünde akım türbülanslı halden laminer hale dönüşecek, bu dönüşüm sırasında ise birikme meydana gelecektir.



Şekil 2.1 : Plaj su tablası ile çalkantı bölgesindeki katı madde hareketinin kavramsal gösterimi (Grant, 1948).

Su seviyesi sızma sayesinde düşürülürse, dönen dalganın laminer karakteri uzun bir süre korunabilecektir. Grant (1948), düşük su tablasına sahip sahillerde, açık denize dönen dalga akımının hızının azalacağını ve laminer akım oluşacağından plaj ön yüzünde birikme olacağı sonucunu çıkarmıştır. Plaj ön yüzünde birikme devam ettiğinde eğim artacak ve artan eğimle yavaş yavaş denge eğimine ulaşılacaktır. Açık denize dönen dalgaların hızı artacağından birikme azalacak veya engellenecektir.

Grant (1948) ayrıca plajın doygun olması halinde zemine sızma olmayacağından çekilen dalga seviyesinde azalma olmayacağını, hatta yüzeye çıkan yeraltı suyu nedeniyle artacağını ifade etmektedir. Artan seviye ve hız türbülanslı akım meydana getirecek ve katı maddelerin açık denize taşınmasına neden olacaktır. Zemine doğru hareket eden yeraltı suyu zemin taneciklerinin sıvılaşmasına neden olacak ve çekilen dalga ile daha kolay hareket etmelerini sağlayacaktır.

Grant (1948)'in teorisinin zayıf yanlarından birisi sahil katı madde özelliklerinin sızmaya olan etkisini gözardı etmesidir. Ayrıca, yeraltı suyu dinamiğinin sahil morfolojisi, gelgit yüksekliği ve dalga hidrodinamiği ile olan etkileşimini dikkate almamış, su tablasının üst kotu olarak doygun bölgenin üst kotunu almıştır.

Emery ve Foster, 1948 yılında kumlu plajlarda yeraltı suyunun dinamiğini inceleyen ilk çalışmayı yayınlamışlardır. Yeraltı suyu dinamiği ile gelgit dalgalanmaları arasındaki ilişkiyi ve plaj katı madde özelliklerini inceleyen ilk araştırmacılar olmuşlardır. Bu çalışmada, gelgit dalgaları yükselirken yeraltı suyunun genellikle karaya doğru eğim aldığı, düşerken ise denize doğru eğimli olduğu sonucuna varmışlardır. Gelgit dalgaları yükselirken plaj önünün doygun olmayacağı, düşerken ise doygun halde olacağını ifade ederler.

Emery ve Foster (1948), gelgit kaynaklı su tablası dalgalanmalarının karaya doğru bir gecikme ve azalmayla gerçekleşeceğini ve bunu etkileyen unsurun sahilde mevcut katı maddenin hidrolik iletkenliği olduğunu belirtmişlerdir. Araştırmacılar ayrıca hava tutulmasının hidrolik iletkenliği azalttığını belirtmiş ve bunun da sızma ve yeraltı suyu akımına olan etkilerini incelemişlerdir. Sızma sırasında meydana gelecek hava tutulması ile hava kabarcıkları zemin içerisindeki boşlukları tıkayacak ve hidrolik iletkenliği azaltacaktır.

2.2 Laboratuvar Çalışmaları

Yeraltı su seviyesinin değişiminin sahil erozyonuna etkisini laboratuvarda ilk inceleyenler 1975 yılında Machemehl ve arkadaşları olmuştur. Yaptıkları deneylerde kumun altına yerleştirilecek filtre sisteminin sahil önünün stabilite ve birikmesine olan etkilerini araştırmışlardır. İki boyutlu dalga kanalında değişik yükseklikteki monokrom dalgalarla dört deney yapmışlar ve sahildeki suyun çekilmesiyle sahil önünde kum birikmesi olduğunu belirtmişlerdir.

Kawata ve Tsuchiya (1986) da benzer sonuçları ifade etmişlerdir. Hem normal hem de fırtına dalgalarını test etmişler ve her iki durumda da yeraltı suyunun düşürülmesinin olumlu sonuçlar doğurduğunu rapor etmişlerdir.

Ogden ve Weisman (1991) yaptıkları deneysel çalışmalarda, sahil drenajının hangi dalga koşullarında verimli olarak kullanılabileceğini araştırmışlardır. Sistemi ekonomik açıdan verimli işletebilmek için normal dalga koşullarında drenajın sahilde

birikme hızını artırıp artırmayacağı veya fırtınalı dalga koşullarında drenajın erozyon hızını azaltıp azaltmayacağı gibi faktörleri bilmek önem taşımaktadır. Ayrıca yaptıkları deneyler ile drene edilen su debisinin hangi faktörlere bağlı olduğunu ortaya koymaya çalışmışlardır. Drenaj debisi, pompa kapasitesinin ve hendek boyutlarının belirlenmesinde kullanılacağından önemli bir tasarım parametresidir.

Deneylerde gelgitin olduğu ve olmadığı durumları çeşitli dalga koşulları için drenajlı ve drenajsız olarak incelemektedir. Kullanılan dalga tankı 32.7 m uzunluğunda, 0.91 m genişliğe ve derinliğe sahiptir. Dalga jeneratörü, değişik yüksekliklerde düzensiz dalgalar üretmiştir. Dalga jeneratörünün 6 m uzağına dalga ölçümü için paralel bağlı bir rezistans konmuştur. Drenaj boruları delikli olup 2.54 cm çapında ve tüm kanal genişliğinde uzanmaktadır. Sahildeki su seviyesini ölçmek amacıyla 0.6 cm çapında cam borular kullanılmıştır. Deneylerde cam borular kumun derin kısımlarına kadar indirilmiş olduğundan ve sadece üstten ve alttan açık olduğu için su tablasındaki kısa süreli salınımlara çabuk cevap verememiştir. Deney sonuçları, uzun dönemli su seviyesinin ortalamasını göstermektedir. Deneylerin tümünde drenaj boruları sakin su seviyesinin 0.37 m aşağısına konumlandırılmış olup kum girişini önlemek amacıyla etrafı filtrelenmiştir.

Dalga özellikleri ve katı madde çökme zamanı parametresinin ölçekli modelinde Froude kriteri kullanılmıştır. Deney sonuçlarına göre, $\frac{H_0}{wT_s} \cong 1.75$ değeri aşınma ve birikme sağlayan durumları birbirinden ayırmaktadır. Araştırmacıların üzerinde durduğu en önemli hususlardan birisi de ölçek etkisidir. Modelde kullanılan kum prototiptekinden küçük olduğundan modelin sızma hızı ve geçirimliliği prototipten küçük olacaktır. Bunun sonucunda her ne kadar modelde drenaj uygulansa da zemin ıslak kalacaktır. Prototipte ise dalga tırmanmaları arasında sahil yüzü tamamen drene olabilecektir. Sonuç olarak modelin etkinliği prototiple karşılaştırıldığında daha az olacaktır.

Deney sonuçlarına göre, drenaj debisi dalga iklimine ve drenaj borularının konumuna göre değişmektedir. Drenaj borularının konumunu değiştiren iki unsur gelgit döngüsü ve sahil yüzünde zamanla yaşanan erozyon ve birikmedir. Gelgit olmadığı zaman, sahil yüzünde su seviyesinin indirilmesi sahil yüzünün dikleşmesine ve çalkantı bölgesinin üst kısmında banket oluşmasına yol açmıştır. Sakin su seviyesi hizasında ise drenaj nedeniyle herhangi bir birikme oluşmamıştır

Gelgitli durumda ise, drenaj sahil yüzü eğimini daha fazla bir uzunlukta artırmıştır. Çalkantı bölgesinin üzerindeki banket, gelgitsiz durumdaki kadar kesin fark edilmese de mevcuttur.

Plaj drenajının kıyı çizgisinde birikmeyi ve stabiliteyi artırdığını gösteren en ikna edici çalışma ise Herrington (1993) tarafından yapılmıştır. Çalışma, düzenli ve düzensiz dalgalara maruz uzun bir dalga kanalında (100 m x 3.5 m) değişen dalga şartlarında yapılan yedi adet deneyi ayrıntılı açıklamaktadır. Yeraltı suyu düşürülmüş ve düşürülmemiş deney kısımlarına dikliği 0.007'den 0.04'e kadar değişen dalgalar etki ettirilmiştir. Hacim ve profil değişimlerinin laboratuvardan prototipe doğrudan aktarılamayacağı, aralarında boyutsal farklar olacağı gerçeği göz önünde tutularak deneyler niteliksel olarak değerlendirilmiştir. Sonuçlara göre, yeraltı suyu düşürülen kısım düşürülmeyen kısma nazaran daha kararlı bir davranış göstermiştir.

Oh ve Dean (1994) dalga kırılması nedeniyle sakin su seviyesindeki artışın etkisi ve yeraltı su seviyesinin oluşturacağı basıncın geçirimli sahillerde içsel bir akıma neden olacağını belirtmiş ve yaptıkları nümerik analiz ve laboratuvar çalışmaları ile sahil profili ile yeraltı suyu seviyesinin etkileşiminin sahil profilinin dinamiğine etkilerini araştırmışlardır.

Araştırmacılar büyük ve küçük su tanklarında düzenli dalgalar oluşturup, dalga yüksekliği, periyodu, su derinliği ve sahilin başlangıçtaki eğimi gibi faktörleri sabit tutup, üç farklı yeraltı suyu seviyesi oluşturmuşlardır. Bunlardan ilki ortalama su seviyesi hizasında olup diğerleri bu seviyenin altında ve üstündedir.

Büyük dalga kanalı 36 m uzunluğunda ve 1.8 m en ve derinliğe sahiptir. Kanal uzunluğu boyunca bir bölme hazırlanmış ve kanal tam ortadan 0.9 m genişlikte olacak şekilde ikiye bölünmüştür. Başlangıçtaki sahil eğimi 1:18 olup 0.24 mm çapında yerleşme katsayısı 1.0 olan kötü yerleşmiş ince kumdan oluşturulmuştur. Dalga periyodu 2 saniye ve yüksekliği 0.16 m dir. Sahil topuğunda su derinliği 0.47 m dir.

Küçük dalga kanalı ise 15 m uzunlukta, 0.9 m derinlikte ve 0.6 m genişliktedir. Deneyler büyük dalga kanalına göre düşme hızı parametresi kullanılarak modellenmiştir.

Deney sonuçlarına göre, normal dalga koşullarında kum hem karaya hem açık denize doğru hareket etmiş ve bankette ve kum setinde yığılmış ve dengeye ulaşmıştır.

Yüksek su seviyesi oluştuktan sonra kum yığınının tepesinde çok büyük değişim yaşanmış, çukurunda ise çok az değişim gözlenmiştir. Kum tepesi karaya doğru hızla ilerlemiş bir süre sonra sabit kalmıştır. Su seviyesi yüksek iken kum sahile doğru ilerlemiş ve bankette birikmiştir. Daha önceki çalışmaların aksine seviye yükselmesi birikmeye yol açmıştır. Banketin hemen deniz tarafında bir miktar erozyon dikkati çekmektedir. Su seviyesinin düşük olduğu durumda ise çok az miktarda değişim gözlenmiştir.

Sonuç olarak yaptıkları üç takım deneyden sonra yükselen su tablasının daha önce stabil olan sahil yüzünde erozyona ve destabilizasyona yol açtığı göstermişlerdir. Ayrıca, yaptıkları basit sızma modeliyle, sahil yüzünden dışarı akan suyun yüzeydeki katı maddelerin efektif ağırlığını ve dolayısıyla stabilitesini azalttığını göstermişlerdir.

Günaydın ve diğ. (2001) yeraltı su seviyesinin yapısal etkilerle ani yükselme ve alçalma göstermesinin, göz önüne alınan kıyının dinamik denge profiline etkisini araştırmışlardır. Yapılan deneylerde YASS 'nin sakin su seviyesi ile eşit olması hali, 9 cm üzerinde ve altında olması halleri için dalga dikliği ile erozyon alanı arasındaki ilişki incelenmiştir. Dalga dikliğindeki artışın erozyon alanını artırdığı görülmüştür. YASS'nin yüksek olduğu durumda aynı dalga dikliğinde en fazla erozyon olmuştur.

Şev gerisindeki havuzda su seviyesinin düşük olması halinde ise aynı dalga dikliği için en az erozyon olmuştur.

Kang ve diğ. (1994), yaptıkları deneysel çalışmaları saha verileriyle karşılaştırmışlardır. Çalışmaları sonucunda dalga tırmanması sırasında sahile sızan suların yeraltı su seviyesini önemli ölçüde yükselttiğini gözlemlemişlerdir. Gelgitsiz durumda düzenli dalgalar için yeraltı su tablasının sakin su seviyesi üzerinde 0.62 $\tan\beta\sqrt{H_0 L_0}$ kadar yükseldiğini belirtmişlerdir. Burada ilginç olan durum ise bu değerin tüm zemin türleri için aynı olmasıdır. Bir başka deyişle hidrolik iletkenlikten bağımsız olduğunu belirtmeleridir.

Sato ve diğ. (1994), 26.7 m uzunluğunda, 14 m genişliğinde ve 1.2 m derinliğindeki dalga kanalında genişliğin yarısına kadar drenaj boruları yerleştirmişler ve drenaj yapılmayan kısıma göre sistemin performansını incelemişlerdir. Drenaj borusunun çapı 50 mm olup 10 mm kalınlığında filtre tabakası ile örtülmüştür. Daha sonra boru üzerinde 5 cm kum malzeme olacak şekilde 1/20 eğimli sahil yüzüne yerleştirilmiştir.

Drenaj borularının hangi konumda en iyi performansı vereceğini bulmak amacıyla, yaptıkları deneylerde su seviyesini düşürüp artırarak boruların yerlerini ayarlamışlardır. Birikme sağlayan dalga koşullarında drenaj, birikmeyi artırmıştır.

Erozyona yol açacak dalga koşullarında ise drenaj uygulanan kesimde birikme yaşanmasına karşın, drenaj uygulanmayan kesimde erozyon oluşmuştur. Belli bir süre sonunda sahile yakın kesimde erozyon devam ettiğinden, sahilde birikme durmuş ve erozyon gözlenmiştir. Fakat, drenaj erozyonu azaltmıştır.

Drenaj borularının hangi konumda en iyi performansı vereceğini araştırmak için drenaj yapılan ve yapılmayan kesim birikme sağlayan dalga koşullarına 12 saat süre ile maruz bırakılmıştır. En iyi sonuçlar drenaj boruları sahil çizgisinin denize bakan tarafına konduğunda oluşmuştur.

Erozyona yol açacak dalga koşullarında, 12 saat sonunda her iki profil arasında fark gözlenmese de, 24 saat sonunda fark oluşmuştur. Bu durumda da sahil çizgisinin denize bakan tarafına yerleştirilen drenaj borularının en iyi performansı gösterdiği gözlenmiştir.

Sato ve diğ. (1994), ayrıca drenaj debisinin sistemin performansına etkisini de incelemişlerdir. Drenaj yapılmadığı zaman, sahil çizgisinin denize bakan yüzünde ve açıkta erozyon gözlenmiş ve buradan taşınan kumların bir açık deniz tümseği oluşturduğu gözlenmiştir. Debi 0.4 l/s iken, sahil çizgisinin denize bakan tarafında erozyon gözlenmemiştir. Debi 0.7 l/s iken ise iki saat sonunda sahile yakın bölgede önemli miktarda birikme gözlenmiştir.

Laboratuvar deneylerindeki en büyük zorluk, gerçek koşulları ve boyutları laboratuvar ortamında modellemektir. Fiziksel model çalışmalarında, geçirimsiz tabakanın üzerine yerleştirilen ince katı madde tabakası, gerçek sahillerdeki derin ve serbest yüzeyli akiferi fiziksel olarak iyi temsil edemeyecektir. Ayrıca yeraltı suyu düşürülmeden yapılan deneylerde görülen fazla miktardaki katı madde hareketi, ince kum tabakanın geçirimsiz tabakanın üzerine sığ şekilde serilmesinden dolayı oluşabilir.

2.3 Saha Çalışmaları

Bu konuda yayınlanan ilk prototip çalışmasında doğal bir sahildeki su pompalarla düşürülmüş ve bunun sonucunda oluşacak morfolojik değişimler gözlenmiştir

(Chappel ve diğ., 1979). Avustralya, South Wales güney kıyılarında yer alan Durras plajından iki deney rapor edilmiştir. Birinci deneyde plajın su pompalanan kısmındaki birikme gözlenmiştir. Bu bölgede kıyı boyu katı madde taşınımı olmadığı, dolayısıyla meydana gelen birikmenin drenaj sayesinde oluştuğu belirtilmektedir. İkinci deneyde ise morfolojik değişimler gözlenmemiş, bunun yerine çalkantı bölgesindeki tırmanan ve çekilen dalgaların akımı niteliksel olarak gözlenmiştir. Gelgit yükselirken, sadece su pompalanan plaj kısmında güçlü sızma hareketi gözlenmiştir.

Hegge ve Masselink (1991), uzun periyotlu dalgaların etkisinde sahil dinamiğinin çok fazla incelenmesine karşın, çalkantı bölgesindeki sızma neticesinde oluşan yeraltı suyu salınımlarına olan ilgi azlığını fark etmiş ve Avustralya'nın batısındaki South City plajında dalga tırmanmasının yeraltı suyu seviyesindeki değişime etkisini incelemişlerdir.

Diğer bir grup araştırmacı ise pompa yerine yerçekimi ile suları toplamış ve plaj önünde yeraltı suyunu alçaltmışlardır. Davis ve diğ. (1992), Sydney, Avustralya'da Dee Why Plajında sahil altına drenaj borularını, 18 adet 0.9 m genişliğinde ve 25 m boyunda ve 5 ila 15 m aralıklarla olmak üzere sahilin 160 m'lik kısmına yerleştirilmiştir. Drenaj boruları 4 cm kalınlığında ve geotekstil malzeme ile sarılmıştır. Her bir drenaj borusu gelgitin düşük olduğu zamanda plajın deniz tarafına açılan çukurlara yerleştirilmiştir. Gözlemler, yeraltı suyunun 0,3 m düştüğünü, yeraltı suyu ve gelgit yükselme ve alçalmaları arasındaki gecikmenin azaldığını göstermiştir.

1981 yılında DGI (Danish Geotechnical Institute) Danimarka'nın Batı Hirtshals mevkiinde saatlik kapasitesi 400 m^3 olan bir su filtre sistemi tasarlamış ve kurmuştur (Ovesen ve Shuldt, 1992). Buradan elde edilecek filtre edilmiş deniz suyu, yakında bulunan ısı pompalarına ve Danimarka Kuzey Denizi Araştırma Merkezi yanında yer alan akvaryuma gönderilecektir. Sistem 200 m boyunca 200 – 300 mm çapında perfore PVC boruların ortalama deniz seviyesinin 2,5m altına ve kıyı çizgisinden 5m karaya doğru döşenmesiyle oluşturulmuştur. Plaj Kuzey Denizi'ne yönelmiş olup iyi derecelenmiş, orta taneli kum ihtiva etmektedir. Sistem ilk kurulduğunda gerekli suyu sağlayabilmekteydi, ancak altı ay sonra sistemin sağladığı akış % 40 azalmıştır. Yapılan kontrollerde drenaj borularının veya pompaların herhangi bir hasar almadığını ancak, drenaj borularının önündeki plaj kısmının 20–30 m denize doğru birikme yaptığı görülmüştür. Sonuç olarak, akım yolunun artması sistemin verimliliğini azaltmıştır.

DGI tarafından kurulan ikinci bir 200 m'lik sistem diğer sistemden 1 km uzaklıkta olup, kötü derecelenmiş silt, kil ve kum karışımına sahiptir.

Batı Hirtshals bölgesindeki sistemde kurulum sonrası yapılan incelemelerde drene edilen kısmın pompanın çalıştırıldığı ilk 4 ayda önemli derecede birikme yaşadığı, buna karşın kontrol kısmının erozyon eğilimine girdiği görülmüştür. Doğu Hirtshals'daki sistemin ise kıyı çizgisinde görülen geri çekilme trendini duraklattığı ve fırtına sonrası plajın kendisini toparlama hızını artırdığı rapor edilmiştir. Ancak, bu birikmenin drenaj nedeniyle mi oluştuğu yoksa kıyı boyu katı madde taşınımının bu bölgedeki liman yapıları tarafından mı tutularak oluştuğu açık olarak belirlenebilmiş değildir.

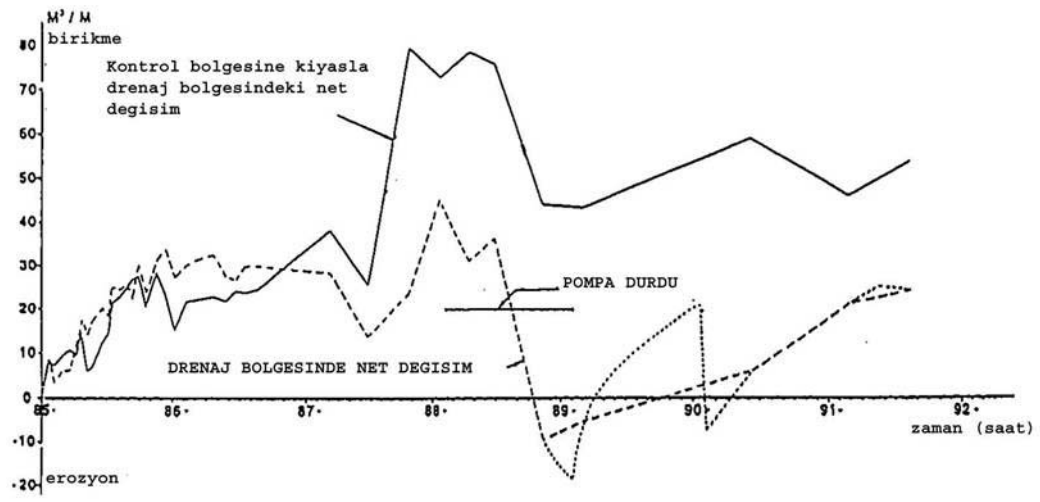
Doğu Hirtshals uygulaması DGI tarafından tatmin edici olmasa da Batı Hirtshal uygulaması DGI'yı daha kapsamlı bir uygulamayı hayata geçirme yolunda cesaretlendirmiştir. Bu amaçla Danimarka'nın batısında bulunan Thorsminde seçilmiştir. Uygulama sahası Kuzey Denizi'ne bakmakta olup kıyı çizgisi + 15 m yer değiştirebilmekte ve yıllık ortalama erozyon oranı 4m dir. Plaj orta taneli kum ve çakıl karışımının üzerinde lokal olarak organik çamur, organik silt ve kil ihtiva eden iyi derecelenmiş orta taneli kumdan ibarettir.500 m uzunluğunda 200 mm çapında drenaj boruları 2 ila 2,5 m derinliğe gömülüp, beton borularla 60 m içeride bulunan pompaya bağlanmıştır.

Thorsminde uygulamasından şu sonuçlar çıkarılmıştır:

a. olağan hale gelen mevsimlik değişimler durmuş ve kıyı çizgisinin geri çekilmesi azalmıştır.

b. drenaj uygulanan bölgenin güneyi denize doğru yaklaşık 10 m ilerlemiştir. Hem güney hem de kuzey kısımları drenaj noktasından itibaren 20 – 25 m stabil hale gelmiştir.

1986-1991 yılları arasında işletilen drenaj uygulaması daha sonra bilinmeyen nedenlerle bitirilmiştir. Uygulamanın sonuçları Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



Şekil 2.2 : Thorsminde uygulaması: birim kıyı çizgisi için katı maddedeki netdeğişim (kesikli çizgi), kontrol bölgelerine kıyasla plajdaki hacimsel değişim (dolu çizgi) (Ovesen ve Shuldt, 1992).

Şekilden görülebileceği üzere, drene edilen kısımda uygulamanın ilk yılında kontrol bölgelerine nazaran 30 m^3/m lik birikme olmuştur. Pompaların durdurulduğu 1988 yılından itibaren 12 aylık süreçte daha önce drene edilen kısımların kontrol kısımlarına göre daha hızlı erozyona uğradığı görülmüştür. Sistem 1990 yılından yeniden işletmeye açılsa da 1990 yılının sonunda görülen 100 yıllık bir fırtına sistemin etkilerinin yorumlanmasını zorlaştırmıştır.

Thorsminde uygulaması sona erdirildiğinde plaj drenajı uygulanan kesimde, birim uzunluk için 30 m^3 lük birikme görülmüştür. Öte yandan kuzeyde ve güneyde yer alan kontrol kesimlerinde birim uzunluk için 25 m^3 lük erozyon kaydedilmiştir.

ABD'deki ilk uygulama Florida'nın Atlantic kıyılarında bulunan Sailfish Point'te kurulmuştur. Sahil iyi derecelenmiş ince taneli kumdan oluşmakta olup korunum amacıyla sahile 100-150 m uzaklıkta kayalar konumlandırılmıştır. Kayalar konmadan önce yıllık 2m lik çekilme yaşayan sahil kayaların teşkili sonrası birikmenin yaşandığı rapor edilmiştir (Terchunian, 1989 ve Dean, 1990).

Sailfish Point'te kurulan sistem 0.3 ila 0.5 m çaplarındaki PVC boruların 2.5 m derinliğe gömülmeleri ve toplanan suyun pompa istasyonuna ulaştırılması sonucu teşkil edilmiştir. Rapor edilen sonuçlarda, sahildeki doğal değişimlerin drenaj sonucu oluşan değişimlerden ayrılmasının zor olduğu fakat şu sonuçların çıkarılabileceği belirtilmiştir:

a. kuzey kontrol sahasındaki erozyon ve güneydeki sahada görülen hafif birikmenin aksine drene edilen kısımda önemli ölçüde birikme gözlenmiştir.

b. drene edilen bölgede sistem kuzey ve güneydeki kontrol sahalarına nazaran daha stabil hale gelmiştir.

Ek A'da sahil drenajının saha uygulamaları çizelge halinde verilmiştir.

3. SAHİL YER ALTI SUYU DİNAMİĞİ VE KATI MADDE TAŞINIMI

Bu kısımda, sahil drenajı yönteminde kullanılacak tüm parametreler ortaya konulacaktır. Bunlar sahil yeraltı suyu parametreleri ve katı madde hareketi parametreleridir. Dalga parametreleri, sahile yaklaşmakta olan dalgaların enerjisini belirlemek için gereklidir. Dalga parametreleri deneysel çalışmalar bölümünde verilmiştir. Bu enerjinin büyük bir kısmı dalga kırılmasında sönümlenmekte, bir kısmı da taban sürtünmesi ve yüzey gerilmeleri ile ve bir kısmı da tırmanma esnasında kaybolmaktadır. Gelen dalganın sahil yüzeyinde ne kadar tırmanacağı önemlidir. Çünkü, bu tırmanma seviyesinin yeraltı suyu seviyesine göre konumu sızma olayını başlatmakta veya etkilemektedir.

3.1 Sahil Yeraltı Suyu Dinamiği

Çalkantı bölgesindeki olayların iyice anlaşılabilmesi, dalgakıran gibi yapıların modellenmesinde çok büyük öneme sahiptir. Bu çalışmalar ile oluşturulacak bir tasarım kriteri, yüksek dalgaların yapıyı aşmaması için gerekli yapı yüksekliğinin belirlenmesinde kullanılır. Bunun yanında yeraltı suyu dinamiği, lagünlerde su kalitesi yönetimi, su temini ve kanalizasyon atık tesislerinin işletilmesi, kıyı akiferlerine tuzlu su girişi gibi su kaynakları yönetimi ve atıksu deşarj sistemlerinin işletilmesi bakımlarından önem taşımaktadır (Turner, 1995).

Ayrıca, dalga etkisinde yer altı suyu salınımlarının iyi anlaşılabilmesi, katı madde hareketi ve dolayısıyla sahil stabilitesi için ve sahil akiferinde yaşayan biyolojik aktivite için öneme haizdir (Mclahlan, 1989).

Sahil drenajı ile yeraltı suyunun drene edilmesi ile sızmanın artırılacağı ve böylece geri çekilen dalga hacmi ve momentumunun azalacağı ve sonuç olarak erozyonun minimize edileceği görüşü son yıllarda masif kıyı yapılarına bir alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Optimum bir sistem tasarımı için gerekli fiziksel olaylar henüz tam olarak ortaya konamamış ve drenaj borularının konumu, sakin su seviyesi altındaki derinliği ve drenaj debisinin sistem performansına etkileri tam olarak

anlaşılamamıştır. Diğer belirsizlikler ise gelgit seviyesi, katı madde boyutu ve yerleşimi, sahil eğimi ve fırtına dalgalarının frekansı ve yönüdür.

Sahil akiferi sığ, çok dinamik serbest yüzeyli bir akiferdir. Sahilde yüzey ve yüzey altı suyu karmaşık bir etkileşim halindedir. Sakin su seviyesi, dalgasız durumda su yüzeyidir. Gelen dalga periyodundan büyük, gelgit periyodundan küçük zaman aralığında ölçülen su yüzeyinin konumunun ortalaması ortalama deniz seviyesi olarak tanımlanır.

Sahildeki yeraltı suyu genel olarak ortalama deniz seviyesinin sahil içindeki devamı olarak kabul edilir. Daha doğru bir tanım ise boşluk suyu basıncının atmosfer basıncına eşit olduğu yüzeydir.

Yeraltı suyu salınımları iki şekilde olabilir: ilki sahil yüzeyinde sınır şartlarının değişimi sonucu oluşan yatay kütle transferi (gelgit nedeniyle), ikincisi ise su tablasında lokal kütle transferidir (dalga nedeniyle) (Li ve diğ., 1997b). Deniz seviyesi salınımları neticesinde sahil yüzü ve deniz seviyesi kesişim noktası değişeceğinden sınır şartı değişmiş olur. Lokal kütle transferi ise, su tablası üzerinde basınç gradyanındaki değişim neticesinde olur. Bu salınım miktarı ise gelgit seviyesi, dalga tırmanması ve yağış gibi mevcut hidrodinamik şartlar, katı madde tane boyu, yerleşimi ve porozite gibi hidrolik iletkenliği belirleyen katı madde özellikleri tarafından kontrol edilmektedir.

Deniz seviyesi salınımı ve hidrolik iletkenlik büyük ise, yatay kütle transferi baskın olup, kapiler etkiler ihmal edilebilir. Öte yandan, yüksek frekanslı salınımlar ve büyük kapiler saçak halinde, kapiler etkiler baskın olacaktır.

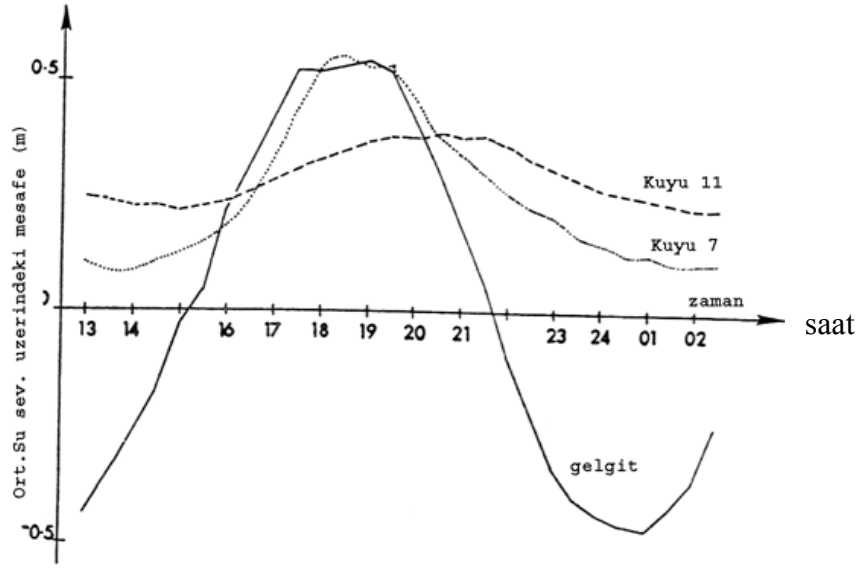
Waddell (1976), yüksek frekanslı su tablası salınımlarını saha çalışmaları ile incelemiştir. Çalkantı bölgesinin kara tarafında kapasitans probları kullanarak sahil su tablası seviyelerini ölçmüştür. Su tablası salınımlarının periyotlarının 8-20 saniye aralığında değiştiğini belirtmiştir ki bu periyotlar dalga hareketiyle uyumlu gözükmektedir.

3.1.1 Gelgit etkisi altında yeraltı su dinamiği

Su tablasının yüzeyi genel olarak düz değildir. Gelgit yükselirken karaya doğru, gelgit düşerken ise denize doğru eğim alır. Gelgit yükselirkenki eğimi, düşerkenki eğiminden daha dik olmaktadır (Raubenheimer ve diğ. (1999). Yer altı suyu

salınımları karaya doğru sönümlenerek hareket ederler. Bu salınımlara, yer altı suyu dalgaları da denmektedir. Öte yandan, su tablası gelgit seviyesiyle karşılaştırıldığında çok hızlı yükselir ancak yavaşça düşer. Bunun nedeni akiferin iletkenliğinin su tablası seviyesiyle orantılı olmasıdır. Yüksek gelgit seviyesinde akiferin geçirimliliği düşük gelgit seviyesine nazaran düşük olacaktır (Cartwright ve diğ. 2004).

Nielsen (1990), gelgit etkisinde, su tablası yüksekliğini saha çalışmaları ve teorik olarak incelemiş ve aşağıda verilen Şekil 3.1'de görüldüğü gibi gelgit ve iki farklı gözlem kuyusundaki su tablası seviyelerini zaman serisi olarak vermiştir.



Şekil 3.1 : Gelgit seviyesi ile 7 ve 11 no'lu kuyulardaki su seviyeleri, 7 ve 11 no'lu kuyuların, ortalama su seviyesi ve sahil yüzü kesişimine mesafeleri sırasıyla 6.6m ve 16.6m dir (Nielsen, 1990).

Yukarıdaki şekil incelendiğinde, minimum su seviyesinin düşük gelgit seviyesinin çok üzerinde bulunduğu görülebilir. Bunu, akiferin su tablasının hızlı yükselip, yavaş alçalması ile açıklamak mümkündür. Öte yandan, gelgit seviyesi sinüsoidal bile olsa su tablasındaki değişim sinüsoidal olmamaktadır. Su tablası eğimi, gelgit yükselirken düşerkenki hale göre çok dik olmaktadır.

Ayrıca, maksimum su tablası seviyesinin, yüksek gelgit seviyesinin üzerinde olduğu görülmektedir. Araştırmacı bunu, her ne kadar dalga etkisinden korunmuş bir sahilde gözlem yapsa da, dalga etkisine bağlamaktadır. 11 nolu kuyu 7 nolu kuyunun 10m kara tarafına yerleştirilmiştir. Kayıt incelendiğinde, gelgit etkisiyle oluşan su tablası

dalgasının bu 10 metre boyunca önemli ölçüde sönümlendiği görülebilir. Her iki kuyudaki yer altı suyu dalgası arasında 1 saatlik bir gecikme olduğu görülebilir.

Sahil yeraltı suyu sistemleri genel olarak serbest yüzeyli akiferler olarak düşünülmektedir, çünkü üst sınırı bir geçirimsiz tabaka ile değil de yeraltı suyu ile tanımlanmaktadır. Yeraltı suyunun serbest bir akiferden geçiş hızı Darcy Kanunu ile bulunabilir.

$$u = -K\frac{\partial h}{\partial x} \tag{3.1}$$

Burada, h: hidrolik yük, x: mesafe, K: hidrolik iletkenliktir

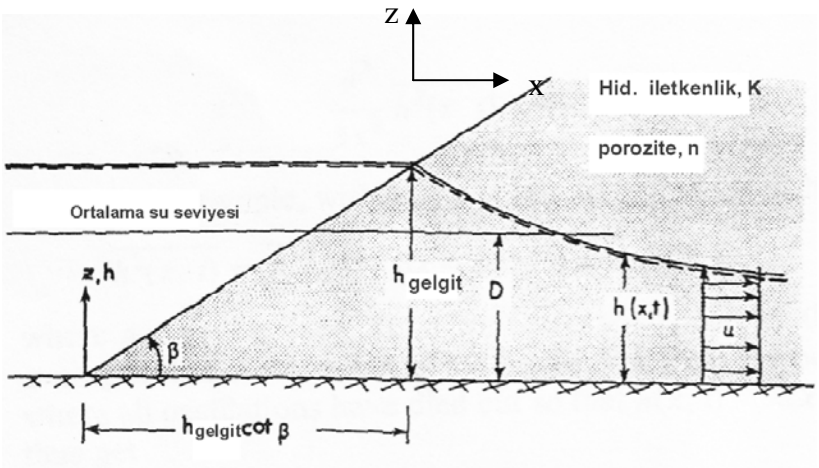
Süreklilik denklemi şöyle yazılabilir:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{n}\frac{\partial}{\partial x}(hu) \tag{3.2}$$

Darcy Kanunu sadece, kumlu plajlar için makul olan, laminer akımlar için geçerlidir. Yeraltı suyu hidrologları poroz bir ortamdaki akımı modellemek için Darcy Kanunu ile süreklilik denklemini birlikte kullanılırlar. Kumlu sahillerde gelgit etkisi altında yeraltı suyu akımını modellemek için bir boyutlu Boussinesq denklemi kullanılabilir. Burada kabul, kumun homojen ve izotropik olduğu ve u(x,t) akım hızının yatay olduğudur.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{n}\frac{\partial}{\partial x}(h\frac{\partial h}{\partial x}) \tag{3.3}$$

Burada, h: su tablasının yüksekliği, t: zaman, n: porozite, x: yatay mesafedir.



Şekil 3.2 : Gelgit etkisindeki yer altı su seviyesi şematik gösterimi (Nielsen, 1990).

Bu denklemde ana kabul ise, sığ bir akiferde yeraltı suyu akımının Dupuit-Forchheimer yaklaşımıyla açıklanabilmesidir. Bu teoride düşey akım bileşeni ihmal edilir. Alt kısımda geçirimsiz bir tabaka ile sınırlanan plajlarda bu kabul uygun sonuç vermektedir. Sığ akiferlerde, boyutsuz akifer derinliği $\frac{nwd}{K}$<<1 kabul edilmektedir. Burada w açısal frekanstır. (3.3) denklemini ifade eden şematik gösterim Şekil 3.2'de verilmiştir.

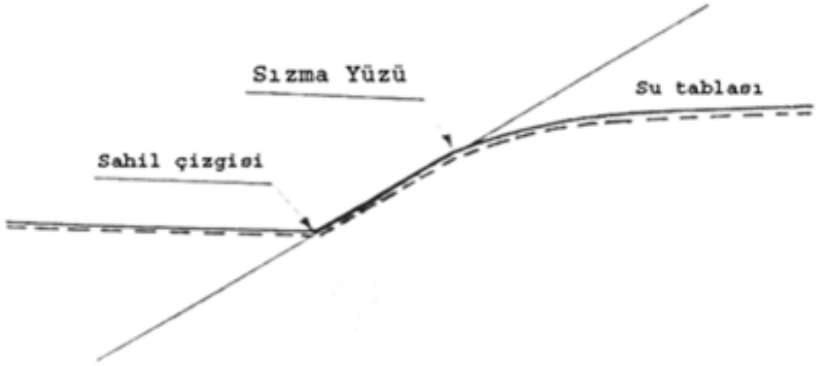
Dupuit-Forchheimer kabulleri şu şekilde sıralanabilir (Şen, 2003):

- Su homojendir ve her doğrultuda fiziksel özellikleri aynıdır.
- Akım çizgileri yataydır ve buna göre de eşpotansiyel eğrileri düşeydir. Bunun anlamı, akımın her noktasında yatay yer altı suyu hızı ve aynı düşeyde üniform hız dağılımının olduğudur.
- Bir düşeyin her noktasındaki hidrolik eğim onun yüzeyindeki eğime eşittir. Yer altı suyu hızı, su tablasının eğiminin tanjantı ile değil de sinüsü ile orantılıdır. Su tablası yakınında bile hız yatay ve üniformdur.
- Kapiler bölge ihmal edilebilecek kadar küçüktür.
- Akifer malzemesi ve su sıkışabilir değildir.

Bir boyutlu Boussinesq denklemini çözebilmek için sınır şartları:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0, \quad x \to \infty \qquad \textbf{(3.4)}$$

Yani, tüm salınımlar sahilden belirli bir mesafe uzaklıkta sönümlenirler. İkinci kabul, gelgit ile su tablası sahil yüzünde çakışır. Eğer gelgit çok hızlı düşerse, deniz seviyesi ile yer altı su seviyeleri birbirinden ayrılır ve sızma yüzü oluşur. Bu durumda analitik çözümler geçerliliğini pratik olarak yitirir. Sızma yüzü oluşumu şematik olarak Şekil 3.3.'de görülmektedir.



Şekil 3.3 : Gelgit düşerken sızma yüzü oluşumu (Nielsen, 1990).

Sınır şartları dikkate alınıp bir boyutlu Boussinesq denklemi, alttan geçirimsiz bir tabanla sınırlanmış serbest yüzeyli bir akiferde, sahil yüzünü dik kabul edip, gelgitin sinüsoidal ve genliğinin küçük olduğu kabulü ile çözülürse, aşağıdaki şekilde yazılabilir (Kovacs, 1981):

$$h(x,t)=D+A\cos(wt-kx)e^{-kx}+B_x \qquad \textbf{(3.5)}$$

Burada; *D:* ortalama akifer kalınlığı, *A:* gelgit genliği, *w:* gelgitin radyan frekansı, *k:* dalga sayısı, $k=\left(\frac{nw}{2KD}\right)^{0.5}$, B_x lineer terimi ise yağış vs. nedeniyle oluşan su akımını temsil eder.

Yukarıdaki çözüme göre, gelgit nedeniyle oluşan yer altı suyu dalgasının üstel olarak daralan bir zarf içerisinde hareket ettiğini belirtir.

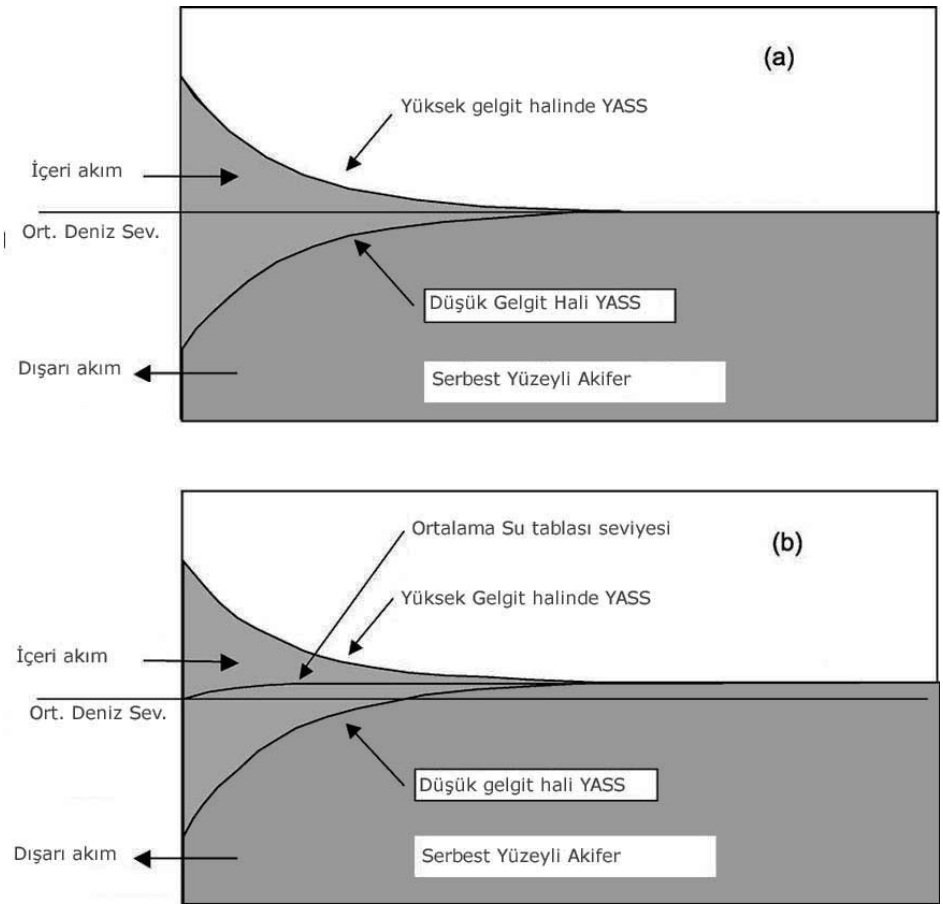
Eğimli bir sahilde sığ akifer için çözüm ise yine Nielsen (1990) tarafından aşağıdaki şekilde ortaya konmuştur:

$$h(x,t) = D + A\cos(wt-kx)e^{-kx} + \varepsilon A\left[\frac{1}{2}+\frac{\sqrt{2}}{2}\cos(2wt+\pi/4-\sqrt{2}kx)e^{-\sqrt{2}kx}\right] + \varepsilon^2 A\left(\frac{1}{4}-\frac{\sqrt{2}}{2}\right)\left[\sin(wt-kx)e^{-kx}+\sin(3wt-\sqrt{3}kx)e^{-\sqrt{3}kx}\right] \qquad \textbf{(3.6)}$$

Akiferde su dengesini sağlamak için, yüksek gelgit seviyesinde kıyı akiferine giren su miktarının, düşük su seviyesinde akiferden çıkan suya eşit olması gerekir. Akiferin iletkenliği su tablası seviyesiyle ilişkilidir. Eğer ortalama su tablası, ortalama deniz seviyesine eşit alınırsa, akiferin iletkenliği yüksek gelgit seviyesinde düşük gelgit seviyesine göre yüksek olur. Bunun sonucunda yüksek gelgit

seviyesinde akifere giren su, düşük gelgit seviyesinde akiferden çıkan sudan fazla olup su dengesi bozulur.

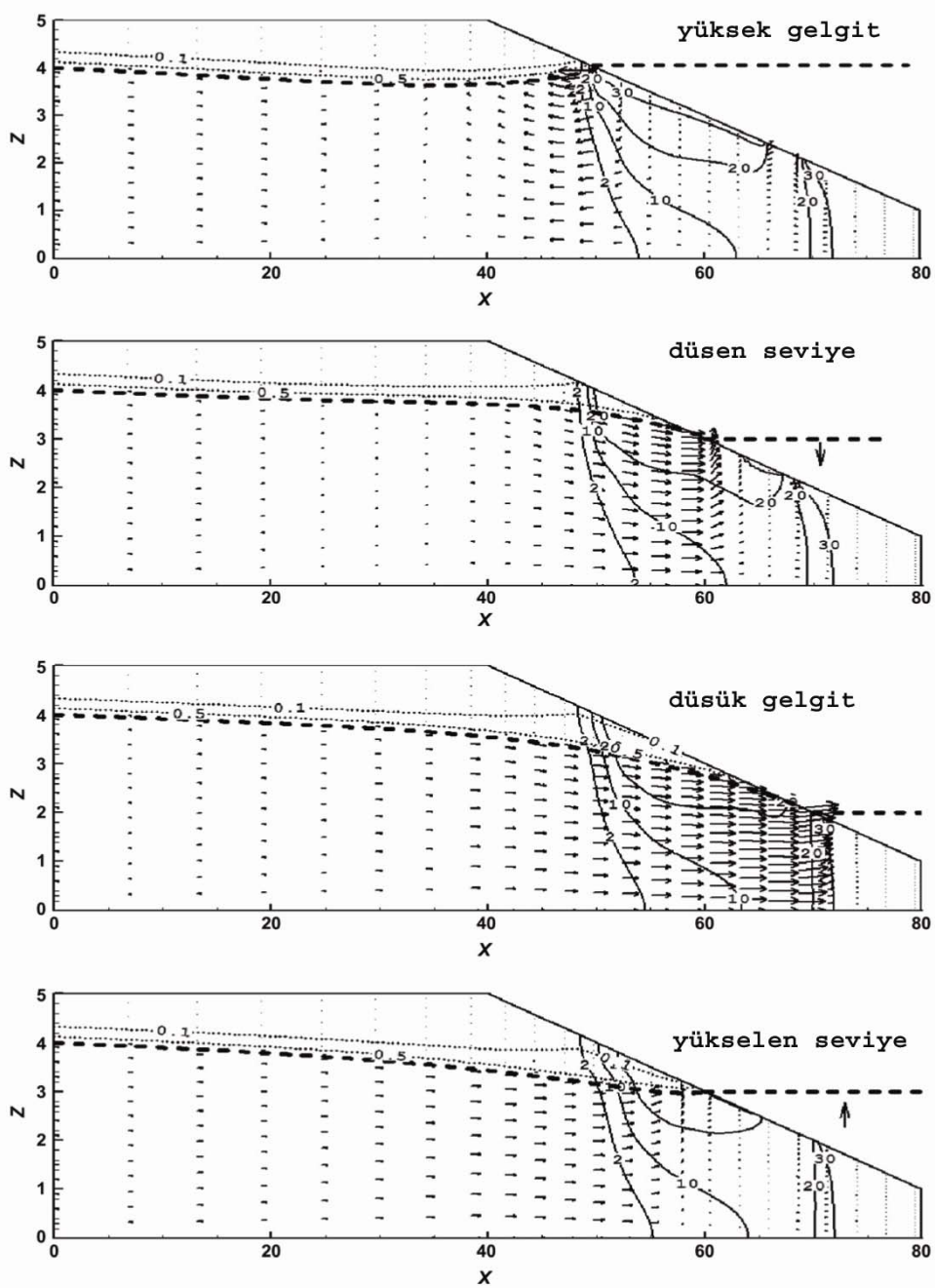
Ortalama su tablası, ortalama deniz seviyesinden yüksek olduğunda ise, düşük gelgit seviyesinde daha büyük bir hidrolik eğim oluşacağından, düşük iletkenliği bertaraf edip, denize dönen su miktarını artırıp su dengesi sağlanacaktır. Sahillerde yer altı su tablası bu nedenle ortalama deniz seviyesinin üzerinde bulunur. Bu iki durum Şekil 3.4 şematik gösteriminde görülebilir.



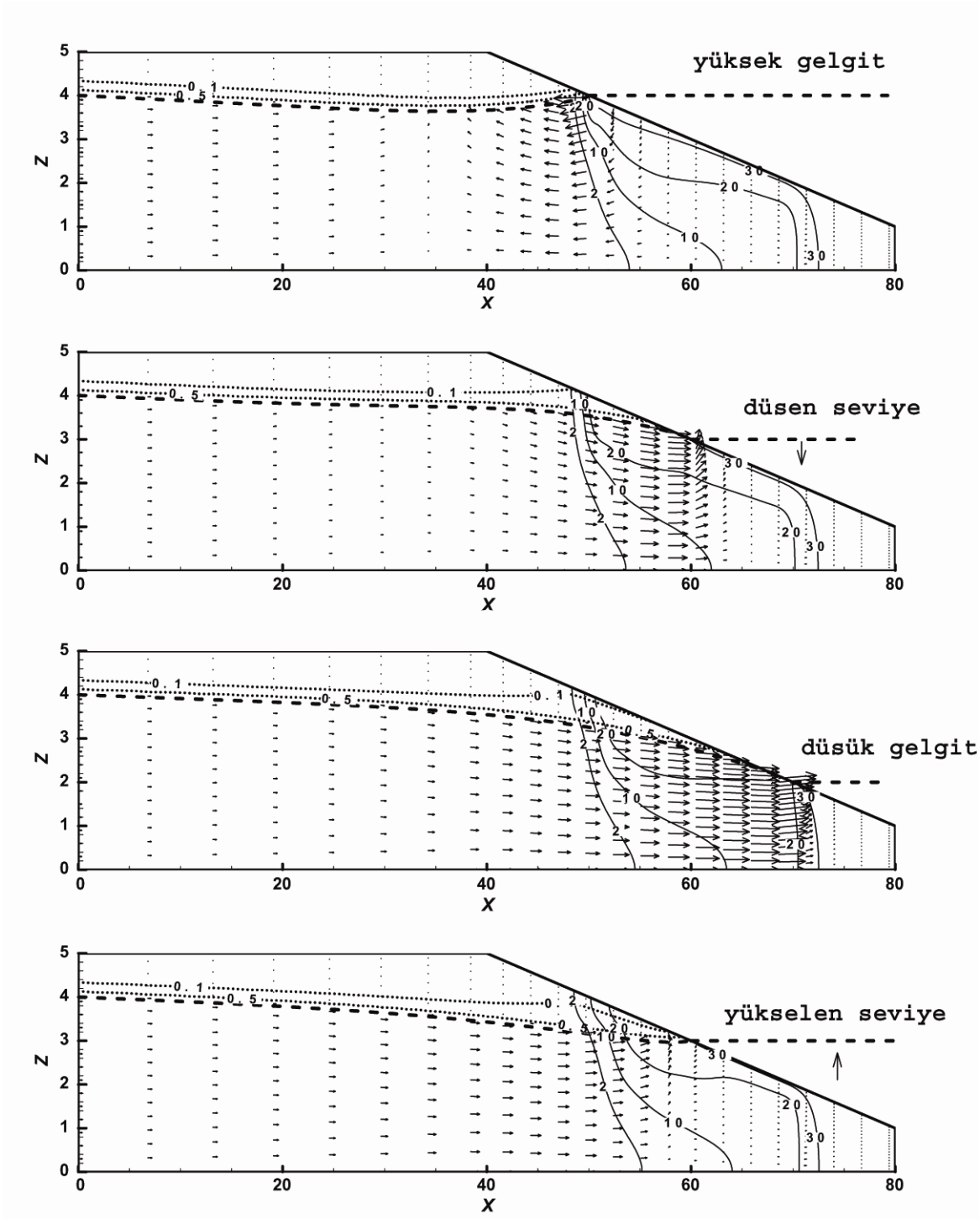
Şekil 3.4 : a) gelgit yükselirken, b) gelgit düşerken yer altı su tablasındaki değişim (Li ve Jiao, 2003).

Li ve diğ., (2008), sonlu elemanlar modeli MARUN kullanarak gelgit etkisinde deniz suyu ve yer altı suyu sirkülasyonunu araştırmışlardır. Araştırma sonuçlarına göre, maksimum Darcy hızının her zaman su tablası ile sahil yüzünün kesiştiği yerde olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca tuzluluk, hız alanı ve doygunluk değerlerini değişik sahil eğimi ve gelgit periyotları için çalışmışlardır. Sonuçlar Şekil 3.5, Şekil 3.6, Şekil 3.7'de görülmektedir.

0.10 ve 0.316 lık eğimde gelgit periyodu 4.41 ve diğer tüm şartların sabit olması halinde tuzluluk konturları 0.1'lik eğimde tabana değmekte fakat 0.316'lık eğimde ise yüksek ve alçak gelgit seviyelerini belirten bölgede askıda kalmaktadır. Öte yandan aynı sahil eğiminde, gelgit periyodu arttıkça tuzluluk konturlarının karaya doğru ilerlediği görülmüştür. Gelgit periyodu 44.1 iken daha düşük sahil eğimi için (0.0316) tuzluluk konturlarının daha da karaya doğru ilerlediği görülmüştür.

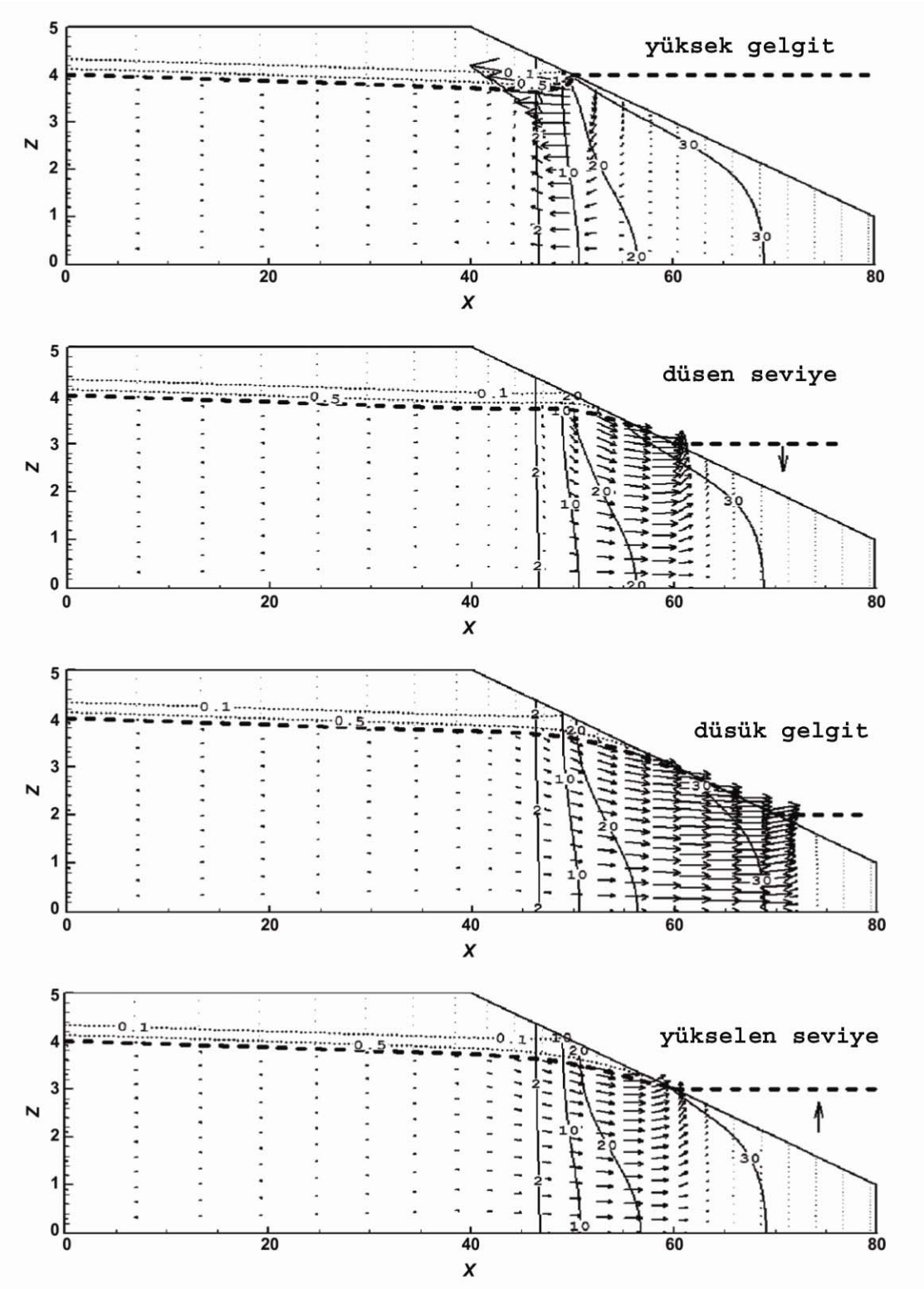


Şekil 3.5 : Tuzluluk (kgm^{-3}), hız vektörleri ve doygunluk değerleri (0.1 sahil eğimi ve 4.41 gelgit periyodu için.) İnce çizgiler tuzluluk konturlarını, oklar hız vektörlerini, noktalı çizgiler doygunluk oranlarını göstermektedir. (Li ve diğ., 2008)



Şekil 3.6 : Tuzluluk (kgm^{-3}), hız vektörleri ve doygunluk değerleri (0.1 sahil eğimi ve 44.1 gelgit periyodu için.) İnce çizgiler tuzluluk konturlarını, oklar hız vektörlerini, noktalı çizgiler doygunluk oranlarını göstermektedir (Li ve diğ., 2008).

Sahil drenajı ile denize doğru olan hız vektörlerinin değerlerinde azalma ve karaya doğru yönlenmesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Böylece, kayma gerilmelerinde azalma sağlanabilecektir.



Şekil 3.7 : Tuzluluk (kgm^{-3}), hız vektörleri ve doygunluk değerleri (0.0316 sahil eğimi ve 44.1 gelgit periyodu için. İnce çizgiler tuzluluk konturlarını, oklar hız vektörlerini, noktalı çizgiler doygunluk oranlarını göstermektedir (Li ve diğ., 2008).

Nielsen ve diğ., (1997), sığ olmayan akiferlerde, sığ akifer çözümleri üzerinden giderek, dikey akımları ve hidrostatik olmayan basınç etkilerini hesaba katarak ortaya koymuşlardır:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{Kd}{n} \tan(d \frac{\partial}{\partial x}) \frac{\partial h}{\partial x} \qquad \textbf{(3.7)}$$

Burada; d: serbest yüzeyli akiferin ortalama kalınlığı, x: yatay mesafe, n: porozite, h: su tablası yüksekliği'dir.

Yukarıdaki denklemin çözümü için Nielsen ve diğ. (1997) aşağıdaki bağıntıyı önermişlerdir:

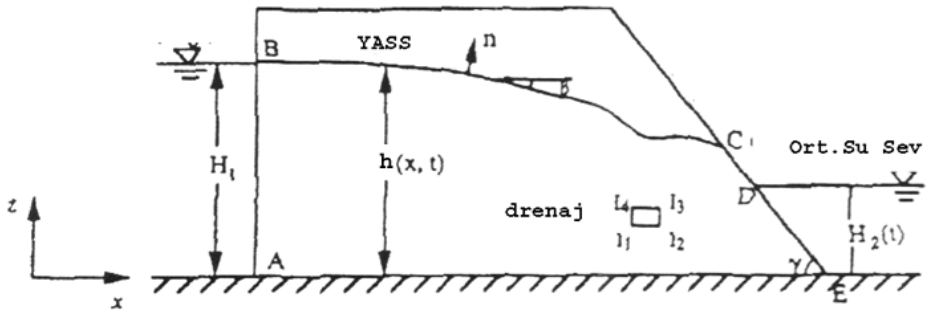
$$h = h_0 \, \mathrm{Re}\{e^{-kz} e^{iwt}\} \qquad \textbf{(3.8)}$$

Bu Boussinesq modelleri gelgit etkisiyle oluşan yeraltı su tablası salınımlarını iyi bir şekilde karakterize etseler de dalga etkisini çoğu zaman ihmal etmektedirler.

Öte yandan sahil drenajı yöntemi gibi yapay olarak drene edilen sahillerde Dupuit-Forchheimer kabulü geçerliliğini yitirir. Bu durumda sahil akiferi iki boyutlu bir sistem olarak çözülmelidir. Li ve diğ. (1996) bu durumda yer altı suyu akımını modellemek için aşağıdaki denklemi önermişlerdir:

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{s}\left(\frac{\partial H}{\partial z} - \frac{\partial h}{\partial x}\frac{\partial H}{\partial x}\right) \qquad \textbf{(3.9)}$$

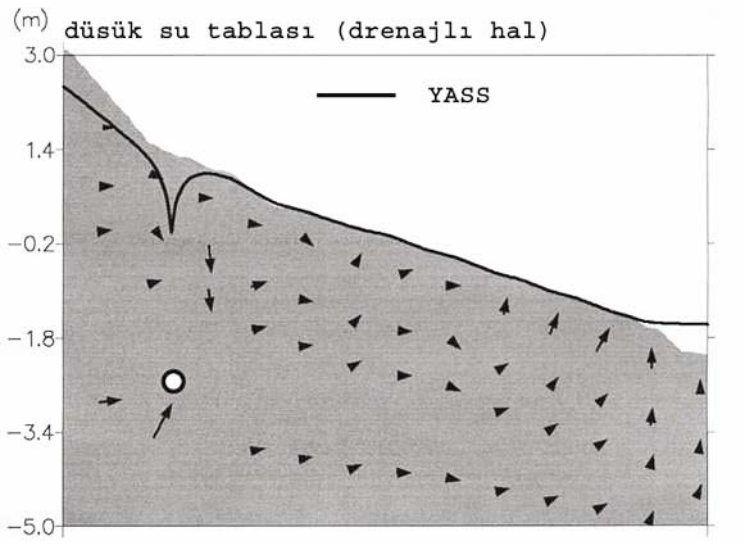
Denklemde z düşey mesafe, x, yatay mesafe, H: hidrolik yüktür (H_1-H_2). s ise özgül veridir. Şematik gösterim Şekil 3.8'de görülmektedir.



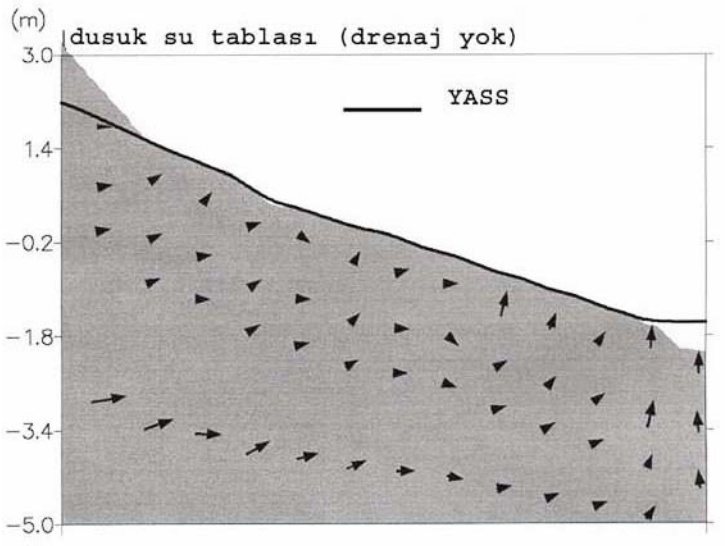
Şekil 3.8 : Gelgit etkisinde, sahil drenajı yapılan kıyı akiferinde sınır şartları. (Li ve diğ., 1996)

Vesterby (2000), Fransa'nın Atlantik sahilinde yer alan Les Sables d'Olonne sahilinde, sahil drenajı yöntemini uygulamıştır. Sahilde gelgit etkisinde kumun

sürekli ıslak kalmasından şikayet edilmesi neticesinde, sahilin rekreatif değeri yükseltmek istenmiştir. Yazar, ayrıca olayın nümerik modelini oluşturmaya çalışmıştır. Bu nümerik modele göre drenaj yapıldığı zaman yer altı suyu tablası ve akımı drenaj ile değişmektedir. Şekil 3.9'da drenaj halinde yer altı suyu akımı, Şekil 3.10'da ise drenaj yapılmadığı halde yer altı suyu akımı görülmektedir.



Şekil 3.9 : Düşük gelgit halinde YASS ve yer altı su akımı (drenajlı hal) (Vesterby, 2000).



Şekil 3.10 : Düsüş gelgit halinde YASS ve yer altı su akımı (drenajsız hal) (Vesterby, 2000).

Drenajlı halde, yer altı suyu çıkış noktası drenajsız hale göre 45 m denize doğru ilerlemiştir.

3.1.2 Dalga etkisi altında yer altı suyu dinamiği

Dalgalar, yer altı suyunu sahil çizgisinde ortalama su seviyesini yükselterek ve dalga tırmanması ile sızma neticesinde yer altı su seviyesinde değişime yol açarak etki ederler. Yüksek frekanslı su tablası salınımları da, gelgit etkisindeki su salınımlarında olduğu gibi bir asimetri gösterirler. Yani, su tablası yüksek bir hızla yükselir, yavaşça düşer (Hegge ve Masselink, 1991).

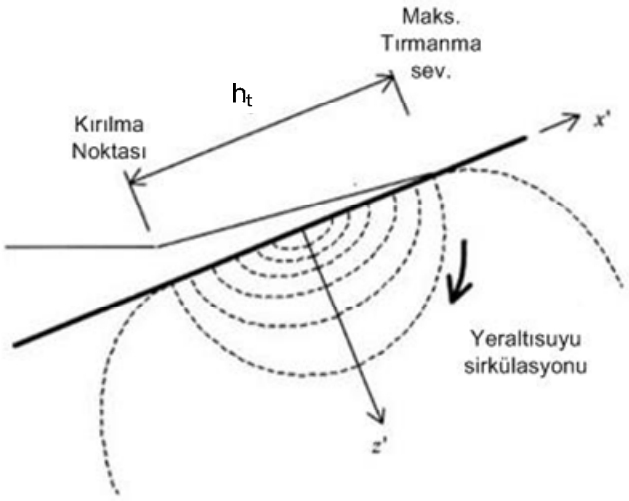
Ortalama deniz seviyesinin sahil çizgisinde yükselmesi neticesinde, sahile doğru oluşacak basınç gradyanının sahilde bir yer altı suyu sirkülasyonu meydana getireceği Longuet-Higgins (1983) tarafından belirtilmiştir.

Turner ve Masselink (1998), boşluk suyu basınçları dalga tırmanmasına tepki gösterseler de, bu salınımların dalgalardan daha düşük frekanslara sahip olacağını belirtmişlerdir. Ayrıca, çalkantı bölgesindeki su tablası salınımlarının gelgit seviyesi düşerken daha etkili olacağını belirtmektedirler. Bunun nedeni olarak da kapiler etkileri öne çıkarmaktadırlar.

Yer altı suyu sirkülasyonunda, dalga suları akifere maksimum tırmanma seviyesi civarında sızar. Dışarı sızma ise sahil yüzünün alt kısmında, kırılma noktası civarında oluşur.

Li ve diğ. (2000) tarafından yapılan nümerik simülasyonda, yer altı su sirkülasyonu çalkantı bölgesinde sızma ile başlamakta, sahilin alt kesiminde dışarı sızma ile son bulmaktadır. İç kesimdeki sirkülasyon hücreleri (sahil yüzüne yakın olanlar), dıştakilere göre daha küçüktür. Yer altı suyu sirkülasyon hücreleri şematik olarak Şekil 3.11'de görülebilir.

Sahil drenajının ana felsefesi yeraltı suyu sirkülasyon hücrelerinin yüzey yerine daha derinden geçmesini sağlamaktır. Drenaj ile yeraltına sızan dalga suları daha uzun bir yörünge izleyerek denize dönecek ve böylece erozyonda azalma meydana gelecektir. Bu tez kapsamında elde edilen sonuçlar incelendiğinde, drenaj ile dalga tırmanma yüksekliklerinin azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni olarak sirkülasyon hücrelerinin çapının genişlemesi gösterilebilir.

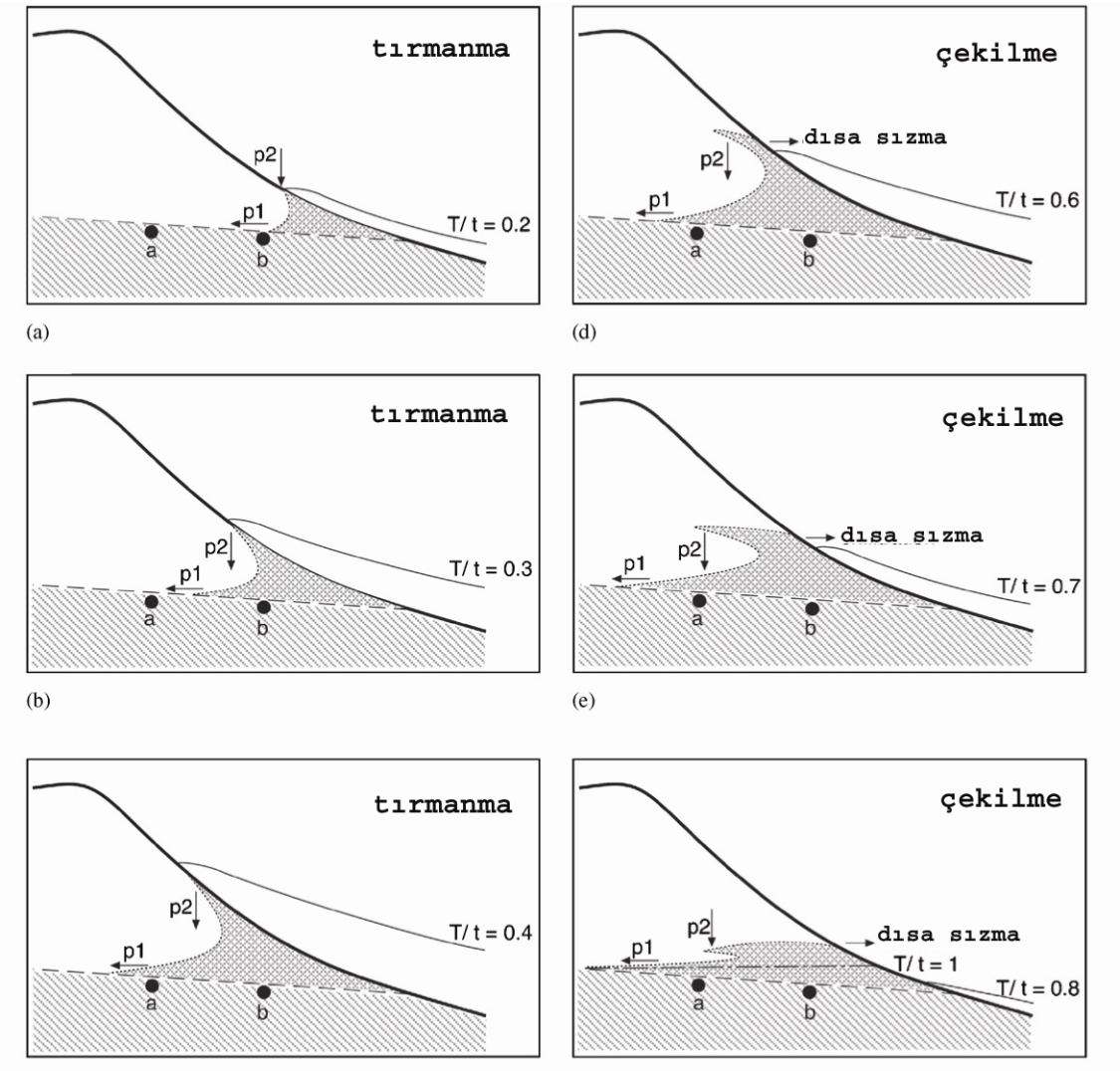


Şekil 3.11 : Yer altı suyu sirkülasyon hücreleri şematik gösterimi (Li ve diğ., 2000).

Austin ve Masselink (2006), çakıl sahillerde çalkantı ve yer altı suyu ilişkisini saha çalışmaları ile incelemişlerdir. Dalganın tırmanma-çekilme döngüsü için yer altı suyunun konumunu ve içe ve dışa doğru sızan suların yönünü sahile dik yönlü yerleştirilen basınç ve akım ölçerler ile ölçmüşlerdir. Şekil 3.12'de bu döngü içinde suyun hareket yönü ve yer altı suyuna etkisi verilmiştir. Şekle bakıldığında, tırmanma esnasında tırmanan dalga suları yer altı suyuna doğru sızma eğilimi içine gireceklerdir. Öte yandan zamanla, sızan sular (a) noktasına doğru hem yatayda hem düşeyde akım oluşturmaktadır. Çekilme esnasında ise, yeraltı suları sahil yüzünden dışarı doğru sızacak, tırmanma esnasında sızan sular ise yer altı su seviyesinde yükselme meydana getirecektir.

Öte yandan Li ve diğ. (2000), nümerik simülasyon sonuçlarına göre tırmanan dalga suları bir akım çizgisi üzerinde hareket edecek ve sirkülasyonunu tamamlayıp sahilin daha alt bölümünden dışarı sızacaktır. Austin ve Masselink (2006) ise çakıl sahillerdeki çalışmalarında tırmanan suların bir kısmının bir sirkülasyon ile dışarı sızdığını, fakat bir kısmının da karaya doğru hareket ettiğini belirtmişlerdir.

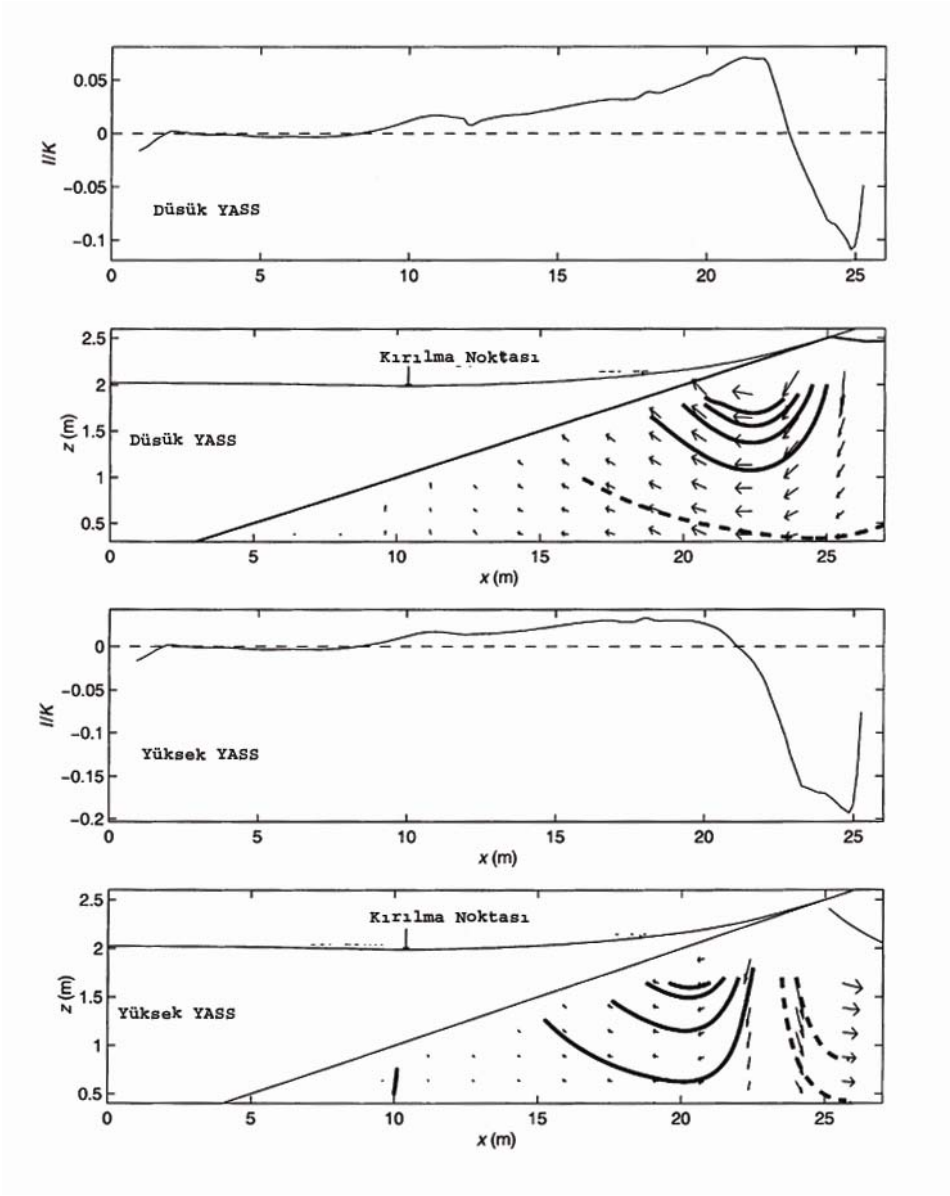
İnce taneli zeminlerde ise, sahil altına sızan dalga sularının bir sirkülasyon yapıp denize geri dönmesi çakıl sahillere nazaran daha uzun bir süre gerektirecektir. Bu nedenle sahil drenajı ile yer altı suyunun drene edilmesi ince taneli kuma sahip sahillerde daha büyük önem taşımaktadır.



Şekil 3.12 : Tırmanma ve geri çekilme esnasında çalkantı suları ve yer altı suyu ilişkisi. Kesikli çizgi ilk halde yer altı su seviyesini, noktalı kesikli çizgi çekilme sonrası yeni yer altı su seviyesini göstermektedir (Austin ve Masselink, 2006).

Turner ve Nielsen (1997), boşluk suyu basınçları, dalga tırmanmasına cevap verse de, bu salınımların dalgalardan daha düşük frekansa sahip olduklarını belirtmektedirler.

Li ve Barry (2000) yüksek ve düşük su tablasının etkilerini incelemişler ve yüksek su tablasının sızmayı azalttığını, dışarı sızmayı artırdığını belirtmişlerdir. Li ve diğ. (2000) düşük ve yüksek yeraltı suyuna sahip sahillerde sirkülasyon hücreleri içerisinde oluşacak akım çizgilerini Şekil 3.13'te olduğu gibi vermişlerdir.



Şekil 3.13 : Düşük ve yüksek yer altı suyuna sahip sahillerde dalga tırmanması ile oluşacak yer altı suyu sirkülasyon hareketi (Li ve diğ., 2000).

Dalga etkisini hesaba katan yeraltı suyu salınım modelleri, sızma terimini içeren lineerize edilmiş Boussinesq denklemleridir. Nielsen ve diğ. (1988), Boussinesq denklemine U_i (x,t) ekstra terimini eklemiştir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{Kd_a}{s}\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + U_i(x,t) \qquad \textbf{(3.10)}$$

Burada, d_a: akifer derinliğidir. U_i(x,t) terimi, birçok tırmanma ve geri çekilme döngüsü için hesap edilen ortalama sızma hızını veya birim alan için sızma hızını ifade etmektedir.

Cartwright ve diğ., (2004) Ui teriminin tahmininin hidrolik iletkenlik, drene edilebilen porozite ve ortalama akifer derinliği gibi akifer parametrelerine bağlı olduğunu belirtirler.

Kaba taneli kumlar ve çakıllı sahiller hariç, serbest yüzeyli akiferlerde, su dinamiği kapiler saçaktan etkilenir. Kapiler saçak, su tablasının hemen üzerinde su molekülleri arasında ve su ile kum arasındaki çekim kuvveti neticesinde oluşmaktadır. Bu bölge tamamen suya doygun olmasına karşın, su tablasından farklı olarak bu bölgede boşluk suyu basınçları eksidir.

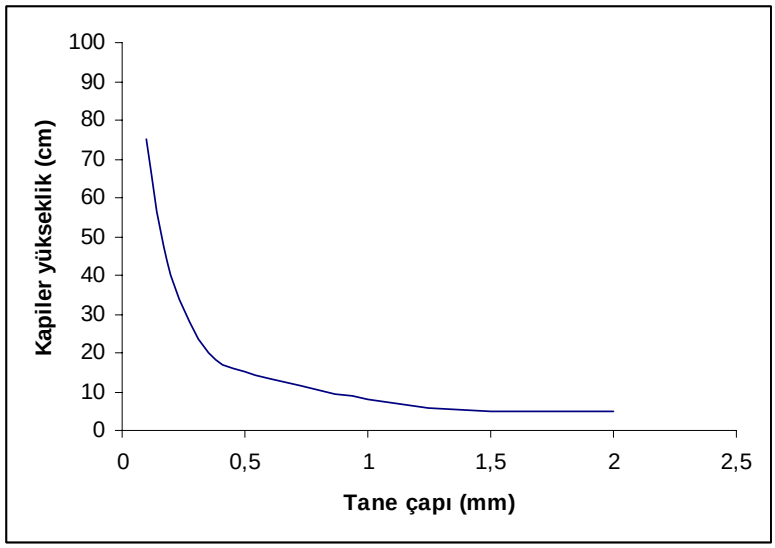
Saha ve laboratuvar çalışmaları sonuçlarına göre, yer altı suyu dalgaları kapiler saçağa sahip bir akiferde hızla yayılıp, yavaş sönümlenmektedir (Nielsen ve Turner (2000).

Turner ve Nielsen (1997), üniform çaplı küresel taneler için sahilde, kapiler saçak yüksekliği ifadesini:

$$B_c = \frac{10\gamma}{\rho g d} \qquad \textbf{(3.11)}$$

Olarak vermişlerdir. Bu denklemde γ: yüzey gerilmesi, ρ:akışkan yoğunluğu, d: ortalama tane çapıdır.

Yukarıdaki kapiler yükseklik denklemi tane çapı ile çizildiğinde Şekil 3.14 elde edilmektedir



Şekil 3.14 : Kapiler yükseklik (Turner ve Nielsen, 1997).

Gillham (1984), kapiler saçağa sahip sığ su tabakalarının sızma ile aşırı tepki göstereceklerini belirtir. Kapiler saçağın, su tablasından zemin yüzeyine kadar uzadığı hali ele almış ve bu durumda özgül verinin sıfıra yakın olduğu, az miktarda su ilavesi ile su tablasının ani ve büyük miktarda yükselme yaşayacağını belirtmiştir. (Ters Wieringermeer etkisi)

Nielsen ve diğ. (1988), kapiler saçağın kum yüzeyine yakın olması halinde, az miktarda su ilavesiyle, kum taneleri arasındaki menisküslerin yok olması nedeniyle, boşluk suyu basınçlarında yükselme yaşanacağını belirtmişlerdir.

Li ve diğ. (1997a), dalga tırmanmasının kıyı akiferine etkilerini incelemişler ve kapilarite etkilerinin yüksek frekanslı salınımlar için önemli olduğunu belirtmişlerdir. Kapilarite etkilerini belirten bir terim olmadan, yer altı suyu modelleri yüksek frekanslı su tablası salınımlarını öngörememektedir.

Sahil yer altı suyu aşağıdaki Laplace denklemini sağlar:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial z^2} = 0 \qquad \textbf{(3.12)}$$

Denklemde h=z+p/γ olmak üzere hidrolik yüktür. Yer altı suyu, bir dalga döngüsü süresinde sahil yüzündeki sınır koşullarında yaşanan değişim nedeniyle salınım yapar.

Sınır koşulları dikkate alınarak Laplace denklemi çözüldüğünde kapiler etkileri içeren denklem elde edilir Nielsen ve diğ. (1997),

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{K}{s}\tan\left(d\frac{\partial}{\partial x}\right)\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{B_c}{s}\frac{\partial}{\partial t}\left[\tan\left(d\frac{\partial}{\partial x}\right)\frac{\partial h}{\partial x}\right] \qquad \textbf{(3.13)}$$

Benzer şekilde Li ve Barry, 2000 aynı denklemi elde etmeye çalışmışlardır:

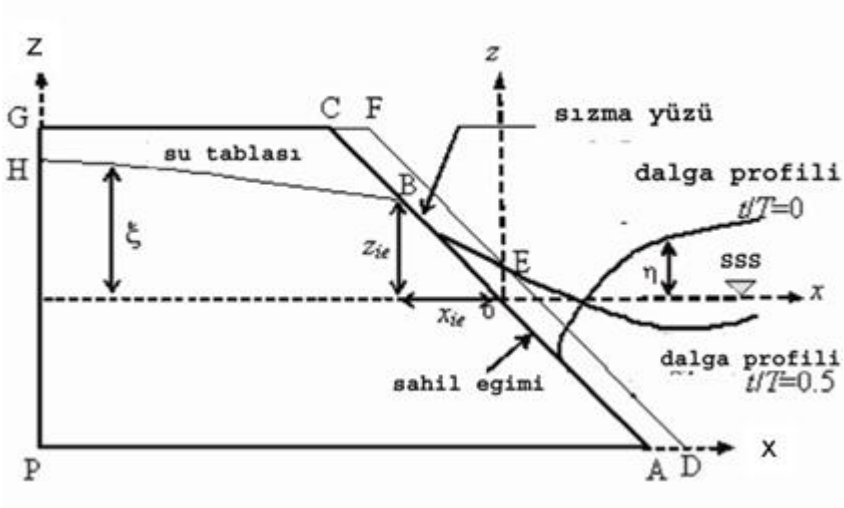
$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{K}{n_e\cos(\gamma)}\frac{\partial h}{\partial n} - \frac{B_c}{n_e\cos(\gamma_a)}\frac{\partial}{\partial t}\left(\frac{\partial h}{\partial n}\right) \qquad \textbf{(3.14)}$$

Denklemde K: hidrolik iletkenlik, n_e: etkin porozite, B_c: kapiler saçak yüksekliği, n: akım sınırlarına dik yönlü lokal koordinattır. γ_a ise su tablası ile yatay eksen arasındaki açıdır.

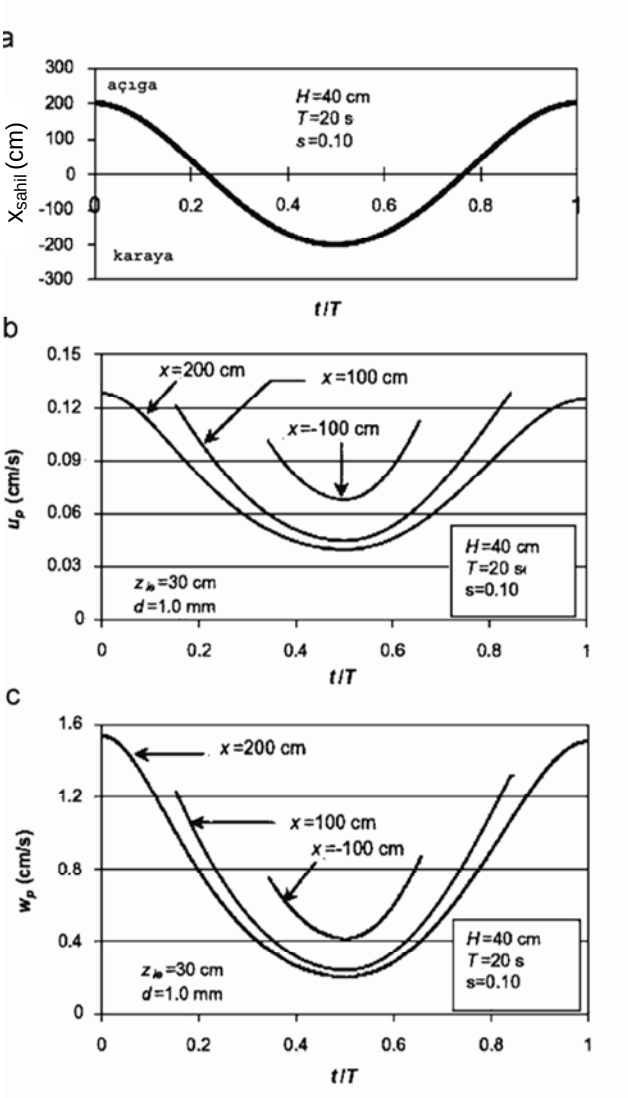
3.2 Dalga Etkisiyle Oluşan Sızma Hızları

Dalga sularının sahile sızması katı madde etkili ağırlığında oluşturduğu değişim ve sınır tabakası kalınlığındaki değişim neticesinde karşıt iki etki yapmaktadır. Sahil içine ve dışına doğru gerçekleşen sızma hızları genelde çok küçük olmaktadır. Dalga etkisinde katı madde hareketi düşünüldüğünde, sızma hızlarının etkisi ihmal edilebilecek seviyede kalmaktadır. Buna karşın uzun dönemde etkileri nedeniyle hesaba katılmalıdırlar. Sızma ve dışarı sızma neticesinde, i. Geri dönen dalga hacminde ve süresinde değişim, ii. Katı madde efektif ağırlığının artması veya azalması, iii. Katı madde üzerine gelen kayma kuvvetinin artması veya azalması etkileri ortaya çıkacaktır.

Hoque ve Asano (2007), dalga etkisinde oluşacak sızma hızlarını ve bunun katı madde hareketine etkilerini nümerik olarak modellemişlerdir. Modelin şematik gösterimi Şekil 3.15'te görülmektedir. Araştırmacılar değişik dalga ve katı madde özellikleri için parametrik çalışmalar yapmışlardır. Şekil 3.16'da dalganın sahil yüzüyle birleşim noktasının zamanla değişimi ve sızma hızının yatay ve düşey bileşenlerinin bir dalga periyodu içerisindeki değişimi verilmiştir. Burada u_p yatay hız, w_p düşey hızdır.



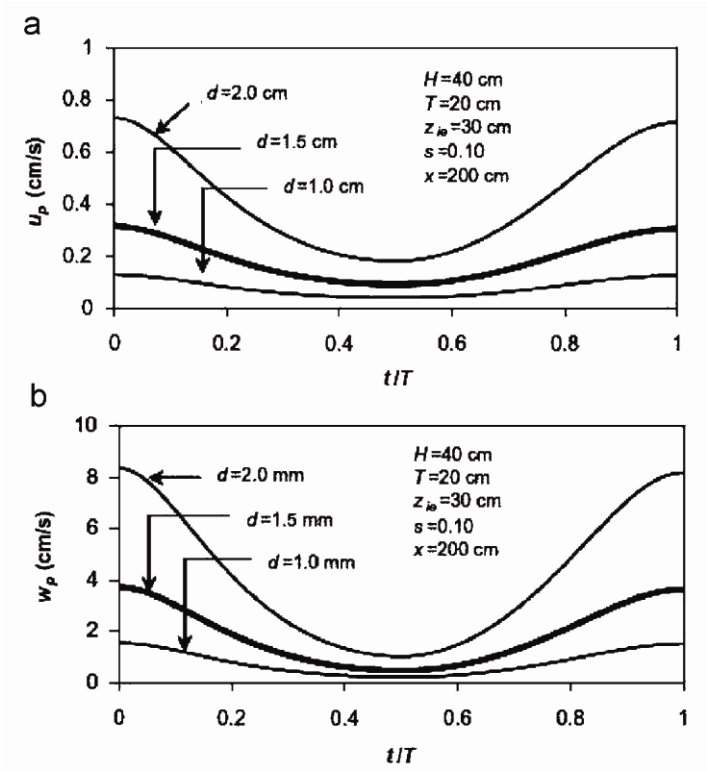
Şekil 3.15 : Hoque ve Asano (2007) tarafından yapılan nümerik modelin şematik gösterimi.



Şekil 3.16 : a) dalga tepesi konumu, b) sızma hızının yatay bileşeni c) sızma hızının düşey bileşeni (Hoque ve Asano, 2007).

Sızma hızının düşey bileşeninin, yatay bileşene oranla çok daha büyük olduğu görülmektedir. *x=200* cm noktası maksimum çekilme noktası olup, bir dalga periyodunun her anında dalga etkisine maruzdur. *x=-100* cm ve *x=100* cm noktaları ise sadece belirli sürelerde dalga etkisindedir.

Değişik tane boyutundaki katı maddeler için sızma hızının bileşenleri ise Şekil 3.17'de görülmektedir.

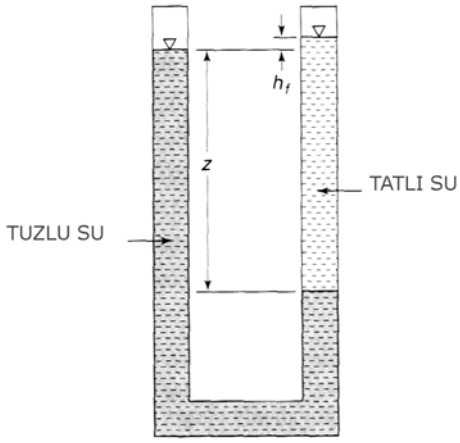


Şekil 3.17 : Değişik tane boyutları için sızma hızının yatay ve düşey bileşenleri (Hoque ve Asano, 2007).

Şekil 3.17'den görüleceği üzere, katı madde tane boyu büyüdükçe, geçirimlilik artacağından sızma hızlarında artış olmaktadır.

3.3 Kıyı Akiferinde Tatlı Su - Tuzlu Su Arayüzü

Kıyı akiferlerinde daha yoğun olan tuzlu su, tatlı suyun altında yer alır. İki su kütlesi arasında karışma bölgesi bulunur. Tuzlu ve tatlı su arayüzünün konumu hakkında Ghyben (1889) ve Herzberg (1901) çalışmalar yapmışlardır. Çalışmalarda, sistemi durağan kabul etmişler ve arayüz üzerindeki tatlı suyun basıncı ile aynı derinlikteki tuzlu su basıncının eşitliğinden yola çıkarak bir bağıntı elde etmişlerdir. Şekil 3.18'de U tüpü görülmektedir. Şekilden aşağıdaki bağıntı yazılabilir.



Şekil 3.18 : Ghyben-Herzberg bağıntısı için kullanılan şematik U-tüpü şekli (Todd ve Mays, 2005).

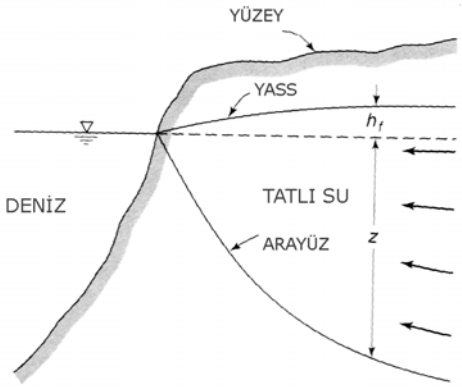
$$\rho_s g z = \rho_f g (h_f + z) \quad \textbf{(3.15)}$$

ρ_s: tuzlu su yoğunluğu, ρ_f: tatlı su yoğunluğudur. 3.13 bağıntısından aşağıdaki bağıntı çıkarılabilir.

$$z = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h_f \quad \textbf{(3.16)}$$

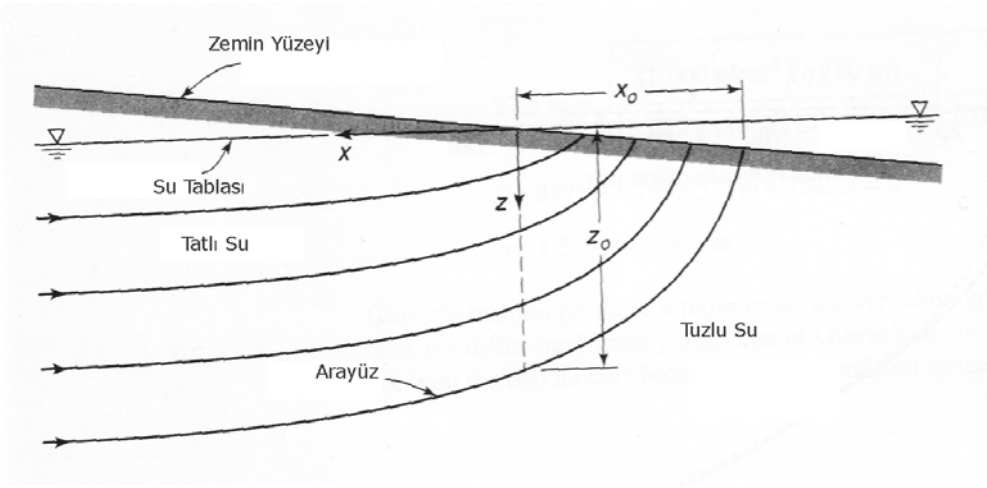
Tatlı su yoğunluğu 1.0 g/cm^3 ve tuzlu su yoğunluğu 1.025 g/cm^3 alınırsa; $z=40h_f$ bulunur. Bir başka deyişle, arayüze olan derinlik, deniz seviyesi üzerindeki su tablası yüksekliğinin 40 katı olacağı öngörülebilir. Yukarıdaki denklem Ghyben-Herzberg denklemi olarak bilinmektedir.

Tatlı-tuzlu su arayüzü için kıyı akiferinde şematik gösterim Şekil 3.19'da görülebilir.



Şekil 3.19 : Kıyı akiferinde tatlı-tuzlu ara arayüzünü gösteren şematik gösterim. (Todd ve Mays, 2005).

Ghyben-Herzberg tatlı-tuzlu su arayüzünün kıyı çizgisinden başladığını belirtmektedir. Glover ise tatlı suyun denize döküldüğü en alt noktanın sahil çizgisinden daha aşağıda olacağını belirtmektedir. Glover'ın teorik denklemi için kullandığı şematik Şekil 3.20'te verilmiştir.



Şekil 3.20 : Tuzlu-tatlı su arayüzünün konumu için Glover tarafından önerilen denklemde kullanılan notasyon için şematik gösterim (Todd ve Mays, 2005).

Glover Denklemi şöyle verilmiştir:

$$z = \frac{2\rho q x}{\Delta\rho K} + \left(\frac{\rho g}{\Delta\rho K}\right)^2 \qquad \textbf{(3.17)}$$

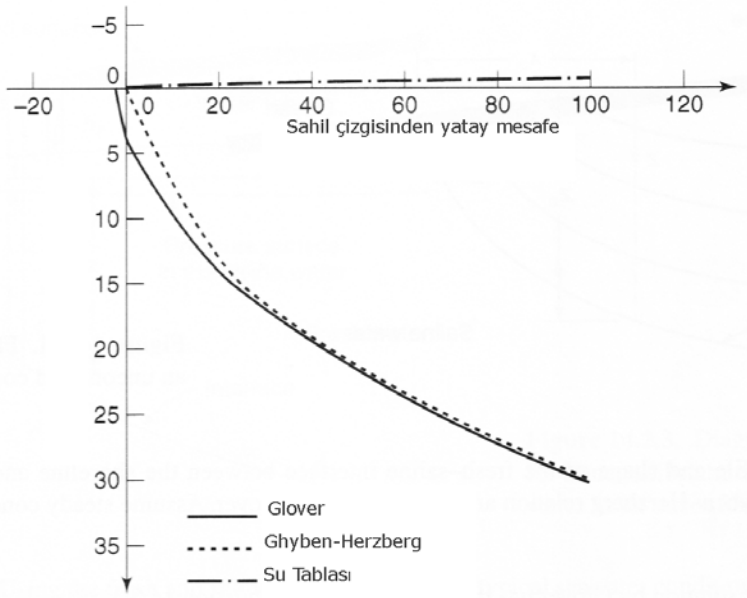
Buna göre, tatlı suyun çıkış noktası için z=0 yazıldığında x_0 değeri aşağıdaki şekilde hesaplanabilir:

$$x_0 = \frac{\rho g}{2\Delta\rho K} \qquad \textbf{(3.18)}$$

Denklemde $\Delta\rho = \rho_s - \rho_f$, K hidrolik iletkenlik, q ise sahil çizgisinin birim uzunluğundan akan tatlı su akımıdır. Ghyben-Herzberg ve Glover denklemleri için ayrı ayrı arayüz değerleri hesaplandığında aşağıdaki Çizelge 3.1 ortaya konabilir. Tablodaki değerler grafiksel olarak çizildiğinde ise Şekil 3.21 ortaya konabilir. Glover yaklaşımı daha gerçekçi bir arayüz yerleşimi belirlemektedir.

Çizelge 3.1 : Ghyben-Herzberg ve Glover denklemlerinin sonuçlarının karşılaştırılması

x	z (Ghyben–Herzberg)	z (Glover)	h_f (Ghyben–Herzberg)	h_f (Glover)
20	13.28	14.00	0.33	0.33
40	18.79	19.30	0.47	0.46
60	23.01	23.43	0.58	0.57
80	26.57	26.93	0.66	0.66
100	29.70	30.03	0.74	0.73
200	42.01	42.24	1.05	1.04
300	51.45	51.64	1.29	1.27
400	59.41	59.57	1.49	1.47
500	66.42	66.57	1.66	1.64
600	72.76	72.89	1.82	1.80
700	78.59	78.71	1.96	1.94
800	84.02	84.13	2.10	2.07
900	89.11	89.22	2.23	2.20
1000	93.93	94.04	2.35	2.32



Şekil 3.21 : Ghyben-Herzberg ve Glover denklemlerisonuçlarının grafik karşılaştırılması.

3.3.1 Sahil drenajı halinde tatlı-tuzlu su arayüzünün teorik olarak belirlenmesi

Sahil drenajı ile yer altı suyu seviyesinin düşürülmesi ile erozyonu azaltma düşüncesi, sahil morfodinamiği için yararlı olsa da düşen yer altı su seviyesi ile kıyı akiferinde tatlı su tablası eğiminin azalması neticesinde daha yoğun olan tuzlu suyun tatlı suya karışması yaşanabilir. Bu nedenle drenaj halinde akiferin tuzlu suyla

kirlenmesinin önüne geçmek için tatlı-tuzlu su arayüzünün nasıl gerçekleşeceğinin tahmini önem kazanmaktadır.

Strack (1976) kuyu varlığı halinde akifere deniz suyu girişini modelleyebilmek için bir teknik geliştirmiştir. Homojen ve izotropik bir akiferin tabanında yatay geçirimsiz bir zemin olduğu ve yer altı suyu akımının yatay olduğu kabulü ile aşağıdaki denklemi önermiştir:

$$\frac{1}{2}(1+\delta)\frac{B^2}{\delta^2} = \frac{Q'_{0x}}{K}x + \frac{Q_w}{4\pi K}\ln\left[\frac{(x-x_w)^2+y^2}{(x+x_w)^2+y^2}\right] \qquad \textbf{(3.19)}$$

Denklemde;

B: ortalama deniz seviyesinden geçirimsiz tabakaya kadar mesafe,

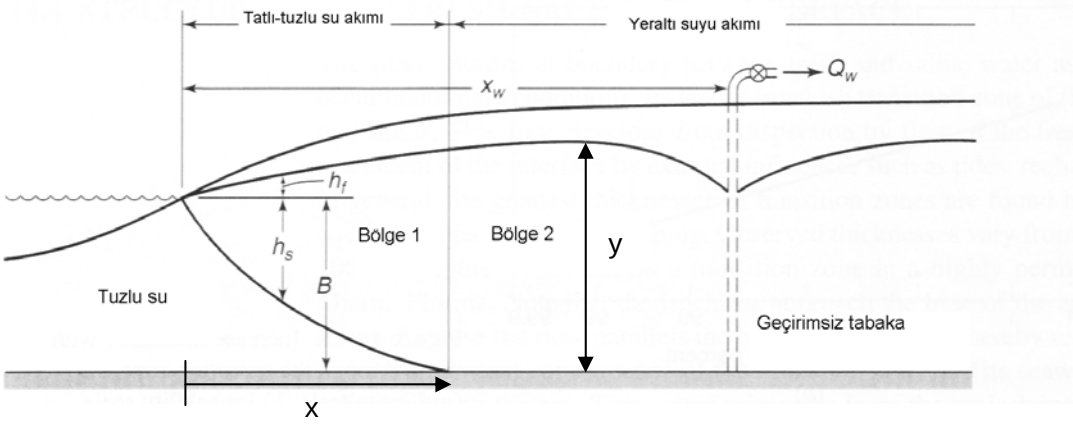
Q_{ox}: birim sahil genişliğinden akan yer altı suyu akımı

Q_w: kuyudan çekilen su debisi

K: akiferin hidrolik iletkenliği

(x,y): arayüz topuk noktasının koordinatlarıdır.

Denklemde kullanılan notasyon Şekil 3.22'de verilmiştir.



Şekil 3.22 : Kuyu ile akiferden su çekilmesi halinde tatlı-tuzlu su arayüzündeki değişim (Strack, 1976).

3.4 Katı Madde Mekaniği

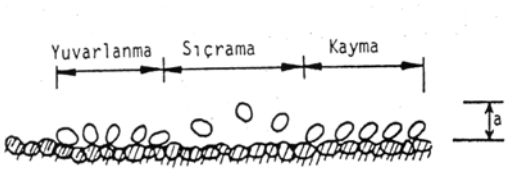
Herhangi bir kum zerresinin hareketi zerreye etkiyen kuvvetler tarafından belirlenir. Eğer kuvvetler zerreyi yerinden oynatacak kadar etkili değilse hareket başlamaz. Herhangi bir zerreye etkiyen kuvvetler akım yönünde oluşan itme kuvveti, kaldırma kuvveti ve zerrenin ağırlığıdır.

Katı madde hareketi iki kısma ayrılarak incelenebilir:

a. sürüntü maddesi

b. askı maddesi

Taban hareketi yapan maddeler taban ile sürekli temas halindedir. Daha çok iri kum ve çakıl gibi ağır malzeme bu hareketi yapar. Taban hareketi yapan taneler teker teker gözlendiğinde, bunların taban üzerinde bazen yuvarlanarak, bazen kayarak bazen de sıçrayarak hareket ettikleri görülür. Şekil 3.23'te taban hareket şekilleri görülmektedir.



Şekil 3.23 : Taban hareket şekilleri (Sümer ve diğ., 1983).

Askı hareketini ise daha çok, ince kum ve silt gibi daha hafif malzemeler yapar. Akım türbülanslıdır, o halde akım içerisindeki herhangi bir noktada hızın düşey bileşeni sıfır etrafında titreşmektedir. Yukarı doğru yönlenmiş hızın varlığı o anda, o noktada yukarı doğru hareket eden bir su kütlesinin bulunduğunu gösterir. Bu su kütlesi beraberinde ince katı maddeyi de yukarı doğru taşır.

Akımın birim genişliğinden, birim zamanda geçen taban malzemesi miktarına sürüntü maddesi debisi denmekte olup, bu debi tane özelliklerine ve taban civarındaki akım özelliklerine bağlıdır.

$$q_b = F(d, \rho g(s-1), \tau_o, \rho, \tau) \qquad \textbf{(3.20)}$$

q_b, boyut analizi kullanılarak iki boyutsuz büyüklüğün fonksiyonu olarak yazılabilir.

$$\Phi = \frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gd^3}} = f\left(\frac{\tau_0/\rho}{g(s-1)d}, \frac{d\sqrt{\tau_0/\rho}}{\mu/\rho}\right)$$

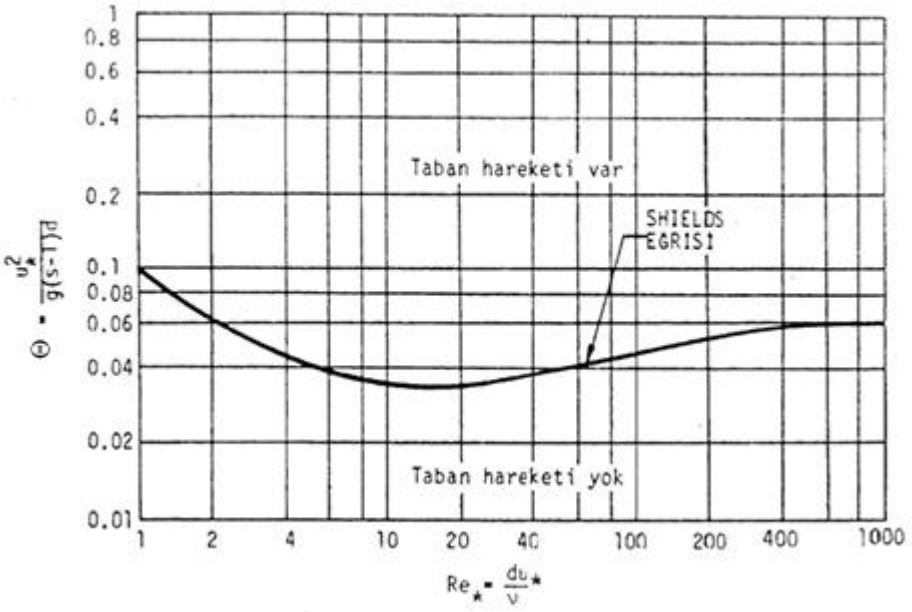
$$\frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gd^3}} = f\left(\frac{u_*^{\,2}}{g(s-1)d}, \frac{du_*}{\upsilon}\right) \qquad \textbf{(3.21)}$$

Burada $\Phi = \frac{q_b}{\sqrt{(s-1)gd^3}}$ boyutsuz taban malzemesi debisi,

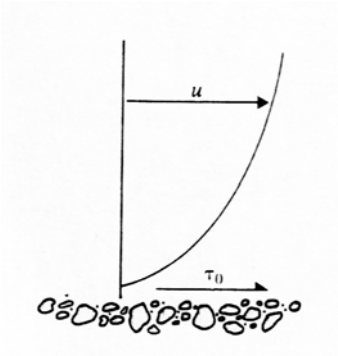
$\theta = \frac{u_*^{\,2}}{g(s-1)d}$ Shields parametresi

$\mathrm{Re}_* = \frac{du_*}{\upsilon}$ Reynolds sayısı olarak tanımlanmaktadır.

Buna göre değişik Re* değerleri için θ grafiği çizildiğinde Shields eğrisi elde edilmiş olur (Şekil 3.24).



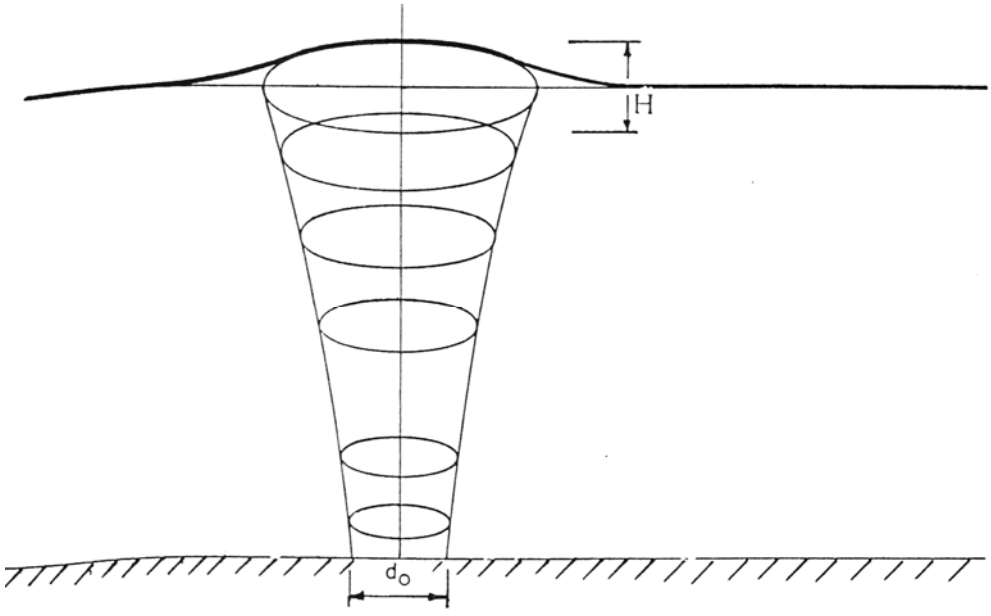
Şekil 3.24 : Shields eğrisi (Shields, 1936).



Şekil 3.25 : Taban kayma gerilmesi (Sümer ve diğ., 1983).

Dalgalar tarafından taşınan katı maddeler kıyıya dik ve kıyı boyu olmak üzere iki yönlü taşınabilir. Kıyıya dik taşınım, fırtına durumlarında açığa, hafif dalga etkilerinde ise sahile doğru taşınım gösterecektir. Denge koşullarında katı maddeye etkiyen kuvvetler denge halinde olup, profil hemen hemen statik durumdadır. Kıyıya dik katı madde taşınımı etkiyen hidrodinamik kuvvetlerin değişmesi halinde gerçekleşecektir. Taban kayma gerilmesi Şekil 3.25'te görülmektedir.

Yüzey dalgaları su içerisinde salınımlı bir hareket oluştururlar. Derin sularda su parçacıkları dairesel yörüngede hareket ederken, sığ sularda bu yörüngenin şekli eliptik hal alır (Şekil 3.26). Taban yakınlarında ileri-geri salınan yatay hareket meydana gelir.



Şekil 3.26 : Sığ sularda su parçacıklarının yörüngesel hareketi (Svendsen ve Johnson, 1980).

Eliptik yörünge çapı d_0;

$$d_0 = \frac{H}{\sinh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)} \tag{3.22}$$

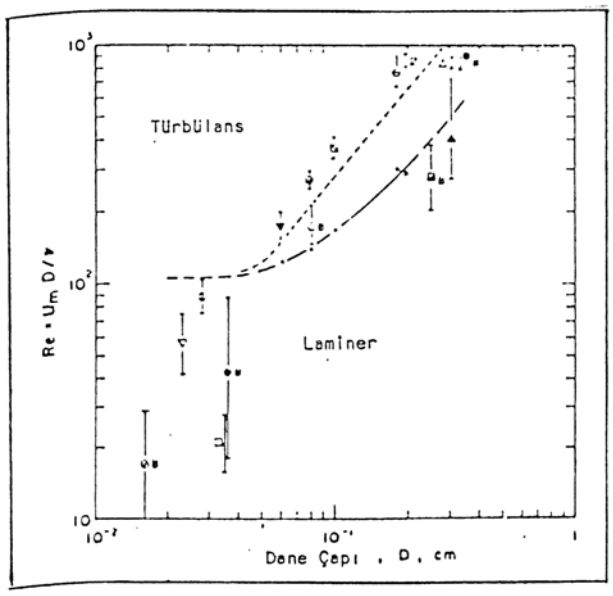
İfadesiyle hesaplanır. Bu denklemde H dalga yüksekliği, h su derinliği ve L dalga boyunu belirtmektedir. Tabandaki maksimum yatay hız u_m ise;

$$u_m = \frac{\pi d_0}{T} \tag{3.23}$$

olarak verilmiştir.

Tabanda, taban direncinin etkisi ile sınır tabakası gelişir. Sınır tabakasının içerisinde hız gradyanı vardır.

Rance ve Warren (1968), Reynolds sayısı ve dane çapına göre türbülanslı ve laminer sınır tabakası arasındaki sınırı belirlemeye çalışmışlardır. Şekil 3.27'de görüleceği üzere, dane çapı 0.5mm'den küçük olan katı maddeler harekete başladığında sınır tabakası içerisindeki rejimin laminer kaldığı görülmektedir. Dane çapı büyüdükçe, Reynolds sayısı artmaktadır.

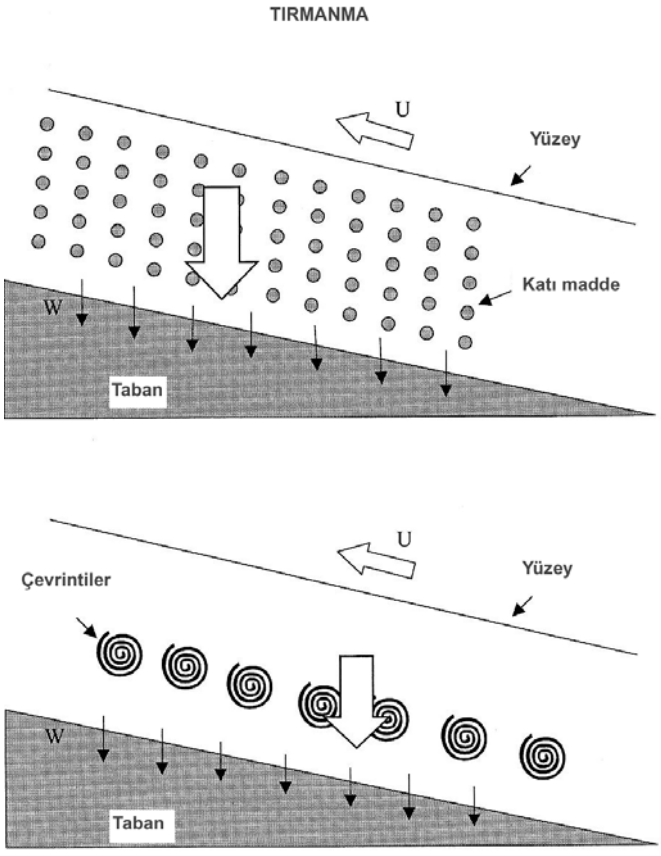


Şekil 3.27 : Dane Reynolds Sayısının değişen değerleri için Laminer ve türbülanslı sınır tabakasının ayrılması (Rance ve Warren, 1968).

Küçük çaplı daneler için malzemenin laminer alt tabakanın içine gömülmesiyle oluşan hidrolik cilalı cidarın altındaki ince malzemenin hareketi, viskoz kuvvetlerin

etkisiyle oluşmaktadır. Büyük çaplı malzemede ise, sınır tabakasının dışına taşan danelerin etrafını küçük çevrintiler kaplamaktadır. Danenin alt ve üst kısmındaki basınç farkları dane hareketini sağlayan faktörler olarak belirtilmiştir. (Ünal, 1986)

Benzer şekilde Conley ve Inman (1994), yaptıkları laboratuvar deneylerinde sınır tabakasının kalınlığındaki değişimi incelemişlerdir. Çalışmada, sızma ile sınır tabakasının inceldiğini ve dışarı sızma ile kalınlaştığını dolayısıyla, tabana yakın kısımda sızma ile hızda artış olacağını belirtmişlerdir. Sızma ile tabana yakın bölgede küçük çevrintiler oluştuğunu ve taşınımı artırdığını belirtmişlerdir. (Şekil 3.28 ve 3.29)

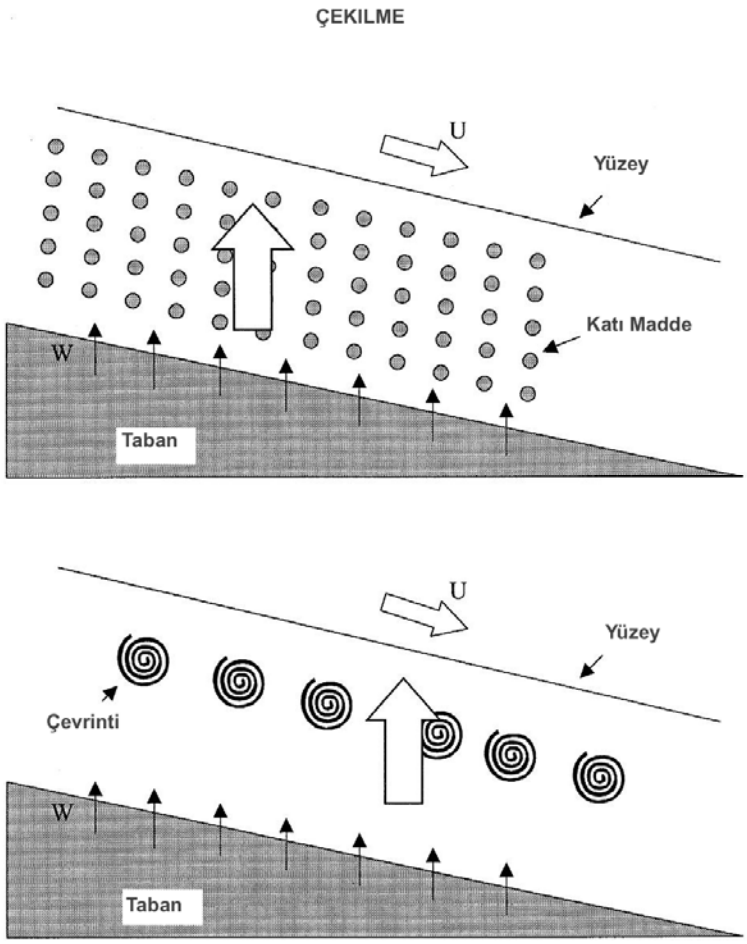


Şekil 3.28 : Tırmanma esnasında sızma ile oluşan stabilizasyon ve sınır tabakası kalınlığındaki değişimi gösteren şematik gösterim (Butt ve diğ., 2001).

Dalga çekilirken ise dışarı yönlü sızma hareketi katı madde taneciklerinin etkili ağırlıklarını azaltacak yönde etki göstereceğinden erozyona sebep olurken, sınır tabakasındaki kalınlaşma ile de çevrintiler tabandan uzakta oluşacak ve katı madde taşınımını engelleyici rol oynayacaktır.

Sızma ile oluşan bu iki etkinin göreceli önemlerini Nielsen (1997) ve Turner ve Masselink (1998) Shields parametresini değiştirerek ortaya koymaya çalışmışlardır.

4. bölümde sızma ve dışarı sızma neticesinde oluşacak sınır tabakası modifikasyonu ve tanelerin efektif ağırlıklarındaki değişim incelenmiştir.



Şekil 3.29 : Çekilme esnasında dışarı sızma ile hareketin artışı ve sınır tabakası kalınlığındaki değişimi gösteren şematik gösterim (Butt ve diğ., 2001).

3.4.1 Kıyılarda katı madde taşınımı

Katı madde hareketinin söz konusu olabileceği kıyı bölgeleri büyük çoğunlukla kum ve çakıl boyutundaki malzemeden oluşur. Silt ve kil gibi ince malzemeye kıyı üzerinde kolay rastlanmaz, çünkü kıyıda özellikle dalga etkisi ile oluşan büyük türbülans bu boyutlardaki ince taneleri askı halinde tutar ve bunlar ancak kıyının çok durgun korunmuş veya yarı korunmuş açık denize yarı kapalı bölgelerinde çökerek tabana otururlar (Kabdaşlı, 1992).

Deniz ortamında tabanda meydana gelen katı madde hareketinin ana sebebi dalga, akıntı veya bunların beraber etkisinde tabanda oluşan kayma gerilmesidir. Taban kayma gerilmesi, dalga periyodu dikkate alındığında değişken bir karakter gösterir.

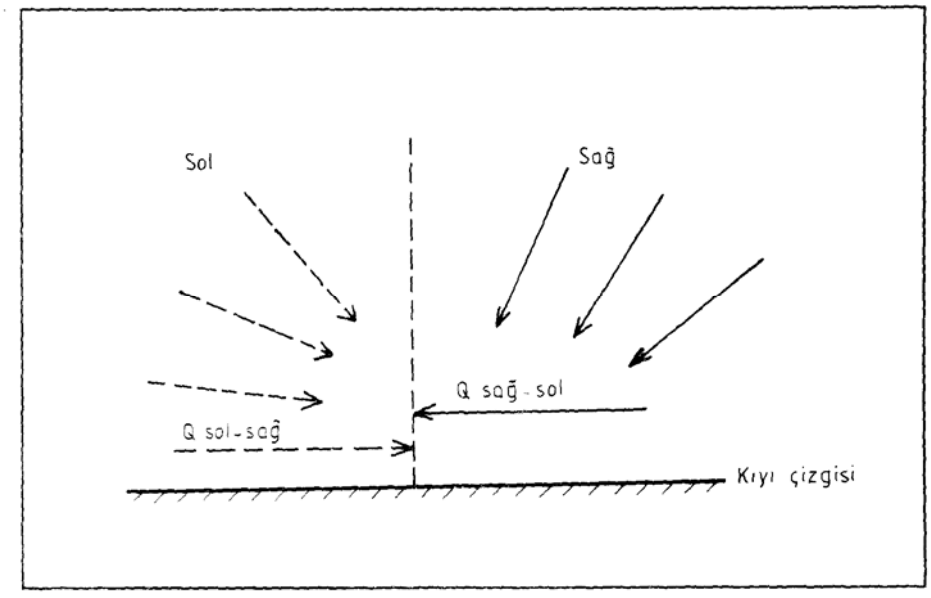
Tabanda herhangi bir noktaya bakıldığında, bu nokta üzerindeki su seviyesi ortalama su seviyesinden başlayarak bir maksimum değere çıkar ve ortalama değerden geçerek minimum değere iner ve periyodun sonunda ortalama değere ulaşır. Bu seviye değişimleri sırasında taban üzerinde oluşan hareket tabana paralel yönde ileri ve geri yönlüdür.

3.4.1.1 Kıyı boyu katı madde taşınımı

Dalgalar, yakın kıyı bölgesinde yeterince yol almadan kıyı yakınlarında kırılırsa, sahip oldukları dalga enerjisinin kıyı çizgisine paralel bir bileşeni bulunduğundan bu enerji bileşeni nedeniyle yakın kıyı yakınlarında kuvvetli bir su kütlesi hareketi oluştururlar. Dalga kırılması sırasında oluşan türbülans ile askı haline dönüşen katı maddeler bu su kütlesi hareketi ile kıyı boyu taşınırlar.

Yıl içinde dalgaların geliş yönlerinin rastgele değiştiği düşünüldüğünde bir dalga etkisi ile bir tarafa doğru giden katı maddeler, aksi yönden gelen bir dalga etkisinde tam tersi yönde taşınabilirler. Yıl sonunda bir yöne doğru taşınım daha fazla olduğunda taşınan kumların geri dönmediği görülür. Buna net taşınım denmektedir. Kıyı çizgisine dik alınan bir kesitte katı madde debileri Şekil 3.30'da şematik olarak verilmiştir. Net taşınım bağıntısı şöyledir.

$$Q_{net} = \pm(Q_{sağ-sol} - Q_{sol-sağ}) \qquad \textbf{(3.24)}$$



Şekil 3.30 : Kıyı boyu katı madde taşınımı (Kabdaşlı, 1991).

Toplam katı madde taşınımı ise;

$$Q_{toplam} = (Q_{sağ-sol} + Q_{sol-sağ}) \quad \textbf{(3.25)}$$

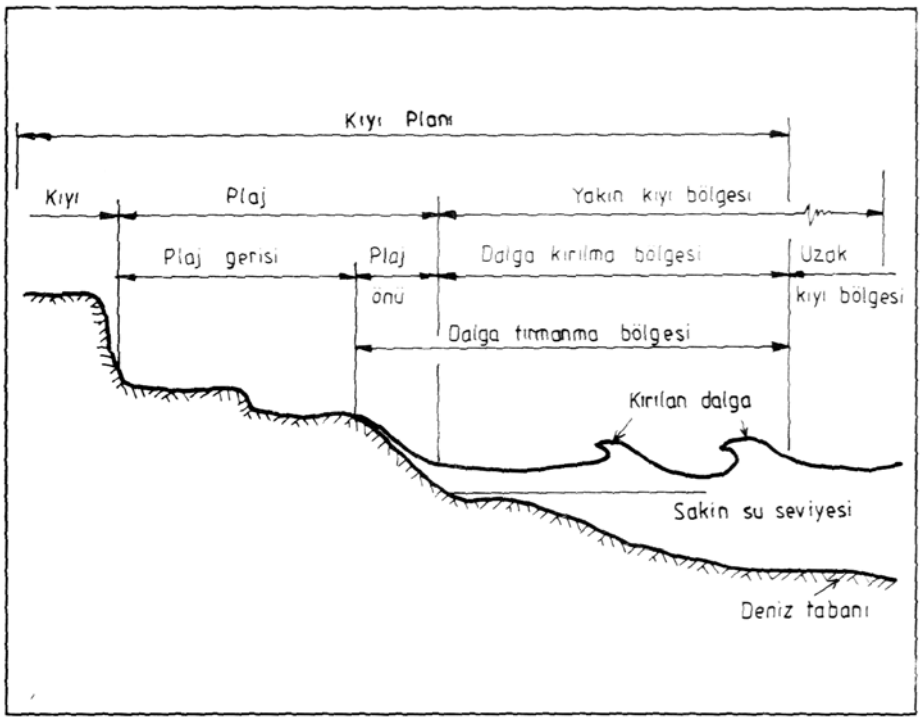
olarak ifade edilir ve bu değerin büyük olması o kıyıdaki deniz tabanının hareketliliğinin göstergesidir. Dolayısıyla, bu tabana oturacak kıyı yapılarının sağlam bir tabana oturmayacağı söylenebilir.

3.4.1.2 Kıyıya dik katı madde taşınımı

Denge şartları altında, sörf bölgesindeki kuvvetler denge halinde olup, profil hemen hemen denge halindedir. Kıyıya dik taşınım, yakın kıyı bölgesinde hidrodinamik şartların değişmesi ile olup profilin değişimine yol açar.

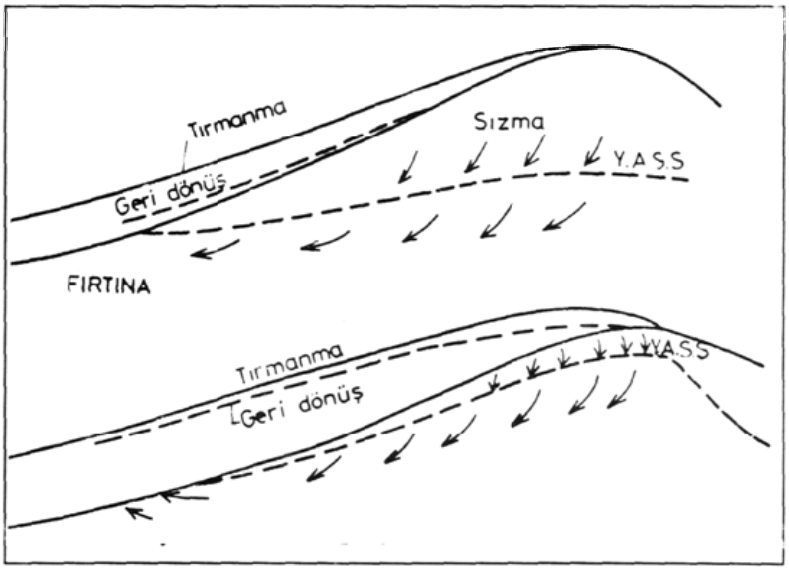
Kıyıya dik taşınım düşünüldüğünde, yerçekimi katı maddeleri denize doğru sürükleyerek profili erozyona uğratmaya çalışır. Bar oluşmuş sahilde ise, barın kara tarafında profilin eğimini artırıcı etki yapacaktır. Şekil 3.31'de, bir kıyı kesiti ve kıyı bölgesini tanımlayan unsurlar gösterilmiştir.

Kıyı profilindeki değişimler gelen dalganın dikliğine ve kıyıyı oluşturan katı madde boyutlarına bağlıdır. Yapılan deneysel çalışma ve gözlemler, dalga koşullarına göre değişen iki ana kıyı profilinin varlığını göstermektedir.



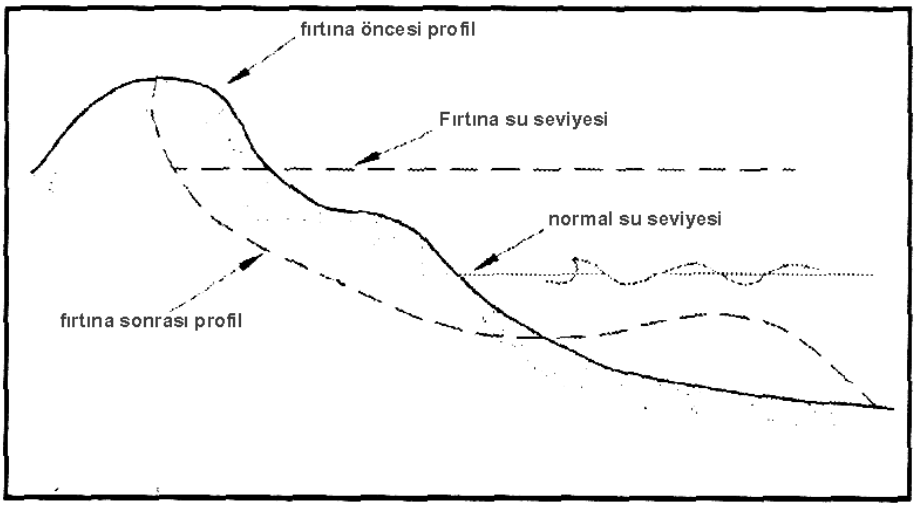
Şekil 3.31 : Kıyı bölgesi tanımları (Kabdaşlı, 1992).

Fırtınalı havalar dışında, normal deniz koşullarında meydana gelen profile normal profil (veya yaz profili) adı verilir. Normal kıyı profilinde kıyı çizgisi önünde dik bir eğim mevcuttur. Fırtınalı havalarda oluşan profil ise fırtına profili (veya kış profili) olarak isimlendirilir. Bu profilin en belirgin özelliği açık deniz tarafında oluşan bir kum tepesidir.



Şekil 3.32 : Kıyı profilleri (Kabdaşlı, 1992).

Yaz ve kış profillerini belirten şematik gösterim Şekil 3.32 ve Şekil 3.33'te görülebilir.

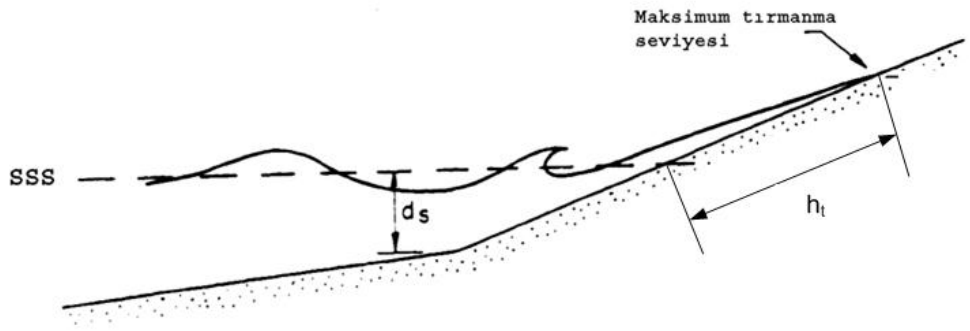


Şekil 3.33 : Yaz ve kış profilleri (Kabdaşlı, 1991).

4. SIZMA ETKİLERİ

4.1 Dalga Tırmanması

Dalga tırmanma seviyesinin belirlenmesi, kıyı yapılarının maksimum kotunun veya yapının konumunun belirlenmesinde önem taşır. Rölatif tırmanma, R/H_o, gelen dalga boyu ve periyoduna ve sahil eğimi başlamadan önceki su derinliği (d_s) bağlıdır (Sorensen, 1993). Dalga tırmanma seviyesini ifade eden şematik gösterim Şekil 4.1'de görülmektedir.



Şekil 4.1 : Dalga tırmanmasını ifade eden şematik gösterim (Sorensen, 1993).

Boyut analizi ile dalga tırmanması ve etkiyen faktörler boyutsuz büyüklükler olarak yazıldığında aşağıdaki ifade ortaya çıkar:

$$\frac{h_t}{H_o} = f\left(\alpha, \frac{H_o}{gT^2}, \frac{d}{H_o}\right) \qquad \textbf{(4.1)}$$

Toplam tırmanma yüksekliği üç bileşene sahiptir: Statik setup $\bar{\eta}$, dinamik setup $\hat{\eta}$ ve gelen dalgaların oluşturacağı tırmanma. Herhangi bir derinlikteki tek bir dalga bileşeni için,

$$\bar{\eta}(h) = \left(-\frac{\kappa}{16} + \frac{(3/8)\kappa}{1+(3/8)\kappa^2}\right)H_b - \frac{(3/8)\kappa^2}{1+(3/8)\kappa^2}h \qquad \textbf{(4.2)}$$

olarak ifade edilmektedir. Burada κ, kırılma anında dalga yüksekliğinin su derinliğine oranıdır ve genelde sabit kabul edilir. Sakin su seviyesindeki setup ve maksimum setup miktarı bu denklemden yola çıkılarak yazılırsa,

$$\overline{\eta_0} = \left(-\frac{\kappa}{16} + \frac{(3/8)\kappa}{1+(3/8)\kappa^2} \right) H_b \qquad \textbf{(4.3)}$$

$$\overline{\eta_{\max}} = \left\{ \frac{\left(-\frac{\kappa}{16} + \frac{(3/8)\kappa}{1+(3/8)\kappa^2} \right)}{\left(1 - \frac{(3/8)\kappa^2}{1+(3/8)\kappa^2} \right)} \right\} H_b \qquad \textbf{(4.4)}$$

κ'nın genel değeri olan 0.78 için bu değerler,

$\overline{\eta_0}$ =0.189 H_b **(4.5)**

$\overline{\eta_{\max}}$ =0.232H_b **(4.6)**

olarak bulunur.

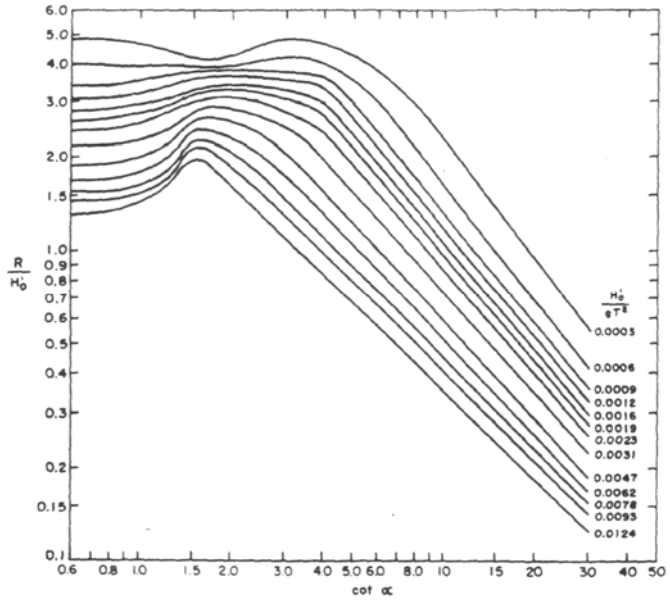
Gelen dalgaların oluşturacağı tırmanma yüksekliği ise, Irribaren sayısı kullanılarak şu şekilde ifade edilebilir (FEMA Report, 2005):

$$R_{da\lg a} = 0.6 \frac{\tan\alpha}{\sqrt{H_0 / L_0}} H_0 \qquad \textbf{(4.7)}$$

Irribaren sayısı, $\zeta = \tan\alpha \left(\frac{H_o}{L_o} \right)^{-1/2}$ **(4.8)**

olarak bilinir.

Irribaren sayısı, dalga kırılma şeklini ifade etmek için kullanılır. Buna göre, dalganın kırılma şeklinin dalga tırmanmasında etkili olduğu söylenebilir. Bir başka çalışmada ise CERC, 1984 tarafından yapılan deneysel çalışmalarla, değişik sahil eğimleri ve derin deniz dalga dikliği değerleri için rölatif tırmanma değerlerini içeren bir grafik çözüm ortaya konmuştur. Şekil 4.2'de bu grafik çözüm verilmiştir.



Şekil 4.2 : Pürüzsüz ve geçirimsiz eğimli sahillerde derin deniz dalga dikliği ve sahil eğiminin boyutsuz tırmanma değeri ile grafiği (CERC, 1884).

Yukarıdaki grafik çözüm, pürüzsüz ve geçirimsiz bir eğimli yüzey üzerinde tırmanma yüksekliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Pürüzlü yüzeylerde ise düzeltme faktörü kullanılır. α değeri sahil yüzeyinin yatayla yaptığı açıyı ifade eder. Değişik yüzeyler için düzeltme faktörleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Değişik yüzey kaplamaları için tırmanma seviyesi düzeltme faktörü

Yüzey kaplaması	düzeltme faktörü
Beton bloklar	0.9
Bazalt bloklar	0.85-0.90
Çimen	0.85-0.90
Geçirimsiz taban üzerine riprap	0.8
Yerleşik kayalar	0.75-0.80
Yuvarlak kayalar	0.60-0.65
Rastgele yerleştirilmiş kayalar	0.5-0.6
İki veya fazla riprap tabakası	0.5
Tetrapod	0.5

Tırmanma yüksekliğinin hesabında kullanılan diğer formüller aşağıdaki Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2 : Tırmanma yükseklikleri.

Metod	Kaynak	Sahil eğimi	Dalga tipi	Düzenek	Formüller	Yorumlar
Hunt	Hunt, 1959; Battjes, 1974	Düz geçirimsiz	Düzenli	Laboratuvar	$\frac{R}{H_0}=\xi$	$0.1 < \xi < 0.3$
CERC	CERC Shore Protection Manual, 1984	Düz, geçirimsiz	Düzenli	Laboratuvar	Şekil 4.2.'de verilmiştir.	$\frac{d_s}{H_0} \approx 2.0$
Mase	Mase, 1989	Düz, geçirimsiz, az eğimli: $\alpha = 1.9° - 11.3°$	Düzensiz	Laboratuvar	$\frac{R}{H_0} = a\xi^b$ $\overline{R}$: $a = 0.88$, $b = 0.69$ $R_{2\%}$: $a = 1.86$, $b = 0.71$	$0.007 \leq \frac{H_0}{L_0} \leq 0.07$
Nielsen and Hanslow	Nielsen and Hanslow, 2001	Doğal kum sahiller $\alpha = 1.5° - 10.8°$ ve ortalama tane çapı = 0.18 - 0.8 mm	Düzensiz	Saha	$R = cLz$ $\overline{R}$: $c = 0.89$ $R_{2\%}$: $c = 1.98$ $\tan\alpha < 0.10$ için: $Lz = 0{,}05(H_0 L_0)^{0.5}$ $\tan\alpha \geq 0.10$ için: $Lz = 0{,}6(H_0 L_0)^{0.5} \tan\alpha$	
Ahrens and Seelig	Ahrens and Seelig, 1996	Kum ve çakıl sahiller	Düzensiz	Laboratuvar ve saha	$\frac{R_{2\%}}{H_{s0}} = \frac{4.1}{N_o}\sqrt{\frac{d_{sw}}{d_{sr}}}$ $N_o = \frac{H_{s0}}{w_{sr}T}$ $w_{sr} = 14.5(d_{sr})^{1.1}$	d mm, w_{sr} cm/s w_{sr} taze su için $0.15 \leq d_{sr} \leq 0.85$ mm

4.2 Maksimum Tırmanma Seviyesi ve Yeraltı Suyu Konumlarına Göre Sızma Etkilerinin İncelenmesi

Düşük su tablasına sahip sahillerde birikme, yüksek su tablasına sahip sahillerde ise erozyonun oluştuğu gözlenmiş ve bunun nedeni olarak sahile doğru veya sahilden dışarı sızma gösterilmiştir. Dikey bir akımın bir tabakaya uyguladığı kuvvet sızma kuvveti adını alır. Sızma kuvveti bir akımda, poroz bir ortamda bir taneye etkiyen kuvvettir. Bu kuvveti oluşturan da tanenin ön ve arka yüzleri arasındaki hidrolik yük farkıdır (Freeze ve Cherry, 1979).

$$F = \rho g \frac{\partial h}{\partial z} \qquad \textbf{(4.9)}$$

Burada $\frac{\partial h}{\partial z}$ akım yönünde hidrolik yük farkıdır.

Yapılan birçok çalışmada tırmanan ve geri çekilen çalkantı akımlarında oluşacak asimetri gözönünde bulundurulmuş ve bunun katı madde hareketine etkisi araştırılmıştır. (Bagnold, 1940; Emery ve Foster, 1948; Duncan, 1964; Waddell, 1976; Weisman ve diğ., 1995; Nielsen ve diğ., 2001). Öte yandan Nielsen (1992 ve 1997), Turner ve Masselink (1998), Hughes ve Turner (1999) gibi araştırmacılar çalkantı bölgesinde katı madde akımını etkileyecek başka mekanizmalar üzerinde de çalışmışlardır. Bu mekanizmalar, aşağı yönlü akışkan akımının oluşturacağı kuvvetten dolayı katı madde efektif ağırlığının artması ve sızma ile incelen dışarı sızma ile kalınlaşan sınır tabakasının oluşturacağı kayma gerilmesi değişimidir.

Turner ve Masselink (1998) sızma etkilerinin sınır tabakasında meydana getireceği değişimleri incelemişlerdir. Sızma sırasında akım çizgilerinin kum-akışkan arayüzüne yaklaşacağını ve dışarı sızma sırasında da kum-akışkan arayüzünden uzaklaşacağını belirtmişlerdir.

Sızma ile tanelerin rölatif ağırlığı artmakta ve stabilizasyon sağlanmasına karşın, incelen sınır tabakası nedeniyle artacak kayma gerilmeleri karşıt etkiler ortaya çıkarmaktadır.

Martin (1970), sızmanın, katı madde boyutu ve geçirimliliğe bağlı olarak hareketi artırıp azaltabileceğini ancak dışarı sızmanın ancak sıvılaşma ile hareketin başlangıcına tesir edeceğini belirtmektedir. Watters ve Rao (1971), dışarı sızmanın

tabandaki katı maddelerin hareketini azalttığını, sızmanın ise hareketi artırdığı sonucunu ortaya koymuşlardır. Oldenziel ve Brink (1974), sızmanın taşınım oranını azalttığını, dışarı sızmanın ise artırdığını belirtmişlerdir.

Bu çelişkili sonuçlar, sızma kuvvetleri ve sınır tabakasının kalınlığının değişiminin ortaya çıkardığı karşıt etkiler nedeniyledir. Nielsen ve diğ. (2001) bu iki karşıt etkinin göreceli önemlerinin katı madde yoğunluğu ve tabanın geçirimliliğine bağlı olduğunu belirtmektedir.

Bu etkileri nicelleştiren ilk çalışmada Nielsen (1997), sızma etkilerini işin içine katan değiştirilmiş Shields parametresi önermiştir.

$$\theta_{in} = \frac{u_{x0}{}^2 (1 - \alpha_s \frac{w}{u_{x0}})}{g d_{50} (s_r - 1 - \beta_s \frac{w}{k})} \qquad \textbf{(4.10)}$$

Burada, w: sızma hızı,

$u_{x0}{}^2$: sızmanın olmadığı durumda kayma hızı,

s_r : rölatif yoğunluk ($\rho s/\rho$),

k : hidrolik iletkenlik,

g: yerçekimi ivmesi,

d_{50} : medyan tane çapı,

α_s, β_s : sabitlerdir (Nielsen ve diğ., 2001, tarafından 16 ve 0.4 olarak belirtilmiştir).

Bu parametrenin payındaki ekstra terim sınır tabakasındaki incelme neticesinde yaşanacak kayma gerilmesi artışını, paydadaki ekstra terim ise sızma ile tanelerin efektif ağırlığındaki değişimi hesaba katmaktadır. Nielsen ve diğ. (2001), β katsayısı tabandaki zerreler için 1, yüzeye yakın zerreler için çok daha küçük değerler alacağını belirtir.

Bu parametreye göre, sabit bir katı madde yoğunluğu için, tane boyutu azaldıkça, stabilizasyon etkileri baskın hale gelmektedir. Bu nedenle, ince kuvars kumu (d_{50}<0.58 mm) sızma ile destabilize olurken, daha kaba taneli plajlarda sızma stabilizasyona neden olmaktadır.

Nielsen ve diğ. (2001), yoğun ve kaba kumlarda $\alpha(s\text{-}1)>\beta[u_{x0}/K]$ için sızmanın hareketi artırdığını, ince taneli kumlarda ise $\alpha(s\text{-}1)<\beta[u_{x0}/K]$ için hareketi sınırlandırdığı analizini yapmaktadırlar. Çalışmada, katı madde hareketi ile bir analiz yapıldığı ve net taşıımın yönü ile ilgili bir tasarım verilmediği belirtilmiştir.

Değişen taban gerilmelerini ve sızma kuvvetlerini hesaba katan bir başka parametre ise Turner ve Masselink (1998) tarafından önerilmiştir.

$$\theta_w = \theta_0 \left[\frac{W_w}{W_0} + \frac{\tau_w}{\tau_0} \right] \qquad \textbf{(4.11)}$$

Burada, w indisli terimler sızmanın olduğu hali, diğerleri ise sızmanın olmadığı hali temsil etmektedir.

Bu denklemde,

$$\frac{W_w}{W_0} = 1 - \frac{1}{2(s_r - 1)} \frac{w}{K} \qquad \textbf{(4.12)}$$

s_r: rölatif yoğunluk, w: düşey akım hızı, yukarı yönlü pozitif alınmaktadır, K: hidrolik iletkenliktir.

Rölatif taban gerilmesi ise Conley ve Inmann (1994) tarafından önerilmiştir.

$$\frac{\tau_w}{\tau_0} = \frac{\Phi}{e^{\Phi}} - 1 \qquad \textbf{(4.13)}$$

$$\Phi = c \frac{w}{u} / f_0 \qquad \textbf{(4.14)}$$

Burada u: yatay hız

f_o= sürtünme katsayısı (sızmasız hal için)

c: sabittir.

Turner ve Masselink (1998) tek yönlü çalkantı akımı için c=2 olarak belirlemişlerdir. Ayrıca yazarlar, denklem (4.11)'i kullanarak, tabana doğru sızmanın olduğu ve olmadığı halleri kıyaslayarak rölatif taşınım oranını bulmaya çalışmışlardır. Kurdukları modelde, değişen taban gerilmelerinin tırmanma esnasında etkin olduğunu ve sızma ile katı madde hareketinde artışı işaret etmektedirler. Geri çekilme esnasında da taban gerilmelerinin etkin olduğunu ancak, sızma kuvvetleri ve taban gerilmeleri dikkate alındığında bu etkinin daha az hissedileceğini belirtirler.

Çalışma sonuçlarına göre, sızma kuvvetleri ve taban gerilmelerindeki değişimin net sonucunun karaya doğru katı madde taşınımının artması olacağını belirtirler. Katı madde tane boyutundaki artışın bu etkiyi artıracağını öngörmektedirler.

Butt ve diğ. (2001), Turner ve Masselink (1998) tarafından yapılan çalışmadan yola çıkarak sızma etkilerinde rölatif katı madde hareketi için bir ifade bulmaya çalışmışlardır. Çalışma sonnuçlarına göre, içeri ve dışarı sızma, tırmanma sırasındaki taşınımı çekilmedekine göre daha çok etkilemiştir. Ayrıca içeri ve dışarı sızmanın kıyıya taşınımı azalttığını, açığa taşınımı artırdığını göstermişlerdir. Buna göre, efektif ağırlığın değişimi hem tırmanma hem de çekilme esnasında sınır tabakasındaki değişimleri bastırmıştır.

Bu sonuçlar, Turner ve Masselink (1998) tarafından ortaya konan sonuçlarla tezat oluşturmaktadır. Butt ve diğ. (2001), bu farkları her iki çalışmada sürtünme katsayısını tahmin etmede kullanılan yöntemlerin farklı olması ve medyan tane çaplarının farklı olması (Butt ve diğ., 2001) = 0.24mm ve Turner ve Masselink (1998) = 0.50mm) olarak göstermişlerdir. Ayrıca kritik tane çapı olarak 0.55mm olarak belirtmişlerdir. Bu kritik değerin altında içeri ve dışarı sızmanın açık denize hareketi artırdığını, kritik değerin üstünde ise sahile hareketi artırdığını belirtmişlerdir.

Karambas (2003), değiştirilmiş Shields parametresini kullanarak sızma etkilerini araştırmak için nümerik bir model geliştirmiştir. Karambas da Butt ve diğ. (2001) gibi benzer sonuçlar bulmuştur. Hareketin yönüne etkiyen kritik tane boyutunu 0.4 ila 0.6 mm arasında olduğunu önermiş, bunun yanında sürtünme faktörünün belirlenmesindeki ufak farkların taşınım yönünü değiştirebileceğini belirtmiştir.

Li ve diğ. (2002) tarafından geliştirilen BeachWin modelinde dalga hareketi, yeraltı suyu akımı ve katı madde hareketi simüle edilmektedir. Profil simülasyonlarının gösterdiğine göre, düşük su tablası halinde çalkantı bölgesindeki sızma kıyıya taşınımı artıracak ve geniş-dik bir banket oluşumuna yol açacaktır.

Masselink ve Li (2001), BeachWin modelini kullanarak kum ve çakıl plajlarda sızma etkilerinin çalkantı bölgesi hidrodinamiğine ve katı madde taşınımına etkisini araştırmışlardır. Çalışma sonuçları, sızmanın tırmanan dalga hızının ve süresinin üzerinde etkisinin az olduğunu, fakat dönen dalga miktarını, akım hızını ve süresini önemli ölçüde azalttığını göstermektedir. Çalışmada araştırmacılar, sızma etkilerinin,

hidrolik iletkenliğin 1 cm/sn'den büyük olduğu durumlarda etkin olduğunu belirtmişlerdir. Daha düşük hidrolik iletkenlik değerlerinde sızma olmuş fakat sızma ile kaybedilen su miktarı çalkantı hidrodinamiğini etkileyecek mertebelerde olmamıştır.

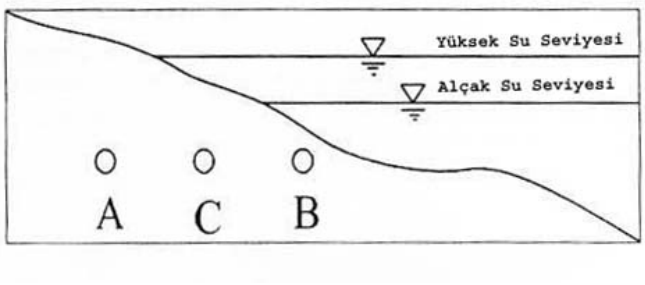
Sızma etkileri şimdiye dek birçok araştırmacı tarafından gerek laboratuvar ortamında gerekse saha ve modelleme ile çalışılmıştır. Sızma etkilerini çalışan araştırmacılar, kullandıkları yöntem ve malzemeler ile buldukları sonuçlar çizelge halinde Ek B'de verilmiştir.

Elfrink ve Baldock (2002), çalkantı bölgesinde akımın çok değişken olması nedeniyle, hızla değişen derinlik ve hızların varlığının bu bölgede sınır tabakası etkilerini belirlemeyi zorlaştırdığını belirtmektedirler. Buna ek olarak yavaşlayan (tırmanma) ve hızlanan (çekilme) akımlarda sınır tabakasının farklı şekilde gelişmesi bu etkileri belirlemeyi güçleştirmektedir.

4.3 Teorik Yaklaşımlar

4.3.1 Drenaj debisi ile ilgili yaklaşımlar

Sato ve diğ. (2003), dalga etkisindeki sahilde drenaj ile stabilizasyon sağlanıp sağlanamayacağını laboratuvar deneyleri ve saha çalışmaları ile denemişlerdir. Boru yerinin tayini için yapılan deneylerde, gelgitin ana faktör olması durumunda üç yerleşim yeri önerilmiştir. Bu üç yerleşim yeri Şekil 4.3'te görülmektedir.



Şekil 4.3 : Drenaj borusu yerleşim yerleri (Sato ve diğ., 2003).

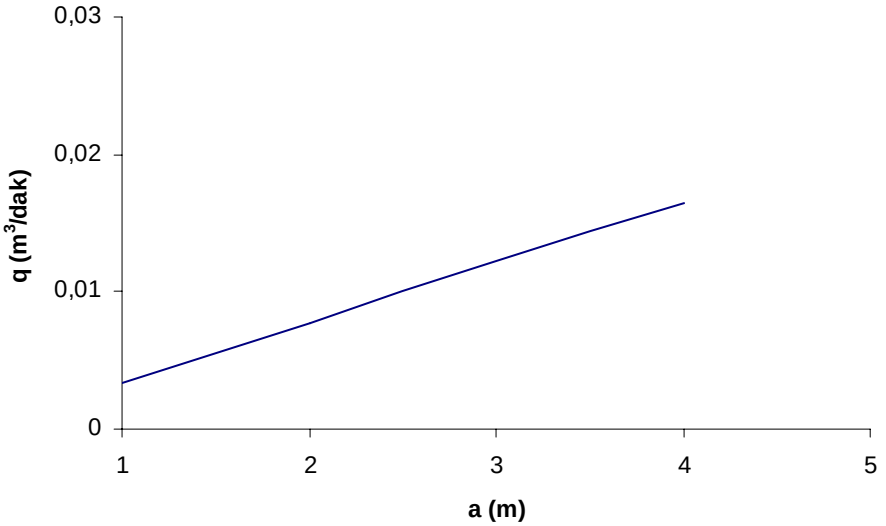
Her üç konumda da erozyonun azaltılmasında drenajın etkili olduğunu, ancak her üçünde de baskın mekanizmaların değişik olduğunu belirtmektedirler. A konumunun yerçekimi ile yapılan geleneksel yöntemde en çok tercih edilen konum olduğu, bunun nedeninin de drenajın, boru etrafındaki yer altı su seviyesini düşürmesi ve sahilde doygun olmayan bölge alanını artırması olarak göstermektedirler. Öte yandan, pompa ile drenajda, B konumunun daha etkili olduğunu belirtmektedirler.

Böylece tırmanan ve geri çekilen dalga sularının sızmasının artırılacağı ve katı madde yığılmasının temin edileceği söylenmektedir. A konumunda, drene edilen debinin hesaplanmasında aşağıdaki formül araştırmacılar tarafından önerilmiştir.

$$q = \frac{k}{R_e} \frac{H^2 - h^2}{(\frac{h}{d + 0.5r})^{0.5} (\frac{h}{2h - d})^{0.25}} \quad \textbf{(4.15)}$$

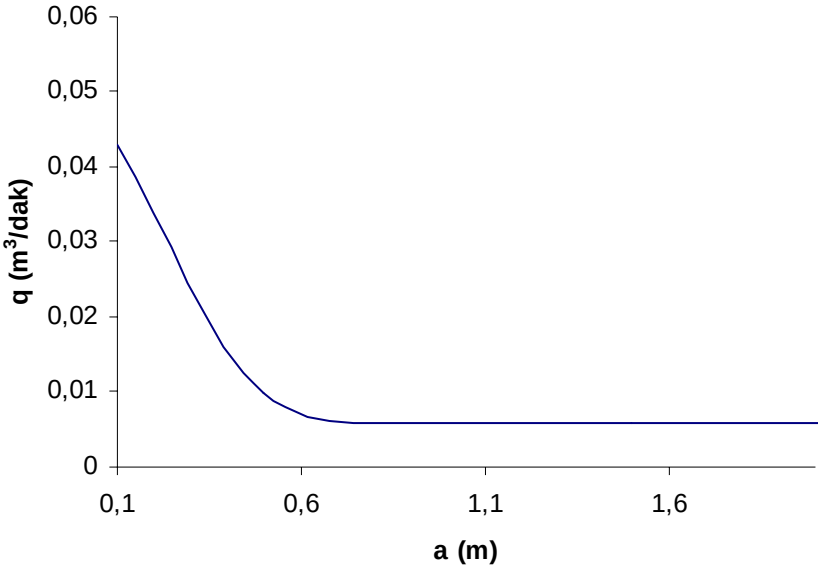
Öte yandan A konumunda drene edilen debinin sabit olduğunu ortaya koymaktadırlar (Şekil 4.4)

Burada, k: hidrolik iletkenlik, R_e: kuyunun tesir mesafesi, H: kuyudan su çekilmeden önceki yeraltı su seviyesi, h: kuyudan su çekilirken oluşan yer altı su seviyesi, d: kuyudaki su seviyesi, r: kuyunun yarıçapı, a ise borunun sahil yüzeyine mesafesidir.



Şekil 4.4 : A konumunda drenaj debisinin boru yerleşim derinliğine bağlı değişimi (Sato ve diğ., 2003).

B konumuna yerleştirilen drenaj borularında ise, boru üzerinde ne kadar ince bir kum tabakası bulunursa, çekilen debi de o kadar büyük olmaktadır. Şekil 4.5 incelendiğinde, boru üzerinde ince bir kum tabakası teşkili durumunda debinin büyük olduğunu, kum tabakasının kalınlığının artmasıyla debide büyük düşüşler olduğu görülmektedir.



Şekil 4.5 : B konumunda drenaj debisinin boru derinliğine bağlı değişimi (Sato ve diğ., 2003).

Araştırmacılar B konumu için (4.16) bağıntısını önermişlerdir.

$$q = 2\pi k \frac{(H + a + h)}{\ln(4a/d)} \qquad \textbf{(4.16)}$$

Bu denklemde, k: hidrolik iletkenlik, H: kuyudan su çekilmeden önceki yeraltı su seviyesi, h: kuyudan su çekilirken oluşan yer altı su seviyesi, d: kuyudaki su seviyesi, a ise borunun sahil yüzeyine mesafesidir.

Drenajın nasıl yapıldığı ise bir başka konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Birincisi yerçekimi ile drenaj, diğeri ise pompa ile çekimdir. Geleneksel yöntemde, su yerçekimi etkisinde bir hendeğe akmakta ve buradan da pompa yardımıyla denize geri gönderilmektedir. Diğerinde ise, pompa boruya bağlanmakta ve pompanın zorlamasıyla daha büyük miktarda debi alınabilmektedir. İkinci yöntemin sakıncası, uzun süreli pompa işletmesi ile boru etrafındaki filtre malzemenin tıkanması olabilir. İkinci sakıncası da pompa işletim maliyetleridir.

4.4 Sızmanın Erozyona Etkileri

Çalkantı bölgesinde katı madde hareketi ve profil oluşumu yakın zamana kadar ekstrapolasyon tekniği ile açıklanmaya çalışılmaktaydı (Rakha ve diğ., 1997). Son zamanlarda Larson ve diğ. (2001) taban hareketi formülünü, Karambas ve Koutitas (2002) ise Watanabe ve Dibajnia tabakalı akım formüllerini kullanmışlardır. Öte yandan, mükemmel bir model oluşturmak mümkün olmamıştır. Bunun nedenleri

olarak, çalkantı bölgesindeki su hareketinin sörf bölgesindeki kadar iyi anlaşılamamış olması ve çalkantı bölgesindeki su yüzeyine dik akımların (sızma) kum hareketini önemli ölçüde etkilemesi gösterilebilir.

Dalga, sahil yüzünde tırmanırken ve çekilirken, sızma nedeniyle karşıt etkiler oluşmaktadır. Bu etkiler, katı madde tane çapı ve yer altı su seviyesi ile ilgilidir. Buna göre, ince taneli malzemeye sahip bir sahilde, yer altı suyu seviyesinin düşük olduğu durumda, dalga tırmanırken, dalga suları zemine doğru sızacaktır. Dalga suları zemine sızarken yüzeyden itibaren katı maddeleri sahil yüzüne doğru bastıracağından katı madde efektif ağırlığı artacaktır. Buna karşın, sızma ile sahil yüzündeki katı maddeler ile su arayüzünde oluşacak sınır tabakası kalınlığı azalacağından kayma gerilmeleri artacaktır. Ayrıca, zemine sızma olması durumunda gelen dalga suyu miktarı ve enerjisi dönen dalga suyu miktarı ve enerjisinden çok olacaktır. Sızma ile dalga maksimum tırmanma seviyesine ulaştıktan sonra burada laminer akım bir süre teşkil olunacaktır. Bunun neticesinde dönen dalga hızı da azalacaktır. Dönen dalga hızının azalması kayma gerilmelerinde azalma olacağı anlamını taşımaktadır.

Tane çapı $d_{50}<0,40\text{-}0,60$ mm olan sahillerde efektif ağırlık değişimi etkilerinin etkin olacağı, $d_{50}>0,40\text{-}0,60$ mm olan sahillerde ise sınır tabakası kalınlığındaki değişimin getireceği etkilerin daha baskın olacağı Nielsen ve diğ. (2001) ve Turner ve Masselink (1998) tarafından ortaya konmuştur.

Buna göre $d_{50}<0,40$ mm olan bir sahilde dalga tırmanırken, sızma olması durumunda katı madde efektif ağırlığının artması ile taneler harekete karşı direnç hissedeceklerdir. Sınır tabakası etkileri daha az rol oynayacaktır. Böylece tırmanırken katı madde taşınımı engellenmiş olacaktır. Yer altı suyunun düşük olduğu halde, veya yapay olarak sahil drenajı yöntemiyle düşürüldüğü halde, dalga suları çekilirken dışarı sızma gerçekleşmeyecektir. Böylece, katı madde efektif ağırlığındaki azalma görülmeyeceğinden sahil yüzünden erozyon azalmış olacaktır. Yer altı suyunun yüksek olduğu durumda ise, sahil drenajı yapılmıyorsa, dışarı sızma, katı maddelerin efektif ağırlığını azaltıp, çekilen dalga ile açığa taşınması mümkün olacaktır.

Sahil drenajı ile, tırmanan dalga sularının yeraltına doğru sızması sağlanacağından dönen dalga suyu miktarından daha yüksek bir değere sahip olacaktır. Bu da dalga

tırmanma seviyesinde bir miktar azalma olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Dönen dalga suyu miktarı ve enerjisinin düşük olması, taban malzemesi ve askı haldeki katı maddelerin taşınmasını azaltacaktır.

$d_{50}>0,60$ mm olması durumunda ise, sınır tabakası değişiminin etkileri katı madde efektif ağırlığındaki değişimin ortaya çıkaracağı etkilere baskın olacaktır. Buna göre, dalga tırmanırken, yer altı suyu düşük ise, veya sahil drenajı yapılıyor ise, tırmanan dalga suları yeraltına doğru sızacaktır. Sızan sular katı madde efektif ağırlığında bir miktar artışa neden olsa da, sınır tabakasının sızma ile incelmesi ve akım çizgilerinin birbirine yaklaşması ile kayma gerilmeleri artacaktır. Böylece dalga tırmanırken katı maddeleri de yukarı yönde taşıma eğilimi gösterecektir. Dalga suları geri çekilirken ise yer altı su yüzeyi, sahil drenajında olabileceği gibi, yükselmez ise, dışarı sızma yaşanmayacaktır. Dışarı sızmanın yaşanmaması, dalga suları geri çekilirken katı maddeleri açığa taşımayacağı sonucuna bizi götürmektedir. Bunun sonucunda daha dik sahiller ortaya çıkacaktır. Büyük katı madde çapına sahip sahillerin neden daha dik oluştuğu bu etki ile açıklanabilir.

Yine aynı şekilde, yer altı su seviyesinin düşük tutulduğu ortamlarda, gelen dalga suyu miktarı ve enerjisi, dönen dalga suyu miktarı ve enerjisinden daha yüksek olacaktır. Dönen dalga enerjisinin azalması, katı maddelerin hareketini engelleyici etki gösterecektir.

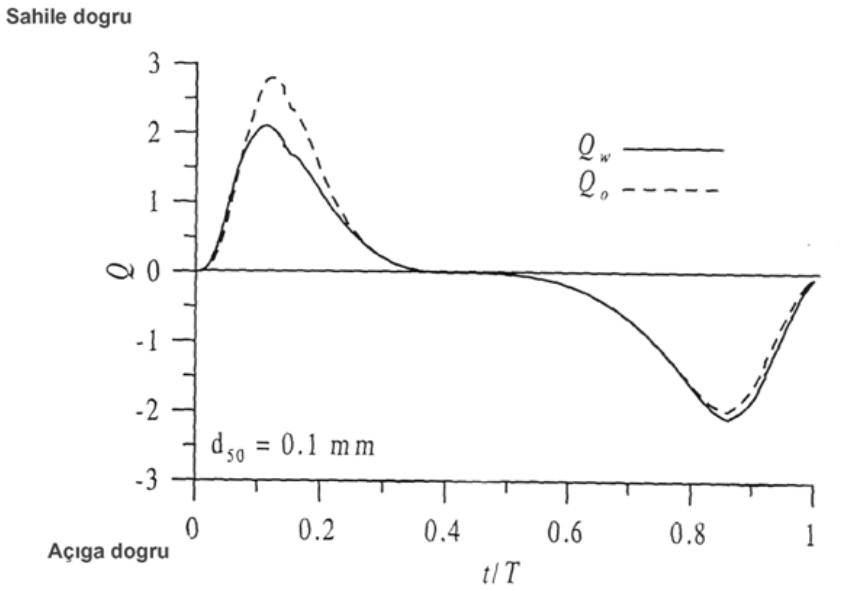
Karambas (2003) kurduğu nümerik modelde, katı madde tane çapını değiştirerek, sınır tabakası incelmesi-kalınlaşması ile stabilizasyon etkilerinin göreceli önemlerini araştırmıştır. Değiştirilmiş Shields parametresi (θ) kullanarak sızma ve dışarı yönlü sızmanın katı madde hareketine etkisini incelenmiştir. Boyutsuz katı madde taşınım parametresi Q, hem sızmalı halde hemde sızmanın olmadığı hal için aşağıda verilmiştir.

$$Q_w = \frac{q_{bw}(1-n)}{\sqrt{(s-1)g{d_{50}}^3}} = \frac{C}{1+\frac{\tan\alpha}{\tan\phi}}{\theta_w}^{3/2}\frac{U}{|U|} \qquad \textbf{(4.17)}$$

$$Q_0 = \frac{q_{bo}(1-n)}{\sqrt{(s-1)g{d_{50}}^3}} = \frac{C}{1+\frac{\tan\alpha}{\tan\phi}}{\theta_0}^{3/2}\frac{U}{|U|} \qquad \textbf{(4.18)}$$

Bu formüllerde, w alt indisi, tabana doğru akımın olduğunu, o alt indisi ise tabana doğru herhangi bir akımın olmadığını belirtmek için kullanılmıştır. C bir katsayı, ϕ kumun içsel sürtünme açısı (30^o civarında), $\tan\alpha$ sahil eğimi ve θ Shields parametresidir. C katsayısı, tırmanma ve çekilme hallerinde farklı değerler alır (Hughes ve diğ. (1997), Nielsen (2002)). Nielsen, 2002, tırmanma halinde C=20, çekilme halinde C=9 değerlerini önermiştir. Formüllerde n, porozitedir.

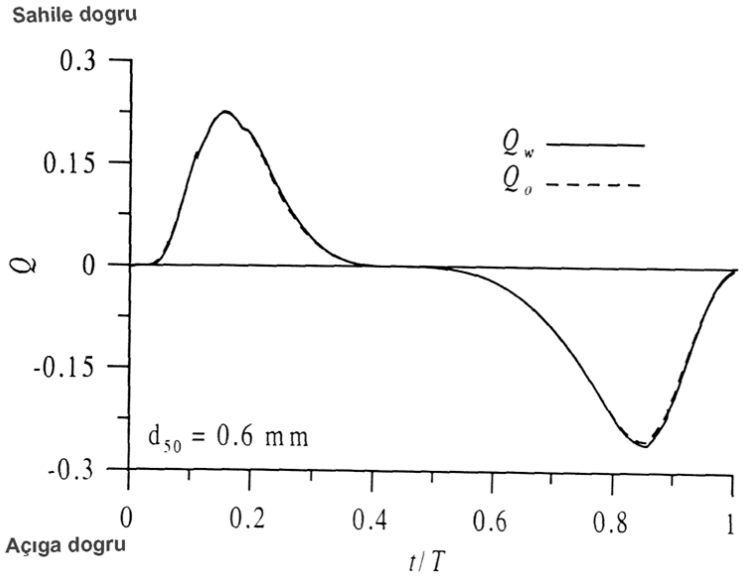
Çalışmalarda H_o=1.8 m, T=8 s ve eğim 1:30 olarak alınmıştır. Katı madde olarak 3 farklı tane boyutu kullanılmıştır bunlar d_{50}=0.1 mm, d_{50}=0.6 mm ve d_{50}=1.0 mm.dir. İnce tane çapına sahip kumda, tırmanma esnasında taşınım azalmış, çekilme esnasında ise artmıştır (Şekil 4.6).



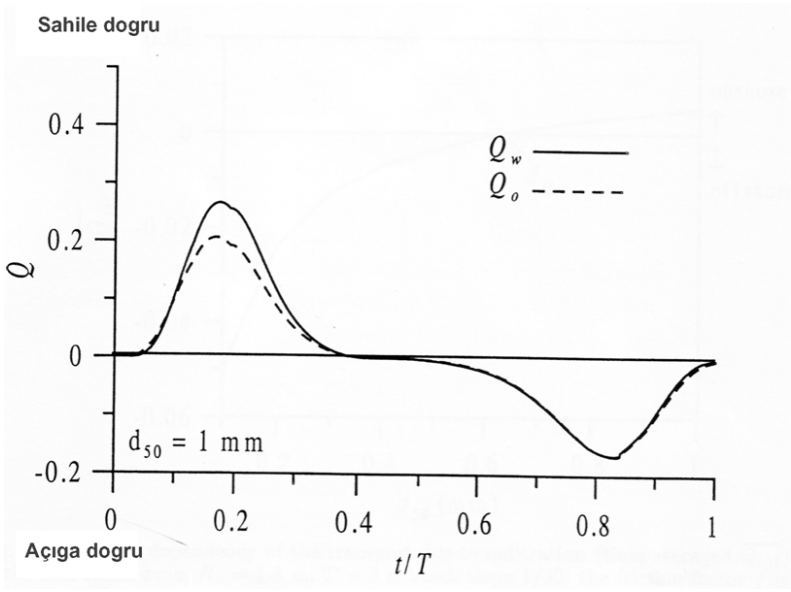
Şekil 4.6 : d_{50}=0.10 mm kum için net taşınım oranı (Karambas, 2003).

0.6 mm medyan tane çaplı kumda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir (Şekil 4.7). 1 mm medyan tane çapına sahip katı madde ile yapılan analizlerde ise, tırmanma esnasında taşınım sızma ile artmış, çekilme esnasında azalmıştır (Şekil 4.8). Yapılan analizlerde Karambas (2003), sürtünme faktörünü hesaplarken aşağıdaki formülü kullanmıştır.

$$f = 1.28\left(\log\frac{11.1h}{K_N}\right)^{-2} \qquad \textbf{(4.19)}$$

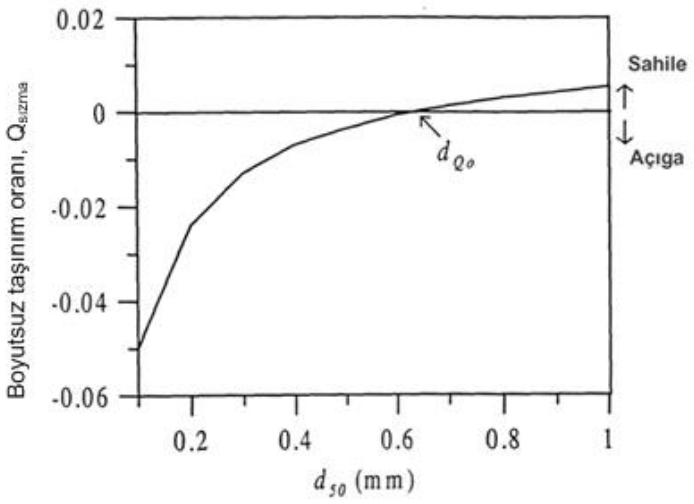


Şekil 4.7 : d_{50}=0.6 mm kum için net taşınım oranı (Karambas, 2003).



Şekil 4.8 : d_{50}=1.0 mm kum için net taşınım oranı (Karambas, 2003).

Öte yandan Butt ve diğ. (2001), sızma etkisinde taşınımın katı madde tane boyutuna bağlılığını incelemek amacıyla, sadece sızmadan dolayı açığa veya sahile doğru taşınan malzeme oranını hesaplamışlardır. Hesaplar değişik tane boyutlarında malzeme ile ve aynı dalga şartlarında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.9'da bu hesapların grafik sonuçları görülmektedir.

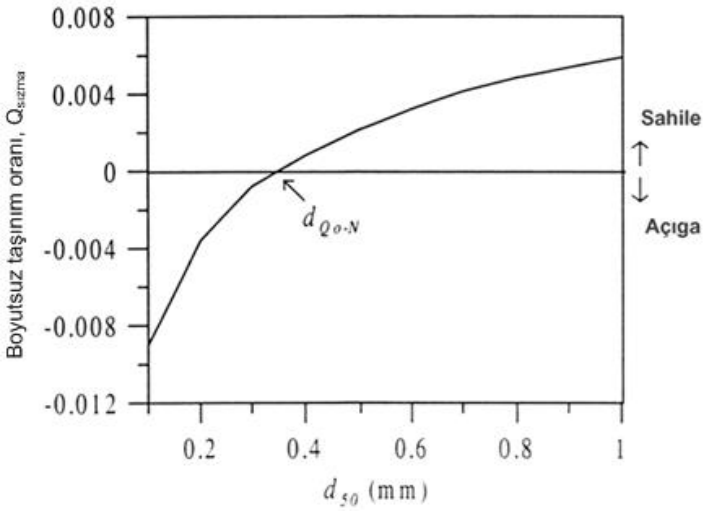


Şekil 4.9 : Sızma etkisinde taşınım oranının katı madde tane çapıyla ilişkisi (Karambas, 2003).

Şekil 4.9'dan da görüleceği üzere, analizlerde, tane boyutu arttıkça sızmanın sahile doğru hareketi artırdığı ortaya çıkmaktadır. Taşınım yönünün değiştiği kesişim noktası olarak d_{50}=0.6 mm sonucu çıkarılabilmektedir.

Öte yandan Turner ve Masselink (1998), sızma etkilerinin genel olarak sahile taşınımı arttırdığı yönünde sonuçlar ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar saha çalışmalarını Duck'ta (ABD) yapmışlardır. Sahilde mevcut kum d_{50}=0.5 mm medyan tane çapına sahiptir. Bu sonuç, Karambas (2003) ve Butt ve diğ. (2001) ile uyuşmamaktadır. Turner ve Masselink analizlerinde sürtünme faktörünü sabit olarak almışlardır (f=0.01). Butt ve diğ. (2001) ise 4.18 formülünü formülü kullanmışlardır.

Butt ve diğ. (2001) sürtünme faktörünün tahminindeki ufak değişikliklerin taşınımın yönünü etkileyebileceğini belirtmişlerdir. Karambas tarafından ortaya konulan nümerik model Nielsen (2002) tarafından önerilen sürtünme faktörü ile tekrarlandığında eğrinin kesişim noktasının d_{50}=0.4 mm değerine tekabül ettiği görülmüştür. Şekil 4.10'da Nielsen tarafından önerilen sürtünme faktörü kullanıldığında sızma etkisinde taşınım oranının katı madde medyan tane boyutu ilişkisi grafiği yer almaktadır.



Şekil 4.10 : Sızma etkisinde katı madde tane boyutunun taşınıma etkisi (Karambas, 2003).

Sonuç olarak, sızma etkisinde katı madde taşınım yönünü etkileyen faktörün dalga şartları olmadığı, sürtünme faktörünün tahmininin nasıl yapılmış olduğu sonucuna varmışlardır.

Öte yandan, Li ve diğ. (2002), BeachWin adını verdikleri nümerik bir model geliştirmişlerdir. Bu modele göre, düşük yer altı su seviyesi halinde sahilde birikmenin artacağını belirtmektedirler. Saha çalışmalarının nerdeyse tamamında sızma neticesinde erozyonda azalma yaşanmış, dışarı sızma neticesinde ise açığa taşınımda artış gözlenmiştir (Turner ve Leatherman, 1997).

Sato ve diğ. (1994), yaptıkları deneysel çalışmalar sonucunda, bu tez kapsamında yapılan deney sonuçlarına benzer sonuçlar rapor etmişlerdir. Buna göre, kontrol bölgesine göre, erozyonda azalma veya birikmenin artışı gözlenmiştir. Araştırmacılar ayrıca drenaj borusu konumunun sistem performansına etkisini incelemişler ve en iyi sonuçların drenaj borusu sahil çizgisinin deniz tarafına yerleştirildiğinde alınacağını belirtmişlerdir. Vesterby (2000), drenaj borusu ile su çekilirken hidrolik düşüm konisinin sızma yüzünü olabildiğince denize doğru kaydıracak şekilde boru konumlandırılması yapılmasını önermektedir.

Drenaj debisi bir pompa vasıtasıyla kontrol edildiğinde ise drenaj debisi arttıkça sistemin performansı artmaktadır. Cazibeli drenajda ise sistemin debisini kontrol etme imkanı bulunmamaktadır.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

5.1 Giriş

Saha çalışmalarında, doğa şartlarının tüm parametreleri ihtiva etmesi, kontrollü parametrik ölçüm yapılamaması ve ölçümlerin pahalı olması gibi nedenler araştırıcıları laboratuar deneylerine önem vermeye itmektedir. Sahil drenajı yönteminde tüm parametrelerin etkisinin laboratuar ortamında incelenmesi, daha sonra ise saha üzerinde uygulanması doğru olacaktır. Laboratuar verileri elde edildikçe ve drenajın sahil üzerindeki etkileri belirginleştikçe, bu veriler ışığında, saha çalışmaları ve laboratuar çalışmalarından daha ucuza mal olan nümerik analiz yöntemleri de geliştirilecektir.

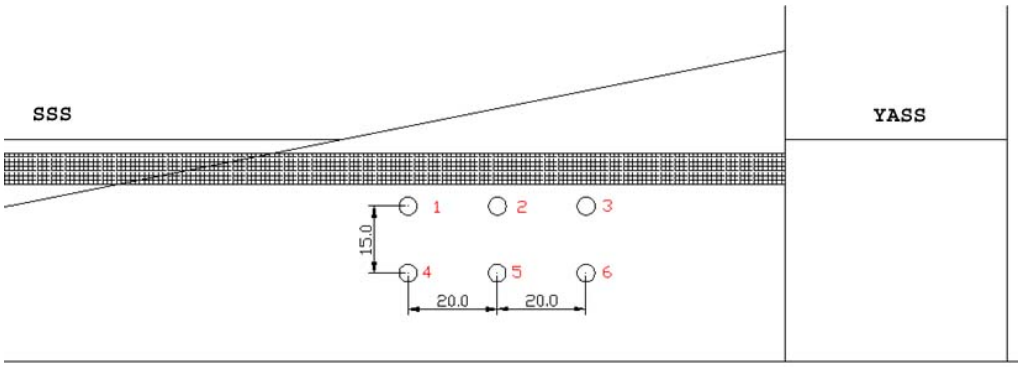
Sahil drenajı, katı madde hareketi mekaniği, yer altı suyu dinamiği ve dalga mekaniği konuları etkileşiminde incelenmelidir. Bunlarla ilgili teorik çalışmalar önceki bölümlerde incelenmiştir.

5.2 Deney Düzeneği ve Prosedürler

Sahil drenajı deneylerinin tamamı İstanbul Teknik Üniversitesi, Hidrolik Laboratuvar'ında yapılmıştır. İlk takım deneylerde değişik özellikteki on dalga etkisinde drenajsız durumda profil okumaları gerçekleştirilmiştir. İkinci set deneylerde, dalga yüksekliği küçük, orta ve büyük olan üç dalga seçilmiş ve bu dalgaların etkisinde, kanalın yanında açılan altı farklı delikten drene edilen su debileri ve profil okumaları kaydedilmiştir. Üçüncü set deneylerde bu altı konumdan en düşük erozyon alanını ortaya çıkaran konum seçilmiş ve on adet dalga etkisinde drenajın erozyon alanına etkisi incelenmiştir. Dördüncü ve son set deneylerde ise üçüncü sette seçilen deliğin 15 cm derinine yerleştirilen delikte on adet dalga ile deneyler tekrarlanmıştır. Drenaj yapılan konumlar Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de hem şematik olarak hem de resim halinde görülmektedir.

5.3 Dalga Kanalı

Deneylerin tamamı 22,5 m uzunluğunda, 1 m genişliğinde ve 0.80 m derinliğindeki kanalda gerçekleştirilmiştir. Dalga kanalı Şekil 5.3'te görülmektedir. Kanalda sakin su seviyesi 0.50 m olarak sabit tutulmuştur. Dalga üretecinin arkasına, üretecin arkasındaki dalgaları sönümlendirmesi için üç katlı ve iki sıralı tuğla yerleştirilmiştir. Kanalın 22,5 m olan yan duvarı pleksiglas olup, hem dalga iklimini gözlemeyi, hem de katı madde taşınımının izlenebilmesini olanaklı kılmıştır.



Şekil 5.1 : Drenaj konumları şematik gösterimi.



Şekil 5.2 : Drenaj konumları.

5.4 Dalga Üreteci

Dalga paleti çelik olup, kanalın tüm genişliği boyunca yerleşmiş bulunmaktadır. Dalga kanalının tabanına iki adet hareketli mesnet ile tutturulmuştur. Dalga pedalı motora bir çubuk ile bağlanmıştır. Bu şekilde iken motorun tüm devri dalga pedalına aktarıldığından, yüksek devirlerde dalga düzensizleşmekte idi. Bu nedenle, motor ile dalga pedalı arasına motor devrini düşüren redüktör yerleştirilmiştir. Böylece motor değişik özellikte on adet düzenli dalga üretebilir hale gelmiştir. Motorun devri bir redresör vasıtasıyla kontrol edilmektedir. Böylece dalga periyodu ayarlanabilmektedir. Ayrıca, dalga yüksekliği ayarı için dalga pedalında bulunan eksantrisite kullanılmaktadır.



Şekil 5.3 : Dalga kanalı.

5.5 Dalga Ölçer ve Dalga Probları

Dalga özelliklerini ölçmek amacıyla iki adet dalga probu kanala yerleştirilmiştir. Bunlardan ilki dalga üretecinden 5 m, ikincisi 10 m ileriye yerleştirilmiştir. Böylece her iki prob da hem dalgaların tam oluştuğu hem de sığlaşma etkisinin olmadığı noktalarda konumlandırılmıştır. Su, dalga problarındaki tellerde salınım yaptıkça tellerdeki direnç değişmekte ve bir yükselticiye ulaşmaktadır. Yükseltici tipi HRLM

Cle type 3 tür. Sistem her deneyden önce tellerdeki direncin kalibrasyonunu gerektirmektedir.

Yükselticiden gelen sinyaller PCLD–780 tipi PC kartta toplanmaktadır. Toplanan bu sinyaller bir çevirici vasıtasıyla dijital hale dönüştürülmektedir (PCL-812Pg type A/D). Kabdaşlı ve Ünal (1996) volt cinsinden toplanan verilerin santimetre cinsinden dalga yüksekliğine ve saniye cinsinden dalga periyoduna dönüştüren bir bilgisayar programı yazmışlardır.

5.6 Drenaj Borusu

Drenaj borusu, 50 mm çapında, kanalın tüm genişliği boyunca uzanan perfore PVC borudur. Boru üzerine her sırada 31 delik olmak üzere, 7 sıra delik açılmıştır. Delik çapı 8mm'dir. Borunun her iki ucu pleksiglas kapak ile kapatılmıştır. Drenaj borusu Şekil 5.4'te görülmektedir. Yalnızca, drenaj sularının alınacağı taraftaki ucundaki pleksiglas kapak, 4 cm çapında delinmiş ve delinen kısma PVC boru ve vana sistemi entegre edilmiştir (Şekil 5.5).



Şekil 5.4 : Drenaj borusu üzerindeki delikler.

Öte yandan, drenaj borusunun etrafı geotekstil örtü ile şaşırtmalı olarak sarılmıştır. Böylece, kumun boru içine girip drenaj suları ile birlikte hendeğe aktarılması

önlenmiş olmuştur. Kumun boru içerisine girmesi ve drenaj suları ile hendeğe boşalması kumun üçüncü boyutta hareketine neden olacağı için ölçümlerde hataya neden olabileceğinden istenmeyen bir durumdur.

Drenaj borusunun sahil içerisindeki resmi, boru-vana tertibatının kanalın yan tarafındaki pleksiglas delinip dışarıya alınması, suyun hendeğe aktarılırken resmi Şekil 5.6, 5.7 ve 5.8'de görülebilir.



Şekil 5.5 : Drenaj borusu ucuna entegre edilen boru-vana tertibatı.

Benzer şekilde, şevin baş kısmı ile yer altı su hendeğini ayıran bölümde kumun geçişine izin vermeyen filtre örtüsü konulmuştur. Böylece, kum malzemenin deliklerden geçip hendeğe akması önlenmiş olmaktadır. Filtre örtüsü olarak birisi geniş delikli mukavim, diğeri ise ince delikli hassas iki örtü arka arkaya yerleştirilmiş ve etrafına çerçeve monte edilerek kum ve yer altı suyu hendeğinin arasına konmuştur.



Şekil 5.6 : Drenaj borusunun sahil içerisinde yerleşimi.



Şekil 5.7 : Drenaj borusu-vana tertibatı.



Şekil 5.8 : Drene edilen suyun hendeğe boşalması.

5.7 Deney Sonuçları

Her deneyde, başlangıç profili, dengeye gelinceye kadar dalga etkisine maruz tutulmuştur. Dalga yüksekliği ve periyodu dalga probları vasıtasıyla kaydedilmiştir. Drenajlı deneylerde, drene edilen su 1,15m x 1,10m yüzey alanına sahip, 1,0m derinliğinde bir hendeğe akıtılmış ve hendeğin içerisine yerleştirilen bir dalga probu ile seviye ölçümleri yapılmıştır. Drenaj sularının toplandığı hendek Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Şekil 5.10 ise drenaj suları hendeğe boşalırken görülmektedir. Drenaj suları hendeğe akarken su yüzeyinde salınıma neden olmaktadır. Bunu engelleyip, ölçümlerin daha hassas okunmasını temin etmek amacıyla dışarı çıkan borunun ucuna hendeğe kadar inen esnek boru bağlanmıştır. Hendek içerisine yerleştirilen bir prob vasıtasıyla su seviyesi saniyede 20 veri alınarak ölçülmüştür. Hendek içerisindeki prob Şekil 5.11'de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan kum medyan tane çapı d_{50}=0.30 mm olup, granülometrik eğrisi aşağıda verilmiştir (Şekil 5.12). Deneylerin tamamında şev eğimi 1:5 olup yer altı su seviyesi sakin su seviyesine eşit tutulmuştur.



Şekil 5.9 : Drenaj sularının toplandığı hendek.

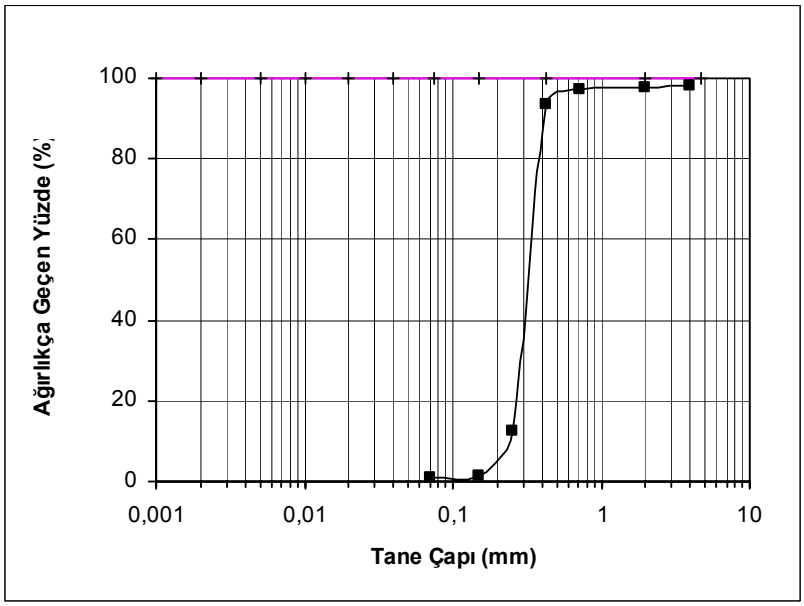
Profil okumaları şev boyunca her 3 cm de bir olmak üzere limnimetre ucuna takılan bir metal ile ölçülmüştür. Beach profiler ile ölçümlerde yumuşak zeminlerde, probun ucunun yumuşak zemini tam algılayamadığı görülmüş ve yanlış sonuçlar vermesi ihtimaline karşı elle hassas profil okumaları alınmıştır. Deneylerde elde edilen tüm profiller Ek C'de verilmiştir.



Şekil 5.10 : Drenaj suları hendeğe akarken.



Şekil 5.11 : Hendek içerisindeki prob.



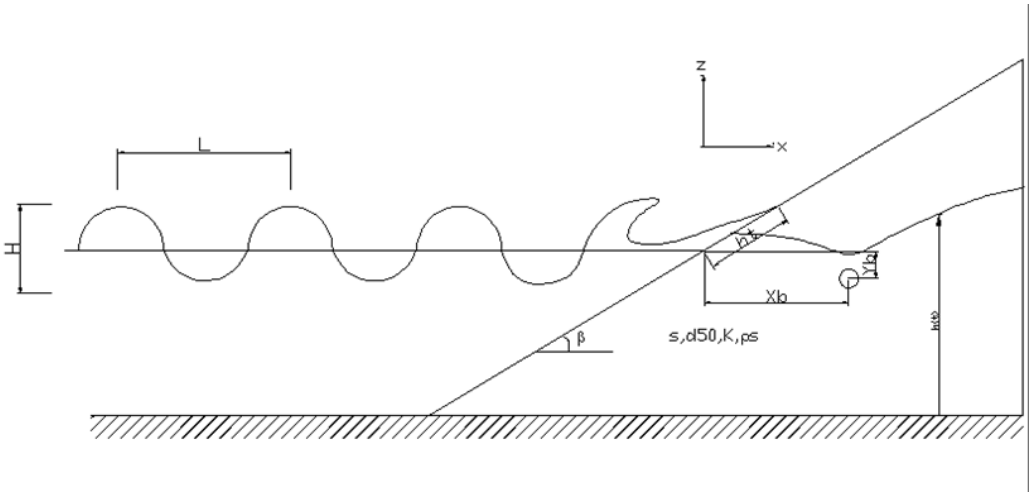
Şekil 5.12 : Kullanılan kumun granülometrik eğrisi.

5.7.1 Drenaj borusu yerleşim yerinin erozyona etkisi

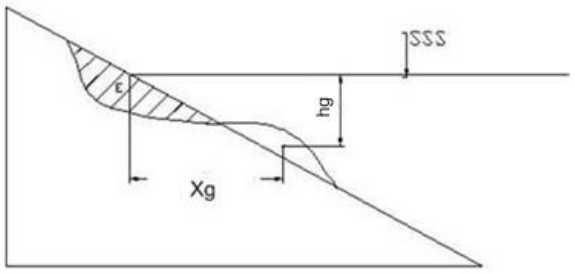
Dalga kanalına bağlı motor, redüktör monte edildikten sonra 10 adet düzenli dalga üretebilmektedir. İlk set deneylerde bu 10 adet dalga etkisinde drenajsız durumda, profil oluşumu gözlenmiştir. Gözlenen veriler sayısal ortama aktarılıp analiz edilmiştir. Başlangıç profilinin altında kalan erozyon alanı, ve üzerinde kalan bar

alanı, bu sayısal verilerin bilgisayar destekli bir çizim programına koordinatları ile tanıtılıp çizdirilmesi ile hesaplanmıştır. Ayrıca, bar oluşumunun sakin su seviyesine olan yatay ve düşey mesafeleri de belirtilmiştir.

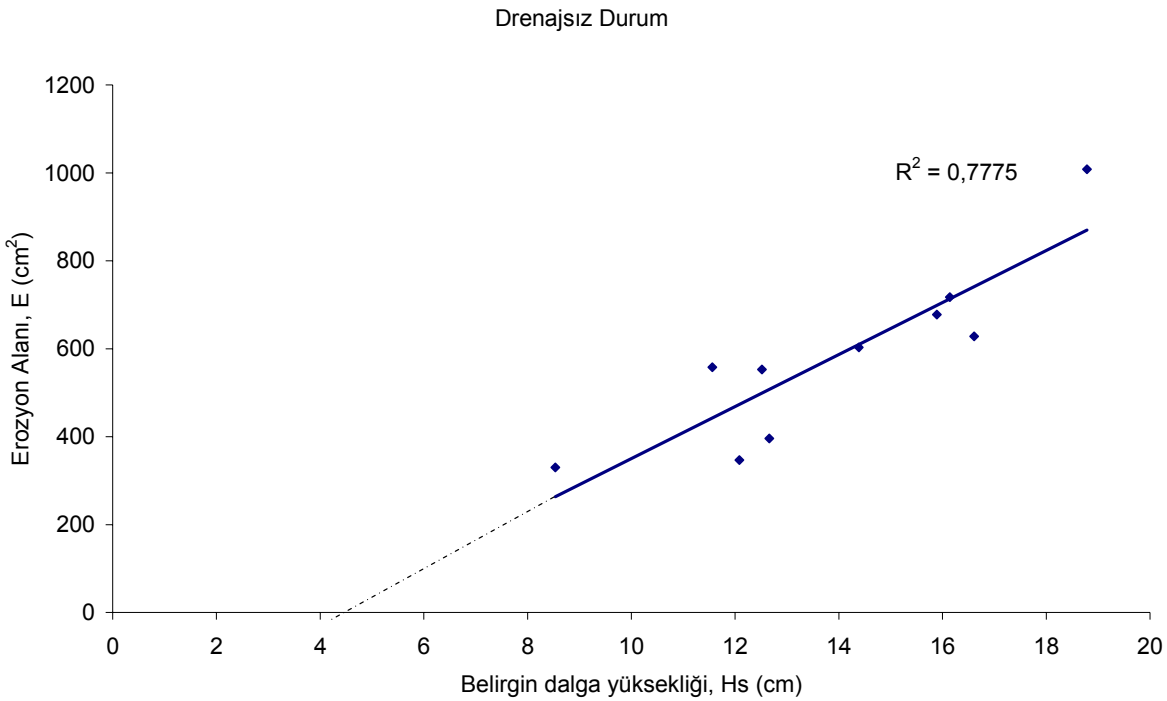
Deney verileri Ek D'de verilmiştir. Deney sisteminde kullanılan notasyon Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'te verilmiştir. Drenajsız durumda erozyon alanının belirgin dalga yüksekliğine bağlı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 5.15). Bu grafik incelendiğinde, 4 cm'den küçük dalgaların erozyona neden olmadıkları söylenebilir. İkinci set deneylerde 6 adet drenaj borusu yerleşim konumu belirlenmiştir. Bu konumların sakin su seviyesine göre yerleşimi belirlenirken, hepsinin Y_b/X_b olarak belirlenen konum parametresinin birbirinden farklı olması göz önünde tutulmuştur. Şekil 5.16'da konum parametresi Y_b/X_b'nin her konumda aldığı değer görülmektedir. Çizelge 5.1'de ise kanalda üretilebilen tüm düzenli dalgaların özellikleri görülmektedir. Bu bölümde adı geçen küçük dalga 1 numaralı dalga, orta dalga 10 numaralı dalga ve büyük dalga ise 9 numaralı dalga olarak alınmıştır.



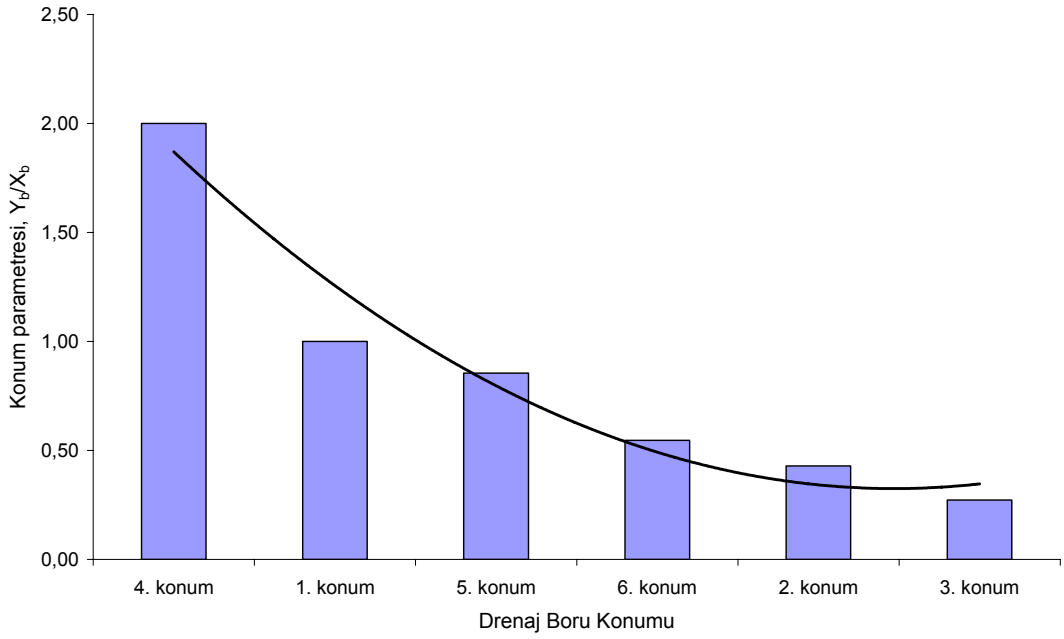
Şekil 5.13 : Deney sisteminde kullanılan notasyonu gösteren şematik gösterim.



Şekil 5.14 : Ölçülen profil üzerinden nümerik olarak hesaplanan parametreler.



Şekil 5.15 : Belirgin dalga yüksekliğine bağlı olarak erozyon alanındaki değişim.



Şekil 5.16 : Konum parametresinin tüm konumlarda aldığı değerler.

Çizelge 5.1 : Dalga özellikleri.

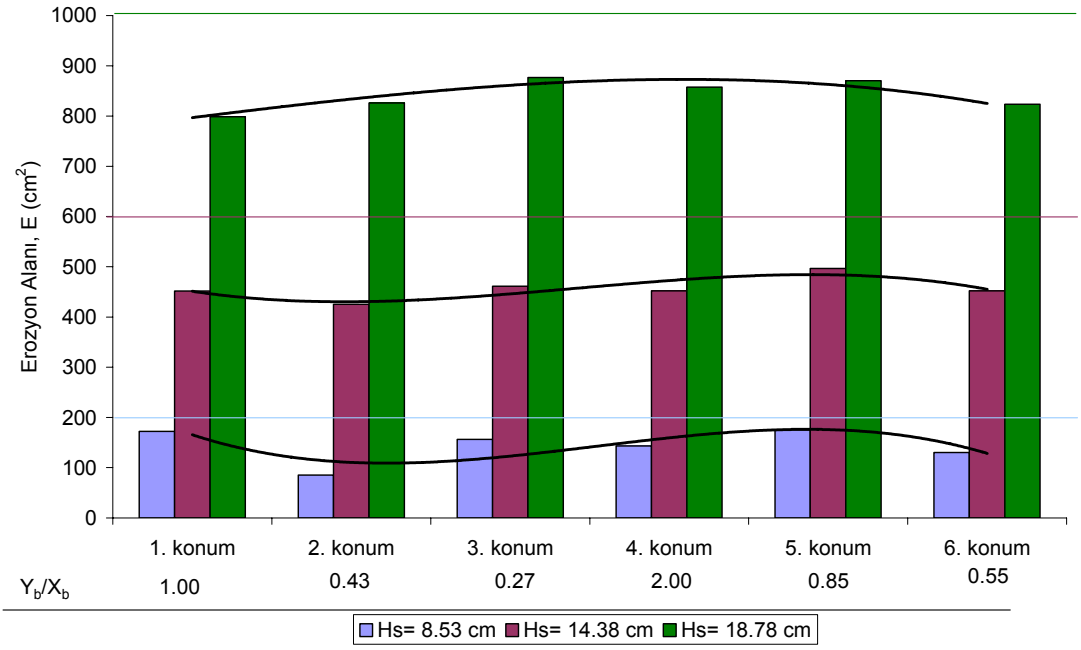
Dalga yüksekliği H (m)	Dalga Periyodu T (sn)	Profil no (drenajsız)	Profil no (drenajlı)	Dalga boyu L (m)	Dalga dikliği H/L
8,535	0,808	31	60	1,02	0,084
11,167	1,029	32	61	1,65	0,068
11,131	0,903	33	62	1,27	0,088
12,03	1,249	34	63	2,43	0,049
16,026	1,002	41	64	1,57	0,102
11,144	0,833	42	65	1,08	0,103
15,693	1,235	43	66	2,38	0,066
15,014	1,006	39	67	1,58	0,095
18,782	1,27	40	68	2,52	0,075
14,386	1,022	44	69	1,63	0,088

** Drenaj borusu yerleşim yerinin erozyona etkisinin tayini için gerçekleştirilen deneylerde değişik dalga yüksekliklerine sahip üç adet dalga ile çalışılmıştır.

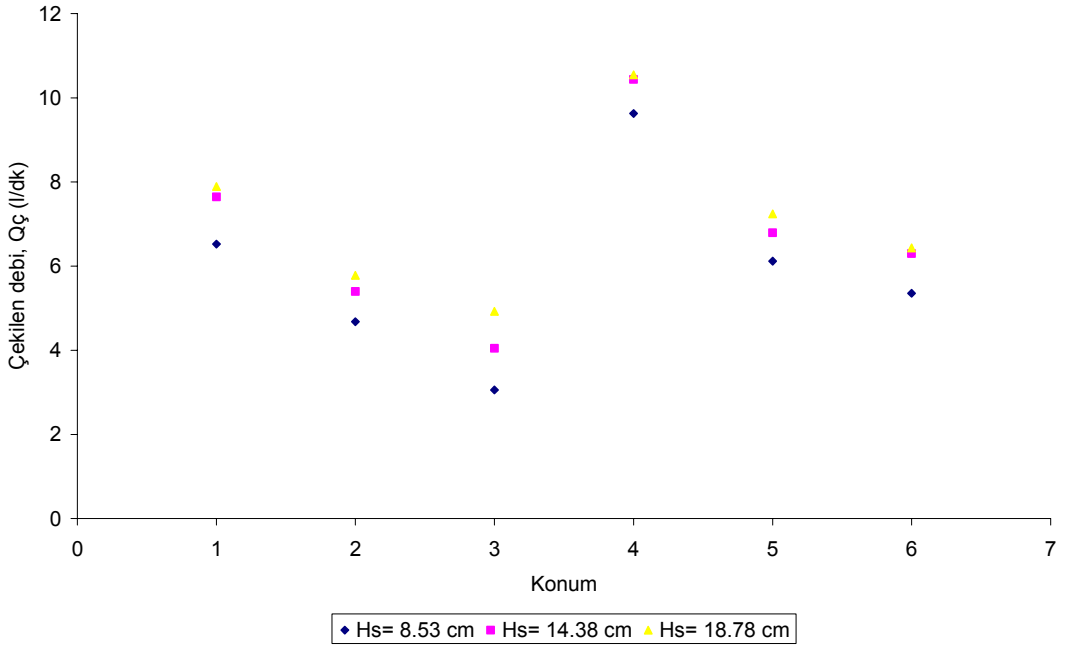
Drenaj borusu konumları belirlendikten sonra, bu altı adet konumdan en düşük erozyon alanı oluşturan, yani en etkili olan, konum 2 no'lu drenaj konumu olarak belirlenmiştir. Aşağıdaki Şekil 5.17'de, belirlenen altı konumda, belirlenen üç adet dalga ile yapılan deney sonuçları görülmektedir. Bu dalgalardan birisi küçük dalga yüksekliğinde, diğer ikisi orta ve büyük dalga yüksekliği değerlerine sahiptir.

Yukarıdaki grafikten de görüleceği üzere, küçük ve orta dalga yüksekliğinde 2 no'lu konuma yerleştirilen drenaj boruları etkin bir şekilde diğer konumlara nazaran erozyonun en düşük olduğu konumdur. Öte yandan grafikte, yatay çizilmiş çizgiler drenajsız konumdaki erozyon alanı değerini belirtmektedir. Buna göre her üç dalga türünde ve her boru konumunda erozyonda azalma yaşanmıştır.

Konumlara göre çekilen debi miktarları ise Şekil 5.18'de verilmiştir. Buna göre, boru konumu sakin su seviyesine yaklaştıkça çekilen debi miktarında artış gözlenmektedir. Ayrıca aynı aksta boru üzerindeki hidrolik yük arttığından dolayı altta olan konumda daha fazla su çekilmektedir. Öte yandan çekilen su miktarından ziyade, hangi konumdan alındığı önem kazanmaktadır. Bu nedenle konum parametresi önerilmiştir. Bu ve diğer boyutsuz parametreler gelecek bölümde ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

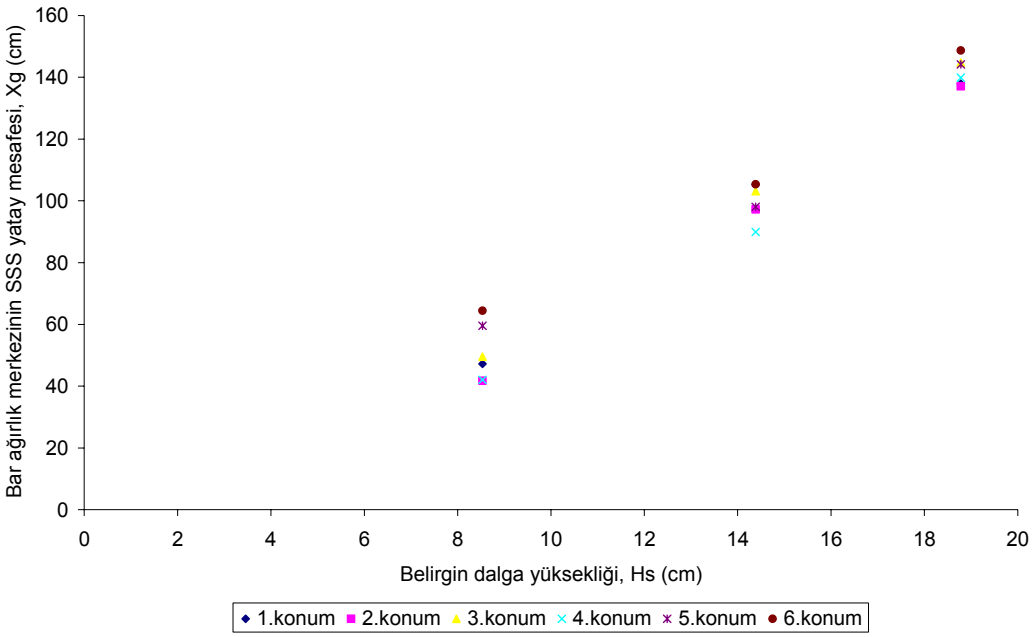


Şekil 5.17 : Üç farklı dalga etkisinde altı adet konumun erozyon alanına etkisi.

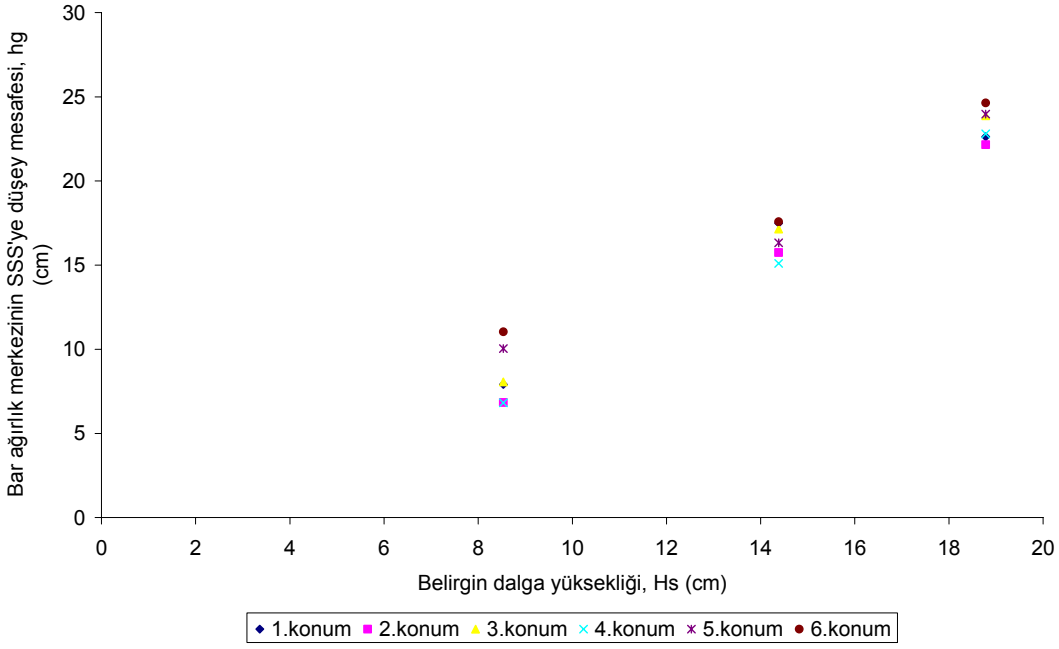


Şekil 5.18 : Drenaj borusu konumlarına göre drene edilen su debileri.

Profil koordinatlarının bilgisayar destekli çizim programına aktarılması neticesinde, oluşan bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesi ile şev kesişim noktasına yatay ve düşey mesafesi de hesaplanmıştır. Boru konumu sakin su seviyesine yaklaştıkça, bar ağırlık merkezinin SSS'ye yatay mesafesi (Xg) de azalmaktadır. Yani bar sahile daha yakın bir konumda oluşmaktadır.



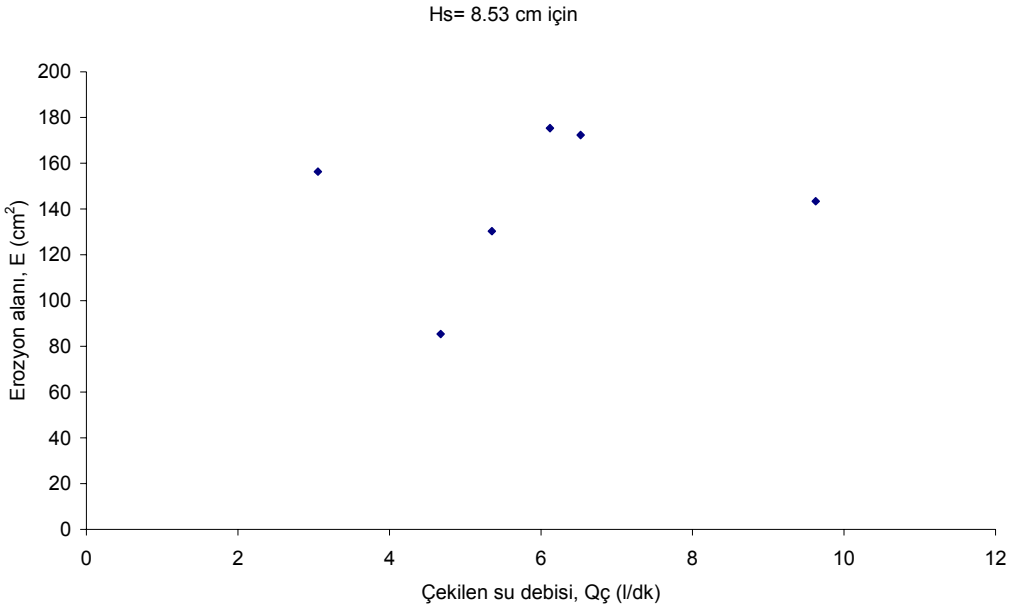
Şekil 5.19 : Belirgin dalga yüksekliği ile bar ağırlık merkezinin SSS'ye mesafesi ilişkisi.



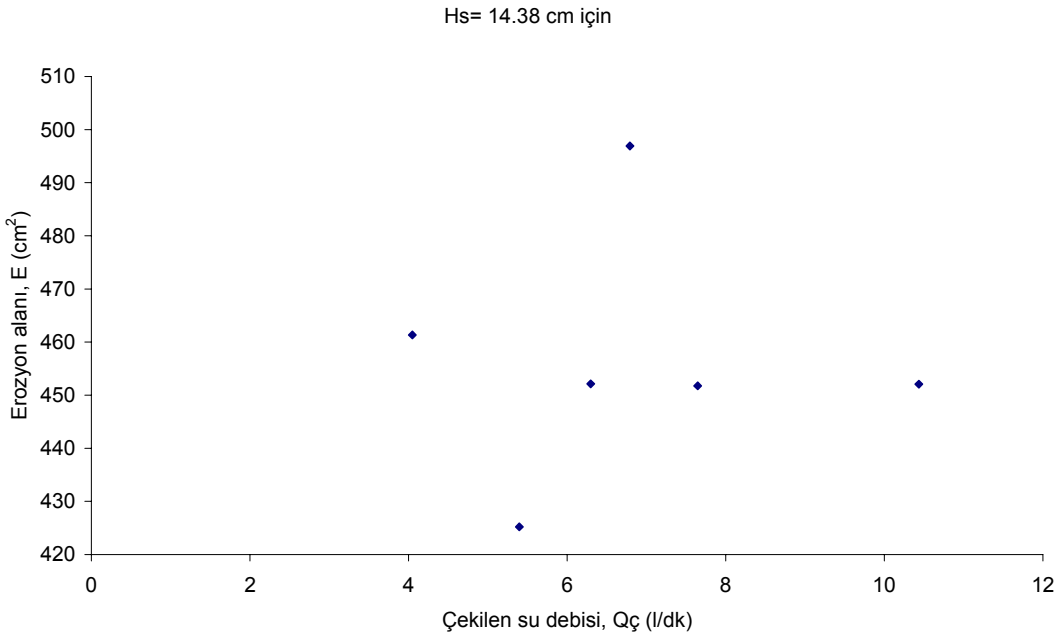
Şekil 5.20 : Belirgin dalga yüksekliği ile bar ağırlık merkezinin SSS' ye düşey mesafesi ilişkisi.

Şekil 5.20'de görüldüğü gibi, bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesine düşey mesafesi de, drenaj borusu konumu sakin su seviyesine yaklaştıkça, hg mesafesi de azalmaktadır.

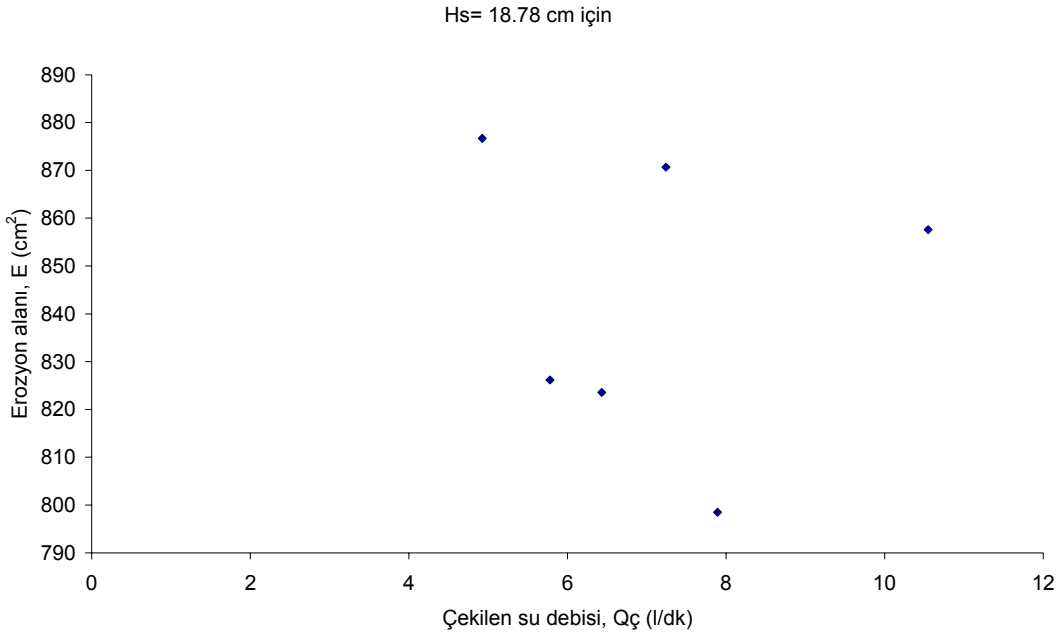
Yukarıdaki grafiklerden görüleceği üzere, erozyon alanını etkileyen en önemli parametre dalga parametreleridir. İkincil olarak, drenaj borusu konumu gelmektedir. Drenaj debisi ile erozyon alanı arasında bir ilişki görülmemektedir. Şekil 5.21, 5.22 ve 5.23'te drene edilen debi ile erozyon alanı ilişkileri verilmiştir. Drene edilerek çekilen debi ile sahilde oluşan erozyon arasında bir ilişki bulunmamaktadır. Bunun yerine drene edilen suyun nereden çekildiği sorusu daha fazla önem arz etmektedir.



Şekil 5.21 : Drenaj debisi ile erozyon alanı ilişkisi (Hs=8.535 cm için).



Şekil 5.22 : Drenaj debisi ile erozyon alanı ilişkisi (Hs=14.386 cm için).

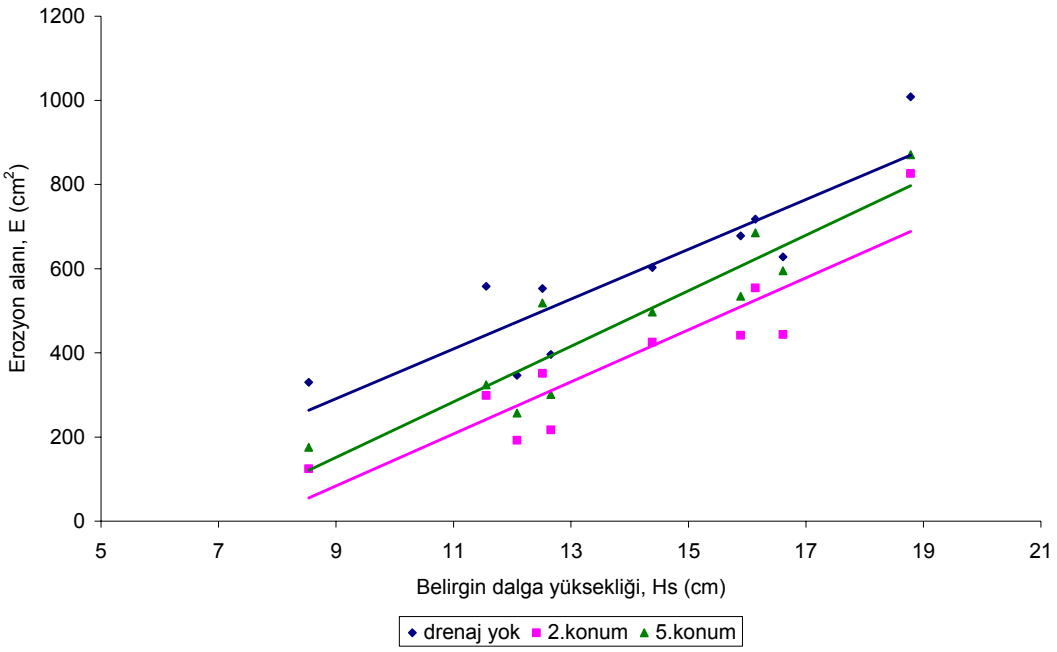


Şekil 5.23 : Drenaj debisi ile erozyon alanı ilişkisi (Hs=18.782 cm için).

Drenaj borusu 2. konuma yerleşmiş haldeyken, erozyon alanı diğer konumlara göre daha küçük olarak gözlenmiştir. Bu nedenle geri kalan deneylerde, boru 2. konuma yerleştirilmiş ve on farklı özellikteki dalga ile analizler yapılmıştır. Ayrıca, 2. konumun 15 cm altında 5. konumda da hidrolik yük farkının etkisini görmek amacıyla on dalga ile analizler tekrar edilmiştir. Boyutsuz parametreler ve bunlar arasındaki ilişki 5.8 alt bölümünde ayrıntılı olarak incelenecektir.

5.7.2 Dalga özelliklerinin profile etkisi

Profilde dalga özelliklerinden sonra konumun etkisi ikinci planda yer almaktadır. Belirlenen altı adet drenaj borusu yerleşim konumundan 2 numaralı olanda en az erozyon alanı gözlendiğinden bundan sonraki deneylerde bu konum kullanılmıştır. Ayrıca, 2. konumun 15cm altında yer alan 5. konumda da her 10 dalga ile deneyler tekrarlanmış ve boru üzerindeki hidrolik yük farkının tesiri gözlenmiştir. Bu bölümde, 2 ve 5. konumda konumlandırılan drenaj borusunun tesiri ile oluşacak erozyon ve bar oluşumları ve özellikleri, drenajsız durumdaki sonuçlarla kıyaslanacaktır. Erozyon alanı, drenaj borusu 2. konumda iken, en küçük değerine ulaşmaktadır. 5. konumda, 2. konuma nazaran daha çok debi çekildiği halde, erozyon daha büyük oluşmuştur (Şekil 5.24).

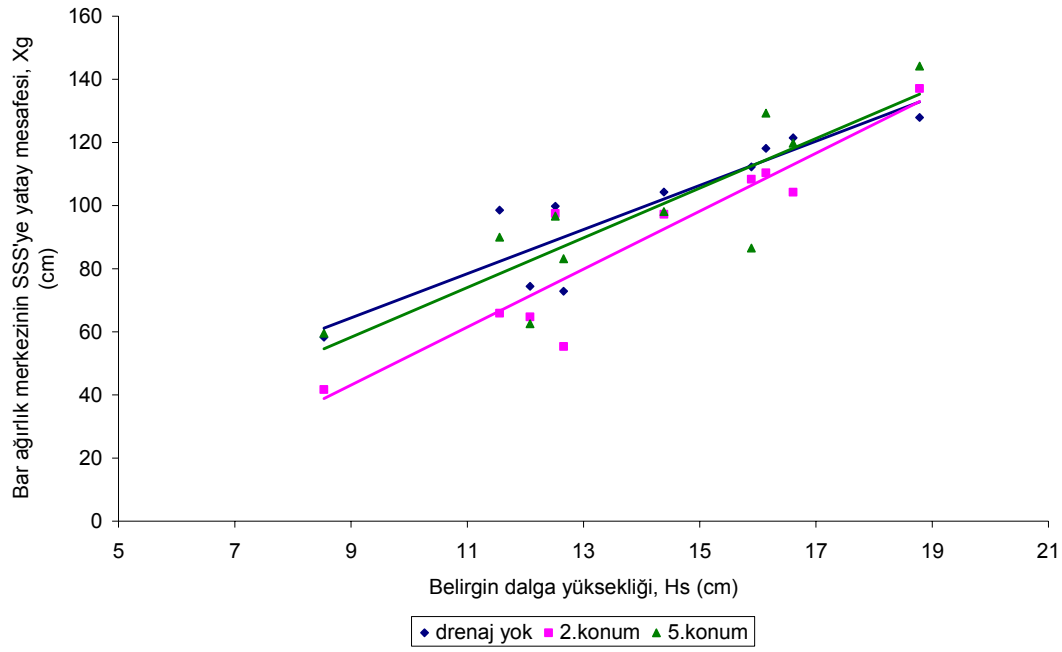


Şekil 5.24 : 2. konum ve 5. konum erozyon alanlarının drenajsız hal ile kıyaslanması.

Drenajsız durumda 4 cm ve daha düşük yüksekliğe sahip dalgaların erozyon oluşturmadığı grafikten gözlenmişti. Drenajlı durumda ise bu değer 8 cm'ye kadar çıkmıştır.

Oluşan bar'ın ağırlık merkezinin sakin su seviyesine olan yatay mesafesi incelendiğinde ise, bu mesafenin drenajlı durumda (2.konum) sahile daha yakın konumlandığı görülmektedir. Dalga yüksekliği 18 cm'yi aştığında ise bu mesafenin drenajsız durum ile aynı konumda yer aldığı Şekil 5.25'ten görülmektedir. 5. konumda yerleştirilen drenaj borusunun etkisi incelendiğinde ise Xg mesafesinin drenajsız duruma daha yakın konumlandığı görülmektedir. Bu durumda, dalga yüksekliği 16 cm'ye ulaştığında drenajın Xg konumu üzerindeki etkisinin drenajsız durumla kesiştiği görülmektedir.

Sahil drenajının etkisinin arttırılması, drenaj borularının sahil yüzeyine yakın konumlandırılması ile gerçekleştirilebilir. Boruların sahil yüzeyine yakın olması ile dalga suları çekilmekte ve sistem daha etkili çalışmaktadır. Boru yerleşim yeri karaya doğru ilerledikçe, dalga sularından ziyade sahilde yer altı suyu çekilmekte ve dalga etkisinin oyulma oluşturan etkisi bertaraf edilememektedir.

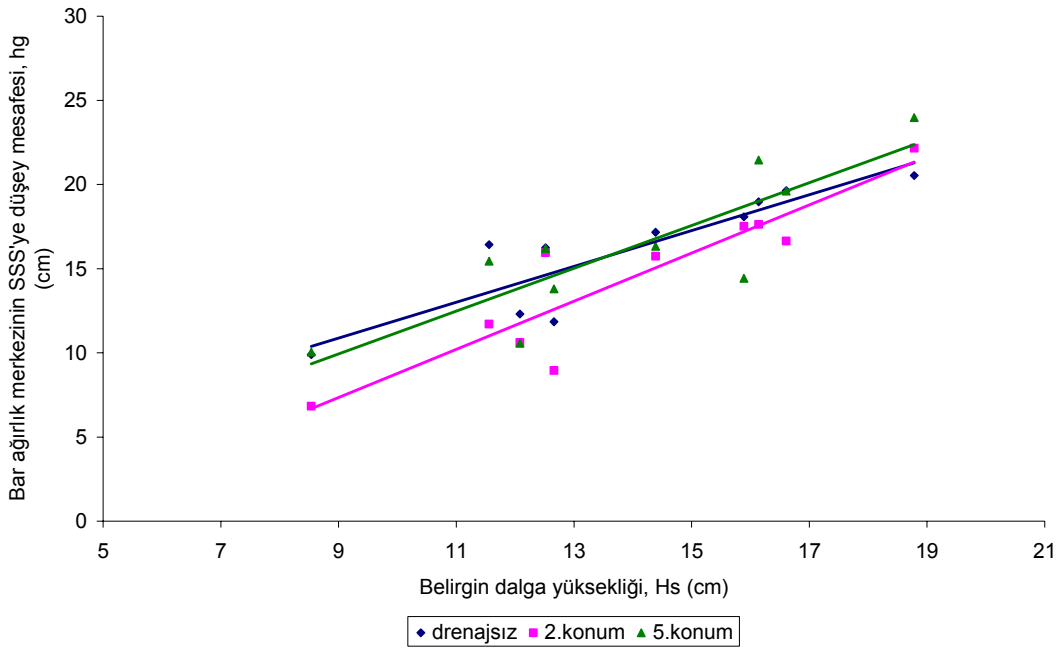


Şekil 5.25 : Belirgin dalga yüksekliği ile Xg ilişkisi.

Burada, drenaj nedeniyle erozyonda bir azalma meydana geldiği için, açığa bar oluşumu için taşınan malzemenin drenajsız duruma göre az olduğundan, bar'ın sahile daha yakın oluştuğu görülmektedir. Konum etkisi incelendiğinde ise, 2. konumda, bu etkinin daha fazla göze çarptığı, 5. konumda ise Xg 'nin neredeyse drenajsız durum ile aynı sonucu ortaya çıkardığı görülmektedir.

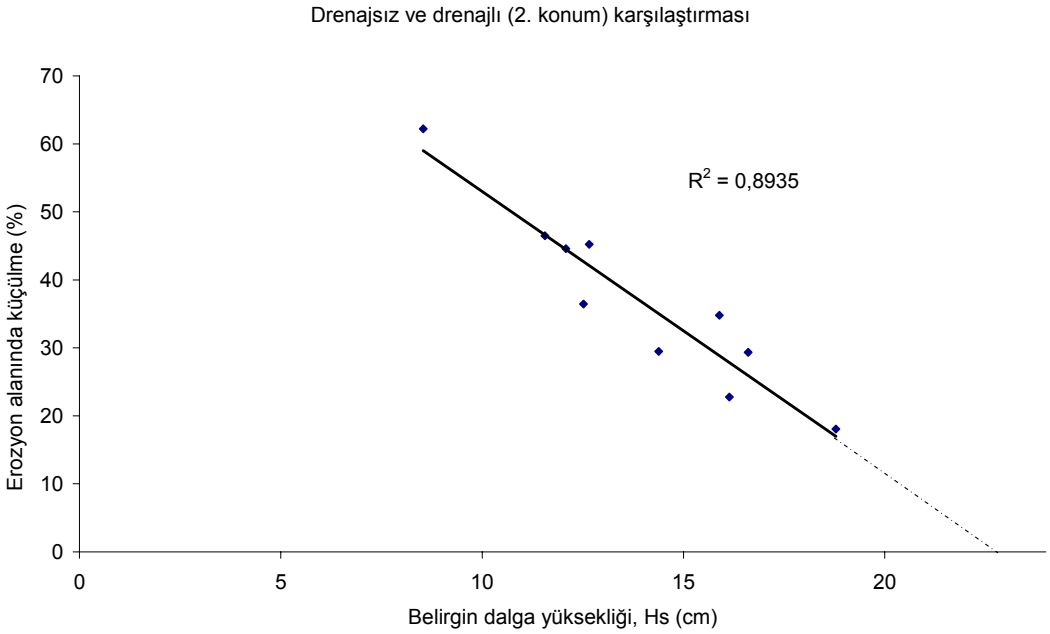
Benzer şekilde bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesine olan düşey mesafesi incelendiğinde de Xg ilişkisine benzer bir bağlantı ortaya çıktığı görülebilir. Burada da, 18 cm dalga yüksekliğine kadar hg parametresinin, drenajlı halde (2. konum) SSS'ye daha yakın konumlandığı, 18cm'den sonra ise drenajsız durum ile aynı etkiyi gösterdiği görülebilir. 5. konumda ise hg parametresinin drenajsız hal ile benzer sonuçlar ortaya çıkardığı görülebilir (Şekil 5.26).

Bar'ın sahilde karaya yakın konumlanması, drenajın etkisi nedeniyledir. Dalga etkisiyle oyulan malzeme, açığa taşınmakta ve bar oluşmaktadır. Drenajlı durumda hem oyulma azalmakta hem de oyulan malzeme sahilde karaya yakın konumlanmaktadır. Drenaj yapılmaması durumunda ise hem oyulma fazla olmakta hem de bar daha açıkta konumlanmaktadır.



Şekil 5.26 : Belirgin dalga yüksekliği ile hg ilişkisi.

Erozyon alanındaki azalma yüzdesinin belirgin dalga yüksekliği ile olan ilişkisi grafik olarak incelendiğinde ise, dalga yüksekliği arttıkça drenajın etkisinin azaldığı Şekil 5.27'de verilmektedir. Buna göre, 23 cm dalga yüksekliği değerinden daha büyük dalgalarda drenajın sahil profili üzerinde erozyonu azaltıcı herhangi bir etkisinin kalmadığı görülmektedir.

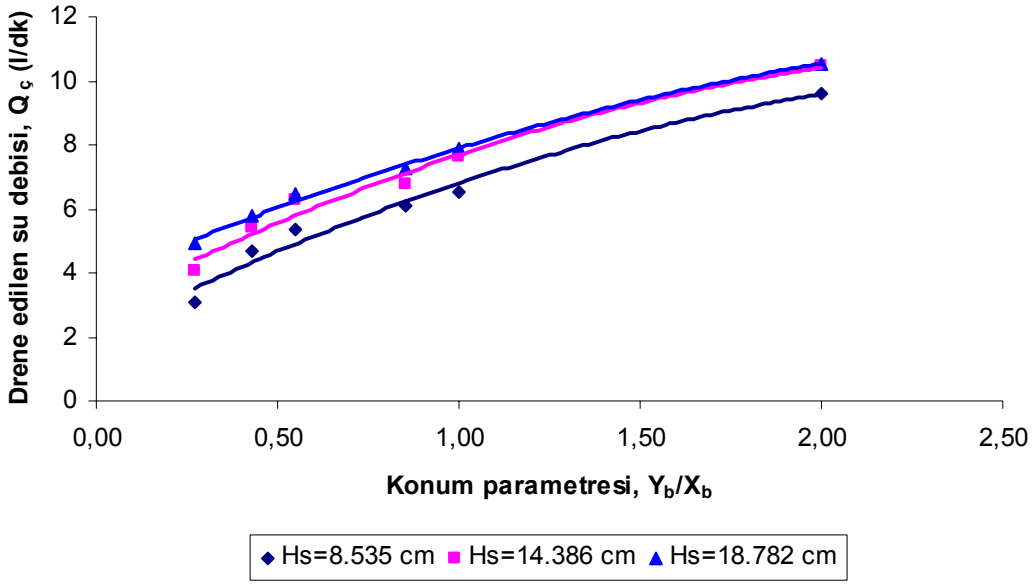


Şekil 5.27 : Drenajsız durum ve drenajlı (2.konum) erozyon alanındaki azalma yüzdesi ilişkisi.

5.8 Boyutsuz Parametreler

Drene edilen su miktarının, erozyon alanına herhangi bir etkisi bulunmamaktadır. Su miktarından ziyade, suyun nereden çekildiği önem arz etmektedir. Örneğin, drenaj borusu 4. konumda iken çekilen debi maksimum olmasına karşın erozyon alanı minimize edilememiştir.

Öte yandan 2. konumda iken drene edilen su debisi küçük olmasına karşın erozyon alanı minimum olmaktadır. Dolayısıyla bu aşamada konum parametresi diye önerilen büyüklük öne çıkmaktadır. Önceki bölümde de grafiklerden görüldüğü üzere, boru sakin su seviyesinden uzaklaştıkça, çekilen debi azalmaktadır. Öte yandan, boru daha derine yerleştirildiğinde, drene edilen debi artmaktadır. Bu nedenle Y_b/X_b olarak tanımlanan konum parametresi arttıkça, çekilen su debisinde artma beklenmektedir. Şekil 5.28'de konum parametresinin çekilen su debisi ilişkisi gözükmektedir.

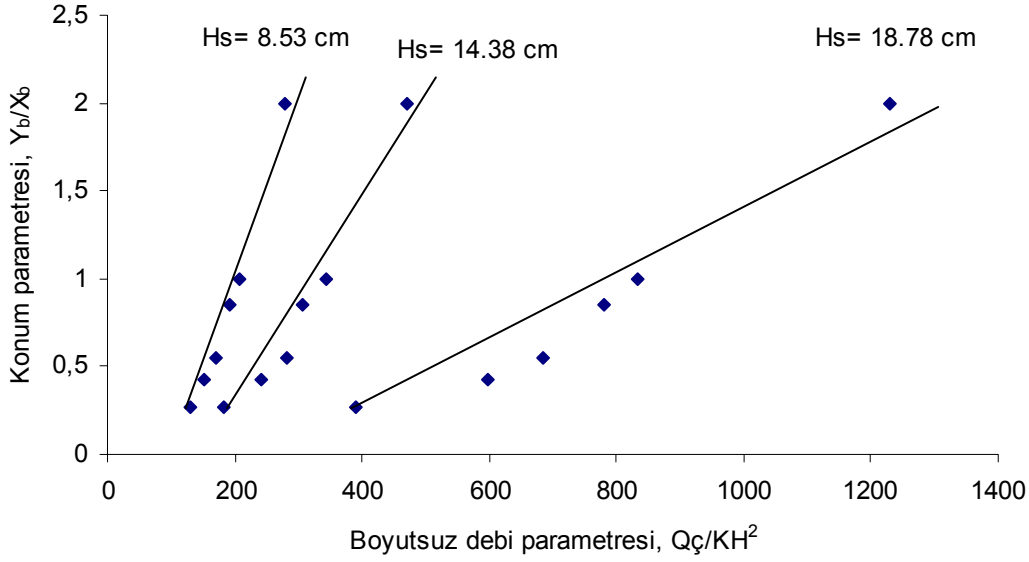


Şekil 5.28 : Konum parametresinin çekilen su debisine etkisi.

Şekilden görüleceği üzere, her üç dalga tipinde de, konum paramatresi (Y_b/X_b) nin artması ile drene edilen su debisinde artış gözlenmektedir. Öte yandan, drene edilen debi sadece konum paramtresinin bir fonksiyonu değildir. Dalga özellikleri ile de değişmektedir. Bu nedenle, H/wT (boyutsuz dalga parametresi) nin debiye etkisi de incelenmiş ve konum parametresiyle biraraya getirilip regresyon analizi uygulandığında aşağıdaki ilişki ortaya konmuştur. Bu ilişki ortaya konurken, 1, 3, 4

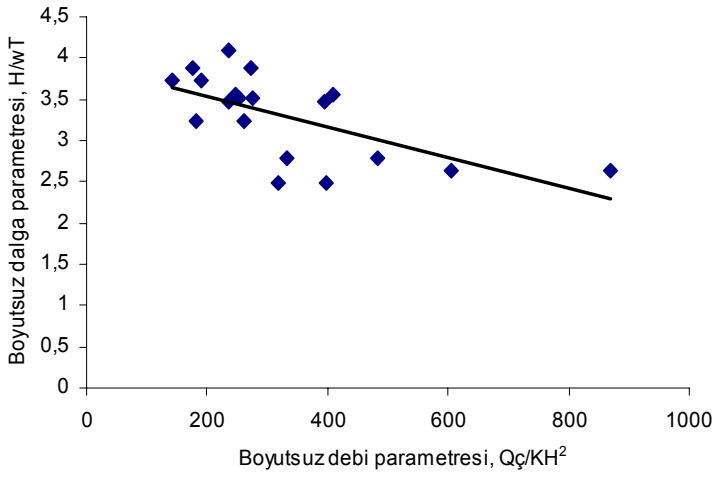
ve 5. konum verileri dikkate alınmış ve bir denklem elde edilmiştir. Daha sonra bulunan bu denklem 2 ve 6. konum verileri ile kıyaslanmıştır.

Boyutsuz debi parametresi, aynı dalga özellikleri için konum parametresi ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu iki parametre grafik olarak Şekil 5.29'da verilmiştir.



Şekil 5.29 : Boyutsuz debi parametresinin konum parametresi ile değişimi.

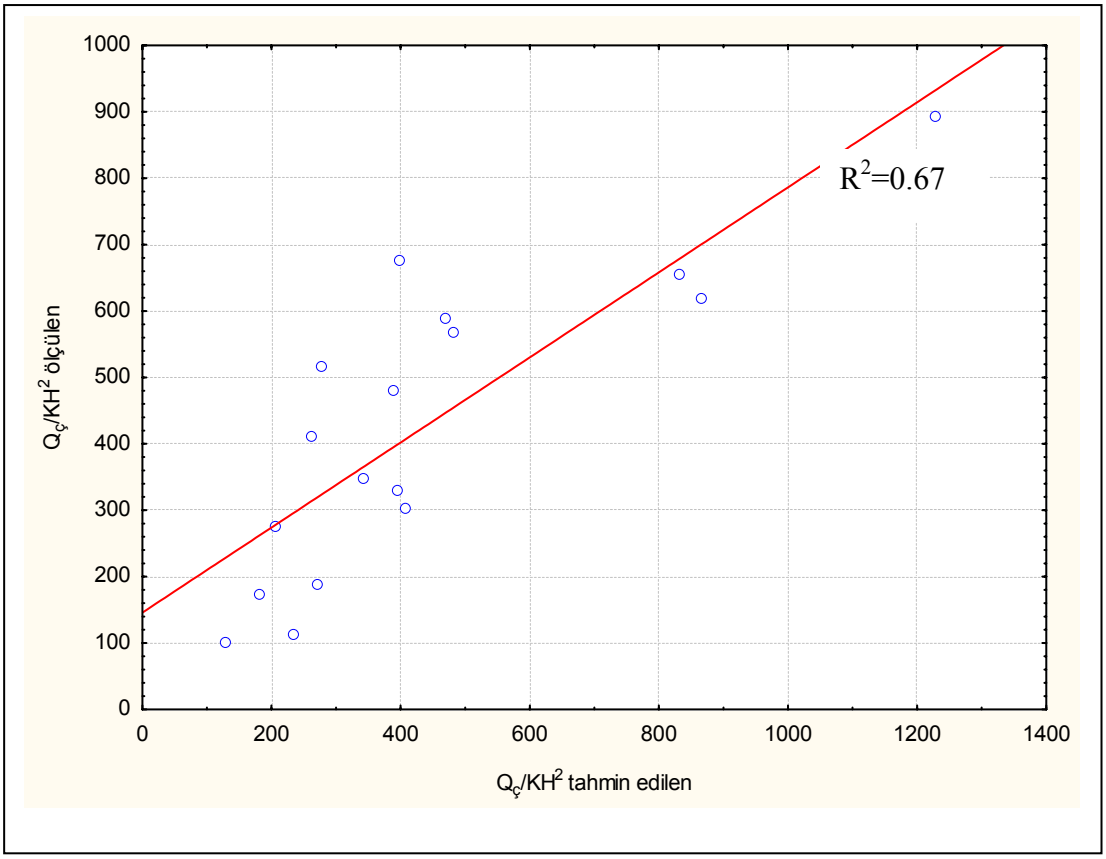
Boyutsuz debi parametresi $\frac{H}{wT}$ ile ters orantılı olarak değişmektedir. Bu iki parametrenin değişimi Şekil 5.30'da verilmiştir. Regresyon analizinden 5.1 bağıntısı elde edilmiştir.



Şekil 5.30 : Boyutsuz debi parametresi ile boyutsuz dalga parametresi ilişkisi.

$$\frac{Q_ç}{KH^2} = 1332{,}9 + 240{,}1\frac{Y_b}{X_b} - 348{,}5\frac{H}{wT} \qquad \textbf{(5.1)}$$

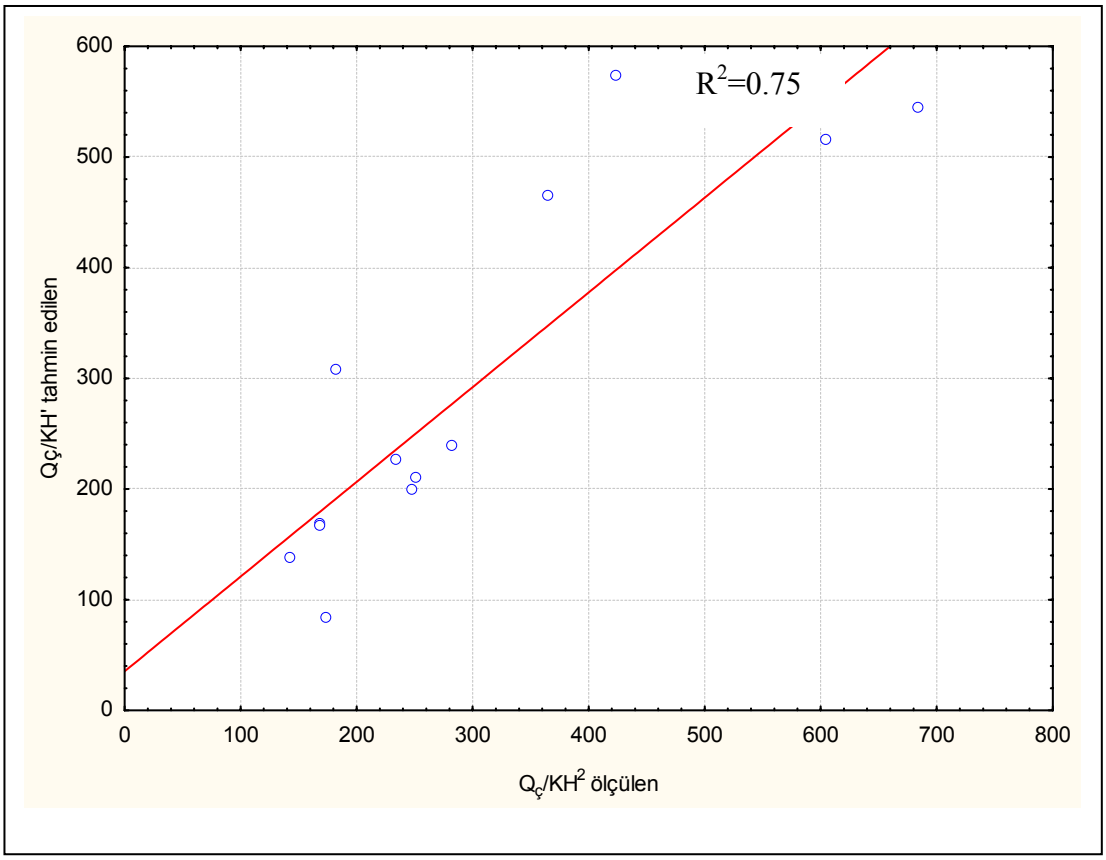
Elde edilen bağıntı ile tahmin edilen boyutsuz debi parametreleri, deneysel olarak ölçülen değerler ile karşılaştırıldığında Şekil 5.31 ilişkisi elde edilmiştir.



Şekil 5.31 : Deneysel olarak ölçülen ve analitik olarak tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması (1-3-4-5 konumlar).

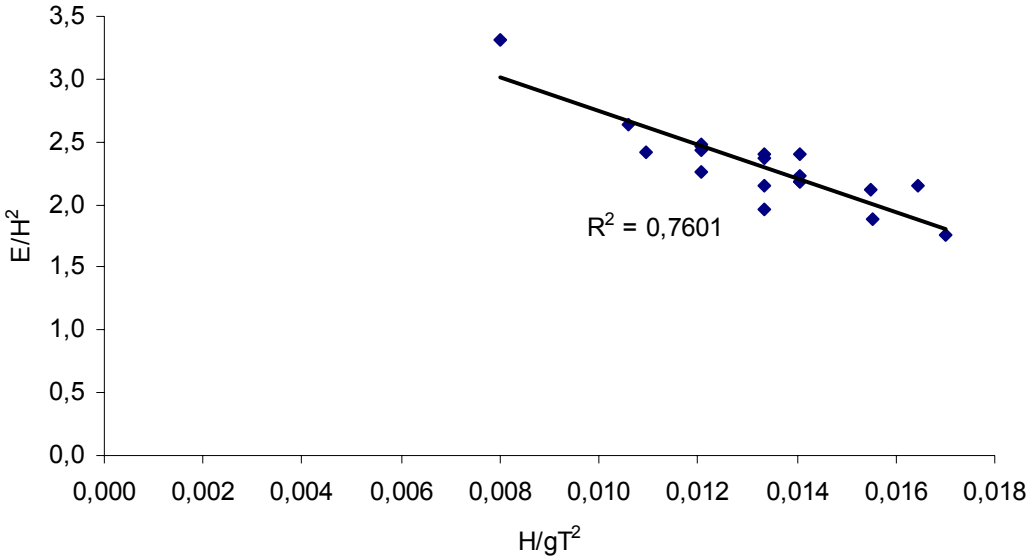
Şekil 5.31 incelendiğinde, 5.1 denkleminin boyutsuz debi parametresini bazen yüksek bazen de düşük tahmin ettiği, ortalamasının ise deneysel verilerin ortalaması ile neredeyse aynı olduğu görülmüştür.

Öte yandan 2 ve 6. konum'da ölçülen değerler ile denklem ile tahmin edilen değerler karşılaştırıldığında benzer trend görülmüştür. Şekil 5.32'de bu ilişki verilmiştir.



Şekil 5.32 : Bağıntı ile tahmin edilen değerler ile 2-6 konumlarında ölçülen değerlerin karşılaştırılması.

Benzer şekilde, boyutsuz erozyon alanı parametresi 1,3,4,5 konumlarındaki veriler kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmış ve elde edilen denklem 2 ve 6. konumlar üzerinde denenmiştir. Şekil 5.17'de değişik konumlarda erozyon alanı ilişkisi verilmişti. Şekilden de görüleceği üzere, erozyon alanını etkileyen en önemli parametre dalga yüksekliğidir. Drenaj konumu, erozyon alanına kısıtlı etki yapmaktadır. Regresyon analizi sonucunda, konum parametresi $\left(\frac{Y_b}{X_b}\right)$ yerine $\left(\frac{Y_b}{X_b}\right)\left(\frac{H}{X_b}\right)$ boyutsuz parametresi kullanılmıştır. Konum parametresi yerine bu parametrenin kullanılmasıyla regresyon nalizi neticesinde bulunan denklemin tahmin başarısı artmıştır. Şekil 5.33'te $\frac{E}{H^2}$'nin $\frac{H}{gT^2}$ ile olan ilişkisi verilmektedir. Burada E, erozyon alanıdır.



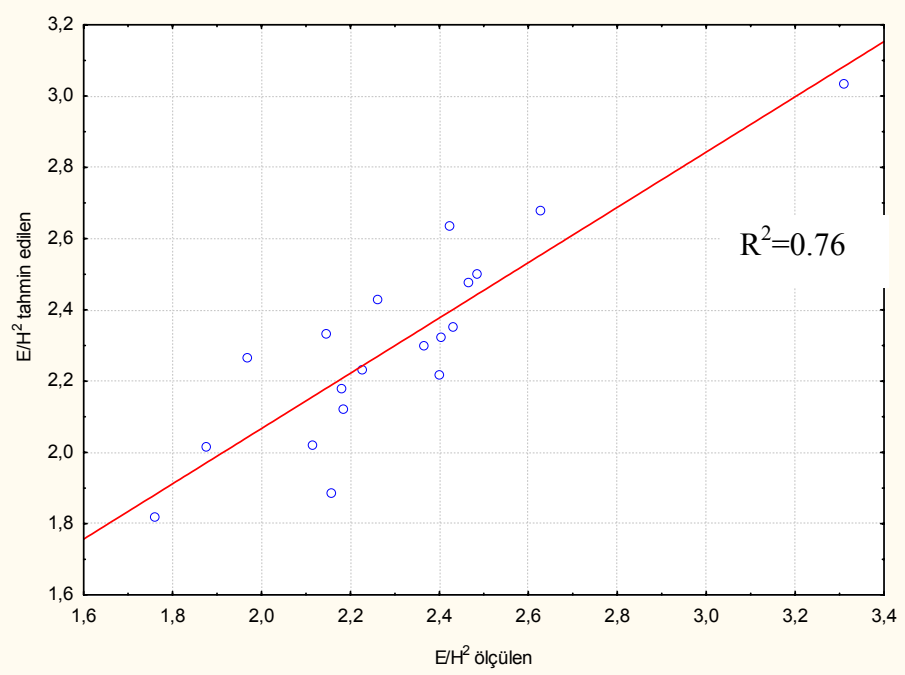
Şekil 5.33 : Boyutsuz erozyon alanı parametresinin H/gT^2 ile olan ilişkisi (1-3-4-5 konumları veri olarak kullanılmıştır).

Şekil 5.33'teki iki boyutsuz parametre arasında ters orantı bulunmaktadır. Biri artarken diğerinde azalma yaşanmaktadır. Öte yandan boyutsuz erozyon alanını daha hassas elde edebilmek amacıyla, konum parametresi de işin içine katılmıştır. Böylece 0,76 olan korelasyon katsayısının 0,776'ya çıkarılması mümkün olmuştur. Aşağıda 1,3,4 ve 5 konumları kullanılarak elde edilen bağıntı yer almaktadır.

$$\frac{E}{H^2} = 4{,}1267 - 134{,}7\frac{H}{gT^2} - 0{,}06\frac{Y_b H}{X_b{}^2} \qquad \textbf{(5.2)}$$

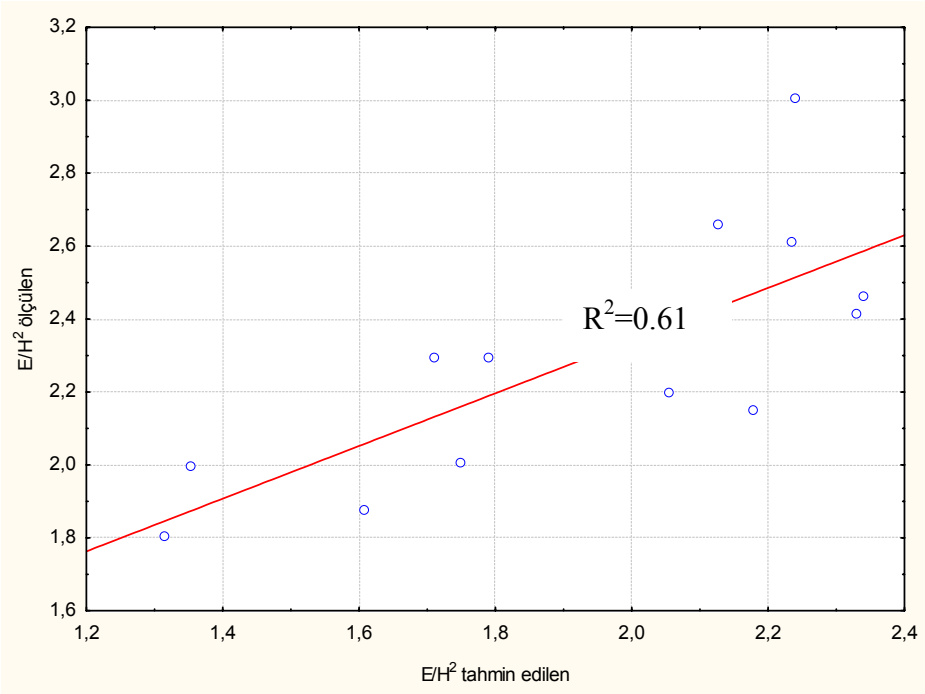
Elde edilen bağıntı kullanılarak tahmin edilen değerler ile deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen değerler Şekil 5.34'te verilmiştir. Buna göre bağıntının boyutsuz erozyon alanı parametresini tahmin etmedeki başarısı yüksek görülmektedir. 5.2 bağıntısı incelendiğinde, boyutsuz erozyon alanı parmatresini en çok etkileyen unsurun dalga özellikleri olduğu, konum parametresinin etkisinin sınırlı olduğu görülmektedir.

Denklemlerin boyutsuz olması, birim sistemlerindeki farklılıklardan etkilenmemelerini sağlamaktadır.



Şekil 5.34 : 1-3-4-5 konumlarındaki veriler kullanılarak elde edilen bağıntı ile hesaplanan veriler ile deneysel olarak ölçülen verilerin karşılaştırılması.

2 ve 6 konumlarının verileri elde edilen denklem ile tahmin edildiğinde Şekil 5.35'teki ilişki ortaya çıkmaktadır.

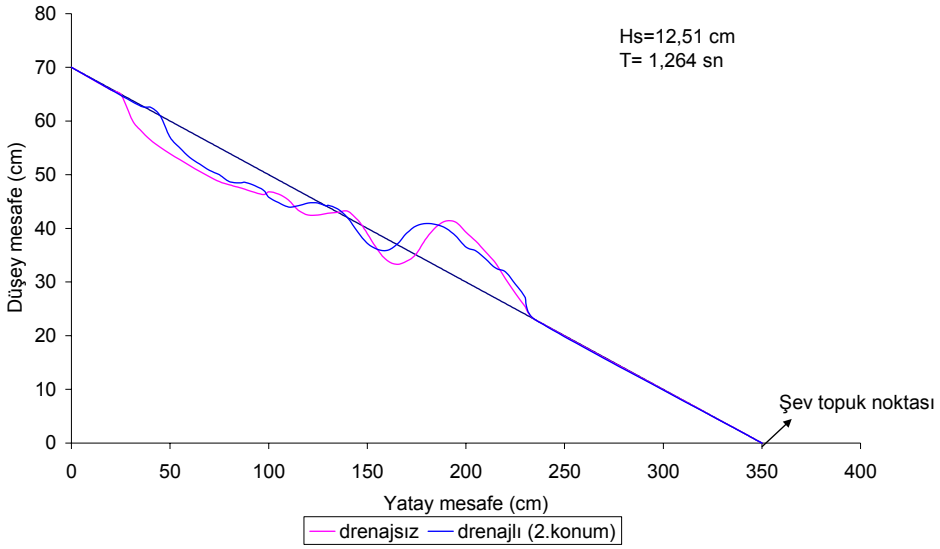


Şekil 5.35 : 2 ve 6 konumları için deneysel olarak ölçülen ve bağıntı ile tahmin edilen değerlerin karşılaştırılması.

5.9 Dalga Tırmanma Yüksekliği

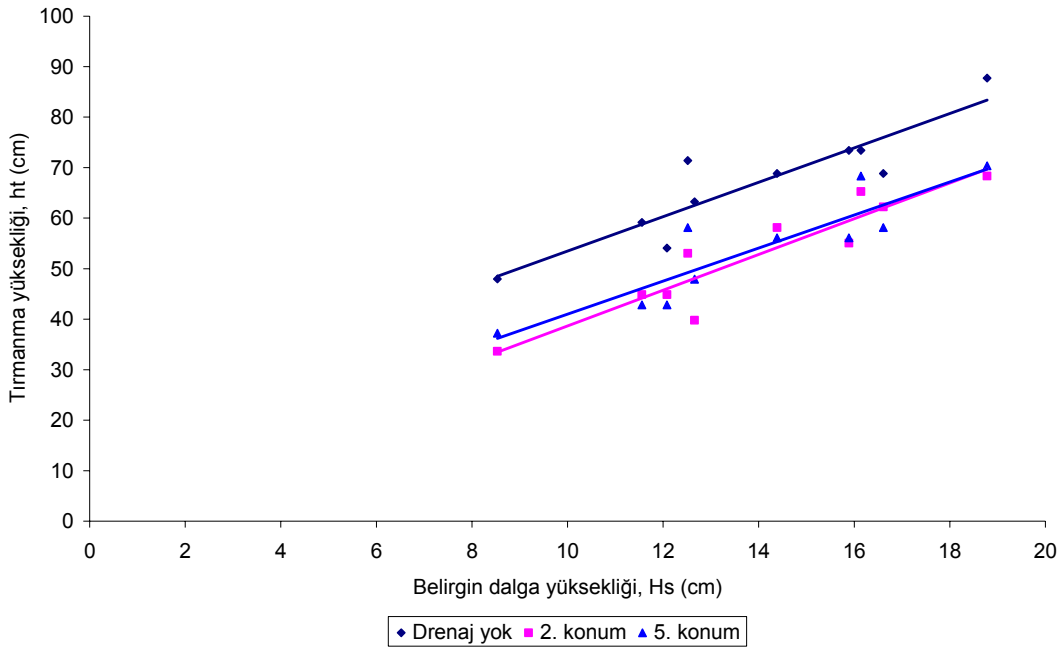
Drenaj ile stabilizasyonda, drenajın dalga tırmanma yüksekliğini azaltması etkin rol oynamaktadır. Tırmanma seviyesi azaldıkça, dalganın taşıyabileceği kum potansiyeli de azalmaktadır. Profil grafikleri incelendiğinde, drenajsız duruma göre, erozyon alanındaki azalma, dalga tırmanma yüksekliği arasında kalan alan kadar olmaktadır.

Drenaj erozyon alanını, dalga tırmanma seviyesini düşürmek suretiyle etkilemektedir. Tırmanma seviyesi düştükçe, dalganın taşıyabileceği kum da azalmaktadır. Örneğin, Hs=12,1cm ve Ts= 0,851sn olan dalganın drenajlı ve drenajsız durumlarda tırmanma seviyesine etkisi Şekil 5.36'da görülmektedir.



Şekil 5.36 : Drenajsız ve drenajlı durumda tırmanma yükseklikleri (Hs= 12.51 cm dalga için).

Bu çalışmada incelenen 10 adet dalga için drenajsız durum, 2. konum (drenajlı) ve 5. konum (drenajlı) durumda dalga etkisiyle oluşan tırmanma yükseklikleri grafiği Şekil 5.37'de verilmektedir. Buna göre, drenajın tırmanma seviyesini azalttığı açıkça görülmektedir. Ek A'da verilen tüm profil verileri incelendiğinde benzer bir ilişki göze çarpmaktadır. Tırmanan dalga sularının sirkülasyon hücrelerinin şekli drenaj ile değişmekte ve bu sayede suyun sızma oranı artmaktadır. Bu sayede dalga tırmanma yüksekliklerinde azalmalar yaşanmıştır.



Şekil 5.37 : Drenajsız ve drenajlı (2. ve 5. konum) hallerde, dalgaların tırmanma yüksekliğine etkisi.

Grafiklerden de görüleceği üzere, dalga tırmanma seviyesi dalga yüksekliği ile artmaktadır. Drenaj yapıldığında, dalga tırmanma seviyesinde bir azalma göze çarpmaktadır. Dalganın daha az tırmanması, taşıyabileceği kum malzemenin daha az olmasını sağlamıştır. Dolayısıyla, erozyonda azalma sağlamaktadır.

6. TARTIŞMA

Dalga yüksekliği ile erozyonda artış gözlenmektedir. 5 cm'den daha küçük yüksekliğe sahip dalgaların profilde oyulma meydana getirmediği görülmektedir. Drenaj yapılması halinde bu değer 8 cm'e kadar çıkmıştır. Drenaj yapılan tüm deneylerde erozyon drenajsız duruma göre azalmıştır. Erozyondaki azalma oranı drenaj borusu konumuna göre değişmektedir. Bu nedenle drenaj borusunun konumunu karakterize edecek bir konum parametresi önerilmiştir. Konum parametresi (Y_b/X_b), drenaj borusunun sakin su seviyesi ile şev birleşim noktasına yatay ve düşey mesafelerinin oranıdır. Drenaj borularının konumları belirlenirken konum parametresinin her durum için farklı değerler alması öngörülmüştür.

Dalga kanalında yer alan motor ile üretilebilen düzenli dalga sayısı ondur. Bu on adet dalgadan dalga yüksekliği baz alınarak üç adedi karakteristik dalga olarak belirlenmiştir. Bu üç dalga ile tüm boru konumları için deneyler gerçekleştirilmiştir. Drenaj borusu şeve yaklaştıkça etkisi artmakta ve meydana gelen erozyon azalmaktadır.

Drene edilen debi, boru konumu ve dalga özellikleri ile değişmektedir. Boru sahilde düşeyde daha derine ve yatayda sakin su seviyesine doğru konumlandırıldığında artmaktadır. Bir başka deyişle, konum parametresi arttıkça debi de artmaktadır. Debi ile erozyon alanı incelendiğinde ise, debinin artması ile erozyon alanındaki değişim ilişkilendirilememiştir.

Profilde, bar konumu hem yatayda hem de düşeyde değerlendirildiğinde ise, boru sakin su seviyesine yaklaştıkça bar da sahile daha yakın konumlanmaktadır. Bir başka deyişle, drenaj halinde bar sahile yakınlaşmaktadır. 18 cm'den daha büyük dalgalar için drenajın bar konumuna etkisi bulunmamaktadır.

Drenajın erozyonu azaltıcı etkisi dalga yüksekliğine bağlıdır. Deney sonuçlarına göre, drenaj 23 cm'den büyük dalgalar için erozyonu azaltıcı etkiye sahip değildir. Öte yandan, bu değerden düşük yükseklikteki dalgalar için drenaj % 60' lara varan oranda erozyonu azaltmaktadır.

Drenajlı ve drenajsız durumlarda oluşan profiller incelendiğinde, drenajın dalga tırmanma yüksekliğini düşürdüğü ve erozyondaki azalmanın bu nedenle ortaya çıktığı görülmüştür. Drenajla birlikte dalga tırmanma yüksekliklerinde % 30' lara varan düşüşler oluşmuştur.

Çizelge 6.1'de deney sisteminde dğiştirilen dalga yüksekliği, periyodu ve drenaj borusu konum parametreleri ile ölçülen erozyon alanı, drenaj debisi ve bar ağırlık merkezi konumu parametrelerinin ilişkisi verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Kontrol parametreleri ve ölçülen parametrelerin ilişkisi.

	E	Qç	Xg	Yg
H	↗	↗	↘	↘
T	↗	↗	↗	↗
Xb	—	↘	↗	↗
Yb	—	↗	↗	↗

Deney verileri değerlendirildiğinde drenaj debisinin hem konum parametresi ile hem de boyutsuz dalga parametresi ile değiştiği görülmüştür. Boyutsuz debi parametresi için önerilen bağıntı şu şekildedir:

$$\frac{Q_ç}{KH^2} = 1332{,}9 + 240{,}1\frac{Y_b}{X_b} - 348{,}5\frac{H}{wT} \qquad \textbf{(6.1)}$$

Erozyon alanı da dalga yüksekliği ile boyutsuzlaştırılmış ve dalga ve konum parametreleri ile regresyon analizi gerçekleştirildiğinde aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir:

$$\frac{E}{H^2} = 4{,}1267 - 134{,}7\frac{H}{gT^2} - 0{,}06\frac{Y_b H}{X_b{}^2} \qquad \textbf{(6.2)}$$

Elde edilen her iki bağıntıda da hata yüzdesi deneysel çalışmalar için kabul edilebilecek %30 değerinin altında kalmıştır.

7. SONUÇLAR

Kıyı mühendisliğinde, değişik özellikteki dalgaların etkisinde sahil profilinin tahmin edilmesi, kıyı duvarları, revetmanlar gibi yapıların stabilite analizlerinde ve kıyı bölgesini dalga etkisinden koruyan en önemli yapı olan sahil genişliğinin korunması çalışmaları açısından önem arzetmektedir.

Genel olarak, kıyı mühendisliği çalışmalarında katı madde hareketini kıyıya dik ve paralel olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Eğer gelen dalgalar kıyıya dik yaklaşıyorsa kıyıya paralel taşınım ihmal edilebilmekte ve sadece kıyıya dik taşınım dikkate alınabilmektedir. Bu çalışmada, kıyıya dik taşınım neticesinde oluşan profil değişimi üzerinde çalışılmıştır.

Bu tez kapsamında, sahil altına yerleştirilen drenaj boruları vasıtasıyla yer altı suyu drene edilmiş ve böylece tırmanan dalgaların yer altı suyunu yükseltmesi önlenmeye çalışılmıştır. Bunun neticesinde tırmanan dalga sularının sahil yüzünden geri dönmek yerine yeraltına sızması sağlanmış ve sızan suların katı madde efektif ağırlığını artırması ile açığa taşınımın azalacağı öngörülmüştür.

Bu amaçla hazırlanan drenaj borusu sahil altında belirlenen çeşitli konumlara yerleştirilmiş ve değişik özellikteki dalgalar etkisinde drenajın profil değişimine etkisi araştırılmıştır.

Özetle;

a.Seçilen üç adet farklı özellikteki dalga ve altı farklı drenaj borusu konumu için yapılan deneylerde, boru sakin su seviyesi ile şev birleşim noktasına yaklaştıkça erozyon alanının azaldığı görülmüştür. Öte yandan borular sahilde yüzeye yakın konumlandırıldıklarında erozyonu azaltmada daha etkin olmaktadırlar.

b.Drene edilen debiler incelendiğinde ise daha derine gömülen borular için, boru üzerindeki hidrolik yük arttığından debi artmaktadır. Yatay yönde ise, boru yerleşimi karaya doğru ilerledikçe drenaj debisi azalmaktadır. Drenaj debisinin yatayda her 20cm'de %20 oranında, düşeyde ise her 15 cm'de %15-20 oranında değiştiği belirtilebilir.

Öte yandan drenajla çekilen su debisinin erozyon alanına doğrudan etkisi bulunmamaktadır. Çekilen debi arttıkça erozyonda bir azalma gözlenmemiştir. Bundan ziyade drene edilen suyun hangi konumdan çekildiği önem arzetmektedir.

c.Boru konumu sakin su seviyesi ile şev birleşimine yatayda yaklaştıkça bar da sahil çizgisine daha yakın bir konumda oluşmaktadır. Aynı yatay konum için, drenaj borusu daha derine yerleştirildiğinde ise bar drenajsız durumda oluşan bara daha yakın oluşmaktadır.

Drenaj sayesinde erozyonda bir azalma meydana geldiğinden, bar oluşumu için açığa taşınan malzemenin drenajsız duruma göre daha az olduğu ve bu nedenle de barın sahile daha yakın bir konumda oluştuğu görülmektedir.

d.Drenaj nedeniyle erozyon alanında oluşacak azalma yüzdesinin belirgin dalga yüksekliği arttıkça azaldığı görülmüştür. Buna göre dalga yüksekliği 23 cm'den büyük değerler için drenajın sahil profili üzerinde erozyonu azaltıcı herhangi bir etkisinin kalmadığı ortaya çıkmaktadır.

e.Drene edilen su debisi, suyun biriktirileceği hazne hacminin hesabında ve bu hazneden suyu denize pompalayacak pompanın kapasitesinin belirlenmesinde kullanılacak ana parametre olacağından önemlidir. Debi hem dalga özellikleri hem de borunun yerleşim konumuyla değişmektedir.

Dalga yüksekliği dikkate alındığında, yüksek dalgaların sahile vurması halinde, dalga tırmanma yüksekliği artacağından çekilen debi artmaktadır. Altı yerleşim konumu dikkate alındığında, boru konumu nerede olursa olsun, dalga etkisinde drene edilen su debisi, deney süresince sabit kalmıştır.

f. dalga etkisinde sahil profilinde oluşacak erozyon miktarının belirlenmesi, kıyı yapılarının stabilitelerini hesaplayabilmek ve sahilde erozyonun etkilerini bertaraf edebilmek amacıyla alınabilecek önlemleri tasarlayabilmek açısından önem taşımaktadır.

Erozyon alanında azalmanın nedeni olarak, drenaj neticesinde dalga tırmanma yüksekliklerinde yaşanan azalma gösterilebilir. Drenajla beraber, dalga tırmanma yüksekliklerinde %30'a varan düşüşler yaşanmıştır.

KAYNAKLAR

Ahrens, J.P., and Seelig, W.N. (1996), "Wave Runup on Beaches," *Proceeding of the 25th Coastal Engineering Conference,* American Society of Civil Engineers, pp.981-993.

Airy, G.B, 1845. Tides and Waves, *Encyclopaedia Metropolitana*, London, J.J. Griffin.

Alaee, M.J. and Moghaddam, P.R., 2002. Dewatering a solution for shore protection- the Caspian Sea, Littoral 2002, *The Changing Coast, EUROCOAST / EUCC*, Porto – Portugal.

Austin, M.J. **ve Masselink, G.,** 2006. Swash-groundwater interaction on a steep gravel beach. *Continental Shelf Research*, **26**, 2503-2519.

Bagnold, R.A., 1940. Beach formation by waves: some model experiments in a wave tank, *Journal of the Institute of Civil Engineers*, **15**, 27-54.

Baird, A.J. and Horn, D.P., 1996. Monitoring and modelling groundwater behaviour in sandy beaches, *J. of Coastal Research*, **12**/3, 630-640.

Baldock, T.E., Holmes, P., 1998. Seepage effects on sediment transport by waves and currents. *Proceedings of the 26th International Conference on Coastal Engineering.* ASCE, New York, pp.3601-3614.

Battjes, J.A., 1974. "Surf Similarity," *Proceedings of the 14th Coastal Engineering Conference,* American Society of Civil Engineers, pp. 569-587.

Birleşmiş Milletler, USES: Human Settlements on the Coast, 2006 *www.oceansatlas.org*.

Butt, T., Russell, P. And Turner, I., 2001. The influence of swash infiltration – exfiltration on beach face sediment transport: onshore or offshore?, *Journal of Coastal Engineering*, **42**, 35-52.

Buxbom, I.P, Fredsoe,J, Sumer, B.M., Conley, D.C., Christansen, E.D., 2003. Large eddy simulation of turbulent wave boundary layer subject to constant ventilation. *Proceedings of the International Conference on Coastal Sediments*. USA, 14pp.

Carabin, G. and Dassargues, A., 1999. Modelling groundwater with ocean and river interaction, *Water Resources Research*, **35**/8, 2347-2358.

Cartwright, N., Nielsen, P., Li, L., 2004. Experimental observations of watertable waves in an unconfined aquifer with a sloping boundary. *Advances in Water Resources*, **27**, 991-1004.

CERC-Coastal Engineering Research Center (1984), *Shore Protection Manual*, Vols. 1 & 2.

Chappel, J., Eliot, I.G., Bradshaw, M.P. and Lonsdale, E., 1979. Experimental control of beach face dynamics by watertable pumping, *Engineering Geology*, **14**, 29-41.

Conley, D.C., ve Inman, D., 1994. Ventilated oscillatory boundary layers, *Journal of Fluid Mechanics*, **273**, 261-284.

Davis, G.A., Hanslow, D.J., Hibbert, K. and Nielsen, P., 1992. Gravity drainage: a new method of beach stabilisation through drainage of the watertable. *Proceedings International Conference on Coastal Engineering*, pp. 1129-1141.

Dean, R.G., 1990. Independent analysis of beach changes in the vicinity of the Stabeach System at Sailfish Point, Florida, Report Prepared for Coastal Stabilization Inc., 16 p.

Dominick, T.F., Williams, B. and Roberts, H., 1971. Mathematical model for beach groundwater fluctuations, *Water Resources Research*, **7**/5, 1626-1635.

Duncan, J.R., 1964. The effects of water table and tidal cycle on swash-backwash sediment distribution and beach profile development, *Marine Geology*, **2**, 186-197.

Elfrink, B., ve Baldock T.E., 2002. Hydrodynamics and sediment transport in the swash zone: a review and perspectives. *Coastal Engineering*, **45**, 149-167.

Emery, K.O. and Foster, J.F., 1948**.** Water tables in marine beaches, *Journal of Marine Research*, **7**, 644-654.

Fema Report, Guidelines and specifications for flood hazard mapping partners, January 2005.

Freeze, R.A. ve Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*, Prentice-Hall, Englewood, Cliffs, NJ.

Ghyben, B.W., 1889. Nota in verband met de voorgenomen put boring nabij Amsterdam. The Hague. *K. Inst. Ing. Tydschrift*, pp. 8–22.

Gillham, R.W., 1984. The capillary fringe and its effect on watertable response. *Journal of Hydrology*, **67**, 307-324.

Gourlay, M.R., 1992. Wave set-up, wave run-up and beach water table: interaction between surf zone hydraulics and groundwater hydraulics, *J. of Coastal Engineering*, **17**, 93-144.

Grant, U.S., 1946. Effect of ground-water table on beach erosion, Abstract, *The Bulletin of the geological Society of America*, 57, 1252.

Grant, U.S., 1948**.** Influence of the water table on beach aggradation and degradation, *Journal of Marine Research*, **7**, 655-660.

Greenwood, B. ve Osborne, P.D., 1990. Vertical and horizontal structure in cross-shore flows: an example of undertow and wave set-up on a barred beach. *Coastal Engr*. **14**, 543-580.

Guza, R.T. ve Thornton, E.B., 1981. Wave set-up on a natural beach, *J. of Geophys. Res.* **86**, 4133-4137.

Günaydın, K., Kapdaşlı, M.S. and Aydıngakko, A., 2001. Yer altı su seviyesinin kıyı stabilitesine etkileri, *Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları III. Ulusal Konferansı,* İstanbul, 26-29 Haziran, s. 579-588.

Hegge, B.J. and Masselink, G., 1991. Groundwater – table responses to wave run-up: an experimental study from western Australia, *J. of Coastal Research*, **7**/3, 623-634.

Herrington, T.D., 1993. Laboratory study of the Stabeach erosion control system, *report prepared for Coastal Stabilization, Inc.* Davidson laboratory, Stevens Institute of Technology, Hoboken, new jersey, 30p.

Herzberg, A., 1901. Die Wasserversorgung einiger Nordseebäder, *J. Gasbeleuchtung Wasserversorgung* **44** (1901), pp. 815–819 842–844.

Hoque, A. ve Asano, T., 2007. Numerical study on wave-induced filtration flow across the beach face and its effects on swash zone sediment transport, *Ocean Engineering.* **34**. 2033-2044.

Horn, D.P., 2002. Beach groundwater dynamics, *J. of Geomorphology*, **48**, 121-146.

Horn, D.P., 2006. Measurements and modelling of beach ground water flow in the swash-zone: a review. *Continental Shelf Research*, **26,** 622-652.

Hughes, M.G., 1995. Friction factors for wave uprush, *Journal of Coastal Research*, **11**/4, 1089-1098.

Hughes, M.G., Masselink, G., Brander, R.W., 1997. Flow velocity and sediment trasnport in the swash zone of a steep beach. *Marine Geology*. **138**. 91-103.

Hughes, M.G., Turner, I., 1999. *The beachface*. In: Short, A.D. (Ed.), Handbook of Beach and Shoreface Morphodynamics. Wiley, Chicester, pp. 119-144.

Hunt, I.A. (1959), "Design of Seawalls and Breakwaters," *Journal of the Waterways and Harbors Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, Vol. **85**, No. WW3, pp. 123-152.

Kabdaşlı, M.S., 1992. *Kıyı Mühendisliği*. İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası. İstanbul.

Kabdaşlı M.S. ve Ünal, N.E., 1996. Düzensiz dalga kanalının performansı, *İnşaat mühendisliğinde bilgisayar kullanımı V. Sempozyumu*, 11-14 Haziran, İstanbul.

Kang, H.Y., Nielsen, P. and Hanslow, D.J., 1994. **W**atertable overheight due to wave runup on a sandy beach, *Proceedings of the Twenty-Fourth International Conference* held in Kobe, Japan, October 23-28., pp. 2115-2124.

Karambas, T.V., 2003. Modelling of infiltration – exfiltration effects of cross-shore sediment transport in the swash zone, *Coastal Engineering Journal*, **45**/1, 63-82.

Karambas, T.V. ve Koutitas, C. 2002. Surf and Swash zone morphology evolution induced by nonlinear waves, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*. **128,** 3. pp. 102-113.

Katoh, K., Yanagishima, S.I., Hasegawa, I. and Katano, A., 2000. Field experiments in relation to a gravity-drained system as a soft shore protection measure, *1st International Conference on Soft Shore Protection, Patrai*, Greece, October 2000, 157-170.

Kawata, Y. And Tsuchiya, Y., 1986. Applicability of sub-sand filter system to beach erosion control, *Proceedings of 20th International Conference on Coastal Engineering*, pp.189-190.

King, B.A, Blackley, M.W.L, Carr, A.P. ve Hardcastle, P.J., 1990. Observations of wave induced set-up on a natural beach, *J. of Geophys*. Res., **95**: 22289-22297.

Kovacs, G., *Seepage Hydraulics*, Elsevier Science, New York, 1981.

Lambert, A., Rey, V., Samat, O. and Provansal, M., 2005. Watertable monitoring on a beach equipped with a dewatering system: relationship between watertable elevation and beach morphology, preliminary results, *4th IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics*, Urbana, Illinois, USA, October 4-7.

Larson, M, Kubota, S. ve Erikson, L. 2001. A model of sediment transport and profile evolution in the swash zone, *Coastal Dynamics*, Lund, Svendsen, eds. H. Hanson and M. Larson, ASCE, pp. 898-907.

Li, H., Boufadel, M.C., Weaver, J.W., 2008. Tide-induced seawater-groundwater circulation in shallow beach aquifers. *Journal of Hydrology*, **352**, 211-224.

Li, H. ve Jiao, J.J., 2002. Advanced solutions of tidal groundwater flow in coastal two-aquifer system, *Advances in Water Resources*, **25**, 417-426.

Li, H. ve Jiao, J.J., 2003. Tide-induced seawater-ground water circulation in a multi-layered coastal leaky aquifer system. *Journal of Hydrology*, **274**, 211-224.

Li, L. and Barry, D.A., 2000. Wave-induced beach groundwater flow, *Advances in Water Resources*, **23**, 325-337.

Li, L., Barry, D.A., Parlange, J.Y. and Pattiaratchi, C.B., 1997b. Beach water table fluctuations due to wave run-up: capillary effects, *Water Resources Research*, **33**/5, 935-945.

Li, L., Barry, D.A. and Pattiaratchi, C.B., 1996. Modeling coastal ground-water response to beach dewatering, *J. of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, **122**/6, 273-280.

Li, L., Barry, D.A. and Pattiaratchi, C.B., 1997a. Numerical modelling of tide-induced beach water table fluctuations, *Journal of Coastal Engineering*, **30**, 105-123.

Li, L., Barry, D.A., Pattiaratchi, C.B. and Masselink, G., 2002. BeachWin: modelling groundwater effects on swash sediment transport and beach profile changes, *J. of Environmental Modelling & Software*, **17**, 313-320.

Li, L., Barry, D.A., Stagnitti, F., Parlange, J.Y. and Jeng, D.S., 2000. Beach water table fluctuations due to spring-neap tides: moving boundary effects, *Advances in Water Resources*, **23**, 817-824.

Li, L., Dong, P. and Barry, D.A., 2002. Tide-induced water table fluctuations in coastal aquifers bounded by rhythmic shorelines, *Journal of Hydraulic Engineering*, **128**/10, 925-933.

Longuet-Higgins, M.S., 1983. Wave set-up, percolation and undertow in the surf zone, *Proceedings of the Royal Society A*, **390**, 283-291.

Longuet-Higgins, M.S. ve Parkin, D.W., 1962. Sea waves and beach cusps. *Geographical Journal*, **128,** 194-201.

Machemehl, J.L., French, T.J. and Huang, N.E., 1975. New method for beach erosion control, Proceedings: Engineering in the Oceans, *American Society of Civil Engineers Specialty Conference*, pp. 142-160.

Mclahlan, A. 1989. Intertidal zonation of macrofauna and stratification of meiofauna on high energy sandy beaches in the Eastern Cape, South Africa, *Trans.R.Soc.S.Afr.*, **44**, 213-223.

Martin, C.S., 1970. Effect of a porous sand bed on incipient sediment motion, *Water Resources Research*, **6**, 1162-1174.

Martin,C.S. and Aral, M.M., 1971. Seepage force on interfacial bed particles, *J. of the Hydraulics Division*, ASCE, **7**, 1081-1100.

Mase, H., 1989, "Random Wave Runup Height on Gentle Slopes," *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, Vol. **115**, No. 5, pp. 649-661.

Masselink, G. and Hughes, M., 1998. Field investigation of sediment transport in the swash zone, *J. of Continental Shelf Research*, **18**, 1179-1199.

Masselink, G. and Li, L., 2001. The role of swash infiltration in determining the beachface gradient: a numerical study, *J. of Marine Geology*, **176**, 139-156.

Masselink, G. and Short, A.D., 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model, *J. of Coastal Research*, **9**/3, 785-800.

Nelson, C.L., Miller, R.L., 1974. The interaction of fluid and sediment on the foreshore. *Fluid Dynamics and Sediment Transport Laboratory Technical Report,* No.15, Department of Geophysical Sciences, University of Chicago, 175pp.

Nielsen, P., 1990. Tidal dynamics of the water table in beaches, *Water Resources Research*, **36**/9, 2127-2134.

Nielsen, P., 1997. Coastal groundwater dynamics. In: Thornton, E.B. (Ed.), *Coastal Dynamics*. American Society of Civil Engineers, New York, pp. 546-555.

Nielsen, P., 2002. Shear stress and sediment transport calculations for swash zone modelling. *Coastal Engineering*. **45**. 53-60.

Nielsen, P., Aseervatham, R., Fenton, J.D. ve Perrochet, P., 1997. Groundwater waves in aquifers of intermediate depth. *Advances in Water Resources*, Vol.20, No.1, 37-43.

Nielsen, P., Davis, G.A., Winterbourne, J.M., Elias, G., 1988. Wave setup and the water table in sandy beaches. *Technical Memorandum T.M.88/1*, New South Wales Public Works Department, Coastal Branch 132pp.

Nielsen, P. and Hanslow, D.J., 2001. "Wave Runup Distributions on Natural Beaches," *Journal of Coastal Research*, **Vol. 7**, No. 4, pp. 1139-1152.

Nielsen, P., Robert, S., Christiansen, B.M. and Oliva, P., 2001. Infiltration effects on sediment mobility under waves, *J. of Coastal Engineering*, **42**, 105-114.

Nielsen P. and Turner I. (2000) Groundwater waves and water exchange in beaches. *Proc. 27th Intl. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, Sydney, Australia, pp2356-2363.

Obhrai, C., Nielsen, P. and Vincent, C.E., 2002. Influence of infiltration on suspended sediment under waves, *J. of Coastal Engineering*, **45**, 111-123.

Ogden, M.R. and Weisman, R.N., 1991. Beach stabilization using drains – an experimental model study. In: Kraus, N.C.; Gingerich, K.J., and kriebel, D.L. (eds), *Coastal sediments'91*, ASCE, Vol.2, 1955-1969.

Oh T.M. and Dean R.G., 1994. Effects of controlled water table on beach profile dynamics, *Proc. of 24th Int. Conf. on Cosatal Engineering*, October 23-28, 1994, Kobe, Japan.

Oldenziel, D.M., Brink, B.E., 1974. Influence of suction and blowing on entrainment of sand particles, *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, 100, 935-949.

Ovesen, N.K. and Schuldt, J.C., 1992. Beach management system – documentation summary report, Danish Geotechnical Institute, 20p.

Packwood, A.R., 1983. The influence of beach porosity on wave uprush ad backwash. *Coastal Engineering*, **7,** 29-40.

Rakha, K.A., Deigaard, R. Ve Broker, I. 1997. A phase-resolving cross shore transport model fro beach evolution, *Coastal Engineering*, **31**, 231-261.

Rance, P.J. ve Warren, M.F., 1968. The threshold movement of coarse material in oscilaatory flow. *Proceedings of 11th Conference on Coastal Engineering*, London, England, pp.487-491.

Rao, A.R., Subrahmannyam, V., Thayumanavan, S., Namboodiripad, D., 1994. Seepage effects on sand-bed channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. **120** (1), 60-79.

Raubenheimer, R., Guza, R.T. and Elgar, S., 1999. Tidal water table fluctuations in a sandy ocean beach, *Water Resources Research*, **35**/8, 2313-2320.

Sato, M., Hata, S. and Fukushima, M., 1994. An experimental study on beach transformation due to waves under the operation of coastal drain system, *Proceedings of the Twenty-Fourth International Conference* held in Kobe, Japan, October 23-28., pp. 2571-2582.

Sato, M., Nishi, R, Kazuo, N, Sasaki, T., 2003. Short-term field experiments on beach transformation under the operation of a coastal drain system. *Soft Shore Protection*, 171-182.

Sato, M., Nishi, R., Nakamura, K. and Sasaki, T., 2000. Short-term field experiments on beach transformation under the operation of a coastal drain system, *1st International Conference on Soft Shore Protection*, Patrai, Greece, October 2000, 171-182.

Shields, A. 1936. Application of similarity principles and turbulence research to bedload movement, *Hydrodynamics Laboratory*, California Institute of Technology, Publication No. 167.

Smiles, D.E. and Stokes, A.N., 1976. Periodic solutions of a nonlinear diffusion equation used in groundwater flow theory: examination using a Hele-Shaw Model, *Journal of Hydrology*, **31**, 27-35.

Sorensen, R.M., *Basic wave mechanics*: for coastal and ocean engineers, New York, Wiley, 1993.

Strack, O.D.L., 1976. A single-potential solution for general interface problems in coastal aquifers, *Water Resources Research*, **V.12**, No.1, pp.65-70.

Strahler, A.N., 1966. Tidal cycle of changes in an equilibrium beach, Sandy Hook, New Jersey, *The Journal of Geology*, **74**, 247-268.

Sümer, B.M., Ünsal, İ., Bayazıt, M., 1983. *Hidrolik*. Birsen Yayınevi.

Svendsen, I.A. ve Johnson, I.G., 1980. Hydrodynamics of Coastal Regions. Technical University of Denmark.

Şen, Z. 2003**.** *Yer altı Suyu Hidrojeoloji*. Su Vakfı Yayınları.

Terchunian, A.N., 1989. Performance of the Stabeach System at Hutchinson Island, Florida, *Proceedings of the 2nd National Conference on Beach Preservation Technology*, Florida Shore and Beach Preservation Association, 219-238.

Todd, D.K, **Mays, L.W.,** 2005. *Groundwater Hydrology*. John Wiley and Sons Inc.New York.

Turner, I.L. 1995, A field study examining the practical significance of tides and waves to groundwater investigation in the coastal zone. *NSW Public Works Technical Report* No:95031, 125 pg.

Turner, I.L., Coates, B.P. and Acworth, R.I., 1997. Tides, waves and the super-elevation of groundwater at the coast, *Journal of Coastal Research*, **13**/1, 46-60.

Turner, I.L. and Leatherman, S.P., 1997. Beach dewatering as a 'soft' engineering solution to coastal erosion – a historical and critical review, *Journal of Coastal Research*, **13**/4, 1050-1063.

Turner, I.L. ve Masselink, G., 1998. Swash infiltration and exfiltration and sediment transport. *J. of Geophys. Res*., **103**, 30813-30824.

Turner, I.L. and Nielsen, P., 1997. Rapid water table fluctuations within the beach face: implications for swash zone sediment mobility?, *J. of Coastal Engineering*, **32**, 45-59.

Ünal, N.E., 1996. Düzenli ve düzensiz dalgaların etkisiyle şev üzerindeki iri tanelerin harekete başlaması. *Doktora tezi*, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.

Vesterby, H., 1995. Beach face dewatering: the eco-friendly approach to coastal restoration, *COPEDEC IV*, Rio de Janeiro, Brasil, September 1995, 83-95.

Vesterby, H., 2000. Modelling groundwater flow in beach profiles for optimising stabilising measures, *International Coastal Symposium*, Rotorua, New Zeland, 24-28 April.

Vesterby, H., Mangor, K. and Refsgaard, A., 1999. The beach drainage concept: development of an engineering design tool, *Coastal Stability and Engineering Aspects of Coastal Zone Management*, Cape Town, South Africa, April 1999, 961-971.

Waddell, E., 1976. Swash-groundwater-beach profile interactions. In.Davis, R.A., Etherington, R.L. (eds.), *Beach and Nearshore Sedimentation.* Society of Economic and paleontological Mineralogists Special Publication, **24**, 115-125.

Watters, G.Z., Rao, M.V.p., 1971. Hydrodynamic effects of seepage on sand bed particles, *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, **97**, 421-439.

Weisman, R.N., Seidel, G.S. and Ogden, M.R., 1995. Effect of water – table manipulation on beach profiles, *J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, **121**/2, 134-142.

Willets, B.B., Drossos, M.E., 1975. Local erosion caused by rapid infiltration. *Journal of the Hydraulics Division*, ASCE, **101,** 1477-1488.

Yanagishima, S.I. ve Katoh, K., 1990. Field observation on wave set-up near the shoreline, proc. *22nd Coastal Engineering Conf.*, delft, July 1990, ASCE, New York, **Vol.1** Ch.7, pp.95-108.

EKLER

EK A : Sahil drenajı saha uygulamaları
EK B : Sızma etkileri ile ilgili çalışmalar
EK C : Profil verileri
EK D : Deneylerde elde edilen veriler

EK A

Çizelge A.1 : Sahil drenajı saha uygulamaları

	Proje	Kurulum Yılı	Sistem Uzunluğu	Gelgit Aralığı	Başlangıç Sahil Eğimi	Kum Medyan Tane Çapı	Pompa Kapasitesi	Yorumlar
1	Hirtshals W, Denmark	1981	200 m	~ 1,5 m	1:20	0,26	400 m^3/saat	25,000 m^3 kum her sene buradan alınıp diğer plajların beslenmesinde kullanılmaktadır.
2	Hirtshals E, Denmark	1983	200 m	~ 1,0 m	1:25	0,2	100 m^3/saat	sahil genişliği sabit tutulmuştur (önceki erozyon oranı: 7 m/yıl).
3	Thorsminde, Denmark	1985	500 m	~ 1,5 m	1:25	0,35	700 m^3/saat	Deneysel sistem, genişlik 25 m artmıştır.
4	Sailfish Point, Florida, USA	1988	177 m	0,8 m	1:25	0,3	340 m^3/saat	Genişlik sistem çalıştığı süre içinde 20-25m artmıştır.
5	Englewood Beach, Florida, USA	1993	200 m					Deneysel sistem fırtına dolayısıyla hasara uğramış ve yeniden kurulmamıştır.
6	Enoe Strand, Denmark	1994	600 m	0,5-1,0 m	1:15	0,25	300 m^3/saat	Genişlik Ağustos 1996'ya kadar 3 m artmıştır.
7	Towan Bay, U.K.	1994	180 m	7 m	1:45	0,2	200 m^3/saat	Sahil görünüşü iyileşmiş, sahil duvarının açıkta kalan temel ayağı güvenli hale gelmiştir.
8	Codfish Park Nantucket I, MA, USA	1994	357 m	1,0-1,5 m	1:45	1,5	700 m^3/saat	Sahil genişliği fırtına nedeniyle azalmıştır. Sahil erozyon oranı, drenaj yapılan bölgelerde, yapılmayanlara göre azalma göstermiştir.
9	Lighthouse S Nantucket I, MA, USA	1994	309 m	1,0-1,5 m	1:06	0,8	1400 m^3/saat	
10	Lighthouse N Nantucket I, MA, USA	1994	405 m	1,0-1,5 m	1:06	0,4	1400 m^3/saat	
11	Holme Beach, Norfolk, U.K.	1996	200 m	3,5 m				

Çizelge A.1 (devam) : Sahil drenajı saha uygulamaları

	Proje	Kurulum Yılı	Sistem Uzunluğu	Gelgit Aralığı	Başlangıç Sahil Eğimi	Kum Medyan Tane Çapı	Pompa Kapasitesi	Yorumlar
12	Chigasaki-Naka Beach, Japan	1996	180 m	1,6 m	1:10	0,5	500 m^3/saat	Tayfun nedeniyle kısa süre sistem kapatılmıştır. . Tamir edilip yeniden açılmış ve kıyı çizgisi ve sahil seviyesinde iyileşme görülmüştür.
13	Riumar I, Ebro Delta, Spain	1996	300 m	0,2-0,4m	1:20	0,2	290 m^3/saat	Ekim 97'deki ciddi fırtınadan sonra bile sahil genişliğinin korunduğu gözlenmiştir.
14	Hornbaek W, Denmark	1996	450 m	0,2-0,4m	1:10	0,3	170 m^3/saat	Genişliğin Mayıs 97'ye kadar 0-5 m arttığı gözlenmiştir. Mevsimsel salınımlarda azalma görülmüştür.
15	Hornbaek E, Denmark	1996	530 m	0,2-0,4m	1:20	0,3	325 m^3/saat	
16	Ystad, Sweden	1998	200 m	~1,0 m	1:15	0,3	240 m^3/saat	Sahil genişliğinin 10-15 m arttığı gözlenmiştir.
17	Branksome Chine, Dorset, UK	1998	100 m	~2,0 m	1:18	0,25	65 m^3/saat	Deneysel sistem sonucu sahil seviyesinde artış görülmüştür.
18&19	Hitotsumatsu Beach, Japan	1998	800 m	~2,0 m	1:20	0,25	600 m^3/saat	Birikme gözlenmiş ve sahil seviyesinde artış oluşmuştur.
20	Les Sables d'Olonne, France	1999	300 m	~6,0 m	1:70	0,25	250 m^3/saat	Birikme gözlenmiş ve drenaj yapılan sahil önü bölgesinde kuru bölge oluşmuştur.
21	Riumar II, Ebro Delta, Spain	1999	300 m	0,2-0,4 m	1:20	0,25	400 m^3/saat	2000 yılına kadar sahil genişliği 6-8 m artmıştır.
22	Markgrafenheide, Germany	2000	300 m	~0,3 m	1:30	0,7	300 m^3/saat	Ekim 2000'e kadar sahil genişliğinde 8-10 m artış gözlenmiştir.

Çizelge A.1 (devam) : Sahil drenajı saha uygulamaları

	Proje	Kurulum Yılı	Sistem Uzunluğu	Gelgit Aralığı	Başlangıç Sahil Eğimi	Kum Medyan Tane Çapı	Pompa Kapasitesi	Yorumlar
23	Lido di Ostia I, Italy	2000	115 m	~0,3 m	1:40	0,25	140 m^3/saat	Eylül 2001'e kadar sahil genişliğinde 10 m artış oluşmuştur.
24	Lido di Ostia II, Italy	2000	90 m	~0,3 m	1:40	0,25	140 m^3/saat	Şubat 2001'e kadar sahil genişliğinde 10 m artış oluşmuştur.
25	Lido di Ostia III, Italy	2000	175 m	~0,3 m	1:40	0,25	140 m^3/saat	Eylül 2001'e kadar sahil genişliğinde 15 m artış oluşmuştur.
26	Kota Bharu I, Malaysia	2002	500 m	~0.6 m	1:7	0,4	1000 m^3/saat	
27	Kota Bharu 2, Malaysia	2002	500 m	~0.6 m	1:10	0,4	1000 m^3/saat	
28	Les Sables d'Olonne (II), France	2002	600 m	~6,0 m				Nantes Üniversitesi tarafından yapılan bilimsel gözlemler.
29 - 32	Procida Island II, Italy	2003						Bari Üniversitesi tarafından yapılan bilimsel gözlemler.
33	Villers sur Mer, France	2003	300 m	~7,0 m				Caen Üniversitesi tarafından yapılan bilimsel gözlemler.
34	Saint Raphaël, France	2004	600 m	0,4 m				Aix/Marseille Üniversitesi tarafından yapılan bilimsel gözlemler.
35	Port Dickson, Malaysia	2004	400 m	~1,6 m	1:15	0,22	400 m^3/saat	
36	Morib, Malaysia	2004	200 m				200 m^3/saat	

EK B

Çizelge B.1 : Sızma etkileri ile ilgili çalışmalar.

Yazarlar	Çalışmanın tipi	Katı madde özellikleri	Sahile doğru sızma	Sahilden dışarı sızma
Bagnold (1940)	Laboratuvar, tana 0.34, düzenli dalgalar	3-9 mm çakıl	Yüzeyin altında geçirimsiz tabaka (sızmayı engelleyici), geri dönen dalgalarla katı madde taşınımı artmıştır.	Ölçülmemiştir.
Longuet-Higgins and parkin (1962)	Saha, çalkantı bölgesi, tanα 0.114 - 0.157	76 mm çakıl	Yüzeyin altında geçirimsiz tabaka (sızmayı engelleyici), geri dönen dalgalarla katı madde taşınımı artmıştır.	Ölçülmemiştir.
Martin (1970)	Laboratuvar, düz taban, U tüpünün içinde salınımlı akım	0.297mm cam taneleri, 0.57mm nikel parçaları, 0.185 ve 0.585mm kum	Rölatif yoğunluğa, tane boyutuna ve hidrolik iletkenliğe bağlı olarak hem artan hem engellenen taşınım. Büyük ve yoğun tanelerde taşınım artmış, küçük ve hafif tanelerde azalmıştır.	Taban sıvılaşıncaya kadar hareketin başlangıcına etkisi olmamıştır.
Watters ve Rao (1071)	Laboratuvar, düz taban, tek yönlü akım	95.25 mm plastik küreler	Katı madde hareketinde artış, türbülansta azalma.	Katı madde hareketinde azalma, türbülansta artma.
Nelson ve Miller (1974)	Laboratuvar, çalkantı bölgesi, dalga kanalı, tanα 0.035 - 0.052	0.55 mm kum	Geri dönen dalga akımında azalma, tırmanma limitindeki birikmede artış.	Ölçülmemiştir.

Çizelge B.1 (devam) : Sızma etkileri ile ilgili çalışmalar.

Yazarlar	Çalışmanın tipi	Katı madde özellikleri	Sahile doğru sızma	Sahilden dışarı sızma
Oldenziel ve Brink (1974)	Laboratuvar, düz taban, tek yönlü akım	0.13, 0.22, 0.38 ve 0.57mm kum	taşınım oranında azalma.	taşınım oranında artış.
Willets ve Drossos (1975)	Laboratuvar, düz taban, tek yönlü akım	0.1 ve 1.0 mm kum, 0.7mm kömür	Katı madde harekete başlaması zorlaşmış fakat hareket başladıktan sonra taşınım artmıştır.	Ölçülmemiştir.
Packwood (1983)	Model	____	Küçük ve orta büyüklükteki kum tane çaplarında çekilen dalga akımı azalmıştır. Dalga tırmanmasına etkisi az olmuştur.	Ölçülmemiştir.
Conley ve Inman (1994)	Laboratuvar, düz taban, salınımlı akım tüneli	Rijit geçirimli taban (0.18mm açıklığa sahip tuğlalar)	tabana yakın bölgede hız, türbülans ve kayma gerilmesi artışı.	tabana yakın bölgede hız, türbülans ve kayma gerilmesinde azalma.
Rao ve diğ. (1994)	Laboratuvar, düz taban, tek yönlü akım	0.34, 0,53 ve 0.8mm kum	katı madde konsantrasyonuna ve sızma oranına bağlı olarak taban kayma gerilmesinde artış veya azalma yaşanabilmektedir.	katı madde konsantrasyonuna ve sızma oranına bağlı olarak taban kayma gerilmesinde artış veya azalma yaşanabilmektedir.

Çizelge B.1 (devam) : Sızma etkileri ile ilgili çalışmalar.

Yazarlar	Çalışmanın tipi	Katı madde özellikleri	Sahile doğru sızma	Sahilden dışarı sızma
Baldock ve Holmes (1998)	Laboratuvar, dalga-akıntı kanalı, düz taban.	0.2 mm kum, 3mm antrakit.	üst katmanlarda katı madde taşınımında azalma, hareketin başlangıcına etkisi yok.	Üst katmanlarda katı madde taşınımında artış.
Turner ve Masselink (1998)	Saha, çalkantı bölgesi, tanα 0.07, modelleme.	0.5 mm kum	Sızma kuvveti hareketi azaltmıştır, taban kayma gerilmesi artışı hareketi artırmaktadır.	Sızma kuvveti hareketi artırmıştır, taban kayma gerilmesi artışı hareketi azaltmaktadır.
Butt ve diğ. (2001)	Saha, çalkantı bölgesi, tanα 0.0143, modelleme.	0.24mm kum	katı madde hareketinde azalma.	Katı madde hareketinde artma.
Masselink ve Li (2001)	Çalkantı bölgesi, modelleme	——	Çekilen dalga derinliğinde, akım hızı ve süresinde azalma, tırmanma çekilme asimetrisinde artış, sahile taşınımda artma.	Ölçülmemiştir.
Nielsen ve diğ. (2001)	Laboratuvar, dalga kanalı, düz taban, düzenli dalga	0.2 mm kum	Katı madde taşınabilirliği azalmıştır.	Ölçülmemiştir.

Çizelge B.1 (devam) : Sızma etkileri ile ilgili çalışmalar.

Yazarlar	Çalışmanın tipi	Katı madde özellikleri	Sahile doğru sızma	Sahilden dışarı sızma
Li ve diğ. (2002)	Çalkantı bölgesi, modelleme	___	Çekilen akımın hızı ve süresinde azalma, sahile doğru taşınımda artış.	Ölçülmemiştir.
Obhrai ve diğ. (2002)	Laboratuvar, dalga kanalı, düz taban, düzenli dalga	0.25mm kum	askı halindeki katı maddede azalma, tabanda stabilizasyon.	Ölçülmemiştir.
Buxbom ve diğ. (2003)	Modelleme	____	Tabana yakın akım hızında artış, hız profilinde dikleşme, türbülansta azalma, taban kayma gerilmesinde artış.	Tabana yakın akım hızında azalma, türbülansta artış taban kayma gerilmesinde azalma.

EK C

Çizelge C.1 : Drenajsız durumda deney verileri

deney no	31	32	33	34	41	42	43	39	40	44
Hs	8,54	11,56	12,66	12,52	16,61	12,08	16,14	15,89	18,78	14,39
Hs/L	0,08	0,07	0,10	0,05	0,10	0,11	0,07	0,10	0,08	0,09
E/H^2	4,53	4,18	2,47	3,53	2,28	2,38	2,75	2,68	2,86	2,91
E (cm^2)	330,00	558,00	396,00	552,70	628,03	346,70	717,50	677,70	1008,18	602,95
B (cm^2)	106,50	316,00	243,30	368,80	563,58	239,78	610,00	552,50	641,35	447,03
T	0,81	1,04	0,91	1,26	1,01	0,85	1,25	1,02	1,26	1,02
L	1,02	1,68	1,29	2,49	1,60	1,13	2,42	1,63	2,48	1,63
Xg	58,28	98,52	72,86	99,77	121,46	74,39	118,12	112,25	127,90	104,27
hg	9,89	16,43	11,85	16,24	19,64	12,30	18,98	18,08	20,53	17,16
Ht	47,94	59,16	63,24	71,40	68,85	54,06	73,44	73,44	87,72	68,85
H/wT	2,641	2,786	3,474	2,475	4,095	3,549	3,238	3,883	3,727	3,519
H/gT^2	0,0133	0,0110	0,0155	0,0080	0,0165	0,0170	0,0106	0,0155	0,0121	0,0140

Çizelge C.2 : Drenajlı durumda (2. konum) deney verileri

deney no	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
Hs	8,54	11,56	12,66	12,52	16,61	12,08	16,14	15,89	18,78	14,39
Hs/L	0,08	0,07	0,10	0,05	0,10	0,11	0,07	0,10	0,08	0,09
E/H^2	7,712	2,24	1,35	2,24	1,61	1,32	2,13	1,75	2,34	2,05
E (cm^2)	124,71	298,65	216,90	351,23	443,75	192,10	554,13	442,00	826,15	425,20
B (cm^2)	99,05	199,50	139,75	387,50	502,50	210,70	505,40	486,50	718,00	356,10
T	0,81	1,04	0,91	1,26	1,01	0,85	1,25	1,02	1,26	1,02
L	1,02	1,68	1,29	2,49	1,60	1,13	2,42	1,63	2,48	1,63
Xg	41,75	65,93	55,33	97,52	104,20	64,72	110,39	108,31	137,05	97,22
hg	6,83	11,71	8,96	15,94	16,64	10,62	17,63	17,51	22,15	15,75
Ht	33,65	44,87	39,77	53,03	62,21	44,87	65,27	55,07	68,33	58,13
H/wT	2,641	2,786	3,474	2,475	4,095	3,549	3,238	3,883	3,727	3,519
H/gT^2	0,0133	0,0110	0,0155	0,0080	0,0165	0,0170	0,0106	0,0155	0,0121	0,0140

Burada, Hs: dalga yüksekliği, L: dalga boyu, E: erozyon alanı, B: bar alanı, T: dalga periyodu, Xg: bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesi ile şev birleşimine yatay mesafesi, hg: bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesine düşey mesafesi, Ht: dalga tırmanma yüksekliği, w: katı madde çökelme hızı, g: yerçekimi ivmesidir.

Çizelge C.3 : Drenajlı durumda (5. konum) deney verileri

deney no	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Hs	8,54	11,56	12,66	12,52	16,61	12,08	16,14	15,89	18,78	14,39
Hs/L	0,08	0,07	0,10	0,05	0,10	0,11	0,07	0,10	0,08	0,09
E/H²	2,41	2,42	1,88	3,31	2,16	1,76	2,62	2,12	2,47	2,40
E (cm²)	175,35	323,80	301,00	518,70	595,00	257,15	685,00	534,50	870,70	496,90
B (cm²)	138,10	267,50	226,00	367,85	467,50	146,00	530,63	309,55	663,95	353,80
T	0,81	1,04	0,91	1,26	1,01	0,85	1,25	1,02	1,26	1,02
L	1,02	1,68	1,29	2,49	1,60	1,13	2,42	1,63	2,48	1,63
Xg	59,56	89,97	83,16	96,66	119,76	62,57	129,25	86,49	144,15	98,10
hg	10,05	15,44	13,80	16,20	19,61	10,57	21,45	14,43	23,97	16,33
Ht	37,22	42,83	47,93	58,13	58,13	42,83	68,33	56,09	70,37	56,09
H/wT	2,641	2,786	3,474	2,475	4,095	3,549	3,238	3,883	3,727	3,519
H/gT²	0,0133	0,0110	0,0155	0,0080	0,0165	0,0170	0,0106	0,0155	0,0121	0,0140

Burada, Hs: dalga yüksekliği, L: dalga boyu, E: erozyon alanı, B: bar alanı, T: dalga periyodu, Xg: bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesi ile şev birleşimine yatay mesafesi, hg: bar ağırlık merkezinin sakin su seviyesine düşey mesafesi, Ht: dalga tırmanma yüksekliği, w: katı madde çökelme hızı, g: yerçekimi ivmesidir.

Çizelge C.4 : Hs= 8,535 cm dalga etkisinde deney verileri

	1. konum	2. konum	3. konum	4. konum	5. konum	6. konum
E	172,325	85,350	156,350	143,375	175,35	152,00
B	74,35	99,050	108,800	75,700	138,1	90,525
X_g	47,215	41,75	49,603	42,08	59,56	64,42
h_g	7,91	6,828	8,060	6,819	10,045	11,04
Ht	41,8118	33,653	40,792	37,733	37,2227	33,6534
$Q_ç$	6,52234	4,677464	3,05624	9,626144	6,11754	5,352468
$Q_ç/KH^2$	833,66	597,85	390,63	1230,38	781,92	684,13
X_b/Y_b	1	2,33	3,670	0,500	1,17	1,83
Y_b/X_b	1,00	0,43	0,27	2,00	0,85	0,55
X_b	0,15	0,35	0,550	0,150	0,35	0,55
Y_b	0,15	0,15	0,150	0,300	0,3	0,3
Y_bH/X_b^2	0,0569	0,0105	0,0042	0,1138	0,0209	0,0085
H/gT^2	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013	0,0013
H/wT	0,2641	0,2641	0,2641	0,2641	0,2641	0,2641

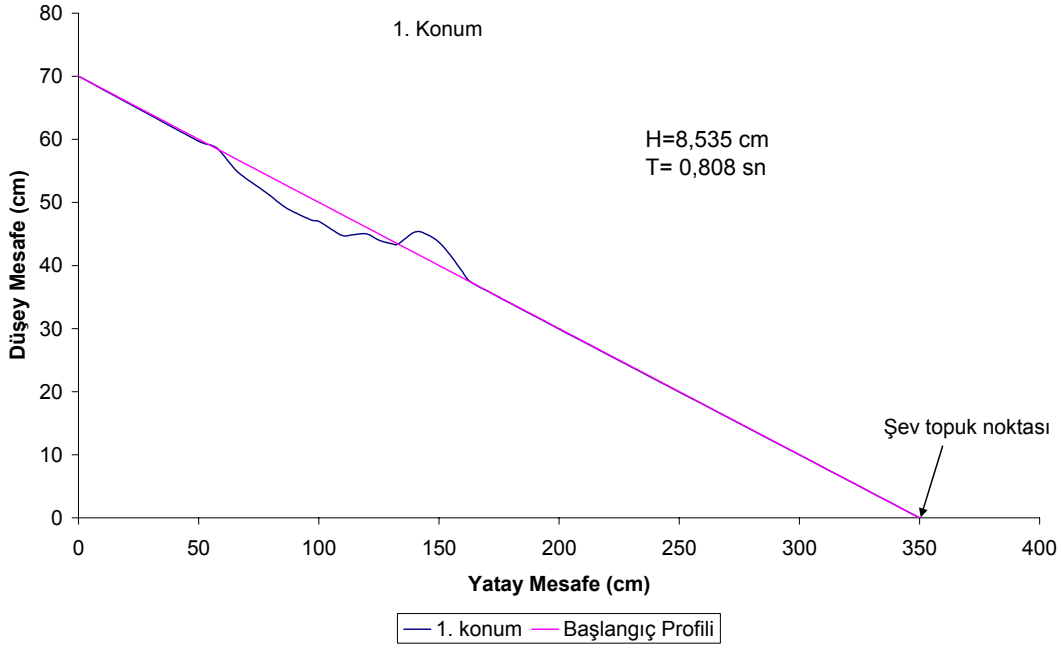
Çizelge C.5 : Hs=14,386 cm dalga etkisinde deney verileri

	1. konum	2. konum	3. konum	4. konum	5. konum	6. konum
E	451,75	425,2	461,325	452,075	496,9	452,12
B	407,85	356,1	351,075	317,075	353,8	373,22
X_g	105,26	97,220	103,13	89,95	98,1	105,33
h_g	17,49	15,747	17,145	15,100	16,33	17,576
Ht	53,0296	58,129	55,069	48,950	56,089	53,0296
$Q_ç$	7,646672	5,398	4,048	10,436	6,792544	6,297676
$Q_ç/KH^2$	344,02	242,85	182,11	469,50	305,59	283,33
X_b/Y_b	1	2,33	3,670	0,500	1,17	1,83
Y_b/X_b	1	0,42918455	0,27247956	2	0,85470085	0,54644809
X_b	0,15	0,35	0,550	0,150	0,35	0,55
Y_b	0,15	0,15	0,150	0,300	0,3	0,3
Y_bH/X_b^2	0,0959	0,0176	0,0071	0,1918	0,0352	0,0143
H/wT	0,3519	0,3519	0,3519	0,3519	0,3519	0,3519
H/gT^2	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014

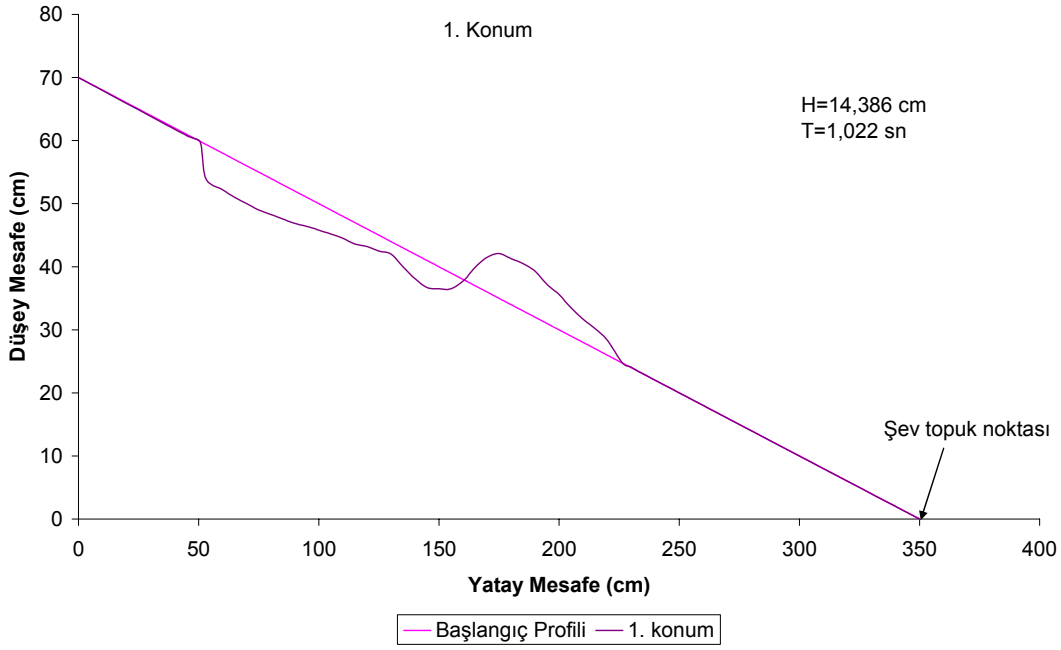
Çizelge C.6 : Hs=18,782 cm dalga etkisinde deney verileri

	1. konum	2. konum	3. konum	4. konum	5. konum	6. konum
E	798,475	826,150	876,700	857,600	870,7	823,55
B	747,81	718,000	782,280	804,300	663,95	839,5
X_g	137,91	137,05	144,81	139,92	144,15	148,66
h_g	22,623	22,153	23,874	22,800	23,97	24,633
Ht	70,3662	68,327	78,525	77,505	70,3662	69,3464
$Q_ç$	7,8936	5,781	4,925	10,548	7,241872	6,432272
$Q_ç/KH^2$	208,34	152,57	130,00	278,41	191,14	169,77
X_b/Y_b	1	2,33	3,670	0,500	1,17	1,83
Y_b/X_b	1	0,42918455	0,272	2,000	0,85470085	0,54644809
X_b	0,15	0,35	0,550	0,150	0,35	0,55
Y_b	0,15	0,15	0,150	0,300	0,3	0,3
Y_bH/X_b^2	0,1252	0,0230	0,0093	0,2504	0,0460	0,0186
H/gT^2	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
H/wT	0,3727	0,3727	0,3727	0,3727	0,3727	0,3727

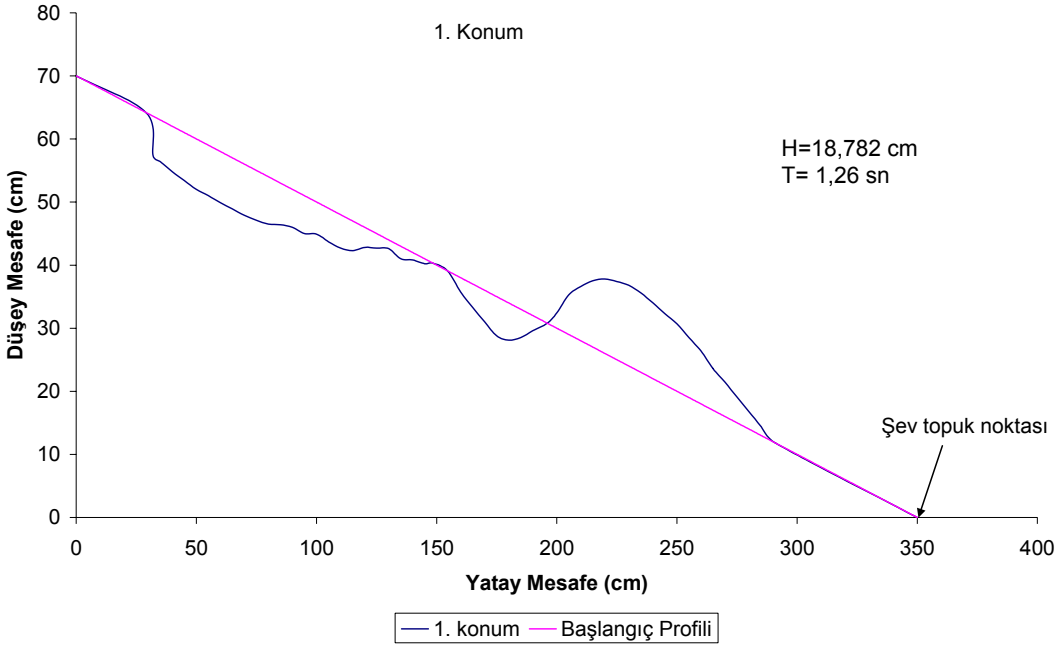
EK D



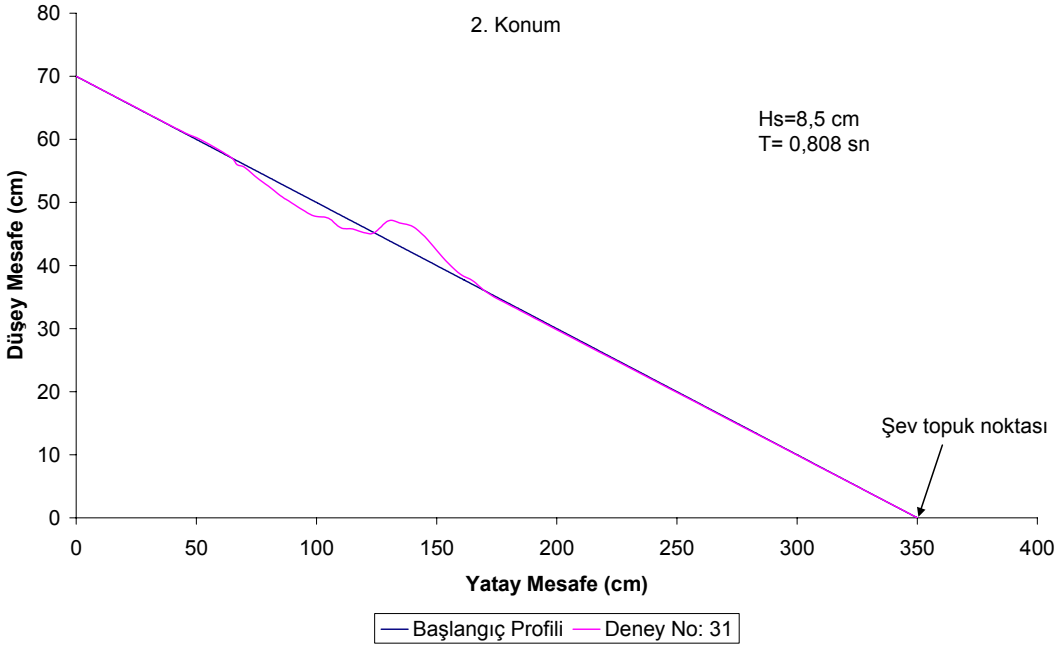
Şekil A.1 : 88 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



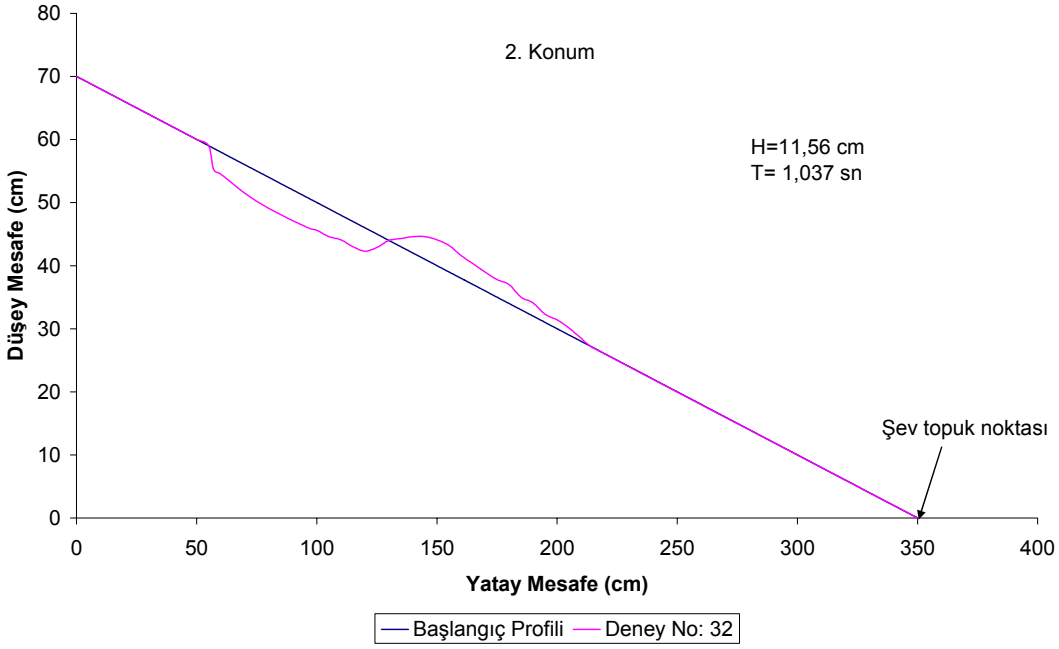
Şekil A.2 : 86 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



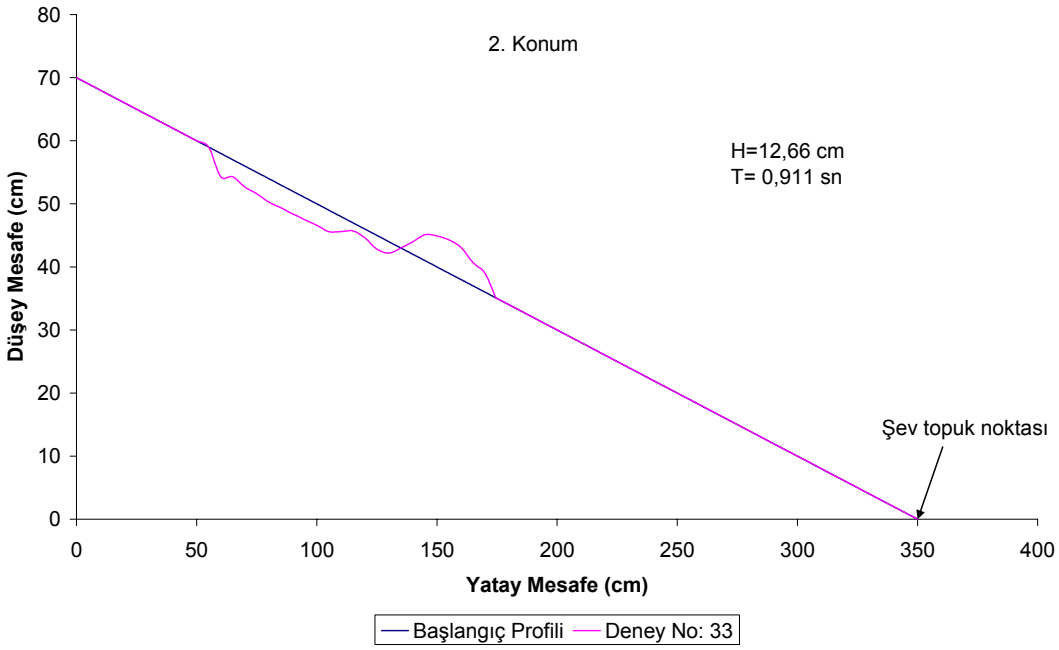
Şekil A.3 : 87 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



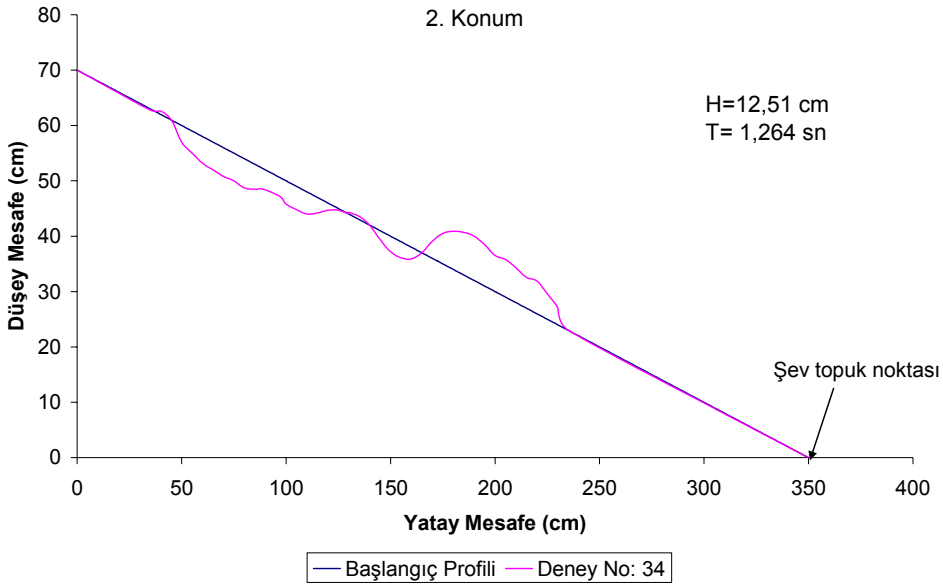
Şekil A.4 : 31 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



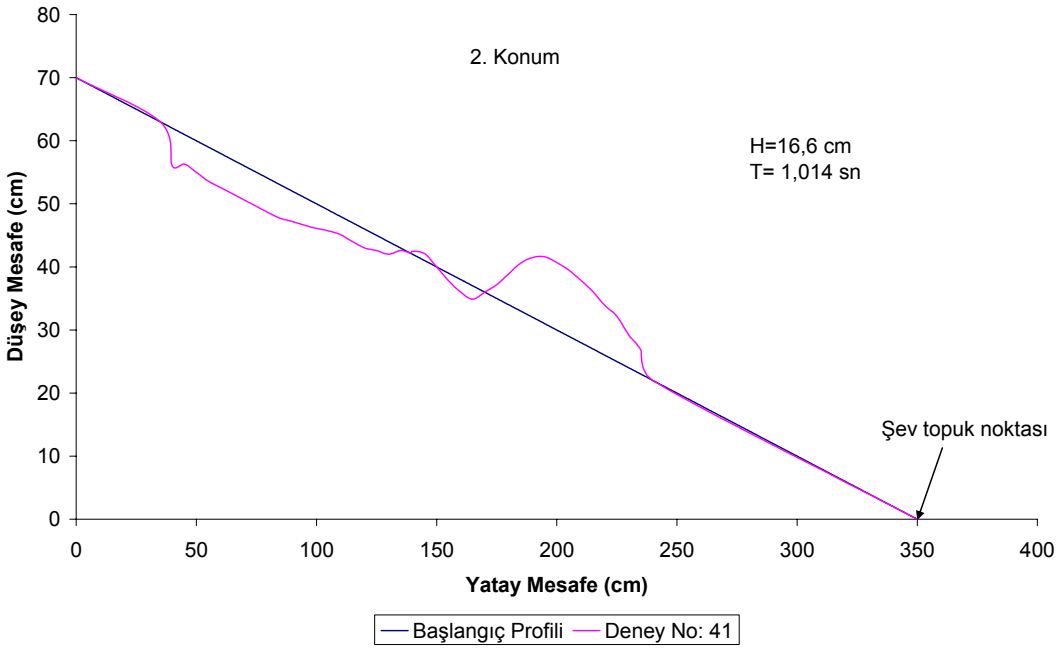
Şekil A.5 : 32 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



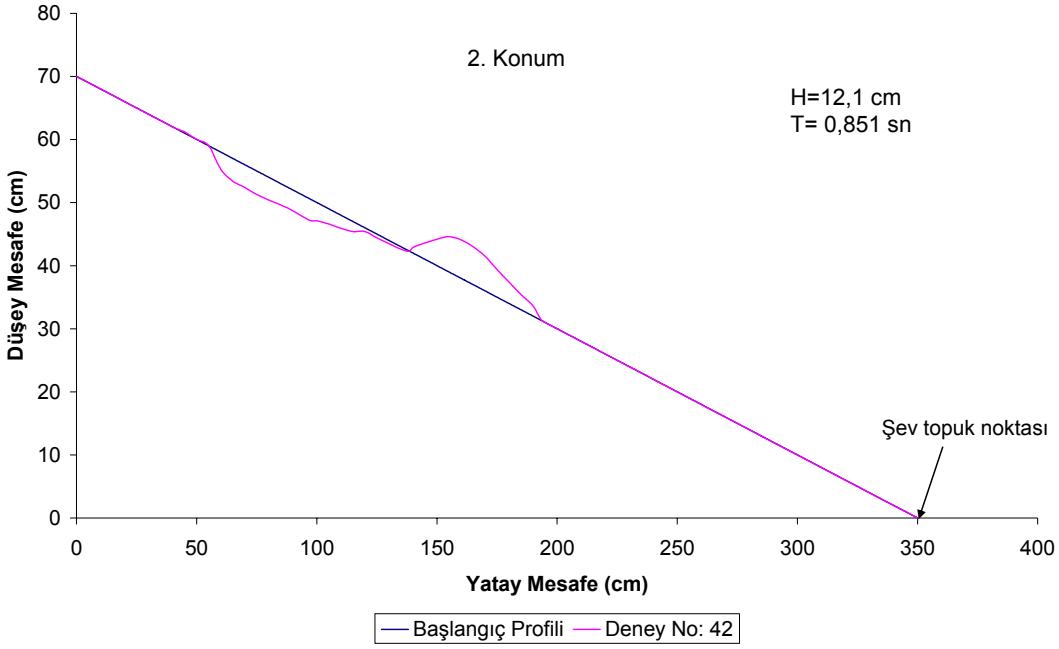
Şekil A.6 : 33 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



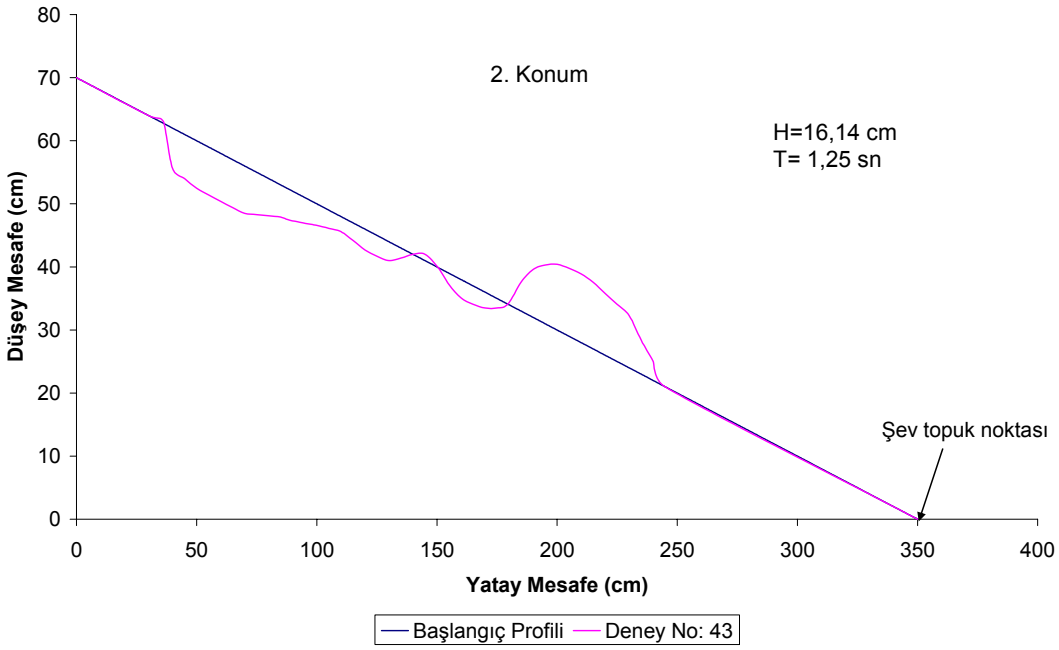
Şekil A.7 : 34 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



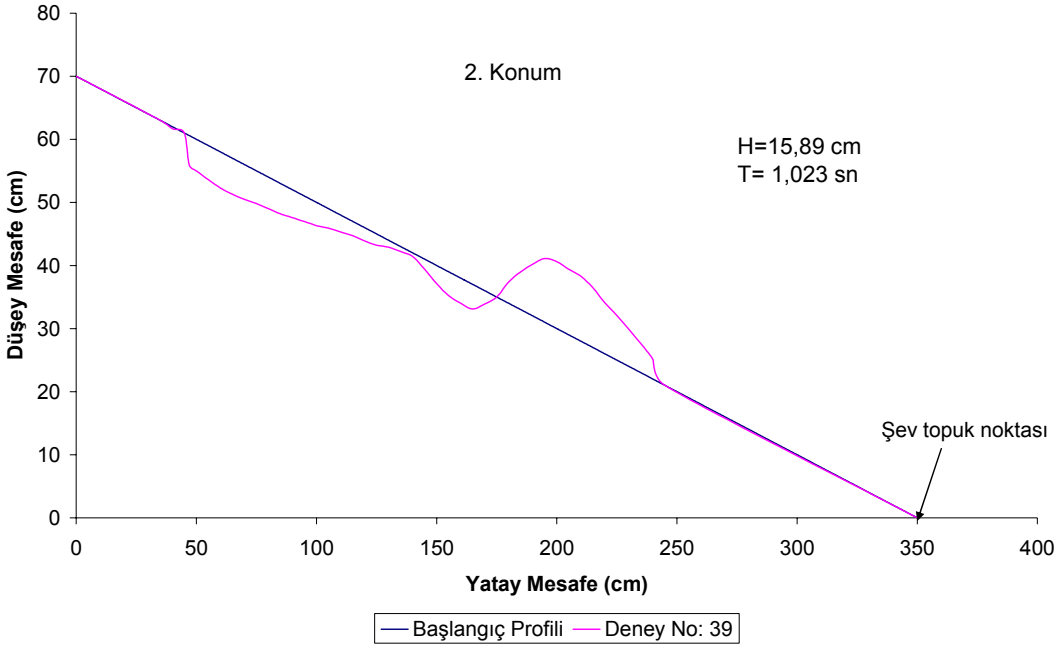
Şekil A.8 : 41 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



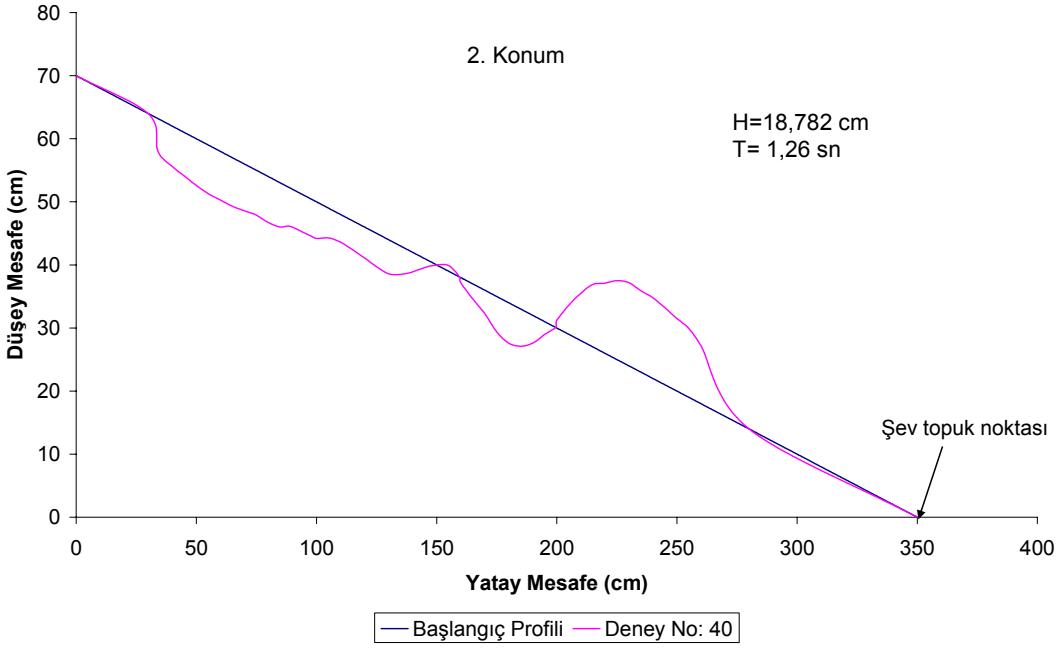
Şekil A.9 : 42 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



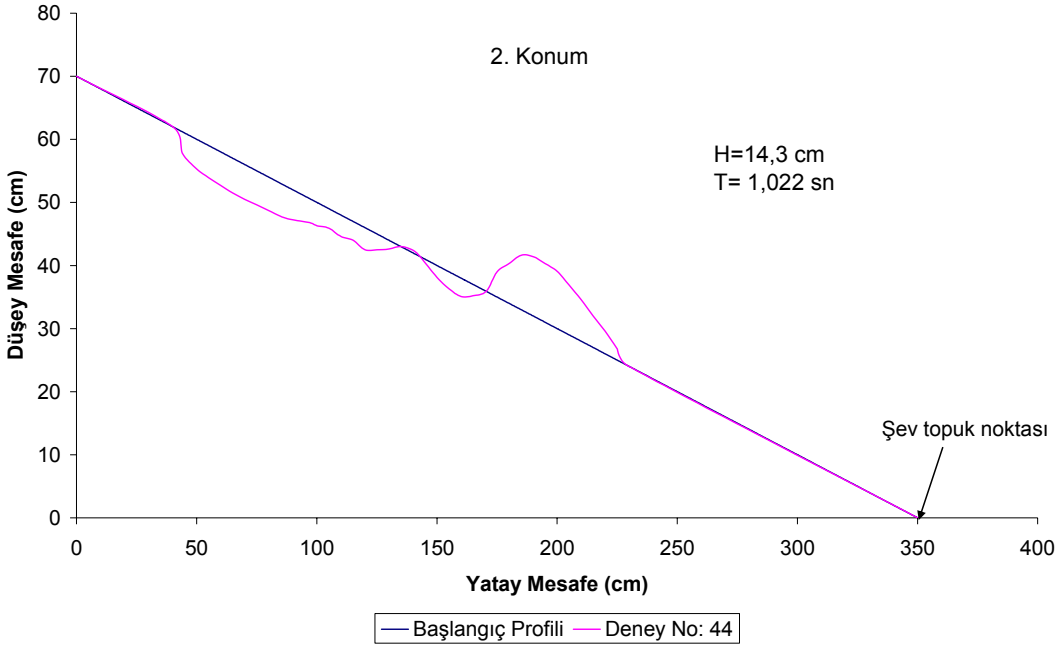
Şekil A.10 : 43 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



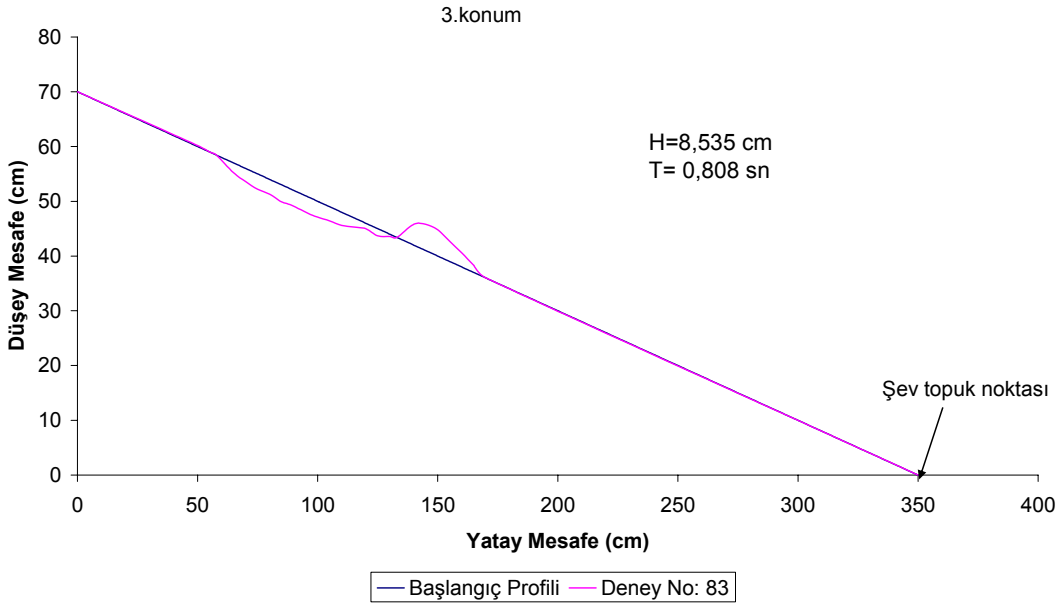
Şekil A.11 : 39 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



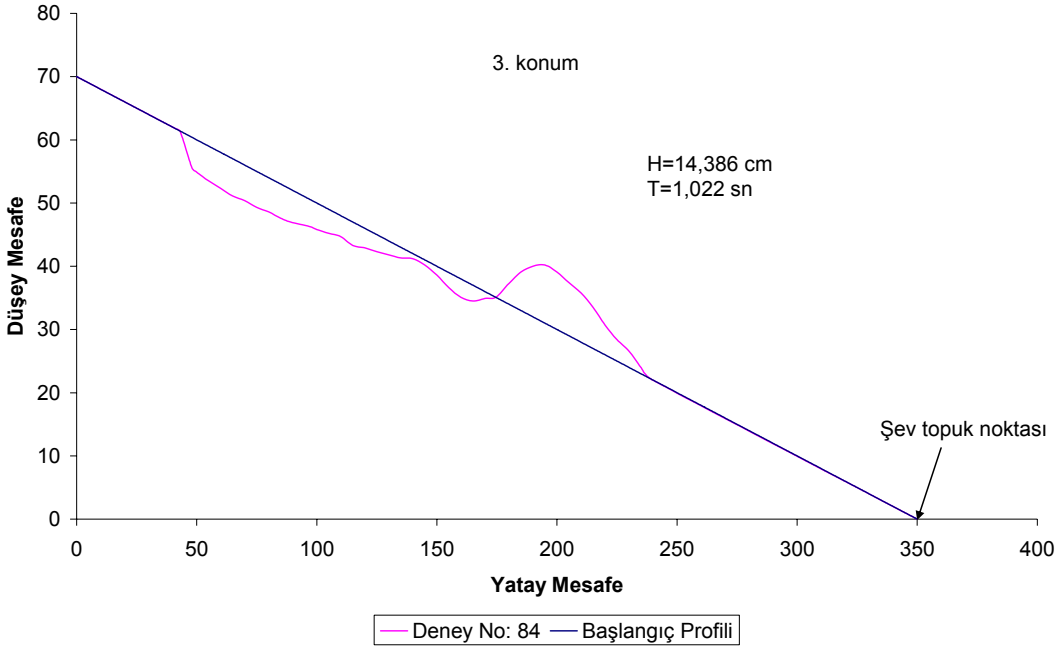
Şekil A.12 : 40 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



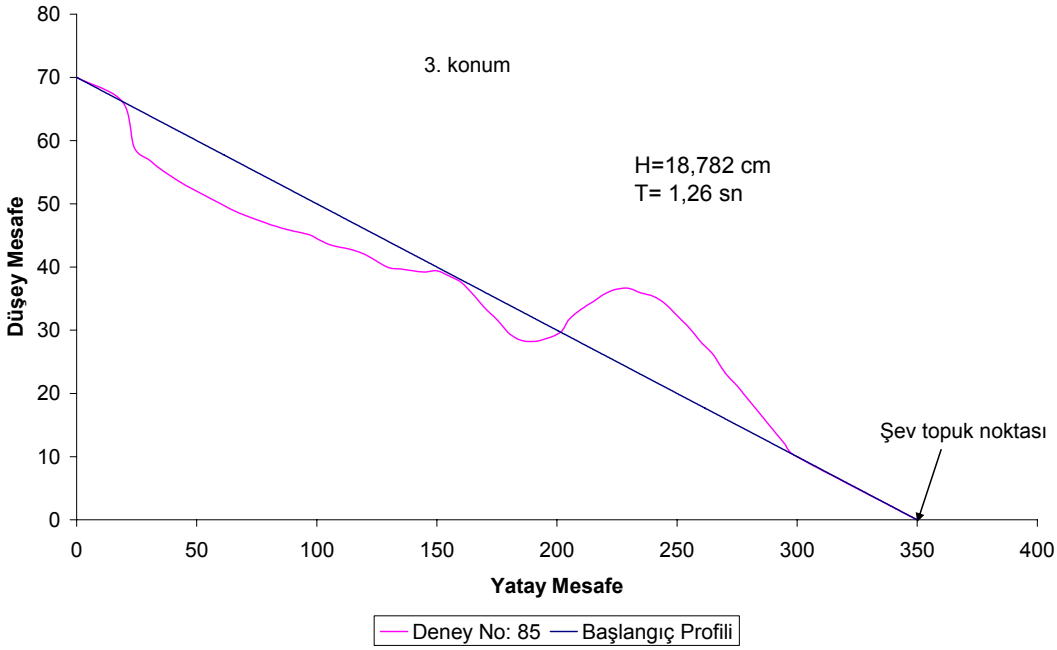
Şekil A.13 : 44 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



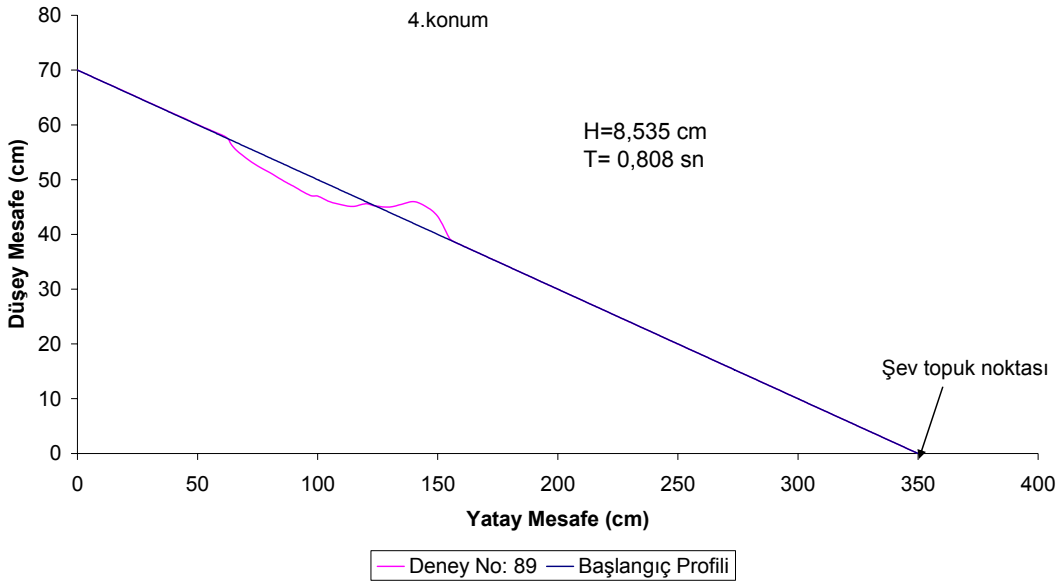
Şekil A.14 : 83 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



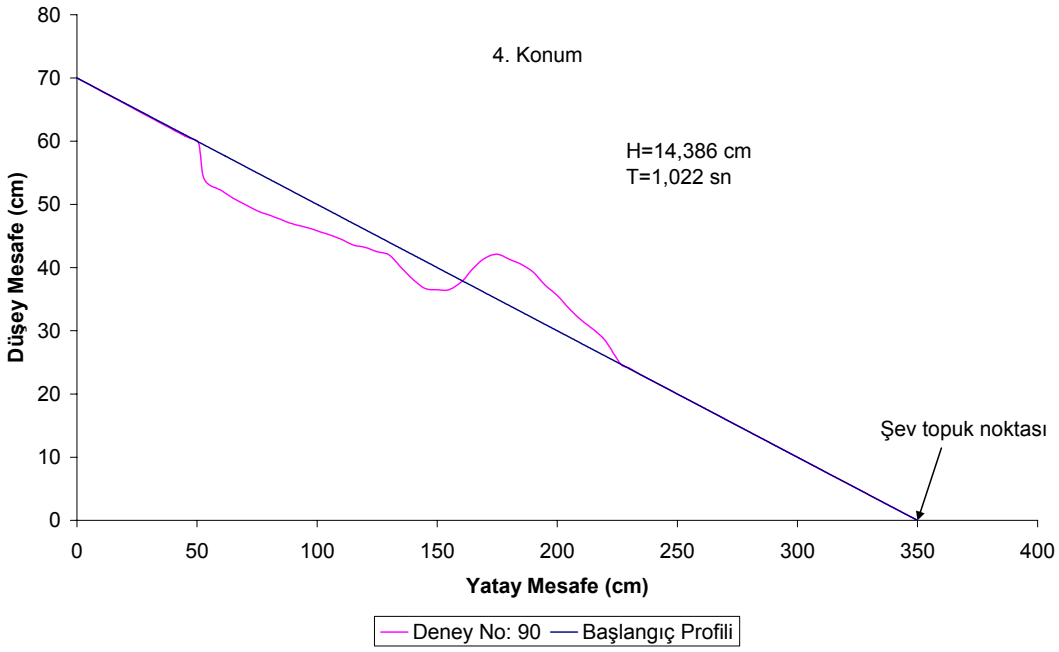
Şekil A.15 : 84 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



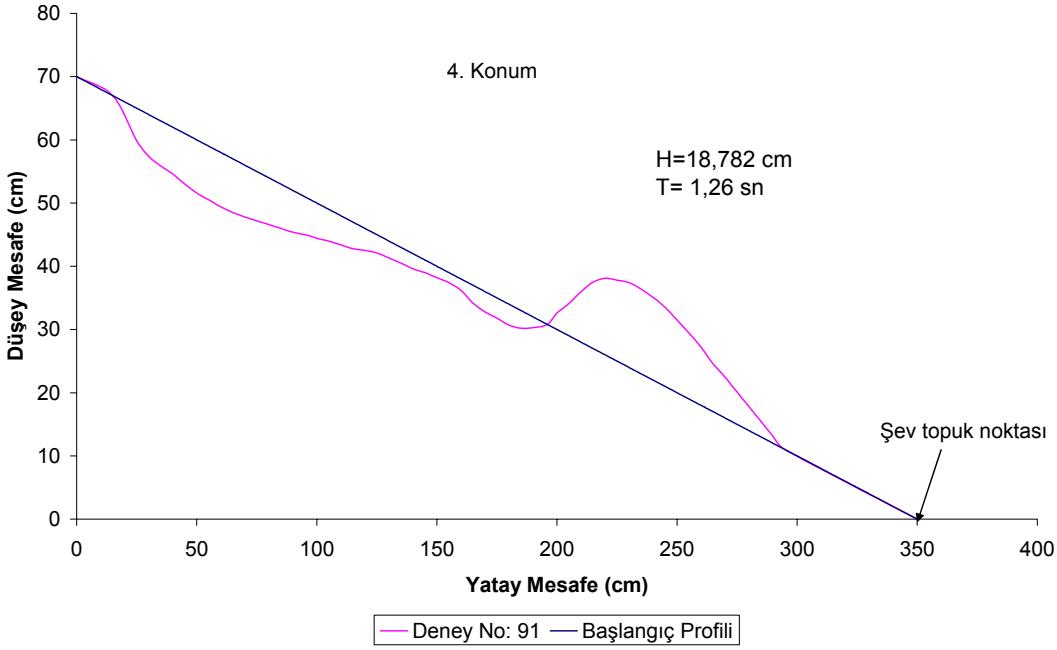
Şekil A.16 : 85 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



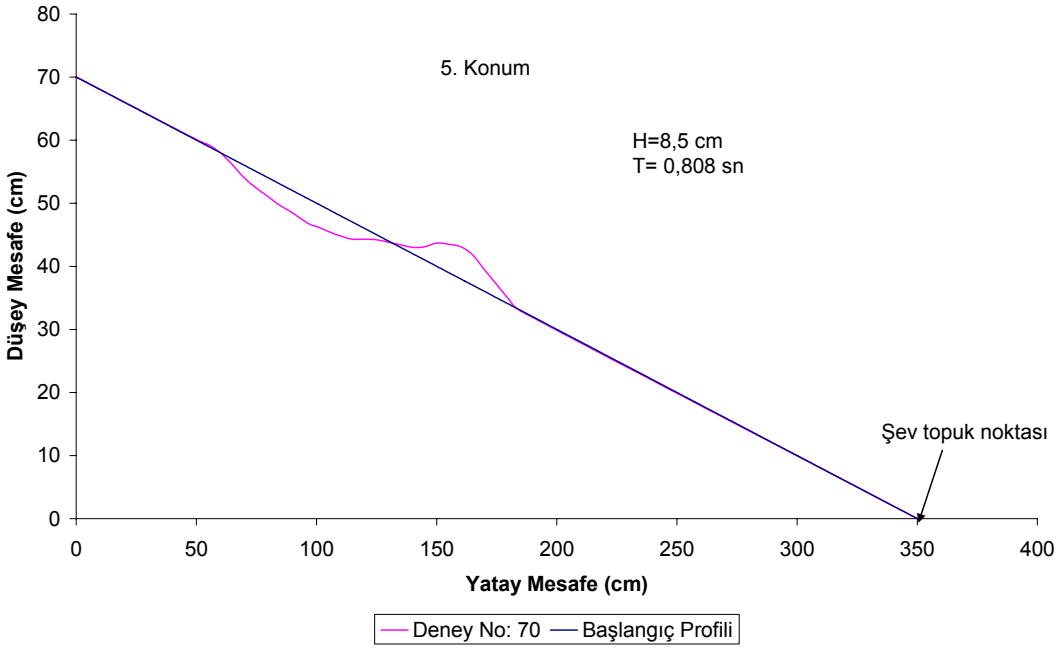
Şekil A.17 : 89 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



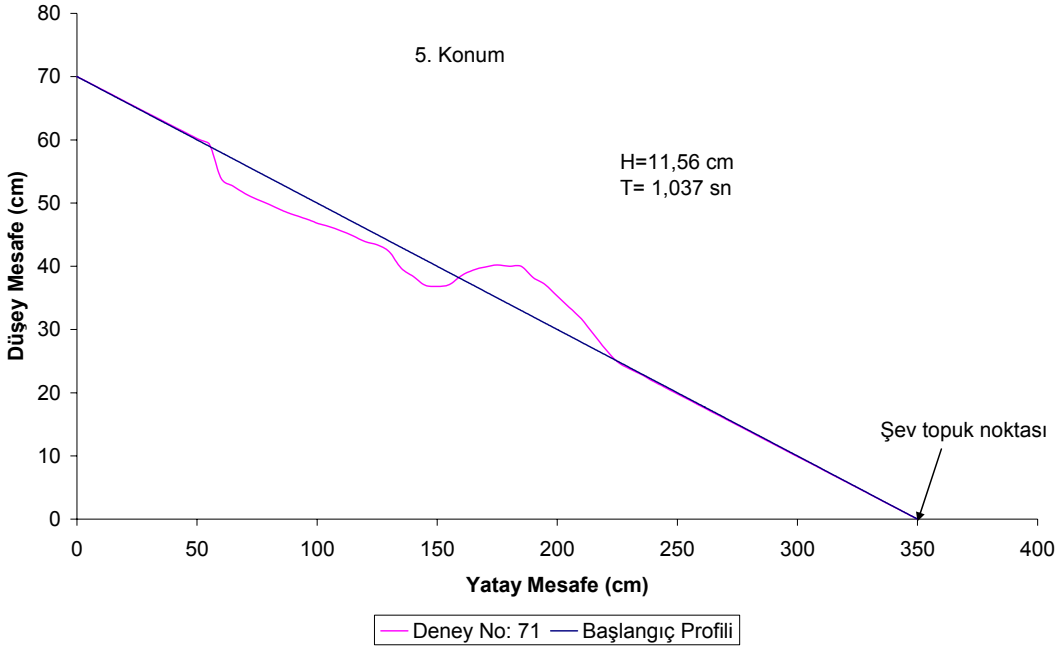
Şekil A.18 : 90 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



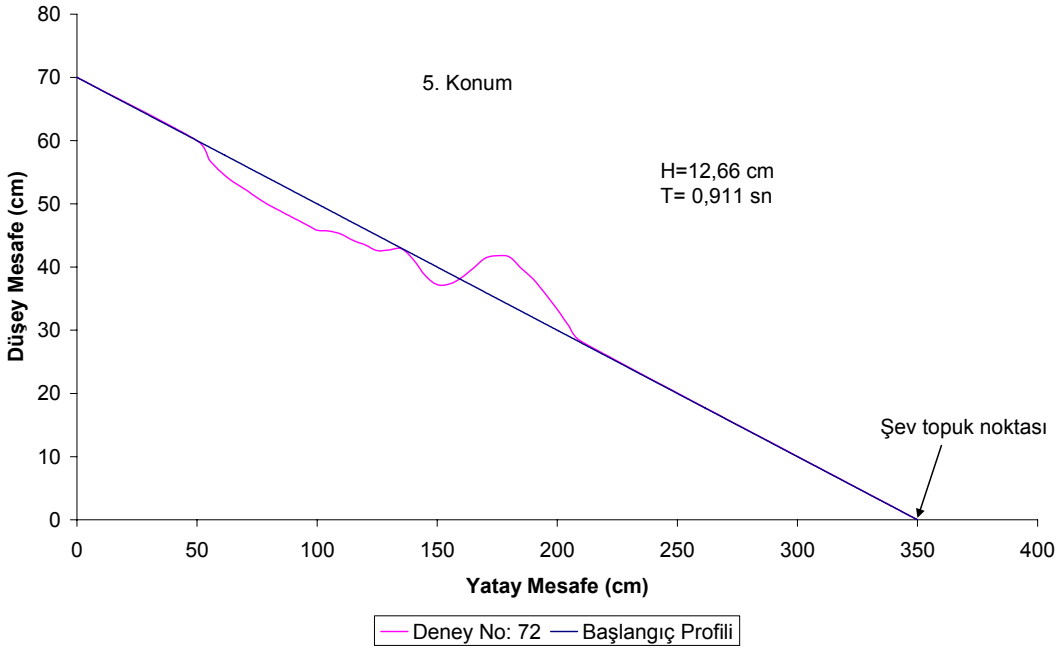
Şekil A.19 : 91 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



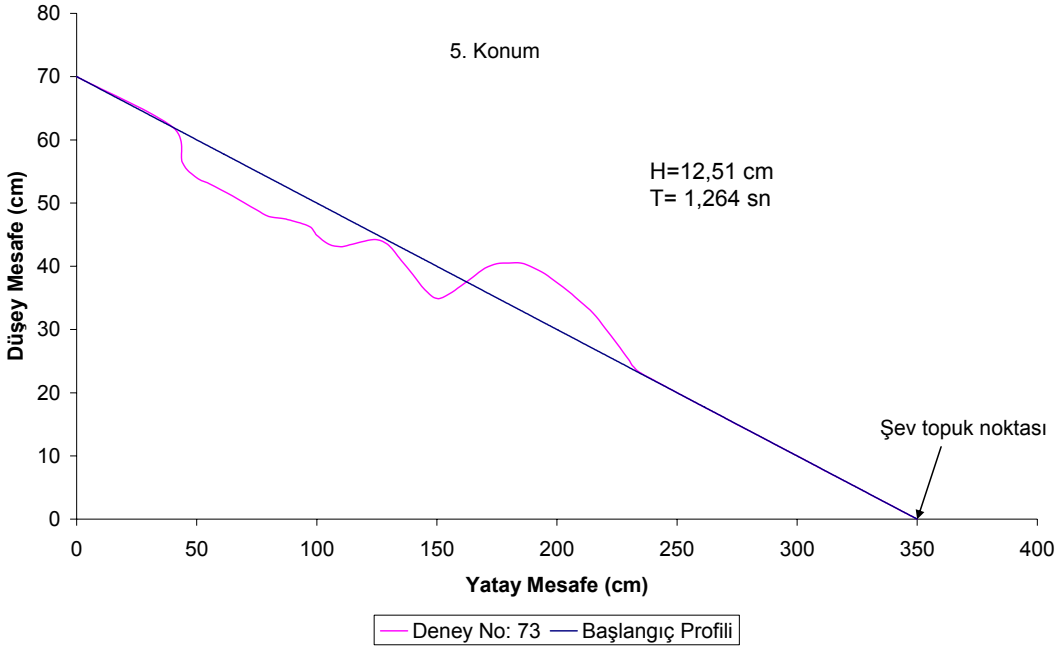
Şekil A.20 : 70 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



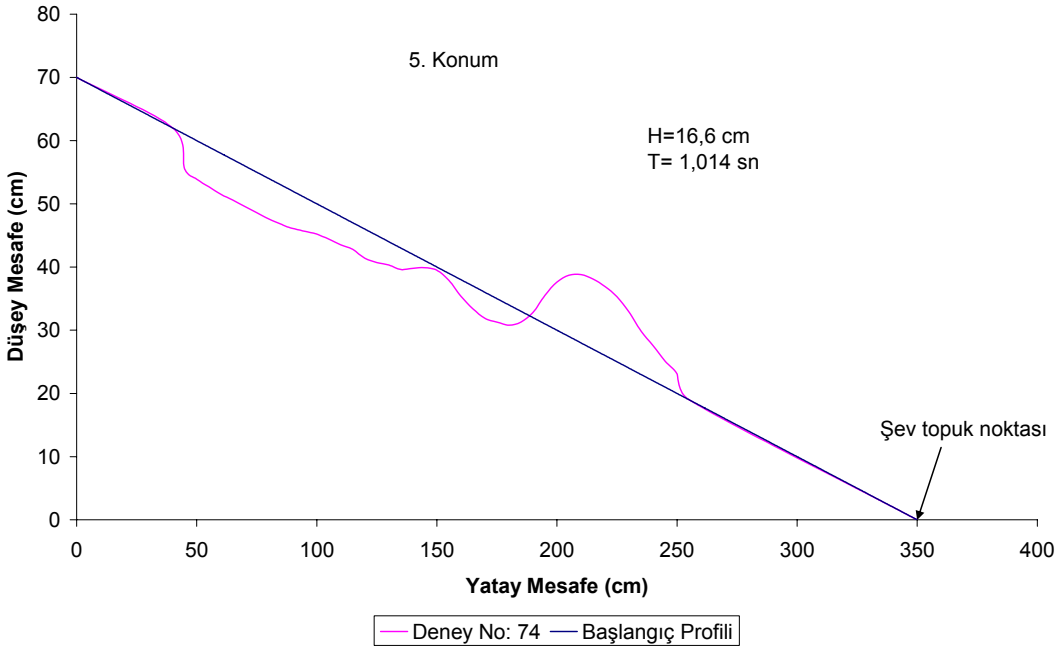
Şekil A.21 : 71 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



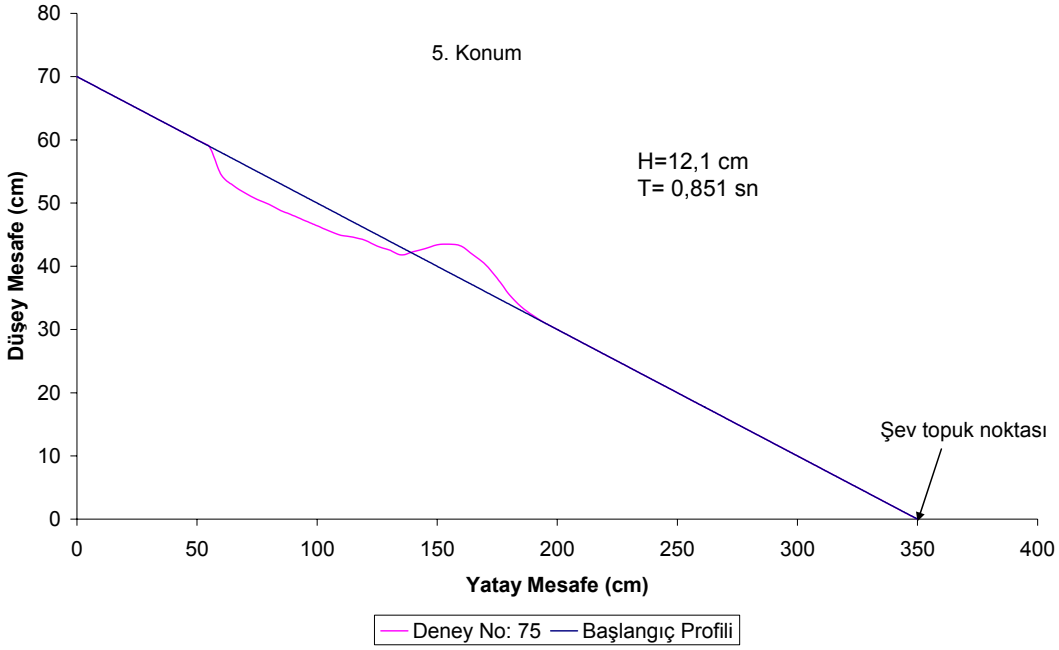
Şekil A.22 : 72 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



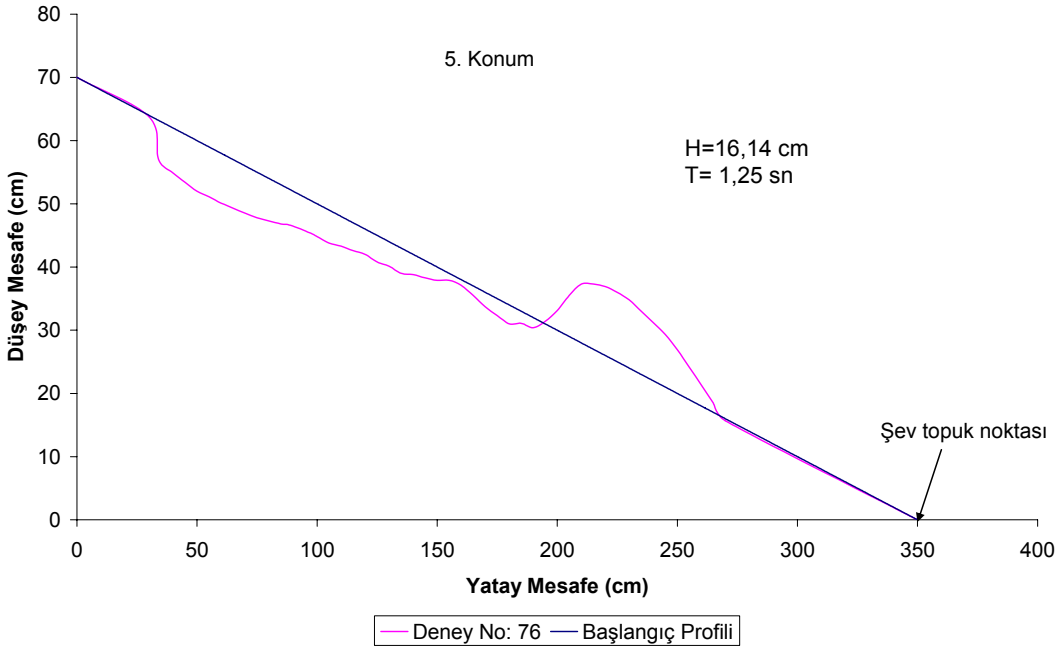
Şekil A.23 : 73 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



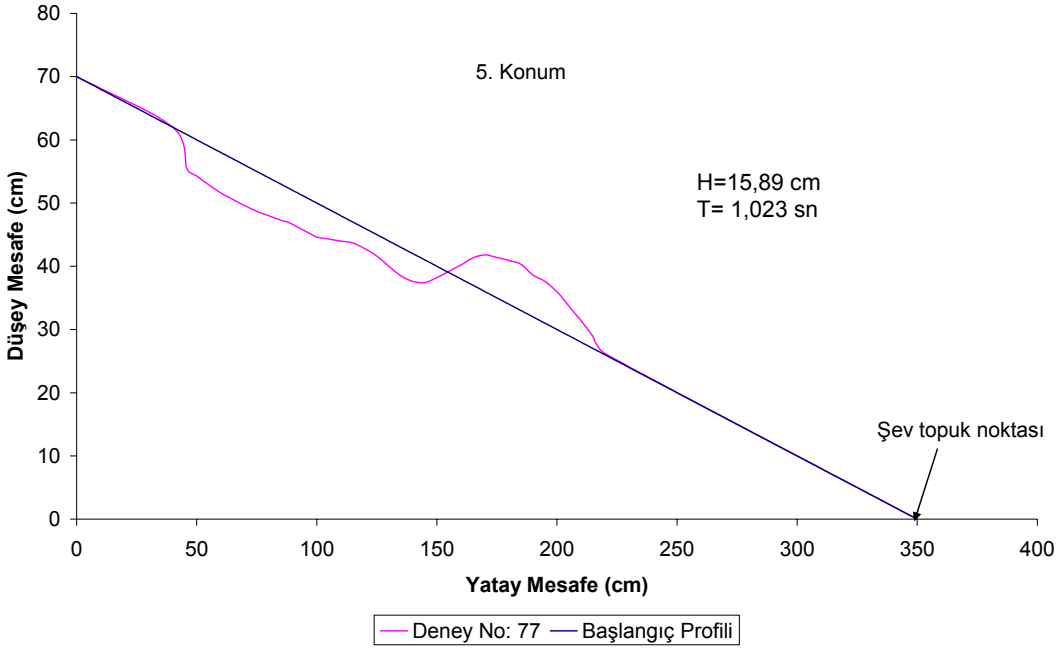
Şekil A.24 : 74 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



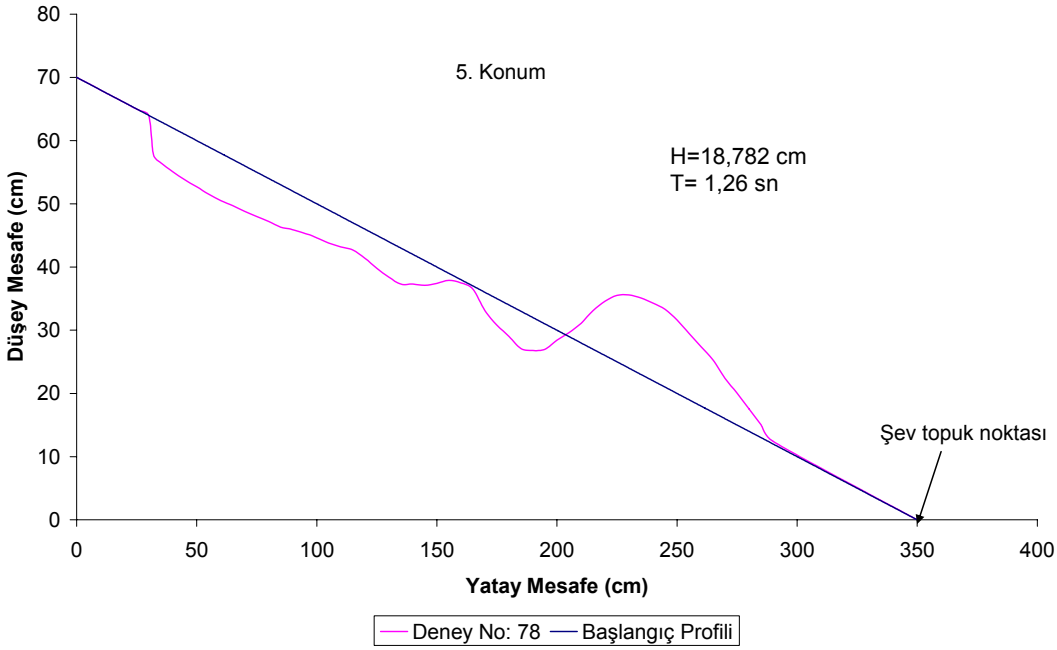
Şekil A.25 : 75 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



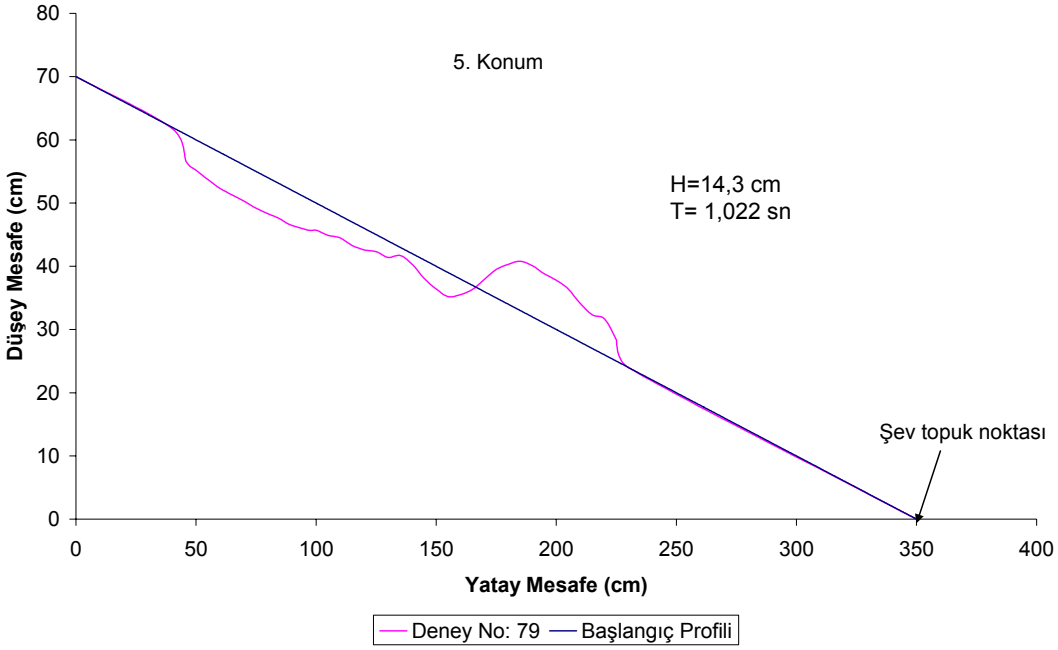
Şekil A.26 : 76 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



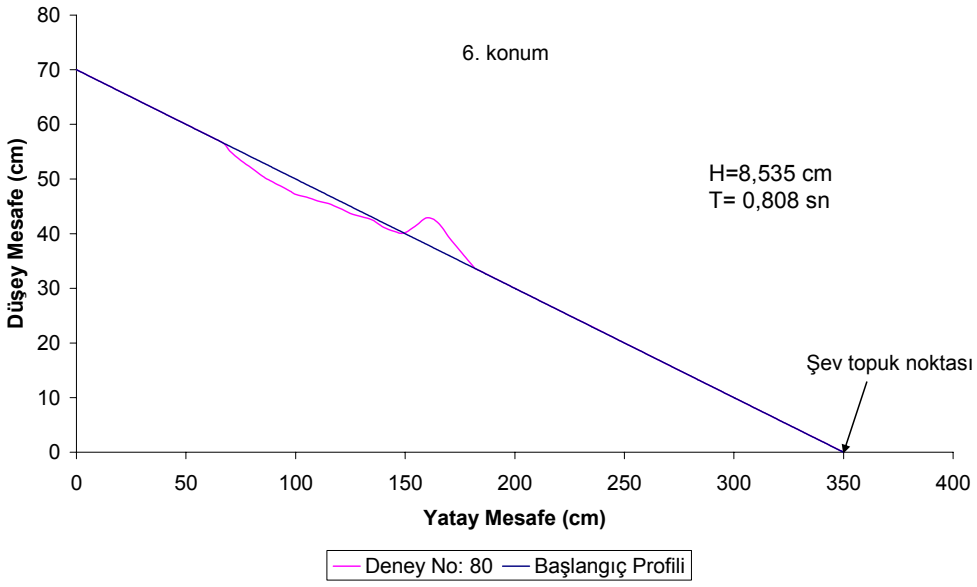
Şekil A.27 : 77 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



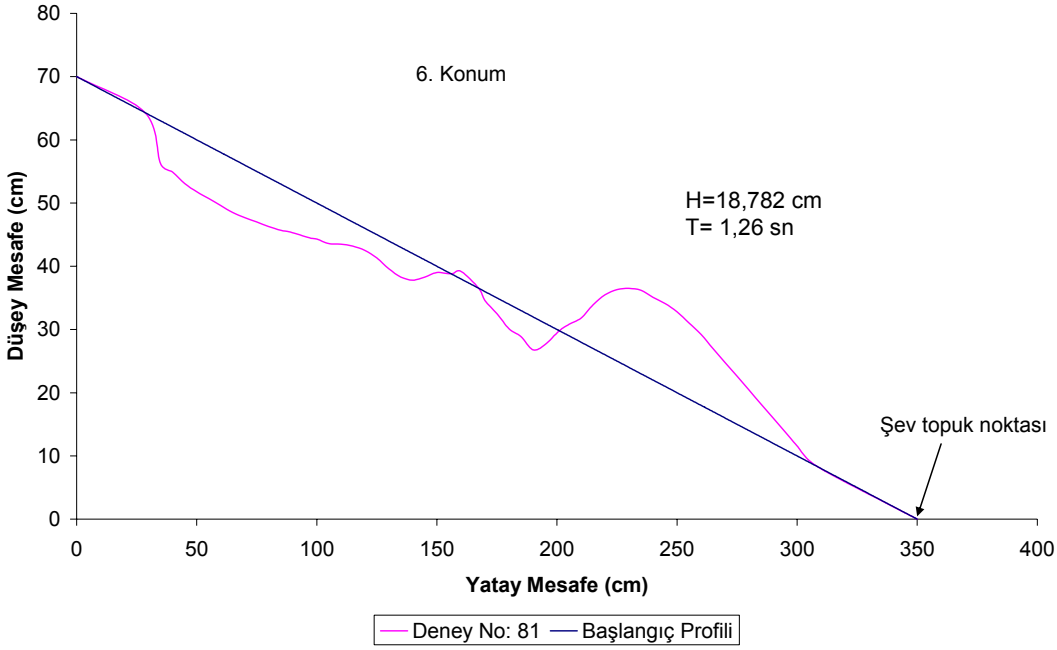
Şekil A.28 : 78 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



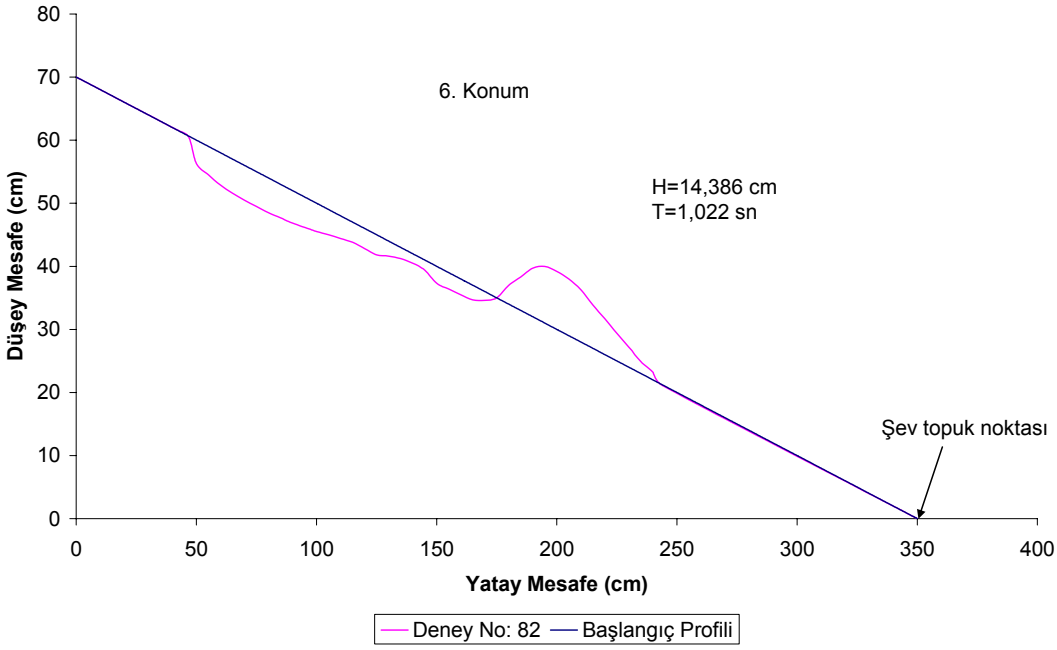
Şekil A.29 : 79 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



Şekil A.30 : 80 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



Şekil A.31 : 82 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.



Şekil A.32 : 81 No'lu deney sonucunda dinamik dengeye ulaşan profil şekli.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Şenol DÜNDAR

Doğum Yeri ve Tarihi: Bakırköy – 15.11.1978

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2001.

Yüksek Lisans: Boğaziçi Üniversitesi İnşaat Mühendisliği, Geoteknik Mühendisliği, 2003.

Yüksek Lisans: İstanbul Kültür Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Proje Yönetimi Yüksek Lisans Programı, 2004.