

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YAPAY BESLEME PERFORMANSINA ETKİ EDEN
PARAMETRELERİN BELİRLENMESİ

İnş. Yük. Müh. Servet KARASU

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“Doktor”

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.06.2004

Tezin Savunma Tarihi : 16.07.2004

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ömer YÜKSEK

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Hızır ÖNSOY

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Ercan KÖSE

Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Yusuf AYVAZ

Trabzon 2004

ÖNSÖZ

Yapay besleme performansına bazı parametrelerin etkisinin araştırıldığı bu tez; Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı'nda hazırlanmıştır.

Doktora Tez Danışmanlığımı üstlenerek konu seçimi ve çalışmaların yürütülmesi sırasında yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Ömer YÜKSEK'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Doktora Tez İzleme Komitesinde bulunan Sayın Doç. Dr. Ercan KÖSE ve Sayın Yrd. Doç. Dr. Osman ÜÇÜNCÜ'ye eleştirileri ve yönlendirmelerinden dolayı teşekkür ederim.

Yapıcı eleştirilerinden yararlandığım Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Hızır ÖNSOY'a ve İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı Başkanı Sayın Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU'na teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında her türlü desteğini gördüğüm Denizcilik Müsteşarlığı Trabzon Bölge Müdürlüğü'nden Dr. Murat İhsan KÖMÜRCÜ'ye, fiziksel model çalışmalarında yardım eden Rize Meslek Yüksekokulu stajyer öğrencilerine ve Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim dalında bitirme çalışması yapan öğrencilere şükranlarımı sunarım. Sorularımı e-mailleri ile cevapsız bırakmayan Georgia Tech. Üni.'den (USA) Assoc. Prof. Dr. Paul WORK'e teşekkür ederim. Çalışmalarım esnasında Beni destekleyen Rize Meslek Yüksekokulu'ndaki mesai arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tezin tüm aşamalarında her türlü yardımını gördüğüm Eşim ve Aileme, bugünlere gelmemde emeği olan herkese minnet ve şükranlarımı sunarım.

Servet KARASU

Trabzon, 2004

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	XI
SEMBOLLER DİZİNİ.....	XIII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı	2
1.3. Literatür Taraması.....	2
1.4. Yapay Besleme Hakkında Genel Bilgiler	18
1.4.1. Yapay Beslemenin Tanımı.....	18
1.4.2. Tasarım ve İnşa Profilleri	19
1.4.3. Besleme Malzemesinin Plaj Profiline Yerleştirilebileceği Bölgeler	19
1.4.4. Plaj Besleme Yöntemleri.....	21
1.4.5. Yapılarla Birlikte Besleme Yapılması	22
1.4.6. Planlama Kriterleri	23
1.4.7. Yapay Besleme Malzemesinin Seçimi	23
1.4.8. Yapay Besleme Projelerinin Tasarım Şeması	24
1.4.8.1. Bölgesel Sorunlar	24
1.4.8.2. Proje Amaçları ve Performans Kriterleri	24
1.4.8.3. Bölge Özellikleri	26
1.4.8.4. Alternatif Tasarımların Mühendislik Değerlendirmesi	26
1.4.8.5. Proje Ekonomisi	27
1.4.8.6. Tercih Edilen Alternatifin Seçimi	27
1.4.8.7. Son Tasarım ve İnşa	28
1.4.8.8. Gözlem, Bakım, Onarım ve Yeniden Besleme	28

1.5.	Yapay Plaj Gelişimi İçin Geliştirilen Analitik Çözümler	28
1.5.1.	Genel.....	28
1.5.2.	Dikdörtgen Şekilli Sınır Şartı	31
1.5.3.	Trapez Şekilli Sınır Şartı	33
1.5.3.1.	$h_t=h^*$ Olması Durumu	33
1.5.3.2.	$h_t>h^*$ Olması Durumu	36
1.5.3.3.	$h_t<h^*$ Olması Durumu	37
1.5.4.	Aktif Derinlik (Katı Madde Taşınım Bölgesinin Sınırı) (h^*).....	38
1.5.5.	Katı Madde Taşınım Katsayısı (K).....	39
1.5.6.	Dalga Kırılması ve Kırılma İndisi (κ).....	42
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	44
2.1.	Model Çalışmaları	44
2.1.1.	Model Düzenine Kurulması.....	44
2.1.1.1.	Dalga Yüksekliği ve Periyodu	44
2.1.1.2.	Taban Eğimi.....	44
2.1.1.3.	Dane Çapı Özellikleri	45
2.1.1.4.	Berm Yükseklikleri	46
2.1.1.5.	Deney Süreleri	46
2.1.1.6.	Model Havuzu Donanımı.....	47
2.1.1.7.	Deneylerin Yapılışı ve Ölçüm Ağı	47
2.2.	Katı Madde Taşınım Katsayısı (K) ve Difüzyon Oranının Belirlenmesi.....	54
2.3.	Kalan Malzeme Oranının Zamansal Değişimi.....	55
2.4.	Regresyon Analizleri	55
2.5.	Değişkenlerin Boyutsuzlaştırılması	55
3.	BULGULAR.....	56
3.1.	Difüzyon Oranı (Ω).....	56
3.1.1.	Difüzyon Oranı (Ω) için Boyutlu Regresyon Analizleri	56
3.1.2.	Ω için Boyutsuz Regresyon Analizleri	58
3.2.	Katı Madde Taşınım Katsayısı (K).....	60
3.2.1.	Katı Madde Taşınım Katsayısı (K) İçin Boyutlu Regresyon Analizleri.....	61
3.2.2.	K için Boyutsuz Regresyon Analizleri.....	62
3.3.	Azalma Katsayısı (α).....	64

3.3.1.	α için Boyutlu Regresyon Analizleri	64
3.3.2.	α için Boyutsuz Regresyon Analizleri	66
3.4.	A Katsayısı için Boyutlu ve Boyutsuz Regresyon Analizleri	67
3.5.	Ω , K ve α Katsayılarının Genel Değerlendirmesi.....	68
4.	İRDELEME.....	73
4.1.	Ω için Elde Edilen Boyutlu ve Boyutsuz Denklemlerin İrdelenmesi ...	74
4.2.	K için Elde Edilen Boyutlu ve Boyutsuz Denklemlerin İrdelenmesi ...	75
4.3.	α için Elde Edilen Boyutlu ve Boyutsuz Denklemlerin İrdelenmesi	77
4.4.	Kalan Malzeme Oranı için En Uygun Denklemin Belirlenmesi.....	79
4.5.	Sayısal Uygulama.....	80
5.	SONUÇLAR.....	83
6.	ÖNERİLER.....	86
7.	KAYNAKLAR.....	87
8.	EKLER.....	92
	ÖZGEÇMİŞ.....	115

ÖZET

Kıyıların korunmasında ve kıyı boyunca hareket halindeki malzemenin tutulmasında çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Yapay besleme; kıyıları korumak ve kıyılardan eğlenme ve dinlenme gibi çeşitli maksatlarla faydalanmak için kullanılan bir yöntemdir. Yapay besleme yapılmadan önce; hangi kıyı, nasıl ve ne zaman beslenmeli gibi sorulara cevap aranmalıdır.

Bu çalışmada, yapay besleme performansını temsil etmek üzere belirlenen kalan malzeme oranına, taban eğiminin, dane çapının, dalga yüksekliğinin, berm yüksekliğinin ve dalga periyodunun etkisi fiziksel bir modelle incelenmiştir. Bu parametreler için fiziksel model verileri kullanılarak regresyon analizleri yapılmış ve boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur.

Çalışmanın ilk bölümünde; konuyla ilgili literatür çalışmaları, yapay besleme yapım yöntemleri ve besleme bölgesinde kalan malzeme oranını belirlemek için geliştirilmiş olan denklemler hakkında genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde; araştırmanın yapıldığı model havuzu, çalışma sistemi ve yapılan deneyler anlatılmıştır. Üçüncü bölümde; fiziksel model çalışmalarındaki veriler kullanılarak regresyon analizleri yapılmış, boyutlu ve boyutsuz denklemler bulunmuş ve bu denklemlerden elde edilen bulgular verilmiştir. Dördüncü bölümde; boyutlu ve boyutsuz denklem sonuçları ile fiziksel model sonuçları karşılaştırılarak, elde edilen rölatif hatalar irdelenmiştir. Beşinci ve altıncı bölümlerde sırasıyla, çalışmadan çıkarılan sonuçlar ve daha sonraki çalışmalar için öneriler sunulmuştur. Yedinci bölümde kaynaklar, eklerde ise rölatif hatalar, taban topoğrafyaları ve deneylerden ve denklemlerden elde edilen kalan malzeme oranları verilmiştir.

Çalışma sonucunda; besleme bölgesinde kalan malzeme oranını etkileyen en önemli parametrenin taban eğimi olduğu, daha sonra ise sırasıyla dane çapı, dalga yüksekliği ve berm yüksekliğinin etkin olduğu belirlenmiş, dalga periyodunun etki oranının ise çok az olduğu sonucuna varılmıştır. Regresyon analizleri sonucu elde edilen denklemlerin korelasyon katsayıları yüksek olduğundan ve hesaplanan rölatif hatalar genelde küçük çıktığından, elde edilen denklemlerin güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Besleme Performansı, Kalan Malzeme Oranı, Fiziksel Model, Regresyon Analizleri

SUMMARY

Determination of Parameters Which Affect Beach Nourishment Performance

Various methods have been used in shore protection and littoral sediment trapping studies. Beach nourishment is one of the popular methods employed for shore protection and recreation. Before beginning the nourishment process, some issues related the nourishment, such as how, when, and where to nourish, should be addressed.

In this study, the effect of bed slope, sediment median diameter, wave height and period and berm height on the ratio of remaining material, which is a parameter chosen to represent the beach nourishment performance, are investigated in a physical model. Dimensional and non-dimensional equations are obtained by regression analysis using experimental data.

The study comprises of seven chapters and appendices. In the first chapter, a literature review is presented and a general background on nourishment methods and governing equations for determining the ratio of remaining material is given. In the second chapter, the details of the experimental setup and the experiments performed are given. In the third chapter, by using the data obtained from the physical model studies, regression analysis is performed and dimensional and non-dimensional equations are obtained. In the fourth chapter, relative errors resulting from the comparison of the results of the derived equations and the physical model are evaluated. In the fifth and sixth chapters, the conclusions of this study and recommendations for future research are provided, respectively. In the seventh chapter, references are given. In the appendices, relative errors, the figures of bed topography and the ratio of remaining material obtained from equations and model studies are presented.

It was concluded that, the most important parameter that affects the ratio of remaining material is the bed slope. The other important parameters include the sand diameter, the wave height and the berm height. However, the effect of wave period is not significant. Since the correlation coefficients of the regression equations are quite large and the calculated relative errors are small, it was also concluded that, the resulting equations are reliable.

Key Words: Beach Nourishment Performance, Ratio of Remaining Material, Physical Model, Regression Analysis

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. A ve B tipi beslemeler	16
Şekil 1.2. Beslenmiş bir plajın çevresinde gözlemlenen katı madde taşınım safhaları	18
Şekil 1.3. Tasarım ve inşa profilleri.....	19
Şekil 1.4. Besleme bölgeleri.....	20
Şekil 1.5. Denizden taranan kumun plaja pompalanması	21
Şekil 1.6. Yapılı kıyı besleme örnekleri	22
Şekil 1.7. Yapay besleme proje tasarım şeması	25
Şekil 1.8. Plaj profil geometrisi	29
Şekil 1.9. Dikdörtgen şekilli besleme planı	31
Şekil 1.10. Trapez başlangıç şeklinin plan görünümü	33
Şekil 1.11. Besleme topuk derinliğinin aktif derinliğe göre durumu.....	34
Şekil 1.12. Katı madde dane çapı ile K'nın değişimi	41
Şekil 1.13. Laboratuar çalışmalarından elde edilen katı madde taşınım katsayıları	42
Şekil 2.1. Literatürdeki deneylerde kullanılan malzeme çapları	45
Şekil 2.2. Deneylerde kullanılan malzemelerin granülometri eğrileri.....	46
Şekil 2.3. Model havuzu donanımı.....	48
Şekil 2.4. Deneylerde kullanılan ölçüm ağı.....	49
Şekil 2.5. 92. deney için elde edilen katı madde taşınım katsayısı	54
Ek Şekil 1a. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için başlangıç taban topoğrafyası (6. deney).....	100
Ek Şekil 1b. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=60$. dakikadaki taban topoğrafyası (6. deney).....	100
Ek Şekil 1c. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=90$. dakikadaki taban topoğrafyası (6. deney).....	101
Ek Şekil 1d. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=90$. dakikadaki taban topoğrafyası (6. deney).....	101
Ek Şekil 2a. $m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için başlangıç taban topoğrafyası (18. deney).....	102
Ek Şekil 2b. $m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topoğrafyası (18. deney).....	102

Ek Şekil 2b.	$m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topoğrafyası (18. deney).....	102
Ek Şekil 2c.	$m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topoğrafyası (18. deney).....	103
Ek Şekil 3a.	$m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için başlangıç taban topoğrafyası (35. deney).....	103
Ek Şekil 3b.	$m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=30$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney).....	104
Ek Şekil 3c.	$m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=90$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney).....	104
Ek Şekil 3d.	$m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)	105
Ek Şekil 3e.	$m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=240$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney).....	105
Ek Şekil 3f.	$m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=240$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)	106
Ek Şekil 4.	Deney 4 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	106
Ek Şekil 5.	Deney 12 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	107
Ek Şekil 6.	Deney 19 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	107
Ek Şekil 7.	Deney 20 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	107
Ek Şekil 8.	Deney 24 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	108
Ek Şekil 9.	Deney 25 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	108
Ek Şekil 10.	Deney 26 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	108
Ek Şekil 11.	Deney 27 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	109
Ek Şekil 12.	Deney 28 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	109
Ek Şekil 13.	Deney 36 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	109
Ek Şekil 14.	Deney 37 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	110
Ek Şekil 15.	Deney 42 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	110

Ek Şekil 16.	Deney 43 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	110
Ek Şekil 17.	Deney 44 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	111
Ek Şekil 18.	Deney 45 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	111
Ek Şekil 19.	Deney 47 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	111
Ek Şekil 20.	Deney 51 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	112
Ek Şekil 21.	Deney 60 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	112
Ek Şekil 22.	Deney 61 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	112
Ek Şekil 23.	Deney 70 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	113
Ek Şekil 24.	Deney 92 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları	113
Ek Şekil 25.	Deney 99 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	113
Ek Şekil 26.	Deney 102 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları.....	114

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Avrupa'da yapılan besleme projeleri.....	17
Tablo 2.1. Yapılan deneyler.....	50
Tablo 3.1. Ω için deney sayıları, etki oranları ve ortalama hatalar.....	57
Tablo 3.2. Ω için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları.....	57
Tablo 3.3. Ω için boyutlu çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları.....	58
Tablo 3.4. Ω için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları.....	59
Tablo 3.5. Ω için boyutsuz çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları.....	59
Tablo 3.6. K için deney sayıları, etki oranları ve ortalama hatalar.....	60
Tablo 3.7. K için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları.....	61
Tablo 3.8. K için bağımsız değişkenlere göre regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları.....	62
Tablo 3.9. K için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları.....	62
Tablo 3.10. K için boyutsuz çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları.....	63
Tablo 3.11. α için deney sayıları, etki oranları ve ortalama hatalar.....	64
Tablo 3.12. α için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları.....	65
Tablo 3.13. α için bağımsız değişkenlere göre regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları.....	65
Tablo 3.14. α için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları.....	66
Tablo 3.15. α için boyutsuz çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları.....	67
Tablo 3.16. A'nın eğime göre değişimi.....	68
Tablo 3.17. Ω , K ve α için boyutlu ve boyutsuz analizlerinden elde edilen etki oranları.....	68
Tablo 3.18. Deneylerden, boyutlu ve boyutsuz denklemlerden elde edilen Ω , K, α ve A değerleri.....	69
Tablo 4.1. Ω için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar.....	74
Tablo 4.2. Tüm eğimler için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları....	74

Tablo 4.3.	Rölatif hataların zamanla değişimi.....	75
Tablo 4.4.	K için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar.....	76
Tablo 4.5.	Tüm eğimler için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları....	76
Tablo 4.6.	Rölatif hataların zamanla değişimi.....	77
Tablo 4.7.	α için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar.....	78
Tablo 4.8.	Tüm eğimler için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları....	78
Tablo 4.9.	Rölatif hataların zamanla değişimi.....	79
Tablo 4.10.	Ω , K ve α için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar.....	79
Tablo 4.11.	Değişik alternatifler için zamanla kalan malzeme oranının değişimi.....	80
Ek Tablo 1.	Boyutlu ve boyutsuz denklemlerden elde edilen rölatif hataların ortalamaları.....	92
Ek Tablo 2.	Besleme bölgesinde malzemenin %75, %50 ve %25'inin kalması durumunda denklemlerden elde edilen süreler (dak).....	96



SEMBOLLER DİZİNİ

A	: Sabit katsayı
a	: Taban eğimine bağlı katsayı, regresyon katsayıları
b	: Taban eğimine bağlı katsayı,
B	: Berm yüksekliği
C_b	: Kırılma anındaki dalga grup hızı
C_t	: Besleme topuk derinliğindeki dalga hızı
C^*	: Aktif derinlikteki dalga hızı
c	: Regresyon katsayısı
d_{50}	: Medyan dane çapı
E_b	: Kırılma anındaki dalga enerji yoğunluğu
Erf	: Error fonksiyonu
G	: Kıyı boyu yayılabilirlik
g	: Yerçekimi ivmesi
H_b	: Kırılma anındaki dalga yüksekliği
H_o	: Derin denizdeki dalga yüksekliği
H_s	: Ortalama yıllık belirgin dalga yüksekliği
$H_{s0.137}$: Bir yılda 12 saat süreyle aşılabilen belirgin dalga yüksekliği
h_b	: Kırılma anındaki su derinliği
h_t	: Topuk derinliği
h^*	: Aktif derinlik
I	: Katı madde batık ağırlığı
K	: Katı madde taşınım katsayısı
K_r	: Sapma katsayısı
K_s	: Sığlaşma katsayısı
K''	: Sabit katsayı
k	: İlk beslemenin gelişiminc dayalı katsayı
L_o	: Derin denizdeki dalga dikliği
l	: Proje uzunluğu
l_1	: Besleme bölgesinin uzunluğu

l_2	: Besleme bölgesinin uzunluğu
M	: Kalan malzeme oranı
$M(t)$: Kalan malzeme oranı
$M(t)_h$: Denklemlerle hesaplanan kalan malzeme oranı
$M(t)_\delta$: Deneylerde ölçülen kalan malzeme oranı
m	: Taban eğimi
N	: Besleme aralığı
n	: Proje ömrü, deney sayısı
oss	: Ortalama su seviyesi
P_{1s}	: Kıyı boyu enerji akı faktörü
p	: Katı maddenin porozitesi
Q	: Net kıyı boyu katı madde debisi
RH	: Rölatif hata
r^2	: Determinasyon katsayısı
Sgn	: Signum fonksiyonu
s	: Katı maddenin özgül ağırlığı
T	: Boyutsuz zaman, Dalga periyodu
T_h	: Projenin yarı ömrü
T_w	: Yeniden besleme aralığı
t	: Zaman
$t_{\%50}$: %50 kayıp için geçen zaman
u_{mb}	: Yörüngesel hız büyüklüğü
V	: Başlangıç proje hacmi, Her birim plaj genişliği için hacim
$V_{max.}$: Maksimum besleme hacmi
$V_{min.}$: Minimum besleme hacmi
V_R	: Yeniden besleme için gerekli hacim
w	: Beslenmiş bölgenin kıyıya dik genişliği, Çökelme hızı
x	: Kıyı boyu koordinatı
y	: Kıyıya dik koordinat
α	: Azalma katsayısı
α_b	: Kırılma anındaki dalga açısı
Δy	: Yatay kıyı çizgisi değişimi
ε	: Hata

κ : Kırılma indisi
 ρ : Suyun yoğunluğu
 Ω : Difüzyon oranı



1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanoğlunun içindeki kıyı sevgisi, kıyılara doğru akın etmesine ve kıyıların hem yerleşim hem de kullanım açısından ilgi odağı haline gelmesine neden olmuştur. Kıyılar özellikle son elli yılda, tüm dünyada gelişmenin odağı haline gelmiştir. Kumsal kıyılar dinlenme ve eğlenme alanı olarak oldukça ilgi çekmektedirler ve bu kıyılarda meydana gelen erozyon ise önemli bir problem haline gelmiştir.

Kıyidan aynı miktarda malzeme ayrılıp, aynı miktarda malzeme geldiği sürece, erozyon veya yığılma olmaz. Fakat gelen malzemenin herhangi bir nedenden dolayı azalması erozyona yol açacaktır. Erozyon davranışına karşı üç temel tepki vardır: 1- Tehlikeyi azaltmaya çalışmak, 2- Mevcut kullanımı ona göre ayarlamak, 3- Zararı kabullenmek. Mühendislik yaklaşımı açısından bunlardan sadece ilki kabullenilebilir.

Gelişmiş kıyılar için, sistemdeki kum açığından dolayı meydana gelen kıyı erozyonu ciddi bir problemdir. Sisteme kum eklemek (yapay besleme) problemin çözülmesinde uygulanan tekniklerden biridir. Diğer tüm mühendislik çözümleri (mahmuzlar, kıyı duvarları, tahkimatlar v.b.) bir noktadaki erozyonu durdurabilir, fakat sistemdeki kum açığı başka yerlerde erozyona neden olabilir. Bu sebeple, yapay besleme, erozyonu önleme bakımından etkin bir yöntemdir.

Büyük miktarlardaki kumun kıyidan denize doğru yerleştirilmesi şeklinde yapılan yapay besleme; dünyanın birçok yerinde bir erozyon kontrol metodu olarak, her geçen gün daha fazla uygulama sahası bulmaktadır. Sadece erozyon kontrolü için değil; dinlenme ve eğlenme maksatlı doğala yakın bir plajın önemi, herkes tarafından kabul edilmektedir. Hatta bazı bölgelerde yapılmış olan yapay beslemeler, türleri tükenmekte olan bazı deniz canlıları için uygun yaşama alanları bile sağlamaktadır.

1.2. Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Uzun bir kıyı şeridine sahip olan ülkemizde, kıyılar ve kıyı yapıları ile ilgili çalışmalar her geçen gün önem kazanmaktadır. Kıyı mühendisliğindeki ilerlemeye paralel olarak yapay kıyı beslemesinin önemi de gittikçe artmaktadır.

Yapımı devam etmekte olan Karadeniz Sahil Yolu, halkın denizle olan ilişkisini tamamen kesmekte; zaten sınırlı sayıda olan plajlar, yapılan tahkimatlarla yok olmaktadır. Halkın denizle olan irtibatını tekrar sağlamak için başvurulacak en uygun yöntemlerden biri yapay kıyı beslemesidir.

Yapılan kıyı beslemeleri birçok bilim adamı tarafından gözlemlenmiş ve elde edilen sonuçlardan, kıyı beslemesinin temel prensipleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Yapay besleme konusunda şimdiye kadar yapılan çalışmalar incelenmiş, besleme performansına etki eden parametrelerdeki eksiklikler araştırılmış ve bu yönde bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir.

Bu çalışmanın amacı, literatürde eksikliği hissedilen bazı parametrelerin (özellikle taban eğiminin ve besleme malzemesi boyutunun) yapay besleme performansı üzerindeki etkilerinin belirlenmesidir.

Bu amaç doğrultusunda, farklı taban eğimleri, besleme malzemesi çapı, dalga şartları, berm yükseklikleri seçilerek deneyler yapılmış ve bu parametrelere yönelik veriler elde edilmiştir. Elde edilen verilerden hareketle boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleri yapılmış ve literatürdeki denklemler revize edilerek boyutlu ve boyutsuz denklemler elde edilmiştir.

1.3. Literatür Taraması

İlk yapay besleme projesi 1926 yılında New York Coney Island'da yapılmıştır. Yapay besleme, kronik erozyon problemlerinin çözümü olarak 1930'larda uygulanmaya başlamıştır [1]. Ancak birçok proje yeteri kadar gözlemlenmemiş ve kayıtlara geçirilmemiştir. Yapay besleme ile ilgili olarak şimdiye kadar yapılan arazi çalışmaları, matematik modeller ve laboratuvar çalışmaları aşağıda özetlenmiştir:

Kerckeaert vd. [2], Belçika'nın Zeebrugge limanının genişletilip, 8 km uzunluğundaki kıyı şeridinin 8.5 milyon m³ kum ile beslenmesi kapsamındaki bir araştırma projesinde plaj gelişimini gözlemlemişlerdir.

Besleme için ihtiyaç duyulan kum, limanın 20 km açığından taranarak elde edilmiştir. Kıyı morfolojisindeki değişiklikler, deniz sondajları, hava fotoğrafları ve arazi ölçümleriyle tespit edilmiştir. Ayrıca plajdan ve deniz yatağından katı madde numuneleri alınarak deneyler yapılmıştır. Ölçümlerden elde edilen sonuçlar matematik modellerde kullanılmış ve çıkan sonuçlar karşılaştırılmıştır. Batimetrik ölçümler ve hava fotoğrafları yaz ve kış olmak üzere yılda iki kere, arazi ölçümleri ise aylık olarak yapılmıştır.

Yapılan çalışmalar sonucu, bütün kıyı uzunluğu boyunca kumul (dune) bölgesinde genişlemeler görülmüştür. Bunun aksine, özellikle limanın doğusunda ortalama erozyon 50m³/m olarak gözlemlenmiştir. En fazla erozyona ön kıyı bölgesi maruz kalmıştır. Yakın kıyı bölgesinde ise düzensiz bir değişim vardır; bazı yerlerde yığılma, bazı yerlerde erozyon görülmüştür. Deniz yatağında ise belirgin bir yığılma görülmüştür. Plaj dolgusundan iki yıl sonra yaklaşık 470.000 m³ (%6) malzeme, kumullara ve açık denize giderek kaybolmuştur.

Lorang [3], geleneksel rijit tasarımlara alternatif olarak yapılan ve yumuşak yapı olarak adlandırılan yapay çakıl beslemenin önemini vurgulamıştır. Bu yapılar doğal olarak gelen dalgaların sönümlenmesini sağlamaktadır. Yapılan deneylerde, normal ilerleyen dalga enerjisinin çakıl plajlarda %10'unun yansıdığı, geriye kalanın ise sönümlendiği tespit edilmiştir.

Plajın topuk kısımları iri taşlarla inşa edilmiştir. Bunlardan daha küçük olan iri çakıllarla bir platform oluşturulmuş, bunun üzerine kıyıdaki malzemeye benzer çakıllar yerleştirilmiştir. İri taşları seçerken dalgaların hareket ettiremeyeceği kadar büyük olmasına özen gösterilmiştir. Plajın değişik yerlerinde numuneler alınarak, dane çapının değişimi de gözlenmiştir.

Sonuç olarak; kıyı erozyonu azalmış ve önceden erozyon olduğu kıyı arkasında yeni bir çakıl plaj oluşmuştur. Bu yapı doğal olarak oluşmuş gibi bir performans göstermiştir.

Schwartz vd. [4], 1986-1987 kışında şiddetli fırtınalara maruz kalan Küba'nın Varedora plajını incelemişlerdir. Varedero plajını tekrar eski haline getirmek için toplam 128.000 m³'lük malzemeyle besleme yapılmıştır. Beslemede, karışımları birbirine benzer fakat doğal malzemedeki (0,1-0,25mm) biraz daha iri malzeme (0,25-0,5mm) kullanılmıştır.

Yapılan beslemenin maliyeti 1 milyon \$'dır. Fakat, bu plajda bulunan otellerden yılda 8 milyon \$ gelir beklenmektedir. Aynı plajı beslemek için 1967'de 1 milyon m³ ve 1968 ile 1978 yılları arasında da yine 1 milyon m³ malzeme kullanılmıştır.

Leadon [5], Florida, Key Biscayne'de yapılan besleme projesini incelemiştir. Proje iki ayrı parça halinde toplam 275.000 m³'lük dolguyu ve bir mahmuzun yeniden inşasını içermektedir. Plajda bulunan doğal malzemenin dane çapının ortalaması 0.27mm ve standart sapması 0.54mm, dolguda kullanılan malzemenin dane çapının ortalaması 0.32 mm ve standart sapması 0.55 mm'dir. Yani doğal malzeme ile dolgu malzemesi birbirine çok yakın özelliklere sahiptir. Projenin yapımından sonra 30 ay boyunca profil ölçümleri, hava fotoğrafları ve bölgesel dalga verileri toplanmıştır.

Kıyı çizgisi değişimini matematik modellerle karşılaştırmak için, tek-çizgi yaklaşımı kullanılmıştır. Matematik modelden elde edilen kıyı çizgisi ile 30 aylık gözlem sonucu elde edilen kıyı çizgisi değişiminin birbirine çok benzer olduğu görülmüştür.

Davis [6], Florida, Redington Beach'te yapılan besleme ile ilgili iki yıl süreli gözlem projesi üzerinde çalışmıştır. Çalışmada plaj profilleri ve katı madde verilerinin analizi yapılmıştır.

İki yıllık gözlem periyodu sonunda besleme projesinin genel performansının oldukça iyi olduğu, besleme malzemesinin sadece %10'unun kaybolduğu görülmüştür.

Her bir plaj profilinden katı madde örnekleri toplanmıştır. Plaj gerisi, tırmanma, kırılma ve açık deniz olmak üzere dört ayrı bölgeden alınan numunelerle, genelde aylık olarak katı madde dane çapı değişimi ve çakıl yüzdesi incelenmiştir.

Dalgalardan ve kıyıboyu akıntılarında çok fazla etkilenmeyen plaj gerisinin, en dengeli bölge olduğu görülmüştür. Tırmanma ve kırılma bölgeleri dalgalardan ve kıyıboyu akıntılarında en çok etkilenen bölgeler olarak en büyük değişikliğe maruz kalmışlardır. Açık deniz bölgesinde ise, malzemenin taşınabileceği maksimum derinlik 2.75 m olduğundan dolayı belirgin bir değişiklik görülmemiştir.

Psuty ve Namikas [7], New Jersey, Sandy Hook'ta meydana gelen erozyon problemine karşı yapılan iki besleme projesini incelemiştir. 1981 ve 1982 yıllarında meydana gelen fırtınalar sonucu Sandy Hook'ta yollar park alanları ve plajlar zarar görmüştür. Bu yapıları korumak ve yeni plajlar sağlamak amacıyla yaklaşık 2,1 milyon m³ kum açık denizden taranarak, Sandy Hook'un kritik bölgesine pompalanmıştır. İlave olarak 200.000 m³ malzeme, bir mahmuz bölmesine besleyici plaj olarak pompalanmıştır.

Fakat devam eden erozyon nedeniyle 1989 sonlarında 2 milyon m³ malzeme daha kritik bölgeye, 500.000 m³ malzeme de besleyici plaja pompalanmıştır.

İlk beslemeden 18 ay sonra pompalanan malzemenin %43'ünün, ikinci beslemeden 18 ay sonra ise malzemenin %51'inin kaldığı belirlenmiştir.

Hansen ve Byrnes [8], Ocean City, Maryland'den alınan profil ölçümleri, dalga ve katı madde verilerini kullanarak, geliştirilmiş olan SBEACH matematik modelinde dört değişik plaj dolgu tasarımını karşılaştırmışlardır.

Dört değişik tasarım profili, üç farklı fırtınaya maruz bırakılmıştır. Standart U.S. tasarımı, fırtına-berm tasarımı, profil besleme ve koruyucu kumul tasarımları kullanılmıştır. Bütün tasarım şekilleri, fırtına ve hortum etkilerine karşı koymuşlardır. Koruyucu kumul tasarımının, plaj gerisini koruma bakımından en etkili metot olduğu görülmüştür.

Yapılan çalışmalar karşılaştırıldığında, ölçüm sonuçları ile matematik model sonuçlarının iyi uyum sağladığı görülmüştür. Ölçülen ve tahmin edilen kum hacmindeki farklılık %20'yi geçmemiştir. Bu bilgiler ışığında SBEACH modelinin, Ocean City'de oldukça makul sonuçlar verdiği görülmüştür.

Madalon vd. [9], A.B.D. Great Lakes'teki su seviyesi değişiminin plaj besleme projesi üzerindeki etkisini hesaplamak için 10 yıllık gözlemler yapmışlardır. Yakın kıyı ve plajdaki katı madde çapı 0,25 mm– 0,35 mm, açık denizdeki katı madde çapı ise 0,12 mm-0,25 mm arasındadır. 1974'de 1 km'lik kıyıya 175.000 m³ malzeme yerleştirilmiştir. Buna ilave olarak 1981'de 61.000 m³'lük besleme yapılmıştır.

Besleme projesi kapsamında toplanan veriler, göl seviyesi değişimi ve plaj besleme performansı arasındaki ilişkiyi hesaplamak için kullanılmıştır.

0,35 mm'lik doğal malzeme üzerine 0,25 mm'lik dolgu malzemesi yerleştirilmiş ve kıyı çizgisinde herhangi bir ilerleme görülmemiştir. 0,35 mm'lik malzeme ile aynı besleme yapıldığında 70 m'lik kıyı çizgisi ilerlemesi görülmüştür.

Dean ve Yoo [10], geliştirdikleri iki farklı tek-çizgi (one-line) modelini birbirleriyle karşılaştırıp plaj besleme projelerindeki kullanılabilirliklerini araştırmışlardır. Dean, mevcut metotları gözden geçirerek aşağıdaki denklemleri önermiştir.

$$V_R = \frac{N}{n} V \quad (1.1)$$

Denklemdede; V_R yeniden besleme için gerekli hacmi, N besleme aralığını (yıl), n proje ömrünü (yıl), V başlangıç proje hacmini göstermektedir.

$$t_{\%50} = K^n \frac{l^2}{H_b^{5/2}} \quad (1.2)$$

Denklemdede; $t_{\%50}$ %50 kayıp için geçen zamanı (yıl), l proje uzunluğunu (km), H_b kırılma anındaki dalga yüksekliğini (m) göstermektedir. $K^n = 0.172$ olarak alınmıştır.

Değişik tasarım seçeneklerinin etkilerini göstermek için bazı örnekler incelenmiştir. Başlangıçta plaj uzunluğu $l=6000$ m, genişliği $Y=30$ m, dalga yüksekliği $H_0=0.6$ m, dalga periyodu $T=6$ sn, dalga geliş açısı $\alpha_0=90^\circ$, malzemenin taşınabileceği derinlik $h_s=5.5$ m ve berm yüksekliği $B=2.5$ m olarak alınarak, dikdörtgen şekilli bir besleme projesinin gelişimi gözlemlenmiştir.

Değişik dalga yükseklikleri ve proje uzunluklarının etkileri araştırılmıştır. Küçük bir dalga yüksekliğinde ($H_0=0.3$ m) ve uzun bir projede ($l=24000$ m) 20 yıl sonunda malzemenin %95'nin kaldığı görülmüştür. Bunun aksine 4 kat büyük dalga yüksekliğinde ($H_0=1.2$ m), proje uzunluğu $1/16$ 'ya indirildiğinde ($l=1500$ m) 1 yıl sonra malzemenin %40'ından daha azı kalmıştır.

Ayrıca yerleştirilen dolgu malzemesinin çapı ile doğal malzeme çapı arasındaki ilişki incelenmiş, dolgu malzemesinin, doğal malzemedenden daha büyük veya daha küçük olması durumları gözlemlenmiştir. Katı madde taşınım katsayısı (K), malzeme çapına bağlı olarak değişmekte, çap arttıkça, K azalmaktadır.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar kısaca şöyledir:

- 1- Matematik model yapılırken taban konturlarını düz ve birbirine paralel kabul etmek gerekir.
- 2- Besleme projesinin ömrü dalga yüksekliği ile ($H^{5/2}$) ters, proje uzunluğu ile (l^2) doğru orantılıdır.
- 3- Eğer besleme malzemesi, doğal malzemedenden daha yavaş hareket ediyorsa, besleme projesi bir bariyer gibi hareket eder ve memba tarafında dolma, mansap tarafında ise erozyon meydana gelir. Besleme malzemesi, doğal malzemedenden daha hızlı hareket ediyorsa, memba ve mansap tarafında dolma olur.

Dean [11], planform gelişiminde bazı problemler için bir mühendislik yaklaşım sağlamıştır. Üstüste besleme hali ve dört değişik sınır şartında bir engel adası önündeki besleme durumlarını incelemiştir. Plaj besleme projelerinin gelişimi, planform ve profil unsurları için düşünülmelidir. Bu iki unsurun zamanla gelişimi tasarım için önemlidir.

Üstüste besleme durumları için aşağıdaki denklem verilmiştir:

$$M = e^{-kt} \quad (1.3)$$

Denklemden; M kalan malzeme oranını, t zamanı göstermektedir. k ilk beslemenin gelişimine dayandırılarak ampirik olarak belirlenebilen bir katsayıdır.

Yeniden besleme aralığı aşağıdaki denklemden bulunabilir.

$$T_w = \frac{T_h}{\ln 2} \ln \left(1 + \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\min}} \right) \quad (1.4)$$

Denklemden; T_w yeniden besleme aralığını (yıl), T_h projenin yarı ömrünü (yıl), V_{\max} maksimum besleme hacmini (m^3) ve V_{\min} minimum besleme hacmini (m^3) göstermektedir.

Üstüste beslemenin ilk durumunda altyapı erozyonunun olmadığı kabul edilmiştir. Üstüste beslemeler arasındaki zaman aralığının gitgide arttığı görülmüştür. Zaman aralığındaki bu artışın nedeni, malzemenin yayılarak uzun bir plajmış gibi davranmasıdır.

İkinci durumda, tüm kıyıboyunda 1m/yıl'lık altyapı erozyonunun olması hali incelenmiş, üstüste besleme aralığının gitgide azaldığı ve altyapı erozyonunun büyük rol oynadığı görülmüştür.

Üçüncü durumda ise sadece beslenmiş bölgede altyapı erozyonu (1m/yıl) olduğu kabul edilmiş, üstüste besleme aralığının yine arttığı görülmüştür.

Ayrıca iki saha projesi de bu çalışmada incelenmiştir. Delray Beach' te yapılan saha ölçümleri ile proje alanında kalan malzeme miktarları 1973-1990 yılları arasında belirlenmiştir. Altyapı erozyonunun olduğu ve olmadığı durumlar için teorik hesaplamalar yapılmıştır. Teorik hesaplarla, saha ölçümleri karşılaştırılmıştır. Altyapı erozyonunun olması durumundaki hesaplamalarla, saha ölçümlerinin birbirine daha çok benzediği tespit edilmiştir.

Perdido Key'de de arazi ölçümleri yapılmıştır. Yapılan ölçümler sonucu, besleme projesinin doğu tarafının Pensocola körfezi girişine yakın olması, bu yönde çok daha fazla malzemenin kaybolduğunu göstermiştir.

Montoya ve Galofre [12], Tarragona (İspanya)'da 3200 m'lik sahil şeridinde bulunan yapıları korumak için 50 m genişliğinde yapılan plajı incelemişlerdir.

Önce net kıyıboyu katı madde taşınımını gösteren bir harita çizilmiştir. İkinci adım olarak, net katı madde taşınımı SW-NE yönünde 20.000 m³/yıl , NE-SW yönünde 30.000 m³/yıl olarak hesaplanmıştır. Üçüncü adımda plaj genişliğinin ne kadar olacağına ve ne çeşit kum kullanılacağına karar verilmiştir.

Toplam 700.000 m³ kum kullanılmıştır. Doğal malzemenin çapı $d_{50}=0,20\text{mm}$ idi. Denizde bulunan malzemenin çapı ise $d_{50}=0,15\text{mm}$ olduğu için, $d_{50}=0,90\text{mm}$ olan bir malzeme beslemede kullanılmıştır.

Yapılan beslemeyle oluşturulan plajın iyi performans gösterdiği gözlemlenmiştir.

Bartoletti vd. [13], Cecina nehri (İtalya) ağzında mahmuzlarla birlikte yapılan beslemeyi incelemişlerdir. 1900'lü yılların başlarında, inşaatlarda kullanmak için Cecina Nehri'nden kum- çakıl alınmasıyla nehrin kuzeyi ve güneyi şiddetli erozyona maruz kalmıştır. Yılda yaklaşık 200.000 m³ kum- çakıl alındığı tahmin edilmiştir. Nehrin güneyinde erozyonu önlemek için mahmuzlar yapılmıştır. Fakat mahmuzlar eklendikçe erozyon güneye doğru ilerlemiştir.

Kuzey ve güney kıyılarından malzeme örnekleri alınarak incelenmiştir. Ayrıca batimetrik profiller çıkarılmıştır.

Yapılan ölçümler sonucu, yaklaşık 4320 m²'lik bir alan kazanıldığı tespit edilmiştir. Ortalama kıyı çizgisinin ilerlemesi ise 3.94 m'dir. Sadece 18.500 m³'lük malzeme kullanıldığı halde 300.000 m³ malzeme birikmiştir. Sedimentasyona yeni yapıların neden olduğu anlaşılmıştır.

Eğer yalnızca yapay besleme yapılmış olsaydı, 1 m³ malzeme 0,13-0,33 m²'lik bir alan oluşturacaktı. Asıl önemli miktardaki katı madde, mahmuzların inşasıyla birlikte tutulmuştur.

Khabidov vd. [14], kıyı koruma yapıları ile kıyı beslemesini karşılaştırmışlardır. Rusya'da yapılan büyük bir barajın kıyılarında meydana gelen erozyonu önlemek için değişik kıyı koruma teknikleri kullanılmıştır. Koruma yapısı olarak, kıyı tahkimatları ve benzeri yapılar, yapay besleme ve karma projeler inşa edilmiştir. Kıyının 7,5 km'lik kısmı yapay olarak beslenmiştir. Meydana gelen fırtınalardan sonra yapay beslemeyle ve karma

projelerle korunan kıyının, kıyı duvarları ile korunan kısımlara göre çok daha iyi durumda olduğu gözlemlenmiştir.

Zawadzka [15], Polonya'da 1989-1995 yılları arasında gerçekleştirilen en büyük besleme projesini incelemiştir. Hel Peninsula kıyısı, sahip olduğu jeomorfolojik sistemin ve inşa edilen limanın etkisiyle sürekli erozyona maruz kaldığı için, 23.4 km uzunluğundaki kıyı şeridi 8 milyon m³ kumla beslenmiştir. Beslemenin etkinliğini belirlemek için incelemeler ve ölçümler sistematik bir şekilde yapılmıştır. Her yıl kıyının değişik yerlerinden alınan 800 ile 1000 civarındaki katı madde numunesi analiz edilmiştir. Mevcut durumu devam ettirmek için yılda 0.6-1 milyon m³ malzeme ile besleme yapılması gerekmektedir. 6 yıllık beslemenin sonunda, kumulların restorasyonu ve kıyı bölgesinde katı madde dengesinin gelişimi sağlanmıştır.

Lastrup vd. [16], 1993 yılında Danimarka, Almanya ve Hollanda tarafından ortak yürütülen besleme projesini incelemişler, plaj besleme ve yakın kıyı besleme metotlarını birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Plaj besleme ve yakın kıyı besleme metotlarının kendilerine göre avantajları şöyledir:

Plaj besleme:

- Daha iyi kumul (dune) taban koruması verir.
- Problemlı bölgede daha iyi bölgesel etki gösterir.
- Beslemenin direkt sonuçları daha kolay görülebildiği için, daha göz alıcıdır.

Yakın kıyı besleme:

- %30 daha ucuzdur.
- Plaj üzerinde makine ile çalışmaya gerek kalmaz.
- Yapım için ücretin düşük olmasından dolayı, küçük besleme projeleri için uygulanabilir.

Besleme projesinin tasarımında, kıyı çizgisinin dengesi, kıyı koruma ve plajın genişletilmesi gibi genel tasarım amaçları üzerinde durulmuştur. Ayrıca şu sorulara da cevap aranmıştır:

- İki besleme projesi (plaj besleme ve yakın kıyı besleme) birbiri ile kıyaslandığında kazanç/fiyat oranı ne olacaktır?
- Beslemede kullanılan dane boyutunun önemi nedir?

Proje kapsamında; iki ayrı bölgede plaj besleme ve yakın kıyı beslemesi yapılmıştır. Plaj besleme için, $d_{50}=0,32$ mm çapında, yakın kıyı beslemesi içinse $d_{50}= 0,57$ mm çapında malzemeler kullanılmıştır.

Danimarka Hidrolik Enstitüsü tarafından geliştirilen 1-boyutlu LITPACH ve iki boyutlu MIKE21 modelleri de proje kapsamında kullanılmıştır.

Çalışmada şu sonuçlar elde edilmiştir: Plaj besleme ve yakın kıyı besleme analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Kıyı çizgisi stabilizasyonu, kıyı koruma ve plaj genişletilmesi tasarım amaçları için yakın kıyı beslemesi gözlem periyodunun sonunda daha iyi sonuçlar vermiştir. Plaj besleme ise başlangıç seçeneği için daha iyidir.

İki proje hacmi stabilite yönünden açık farklılıklar göstermiştir. Plaj besleme 3/4 yılda erozyona uğramıştır. Fakat yakın kıyı besleme hacminin %60' ı beslemeden 2 yıl sonra korunmuştur. Bunun nedenlerinden birisi dane çapıdır. Yakın kıyı beslemede kullanılan dane çapı $d_{50}=0,57$ mm, plaj beslemede kullanılan $d_{50}=0,32$ mm'den 2-3 kez daha stabildir. Ayrıca bar bölgesindeki beslemenin pozisyonu da önemlidir.

Yakın kıyı beslemenin, dolmaya olan etkisi çok büyüktür. Bunun nedeni malzemenin dalgakıran etkisidir. Malzeme bir dalgakıran gibi davranarak kıyıboyu taşınımın karaya doğru olmasını zorlamış ve dolmaya neden olmuştur.

Gronewoud vd. [17], çizgi modelleme tekniği ile yakın kıyı beslemesi üzerinde çalışmışlardır. Yakın kıyı beslemesi, sıradan plaj beslemelerine bir alternatif olarak kullanılabilir. Yakın kıyı besleme davranışının çoğu yönleri halen bilinmemektedir. Yakın kıyı beslemesi kıyının morfolojik davranışını engeller. Yakın kıyı beslemesi yapıldıktan sonraki davranışı tahmin etmek için çizgi modelleme kullanılabilir. Gerçek davranışın tüm detaylarına cevap verememesine rağmen, çizgi modelleme oldukça basit fakat güçlü bir yöntemdir. Birkaç yakın kıyı beslemesi için çizgi modelleme bu çalışmada incelenmiştir.

Yakın kıyı beslemesi hareketli bir batık dalgakıran gibi davranır. Yakın kıyı beslemenin varlığı bu bölgedeki dalga yüksekliklerini azaltacaktır. Çalışmada besleme malzemesi ile doğal malzemenin aynı olduğu kabul edilmiştir. Kıyıya dik profili temsil etmek için üç-çizgi modeli kullanılmıştır.

Hesaplanan ve gözlemlenen plajlar karşılaştırıldığında bazı durumlarda benzerlikler, bazı durumlarda ise düşündürücü farklılıklar olmuştur. Modelin eksikliklerinden biri, farklı dane çaplarının etkisini dikkate alamamasıdır.

Çalışmadan şu sonuçlar çıkarılmıştır:

1- 3-çizgi modelleme tekniği yakın kıyı besleme davranışının önemli karakteristiklerini temsil etmek için iyi bir metottur. Değişik tasarım alternatifleri kolayca karşılaştırılabilir. Fakat tüm sorulara cevap verebilecek bir teknik değildir.

2- Arazide ölçülen ve modelde hesaplanan sonuçlar arasındaki farklılıkların çoğuna, plajın özerk davranışındaki belirsizlikler neden olmaktadır.

Hoekstra vd. [18], Terschelling'te (Hollanda) yapılan yakın kıyı beslemesini incelemiştir. Terschelling yakın kıyı beslemesi 2.5 yıldan fazla süren bir çalışmadır. Besleme projesi, besleyici bir berm olarak tasarlanmıştır. Beslemenin gerçek başarısı, kırıncı berm fonksiyonuna dayandırılmıştır.

Bu çalışma, besleme yapıldıktan sonraki ilk 30 ay içinde meydana gelen gelişmelere odaklanmıştır. Çalışmanın amacı; besleyici berm ve batık dalgakıran olarak beslemenin potansiyel rolünü hesaplamak ve analiz etmektir. Önce, yatay ve düşey kısımlar için katı madde hacminde meydana gelen değişiklikleri hesaplamak ve yakın kıyı bölgesindeki morfolojik gelişimi belirlemek için batimetrik veriler kullanılmıştır. Daha sonra, yakın kıyı bölgesindeki katı madde taşınımı için model hesaplaması ve mevcut ölçümler analiz edilmiştir. Yapılan beslemenin, kıyıya çok olumlu etkiler yaptığı gözlemlenmiştir.

Work ve Otay [19], Florida Perdido Key'de yapılan büyük bir besleme projesi (4,1 milyon m³) önündeki, büyük bir yakın kıyı berminin (3,1 milyon m³) etkisini sayısal dalga transformasyon modeli ile incelemiştir. Düzenli modelin seçilmesinin ilk nedeni, spektral modelle karşılaştırıldığında kullanım kolaylığıdır. Diğer nedeni ise, bu gibi durumlarda düzenli modelin geçerliliğinin değerlendirilmesidir.

Beslemeden sonraki iki yıllık araştırmalar, yakın kıyı berminin bu zaman içinde hareket etmediğini göstermiştir. Dalga modeli sonuçları, bermin plaj besleme projesini sapma yoluyla etkilediğini, kırılma ve kırınım etkilerinin önemli olmadığını göstermiştir. Bermin olduğu ve olmadığı durumlar arasında enerji dağıtılması açısından çok az farklılıklar vardır. Kıyıya ulaşan enerji, berm olsa da olmasa da aynıdır. Bermin üzerindeki derinlik daha az olsaydı, kırılma berm üzerinde oluşacaktı ve bermin arkasındaki kıyı çizgisi daha iyi korunacaktı.

Bir yakın kıyı bermi, davranışına bağlı olarak en az iki fayda sağlar:

- 1- Katı madde kıyıya doğru taşındığı için plajı besler.
- 2- Bermin kara tarafındaki plajı korur.

Larson vd. [20], yerleştirilen dolgu malzemesine plajın tepkisini belirlemek için, iki büyük dolgu projesinin gözlem programında plaj topografya verilerini toplayarak analizini yapmışlardır. Profil verileri 24 hattan, 16 farklı tarihte 5 yılı aşkın bir sürede toplanmıştır. Plaj topografyasını karakterize eden yersel ve zamansal şekilleri belirlemek için, ortogonal fonksiyonlar ve korelasyon analizleri gibi farklı yöntemler kullanılmıştır.

Bu çalışmanın ana gayesi, beslenmiş plajın topografik tepkisini 3 boyutlu olarak araştırmaktır. Yerleştirilen malzemenin kısa ve uzun dönemli tepkisini belirlemek için, gözlem programı esnasında güvenilir veriler toplanmıştır. Ölçümler esnasında meydana gelen birkaç fırtına, plaj dolgularının şiddetli fırtınalara karşı performansını hesaplama açısından iyi bir fırsat olmuştur.

Peters vd. [21], yapay besleme ile kıyı koruma tekniklerinin geliştirilmesinde, dalgaların ve su seviyelerinin bir fonksiyonu olarak plaj profil değişiklikleriyle ilgili veriler gerekli olduğundan dolayı, değişik plaj eğimlerinde (1/5, 1/10, 1/15 ve 1/20) deneyler yapmışlardır. Deneylerin ilk bölümünde, normal dalga ve su seviyesi şartlarında plaj profil değişimi gözlemlenmiştir. İkinci bölümde ise, fırtınadan dolayı oluşan profil değişimleri incelenmiştir. 1/15 ve 1/20 eğimli profillerde, mevcut eğim hemen hemen korunurken, 1/5 ve 1/10 eğimli profillerde erozyonlar oluşmuştur. Yaklaşık 1/15 eğimden sonra erozyon tipi profillere geçiş olduğu gözlemlenmiştir. Bu da; pratik mühendislik çözümünün yanı sıra, sayısal modellemenin de belirgin bir sonucudur.

Karakiewicz vd. [22], doğrusal olmayan dalgalar altında kıyı boyu barlarının gelişiminin tahmini için iki boyutlu model kullanarak deniz yatağının gelişimini analiz etmişlerdir. Kıyı stabilitesi ve erozyon, bölgesel kıyı iklimindeki fırtına dizilerine bağlıdır.

Model simülasyonları, yarı periyodik plaj erozyonunu ve su çizgisi üzerindeki plaj ile açık deniz barları arasındaki katı madde değişiminden sonuçlanan plaj kazanımını göstermektedir.

Modelin uygulaması, Avustralya Gold Coast'ta bir açık deniz plaj besleme örneği ile açıklanmıştır. Açık deniz besleme uygulaması, toplam fiyatı 18 milyon \$'dan 14 milyon \$'a düşürmüştür.

Kana ve Mohan [23], Hunting adasında (Güney Carolina, A.B.D.) meydana gelen erozyonun önlenmesi için yapılan besleme projesinin analizini yapmışlardır. Bölgenin ortalama yıllık erozyon miktarı $35\text{m}^3/\text{m}$ 'dir. 1968,1971,1975 ve 1980 yıllarında dört defa besleme yapılmış ve yaklaşık 2,7 milyon m^3 kum 6400 m'lik kıyı şeridinde kullanılmıştır.

Açık denizdeki sığ yerler arasında dalga sapması ve kırınımın, adanın merkezinden başka yere doğru kıyıboyu taşınım oluşturması, mevcut kıyı çizgisinin morfolojisi, gel-git yükselme akıntıları ve mevcut bir deltanın genişleyerek kumları daha fazla tutması erozyonun temel nedenini oluşturmaktadır.

Beslenecek olan plajın dengesini etkileyebilecek faktörlerden bazıları şunlardır: Dolgu yerleştirme teknikleri, dolgu malzemesinin dane boyutu, kıyı çizgisi morfolojisi, dalgalar, akıntılar, gel-gitler ve fırtına frekansı.

Plajdaki doğal malzemenin ortalama dane çapı 0,16mm, dolgu malzemesinin ortalama dane çapı ise 0,22mm olarak belirlenmiştir. Plaj besleme projelerinde üç geoteknik parametre önemlidir:

- 1- Ortalama dane çapı: Plajın eğim dengesini etkiler.
- 2- Çamur oranı: Stabil olmadığı ve bulanıklık oluşturduğu için mümkün olduğu kadar küçük tutulmalıdır.
- 3- İri malzeme oranı: İri malzeme genelde plaj beslemede avantajlıdır, fakat dinlenme ve eğlence amaçlı plajlar için zararlı olabilir.

Yapılan gözlemlerde, doğal malzeme ile yerleştirilen malzemenin birbirine uygunluk sağladığı görülmüştür. Beslemeden sonra berm bölgesindeki katı maddeler daha iri, plaj bölgesindekiler ise daha ince hale gelmiştir.

Yapılan ölçümler sonucu, dolgudan iki yıl sonra plaj kısmında dolgunun %70'i kalırken, suyun altında %27'sinin kaldığı görülmüştür. Besleme sonrası profil dengesini korumada üç önemli faktör vardır:

- 1- Dane çapı dağılımı: Daha iri malzemenin kullanılması tavsiye edilir.
- 2- Dolgu malzemesinin yerleştirme tekniği: İri malzemenin berm tarafına ince malzemenin ise aşağı taraflara yığılması istenen bir durumdur.
- 3- Çevre faktörleri: Altyapı erozyon oranları, kıyı çizgisi morfolojisi, dalgalar, akıntılar, gel- gitler ve fırtına frekansdır.

Browder ve Dean [24], Perdido Key (Florida, A.B.D.)'de yapılan besleme projesini gözlemlemişler ve geliştirdikleri matematik modelle karşılaştırmışlardır. Proje kapsamında, 1989-1990 yıllarında 7.5 km uzunluğundaki kıyıya 4.1 milyon m³ kum yerleştirilmiştir. Bu malzeme, kıyı çizgisinden denize doğru ortalama 135m'ye kadar yaklaşık 1.2-1.5 m yüksekliğinde yerleştirilmiştir. İkinci yerleştirme ise, 3 milyon m³ olarak su içinde yaklaşık 6 m derinliğe yapılmıştır. Yerleştirilen malzemenin çapı 0.32 mm dir. Plajdaki doğal malzeme ise 0.35 mm çapındadır. Yapılan gözlem programı, plaj profil ölçümlerini, batimetrik ölçümleri, dalga ve akıntı ölçümlerini ve meteorolojik ölçümleri kapsamaktadır. 8 yıl sonra proje alanında malzemenin %56'sının kaldığı görülmüştür.

Katı madde taşınım katsayısı (K) üzerinde yapılan çalışmalarda, arazi ölçümlerinden elde edilen verilere göre $K=0.28$ (belirgin dalga yüksekliğine göre) değerinin en uygun

sonucu verdiği görülmüştür. Daha önceki birçok yazar K için en uygun değerin 0.32 olduğunu belirtmişlerdi. Burada elde edilen değerin onlardan daha küçük olduğu görülmüştür.

Creed vd. [25], güneydoğu A.B.D.'de 18 besleme projesinden elde edilen verileri kullanarak; plaj dolgu eğimleri, gel-git akımları ve katı madde dane çapı arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Çalışmanın amacı, bilinen malzeme dane çapı verilerine karşılık uygun yapı eğimlerini belirlemektir. Bu amacı gerçekleştirmek için, Florida'da yapılmış 18 ayrı plaj besleme projesinden; dolgu yerleştirme metodu, profil ölçümleri, yapı eğimleri ve dane çapı karakteristikleri gibi veriler toplanmıştır.

İri daneli katı maddeler, ince daneli katı maddelerden daha dik eğimde yığılmaya meyillidirler. Kötü sınıflandırılmış katı madde, çeşitli dane çaplarına sahiptir. Bu katı maddeler birbirlerine daha iyi kenetlenmeye meyillidirler ve iyi sınıflandırılmış katı maddelerden daha dik eğim oluştururlar.

Besleme yapısı iki farklı eğimde inşa edildiğinde; yapının alt eğimi ile ortalama dane çapı arasında kuvvetli bir ilişki olduğu görülmüştür. Alt eğimin aksine, üst eğimle dane çapı arasında belirgin bir ilişki görülmemiştir.

Yapılan araştırmalarda, projede belirlenmiş üst eğim şeklinin hemen hemen aynen inşa edilmesine rağmen, alt eğimin yapımında istenen eğimin verilemediği görülmüştür..

Arazi verilerine dayanarak, ortalama dane çapı ile plaj eğimi arasında bir bağlantı olduğu gösterilmiştir.

Work, P. A., ve Rogers, E.W. [26], dalgalar, plaj karakteristikleri ve proje performansı arasındaki ilişkiyi belirlemek için plaj besleme deneyleri yapmışlardır. Kıyıya dik ve düzenli dalgalarla 9 deney durumu tasarımı edilmiştir. İdealize edilmiş plaj besleme projeleri, basit analitik ve sayısal kıyı çizgisi gelişim modelleriyle karşılaştırılmıştır. Dalga yüksekliği, periyodu, eğim, dolgu uzunluğu ve başlangıç şeklinin etkisi laboratuvar sonuçlarına dayandırılarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak; plaj ömrünün, proje uzunluğu ve dalga periyodu ile pozitif ilişkili, dalga yüksekliği ve plaj eğimi ile negatif ilişkili olduğu görülmüştür.

Donohue, K. A, ve Dean, R.G. [27], beslenmiş bir plaj çevresindeki kıyıboyu katı madde taşınım debisi ve katı madde çapı ile besleme projesi arasındaki ilişkiyi belirlemek için üç boyutlu dalga havuzunda deneyler yapmışlardır.

1996'da Florida St. Augustine Plajı'nda yapılan besleme projesindeki malzeme kaybı, CERC denkleminde tahmin edilen miktardan çok daha azdı. CERC denklemi için kıyıboyu katı madde taşınım katsayısı $K=0,77$ idi. Hesaplanan K ise $0,015$ idi. Bu durum için iki farklı hipotez ortaya atılmıştır:

1. Dolgu malzemesi doğal malzemedenden çok daha iridir ve bu yüzden daha stabildir.
2. Berm yüksekliği büyük seçilmiştir.

Çalışmada, bu etkileri araştırmak için laboratuvar deneyleri yapılmıştır. Daha önce yapılan çalışmalarda, doğal malzemedenden daha iri olan malzemenin ince malzemedenden daha stabil olduğu ve daha yavaş erozyona uğradığı görülmüştür. Dane çapının miktar ve kalite olarak tam etkileri araştırma altında olmasına rağmen, daha büyük dane çapının projenin ömrü üzerindeki olumlu etkileri geniş bir şekilde kabul görmektedir.

Laboratuvar deneylerinde, üç farklı dane çapı ($0,21\text{mm}$ - $0,50\text{mm}$ - $0,80\text{mm}$) ve iki ayrı başlangıç profil şekli (A ve B tipi) kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, A tipi beslemede (Şekil 1.1) %12, B tipi beslemede %37 ortalama kayıp oluşmuştur. A tipi beslemede K katsayısı dar bir bantta değişmektedir ve katı madde çapı ile ters bir trend göstermektedir.

Başlangıç şeklinin trapez olması halinde B tipindeki K değerleri A tipinden daha büyüktür. İnce kum (0.21 mm) her iki tipte de en yüksek K değerine sahiptir. Orta çaptaki kum (0.5 mm) en düşük K değerine sahiptir. İri malzemede (1 mm) K değerleri ince malzemedenden daha düşük fakat orta çaplı malzemedenden daha büyüktür. Bu durum oldukça ilginçtir. Katı madde taşınım davranışındaki bu araştırma 0.5 mm 'den daha küçük kumlar için, dane çapı ve taşınılabilirlik arasında ters bir ilişki göstermektedir.

0.5 mm 'den daha büyük dane çaplı malzemede çok az laboratuvar deneyi ve arazi çalışması vardır. Çalışmadan çıkarılan sonuç ve öneriler şunlardır:

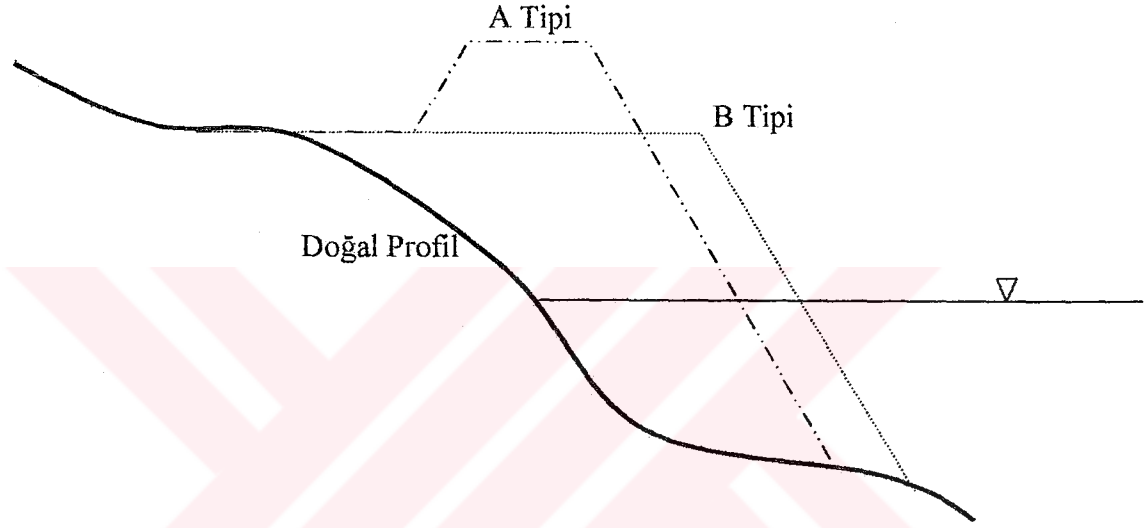
1- Doğal ve dolgu malzemesinin arasındaki dane çapı farklılığı ile başlangıç yapım şeklinde berm yüksekliğinin büyük seçilmesi, projenin başarısında birer etkindirler.

2- Azalan dane çapı ile birlikte, taşınabilirlik artar. Bu sonuç, kullanılan üç değişik analiz metoduyla da desteklenmektedir.

3- K ile dane çapı eğilimi karşılaştırıldığında beklenmeyen bazı sonuçlar görülmüştür.

4- Daha büyük dane çapına sahip malzeme başlangıç profilinde daha yükseğe yerleştirildiğinde çok az bir taşınabilirliğe sahip olmaktadır. Bu da besleme projesinin ömrünü artırmaktadır.

5- Doğal ve dolgu malzemesinin karışım yöntemi halen çok iyi anlaşılmamaktadır. $K_{doğal}$ ve K_{dolgu} etkilerini ayırabilecek deneysel bir metot geliştirmek önemli olacaktır. Büyük ölçeklerde çalışılmalıdır. 0.5 mm'den daha büyük malzemenin davranışı araştırılmalıdır.



Şekil 1.1. A ve B tipi beslemeler

Hanson vd. [28], Avrupa Birliği Ülkelerinde yapılan besleme projelerini incelemişlerdir. Son on yıldan beri sert kıyı koruma yapılarından yumuşak koruma yapılarına geçiş olmuştur. İncelenen Avrupa Birliği Ülkelerinde, mühendislik metotları, kıyı yönetimi stratejileri ve yapay besleme için finansal destek bulma konularında çok belirgin farklılıklar bulunmaktadır. Hollanda ve İspanya'da yılda $40 \text{ m}^3/\text{m}$, diğer AB ülkelerinde yılda $10 \text{ m}^3/\text{m}$ civarında yapay besleme yapılmaktadır. Yeniden besleme için geçen zaman aralığı çoğu AB ülkesinde yaklaşık 5 yıl olmasına rağmen, finansal nedenlerle İtalya ve Almanya'da 25 yıldır. AB ülkelerinin besleme stratejilerinde belli farklar olmakla beraber, plajın daha çok eğlenme ve dinlenme amaçlı olarak yapılması dikkat çekicidir. Amerika Birleşik Devletleri'nde ise eğlenme ve dinlenme faydaları dikkate alınmasına rağmen, yapay beslemedeki asıl amaç fırtına nedenli hasarların önlenmesidir.

Hamm vd. [29], Avrupa ülkelerinde yapılan besleme projelerini Tablo 1.1'de vermişlerdir.

Tablo 1.1 Avrupa'da yapılan besleme projeleri

Ülke	İlk Besleme Projesi	Beslenmiş Bölgelerin Sayısı	Toplam Besleme Hacmi (milyon m ³)
İspanya	1985	400	110
Hollanda	1970	30	110
Almanya	1951	60	50
Danimarka	1974	13	31
İngiltere	1950	32	20
İtalya	1969	36	15
Fransa	1962	26	12

Perez vd. [30], Güneybatı İspanya'da Cadiz Körfezinde 1989 ile 1998 yılları arasında 28 plajda yapılan 38 plaj besleme projesi ile ilgili verileri toplamışlardır. 400 km'lik kıyı şeridinde yıllık ortalama 1,2 milyon m³'lük besleme yapılmıştır. Beslemelerin yıllık maliyeti 3,75 milyon \$'dır. Karadan kamyonlarla yapılan beslemenin maliyeti 2,7 \$/m³ iken, denizden tarayarak elde edilen kumun maliyeti 3,1 \$/m³'tür.

Boğuşlu. H. [31], plaj besleme genişliğinin etkisini üç boyutlu havuzda ve iki boyutlu dalga kanalında araştırmıştır. Üç değişik boyuttaki plaj besleme genişliğinde, batık profil beslemeli, batık dalgakıranlı yapı ve yapısız durumları için besleme kıyıda kalma hacmi oranlarını incelemiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar şunlardır:

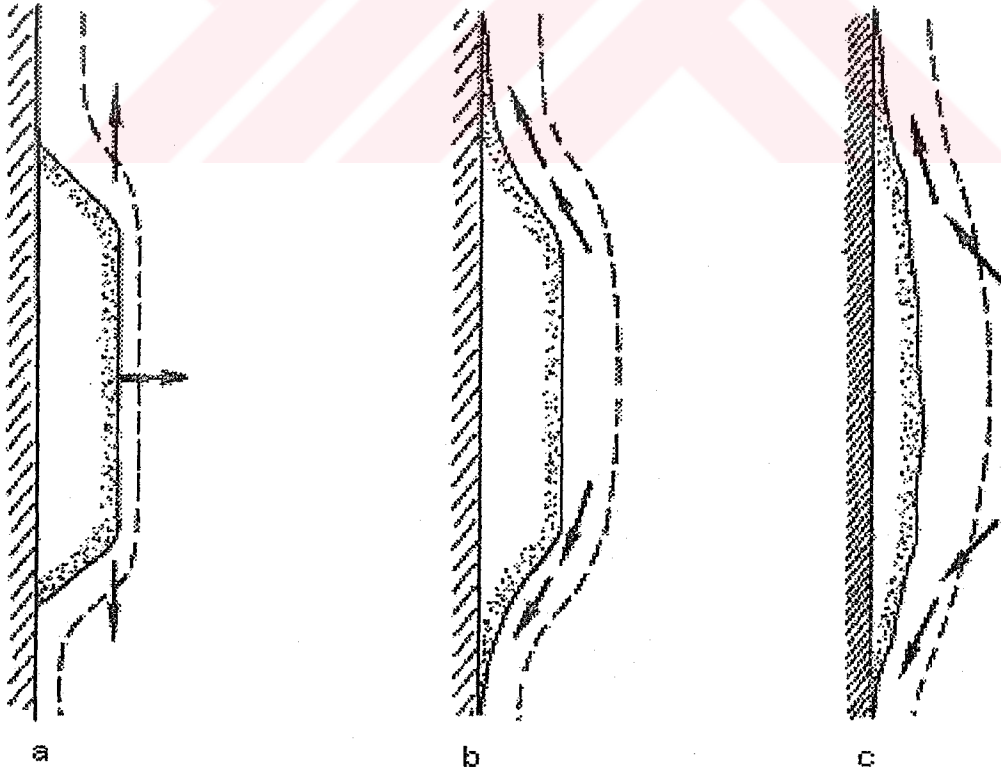
- 1- Besleme genişliği arttıkça, kıyıda kalan malzeme hacmi azalmaktadır.
- 2- Batık profil beslemeli yapı, batık dalgakıranlı yapıya ve yapısız duruma göre en iyi sonucu vermektedir.
- 3- Batık dalgakıranın genişliği artırıldığında, kıyıda kalan malzeme hacmi artmaktadır.
- 4- Dalga yüksekliğinin kıyıda kalan malzeme hacmi üzerindeki etkisi, diğer yapı parametrelerinin yanında daha azdır.

1.4. Yapay Besleme Hakkında Genel Bilgiler

1.4.1. Yapay Beslemenin Tanımı

Yapay kıyı beslemesi; kıyı bölgesini korumak için büyük miktarlardaki malzemenin, kıyıdan denize doğru yerleştirilmesidir. Besleme; kıyıyı korumak, eğlenme-dinlenme amaçlı plaj oluşturmak veya her iki fonksiyonu bir arada yerine getirmek için yapılır.

Plaj besleme malzemesi, genellikle plajın denge profilinden daha dik olarak yerleştirilir. Planda veya profilde beslenme sonrası meydana gelen dengesizlik, kıyı boyu ve kıyıya dik katı madde hareketi sonrası zamanla dengeye gelir. Plaj besleme projesinin zamanla gelişiminin safhaları Şekil 1.2'de görülmektedir. Başlangıçta çok dik hale gelen profiller nedeniyle hızlı bir şekilde kıyıya dik taşınım ve kıyı boyu taşınım meydana gelmektedir (a). Profiller dengeye ulaştıktan sonra kıyıya doğru taşınım ve dalgalar nedeniyle kıyı boyu taşınım olur (b ve c). Plaj besleme profili, yapımı veya yeniden beslemeyi takip eden ilk birkaç yıl belirgin bir şekilde değişikliğe uğrar.

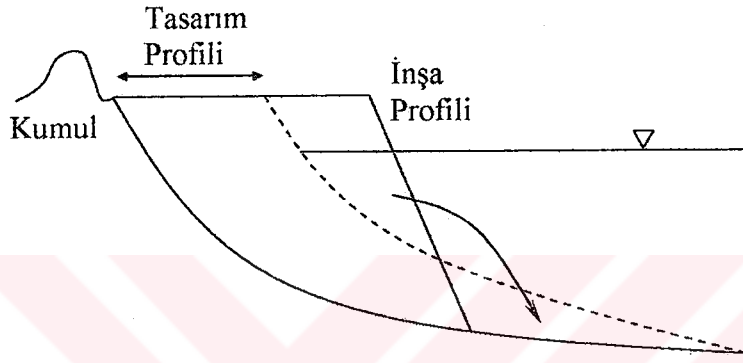


Şekil 1.2. Beslenmiş bir plajın çevresinde gözlemlenen katı madde taşınım safhaları

1.4.2. Tasarım ve İnşa Profilleri

Beslenmiş plaj profilinin dengeye ulaştıktan sonra alması beklenen şekil, tasarım profilidir. Tasarım profilinin alacağı şekil, besleme malzemesinin çapına bağlıdır.

Projeye göre inşa edilmesi gerekli olan profil ise inşa profilidir. İnşa profili, daha dik eğime sahiptir ve genellikle birkaç ay içinde daha düz bir denge profiline ulaşır. Tasarım ve inşa profilleri Şekil 1.3.'de görülmektedir.

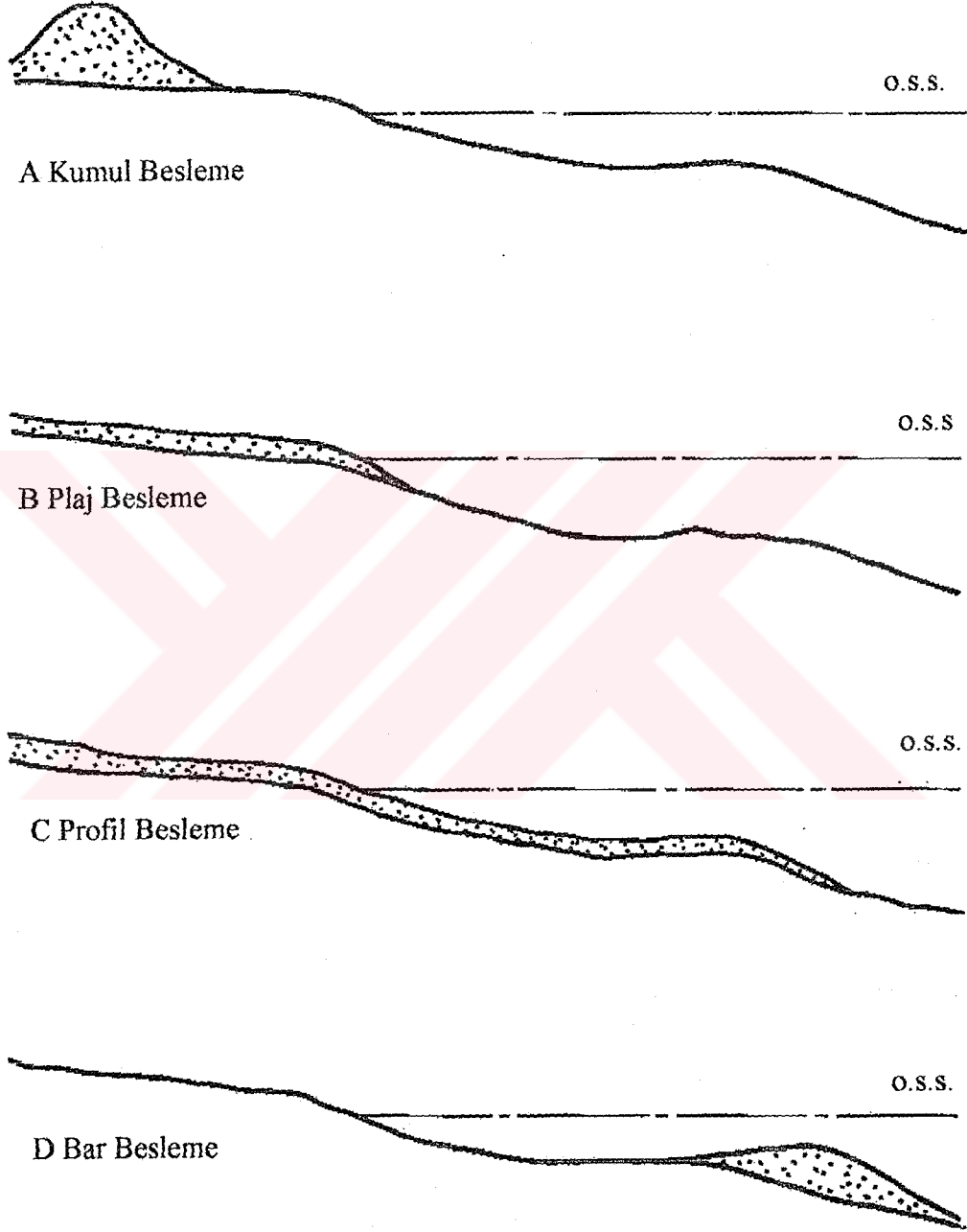


Şekil 1.3. Tasarım ve inşa profilleri

1.4.3. Besleme Malzemesinin Plaj Profiline Yerleştirilebileceği Bölgeler

Besleme malzemesinin plaja yerleştirilmesinde değişik tasarım planları kullanılır. En sık kullanılan yerleştirme bölgeleri Şekil 1.4'te görülmektedir. Kumul beslemede, malzeme aktif plajın arkasına yerleştirilir (A). Plaj beslemede, ortalama su seviyesinin üzerinde daha geniş ve daha yüksek berm elde etmek için malzeme plaja yerleştirilir (B). Profil beslemede, malzeme tüm plaj profili boyunca yerleştirilir (C). Bar beslemede ise malzeme açık denizde yapay bir bar şeklinde yerleştirilir (D).

Seçilen tasarım şekli, malzemenin getirileceği kaynağa ve plajdaki yerleştirme imkanlarına bağlıdır. Eğer malzemenin temin edileceği yer karada ise ve taşıma kamyonlarla yapılacaksa A ve B tipleri daha ekonomiktir. Eğer malzemenin kaynağı denizde ise C ve D tipleri daha pratik ve ekonomik olur [32].



Şekil 1.4. Besleme bölgeleri

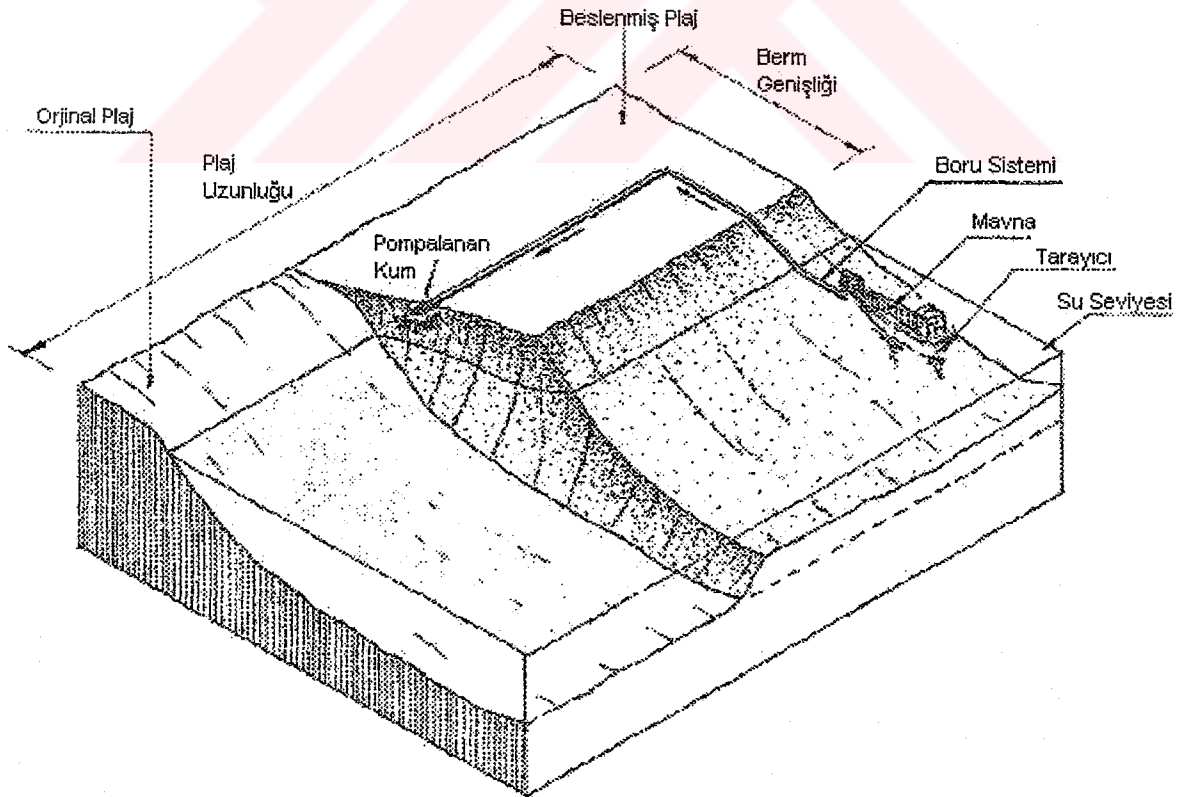
1.4.4. Plaj Besleme Yöntemleri

Değişik plaj besleme yöntemleri vardır:

1. Doğrudan (Direkt) Yerleştirme: En sık kullanılan yerleştirme metodudur. Başka yerlerden taşınan veya denizden taranarak elde edilen besleme malzemesi, hidrolik pompalarla plaja pompalanır. Daha sonra malzeme arzu edilen şekilde plaja yerleştirilir (Şekil 1.5).

2. Yakın kıyı yerleştirilmesi: Bu metot, sadece denizden taranarak elde edilen büyük hacimdeki malzemenin daha ucuza yakın kıyıya yerleştirilmesi prensibine dayanır. Denizden taranan malzeme siğ sulara pompalanır ve dalga etkileriyle kıyıya doğru taşınır. Yakın kıyı beslemesi daha ekonomik olmasına rağmen, kıyının gerisini koruması bakımından yeterli faydayı sağlamamaktadır.

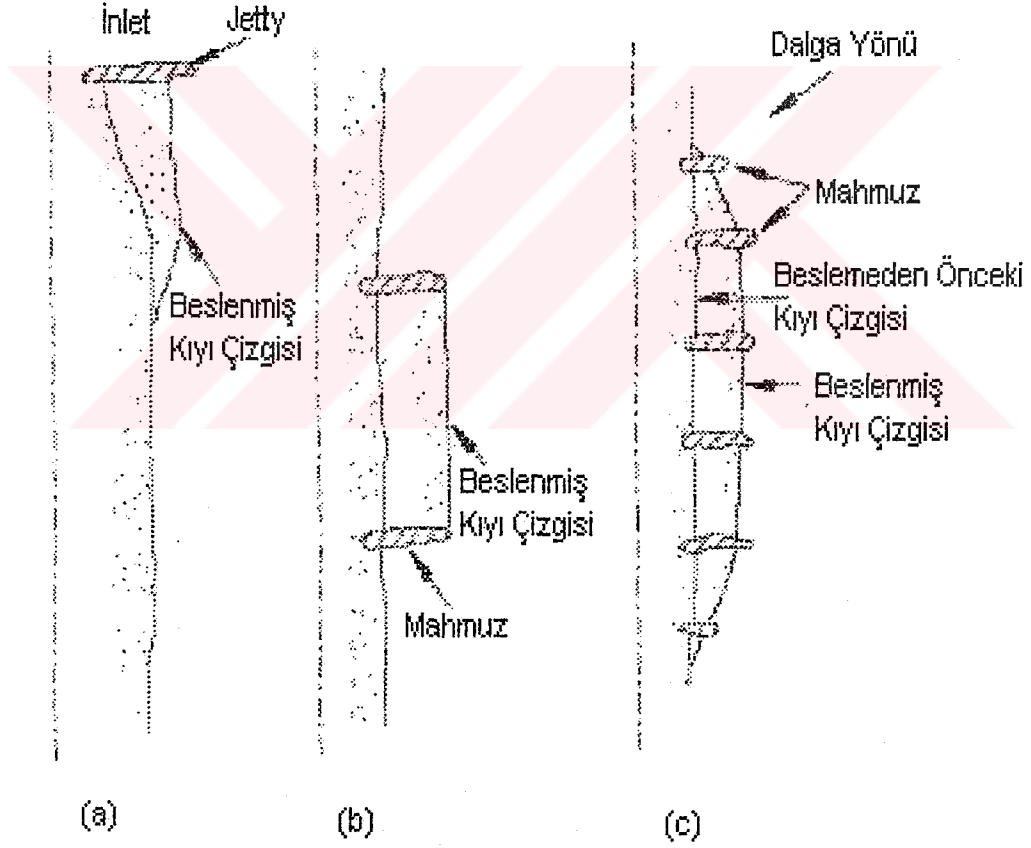
3. Sürekli stok: Bu metotta kum, kıyıdaki mahmuz v.b. bir yapının memba kısmında tutulur ve plajın mansap kısmına ihtiyaç oldukça by-pass edilir. Bu metot kıyı beslemeden daha çok bir by-pass yöntemi olarak da düşünülebilir [33].



Şekil 1.5. Denizden taranan kumun plaja pompalanması

1.4.5. Yapılarla Birlikte Besleme Yapılması

Mahmuz v.b. kıyı yapılarının kullanımı plaj besleme projelerinin performansını yükseltir. Proje uzunluğunun nispeten küçük olduğu veya kıyının bir inlet tarafından belirgin bir şekilde etkilendiği yerlerde, kıyı boyunca olabilecek malzeme kayıplarını engellemek için Şekil 1.6.a ve b de görüldüğü gibi, yapıların yapılması kayıpları önler. Yapıların uygulamasının diğer bir amacı ise, kıyı boyu katı madde taşınım oranını ve uç kısımlardaki kayıpları azaltarak proje ömrünü uzatmaktır (Şekil 1.6.c). Yapıların memba veya mansap kısmının hemen yanındaki plajlar, bitişikteki yapıların olumsuz etkilerinden korunmak için beslenmelidir.



Şekil 1. 6. Yapılı kıyı besleme örnekleri

1.4.6. Planlama Kriterleri

Yapay beslemeyle koruyucu plajların planlanması için şunlar gereklidir:

- a) Hakim kıyı boyu taşınım yönünün belirlenmesi ve problemlili alanın malzeme eksikliğini tespiti,
- b) Aktif kıyı boyu hareketin olduğu bölgedeki malzemenin çap v.b. karakteristiklerinin belirlenmesi,
- c) Başlangıç beslemesinde ve periyodik beslemelerde kullanılacak malzemenin seçimi ve değerlendirilmesi, ayrıca doğal malzeme ile yapay beslemede kullanılan malzemenin karşılaştırılması,
- d) Plaj berm yüksekliği ve genişliğinin belirlenmesi,
- e) Ön kıyı eğiminin belirlenmesi,
- f) Besleme yerinin belirlenmesi.

1.4.7. Yapay Besleme Malzemesinin Seçimi

Doğal kumun karakteristiklerinin ve kıyı boyu taşınım yöntemlerinin belirlenmesinden sonraki adım, yapay beslemede ve periyodik beslemelerde kullanılacak malzemenin seçimidir. Kumlar mekanik olarak plaja yığıldığı zaman, dalgalar besleme tabakasının yüzeyinde bir dizilme hareketine başlayıp, ince parçacıkları denize doğru, iri malzemeyi kıyıya doğru bırakırlar. Bu dizilme, iri parçacık tabakası dalga rejimiyle uyumlu hale gelinceye kadar ve eğim normal dalga şartları için geçici olarak sabit hale kavuşuncaya kadar devam eder. Koruyucu tabaka fırtına tarafından bozulursa, alttaki malzeme tekrar aynı yöntemle maruz kalır.

Eğer, doğal plaj malzemesinden daha ince bir malzeme bir fırtınaya maruz kalırsa, fırtına bu malzemeyi, boyutuyla uyumlu bir derinliğe taşır. Besleme malzemesi, doğal malzemedен daha iri ise, ön kıyıda kalır. Ayrıca daha dik bir plaj oluşturması da mümkündür. Eğer besleme malzemesi çok iriyse, normal şartlar altında dengeli bir hale gelir. Fakat bu, dinlenme ve eğlenme amaçlı bir plaj için arzu edilmeyen bir durum olur. Eğer besleme malzemesi doğal malzemedен daha ince ise, büyük miktarlarda malzeme açık denize sürüklenip kaybolur.

İri parçacıklar genellikle daha azdır ve kaybolma oranları düşüktür. İnce parçacıklar ise daha boldur ve kıyı boyu ile açık denizde hızlı hareket ederler. Stabil kalan veya çok az

değişimin olduğu bir bölge, doğal malzemenin karakteristik boyutları ve besleme malzemesinin uygunluğunu değerlendirmek için kullanılabilir. Doğal malzemeyle aynı dane boyutundaki veya biraz daha iri olan malzemeyi, besleme malzemesi olarak kullanmak genellikle uygundur. Eğer besleme için böyle malzeme mevcut ise, gerekli besleme hacmi direkt olarak proje boyutlarından belirlenebilir.

1.4.8. Yapay Besleme Projelerinin Tasarım Şeması

Yapay besleme tasarım yöntemi, ihtiyacın tanımlanması ve proje amacının belirlenmesi ile başlar. Problemi anlamak, gerekli bilgileri elde etmek ve çözümleri geliştirmek için bölge özellikleri belirlenmelidir. Alternatif tasarımlar; beklenen fiziksel performans, proje ekonomisine ve çevresel etkilere bağlı olarak değerlendirilmelidir. Seçilen alternatifin yapımını; gözlemlene, bakım ve periyodik besleme takip eder. Şekil 1.7, yapay besleme tasarım yöntemini özetlemektedir. Proje tasarımı; keşif, fizibilite ve inşa öncesi mühendislik değerlendirmesi gibi çalışmanın çeşitli seviyelerine bağlı olarak çok değişik detaylı çalışmalar içerebilir. Bu çalışmalar aşağıdaki gibi özetlenebilir [34].

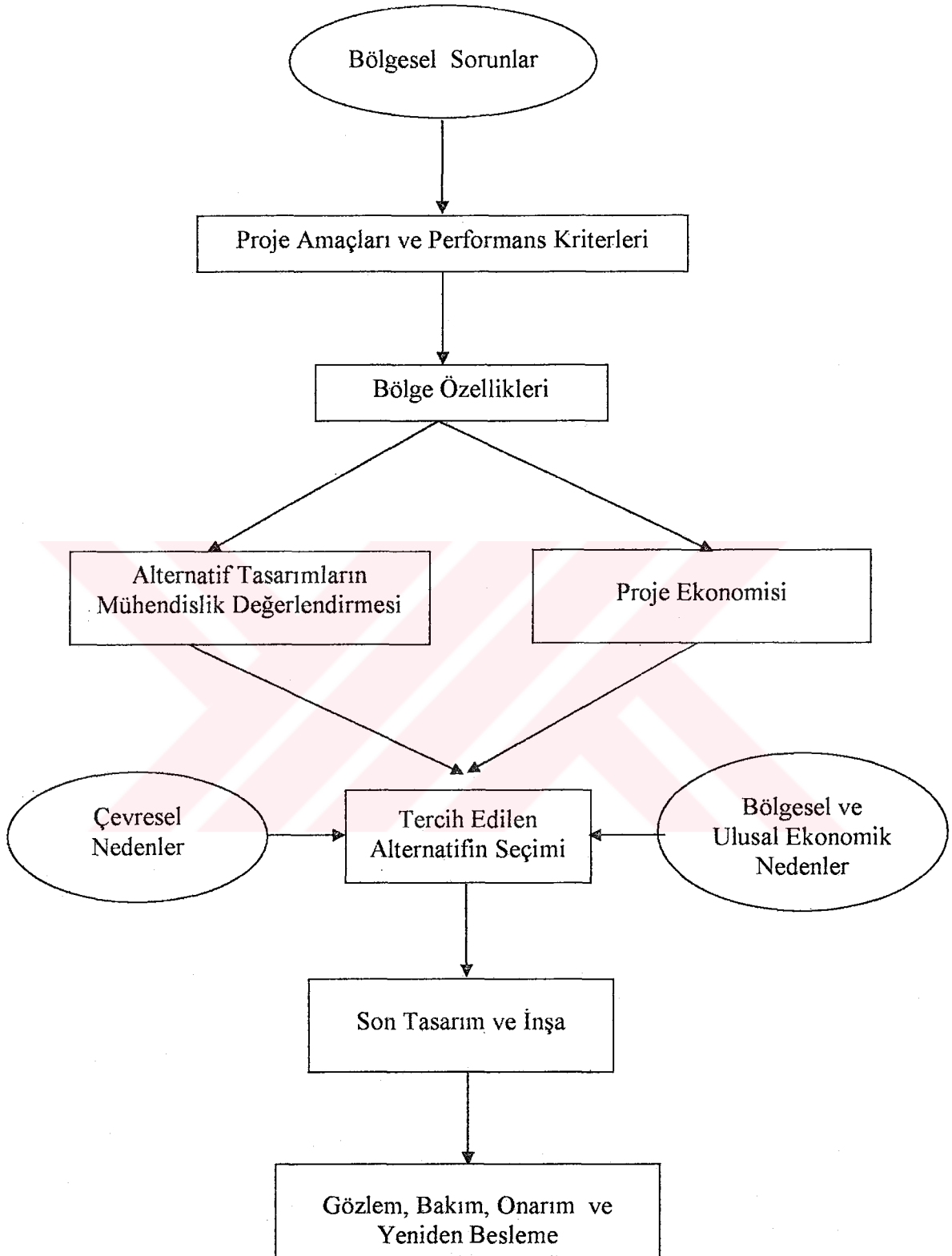
1.4.8.1. Bölgesel Sorunlar

Bölgedeki kıyı yapılarında veya kıyı gerisinde hasar meydana gelmesi, mevcut plajların tahrip olması gibi durumlarda yapılan proje çalışmalarıyla sorunun nasıl çözüleceğine karar verilir.

1.4.8.2. Proje Amaçları ve Performans Kriterleri

a- Problemin Durumu: Fırtına hasarlarını azaltma, plaj erozyonunu kontrol, dinlenme ve eğlenme, navigasyon projelerinden taranan malzemeleri yerleştirme gibi bir veya birkaç durum için projeler tasarım edilebilir.

b- Performans Kriterleri: Proje tasarımında, ekonomik performans ana tercihlerden biridir. Çevresel zorlamalar veya bölgesel nedenlerden dolayı bazı ilave kriterler ve sınırlamalar da projede yer alır.



Şekil 1.7. Yapay besleme proje tasarım şeması

1.4.8.3. Bölge Özellikleri

a- Kıyı Çizgisinin Tarihsel Değişimi: Kıyı çizgisinin değişim verileri, uzun dönem kıyı çizgisi erozyon oranlarını ve hacim değişimlerini hesaplamak için kullanılır. Kıyı çizgisi değişim analizi; tarihsel kıyı çizgisi haritalarına, plaj profiline, açık deniz batimetri verilerine ve hava fotoğraflarına dayandırılır.

b- Profil Şekli ve Değişebilirliği: Plaj profil verileri; kısa dönem plaj değişim analizi ve modellemesinde kullanılır. Profil şeklinin bölgesel ve zamansal değişebilirliği ve kıyı boyunun tepkisi, geliştirilen tasarım için gereklidir.

c- Aktif Derinlik (Depth of Closure): Katı madde hareketinin denize doğru olan sınırı, besleme hacmi hesaplarında ve katı madde taşınım modellemelerinde kritik bir parametredir. Bu derinlik ya analitik olarak hesaplanır veya yapılan ölçümlerle tespit edilir.

d- Açık Deniz Batimetrisi: Aktif derinliğin ötesindeki açık deniz batimetrisinin detayları, dalga transformasyonu modellemesinde veya açık deniz ödünç malzeme kaynaklarının belirlenmesinde gereklidir.

e- Kıyı Oşinografisi: Proje alanı boyunca su seviyesi ve dalga şartlarının bilinmesi, katı madde taşınımı ve alternatif yapay besleme tasarımlarının değerlendirilmesi için gereklidir.

f- Katı Madde Bütçesi: Katı madde bütçesi; erozyonu, yığılmayı ve ilgili alana belli zaman aralığında giren ve çıkan katı madde taşınımını belirler. Katı madde bütçeleri, uzun dönemli yeniden besleme ihtiyaçlarını hesaplamak için kıyı boyu taşınım bilgileri sağlar.

g- Katı Madde Özellikleri: Doğal malzemenin ve besleme malzemesinin özelliklerini bilmek, besleme malzemesinin vereceği tepkiyi ve uygunluğu hesaplamak için gereklidir. Katı madde çapı, rengi ve çevreye uygunluğu düşünülmelidir.

h- Ödünç Katı Madde Kaynakları: Yapay besleme malzemesi için kıyı ve açık deniz kaynakları belirlenmeli ve bu kaynaklar; katı madde kalitesi, miktarı, taşınma ve yerleştirme masrafları, fiziksel ve çevresel etkiler yönünden değerlendirilmelidir.

1.4.8.4. Alternatif Tasarımların Mühendislik Değerlendirmesi

Uygun Alternatif Tasarımların Seçimi: Başlangıçta, verilen bir proje için birkaç mühendislik tasarım seçeneği düşünülmelidir. Alternatif tasarımlar seçilirken, proje bölgesini etkileyen kıyı ile ilgili bilgilere, tasarım seçeneklerinin fiziksel performansına ve

mühendislik tecrübesine dikkat edilmelidir. Uygun alternatif tasarımlar seçilirken; ekonomik durum, çevresel etkiler ve bölgesel tercihler düşünülmelidir.

Yapay beslemelerde, farklı berm yüksekliklerini de içeren birkaç enkesit şekli seçilmelidir. Bazı durumlarda fırtınalara karşı ilave koruma ve beslemenin stabilitesini sağlamak için mahmuzlar, dalgakıranlar ve kıyı duvarları ile birlikte besleme yapılabilir. Fiziksel ve ekonomik etmenlere bağlı olarak, enkesitler, besleme karakteristikleri ve yapılar proje uzunluğu boyunca değişebilir. Seçilen yapay besleme tasarımının, kıyıboyu proje sınırları içindeki ve bu proje bölgesinin bitimindeki bölgelere etkileri de dikkate alınmalıdır.

1.4.8.5. Proje Ekonomisi

a- Hasarlar: Uzun dönem erozyon hasarları proje şartları olmaksızın belirlenir. Kıyı çizgisi gerilemesinin ortalama oranı proje süresi boyunca devam edecektir. Proje tasarımları uzun dönem kıyı çizgisi gerilemesini dikkate alarak periyodik yeniden beslemeleri içerdiğinden dolayı, uzun dönemli erozyon hasarları proje alternatifleriyle birlikte dikkate alınmazlar.

Fırtına nedenli ekonomik hasarlar proje şartları olmaksızın hesaplanırlar. Her bir tasarım alternatifi, fırtına nedenli erozyonun, dalga etkilerinin ve taşkınların neden olduğu yapı hasarlarına dayandırılır. Analiz esnasında bu üç hasar mekanizması da düşünülür. Fakat her bir yapı üzerinde en büyük hasara neden olan tek bir mekanizma dikkate alınır.

b- Faydalar: Verilen bir projenin ekonomik faydası; kıyı çizgisi gerilemesinin ve toprak kaybının azaltılması, hasarların minimuma inmesi, eğlenme ve dinlenme amaçlı faydaların toplamından oluşmaktadır.

c- Proje Maliyeti: Bir projenin toplam tutarı; malzemenin temin edilip yerleştirilmesinin yanısıra, planlama, mühendislik, yeniden besleme, bakım, onarım ve gözlemeleme gibi maliyetlerin toplamından oluşmaktadır.

1.4.8.6. Tercih Edilen Alternatifin Seçimi

Mühendislik ve ekonomik analizlerin sonuçları, tercih edilen proje tasarımının seçiminde değerlendirilir. Projenin ekonomikliği, seçimde oldukça önemlidir. Fayda/maliyet oranı daha büyük olan alternatif tasarım seçilir.

1.4.8.7. Son Tasarım ve İnşa

Son tasarım esnasında, projeyi daha uygun hale getirmek için bazı tasarım parametrelerinde küçük değişiklikler yapılabilir. Proje planları, özellikleri ve iş akış şeması hazırlanır. Proje özellikleri; besleme bölgesi sınırlarını, ödünç malzemesinin kaynağını, taşınmasını ve yerleştirilmesini, inşa profilini ve tolerans payı gibi bilgileri içermektedir.

Projenin inşası sırasında gözlemlene, müteahhidin getirdiği malzemenin boyutları ve miktarı açısından önemli bir rol oynamaktadır. Çünkü dalgaların etkileriyle yerleştirilen malzemenin bölgeye yayılması söz konusudur.

1.4.8.8. Gözlem, Bakım, Onarım ve Yeniden Besleme

Yapay beslemenin bitiminin hemen ardından, proje performansını değerlendirmek için gözlemler yapılmalıdır. Profil ölçümleri, katı madde numuneleri, hava fotoğrafları, dalga ve su seviyesinin gözlemlenmesi doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlar. Fiziksel gözlem verileri olmaksızın, proje performansının nasıl olduğuna karar vermek zordur.

Gerçek performans ile tahmin edilen performansı karşılaştırmak, projenin etkinliği ve yeniden besleme planları açısından faydalı bilgiler sağlar.

Periyodik olarak yıllık ortalama kayıplardan veya büyük fırtınalar esnasında oluşan kayıplardan dolayı yeniden besleme yapılır. Bakım ve yeniden besleme ihtiyaçları proje ömrü boyunca düzenli olarak dikkate alınmalıdır.

1.5. Yapay Plaj Gelişimi İçin Geliştirilen Analitik Çözümler

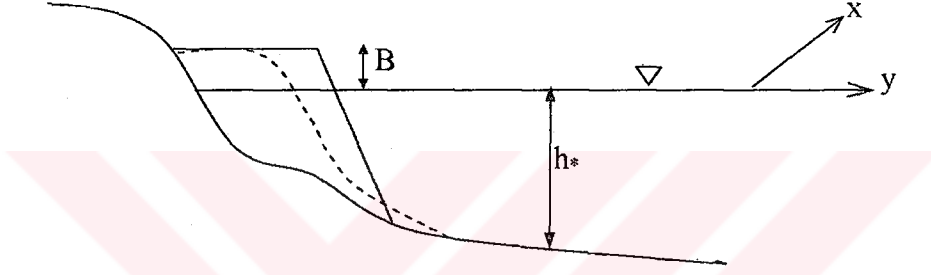
1.5.1. Genel

Plaj besleme ile ilgili katı madde taşınımı, hem kıyıboyu hem de kıyıya dik taşınımı ilgilendirmesine ve karmaşık olmasına rağmen, yapılan birçok kabul, plaj besleme tahminlerini basitleştirmektedir. Plaj besleme planform gelişimi için geliştirilen temel denklemler, süreklilik denklemi ve katı madde taşınım denklemidir. Kıyı çizgisi değişimini göstermek için bu iki temel denklemden hareketle tek-çizgi modeller geliştirilebilir. Süreklilik denklemi Denklem 1.5'de verilmiştir.

$$\frac{\partial V}{\partial t} = -\frac{\partial Q}{\partial x} \quad (1.5)$$

Burada, V: Her birim plaj genişliği için hacim, Q: Net kıyı boyu katı madde debisi, x: Kıyı boyu koordinatı, t: Zamandır.

Profiller, yatay kıyı çizgisi değişimi Δy ve taşınım debisinin kıyı boyunca değişimi $\partial Q/\partial X$ arasında denge içindedir. Dikey mesafe ise, berm yüksekliğinden (B), aktif derinliğe (h^*) kadar olan derinlik olarak kabul edilir (Şekil 1.8).



Şekil 1.8. Plaj profil geometrisi

Böylece

$$\Delta y = \frac{1}{h^* + B} \frac{\partial Q}{\partial x} \quad (1.6)$$

yazılabilir.

Kıyı boyunca taşınan katı maddenin batmış ağırlığı (I) ve kıyı boyunca enerji akı faktörü (P_{1s}) arasındaki ilişki Denklem 1.7'de verilmiştir.

$$I = K \cdot P_{1s} \quad (1.7)$$

Denklemden, K Katı madde taşınım katsayısıdır. I ve P_{1s} ise (1.8) ve (1.9) denklemlerinden hesaplanır.

$$I = Q \cdot p \cdot g \cdot (s-1) \cdot (1-p) \quad (1.8)$$

$$P_{1s} = E_b \cdot C_b \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b \quad (1.9)$$

Kırılma anındaki dalga yüksekliği (H_b) ve su derinliği (h_b) arasındaki ilişki ise Denklem 1.10'da verilmiştir.

$$H_b = \kappa \cdot h_b \quad (1.10)$$

κ , kırılma indisini göstermektedir.

Kırılma anındaki dalga enerjisi yoğunluğu ve dalga grup hızı sırasıyla Denklem 1.11 ve 1.12'den hesaplanabilir.

$$E_b = \rho \cdot g \cdot \frac{H_b^2}{8} \quad (1.11)$$

$$C_b = \sqrt{g \cdot h_b} = \sqrt{\frac{g \cdot H_b}{\kappa}} \quad (1.12)$$

Denklem 1.8, 1.9, 1.11 ve 1.12, Denklem 1.7'de kullanılırsa kıyı boyu katı madde debisi Denklem 1.13'deki gibi elde edilir.

$$Q = \frac{H_b^{2.5} \sqrt{g/\kappa} \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_b}{8 \cdot (s-1) \cdot (1-p)} \quad (1.13)$$

Denklemlerde; Q net kıyı boyu katı madde debisini, ρ suyun yoğunluğunu, g yerçekimi ivmesini, s katı maddenin özgül ağırlığını, p katı maddenin porozitesini, E_b kırılma anındaki dalga enerji yoğunluğunu, C_b kırılma anındaki dalga grup hızını ve α_b kırılma anındaki dalga açısını göstermektedir.

Pelnard-Considerere [35], difüzyon denklemini (Denklem 1.14) elde etmek için Denklem 1.6 ve 1.13'ü kullanmıştır.

$$\frac{\partial y}{\partial t} = G \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (1.14)$$

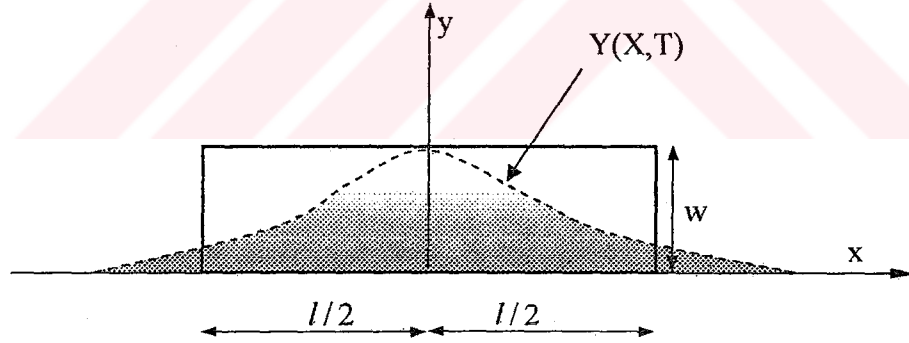
Burada, G: Kıyıboyu yayılabilirliktir (plaj planformunun gelişim oranını kontrol eder) ve

$$G = \frac{K.H_b^{2.5} \sqrt{g/\kappa}}{8(s-1)(1-p)(h_w + B)} \quad (1.15)$$

denklemleriyle hesaplanır. Aşağıda en çok kullanılan dikdörtgen ve trapez şekilli sınır şartları altında geliştirilen analitik çözümler verilmektedir.

1.5.2. Dikdörtgen Şekilli Sınır Şartı

Besleme genişliğinin (y), kıyı boyu koordinatı (x) ve zamana (t) göre değişimi Şekil 1.9'da görülmektedir.



Şekil 1.9. Dikdörtgen şekilli besleme planı

Denklem 1.14'ten hareketle, değişik sınır ve başlangıç şartları için çözümler geliştirilmiştir. Aşağıda verilen boyutsuz denklemler kullanılarak,

$$Y = y/w, \quad X = 2x/l, \quad T = 4\sqrt{Gt}/l$$

Denklem 1.16'daki sınır ve başlangıç şartları için dikdörtgen şekilli planformun çözümü, Denklem 1.17'de gösterilmiştir.

Verilen boyutsuz denklemlerde; w beslenmiş bölgenin kıyıya dik genişliğini, t zamanı, y kıyıya dik koordinatı (herhangi bir t anında x mesafesinde besleme bölgesinin kıyıya dik uzunluğu), x kıyı boyu koordinatını göstermektedir.

$$\begin{aligned} Y(X,0) &= 1, \quad |X| \leq 1 \\ Y(X,0) &= 0, \quad |X| > 1 \\ Y(\pm\infty, T) &= 0 \end{aligned} \quad (1.16)$$

$$Y(X,T) = \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X+1}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X-1}{T} \right) \right] \quad (1.17)$$

Burada $\operatorname{erf}()$, error fonksiyon olarak tanımlanmaktadır.

$$\operatorname{erf}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-u^2} du \quad (1.18)$$

Denklem 1.17 integre edilirse, başlangıç proje limitleri içinde kalan malzeme oranı $M(T)$ belirlenir [37]. Kalan malzeme oranı; belli bir t anındaki proje alanının, başlangıçtaki alana oranıdır.

$$M(T) = \operatorname{erf} \left(\frac{2}{T} \right) - \frac{T}{2\sqrt{\pi}} \left(1 - \exp \left[- \left(\frac{2}{T} \right)^2 \right] \right) \quad (1.19)$$

Kalan malzeme oranı, difüzyon oranı olan Ω 'ya bağlı olarak yazılırsa Denklem 1.20 elde edilir [26].

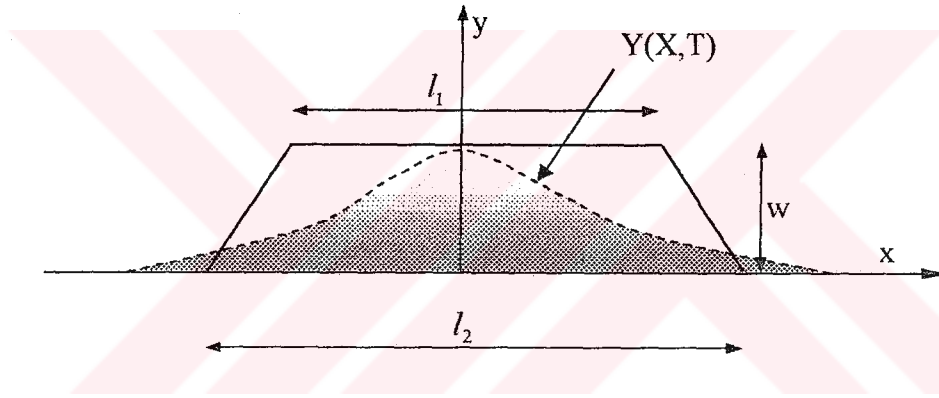
$$M(t) = \sqrt{\frac{\Omega t}{\pi}} (e^{-1/(\Omega t)} - 1) + \operatorname{erf} \left[(\Omega t)^{-1/2} \right] \quad (1.20)$$

$$\Omega = \frac{4G}{l^2} \quad (1.21)$$

Denklemlerde, t : Zaman, l : Plaj besleme projesinin uzunluğudur.

1.5.3. Trapez Şekilli Sınır Şartı

Trapez başlangıç şekli uygulamada daha gerçekçidir. Bu planform biçimi için analitik çözüm Walton [36] tarafından geliştirilmiştir Yapay besleme projesinde trapez başlangıç şeklinin plan görünümü Şekil 1.10'da verilmiştir.

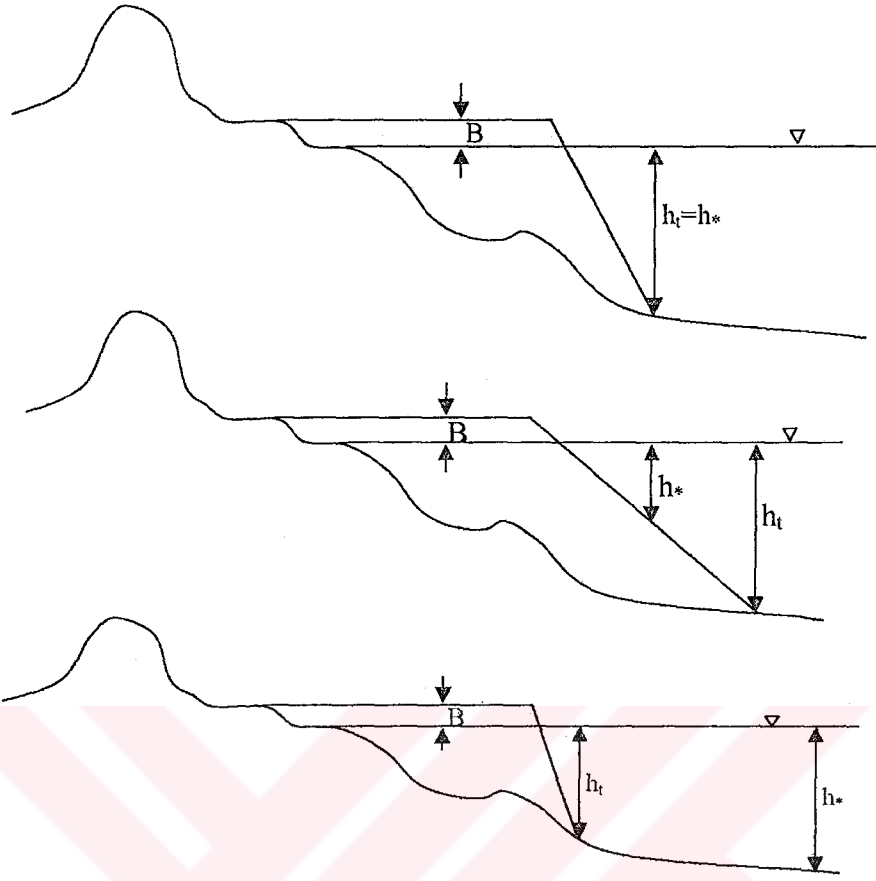


Şekil 1.10. Trapez başlangıç şeklinin plan görünümü

Beslenmiş bir plajın davranış biçimine bağlı olarak Şekil 1.11'deki gibi üç değişik durum söz konusudur: Plaj beslemesinin topuk derinliği (h_t), malzemenin taşınabileceği derinlikten (aktif derinlik) (h^*), büyük, küçük veya ona eşit olabilir [37].

1.5.3.1. $h_t = h^*$ Olması Durumu

Yapay besleme modellemesinde bu durum oldukça yaygın yapılan bir kabuldür [10]. Trapez planformda plaj gelişimi, daha düşük bir hızla olmakla beraber dikdörtgen planformda olduğu gibidir.



Şekil 1.11. Besleme topuk derinliğinin aktif derinliğe göre durumu

Denklem 1.22, 1.23, 1.24 ve 1.25'de verilen başlangıç ve sınır şartları altında, kıyı çizgisinin değişimi ve kalan malzeme oranı sırasıyla Denklem 1.26 ve Denklem 1.27 ile hesaplanır.

$$|X| \leq 1 \text{ için } Y(X,0)=1 \quad (1.22)$$

$$1 < |X| \leq L \text{ için } Y(X,0)=1 - \left(\frac{1}{L-1} \right) (|X|-1) \quad (1.23)$$

$$|X| > L \text{ için } Y(X,0)=0 \quad (1.24)$$

$$Y(\pm \infty, 0)=0 \quad (1.25)$$

$$\begin{aligned}
Y(X,T) = & \frac{1}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X+1}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X-1}{T} \right) \right] + \frac{1}{2} \left(\frac{L-X}{L-1} \right) \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X-1}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X-L}{T} \right) \right] \\
& + \frac{1}{2} \left(\frac{L+X}{L-1} \right) \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X+L}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X+1}{T} \right) \right] \\
& + \frac{T}{2\sqrt{\pi}(L-1)} \left\{ \exp \left[- \left(\frac{X-L}{T} \right)^2 \right] - \exp \left[- \left(\frac{X-1}{T} \right)^2 \right] \right\} \\
& + \frac{T}{2\sqrt{\pi}(L-1)} \left\{ \exp \left[- \left(\frac{X+L}{T} \right)^2 \right] - \exp \left[- \left(\frac{X+1}{T} \right)^2 \right] \right\}
\end{aligned} \tag{1.26}$$

$$\begin{aligned}
M(T) = & \frac{1}{2}(L+1) \operatorname{erf} \left(\frac{L+1}{T} \right) + \frac{T}{2\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{L+1}{T} \right)^2 \right] - \frac{1}{2}(L-1) * \operatorname{erf} \left(\frac{L-1}{T} \right) \\
& - \frac{T}{2\sqrt{\pi}} \exp \left[- \left(\frac{L-1}{T} \right)^2 \right] + \frac{TL}{\sqrt{\pi}(L-1)^2} * \exp \left[- \left(\frac{2L}{T} \right)^2 \right] \\
& + \frac{(2-4L-6L^2-T^2)}{4(L-1)^2} \operatorname{erf} \left(\frac{L+1}{T} \right) + \frac{(2-4L-2L^2-T)}{4(L-1)^2} \operatorname{erf} \left(\frac{L-1}{T} \right) \\
& + \frac{(8L^2+T^2)}{4(L-1)^2} \operatorname{erf} \left(\frac{2L}{T} \right) + \frac{T}{2\sqrt{\pi}(L-1)} \left\{ \exp \left[- \left(\frac{L-1}{T} \right)^2 \right] + \exp \left[- \left(\frac{L+1}{T} \right)^2 \right] \right\} \frac{3L-1}{1-L}
\end{aligned} \tag{1.27}$$

Bu eşitliklerde, $Y=y/w$, $X=2x/l_1$, $T=4\sqrt{Gt}/l_1$, $L=l_2/l_1$, $C=C_*/C_t=\sqrt{gh_*}/\sqrt{gh_t}$ boyutsuz değişken dönüşümleri yapılmıştır. Burada, w beslenmiş bölgenin kıyıya dik genişliğini, t zamanı, y kıyıya dik koordinatı (herhangi bir t anında x mesafesinde besleme bölgesinin kıyıya dik uzunluğu), x kıyıboyu koordinatı, C_* aktif derinlikteki dalga hızını, C_t besleme topuk derinliğindeki dalga hızını, l_1 ve l_2 besleme bölgesinin uzunluğunu göstermektedir.

1.5.3.2. $h_t > h_*$ Olması Durumu

Bu durumda $0 < C^*/C_t < 1$ olur. Plaj planformu için boyutsuz formda çözüm, Denklem 1.28'de verilmiştir.

$$Y(X,T) = Y_1(X,T) + Y_2(X,T) + Y_3(X,T) \quad (1.28)$$

Y_1 , Y_2 ve Y_3 ifadeleri Denklem 1.29, 1.30 ve 1.31'den bulunur.

$$Y_1(X,T) = \frac{C}{2} \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X+1}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X-1}{T} \right) \right] + \frac{1}{2} (1-C) [\operatorname{sign}(X+1) - \operatorname{sign}(X-1)] \quad (1.29)$$

$$Y_2(X,T) = \frac{C}{2} \left(\frac{L+X}{L-1} \right) \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X+L}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X+1}{T} \right) \right] + \frac{1}{2} (1-C) \left(\frac{L+X}{L-1} \right) [\operatorname{sign}(X+L) - \operatorname{sign}(X+1)] \\ + \frac{T}{2\sqrt{\pi}(L-1)} C \left[\exp \left[- \left(\frac{X+L}{T} \right)^2 \right] - \exp \left[- \left(\frac{X+1}{T} \right)^2 \right] \right] \quad (1.30)$$

$$Y_3(X,T) = \frac{C}{2} \left(\frac{L-X}{L-1} \right) \left[\operatorname{erf} \left(\frac{X-1}{T} \right) - \operatorname{erf} \left(\frac{X-L}{T} \right) \right] + \frac{1}{2} (1-C) \left(\frac{L-X}{L-1} \right) [\operatorname{sign}(X-1) - \operatorname{sign}(X-L)] \\ + \frac{T}{2\sqrt{\pi}(L-1)} C \left[\exp \left[- \left(\frac{X-1}{T} \right)^2 \right] - \exp \left[- \left(\frac{X-L}{T} \right)^2 \right] \right] \quad (1.31)$$

$$\operatorname{sign}(X - X_0) = 1, \quad X \geq X_0$$

$$\operatorname{sign}(X - X_0) = -1, \quad X < X_0 \quad (1.32)$$

Beslenmiş bölgede kalan malzeme oranı; Denklem 1.29, 1.30 ve 1.31 $-L < X < L$ aralığında integre edilerek Denklem 1.33'den bulunur.

$$M(T) = 1 - C + \frac{C}{L^2 - 1} \left\{ \begin{aligned} & \left[\operatorname{erf}\left(\frac{2L}{T}\right) \left(\frac{T^2}{4} + 2L^2 \right) + \frac{LT}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{4L^2}{T^2}\right) - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{L+1}{T}\right) \left[(L+1)^2 + \frac{T^2}{2} \right] \right] \\ & - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{L-1}{T}\right) \left[(L-1)^2 + \frac{T^2}{2} \right] - \frac{T}{2\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{L+1}{T}\right)^2\right] (L+1) \\ & - \frac{T}{2\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{L-1}{T}\right)^2\right] (L-1) \end{aligned} \right\} \quad (1.33)$$

1.5.3.3. $h_t < h^*$ Olması Durumu

Besleme projesinin topuk derinliğinin aktif derinlikten küçük olması durumunda, kıyıya dik katı madde taşınımının hızlı bir şekilde malzemeyi aktif derinliğe götürdüğü kabulü yapılmıştır. Dolayısıyla $h_t = h^*$ durumunda yapılan çözümler bu durumda da geçerlidir. Ayrıca kalan malzeme oranını bulmak için verilen Denklem 1.33'de $C=1$ alınrsa Denklem 1.27 ile aynı sonuçlara ulaşılmaktadır.

Denklem 1.21 ve boyutsuz zaman denklemi $T = 4\sqrt{Gt}/l_1$ kullanılarak Denklem 1.34 elde edilir.

$$T = 2\sqrt{\Omega t} \quad (1.34)$$

Kalan malzeme oranı Denklem 1.20'de olduğu gibi, difüzyon oranı (Ω) kullanılarak ifade edilir ve $C=1$ alınrsa Denklem 1.35 elde edilir.

$$M(T) = \frac{1}{L^2 - 1} \left\{ \begin{aligned} & \left[\operatorname{erf}\left(\frac{L}{\sqrt{\Omega t}}\right) (\Omega + 2L^2) + 2L\sqrt{\frac{\Omega}{\pi}} \exp\left(-\frac{L^2}{\Omega}\right) - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{L+1}{2\sqrt{\Omega t}}\right) \left[(L+1)^2 + 2\Omega \right] \right] \\ & - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{L-1}{2\sqrt{\Omega t}}\right) \left[(L-1)^2 + 2\Omega \right] - \sqrt{\frac{\Omega}{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{L+1}{2\sqrt{\Omega t}}\right)^2\right] (L+1) \\ & - \sqrt{\frac{\Omega}{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{L-1}{2\sqrt{\Omega t}}\right)^2\right] (L-1) \end{aligned} \right\} \quad (1.35)$$

Bu çalışmada, tüm deneyler için $h_t < h_*$ durumu söz konusudur ve kalan malzeme oranı $M(t)$ ' yi bulmak için Denklem 1.35 kullanılmıştır.

Denklem 1.35'deki difüzyon oranının (Ω) hesaplanabilmesi için, aktif derinliğin (h_*), katı madde taşınım katsayısının (K) ve kırılma indisinin (κ) hesaplanması gerekir.

1.5.4. Aktif Derinlik (Katı Madde Taşınım Bölgesinin Sınırı) (h_*)

Taban yüksekliğinde belirgin bir değişikliğin ve yakın kıyı ile açık deniz arasında belirgin net katı madde taşınımının olmadığı, kıyıya doğru en yakın derinliğe aktif derinlik (h_*) denir. Bu derinliğe; kritik derinlik, aktif profil derinliği, aktif katı madde hareket derinliği veya plaj erozyonunun maksimum derinliği gibi isimler de verilebilir. Aktif derinlik, birçok kıyı mühendisliği probleminde önemli rol oynamaktadır [38].

Profil ölçümlerinin olmadığı yerlerde aktif derinliği belirlemek için, dalgaların özelliklerine bağlı olarak bazı denklemler geliştirilmiştir. Hallermeier, aktif derinliğin tespiti için Denklem 1.36'yı geliştirmiştir [39].

$$h_* = 2.28H_{s_{0.137}} - 68.5 \left(\frac{H_{s_{0.137}}^2}{gT^2} \right) \quad (1.36)$$

Denklemde; h_* : aktif derinlik, $H_{s_{0.137}}$: bir yılda 12 saat süreyle aşılabilen belirgin dalga yüksekliği (diğer bir ifadeyle bir yılda aşılma ihtimali $12/(24 \cdot 365) = 0.00137$, %0.137 olan belirgin dalga yüksekliği), T : ilgili dalga periyodu ve g : yerçekimi ivmesidir.

Hallermeier, laboratuvar ve arazi verilerinden Denklem 1.36'nın 0.16 mm' den 0.42 mm' ye kadar olan tane çapları için duyarsız olduğunu doğrulamıştır. Yani 0.16 mm-0.42 mm arasındaki tane çapları için denklem aynı sonucu vermektedir. Denklem 1.36'daki ilk terim, doğrudan dalga yüksekliğine bağlıdır ve aktif derinliğin belirlenmesinde önemli rol oynamaktadır. İkinci terim ise dalga dikliğine bağlı olarak küçük bir düzeltme sağlar.

Birkemeier, profil ölçümlerine bağlı olarak Hallermeier denkleminde küçük değişiklikler yaparak Denklem 1.37'yi önermiştir [40].

$$h_* = 1.75H_{s_{0.137}} - 57.9 \left(\frac{H_{s_{0.137}}^2}{gT^2} \right) \quad (1.37)$$

Birkemeier'in verdiği denklem, Hallermeier'in verdiği denkleme göre daha küçük değerler vermektedir.

Houston, Pierson-Moskowitz dalga spektrumu özelliklerini kullanarak, Birkemeier denklemini aşağıdaki gibi basitleştirmiştir [41,42].

$$h_* = 6.75H_s \quad (1.38)$$

Denklemden; H_s : Ortalama yıllık belirgin dalga yüksekliğidir.

Houston, aynı yaklaşımla Hallermeier denklemini de Denklem 1.39'daki gibi basitleştirmiştir.

$$h_* = 8.9H_s \quad (1.39)$$

Birçok mühendislik projelerinde aktif derinlik, sabit ölçüm hatlarında birkaç yıl boyunca yapılan ölçümlerle tespit edilmektedir.

Yapılan arazi çalışmalarından Denklem 1.36'nın aktif derinliğin alt sınırlarını belirlemede daha uygun olduğu görülmüştür. Denklem 1.39 ise bütün profiller için daha küçük değerler vermektedir.

Nicholls, Birkemeier ve Hallermeier tarafından yapılan arazi ölçümleri de Denklem 1.36'nın daha uygun olduğunu doğrulamaktadır [43].

Denklem 1.39 ise aktif derinliğin belirlenmesinde daha basit bir metottur. Denklem 1.36 için gerekli olan dalga bilgilerinin bulunmadığı yerlerde, aktif derinliğinin ön tahmini için kullanılabilir.

Denklemlerdeki dalga yüksekliği verisi olarak, yakın kıyı bölgesindeki (yaklaşık 10 m derinlikteki) dalga yüksekliği kullanılmalıdır [44].

Bu çalışmada $H_{s0.137}$ değeri için deneylerdeki H_o değerleri kullanılmıştır.

1.5.5. Katı Madde Taşınım Katsayısı (K)

Kıyıboyu katı madde taşınım debisini hesaplariken, katı madde taşınım katsayısı olan K önemli bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. K'nın ne alınacağı konusunda birçok araştırma yapılmış, fakat halen tam olarak kesin bir sonuca varılabilmemiş değildir.

K'nin dağılımındaki sebepler araştırmacıların ilgisini çekmektedir. Bu konuda yapılan çalışmalar aşağıda özetlenmektedir:

Shore Protection Manual (SPM), bütün durumlar (arazi şartlarında) için K'nın 0.77 alınmasını önermektedir [45].

K değeri Komar ve Inman tarafından katı madde çapından bağımsız olarak 0.77 bulunmuştur [46].

Bruno, katı madde çapının azalması ve K'nın artması arasında oldukça makul bir ilişki olduğunu bulmuş ve Dean'de bu sonuçları desteklemiştir [47, 48].

Kamphuis, laboratuvar ve arazi çalışmalarından, K'nın d_{50} ile ters orantılı olduğuna dair yeni bir denklem önermiştir [49].

Dean, yine arazi çalışmalarına dayanarak, K'nın medyan dane çapı ile değiştiği varsayımını doğrulamıştır [50].

Bodge ve Kraus tarafından yapılan, arazi çalışmalarına dayalı araştırmada, K'nın tek bir değer olmadığı, 0.2 ile 1.6 arasında değişebileceği belirlenmiştir [51].

Bailard, enerjiye dayalı geliştirdiği modelinde; K'yı, dalga kırılma açısı (α_b), yörüngesel hız büyüklüğü (u_{mb}) ve çökeltme hızına (w) bağlı olarak Denklem 1.40'da vermiştir [52].

$$K = 0,05 + 2,6 \sin^2(2\alpha_b) + 0,007 \frac{u_{mb}}{w} \quad (1.40)$$

SPM'de ise K'nın 0.92 olarak alınabileceği veya Del Valle ve arkadaşları tarafından geliştirilen K ile katı madde çapı arasındaki ilişkinin kullanılabileceği önerilmektedir [53].

Del Valle ve arkadaşları, İspanya, Adra River Delta civarındaki arazi verilerine dayalı olarak K değerini hesaplamışlarken, arazi verilerinin toplandığı yerdeki medyan dane çapı 0.33 mm ile 2.0 mm arasında değiştiği için, araziye beş ayrı bölgeye ayırıp her bir bölge için K değerini belirlemişler ve Denklem 1.41'i elde etmişlerdir.

$$K = 1.4e^{(-2.5d_{50})} \quad (1.41)$$

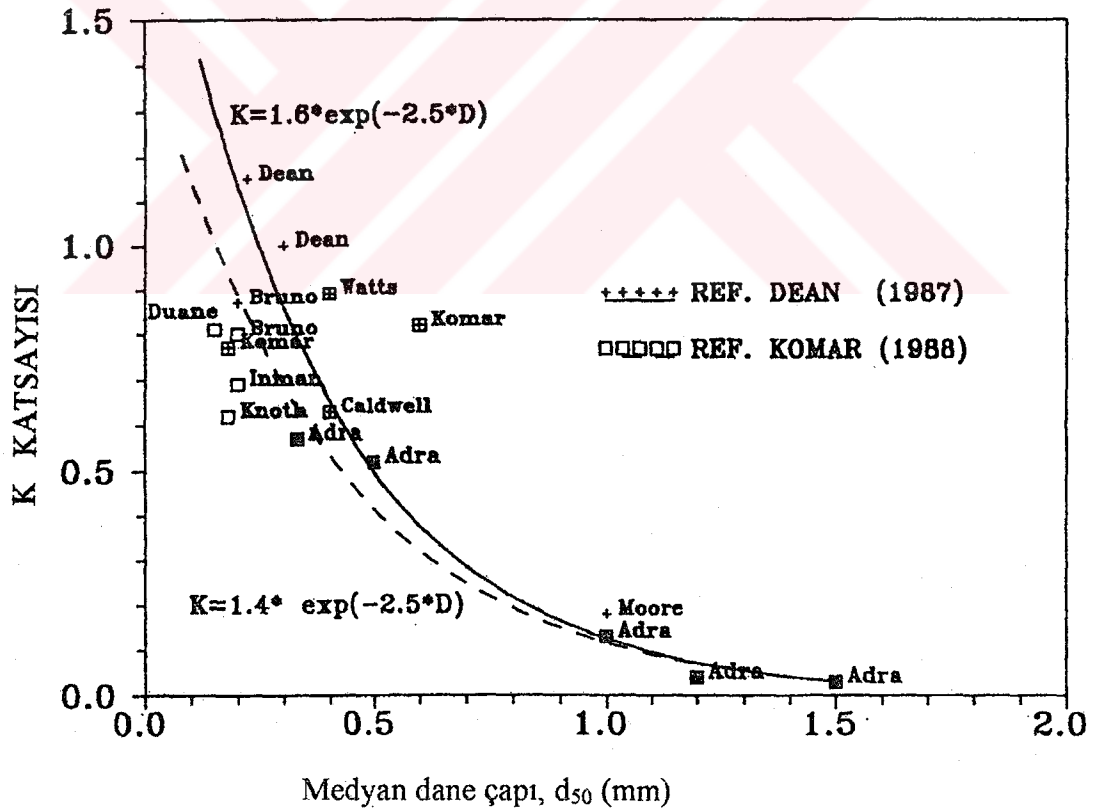
Arazi şartlarında d_{50} 'ye bağlı olarak K'nın değişimi Şekil 1.12'de verilmiştir. Őekildeki sürekli çizgi Dean, kesikli çizgi ise Komar tarafından en uygun eğriler olarak belirlenmiştir.

Arazi çalışmalarına dayalı olarak yapılan başka bir araştırmada ise en uygun sonucu Bailard tarafından elde edilen Denklem 1.40 vermiştir. Bu arazi çalışmasında dane çapı 0.15 ile 0.25 mm arasında değişmektedir ve Del Valle ve arkadaşları tarafından verilen denklemle hesaplama yapılmamıştır [33].

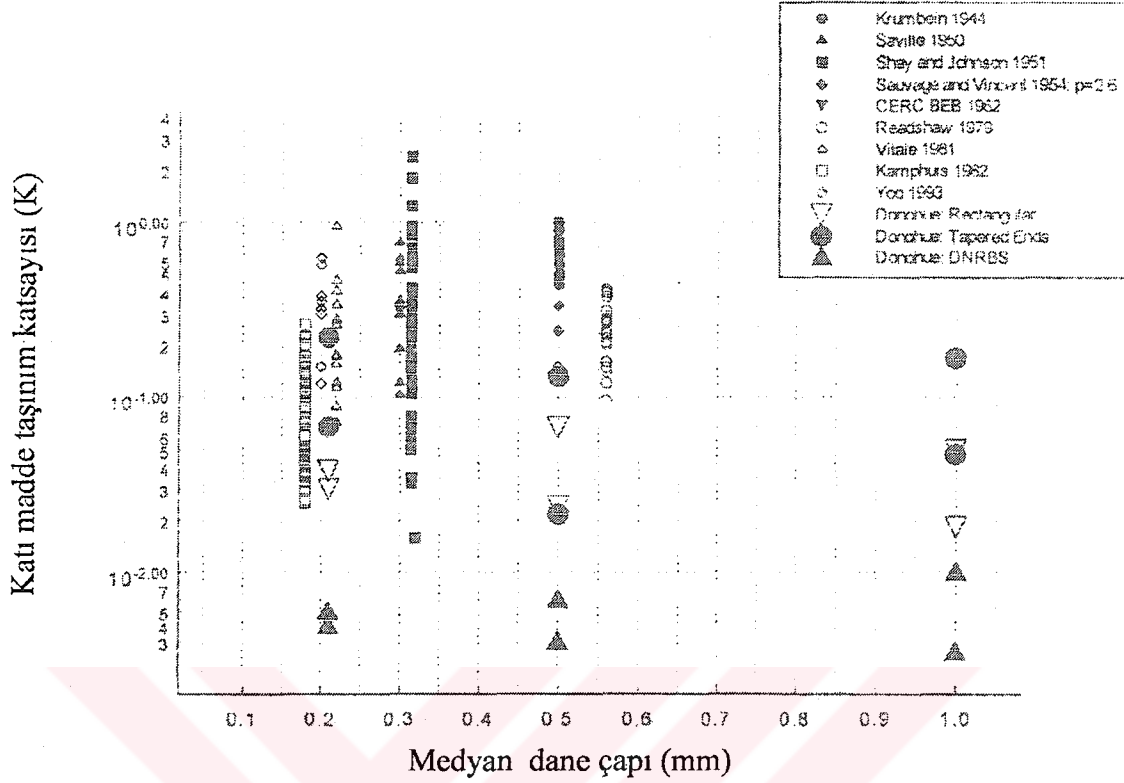
Çoğu durumlarda laboratuvar çalışmalarından elde edilen K değerleri arazi çalışmalarından elde edilenlerden daha küçüktür. Laboratuvar deneyleri genelde düşük K değerler verdiği için, bunları sadece laboratuvar çalışmalarıyla karşılaştırmak uygundur.

K'daki belirgin dağılımın birçok nedeni vardır. Laboratuvar deneylerinde, ölçek etkileri oluşmaktadır ve bu etkiler dalga yüksekliği, periyodu, dalga formasyonları v.b. etkilerle değişmektedir. Ayrıca bazı araştırmacılar, düzenli dalgaların istenmeyen sapma ve kırınımlara neden olduğunu ifade etmektedirler.

Şimdiye kadar yapılan laboratuvar çalışmalarından elde edilen katı madde taşınım katsayıları Şekil 1.13'te verilmiştir [1].



Şekil 1.12. Katı madde dane çapı ile K'nın değişimi



Şkil 1.13. Laboratuvar çalışmalarından elde edilen kıta madde taşınım katsayıları

1.5.6. Dalga Kırılması ve Kırılma İndisi (κ)

Yerçekimi etkisiyle su parçacıklarının dalgadan ayrılması olayına dalga kırılması denir. Burada önemli olan nokta, dalga sırtındaki parçacık hızının, dalga hızından daha küçük olmasıdır. Sırttaki parçacık hızı belli bir periyot için dalga yüksekliği ile ilişkilidir. Böylece dalga yükseklikleri arttıkça bu hız, sonunda dalga hızına eşit olur. Tam bu anda dalga dengesini kaybederek kırılır [54].

Dalga kırıldığı andaki dalga yüksekliğine kırılma yüksekliği (H_b), su derinliğine kırılma derinliği (h_b) denir. Kırılma anındaki dalga yüksekliğinin su derinliğine oranına ise kırılma indisi (κ) adı verilir. Derin denizdeki yüksekliği H_0 , periyodu T olan bir dalganın eğimi m olan bir kıyıda ilerlerken kırılma indisini bulabilmek için deneysel ve teorik çalışmalardan çeşitli denklemler elde edilmiştir [55, 56, 57, 58, 59, 60,61].

$$H'_0 = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \quad (1.42)$$

$$H_b = \left(\frac{H'_0}{T} \right)^2 + 0,8 \cdot m^{0,125} \cdot T^{0,5} \cdot (H'_0)^{0,75} + 0,785 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (1.43)$$

$$\kappa = \frac{H_b}{h_b} = b - a \frac{H_b}{gT^2} \quad (1.44)$$

$$a = 43,75 \cdot (1 - e^{-19m}) \quad (1.45)$$

$$b = \frac{1,56}{1 + e^{-19,5m}} \quad (1.46)$$

Denklemlerde; K_s sığlaşma katsayısını, K_r sapma katsayısını göstermektedir. a ve b taban eğimine bağlı katsayılardır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1 Model Çalışmaları

Kıyı problemlerinin laboratuvar model çalışmalarıyla incelenmesi, tüm dünyada yaygın olarak kullanılan tekniklerden biridir. Kıyı mühendisliği problemleri birçok parametreyi içermekte ve bu parametrelerin birbiriyle olan ilişkileri, yöreden yöreye değişmekte ve karmaşık bir yapı oluşturmaktadır. Bu nedenle, bir kıyı probleminin incelenmesinde öncelikli tercih arazi ölçümleri olmalıdır. Bu ölçümler olmadığı takdirde, o bölgenin özelliklerini dikkate alarak laboratuvarlarda fiziksel model veya sayısal model çalışmaları yapılmaktadır. Fiziksel modelleme, bazı ölçeklendirme hatalarını beraberinde getirmesine karşın, pek çok problemin çözümünde başarıyla uygulanmaktadır [31,61,62,63,64].

Bu çalışmada, farklı kıyı eğimlerine sahip bölgelerde değişik dalga ve yapım şartlarında inşa edilen yapay kıyı beslemesinin performansını etkileyen parametreler konusunda fiziksel model çalışması yapılmış ve sonuçlar literatürdeki denklemlerle karşılaştırılarak yeni denklemler elde edilmiştir.

2.1.1. Model Düzeneginin Kurulması

2.1.1.1. Dalga Yüksekliği ve Periyodu

Çalışmada 4, 5.5 ve 7 cm yüksekliğinde düzenli dalgalar kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan 1 sn. periyotlu dalgalar için dalga diklikleri (H_o/L_o) sırasıyla, 0.0256, 0.0353 ve 0.0449, 1.2 sn. periyotlu dalgalar için dalga diklikleri (H_o/L_o) ise sırasıyla 0.0178, 0.0245 ve 0.0312 olarak elde edilmiştir.

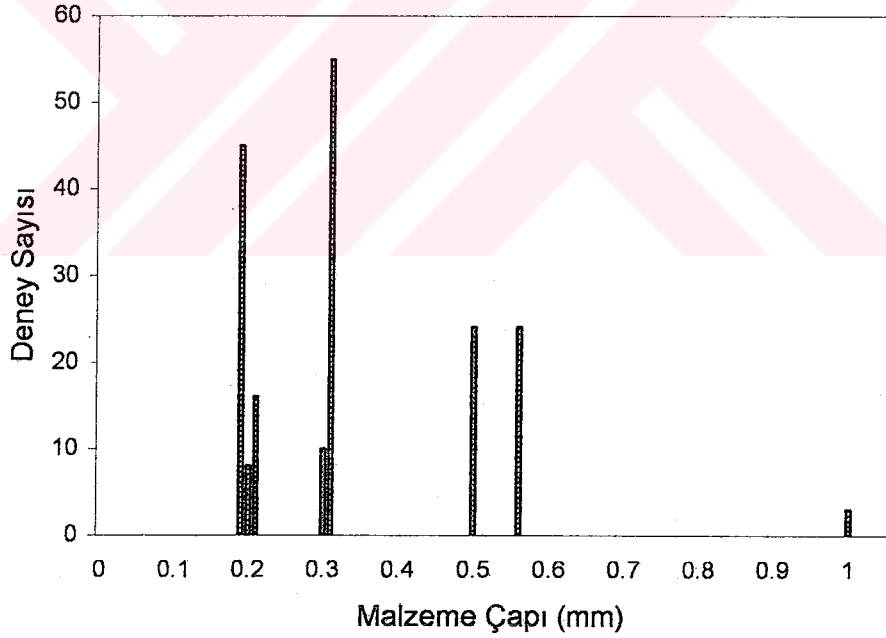
2.1.1.2. Taban Eğimi

Fiziksel model kapsamında yapılacak deneylerde taban eğimi oldukça önemli bir değişkendir. Literatürde yapılmış olan analitik çözümlerde taban eğimi genellikle dikkate alınmamıştır. Bu çalışmada, taban eğiminin besleme performansının üzerinde çok büyük

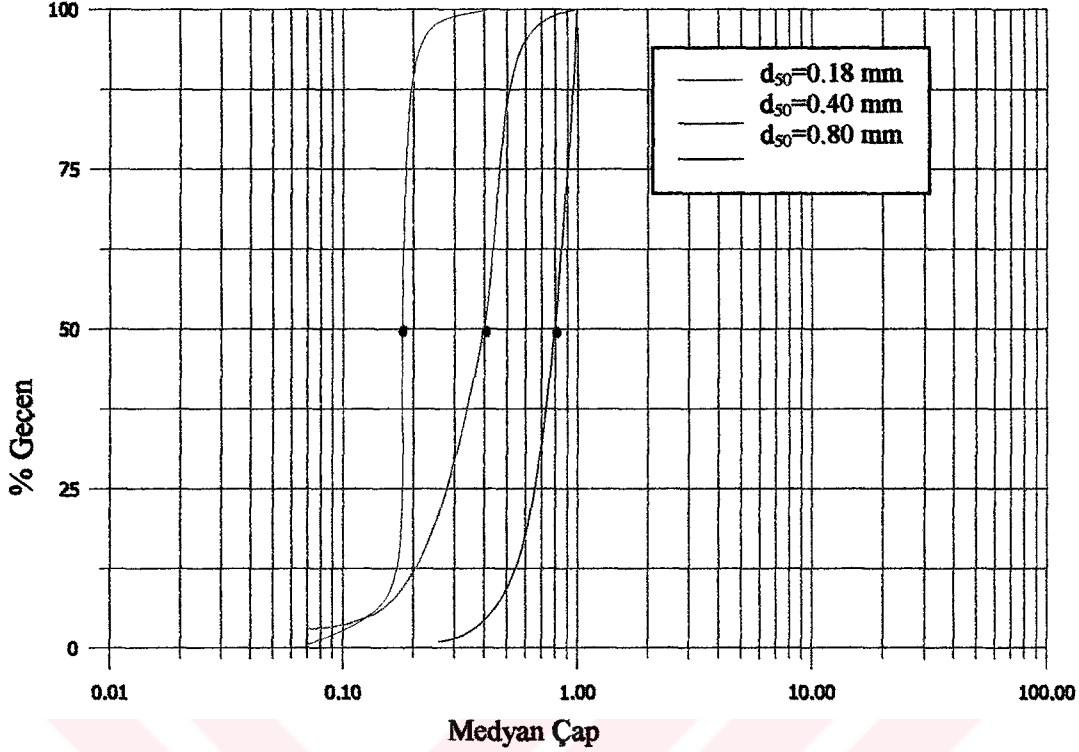
etkisi olduğu görülmüştür. Tabiattaki taban eğimleri de dikkate alınarak üç farklı taban eğiminde deneyler yapılmıştır. Deneylerde kullanılan taban eğimleri 1/30, 1/20 ve 1/15'tir.

2.1.1.3. Dane Çapı Özellikleri

Çalışmada kullanılan taban malzemesinin medyan dane çapı 0,18 mm.dir. Literatürdeki çalışmalarda kullanılan malzeme çapları Şekil 2.1'de görülmektedir. Daha önce yapılan çalışmalarda, büyük çaplı malzemelerle yapılan deneylerin azlığına dikkat çekilmektedir ve büyük çaplı malzemelerle çalışmanın gerekliliği vurgulanmaktadır [1]. Dolayısıyla 0,18 mm. dane çaplı taban malzemesinin üzerinde besleme malzemesi olarak 0,18 mm, 0,40 mm ve 0,80 mm medyan çaplı malzemeler kullanılmasına karar verilmiştir. Deneylerde kullanılan malzemelerin granülometri eğrileri Şekil 2.2'de verilmiştir. Kullanılan tüm malzemelerin yoğunlukları (özellik ağırlıkları) ise $2,65 \text{ t/m}^3$ tür.



Şekil 2.1. Literatürdeki deneylerde kullanılan malzeme çapları



Şekil 2.2. Deneyleerde kullanılan malzemelerin granülometri eğrileri

2.1.1.4. Berm Yükseklikleri

Yapay besleme performansına etki eden parametrelerden birisi de berm yüksekliğidir. Deneyleerde üç farklı yükseklik (3, 5 ve 8 cm) kullanılarak berm yüksekliğinin etkisi araştırılmıştır.

2.1.1.5. Deney Süreleri

Deney sürelerinin belirlenmesinde taban eğiminin etkisi oldukça fazladır. Taban topoğrafyası düzeltildikten sonra dalga üretilmeye başlamış ve topoğrafyanın dengeye ulaşması için 1 saat süreyle dalga verilmiştir.

1/15 eğiminde, besleme bölgesindeki malzeme çok kısa sürede büyük oranlarda kaybolduğu için deney süresi 90 dakika olarak alınmıştır. Bu eğimde besleme malzemesi çok hızlı değişime uğradığından 5. dakikadan itibaren ölçümler alınmaya başlanmıştır. Ölçüm süreleri ise 5.,10.,20.,30.,45.,60. ve 90. dakikalar olarak tespit edilmiştir.

1/20 eğiminde ise, 1/15 eğimine oranla beslemenin gelişimi daha yavaş olmaktadır. Bu eğimdeki deneyler 150 dakika sürmüş, 10.,30.,45.,60.,90. ve 150. dakikalarda ölçümler alınmıştır.

1/30 eğiminde deney süresi 240 dakikadır. Bu eğimde besleme malzemesinin gelişimi dik eğimlere oranla çok daha yavaş olduğundan dolayı ilk ölçüm 30. dakikada yapılmıştır. 240. dakikadan itibaren besleme bölgesi büyük oranda dengeye ulaştığı için (kalan malzeme oranında çok fazla değişiklik olmadığı için) deneyler 240. dakikada bitirilmiştir. Ölçüm için belirlenen süreler ise 30.,90.,150. ve 240. dakikalardır.

2.1.1.6. Model Havuzu Donanımı

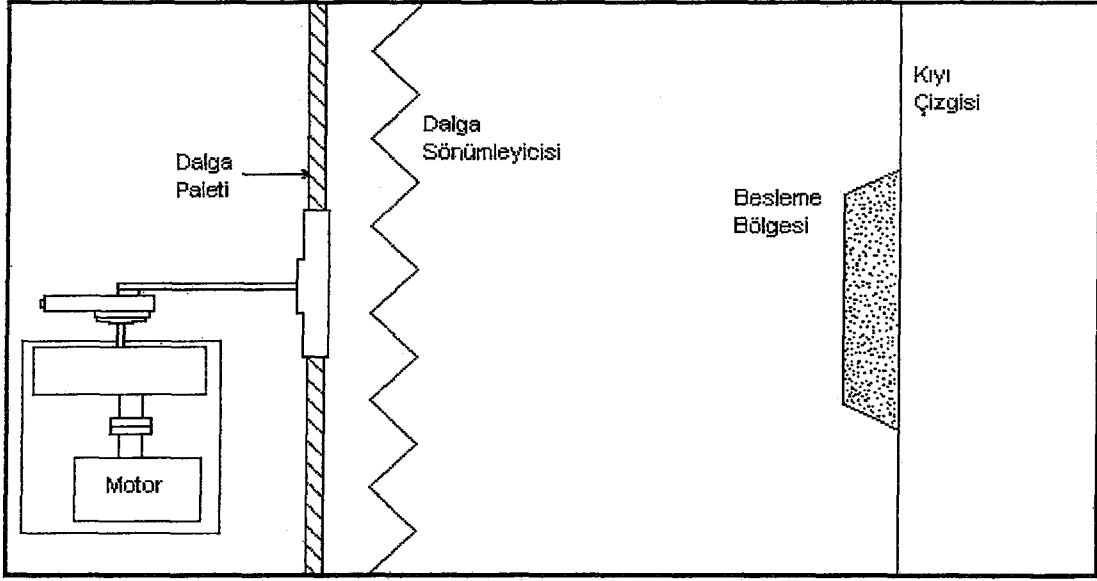
1,2-12-30 m. boyutlarındaki üç boyutlu model havuzunda; dalga üreten bir motor, motor hızını ayarlamak için kullanılan değişken redüktör (ayarlayıcı), sabit hız düşürücü dişli kutusu, palet sistemi ve dalga sönmüleyicisi ile bir ölçüm sistemi bulunmaktadır (Şekil 2.3). Dişli kutusu flanşına mafsallı olarak bağlı bir kol yardımıyla, paletin öne ve arkaya yatış açısı ayarlanarak dalga yüksekliği, motor hızı değiştirilerek de dalga periyodu ayarlanabilmektedir. Dalga üretimi için kullanılan varyatörlü elektrik motoru 10 Hp gücünde ve dönüş hızı 50-400 devir/dakika arasında değişmektedir.

Dalga yüksekliğini ölçmek için, gerilim farklarından dalga yüksekliğini tespit eden elektronik cihaz kullanılmıştır. Havuz içine yerleştirilen problardan gelen gerilim farkları yazıcıya gönderilmiş ve dalga yükseklikleri belirlenmiştir.

Dalga periyodu ise kronometreyle ölçülmüştür.

2.1.1.7. Deneylerin Yapılışı ve Ölçüm Ağı

Mevcut havuzda gerekli değişimler yapılarak havuz tabanı 1/30 eğimine getirilmiştir. Eğim ayarlandıktan sonra beton dökülmüş ve üzerine 0.18 mm. çapındaki taban malzemesi yerleştirilmiştir. Bütün deneylerin başlangıcında aynı eğimin sağlanması amacıyla havuza profiller yerleştirilmiştir. Bu profiller üzerinde mastar çekilerek her seferinde aynı taban eğimi elde edilmiştir.



Şekil 2.3. Model havuzu donanımı

Taban topoğrafyasının değişimini belirlemek için 25*25 cm.lik bir ölçüm ağı oluşturulmuştur. Ancak besleme bölgesinde kalan malzeme oranının daha hassas tespit edilmesi için bu bölgede 10*25 cm.lik ölçüm ağı kullanılmıştır (Şekil 2.4) [65].

Düzenli hale getirilen tabanda ilk ölçümler alınmış ve dalgalar oluşturulmuştur. Yapılan ön deneylerde ortalama 1 saatte tabanın dengeye ulaştığı görülmüştür. Dolayısıyla 1 saat sonra dalgalar durdurularak meydana gelen değişimler ölçülmüştür.

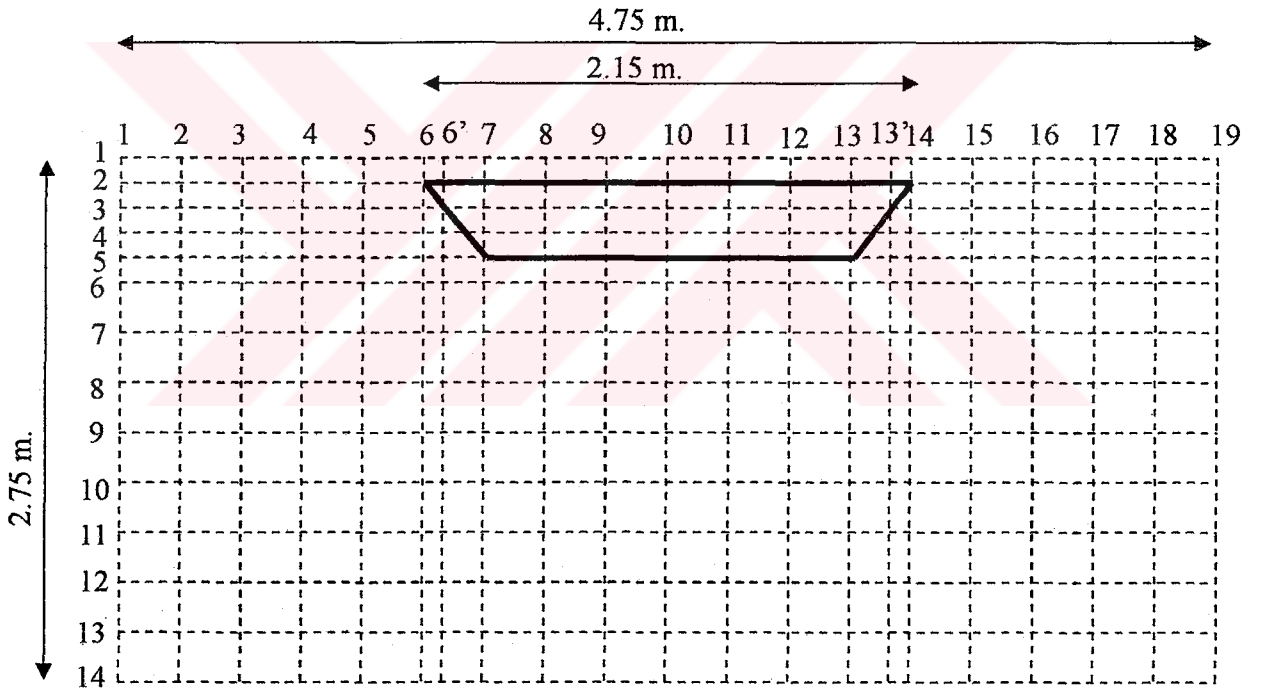
Besleme malzemesi yerleştirilirken kalıplar kullanılmış, böylece her deneyde aynı miktarda malzemenin konulması sağlanmıştır. Ayrıca, beslemede kullanılan malzemenin suya doygun olmasına da dikkat edilmiştir.

Besleme malzemesi yerleştirildikten sonra tekrar ölçümler yapılarak ne kadar malzeme kullanıldığı tespit edilmiş ve dalgalar üretilmeye başlanmıştır. Belli aralıklarla dalgalar durdurularak topoğrafya bozulmayacak şekilde ölçümler yapılmıştır. Tüm deneyler için taban topoğrafyalarının zamanla değişimi tespit edilmiştir. Her eğim durumunda 1 deney için taban topoğrafyalarının zamanla değişimi Ekler kısmında verilmiştir.

Deney bittikten sonra besleme malzemesi olarak kullanılan 0,40 ve 0,80 mm.lik malzemeler 0,18 mm.lik taban malzemesinden özenle ayrılarak dışarı çıkarılmıştır.

Alınan ölçümlerden kalan malzeme oranları tespit edilmiştir. Şekil 2.4 'te gösterilen ölçüm ağında x yönünde 6 ile 14 aksları, y yönünde 2 ile 5 aksları arasında 2,15*0,3 m boyutlarındaki bölgede değişik berm yüksekliklerinde beslemeler yapılmış ve bu bölgede kalan malzeme oranı tespit edilmiştir.

1/30 taban eğimindeki deneyler bitirildikten sonra, eğim 1/20'ye, daha sonra 1/15'e getirilmiş ve aynı şekilde deneylere devam edilmiştir. 1/30 eğiminde 45, 1/20 eğiminde 27 ve 1/15 eğiminde 30 deney olmak üzere toplam 102 deney yapılmıştır. Deneylerde kullanılan eğim, malzeme dane çapları, berm yükseklikleri, dalga yükseklikleri ve periyotları Tablo 2.1'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Deneylerde kullanılan ölçüm ağı

Tablo 2.1. Yapılan deneyler

Deney No	Taban Eğimi m	Dane Çapı d_{50} (mm)	Berm Yük. B(cm)	Dalga Yük. H(cm)	Dalga Per. T(sn)
1	1/15	0.18	8	7	1.2
2	1/15	0.40	8	7	1.2
3	1/15	0.80	8	7	1.2
4	1/15	0.18	8	5.5	1.2
5	1/15	0.40	8	5.5	1.2
6	1/15	0.80	8	5.5	1.2
7	1/15	0.18	5	5.5	1.2
8	1/15	0.40	5	5.5	1.2
9	1/15	0.80	5	5.5	1.2
10	1/15	0.18	8	4	1.2
11	1/15	0.40	8	4	1.2
12	1/15	0.80	8	4	1.2
13	1/15	0.18	5	4	1.2
14	1/15	0.40	5	4	1.2
15	1/15	0.80	5	4	1.2
16	1/15	0.18	8	5.5	1
17	1/15	0.40	8	5.5	1
18	1/15	0.80	8	5.5	1
19	1/15	0.18	5	5.5	1
20	1/15	0.40	5	5.5	1
21	1/15	0.80	5	5.5	1
22	1/15	0.18	8	4	1
23	1/15	0.40	8	4	1
24	1/15	0.80	8	4	1
25	1/15	0.18	5	4	1
26	1/15	0.40	5	4	1
27	1/15	0.80	5	4	1

Tablo 2.1'in devamı

Deney No	Taban Eğimi m	Dane Çapı d_{50} (mm)	Berm Yük. B(cm)	Dalga Yük. H(cm)	Dalga Per. T(sn)
28	1/15	0.18	3	4	1
29	1/15	0.40	3	4	1
30	1/15	0.80	3	4	1
31	1/20	0.18	3	4	1.2
32	1/20	0.40	3	4	1.2
33	1/20	0.80	3	4	1.2
34	1/20	0.18	5	4	1.2
35	1/20	0.40	5	4	1.2
36	1/20	0.80	5	4	1.2
37	1/20	0.18	8	4	1.2
38	1/20	0.40	8	4	1.2
39	1/20	0.80	8	4	1.2
40	1/20	0.18	3	5.5	1.2
41	1/20	0.40	3	5.5	1.2
42	1/20	0.80	3	5.5	1.2
43	1/20	0.18	5	5.5	1.2
44	1/20	0.40	5	5.5	1.2
45	1/20	0.80	5	5.5	1.2
46	1/20	0.18	8	5.5	1.2
47	1/20	0.40	8	5.5	1.2
48	1/20	0.80	8	5.5	1.2
49	1/20	0.18	3	7	1.2
50	1/20	0.40	3	7	1.2
51	1/20	0.80	3	7	1.2
52	1/20	0.18	5	7	1.2
53	1/20	0.40	5	7	1.2
54	1/20	0.80	5	7	1.2

Tablo 2.1'in devamı

Deney No	Taban Eğimi m	Dane Çapı d_{50} (mm)	Berm Yük. B(cm)	Dalga Yük. H(cm)	Dalga Per. T(sn)
55	1/20	0.18	8	7	1.2
56	1/20	0.40	8	7	1.2
57	1/20	0.80	8	7	1.2
58	1/30	0.18	5	7	1.2
59	1/30	0.18	5	5.5	1.2
60	1/30	0.18	5	4	1.2
61	1/30	0.18	8	4	1.2
62	1/30	0.18	8	5.5	1.2
63	1/30	0.18	8	7	1.2
64	1/30	0.18	5	7	1
65	1/30	0.18	5	5.5	1
66	1/30	0.18	5	4	1
67	1/30	0.18	8	7	1
68	1/30	0.18	8	5.5	1
69	1/30	0.18	8	4	1
70	1/30	0.18	3	4	1
71	1/30	0.18	3	5.5	1
72	1/30	0.18	3	7	1
73	1/30	0.18	3	7	1.2
74	1/30	0.18	3	5.5	1.2
75	1/30	0.18	3	4	1.2
76	1/30	0.80	3	7	1.2
77	1/30	0.80	3	5.5	1.2
78	1/30	0.80	3	4	1.2
79	1/30	0.80	3	4	1
80	1/30	0.80	3	5.5	1
81	1/30	0.80	3	7	1

Tablo 2.1'in devamı

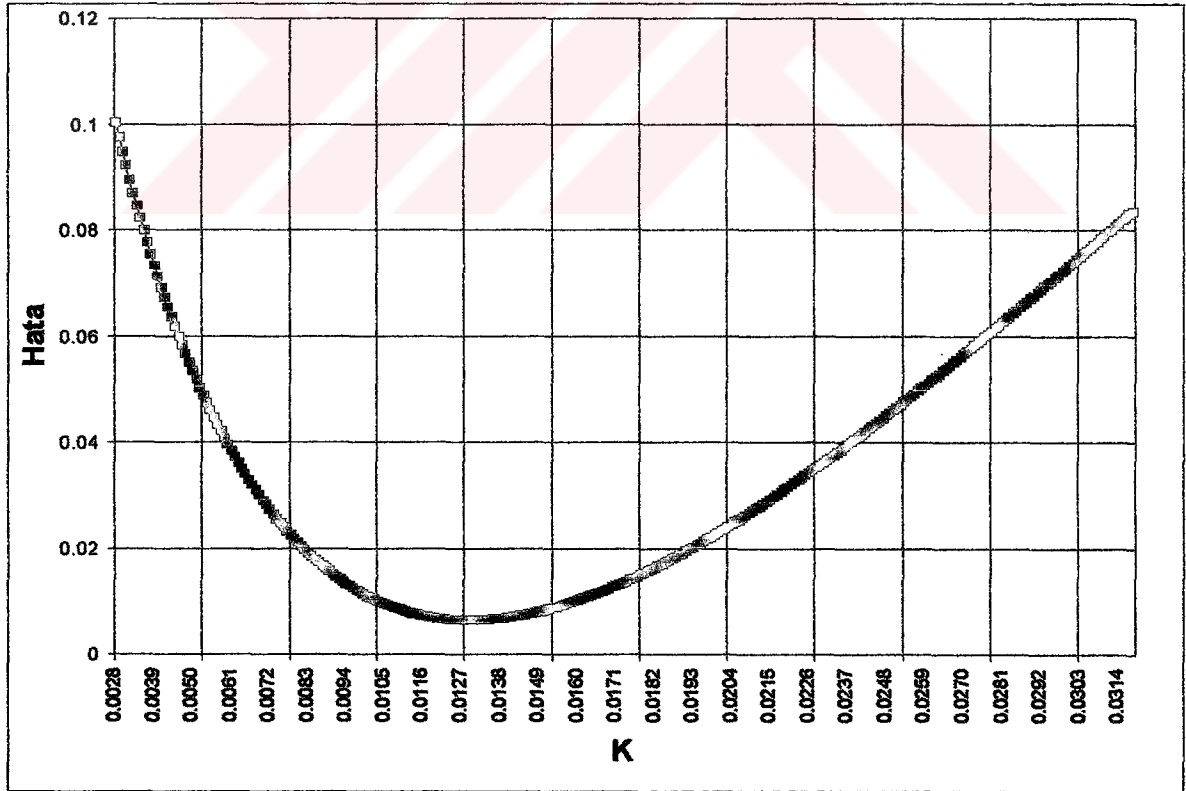
Deney No	Taban Eğimi m	Dane Çapı d₅₀ (mm)	Berm Yük. B(cm)	Dalga Yük. H(cm)	Dalga Per. T(sn)
82	1/30	0.80	5	7	1
83	1/30	0.80	5	5.5	1
84	1/30	0.80	5	4	1
85	1/30	0.80	5	4	1.2
86	1/30	0.80	5	5.5	1.2
87	1/30	0.80	5	7	1.2
88	1/30	0.80	8	7	1
89	1/30	0.80	8	5.5	1
90	1/30	0.80	8	4	1
91	1/30	0.80	8	4	1.2
92	1/30	0.80	8	5.5	1.2
93	1/30	0.80	8	7	1.2
94	1/30	0.4	3	7	1
95	1/30	0.4	3	5.5	1
96	1/30	0.4	3	4	1
97	1/30	0.4	5	7	1
98	1/30	0.4	5	5.5	1
99	1/30	0.4	5	4	1
100	1/30	0.4	8	7	1
101	1/30	0.4	8	5.5	1
102	1/30	0.4	8	4	1

2.2. Katı Madde Taşınım Katsayısı (K) ve Difüzyon Oranı (Ω)'nın Belirlenmesi

Fiziksel model çalışmalarından elde edilen kalan malzeme oranlarından hareketle Denklem 1.34 kullanılarak, en küçük hatayı veren K değerleri elde edilmiştir. Elde edilen K değerleri, Denklem 1.16 ve 1.22'de kullanılarak Ω değerleri hesaplanmıştır. En küçük hatayı veren K değerini bulmak için Denklem 2.1 kullanılmıştır.

$$\varepsilon^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (M(t)_o - M(t)_h)^2}{\sum_{i=1}^n M(t)_o^2} \quad (2.1)$$

Denklemden, $M(t)_o$ deneylerde ölçülen, $M(t)_h$ ise Denklem 1.34 kullanılarak hesaplanan kalan malzeme oranlarını göstermektedir. Örnek olarak seçilen 92. deney için hesaplanan K değeri Şekil 2.5'te görüldüğü gibi 0.0124 olarak bulunmuştur.



Şekil 2.5. 92. deney için elde edilen katı madde taşınım katsayısı

2.3. Kalan Malzeme Oranının Zamansal Değişimi

Herhangi bir t anında m, H, d_{50} , B ve T'ye bağlı olarak kalan malzeme oranının belirlenmesi için denklem 2.2 kullanılmıştır.

$$M(t) = A.e^{-\alpha.t} \quad (2.2)$$

Denklemden; α kalan malzeme oranındaki azalmayı temsil eden katsayı, A ise sabit katsayıdır. A ve α 'yı belirlemek için regresyon analizleri yapılmıştır. A'nın büyümesi halinde M(t) artmakta, α 'nın büyümesi halinde ise M(t) azalmaktadır.

2.4. Regresyon Analizleri

Fiziksel model sonuçları dikkate alınarak regresyon analizleri yapılmış ve kalan malzeme oranını M(t) bulmak için denklemler kurulmuştur.

Kalan malzeme oranının hesabında etkin olan K, Ω ve α katsayıları, boyutlu ve boyutsuz olarak incelenmiş ve en uygun denklemler elde edilmiştir.

Regresyon analizinin türünü belirlemek için yapılan ön çalışmalar sonunda çoklu hiperbolik fonksiyon türü seçilmiştir.

2.5. Değişkenlerin Boyutsuzlaştırılması

Mühendislik uygulamalarında kolaylık sağlaması ve laboratuvar şartlarının meydana getirdiği olumsuzlukları azaltıcı nitelik taşıması sebebiyle, fiziksel model çalışmalarından elde edilen sonuçlar boyutsuz hale getirilmektedir. Boyutsuz denklem kurulmasında bağımsız değişkenler olarak, m (taban eğimi), H_0/L_0 (dalga dikliği), H_0/WT (boyutsuz çökme hızı parametresi) ve d_{50}/B (medyan dane çapı/berm yüksekliği) kullanılmıştır.

3. BULGULAR

Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmalardan elde edilen bulgular verilmiştir. Taban eğimi, dalga şartları, besleme malzemesinin çapı ve berm yüksekliğine bağlı olarak kalan malzeme oranı ($M(t)$), fiziksel bir modelde incelenmiş ve elde edilen veriler sunulmuştur. Fiziksel model sonuçlarından ve literatürdeki denklemlerden hareketle elde edilen difüzyon oranı (Ω), katı madde taşınım katsayısı (K) ve azalma katsayısı (α) için boyutlu ve boyutsuz denklemler kurularak, bu denklemlerden elde edilen sonuçlar verilmiştir.

3.1. Difüzyon Oranı (Ω)

Fiziksel model çalışmalarında yapılan toplam 102 deneyin, sonuçlarından elde edilen Ω ve K değerleri için regresyon analizleri yapılarak bulunan denklemlerin ortalama hataları hesaplanmıştır. Tüm deneyler dikkate alındığında Ω için %45.26'lık ortalama hata bulunmuştur. Hata oranı çok büyük olduğundan dolayı, hataları fazla olan deneyler çıkarılarak ortalama hata oranı azaltılmıştır. Ω ve K için yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizlerinde, ortalama hataları en düşük çıkan 44 deney dikkate alınmıştır. Deney sayısına bağlı olarak ortalama hataların ve etki oranlarının değişimi Tablo 3.1' de görülmektedir.

Difüzyon oranı için boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.1.1. Difüzyon Oranı (Ω) için Boyutlu Regresyon Analizleri

Fiziksel model sonuçları kullanılarak elde edilen Ω için boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizinde Ω 'ya, m , H_0 , d_{50} , B ve T 'nin etkisi incelenmiştir. Çoklu hiperbolik fonksiyon kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizlerinde, determinasyon katsayıları hesaplanmıştır. Değişkenler azalırken determinasyon katsayıları da azalmıştır.

Tablo 3.1. Ω için deney sayıları, etki oranları ve ortalama hatalar

Değişkenler	Deney Sayısı (n) ve Etki Oranları (%)				
	n=102	n=83	n=68	n=51	n=44
m	60.53	55.92	54.31	51.16	50.65
H_0	13.96	14.07	13.51	17.08	19.78
d_{50}	9.87	11.27	13.17	14.53	14.06
B	10.78	11.01	12.10	12.30	11.80
T	4.86	7.73	6.91	4.93	3.71
Det. Kat. r^2	0.8679	0.9068	0.9509	0.9742	0.9840
Ort. Hata %	45.26	33.15	25.01	17.61	12.99

En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumu için beta değerleri ve etki oranları Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Ω için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları

$\Omega = c.m^{b_0}.H_0^{b_1}.d_{50}^{b_2}.B^{b_3}.T^{b_4}$		
$r^2=0.984$, Ortalama Hata=12.99		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
m	0.8855	50.65
H_0	0.3458	19.78
d_{50}	-0.2459	14.06
B	-0.2063	11.80
T	0.0649	3.71

Tablo 3.2 incelendiğinde difüzyon oranına (Ω) en büyük etkiyi %50.65’le taban eğiminin (m), en az etkiyi ise %3.71 ile dalga periyodunun (T) yaptığı görülmektedir. Difüzyon oranına dalga yüksekliğinin (H_0) %19.78, dane çapının (d_{50}) %14.06 ve berm yüksekliğinin (B) %11.80’lik oranla etki ettiği belirlenmiştir.

Tüm parametreler için etki oranları hesaplandıktan sonra en az etkin olan parametre çıkarılarak regresyon katsayıları bulunmuştur. Bağımsız değişken sayısı azalması durumundaki regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hatalar Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Ω için boyutlu çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları

$\Omega = c.m^{b_0}.H_0^{b_1}.d_{50}^{b_2}.B^{b_3}.T^{b_4}$									
Bağımsız Değişken Durumu		Regresyon Katsayıları							Ort. Hata
Bulunan	Bulunmayan	r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	
m, H_0 , d_{50} , B, T	-	0.9843	159.5	4.143	2.164	-0.478	-0.703	0.928	12.99
m, H_0 , d_{50} , B	T	0.9811	324.2	4.082	2.330	-0.467	-0.631		14.20
m, H, d_{50}	B, T	0.9495	2679.4	3.963	2.596	-0.489			24.81
m, H_0	d_{50} , B, T	0.8883	20624	3.986	2.734				37.93
m	H_0 , d_{50} , B, T	0.6960	40.964	3.903					66.53

Tablo 3.3'teki değerlere göre çoklu hiperbolik fonksiyon için elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\Omega = 159,5.m^{4,143}.H_0^{2,164}.d_{50}^{-0,478}.B^{-0,703}.T^{0,928} \quad (3.1)$$

3.1.2. Ω için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Difüzyon oranını bir denkleme bağlı olarak belirlemek için fiziksel model sonuçlarından ve literatürdeki denklemlerden hareketle boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan bağımsız değişkenler; taban eğimi (m), çökme hızı (H_0/wT), medyan dane çapı/berm yüksekliği (d_{50}/B) ve dalga dikliğidir (H_0/L_0). Değişkenler azalırken determinasyon katsayıları da azalmıştır.

En büyük determinasyon katsayısını veren durum için beta değerleri ve etki oranları Tablo 3.4'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Ω için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları

$\Omega = c.m^{b_0} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{b_1} \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{b_3}$		
$r^2=0.9223$, Ortalama Hata=31.87		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
m	0.8588	40.9
H_0/wT	0.7528	35.8
d_{50}/B	0.4856	23.1
H_0/L_0	0.0037	0.20

Tablo 3.4'teki etki oranları incelendiğinde, Ω 'ya en büyük etkiyi %40.9'la taban eğimi yapmaktadır. H_0/wT 'nin %35.8, d_{50}/B 'nin ise %23.1 etkisi görülmektedir. H_0/L_0 'ın ise, hemen hemen hiçbir etkisi olmadığı görülmektedir.

Tüm parametreler için etki oranları hesaplandıktan sonra en az etkin olan parametre çıkarılarak regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Bağımsız değişken sayısı azalması durumundaki regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hatalar Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Ω için boyutsuz çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları

$\Omega = c.m^{b_0} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{b_1} \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{b_3}$									
Boyutsuz Değişken Durumu			r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3	Ort. Hata %
Bağımlı	Bağımsız								
	Bulunan	Bulunmayan							
Ω	m, H_0/wT , d_{50}/B , H_0/L_0	-	0.9223	5231.9	4.018	1.238	0.849	0.021	31.8
	m, H_0/wT , d_{50}/B	H_0/L_0	0.9223	5042.8	4.021	1.245	0.855		31.8
	m, H_0/wT	d_{50}/B , H_0/L_0	0.8337	40.03	3.861	0.61			45.8
	m	H_0/wT , d_{50}/B , H_0/L_0	0.6960	40.96	3.903				66.5

Tablo 3.5 incelendiğinde boyutsuz bağımsız değişkenlerden, bulunmaması halinde determinasyon katsayısının azalmasında hemen hemen hiçbir etkisi olmayan parametrenin dalga dikliği (H_0/L_0) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dalga dikliğini değerlendirmeye almaya gerek yoktur.

Tablo 3.5'teki değerlere göre Ω için boyutsuz olarak elde edilen çoklu hiperbolik fonksiyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\Omega = 5042,89.m^{4,021} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{1,245} \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{0,855} \quad (3.2)$$

3.2. Katı Madde Taşınım Katsayısı (K)

Katı madde taşınım katsayısı (K) için regresyon analizleri yapılırken, Ω 'da olduğu gibi ortalama hataları büyük olan deneyler çıkarılarak ortalama hata oranı azaltılmıştır. K için yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizlerinde, ortalama hataları en düşük çıkan 44 deney dikkate alınmıştır. Deney sayısına bağlı olarak ortalama hataların ve etki oranlarının değişimi Tablo 3.6' da görülmektedir.

Tablo 3.6. K için deney sayıları, etki oranları ve ortalama hatalar

Değişkenler	Deney Sayısı (n) ve Etki Oranları (%)				
	n=102	n=83	n=68	n=51	n=44
m	76.83	70.86	68.10	63.67	60.69
d_{50}	13.17	15.05	17.55	19.11	17.76
H_0	2.76	3.41	3.17	7.95	11.65
B	6.73	7.22	8.76	8.95	7.64
T	0.57	3.46	2.42	0.36	2.26
Det. Kat. r^2	0.8547	0.8920	0.9405	0.9679	0.9801
Ort. Hata %	42.75	33.63	25.84	17.89	13.19

Katı madde taşınım katsayısı (K) için yapılan boyutlu ve boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Katı Madde Taşınım Katsayısı (K) İçin Boyutlu Regresyon Analizleri

K'yı bir denkleme bağlı olarak belirlemek için fiziksel model verileri kullanılarak boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizinde K'ya m, H₀, d₅₀, B ve T'nin etkisi incelenmiştir. Çoklu hiperbolik fonksiyon kullanılarak yapılan boyutlu regresyon analizlerinde determinasyon katsayıları hesaplanmıştır. En büyük determinasyon katsayılarını veren bağımsız değişkenler durumu için beta değerleri ve etki oranları Tablo 3.7'de verilmiştir.

Tablo 3.7. K için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları

$K = c.m^{b_0}.d_{50}^{b_1}.H_0^{b_2}.B^{b_3}.T^{b_4}$		
$r^2=0.9801$, Ortalama Hata=13.19		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
m	0.920190	60.6
d ₅₀	-0.271919	17.7
H ₀	0.178309	11.6
B	-0.116845	7.6
T	-0.034695	2.2

Tablo 3.7 incelendiğinde K'ya en büyük etkiyi %60.6 ile taban eğimi, en az etkiyi ise %2.2 ile dalga periyodu yapmaktadır. Bu sonuçlar Ω için elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. K'ya dane çapının etkisi %17.7, dalga yüksekliğinin etkisi %11.6 ve berm yüksekliğinin etkisi ise %7.6'dır. Ancak, K üzerinde en etkin ikinci parametre dane çapı olmasına rağmen, Ω üzerinde en etkin ikinci parametrenin dalga yüksekliği olduğu görülmüştür.

Yapılan regresyon analizinde determinasyon katsayıları hesaplanmış ve değişken sayısının azalması ile birlikte hesaplanan determinasyon katsayıları, regresyon katsayıları ve ortalama hatalar Tablo 3.8'de verilmiştir.

Tablo 3.8. K için bağımsız değişkenlere göre regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları

$K = c.m^{b_0} .d_{50}^{b_1} .H_0^{b_2} .B^{b_3} .T^{b_4}$									
Bağımsız Değişken Durumu		Regresyon Katsayıları							Ort. Hata
Bulunan	Bulunmayan	r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	
m, d_{50} , H_0 , B, T	-	0.980	1961.8	3.903	-0.474	1.002	-0.358	-0.446	13.19
m, d_{50} , H_0 , B	T	0.979	1395.3	3.933	-0.479	0.922	-0.392		13.71
m, d_{50} , H_0	B, T	0.964	5184.4	3.859	-0.493	1.087			18.40
m, d_{50}	H_0 , B, T	0.970	138.12	3.825	-0.523				26.82
m	d_{50} , H_0 , B, T	0.837	9024.8	3.845					39.70

Tablo 3.8'deki değerlere göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$K = 1961,8.m^{3,903} .d_{50}^{-0,474} .H_0^{1,002} .B^{-0,358} .T^{-0,446} \quad (3.3)$$

3.2.2. K için Boyutsuz Regresyon Analizleri

K'yı belirlemek için fiziksel model sonuçlarından hareketle boyutsuz regresyon analizleri yapılmıştır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan bağımsız değişkenler, difüzyon oranında olduğu gibi, m, H_0/wT , d_{50}/B ve H_0/L_0 'dır.

En büyük determinasyon katsayısını veren durum için beta değerleri ve etki oranları tablo 3.9'da verilmiştir.

Tablo 3.9. K için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları

$K = c.m^{b_0} \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^{b_1} \left(\frac{d_{50}}{B}\right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{b_3}$		
$r^2=0.9767$, Ortalama Hata=14.16		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
m	0.9231	54.00
H_0/wT	0.5412	31.10
d_{50}/B	0.2460	14.40
H_0/L_0	0.0081	0.50

Tablo 3.9'daki etki oranları incelendiğinde, K'ya en büyük etkiyi %54'le taban eğimi yapmaktadır. H_0/wT 'nin %31.10, d_{50}/B 'nin ise %14.40 etkisi görülmektedir. H_0/L_0 'ın ise hemen hemen hiçbir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bu durum Ω için elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir.

Tüm parametreler için etki oranları hesaplandıktan sonra en az etkin olan parametre çıkarılarak regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerin azalmasıyla azalan determinasyon katsayıları, regresyon katsayıları ve artan ortalama hatalar Tablo 3.10'da verilmiştir.

Tablo 3.10. K için boyutsuz çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları

$K = c.m^{b_0} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{b_1} \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{b_3}$									
Bağımlı	Boyutsuz Değişken Durumu		r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3	Ort. Hata %
	Bağımsız								
	Bulunan	Bulunmayan							
K	$m, H_0/wT, d_{50}/B, H_0/L_0$	-	0.976	90934.8	3.879	0.785	0.386	0.042	14.2
	$m, H_0/wT, d_{50}/B$	H_0/L_0	0.9767	84477.9	3.885	0.798	0.399		14.1
	$m, H_0/wT$	$d_{50}/B, H_0/L_0$	0.9529	8854.0	3.810	0.502			21.3
	m	$H_0/wT, d_{50}/B, H_0/L_0$	0.8373	9024.83	3.845				39.7

Tablo 3.10 incelendiğinde tıpkı difüzyon oranında olduğu gibi, bulunmaması halinde determinasyon katsayısının azalmasında hemen hemen hiçbir etkisi olmayan parametrenin dalga dikliği (H_0/L_0) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dalga dikliğini değerlendirmeye almaya bu durumda da gerek yoktur.

Tablo 3.10'daki değerlere göre K için boyutsuz olarak elde edilen çoklu hiperbolik fonksiyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$K = 84477,88.m^{3,885} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{0,798} \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{0,399} \quad (3.4)$$

3.3. Azalma Katsayısı (α)

Ω ve K 'da olduğu gibi, α için de yapılan regresyon analizlerinde ortalama hataları büyük çıkan deneyler çıkarılmış ve hataları küçük olan 48 deney sonucu kullanılmıştır. Deney sayısına bağlı olarak ortalama hataların ve etki oranlarının değişimi Tablo 3.11'de görülmektedir.

Tablo 3.11. α için deney sayıları, etki oranları ve ortalama hatalar

Değişkenler	Deney Sayısı (n) ve Etki Oranları (%)			
	n=102	n=82	n=67	n=48
m	63.1	63.0	63.5	62.3
d_{50}	10.3	14.0	15.8	16.5
H_0	11.2	13.0	13.9	13.8
B	10.3	7.1	6.0	6.3
T	5.0	2.8	0.8	1.1
Det. Kat. r^2	0.8622	0.9326	0.9606	0.9820
Ort. Hata %	40.19	23.73	18.15	12.11

α için boyutlu ve boyutsuz regresyon analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

3.3.1. α için Boyutlu Regresyon Analizleri

α 'yı belirlemek için fiziksel model verileri kullanılarak boyutlu regresyon analizleri yapılmıştır. Regresyon analizinde α 'ya m, H_0 , d_{50} , B ve T 'nin etkisi incelenmiştir. Yapılan regresyon analizinde determinasyon katsayıları hesaplanmıştır. Değişkenler azalırken determinasyon katsayıları da azalmıştır. En büyük determinasyon katsayılarını veren durum için beta değerleri ve etki oranları Tablo 3.12'de verilmiştir.

Tablo 3.12. α için boyutlu regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları

$\alpha = c.m^{b_0}.d_{50}^{b_1}.H_0^{b_2}.B^{b_3}.T^{b_4}$		
$r^2=0.9820$, Ortalama Hata=12.11		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
m	1.0160	62.30
d_{50}	-0.2698	16.50
H_0	0.2250	13.80
B	-0.1024	6.30
T	0.0183	1.10

Tablo 3.12 incelendiğinde α 'ya en büyük etkiyi %62.3 ile taban eğimi, en az etkiyi ise %1.1 ile dalga periyodu yapmaktadır. Bu sonuçlar Ω ve K için elde edilen sonuçlarla paralellik göstermektedir. α 'ya dane çapının etkisi %16.5, dalga yüksekliğinin etkisi %13.8 ve berm yüksekliğinin etkisi ise %6.3'tür.

α , Ω ve K üzerindeki en etkin parametre taban eğimidir. Fakat, α ve K için en etkin ikinci parametrenin malzeme çapı olmasına rağmen, Ω için ikinci etkin parametre dalga yüksekliğidir. α , Ω ve K için etkisi en az olan parametreler ise sırasıyla dalga periyodu ve berm yüksekliğidir.

Bağımsız değişken sayısının azalması durumundaki regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hatalar Tablo 3.13'te verilmiştir.

Tablo 3.13. α için bağımsız değişkenlere göre regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları

$\alpha = c.m^{b_0}.d_{50}^{b_1}.H_0^{b_2}.B^{b_3}.T^{b_4}$									
Bağımsız Değişken Durumu		Regresyon Katsayıları							Ort. Hata %
Bulunan	Bulunmayan	r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	
m, d_{50} , H_0 , B, T	-	0.982	1.431	3.672	-0.455	1.019	-0.286	0.214	12.11
m, d_{50} , H_0 , B	T	0.981	1.664	3.685	-0.454	1.037	-0.278		12.16
m, d_{50} , H_0	B, T	0.972	3.668	3.639	-0.459	1.077			15.71
m, d_{50}	H_0 , B, T	0.920	0.115	3.417	-0.405				25.37
m	d_{50} , H_0 , B, T	0.862	2.305	3.356					31.84

Tablo 3.13'teki değerlere göre elde edilen denklem aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = 1,431 m^{3,672} d_{50}^{-0,455} H_0^{1,019} B^{-0,286} T^{0,214} \quad (3.5)$$

3.3.2. α için Boyutsuz Regresyon Analizleri

Azalma katsayısını (α) belirlemek için fiziksel model sonuçlarından hareketle boyutsuz regresyon analizleri yapılıŐtır. Boyutsuz regresyon analizlerinde kullanılan bağımsız değişkenler, difüzyon oranı (Ω) ve katı madde taşınım katsayısında (K) olduğu gibi, m , H_0/wT , d_{50}/B ve H_0/L_0 'dır. En büyük determinasyon katsayısını veren durum için beta değerleri ve etki oranları Tablo 3.14'te verilmiştir.

Tablo 3.14. α için boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları

$\alpha = c.m^{b_0} \left(\frac{H_0}{w.T} \right)^{b_1} \left(\frac{d_{50}}{B} \right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{L_0} \right)^{b_3}$		
$r^2=0.9687$, Ortalama Hata=15.41		
Değişkenler	Beta Değerleri	Etki Oranı (%)
m	1.0162	59.08
H_0/wT	0.4733	27.52
d_{50}/B	0.2220	12.91
H_0/L_0	0.0084	0.49

Tablo 3.14'teki etki oranları incelendiğinde, α 'ya en büyük etkiyi %59.08'le taban eğimi yapmaktadır. H_0/wT 'nin %27.52, d_{50}/B 'nin ise %12.91 etkisi görülmektedir. H_0/L_0 'ın ise hemen hemen hiçbir etkisi görülmemektedir. Bu durum Ω ve K için elde edilen sonuçlarla uyumluluk göstermektedir.

Tüm parametreler için etki oranları hesaplandıktan sonra en az etkin olan parametre çıkarılarak regresyon katsayıları hesaplanmıştır. Bağımsız değişkenlerin azalmasıyla azalan determinasyon katsayıları, regresyon katsayıları ve artan ortalama hatalar Tablo 3.15'te verilmiştir.

Tablo 3.15. α için boyutsuz çoklu hiperbolik fonksiyon regresyon katsayıları, determinasyon katsayıları ve ortalama hataları

$\alpha = c.m^{b_0} \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^{b_1} \left(\frac{d_{50}}{B}\right)^{b_2} \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{b_3}$									
Boyutsuz Değişken Durumu			r^2	c	b_0	b_1	b_2	b_3	Ort. Hata %
Bağımlı	Bağımsız								
	Bulunan	Bulunmayan							
α	m, H_0/wT , d_{50}/B , H_0/L_0	-	0.968	36.08	3.672	0.700	0.325	0.033	15.35
	m, H_0/wT , d_{50}/B	H_0/L_0	0.968	33.20	3.667	0.711	0.335		15.41
	m, H_0/wT	d_{50}/B , H_0/L_0	0.948	4.31	3.539	0.444			19.64
	m	H_0/wT , d_{50}/B , H_0/L_0	0.928	2.31	3.356				31.84

Tablo 3.15 incelendiğinde tıpkı Ω ve K 'da olduğu gibi, bulunmaması halinde determinasyon katsayısının azalmasında hemen hemen hiçbir etkisi olmayan parametrenin dalga dikliği (H_0/L_0) olduğu görülmektedir. Dolayısıyla dalga dikliğini değerlendirmeye almaya bu durumda da gerek yoktur. Tablo 3.15'teki değerlere göre α için boyutsuz olarak elde edilen çoklu hiperbolik fonksiyon denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\alpha = 33,2.m^{3,667} \left(\frac{H_0}{w.T}\right)^{0,711} \left(\frac{d_{50}}{B}\right)^{0,335} \quad (3.6)$$

3.4. A Katsayısı için Boyutlu ve Boyutsuz Regresyon Analizleri

$M(t)=A*e^{-\alpha t}$ denklemindeki A katsayısı için yapılan boyutlu regresyon analizinde determinasyon katsayısı $r^2=0.1191$, boyutsuz regresyon analizinde ise determinasyon katsayısı $r^2=0.0886$ olarak bulunmuştur. Determinasyon katsayıları çok küçük olduğu için A ile m, H_0 , d_{50} , B ve T arasında tam bir ilişki kurulamamıştır. Ancak Tablo 3.17 incelendiğinde A'nın 0.59683 ile 0.97394 arasında değiştiği ve az da olsa eğimle ilişkili olduğu görülmektedir. Dolayısıyla her eğim için A değerlerinin ortalamasının alınarak kullanılmasına karar verilmiştir. Tüm eğimler için A değerinin ortalaması ve standart sapması Tablo 3.16'da verilmiştir.

Tablo 3.16. A'nın eğime göre değişimi

Eğim	A	
	Ortalama	Standart Sapma
1/15	0.8087	0.0756
1/20	0.8469	0.0926
1/30	0.8804	0.0484

Tablo 3.16 incelendiğinde A'nın, eğim azaldıkça arttığı görülmektedir. Dolayısıyla M(t) hesaplanırken her bir eğim için yukarıdaki değerler kullanılmıştır.

3.5. Ω , K ve α Katsayılarının Genel Değerlendirmesi

Ω , K ve α için en büyük determinasyon katsayılarını veren durum için boyutlu ve boyutsuz regresyon analizlerinden elde edilen etki oranları Tablo 3.17'de bir arada görülmektedir.

Tablo 3.17. Ω , K ve α için boyutlu ve boyutsuz analizlerinden elde edilen etki oranları

Değişkenler	Boyutlu Denklemler İçin Etki Oranları (%)			Değişkenler	Boyutsuz Denklemler İçin Etki Oranları (%)		
	Ω	K	α		Ω	K	α
m	50.65	60.6	62.30	m	40.9	54.00	59.08
d_{50}	14.06	17.7	16.50	H_0/wT	35.8	31.10	27.52
H_0	19.78	11.6	13.80	d_{50}/B	23.1	14.40	12.91
B	11.80	7.6	6.30	H_0/L_0	0.20	0.50	0.49
T	3.71	2.2	1.10				

Tüm değişkenler incelendiğinde, 3 katsayı için de birbirine paralel sonuçlar elde edildiği Tablo 3.17'den görülmektedir.

Deney sonuçlarından hareketle bulunan Ω , K, α ve A değerleri ile regresyon analizlerinden elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerden hesaplanan değerler Tablo 3.18'de verilmiştir.

Tablo 3.18. Deneylerden, boyutlu ve boyutsuz denklemlerden elde edilen Ω , K, α ve A değerleri

D. No	Ω			K			α			A
	Dency $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	Dency	Boyutlu	Boyutsuz	Dency $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	
1	1774	292	163	2.856	0.4759	0.4204	124	45.8	40.6	0.684
2	703	199	110	1.1132	0.326	0.2905	66.5	31.8	28.7	0.596
3	220	143	74	0.3541	0.2347	0.204	46.4	23.2	20.6	0.774
4 ^{a,b}	129	173	120	0.2797	0.3738	0.3468	34.3	35.8	34.2	0.813
5	74.8	118	81.7	0.1619	0.256	0.2396	17.4	24.9	24.2	0.756
6	55.5	84.9	55.3	0.1202	0.1843	0.1683	14.6	18.1	17.4	0.784
7 ^b	168	241	180	0.306	0.4423	0.4184	55.7	40.9	40.0	0.919
8 ^b	84	165	122	0.1548	0.3029	0.289	28.1	28.4	28.3	0.858
9 ^b	65	118	82.7	0.1185	0.2181	0.203	20.0	20.7	20.3	0.827
10	51.5	87	81.5	0.1637	0.2717	0.269	19.2	25.9	27.2	0.887
11	43.7	59.4	55	0.1387	0.1861	0.1858	9.91	18.0	19.3	0.755
12 ^{a,b}	46	42.6	37.2	0.1461	0.134	0.1305	13.6	13.1	13.8	0.811
13 ^a	111	121	121	0.2884	0.3214	0.3245	23.2	29.6	31.9	0.752
14 ^b	58.2	82.7	82.2	0.1509	0.2201	0.2242	18.5	20.6	22.5	0.851
15 ^b	40.9	59.4	55.6	0.1062	0.1585	0.1575	13.0	15.0	16.2	0.836
16 ^a	143	146	151	0.3947	0.4054	0.4011	21.8	37.2	38.9	0.651
17	45.7	99.9	102.6	0.1255	0.2777	0.2771	17.1	25.9	27.5	0.884
18	38.5	71.7	69.4	0.1057	0.1999	0.1946	14.2	18.8	19.8	0.880
19 ^{a,b}	202	204	226	0.4653	0.4797	0.4839	49.1	42.6	45.5	0.861
20 ^{a,b}	142	139	153	0.3278	0.3286	0.3343	36.6	29.6	32.2	0.807
21 ^a	127	99.8	103	0.2933	0.2365	0.2348	31.9	21.6	23.2	0.795
22 ^a	71.5	73.5	102	0.298	0.2947	0.3111	14.8	26.9	31.0	0.723
23 ^a	38.5	50.2	69	0.1608	0.2018	0.2149	11.5	18.7	21.9	0.812
24 ^{a,b}	35.5	36	46.7	0.1482	0.1453	0.151	11.0	13.6	15.8	0.838
25 ^{a,b}	94.9	102	152	0.3213	0.3487	0.3753	29.5	30.8	36.3	0.890
26 ^{a,b}	62.3	69.8	103	0.2109	0.2388	0.2593	17.6	21.4	25.7	0.811
27 ^{a,b}	55.5	50.1	69.8	0.188	0.1719	0.1821	16.5	15.6	18.5	0.832

Tablo 3.18'in devamı

D. No	Ω			K			α			A
	Dency $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	Dency	Boyutlu	Boyutsuz	Dency $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	
28 ^{a,b}	153	146	236	0.4404	0.4186	0.4601	34.8	35.6	43.1	0.774
29 ^b	71	99.9	159	0.2034	0.2867	0.3179	28.6	24.7	30.5	0.916
30 ^a	75.6	71.8	108	0.2167	0.2064	0.2233	27	18.0	21.9	0.871
31	10.4	52.7	59.1	0.0246	0.1256	0.1301	6.15	11.9	13.1	0.958
32 ^b	15.8	35.9	40	0.0372	0.086	0.0899	8.55	8.29	9.33	0.935
33 ^b	20.4	25.8	27.1	0.048	0.0619	0.0631	7.75	6.04	6.72	0.860
34	21.2	36.7	38.2	0.0587	0.1046	0.1061	5.87	10.3	11.1	0.810
35	16.4	25.1	25.8	0.0454	0.0716	0.0733	5.58	7.16	7.86	0.851
36 ^{a,b}	15.1	18.	17.5	0.0418	0.0516	0.0515	6.28	5.22	5.66	0.895
37 ^{a,b}	30.4	26.4	25.5	0.1031	0.0884	0.088	9.94	9.00	9.50	0.846
38 ^a	22	18	17.2	0.0749	0.0605	0.0608	9.68	6.26	6.72	0.915
39 ^a	19.2	13	11.7	0.0654	0.0436	0.0427	7.7	4.56	4.83	0.886
40 ^b	57.4	105	87.9	0.0976	0.1728	0.1678	21.8	16.4	16.5	0.927
41	44.4	71.6	59.4	0.0754	0.1183	0.1159	9.02	11.4	11.7	0.730
42 ^{a,b}	53.7	51.4	40.2	0.0914	0.0852	0.0814	9.04	8.36	8.42	0.687
43 ^{a,b}	68.6	73.2	56.8	0.1333	0.1439	0.1368	17	14.2	13.9	0.816
44 ^{a,b}	63.9	50	38.4	0.1242	0.0985	0.0945	11.9	9.90	9.86	0.707
45 ^{a,b}	38.4	35.9	26.1	0.0746	0.071	0.0664	10.08	7.22	7.10	0.792
46 ^a	77	52.6	38.1	0.1775	0.1216	0.1134	20.2	12.4	11.9	0.837
47 ^{a,b}	26.9	35.9	25.7	0.0621	0.0833	0.0784	9.56	8.66	8.43	0.863
48 ^a	21.6	25.8	17.4	0.0499	0.06	0.055	9.95	6.31	6.06	0.919
49 ^a	187	177	118	0.2472	0.22	0.2034	35.2	21.0	19.6	0.759
50 ^b	48.4	121	80.3	0.0638	0.1507	0.1405	13.4	14.6	13.9	0.815
51 ^{a,b}	69.2	86.7	54.3	0.0913	0.1085	0.0987	14.3	10.6	10.0	0.724
52 ^b	65.2	123	76.7	0.0963	0.1832	0.1659	15.8	18.2	16.5	0.812
53 ^a	66.2	84.3	51.8	0.0978	0.1255	0.1146	19.6	12.6	11.7	0.862
54 ^a	67.9	60.5	35.1	0.1004	0.0903	0.0805	21.0	9.24	8.43	0.894

Tablo 3.18'in devamı

D. No	Ω			K			α			A
	Dency $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	Dency	Boyutlu	Boyutsuz	Dency $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	
55 ^a	92.3	88.7	51.3	0.1583	0.1548	0.1375	23.0	15.9	14.1	0.828
56 ^b	23.8	60.6	34.7	0.0409	0.1061	0.095	10.5	11.0	10.0	0.953
57 ^b	20.1	43.5	23.5	0.0345	0.0764	0.0667	10.5	8.08	7.20	0.973
58	6.53	23	15.0	0.0106	0.0376	0.0343	2.75	4.11	3.74	0.884
59	3.61	13.7	11.1	0.0077	0.0296	0.0283	1.65	3.21	3.15	0.905
60 ^{a,b}	5.47	6.85	7.48	0.0166	0.0215	0.022	2.19	2.32	2.51	0.873
61 ^{a,b}	5.49	4.93	5.01	0.0204	0.0182	0.0182	2.6	2.03	2.14	0.860
62	2.17	9.81	7.44	0.0055	0.025	0.0235	9.80	2.81	2.69	0.895
63	2.86	16.5	10.0	0.0054	0.0318	0.0285	1.02	3.59	3.19	0.862
64 ^b	12.2	19.4	18.8	0.0241	0.0408	0.0397	3.78	4.27	4.26	0.824
65	3.98	11.5	13.9	0.0107	0.0321	0.0328	2.04	3.34	3.58	0.922
66	1.64	5.79	9.39	0.0065	0.0233	0.0254	0.52	2.41	2.86	0.902
67	5.03	14	12.6	0.0116	0.0345	0.0329	1.33	3.73	3.64	0.826
68	3.45	8.29	9.34	0.0111	0.0271	0.0272	1.46	2.92	3.06	0.886
69	6.97	4.16	6.28	0.034	0.0197	0.0211	2.16	2.11	2.44	0.830
70 ^{a,b}	9.06	8.29	14.5	0.0304	0.0280	0.0311	2.95	2.79	3.39	0.834
71 ^a	18.3	16.5	21.6	0.043	0.0385	0.0402	6.07	3.86	4.25	0.856
72 ^a	32.5	27.8	29.1	0.0568	0.0490	0.0487	6.21	4.94	5.05	0.711
73 ^b	16.0	33	23.2	0.0233	0.0452	0.0421	4.67	4.75	4.44	0.809
74 ^a	18.9	19.5	17.2	0.0354	0.0355	0.0347	6.49	3.72	3.74	0.816
75 ^b	5.43	9.82	11.5	0.014	0.0258	0.0269	2.33	2.68	2.98	0.890
76 ^b	5.87	16.2	10.6	0.0085	0.0223	0.0204	2.34	2.41	2.26	0.874
77	2.08	9.58	7.88	0.0039	0.0175	0.0168	0.37	1.88	1.90	0.866
78	25.0	4.81	5.30	0.0656	0.0127	0.0131	7.32	1.36	1.51	0.355
79 ^a	3.66	4.06	6.65	0.0123	0.0138	0.0151	1.03	1.41	1.72	0.860
80 ^b	4.31	8.09	9.89	0.0101	0.0190	0.0195	2.07	1.96	2.16	0.906
81 ^b	4.12	13.6	13.3	0.0072	0.0242	0.0236	2.18	2.51	2.57	0.910

Tablo 3.18'in devamı

D. No	Ω			K			α			A
	Deney $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	Deney	Boyutlu	Boyutsuz	Deney $*10^{-5}$	Boyutlu $*10^{-5}$	Boyutsuz $*10^{-5}$	
82 ^b	5.28	9.52	8.63	0.0104	0.0201	0.0193	1.89	2.16	2.16	0.860
83	2.90	5.65	6.39	0.0078	0.0158	0.0159	0.95	1.69	1.82	0.878
84	5.22	2.84	4.30	0.0207	0.0115	0.0123	1.94	1.22	1.45	0.876
85	5.67	3.36	3.42	0.0172	0.0106	0.0107	2.67	1.17	1.28	0.880
86 ^a	5.86	6.69	5.09	0.0125	0.0146	0.0137	1.19	1.63	1.60	0.801
87	3.26	11.3	6.88	0.0053	0.0186	0.0167	1.02	2.08	1.90	0.878
88	2.94	6.84	5.77	0.0068	0.0170	0.016	0.63	1.89	1.85	0.850
89	2.15	4.06	4.27	0.0069	0.0134	0.0132	1.01	1.48	1.56	0.938
90 ^a	2.21	2.04	2.87	0.0108	0.0097	0.0102	1.68	1.07	1.24	0.970
91 ^a	2.39	2.41	2.29	0.0089	0.0090	0.0088	1.52	1.03	1.09	0.937
92 ^{a,b}	4.89	4.81	3.41	0.0124	0.0123	0.0114	1.71	1.42	1.37	0.848
93 ^b	5.04	8.11	4.60	0.0095	0.0157	0.0138	2.01	1.82	1.62	0.880
94 ^b	5.84	18.9	19.7	0.0102	0.0336	0.0336	2.99	3.44	3.57	0.921
95	4.27	11.3	14.6	0.01	0.0264	0.0277	1.89	2.69	3.01	0.878
96 ^b	2.65	5.66	9.83	0.0089	0.0192	0.0215	1.93	1.94	2.40	0.955
97	3.35	13.3	12.7	0.0066	0.0280	0.0274	1.51	2.97	3.01	0.904
98 ^b	3.46	7.87	9.44	0.0093	0.0220	0.0226	2.25	2.32	2.54	0.956
99 ^{a,b}	3.38	3.95	6.35	0.0134	0.0160	0.0175	1.81	1.68	2.02	0.930
100	3.29	9.53	8.53	0.0076	0.0236	0.0227	1.25	2.59	2.57	0.884
101	3.05	5.66	6.32	0.0098	0.0186	0.0188	1.14	2.03	2.17	0.888
102 ^{a,b}	2.42	2.84	4.25	0.0118	0.0135	0.0145	1.58	1.46	1.73	0.951

Tablo 3.18'de, boyutlu Ω değerleri Denklem 3.1'den, boyutsuz Ω değerleri Denklem 3.2'den, boyutlu K değerleri Denklem 3.3'den, boyutsuz K değerleri Denklem 3.4'den, boyutlu α değerleri Denklem 3.5'den, boyutsuz α değerleri ise Denklem 3.6'dan hesaplanmıştır. a indisi Ω ve K için seçilmiş olan deneyleri, b indisi ise α için seçilmiş olan deneyleri göstermektedir.

4.İRDELEME

Bu bölümde, taban eğimi, dane çapı, dalga yüksekliği, dalga periyodu ve berm yüksekliğinin kalan malzeme oranı ($M(t)$) üzerindeki etkisi irdelenmiştir. Yapılan regresyon analizleri sonucu, K , Ω ve α için kurulan boyutlu ve boyutsuz denklemlerden önceki bölümde elde edilen bulgular irdelenmiş ve en uygun denklem belirlenmiştir. Bu maksatla, boyutlu ve boyutsuz denklemlerle, deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak ölçüm yapılan her deney süresi için rölatif hatalar hesaplanmıştır. Hesaplanan rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları irdelenmiştir. Her bir deneyin rölatif hatası hesaplanırken Denklem 4.1 kullanılmıştır. Tüm deneyler için hesaplanan rölatif hatalar Ek Tablo 1’de verilmiştir.

$$R.H = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{|M(t)_h - M(t)_o|}{M(t)_o} \right)}{n} * 100 \quad (4.1)$$

Denklemden, $M(t)_h$ ve $M(t)_o$, sırasıyla denklemlerden hesaplanan ve deneylerden ölçülen kalan malzeme oranlarını, n ölçüm sayısını göstermektedir. Tüm deneyler dikkate alınarak K , Ω ve α için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmalarının hesaplanmasının yanı sıra, K ile Ω için seçilen 44 deneyin ve α için seçilen 48 deneyin rölatif hataları ve standart sapmaları da hesaplanmıştır. Bununla birlikte $M(t)$ üzerinde etkin parametre taban eğimi olduğundan dolayı, her eğim durumunda denklemlerin ortalama rölatif hataları ve standart sapmaları da irdelenmiştir.

Ayrıca, rölatif hataların zamanla nasıl değiştiğini belirlemek için her ölçüm zamanına ait rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları da hesaplanmıştır. Ancak tüm eğimler için ölçüm zamanları farklı olduğundan, her eğim ayrı ayrı incelenmiştir.

K , Ω ve α için elde edilen en iyi boyutlu ve boyutsuz denklemler karşılaştırılarak genel bir irdeleme yapılmıştır.

4.1. Ω İçin Elde Edilen Boyutlu ve Boyutsuz Denklemlerin İrdelenmesi

Bu bölümde, difüzyon oranı (Ω) için fiziksel model verilerinden hareketle elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin irdelenmesi yapılmıştır.

Deneylerden ve denklemlerden elde edilen Ω değerleri Tablo 3.17’de verilmiştir. Ω değerleri, taban eğimi, dalga yüksekliği ve periyodu artarken artmakta, medyan dane çapı ve berm yüksekliği artarken azalmaktadır.

Boyutlu regresyon analizinden elde edilen Denklem 3.1. ve boyutsuz regresyon analizinden elde edilen Denklem 3.2’den elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış, rölatif hataların ortalaması ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Tüm deneyler (102 deney) için ve seçilen deneyler için (44 deney) hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar Tablo 4.1’de verilmiştir.

Tablo 4.1. Ω için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar

Ω				
Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
	Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
Denklem 3.1 (Boyutlu)	12.81	7.31	7.96	4.93
Denklem 3.2 (Boyutsuz)	13.05	7.02	11.01	5.98

Her eğim için rölatif hataların ortalaması ve standart sapması da ayrıca incelenmiştir. Her eğime ait tüm deneyler için ve seçilen deneyler için ortalama hatalar ve standart sapmalar Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Tüm eğimler için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları

Ω					
Eğim	Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
		Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
1/15	Denklem 3.1 (Boyutlu)	12.55	6.76	9.84	6.13
	Denklem 3.2 (Boyutsuz)	12.85	7.25	12.18	5.09
1/20	Denklem 3.1 (Boyutlu)	12.85	7.97	8.85	4.12
	Denklem 3.2 (Boyutsuz)	13.92	7.91	13.09	7.27
1/30	Denklem 3.1 (Boyutlu)	12.94	7.38	4.70	2.19
	Denklem 3.2 (Boyutsuz)	12.65	6.38	7.09	2.76

Tablo 4.1 ve 4.2 incelendiğinde, tüm deney şartlarında boyutlu ve boyutsuz denklemlerden birbirine yakın değerler elde edilirken, özellikle seçilen deney şartlarında boyutlu denklem daha iyi sonuçlar vermektedir.

Yapılan incelemelerde rölatif hataların zaman ilerledikçe arttığı görülmüştür. Rölatif hataların zamanla değişimi Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Rölatif hataların zamanla değişimi

		Ω									
Eğim	Deneyler	Denklem	5. dak.	10. dak.	20. dak.	30. dak.	45. dak.	60. dak.	90. dak.	150. dak.	240. dak.
1/15	Tüm deneyler	Denklem 3.1	3.74	6.71	11.5	11.3	12.9	21.5	15.7		
		Denklem 3.2	4.82	7.33	12.3	13.9	13.3	20.9	12.8		
	Seçilen deneyler	Denklem 3.1	2.51	5.31	6.86	5.92	9.20	20.5	19.7		
		Denklem 3.2	4.09	6.91	11.1	12.4	11.7	20.5	17.3		
1/20	Tüm deneyler	Denklem 3.1		6.71		11.3	13.8	13.6	18.0	16.5	
		Denklem 3.2		6.84		8.77	13.2	13.1	23.7	24.1	
	Seçilen deneyler	Denklem 3.1		4.16		6.15	7.51	7.27	15.7	14.6	
		Denklem 3.2		6.78		5.48	9.74	10.5	27.6	22.9	
1/30	Tüm deneyler	Denklem 3.1				5.08			12.4	16.2	20.2
		Denklem 3.2				4.76			11.4	16.1	20.3
	Seçilen deneyler	Denklem 3.1				4.43			4.20	3.4	6.68
		Denklem 3.2				4.77			6.21	8.31	10.1

Tablo 4.3 incelendiğinde, zaman ilerledikçe ortalama hatalarda artışlar görülmektedir. Ancak boyutlu denklemlerin, boyutsuz denklemlerden, özellikle seçilen deneyler için daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

4.2. K İçin Elde Edilen Boyutlu ve Boyutsuz Denklemlerin İrdelenmesi

Bu bölümde, katı madde taşınım katsayısı (K) için fiziksel model verilerinden hareketle elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin irdelenmesi yapılmıştır.

Deneylerden ve denklemlerden elde edilen K değerleri Tablo 3.17'de verilmişti. K değerleri, taban eğimi ve dalga yüksekliği artarken artmakta, medyan dane çapı, berm yüksekliği ve dalga periyodu artarken azalmaktadır. Bu durum, etkisi çok az olan dalga periyodu dikkate alınmadığında, difüzyon oranı ile benzerlik göstermektedir.

Boyutlu regresyon analizinden elde edilen Denklem 3.3 ve boyutsuz regresyon analizinden elde edilen Denklem 3.4'den elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış, rölatif hataların ortalaması ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Tüm

deneyler (102 deney) için ve seçilen deneyler için (44 deney) hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar Tablo 4.4'de verilmiştir.

Tablo 4.4. K için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar

K				
Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
	Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
Denklem 3.3 (Boyutlu)	12.67	7.24	7.55	4.07
Denklem 3.4 (Boyutsuz)	12.46	6.87	7.71	3.97

Her eğim için rölatif hataların ortalaması ve standart sapması da ayrıca incelenmiştir. Her eğime ait tüm deneyler için ve seçilen deneyler için ortalama hatalar ve standart sapmalar Tablo 4.5'de verilmiştir.

Tablo 4.5. Tüm eğimler için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları

K					
Eğim	Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
		Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
1/15	Denklem 3.3 (Boyutlu)	11.91	6.29	8.65	4.35
	Denklem 3.4 (Boyutsuz)	11.64	6.11	8.64	4.17
1/20	Denklem 3.3 (Boyutlu)	12.79	7.99	8.75	4.10
	Denklem 3.4 (Boyutsuz)	12.67	7.57	9.05	4.03
1/30	Denklem 3.3 (Boyutlu)	13.13	7.42	4.81	2.17
	Denklem 3.4 (Boyutsuz)	12.83	6.98	4.98	2.09

Tablo 4.4 ve 4.5 incelendiğinde, tüm deney şartlarında boyutlu ve boyutsuz denklemlerden birbirine yakın sonuçlar vermektedir.

Rölatif hataların zamanla değişimi Tablo 4.6'da verilmiştir.

Tablo 4.6. Rölatif hataların zamanla değişimi

Eğim	Deneyler	Denklem	K								
			5. dak.	10. dak.	20. dak.	30. dak.	45. dak.	60. dak.	90. dak.	150. dak.	240. dak.
1/15	Tüm deneyler	Denklem 3.3	4.83	7.21	11.7	11.2	12.5	18.4	16.1		
		Denklem 3.4	4.49	7.09	11.9	11.3	12.2	17.7	14.5		
	Seçilen deneyler	Denklem 3.3	3.85	6.16	7.00	5.65	8.17	14.2	20.8		
		Denklem 3.4	3.12	6.18	7.70	6.39	7.94	13.9	17.9		
1/20	Tüm deneyler	Denklem 3.3		6.76		11.0	13.6	12.7	17.9	17.5	
		Denklem 3.4		6.53		10.2	13.0	12.7	18.9	18.1	
	Seçilen deneyler	Denklem 3.3		4.28		5.72	7.13	5.79	15.3	16.5	
		Denklem 3.4		4.33		4.95	6.73	6.34	17.3	17.8	
1/30	Tüm deneyler	Denklem 3.3				4.99			12.8	15.9	20.5
		Denklem 3.4				4.84			12.3	15.6	20.2
	Seçilen deneyler	Denklem 3.3				4.41			4.50	3.52	6.59
		Denklem 3.4				4.37			4.40	4.00	6.98

Tablo 4.6 incelendiğinde zaman ilerledikçe ortalama hatalarda artışlar görülmektedir. Boyutlu ve boyutsuz denklemlerden birbirine yakın sonuçlar elde edildiği görülmektedir.

4.3. α için Elde Edilen Boyutlu ve Boyutsuz Denklemlerin İrdelenmesi

Bu bölümde, α için fiziksel model verilerinden hareketle elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerin irdelenmesi yapılmıştır.

Deneylerden ve denklemlerden elde edilen α değerleri Tablo 3.17'de verilmişti. α değerleri, taban eğimi, dalga yüksekliği ve periyodu artarken artmakta, medyan dane çapı ve berm yüksekliği artarken azalmaktadır. Bu durum, Ω ve K ile benzerlik göstermektedir.

Boyutlu regresyon analizinden elde edilen Denklem 3.5 ve boyutsuz regresyon analizinden elde edilen Denklem 3.6'dan elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış, rölatif hataların ortalaması ve standart sapmaları hesaplanmıştır. Tüm deneyler (102 deney) için ve seçilen deneyler için (48 deney) hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar Tablo 4.7'de verilmiştir.

Tablo 4.7. α için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar

α				
Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
	Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
Denklem 3.5 (Boyutlu)	11.28	8.49	8.22	6.69
Denklem 3.6 (Boyutsuz)	12.22	9.19	9.79	8.03

Her eğim için rölatif hataların ortalaması ve standart sapması da ayrıca incelenmiştir. Her eğime ait tüm deneyler için ve seçilen deneyler için ortalama hatalar ve standart sapmalar Tablo 4.8’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Tüm eğimler için rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları

α					
Eğim	Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
		Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
1/15	Denklem 3.5 (Boyutlu)	11.12	6.36	7.89	4.13
	Denklem 3.6 (Boyutsuz)	13.07	7.14	10.23	5.47
1/20	Denklem 3.5 (Boyutlu)	15.72	11.19	12.39	9.67
	Denklem 3.6 (Boyutsuz)	16.79	12.56	12.55	10.16
1/30	Denklem 3.5 (Boyutlu)	8.65	6.57	5.01	2.54
	Denklem 3.6 (Boyutsuz)	8.89	6.28	5.72	3.16

Tablo 4.7 ve 4.8 incelendiğinde, tüm deney şartlarında boyutlu ve boyutsuz denklemlerden birbirine yakın sonuçlar verdiği, ancak seçilen deney şartlarında boyutlu denklemlerin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ω , K ve α için seçilen 23 deneye ait denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları Ek Şekillerde verilmiştir.

Rölatif hataların zamanla değişimi Tablo 4.9’da verilmiştir.

Tablo 4.9. Rölatif hataların zamanla değişimi

Eğim	Deneyler	Denklem	α								
			5. dak.	10. dak.	20. dak.	30. dak.	45. dak.	60. dak.	90. dak.	150. dak.	240. dak.
1/15	Tüm deneyler	Denklem 3.5	6.80	4.49	6.52	8.88	12.3	17.5	25.5		
		Denklem 3.6	7.07	4.92	7.43	11.3	15.1	20.3	31.4		
	Seçilen deneyler	Denklem 3.5	7.17	3.26	4.66	7.89	8.19	13.2	13.1		
		Denklem 3.6	7.33	3.68	5.69	10.7	12.3	17.2	21.9		
1/20	Tüm deneyler	Denklem 3.4		7.92		11.1	16.3	15.2	24.6	21.2	
		Denklem 3.6		8.21		11.9	17.7	15.8	26.7	22.5	
	Seçilen deneyler	Denklem 3.5		7.99		9.92	12.5	15.0	18.6	14.0	
		Denklem 3.6		8.17		10.2	12.9	14.4	18.6	14.9	
1/30	Tüm deneyler	Denklem 3.5				4.18			8.26	11.3	11.9
		Denklem 3.6				4.24			8.27	11.3	12.8
	Seçilen deneyler	Denklem 3.5				3.34			5.71	6.26	4.70
		Denklem 3.6				3.48			6.11	6.65	6.65

Tablo 4.9 incelendiğinde zaman ilerledikçe ortalama hatalarda artışlar görülmektedir. Boyutlu denklemlerin boyutsuz denklemlerden daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

4.4. Kalan Malzeme Oranı İçin En Uygun Denklem Belirlenmesi

Ω , K ve α için elde edilen boyutlu ve boyutsuz denklemlerden hareketle hesaplanan rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları Tablo 4.10'da birarada görülmektedir.

Tablo 4.10. Ω , K ve α için hesaplanan rölatif hatalar ve standart sapmalar

Eğim	Denklemler	Tüm deneyler		Seçilen Deneyler	
		Ortalama	Sta. Sapma	Ortalama	Sta. Sapma
Ω	Denklem 3.1 (Boyutlu)	12.81	7.31	7.96	4.93
	Denklem 3.2 (Boyutsuz)	13.05	7.02	11.01	5.98
K	Denklem 3.3 (Boyutlu)	12.70	7.24	7.55	4.07
	Denklem 3.4 (Boyutsuz)	12.46	6.87	7.71	3.97
α	Denklem 3.5 (Boyutlu)	11.28	8.49	8.22	6.69
	Denklem 3.6 (Boyutsuz)	12.22	9.19	9.79	8.03

Tablo 4.10 incelendiğinde, Ω için Denklem 3.1, K için tüm deneyler dikkate alındığında Denklem 3.4, seçilen deneylerde ise Denklem 3.3, α için Denklem 3.5 daha iyi sonuç vermektedir. Tüm deneyler dikkate alındığında Denklem 3.5, seçilen deneyler içinse Denklem 3.3 en iyi sonuçları vermektedirler.

Denklem 3.1, 3.3 ve 3.5 kullanılarak besleme bölgesinde %75, %50 ve %25 oranında kalan malzeme oranlarının belirlenmesi için geçen süreler (dak) Ek Tablo 2’de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlarda Ω ve K 'ya göre hesaplanan süreler birbirine yakın sonuçlar verirken α 'ya göre hesaplanan süreler genelde daha kısa olmaktadır.

Başlangıçta beslenen bölgede kalan malzeme oranı hızla azalırken, zaman ilerledikçe kalan malzeme oranındaki azalma hızı düşmektedir.

4.5. Sayısal Uygulama

İncelenen parametrelerin etkilerini daha iyi görmek için, bu parametrelerin gerçekte alabileceği değerlerden hareketle sayısal uygulama yapılmıştır.

Taban eğimi (m) 1/20, 1/30 ve 1/40 olan bölgelerde, 2, 3 ve 4 m berm yüksekliğindeki (B) besleme yapıları, medyan dane çapı (d_{50}) 3, 7 ve 10 mm olan malzemelerle beslenmiş ve 1, 1.5 ve 2 m yüksekliğinde (H_0), 4, 6 ve 8 sn periyodundaki (T) dalgalara 48 saat süreyle maruz bırakılmış ve Denklem 2.2 ile 3.5 kullanılarak kalan malzeme oranları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 4.11’de verilmiştir.

Tablo 4.11. Değişik alternatifler için zamanla kalan malzeme oranının değişimi

Değişken	m	d_{50} (mm)	H_0 (m)	B (m)	T (sn)	M(t) % t=12 saat	M(t) % t=24 saat	M(t) % t=48 saat
Eğim	1/20	10	1	4	4	0.4	0	0
	1/30	10	1	4	4	16.2	2.90	0
	1/40	10	1	4	4	49.6	27.3	8.31
Medyan Dane Çapı	1/40	3	1	4	4	32.1	11.5	1.46
	1/40	7	1	4	4	44.6	22.2	5.46
	1/40	10	1	4	4	49.6	27.3	8.31
Dalga Yüksekliği	1/40	10	1	4	4	49.6	27.3	8.31
	1/40	10	1.5	4	4	36.5	14.9	2.46
	1/40	10	2	4	4	26.9	8.04	0.70
Berm Yüksekliği	1/40	10	1	2	4	43.5	21.1	4.93
	1/40	10	1	3	4	47.1	24.7	6.77
	1/40	10	1	4	4	49.6	27.3	8.31
Dalga Periyodu	1/40	10	1	4	4	49.6	27.3	8.31
	1/40	10	1	4	6	46.9	24.5	6.69
	1/40	10	1	4	8	45.1	22.6	5.67

10 mm'lik malzeme ile beslenmiş, 4 m berm yüksekliğindeki yapı 4 sn periyotlu 1 m yüksekliğindeki dalgalara 12 saat maruz kaldığında 1/20 eğimindeki bölgede hiç malzeme kalmazken, 1/30 taban eğimine sahip bölgede malzemenin %16.2'si 1/40 eğiminde ise %49.6'sı kalmıştır. 24 saat sonra ise 1/30 eğimindeki bölgede çok az malzeme kalırken 1/40 eğimli bölgede malzemenin %27.3' ü kalmıştır. 48 saat sonra ise 1/20 ve 1/30 eğimli bölgelerde hiç malzeme kalmazken, 1/40 eğimli bölgede malzemenin %8.31'i kalmıştır.

4 sn'lik periyoda sahip 1 m yüksekliğindeki dalgalar, 1/40 eğimli bir bölgede 3 mm'lik malzeme çapı ile beslenmiş 4 m'lik berm yüksekliğindeki bir besleme yapısına 12 saat etki ettiğinde malzemenin %32.1'i kalmıştır. Eğer besleme malzemesi 7 mm çapında olursa malzemenin %44.6'sı, 10 mm olursa %49.6'sı kalmaktadır. 48 saat sonra ise, 3 mm'lik malzeme ile beslenen bölgede malzemenin %1.46'sı, 7 mm'lik malzeme ile beslenen bölgede malzemenin %5.46'sı, 10 mm'lik malzeme ile beslenen bölgede ise malzemenin %8.31'i kalmıştır.

1/40 eğimli bir bölgede 10 mm'lik malzeme ile beslenmiş 4 m berm yüksekliğindeki bir besleme yapısı, 4 sn periyodunda 1 m yüksekliğindeki dalgalara 12 saat maruz kaldığında malzemenin %49.6'sı kalmıştır. Dalga yüksekliği 1.5 m'ye çıkarsa malzemenin %36.5'i, dalga yüksekliği 2 m olduğunda ise malzemenin % 26.9'u kalır. 48 saat sonra ise 1 m'lik dalganın etki ettiği yerde malzemenin %8.31'i, 1.5 m'lik dalganın etki ettiği yerde malzemenin %2.46'sı kalmıştır. 2 m'lik dalganın etki ettiği yerde ise hemen hemen hiç malzeme kalmamıştır.

1/40 eğimli bir bölgede 10 mm çapındaki malzeme ile beslenmiş 2 m'lik berm yüksekliğindeki bir besleme yapısına 1m yüksekliğinde 4 sn periyodundaki dalga 12 saat etki ettiğinde malzemenin %43.5'i kalmıştır. Berm yüksekliği 3 m'ye çıkarıldığında malzemenin %47.1'i, 4 m'ye çıkarıldığında ise malzemenin %49.6'sı kalmıştır. 48 saat sonra ise 2 m'lik berm yüksekliğine sahip bölgede malzemenin %4.93'ü, 3 m'lik bölgede %6.77'si ve 4 m'lik bölgede ise %8.31'i kalmıştır.

1 m yüksekliğinde ve 4 sn periyodundaki dalga 1/40 eğiminde, 10 mm'lik malzeme ile beslenmiş 4 m berm yüksekliğindeki besleme yapısına etki ettiğinde 12 saat sonra malzemenin %49.6'sı kalmıştır. Periyodun 6 sn olması halinde malzemenin %46.9'u, 8 sn olması halinde ise %45.1'i kalmaktadır. 48 saat sonra ise 4 sn'lik periyotta malzemenin %8.31'i, 6 sn'lik periyotta malzemenin %6.69'u, 8 sn'lik periyotta ise %5.67'si kalmıştır.

Buna göre genel bir değerlendirme yapılırsa aşağıdaki hususlar öne çıkmaktadır:

α değerleri, deneysel verilere göre hesaplandığından dolayı, kalan malzeme oranları genelde çok küçük olmaktadır. Arazi verilerine göre hesaplanacak α değerlerinin daha küçük olacağı ve daha büyük kalan malzeme oranları hesaplanacağı tahmin edilmektedir.

Kalan malzeme oranı üzerinde en etkin parametrenin taban eğimi olduğu görölmektedir. Eğimin 1/20'den 1/40'a düşmesi halinde kalan malzeme oranları önemli ölçüde artmaktadır. Diğer önemli parametreler d_{50} ve H_0 'dır. B ve T'nin etkisi daha azdır. Tüm bu bulgular deneysel veri sonuçlarıyla uyum göstermektedir.

Sonuç olarak besleme yapılacak bölgenin taban eğiminin küçük ($m \leq 1/30$) olması besleme performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Daha dik eğimli kıyılarda besleme yapılması önerilmemektedir. Besleme performansını artırmak için daha iri besleme malzemesinin kullanılması, kıyının turistik olarak kullanılmasını olumsuz yönde etkilemekle beraber besleme performansını azda olsa artırmaktadır. Berm yüksekliğinin artırılması maliyeti artırırken, besleme performansına önemli bir katkı sağlamamaktadır.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yapay besleme yapılan bir kıyı yöresinde, besleme performansını temsil etmek üzere seçilen kalan malzeme oranını (bağımlı değişken) etkileyen parametrelerin (bağımsız değişkenler) belirlenmesi maksadıyla yapılan deneysel çalışmalar ve elde edilen regresyon denklemleri sunulmuş ve irdelenmiştir. Çalışmada, bağımsız değişkenler olarak seçilen taban eğiminin, besleme malzemesi medyan dane çapının (veya boyutsuz çökme hızının), berm yüksekliğinin, dalga yüksekliğinin ve periyodunun besleme performansı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Fiziksel model verilerinden hareketle regresyon analizleri yapıp, bağımlı ve bağımsız değişkenler arasında boyutlu ve boyutsuz denklemler kurulmuştur. Denklemlerden elde edilen sonuçlarla, fiziksel model verileri karşılaştırılarak rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları belirlenmiştir. Denklemlerden ve fiziksel model verilerinden elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

1- Difüzyon oranı (Ω), taban eğimi ve dalga yüksekliği artarken artmakta, dane çapı ve berm yüksekliği artarken azalmaktadır. Periyodun ise çok az etkisi bulunmaktadır.

Tüm deneyler dikkate alındığında, boyutlu (3.1) ve boyutsuz (3.2) denklemlerden elde edilen Ω değerlerine göre hesaplanan rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları birbirine çok yakındır. Ancak seçilen deneyler için boyutlu denklem daha iyi sonuç vermektedir. Her bir eğim ayrı ayrı incelendiğinde de boyutlu ve boyutsuz denklemlerin birbirine çok yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Seçilen deneylerde, 1/30 eğimi için boyutlu denklem en iyi sonucu vermektedir.

Boyutlu denklemden elde edilen Ω 'dan hareketle kalan malzeme oranına; taban eğiminin %50.65, dalga yüksekliğinin %19.78, dane çapının %14.06, berm yüksekliğinin %11.80 ve periyodun %3.71 etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Boyutsuz denklemden elde edilen Ω 'dan hareketle kalan malzeme oranına; taban eğiminin %40.9, boyutsuz çökme hızının %35.8, dane çapı/berm yüksekliğinin %23.1 etkisi olduğu, dalga dikliğinin ise etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

2- Katı madde taşınım katsayısı (K) Ω gibi, taban eğimi ve dalga yüksekliği artarken artmakta, dane çapı ve berm yüksekliği artarken azalmaktadır. Periyodun K üzerindeki etkisi küçüktür.

Tüm deneyler ve seçilen deneyler dikkate alındığında, boyutlu (3.3) ve boyutsuz (3.4) denklemlerinden elde edilen K değerlerine göre hesaplanan rölatif hataların

ortalamaları ve standart sapmaları birbirine çok yakındır. Her bir eğim ayrı ayrı incelendiğinde ve tüm deneyler dikkate alındığında her iki denklemden de birbirine yakın ortalama hatalar elde edilmektedir. Ancak Ω 'da olduğu gibi seçilen deneylerden 1/30 eğiminde daha iyi sonuçlar elde edilmektedir.

Boyutlu denklemden elde edilen K'dan hareketle kalan malzeme oranına; taban eğiminin %60.60, dalga yüksekliğinin %11.60, dane çapının %17.70, berm yüksekliğinin %7.60 ve periyodun %2.20 etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Boyutsuz denklemden elde edilen K'dan hareketle kalan malzeme oranına; taban eğiminin %54.0, boyutsuz çökme hızının %31.1, dane çapı/berm yüksekliğinin %14.4 etkisi olduğu, dalga dikliğinin ise Ω 'daki gibi etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

3- Azalma katsayısı (α) Ω ve K gibi, taban eğimi ve dalga yüksekliği artarken artmakta, dane çapı ve berm yüksekliği artarken azalmaktadır. Periyodun α üzerindeki etkisi küçüktür.

Tüm deneyler ve seçilen deneyler dikkate alındığında, boyutlu (3.5) ve boyutsuz (3.6) denklemlerinden elde edilen α değerlerine göre hesaplanan rölatif hataların ortalamaları ve standart sapmaları birbirine yakın olmakla birlikte boyutlu denklem daha iyi sonuç vermektedir. Her bir eğimde denklemlerin etkisi ayrı ayrı incelendiğinde, hem tüm deneylerde hem de seçilen deneylerde 1/30 eğimi için denklemlerin daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.

Boyutlu denklemden elde edilen α 'dan hareketle kalan malzeme oranına; taban eğiminin %62.30, dalga yüksekliğinin %13.80, dane çapının %16.50, berm yüksekliğinin %6.30 ve periyodun %1.10 etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Boyutsuz denklemden elde edilen α 'dan hareketle kalan malzeme oranına; taban eğiminin %59.08, boyutsuz çökme hızının %27.52, dane çapı/berm yüksekliğinin %12.91 etkisi olduğu, dalga dikliğinin ise Ω ve K'da olduğu gibi etkisinin olmadığı belirlenmiştir.

4- Ω , K ve α katsayılarından hareketle bağımsız değişkenlerin etkilerini belirlemek için elde edilen boyutlu denklemler incelendiğinde, taban eğiminin etkisi yaklaşık %51 ile %62 arasında, dane çapının etkisi %14 ile %18 arasında, dalga yüksekliğinin etkisi %12 ile %20 arasında, berm yüksekliğinin etkisi %6 ile %12 arasında ve periyodun etkisi %1 ile %4 arasında değişmektedir.

Boyutsuz denklemlerden hareketle ise; taban eğiminin yaklaşık %41 ile %59 arasında, boyutsuz çökme hızının %28 ile %36 arasında, dane çapı/berm yüksekliğinin %13 ile %23 arasında etkisinin olduğu belirlenmiştir.

Bağımsız değişkenlerin hem boyutlu hem de boyutsuz denklemler için etkileri birbirleriyle paralellik göstermektedir.

5- Besleme yapılacak bölgenin taban eğiminin küçük ($m \leq 1/30$) olması besleme performansını önemli ölçüde artırmaktadır. Daha dik eğimli kıyılarda besleme yapılması önerilmemektedir. Besleme performansını artırmak için daha iri besleme malzemesinin kullanılması, kıyının turistik olarak kullanılmasını olumsuz yönde etkilemekle beraber besleme performansını azda olsa artırmaktadır. Berm yüksekliğinin artırılması maliyeti artırırken, besleme performansına önemli bir katkı sağlamamaktadır.

6- Tüm deneyler dikkate alındığında 1/30 ve 1/15 eğimleri için en iyi sonucu Denklem 3.5, 1/20 eğiminde ise çok belirgin bir fark olmamakla birlikte Denklem 3.4 vermektedir.

7- A katsayısı için yapılan regresyon analizlerinde anlamlı bir sonuç elde edilememiş, fakat eğim küçüldükçe A'nın arttığı tespit edilmiştir. A için 1/15 eğiminde 0.8087, 1/20 eğiminde 0.8409 ve 1/30 eğiminde 0.8804 ortalama değerleri bulunmuştur.

8- Zaman arttıkça rölatif hatalar da artmaktadır.

6. ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar ışığında, konuyla ilgili daha sonra yapılacak çalışmalarda aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır:

1- Birçok kıyı mühendisliği probleminde olduğu gibi yapay besleme projeleri için de arazi çalışmaları yapılarak yapay beslemenin performansı belirlenmelidir.

2- Bu çalışmada laboratuvar imkanlarından dolayı düzenli dalgalarla çalışılmıştır. Ancak düzensiz dalgaların etkisinin de araştırılması gerekir.

3- Deneyselerde kullanılan bağımsız değişkenlerin tür ve sayıları daha da çoğaltılarak irdelenmelidir. Örneğin plaj besleme genişliğinin, besleme yerinin v.b. etkisi de dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Ayrıca daha farklı eğim, dalga yüksekliği ve periyodu, malzeme çapı ve berm yüksekliği ile deneyler yapılmalıdır.

4- Kalan malzeme oranının zamanla azalmasını ifade eden eşitlikte ($M=A.e^{-a.t}$), t yerine t^a gibi ($a>0$) bir dönüşüm yapılarak değerlendirilmelidir.

5- Deneysel bulgular, benzer deneylerin ve arazi verilerinin sonuçlarıyla karşılaştırılarak irdelenmelidir.

7. KAYNAKLAR

1. Donohue, K. A., The Effects of Sand Grain Size and Fill Placement Geometry on Beach Nourishment Performance, Master of Science Thesis, University of Florida, 1998.
2. Kerckart, P., Roovers, P.L., Noordam, A. ve Candt, P., Artificial Beach Nourishment on Belgian East Coast, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 112 (1986), 560-571.
3. Lorang, M.S., An Artificial Perched-Gravel Beach as a Shore Protection Structure, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 1916-1925.
4. Schwartz, M. L., Marti, J. L., Herrera, J. F. ve Montero, G. G., Artificial Nourishment at Varadero Beach Cuba, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 2081-2088.
5. Leadon, M. E., Littoral Environmental Considerations of a Barrier Island in Beach Fill Design Key Biscayne Florida, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 2089-2100.
6. Davis, R. A., Performance of a Beach Nourishment Project Based on Detailed Multi-Year Monitoring Redington Beach, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 2101-2115.
7. Psuty, N. P. ve Namikas, S.L., Beach Nourishment Episodes at the Sandy Hook Unit Gateway National Recreation Area, New Jersey, USA, Preliminary Comparison, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 2116-2129.
8. Hansen, M. ve Byrnes, M. R., Development of Optimum Beach Fill Design Cross-Section, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 2067-2080.
9. Madalon, L. J., Wood, W. ve Stockberger, M.T., Influence of Water Level Variation on the Performance of Great Lakes Beach Nourishments, Coastal Sediments'91, 1991, Seattle, Washington, 2053-2065.
10. Dean, R.G. ve Yoo, C.H., Beach Nourishment Performance Predictions, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 118 (1992), 567-586.
11. Dean, R. G., Beach Nourishment: Planform Considerations, Coastal Dynamics'95, 1995, Poland, 533-546.
12. Montoya, F. ve Galofre, J., A Sample of Approach to ICZM in the Spanish Coast: 3 km. of Restoration in Cambrils (Tarragona), Medcoast'95, 24-27 October 1995, Tarragona, Spain, 511-521.

13. Bartoletti, E., Cipriani, L.E. ve Dreoni, A.M., Beach First Response to Stabilization Works: A Case Study at the Cecina River Mouth, Italy, Medcoast'95, 24-27 October 1995, Tarragona, Spain, 1173-1187.
14. Khabidov, A., Bazhenov, Y., Glodenis, M., Ivanova, N., Rybak, O., Savkin, V. ve Yedapin, V., Beach Nourishment Versus Shore Protection Structures, Coastal Engineering'96, 1996, Florida, 2919-2926.
15. Zawadzka, E., Coastal Zone Dynamics During Artificial Nourishment, Coastal Engineering'96, 1996, Florida, 2955-2968.
16. Laustrup, C., Madsen, H. T., Sorensen, P. ve Broker, I., Comparison of Beach and Shoreface Nourishment Torsminde Tange, Denmark, Coastal Engineering'96, 1996, Florida, 2927-2940.
17. Gronewoud, M.D., Bakker, W. T., Graaff, J., Spanhoff, R. ve Laustrup, C., Evaluation of Shoreface Nourishments by Line Modelling, Coastal Engineering'96, 1996, Florida, 2857-2870.
18. Hoekstra, P., Houwman, K.T., Kroon, A., Ruessink, B. G., Roelvink, J.A. ve Spanhoff, R., Morphological Development of the Terschelling Shoreface Nourishment in Response to Hydrodynamic and Sediment Transport Processes, Coastal Engineering'96, 1996, Florida, 2897-2910.
19. Work, P. ve Otay, E. N., Influence of Nearshore Berm on Beach Nourishment, Coastal Engineering'96, 1996, Florida, 3722-3735.
20. Larson, M., Hanson, H., Kraus, N.C. ve Gravens, M.B., Beach Topography Response to Nourishment at Ocean City Maryland, Coastal Dynamics'97, 1997, Plymouth, U.K., 844-853.
21. Peters, K., Newe, Jürgen. ve Dette, H.Hans., On Beach Nourishment Design, Coastal Dynamics'97, 1997, Plymouth, U.K., 854- 862.
22. Karakiewicz, B. B., Romanczyk, W. ve Bona, J.L., Sand Bar Dynamics and Offshore Beach Nourishment, Coastal Dynamics'97, 1997, 873-881.
23. Kana, T.W. ve Mohan, R.K., Analysis of Nourished Profile Stability Following the Fifth Hunting Island (SC) Beach Nourishment Project, Coastal Engineering, 33 (1998), 117-136.
24. Browder, A.E. ve Dean, R.G., Monitoring and Comparison to Predictive Models of Perdido Key Beach Nourishment Project, Florida, USA, Coastal Engineering, 39 (2000), 173-191.
25. Creed, C. G., Bodge, K. R. ve Suter, C. L., Construction Slopes for Beach Nourishment Projects, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 126 (2000), 57-62.

26. Work, P. A. ve Rogers, E. W., Laboratory Study of Beach Nourishment Behavior, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 124 (1998), 229-237.
27. Donohue, K. A. ve Dean, R.G., Sand Size and Fill Geometry Effects on Longshore Transport at a Nourished Beach, Coastal Sediments'99, 1999, New York, 938-954.
28. Hanson, H., Brampton, A., Capobianco, M., Dette, H.H., Hamm, L., Laustrup, C., Lechuga, A. ve Spanhoff, R., Beach Nourishment Projects, Practices, and Objectives-A European Overview, Coastal Engineering , 47 (2002), 81-111.
29. Hamm, L., Capobianco, M., Dette, H.H., Lechuga, A., Spanhoff, R. ve Stive, M.J.F., A Summary of European Experience with Shore Nourishment, Coastal Engineering, 47 (2002), 237-264.
30. Perez, J. M., Blanco, B.L., Mas, J.M., Moreno, L. ve Cuenca, G.J., Coast of Beach Maintenance in the Gulf of Cadiz (SW Spain), Coastal Engineering, 42 (2001), 143-153.
31. Boğuşlu, H., Kıyı Koruması ve Geliştirilmesinde Suni Kıyı Beslemesinin Etkisinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1999.
32. Committee on Beach Nourishment and Protection (CBNP), Beach Nourishment and Protection, National Research Council, National Academy Press, Washington DC, 1995.
33. Coastal Engineering Manual (CEM), U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Longshore Sediment Transport, Part III, Chapter 2, 2002.
34. Behnke, D. ve Grosskopf, W., Design Aspects of Corps Beach Nourishment Projects, Coastal Engineering Technical Note, I-61, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, USA, 1995.
35. Pelnard- Considere, R., Essai de theorie de l'evolution des formes de rivage en plages de sable et de galets, 4th Jonees de l'Hydraulique, Les Energies de la Mar, Question III, Rapport No. 1, 1956.
36. Walton, T. L., Shoreline Solution for Tapered Beach Fill, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 120 (1994), 651-655.
37. Work, P. A. ve Rogers, E. W., Wave Transformation for Beach Nourishment Projects, Coastal Engineering, 32 (1997), 1-18.
38. Karasu, S., Kömürcü, M. I., Yüksek, Ö. ve Özölçer İ. H., Yapay Besleme Performansına Aktif Derinlik ve Sediment Taşınım Katsayısının Etkisi, İnşaat Mühendisleri Odası 4. Ulusal Kıyı Mühendisliği Sem., 24-27 Ekim 2002, Antalya, 175-188.

39. Hallermeier, R. J., Uses for a Calculated Limit Depth to Beach Erosion, *Coastal Engineering*'78, 1978, New York, 1493-1512.
40. Birkemeier, W. A., Field Data on Seaward Limit of Profile Change, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111 (1985), 598-602.
41. Houston, J. R., Beach-Fill Volume Required to Produce Specified Dry Beach Width, Coastal Engineering Technical Note, II-32, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, USA, 1995.
42. Rijkswaterstaat (Dutch Public Works Department), Manual on Artificial Beach Nourishment, Delft Hydraulics Laboratory, The Netherlands, 1986.
43. Nicholls, R. J., Birkemeier, W.A. ve Hallermeier, R. J., Application of the Depth of Closure Concept, *Coastal Engineering*'96, 1996, Florida, 294-295.
44. Kraus, N., Larson, M. ve Wise, A., Depth of Closure in Beach-Fill Design, Coastal Engineering Technical Note, II-40, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi, USA, 1998.
45. Shore Protection Manual, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, U.S. Government Printing Office, Washington, DC, USA, 1984.
46. Komar, P. D. ve Inman, D. L., Longshore Sand Transport on Beaches", *Journal of Geophysics Research*, (1970), 5514-5527.
47. Bruno, R. O., Dean, R. G. ve Gable, C. G., Longshore Transport Evaluations at a Detached Breakwater", *Coastal Engineering*'80, 1980, Australia, 1453-1475.
48. Dean, R. G., Berek, E. P., Gable, C. G. ve Seymour, R. J., Longshore Transport Determined by an Efficient Trap, *Coastal Engineering*'82, 1982, New York, 954-968.
49. Kamphuis, J. E., Davies, M. H., Nairn, R. B. ve Sayao, O. J., Calculation of Littoral Sand Transport Rate, *Coastal Engineering*, Vol:10, (1986), 1-21.
50. Dean, R. G., Measuring Longshore Transport with Traps, Plenum Press, New York, 1987.
51. Bodge, K.R. ve Kraus, N. C., Critical Examination of Longshore Transport Rate Magnitude, *Coastal Sediments*'91, Seattle, Washington, 1991, 139-155.
52. Bailard, J.A., A Simplified Model for Longshore Sediment Transport, *Coastal Engineering*'84, 1984, New York, 1454-1470.
53. Del Valle, R., Medina, R. ve Losada, M. A., Dependence of The Coefficient K on the Grain Size, *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 119 (1993), 568-574.

54. Yüksek, Ö., Kıyılarda Katı Madde Hareketi, Ders Notları, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1995.
55. Ippen, T., Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Co., New York, 1964.
56. Munk, W. H., The Solitary Wave Theory and Its Application to Surf Problems, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 51 (1949), 376-462.
57. Iversen, H.W., Waves and Breakers in Shoaling Water, Proc. 3rd Conference on Coastal Engineering, 1953, Cambridge, Massachusetts.
58. Galvin, C. J., Breaker Travel and Choice of Design Wave Height, Journal of the Waterways, Harbours and Coastal Engineering Division, (1963), 175-200.
59. Goda, Y., A Synthesis of Breaker Indices, Transaction of the Japanese Society of Civil Engineering, Vol. 2, (1970).
60. Weggel, J. R., Maximum Breaker Height, Journal of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Vol. 98, (1972), 529-548.
61. Birben, A. R., Kıyı Korumasında Açıkdeniz Dalgakıranların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
62. Yüksek, Ö., Balıkçı Barınaklarının Dolma Sürecinin Araştırılması ve Uygun proje Ölçütlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992.
63. Özölçer, İ.H., Kıyı Korumasında Mahmuzların Etkilerinin Araştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
64. Kömürcü, M.İ., Kıyıya Dik Katı Madde Hareketi Sonucu Oluşan Bar Parametrelerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2003.
65. Karasu, S., Yüksek, Ö., ve Kömürcü M.İ., Malzeme Çapı ve Dalga Yüksekliğinin Yapay Besleme Performansına Etkisi, Türkiye Kıyıları'04, Türkiye'nin Kıyı ve Deniz Alanları V. Ulusal Konferansı, 4-7 Mayıs 2004, Adana, 927-934.

8. EKLER

Ek Tablo 1. Boyutlu ve boyutsuz denklemlerden elde edilen rölatif hataların ortalamaları

D. No	Ω		K		α	
	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz
1	162.81	235.45	161.44	175.93	226.41	250.92
2	96.34	149.29	95.09	104.82	222.56	248.95
3	39.19	78.22	38.38	45.57	70.38	80.49
4 ^{a,b}	13.95	13.37	13.89	12.61	5.68	4.85
5	14.99	4.16	15	12.75	10.85	9.35
6	13.44	2.72	13.53	10.62	5.6	3.84
7 ^b	30.65	35.96	30.63	31.04	17.29	19.09
8 ^b	18.06	11.42	18.35	16.85	6.37	6.09
9 ^b	17.86	9.9	18.12	16.54	4.35	4.25
10	14.49	12.63	13.96	13.65	22.62	25.12
11	9.41	7.1	9.02	8.98	12.09	14.73
12 ^{a,b}	4.24	7	4.5	5.02	2.2	1.79
13 ^a	6.62	6.65	6.82	6.9	8.67	12.13
14 ^b	9.49	9.31	10.32	10.87	9.11	12.93
15 ^b	10.07	8.68	10.72	10.58	7.61	9.84
16 ^a	6.97	7.41	7.08	6.95	18.7	20.75
17	22.71	23.49	22.87	22.81	25.92	28.71
18	17.73	16.8	16.85	16.15	16.75	18.38
19 ^{a,b}	24.49	24.32	10.54	10.67	6.75	6.85
20 ^{a,b}	14.03	11.9	13.29	12.94	15.11	9.23
21 ^a	12.4	11.08	11.36	11.61	23.12	19.76
22 ^a	5	12.18	4.57	5.19	11.73	17.7
23 ^a	6.92	15.37	5.78	5.1	16.67	22.78
24 ^{a,b}	2.75	7.22	2.82	2.78	8.79	12.89
25 ^{a,b}	18.86	19.55	17.56	17.79	11.64	21.45
26 ^{a,b}	5.08	14.72	5.31	7.06	6.84	12.64

Ek Tablo 1'in devamı

D. No	Ω		K		α	
	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz
27 ^{a,b}	4.59	6.71	4.47	4.11	3.61	7.11
28 ^{a,b}	12.46	14.46	12.47	11.99	4.97	9.98
29 ^b	12.34	21.99	12.36	13.89	7.97	14.52
30 ^a	9.3	10.8	9.28	8.93	9.36	6.19
31	35.14	37.72	35.44	36.23	28.36	31.41
32 ^b	18.27	20.81	18.66	19.71	8.74	11.39
33 ^b	4.82	5.53	5.07	5.31	5.94	4.15
34	14.76	15.8	15.49	15.88	11.07	13.61
35	10.13	10.86	10.85	11.46	6.17	8.6
36 ^{a,b}	4.94	4.63	5.31	5.3	5.42	6.28
37 ^{a,b}	5.28	6.27	5.68	5.82	5.35	3.46
38 ^a	6.84	7.96	7.11	7	8.23	6.61
39 ^a	10.8	13.19	10.98	11.47	10.71	9.7
40 ^b	17.21	14.26	16.42	15.98	11.53	11.37
41	10.18	6.16	9.24	8.56	10.58	10.36
42 ^{a,b}	3.55	9.82	3.52	4.06	26.78	26.48
43 ^{a,b}	8.56	7.43	8.64	8.29	12.35	13.34
44 ^{a,b}	10.95	21.44	10.37	12.01	30.13	30.34
45 ^{a,b}	3.14	13.51	2.91	4.53	19.7	20.32
46 ^a	11.97	24.44	11.88	14.53	25.81	27.87
47 ^{a,b}	8.09	4.46	7.49	9.34	3.31	3.78
48 ^a	8.2	10.07	8.28	7.63	9.62	10.77
49 ^a	7.7	13.51	7.29	6.75	42.97	46.75
50 ^b	24.19	13.68	22.49	20.27	4.21	3.82
51 ^{a,b}	10.61	9.02	9.34	7.56	29.93	32.59
52 ^b	26.1	11.97	26.24	23.37	2.34	2.58
53 ^a	19.08	13.46	19.11	18.53	24.17	27.97
54 ^a	7.32	22.28	7.3	7.98	32.99	36.38

Ek Tablo 1'in devamı

D. No	Ω		K		α	
	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz
55 ^a	14.49	28	14.74	13.93	27.82	35.12
56 ^b	26.18	20.21	26.42	25.17	12.37	9.69
57 ^b	18.52	9.26	19.16	15.48	7.71	8.59
58	29.11	18.86	29.27	27.06	10.15	7.67
59	24.41	20.11	24.78	23.88	13.34	12.95
60 ^{a,b}	6.22	7.62	6.75	7.1	1.97	2.37
61 ^{a,b}	6.84	6.57	7.13	7.09	4.9	4.25
62	16.41	11.67	16.1	14.99	10.95	10.41
63	23.37	13.5	23.21	20.94	11.08	9.23
64 ^b	13.51	12.68	14.84	14.05	5.2	5.22
65	20.19	24.32	20.76	21.21	13.3	14.86
66	12.74	20.75	12.96	14.32	14.24	16.75
67	20.01	17.78	21.55	20.48	11.69	11.17
68	14.05	16.47	14.35	14.38	11.43	12.36
69 ^b	11.28	4.77	11.82	10.59	6.45	3.86
70 ^{a,b}	3.66	12.08	3.65	3.53	6.53	3.99
71 ^a	5.58	6.26	5.71	4.69	22.38	18.59
72 ^a	6.17	4.31	6.18	6.46	36.38	35.21
73 ^b	21.97	11.54	20.32	18.21	7.74	10.39
74 ^a	2.08	5.97	3.45	4.13	25.1	24.97
75 ^b	9.81	12.97	10.04	10.88	2.93	4.45
76 ^b	21.87	12.18	20.75	18.71	0.98	1.18
77	21.96	18.64	21.57	20.87	10.22	10.35
78	45.21	43.82	39.50	38.15	30.42	34.58
79 ^a	6.51	8.52	6.52	6.55	3.4	4.4
80 ^b	11.21	15.42	11.27	11.81	2.59	3.59
81 ^b	20.2	19.78	20.54	20.05	5.52	5.96
82 ^b	12.73	11.18	13.83	13.13	1.47	1.48

Ek Tablo 1'in devamı

D. No	Ω		K		α	
	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz	Boyutlu	Boyutsuz
83	10.07	11.71	10.65	10.72	5.18	6.11
84	9.58	4.22	9.02	8.2	4.8	3.49
85	13.78	13.43	13.06	12.96	13.72	12.72
86 ^a	8.6	8.68	8.43	8.47	6.52	6.71
87	19.46	10.8	19.83	17.75	6.85	5.69
88	11.68	9.89	12.22	11.54	5.72	5.46
89	8.4	9.12	8.08	7.87	9.3	9.81
90 ^a	2.46	3.33	2.07	1.97	5.39	6.59
91 ^a	1.56	2.2	1.6	1.77	2.7	2.62
92 ^{a,b}	5.22	8.82	4.85	4.9	6.51	7
93 ^b	9.71	2.41	9.99	8.01	1.63	3.17
94 ^b	26.38	27.28	26.43	26.47	7.93	8.88
95	17.38	23.13	17.18	18.3	6.47	8.91
96 ^b	10.43	20.99	10.34	12.46	8.22	11.67
97	24.8	23.99	26	25.6	13	13.27
98 ^b	14.34	17.98	15.23	15.82	8.62	10.11
99 ^{a,b}	3.82	10.3	4.02	5.2	4.18	6.67
100	17.6	15.4	18.97	18.19	10.14	10
101	9.8	11.28	10.15	10.3	7.09	8.04
102 ^{a,b}	2.38	7.58	2.12	2.89	6.87	8.72

Ek Tablo 2. Besleme bölgesinde malzemenin %75, %50 ve %25'inin kalması durumunda denklemlerden elde edilen süreler (dak)

D. No	Ω			K			α		
	%75	%50	%25	%75	%50	%25	%75	%50	%25
1	2.10	8.66	43.3	2.36	9.75	48.7	2.74	17.4	42.7
2	3.10	12.5	63.7	3.43	14.1	70.4	3.94	25.1	61.4
3	4.33	17.5	88.7	4.90	20.1	100.0	5.40	34.4	84.1
4 ^{a,b}	3.58	14.1	73.3	3.86	15.9	79.1	3.50	22.3	54.6
5	5.25	21.5	107.5	5.58	23.0	115.0	5.04	32.1	78.5
6	7.25	30.0	150.0	7.95	32.8	163.3	6.90	44.0	107.5
7 ^b	2.56	10.5	52.5	2.70	11.1	55.5	3.06	19.5	47.7
8 ^b	3.75	15.5	77.5	3.91	16.1	80.0	4.40	28.1	68.6
9 ^b	5.25	21.5	107.5	5.58	22.8	114.2	6.04	38.5	94.1
10	7.08	29.3	146.6	7.33	30.0	150.0	4.84	30.9	75.5
11	10.4	42.8	213.3	10.5	43.5	216.6	6.97	44.4	108.1
12 ^{a,b}	14.5	59.6	299.1	15.0	62.0	308.3	9.55	60.9	148.5
13 ^a	5.11	21.0	105.0	4.95	20.3	101.6	4.23	27.0	66.0
14 ^b	7.50	30.8	153.3	6.63	27.2	135.8	6.09	38.8	94.9
15 ^b	10.4	43.0	215.0	10.1	42.0	208.3	8.35	53.3	130.1
16 ^a	4.23	17.4	86.6	4.25	17.4	86.6	3.37	21.5	52.5
17	6.20	25.5	126.6	6.15	25.2	126.3	4.84	30.9	75.5
18	8.66	35.5	176.6	8.75	36.0	180.0	6.64	42.4	103.5
19 ^{a,b}	3.03	12.5	62.5	2.95	12.1	60.5	2.94	18.8	45.9
20 ^{a,b}	4.46	18.3	91.6	4.25	17.5	87.5	4.23	27.0	66.0
21 ^a	6.20	25.5	127.5	6.08	25.0	124.1	5.80	37.0	90.5
22 ^a	8.42	34.6	173.3	8.30	34.2	170.0	4.66	29.7	72.6
23 ^a	12.3	50.8	252.5	12.0	49.3	246.6	6.70	42.7	104.4
24 ^{a,b}	17.1	70.8	351.6	17.1	70.5	350.0	9.19	58.6	143.2
25 ^{a,b}	6.05	25.0	124.1	5.58	23.0	115.0	4.07	26.0	63.5
26 ^{a,b}	8.86	36.5	181.6	8.08	33.3	165.8	5.86	37.4	91.3
27 ^{a,b}	12.3	50.8	253.3	11.5	47.5	236.6	8.03	51.2	125.2

Ek Tablo 2'nin devamı

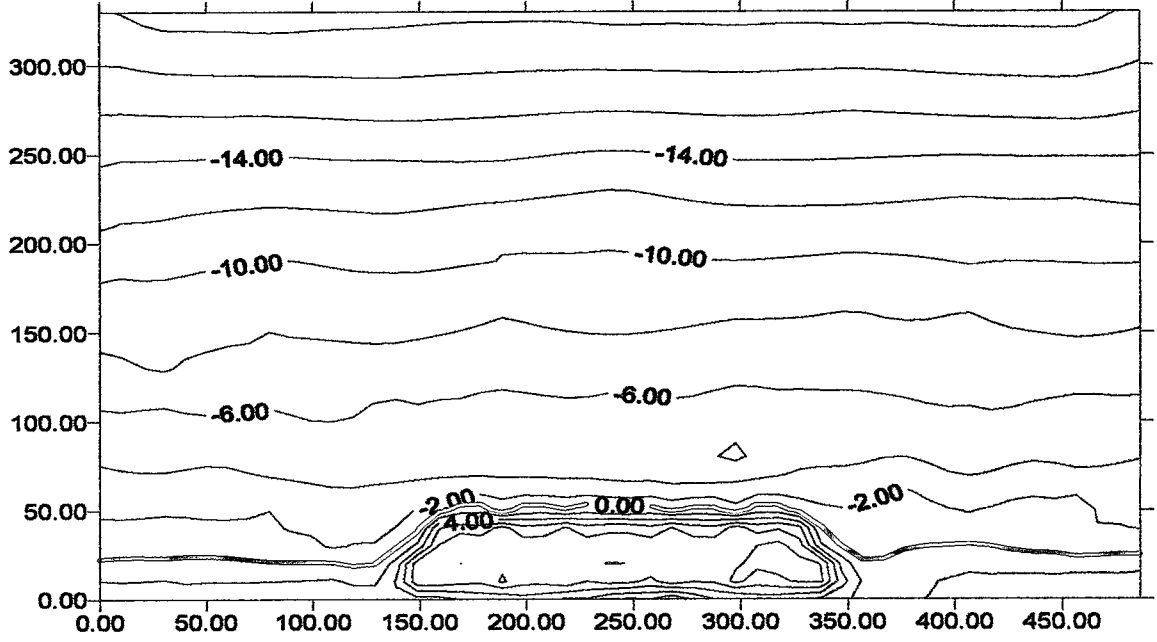
D. No	Ω			K			α		
	%75	%50	%25	%75	%50	%25	%75	%50	%25
28 ^{a,b}	4.23	17.4	86.6	3.86	15.8	79.1	3.52	22.4	54.8
29 ^b	6.20	25.5	127.5	5.58	23.0	115.0	5.06	32.3	78.9
30 ^a	8.61	35.5	177.5	7.96	32.6	163.3	6.94	44.3	108.1
31	11.7	48.3	241.6	11.2	46.2	230.0	16.9	73.6	170.5
32 ^b	17.2	70.8	353.3	16.2	66.8	333.3	24.4	105.9	245.2
33 ^b	24.0	99.0	491.6	23.1	95.5	475.0	33.4	145.2	336.2
34	16.8	69.1	346.6	16.2	66.6	333.3	19.6	85.2	197.3
35	24.6	101.6	508.3	23.3	96.3	481.6	28.2	122.6	283.8
36 ^{a,b}	34.5	141.6	705.0	33.3	137.1	683.3	38.7	168.1	389.1
37 ^{a,b}	23.5	96.6	480.0	23.9	98.3	490.0	22.4	97.5	225.7
38 ^a	34.3	141.6	706.6	34.6	142.5	708.3	32.3	140.2	324.7
39 ^a	47.8	196.6	983.3	49.3	202.5	1011.6	44.3	192.2	445.1
40 ^b	5.91	24.3	121.6	6.30	25.8	128.3	12.2	53.2	123.3
41	8.66	35.6	177.5	9.08	37.3	186.6	17.6	76.5	177.3
42 ^{a,b}	12.0	49.5	246.6	12.8	53.3	265.0	24.2	104.9	243.0
43 ^{a,b}	8.48	34.8	173.3	8.80	36.2	180.0	14.2	61.6	142.6
44 ^{a,b}	12.4	51.0	253.3	12.7	52.3	261.6	20.4	88.6	205.2
45 ^{a,b}	17.2	70.8	355.0	18.1	74.6	371.6	28.0	121.4	281.2
46 ^a	11.7	48.3	241.6	12.5	51.6	258.3	16.2	70.4	163.2
47 ^{a,b}	17.2	70.8	355.0	18.1	75.0	373.3	23.3	101.3	234.7
48 ^a	24.0	99.0	491.6	26.0	107.0	533.3	32.0	138.9	321.7
49 ^a	3.50	14.4	71.6	4.01	16.5	82.5	9.60	41.6	96.4
50 ^b	5.13	21.1	105.0	5.83	23.9	119.1	13.8	59.8	138.6
51 ^{a,b}	7.16	29.5	146.6	8.25	34.0	170.0	18.9	82.1	190.1
52 ^b	5.01	20.6	103.3	5.50	22.6	113.3	11.1	48.2	111.6
53 ^a	7.33	30.3	150.8	8.00	32.8	163.3	15.9	69.3	160.5
54 ^a	10.2	42.2	210.0	11.3	46.6	233.3	21.9	95.0	220.0

Ek Tablo 2'nin devamı

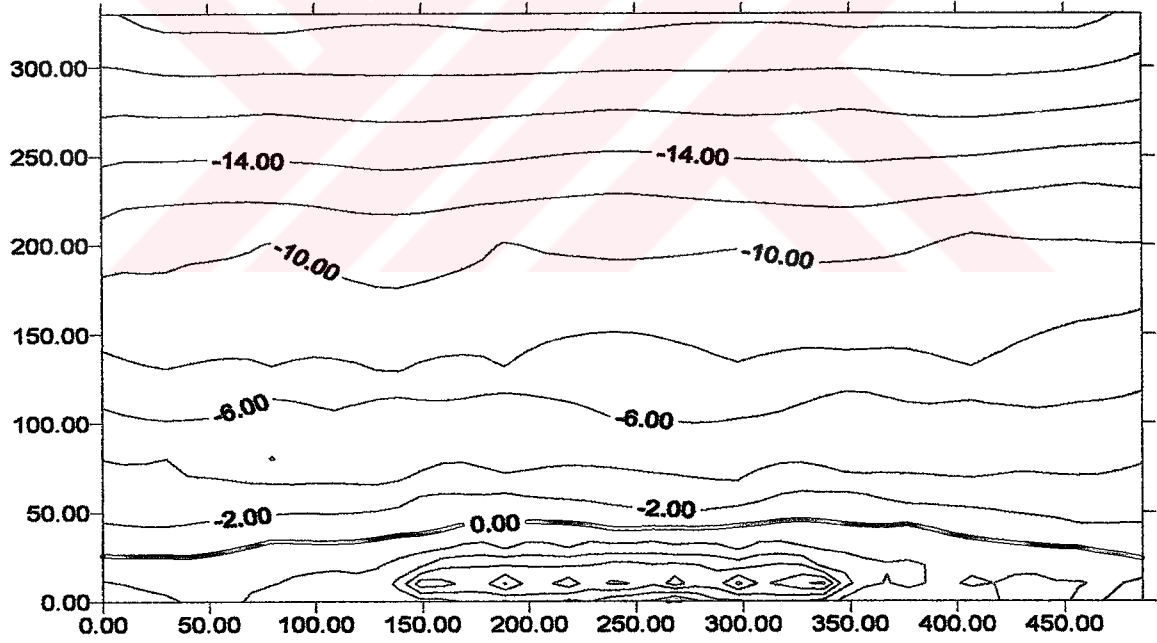
D. No	Ω			K			α		
	%75	%50	%25	%75	%50	%25	%75	%50	%25
55 ^a	7.0	28.6	143.3	7.75	31.8	158.3	12.7	55.1	127.6
56 ^b	10.2	42.1	210.0	11.1	46.0	230.0	18.2	79.2	183.5
57 ^b	14.2	58.5	291.6	15.9	65.6	326.6	25.1	108.7	251.6
58	26.9	110.8	551.6	29.3	120.8	600.0	64.9	229.3	510.3
59	45.5	186.6	933.3	46.6	191.6	958.3	83.1	293.2	652.5
60 ^{a,b}	90.1	371.6	1858.3	85.6	351.6	1750.0	114.9	405.6	902.6
61 ^{a,b}	125.8	516.6	2583.3	126.6	520.0	2600.0	131.4	464.0	1032.5
62	63.3	260.0	1300.0	66.6	275.0	1366.6	95.0	335.4	746.4
63	37.5	154.1	766.6	40.8	168.3	838.3	74.3	262.3	583.8
64 ^b	32.0	131.0	651.6	30.8	126.6	628.3	62.5	220.5	490.8
65	53.8	221.6	1100.0	50.8	209.1	1038.3	79.9	282.0	627.5
66	107.2	441.6	2200.0	96.6	396.6	1983.3	110.5	390.1	868.1
67	44.5	182.5	908.3	43.3	178.3	891.6	71.4	252.3	561.4
68	75.0	308.3	1533.3	73.3	301.6	1501.6	91.4	322.6	717.8
69	149.1	611.6	3066.6	143.3	590.0	2933.3	126.4	446.2	993.1
70 ^{a,b}	75.0	308.3	1533.3	66.6	275.0	1366.6	95.5	337.1	750.1
71 ^a	37.5	154.1	766.6	36.0	148.3	738.3	69.1	243.7	542.2
72 ^a	22.3	91.6	458.3	22.1	91.1	455.0	54.0	190.6	424.1
73 ^b	18.8	77.5	386.6	21.3	87.5	438.3	56.1	198.1	441.1
74 ^a	31.6	130.3	650.0	33.3	137.5	683.3	71.7	253.3	563.8
75 ^b	63.3	260.0	1300.0	59.3	244.1	1213.3	99.3	350.5	779.9
76 ^b	38.3	157.5	788.3	43.8	180.6	900.0	110.6	390.6	869.3
77	64.5	266.6	1325.0	95.0	391.6	1950.0	141.5	499.5	1111.5
78	133.3	541.6	2666.6	121.6	501.6	2500.0	195.7	691.0	1537.6
79 ^a	152.5	626.6	3133.3	137.5	566.6	2833.3	188.3	664.5	1478.7
80 ^b	76.6	315.0	1566.6	74.1	306.6	1525.0	136.1	480.4	1068.9
81 ^b	45.3	186.6	933.3	45.8	188.3	941.6	106.4	375.7	836.1

Ek Tablo 2'nin devamı

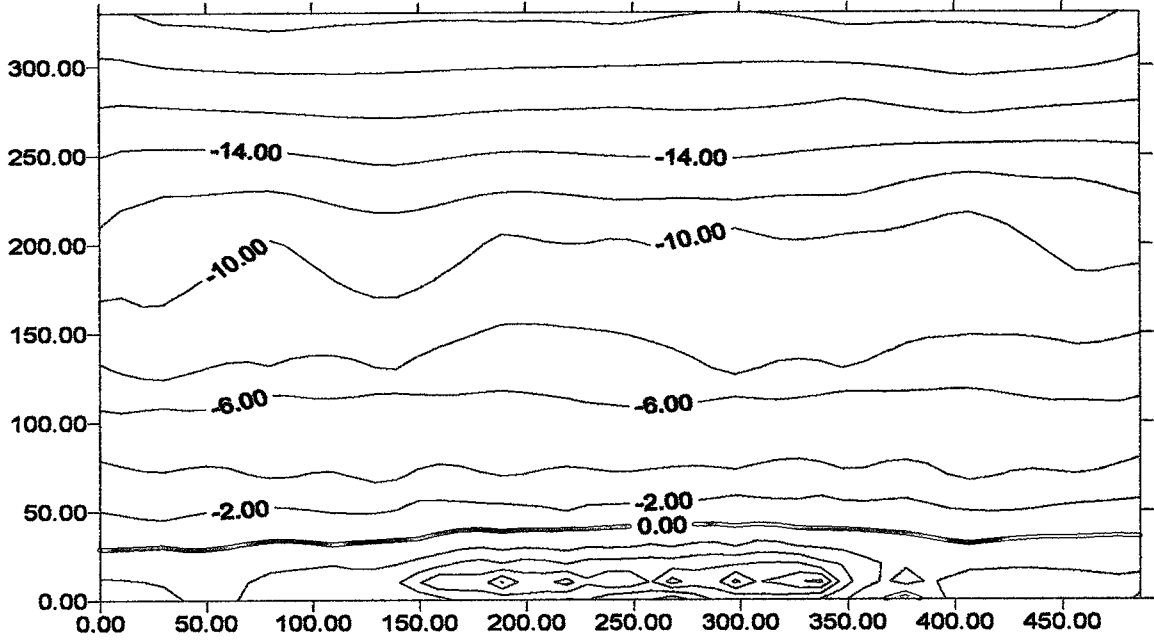
D. No	Ω			K			α		
	%75	%50	%25	%75	%50	%25	%75	%50	%25
82 ^b	65.0	268.3	1333.3	63.3	260.0	1300.0	123.2	434.8	967.6
83	110.0	450.0	2250.0	105.0	430.0	2150.0	157.5	555.9	1237.1
84	218.3	900.0	4483.3	200.0	823.3	4083.3	217.9	769.1	1711.4
85	185.0	758.3	3783.3	175.0	723.3	3600.0	226.5	799.7	1779.5
86 ^a	92.5	381.6	1900.0	96.6	396.6	1983.3	163.8	578.1	1286.3
87	55.0	226.6	1125.0	60.0	247.5	1233.3	128.1	452.1	1006.1
88	90.8	371.6	1858.3	89.1	366.6	1833.3	140.9	497.4	1106.8
89	152.5	628.3	3133.3	150.8	620.0	3100.0	180.1	635.9	1415.1
90 ^a	305.0	1250.0	6250.0	296.6	1216.6	6083.3	249.2	879.7	1957.6
91 ^a	256.6	1058.3	5250.0	261.6	1075.0	5350.0	259.1	914.7	2035.5
92 ^{a,b}	129.1	530.0	2650.0	137.5	566.6	2833.3	187.3	661.2	1471.4
93 ^b	76.6	315.0	1566.6	84.5	348.3	1733.3	146.5	517.2	1150.8
94 ^b	32.6	134.1	666.6	32.1	132.5	658.3	77.6	274.1	609.93
95	55.0	226.6	1130.0	52.5	215.0	1075.0	99.3	350.4	779.8
96 ^b	109.1	450.0	2250.0	96.6	396.6	1983.3	137.3	484.8	1078.7
97	46.6	192.5	958.3	44.5	183.3	916.6	89.8	317.2	705.8
98 ^b	78.8	323.3	1616.6	73.8	303.3	1516.6	114.9	405.6	902.5
99 ^{a,b}	156.6	646.6	3216.6	140.0	576.6	2866.6	158.9	561.1	1248.4
100	65.0	267.5	1333.3	62.8	259.1	1291.6	102.8	362.8	807.4
101	109.3	450.0	2250.0	105.8	435.0	2166.6	131.4	463.9	1032.3
102 ^{a,b}	218.3	900.0	4466.6	208.3	858.3	4283.3	181.8	641.8	1428.1



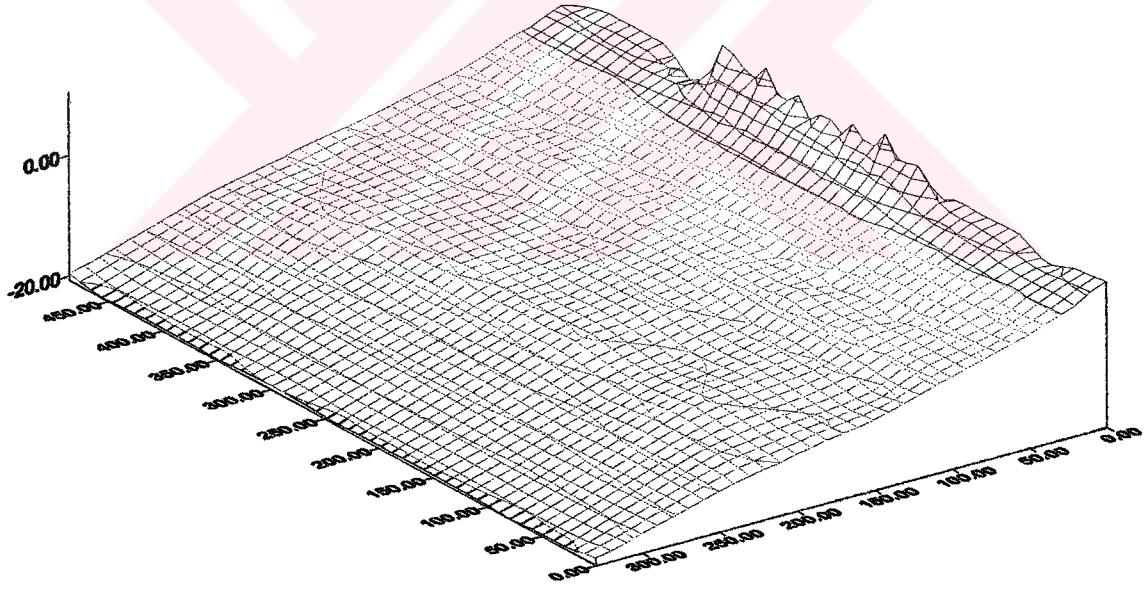
Ek Şekil 1a. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için başlangıç taban topoğrafyası (6. deney)



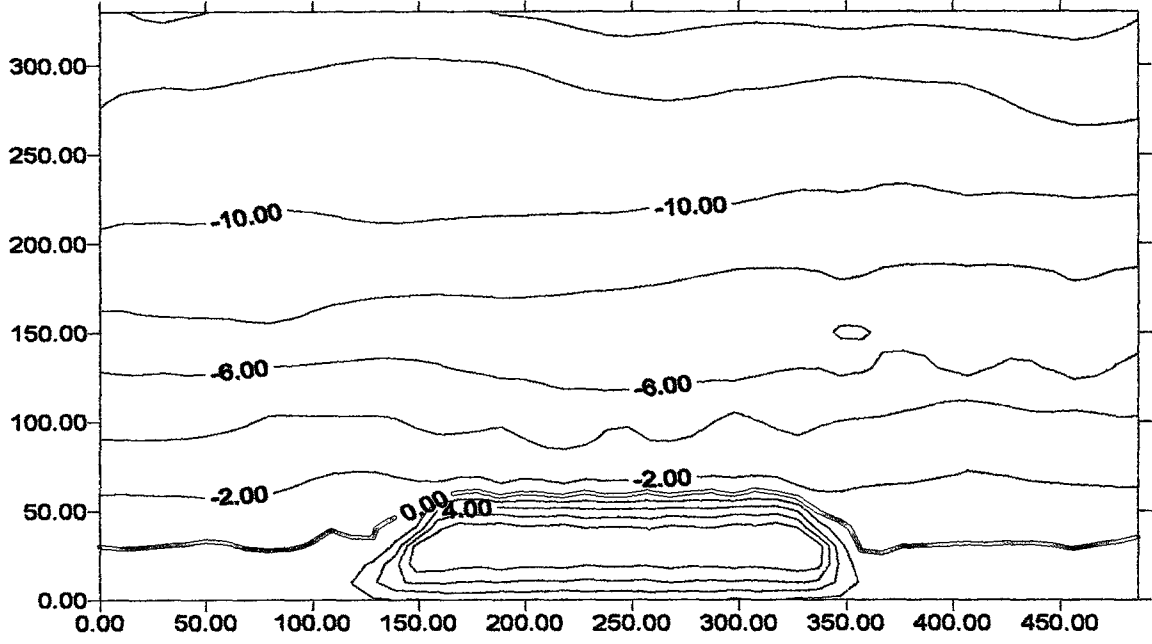
Ek Şekil 1b. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=60$. dakikadaki taban topoğrafyası (6. deney)



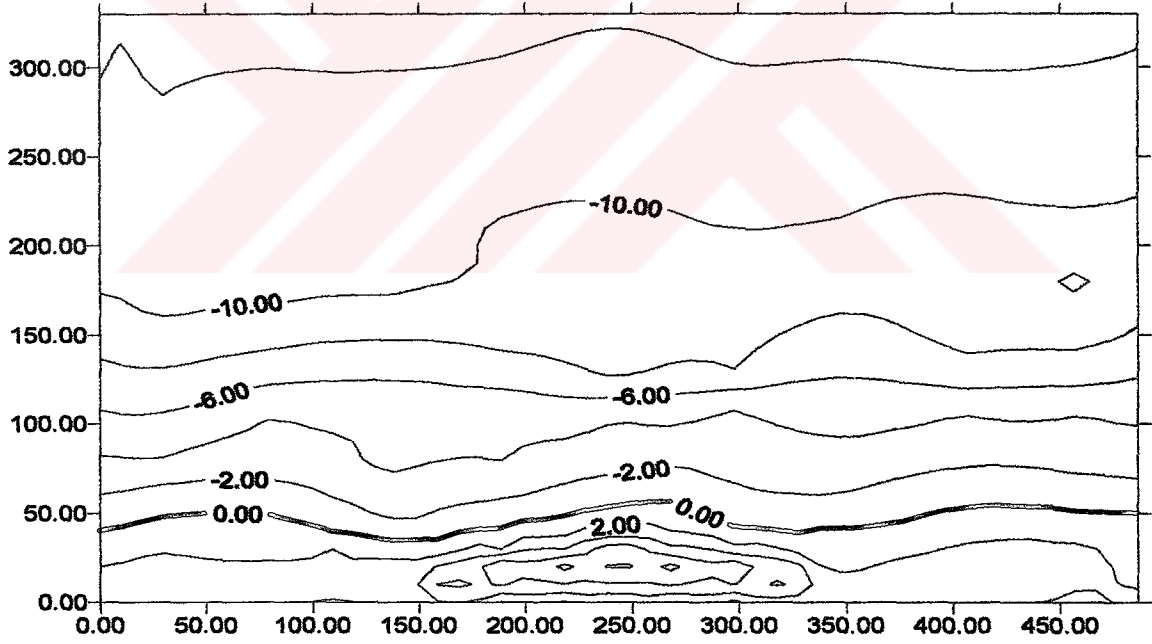
Ek Şekil 1c. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=90$. dakikadaki taban topoğrafyası (6. deney)



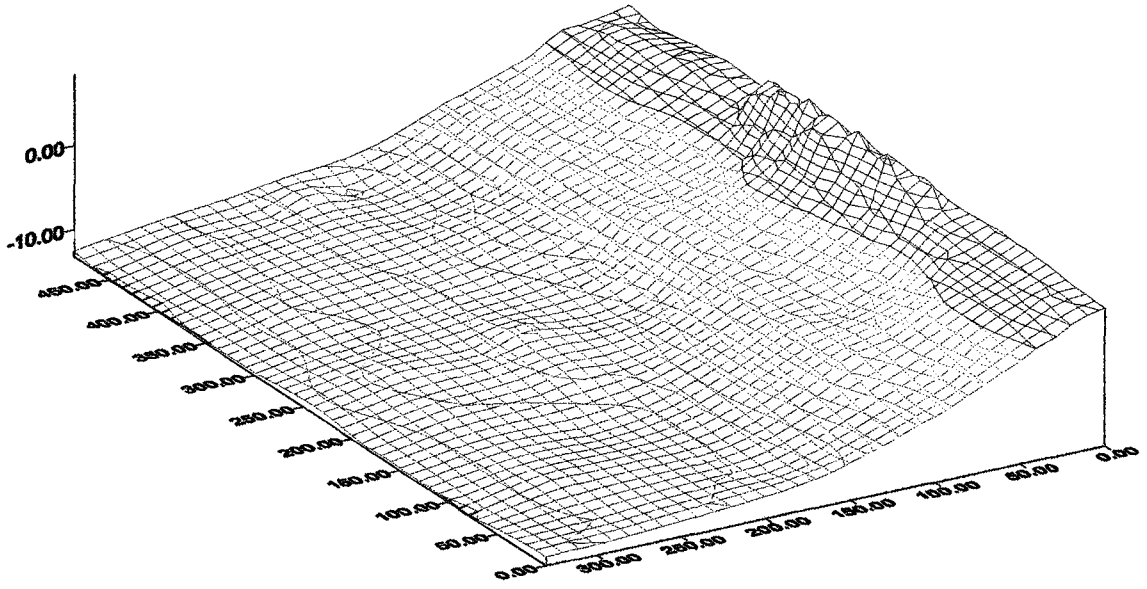
Ek Şekil 1d. $m=1/15$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=90$. dakikadaki taban topoğrafyası (6. deney)



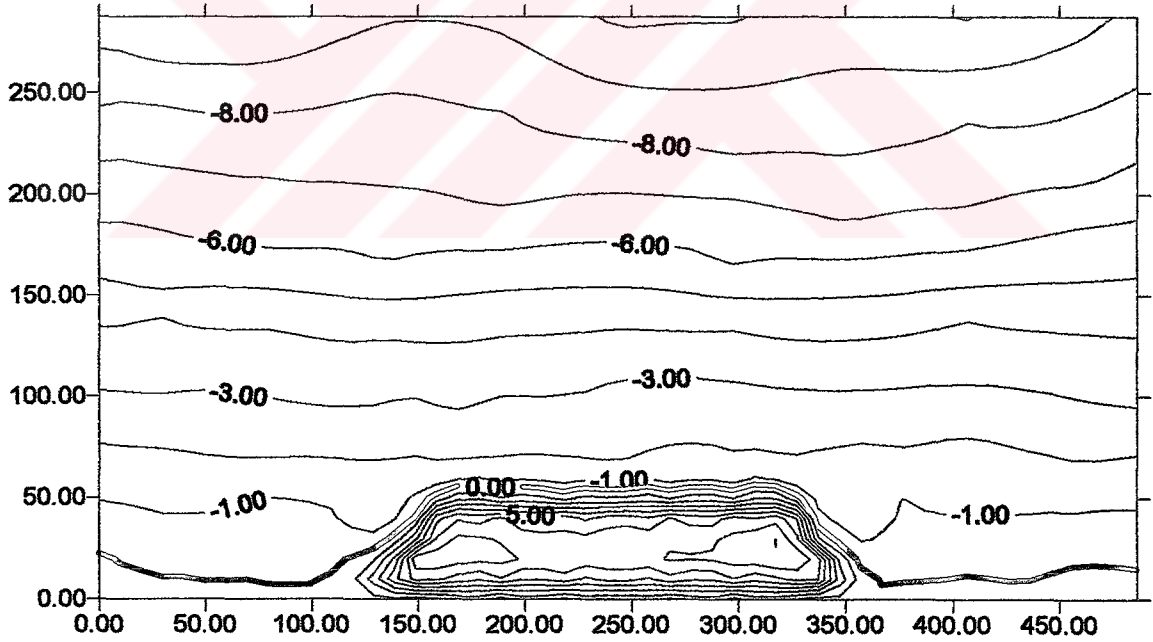
Ek Şekil 2a. $m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için başlangıç taban topografyası (18. deney)



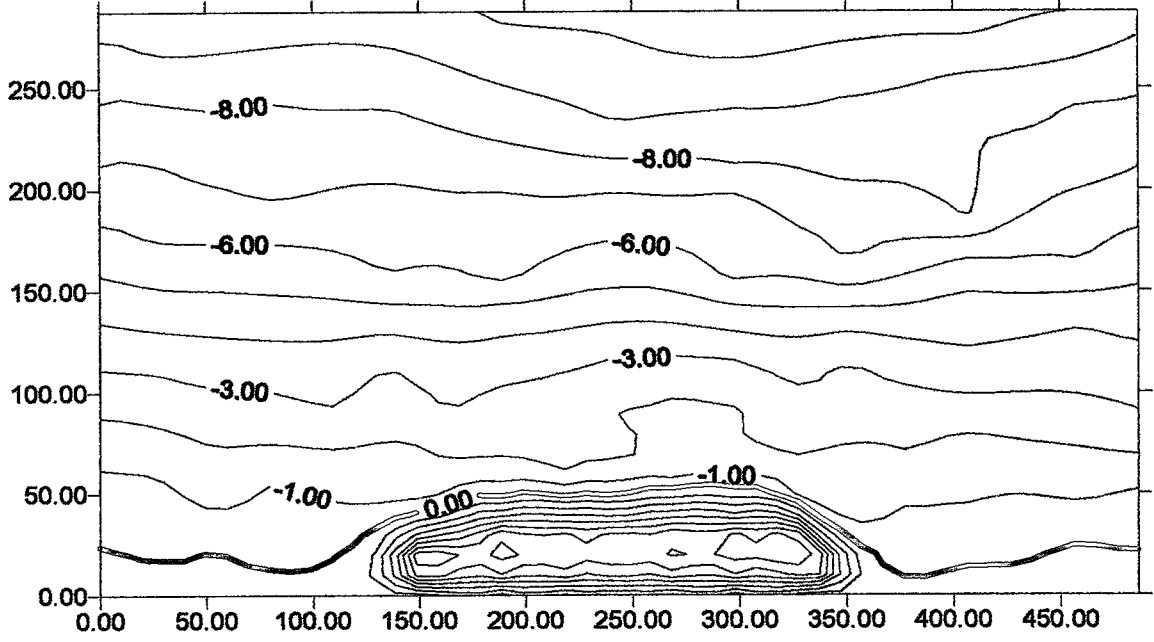
Ek Şekil 2b. $m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topografyası (18. deney)



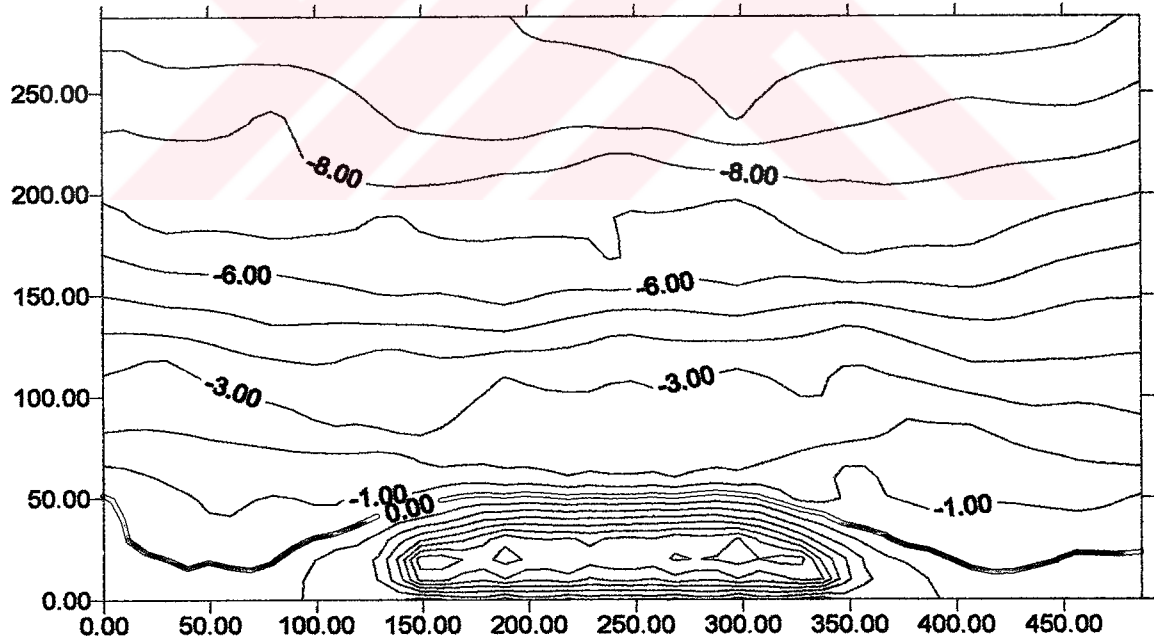
Ek Şekil 2c. $m=1/20$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topoğrafyası (18. deney)



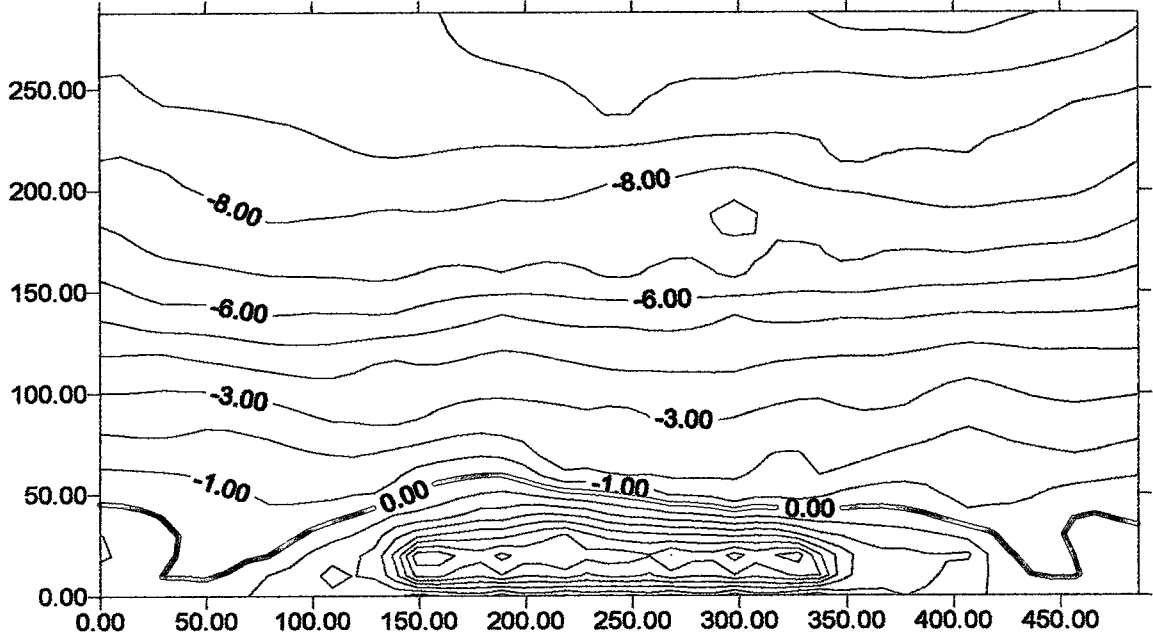
Ek Şekil 3a. $m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için başlangıç taban topoğrafyası (35. deney)



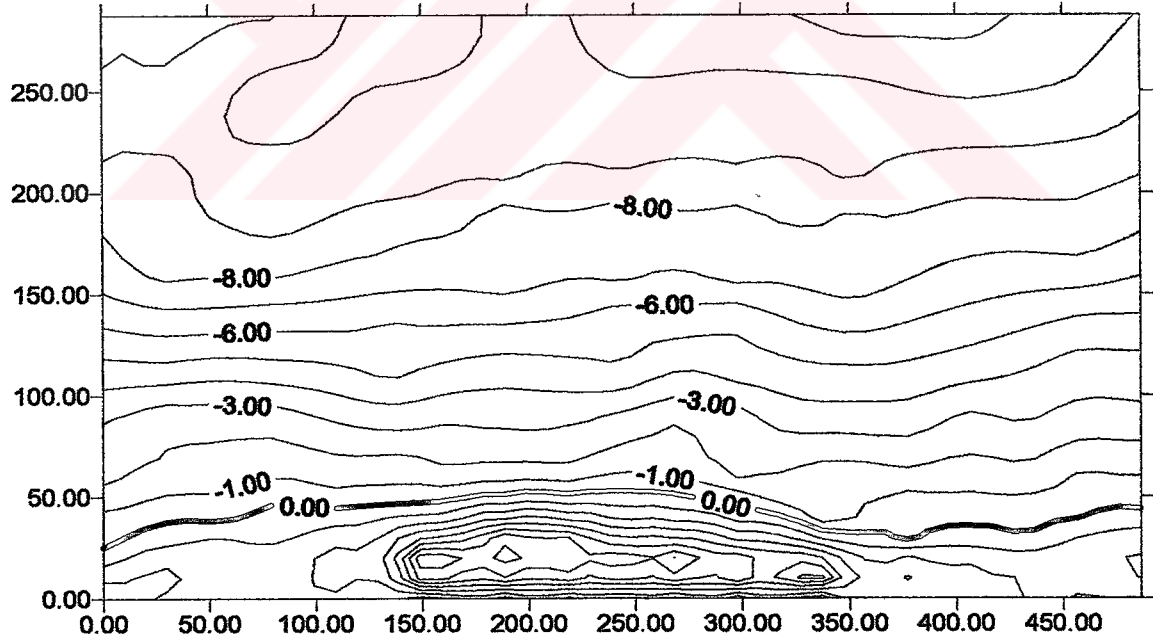
Ek Şekil 3b. $m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=30$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)



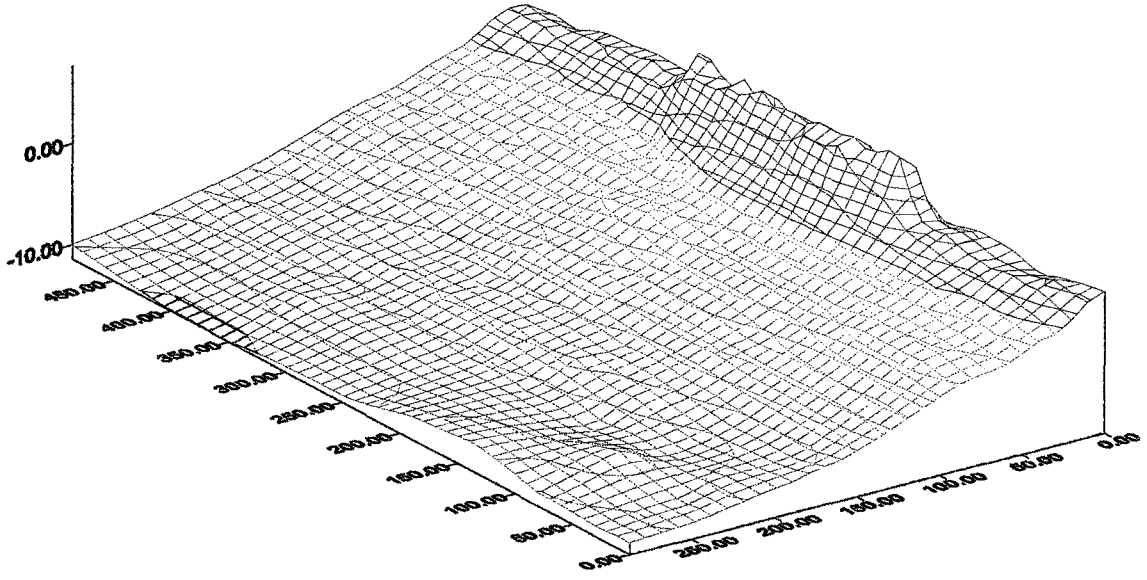
Ek Şekil 3c. $m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=90$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)



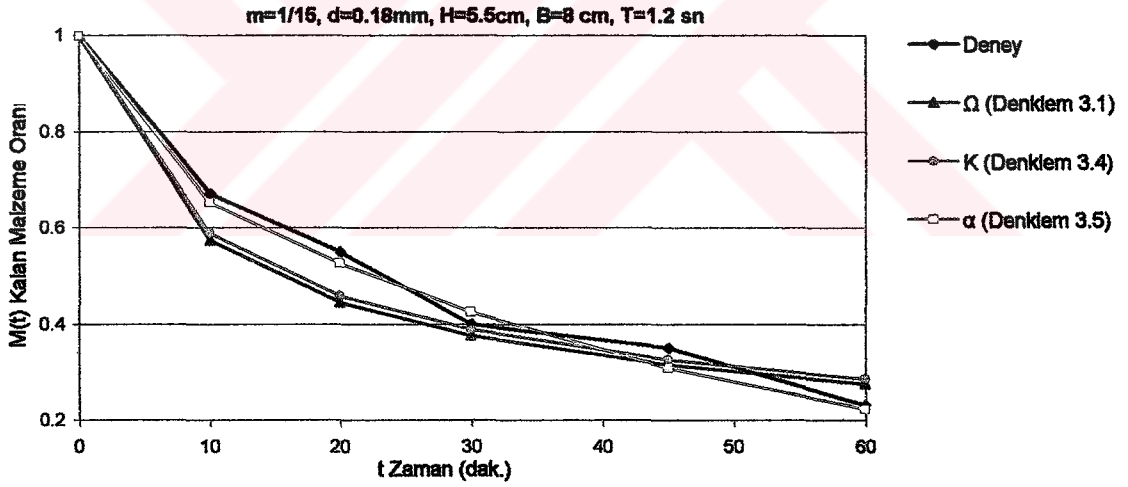
Ek Şekil 3d. $m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=150$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)



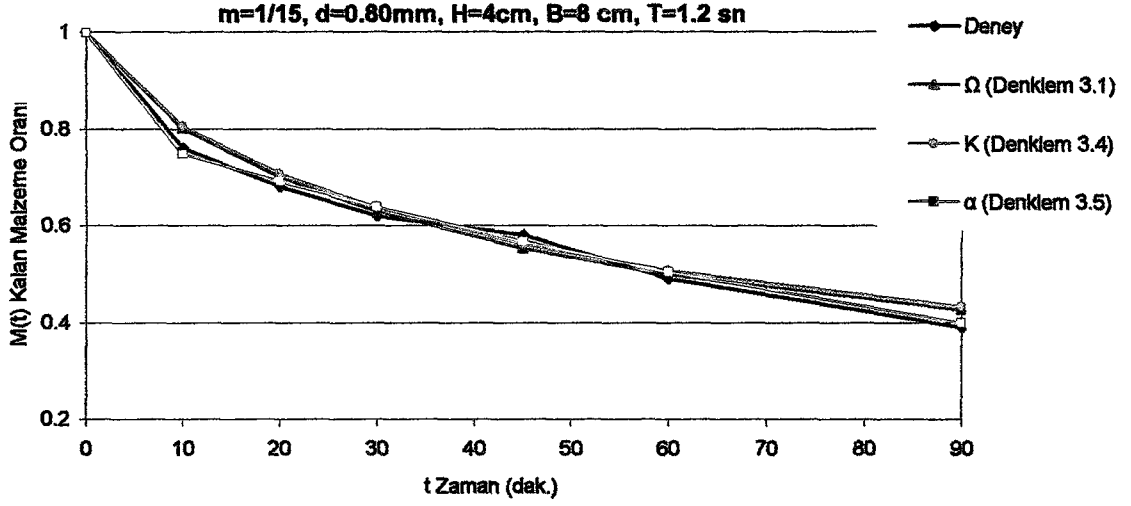
Ek Şekil 3e. $m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=240$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)



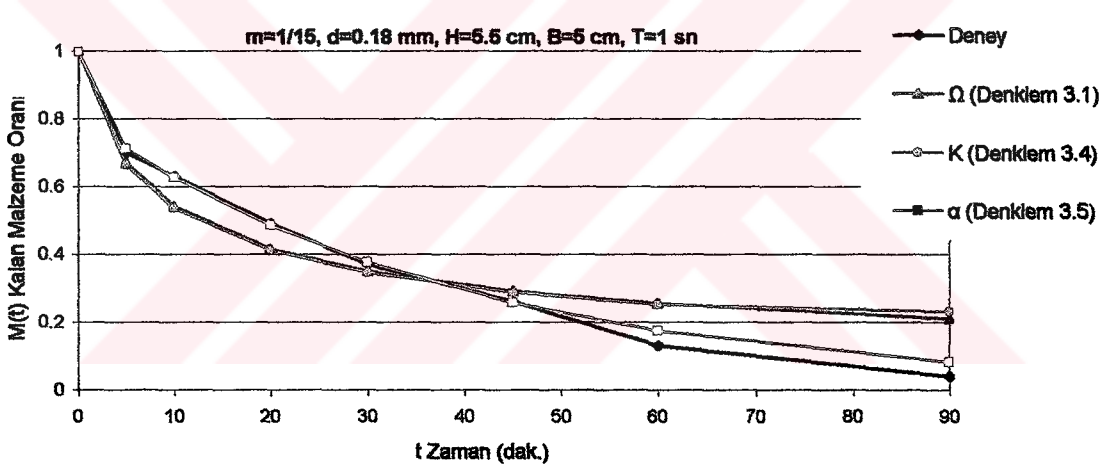
Ek Şekil 3f. $m=1/30$, $H=5.5$ cm, $B=8$ cm, $d_{50}=0.80$ mm ve $T=1.2$ sn için $t=240$. dakikadaki taban topoğrafyası (35. deney)



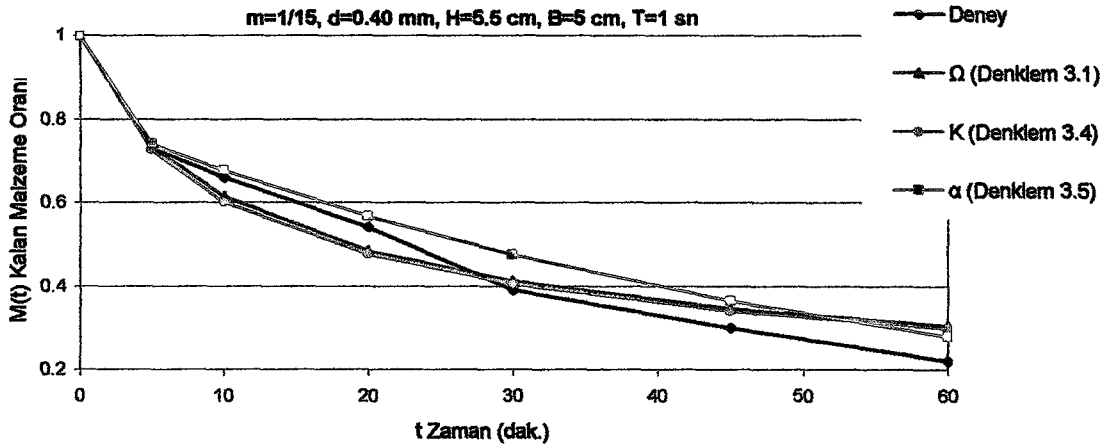
Ek Şekil 4. Deney 4 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



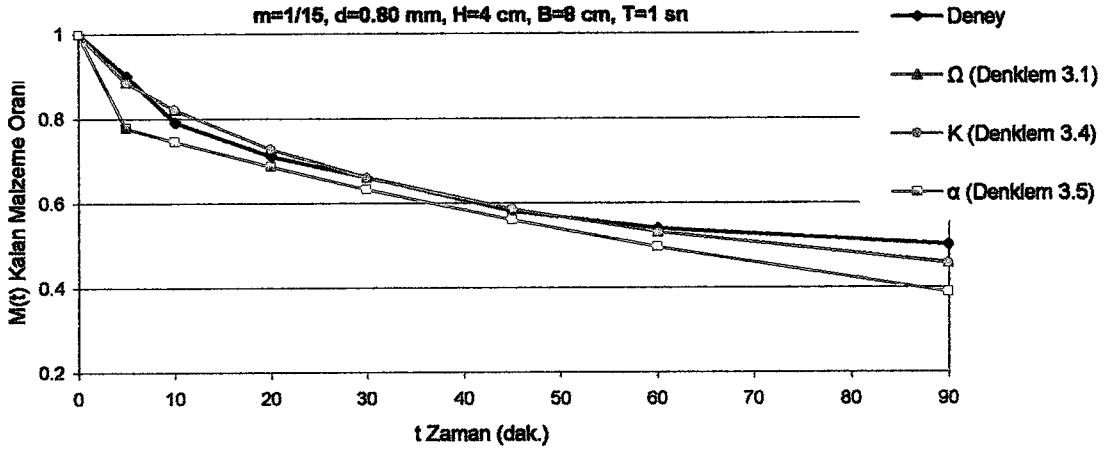
Ek Şekil 5. Deneysel 12 için denklemlerden ve deneysel elde edilen kalan malzeme oranları



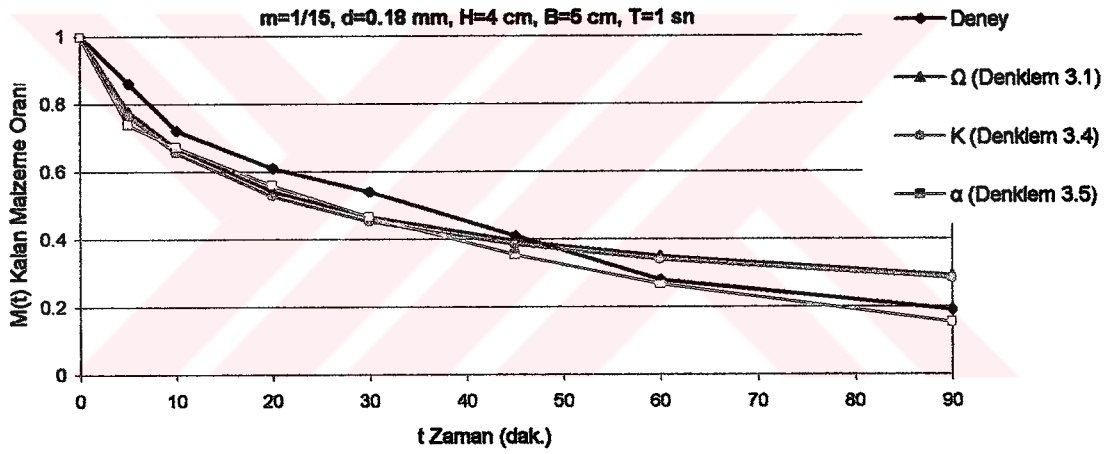
Ek Şekil 6. Deneysel 19 için denklemlerden ve deneysel elde edilen kalan malzeme oranları



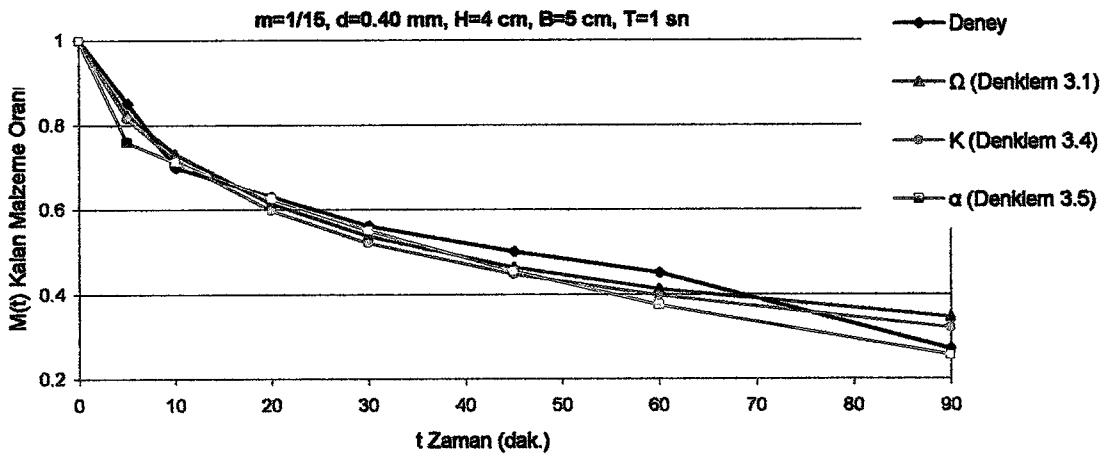
Ek Şekil 7. Deneysel 20 için denklemlerden ve deneysel elde edilen kalan malzeme oranları



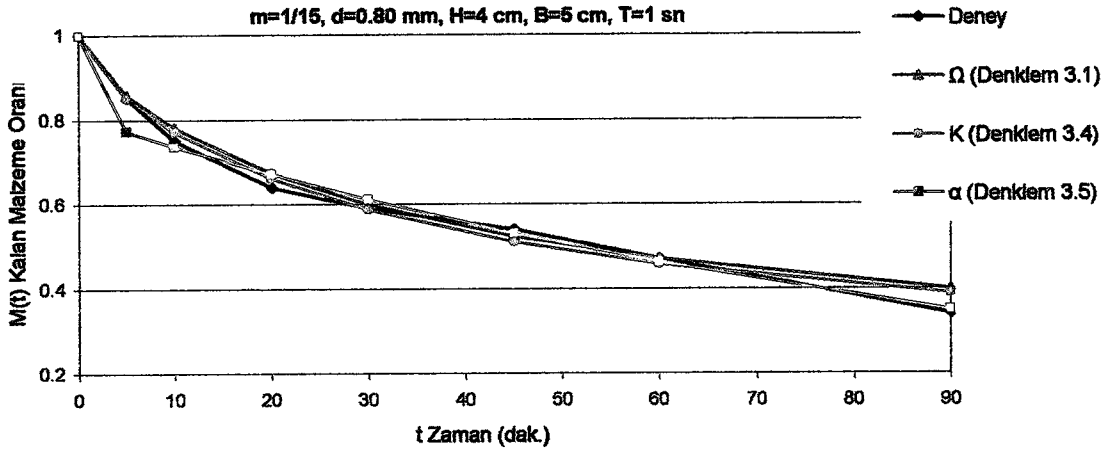
Ek Şekil 8. Deney 24 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



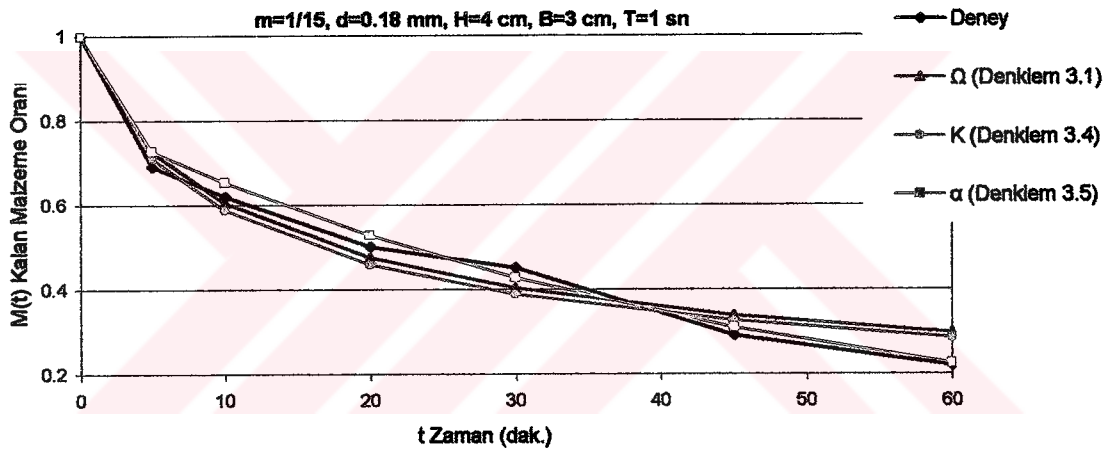
Ek Şekil 9. Deney 25 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



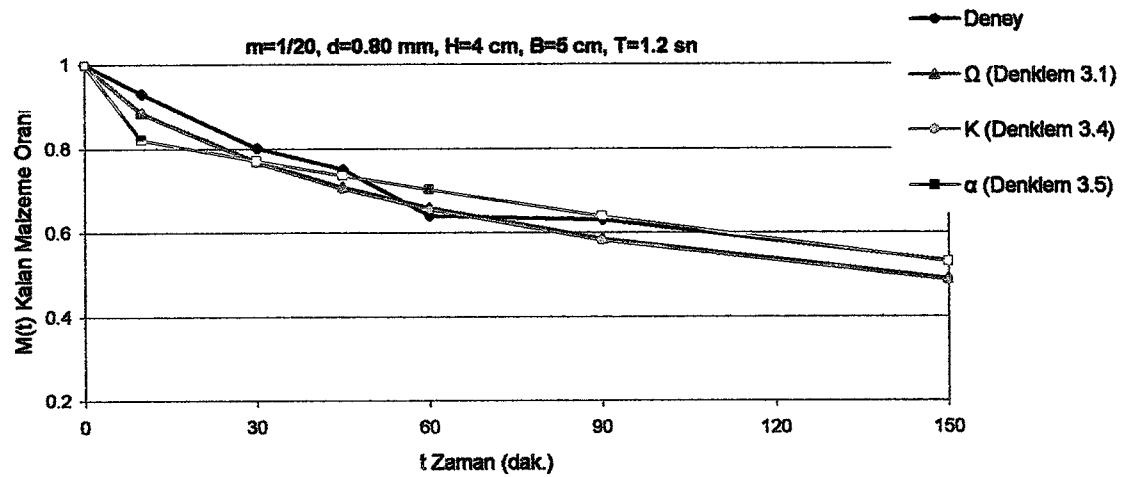
Ek Şekil 10. Deney 26 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



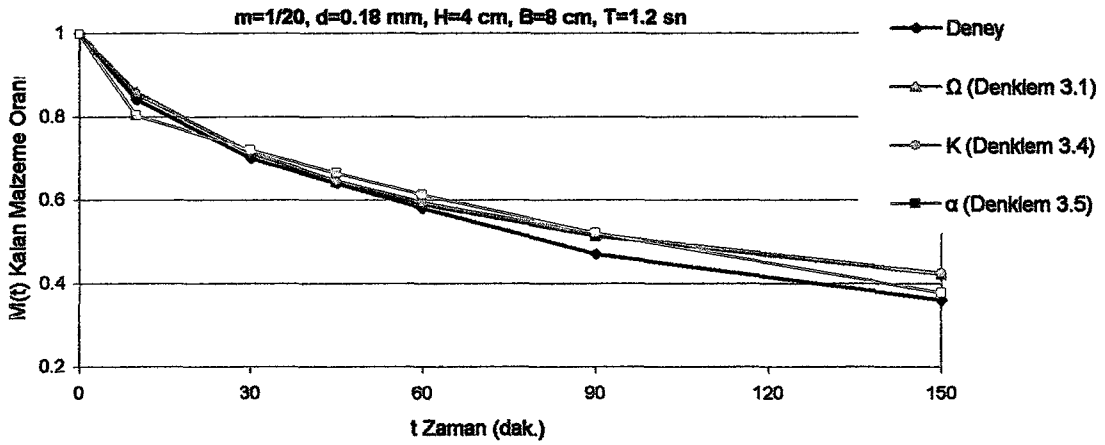
Ek Şekil 11. Deney 27 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



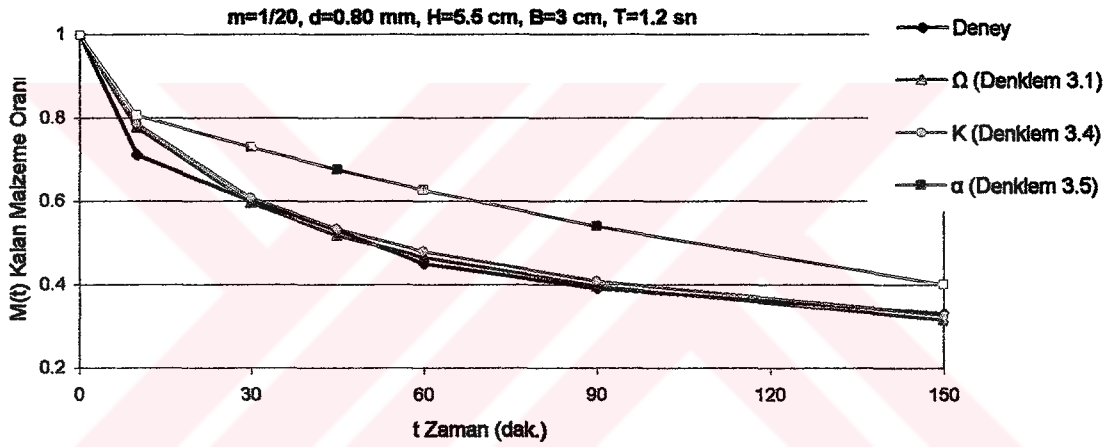
Ek Şekil 12. Deney 28 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



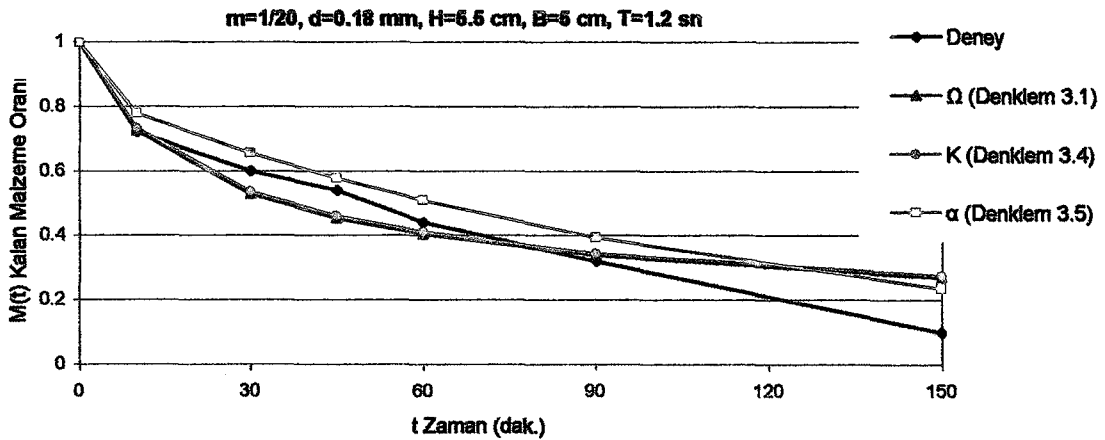
Ek Şekil 13. Deney 36 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



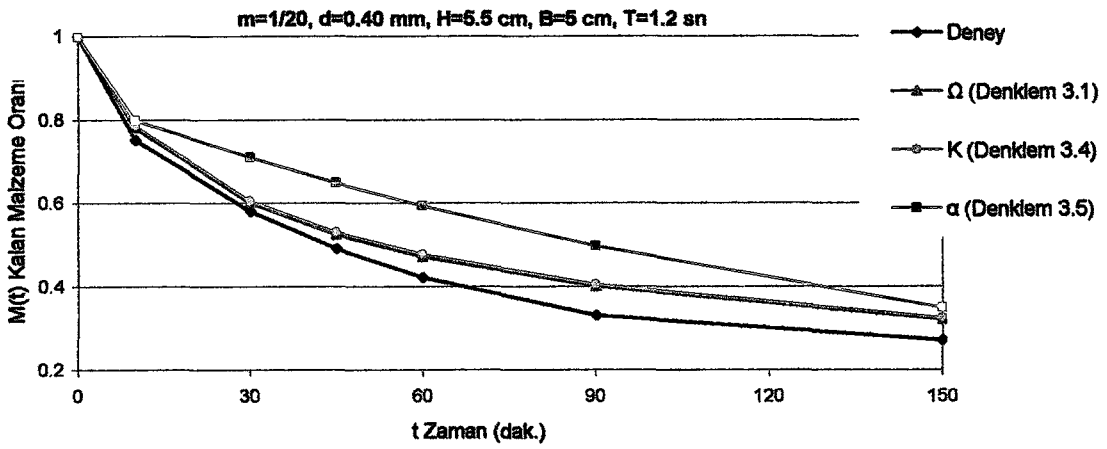
Ek Şekil 14. Deney 37 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



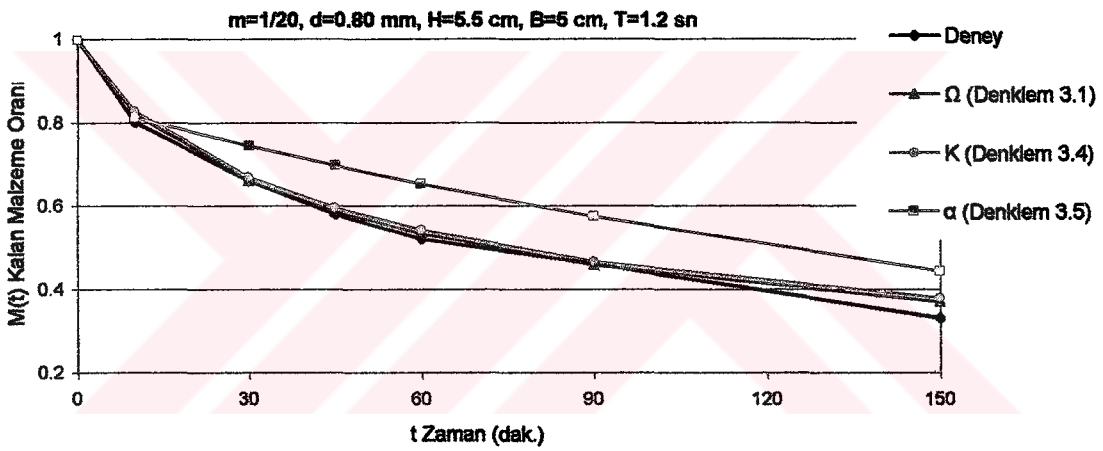
Ek Şekil 15. Deney 42 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



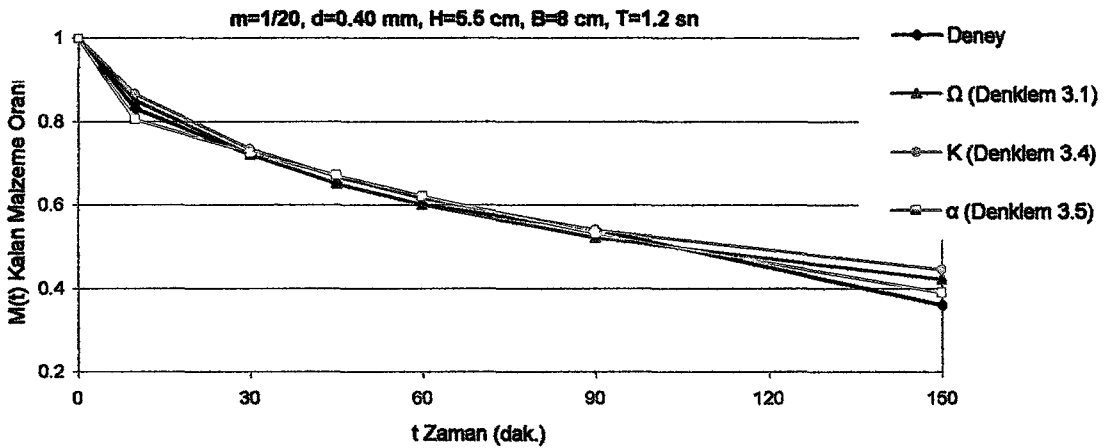
Ek Şekil 16. Deney 43 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



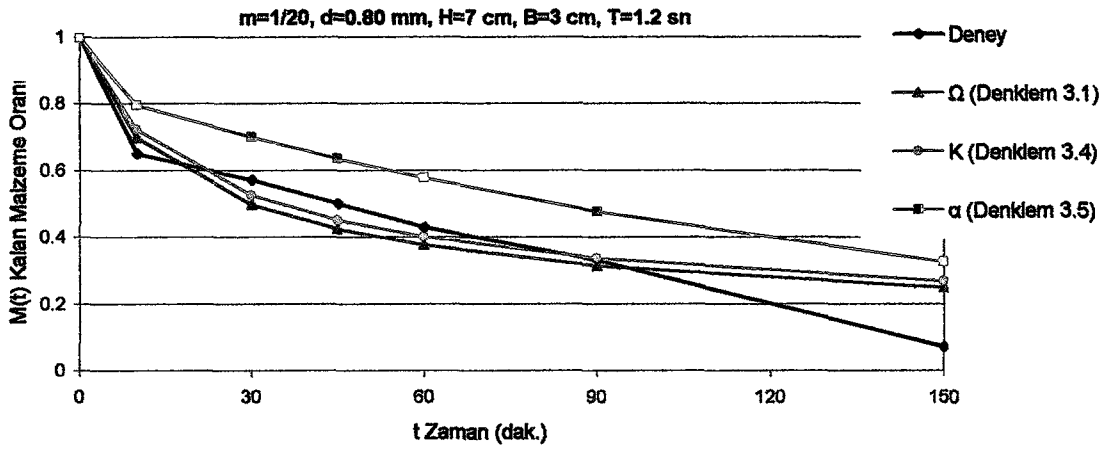
Ek Şekil 17. Deneysel 44 için denklemlerden ve deneyselden elde edilen kalan malzeme oranları



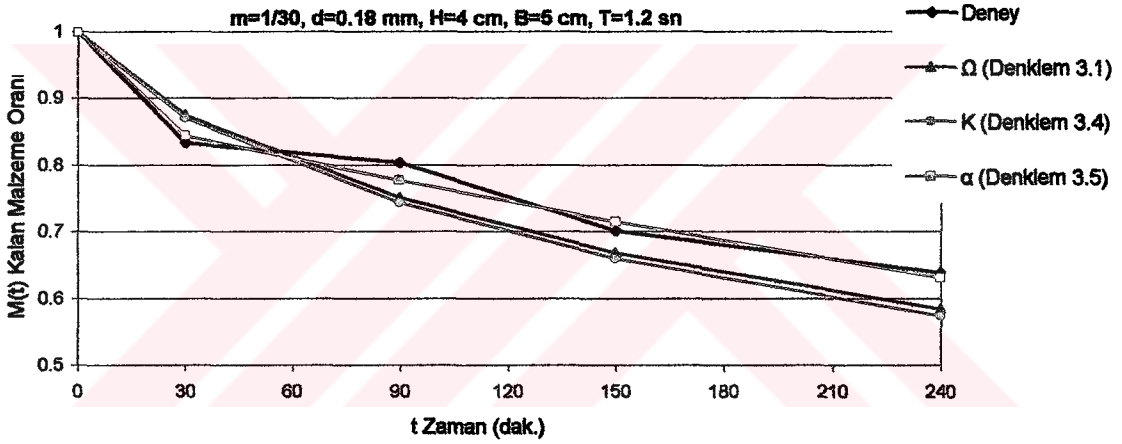
Ek Şekil 18. Deneysel 45 için denklemlerden ve deneyselden elde edilen kalan malzeme oranları



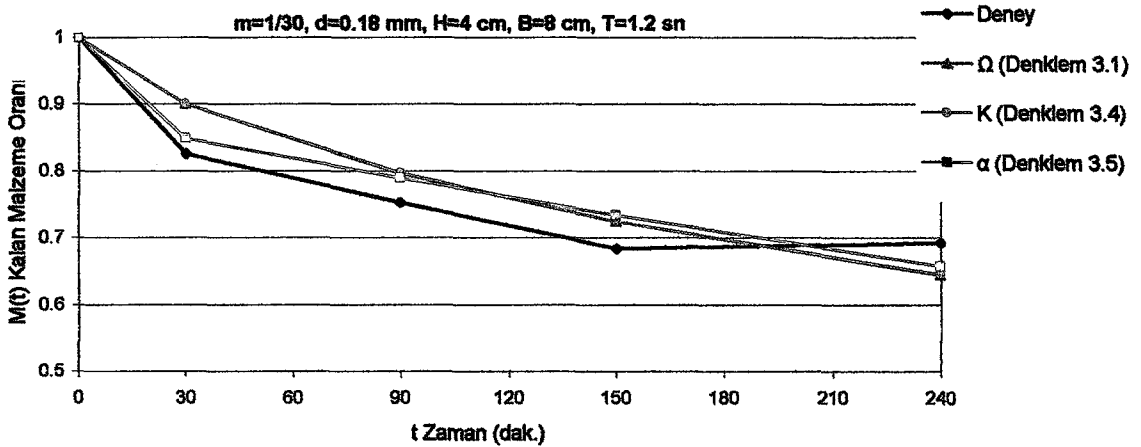
Ek Şekil 19. Deneysel 47 için denklemlerden ve deneyselden elde edilen kalan malzeme oranları



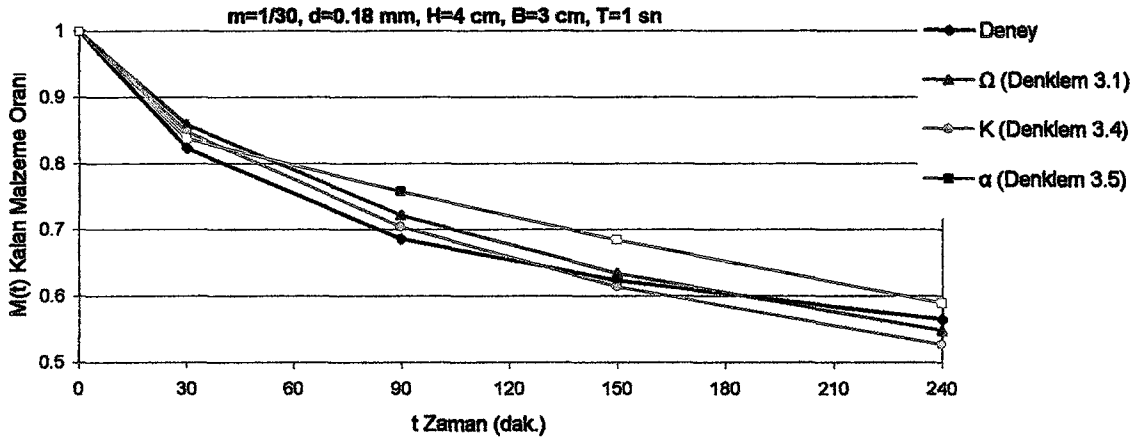
Ek Şekil 20. Deney 51 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



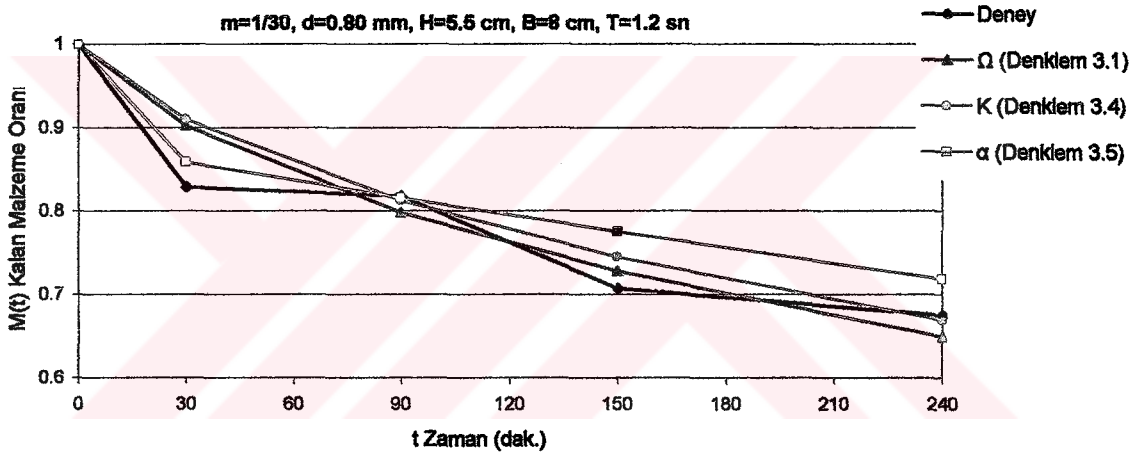
Ek Şekil 21. Deney 60 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



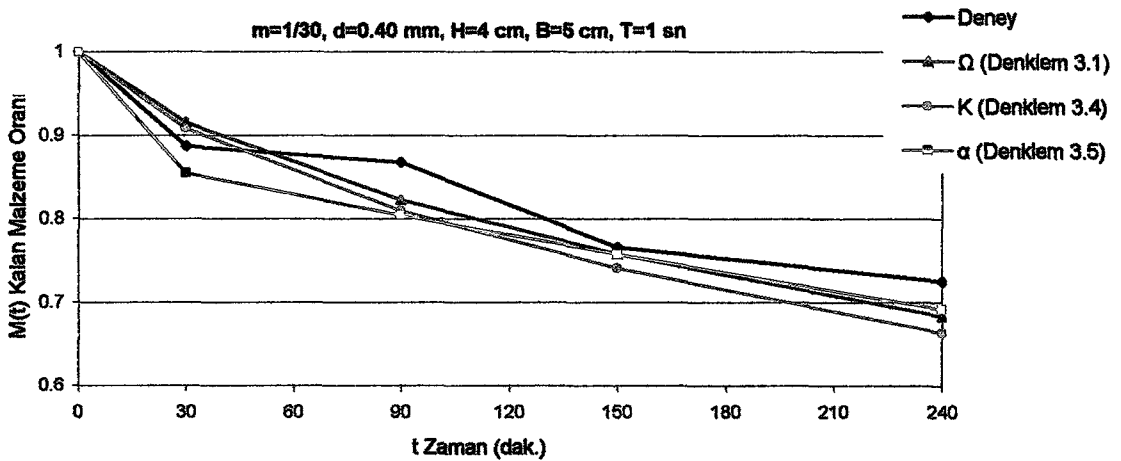
Ek Şekil 22. Deney 61 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



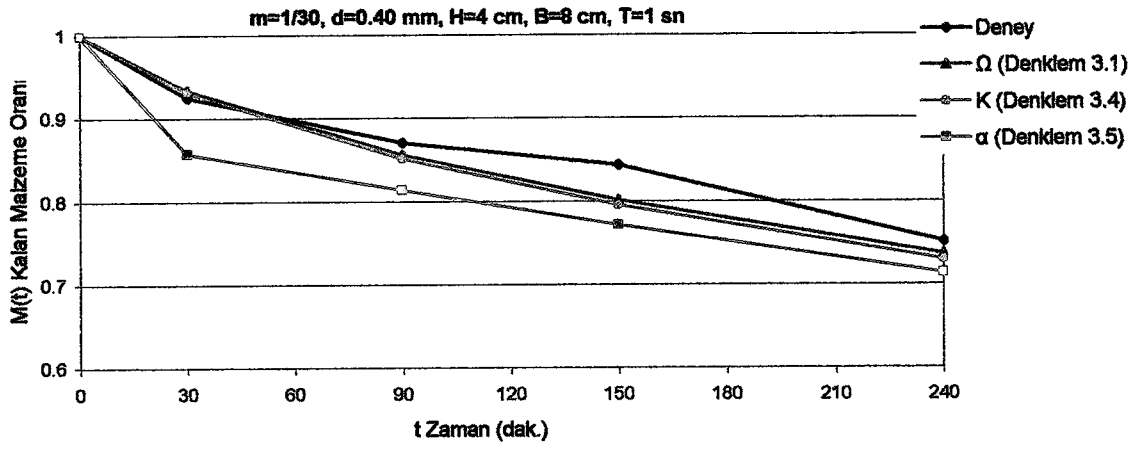
Ek Şekil 23. Deney 70 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



Ek Şekil 24. Deney 92 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



Ek Şekil 25. Deney 99 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları



Ek Şekil 26. Deney 102 için denklemlerden ve deneyden elde edilen kalan malzeme oranları

ÖZGEÇMİŞ

1973 yılında Erzurum'da doğdu. İlkokul, ortaokul ve liseyi Erzurum'da tamamladı. 1989 yılında Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü'ne girdi. 1993'te mezun olduktan sonra bir yıl İzmit'te özel bir şirkette saha mühendisi ve şantiye şefi olarak çalıştı. 1994'te Rize Meslek Yüksekokulu'na Öğretim Görevlisi olarak atandı. 1995'te Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. 1998'de yüksek lisansını tamamladı. Aynı yıl doktora çalışmalarına başladı. Evli olan Servet Karasu, İngilizce bilmekte ve halen Rize Meslek Yüksekokulu'nda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır.

