

79164

Yıldız Teknik Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü

**KIYI PROFİLLERİ ÜZERİNDEKİ TABAN
MALZEMESİNDE GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN
HİDRODİNAMİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

İnş. Yük. Müh. Yeşim ÇELİKOĞLU

**F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Hidrolik Programında
Hazırlanan**

DOKTORA TEZİ

Tez Savunma Tarihi : 23/Haziran/1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL (YTÜ)

Jüri Üyeleri : Prof. Dr. M. Sedat KAPDAŞLI (İTÜ)

Prof. Dr. M. Emin KARAHAHAN (İTÜ)

[Handwritten signatures and stamps]

79164

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ	i
ŞEKİL LİSTESİ	iii
ÖNSÖZ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. KİYILARDA VE AKARSULARDA GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİM	1
1.1 Giriş	1
1.2 Akarsularda Granülometrik Değişimin İncelenmesi	9
1.2.1 Akarsularda meydana gelen boyuna granülometrik değişim	10
1.2.2 Akarsularda meydana gelen enine granülometrik değişim	23
1.3 Kıyılarda Granülometrik Değişim	27
1.4 İncelenecek Problem	41
2. KİYILARDA KATI MADDE HAREKETİ ve GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN ETKİSİNİN MODELLENMESİ	42
2.1 Dalga Etkisinde Katı Madde Hareketinin Başlangıcı	42
2.2 Taban Hareket Mekanizmasının Granülometrik Değişimin Oluşumu Üzerindeki Etkisi	51
2.2.1 Dalga yaklaşım açısının etkisi	51
2.2.2 Başlangıç kıyı eğiminin etkisi	52
2.2.3 Dane çapının etkisi	52
2.2.4 Dane biçiminin etkisi	54
2.2.5 Kıyı üzerindeki danelerin başlangıçtaki konumunun etkisi	54
2.3 Kıyıya Dik ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımı	55
2.4 Kıyı Profilleri	56
2.5 Granülometrik Değişimin Etkisi ve Boyut Analizi Yardımıyla Olaya Etkili Parametrelerin Belirlenmesi	59
2.5.1 Etkili parametrelerin belirlenmesi	59
2.5.2 Boyut analizi	59
3 DENEYSEL ÇALIŞMA	64
3.1 Deney Sistemi	64
3.2 Katı Madde Özellikleri ve Granülometri	66
3.3 Ölçüm Sistemleri	67
3.3.1 Dalga ölçümleri	67
3.3.2 Granülometrik Ölçümler	69

3.3.2.1	Elekt analizi	69
3.3.2.2	Kıyı profilleri üzerindeki taban malzemesinin granülometrik değişiminin ölçümü	69
3.3.3	Taban profili ölçümleri	73
3.4	Dalga Karakteristikleri	76
3.5	İzlenen Deney Prosedürü	77
4.	GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ ve DEĞERLENDİRME	78
4.1	Kıyıya Dik Granülometrik Değişimin İncelenmesi	78
4.1.1	Kıyı profilleri boyunca granülometrik değişimin belirlenmesi	78
4.1.2	Taban malzemesi ve dalga karakteristiklerinin granülometrik değişim üzerindeki etkilerinin incelenmesi	84
4.1.2.1	Rölatif dane çapının granülometrik değişime etkisi	84
4.1.2.2	Periyot parametresinin granülometrik değişime etkisi	87
4.1.2.3	Rölatif dalga yüksekliğinin granülometrik değişime etkisi	92
4.1.2.4	Dane Reynolds sayısının granülometrik değişime etkisi	94
4.2	Kıyı Boyu Granülometrik Değişimin İncelenmesi	96
4.2.1	Kıyı profilleri boyunca granülometrik değişimin belirlenmesi	96
4.2.2	Taban malzemesi ve dalga karakteristiklerinin granülometrik değişim üzerindeki etkilerinin incelenmesi	102
4.2.2.1	Rölatif dane çapının granülometrik değişime etkisi	102
4.2.2.2	Periyot parametresinin granülometrik değişime etkisi	102
4.2.2.3	Rölatif dalga yüksekliğinin granülometrik değişime etkisi	107
4.2.2.4	Dane Reynolds sayısının granülometrik değişime etkisi	108
5.	GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN KATI MADDE TAŞINIMINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ	111
5.1	Katı Madde Taşınımının Modellenmesi	111
5.2	Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı	120
5.3	Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımı	126
5.4	Granülometrik Değişimin Katı Madde Taşınımı ve Kıyı Morfolojisine Etkisi	137
6.	SONUÇLAR ve ÖNERİLER	138
	KAYNAKLAR	142
	Ek 1 Fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyıya dik)	147
	Ek 2 Normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyıya dik)	177
	Ek 3 Fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyı boyu)	179

Ek 4 Normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyı boyu)	201
Ek 5 Rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi (Kıyı boyu)	203
Ek 6 Aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda rölatif standart sapma ile periyot parametresi ile değişimi (Kıyı boyu)	209
Ek 7 Rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi (Kıyı boyu)	215
Ek 8 Rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi (Kıyı boyu)	221
Ek 9 Kırılan dalga karakteristikleri	227
�ZGE�Mİş	228



SİMGE LİSTESİ

A	Yörüngesel hareketin genliği
B	Hareketli tabaka genişliği
c_A	Ek su kütlesi katsayısı
c_D	Direnç katsayısı
c_F	Şekil direnci katsayısı
c_{gb}	Kırılan dalganın grup dalga yayılma hızı
c_L	Kaldırma kuvveti katsayısı
c_M	Atalet katsayısı
c_S	Sürtünme direnci katsayısı
d	Dane çapı
d_{50}	Medyan (katı maddenin %50'sinin geçtiği elek çapı)
d_i	i sınıflı malzemenin dane çapı
d_m	Ortalama çap
d_{maks}	Taşınan malzemenin maksimum dane çapı
d_s	Sınır dane çapı
E	Enerji akısı
F	Kuvvet
f_i	i sınıflı malzemenin taşınma yüzdesi
f_w	Dalga sürtünme katsayısı
g	Yerçekimi ivmesi
h	Su derinliği
H_0	Derin su dalga yüksekliği
H_b	Kırılan dalga yüksekliği
h_{bs}	Belirgin dalganın kırılma derinliği
h_t	Hareketli tabaka kalınlığı
I	Hidrolik gradyan
KC	Keulegan Carpenter sayısı
L_0	Derin su dalga uzunluğu
L_d	Hareketli tabaka kalınlığı
M	Yukarı kıyıdan aşağı kıyıya kadar dikkate alınan kesit sayısı
n	Porozite
N	Toplam sınıf sayısı
P_i	i sınıflı malzemenin orijinal tabanda bulunma yüzdesi
P_{it}	i sınıflı malzemenin taşınan malzemede bulunma yüzdesi
Q_{gt}	Bir kesitte meydana gelen katı madde debisinin kütle cinsinden değeri
Q_m	Katı madde debisi (model)
Q_0	Katı madde debisi (ölçüm)
Q_t	Bir kesitte meydana gelen katı madde debisi
q_t	Toplam birim katı madde debisi
S	Katı madde taşınım doğrultusu
s	Taban eğimi (=tan β)
S_0	Granülometrik değişim katsayısı
$S_{y/x}$	Standart hata
T	Dalga periyodu
t	Zaman

u^*	Kayma hızı
u_{kr}^*	Kritik kayma hızı
u_{ow}^*	Dalga-akıntı etkisinde maksimum kayma hızı
u_w^*	Dalga etkisinde maksimum kayma hızı
V	Hareketli tabaka hacmi
V_b	Boşluk hacmi
V_d	Danelerin kapladığı hacim
V_t	Bir kesitte taşınan toplam malzeme hacmi
x	Yatay koordinat eksen (akım boyunca)
y	Düşey koordinat eksen (akıma dik)
z	Taban kotu
α	Dalga ortogonalı ile kıyı normali arasındaki açı
α_b	Dalga kırılma açısı
α_4	Deneylerden elde edilen düzeltme katsayısı
α_ϕ	ϕ birim ölçeğinde çarpıklık
β	ϕ birim ölçeğinde kurtosis
β	Kıyı şevinin yatayla yaptığı açı
ϕ	Dane boyut dağılımı için kullanılan birim ölçek
ϕ	İçsel sürtünme açısı
γ_s	Dane birim hacim ağırlığı
λ_0	Danenin geometrisiyle ilgili katsayı
θ	Shields parametresi
ρ	Suyun özgül kütlesi
ρ_s	Katı madde özgül kütlesi
σ	Katı maddenin standart sapması
σ_ϕ	ϕ birim ölçeğinde katı maddenin standart sapması
τ	Taban kaynma gerilmesi
τ_{kr}	Kritik kayma gerilmesi
ω	Açısal frekans
ξ	Surf parametresi
ψ	Hareketlilik parametresi
Δ	Katı maddenin su altındaki özgül kütlesi
ΔP	Bir kesitte bulunan bütün dane gruplarında orijinal tabana göre meydana gelen toplam değişim miktarı (=taşınma yüzdesi)
ΔP_i	Bir kesitteki i sınıflı dane grubunda orijinal tabana göre meydana gelen değişim miktarı (=taşınma yüzdesi)

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1	Kıyı malzemesinin analizi	4
Şekil 1.2	Kıyı boyu katı madde taşınımı	6
Şekil 1.3	Taban malzemesi karışımı için süreklilik denklemi	14
Şekil 1.4	Akarsuyun farklı kesitlerinde medyanın ve taban eğiminin anlık değişimi	15
Şekil 1.5	A-Çok uzun bir periyot boyunca medyanın gelişimi B-Çok uzun bir periyot boyunca boyuna profil	16
Şekil 1.6	Eğimin bir fonksiyonu olarak medyan	17
Şekil 1.7	Niger akarsuyu boyunca medyanın dağılımı	17
Şekil 1.8	Mississippi akarsuyunun kum boyutu değişimi	18
Şekil 1.9	Rio Grande boyunca taban eğiminin değişimi	18
Şekil 1.10	Rio Grande boyunca dane boyutu dağılımları	19
Şekil 1.11	Rio Grande boyunca geometrik standart sapmanın dağılımı	19
Şekil 1.12	Kanal geometrisi	20
Şekil 1.13	Log-normal olarak dağılmış malzeme için σ_g 'nin bir fonksiyonu olarak d_m ve d_{50} arasındaki oran	21
Şekil 1.14	Rio Grande akarsuyundan elde edilen toplam boyut frekans eğrileri	21
Şekil 1.15	A- Granülometrik değişim B- Granülometrik değişim	22
Şekil 1.16	Katı madde debisinin boyuna değişimi	22
Şekil 1.17	Jutland'da kıvrımlı bir kanaldaki ortalama dane boyutunun enine değişimi	23
Şekil 1.18	Bir akarsu kıvrımında enine granülometrik değişimi	24
Şekil 1.19	Deney düzeneği	30
Şekil 1.20	Taban boyunca dane boyut dağılımı	34
Şekil 1.21	Taban topografyasındaki değişim (1. deney)	34
Şekil 1.22	Taban topografyasındaki değişim (2. deney)	34
Şekil 1.23	Taban boyunca ortalama çap dağılımı (2.deney)	34
Şekil 1.24	β 'nin τ_c/τ_w ile değişimi	38
Şekil 2.1	Küresel bir dane üzerine etkiyen kuvvetler	42
Şekil 2.2	$\theta_{2.5}$ ve θ arasındaki bağıntı	49
Şekil 2.3	Eğimli taban halinde bir katı madde danesine etkili kuvvetler	51
Şekil 2.4	Dalga yaklaşım açısının etkisi	52
Şekil 2.5	Başlangıç kıyı eğiminin etkisi	53
Şekil 2.6	Dane çapının etkisi	53
Şekil 2.7	Dane biçiminin etkisi	54
Şekil 2.8	Danenin başlangıç yerinin etkisi	55
Şekil 2.9	Kıyı profilleri	56
Şekil 2.10	Kıyı profilleri	59
Şekil 3.1	Deney sisteminin genel görünümü	64
Şekil 3.2	Deney sistemi	65
Şekil 3.3	A malzemesinin granülometrik değişimi	67
Şekil 3.4	B malzemesinin granülometrik değişimi	67

Şekil 3.5	Dalga probunun genel görünümü	68
Şekil 3.6	Dalga ölçümünün genel şeması	68
Şekil 3.7	Kıyıya dik granülometri ölçüm kesitleri	71
Şekil 3.8	Kıyı boyu granülometri ölçüm kesitleri	72
Şekil 3.9	Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel şeması	74
Şekil 3.10	Profil kaydedici probunun detayı	74
Şekil 3.11	HR Wallingford dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel görünümü	75
Şekil 4.1	A malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.8$ cm, $T=1.6$ s)	79
Şekil 4.2	B malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.8$, $T=1.6$ s)	80
Şekil 4.3	Fırtına profili durumunda granülometrik değişimin görünümü	81
Şekil 4.4	A malzemesi için normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)	82
Şekil 4.5	B malzemesi için normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)	83
Şekil 4.6	A malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi	85
Şekil 4.7	B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi	86
Şekil 4.8	$T=1.6$ s için A ve B malzemelerinin karşılaştırılması	87
Şekil 4.9	A malzemesi için rölatif standart sapmanın boyutsuz periyot parametresi ile değişimi	88
Şekil 4.10	B malzemesi için rölatif standart sapmanın boyutsuz periyot parametresi ile değişimi	89
Şekil 4.11	A malzemesi için bütün periyotların bir arada gösterilmesi	90
Şekil 4.12	B malzemesi için bütün periyotların bir arada gösterilmesi	90
Şekil 4.13	A ve B malzemelerinin aynı dalga periyodunda karşılaştırılması	91
Şekil 4.14	A malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi	92
Şekil 4.15	B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi	93
Şekil 4.16	$T=1.6$ s için A ve B malzemelerinin karşılaştırılması	94
Şekil 4.17	A malzemesi için rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi	95
Şekil 4.18	B malzemesi için rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi	96
Şekil 4.19	A malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)	97
Şekil 4.20	B malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)	98
Şekil 4.21	A malzemesi için normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)	100

Şekil 4.22	B malzemesi için normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)	101
Şekil 4.23	A malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi ($T=1.6$ s)	103
Şekil 4.24	B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi ($T=1.6$ s)	104
Şekil 4.25	A malzemesi için aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda rölatif standart sapma ile periyot parametresinin değişimi ($H_0=10$ cm)	105
Şekil 4.26	B malzemesi için aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda rölatif standart sapma ile periyot parametresinin değişimi ($H_0=10$ cm)	106
Şekil 4.27	A malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi ($T=1.6$ s)	107
Şekil 4.28	B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi ($T=1.6$ s)	108
Şekil 4.29	A malzemesi için rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi ($T=1.2$ s)	109
Şekil 4.30	B malzemesi için rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi ($T=1.2$ s)	110
Şekil 5.1	Hareketli tabaka	113
Şekil 5.2	Hareketli tabaka kalınlığının belirlenmesi	115
Şekil 5.3	Rölatif tabaka kalınlığının değişimi	117
Şekil 5.4	Tipik fırtına ve normal kıyı profilleri	120
Şekil 5.5	Kıyı profillerinin değişimi	122
Şekil 5.6	Kıyıya dik taşınan katı madde debisinin enerji akısı ile değişimi (B Malzemesi)	123
Şekil 5.7	Kıyıya dik taşınan katı madde debisinin enerji akısı ile değişimi (A Malzemesi)	123
Şekil 5.8	Kıyıya dik taşınan katı madde debisinin enerji akısı ile değişimi (B Malzemesi)	124
Şekil 5.9	Model ve ölçülen kıyıya dik katı madde debilerinin enerji akısı ile değişimi	124
Şekil 5.10	Model ile ölçülen kıyıya dik katı madde debilerinin değişimi	125
Şekil 5.11	Kıyıya dik taşınan malzeme özelliklerinin enerji akısı ile değişimi	126
Şekil 5.12	Modelden elde edilen katı madde debilerinin Kamphuis (1991) ile karşılaştırılması (A malzemesi)	128
Şekil 5.13	Modelden elde edilen katı madde debilerinin Kamphuis (1991) ile karşılaştırılması (B malzemesi)	128
Şekil 5.14	Modelden elde edilen katı madde debilerinin CERC (1984) ile karşılaştırılması (A malzemesi)	129
Şekil 5.15	Modelden elde edilen katı madde debilerinin CERC (1984) ile karşılaştırılması (B malzemesi)	130
Şekil 5.16	Kıyı boyu taşınan model debilerinin enerji akısı ile değişimi (A Malzemesi)	130

Şekil 5.17	Kıyı boyu taşınan model debilerinin enerji akısı ile değişimi (B Malzemesi)	131
Şekil 5.18	Kıyı boyu taşınan model debilerinin A ve B malzemeleri için enerji akısı ile değişimi	132
Şekil 5.19	Model, Kamphuis (1991) ve CERC'in (1984) bir arada karşılaştırılması	133
Şekil 5.20	Yukarı kıyıda taşınan malzeme özelliklerinin enerji akısıyla değişimi	134
Şekil 5.21	İncelme katsayısının (K) değişimi	134
Şekil 5.22	Yukarı kıyıda taşınan malzemenin maksimum çapının enerji akısı ile değişimi	135
Şekil 5.23	Yukarı kıyıda taşınan malzemenin maksimum çapının enerji akısı ile değişimi	136
Şekil Ek 1	Fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyıya dik)	147
	A malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)	147
	A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)	148
	A malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)	149
	A malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)	150
	A malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)	151
	A malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)	152
	A malzemesi ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)	153
	A malzemesi ($H_0=15.8$ cm, $T=1.2$ s)	154
	A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)	155
	A malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)	156
	A malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)	157
	A malzemesi ($H_0=16.4$ cm, $T=1.6$ s)	158
	A malzemesi ($H_0=10.6$ cm, $T=2$ s)	159
	A malzemesi ($H_0=13.1$ cm, $T=2$ s)	160
	A malzemesi ($H_0=14.2$ cm, $T=2$ s)	161
	B malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)	162
	B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)	163
	B malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)	164
	B malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)	165
	B malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)	166
	B malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)	167
	B malzemesi ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)	168
	B malzemesi ($H_0=15.8$ cm, $T=1.2$ s)	169
	B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)	170
	B malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)	171
	B malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)	172
	B malzemesi ($H_0=16.4$ cm, $T=1.6$ s)	173
	B malzemesi ($H_0=10.6$ cm, $T=2$ s)	174
	B malzemesi ($H_0=13.1$ cm, $T=2$ s)	175

	B malzemesi ($H_0=14.2$ cm, $T=2$ s)	176
Şekil Ek 2	Normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyıya dik)	177
	A malzemesi ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)	177
	B malzemesi ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)	178
Şekil Ek 3	Fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyı boyu)	179
	A malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)	179
	A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)	180
	A malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)	181
	A malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)	182
	A malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)	183
	A malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)	184
	A malzemesi ($H_0=5.8$ cm, $T=1.6$ s)	185
	A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)	186
	A malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)	187
	A malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)	188
	A malzemesi ($H_0=10.6$ cm, $T=2$ s)	189
	A malzemesi ($H_0=13.1$ cm, $T=2$ s)	190
	B malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)	191
	B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)	192
	B malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)	193
	B malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)	194
	B malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)	195
	B malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)	196
	B malzemesi ($H_0=5.8$ cm, $T=1.6$ s)	197
	B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)	198
	B malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)	199
	B malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)	200
Şekil Ek 4	Normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyı boyu)	201
	A malzemesi ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)	201
	B malzemesi ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)	202
Şekil Ek 5	Rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi (Kıyı boyu)	203
	A malzemesi ($T=1$ s)	203
	A malzemesi ($T=1.2$ s)	204
	A malzemesi ($T=2$ s)	205
	B malzemesi ($T=1$ s)	206
	B malzemesi ($T=1.2$ s)	207
	B malzemesi ($T=2$ s)	208
Şekil Ek 6	Aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda rölatif standart sapma ile periyot parametresi ile değişimi (Kıyı boyu)	209
	A malzemesi ($H_0= 5$ cm)	209

	A malzemesi ($H_0 = 7.5$ cm)	210
	A malzemesi ($H_0 = 12.5$ cm)	211
	B malzemesi ($H_0 = 5$ cm)	212
	B malzemesi ($H_0 = 7.5$ cm)	213
	B malzemesi ($H_0 = 12.5$ cm)	214
Şekil Ek 7	Rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi (Kıyı boyu)	215
	A malzemesi ($T=1$ s)	215
	A malzemesi ($T=1.2$ s)	216
	A malzemesi ($T=2$ s)	217
	B malzemesi ($T=1$ s)	218
	B malzemesi ($T=1.2$ s)	219
	B malzemesi ($T=2$ s)	220
Şekil Ek 8	Rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi (Kıyı boyu)	221
	A malzemesi ($T=1$ s)	221
	A malzemesi ($T=1.6$ s)	222
	A malzemesi ($T=2$ s)	223
	B malzemesi ($T=1$ s)	224
	B malzemesi ($T=1.6$ s)	225
	B malzemesi ($T=2$ s)	226

ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca yakın ilgi ve desteğini esirgemeyen ve akademik çalışmalarımın bütün safhalarında göstermiş olduğu bilimsel katkılarından her zaman yararlandığım çok kıymetli hocam Sayın Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarım süresince desteğiyle birlikte görüş ve tavsiyelerinden de faydalandığım hocam Sayın Prof. Dr. Sedat KAPDAŞLI'ya teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca Hidrolik ve Kıyı-Liman Laboratuvarındaki çalışmalarım süresince, yardımlarından dolayı Hidrolik Anabilim Dalı elemanlarına teşekkür ederim.

Yapı Malzemeleri Laboratuvarında çalışmama olanak sağlayan Sayın Doç. Dr. Fevziye AKÖZ'e ve yardımlarından dolayı Yapı Malzemeleri Anabilim Dalı elemanlarına teşekkür ederim.

Bu çalışmamın gerçekleştirilmesinde, desteklerinden dolayı YTÜ Araştırma Fonu Başkanlığı ve Gülsan İnşaat ve Ticaret Ltd. Şti.'ne de teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca gösterdikleri destekten dolayı eşim Levent ÇELİKOĞLU'na ve aileme teşekkür ederim.

Yeşim ÇELİKOĞLU

Nisan, 1998

ÖZET

Dünya yüzeyindeki deniz kıyıları ulaşım, ticaret, turizm gibi çok farklı amaçlar için kullanılmaktadır. Bu da kıyılardan maksimum faydanın sağlanmasını mümkün kılacak yapılaşmanın gereksinimini doğurmuştur. Ancak kıyılardaki yapıların tasarımlarının doğa ile uyumlu olabilmesi ve çevresel etkenler karşısında sağlıklı olarak ayakta kalabilmeleri için, kıyı bölgesini jeomorfolojik, ekolojik, hidrodinamik yapılarıyla tanımak ve tanımlamak gerekmektedir.

Kıyı bölgesinde dalga ve akıntı etkisindeki deniz tabanı hareketi; deniz yapılarının stabilite, kıyı erozyonu ve limanların kumlanmaları için araştırılması gereken önemli kıyı mühendisliği problemlerinden biridir.

Kıyılarda katı madde kaynaklarını, akarsular, kıyı erozyonu ve açık deniz tabanından taşınan malzemeler oluşturmaktadır. Bu malzemeler dalga ve/veya akıntı etkisinde kıyıda çeşitli formasyonlarda şekillenirler. Kıyı morfolojisi dalga ve/veya katı madde etkileşimi ile yapılanmaktadır.

Dalgaların kıyıya dik veya belli bir açıyla ulaşmaları hallerine göre katı madde kıyıya dik veya kıyı boyunca taşınmaktadır. Bu taşınım dalga iklimine bağlı olarak kıyı çizgisini erozyona uğratacak biçimde kıyıdan açığa ya da kıyıda yığılmaya neden olacak şekilde açıktan kıyıya doğru oluşmaktadır. Denizlerde genellikle uzun dönemde kıyıya katı madde taşınımının sağlanmasına neden olan dalgalar, bir fırtına sırasında getirdikleri bu malzemenin çok daha fazlasını açığa taşıyabilmektedirler. Bu durum kıyıların erozyona uğramasına sebep olmaktadır.

Kıyılarda dalga etkisinde meydana gelen bu taban hareketi ile taban malzemesinin özelliklerine de bağlı olarak belli çaptan danelerin belirli kıyı kesitlerinde bir düzen içerisinde yoğunlaşarak konumlandıkları görülmüştür. Bugüne kadar kıyılarda katı madde hareketi ile ilgili yapılan çalışmalar genellikle taban malzemesi taşınımını sadece dalga ve taban malzemesi özelliklerine bağlı olarak vermişlerdir. Ancak kıyılarda taşınan malzemenin oluşturduğu bu granülometrik yapılanmanın nedeni ve bunun taşınımına olan etkisi detaylı bir biçimde dikkate alınmamıştır. Örneğin, kıyıda büyük çaplı taban malzemelerinin neden olacağı zırhlamanın katı madde taşınımını engelleyeceği düşünülebilir.

Bu tezdeki çalışmanın amacı, yukarıda bahsedilen kıyılardaki granülometrik yapılanmanın nedeni ve bunun katı madde taşınımına dolayısıyla kıyı morfolojisine olan etkisinin araştırılmasıdır. Bunun için deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kıyı profilleri ve kıyı boyunca granülometrik yapılanma belirlenmiştir. Bu granülometrik yapılanmanın esas alındığı katı madde taşınım modeli geliştirilmiş ve mevcut modellerle karşılaştırılmıştır. Ayrıca elde edilen sonuçların kıyı morfolojisinin hidrodinamik yapısı üzerine olan etkileri de tartışılmıştır.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

Granülometrik Değişim, Kıyı Profili, Kıyı, Katı Madde, Kıyı Morfolojisi, Kıyı Çizgisi, Hareketli Taban

ABSTRACT

The world coasts are used for various purposes as transport, trade and tourism. This led to a need of constructing that enables a maximum usage of the coasts. But the projects of structures on the coasts must be friendly with the nature and be strong enough to resist against the environmental effects and the coastal regions must be well known and well defined by its morphologic, ecologic and hydrodynamic features.

On the coastal region, sea bed movement under wave and/or current for stability of the structures, beach erosion, harbor filling and etc. is one of the important coastal engineering problems.

The origin of sediments at the coasts are transported materials by rivers, beach erosion and materials carried from offshore. Sediments create different formations by the influence of wave and/or current. Coastal morphology depends on interaction of wave and sediment.

When the approaching wave crests cross the depth contours at an angle or parallel to the contours, the sediments are carried in the alongshore direction and in the normal or onshore-offshore direction. Depending on the wave climate, the sediment characteristics and the relative size of the coastal system when the sand movement is to offshore direction it causes beach erosion, or is to onshore direction it causes beach accretion. Waves, which generally in long term cause sediment transport to the shores, during storms sweep off more than what they had brought. This causes the shore erosion.

It is observed that grains of the same diameter are situated at certain deposited system at specific coast sections depending on the bed movements under the waves at the coasts and the characteristics of the bed materials. Up to today the researches on coastal sediment transports showed that sediment transportation was dependent upon only wave and bed material characteristics. But the reason for the grain sorting by the bed material transported at the coasts and the effect of it to the transportation was not investigated in a detailed manner. For example, armoring of the bed material will affect the sediment transportation.

Aim of this thesis is the investigation of grain sorting on the coasts and its effect on sediment transport and coastal morphology. Therefore an experimental study were carried out. At the result of the study, grain sorting over the beach profiles and along the coast was determined. Sediment transport model based on grain sorting was developed and compared with present models. Also the results obtained were discussed effects on hydrodynamic structure of coastal morphology.

KEYWORDS

Sorting, Beach Profile, Beach, Sediment, Coastal Morphology, Coastline, Movable Bed.

1. KIYILARDA VE AKARSULARDA GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİM

1.1 Giriş

Yakın kıyı bölgesindeki katı madde kaynağının sebebi akıntı ve dalga hareketleridir. Kaba malzemelerden oluşan sahillere daha nadiren rastlanmasına rağmen, kıyıların çoğunlukla ince malzemelerden meydana geldiği gözlenmiştir. Kıyıların katı madde kaynaklarının başlıcaları ise şunlardır (Bird, 1984).

1- Akarsular; Akarsular tarafından kıyıya doğru taşınan katı madde akarsuyun denize açılan ağzında birikir ve daha sonra bu katı madde dalga ve/veya akıntı tarafından kıyı çizgisi boyunca ve/veya açığa doğru taşınabilir. Akarsulardan taşınan katı madde kıyı boyunca yayılarak sahillerin yenilenmesine de yardımcı olabilmektedir.

2- Kıyı erozyonu; Rüzgar ve dalga etkisiyle kıyıların jeolojik özelliklerine bağlı olarak kıyı boyunca veya yerel olarak erozyon nedeniyle meydana gelen katı madde kaynağıdır.

3- Açık deniz; Açık deniz tabanından kıyıya doğru taşınan malzemelerdir. Bu hareket deniz tabanının topografyasına, dalga şartlarına, katı maddenin boyutuna, şekline, özgül kütlesine ve deniz altındaki canlıların mevcudiyetine bağlıdır. Deniz tabanındaki katı maddenin 18 m derinlikten kıyıya doğru taşınabildiği gözlenmiştir.

Genelde kumsal sahillere kısmen kıyı erozyonundan, kısmen de açık deniz tabanından kıyıya doğru taşınan malzemelerden meydana gelmişlerdir. Buna ilaveten özellikle bitki örtüsünün mevcut olmadığı sahillerde rüzgar etkisiyle karadan denize doğru sürüklenerek tekrar sahile taşınan malzemeler de mevcuttur. Açık deniz ve yakın kıyı erozyonu ile daha önce bahsedilen kaynaklardan sağlanan malzemelerle oluşturulan kıyılarda bir dinamik denge söz konusudur. Yani açık deniz ve karadan gelen malzemeler ile kıyı erozyonu nedeniyle kıyıdan açığa taşınan malzemeye karşılık kıyı çizgisinde bir yenilenme meydana gelebilecektir.

Kıyılarda katı madde hareketinde diğ er bir önemli etki de yeraltı su seviyesinin mevcut durumudur. Yeraltı su tablasının yeterince yüzeye yakın olması durumunda kıyılarda erozyonun daha kolay meydana geldiği bilinmektedir.

Araştırmacıların kıyı dinamiği ile ilgili yapmış oldukları çalışmalar incelendiğinde bugüne kadar tam olarak doğru bir modelin gerçekleştirilemediği görülmektedir. Çünkü kıyı dinamiğine etkili parametreler son derece rasgele karaktere sahiptirler ve kıyı dinamiğinde çok fazla sayıda etkili parametre vardır.

Kumsal sahiller çoğunlukla kuvars, buna ilaveten de feldispat, mika ve çeşitli oranlarda ağır minerallerden meydana gelen bir malzeme karışımına sahiptir. Kum, kayalık sahillerin aşınmasıyla veya akarsu su toplama havzalarından getirilen mineral karışımlarından meydana gelmektedir. Ayrıca istiridye veya mercan parçalarından oluşan kalkerli kumlar, okyanuslarda mevcut adalarda ve tropik kıyılarda daha yaygın olarak bulunmaktadır. Ancak benzer malzemelere Akdeniz sahillerinde de sıkça rastlanabilmektedir. Bu tip malzemelerin kaynağının genellikle açık deniz olduğu belirtilmiştir. Diğ er bir malzeme tipi de volkanik adalar üzerinde başlıca kaynağını volkanik kayalardan alan siyah renkli kumsal sahillerdir. O halde özetlersek yerli kaya parçasının, erozyonun ve akarsuların getirdiği alüviyal malzeme, kıyıda kıyı boyunca farklı malzemelerin oluşmasına neden olur. Dalga hareketi de mevcut çakıl ve kum danelerin aşınarak küçülmesine neden olmaktadır. Böylece çakıllar yuvarlak bir forma sahip olmakta veya daha yassı bir şekil alabilmektedirler. Dolayısıyla yuvarlak ve cilalı hale gelen kum ve çakıl malzemeler daha kolay bir hareket kabiliyetine de sahip olabilmektedir.

Kıyılarda katı madde özelliklerinin tanımlanmasında Wentworth  l eği kullanılabilir. Bu  l ek  izelge 1.1’de gösterilmiştir. Wentworth sınıflandırması genellikle kıyı mühendisliğinde kullanılmaktadır. 2’nin kuvvetleri şeklinde Krumbein (1934) tarafından ϕ birim  l eği ,

$$\phi = -\log_2 d = -3.322 \log_{10} d \quad (1.1)$$

şeklinde tanımlanmıştır. ϕ ölçeği dane boyut dağılımı için kullanılmaktadır. Burada d mm. cinsinden dane çapını göstermektedir.

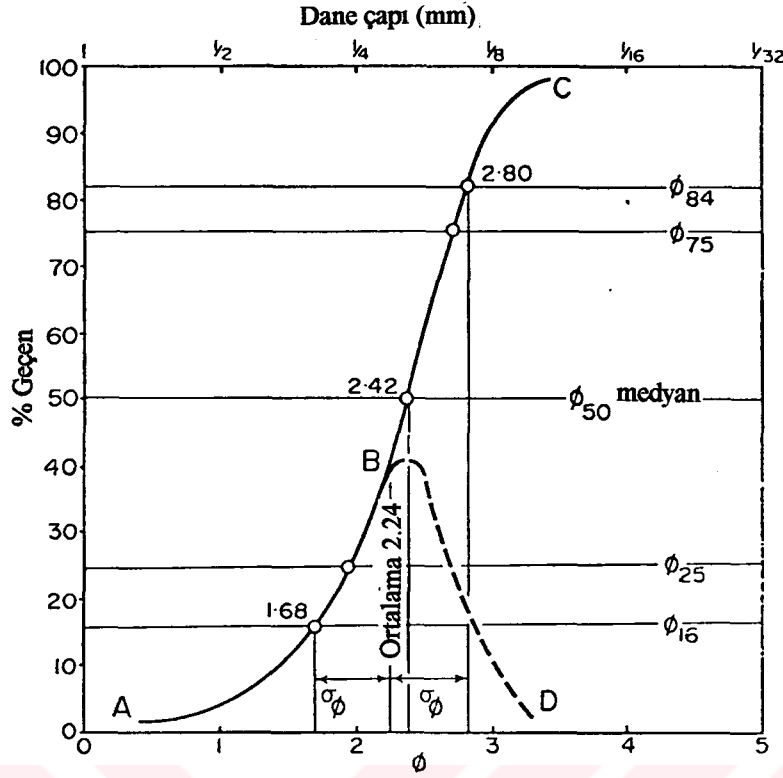
Çizelge1.1 Wentworth ölçeğine göre katı maddenin sınıflandırılması (Bird,1984)

Wentworth sınıflandırması	Dane Çapı (mm)	Ölçek
Kaya	>256	- 8 ϕ altında
Kaba çakıl	64 -256	- 6 ϕ ~ -8 ϕ
Orta çakıl	4 - 64	- 2 ϕ ~ - 6 ϕ
İnce çakıl	2 - 4	- 1 ϕ ~ -2 ϕ
Çok kaba kum	1 -2	0 ϕ ~ -1 ϕ
Kaba kum	1/2 - 1	1 ϕ ~ 0 ϕ
Orta kum	1/4 -1/2	2 ϕ ~ 1 ϕ
İnce kum	1/8 -1/4	3 ϕ ~ 2 ϕ
Çok ince kum	1/16 -1/8	4 ϕ ~ 3 ϕ
Silt	1/256 -1/16	8 ϕ ~ 4 ϕ
Kil	<1/256	8 ϕ üstünde

Katı malzemelerin dane boyutlarının belirlenmesi elek analizi yardımıyla yapılabilir. Bu analize göre kuru ağırlığı bilinen katı madde elek çapı küçültülerek ardarda eleklerden geçirildiğinde kuru malzemenin granülometrik değişimi belirlenmiş olur. Şekil 1.1’de bir kumsala ait katı madde dane boyutlarının özelliklerini tanımlayan parametrelerle birlikte tipik granülometrik değişim örnek olarak verilmiştir. Bu şekilde;

$$\begin{aligned}
 \text{ortalama,} & \quad \phi_m = (\phi_{16} + \phi_{84})/2 \\
 \text{medyan,} & \quad \phi_{50} \\
 \text{standart sapma,} & \quad \sigma_\phi = (\phi_{84} - \phi_{16})/2 \\
 \text{çarpıklık,} & \quad \alpha_\phi = (\phi_m - \phi_{50})/\sigma_\phi \\
 \text{kurtosis,} & \quad \beta = \frac{0.5(\phi_{95} - \phi_5) - \sigma_\phi}{\sigma_\phi}
 \end{aligned}$$

olarak tanımlanmıştır.



Şekil 1.1 Kıyı malzemesinin analizi (Bird, 1984)

Standart sapma ortalamadan saçılma mertebesini göstermektedir (Inman, 1952). ϕ_{84} , ϕ birimindeki katı madde boyutunun ağırlıkça % 84'ten ince olan kısmını göstermektedir. Katı madde boyutu lognormal dağılıma sahip ise σ_ϕ , ϕ biriminde katı maddenin standart sapmasıdır. Katı maddenin granülometrik değişiminin üniform olması için $\sigma_\phi = 0$, pratikte katı maddenin iyi bir granülometrik değişime sahip olması için $\sigma_\phi \cong 0.5$ olmalıdır (CERC, 1984).

Horikawa (1978) kıyılarda granülometrik değişimi Trask'ın (1932) önerdiği biçimde tanımlamıştır. Buna göre granülometrik değişim katsayısı adı ile

$$S_0 = \sqrt{\frac{d_{75}}{d_{25}}} \quad (1.2)$$

ifadesini verilmiştir. Bu katsayı ϕ birim ölçeği cinsinden

$$\log_2 S_0 = 0.675 \sigma_\phi \quad (1.3)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Üniform malzemelerde $S_0 = 1$, oldukça iyi granülometrik değişime sahip kumsallarda ise $S_0 = 1.25$ olarak verilmektedir.

ϕ ölçeği ile tanımlanan bir malzemeye ait granülometrik dağılımın normal dağılıma uyduğu görülmüştür. Bunun sonucunda karakteristik çapları belirleyen eşitlikler malzemeye ait standart sapmaya bağlı olarak aşağıdaki gibi yazılmıştır (Van Rijn, 1993).

$$\begin{aligned} d_{10} &= \sigma_s^{-1.3} d_{50} \\ d_{16} &= \sigma_s^{-1} d_{50} \\ d_{84} &= \sigma_s d_{50} \\ d_{90} &= \sigma_s^{1.3} d_{50} \\ \sigma_s &= 0.5 (d_{50}/d_{16} + d_{84}/d_{50}) \end{aligned} \quad (1.4)$$

Burada d_{10} malzemenin %10'unun geçtiği elek çapı, d_{16} malzemenin %16'sının geçtiği elek çapı, d_{50} malzemenin %50'sinin geçtiği elek çapı, d_{84} malzemenin %84'ünün geçtiği elek çapı, d_{90} malzemenin %90'ının geçtiği elek çapı, σ_s malzemeye ait standart sapmadır.

Kıyılarda mevcut katı maddelerin kaba malzemelerden meydana gelmesi durumunda kıyı eğiminin daha büyük olduğu gözlenmiştir. Bunun en önemli nedeninin kaba malzemenin permeabilitesinin daha büyük olmasıdır (Çizelge 1.2) (Bird, 1984).

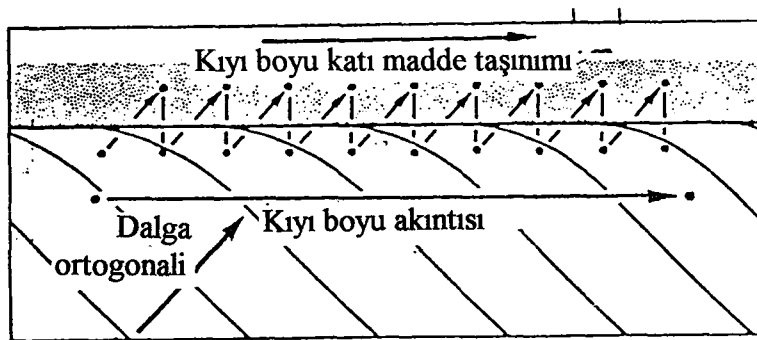
Dalga etkisiyle katı madde kıyıya doğru taşındıktan sonra geri dönüş akımıyla da bu taşınan malzemenin bir kısmı açığa doğru taşınmaktadır. Geri dönüş akımının taşıma gücü ile açığa doğru daha kolay taşınan ince malzeme, kıyının daha küçük bir eğim ile yapılanmasına neden olur.

Herhangi bir kıyıya bir taraftan belli bir açıyla yaklaşan dalgalar, diğer taraftan yaklaşan dalgalara göre daha güçlü ise bir yönde taşınan malzeme diğer yöndekinden daha fazla olacaktır ve daha zayıf dalgalar daha ince malzemeyi geriye doğru taşıırken daha güçlü dalgalar tarafından kıyıya taşınan kaba malzemeler ise geriye taşınamayacaktır.

Çizelge 1.2 Wentworth ölçeğine göre ortalama kıyı boyu eğimi (Bird, 1984)

Wentworth sınıflandırması	Ortalama kıyı eğimi (°)
Kaba çakıl	24
Orta çakıl	17
İnce çakıl	11
Çok kaba kum	9
Kaba kum	7
Orta kum	5
İnce kum	3
Çok ince kum	1

Kıyıya belli bir açı yaparak ulaşan dalgalar tırmanır ve diyagonal formda sahile yaklaşır daha sonra açığa doğru geri dönüş akımını meydana getirirler. Tabanda bulunan kum ve daha kaba malzeme bu şekilde yaklaşarak kırılan dalgalar yardımıyla granülometrik değişime uğrarlar. Yani kıyı boyunca değişik noktalardan alınan malzemeler elek analizine tabii tutulursa kıyı boyunca birbirinden farklı granülometrik değişimler elde edilebilir. Buna ilaveten yakın kıyı bölgesinde dalgalar tarafından oluşturulan kıyı boyu akıntıları da kıyıya paralel olarak katı madde taşınımına neden olurlar (Şekil 1.2). Bu olay kısaca kıyı boyu katı madde taşınımı olarak bilinmektedir.



Şekil 1.2 Kıyı boyu katı madde taşınımı (Bird, 1984)

Kıyı boyu katı madde hareketi öncelikle tek bir doğrultuyu takip eder ve sonra diğer dalgaların yaklaşım doğrultusuna göre yeni bir taşınım söz konusu olabilir.

Kıyı çizgisi değişiminin esas olarak dalga şartları ve katı madde karakteristiklerine bağlı olduğu bilinmektedir. Fırtına sırasında birkaç saat içerisinde kıyı çizgisi boyunca erozyon meydana gelebilmesine karşılık bu kıyının yenilenme işlemi çok daha uzun bir periyotda gerçekleşebilmektedir. Kıyı profillerinin belirlenmesinde kullanılan herhangi bir katı madde taşınım modelinde gerçekçi bir zaman ölçeği esas etkindir ancak bu dinamik denge profillerinin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır.

Bilindiği gibi katı madde taşınımı yönünden iki aktif bölge tanımlanmaktadır. Bunlar kırılma çizgisi ile kıyı çizgisi arasında kalan surf bölgesi ve kırılma çizgisinin açığında kalan açık deniz bölgesidir. Genellikle genişliği kıyıya gelen dalgaların periyodu ve yüksekliği ile değişse de surf bölgesi, bugüne kadar yapılan çalışmalar yardımıyla iyi bir şekilde tanımlanmıştır. Bununla beraber surf bölgesinin genişliği gelen dalganın ölü deniz veya fırtına dalgası olup olmamasına, deniz tabanını oluşturan malzemenin granülometrisi ile tanımlanan yakın kıyı taban eğimine bağlıdır. Düzensiz dalgalar için kırılma noktası tam olarak tanımlanamamıştır. Büyük dalgalar daha açıkta, küçük dalgalar ise kıyıya daha yakın kırılmaktadır. Böylece kırılmış ve kırılmamış dalgaların, kıyıya doğru dalgaların ilerleme istikameti boyunca olan uzamsal bir dağılımı söz konusu olur. Düzensiz dalgaların meydana getirdiği bu karmaşık durumun ise ortalama bir kırılma hattı tanımlanarak üstesinden gelinmeye çalışılmıştır. Bu hat maksimum dalga yüksekliğinin meydana geldiği yer olarak tariflenebilir. Kapdaşlı ve Ünal (1995) düzensiz dalgaların çoğunlukla kırıldıkları $0.5h_{bs} - h_{bs}$ arasındaki derinliklere sahip bölgeyi kırılma bölgesi şeklinde tanımlamışlardır. Burada h_{bs} belirgin dalganın kırılma derinliğidir. Katı madde taşınımında aktif olan açık deniz bölgesi ise her yönüyle tam olarak anlaşılmamıştır (Kapdaşlı vd., 1993).

Surf bölgesi içinde dalgaların kırılması nedeniyle açığa çıkan dalga enerjisinin kıyı boyu bileşeninin büyük miktarda katı madde taşınımına neden olduğu belirtilmiştir. Bu taşınım dalga kırılması sonucu oluşan türbülans ile askı malzemesi hareketi veya sürüntü malzemesi hareketi şeklinde oluşabilir. Surf bölgesi içinde oluşan kıyı boyu akıntılarının yönü ve şiddeti dalga iklimine bağlı olarak değişir. Kıyı boyu akıntısının herhangi bir sabit noktaya göre geldiği yön “yukarı kıyı” devam ettiği yön ise “aşağı kıyı” olarak isimlendirilir.

Daha önce bahsedilen açık denizden kıyıya katı madde taşınımının nedeni kıyı yönünde kütle taşınım olayının gerçekleşmesinden kaynaklanmaktadır. Özellikle uzun süreli ölü deniz dalgalarında bu olay gerçekleşir. Çok sayıda dalga katarının meydana geldiği fırtına durumunda ise tabanda hareket açık denize doğrudur. Ayrıca fırtına koşullarında şiddeti çok artan türbülans mekanizması ile açık denize doğru taşınım artabilir. Bu oluşumlar içinde insanoğlunun en büyük şansı ise fırtına koşullarının normal koşullara göre çok daha kısa sürmesidir. Bu şekilde kıyı boyunca bir katı madde dengesi sağlanabilir ve sürekli aşınım olmaz. Bu bölge için söylenecek bir başka özellik ise bir enkesit boyunca taban malzemesinin granülometrik değişimidir. En kaba malzeme kırılma çizgisine kadar gelirken ince malzeme açığa doğru çapı küçülerek yayılmaktadır. Bunun sebebi ise bilindiği gibi sığlaşma dolayısıyla dalgaların dikleşmesi ve dalga tepesi altındaki yörüngesel hızların büyük, dalga çukuru altındaki yörüngesel hızların küçük ve açık deniz yönünde olmasıdır. Dalgadan dolayı oluşan taban yakınındaki yörüngesel hızların katı madde hareketine olan etkisi Van Rijn (1989) tarafından da şu şekilde özetlenmiştir.

- Dalgaların kırılmasından önceki durumda kıyıya dik katı madde hareketine neden olan etkiler (Van Rijn,1989) :

1- Dalga hareketinin asimetrisinden dolayı dalga tepeleri altında kıyıya doğru oluşan pik yörüngesel hızlara, dalga çukurları altında açığa doğru oluşan pik hızlardan daha büyük

- Dalga kırılmasından sonraki durumda katı madde taşınımına neden olan etkiler (Van Rijn, 1989) :

1- Tabana yakın bölgede açığa doğru oluşan ortalama hızlar ile

2- Açığa doğru oluşan rip akımları ve kıyı boyu akıntılarının oluşturduğu büyük ölçekli yatay çevri bölgeleri

net katı madde taşınımına neden olmaktadır.

Kıyılarda meydana gelen bu katı madde hareketi ve morfolojik değişimler daha önce akarsular üzerinde araştırılmıştır. Gerçekte olaya etkili mekanizmaların farklı olmasına rağmen bu çalışmalarda kıyı profilinin ve buna etki eden en önemli etkenlerden biri olan katı madde hareketinin ve katı madde malzemesinin özelliklerini daha iyi anlayabilmek açısından akarsular üzerine yapılmış araştırmaları ve bunların sonucunda verilmiş tanımlamaları da dikkate almak yararlı olacaktır.

1.2 Akarsularda Granülometrik Değişimin İncelenmesi

Akarsularda; taban malzemesi özelliklerine, eğime, zamana, erozyona, taban malzemesi ve askı malzemesi hareketine bağlı olarak katı madde daneleri granülometrik bir değişime uğramaktadır. Granülometrik değişim genellikle taban malzemesinin sınıflandırılmasını konu alan bir katı madde taşınım modeli kullanılarak tanımlanmıştır (Engelund ve Fredsøe, 1976).

Akarsularda katı madde danelerinin granülometrik değişime uğraması hakkında iki görüş söz konusudur. Bunlar enine ve boyuna doğrultuda meydana gelen granülometrik değişimlerdir. Akarsularda granülometrik değişimle ilgili birçok çalışma mevcuttur ancak bunlardan Deigaard (1980) en detaylı çalışmayı vermiştir. Burada genellikle Deigaard'ın (1980) yapmış olduğu çalışma esas alınarak akarsulardaki granülometrik değişim izah edilmeye çalışılacaktır.

1.2.1 Akarsularda meydana gelen boyuna granülometrik değişim

Bir akarsu boyunca dane çapının değişimi, boyuna granülometrik değişimin belirlenmesi ile tanımlanmıştır. Akarsulardaki boyuna granülometrik değişim üzerine bugüne kadar yapılmış çalışmalar mevcut olmasına rağmen hala tam olarak tanımlandığı söylenememektedir. Bu problem için araştırmacılar niceliksel modeller vermeye çalışmışlardır. Bu modeller genellikle farklı çaptaki danelerin farklı taşınımlarından dolayı katı maddedeki granülometrik değişimin bir sonucu olarak dane çapının mansaba doğru azaldığını göstermektedir. Deigaard (1980) katı madde miktarını, Engelund ve Fredsøe (1976) tarafından geliştirilen katı madde debisini veren ifadeleri kullanarak belirlemeye çalışmıştır. Bu çalışmada granülometrik değişimin akarsuyun boyuna profili ile yakından ilgili olduğu belirlenmiştir.

Morfolojik olarak akarsuların menba kısmında akarsu tabanı iri malzemeden oluşmaktadır. Bu akarsu bölümünde özellikle taban erozyonu çok etkilidir. Orta kısmında eğim menba bölümüne göre daha az, vadi daha geniş ve taban malzemesi daha incedir. Bu akarsu bölümünde belirli bir zaman periyodunda, örneğin bir sene içinde, erozyon ve yığılma birbirini dengelediğinden giren ve çıkan katı madde debisi arasında denge kurulmuştur. Mansap kısmında ise eğim, akarsuyun orta bölümünden daha azdır. Büyük ölçüde yığılmalar meydana gelmektedir. Bu akarsu kesiminde taban erozyonundan çok şev erozyonu etkilidir. Leopold ve Langbein (1962), akarsulardaki enerji kaybının, deniz seviyesinden daha yukarıdaki bölgelerde erozyonun daha büyük olmasına ve bu bölgelerde eğim değişiminin daha da artmasına sebep olduğunu bulmuşlardır. Bu da boyuna profilin azalan bir üstel fonksiyon yardımıyla tanımlanabileceğini göstermiştir. Bu araştırmacılar, çalışmalarında boyuna profili aşağıdaki gibi belirlemişlerdir.

$$z = z_0 \exp(-\alpha x) \quad (1.5)$$

$$s = -\frac{\partial z}{\partial x} = s_0 \exp(-\alpha x) = \alpha z \quad (1.6)$$

Burada x mansap doğrultusundaki koordinat, z taban kotu, s taban eğimi, α sabit, z_0 ve s_0 ise z ve s 'in $x=0$ 'daki değerleridir.

Genel olarak akarsu boyunca dane boyutundaki değişimin oldukça az olduğu gözlenmiştir (Deigaard, 1980). Sternberg (1875), dane ağırlığının mansap doğrultusunda üstel olarak azaldığı sonucuna varmıştır veya başka bir deyişle, azalmanın dane ağırlığı ve mesafeyle orantılı olduğu sonucuna varmıştır.

Mansap tarafına doğru akımın taşıma gücündeki azalmayla birlikte oluşan katı madde yığılmasında, yığılan katı maddelerin çapları ve ağırlıklarıyla belirlenen dane boyutlarının genellikle uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

Katı madde daneleri akarsuda taşınırken diğer danelerle çarpışmalar ve boyutlarında kırılma ve yıpranmadan dolayı bir azalma gözlenir. Bu işlem aşınma olarak isimlendirilmiştir. Sürtünme ve çarpmadan dolayı ağırlıkta meydana gelen azalmanın, hareket edilen mesafeyle ve danelerin ağırlığıyla orantılı olduğu kabul edilmektedir (Deigaard, 1980).

- a-) Aşınma minerallerin direncine bağlıdır.
- b-) Aşınma danelerin çapıyla değişir.
- c-) Aşınma malzeme büyüklüğünün bir fonksiyonudur.
- d-) Deneylerde elde edilen aşınma oranları, aşınmanın mansap tarafındaki dane boyutunun azalma nedeni olarak kabul edilemeyeceğini göstermiştir.
- e-) Danelerin ağırlığı hareket edilen mesafeyle üstel olarak azalmaktadır.

Aşınmanın rölatif büyüklüğü hakkında Thiel (1940) tarafından yapılan deney bir fikir verebilmektedir. Thiel (1940) kum danelerinin ağırlığının 8045 m'lik bir hareket sırasında %23 azaldığını bulmuştur. Eğer danelerin biçimlerinin değişmediği kabul edilirse ortalama çap (d_m) mansapta azalmaktadır. Bu ortalama çapın değişimi aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\frac{1}{d_m} \frac{\partial d_m}{\partial x} = 1 \times 10^{-8} \text{ m}^{-1} \quad (1.7)$$

Rana vd. (1973), taban seviyesi zamanla değişmeyen hassas bir dengedeki akarsuyun boyuna profilinin kabulüyle dane granülometrik değişimi için niceliksel bir model vermişlerdir. Bu çalışmada akarsuyun sabit bir genişliğe ve debiye sahip olduğu varsayılmıştır. Bu kabul, katı madde debisinin akarsu boyunca sabit olduğunu göstermektedir. Bir sonraki kesitte taban malzemesi karışımını tanımlamak için sürüntü malzemesinin geometrik standart sapması ve ortalama çapı belirlenmiştir. Bu sürüntü malzemesiyle katı madde debisini doğru olarak veren eğim belirlenerek azalan üstel bir fonksiyon ile tanımlanan boyuna profile bir sonraki kesitteki durum bulunmuştur. Bu işlem tekrar edilerek bir sonraki kesitteki her bir zaman başlangıcında kanal boyunca katı madde boyutundaki ve granülometrisindeki değişim hesaplanmıştır. Böylece dengedeki profil belirlenmiştir. Ancak herhangi bir kesitteki ortalama dane boyutunun değeri sabit değildir. Ortalama boyut akarsuyun bütün kesitlerinde zamanla artmaktadır. Rana vd. (1973), taban malzemesinin kabalaşmasından dolayı bu sonuca varmışlardır. Akışın taşıma kapasitesinin azalması ve taban malzemesinin daha da kabalaşması ile yeni bir eğim dengesine kavuşulmuştur. Model, katı madde debisinin zamanla azaldığını ifade ederken verilen bir akarsu için dane boyutu ve eğim arasında doğru bir bağıntı bulmak zorlaşmaktadır.

Deigaard (1980) yapmış olduğu çalışmada, akarsularda meydana gelen boyuna ve enine granülometrik değişimi izah etmeye çalışmıştır. Boyuna değişimin ifade edilmesi için aşağıda anlatılan modeli geliştirmiştir. Bu araştırmacıya göre, akarsularda granülometrik değişim belli akım şartlarına göre zamana bağlıdır. Başlangıç anında, akarsuyun boyuna profilinin $h = h_0 \exp(-\alpha x)$ ile verilen üstel bir fonksiyonla değiştiği belirlenmiştir.

Deigaard (1980) çalışmasında, sınır şartlarını mümkün olduğu kadar doğal akış şartlarını ifade edebilecek şekilde seçmiştir. Menba kesitinde sisteme katılan su ve katı maddenin sadece menba şartlarına bağlı olduğu kabul edilmiştir. Bunların kaynağı yağış ve erozyondur. Menba tarafında ($x=0$) katı madde debisinin (q_t), miktar ve büyüklük olarak sabit kaldığı kabul edilmiştir. Bunun anlamı da dinamik dengeye ulaşıldıktan sonra eğim ve taban malzemesinin değişmemesidir. Akarsuyun mansap tarafındaki ($x=L$) su seviyesinin akarsu denize veya büyük bir rezervuara akıyorsa sabit olduğu düşünülmüştür. Ayrıca her yerde su yüzeyi ve taban eğiminin eşit olduğu kabul edilmiştir.

Her bir kesitte taşınan kum miktarı ve büyüklüğü yerel taban katı maddesinden, eğimin yerel değerinden ve akarsu birim debisinden elde edilmiştir. Boyuna profilin gelişimi katı madde için süreklilik denkleminin kullanılmasıyla bulunmuştur. Bu toplam katı madde süreklilik denklemi şu şekilde ifade edilmiştir.

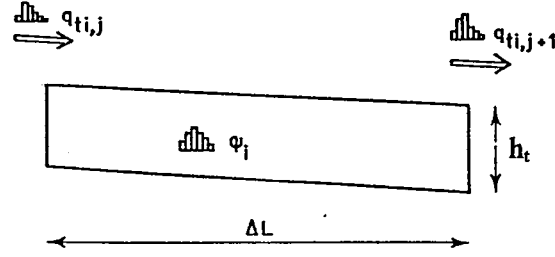
$$\frac{\partial h}{\partial t} = -\frac{1}{1-n} \frac{\partial q_t}{\partial x} \quad (1.8)$$

burada; h su derinliği, q_t toplam katı madde debisi, n taban malzemesinin porozitesidir ($=0.35$). Denklem her bir kesit uzunluğu dikkate alınarak sonlu farklar yaklaşımı yardımıyla çözümlenmiştir.

Taban malzemesi karışımındaki değişiklikler her bir katı madde sınıfı için süreklilik denklemi uygulanarak hesaplanmaktadır. Hareket eden katı maddenin, kum eşiği (dune) yüksekliğine (h_t) eşit kalınlıktaki bir tabakayla (hareketli tabaka) karakterize edilebilen bir kalınlığa eşit olduğu kabul edilmiştir. Ancak h_t 'nin önceden bilinmesinin zor olduğu belirtilmiştir ve basitçe su derinliğinin % 15'ine eşit olarak alınmıştır. Taban malzemesinin dane dağılımı için süreklilik denklemi hareketli tabakada her bir katı madde sınıfının miktarı alınarak hesaplanmaktadır. Giren ve çıkan miktarların bilinmesi gerekmektedir. j ve $j+1$ kesitleri arasındaki malzeme yüzdesi $(t+\Delta T)$ anında aşağıdaki gibi bulunmuştur (Şekil 1.3).

$$\phi_i(t + \Delta T) = \frac{\Delta L h_t (1 - n) \phi_i(t) + (q_{u,j} - q_{u,j+1}) \Delta T}{\sum_i (\Delta L h_t (1 - n) \phi_i(t) + (q_{u,j} - q_{u,j+1}) \Delta T)} \quad (1.9)$$

Burada; ΔL her bir kesit uzunluğu, h_t kum eşiği yüksekliği, t zaman, ΔT zaman adımı, $\phi_i(t+\Delta T)$; $(t+\Delta T)$ anındaki i sınıflı malzeme yüzdesi, $\phi_i(t)$ t anındaki i sınıflı malzeme yüzdesi, q_t katı madde debisidir. Her bir zaman adımı (ΔT) için bütün kesitlere iki süreklilik denklemi (akım ve katı madde) uygulanmıştır. Böylece granülometrik değişim ve boyuna profilin gelişimi hesaplanmıştır.



Şekil 1.3 Taban malzemesi karışımı için süreklilik denklemi (Deigaard, 1980)

Akarsuların granülometrisinde ve profillerinde oluşan değişimlerin, süreklilik denkleminde tahmin edilebilen iki farklı zaman ölçeğine sahip olduğu belirlenmiştir. Boyuna profildeki değişimler mevcut durumda sadece katı madde taşınımında etkili olmaktadır buna karşın akış parametreleri eğim değişiminin içindedir: $s = -\partial h / \partial x$.

Boyuna profil için süreklilik denklemi,

$$\frac{\partial s}{\partial t} = -\frac{\partial^2 h}{\partial t \partial x} = \frac{1}{(1-n)} \frac{\partial^2 q_t}{\partial x^2} \quad (1.10)$$

Boyuna profil için zaman ölçeği,

$$T_{pr} = \frac{L^2}{q_t} \quad (1.11)$$

Dane granülometrik değişimi için süreklilik denklemi,

$$\frac{\partial \phi_i}{\partial t} \propto \frac{1}{h_t} \frac{\partial q_{ti}}{\partial x} \quad (1.12)$$

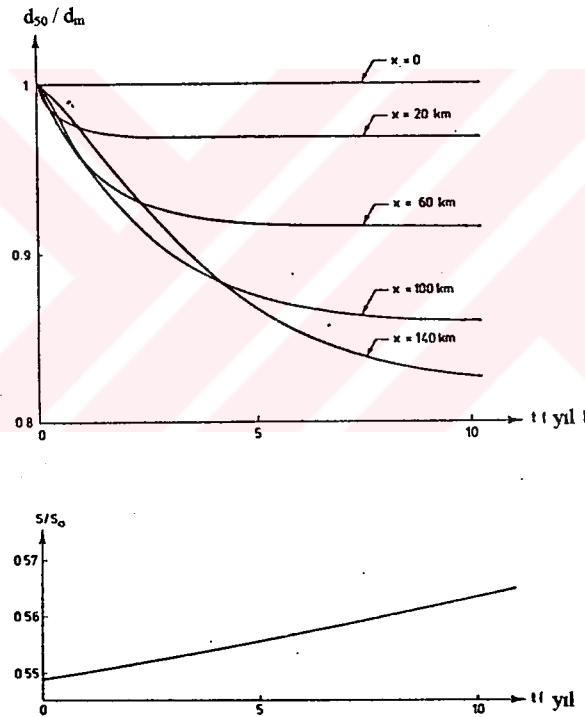
Dane granülometrik değişimi için zaman ölçeği,

$$T_{gr} = \frac{hL}{q_t} \quad (1.13)$$

ile verilmiştir. Burada; L uzunluk ($=1/\alpha$), h derinlik, q_i katı madde debisidir.

Eğer uzunluk ölçeği değişmekte ve buna karşın debi, dane çapı vs. sabit kalmaktaysa profildeki değişimler için oluşturulan zaman ölçeğinin (T_{pr}), dane granülometrik değişimi için verilen zaman ölçeğinden (T_{gr}) daha fazla arttığı belirlenmiştir.

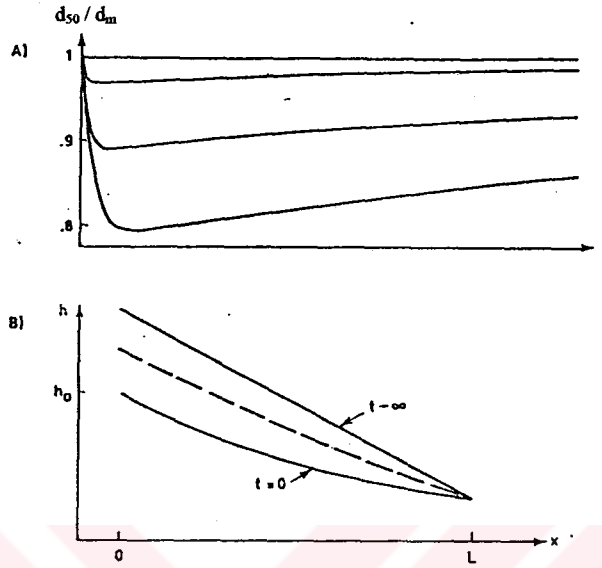
Tanımlanan sistemin zamanla gelişimi için yapılan bir uygulamanın sonuçları Şekil 1.4'de gösterilmiştir. Dane çapının her yerde sabite yakın olduğu görülmüştür. Bu durumun menba kesitinde mansap kesitine göre daha belirgin olduğu gözlenmiştir. Çünkü mansap bölgesindeki değişimler menbada meydana gelen değişimlere bağlı olmaktadır. Sonuç olarak mansaba doğru dane çapında azalmanın meydana geldiği belirlenmiştir.



Şekil 1.4 Akarsuyun farklı kesitlerinde medyanın ve taban eğiminin anlık değişimi (Deigaard, 1980)

Akıntıdan kaynaklanan bu granülometrik değişimin yarı kararlı bir davranışa sahip olduğu belirlenmiştir. Boyuna profil gelişirken, akarsuda akıntıdan dolayı oluşan granülometrik değişimin denge şartlarına ulaşılmasına devam edilmektedir.

Genişliğin ve debinin akarsu boyunca sabit kabul edildiği bu durumda başlangıçta menba kesitinde denge profiline ait granülometrik değişimin 1'e eşit olduğu görülmektedir. Aynı şekilde akarsuyun her kesitinde medyanın dağılımı, orijinal çapa yaklaşmaktadır (Şekil 1.5).

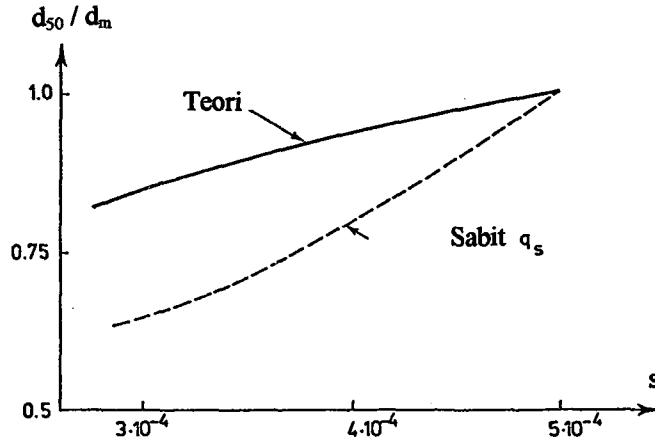


Şekil 1.5 A-Çok uzun bir periyot boyunca medyanın gelişimi (Deigaard, 1980)

B-Çok uzun bir periyot boyunca boyuna profil (Deigaard, 1980)

Modelle elde edilen sonuçlar doğada yapılan ölçümlerle karşılaştırıldığında oldukça uygun sonuçlar elde edilmiştir. Granülometrik değişim modelinin başlangıç şartları gerçekçi değildir ancak sadece granülometrik değişim dengesini elde etmek için bir yöntem olarak dikkate alınmıştır. Böylece doğada gözlenen zaman ölçeğinin granülometrik değişim için değil profil değişimi için bir ölçek olduğu da belirlenmiştir. Şekil 1.4'de gösterilen veriler kullanılarak akarsuyun başlangıç profili için granülometrik değişim dengesine karşılık gelen dane boyutları Şekil 1.6'da gösterilmiştir.

Bu araştırmacı yeterli miktarda veri elde edebilmek için üç akarsuda yapılan gözlemleri de dikkate almıştır ve model arazi sonuçlarını da içerecek şekilde geliştirilmiştir. Bütün şartlarda teorik ve ölçüm verilerine göre, mansap doğrultusunda dane boyutunda meydana gelen azalmanın çok farklı olmadığı belirlenmiştir. Böylece, dane granülometrik değişim modelinin akarsu boyunca dane boyutu dağılımını oldukça gerçeğe yakın olarak belirlediği bulunmuştur.

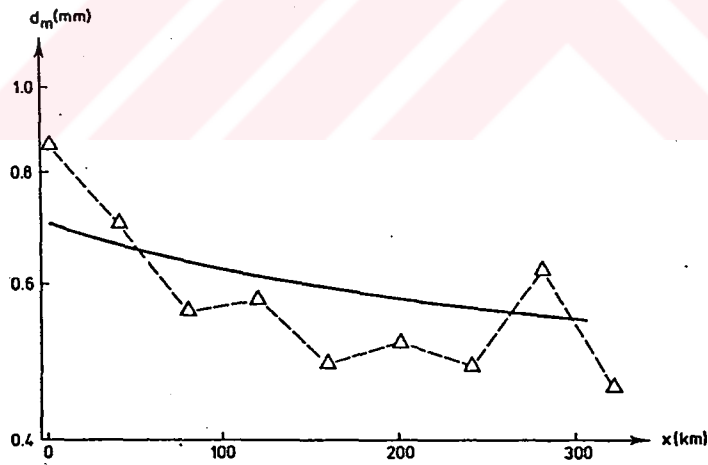


Şekil 1.6 Eğimin bir fonksiyonu olarak medyan (Deigaard, 1980)

Niger akarsuyuna ait boyuna profil aşağıdaki ifadeyle verilmiştir.

$$z = 77.5 \text{ m} \exp(-1.4 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} x) \quad (1.14)$$

Ölçümler ve teorik sonuçlar Şekil 1.7’de görülmektedir. Bu şekildeki üçgen sembollerin her biri, 40 km’lik bir kanal üzerinde toplanan verilerin ortalamasını göstermektedir. Ölçümlerden ve modelden elde edilen medyandaki eğilimin uygun olduğu görülmüştür.

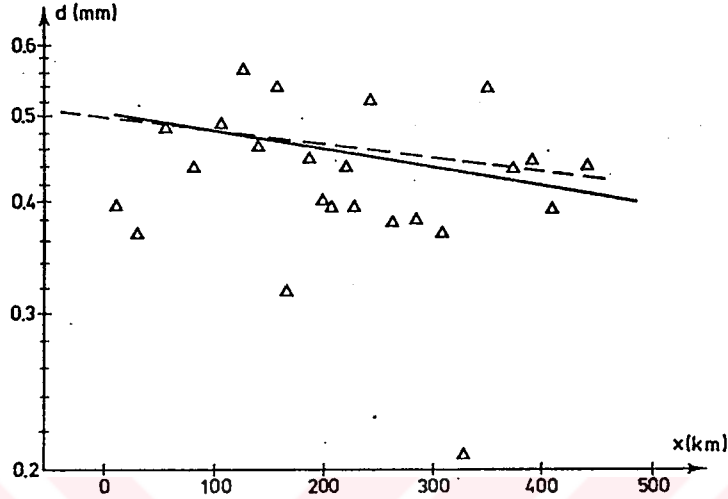


Şekil 1.7 Niger akarsuyu boyunca medyanın dağılımı (Deigaard, 1980)

Mississippi akarsuyuna ait boyuna profil Shulits (1941) tarafından elde edilmiştir. Boyuna profil aşağıdaki formülle tanımlanmıştır.

$$z = 63.1 \text{ m} \exp(-10^{-6} \text{ m}^{-1} x) \quad (1.15)$$

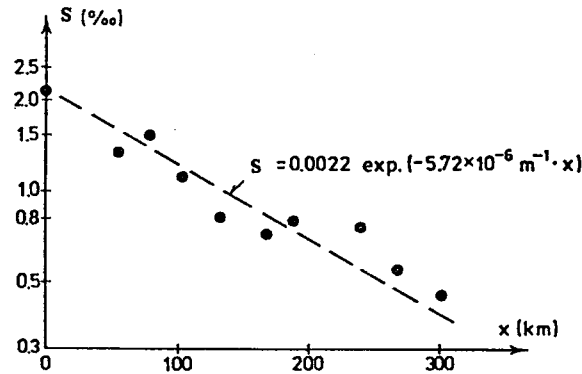
Aynı zamanda Mississippi akarsuyu için Anding (1970) tarafından medyandaki boyuna değişim incelenmiştir. Şekil 1.8’de, Anding’in (1970) belirlediği medyandaki boyuna değişim görülmektedir.



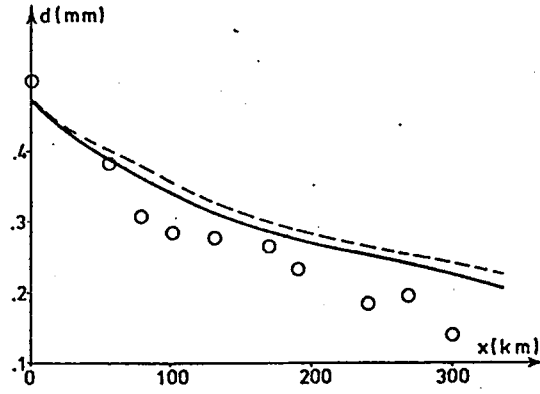
Şekil 1.8 Mississippi akarsuyunun kum boyutu değişimi (Anding, 1970).

Rio Grande akarsuyuna ait mevcut bilgiler ise Nordin (1964), Culbertson ve Dawdy (1964) ve Rafay (1964) tarafından elde edilmiştir. Boyuna profil Rafay (1964) tarafından verilmiştir (Şekil 1.9 ve 1.10).

$$z = 385 \text{ m} \exp(-5.72 \times 10^{-6} \text{ m}^{-1} x) \quad (1.16)$$

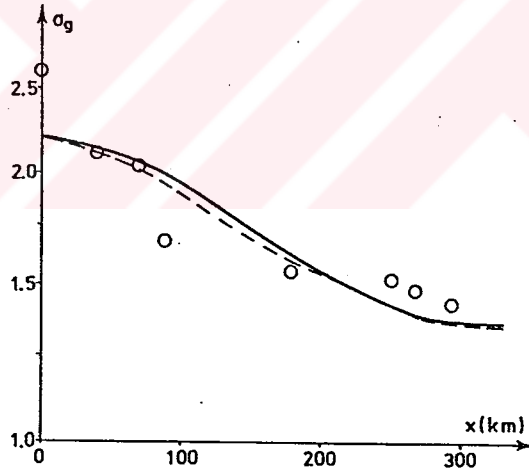


Şekil 1.9 Rio Grande boyunca taban eğiminin değişimi (Rafay, 1964)



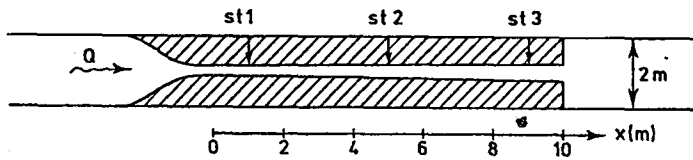
Şekil 1.10 Rio Grande boyunca dane boyutu dağılımları (Rafay, 1964)

Culbertson ve Dawdy (1964), Rio Grande akarsuyu boyunca çeşitli kesitlerde taban malzemesinin standart sapmasını elde etmişlerdir. Sonuçlar granülometrik değişim modelinden elde edilen sonuçlarla birlikte Şekil 1.11’de gösterilmiştir. Ölçümlerin saçılımı oldukça fazladır. Ancak yine de ölçümler ve teori arasındaki uygunluğun tatminkar olduğu belirlenmiştir.



Şekil 1.11 Rio Grande boyunca geometrik standart sapmanın dağılımı
(Culbertson ve Dawdy, 1964)

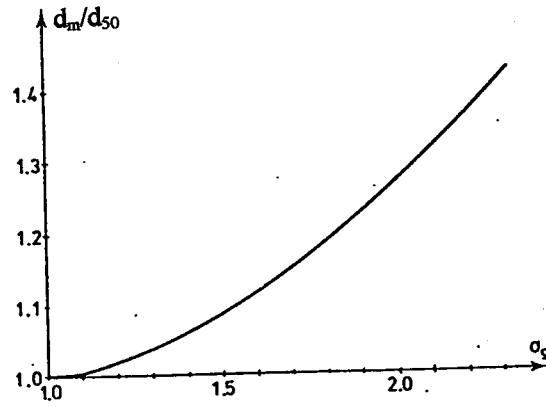
Teorik sonuçlar doğadaki ölçümler dışında deneysel sonuçlarla da karşılaştırılmıştır. Deigaard (1980) tarafından iki farklı deney yapılmıştır. Birincisinde kanala katı madde beslemesi yapılmamıştır. İkincisinde kanalın menba bölümünde erozyona uğramış olan katı madde orijinal katı maddeye eşdeğer bir kumla beslenmiştir. Kanal içinde medyanın zamanla



Şekil 1.12 Kanal geometrisi.

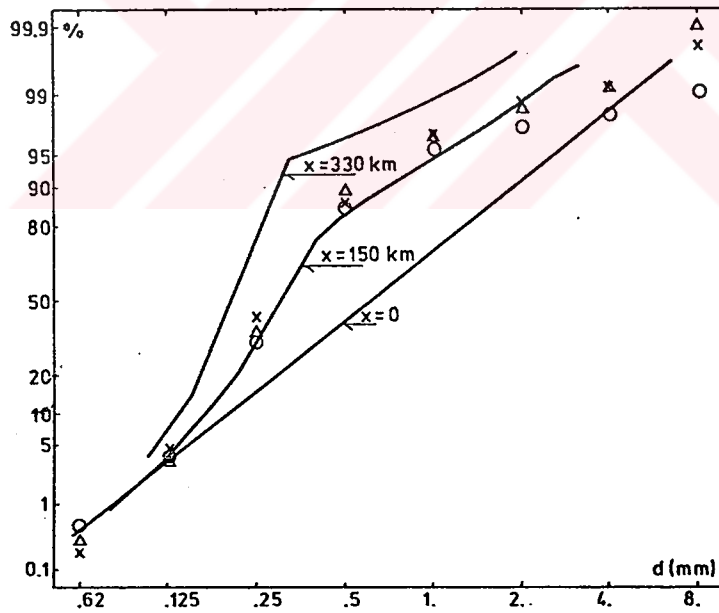
$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84.1}}{d_{15.9}}} \quad (1.17)$$

$$\frac{d_m}{d_{50}} = \sqrt{\exp((\log(\sigma_g))^2)} \quad (1.18)$$



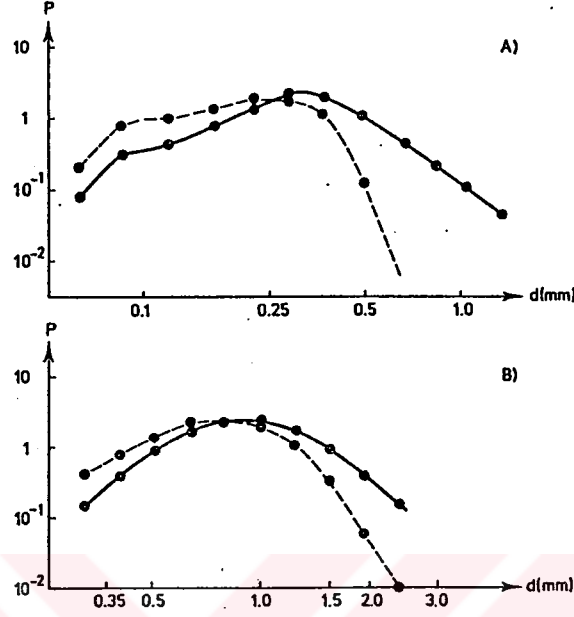
Şekil 1.13. Log-normal olarak dağılmış malzeme için σ_g 'nin bir fonksiyonu olarak d_m ve d_{50} arasındaki oran (Deigaard, 1980)

Model vasıtasıyla elde edilen, Rio Grande akarsuyundaki taban malzemesi için bazı granülometri eğrileri Şekil 1.14'de gösterilmiştir.



Şekil 1.14 Rio Grande akarsuyundan elde edilen toplam boyut frekans eğrileri
Eğriler dane granülometrikdeğişim modelinden elde edilen sonuçları göstermektedir (Deigaard, 1980)

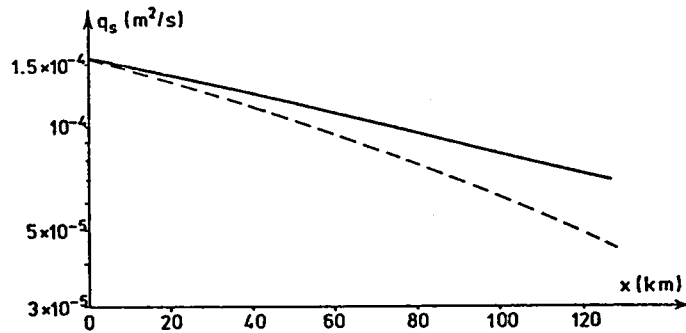
Doğal kumların olasılık yoğunluk fonksiyonunun log-normal dağılımla olan uyumu Bagnold (1971) tarafından da incelenmiştir. Bu araştırmacı tarafından yapılan bazı ölçümler Şekil 1.15'de gösterilmiştir.



Şekil 1.15 A- Granülometrik değişim (Bagnold, 1971)

B- Granülometrik değişim (Deigaard, 1980)

Deigaard (1980) modelini akarsuların morfolojik değişimlerini tanımlamak için detaylı bir şekilde izah etmeye çalışmıştır. Bu model boyuna profilin gelişimini de içermektedir. Çünkü iki zaman ölçeği oranı önceden bilinmektedir. Profil değişimleri doğal olarak da granülometrik değişimden etkilenmektedir. Ayrıca akarsuyun menbasında granülometrik değişim nedeniyle meydana gelen zırlanma katı madde debisini dolayısıyla akarsu profilinin değişimini de kontrol etmektedir. Çünkü dane çapı akarsu boyunca sabitse mansap doğrultusunda katı maddedeki azalma daha az olmaktadır (Şekil 1.16).



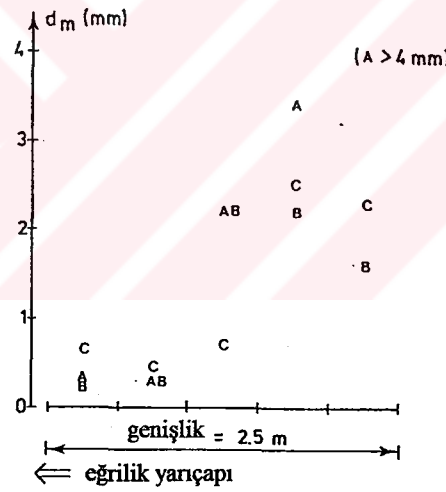
Şekil 1.16 Katı madde debisinin boyuna değişimi (Deigaard, 1980)

Bütün bunlar özetlenecek olursa; akarsu boyunca mansap doğrultusunda dane boyutu azalması taban malzemesinin akıntı etkisiyle granülometrik değişime uğramasının sonucu olarak açıklanmıştır. Böylece granülometrik değişimin tanımlandığı niceliksel bir model geliştirilmiştir. Akıntı etkisiyle granülometrik değişim, boyuna profilin gelişimi ve dane boyutunun değişimi için olmak üzere iki zaman ölçeğiyle tanımlanmıştır.

1.2.2 Akarsularda meydana gelen enine granülometrik değişim

Özellikle akarsu kıvrımlarında katı maddenin enine granülometrik değişime uğradığı gözlemlenmiştir.

Şekil 1.17’de Deigaard (1980) tarafından Jutland’da kıvrımlı bir kanaldaki dane boyutlarının enine değişimi gösterilmiştir.



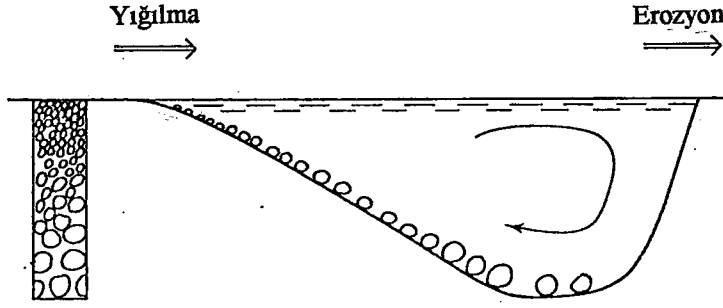
Şekil 1.17 Jutland’da kıvrımlı bir kanaldaki ortalama dane boyutunun enine değişimi
(Deigaard, 1980)

Enine granülometrik değişim, taşkın kesitlerinde yığılan malzeme gözlenerek elde edilmiştir. Taşkın kesitinde malzeme iki bölümden oluşmaktadır.

- 1- Taşkın kesiti boyunca akarsu kıvrımlarında meydana gelen sekonder akım nedeniyle akarsuyun iç kıyısında yığılan katı madde (yanal yığılma)

2- Kıyı boyunca akış sırasında taşkın kesitinde yığılan malzeme (düşey yığılma)

Wolman ve Leopold (1957) tarafından gösterildiği gibi bir taşkın kesitindeki katı madde kaynağının büyük bir bölümü yığılmadan kaynaklanmaktadır. Ve böylece yanal yığılmanın olduğu kesitlerde katı maddenin düşey dağılımı da oluşmaktadır (Şekil 1.18).



Şekil 1.18 Bir akarsu kıvrımında enine granülometrik değişimi (Deigaard, 1980)
(Taşkın kesitinde düşey değişim)

Taşkın kesitlerinde yığılan malzemenin jeolojik formasyonları bazen akarsu tabanından itibaren şev boyunca “üst tabakalara doğru incelen malzemelerin taşınımı” olarak görülmektedir. “Üst tabakalara doğru incelen malzemelerin taşınımı” Allen (1970) tarafından tanımlanmıştır. Büyük ölçekli katı madde yukarı doğru konglomera, kum taşı ve kil taşı malzemelerinin sıralanmasıyla meydana gelmektedir. Meydana gelen bu taşınımın birlikte granülometrik değişim kanal şeklinin oluşmasına neden olmaktadır. Üstteki tabakalar zaman zaman katı madde değişimleriyle birlikte birbirinden farklılıklar gösterebilmektedir. Farklı jeolojik zamanlarda bu yığılma ile birlikte meydana gelen taşınım da gözlenmiştir. Bu yığılma meydana geldiğinde zaman içinde taşkın kesitlerinin yanal hareketiyle akarsu kıvrımlarının hareket ettiği belirlenmiştir. Eğer akarsu tabanının zamanla değişimi sırasında meydana gelen yığılma akarsuyun maksimum derinliğinden oldukça az ise üst tabakalardaki malzeme granülometrik değişimler oluşmaktadır. Böylece daha ince malzemeler kıyının daha üst tarafında birikmiş buna karşın daha kaba malzemeler kıyının iç tabanına doğru yığılmıştır.

Akarsu tabanında oluşan kum eşikleri üzerindeki yığılma için hemen hemen bütün modeller bu eşiklerin tepelerinde daha ince malzeme olduğunu ifade etmişlerdir. Sürüntü ve askı hareketindeki farklılıkların etkisi dikkate alınmamıştır. Askı hareketinin varlığı kıvrımlardaki dane granülometrik değişimi için çok önemlidir. McGowen ve Garner (1970), akarsu şevi boyunca yukarı doğru inceleme miktarının, ince daneli alüviyal yığılmaların karakteristiği olduğunu ifade etmişlerdir ancak bu yapılanmanın, akarsuda taşınan sürüntü malzemesine fazla bağımlı olmadığını da belirtmişlerdir. Bu gözlem Gustavson (1978) tarafından da onaylanmıştır.

Akarsu kıvrımlarındaki askı ve sürüntü hareketi arasındaki farkın enine granülometrik değişim için önemli bir faktör olduğu ise Fredsøe (1977b) tarafından ifade edilmiştir.

Bir akarsu kıvrımında akım ve katı madde taşınımı detaylı olarak Engelund (1974) tarafından tanımlanmıştır. Bu çalışmada sonsuz uzun kıvrım ve menderes kıvrımları dikkate alınmıştır. Her iki durumda da askı hareketinin granülometrik değişime neden olduğu bulunmuştur. Ancak yapılan çalışma problemi tam olarak izah edememiştir.

Bilindiği gibi boyuna granülometrik değişim her bir katı madde sınıfı dikkate alınarak ifade edilmiştir. Bu metod prensipte en emniyetli metottur çünkü taban malzemesinin medyanındaki ve granülometri eğrisindeki değişimler dikkate alınmıştır. Böylece geometri çok basit olduğunda her bir malzeme sınıfının korunumu söz konusudur. Ancak akarsu geometrisinin daha karmaşık hal alması durumunda bu detaylı yaklaşımın çok daha karmaşık hale gelmesi söz konusu olmaktadır. Deigaard (1980) bu karmaşıklığın üstesinden gelmek için granülometrik değişime ait daha basit bir yol bulmuştur. Bu, sadece ortalama çapların göz önüne alınması ve granülometri eğrilerindeki değişimin ise ihmal edilmesiyle yapılmıştır. Bu yolla ortalama çapın değişiminin belirlenmesi için bir ifade verilmiştir.

Akarsu kıvrımlarında katı madde hareketi için iki boyutlu süreklilik denkleminin en çok kullanılan şekli akımın derinlik boyunca integre edilmesiyle bulunan halidir.

$$-(1-n)\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{\partial q_{t1}}{\partial S_1} + \frac{\partial q_{t2}}{\partial S_2} \quad (1.19)$$

Burada q_{t1} S_1 yönündeki toplam birim katı madde debisi, q_{t2} S_2 yönündeki toplam birim katı madde debisidir.

Katı madde karışımı, çok sayıda dane grubuna ayrılarak dikkate alınmıştır. Yaklaşan katı madde miktarı için h_t hareketli tabaka kalınlığının dikkate alınması gereklidir. i sınıflı dane grubu için süreklilik denklemi aşağıdaki gibi yazılmıştır.

$$(1-n)h_t \frac{\partial \phi_i}{\partial t} = \left(-\frac{\partial q_{t1i}}{\partial S_1} \right) - \left(\frac{\partial q_{t2i}}{\partial S_2} \right) - (1-n) \frac{\partial (h - h_t)}{\partial t} \psi_i \quad (1.20)$$

Burada ψ_i esas malzemeye hareketli tabaka arasındaki hareketli sınırdan geçen i sınıflı malzemenin ağırlıkça % 'sidir.

Sürüntü ve askı malzemesi akarsu kıvrımlarında farklı davranış göstermektedirler. Sürüntü malzemesi tabanın enine eğiminden etkilenerek dışa doğru hareket ederken, askı malzemesi helikal hareketten dolayı kıvrımda içe doğru hareket etmektedir. Çünkü askı daneleri sürüntü danelerinden daha incedir. Hareketteki farklılık, ortalama dane boyutunun süreklilik denklemiyle tanımlanabilen enine granülometrik değişime neden olmaktadır.

Sonuç olarak; enine granülometrik değişim akarsuların farklı kesitlerindeki askı ve sürüntü malzemesinin düzenli olarak yer değiştirmesine neden olurken, boyuna granülometrik değişim sadece farklı boyuttaki danelerin farklı taşınımına neden olmaktadır.

Akarsulardaki granülometrik değişim için çeşitli araştırmacılar tarafından başka çalışmalar da yapılmıştır. Bunlardan belli başlıları ise aşağıda özetlenmiştir.

Kapdaşlı (1982), hareketli tabanlı akımlarda kısmi sürüntü maddesi hareketi ile ilgili bir çalışma gerçekleştirmiştir. Kapdaşlı (1982) akarsularda kısmi hareketi, belli akım şartlarında

taban malzemesi içinde bulunan belli çaptan danelerin hareket ettiğini ve bunların dışında kalan danelerin ise hareket edemeyebileceğini düşünerek tanımlamıştır. Kısmi harekete ait teorik düşünceler yardımıyla kısmi hareketle taşınan malzeme granülometrisinin bulunması, dane sınıflarının taşınma yüzdelerinin belirlenmesi gibi kısmi sürüntü maddesi hareketinin değişik yönlerini açıklamaya çalışmış ve kısmi harekete sahip katı madde debisini bulmak için bir ifade önermiştir. Teorik düşünceler sonucunda ortaya çıkan çeşitli parametre ve katsayıların olaya etki eden parametrelerle değişimini deneysel olarak belirlemiştir. Parametre ve katsayılar için verilen çeşitli eğrilerin analitik ifadelerini elde ederek pratik amaçlar için kullanılabilir hale getirmiştir.

Ikeda vd. (1987), kıvrımlı alüviyal akarsularda taban topografyasını ve granülometrik değişimi tanımlamak için bir matematik model geliştirmişlerdir. Bu çalışmacılar, enine yerçekimi kuvvetinin akışkan kuvvetine oranının kaba danelerde ince danelerden daha büyük olmasının granülometrik değişim için önemli olduğunu belirlemişlerdir. Bu, kıvrımların dış tarafında meydana gelen oyulmanın granülometrik değişimden dolayı azaldığını ortaya çıkarmıştır. Model bir laboratuvar çalışmasıyla denenmiştir ve elde edilen teori ayrıca bir akarsu üzerinde de test edilmiştir.

Parker (1991), çakıl tabanlı akarsulardaki granülometrik değişimi araştırmıştır. Sadece daha kaba çakıl malzemeyi dikkate almıştır.

Sekine ve Parker (1992), ise yapmış oldukları çalışmada, akıma dik taban malzemesi taşınımının oranı için bir bağıntı elde etmişlerdir. Bu oranın artan enine eğimle arttığı ve akımdan dolayı artan kayma gerilmesiyle azaldığı belirlenmiştir.

1.3 Kıyılarda Granülometrik Değişim

Akarsularda meydana gelen enine ve boyuna granülometrik değişime benzer şekilde kıyılarda da granülometrik değişimin olduğu bilinmektedir. Ancak kıyılarda meydana gelen granülometrik değişime neden olan hidrolik koşullar akarsulardakine göre daha farklıdır. Kıyılarda oluşan granülometrik değişimin en önemli nedeni dalgaların yakın kıyı

bölgesindeki davranışdır. Böylece kıyılarda da esas olarak kıyı boyu ve kıyıya dik granülometrik değişimler meydana gelmektedir. Genellikle yörenin dalga iklimine bağlı olarak çeşitli şekillerde oluşan granülometrik değişim problemin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla akarsularda olduğu gibi enine ve boyuna olmak üzere iki ana grupta incelenebilir.

Dalgalar fırtına esnasında daha kaba taban malzemelerini kıyı çizgisinin gerisine bırakırken daha ince malzemeyi açığa taşımaktadırlar. Böylece fırtına sonrası sahillerde oluşan kıyı boyu taban eşiklerinin arka tarafına kaba malzemelerin yığıldığı gözlenmiştir. Uzun dönemde dalga iklimindeki değişimler yani kuvvetli veya daha zayıf dalga etkileri, kıyı boyunca ince ve kaba taban malzemesi tabakalarını oluşturmaktadır. Bu olay zaman zaman kaba malzeme, çakıl ve ince malzeme olmak üzere kıyı çizgisine paralel bir tabakalanma şeklinde de görülmektedir. Bu, “kıyıya dik granülometrik değişim” olarak adlandırılabilir. Bazan kıyı çizgisine yakın daha dik bir taban eğimine, açıkta ise daha yumuşak bir taban eğiminin oluşumuna neden olan bu kıyıya dik yöndeki granülometrik değişim kıyı çizgisine yakın tarafta çakıl, açıkta ise kum bir sahil yapılanması şeklinde gözlenmektedir. Dalga ortogonallerinin kıyıya dik yönde yaklaşması durumunda meydana gelen bu granülometrik değişimin yanında dalga ortogonallerinin kıyıya belli bir açıyla yaklaşması ve dalgaların yakın kıyıda kırılmasıyla ortaya çıkan kıyı boyu akıntılarının etkisiyle kıyı boyunca benzer granülometrik değişimlere rastlanır. Bu ise “kıyı boyu granülometrik değişimi” olarak bilinmektedir. Bu tip değişimin dalga enerjisinin yanal değişiminden kaynaklandığı söylenebilir. Böylece bu yanal değişim dalga enerjisinin değişimi ile bir korelasyona sahip olabilir. Granülometrik değişimler daha kuvvetli dalga iklimlerinde daha belirgin olabilmektedir. Kıyı boyu akıntısının kaynak noktasında yani yukarı kıyı bölgesinde daha kaba malzemeler yığılırken, aşağı kıyı bölgesini daha ince malzemeler oluşturabilmektedir. Dalga ortogonalinin kıyı çizgisine 45°’lik bir açı altında yaklaşması durumunda kıyı boyu katı madde hareketi için optimum şartların başladığı belirtilmiştir (Bird, 1984). Herhangi bir kıyıya bir taraftan belli bir açıyla yaklaşan dalgalar diğer taraftan yaklaşan dalgalara göre daha güçlü ise bir yönde taşınan malzeme diğer yondekinden daha fazla olacaktır. Daha zayıf dalgalar daha ince malzemeyi açığa doğru taşıırken daha güçlü dalgalar tarafından kıyıya taşınan kaba malzemeleri açığa taşıyamayacaktır. Bu da kıyı boyunca granülometrik değişimin daha belirgin bir şekilde gelişmesine yardımcı olmaktadır. Bölüm 1.1’de de

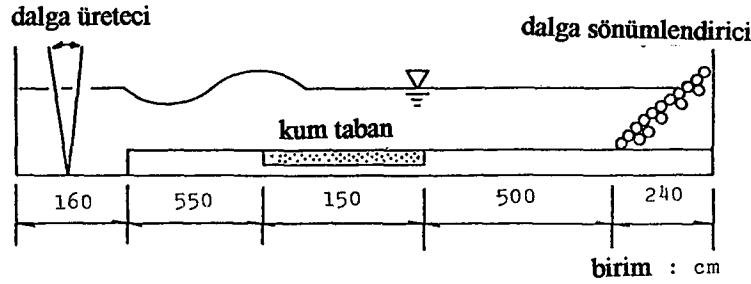
bahsedildiği gibi yaklaşan dalga ortogonallerinin belli bir açıyla (Şekil 1.2) geri dönüş akımını meydana getirmesi durumunda diyagonal formda granülometrik değişimlerin oluştuğu da gözlenmiştir.

Granülometrik değişim işleminin bu farklı oluşumları sahillerde burunların oluşumuna da neden olabilmektedir. Meydana gelen bu burunlar 30 m açığa kadar gözlenebilmektedir. Gözlemler daha az geçirimli zemin şartlarında bu işlemin daha kolay meydana geldiğini göstermiştir. Kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde taşınımı aynı zamanda kıyıya ulaşan akarsu ağızlarından, gel git akımlarından, kıyıya dik uzanan burunlardan ve taban topografyasındaki ani değişimlerden de etkilenebilmektedirler. Böylece düzensiz bir granülometrik değişim gözlenebilmektedir.

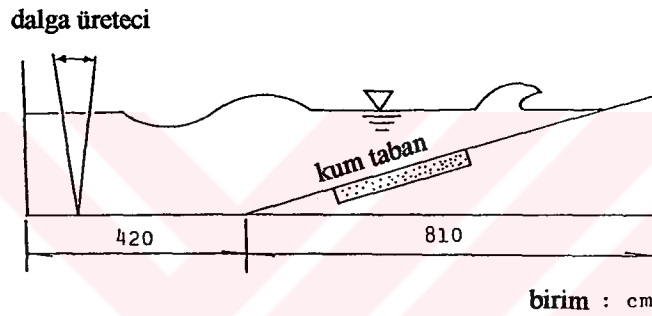
Kıyılardaki granülometrik değişimle ilgili bugüne kadar çok az çalışma mevcuttur. Bunlardan başlıcaları şunlardır.

Tanaka (1988) yaptığı çalışmada kıyılardaki granülometrik değişim ile kıyıya dik ve kıyıya paralel sürüntü malzemesi taşınımını deneysel olarak araştırmıştır. Kum danelerinin harekete başladıkları andaki kritik şartta, katı madde karışımının farklı sınıfları için ampirik formüller önermiştir. Tanaka, sürüntü hareketini ölçmek için iki ayrı aşamadan oluşan laboratuvar deneyi gerçekleştirmiştir. İlk aşamada deneyler 16 m uzunluğunda, 50 cm genişliğinde ve 40 cm derinliğinde bir dalga kanalında yapılmıştır (Şekil 1.19a). Kanalin ortasına 1,5 m uzunluğunda 5 cm kalınlığında bir kum tabaka yerleştirilmiştir. Şekil 1.19a'da görüldüğü gibi kanalın sabit tabanlı bölgeleri, hareketli tabandakine benzer şekilde kum daneleri ile pürüzlendirilmiştir. Mevcut deney şartları altında kum dalgacıkları oluşmamıştır ve kum kıyıya doğru sürüntü malzemesi olarak taşınmıştır. Bu nedenle kum tabandan kıyıya doğru kum taşınımı izlenerek sürüntü malzemesinin dane boyut dağılımını ve net kum taşınımını belirlemek mümkün olmuştur. Deneyin 2. aşamasında ise benzer işlemler gerçekleştirilmiş ancak oldukça büyük sürüklenme kuvveti etkisi altında kalan 1/20 eğimli bir taban üzerindeki sürüntü hareketi incelenmiştir (Şekil 1.19b). Araştırmacının deney sonuçları hareketin başlangıcı için kayma gerilmesini hesaplayan teorik sonuçlarla uygunluk göstermiştir. Farklı

boyuttaki kum danelerinin harekete başlangıcı için kritik şartları ampirik bağıntılarla izah etmeye çalışmış ve ayrıca sürüntü yükünü veren bir ifade geliştirmiştir.



(a)



(b)

Şekil 1.19 Deney düzeneği (Tanaka, 1988, 1989)

Tanaka (1989) deniz tabanı topografyasının ve taban malzemesi karışımının zamansal değişimini belirlemek için nümerik bir metod geliştirmiştir. Hesaplardan bulunan sonuçlar dalga kanalından elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Gerçekte kıyılar üniform olmayan kumsallara sahip olmasına rağmen dalga hareketinden dolayı oluşan kum taşınımı üzerine yapılan çalışmaların bir çoğu sahillerin üniform yapıya sahip olduğu kabulüyle gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada deniz tabanı topografyasının değişimine uygun olarak taban malzemesi karışımının zamansal değişimi bir dalga kanalında ölçülmüştür. Aynı zamanda dalga hareketi altında oluşan zırh tabakası formasyonları gözlenmiştir. Üniform olmayan kumun granülometrik değişimi nümerik bir modelle belirlenmiştir. Deneyler 16 m uzunluğunda, 30 cm genişliğinde ve 50 cm derinliğinde bir dalga kanalında yapılmıştır (Şekil 1.19b). Dalga kanalının sonuna 1/20 eğimli sabit tabanlı ahşaptan yapılmış bir kıyı

yerleştirilmiştir. 1/20 eğimli kıyının ortasına 5 cm kalınlığında ve 1,5 m uzunluğunda üniform olmayan bir kum taban yerleştirilmiştir. Deneyler iki farklı granülometriye sahip kum için gerçekleştirilmiştir. Deneylerin ilk aşamasında dalga şartlarında kaba danelerin sabit pozisyonda kaldığı, ince malzemenin ise açığa doğru taşındığı gözlemlenmiştir. İkinci aşamada da kaba ve ince taban malzemesinin tamamının kıyıya doğru hareket etmesine sebep olan dalga karakteristikleri dikkate alınarak çalışılmıştır. Kumsal 30 dak süreyle dalga hareketine maruz bırakıldıktan sonra taban profili ve taban malzemesinin dane boyutu dağılımı hareketli kum taban boyunca ölçülmüştür. Deneylerin tümünde kum kıyıya doğru sürüntü malzemesi olarak taşınmıştır. Yerel dalga yüksekliği kum taban boyunca 20 cm aralıklarla ölçülmüştür. Bu çalışmada Hirano (1971) tarafından önerilen korunum denklemleri taban malzemesine ve taban malzemesini oluşturan her bir katı madde sınıfına ayrı ayrı uygulanmıştır. Göz önüne alınan hareketli kum tabanın genişliğinin sabit olduğu kabulüyle Hirano'nun (1971) denklemleri aşağıdaki gibi değiştirilmiştir. İfadeler;

a-) Yığılma durumunda

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-n)} \frac{\partial \bar{q}_B}{\partial x} + \frac{h_t}{(1-n)} \frac{\partial n}{\partial t} \quad (1.21)$$

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} = -\frac{1}{h_t(1-n)} \left\{ \frac{\partial (i_b \bar{q}_B)}{\partial x} - i_b \frac{\partial \bar{q}_B}{\partial x} \right\} \quad (1.22)$$

b-) Erozyon durumunda

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-n_o)} \frac{\partial \bar{q}_B}{\partial x} + \frac{1}{(1-n_o)} \left\{ h_t \frac{\partial n}{\partial t} + (n - n_o) \frac{\partial h_t}{\partial t} \right\} \quad (1.23)$$

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} = -\frac{1}{h_t(1-n)} \left\{ \frac{\partial (i_b \bar{q}_B)}{\partial x} - i_{b0} \frac{\partial \bar{q}_B}{\partial x} \right\} + (i_b - i_{b0}) \left\{ \frac{1}{1-n} \frac{\partial n}{\partial t} - \frac{1}{h_t} \frac{\partial h_t}{\partial t} \right\} \quad (1.24)$$

dir. Burada z hareketli kum tabandan olan yükseklik, t zaman, n porozite, $\bar{q}_B$ net sürüntü malzemesi taşınımı, h_t hareketli kum tabanın kalınlığı, i_b ve i_{b0} sırasıyla mevcut kum tabandaki

ve harekete geçen kumdaki i sınıflı malzemeyi göstermektedir. 0 alt indisi ise kum tabaka yüzeyinin altında kalan malzemeyi göstermektedir. (1.21)'den (1.24)'e kadar olan ifadelerdeki h_i ve n kum tabanın karakteristikleridir. Hirano (1971) tarafından bu karakteristiklerin zamandan bağımsız oldukları kabul edilmiştir. Daha önce belirtildiği gibi, Tanaka (1988) dalga hareketi altında katı madde karışımının her bir sınıfı için sürüntü malzemesi taşınımına ait bir ifade önermiş ve boyutsuz formdaki bu ifade;

$$\bar{q}_{Bi0}^* = \frac{i_B \bar{q}_{B0}}{i_b \sqrt{\Delta g d_i^3}} = \tau_i^{*0.5} (\tau_i^* - \tau_{kr,i}^*) \quad (1.25)$$

şeklinde verilmiştir. Burada $\bar{q}_{B0}$ birim genişlikte kıyıya doğru net sürüntü malzemesi taşınımı, Δ katı maddenin su altındaki özgül ağırlığı, g yerçekimi ivmesi, $\tau_i^* = u^{*2}/(\Delta g d_i)$, $\tau_{kr,i}^* = u_{kr,i}^{*2}/(\Delta g d_i)$ ve u^* maksimum kayma hızıdır. d_i çaplı kum danesi için kritik kayma gerilmesi, $\tau_{kr,i}^*$ d_m ortalama kum danesi çapı için verilen kritik kayma gerilmesinden, $\tau_{kr,m}^*$ elde edilmiştir ve boyutsuz dane çapı oranının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\tau_{kr,i}^* = \tau_{kr,m}^* (d_i / d_m)^{-0.92} \quad (1.26)$$

burada $\tau_{kr,m}^* = u_{kr,m}^{*2}/(\Delta g d_m)$ ve $u_{kr,m}^*$ ortalama kum çapı için kritik kayma hızıdır. Yukarıdaki denklemlerde taban kayma gerilmeleri Jonsson'un (1966) sürtünme katsayısı kullanılarak belirlenmiştir. Sadece yatay tabana uygulanabilen (1.25) eşitliğine yerel taban eğimi $(\partial z / \partial x)$ etkisi ilave edilerek aşağıdaki gibi değiştirilmiştir (Watanabe vd., 1986).

$$\bar{q}_{Bi}^* = \bar{q}_{Bi0}^* - \alpha \left| \bar{q}_{Bi0}^* \right| \frac{\partial z}{\partial x} \quad (1.27)$$

burada α sabittir (≈ 2). Bu eşitlik (1.21) veya (1.23) eşitliklerinde yerine konulduğunda parabolik diferansiyel denklemler oluşmuştur. (1.21)'den (1.24)'e kadar olan eşitlikler sonlu farklar metoduyla nümerik olarak çözülmüştür. Açık şema kullanılmıştır. Parabolik olarak verilen (1.21) ve (1.23) eşitlikleri için stabilite şartı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\Delta t \leq \frac{(1-n)}{2\alpha q_{Bmaks}} (\Delta x)^2 \quad (1.28)$$

burada Δt zaman adımı, Δx hesap ağının aralıkları, $\bar{q}_{Bmaks}$ $\bar{q}_B$ 'nin maksimum değeridir. (1.22) ve (1.24) eşitlikleri için ise stabilite şartı; (1.22) eşitliği aşağıdaki gibi değiştirildikten sonra verilmiştir.

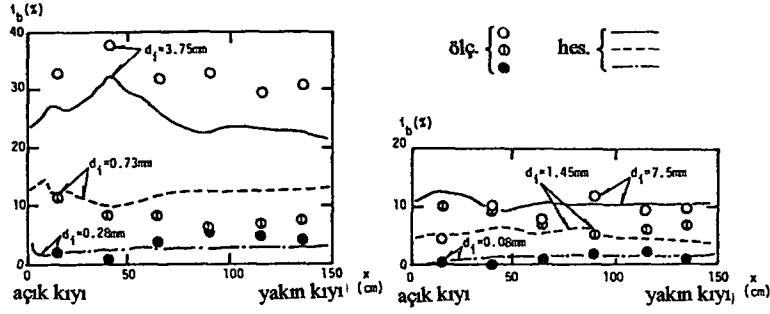
$$\frac{\partial i_b}{\partial t} + \frac{\bar{q}_B}{h_t(1-n)} \frac{\partial i_B}{\partial x} = -\frac{1}{h_t(1-n)} (i_B - i_b) \frac{\partial \bar{q}_B}{\partial x} \quad (1.29)$$

(1.29) bir boyutlu dalga denklemdir. Bu ifadeler ileri fark şeması kullanılarak çözümlenmiştir. Böylece stabilite şartı;

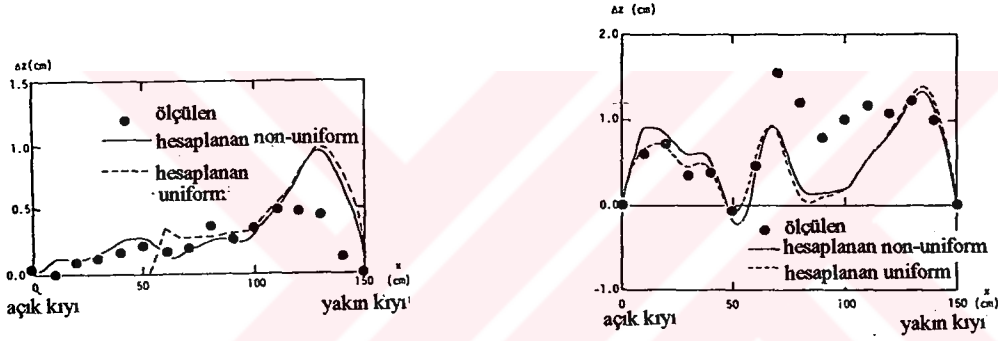
$$\Delta t \leq \frac{h_t(1-n)}{q_{Bmaks}} \Delta x \quad (1.30)$$

şeklinde belirlenmiştir. (1.24) eşitliği için benzer bir analizle aynı sonuca varılmıştır. Zaman aralığı, Δt , (1.28) ve (1.30) eşitliklerinin her ikisini de sağlayacak şekilde seçilmiştir. 1. deney için Şekil 1.20, $t=30$. dakikada sürüntü malzemesinin taban boyunca dane boyutu dağılımını göstermektedir. x ekseninin orijini hareketli kum tabanın açığa doğru olan tarafında alınmıştır. Bu şekilden görüldüğü gibi daha ince kum daneleri kıyıya doğru taşınmaktadır. Bu nedenle açık kıyı bölgesinde zırh tabakası oluşmuştur. Nümerik hesaplama da bu granülometrik değişimi vermektedir ve deney sonuçları ile uyum içerisindedir. Yukarıda ifade edilen katı madde hareketi karakteristikleri taban topografyasındaki değişimi etkilemektedir. Şekil 1.21, 30. dakikadan sonra meydana gelen erozyonu göstermektedir. Deney sonuçları özellikle $x \approx 50$ cm uzaktaki kesitte üniform olmayan kum taban için belirlenenlerle oldukça uygundur. Üniform granülometri halinde bu yaklaşım yeterince doğru sonucu vermemektedir. Çünkü üniform kum taban hali için başlangıç şartlarında tabanda beklenen erozyonun meydana gelmediği belirtilmiştir. Kıyı çizgisine yakın bölgede hareketli tabandan sabit tabana doğru ani değişim dolayısıyla kısmi düzensizlik söz konusudur ve bu kısmi düzensizlik (1.21) eşitliğindeki α 'nın uygun seçimiyle telafi

edilmiştir. Şekil 1.22, 2. deney aşamasında 30. dakikadan sonra oluşan erozyonu göstermektedir. Sürüklenme kuvveti 1. deneydekinden daha büyüktür ve daha fazla erozyon elde edilmiştir. Nümerik modellerin her ikisi de taban profilindeki değişimleri karakterize

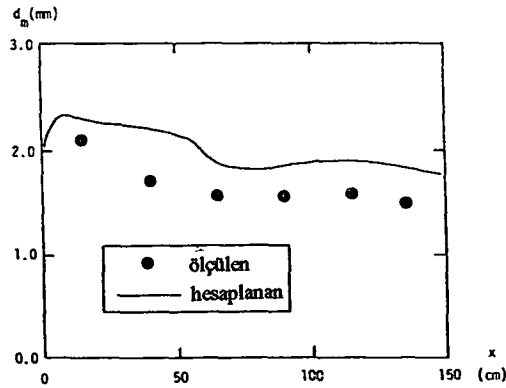


Şekil 1.20 Taban boyunca dane boyut dağılımı (1.deney) (Tanaka, 1989)



Şekil 1.21 Taban topografyasındaki değişim (1.deney) (Tanaka, 1989)

Şekil 1.22 Taban topografyasındaki değişim (2.deney) (Tanaka, 1989)



Şekil 1.23 Taban boyunca ortalama çap dağılımı (2.deney) (Tanaka, 1989)

eden $x=70$ ve 130 cm'deki erozyon kadar $x=50$ cm'deki yığılmayı da göstermektedir. $x=50$ cm açıktaki erozyon için üniform olmayan kuma ait hesaplama yukarıda ifade edilen

sebepten dolayı daha iyi sonuçlar vermektedir. Hareketli kum tabanda ortalama dane çapının taban boyunca dağılımı Şekil 1.23’de gösterilmiştir. Açıkta $x=0$ cm ve $x=50$ cm arasında daha kaba daneler gözlenmiştir. Üniform olmayan kum taban için nümerik yaklaşımın ölçümlere göre daha büyük değerler verdiği görülmüştür. Hirano (1971) tarafından önerilen korunum denklemleri Tanaka’nın (1989) çalıştığı dalga hareketi altında yapılan taban topografyasındaki iki boyutlu değişime uygulanmıştır. Mevcut metodun geliştirilmesi için özellikle askı hareketi, yakın kıyı akıntılarının etkileri ve hareketli kum tabaka kalınlığı hakkında deneysel bilgilere gereksinim duyulduğu belirtilmiştir.

Tanaka vd. (1991), bu çalışmada dalga yayılma doğrultusuna ters akıntı durumunu dikkate alarak, daha önce Tanaka’nın (1989) sırf dalga etkisinde üniform olmayan kum taban için gerçekleştirdiği taban topografyası ve taban malzemesi karışımının değişimini belirlemek amacıyla bir seri deneysel araştırma yapmışlardır. Deneylerinde kullandıkları kanalın orta kısmına üniform olmayan 2 m uzunluğunda ve 3.8 cm kalınlığında yatay bir kum taban yerleştirilmiştir. Dalga hareketi altında iki ayrı laboratuvar deneyi yapılmıştır. İlk deneyde sürüntü malzemesi taşınımı, ikinci deneyde ise taban malzemesinin zamansal ve uzamsal dağılımı ölçülmüştür. Mevcut deneylerde kum sürüntü hareketi yapmaktadır. Bu çalışmada her bir katı madde sınıfının ve katı madde karışımının korunum denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (Hirano, 1971). Kum tabaka kalınlığının (h_t) ve boşluk oranının (n) sabit olduğu ve zamanla değişmediği kabul edilmiştir. Burada hareketli kum tabaka granülometrinin değişmeye başladığı tabaka olarak tanımlanmıştır.

a) Yığılma durumunda;

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-n)} \frac{\partial q_B}{\partial x} \quad (1.31)$$

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} = -\frac{1}{h_t(1-n)} \left\{ \frac{\partial (i_b q_B)}{\partial x} - i_b \frac{\partial q_B}{\partial x} \right\} \quad (1.32)$$

b) Erozyon durumunda;

$$\frac{\partial z}{\partial t} = -\frac{1}{(1-n_0)} \frac{\partial q_B}{\partial x} \quad (1.33)$$

$$\frac{\partial i_b}{\partial t} = -\frac{1}{h_t(1-n)} \left\{ \frac{\partial (i_B q_B)}{\partial x} - i_{b0} \frac{\partial q_B}{\partial x} \right\} \quad (1.34)$$

burada; z hareketli kum tabandan olan yükseklik, t zaman, q_B birim zaman ve genişlikte sürüntü malzemesinin net taşınım miktarı, h_t hareketli kum tabanın kalınlığı, i_b ve i_B sırasıyla mevcut kum tabandaki ve harekete geçen kumdaki i sınıflı malzemeyi göstermektedir. 0 alt indisi ise hareketli kum tabaka yüzeyinin altında kalan malzemeyi göstermektedir. Burada hesaplama metoduyla ilgili biri yerel eğim etkisi, diğeri ise kum tabakanın menbasında oluşan süreksizlik etkisi olmak üzere iki değişiklik ifade edilmiştir. Taban yüzeyinin yerel eğim etkisini içermesi için düzlem bir taban boyunca sürüntü malzemesi formülünü yine Watanabe vd.'nin (1986) çalışmasını dikkate alarak ve aşağıdaki gibi çok az değiştirerek vermişlerdir.

$$i_B q_B = i_B q_{B0} - \alpha |i_B q_{B0}| \frac{\partial z}{\partial x} \quad (1.35)$$

burada; q_{B0} düzlem bir taban boyunca net sürüntü malzemesi taşınım miktarıdır ve α sabittir. (1.31)-(1.34) eşitlikleri ileri fark operatörleri kullanılarak bir açık şema oluşturulmak suretiyle nümerik olarak çözümlenmiştir. Stabilité şartı aşağıdaki gibi verilmiştir (Tanaka, 1989).

$$\Delta t = \text{Min} \left\{ \frac{\Delta x h_t (1-n)}{q_{B \text{ maks}}}, \frac{(\Delta x)^2 (1-n)}{2\alpha q_{B \text{ maks}}} \right\} \quad (1.36)$$

burada; Δt zaman adımı, Δx hesap ağı aralıkları ve $q_{B, \text{maks}}$ q_B 'nin maksimum değeridir. Min sembolü parantez içindeki değer minimumunu göstermektedir. Daha önce de belirtildiği gibi Tanaka (1988), katı madde karışımındaki farklı sınıflar için sırf dalga etkisindeki sürüntü malzemesi taşınımına ait bir ifade önermiştir. İfade aşağıdaki gibi boyutsuz formda verilmiştir.

$$q_{Bi}^* = \tau_i^{*0.5} (\tau_i^* - \tau_{kr,i}^*) \quad (1.37)$$

burada $q_{Bi}^* = i_B q_B / (i_B \sqrt{\Delta g d_i^3})$, $\tau_i^* = u_w^{*2} / (\Delta g d_i)$, Δ katı maddenin su altındaki özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesi, d_i i sınıflı malzemenin çapı, u_w^* dalga sürtünme faktöründen elde edilen dalga etkisindeki maksimum kayma hızıdır. Net sürüntü malzemesi taşınımı doğrultusu dalga yayılma doğrultusuyla aynıdır. d_i çaplı kum danesi için kritik kayma gerilmesi, $\tau_{kr,i}^*$, d_m ortalama çaplı kum danesi için kritik kayma gerilmesinden, $\tau_{kr,m}^*$, elde edilmiştir (Tanaka, 1988) ve boyutsuz dane çapı oranının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\tau_{kr,i}^* = \tau_{kr,m}^* \left(\frac{d_i}{d_m} \right)^{-0.92} \quad (1.38)$$

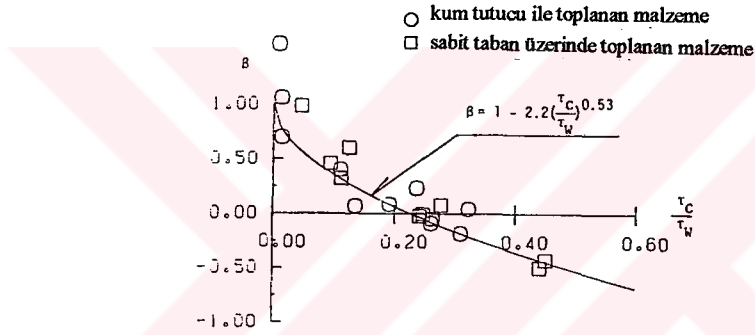
burada; $\tau_{kr,i}^* = u_{w,kr,i}^{*2} / (\Delta g d_i)$, $\tau_{kr,m}^* = u_{w,kr,m}^{*2} / (\Delta g d_m)$, $u_{w,kr,i}^*$ ve $u_{w,kr,m}^*$ ise d_i ve d_m çaplı kumlar için kritik kayma hızıdır. Dalga-akıntı durumunda (1.37) ve (1.38) eşitliklerinde u_w^* yerine u_{cw}^* konularak ve β doğruluk faktörü ilave edilerek değişimler yapılmıştır. Böylece sürüntü malzemesi miktarı aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$q_{Bi}^* = \beta \tau_i^{*0.5} (\tau_i^* - \tau_{kr,i}^*) \quad (1.39)$$

burada $\tau_i^* = u_{cw}^{*2} / (\Delta g d_i)$ 'dir. Bu çalışmada u_{cw}^* dalga-akıntı hali için kayma hızı Tanaka ve Shuto'nun (1981) veya Tanaka'nın (1990) ifade ettiği sürtünme katsayısı kullanılarak belirlenmiştir. β katsayısı ise ölçülen net taşınım miktarının, (1.37) eşitliğinde u_w^* yerine u_{cw}^* konularak hesaplanan net taşınım miktarına oranı olarak verilmiştir. Şekil 1.24, β 'nın τ_c / τ_w ile değişimini göstermektedir. Burada τ_c ve τ_w sırasıyla kararlı akım ve sırf dalga etkisinden dolayı oluşan maksimum kayma gerilmeleridir. Böylece i sınıflı katı maddeye ait net sürüntü malzemesi taşınımı ifadesi verilmiştir.

$$q_{Bi}^* = \left\{ 1 - 2.2 \left(\frac{\tau_c}{\tau_w} \right)^{0.53} \right\} \tau_i^{*0.5} (\tau_i^* - \tau_{kr,i}^*) \quad (1.40)$$

Dalga hareketi etkin ve τ_c/τ_w oranı küçük olduğunda β ve q_{bi}^* pozitif değerler almakta ve kum dalga yayılma doğrultusunda taşınmaktadır. τ_c/τ_w oranı 0.2 değerinde net kum taşınımı menbadan mansaba doğru değişmektedir. Bu çalışmanın sonucunda; (i) Net kum taşınımının akıntı-dalga taban kayma gerilmesi oranına bağlı olduğu ve bu oranın 0.2'den küçük olması durumunda ise katı maddenin dalga yayılma doğrultusunda aşağı kıyıya doğru taşındığı (ii) Elde edilen nümerik modelin, kaba kum ve ortalama kum çapı için granülometrik değişimde oldukça iyi ancak ince kum hali için çok iyi olmadığı bulunmuştur.



Şekil 1.24 β 'nin τ_c/τ_w ile değişimi (Tanaka vd., 1991)

Chauhan (1992), Hindistan'ın doğu kıyılarında farklı zemine sahip 4 sahilten taban malzemesi numuneleri olarak deniz tabanında düşeydeki katı madde boyut parametrelerini incelemiştir. Bu parametrelerle kıyıdaki dalgaların yansıma, sapma gibi değişimlerini belirlemiştir. Bu değişimlerin etkisiyle oluşan farklı granülometrilere sahip deniz taban malzemelerinin her birinin granülometrik değişimlerine bağlı olarak kendilerine özgü çarpıklığa sahip olduğunu gözlemlemiştir. Ayrıca her bir kesitteki taban malzemelerinin ortalama boyutlarının malzemenin karışımına ait ortalama değerinden daha büyük olduğunu belirlemiştir. Elde edilen sonuçlar yardımıyla; kıyının gerisinde, yakın kıyıda ve açık deniz bölgesinde düşey doğrultuda yapılan tabakalanmadaki katı madde yapısının değişimini izah etmiştir. Her bir tabaka için bulunan istatistiksel parametreler arasındaki korelasyonun numune alma derinliğindeki artışla azaldığı belirlenmiştir. Elde edilen granülometrik

değişimler standart sapma ve çarpıklık ile ifade edilmiştir. Ortalama dane boyutu için farklı tabakalar arasındaki korelasyonun genelde iyi olduğu belirlenmiştir.

Foti ve Blondeaux (1992), dalga etkisinde kum dalgacıkları üzerindeki danelerin granülometrik değişimi için teorik bir model geliştirmişlerdir. Elde ettikleri modeli daha önceki çalışmalardan elde edilen deney sonuçları ile karşılaştırmış ve modelin bu sonuçlarla oldukça iyi uyum sağladığını belirtmişlerdir. Bu araştırmacılar modeli, daha önce tanımlanan katı madde hareketi ve buna etkili akım alanı arasındaki bağıntıya katı madde dane boyut özelliklerini de dahil ederek kurmuşlardır. Araştırmacılar, küçük çaplı danelerin kum dalgacıklarının tepelerine, ancak daha büyük çaplı danelerin ise kum dalgacıklarının çukurlarına yığıldıklarını belirlemişlerdir.

Diğer bir çalışmada da Foti (1993), yine granülometrik değişimin deniz tabanındaki kum dalgacıkları üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu araştırmacı, iki farklı taban malzemesinin karışımı ile oluşturduğu deney şartlarında dalga etkisindeki taban kum dalgacı formasyonuna ait bir çalışma yapmıştır. Bu deneysel çalışmanın iki amacının olduğu belirtilmiştir. İlk olarak; başlangıç kum dalgacı şartları gözlenmiş ve bu şartlar tabandaki düzen bozucu etkilerin zamansal gelişiminde farklı taban malzemelerinin karışım etkilerinin niceliksel değerlerinin belirlenmesiyle gerçekleştirilmiştir. İkinci olarak, kum dalgacı görülmeye başladığında kum dalgacı profili boyunca dane boyutu dağılımının zamansal ve uzamsal değişimini veren niceliksel bilgiler elde edilmiştir. Mevcut karışımdaki kum dalgacı formasyonu ve dane granülometrik değişim etkisi hemen hemen üniform olan iki katı maddenin farklı oranlardaki karışımıyla elde edilen farklı taban malzemeleriyle belirlenmiştir. Karışımdaki ince ve kaba daneleri ayırmak için iki bileşen farklı renklere boyanmıştır. Böylece farklı renkteki kodlarla ince ve kaba malzeme yüzdeleri tesbit edilerek dane boyutu dağılımının uzamsal bir analizi yapılmıştır. Foti (1993), yaptığı deneylerle bu karışımların kum dalgacı formasyonu üzerindeki stabilleştirme etkisine sahip olduğunu belirlemiştir. Granülometrik değişim etkisini içeren verilerin analizinde, büyük boyutlu daneler kum dalgacı tepesinde hareket ederken çevri hareketiyle daha açığa bile taşınabileceği görülmüştür.

Tanaka ve Suzuki (1993), Pernald ve Considere (1956) tarafından geliştirilen tek çizgi modelini esas alarak kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde taşınımı için iki veya daha çok çizgi modellerini önermişlerdir. Bu modellerde genel olarak kıyıdağı dane boyutu dikkate alınmamıştır veya tabanın üniform malzemeden oluştuğı kabul edilmiştir. Gerçekte, kumun granülometrik değişimi kıyı çizgisi boyunca gözlenmektedir. Bu çalışmada hem kıyı çizgisinin değişimi hem de kıyı boyu dane boyutu dağılımının belirlenmesi için bir matematik model önerilerek Japonya'nın Sendai kıyısında uygulanmıştır. Üniform kum tabakaya sahip bir kıyı için hesaplamayla karşılaştırıldığında kıyı çizgisinin daha çabuk değiştiğı gözlenmiştir. Hesaplanan kıyı çizgisi değişimi ölçümlerle uygunluk göstermesine rağmen, arazideki gözlemlerin eksikliğinden dolayı taban malzemesinin granülometrik değişiminin niceliksel bir karşılaştırması tam olarak yapılamamıştır. Mevcut modelin arazi çalışmaları kadar laboratuvar verileriyle de karşılaştırılmaya ihtiyacı vardır.

Foti ve Blondeaux (1995) üniform olmayan taban malzemesi durumunda dalga etkisinde kum dalgacıklarının şekillenmesiyle ilgili yapmış oldukları deneysel ve teorik çalışma sonucunda, üniform olmayan malzemenin üniform malzemeli bir tabana göre daha stabil bir karakter taşıdığını belirlemişler ve tabanda kum dalgacıklarının üniform olmayan malzeme durumunda üniform malzemeli tabana göre daha geç meydana geldiklerini de gözlemişlerdir. Araştırmacılar ayrıca sabit genlikli ve periyotlu akım altında tabandaki üniform olmayan malzeme durumunda taban şekillerinin boylarının, aynı ortalama çapa sahip üniform kum halinde meydana gelen kum dalgacıklarının boylarından daha uzun olduğunu bulmuşlardır.

Tanaka ve Yang (1995), dalga etkisinden dolayı askıdaki katı madde konsantrasyonunu hesaplamak için bir türbülans modeli vermişlerdir. Bu modelin öncekilerden farkı kum karışımının katı madde konsantrasyonunun daha önce üniform kum malzemesi için kurulan mevcut türbülans modeli kullanılarak hesaplanabilmesidir. Bu çalışmadaki türbülans modelinin doğruluğunu kontrol etmek için dalga etkisindeki sürtünme katsayısı hesaplanmıştır. Hesaplardan elde edilen sonuçların Jonsson (1980) ve Tanaka'nın (1992) önceki çalışmalarıyla iyi bir uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. İkinci kontrol ise askıdaki üniform kum için Chen'in (1992) ölçümleriyle mevcut modelden elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yapılmıştır. Kum karışımının katı madde konsantrasyonunu hesaplamak için

Tanaka'nın (1989) teorisi esas alınarak bir denklem grubu türetilmiştir. Hesaplanan konsantrasyon profili Kajima ve Saito'nun (1971) laboratuvar deneyiyle iyi bir uygunluk göstermiştir. Aynı zamanda katı madde karışımının etkisini araştırmak için üniform kum hali için bir hesaplama yapılmıştır. Bütün profillerin birbirinden farklı olmadığı görülmüştür. Ancak taban yüzeyinden uzakta az bir farklılık gözlenmiştir.

1.4 İncelenecek Problem

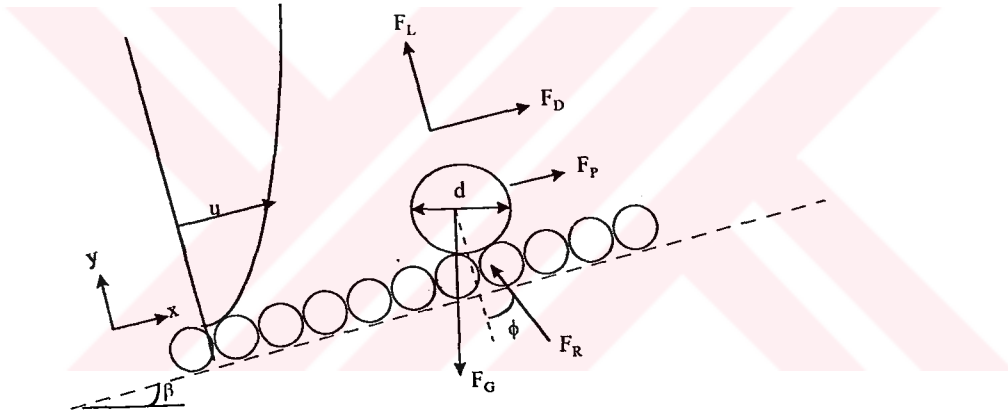
Bugüne kadar yakın kıyı bölgesindeki katı madde hareketi ve kıyı morfolojisi genellikle üniform taban malzemesi kabulü yapılarak incelenmiştir. Çok az çalışmada da taban malzemesi hareketi üniform olmayan malzeme dikkate alınarak tanımlanmaya çalışılmıştır ya da taban malzemesinin granülometrik özellikleri göz önüne alınmıştır. Ancak bu çalışmaların henüz hiç birinin yeterince doğru olarak gerek niteliksel, gerekse niceliksel bir sonuç verdiği söylenemez. Bununla birlikte tipik olarak kıyılar oldukça geniş bir değişim alanına sahip taban malzemesi boyutlarına sahiptir ve bu malzemelerin granülometrik özellikleri kıyı morfolojisi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle son 10 yılda granülometrik değişimleri içeren ifadeler geliştirilmeye çalışılmış ancak çok azı çözümlenebilmiştir. Bu çözümlenen ifadelerde bazı önemli varsayımlar yapılmıştır. Bu çözümlerin önemli bir kısmı da daha önce belirtildiği gibi genellikle akarsulardaki katı madde taşınımıyla ilgili olanlardır.

Bu çalışmada kıyılarda gerek kıyı boyunca gerekse kıyıya dik yönde taban malzemesinin granülometrik değişiminin nedenleri detaylı bir şekilde incelenecektir. Bu amaçla bir dalga havuzunda deneysel olarak farklı granülometrilere sahip iki ayrı malzeme dikkate alınarak, kıyıya dik ve kıyı boyu granülometrik değişim nitelik ve nicelik olarak incelenerek izah edilmeye çalışılmıştır. Böylece, bugüne kadar ifade edilmeye çalışılan kıyılardaki katı madde hareketine sadece taban malzemesi karakteristikleri değil, bu karakteristiklerin taban hareketi sırasında uğradıkları değişimler ile taban malzemesinin üzerine olan etkisi de incelenerek, katı madde taşınımı yeniden modellenmeye çalışılmıştır. Ayrıca taşınım nedeniyle granülometride meydana gelen değişimin kıyı morfolojisi üzerindeki etkisinin araştırılması da amaçlanmıştır. Bu çalışmada sistematik bir şekilde farklı dalga şartlarında bir seri deney gerçekleştirilerek, amaca uygun biçimde yorumlanılmaya çalışılmıştır.

2. KIYILARDA KATI MADDE HAREKETİ VE GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN ETKİSİNİN MODELLENMESİ

2.1. Dalga Etkisinde Katı Madde Hareketinin Başlangıcı

Bir danenin harekete geçmesi, bu daneyi etkileyen kuvvetlerin büyüklüğüne bağlıdır. Danenin etkisi altında olduğu bu kuvvetler nedeniyle ilk harekete başladığı duruma kritik durum adı verilir. Akım içindeki daneye etki eden hidrodinamik kuvvetler, daneyi yerinde tutmaya çalışan direnç kuvvetlerini (ağırlık vb.) aştıklarında dane harekete başlar. Bu duruma kritik şartlar ve bu durumdaki hidrodinamik kuvvetlere de kritik kuvvetler adı verilir. Akım içindeki daneye etki eden kuvvetler şunlardır (Raudkivi, 1990; Nielsen, 1992):



Şekil 2.1 Küresel bir dane üzerine etkiyen kuvvetler (Raudkivi, 1990)

1- Ağırlık Kuvveti (F_G):

$$F_G = \frac{\pi d^3}{6} (\gamma_s - \gamma_w) \quad (2.1)$$

burada $\pi d^3/6$ dane hacmi, γ_s katı madde özgül ağırlığı, γ_w suyun özgül ağırlığı, d danenin karakteristik çapıdır.

2- Hidrodinamik Direnç Kuvveti (F_D):

Viskoz veya türbülanslı akıma maruz kalan bir dane direnç kuvvetlerini de hissetmektedir. Direnç kuvvetleri ikiye ayrılmaktadır.

a) Şekil direnci:

$$F_{D,F} = c_F \frac{1}{2} \rho \frac{\pi d^2}{4} u|u| \quad (2.2)$$

burada $\pi d^2/4$ kesit alanı, ρ suyun özgül kütlesi, u dane seviyesindeki akım hızı, c_F şekil direnci katsayısıdır.

b) Sürtünme direnci:

$$F_{D,s} = c_s \rho d^2 u|u| \quad (2.3)$$

burada c_s sürtünme direnci katsayısıdır. Bu iki kuvvetin bileşkesi olan direnç kuvveti

$$F_D = c_D \frac{1}{2} \rho \frac{\pi d^2}{4} u|u| \quad (2.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada c_D , katı madde şekline ve Reynolds sayısına ($Re=|u|d/\nu$) bağlı olan direnç katsayısıdır.

3- Hidrodinamik Kaldırma kuvveti (F_L) :

Kaldırma kuvveti akışkan partiküllerinin hızının karesiyle doğru, yörüngesel hareketin yarıçapı ile ters orantılıdır. Bu durumda yörüngesel hareketin dane çapı ile aynı mertebede olduğu kabul edilmektedir. d^3 hacmine sahip katı madde danesine etkiyen hidrodinamik kaldırma kuvveti şu şekilde ifade edilebilir.

$$F_L = c_L \rho \frac{u^2}{d} d^3 = c_L \rho u^2 d^2 \quad (2.5)$$

burada c_L kaldırma kuvveti katsayısıdır.

4- Ek su kütlesi (F_A):

Tek yönlü kararlı akım haline göre salınımlı akımın sahip olduğu kararsız akım yapısından kaynaklanan ek su kütlesi dikkate alınmalıdır. Yani danenin hareketiyle birlikte danenin etrafındaki bir miktar akışkan kütlesinin de ivmelenmesinden dolayı ek bir atalet etkisi oluşmaktadır.

$$F_A = c_A \rho \frac{\pi d^3}{6} \frac{du}{dt} \quad (2.6)$$

Burada c_A ek su kütlesi katsayısı dane biçimine ve cidara olan yakınlığa bağlıdır, du/dt ise yörüngesel hareketin ivmesini göstermektedir.

5- Basınç kuvveti (F_P):

Dalga etkisiyle akışkan akımının du/dt ivmesiyle hareket etmesinden dolayı basınç gradyanında doğan değişim, yani anlık basınç gradyanı nedeniyle daneye etkiyen kuvvettir. Bu kuvvet yer değiştiren akışkanın atalet kuvvetiyle orantılıdır.

$$F_P = \frac{\pi d^3}{6} \rho \frac{du}{dt} \quad (2.7)$$

6- Atalet kuvveti (F_M):

Bu kuvvet dane üzerine etkiyen bütün dış kuvvetlerin (ağırlık, direnç ve kaldırma) bileşkesine eşit ve zıt yöndedir. Atalet kuvveti ivmeli akışkan akımının neden olduğu ek su

kütlesi ve anlık basınç kuvvetinin toplamından ibarettir. Burada $(1+c_A)$ toplamı c_M atalet katsayısı olarak isimlendirildiğinde atalet kuvveti

$$F_M = c_M \rho \frac{\pi d^3}{6} \frac{du}{dt} \quad (2.8)$$

şeklinde ifade edilir.

7- Reaksiyon kuvveti (F_R):

Tabandaki her bir danenin değme noktasındaki reaksiyon kuvvetidir.

Lineer dalga teorisi yaklaşımı yapılarak, $u=A\omega \sin \omega t$ yörüngesel akım hızına sahip dalga etkisindeki bir dane için atalet kuvveti

$$F_M = c_M \rho \frac{\pi d^3}{6} A \omega^2 \cos \omega t \quad (2.9)$$

şeklinde yazılabilir. Burada A yörüngesel hareketin genliği, ω açısal frekans, t zamandır. Aynı şekilde direnç kuvveti de

$$F_D = c_D \frac{\rho \pi d^2}{2 \cdot 4} A \omega \sin \omega t |A \omega \sin \omega t| \quad (2.10)$$

hareketin başlangıcı için faz açısının 90° olması durumunda direnç kuvveti etkin olmakta buna karşın faz açısının 0° olması halinde ise atalet kuvveti etkin olmaktadır. Bu durumda dalga etkisindeki bir daneye etki eden atalet ve direnç kuvvetlerini, mukayese etmek amacıyla oranladığımızda (Nielsen, 1992)

$$\frac{F_M}{F_D} = \frac{\rho \frac{\pi}{6} d^3 c_M A \omega^2}{\frac{1}{2} \rho \frac{\pi}{4} d^2 c_D A^2 \omega^2} = \frac{4 c_M d}{3 c_D A} \quad (2.11)$$

elde edilir. Görüldüğü gibi bu oran d/A ile orantılıdır. Burada d/A oranı Keulegan Carpenter (KC) sayısını karakterize etmektedir. Yani iki kuvvetin etkisi KC sayısı ile değişmektedir.

Dane çapı 0.5 mm'den (orta büyüklükte kum ve ince malzeme) küçük olan daneler harekete başladığında sınır tabakası içindeki rejimin laminar kaldığı belirlenmiştir. Dane çapının 0.5 mm'den büyük olduğu (kaba kum ve iri dane) malzeme için Re sayısı artmaktadır. Sonuç olarak 0.5 mm dane çapının kritik bir değer olduğu ve tek yönlü akım için tanımlanan Shields diyagramında dane çapına bağlı benzer açıklamaların bu hal için de geçerli olabileceği belirtilmektedir. Bunun nedeni küçük çaplı daneler için malzemenin viskoz alt tabaka içine gömülmesiyle oluşan "hidrolik cilalı cidar"ın altındaki ince malzemenin hareketi, viskoz kuvvetlerin etkisiyle oluşmasındandır. Büyük çaplı malzemede ise sınır tabakasının dışına taşan danelerin etrafını küçük çevrıntiler kaplamaktadır. Böylece danenin alt ve üst kısmındaki basınç farkları dane hareketini sağlayan bir faktör olarak ortaya çıkmaktadır (Ünal, 1996).

Bu durumda dalga etkisinde bir katı madde danesi üzerine etkiyen akışkan kuvvetlerini ölçmek için boyutsuz hareketlilik parametresi tanımlanmıştır. Dalga etkisindeki kum daneler ($d \sim 0.2$ mm) için, Keulegan Carpenter sayısı (d/A) çok küçüktür. Bu nedenle direnç kuvvetinde basınç kuvveti hakim olmaktadır. Bundan dolayı tabandaki bir kum danesi üzerine etkiyen toplam tedirgin edici kuvvet yaklaşık olarak yörüngesel hızın genliğinin ($A\omega$) karesiyle orantılıdır. Hareketlilik parametresi şu şekilde ifade edilmiştir.

$$\psi = \frac{(A\omega)^2}{(s-1)gd} \quad (2.12)$$

burada $s (= \rho_s/\rho)$ yoğunluk, ρ_s katı madde özgül kütleleridir.

Kararlı akımda katı madde hareketinin başlangıcının incelenmesi için tabandaki kum daneler üzerine etkiyen kuvvetler arasındaki dengenin farklı bir yorumu da Shields (1936) tarafından verilmiştir.

$$\theta = \frac{\tau_{(0)}}{\rho(s-1)gd} = \frac{u_*^2}{(s-1)gd} \quad (2.13)$$

Burada θ Shields parametresi olarak bilinmektedir. Bu parametre özellikle kararlı akım için uygundur. Çünkü kararlı taban kayma gerilmesi $\bar{\tau}_{(0)}$ ve dolayısıyla u_* kayma hızı kolayca ölçülebilmektedir. $\bar{\tau}_{(0)} = \rho ghI$; burada h akım derinliği, I hidrolik gradyandır.

Benzer düşünce ile dalga hareketi için Shields parametresi (toplam kayma gerilmesine karşılık gelen) genellikle pik taban kayma gerilmesi dikkate alınarak tanımlanmıştır (2.12 ve 2.13 denklemleri karşılaştırıldığında). O halde dalga etkisindeki bir dane için Shields parametresi

$$\theta = \frac{\hat{\tau}}{\rho(s-1)gd} = \frac{\frac{1}{2}f_w(A\omega)^2}{(s-1)gd} = \frac{1}{2}f_w\psi \quad (2.14)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada f_w dalga sürtünme katsayısı, $\hat{\tau}$ pik taban kayma gerilmesidir.

Toplam taban kayma gerilmesi τ , şekil direnci τ'' ve sürtünme direnci τ' olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Katı madde taşınımı için bunların her birinin önemi oldukça farklıdır (Engelund ve Hansen 1972).

Şekil direnci taban şekillerinin menba ve mansapları arasında meydana gelen basınç farkından dolayı oluşur ve bu yüzeydeki katı madde danelerinin bireysel olarak stabilitesini direkt etkilemez. Yüzey danelerini tedirgin eden asıl etki genellikle sürtünme direncinden dolayıdır. Sürtünme direncine karşılık gelen Shields parametresi şöyle yazılır;

$$\theta' = \frac{\tau'}{\rho(s-1)gd} \quad (2.15)$$

Bu formül hareket eden katı madde konsantrasyonlarının büyüklüğü ve hareketin başlamasının belirlenmesi için sıkça kullanılmaktadır. τ' katı madde taşınımı dolayısıyla efektif gerilme olarak da adlandırılmaktadır.

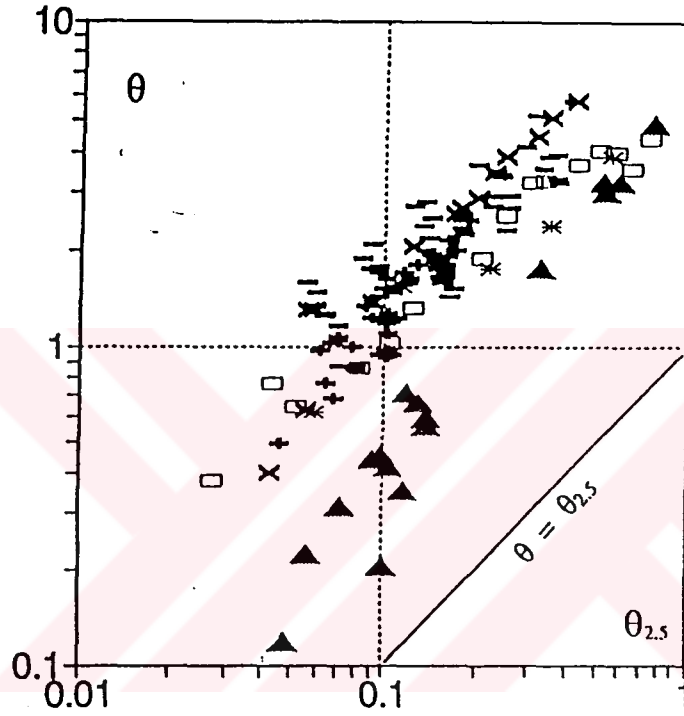
Taban düzlemse şekil direnci yoktur yani $\tau'=\tau$ ve $\theta'=\theta$ 'dır. Düzlem taban halinde kararlı akımda olduğu gibi dalga hareketinde de sürtünmeden kaynaklanan taban direnci, sabit pürüzlü tabanlı akımlardakinden daha büyüktür. Bunun nedeni, tabana hareket eden kumlar tarafından akımdan tabana transfer edilen momentumdur. Bununla birlikte bu momentum transferini belirlemek oldukça zordur. Bundan dolayı dalga etkisindeki hareketli kumun üzerindeki sürtünme direncini hesaplamak için henüz kabul edilen bir metot yoktur. Diğer bir deyişle hareketlilik parametresi Ψ katı madde hareketini ölçmek için yeterince uygun değildir. Çünkü problemin karmaşıklığından dolayı katı madde daneleri üzerinde dalgalar tarafından oluşturulan kuvvetin d/A oranına bağlı olması ihmal edilmektedir. Bu nedenle katı madde hareketinin dane pürüzlülük Shields parametresi ile belirlenmesi Madsen ve Grant (1976) tarafından önerilmiştir ve bu yaklaşım iyi sonuçlar vermiştir. Englund ve Hansen (1972) ve Nielsen (1979), medyanı d_{50} olan kumun düzlem tabandaki dane pürüzlülüğü için $2.5d_{50}$ değerini kullanmışlardır ve buna karşılık gelen dane pürüzlülük Shields parametresini $\theta_{2.5}$ olarak tanımlamışlardır.

$$\theta_{2.5} = \frac{\frac{1}{2}f_w\rho(A\omega)^2}{\rho(s-1)gd} = \frac{1}{2}f_{2.5}\Psi \quad (2.16)$$

Burada tanımlanan bu özel dane pürüzlülük sürtünme faktörünün ($f_{2.5}$) hesaplanması için Swarts'ın (1974) formülü esas alınabilir.

$$f_{2.5} = \exp \left[5.213 \left(\frac{2.5d_{50}}{A} \right)^{0.194} - 5.977 \right] \quad (2.17)$$

Salınımlı akım halinde düzlem kum taban ve kum dalgacıyla kaplı taban için $\theta_{2.5}$ ve θ arasındaki bağıntı Carstens vd. (1969) ve Lofquist (1986) tarafından şekil 2.2’de verilmiştir. Veriler, kum dalgacı kaplı taban için olan θ ’nın genel olarak $\theta_{2.5}$ ’tan daha büyük olduğunu göstermektedir. Hareketli tabaka kalınlığının büyük olduğu ($\theta_{2.5} \geq 0.3$) düzlem tabanlar için $\theta (= \theta')$, $\theta_{2.5}$ ’tan 5 misli daha büyüktür. Buna karşın hareketli tabaka kalınlığının daha az olduğu düzlem taban için $\theta = \theta' = \theta_{2.5}$ olduğu belirtilmiştir.



Şekil 2.2 $\theta_{2.5}$ ve θ arasındaki bağıntı (Carstens vd., 1969 ve Lofquist, 1986)

Burada Δ düzlem tabanı, diğerleri kum dalgacılarıyla kaplanmış tabanı göstermektedir.

Carstens vd (1969) ve Lofquist’in (1979) verileri düzlem kum taban hali için oldukça büyük enerji kaybının olduğunu gösterirken bu verilerin henüz katı madde taşınımı açısından tutarlılığı gösterilememiştir (Nielsen, 1992).

Taban eğimi β olan bir taban üzerindeki katı madde danesinin stabilitesi incelendiğinde ise Şekil 2.3’den görüldüğü gibi daneyi harekete geçiren hidrodinamik direnç kuvveti ile ağırlık

kuvvetinin akım doğrultusundaki bileşeninin toplamı, stabilite kuvvetine (ağırlık kuvvetinin tabana normal bileşeni) eşit olduğunda dane harekete başlamaktadır (Van Rijn, 1993).

$$F_D + F_G \sin \beta = F_G \cos \beta \tan \phi \quad (2.18)$$

$$F_D = F_G \cos \beta \tan \phi - F_G \sin \beta \quad (2.19)$$

Yatay taban için stabilite bozucu hidrodinamik direnç kuvveti $F_{D,0}$ ile gösterilirse basitçe aşağıdaki eşitlik yazılabilmektedir.

$$F_{D,0} = F_G \tan \phi \quad (2.20)$$

(2.19) ve (2.20) eşitliklerini birbirlerine oranladığımızda eğimli taban üzerindeki direnç kuvvetinin yatay taban üzerindeki direnç kuvveti ile olan ilişkisi aşağıdaki gibi görülmektedir.

$$\frac{F_D}{F_{D,0}} = \frac{F_G \cos \beta \tan \phi - F_G \sin \beta}{F_G \tan \phi} = \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin \phi} \quad (2.21)$$

veya

$$F_D = k_\beta F_{D,0} \quad (2.22)$$

burada;

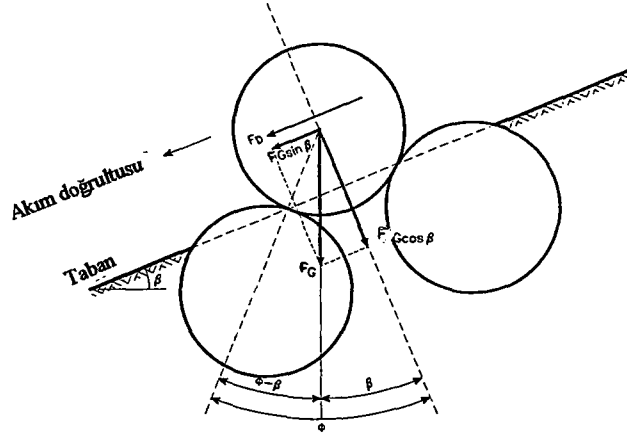
artan taban eğimi hali ($k_\beta < 1$)

$$k_\beta = \frac{\sin(\phi - \beta)}{\sin \phi}$$

azalan taban eğimi hali ($k_\beta > 1$)

$$k_\beta = \frac{\sin(\phi + \beta)}{\sin \phi}$$

şeklinde verilmiştir.



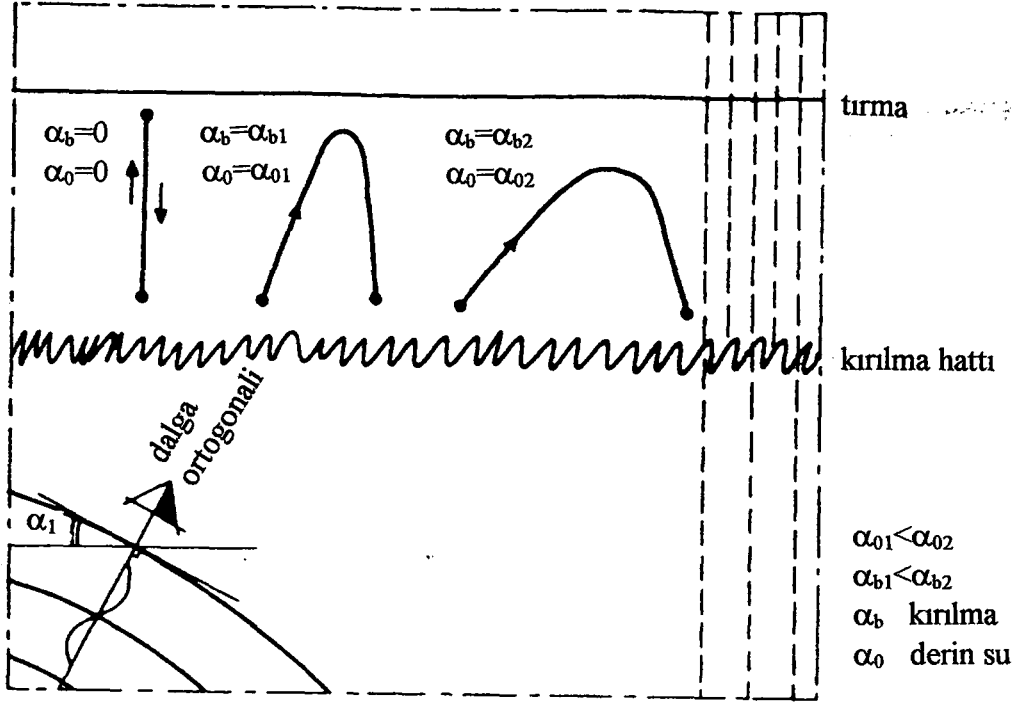
Şekil 2.3 Eğimli taban halinde bir katı madde danesine etkili kuvvetler (Van Rijn, 1993)

2.2 Taban Hareket Mekanizmasının Granülometrik Değişimin Oluşumu Üzerindeki Etkisi

Kıyı çizgisine belli bir açı yaparak yaklaşan bir dalga su derinliği azaldıkça saparak kırılmaktadır. Dalganın kırılmasıyla birlikte su kütlesi de kıyıya doğru taşınır. Bu su kütlesi hareketinin bir sonucu olarak katı madde taşınımı meydana gelmektedir. Taban hareketi sonucunda oluşan kıyı profili, deniz tabanı ile dalga ve akıntı yapısı arasındaki etkileşimden dolayı meydana gelmektedir. Daneler hidrodinamik kuvvetler etkisi altında hareket etmeye başladıklarında katı madde taşınımı da başlamaktadır. Katı madde taşınımının kıyıya dik ve kıyıya paralel (kıyı boyu) olmak üzere iki bileşeni bulunmaktadır. Dalganın kıyıya doğru ilerlemesi sırasında katı madde danesinin hareketi dane çapına, dane şekline, danelerin kıyı üzerindeki konumuna, dalga karakteristikleri ile dalga yaklaşım açısına ve başlangıç kıyı eğimine bağlıdır. Katı madde danesinin hareketine etkili olan bu faktörler aşağıda izah edilmiştir (Van Hijum ve Pilarczyk, 1982).

2.2.1 Dalga yaklaşım açısının etkisi

Farklı dalga yaklaşım açılarına sahip dalgalar kıyıya doğru ilerlerken tabandaki mevcut daneleri yaklaşım açısına bağlı olarak etkilemektedir. Şekil 2.4'den de görüldüğü gibi dalga yaklaşım açısı arttıkça hareketin kıyıya dik bileşeni azalmakta ve kıyı boyu bileşeni büyümektedir, dolayısıyla danenin kıyı boyu taşınma mesafesi artmaktadır.



Şekil 2.4 Dalganın yaklaşım açısının etkisi (Van Hijum ve Pilarczyk, 1982)

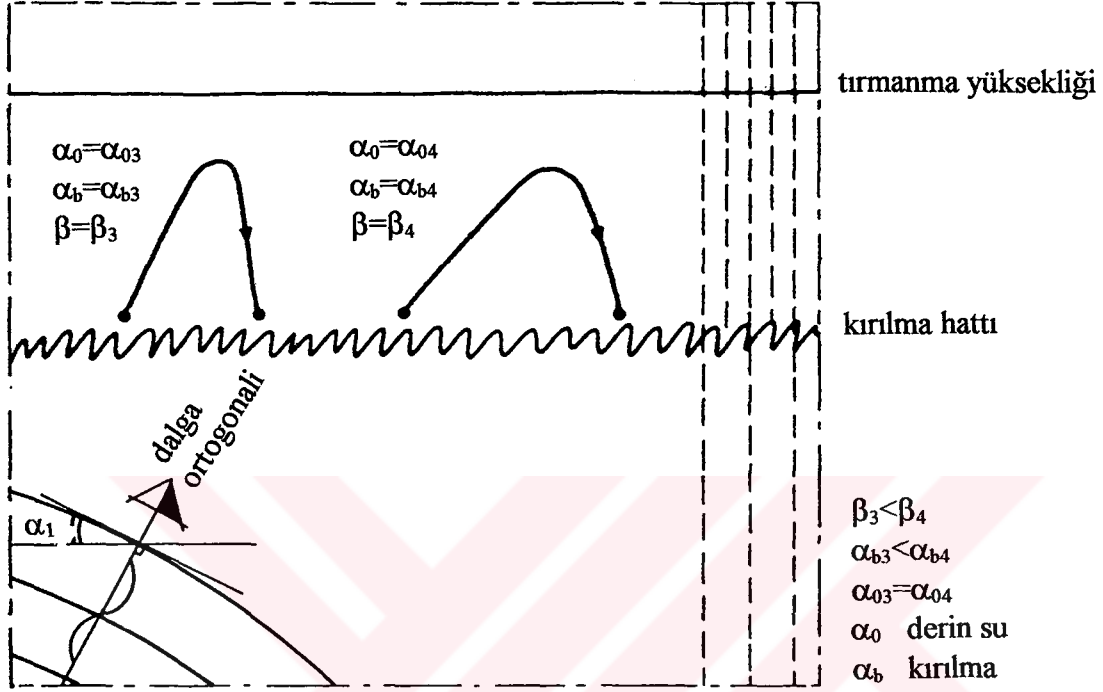
2.2.2 Başlangıç kıyı eğiminin etkisi

Taban eğimi arttıkça dalga sapması azalmakta ve böylece kırılma noktasındaki dalga yaklaşım açısının derin sudaki dalga yaklaşım açısına oranı (α_b/α_0) artmaktadır. Derin sudaki dalga yaklaşım açısının (α_0) sabit olduğu kabul edildiğinde artan taban eğimiyle birlikte kırılma noktasındaki yaklaşım açısı (α_b) artacaktır. Şekil 2.5 aynı derin su yaklaşım açısına sahip dalganın iki farklı taban eğiminde kıyıya ilerlemesi durumunda tabandaki danenin hareketini göstermektedir. Şekilden de anlaşıldığı gibi taban eğimi arttıkça danenin taşınma mesafesi artmaktadır.

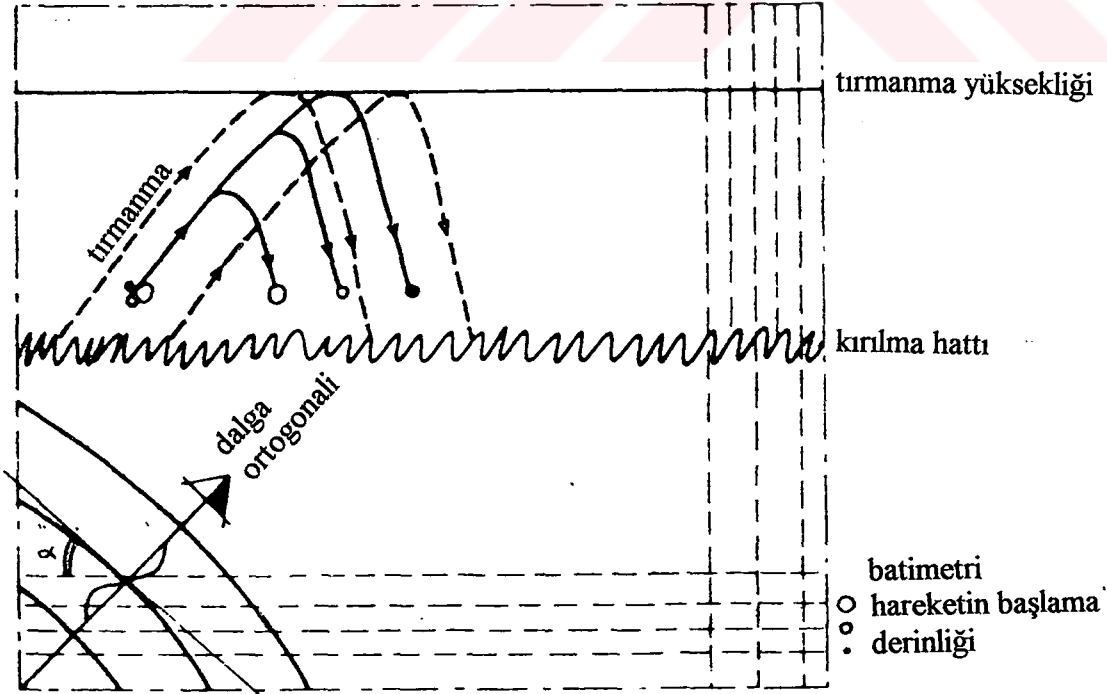
2.2.3 Dane çapının etkisi

Kıyıya yaklaşan dalgalar, kıyıda bir kıyı profilinin oluşmasına neden olabilirler. Kıyı profilinin oluştuğu malzeme genelde üniform değildir ve bunun sonucunda da profili oluşturan malzemede belli bir sınıflanma meydana gelmektedir. Bir dane dağılımındaki her bir dane, çapına bağlı olarak farklı hidrodinamik etkilere maruz kalmaktadır. Şekil 2.6'da değişik

çaplardaki üç danenin tırmanma bölgesindeki davranışı görülmektedir. Danelerin çapları farklı olsa bile hareketin tamamlanmasıyla başlangıçtaki seviyelerine geldikleri söylenebilir, ancak danelerin taşınması süresince çap küçüldükçe taşınma mesafesinin arttığı belirlenmiştir.



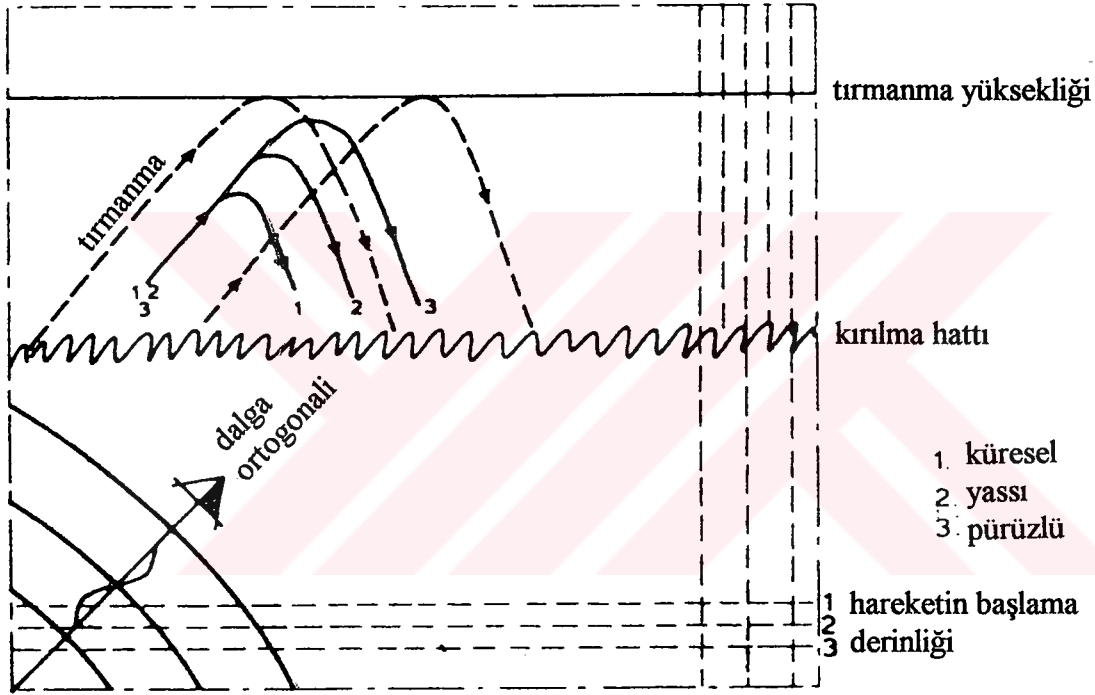
Şekil 2.5 Başlangıç kıyı eğiminin etkisi (Van Hijum ve Pilarczyk, 1982)



Şekil 2.6 Dane çapının etkisi (Van Hijum ve Pilarczyk, 1982)

2.2.4 Dane biçiminin etkisi

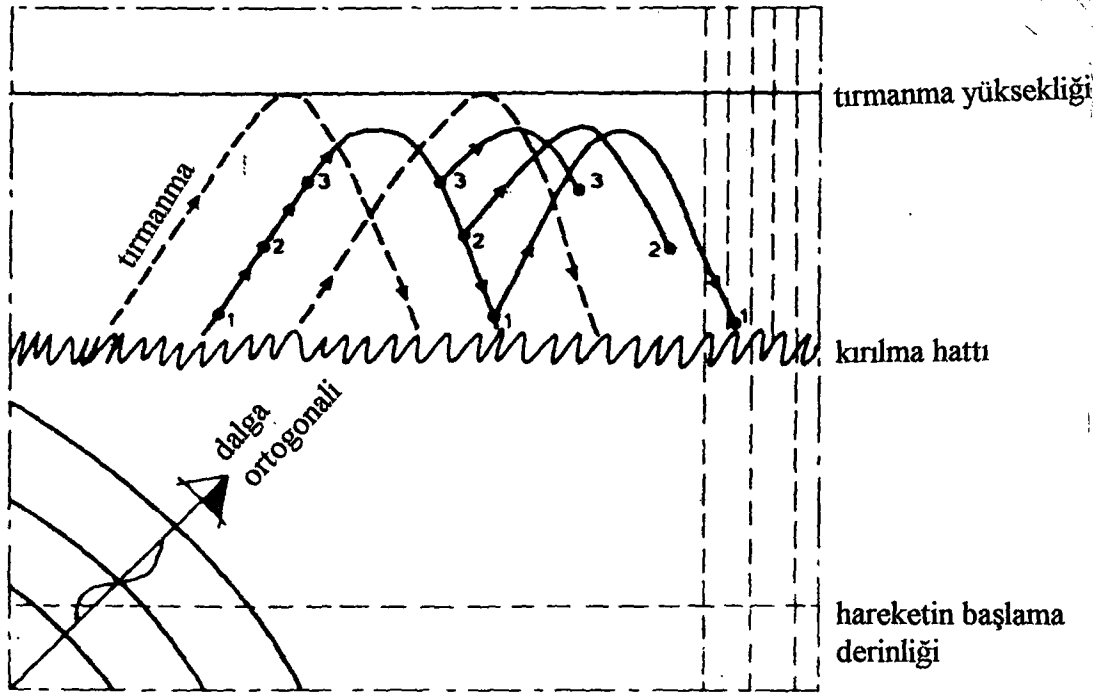
Farklı şekillere sahip olan daneler dalga etkisinde farklı davranışlar göstermektedir. Şekil 2.7’de küresel, yassı ve pürüzlü biçimlere sahip üç farklı danenin tırmanma bölgesinde yapmış oldukları hareketler görülmektedir. Yaklaşan dalgayla birlikte taşınan daneler tırmandıktan sonra geri dönüş akımıyla hemen hemen başlangıçtaki seviyelerine dönmektedirler, ancak küresel dane daha az taşınırken yassı dane daha ileri taşınmakta pürüzlü dane ise en uzak mesafeye taşınmaktadır.



Şekil 2.7 Dane biçiminin etkisi (Van Hījum ve Pilarczyk, 1982)

2.2.5 Kıyı üzerindeki danelerin başlangıçtaki konumunun etkisi

Kıyı üzerinde değişik konumlarda bulunan daneler farklı şekillerde taşınmaktadır. Şekil 2.8 bir danenin üç farklı konumda bulunması durumunda taşındığı mesafeyi göstermektedir. Kırılma çizgisine daha yakın konumda bulunan bir danenin tırmanma bölgesindeki taşınma kapasitesinin arttığı görülmektedir. Çünkü dalganın sahip olduğu enerji bu konumda daha fazladır.



Şekil 2.8 Danenin başlangıç yerinin etkisi (Van Hijum ve Pilarczyk, 1982)

2.3 Kıyıya Dik ve Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımı

Kıyılarda katı madde taşınımı kıyıya dik ve kıyı boyunca olmak üzere iki farklı yapıda incelenmektedir.

Dalgalar kıyı çizgisiyle belli bir açı yaparak kırıldıklarında oluşan enerjinin kıyı çizgisine paralel bileşeni kıyı boyu katı madde taşınımına yol açarken, kıyı çizgisine dik bileşeni ise kıyıya dik yönde katı madde taşınımını oluşturmaktadır.

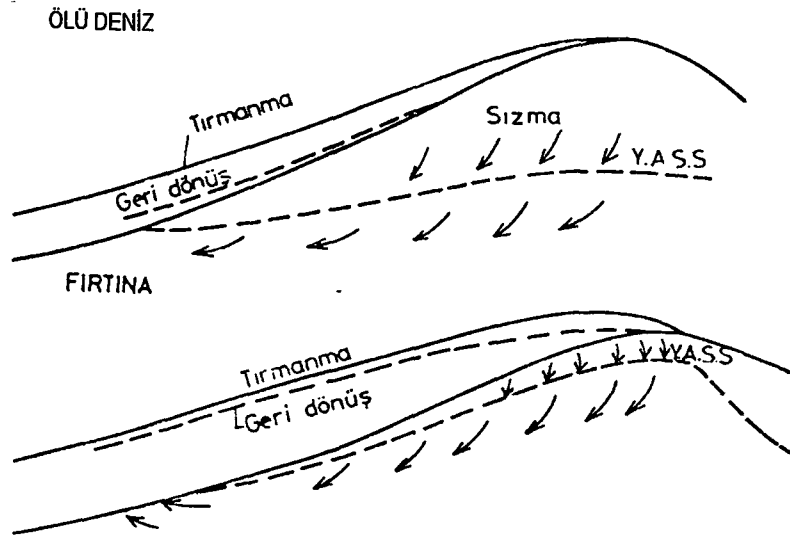
Açıktan kıyıya doğru ilerleyen dalgalar taban etkisini hissetmeye başladıktan sonra, kendi doğrultularından saparak dalga cephelerinin kıyı çizgisiyle yaptığı dalga yaklaşım açısından daha büyük bir açıyla kıyıya ulaşırlar. Dalgalar yakın kıyı bölgesinde yeterince ilerlediklerinde, dalga cepheleri kıyı çizgisine paralel olacak şekilde kıyıya dönerler. Buna karşın, yakın kıyı bölgesinde dalgalar yeterince ilerleme fırsatı bulamazlarsa kıyı yakınlarında kıyı ile belli açı yapacak şekilde kırıldıklarında sahip olacakları dalga enerjisinin kıyı çizgisine paralel bileşeninden dolayı kıyı boyunca bir su kütlesi hareketi oluştururlar. Bu su kütlesi hareketine kıyı boyu akıntısı adı verilir. Kıyı boyu akıntıları dalga enerjisinin kıyı çizgisine paralel bileşeni doğrultusundadırlar ve

beraberlerinde kuvvetli bir katı madde taşınımı oluşturlar. Buna “kıyı boyu katı madde taşınımı” adı verilir.

“Kıyıya dik katı madde taşınımı” ise kıyı çizgisine dik ortalama bir doğrultuya sahiptir. Herhangi bir dalga etkisi altında kıyıya dik yönde net taşınım açık denize doğru ise kıyıda erozyon, kıyıya doğru ise yığılma meydana gelmektedir. Açık kıyı bölgesinde hakim olan katı madde taşınımı, kıyıya dik olan katı madde taşınımıdır, buna karşın surf bölgesi içinde ise hem kıyıya dik katı madde taşınımı hem de kıyı boyu katı madde taşınımı etkin olmaktadır.

2.4 Kıyı Profilleri

Kıyıya ulaşan dalgaların neden olduğu kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde taşınımı sonucunda yaklaşan dalğanın özelliklerine bağlı olarak kıyı batimetrisinde önemli değişimler meydana gelmektedir. Zaman içinde değişken özelliğe sahip kıyı batimetrisinin belli dalga ve akıntı koşullarında sahip olduğu hale kıyı profili denilmektedir. Kıyı profili bu çevresel etkiler altında stabil bir şekle ulaştıktan sonra profilin her noktasında katı maddenin sürekli hareket ve taşınım halinde bulunmasına karşın kıyıya dik net katı madde taşınımı sıfır olacaktır. Bu duruma da “profilin denge hali” denilmektedir.



Şekil 2.9 Kıyı profilleri (Kapdaşlı, 1992)

olduğundan burada katı maddeler bir tepe oluşturlar. Bu tepe oluşumu sonucunda daha önce kıyıya daha yakın kırılan dalgalar bu tepe üstünde kırılarak enerjilerini kaybetmeye başlarlar ve kıyıda erozyon sona erer.

Sunamura ve Horikawa (1974) kıyı profilleri ile ilgili yapmış oldukları deneysel çalışmalar sonucunda derin su dalga dikliğine (H_0/L_0), kıyı eğimine (s) ve kıyıyı oluşturan katı maddenin granülometrik değişimine (d_{50}/L_0) bağlı olarak kıyı profillerini üç ayrı grupta ifade etmişlerdir. Bunlar şekil 2.10'da görüldüğü gibi normal profil, geçiş profili ve fırtına profili olarak belirtilmiştir. Bu profiller arasındaki geçiş değerleri ise aşağıdaki denklemlerle ifade edilmiştir.

$$\text{Normal profil} \quad \frac{H_0}{L_0} \leq 4 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (2.23)$$

$$\text{Geçiş profili} \quad 4 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} < \frac{H_0}{L_0} < 8 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (2.24)$$

$$\text{Fırtına profili} \quad \frac{H_0}{L_0} \geq 8 s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (2.25)$$

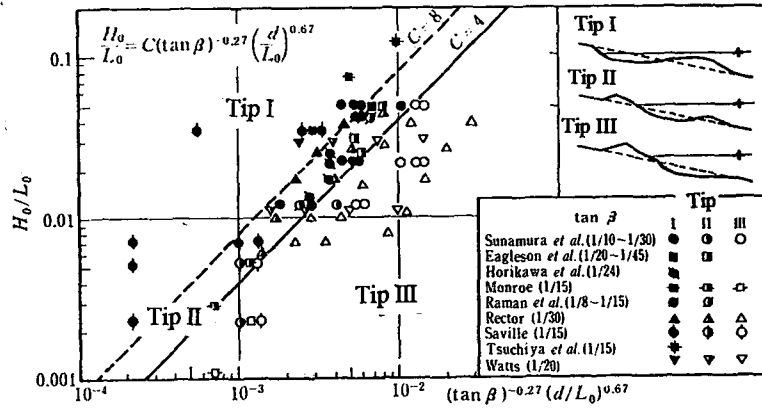
Bu ifadeler genel formda aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{H_0}{L_0} = C s^{-0.27} (d_{50}/L_0)^{0.67} \quad (2.26)$$

burada C ampirik bir katsayıdır. C katsayısının aldığı değerlere göre şu şekilde sınıflandırma yapılmıştır.

Normal profil	$C \leq 4$
Geçiş profili	$8 > C > 4$
Fırtına profili	$C \geq 8$

Bu ifadelerden de görüldüğü gibi tam gelişmiş kıyı profili H_0/L_0 dalga dikliği, s kıyı eğimi ve d_{50}/L_0 granülometrik değişimle ayırt edilebilmektedir.



Şekil 2.10 Kıyı profilleri (Sunamura ve Horikawa, 1974)

Dean (1990) ise yine yapmış olduğu kıyı profilleri ile ilgili çalışmada taban malzemesinin granülometrik değişiminin oldukça etkili olduğunu göstermiştir.

2.5. Granülometrik Değişimin Etkisi ve Boyut Analizi Yardımıyla

Olaya Etkili Parametrelerin Belirlenmesi

2.5.1 Etkili parametrelerin belirlenmesi

Kıyı profilleri üzerindeki taban malzemesinin granülometrik değişiminin hidrodinamik özelliklerinin belirlenmesi için öncelikle olaya etkili parametrelerin elde edilmesi gereklidir.

Bu parametreler Çizelge 2.1’de gösterildiği gibi belirlenmiştir;

2.5.2 Boyut analizi

Granülometrik değişimin etkisi Çizelge 2.1’deki parametreler dikkate alındığında aşağıdaki fonksiyonla gösterilebilir.

$$F(\rho, g, h, v, H, T, d, \rho_s, \sigma, s, \tau, \alpha) = 0 \quad (2.27)$$

Bu parametreler esas alınarak Langhaar (1980) metodu yardımıyla boyut analizi uygulanırsa (bakınız Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3)

Çizelge 2.1 Etkili parametreler

	Parametre	Sembolü	Birimi	Boyutu
Akışkanı karakterize eden değişkenler	Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg/m ³	ML ⁻³
	Akışkanın kinematik viskozitesi	ν	m ² /sn	L ² T ⁻¹
Akımı karakterize eden değişkenler	Dalga yüksekliği	H	m	L
	Dalga periyodu	T	sn	T
	Su derinliği	h	m	L
	Taban kayma gerilmesi	τ	N/m ²	ML ⁻¹ T ⁻²
	Dalga ortogonalı ile kıyı normali arasındaki açı (dalga yaklaşım açısı)	α	°	-
Katı maddeyi karakterize eden değişkenler	Katı madde çapı	d	m	L
	Katı madde özgül kütlesi	ρ_s	kg/m ³	ML ⁻³
	Taban malzemesinin standart sapması	σ	-	-
Diğer değişkenler	Kıyı şev eğimi	s (=tan β)	m/m	-
	Yerçekimi ivmesi	g	m/sn ²	LT ⁻²

Çizelge 2.2 Granülometrik değişim için etkili parametrelerin boyutları

	ρ	g	d	ν	H	T	h	ρ_s	τ	σ	s	α
M	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
L	-3	1	1	2	1	0	1	-3	-1	0	0	0
T	0	-2	0	-1	0	1	0	0	-2	0	0	0

Çizelge 2.3 Granülometrik değişim için boyutsuz parametreler

	Π_1	Π_2	Π_3	Π_4	Π_5	Π_6	Π_7	Π_8	Π_9
ρ	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0
g	-1/2	0	1/2	0	0	-1	0	0	0
h	-3/2	-1	-1/2	-1	0	-1	0	0	0
v	1	0	0	0	0	0	0	0	0
H	0	1	0	0	0	0	0	0	0
T	0	0	1	0	0	0	0	0	0
d	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ρ_s	0	0	0	0	1	0	0	0	0
τ	0	0	0	0	0	1	0	0	0
σ	0	0	0	0	0	0	1	0	0
s	0	0	0	0	0	0	0	1	0
α	0	0	0	0	0	0	0	0	1

sırasıyla aşağıda belirtilen boyutsuzlar elde edilir;

$$\Pi_1 = g^{-1/2} h^{-3/2} v = \frac{v}{\sqrt{g^3 h}} = \frac{v}{h \sqrt{gh}}$$

burada $\sqrt{gh} = u_*$ kayma hızını karakterize etmektedir, böylece

$$\Pi_1 = \frac{u_* h}{v}$$

Reynolds sayısı

yazılabilir.

$$\Pi_2 = \frac{H}{h}$$

rölatif dalga yüksekliği

$$\Pi_3 = \frac{\sqrt{g}T}{\sqrt{h}} = \sqrt{\frac{g}{h}}T = \frac{T}{\sqrt{h/g}} \quad \text{periyot parametresi}$$

$$\Pi_4 = \frac{d}{h} \quad \text{rölatif dane çapı}$$

$$\Pi_5 = \frac{\rho_s}{\rho} \quad \text{rölatif özgül kütle}$$

$$\Pi_6 = \frac{\tau}{\rho gh} \quad \text{hareketlilik parametresi}$$

$$\Pi_7 = \sigma \quad \text{taban malzemesinin standart sapması}$$

$$\Pi_8 = s \quad \text{taban eğimi}$$

$$\Pi_9 = \alpha \quad \text{dalga yaklaşım açısı}$$

$$F_1 (\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9) = 0$$

$$F_1 \left(\frac{u_* h}{v}, \frac{H}{h}, \frac{T}{\sqrt{h/g}}, \frac{d}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\tau}{\rho gh}, \sigma, s, \alpha \right) = 0 \quad (2.28)$$

burada taban malzemesinin hareketini karakterize etmesi açısından, dane Reynolds sayısını tanımlayabilmek için elde edilen boyutsuz gruplardan Π_1 ve Π_4 birbirleri ile çarpılarak yeni boyutsuz fonksiyon belirlenir.

$$F_2 (\Pi'_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \Pi_5, \Pi_6, \Pi_7, \Pi_8, \Pi_9) = 0$$

burada boyutsuzlar açık olarak ifade edilirse,

$$F_2 \left(\frac{u_* d}{v}, \frac{H}{h}, \frac{T}{\sqrt{h/g}}, \frac{d}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\tau}{\rho g h}, \sigma, s, \alpha \right) = 0 \quad (2.29)$$

bulunur, her bir boyutsuzun anlamı daha önce verilmişti. Ancak problem için daha anlamlı olan Π'_1 boyutsuzu tanımlanırsa

$$\Pi'_1 = \frac{u_* d}{v} \quad \text{dane Reynolds sayısı}$$

dır. Ayrıca aynı boyutsuz fonksiyon dane boyutunu içeren periyot parametresiyle Π_3^2/Π'_4 (Π'_3) ifade edilebilir., buna göre

$$F_3 \left(\frac{u_* d}{v}, \frac{H}{h}, \frac{T}{\sqrt{d/g}}, \frac{d}{h}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\tau}{\rho g h}, \sigma, s, \alpha \right) = 0 \quad (2.30)$$

elde edilir.

Deneylerde aynı kuvars kumu kullanılması nedeniyle bu fonksiyonda rölatif özgül kütle sabit kalmaktadır. Hareketlilik parametresi tabanda hareketin başlangıcını temsil etmesinden dolayı, bu parametrenin etkisi bu çalışmada dikkate alınmamıştır.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

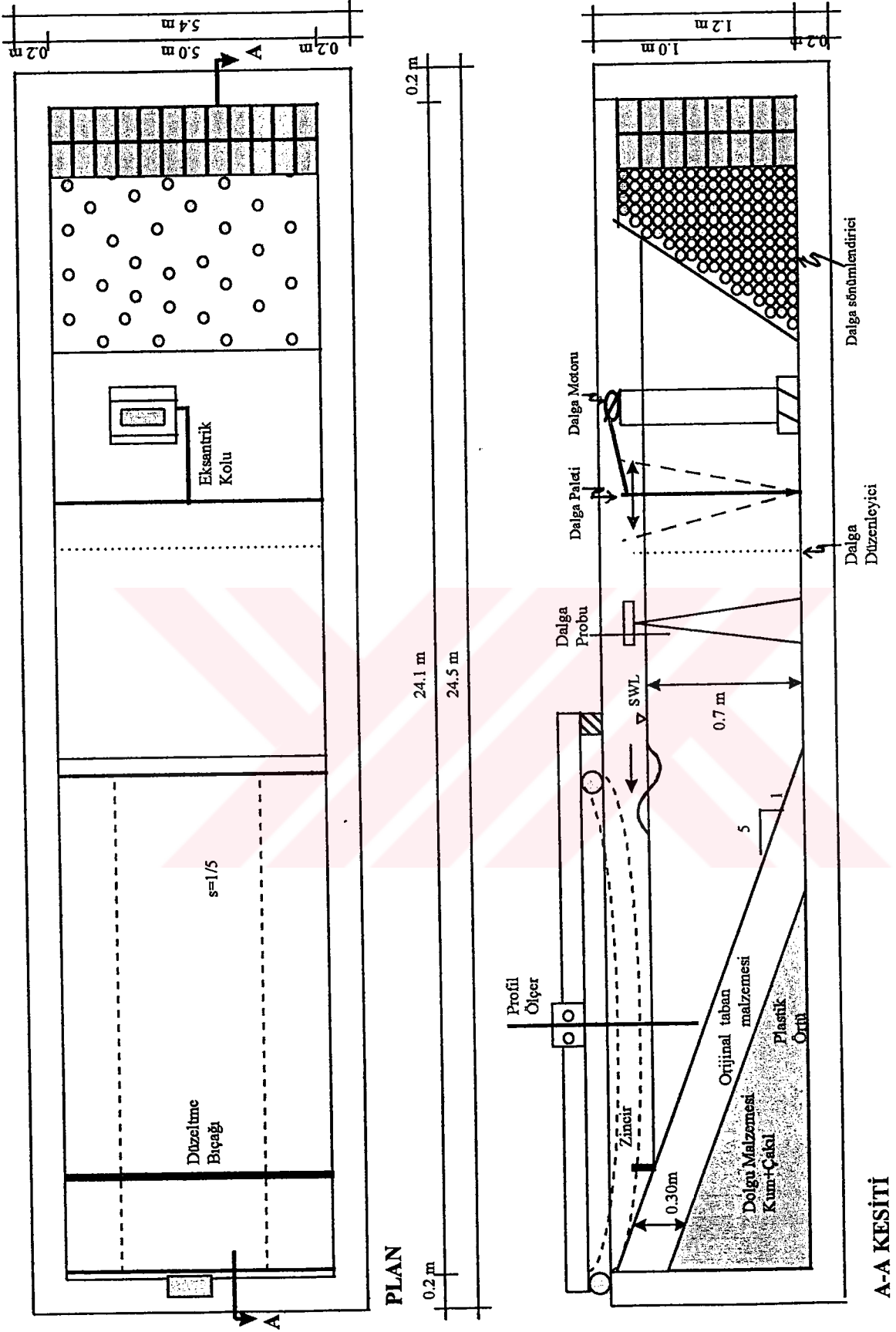
3.1 Deney Sistemi

Deneyler Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Hidrolik ve Kıyı Liman Laboratuvarında inşaa edilmiş olan dalga havuzunda gerçekleştirilmiştir. Bu havuz 24.50 m uzunluğunda, 5.40 m genişliğinde ve 1 m derinliğindedir (Şekil 3.1). Dalgalar bir eksantrik yardımıyla doğru akım motorunun miline bağlanan tabana mafsallı bir palet ile üretilmiştir. Dalga paletinin arka kısmında iri çakıl malzemeden hazırlanmış dalga söndürücü bulunmaktadır (Şekil 3.2). Dalga paletinin önüne yerleştirilen tel perde yardımıyla dalga üreticinden kaynaklanabilecek sekonder dalgaların giderilmesi sağlanmıştır. Böylece, dalga havuzunda daha düzenli dalgaların elde edilmesine çalışılmıştır.



Şekil 3.1 Deney sisteminin genel görünümü

Havuzda istenilen yükseklikte ve periyotta dalga oluşturmak için 5 Kw gücünde bir doğru akım motoru ile buna giden akımı düzenleyen ve kumanda eden bir güç kaynağı ile redresör bulunmaktadır.



Şekil 3.2 Deney sistemi

Havuzun diğer tarafında 1/5 eğime sahip bir şev teşkil edilmiştir. Kum ve çakıldan oluşan dolgu malzemesi üzerine 30 cm. kalınlığında farklı granülometrilere sahip deneylerde esas alınacak kum malzeme serilmiştir. Her deneyin bitiminde şevi orijinal seviyesine getirecek redüktörlü bir motora bağlı otomatik düzeltme mekanizması şev üzerine yerleştirilmiştir. Bu düzeltme mekanizması her deney sonunda otomatik olarak aşağı ve yukarı hareket ettirilmek suretiyle taban dikkate alınan eğime getirilerek hassas bir şekilde düzeltilmesi sağlanmıştır.

3.2 Katı Madde Özellikleri ve Granülometri

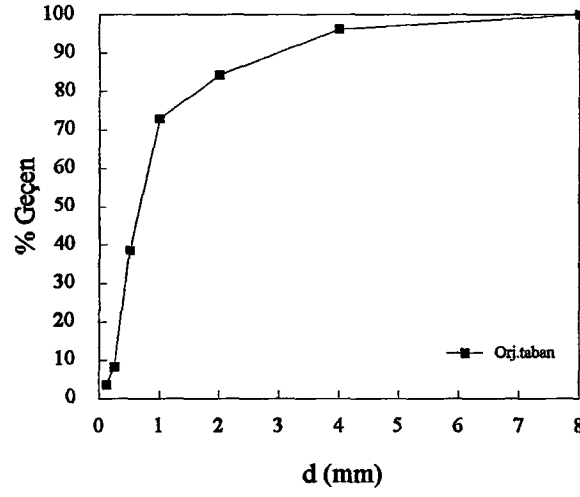
Deneylerde iki farklı granülometriye sahip kum malzeme kullanılmıştır. Bu malzemelerin granülometrik özelliklerinin belirlenmesi için Yıldız Teknik Üniversitesi Malzeme Laboratuvarında elek analizi deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler yardımıyla kum malzemelerin başlıca granülometrik özellikleri Çizelge 3.1’de özetlenmiş, granülometrik değişimleri ise Şekil 3.3 ve 3.4’de gösterilmiştir. Malzemelere ait diğer özellikler ise Çizelge 3.2’de belirtilmiştir (TS 3529, TS 3526).

Çizelge 3.1 Deneylerde kullanılan malzemelerin granülometrik özellikleri

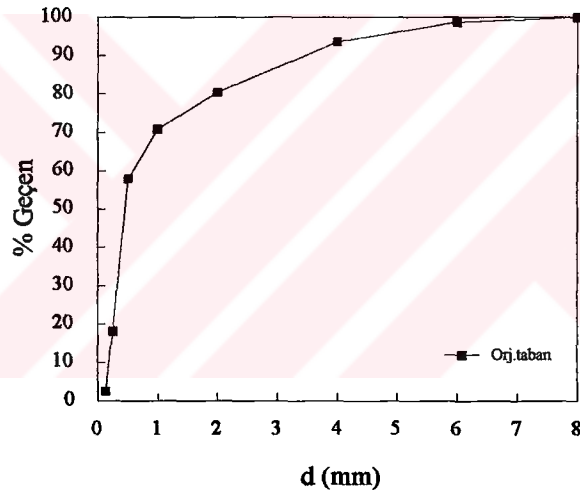
Malzeme No	d ₁₆ (mm)	d ₂₅ (mm)	d ₅₀ (mm)	d ₆₀ (mm)	d ₇₅ (mm)	d ₈₄ (mm)	d ₉₀ (mm)	σ (-)	S ₀ (-)
A	0.31	0.39	0.67	0.81	1.18	1.97	2.99	2.55	1.74
B	0.23	0.29	0.45	0.58	1.43	2.51	3.44	3.77	2.22

Çizelge 3.2 Malzemelere ait diğer özellikler

Malzeme No	Özgöl Ağırlık	Porozite
A	2.63	0.43
B	2.46	0.42



Şekil 3.3 A malzemesinin granülometrik değişimi

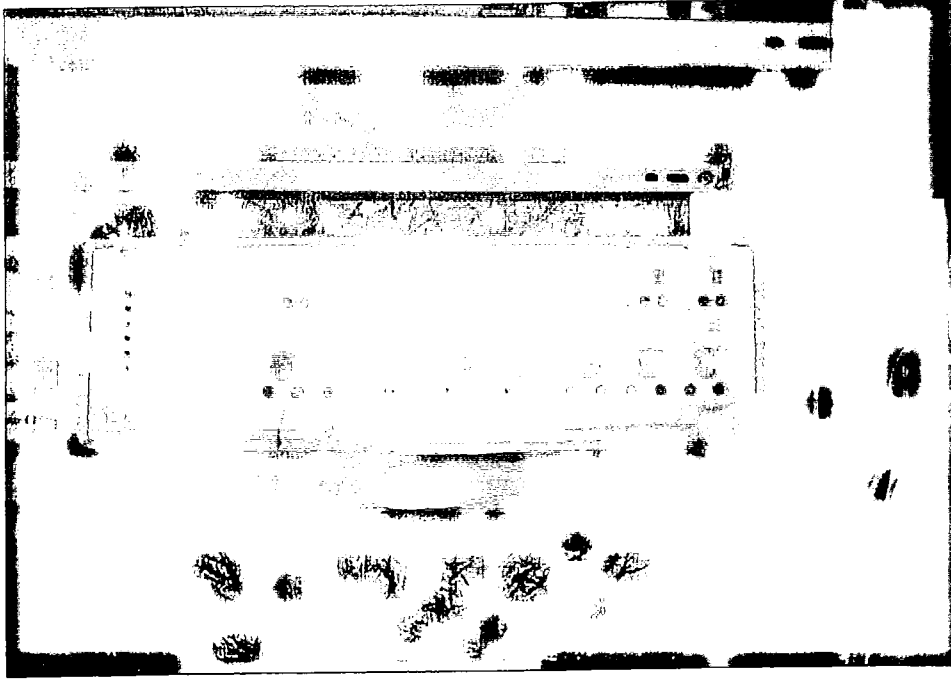


Şekil 3.4 B malzemesinin granülometrik değişimi

3.3 Ölçüm Sistemleri

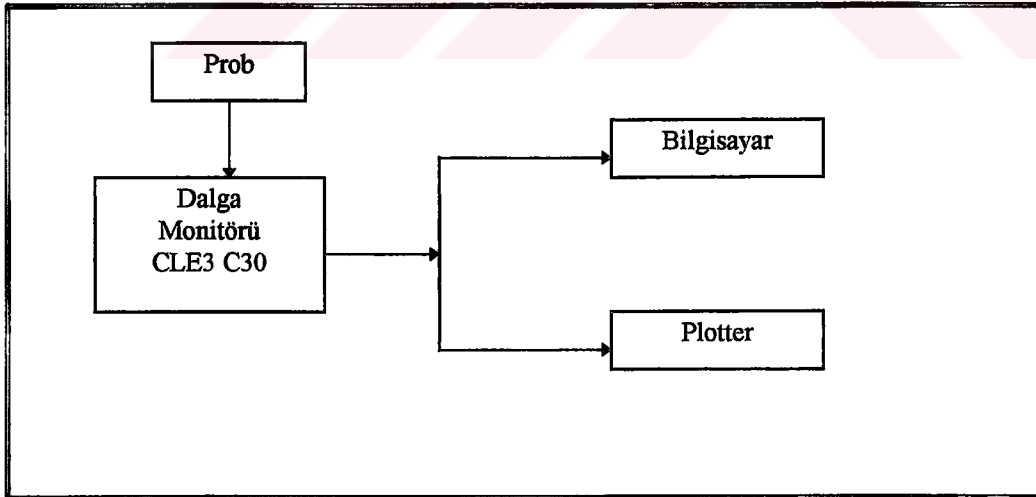
3.3.1 Dalga ölçümleri

Dalga kanalında üretilen dalgaların yükseklikleri ikiz çubuk elektrodlu bir sistem yardımıyla ölçülmüştür. Bu sistemin çalışması elektrodlar arasındaki suyun devreyi tamamlaması ve su seviyesinin alçalması yükselmesi sırasında direnç değişmesi prensibine dayanmaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Dalga probunun genel görünümü

Bu değişim CLE3 C30 model bir amplifikatör yardımıyla yükseltilmekte ve buna bağlı Armfield CQ95 tipi bir plotter ile kaydedilmektedir (Şekil 3.6). Ayrıca kayıtlar bir PC yardımıyla da değerlendirilebilmektedir.



Şekil 3.6 Dalga ölçümünün genel şeması.

Her deneyden önce sizin su durumunda sistemin direnci dengeye getirilmek suretiyle kalibrasyonu yapılmıştır.

3.3.2 Granülometrik ölçümler

3.3.2.1 Elek analizi

Elek analizi deneyleri tamamen kuru numuneler üzerinde yapılmıştır. Numunelerin rutubetli olması halinde etüvde kurutulduktan sonra bu deneylere tabi tutulmuştur. Numune, boyutu en büyük olan elek üstüne konularak elenme işlemine başlanmıştır. Elekten geçenler boyutu daha küçük olan elek üstünde toplandığında bu elekten de elenmiştir. Bu şekilde boyutu en küçük olan eleğe kadar aynı işlemler gerçekleştirilmiştir. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde bir miktar malzeme kalmaktadır. En büyük boyutlu elek üstünde kalan malzeme tartılmış ve bu elekten hemen sonra gelen daha küçük boyuttaki elek üstünde kalan, bir üst elek üstünde kalana eklenerek yine tartılmıştır. Bu işe en küçük elek boyutuna ulaşıncaya kadar devam edilmiştir. Elde edilen değerlere göre granülometri eğrileri belirlenmiştir (Postacıoğlu, 1987).

3.3.2.2 Kıyı profilleri üzerindeki taban malzemesinin granülometrik değişiminin ölçümü

Gerek orijinal taban halinde, gerekse kıyı profillerinin oluşumundan sonra, taban malzemesine ait granülometrinin belirlenmesinde, deney hatalarının en aza indirgenebilmesi için sistematik bir yöntem izlenmiştir.

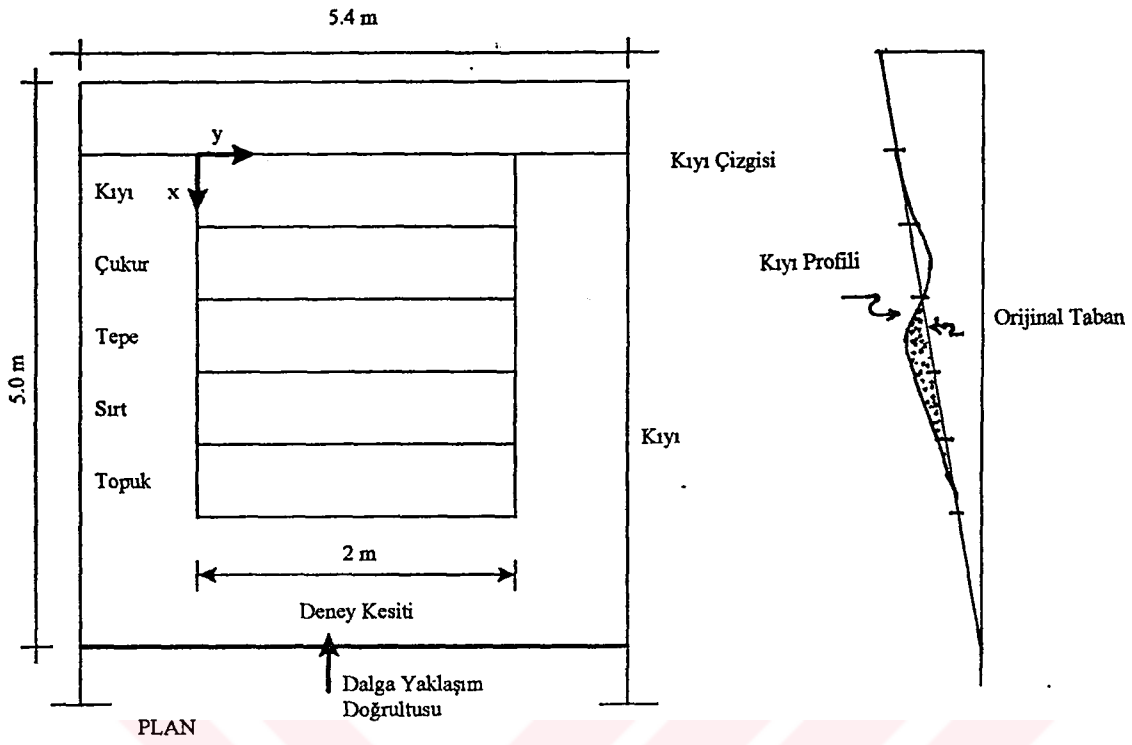
Orijinal tabana ait granülometrinin belirlenmesi halinde oldukça büyük bir taban malzemesi yığınının karakterize edilmesi söz konusu olduğundan, bu yığının dört farklı yerinden yaklaşık bir kg'lık numuneler alınmıştır. Bu numunelerin elek analizinde anlatılan yöntem izlenerek ayrı ayrı granülometreleri belirlenmiştir. Böylece orijinal tabanı karakterize edecek granülometri eğrisinin elde edilmesinde hata payının azaltılması amacıyla, dikkate alınan dört ayrı numuneden elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Sonuç olarak orijinal tabana ait granülometri eğrisi belirlenmiştir.

Kıyı profillerinin oluşması halinde ise, tabanda oluşan granülometrik dağılımın belirlenmesi için, taban farklı kesitlere ayrılmıştır. Bu kesitlerin belirlenmesinde izlenen yöntemde profilin tipi esas alınmıştır.

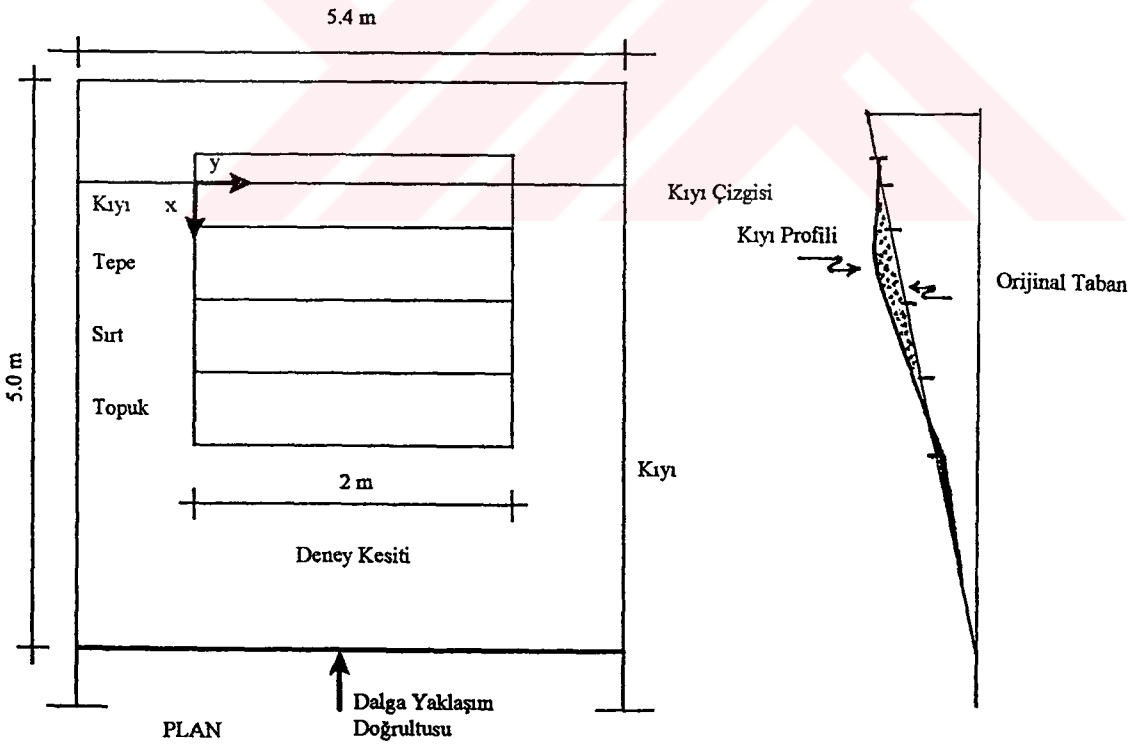
Fırtına profili durumunda gözlemler granülometrik dağılımın esas olarak kıyıya paralel beş farklı kesitin dikkate alınmasıyla karakterize edilebileceğini göstermiştir. Bunlar Şekil 3.7’de görüldüğü gibi kıyı, çukur, tepe, sırt ve topuk kesitleridir. Dalga havuzunun yan duvarlarının etkisinden kaçınmak amacıyla, ölçümlerde havuz ekseninin her iki tarafından bir metre alınarak iki metre genişliğindeki deney kesiti dikkate alınmıştır. Her deney kesitinin genişliği, oluşan profilin büyüklüğüne göre kıyı çizgisi esas alınarak Şekil 3.7a’da görüldüğü gibi belirlenmiştir. Normal profilin oluşması durumunda da benzer işlemler yapılmıştır, ancak bu profil halinde kesit sayısı kıyı, tepe, sırt, ve topuk olmak üzere kıyıya paralel dört ayrı deney kesitine inmiştir. Yine Şekil 3.7b’de görüleceği üzere kıyı çizgisinin 10 cm gerisinde alınan referans hattı dikkate alınarak deney kesitleri belirlenmiştir. Kıyı çizgisinin gerisinde bir referans hattının oluşturulması, gözlemlenen granülometrik değişimin genelde bu hattan itibaren başlamasından kaynaklanmaktadır. Hem kıyıya dik hem de kıyı boyunca yapılan deneysel çalışmalarda fırtına profili ve normal profilin her ikisinin de oluştuğu durumlar incelenmiştir. Kıyıya dik granülometrik değişimin belirlenmesi Şekil 3.7’de görülen her deney kesitinin yüzey tabakasının sıyrılarak alınmasıyla elde edilen numunelerin elek analizi deneyine tabi tutulması ile bulunmuştur. Böylece kıyı profili boyunca belirlenen granülometrik eğriler orijinal taban malzemesine ait granülometri eğrisi ile birlikte değerlendirilebilmiştir. Granülometri eğrilerinden yararlanılarak orijinal taban malzemesinin standart sapması (σ_0) ile her deney kesitine ait taban malzemesinin standart sapmaları (σ) aşağıdaki ifadede hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{1}{2} \left(\frac{d_{84}}{d_{50}} + \frac{d_{50}}{d_{16}} \right) \quad (3.1)$$

Burada σ standart sapma, d_{84} malzemenin %84’ünün geçtiği elek çapı, d_{50} malzemenin %50’sinin geçtiği elek çapı, d_{16} malzemenin %16’sının geçtiği elek çapıdır. Malzemelere ait standart sapma, tabanda oluşan granülometrik değişime uğramış malzemenin üniformaluluk



a) Fırtına profili durumunda deney kesitlerinin görünümü

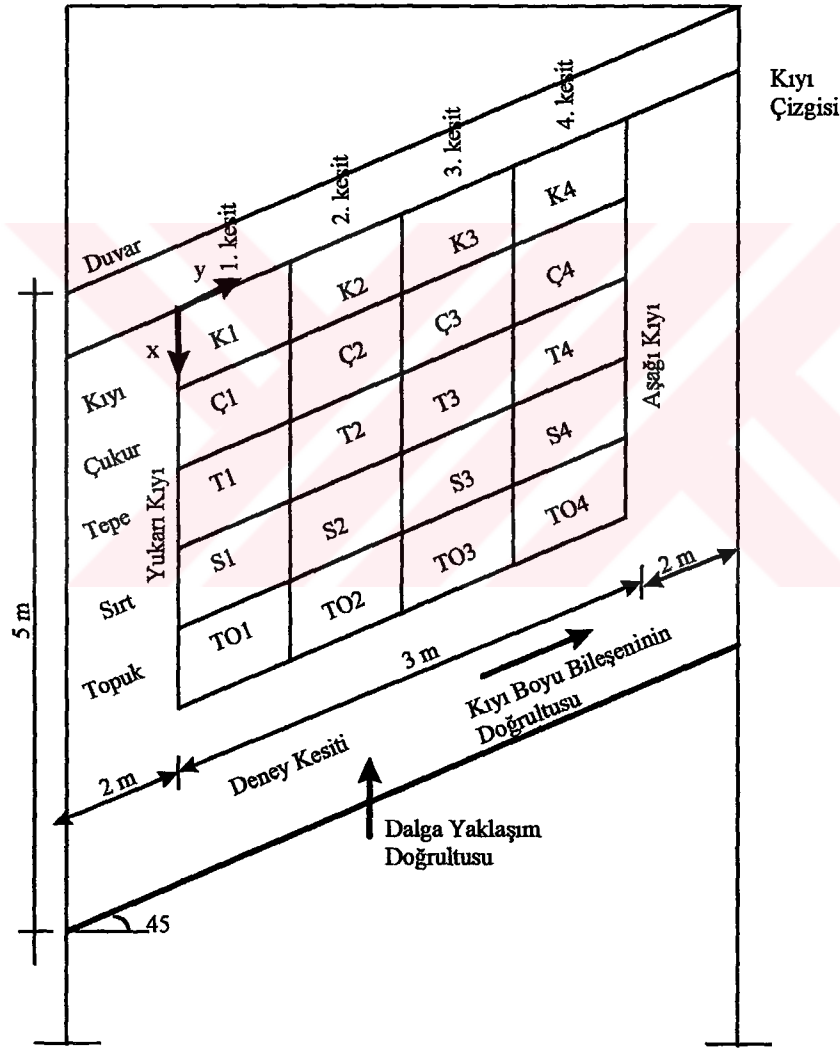


b) Normal profil durumunda deney kesitlerinin görünümü

Şekil 3.7 Kıyıya dik granülometri ölçüm kesitleri

yapısını, yani tabandaki malzemenin kaba veya ince dane oranlarını göstermektedir. Örneğin, iki değişik taban malzemesi içindeki kaba veya ince dane oranları farklı da olsa aynı ünlformluluğa sahip olabilmektedir. Bu durumda 3.1 ifadesinden de görüldüğü gibi standart sapmanın bire yaklaşması durumunda malzemenin daha üniform yapıda olacağı anlaşılmaktadır.

Dalganın kıyıya belli bir açıyla yaklaşması durumunda da, kıyı boyunca granülometrik değişimin belirlenmesi için dalga sırtlarının kıyı normaline dik olması durumunda olduğu gibi



Şekil 3.8 Kıyı boyu granülometri ölçüm kesitleri

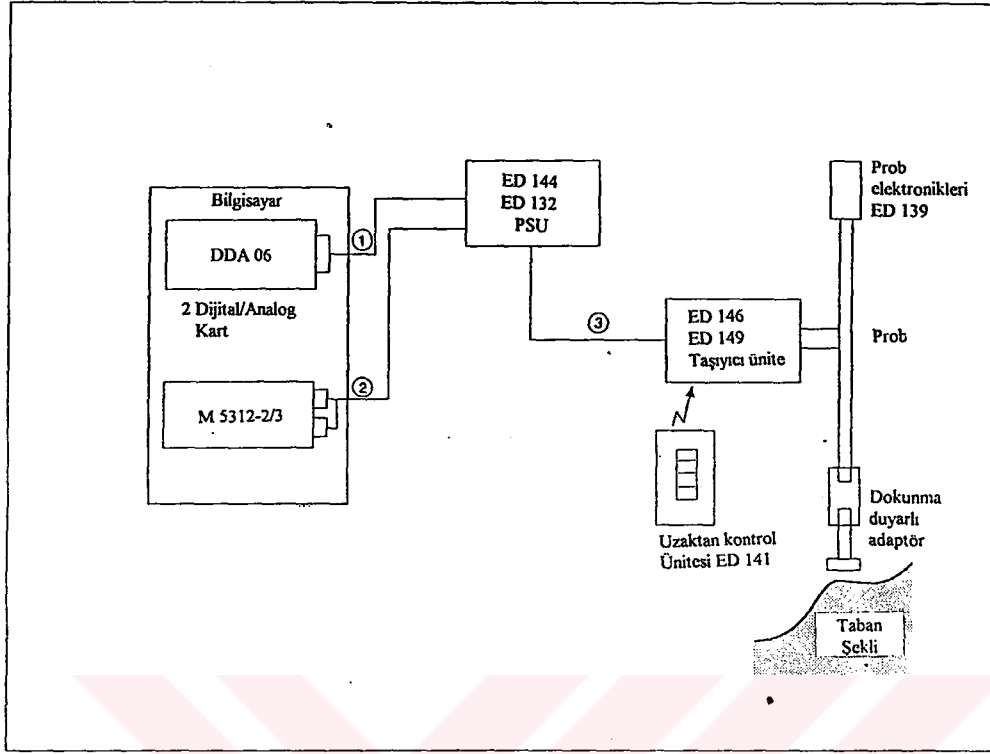
Burada K kıyı, Ç çukur, T tepe, S sırt, TO topuk kesitlerini göstermektedir.

benzeri işlemler yapılmıştır. Bu çalışmada kıyı boyu granülometrik değişimin incelenebilmesi amacıyla kıyı boyu granülometrik değişim halinde dalganın kıyı normali ile 45° 'lik açı yapması hali göz önüne alınmıştır. Şekil 3.8'de görüldüğü gibi deney kesitleri dalganın kıyıya dik yaklaşımındakinden farklı olarak kıyı boyunca yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru alt kesitlere ayrılmıştır ve bütün kesitlerde kıyıya dik granülometrik değişimin belirlenmesinde olduğu gibi yapılan işlemler aynen gerçekleştirilmiştir.

Deneyleerin yapılmasında önemli bir faktör olan deney süresi ise yapılan ön deneyler sonucunda granülometrik değişimin profilin dinamik denge şartlarının oluşumu ile birlikte sabit kaldığı belirlenerek dikkate alınmıştır. Buna göre deneylerde göz önüne alınan dalga şartları esas alındığında bu işlemin 1000~3000 dalga arasında dalga tipine bağlı olarak değiştiği bulunmuştur. Bu gözlem kıyı profilleri ile ilgili daha önce yapılan çalışmalarla da uyum içindedir (Van der Meer, 1988).

3.3.3 Taban profili ölçümleri

Hareketli tabanda meydana gelen taban profillerinin ölçümü için “HR Wallingford Dokunma Duyarlı İki Boyutlu” profil kaydedici kullanılmıştır (Şekil 3.9). Bu profil kaydedici kum, çakıl, toz gibi benzeri malzemelerden oluşmuş tabanlarda su altında ve üstünde herhangi bir süreksizlik oluşturmada çalışabilmektedir. Profil kaydedici 6 m uzunluğunda bir kiriş üzerinde yatayda hareket etmekte olan, 0.104x0.2x0.15 m ebadında ve 4.3 kg ağırlığında bir taşıyıcı ile düşeyde aşağı-yukarı hareket eden 1.5 m uzunluğunda ve 0.4 kg ağırlığında bir adet probdan oluşmaktadır. Prob 10 mm çapında ve kenarında dişli olan paslanmaz çelik çubuktan meydana gelmektedir (Şekil 3.10). Bu dişli sistem taşıyıcının içinde bulunan ve düşey hareketi sağlayan dc servo motora bağlıdır. Probun alt ucundaki hafif ağırlıklı dokunmatik algılayıcıdan oluşan bir algılayıcı 20 mm çapındaki bir silindir içinde rahatça aşağı yukarı hareket edebilmektedir. Profil kaydedici yatayda ± 1 mm ve düşeyde ± 0.5 mm hassaslıkta ölçüm yapabilmektedir. Algılayıcının silindire göre durumu ve böylece probun tabana göre durumu optik olarak ölçülebilmektedir. Sistemde üretilen kızıl ötesi ışık kaynağı probun üstüne monte edilmiş olup ışık fiber optik yardımıyla aşağıya iletilmektedir. Diğer bir fiber optik ise dedektörün üzerinden geriye yansıtılan ışığı prob ile



Şekil 3.9 Dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel şeması



Şekil 3.10 Profil kaydedici probunun detayı

taban arasındaki mesafe ile orantılı bir sinyal üreten kızıl ötesi algılamalı foto dioduna iletmektedir. Servo kontrol elektronikleri probu aşağıya doğru harekete geçirerek algılayıcı yavaşça tabana dokunarak durmakta ve böylelikle her bir ölçümde prob ile taban arasındaki mesafe aynı kalmaktadır. Algılayıcı oldukça hafif olduğundan tabanda önemli deformasyonlara neden olmamaktadır.

Bu profil kaydedici, içine iki adet AD dönüştürücü kart yerleştirilmiş bir PC 486 DX2-66 ile kontrol edilmekte ve bütün kontrolunun mouse ile yapıldığı özel olarak yazılmış bir software programı ile çalışmaktadır (Şekil 3.11).



Şekil 3.11 HR Wallingford dokunma duyarlı iki boyutlu profil kaydedici genel görünümü

3.4 Dalga Karakteristikleri

Dalga havuzunda üretilen dalgalar değerlendirilerek elde edilen dalgalara ait özellikler Çizelge 3.3’de özetlenmiştir.

Çizelge 3.3 Belirlenen dalgalara ait özellikler.

Dalga No	T (s)	H _i (cm)	L _i (m)	H ₀ (cm)	L ₀ (m)	H ₀ /L ₀	K _r	Profil Tipi
11	1.0	5.3	1.5	5.4	1.6	0.0338	0.035	Fırtına Profili
12	1.0	7.9	1.8	8.1	1.6	0.0506	0.032	Fırtına Profili
13	1.0	9.8	1.8	10.1	1.6	0.0631	0.086	Fırtına Profili
21	1.2	4.8	2.2	5.0	2.2	0.0227	0.107	Fırtına Profili
22	1.2	7.4	2.2	7.8	2.2	0.0355	0.086	Fırtına Profili
23	1.2	10.0	2.2	10.5	2.2	0.0477	0.064	Fırtına Profili
24	1.2	12.5	2.2	13.2	2.2	0.0600	0.059	Fırtına Profili
25	1.2	15.0	2.2	15.8	2.2	0.0718	0.051	Fırtına Profili
31	1.6	5.3	3.5	5.8	4.0	0.0145	0.065	Fırtına Profili
32	1.6	7.4	3.5	8.1	4.0	0.0203	0.055	Fırtına Profili
33	1.6	10.3	3.5	11.2	4.0	0.0280	0.073	Fırtına Profili
34	1.6	12.7	3.5	13.9	4.0	0.0348	0.062	Fırtına Profili
35	1.6	15.0	3.5	16.4	4.0	0.0410	0.056	Fırtına Profili
41	2.0	5.4	4.7	5.9	6.2	0.0095	0.059	Normal Profil
42	2.0	7.4	4.7	8.0	6.2	0.0129	0.069	Normal Profil
43	2.0	9.8	4.7	10.6	6.2	0.0171	0.069	Fırtına Profili
44	2.0	12.2	4.7	13.1	6.2	0.0211	0.053	Fırtına Profili
45	2.0	13.1	4.7	14.2	6.2	0.0229	0.046	Fırtına Profili

Çizelge 3.3’den görüleceği gibi deneylerde toplam 18 farklı dalga şartı dikkate alınmıştır. Dalga şartları 1.0 s, 1.2 s, 1.6 s ve 2.0 s olmak üzere dört farklı dalga periyodunda gruplandırılmıştır. Derin su dalga diklikleri $H_0/L_0=0.0095-0.0718$ arasında değişmektedir. Bu dalga şartlarında, dalga havuzunda inşaa edilen 1/5 eğimli kıyı sevi için yansıma miktarları belirlenmiştir, yansıma katsayısı $K_r=3.2$ ile 10.7 arasında değişmektedir. Bu değerlerin literatürde verilen minimum sınır değerlerine yakın değerler olduğu görülmüştür (Mei, 1989).

3.5 İzlenen Deney Prosedürü

Deneylerin yapılması sırasında, izlenen aşamalar ise aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1- Dalga havuzunun bir ucuna inşaa edilen 1/5 eğimli kıyı şevine yaklaşan düzenli dalga halinde, dalga karakteristiklerinin belirlenmesi

2- İki farklı taban malzemesi için orijinal taban malzemesine ait granülometrik karakteristiklerin ve taban malzemesinin özgül ağırlığının, porozitesinin belirlenmesi

3- Dalganın kıyıya dik yaklaşması halinde iki farklı taban malzemesi için granülometrik değişimlerin belirlenmesi, kıyı profillerinin ölçülmesi

4- İki farklı taban malzemesi için dalganın kıyı normali ile 45°'lik açı yaparak yaklaşması halinde kıyı boyu granülometrik değişimin belirlenmesi ve kıyı profillerinin ölçülmesi

5- Deneylerin her aşamasında, taban malzemelerine ait örneklerin granülometrik karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla numunelerin elek analizi deneylerine tabi tutulması Her deneyden sonra; tabanda deneyler sırasında meydana gelen granülometrik değişimin bir sonraki deney sonuçlarını etkilememesi amacıyla karıştırılmasından sonra taban düzeltme mekanizması yardımıyla orijinal haline getirilmiştir.

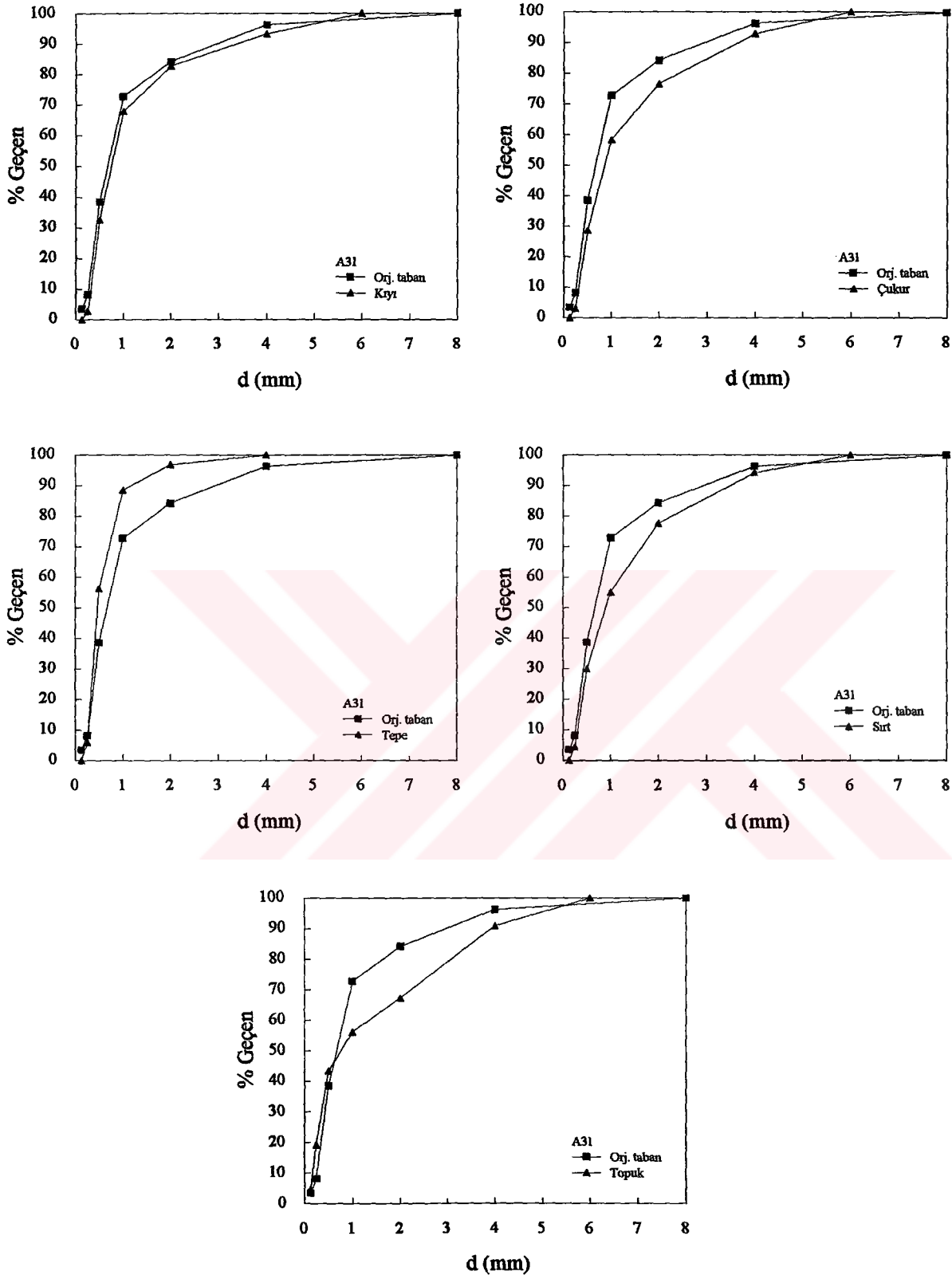
4. GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRME

4.1.Kıyıya Dik Granülometrik Değişimin İncelenmesi

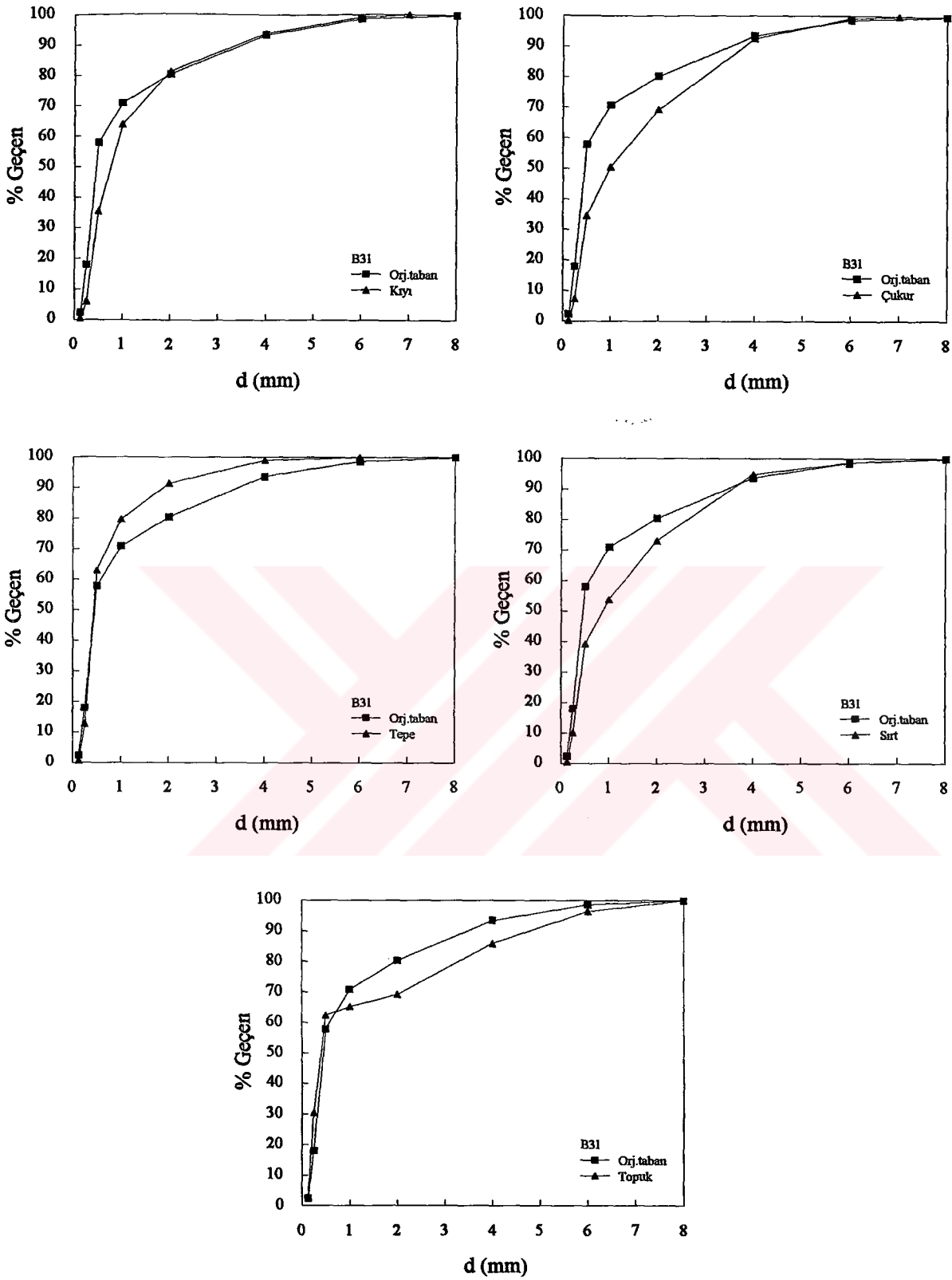
4.1.1. Kıyı Profilleri Boyunca Granülometrik Değişimin Belirlenmesi

Şekil 4.1 ve 4.2’de iki farklı taban granülometrisine sahip kıyı durumu için **fırtına profili** boyunca granülometrideki değişimler aynı dalga şartında gözlenmiştir. Bu şekiller incelendiğinde Bölüm 3’de tanımlanan kesitler için kıyı ve çukur kesitlerinde taban malzemesinin orijinal taban durumuna göre daha kaba olduğu görülmektedir. Buna karşın tepe kesitindeki malzemenin orijinal taban malzemesine göre oldukça incelendiği ve yine açığa doğru sırt ile topuk kesitlerinde giderek tekrar kabalaştığı belirlenmiştir. Granülometrideki bu değişim diğer dalga şartlarında da bulunmuştur. İki farklı taban malzemesinde ayrı ayrı 16 farklı dalga şartında meydana gelen **fırtına** profilleri boyunca granülometrideki değişimlerin aynı özelliğe sahip olduğu gözlenmiştir. Bu değişimler Ek 1’de verilmiştir. Kesitlerdeki kaba ve ince malzeme arasında görülen bu dengesizliğin, ince malzemenin bir kısmının açığa taşınmasından kalanın ise tepe bölgesinde yığılmasından kaynaklandığı söylenebilir (Şekil 4.3).

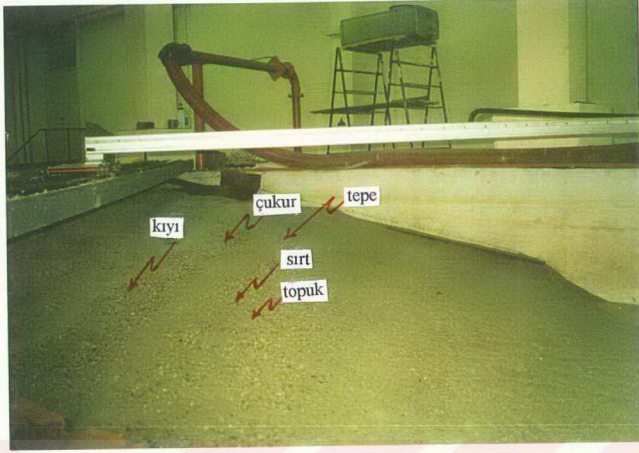
Kıyı profili boyunca meydana gelen bu granülometrik sınıflandırmanın nedeni ise şu şekilde açıklanabilmektedir. Dalgalar sığ suda ilerlerken tabanda kütle taşınımı artmaktadır ve böylece bu taşınım yardımı ile açık denizden kıyıya doğru kırılma çizgisine kadar katı madde taşınımı olmaktadır. Ancak dalga kırıldıktan sonra büyük miktarda katı maddeyi askı haline geçirir. Kırılan dalganın enerjisi ile askıdaki bu malzeme kıyı şeridinin hemen ön yüzüne su hareketi ile tırmanmaktadır. Tırmanan akım oldukça türbülanslı bir yapıya sahip olduğundan askı halindeki malzemenin hemen hemen tamamını kıyıya getirir. Tırmanan akıma göre daha düzenli bir görünüme sahip olan geri dönüş akımı ise kıyıdaki malzemeyi alarak açığa doğru taşır. Derinlik arttıkça geri dönüş akımının hızı azalmaktadır. Geri dönüş akımı, hızı azaldıkça önce kaba malzemeyi daha sonra ince malzemeyi sıralayarak açığa doğru hareketine devam etmektedir. Bunun nedeni, Bölüm 2.1’de anlatılan dalga etkisinde bulunan tabandaki bir daneye etki eden akımın yarattığı sürüklenme gücünün açığa doğru azalmasıdır.



Şekil 4.1 A malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.8$ cm, $T=1.6$ s)



Şekil 4.2 B malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.8$, $T=1.6$ s)



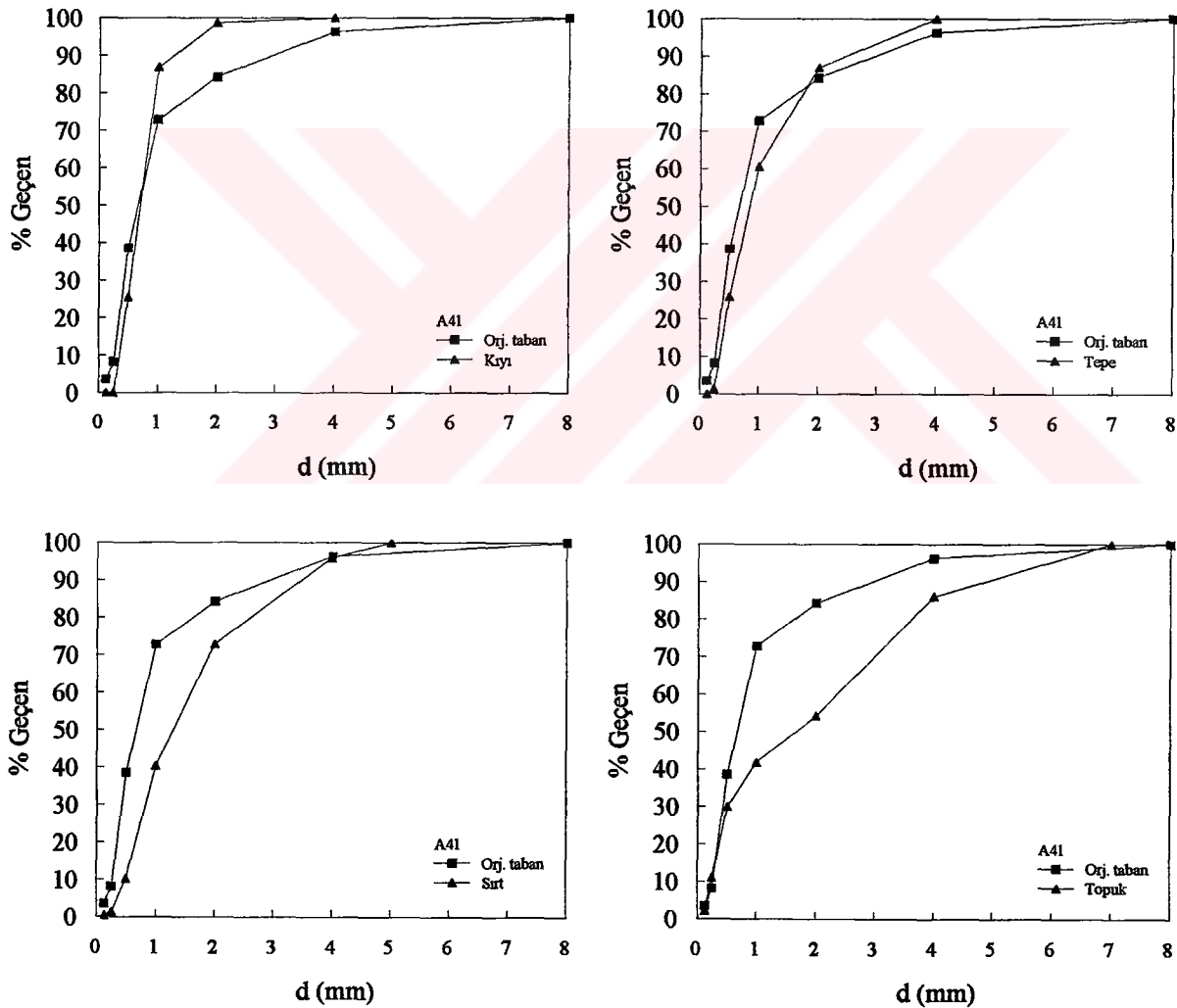
Şekil 4.3 **Fırtına profili** durumunda granülometrik değişimin görünümü

Çünkü taban yakınındaki yörüngesel hızın şiddeti derinlikle değişmektedir. Böylece bir daneye etkili hidrodinamik kuvvetlerin şiddeti, yörüngesel hızı bağımlı olarak değişecektir.

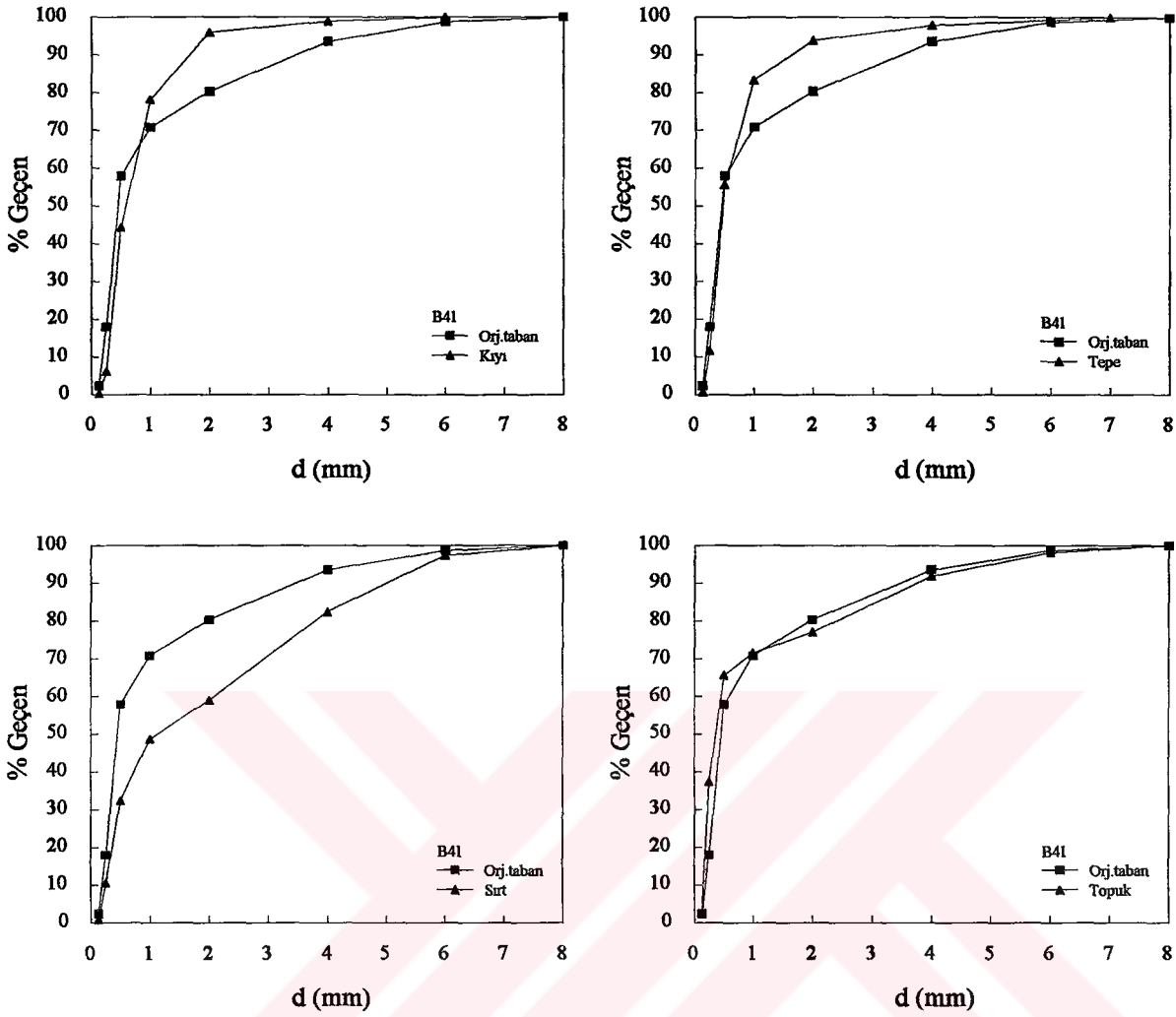
Kıyıya ulaşan dalgaların neden olduğu kıyıya dik katı madde taşınımı sonucunda yaklaşan dalganın özelliklerine bağlı olarak kıyı batimetrisinde önemli değişimler meydana gelmektedir ve zaman içinde değişken özelliğe sahip bu kıyı batimetrisinin belli dalga ve akıntı koşullarında sahip olduğu hale kıyı profili denildiği de bilinmektedir. Fırtına durumunda dalga yüksekliklerinin artması ve periyotlarının küçülmesi yani dalga dikliğinin artması ile açık deniz tarafında oluşan kum tepesi **fırtına profilinin** tipik bir özelliğidir. Bölüm 2’de anlatıldığı gibi **fırtına profilinin** oluşum şartlarında tırmanma sırasında kıyıya doğru taşınan katı madde miktarından daha büyük miktarda katı madde geri dönüş sırasında açığa doğru taşınmaktadır. Böylece kıyıda kısa sürede hızlı bir erozyon meydana gelerek açığa doğru çekilen katı maddeler bir kum tepesi oluşturmaktadır. Bu çekilme esnasında artan derinlikle birlikte azalan taban hızları nedeniyle geri dönüş akımının sürüklenme gücü azalmaktadır. O halde kaba malzemeleri daha önce ince malzemeleri daha sonra bırakarak kıyıdan tepe kesitine kadar incelen bir granülometrik yapı oluşturmaktadır. **Fırtına**

profilinde açıkta oluşan tepenin açık deniz tarafındaki taban eğimi orijinal taban eğimine göre daha büyüktür. Böylece dalga ilk konumuna göre profilin tepe kesitinin açık tarafında kırılarak enerjisini kaybedecektir. Böylece kıyıdaki erozyon sona erecektir. Ancak bu sırada açık denizden kıyıya doğru taşınan taban malzemesi tabandaki ters eğimin artması nedeniyle ince malzemelerin tepeye yakın, buna karşın daha kaba malzemelerin sırt ve topukta birikmesine neden olacaktır.

Şekil 4.4 ve 4.5’de **normal profil** halinde granülometrik değişim iki farklı orijinal taban malzemesi için gösterilmiştir. Bu şekiller incelendiğinde **normal profil** durumunda kıyı ve



Şekil 4.4 A malzemesi için **normal profil** boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)



Şekil 4.5 B malzemesi için **normal profil** boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri, ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)

tepe kesitlerinde ince malzeme birikirken sırt ve topukta daha kaba malzeme yapılanmaktadır. Diğer dalga şartlarında da benzeri oluşumlar gözlemlenmiştir. Bu hallere ait granülometrik değişimler Ek 2’de verilmiştir. Her ne kadar bu çalışmada daha az sayıda dalga şartı için (her orijinal taban malzemesi için iki ayrı dalga şartı) **normal profil** durumu incelenmişse de bu şekillerden **normal profilin** granülometrik yapılanması hakkında şu sonuç çıkarılabilir. **Normal profilde** kıyıya ulaşan dalgalar daha büyük periyoda buna karşın daha küçük dalga yüksekliğine sahiptirler. Bölüm 2’de izah edilen **normal profilin** oluşumundan anlaşılacağı üzere geri dönüş akımının daha zayıf olması sürüklenme gücünü

etkilemekte ve böylece ince malzemenin kıyı tarafında kalmasına neden olmaktadır. Kıyıda oluşan kum basamağının açık deniz tarafındaki taban eğiminin orijinal taban eğimine göre daha büyük olması ve derinliğin artması açık denizden kıyıya taşınan taban malzemesinin kaba olanlarının sırt ve topukta birikmesine neden olmaktadır. Bu durum ayrıca kıyı kesitine kaba malzemenin ulaşmasını da engellemektedir. Böylece **normal profilde** kıyidan açığa doğru kabalaşan bir granülometrik oluşum gözlenmektedir.

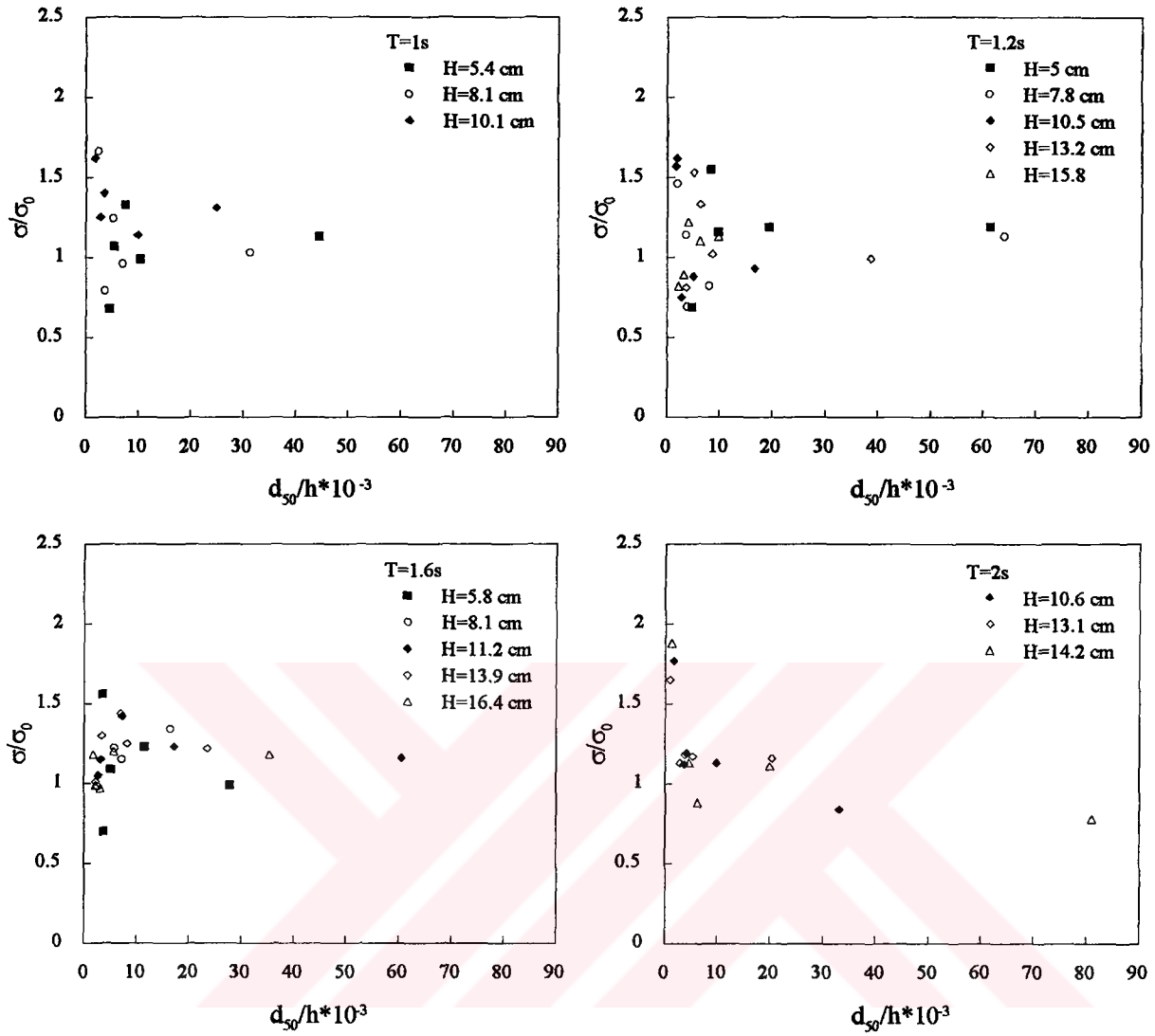
Görüldüğü gibi bir kıyı profili boyunca yapılan granülometrik sınıflanmanın, profilin dinamik yapısı üzerinde etkisi vardır. Çünkü profilin dinamik dengeye ulaşmasıyla kıyı çizgisi ve profilin topuğunda kaba malzemeler birikerek bir zırhlama oluşturmakta ve taban hareketini engellemektedir. Böylece profilin yer değiştirme kabiliyeti artık en aza inerek stabil bir konuma ulaşmaktadır.

4.1.2 Taban malzemesi ve dalga karakteristiklerinin granülometrik değişim üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Gerek orijinal taban malzemesinin gerekse dalga karakteristiklerinin kıyı profili boyunca meydana gelen granülometrik değişim üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla oluşturulan boyutsuz gruplar ayrı ayrı ele alınmıştır. Bu bölümde sadece **fırtına profilleri** boyunca boyutsuz parametrelerin değişimi incelenmiştir. Çünkü **normal profil** halinde sağlıklı bir yorumun elde edilmesini sağlayacak yeterli veri elde edilememiştir.

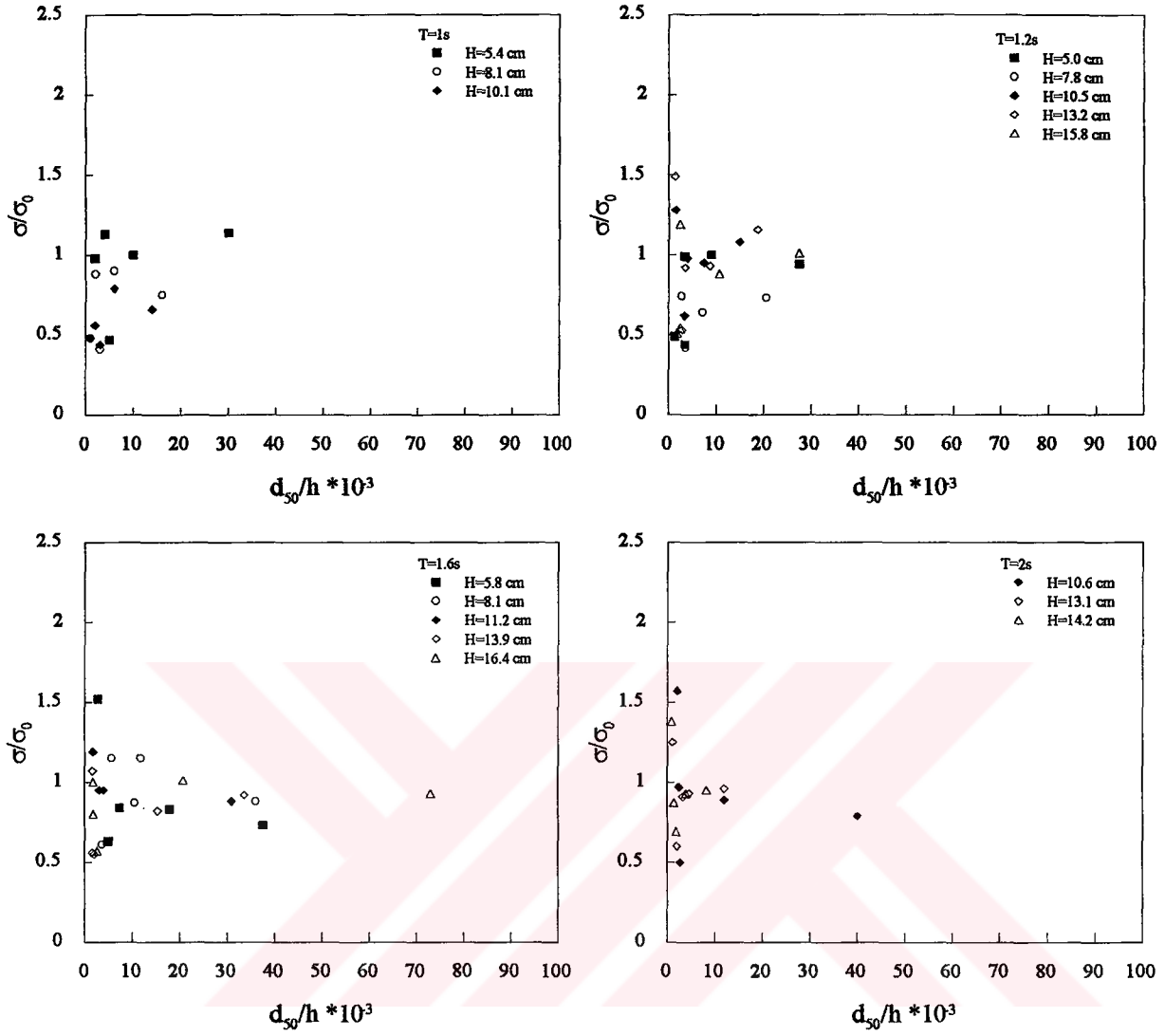
4.1.2.1 Rölatif dane çapının granülometrik değişime etkisi (d_{50}/h)

Şekil 4.6 ve 4.7’de rölatif standart sapmanın (σ/σ_0) rölatif dane çapı ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekiller çizilirken profil boyunca her kesit için yerel su derinliği ve yerel dane çapı (d_{50}) dikkate alınarak d_{50}/h rölatif dane çapları belirlenmiştir. Yine rölatif standart sapmalar hesaplanırken her bir kesitteki malzemenin granülometrisine ait standart sapma (σ) belirlenerek bu değer orijinal taban malzemesinin standart sapmasına (σ_0) oranı (σ/σ_0) dikkate alınmıştır. Böylece taban profili boyunca granülometrik değişimin anlamlı dağılımı elde edilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi d_{50}/h yaklaşık 4×10^{-3} mertebesinde iken en



Şekil 4.6 A malzemesi için rölâtif standart sapmanın rölâtif dane çapı ile değişimi

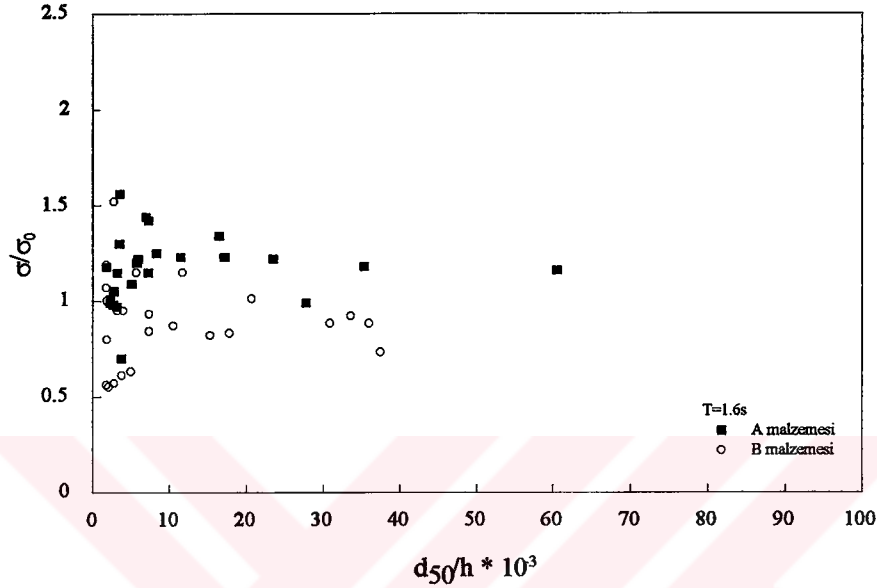
belirlenerek bu değerin orijinal taban malzemesinin standart sapmasına (σ_0) oranı (σ/σ_0) dikkate alınmıştır. Böylece taban profili boyunca granülometrik değişimin anlamlı dağılımı elde edilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi d_{50}/h yaklaşık 4×10^{-3} mertebesinde iken en ince granülometrik değişim belirlenmektedir. d_{50}/h 'ın 4×10^{-3} 'den küçük değerlerinde taban malzemesinin oldukça kaba olduğu görülmüştür. d_{50}/h 'ın 4×10^{-3} 'den büyük değerlerinde ise malzeme yine kabalaşmakta ancak hemen hemen 10×10^{-3} değerinden sonra d_{50}/h değeri ne olursa olsun σ/σ_0 değeri sabit kalmaktadır. Bütün dalga şartlarında benzer eğilim görülmektedir. Gerek A malzemesi gerekse B malzemesi için rölâtif dane çapının aynı boyutsuz değerlerinde taban malzemesinin standart sapmasında meydana gelen



Şekil 4.7 B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi

değişimlerden d_{50}/h 'ın 4×10^{-3} değerinde fırtına profilinin tepe kesitinin yapılandığı belirlenmiştir. Ancak A malzemesi ile B malzemesi karşılaştırıldığında aynı rölatif dane çapı için rölatif standart sapmanın A malzemesinde daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni A malzemesinin B malzemesine göre daha kaba bir granülometrik değişime sahip olmasıdır. Rölatif dane çapının 10×10^{-3} değerinden sonra sabit kalması bu değerden daha büyük rölatif dane çaplarında yaklaşan dalgaanın taban malzemesinin granülometrik değişimine etkisinin olmadığını göstermektedir. Bu durumu daha iyi irdeleyebilmek amacıyla A ve B malzemelerinin aynı dalga periyodu için rölatif dane çapının değişimi Şekil 4.8'de bir arada çizilerek gösterilmiştir. Rölatif standart sapmanın her iki orijinal taban malzemesi için

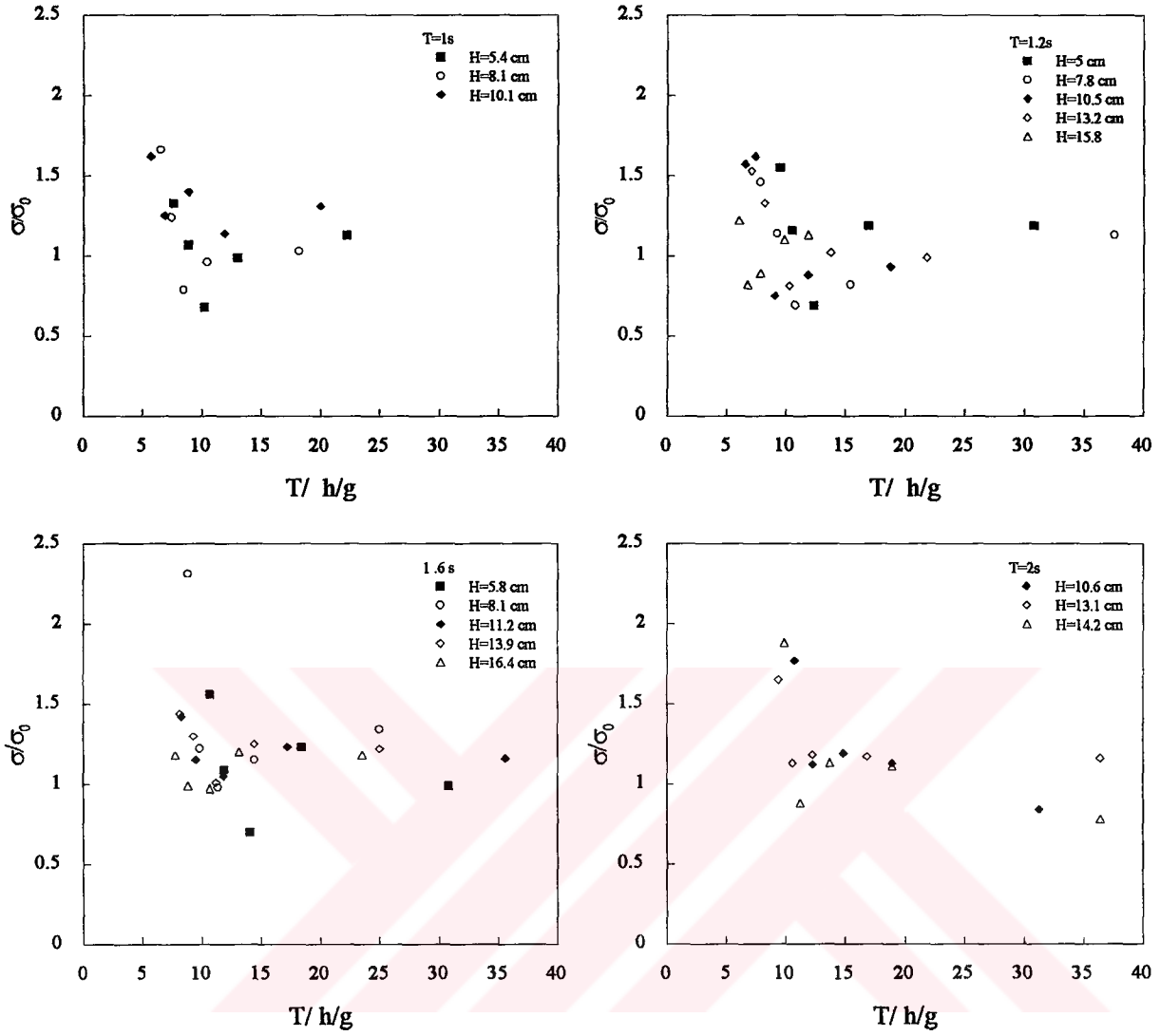
de rölafif dane çapının 10×10^{-3} 'den büyük değerlerinde eşit olduğu görülmektedir. Bu durum granülometrik değişimin rölafif dane çapının bu değerinden itibaren sabit kaldığını göstermektedir.



Şekil 4.8 $T=1.6$ s için A ve B malzemelerinin karşılaştırılması

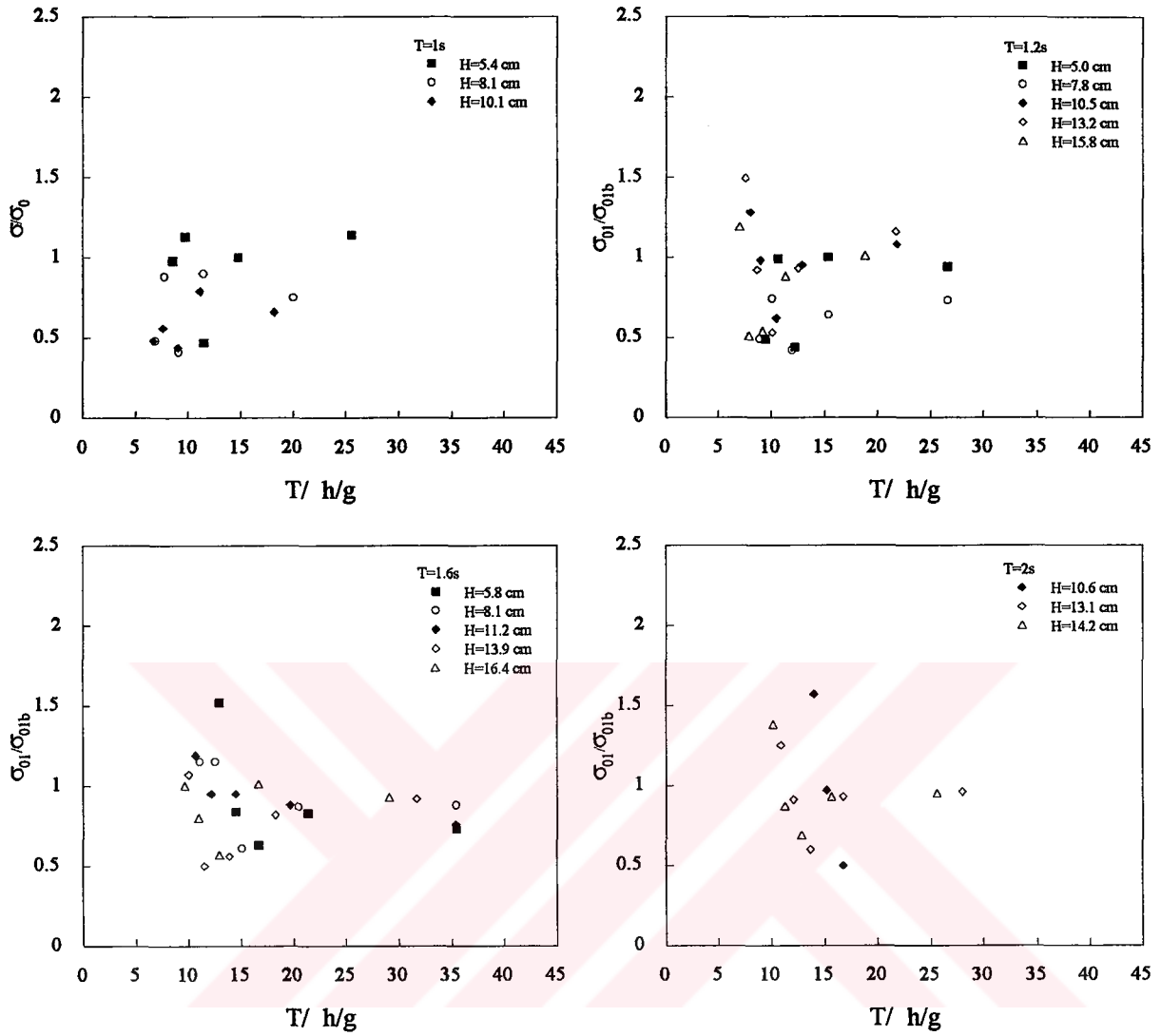
4.1.2.2 Periyot parametresinin granülometrik değişime etkisi ($T/\sqrt{h/g}$)

Şekil 4.9 ve 4.10'da rölafif standart sapmanın (σ/σ_0) boyutsuz periyot parametresi ($T/\sqrt{h/g}$) ile değişimi görülmektedir. Bu değişimler incelendiğinde periyot parametresi yaklaşık 10 mertebesinde iken ince malzemenin yığıldığı belirlenmiştir. ($T/\sqrt{h/g}$)'nin 10'dan kk değerlerinde taban malzemesinin oldukça kaba olduğu görülmüştür. ($T/\sqrt{h/g}$)'nin 10'dan büyük değerlerinde ise malzeme yine kabalaşmakta ancak 15 değerinden sonra σ/σ_0 değeri sabit kalmaktadır. Ancak her bir dalga periyodu ayrı ayrı dikkate alındığında dalga periyodu büyüdükçe rölafif standart sapma en kk değerine, periyot parametresinin 10'dan biraz daha büyük değerlerinde ulaşmaktadır. Bu değişimin daha iyi anlaşılabilmesi amacıyla her bir malzeme için bütün periyotlar bir arada çizilerek Şekil 4.11 ve 4.12'de gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi periyot büyüdükçe rölafif standart sapma değişmektedir. Bu sonuç kıyı profili boyunca dalga periyodunun



Şekil 4.9 A malzemesi için rölatif standart sapmanın boyutsuz periyot parametresi ile değişimi

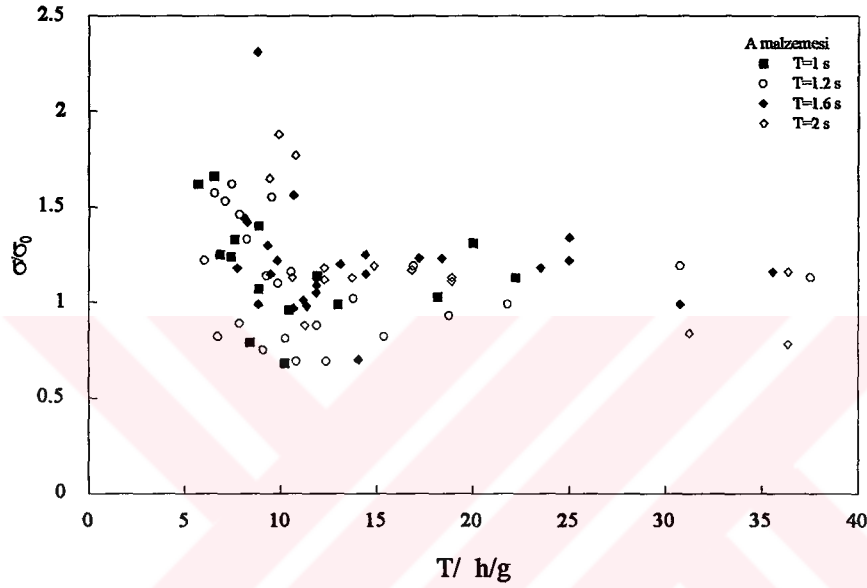
granülometrik yapılanmaya etkili bir parametre olduğunu göstermektedir. Dalgalı ortamda taban malzemesinin hareketinde dalga periyodunun etkili bir parametre olduğu Van Rijn (1989) tarafından da gösterilmiştir. Bu araştırmacı çalışmasında tabandaki bir danenin hareketi için kritik yörüngesel taban hızının dalga periyodu ile büyüdüğünü göstermiştir. Bunun da tabandaki bir danenin dalgalı ortamda büyüyen periyodun etkisiyle daha uzun mesafeler kat etmesine fırsat vermesi nedeniyle tabanda daha kuvvetli bir granülometrik değişimin meydana gelmesine neden olabileceği düşünülebilir. Yine her iki taban malzemesinin periyot parametresiyle değişimini incelemek amacıyla aynı dalga periyodunda



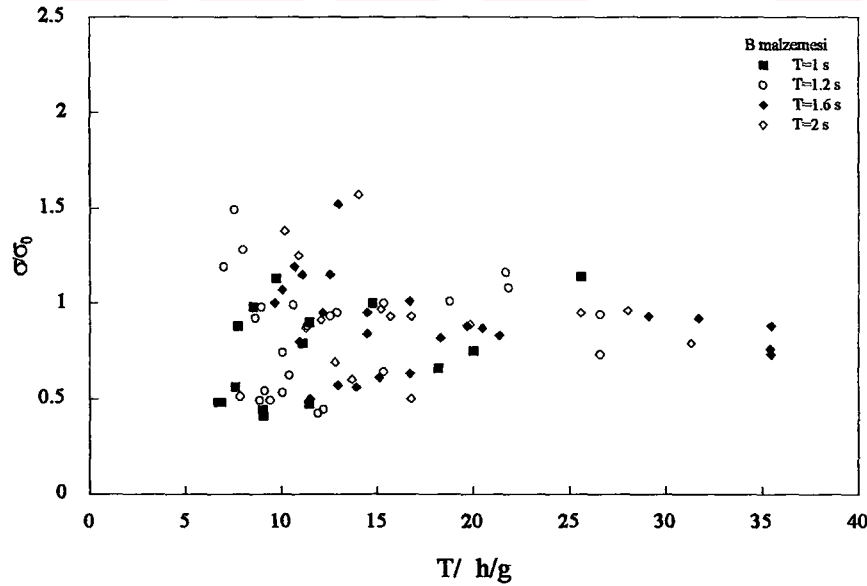
Şekil 4.10 B malzemesi için rölatif standart sapmanın boyutsuz periyot parametresi ile değişimi

elde edilen veriler Şekil 4.13’de bir arada çizilerek gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi taban malzemesinin rölatif standart sapmasının periyot parametresiyle değişiminin iki malzeme için de aynı kaldığı gözlemlenmektedir. Sonuç olarak rölatif standart sapmanın $(\sigma/\sigma_0) > 1$ olduğu $(T/\sqrt{h/g}) < 10$ değerlerinde, kesitlerde orijinal tabana göre daha üniform olmayan yapıda bir granülometrik değişimin meydana geldiği ve kaba malzemenin bu kesitlerde daha fazla yüzdeye sahip olduğu anlaşılmaktadır. Ancak $(T/\sqrt{h/g}) = 10$ değeri civarında $(\sigma/\sigma_0) < 1$ olduğunda ise yine orijinal tabana göre benzeri bir granülometrik değişimin yapılandığı ancak bu durumda ince malzemenin daha hakim olduğu görülmüştür.

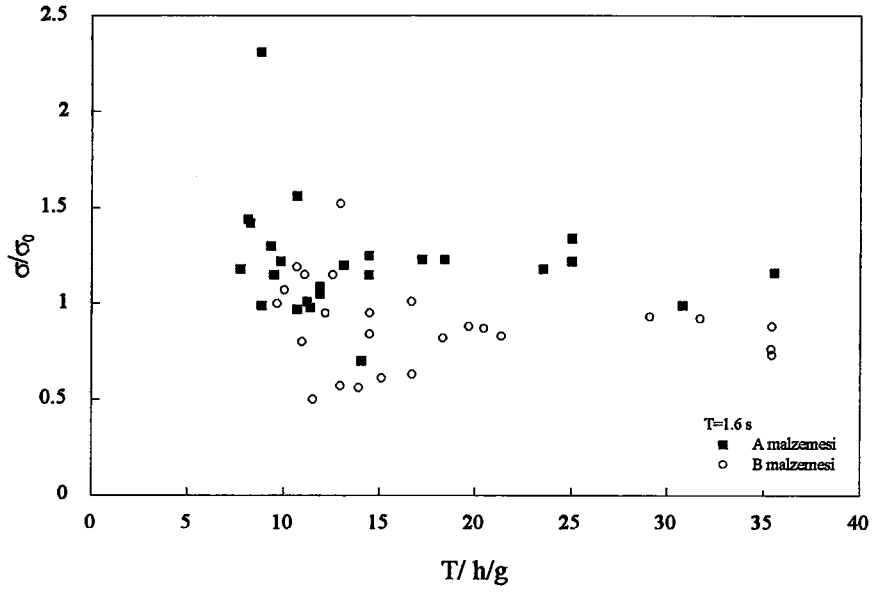
$(T/\sqrt{h/g}) > 15$ değerinden sonra ise $(\sigma/\sigma_0)=1$ değerine yaklaşması ile orijinal tabana göre oluşan granülometrik değişimin artık sabit kaldığı belirlenmiştir. Periyot parametresinin $(T/\sqrt{h/g}) > 15$ değerinden sonra $(\sigma/\sigma_0)=1$ olması durumunda orijinal tabana göre oluşan granülometrik değişimin sabit kalması, bu değerden sonra tabandaki bütün çaptan danelerin harekete geçmesi nedeniyle açıklanabilir.



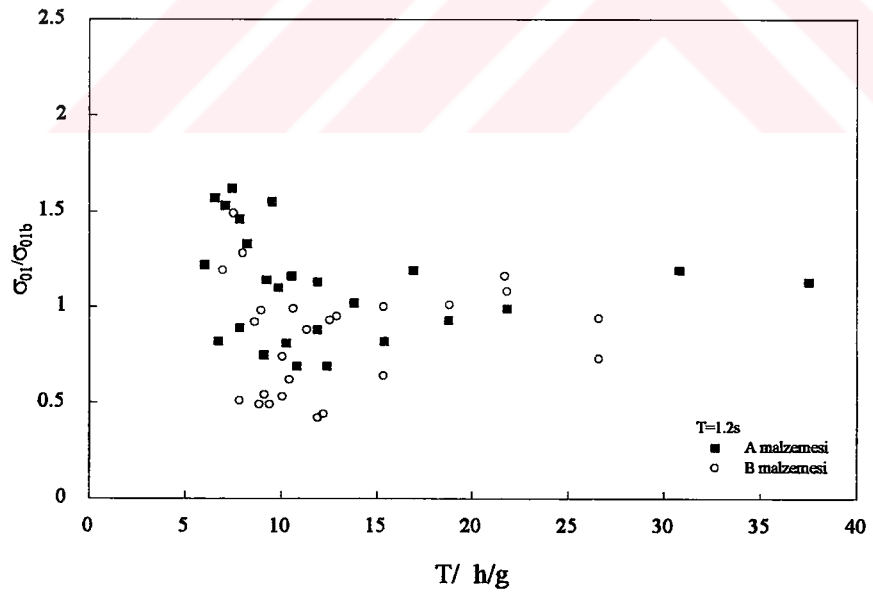
Şekil 4.11 A malzemesi için bütün periyotların bir arada gösterilmesi



Şekil 4.12 B malzemesi için bütün periyotların bir arada gösterilmesi



a) $T=1.6$ s için A ve B malzemelerinin karşılaştırılması

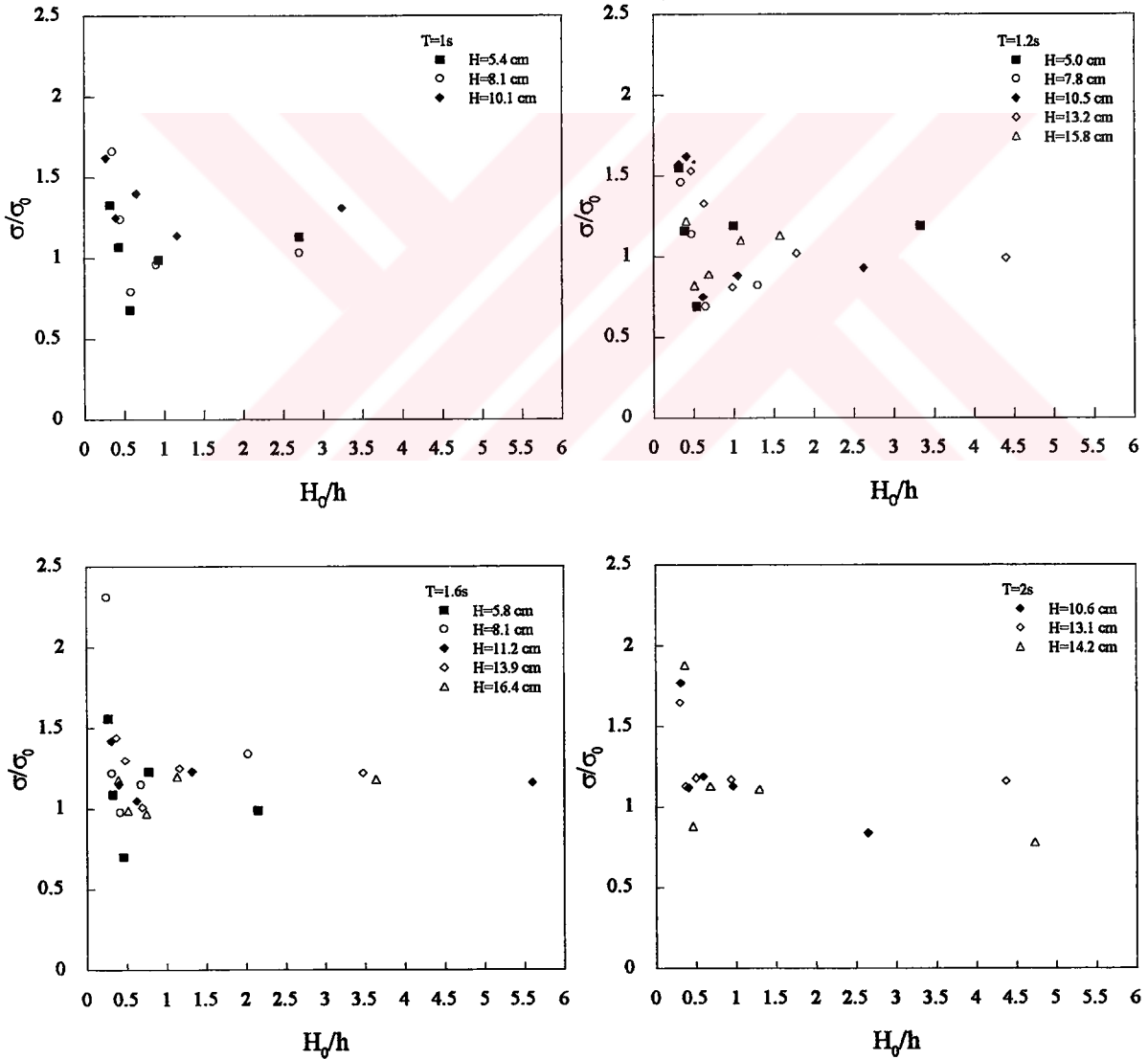


b) $T=1.2$ s için A ve B malzemelerinin karşılaştırılması

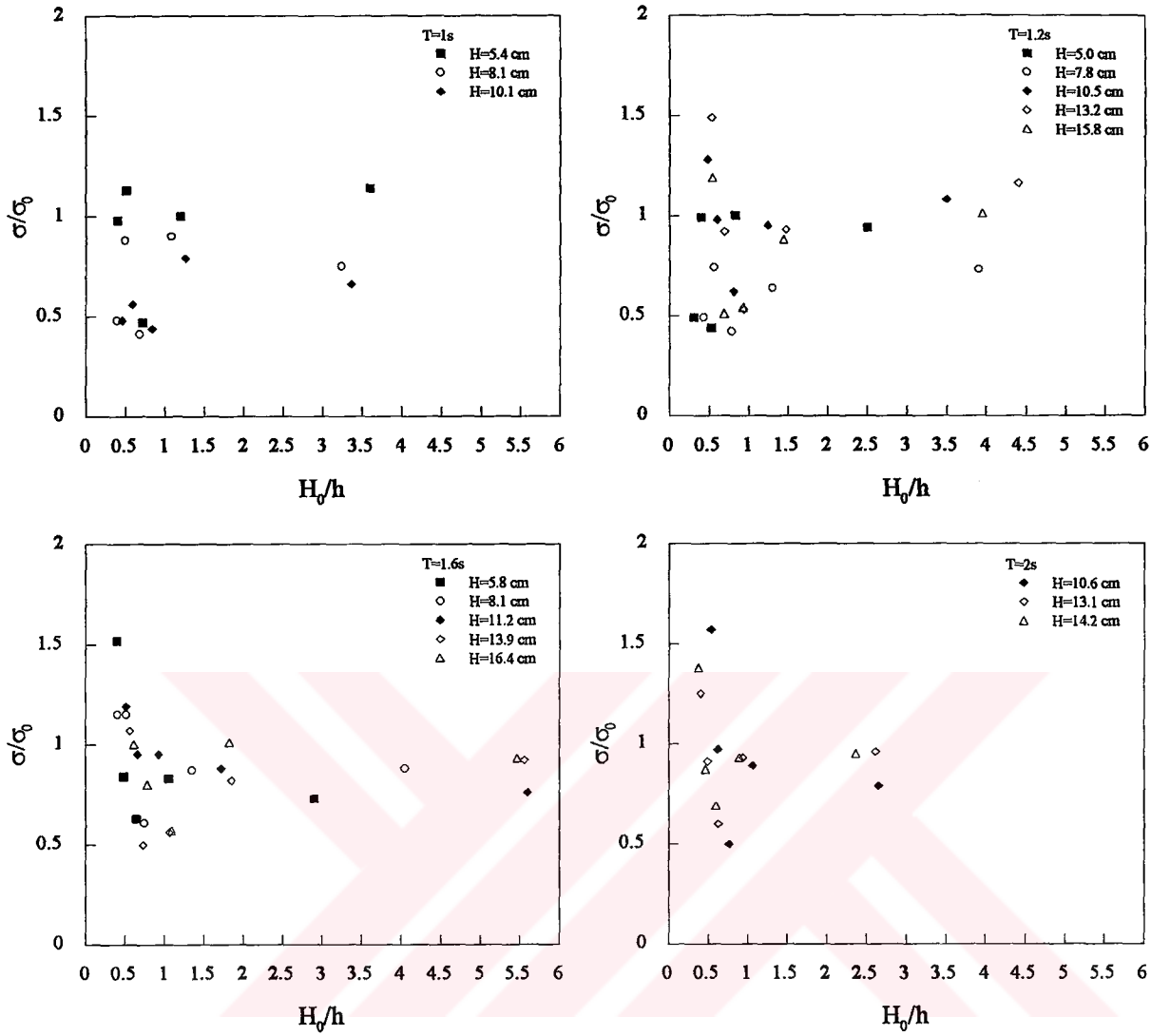
Şekil 4.13 A ve B malzemelerinin aynı dalga periyodunda karşılaştırılması

4.1.2.3 Rölatif dalga yüksekliğinin granülometrik değişime etkisi (H_0/h)

Şekil 4.14 ve 4.15’de rölatif standart sapmanın (σ/σ_0) rölatif dalga yüksekliği ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerden de görüldüğü gibi H_0/h yaklaşık 0.5 mertebesinde iken en ince granülometrik değişim belirlenmektedir. H_0/h ’ın 0.5’den küçük değerlerinde taban malzemesinin oldukça kaba olduğu görülmüştür. H_0/h ’ın 0.5’den büyük değerlerinde ise malzeme yine kabalaşmakta ancak hemen hemen 1.5 değerinden sonra H_0/h değeri ne olursa olsun σ/σ_0 değeri sabit kalmaktadır. Bütün dalga şartlarında benzer eğilim görülmektedir. Kıyı profili boyunca taban malzemesinin en ince olduğu değerlerin rölatif dalga yüksekliğinin

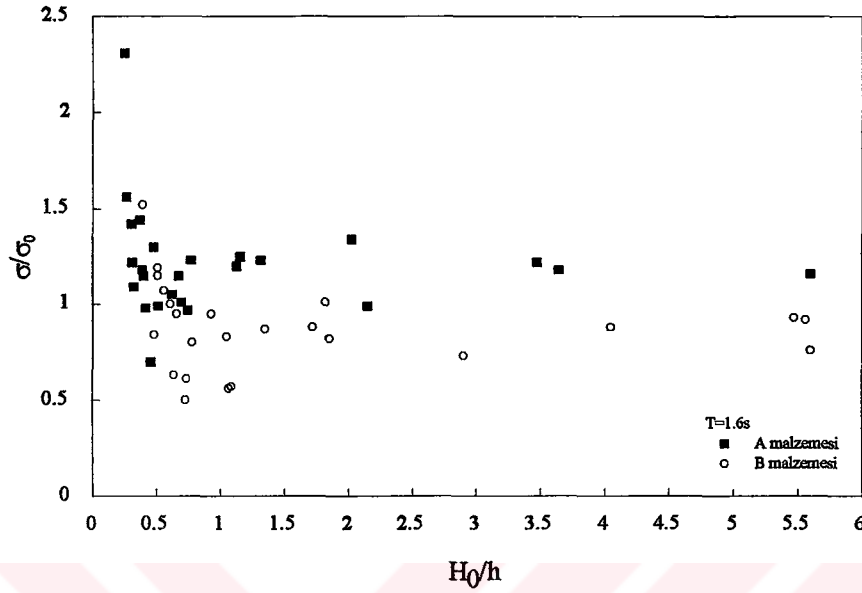


Şekil 4.14 A malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi



Şekil 4.15 B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi

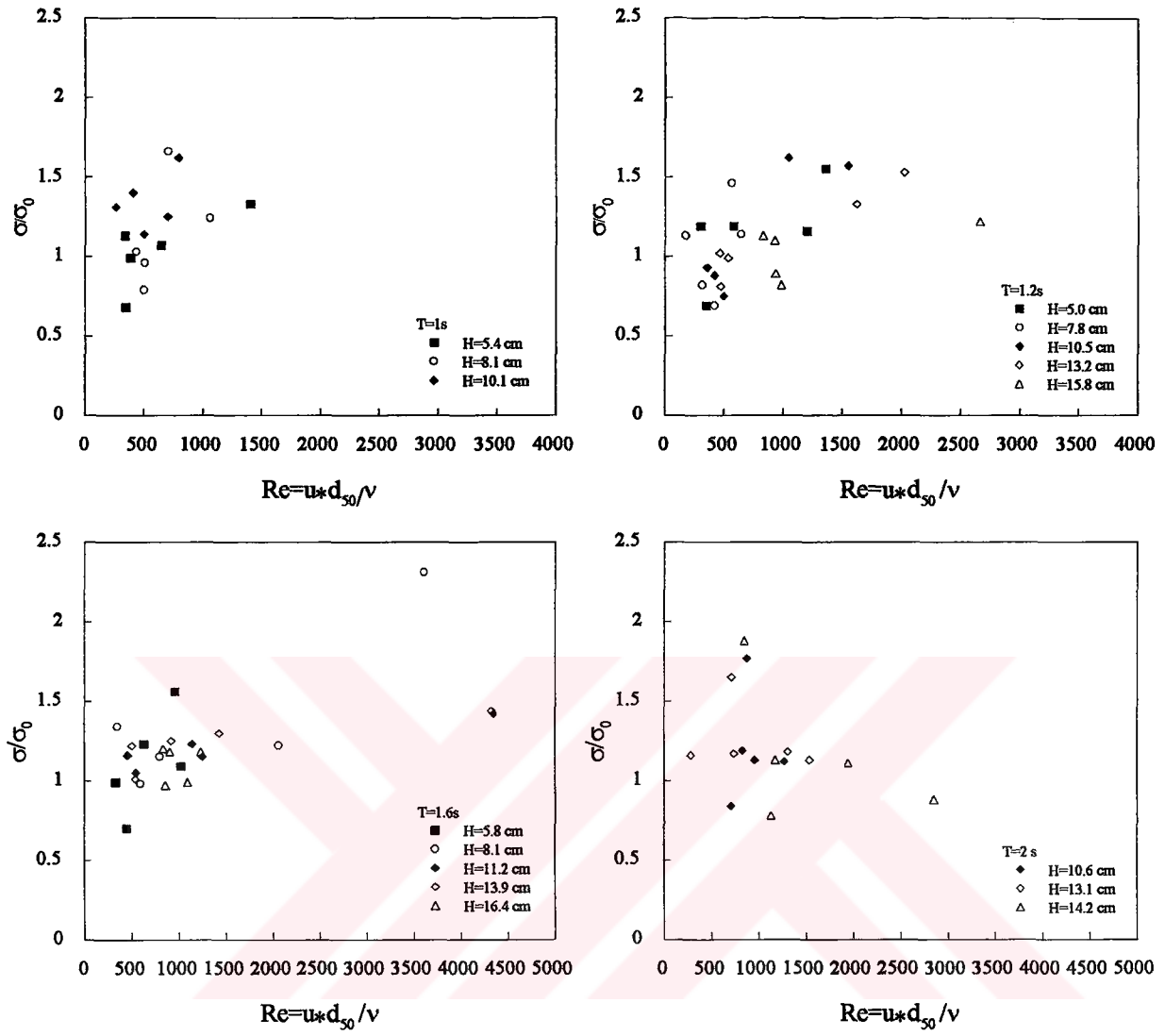
0.5 mertebesinde olması bu kesitin profilin tepe kesitine karşılık geldiğini göstermektedir. H_0/h değerinin 1.5 değerinden sonra sabitleşmesi dalganın kırıldıktan sonra enerjisini harcamasıyla birlikte bu değerden sonra dalga yüksekliğinin granülometrik değişim üzerinde etkisinin kalmadığını göstermektedir. Her iki malzeme için bu değişimi görmek amacıyla aynı dalga periyodu için deneysel veriler bir arada çizilerek gösterilmiştir (Şekil 4.16). Bu şekilden de anlaşılacağı üzere her iki taban malzemesi için de değişim aynı kalmaktadır. Ancak rölatif standart sapmalara bakıldığında aynı rölatif dalga yüksekliğinde A malzemesi B malzemesinden daha büyük değer almaktadır. Bunun nedeni A malzemesine ait granülometrinin B malzemesine göre daha kaba olmasıdır.



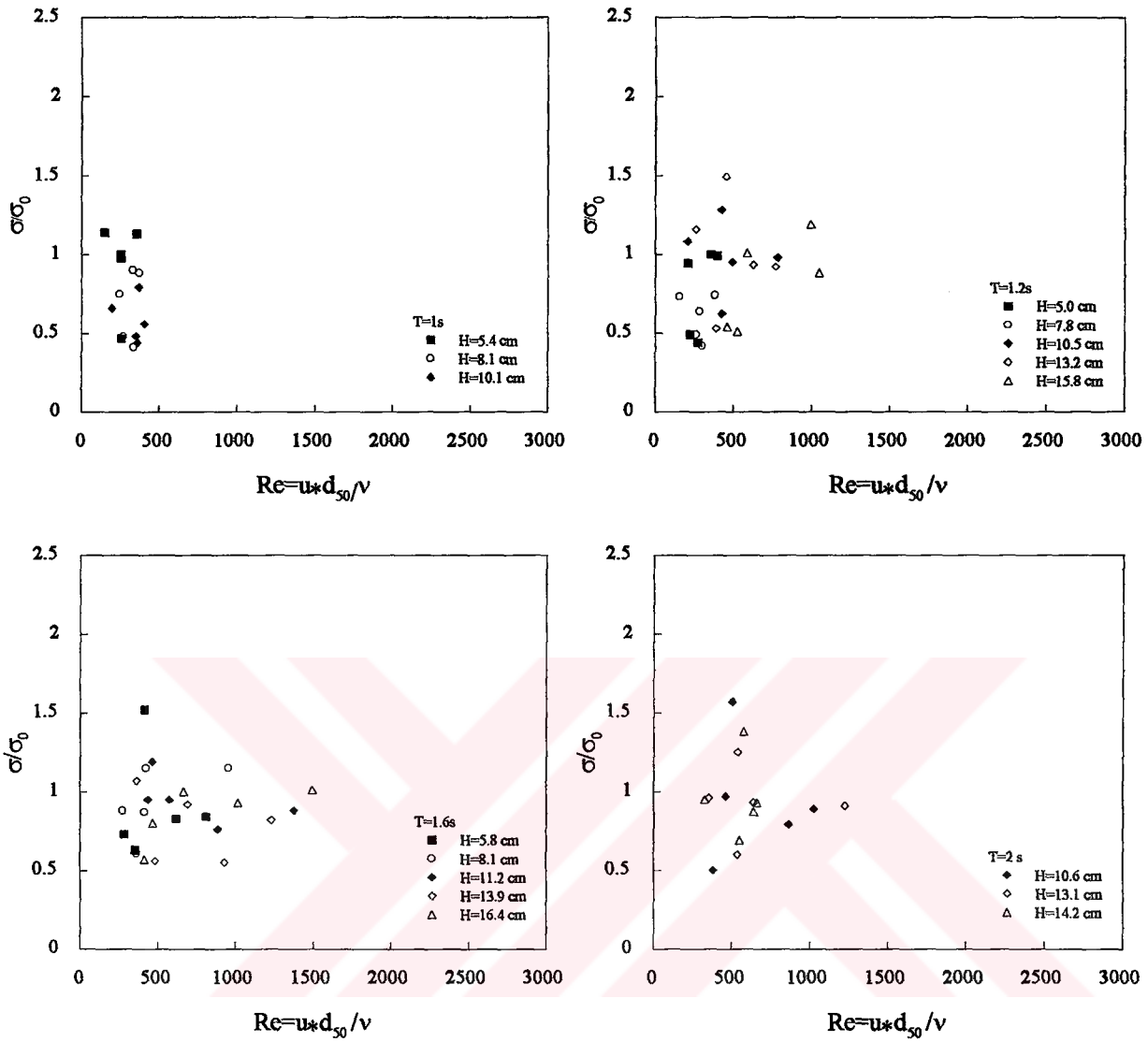
Şekil 4.16 $T=1.6$ s için A ve B malzemelerinin karşılaştırılması

4.1.2.4 Dane Reynolds sayısının granülometrik değişime etkisi ($Re=u \cdot d_{50}/\nu$)

Şekil 4.17 ve 4.18'den görüldüğü gibi rölatif standart sapmaya karşılık dane Reynolds sayısı çizildiğinde çok fazla saçılım gözlenmiştir. Böylece granülometrik değişime dane Reynolds sayısının bir etkisinin olmadığı belirlenmiştir. Çünkü deneyler dane Reynolds sayısının büyük değerlerinde itibaren gerçekleştirilmiştir. Bu değerden itibaren akım tam türbülanslı karakter taşımaktadır. Bilindiği gibi taban malzemesinin hareketliliği üzerinde (Shields eğrisi) dane Reynolds sayısının bu değerden (≈ 70) itibaren bir etkisi yoktur. Bu durum da taban malzemesinin granülometrik değişimine dane Reynolds sayısının bu bölgede bir etkisinin olmadığını göstermektedir. Ayrıca surf bölgesi içerisinde akım makro türbülanslı bir karakter taşıdığı için viskoz terimlerin etkisi ihmal edilecek mertebede olmaktadır.



Şekil 4.17 A malzemesi için rölâtif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi

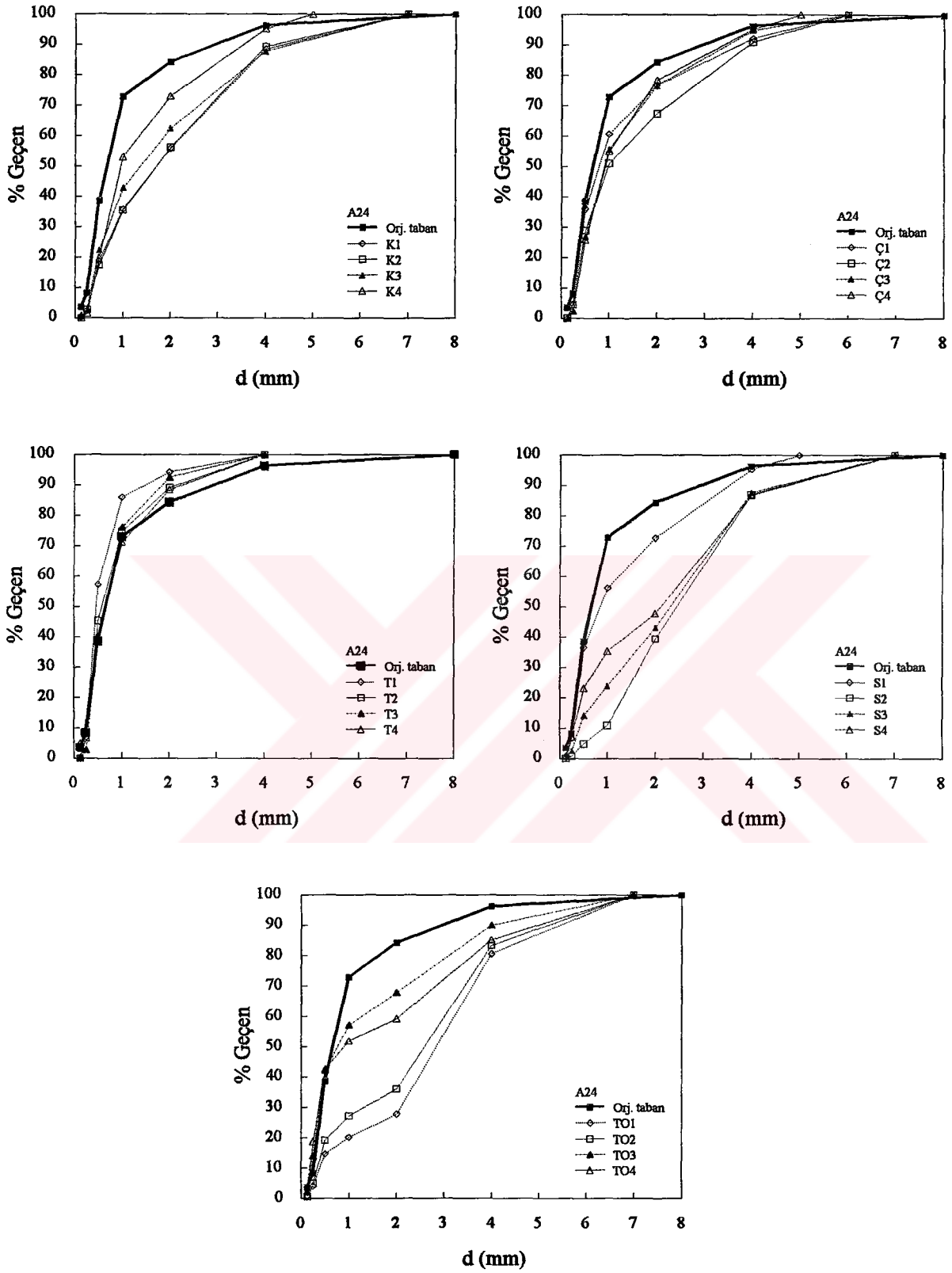


Şekil 4.18 B malzemesi için rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi

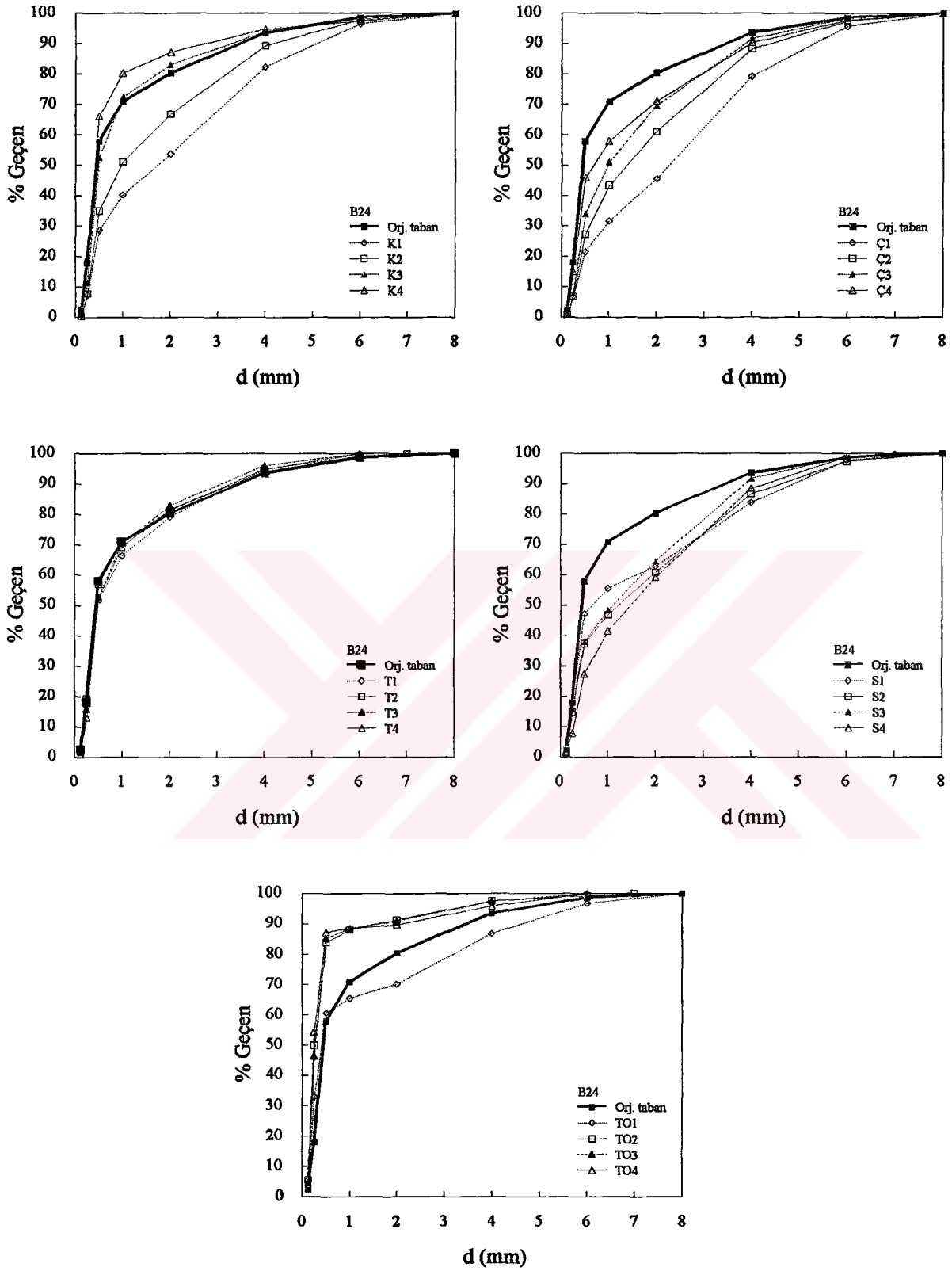
4.2 Kıyı Boyu Granülometrik Değişimin İncelenmesi

4.2.1 Kıyı profilleri boyunca granülometrik değişimin belirlenmesi

Dalgalar belli bir açı altında kıyıya doğru ilerlerken kırıldıkları anda açığa çıkan dalga enerjisinin kıyıya paralel bileşeni kıyı boyu akıntısını meydana getirecektir. Böylece kırılma hattıyla kıyı çizgisi arasında kıyı boyu akımı oluşur. Dalgalar kıyı profilleri oluştuktan sonra kum tepesine oldukça yakın bir derinlikte kırılmaktadırlar. O halde kıyı boyu akımı kıyı profilinin kum tepesi ile kıyı çizgisi arasında şekillenmektedir.



Şekil 4.19 A malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)



Şekil 4.20 B malzemesi için fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)

Bölüm 3’de belirtildiği gibi bu çalışmada dalga kıyı boyu akımının oluşturulabilmesi için kıyı normali ile 45° açı yapacak şekilde deney sistemi teşkil edilmiştir. Yaklaşım açısının 45° seçilmesinin amacı Bölüm 1’de izah edildiği gibi, bu durumda kıyı boyu katı madde hareketi için en optimum şartların oluşmasıdır (Bird, 1984).

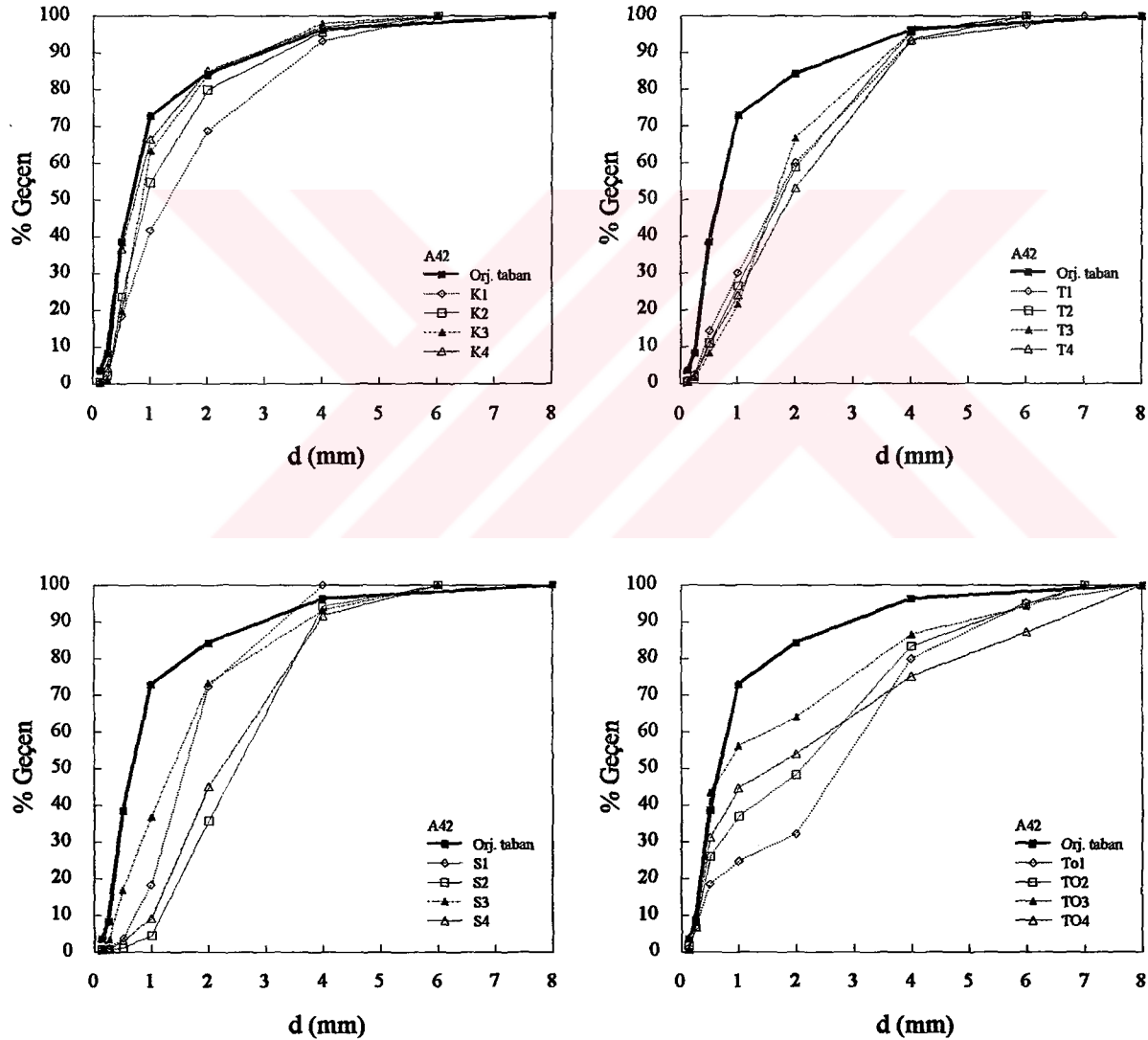
Şekil 4.19 ve 4.20’de A ve B malzemeleri için kıyı boyu granülometrik değişimler görülmektedir. Üçüncü bölümde anlatıldığı gibi kıyı boyunda granülometrik değişimi belirlemek amacıyla ölçüm kesiti dört alt kesite ayrılmıştır. Kıyı, çukur, tepe, sırt ve topuk kesitlerinin her biri için dikkate alınan alt kesitlere ait granülometrik değişimler yukarı kıyıdan aşağı kıyıya olmak üzere numaralanarak belirlenmiştir. Her bir kesit için granülometrik değişimler incelendiğinde, genel olarak kıyı ve çukur kesitlerinde kıyı boyu akımının etkisinde hareket eden taban malzemesinin yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru incelendiği gözlemlenmektedir. Van Hijum ve Pilarczyk (1982) yapmış oldukları deneylerde Bölüm 2’de izah edildiği gibi küçük çaplı danelerin büyük çaplı danelere göre kıyı boyu akıntısının etkisiyle aşağı kıyıya doğru taşınma mesafelerinin arttığını gözlemişlerdir. Bunun nedeni kıyı boyu akıntısı ile birlikte incelen malzemenin hareketlilik kabiliyetinin artmasıdır. Daha önce Tanaka (1993) ve Bird (1984) arazi çalışmalarından sadece kıyı hattı boyunca benzeri sonucu elde etmişlerdir.

Kıyı profilinin tepesinde kıyı hattı ve çukurda gözlemlenen bu eğilim tam olarak belirgin değildir. Çünkü kum tepesinde kırılan dalgalar bu bölgede çok şiddetli türbülanslı bir akım yapısı meydana getirerek malzemenin önemli bir kısmını askı haline geçirmektedir.

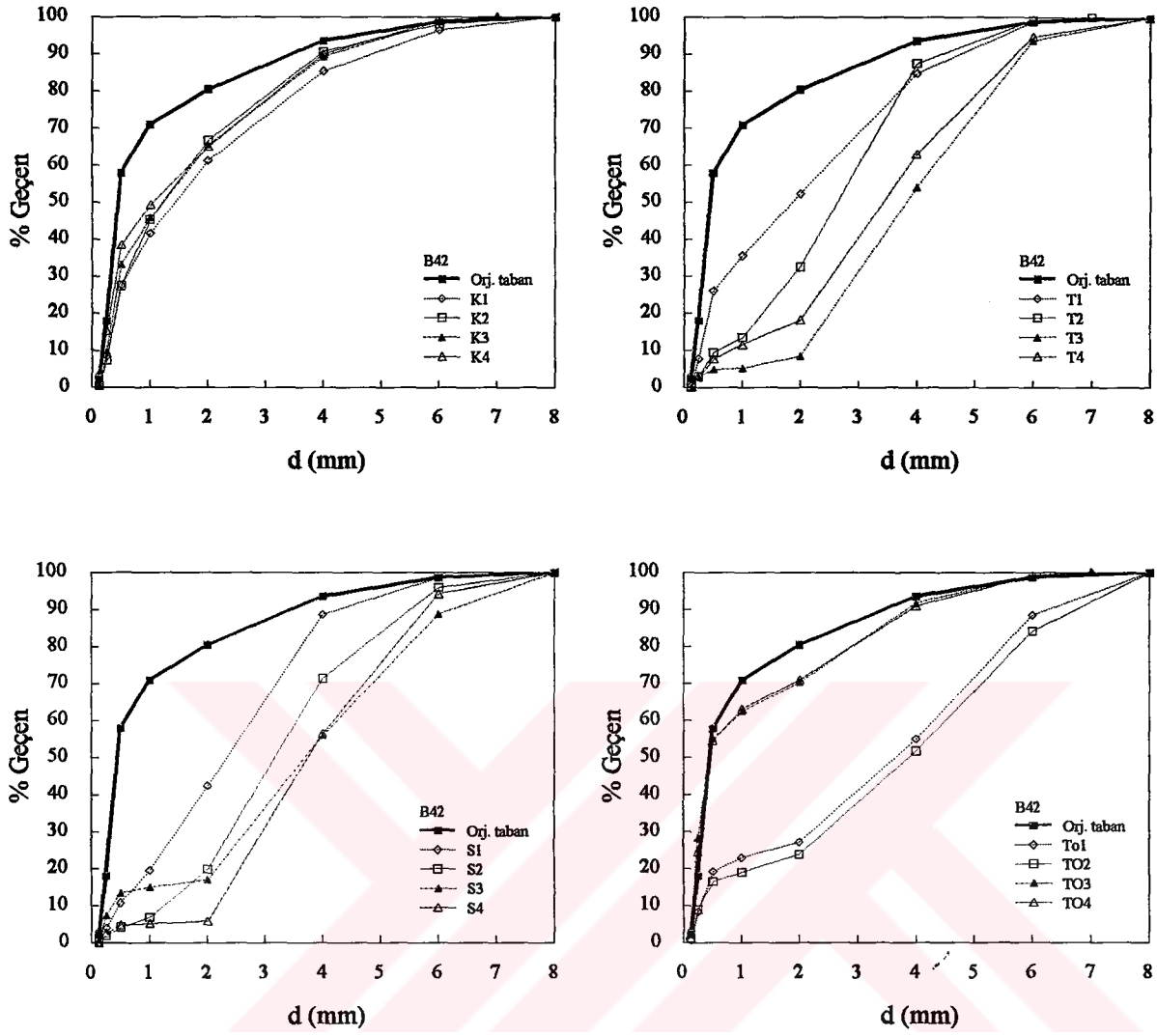
Kıyı profilinin sırt ve topuk kesitleri incelendiğinde kıyı ve çukur kesitlerinde olduğu kadar belirgin olmasa da genelde yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru taban malzemesinde incelme eğilimi gözlemlenmiştir. Bunun nedeni kıyı boyu akımının etkisinin bu bölgede daha az etkin olmasıdır, ancak geri dönüş akımının etkisinde kıyıdan açığa taşınan sıralanmış olan daneler surf bölgesi içinde benzeri sıralanmayı meydana getirmeye çalışmaktadırlar. Ancak oldukça karmaşık akım yapısına sahip bu bölgeye açıktan da katı madde taşınımı olmaktadır. Bu nedenle yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru gittikçe incelen katı madde daneleri özellikle

orijinal tabana göre daha dik bir eğime sahip sırt kesitinde kıyı bölgesine nazaran daha düzensiz bir görünüme sahip olmaktadır.

Kıyıya dik granülometrik değişimler incelendiğinde ise, yine kıyı profili boyunca granülometrik değişim Bölüm 4.1’de anlatılan kıyıya dik granülometrik değişime benzer şekilde her dalga şartında kıyı, çukur, sırt ve topuk kesitlerinde taban malzemesi kabalaşmakta, tepe kesitinde daha fazla incelmektedir. Ancak taban malzemesinde meydana



Şekil 4.21 A malzemesi için **normal profil** boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)



Şekil 4.22 B malzemesi için **normal profil** boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)

gelen kabalaşma ve incelme yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru sıralanan malzemenin yapılanmasına göre oluşmaktadır. Bu sıralanma yukarı kıyıda orijinal taban malzemesine göre daha belirgin, ancak aşağı kıyıda kıyı profilinde daha kaba görünüme sahip malzeme orijinal taban malzemesine göre daha ince olabilmektedir. Bu görünüm kıyı boyu akıntı yapısının mevcudiyetinden kaynaklanmaktadır. Şekil 4.19 ve 4.20’de belirli dalga şartları için verilen granülometrik değişimler Ek 3’de verilen diğer dalga şartlarında da aynı görünüme sahiptir.

Şekil 4.21 ve 4.22’de **normal profil** halinde kıyı boyunca meydana gelen granülometrik değişimler gösterilmiştir. Her ne kadar kıyıya dik granülometrik değişimde de belirtildiği gibi **normal profil** için yeterli sayıda dalga şartında çalışılmadıysa da mevcut veriler **normal profil** durumunda **fırtına profili** durumundaki granülometrik değişimde olduğu gibi yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru taban malzemesinin incelendiğini göstermektedir. Yine profilin tepesinde düzensiz bir görünüm hakimdir. Ancak **fırtına profiline** göre daha kaba bir yapılanma söz konusudur. Bunun nedeninin **normal profil** oluşturan dalga şartlarında geri dönüş akımının tırmanan akıma göre daha zayıf karakterde olmasıdır. Sirt ve topuk kesitlerinde ise **fırtına profiline** benzer görünümler izlenmiştir. Ek 4’de diğer dalga şartlarına ait şekiller görülmektedir.

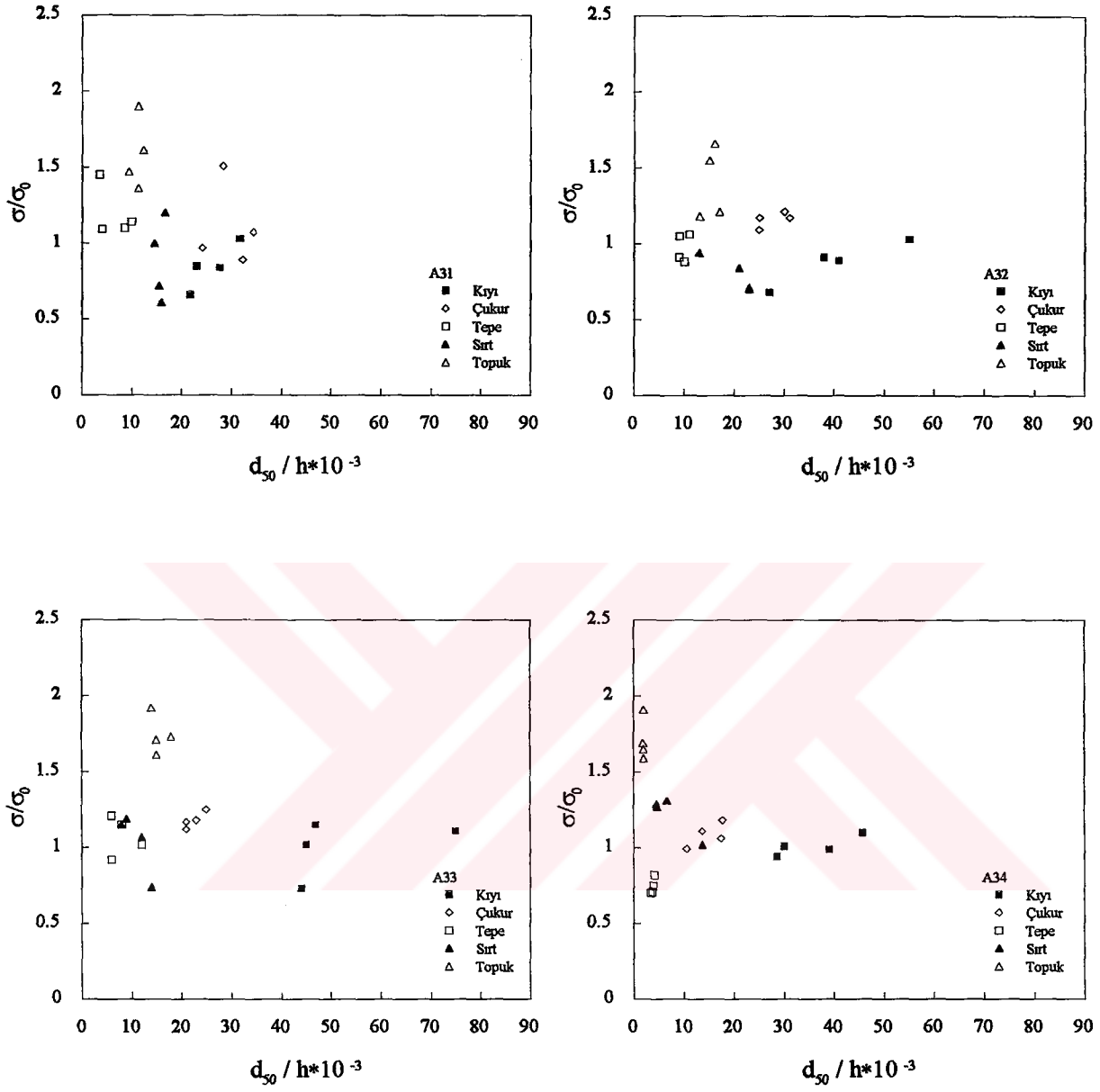
4.2.2 Taban malzemesi ve dalga karakteristiklerinin granülometrik değişim üzerindeki etkisinin incelenmesi

4.2.2.1 Rölatif dane çapının granülometrik değişime etkisi (d_{50}/h)

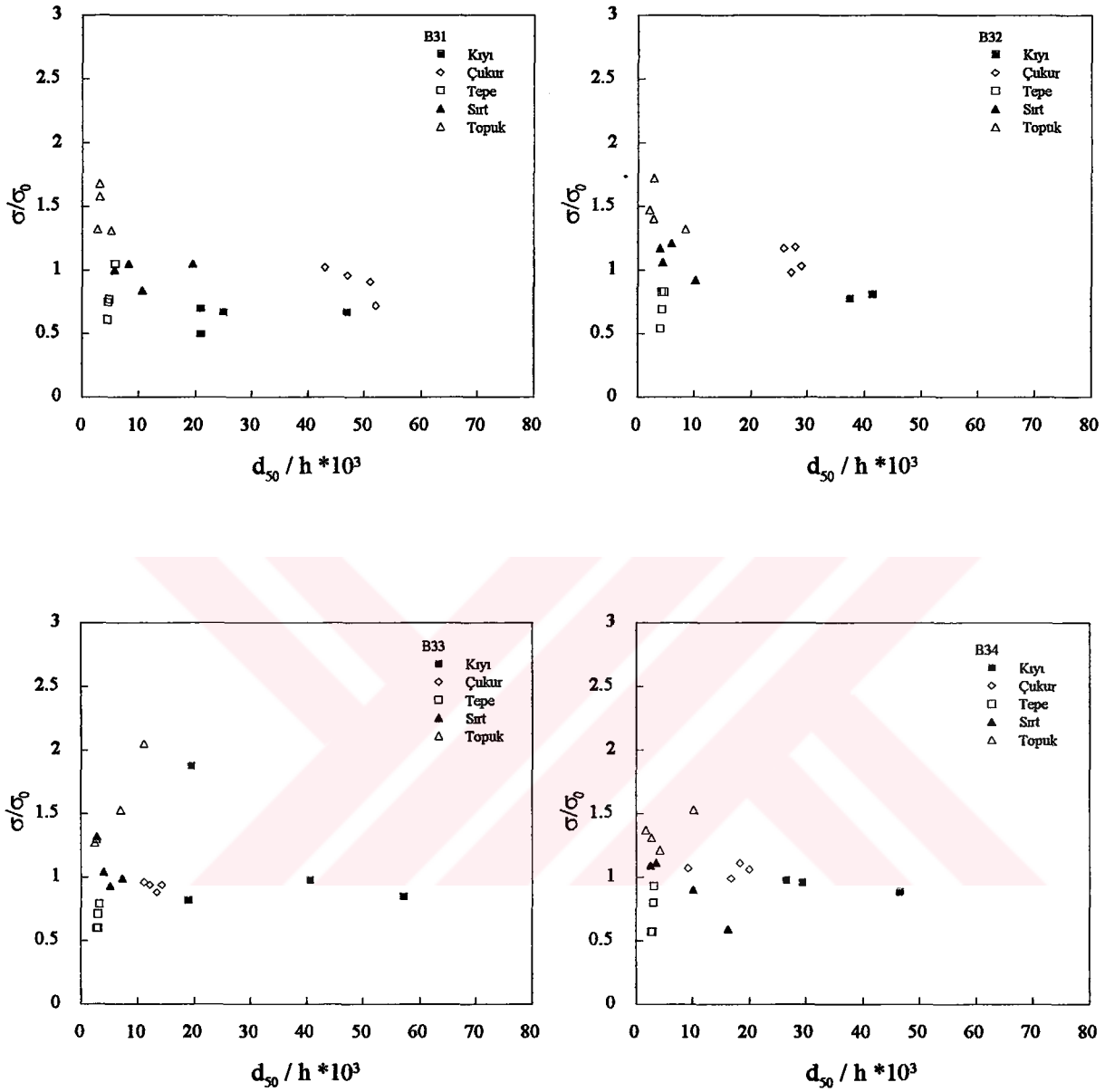
Rölatif dane çapının rölatif standart sapma ile değişimi Şekil 4.23 ve 4.24’de dalga periyodunun 1.6 s olması durumu için gösterilmiştir. Diğer periyotlar için değişimler Ek 5’de verilmiştir. Kıyı boyu akımının olması durumunda rölatif dane çapının rölatif standart sapma ile değişimi incelendiğinde oldukça fazla saçılım gösterdiği gözlenmiştir. Ancak **fırtına profili** boyunca kıyıdan topuğa kadar olan kesitler incelendiğinde topuk kesitindeki malzemenin daha fazla granülometrik değişime uğramış olduğu belirlenmiştir, yani çok kaba ile çok ince malzeme içeren ve ortalama dane çapından uzak olan taban malzemesinden meydana gelmiştir. Ancak bu malzemenin içindeki kaba danelerin yüzdesi ince danelerin yüzdesinden çok daha fazladır.

4.2.2.2 Periyot parametresinin granülometrik değişime etkisi ($T / \sqrt{h / g}$)

Şekil 4.25 ve 4.26’da A ve B malzemeleri için rölatif standart sapmanın periyot parametresi ile değişimi gösterilmiştir. Bu şekillerden kıyı boyunca oluşan granülometrik değişim incelendiğinde kıyıya dik granülometrik değişimdeki aksine, rölatif standart sapmanın

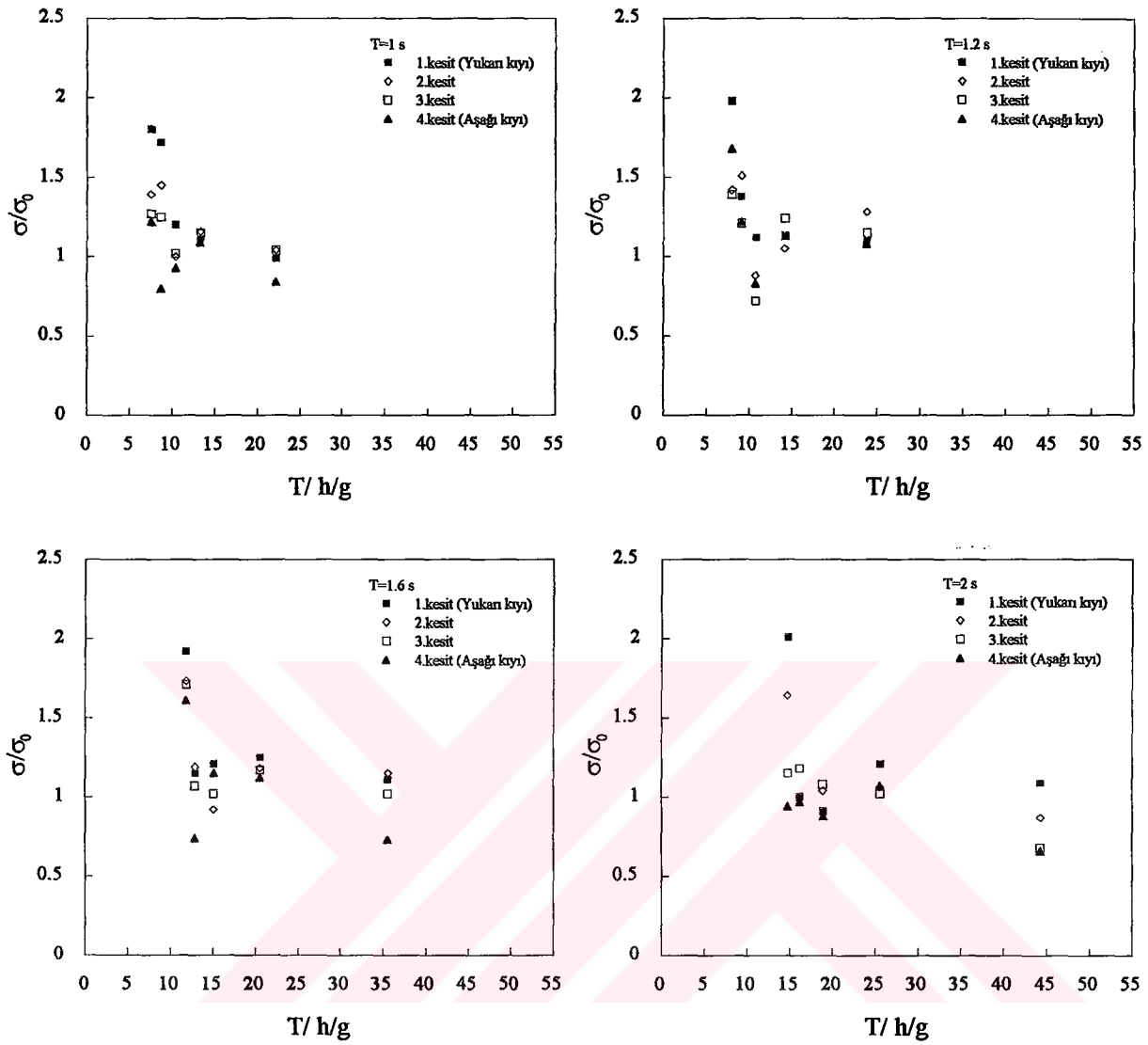


Şekil 4.23 A malzemesi için rölâtif standart sapmanın rölâtif dane çapı ile değişimi
($T=1.6$ s)



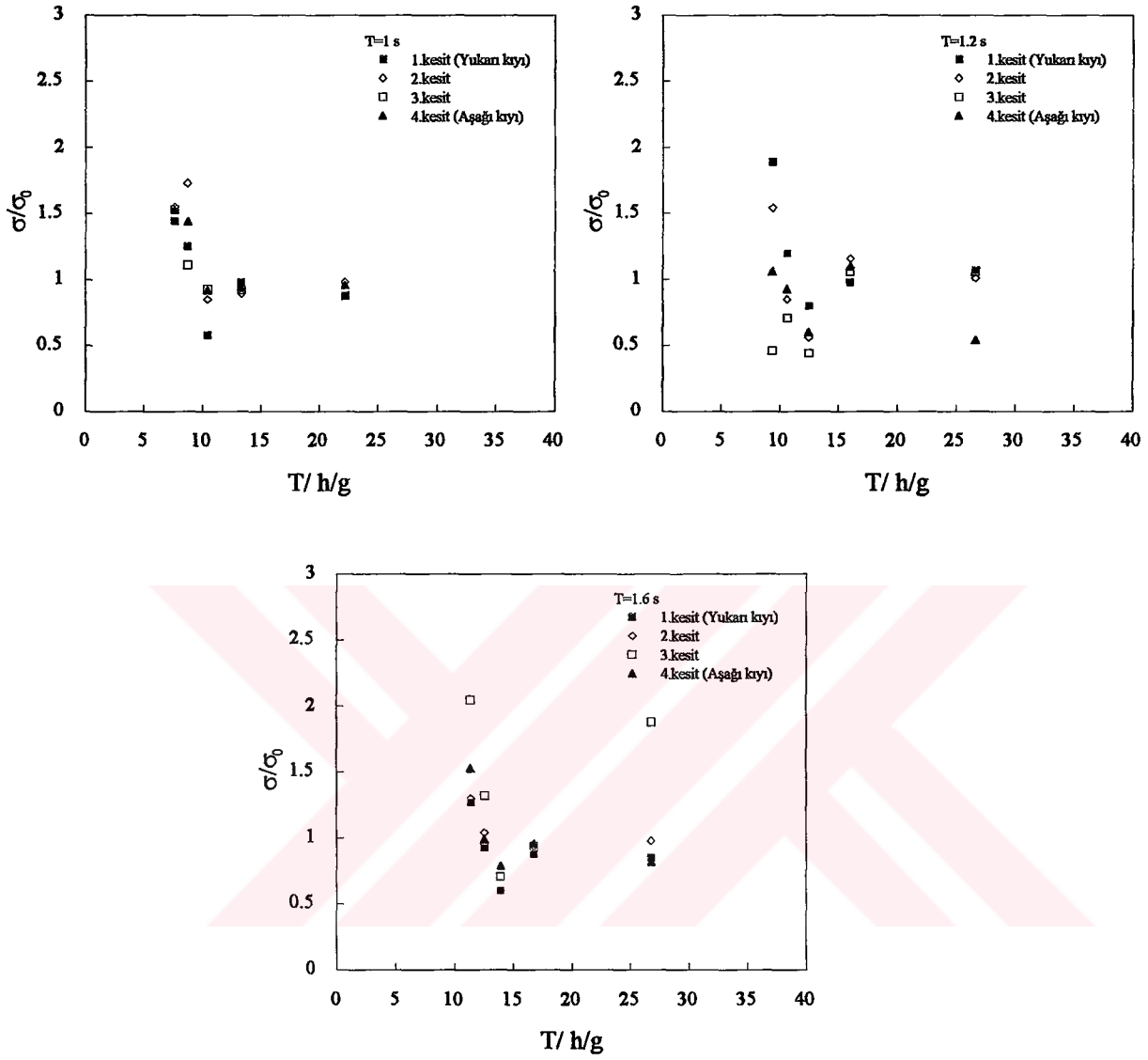
Şekil 4.24 B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dane çapı ile değişimi
($T=1.6$ s)

minimum değerinin yeri değişmektedir. Şekillerden görüldüğü gibi periyot arttıkça periyot parametresinin değeri büyümektedir. Ancak Bölüm 4.1.2.2’de belirtildiği gibi kıyıya dik granülometrik değişimde bu değerin yeri sabit kalmaktadır. Bunun nedeni farklı dalga periyotlarında katı maddelerin kıyı boyunca taşınım mesafelerinin değişmesidir. Van Hījum



Şekil 4.25 A malzemesi için aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda
rölatif standart sapma ile periyot parametresinin değişimi ($H_0=10$ cm)

ve Pilarczyk (1982) çakıl tabanlı kıyılar için yapmış oldukları çalışmada periyodun kıyı boyu taşınımındaki etkisini incelemiş ve danelerin periyot değişikçe taşınım mesafelerinin kıyı boyunca değiştiğini bulmuşlardır. Ancak Bölüm 2’de izah edildiği gibi periyodun değişimi aynı çaptaki danelerin kıyıya dik taşınım mesafelerini değiştirmemektedir. Yine şekillerden, kıyı boyunca alınan farklı kesitlerdeki granülometrik değişimin oluşumuna bakıldığında yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru her bir kesitte granülometrik değişimin aynı yapıda olduğu söylenebilir, yani yukarı kıydaki kesitte kaba malzemenin yüzdesi buna karşılık aşağı

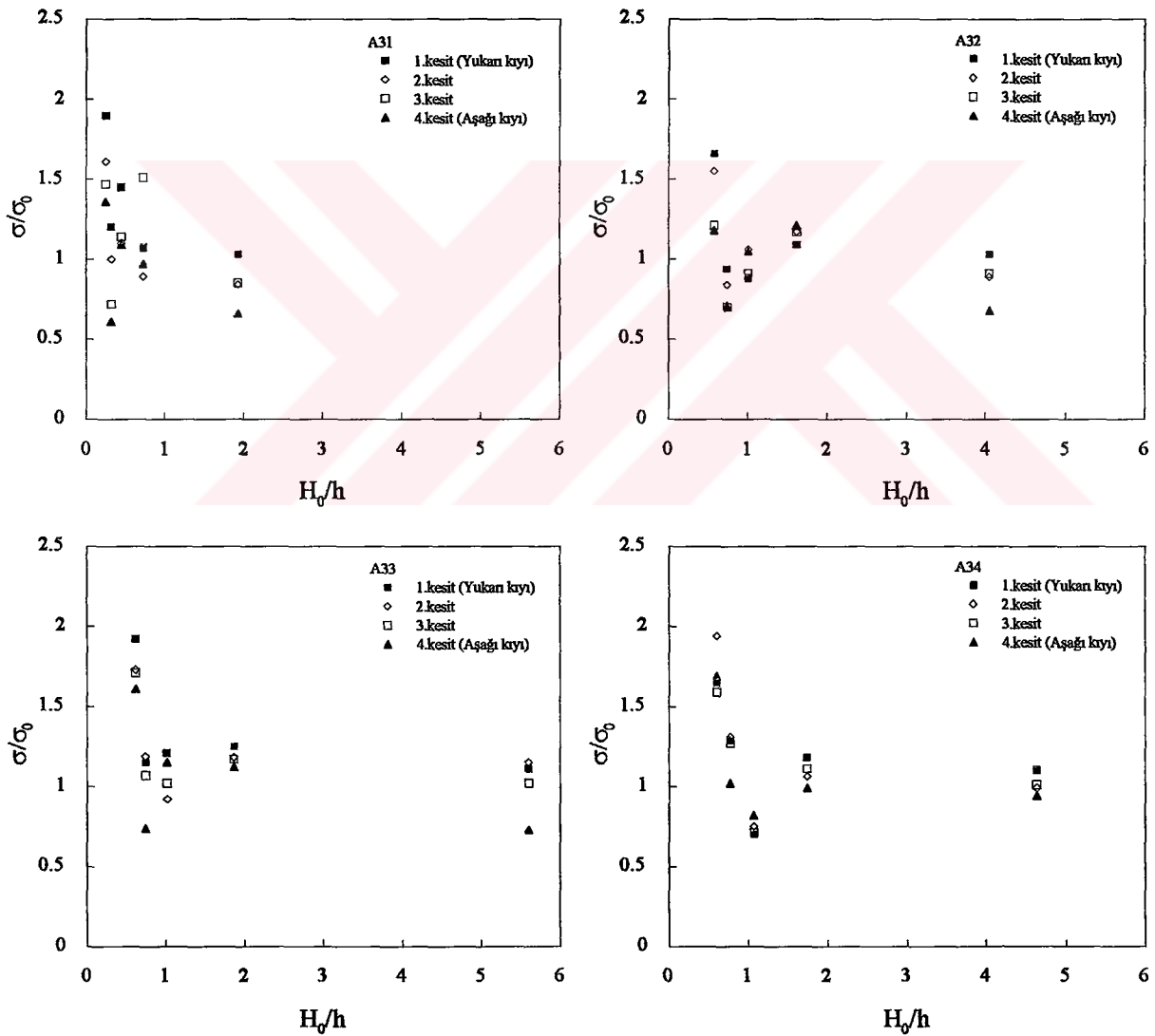


Şekil 4.26 B malzemesi için aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda
rölatif standart sapma ile periyot parametresinin değişimi ($H_0=10$ cm)

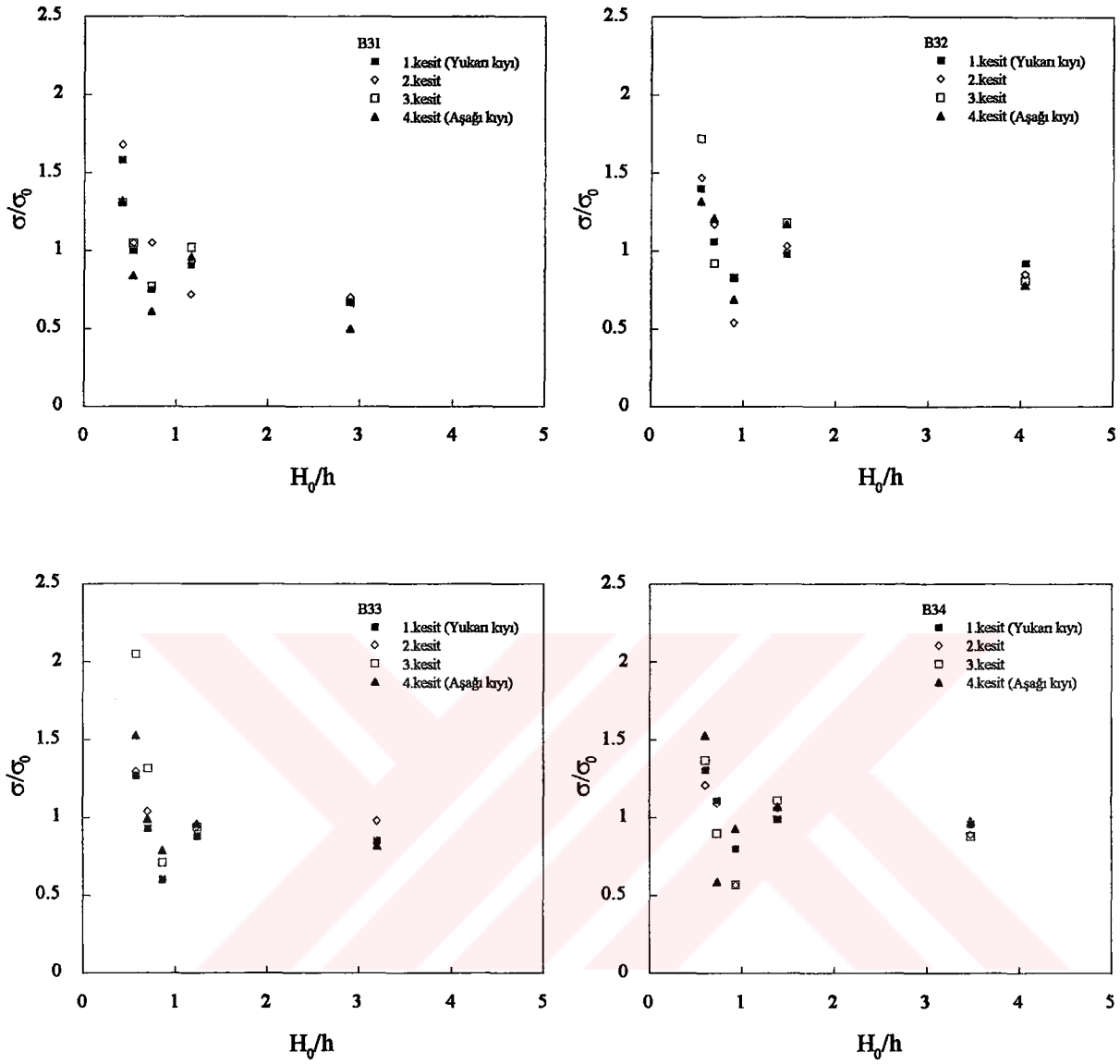
kıydaki kesitte ise ince malzemenin yüzdesi daha fazladır. Dolayısıyla kesitler kendi içinde üniform bir görünüme sahiptirler. Bu sonuç şekillerde her kesit için rölatif standart sapmanın aynı değişimi göstermesinden anlaşılmaktadır. Farklı dalga yükseklikleri için periyot parametresi ile değişimler Ek 6'da verilmiştir, bu şekiller incelendiğinde benzeri sonuçlar görülmüştür.

4.2.2.3 Rölatif dalga yüksekliğinin granülometrik değişime etkisi (H_0/h)

Rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi A ve B malzemeleri için Şekil 4.27 ve 4.28’de görülmektedir. Her bir dalga şartı için çizilen şekillere bakıldığında rölatif standart sapma rölatif dalga yüksekliğinin artmasıyla azalmaktadır. Ancak rölatif dalga yüksekliğinin 1 değerinden itibaren sabit bir görünüme sahip olmaktadır. Rölatif standart sapmadaki değişim dalga yüksekliğinin değişmesine rağmen bütün dalga şartlarında aynı kalmaktadır (Ek 7). Bu sonucun kıyıya dik granülometrik değişim ile de aynı olduğu görülmektedir.



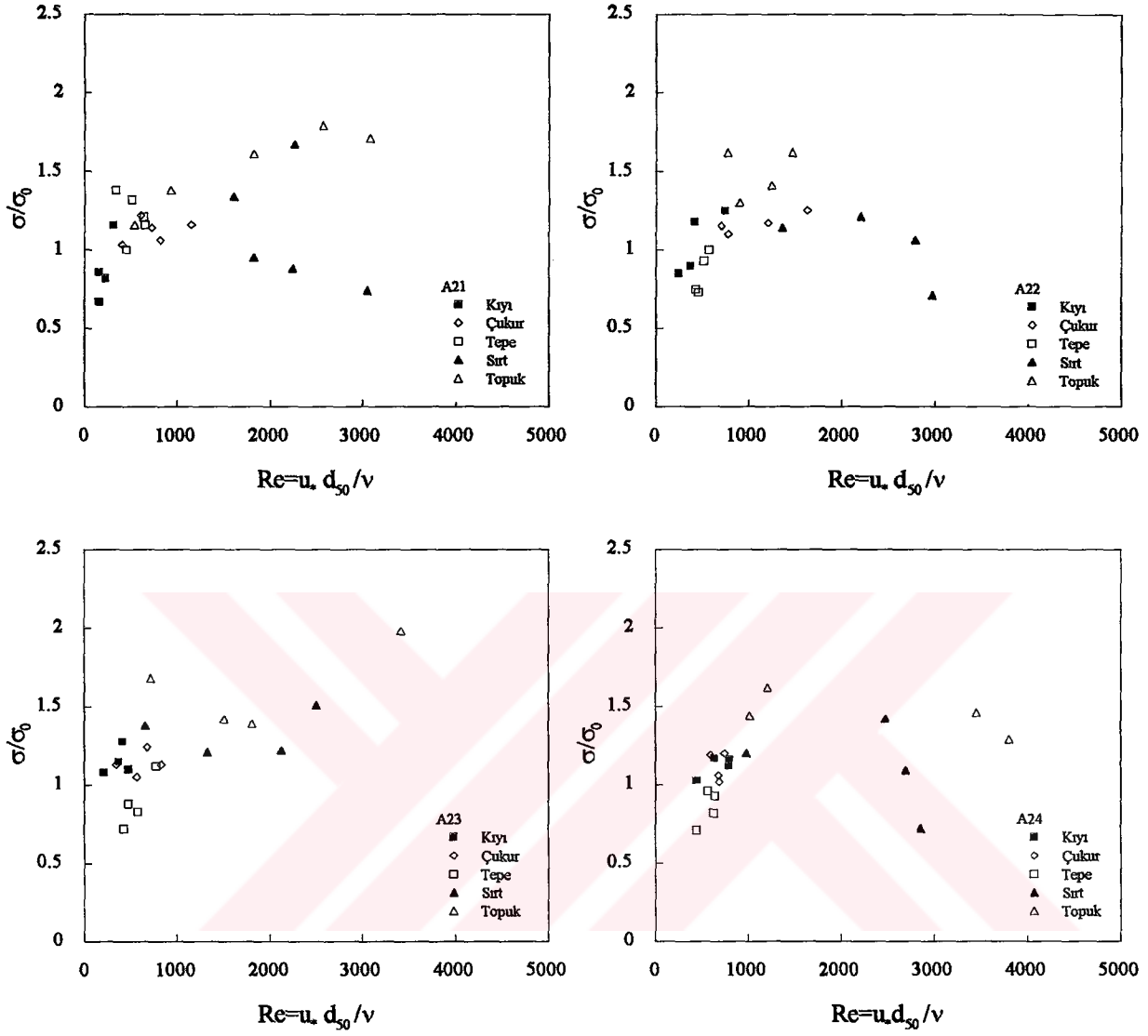
Şekil 4.27 A malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi
($T=1.6$ s)



Şekil 4.28 B malzemesi için rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi
($T=1.6$ s)

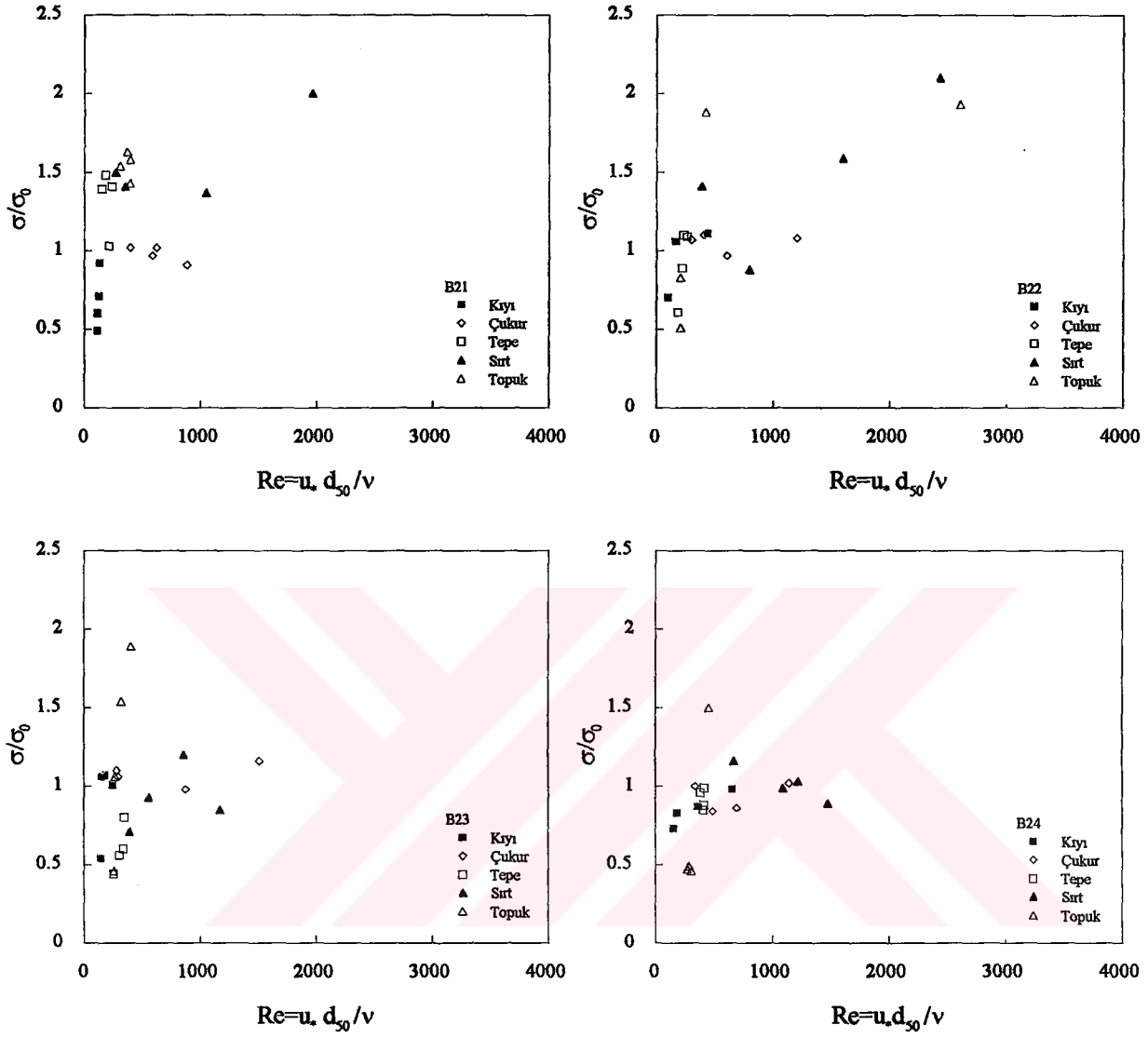
4.2.2.4 Dane Reynolds sayısının granülometrik değişime etkisi ($u \cdot d_{50}/\nu$)

Şekil 4.29 ve 4.30'dan görüldüğü gibi rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişiminde kıyıya dik granülometrik değişimde olduğu gibi kıyı boyunca da dane Reynolds sayısının granülometrik değişim üzerinde bir etkisinin olmadığı görülmektedir (Ek8).



Şekil 4.29 A malzemesi için rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi

($T=1.2$ s)



Şekil 4.30 B malzemesi için rölative standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi
($T=1.2$ s)

5. GRANÜLOMETRİK DEĞİŞİMİN KATI MADDE TAŞINIMINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

5.1. Katı Madde Taşınımının Modellenmesi

Bu çalışmada katı madde taşınımı için Bölüm 4’de anlatılan kıyıya dik ve kıyı boyu granülometrik değişim esas alınarak bir model geliştirilmeye çalışılmıştır. Böylece granülometrik değişimin kıyılardaki katı madde taşınımına olan etkisi araştırılmıştır.

Kapdaşlı (1982) akarsulardaki katı madde taşınımı ile ilgili olarak; mevcut akım şartlarında taban malzemesi içinde bulunan belirli çaptaki danelerin hareket ettiğini ve bunların dışında kalan danelerin ise hareket edemeyebileceğini de düşünerek bir model geliştirmiştir. Bu modelde orijinal taban malzemesi ile taşınım sırasında yeniden yapılanan taban malzemelerinin granülometrik özellikleri bir arada düşünülmüştür.

Bu modele göre bir akarsuda Δt zaman periyodu içerisinde, bir ölçüm kesitinden geçen sürüntü maddesi miktarı

$$Q_m = \alpha B \lambda_0 d_{maks}^2 (1 - n) \left[1 - \sum_{i=1}^N (1 - f_i) \right] P_i \gamma_s \quad (5.1)$$

eşitliği ile verilmiştir. Burada α deneylerden elde edilen bir katsayı, B hareketli tabaka genişliği, λ_0 danenin sıçrama boyu ile ilgili bir katsayı ($=100$), d_{maks} taşınan malzemenin maksimum çapı, n porozite, f_i i sınıflı malzemenin taşınma yüzdesi ($=P_{it}/P_i$), P_i i sınıflı malzemenin orijinal taban malzemesi içinde bulunma yüzdesi, P_{it} i sınıflı malzemenin taşınan malzeme içinde bulunma yüzdesi, γ_s taban malzemesinin birim hacim ağırlığıdır. Kapdaşlı (1982), modelinde kısmen hareket eden malzemelerin taban hareketi üzerindeki etkisini gösterebilmek için bir d_s sınır dane çapı tanımlamıştır, buna göre d_s çapından küçük olan daneler %100 taşınırken bu çaptan büyük olan daneler kısmen taşınabilmektedir. Eğer $d \geq d_s$ ise taşınma yüzdesi, taşınan ve orijinal taban malzemesi ağırlıklarının eşit olduğu kabulü ile

$$f_i = \frac{P_{it}}{P_i} \leq 1 \quad (5.2)$$

şeklinde ifade edilmiştir. $d = d_s$ durumunda $f = 1$ olduğu yani tabanda bulunan i sınıflı malzemenin tamamının taşındığı belirlenmiştir. $d < d_s$ halinde ise tabanda bulunan d çaplı danelerin taşınma miktarlarının, tabandaki hareketli tabaka kalınlığına bağlı olduğu ve bu tabaka içinde bulunan ince danelerin tamamının akım şartlarının etkisi altında olduğu belirlenmiştir. Ancak Kapdaşlı'nın (1982) tanımlamış olduğu bu kısmi sürüntü hareketinde, taban malzemesinde bulunan çeşitli çaptan danelerin belli bir zaman aralığında taşınma yüzdelerinin değiştiği, bu taban malzemesinin içinde çok az bir yüzdesi taşınan veya hiç taşınmayan danelerin de bulunduğu belirtilmiştir. Çeşitli çaptaki danelerden oluşan taban malzemesinden belirli dane sınıflarının yüzde ne kadar taşındıklarının bulunması deneysel olarak belirlenmiştir. Bu deneylerin sonucunda taşınma yüzdelerinin d_s ve d_{maks} dane çaplarına bağlı olarak ifade edilebilecekleri bulunmuştur. Buna göre taşınma yüzdesi

$$f_i = \alpha_4 \left[\frac{(d_i - d_{maks})^2}{(d_s - d_{maks})^2} \right] \quad (5.3)$$

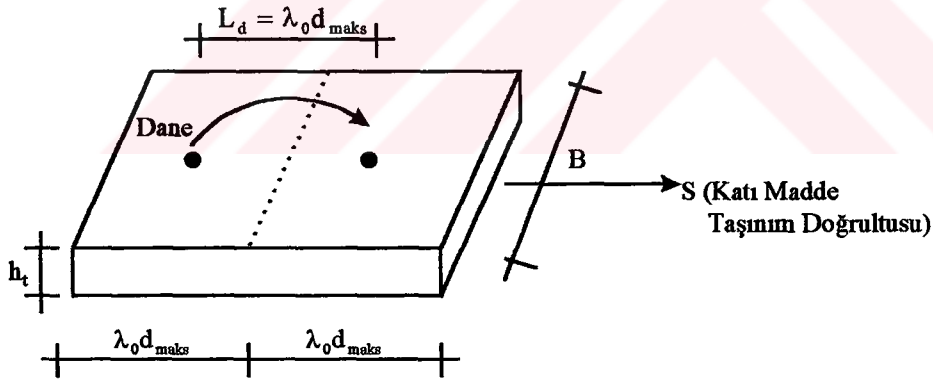
ile ifade edilmiştir, burada α_4 deneylerden belirlenen bir düzeltme katsayısıdır ve dane çaplarına bağlı olarak

$$\alpha_4 = 1.3 - 0.3 \frac{d_i}{d_s} \quad (5.4)$$

ifadesi ile verilmiştir, d_i i sınıflı malzemenin çapını göstermektedir. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi i sınıflı malzemenin tamamının taşınması durumunda $d_i = d_s$ ve $\alpha_4=1$ olmaktadır, bu durum f_i 'nin bire eşit olmasıyla da anlaşılmaktadır. Ancak tabanda bulunan i sınıflı malzeme çapının taşınan malzemenin maksimum dane çapına eşit olması durumunda, $d_i = d_{maks}$, tabanda hiç hareketin meydana gelmemesi gerekmektedir. Bu limit halin taşınma yüzdesi f_i 'nin sifıra eşit olmasından da görülmektedir. Bu durumda α_4 katsayısı çok küçülmektedir.

Kıyılarda dalga etkisinde taşınan taban malzemesinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişime uğramasının Kapdaşlı (1982) tarafından geliştirilen bu modelde tanımlanan taban hareketinin mekanizmasına benzediği düşünülmüştür. Bu nedenle Kapdaşlı'nın (1982) akarsular için geliştirmiş olduğu model kıyılardaki katı madde hareketine uyarlanmaya çalışılmıştır. Surf bölgesi içinde dalga etkisinde gerek kıyı boyu gerekse kıyıya dik olarak yapılan akıntı mekanizmasının taban malzemesi taşınımını kontrol ettiği de göz önüne alınırsa burada yapılan yaklaşımın gerçekçi olduğu düşünülebilir. Böylece model dalga etkisinde kıyı taban hareketi için aşağıdaki gibi uyarlanarak yeniden tanımlanacaktır.

Kıyılarda surf bölgesi içerisindeki taban hareketi için uyarlanan bu modelde deniz tabanının üst tabakasının katı madde dane çapına bağlı olarak kısmen hareket ettiği buna karşılık daha alt tabakaların ise dalga şartlarına bağlı olarak stabil kaldığı düşünülmüştür. Hareket eden tabakanın Şekil 5.1'de görüldüğü gibi L_d uzunluğunda, h_t kalınlığında ve B genişliğinde olduğu varsayılmıştır.



Şekil 5.1 Hareketli tabaka

Kapdaşlı (1982) L_d uzunluğunun bir katı madde ölçüm kesitinden geçen danelerin gidebilecekleri en uzun mesafe olarak alınabileceğini göstermiştir. Daneler sürekli olarak hareket etmezler ve belli sıçramalarla yol alırlar. Bu sıçramaların boyu dane çapı ile orantılıdır. L_d uzunluğu danenin maksimum sıçrama boyu olarak alınırsa ölçüm kesitinden geçen malzemelerin içinde en uzun sıçrama boyuna sahip olan daneler L_d uzunluğunu belirlerler. Einstein (1950) bir danenin sıçrama boyu olarak tanımlamış olduğu L_d

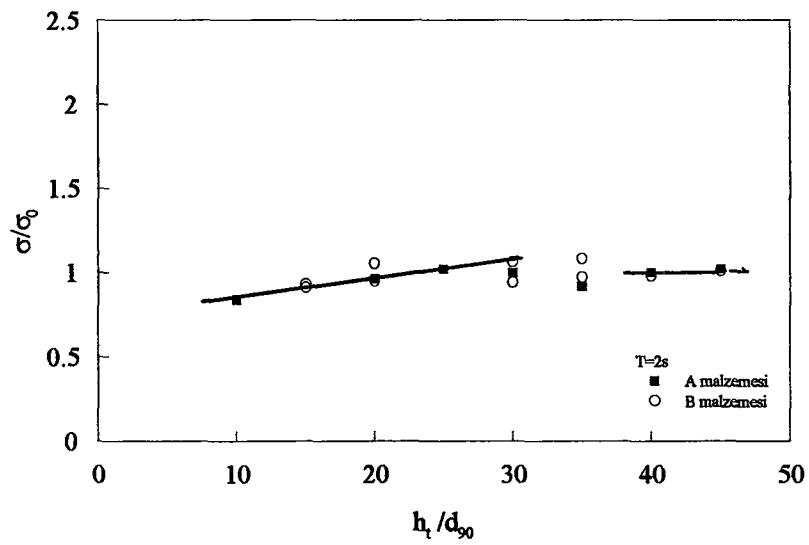
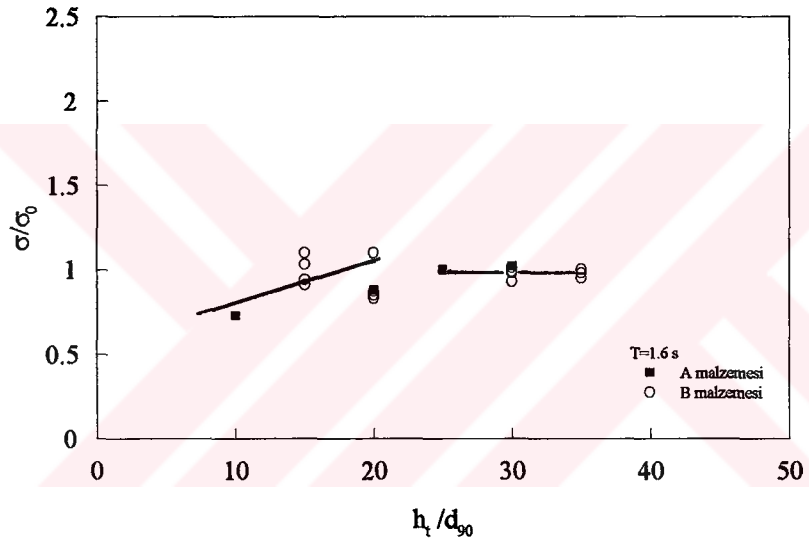
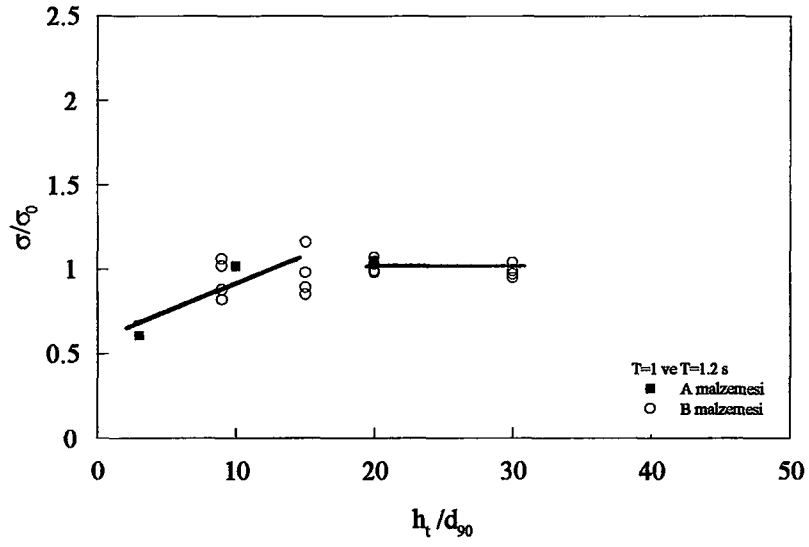
uzunluğunu $\lambda_0 d$ olarak vermiştir. Kapdaşlı (1982) hareketli tabanlı açık kanallarda danelerin gidebilecekleri en uzun mesafenin hesabı için d dane çapının yüzeydeki malzemenin maksimum çapı (d_{maks}) olarak dikkate alınması gerektiğini belirtmiştir. Burada λ_0 danenin geometrisiyle ilgilidir. Yuvarlak daneler için Einstein (1950) bu değeri 100 olarak önermiştir. Sonuç olarak L_d uzunluğu

$$L_d = \lambda_0 d_{maks} \quad (5.5)$$

ifadesi ile belirlenebilecektir.

Bu çalışmada geliştirilmek istenen modelde hareketli tabaka kalınlığı olarak tanımlanan h_t , akarsu taban hareketi için verilen çalışmalardaki modellerde tariflenen tabaka kalınlığından farklı bir yaklaşım kullanılarak belirlenmiştir. Bunun için tanımlanan bu tabaka kalınlığı düzlem formdaki bir kıyıda, kıyı profilinin şekillenmesi sırasında tabanda harekete katılan malzeme kalınlığı olarak düşünülmüştür. Bu kalınlık belli bir konumdaki malzemenin granülometrisindeki değişim belirlenerek bulunmuştur. Bu yaklaşımın, fiziksel olarak bir kıyı profilinin oluşumunu doğru bir şekilde yansıttığı düşünülebilir. Çünkü bir kıyı profilinin oluşum periyodu boyunca dinamik denge koşullarına erişilinceye kadar dalga karakteristiklerine, taban malzemesi özelliklerine ve kıyı taban eğimine bağlı olarak daneler hidrodinamik kuvvetlerin etkisinde hareketlerini tamamlamaktadırlar. Böylece bu hareketleri sonucunda, granülometrik olarak sınıflanmak suretiyle Bölüm 4’de bahsedildiği gibi belirli kesitlerde konumlanmaktadırlar. Bütün bu olaylar zinciri dinamik denge koşullarına ulaşıncaya kadar tamamlanmaktadır. Bu nedenle akarsu taban hareketindeki fiziksel şartlar özellikle kıyılardaki surf bölgesi içinde meydana gelen taban hareketini tam olarak yansıtmamaktadır ve bu sebepten dolayı bu tip modelleri dikkate alan surf bölgesi taban hareketi modelleri yeterince doğru sonuç vermemektedir (Van Rijn, 1993).

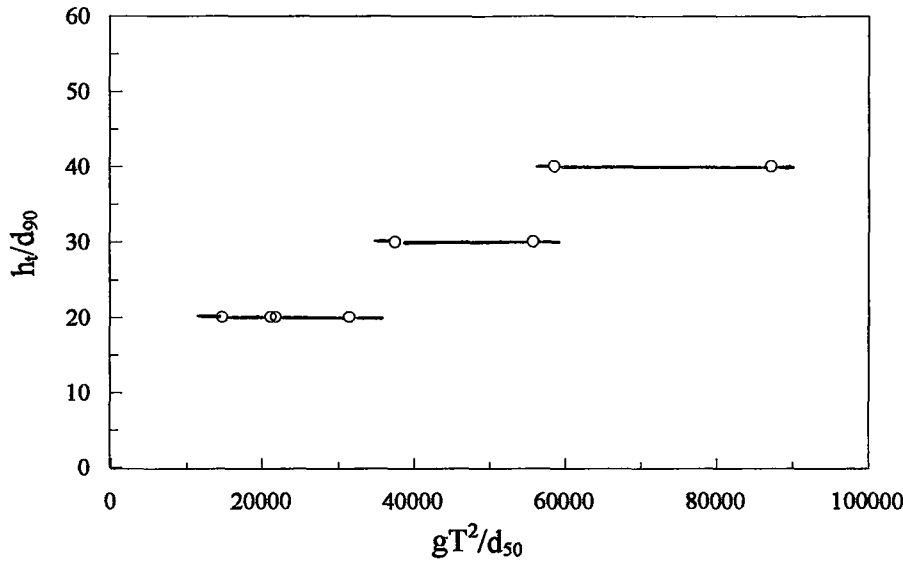
Bu amaçla, h_t tabaka kalınlığının belirlenebilmesi için 1, 1.2, 1.6 ve 2 s’lik periyotlarda, farklı dalga yüksekliklerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda, oluşan kıyı profili üzerinde farklı konumlarda farklı tabaka kalınlıklarında alınan malzeme numuneleri granülometri deneylerine tabi tutulmuştur. Elde edilen granülometrilere dayanarak her



Şekil 5.2 Hareketli tabaka kalınlığının belirlenmesi.

bir tabaka kalınlığındaki malzemenin standart sapması belirlenmiştir. Değişik tabaka kalınlıklarındaki malzemelerin standart sapmalarının orijinal tabanın standart sapmasına oranına (σ/σ_0) karşılık h_t hareketli tabaka kalınlığının orijinal tabanın d_{90} karakteristik çapına oranı (h_t/d_{90}) Şekil 5.2’de A ve B malzemeleri için çizilmiştir. Çizilen bu grafiğe göre h_t tabaka kalınlıkları belirlenmiştir. Şekil 5.2’den de görüldüğü gibi dalga periyodu arttıkça hareketli tabaka kalınlığı da büyümektedir. Bu sonuç daha önce yapılan çalışmalarla uyum içindedir. Çünkü Van Rijn (1989) dalga periyodunun artmasıyla, tabandaki bir daneyi harekete geçiren kritik yörüngesel hızın pik değerinin arttığını belirtmiştir. Parker (1991) ile Foti ve Blondeaux (1992) hareketli tabaka kalınlığını orijinal tabanın d_{90} karakteristik çapıyla ölçeklendirmişlerdir. Yine Van Rijn (1993) dalgalı ortamda taban hareketi ile ilgili çalışmalarından elde ettiği sonuçlara göre taban pürüzlülüğünün dolayısıyla taban hareketinin hesabında taban malzemesinin karakteristik bir çapı olan d_{90} ’ın kullanılması durumunda daha uygun sonuçların elde edilebileceğini belirtmiştir. Benzer şekilde bu çalışmada da h_t hareketli tabaka kalınlığı d_{90} ’a bağlı olarak ifade edilmiştir. Şekil 5.2 incelendiğinde; dalga periyodunun 1 ve 1.2 s değerlerinde $h_t/d_{90} < 20$ için rölatif standart sapmanın saçılım gösterdiği buna karşın $h_t/d_{90} \geq 20$ için sabit kaldığı görülmektedir. Periyodun 1.6 s değerinde rölatif standart sapmanın, $h_t/d_{90} \geq 30$ ve periyodun 2 s değerinde ise $h_t/d_{90} \geq 40$ için sabitleştiği görülmektedir. Dalga periyodu büyüdükçe h_t/d_{90} ’ın küçük değerlerinde rölatif standart sapmada görülen saçılım miktarındaki azalma ve h_t/d_{90} ’a karşılık σ/σ_0 ’ın değişimindeki eğilim küçülmektedir. Bunun nedeninin dalga periyodunun artmasıyla taban hareketinin artması ve böylece tabandaki hemen hemen bütün çaptan danelerin daha fazla harekete katılmasından kaynaklandığı söylenebilir. Sonuç olarak $T=1$ s ve $T=1.2$ s için $h_t=20 d_{90}$, $T=1.6$ s için $h_t=30 d_{90}$ ve $T=2$ s için $h_t=40 d_{90}$ olarak dikkate alınmıştır. Şekil 5.2 farklı dalga yükseklikleri dikkate alınarak çizildiğinden, dalga yüksekliklerinin hareketli tabaka kalınlığı ile değişiminde dalga periyodu kadar etkili olmadığı söylenebilir, benzeri sonuç Van Rijn (1993) tarafından da elde edilmiştir.

Şekil 5.2’den anlaşıldığı gibi hareketli tabaka kalınlığının mevcut taban malzemesi özelliklerine ve dalga periyoduna bağımlı olduğu görülmektedir. Bu parametreler bir arada düşünülerek Şekil 5.3’de görüldüğü gibi gT^2/d_{50} boyutsuzuna karşılık h_t/d_{90} rölatif tabaka kalınlığı çizilmiştir. Burada gT^2/d_{50} boyutsuzu Bölüm 2’de 2.30 ifadesinde görülen Π'_3 ’dür.



Şekil 5.3 Rölatif tabaka kalınlığının değişimi

Şekil 5.3 incelendiğinde dikkate alınan tüm dalga şartlarında ve her iki taban malzemesi için rölatif tabaka kalınlığının dalga periyodu ile dane çapına bağlı olan gT^2/d_{50} boyutsuzuyla değiştiği görülmektedir. Bu şekile göre h_t/d_{90} 'ın $10000 \leq gT^2/d_{50} < 40000$ için 20, $40000 \leq gT^2/d_{50} < 60000$ için 30, $60000 \leq gT^2/d_{50} < 90000$ için ise 40 olduğu belirlenmiştir.

Hareketli tabakanın B genişliği danenin hareket doğrultusuna (S) dik olan boyutu olarak dikkate alındığından kıyıya dik ve kıyı boyu katı madde taşınımında ayrı ayrı tanımlanmak zorunda kalmıştır. Böylece hareket eden hareketli tabaka hacmine ait B genişliği kıyıya dik katı madde hareketi durumunda birim genişlik olarak alınmıştır. Ancak kıyı boyu katı madde taşınımı için B genişliği her deneyden sonra oluşan kıyı profilinin kesitlere ayrılmasıyla belirlenmiştir. Çünkü bu durumda dalga şartlarına bağlı olarak oluşan kıyı profilinin büyüklüğü değişmektedir. Böylece Bölüm 4'de belirtilen granülometrik değişimlerin oluştuğu kıyı, çukur, tepe, sırt ve topuk kesitlerinin genişlikleri her dalga için farklı olmaktadır. Kıyı boyu katı madde taşınımında B surf bölgesinin genişliği olarak düşünülmüştür. Buna göre dalganın kıyı profilinin tepesinde kırıldığı düşünülürse, profil üzerinde bu genişlik çukur ile kıyı kesitleri dikkate alınarak belirlenmiştir.

Kesitlerin geometrik özelliklerinin belirlenmesinden sonra hareketli tabaka hacmi aşağıdaki gibi elde edilebilir (Kapdaşlı, 1982).

$$V=B h_t L \quad (5.6)$$

Bu hacim danelerin arasındaki boşluk hacmini de içermektedir. Boşluk hacmi

$$V_b= n V \quad (5.7)$$

dir, burada n porozitedir. Danelerin kapladığı hacim yani toplam dane hacmi ise

$$V_d= V-V_b = V-n V=V(1-n) \quad (5.8)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Kıyı dalga hareketine maruz bırakıldıktan sonra taban boyunca orijinal taban malzemesinin granülometrik dağılımının değiştiği görülmüştür. Orijinal tabanda % P_i oranında bulunan i sınıflı malzemenin, dalga etkisinde kıyı profili oluştuktan sonra % P_{it} oranında bulunduğu varsayılmıştır. Buna göre bir kesitteki i sınıflı malzemede meydana gelen değişimin miktarı yüzde olarak

$$\Delta P_i = \frac{|P_{it} - P_i|}{P_i} \quad (5.9)$$

şeklinde yazılabilir. Bir kesitte bulunan bütün dane sınıflarındaki toplam değişim miktarı ise yüzde olarak

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \frac{|P_{it} - P_i|}{P_i} \quad (5.10)$$

şeklinde ifade edilebilir. Değişik sınıftan danelerin belirtilen bu değişim miktarları dalga etkisinde tabandaki taşınımından kaynaklanmaktadır. O halde (5.10) bağıntısı o kesitteki bütün danelerin toplam taşınım yüzdesini vermektedir. Burada N toplam sınıf sayısını göstermektedir ve dane sınıfı ise, deneylerde dikkate alınan elek aralıklarından tariflenen

ardışık dane çaplarının oluşturduğu katı madde grupları olarak tanımlanmıştır. Bir kesitteki “toplam dane hacmi V_d ” olduğuna göre o kesitte dalga etkisinde “taşınan toplam malzeme hacmi”

$$V_t = V_d \Delta P \quad (5.11)$$

olarak ifade edilmiştir. Bir kesitte meydana gelen katı madde debisi ise taşınan malzeme hacminin Bölüm 3’de belirtilen deney süresine bölünmesiyle elde edilmiştir.

$$Q_t = V_t / t \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5.12)$$

burada t kıyı profillerinin dinamik denge durumuna ulaşması için geçen süreyi göstermektedir.

Taşınan katı madde debisini kütle cinsinden belirlemek için de hacimsel katı madde debisi (Q_t) dane birim hacim kütlesi ile çarpılmıştır.

$$Q_{mi} = Q_t \rho_s \quad (\text{kg/s}) \quad (5.13)$$

Yukarıda tariflenmeye çalışılan kıyıda oluşan granülometrik değişimin etkisini dikkate alan model yardımıyla surf bölgesi içerisinde gerek kıyıya dik, gerekse kıyı boyunca taşınan katı madde miktarları belirlenmiştir. Yukarıda verilen bağıntılar yardımıyla granülometrik değişimin meydana geldiği surf bölgesindeki her bir kesit için her dalga şartında birim zamanda taşınan katı madde miktarı

$$Q_{mi} = B h_t \lambda_0 d_{maks} (1 - n) \Delta P \rho_s \quad (5.14)$$

ifadesiyle hesaplanmıştır.

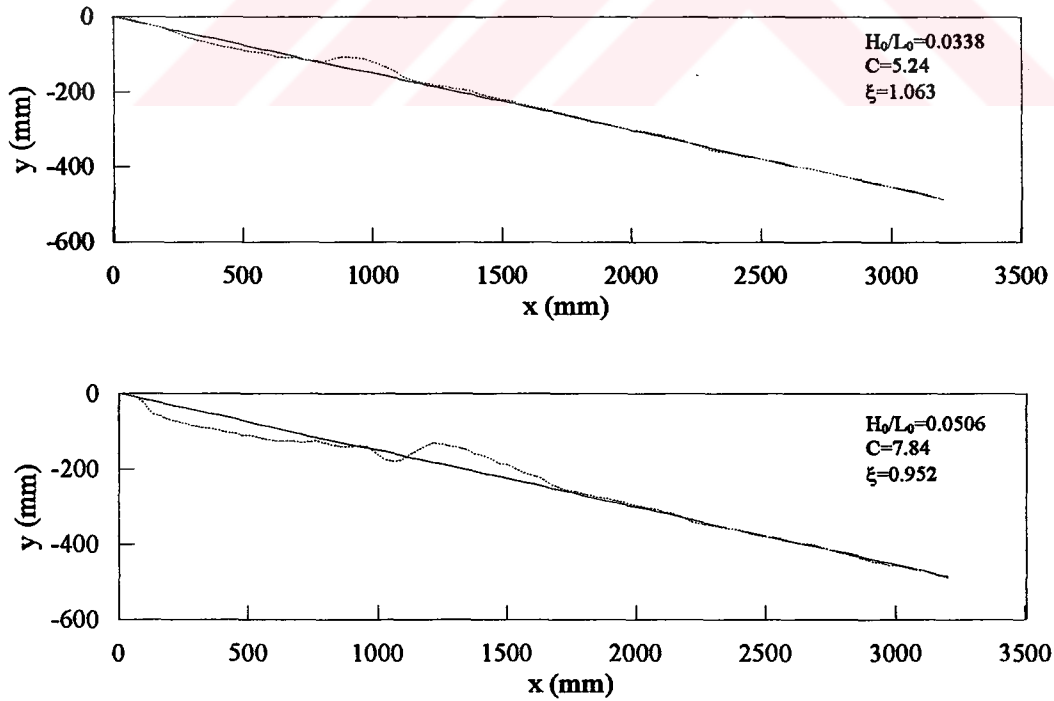
Modelden elde edilen katı madde debisi ise

$$Q_m = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M Q_{mi} \quad (5.15)$$

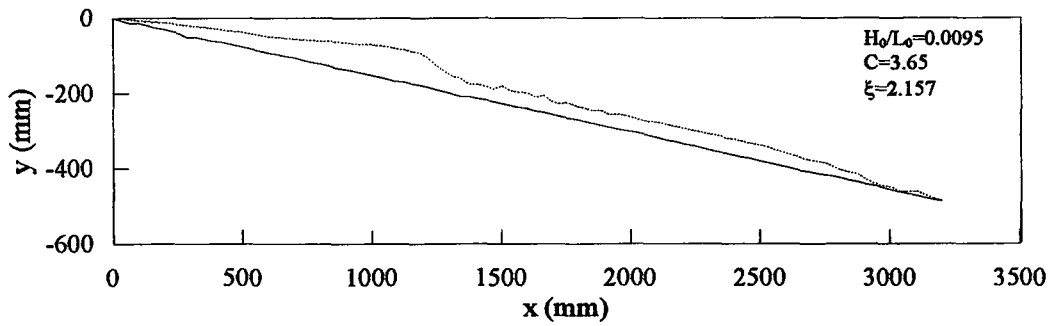
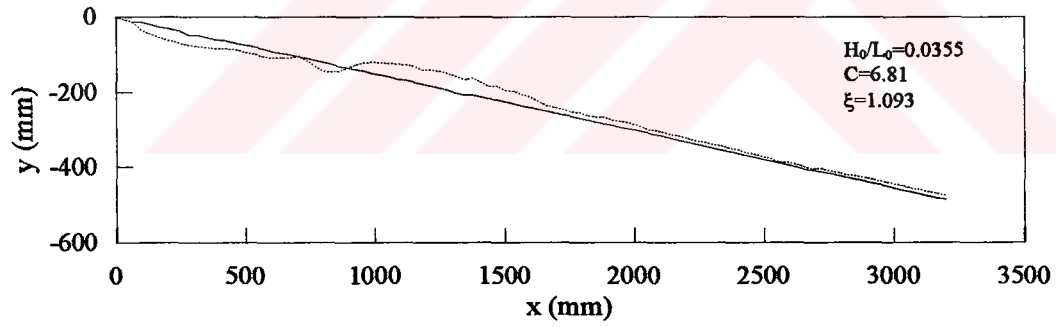
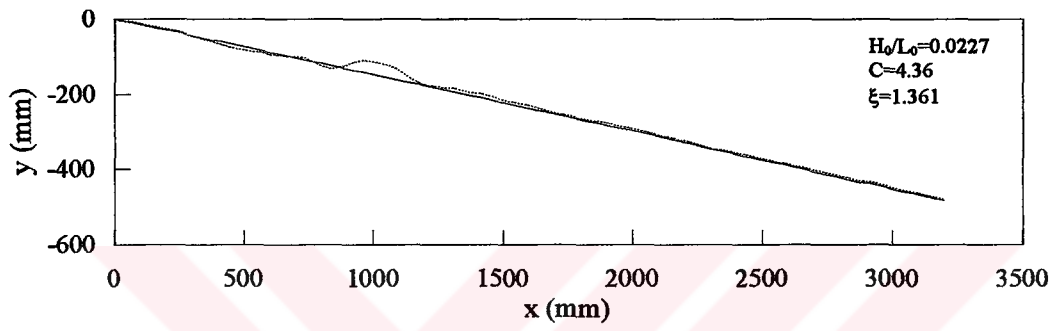
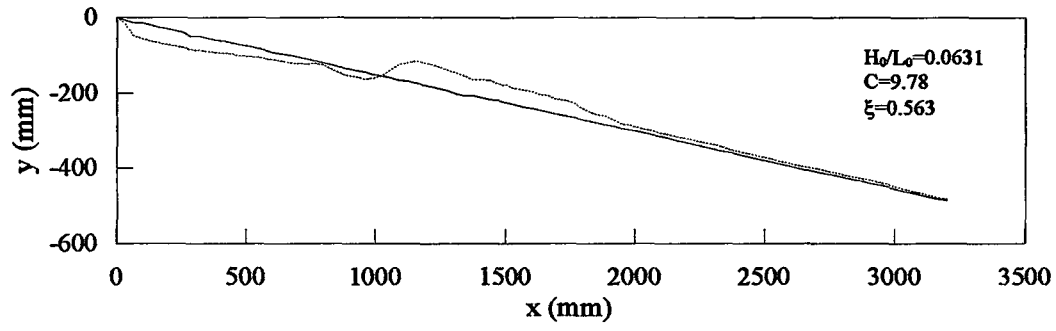
şeklinde ifade edilmiştir. Burada M yukarı kıydan aşağı kıyıya kadar göz önüne alınan kesit sayısıdır.

5.2 Kıyıya Dik Katı Madde Taşınımı

Dalga etkisinde meydana gelen Bölüm 2’de anlatılan kıyı profilleri, Bölüm 3’de bahsedilen profil kaydedici yardımıyla ölçülmüştür. Çizelge 3.3’de gösterilen dalga şartlarında oluşan tipik fırtına ve normal kıyı profilleri Şekil 5.4’de gösterilmiştir. Bu çalışmada kıyı profillerinin aldığı şekiller Sunamura ve Horikawa’nın (1974) elde ettiği ampirik ifade yardımıyla değerlendirilmiştir. Şekil 5.5’de bu araştırmacıların yaptığı gibi H_0/L_0 ’a karşılık $(s)^{-0.27}(d_{50}/L_0)^{0.67}$ boyutsuz parametresi mevcut deney şartları için çizilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi C profil parametresi araştırmacıların vermiş olduğu sınırlar içinde kalarak iyi bir uyum göstermiştir. Ancak araştırmacıların dikkate aldığı kıyı eğimleri 1/45-1/8 arasında

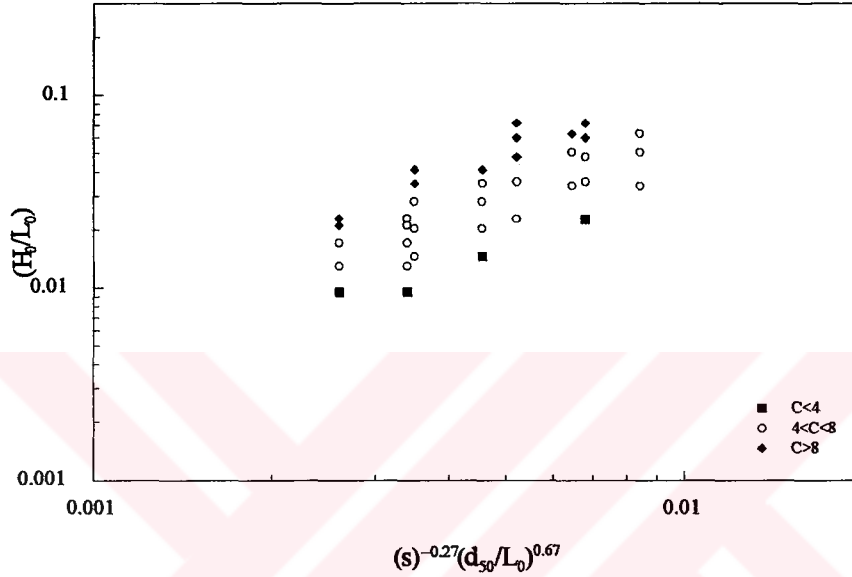


Şekil 5.4 Tipik fırtına ve normal kıyı profilleri



Şekil 5.4- Devam

değişmektedir. Bu çalışmada ise dikkate alınan kıyı eğimi $1/5$ 'dir. Bu eğimde $4 < C < 8$ arasındaki profiller geçiş profilinden çok fırtına profiline daha yakındır. Benzeri gözlemler Meer (1988), Çevik (1997) ile Çevik ve Yüksel (1998) tarafından da elde edilmiştir. Ayrıca, Kamphuis (1991) katı madde taşınımında kıyı eğiminin önemli bir parametre olduğunu belirtmiş ve kıyı eğiminin katı madde taşınımını artırdığını göstermiştir.



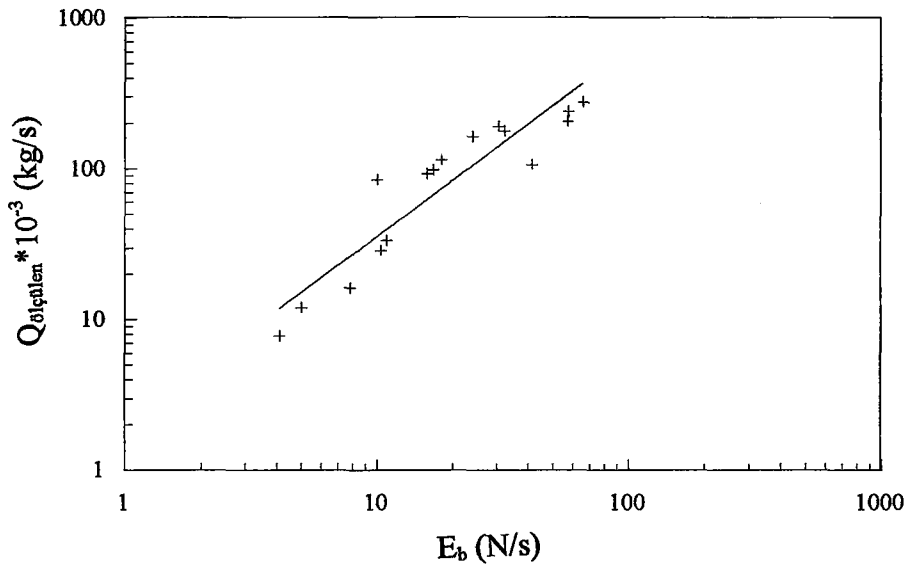
Şekil 5.5 Kıyı profillerinin değişimi

Elde edilen profiller yardımıyla kıyıya dik taşınan katı madde hacimleri, dolayısıyla katı madde debileri belirlenmiştir. Surf bölgesi içinde kıyıya dik dalga enerji akısı;

$$E_b = \frac{1}{8} \rho g H_b^2 c_{gb} \quad (5.16)$$

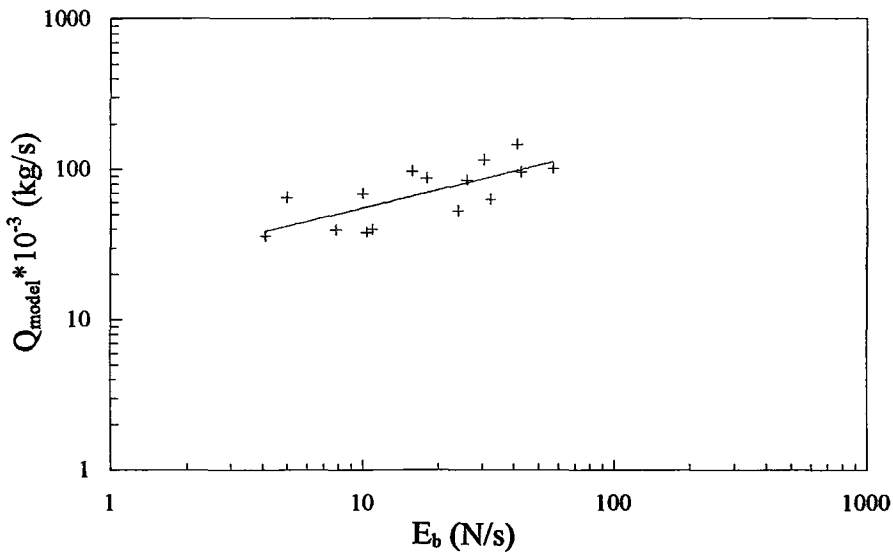
dir, burada E_b kırılma derinliğinde enerji akısı, ρ suyun özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesi, H_b kırılan dalga yüksekliği, c_{gb} kırılan dalganın grup dalga yayılma hızıdır.

Ölçülen katı madde debilerine karşılık her dalga şartında elde edilen enerji akılarının değişimi Şekil 5.6'da gösterilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi dalga enerji akısı arttıkça kıyıya dik taşınan katı madde miktarı artmaktadır.

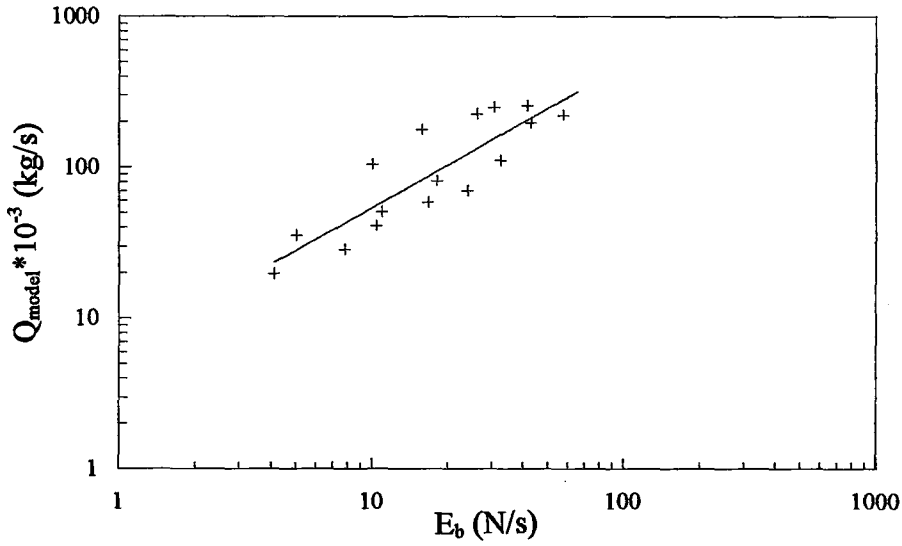


Şekil 5.6 Kıyıya dik taşınan katı madde debisinin enerji akısı ile değişimi
(B Malzemesi)

Bölüm 5.1’de anlatılmaya çalışılan granülometrik değişimin etkisini içeren model yardımıyla (5.15) her bir dalga şartında belirlenen granülometrik değişimler kullanılarak surf bölgesi içerisinde kıyıya dik katı madde taşınım miktarları gerek A malzemesi gerekse B malzemesi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Bulunan kıyıya dik katı madde debilerinin enerji akısı ile değişimleri Şekil 5.7 ve 5.8’de gösterilmiştir.

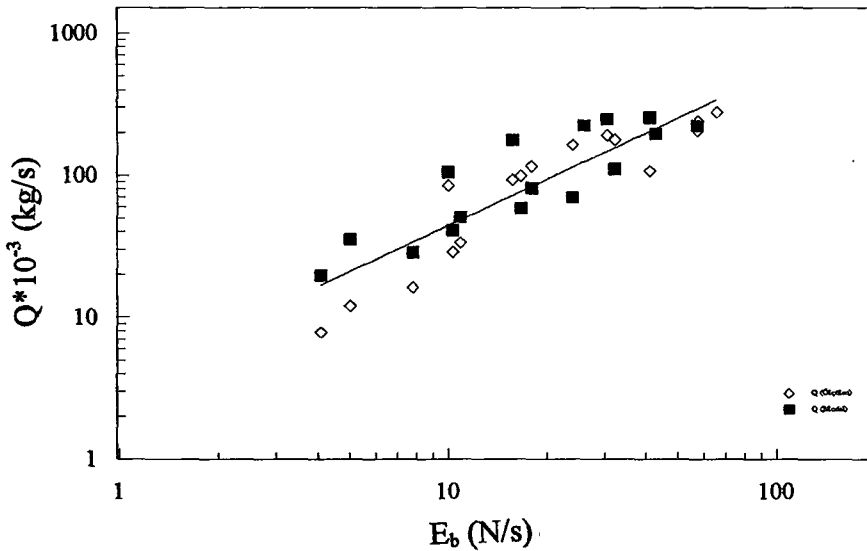


Şekil 5.7 Kıyıya dik taşınan katı madde debisinin enerji akısı ile değişimi
(A Malzemesi)



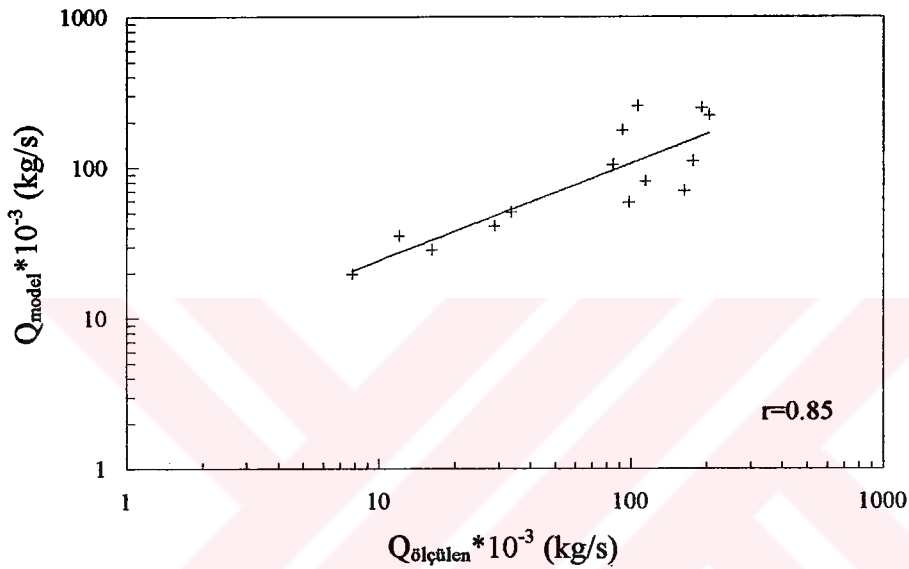
Şekil 5.8 Kıyıya dik taşınan katı madde debisinin enerji akısı ile değişimi
(B Malzemesi)

Bu şekiller incelendiğinde yine modelden elde edilen katı madde debilerinin de enerji akısının artmasıyla büyüdüğü görülmüştür. Model yardımıyla elde edilen sonuçların geçerliliğini araştırmak amacıyla ölçülen katı madde debileriyle modelden elde edilen katı madde debileri Şekil 5.9’da yine enerji akısına karşılık olmak üzere bir arada çizilmek suretiyle gösterilmiştir. Bu şekil incelendiğinde sonuçların birbiriyle iyi bir uyum içinde olduğu görülmektedir. Ayrıca gerek model gerekse ölçülen katı madde debileri ile birlikte enerji akısının değişimleri arasında iyi bir korelasyon da söz konusudur ($r=0.89$).



Şekil 5.9 Model ve ölçülen kıyıya dik katı madde debilerinin enerji akısı ile değişimi

Ayrıca Şekil 5.10'da aynı dalga şartlarında ölçülen katı madde debilerine karşılık model debileri çizilmiştir. Aralarındaki korelasyonun iyi olması ($r=0.85$) kıyı profilleri boyunca granülometrik değişimin kıyıya dik katı madde debisi üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak kıyıya dik katı madde debisinin sadece enerji akısına değil, aynı zamanda taban malzemesinin özellikleri ile kıyıya dik granülometrik değişime de bağlı olduğu anlaşılmaktadır.



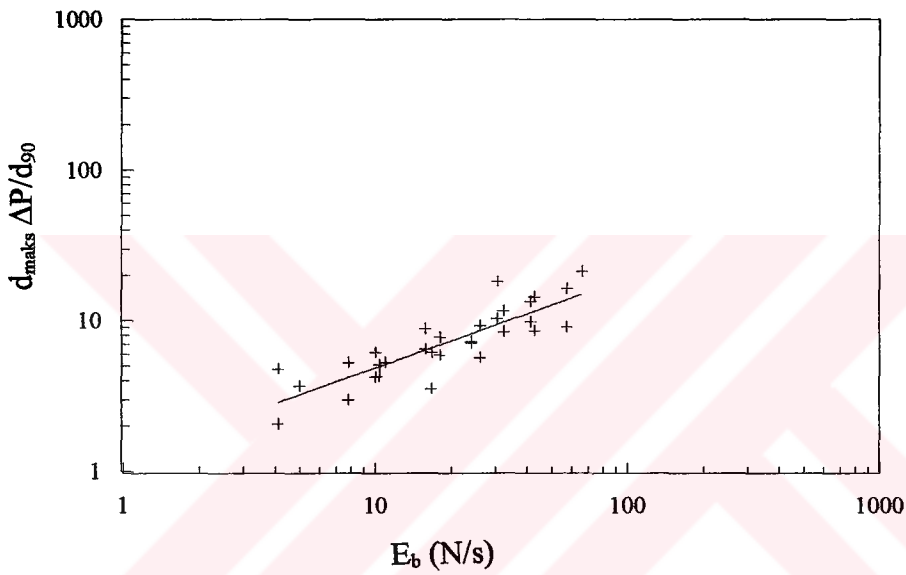
Şekil 5.10 Model ile ölçülen kıyıya dik katı madde debilerinin değişimi

Sonucun daha detaylı irdelenebilmesi amacıyla ölçüm ve model verileri arasındaki korelasyonun uygunluğu için standart hata (Kamphuis, 1991)

$$S_{y/x} = \sqrt{\frac{\sum (\log Q_m - \log Q_o)^2}{k^2}} \quad (5.17)$$

bağıntısı ile tanımlanmıştır. Burada Q_m model debisi, Q_o ölçüm debisi ve k veri sayısıdır. (5.15) bağıntısı için Şekil 5.10'da çizilen katı madde debilerinin değişiminin $S_{y/x}=0.07$ olduğu bulunmuştur. Bu, model katı madde debilerinin kıyıya dik katı madde hareket mekanizmasını oldukça iyi bir şekilde temsil ettiği anlamına gelmektedir.

Model debisini veren 5.14 ifadesinde bulunan bir kesitteki bütün dane sınıflarındaki toplam değişim miktarı yüzdesi ΔP (5.10 ifadesi) ile taşınan malzemenin maksimum dane çapının orijinal tabanın d_{90} 'ına oranı enerji akısına karşılık çizildiğinde taşınan malzemenin ganülometrik değişiminin enerji akısına ve orijinal taban malzemesinin özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür (Şekil 5.11). Çünkü bu şekil göz önüne alınan tüm dalga şartları ile iki farklı taban malzemesi bir arada düşünülerek çizilmiştir. Şekil 5.11'de görülen enerji akısıyla $d_{maks}\Delta P/d_{90}$ oranının değişimi için standart hata ise $S_{y/x}=0.08$ olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.11 Kıyıya dik taşınan malzeme özelliklerinin enerji akısı ile değişimi

5.3 Kıyı Boyu Katı Madde Taşınımı

CERC (1984) kıyı boyu katı madde debisi için enerji akısını esas alan bir metod önermiştir. Bu metoda göre kıyı boyu enerji akısı bileşeni,

$$E_b = \frac{1}{16} \rho g H_b^2 c_{gb} \sin 2\alpha_b \quad (5.18)$$

ifadesiyle verilmiştir. Burada E_b enerji akısı, ρ suyun özgül kütlesi, g yerçekimi ivmesi, H_b kırılan dalga yüksekliği, α_b dalga kırılma açısı, c_{gb} kırılan dalganın grup dalga yayılma hızıdır.

Kıyı boyunca taşınan katı maddenin su altındaki ağırlığının enerji akısıyla doğru orantılı olduğu düşünülerek

$$I = K E_b \quad (5.19)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada K bir sabit olup bu sabit için 0.39 değeri önerilmiştir. Bu ifadede tanımlanan enerji akısı bileşeni yerine konulduğunda kıyı boyu katı madde debisi,

$$Q = \frac{K}{(\rho_s - \rho)gn} E_b \quad (5.20)$$

şeklinde elde edilmiştir. Bu ifade yardımıyla kıyıda birim genişlikten birim zamanda hacim olarak geçen katı madde miktarı hesaplanabilmektedir.

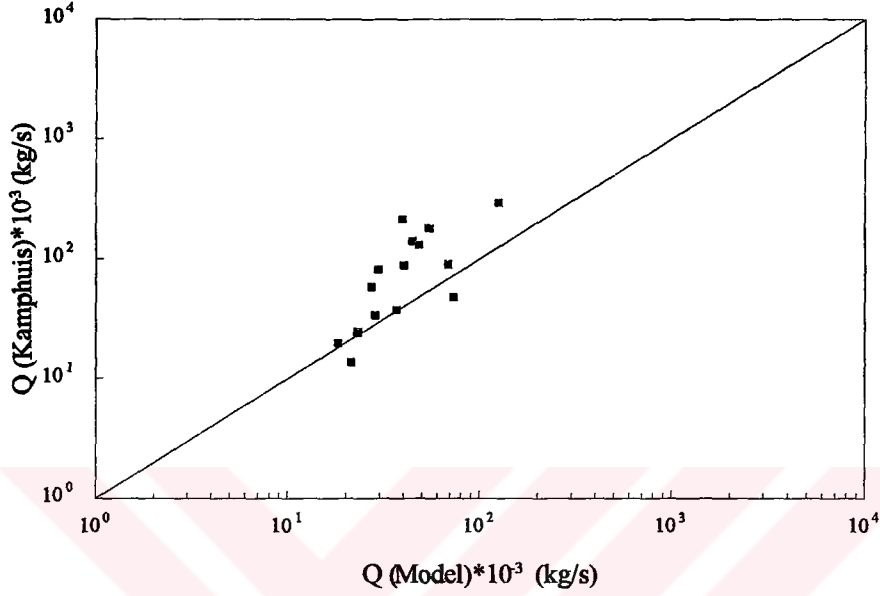
Görüldüğü gibi CERC'in (1984) önermiş olduğu metod kıyı boyu katı madde debisinin sadece yaklaşan dalga karakteristiklerine bağlı olduğunu göstermektedir.

Kamphuis (1991) düzenli ve düzensiz dalgaları içeren üç boyutlu hidrolik model deneyleri ile arazi verilerini esas alarak kıyı boyu katı madde taşınımını inceleyen bir çalışma yapmıştır. Kamphuis'in (1991) önerdiği metoda göre kıyı boyu katı madde debisi sadece dalga karakteristiklerine bağlı değil aynı zamanda katı madde özelliklerine ve kıyı eğimine de bağlıdır. Dalga dikliği, kıyı eğimi, rölatif dane boyutu ve kırılma açısı ile katı madde taşınımı arasındaki bağıntıyı veren Kamphuis (1991) sonuç olarak kıyı boyu katı madde debisi için aşağıdaki bağıntıyı önermiştir.

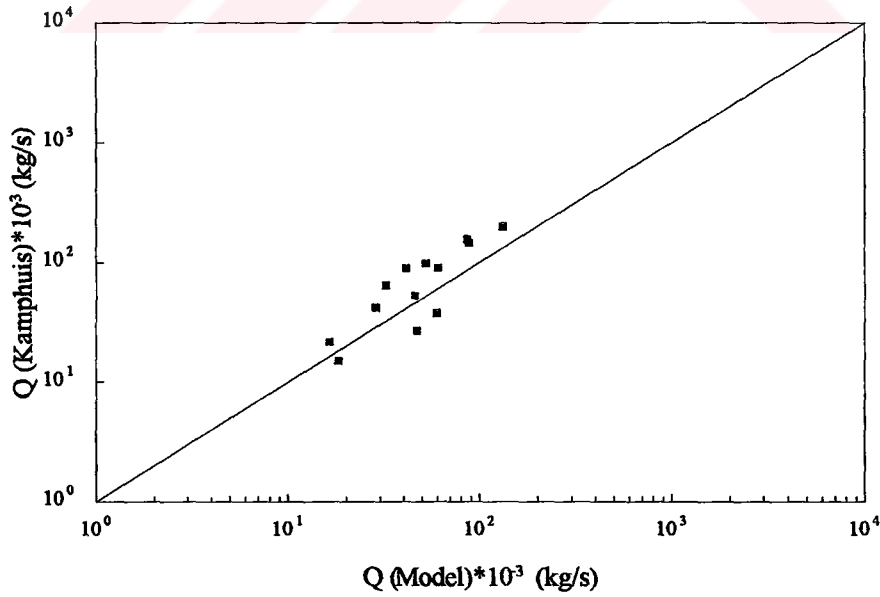
$$Q = 2.27 H_b^2 T^{1.5} s^{0.75} d_{50}^{-0.25} \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (\text{kg/s}) \quad (5.21)$$

Burada Q kütle cinsinden kıyı boyu katı madde debisini, H_b kırılan dalga yüksekliğini, T dalga periyodunu, s kıyı eğimini, d_{50} kullanılan karakteristik dane boyutunu, α_b kırılma çizgisindeki dalga yaklaşım açısını göstermektedir. Bu bağıntıdan görüldüğü gibi kıyı boyu katı madde miktarı dalga yüksekliğinin, dalga periyodunun, kıyı eğiminin ve yaklaşan

dalganın kıyı ile yaptığı açının bir üstüyle değişirken, dane çapının üstüyle ters orantılı olarak değişmektedir. Ancak, sadece dalga enerji akısına bağlı olarak verilen CERC (1984) metodunda, katı madde debisi dalga yüksekliği ile değişmektedir.



Şekil 5.12 Modelden elde edilen katı madde debilerinin Kamphuis (1991) ile karşılaştırılması
(A malzemesi)

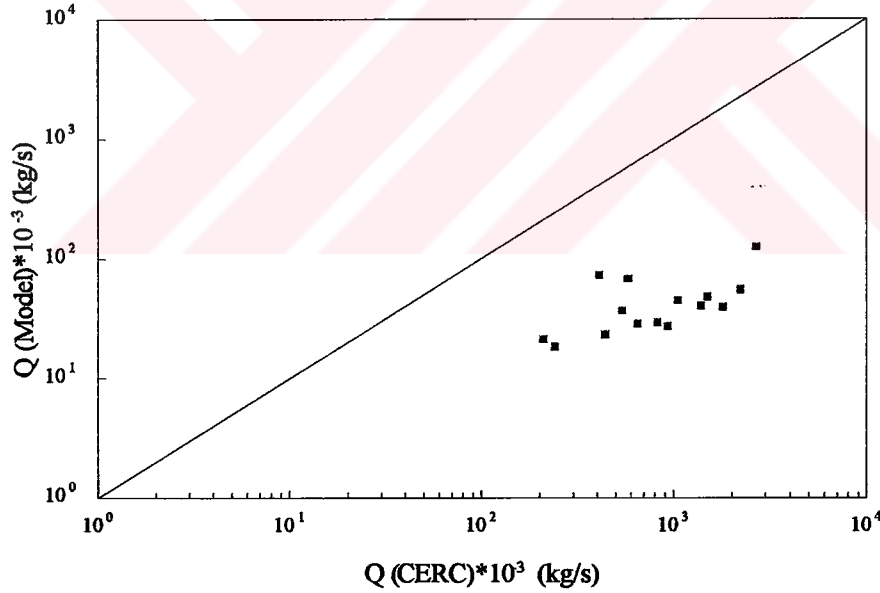


Şekil 5.13 Modelden elde edilen katı madde debilerinin Kamphuis (1991) ile karşılaştırılması
(B malzemesi)

Bu çalışmada yine Bölüm 5.1’de anlatılan kıyı boyu granülometrik değişimi içeren model yardımıyla kıyı boyunca taşınan katı madde debileri A ve B malzemeleri için hesaplanmıştır. Hesaplanan bu debiler Kamphuis’in (1991) önermiş olduğu metod ile karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırmalar Şekil 5.12 ve 5.13’de gösterilmiştir.

Şekiller incelendiğinde modelden elde edilen katı madde debilerinin Kamphuis’in (1991) metoduyla uygunluk sağladığı görülmektedir.

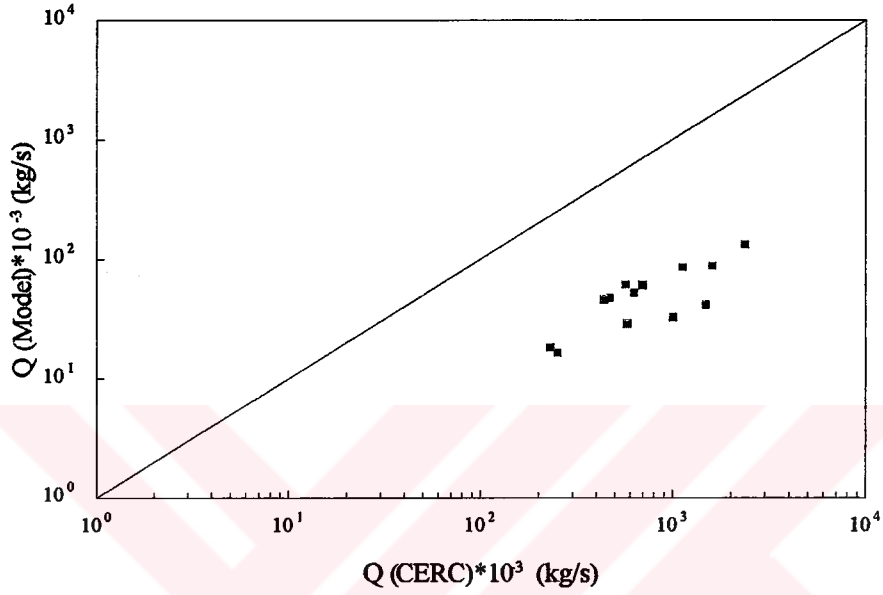
Ancak benzeri karşılaştırma CERC (1984) metoduyla yapıldığında (Şekil 5.14 ve 5.15), model sonuçları ile önemli bir sapma gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu şekilden CERC (1984) metodunun katı madde debilerini beklenenin üstünde tahmin ettiği görülmektedir. Gerçekten de Kamphuis (1991) kendi verilerini CERC (1984) metodu ile karşılaştırdığında aynı sonucu elde etmiştir.



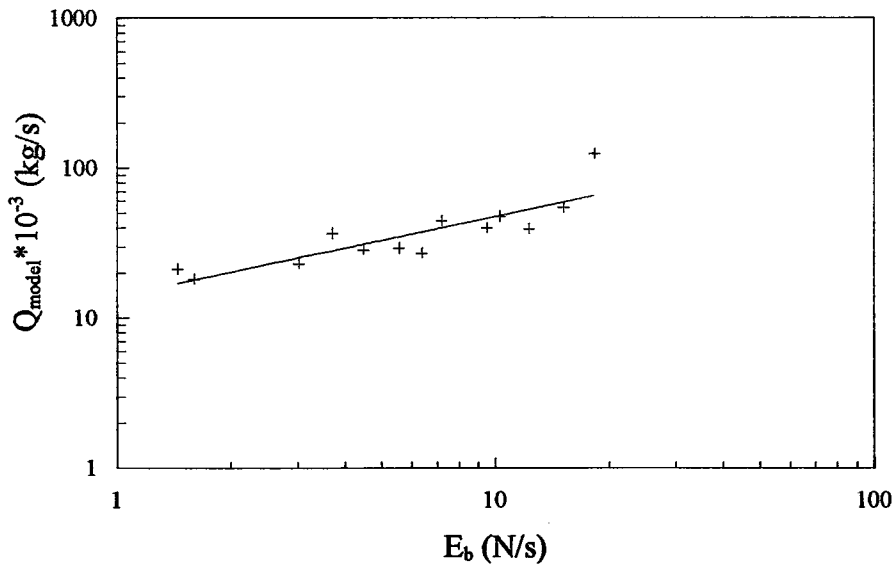
Şekil 5.14 Modelden elde edilen katı madde debilerinin CERC (1984) ile karşılaştırılması
(A malzemesi)

Model ile gerek Kamphuis (1991) ve gerekse CERC (1984) metoduyla yapılan karşılaştırmalarda daha anlamlı bir sonuç çıkartmak amacıyla standart hatalar ayrı ayrı hesaplanmıştır. Sırasıyla, A ve B malzemeleri için Kamphuis (1991) ile standart hatalar

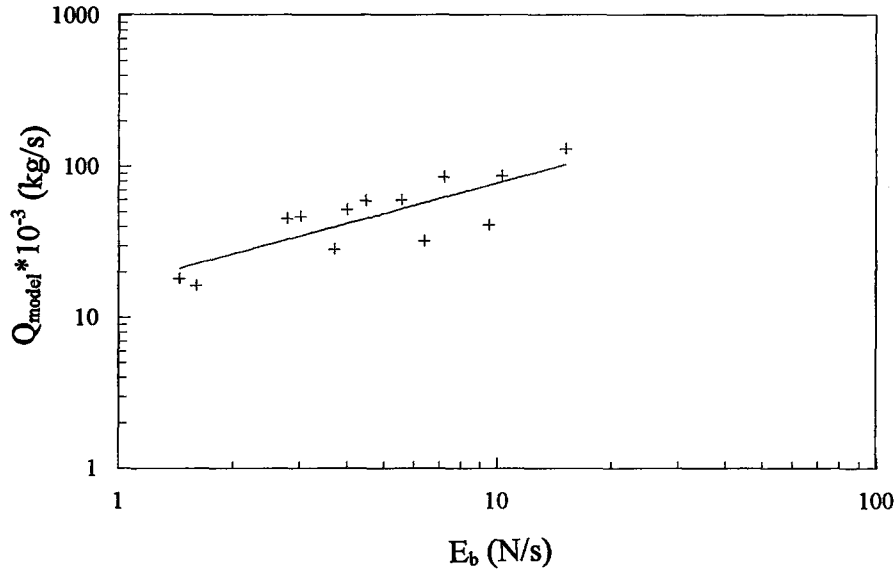
$S_{y/x}=0.09$, $S_{y/x}=0.06$ iken CERC (1984) ile standart hatalar $S_{y/x}=0.34$, $S_{y/x}=0.33$ olarak bulunmuştur. Bu sonuçlardan görüldüğü gibi model verileri Kamphuis'in (1991) çalışmasıyla daha iyi bir uyum içerisindedir.



Şekil 5.15 Modelden elde edilen katı madde debilerinin CERC (1984) ile karşılaştırılması
(B malzemesi)



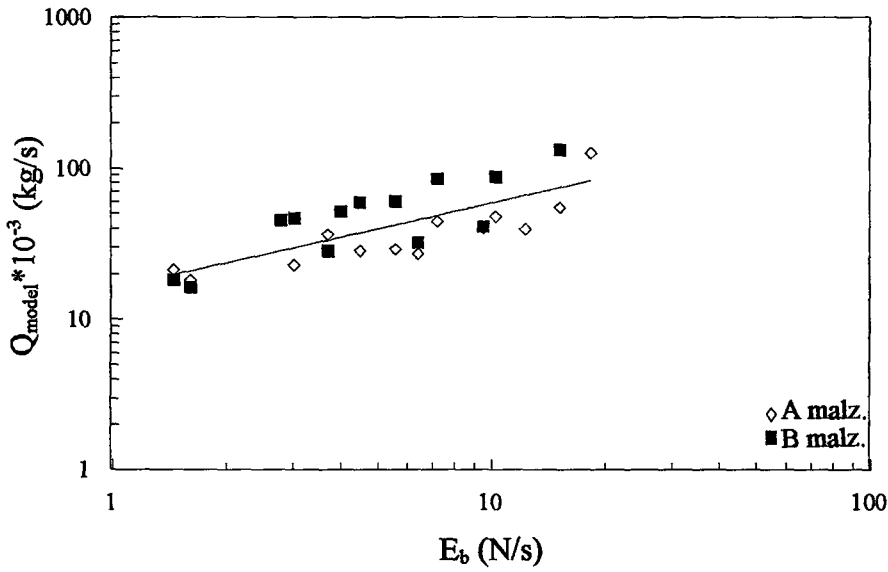
Şekil 5.16 Kıyı boyu taşınan model debilerinin enerji akısı ile değişimi (A Malzemesi)



Şekil 5.17 Kıyı boyu taşınan model debilerinin enerji akısı ile değişimi (B Malzemesi)

Ayrıca kıyıya dik katı madde taşınımında olduğu gibi kıyı boyu katı madde debilerinin de enerji akısıyla değişimleri belirlenmiştir. Şekil 5.16 ve 5.17'den A ve B malzemeleri için ayrı ayrı kıyı boyu katı madde debilerinin enerji akısı ile değişimleri gösterilmiştir. Bu şekillerden görüldüğü gibi kıyı boyu katı madde debileri artan kıyı boyu enerji akısı ile artmaktadır. Bu sonuç daha önce yapılan çalışmalar ile uyum içindedir.

Şekil 5.18'de ise her iki malzeme birlikte çizilmiştir. Bu durumda enerji akısı ile katı madde debisi arasında bir korelasyon mevcuttur ($r=0.75$). Bu şekil incelendiğinde A ve B malzemelerinin birbirlerine göre sınıflanarak saçılım gösterdikleri görülmektedir. Bunun nedeni; her iki malzemenin granülometrilerinin birbirlerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sonuç kıyı boyu katı madde debisinin sadece enerji akısı ile bağıntılı değil, aynı zamanda taban malzemesinin özellikleri ve granülometrik dağılımı ile de bağıntılı olduğunu göstermektedir.

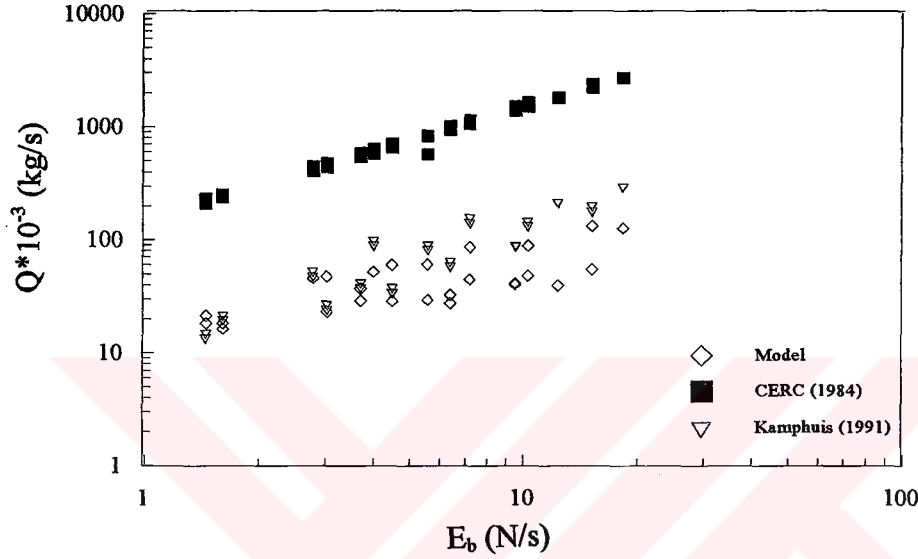


Şekil 5.18 Kıyı boyu taşınan model debilerinin A ve B malzemeleri için enerji akısı ile değişimi

Şekil 5.19'da ise Model, CERC (1984) ve Kamphuis (1991) bir arada enerji akısına karşılık çizilmiştir. Enerji akısı ile değişim incelendiğinde mevcut model ile Kamphuis'in (1991) verileri uyum içinde olmasına rağmen, CERC (1984) kıyı boyu katı madde debisini oldukça büyük mertebede tahmin ederek belirgin bir sapma göstermektedir. Kamphuis (1991) enerji akısıyla benzeri değişimi, kendi verileri ile CERC'i (1984) birlikte çizerek göstermiştir. Kamphuis'in (1991) elde ettiği değişim Şekil 5.19'dan çıkan sonuçla aynıdır ve bu çalışmada CERC'in (1984) $S_{y/x}=0.60$ mertebesinde hata verdiği belirlenmiştir. Kamphuis (1991) bu hatanın indirgenmesi için CERC (1984) metodundaki bağıntının sahip olduğu katsayının 0.12 değerine indirilmesini teklif etmiştir. Fakat bu durumda dahi $S_{y/x}=0.30$ hata elde edilmiştir. Bu sonuç, yine kıyı boyu katı madde debisinin sadece enerji akısına bağlı olarak değişmediğini aynı zamanda katı madde özelliklerine bağlı olarak da değiştiğini göstermektedir.

Ancak model ile Kamphuis (1991) birlikte değerlendirilerek tartışılırsa, Kamphuis (1991) her ne kadar katı madde özelliklerini kendi önerdiği metoda ilave ettiyse de, kıyı boyunca değişim gösteren granülometrik dağılımın tesirini göz önüne almamıştır. Çünkü kıyı boyunca Bölüm 4'de belirtildiği gibi yukarı kıyıda konumlanan kaba malzemenin yaratacağı zırhlanmanın katı madde taşınımını etkileyeceği bir gerçektir. Gerçekten de bu durum

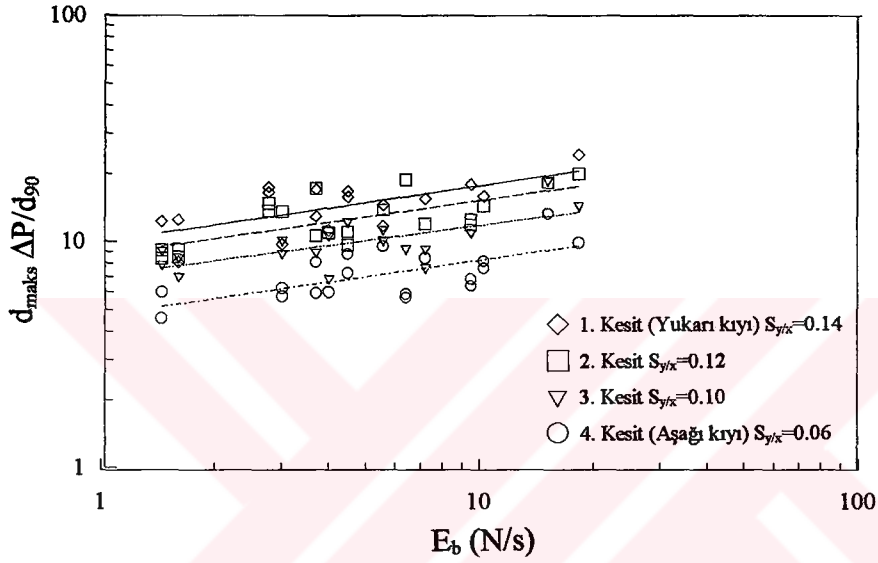
Kamphuis'in (1991) metodunda katı madde debisinin dane çapıyla ters orantılı olarak değişmesi ile daha belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sonuç, Şekil 5.19'da da dikkat çekmektedir, çünkü Kamphuis'in (1991) verileri burada tanımlanan model sonuçlarının biraz üstündedir. O halde Kamphuis'in (1991) metodunda ayrıca kıyı boyu granülometrik değişimin etkisi de dikkate alınarak bağıntı yeniden düzenlenmelidir.



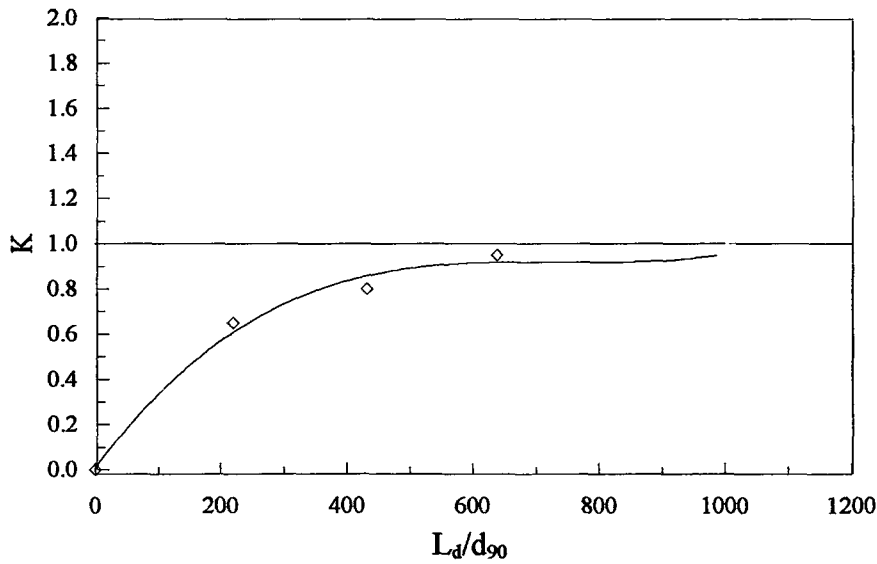
Şekil 5.19 Model, Kamphuis (1991) ve CERC'in (1984) bir arada karşılaştırılması
(Her iki taban malzemesi bir arada dikkate alınmıştır)

Kıyıya dik katı madde taşınımında olduğu gibi kıyı boyu katı madde taşınımı için model debisini veren 5.14 ifadesinde bulunan bir kesitteki bütün dane sınıflarındaki toplam değişim miktarı yüzdesi ΔP ile taşınan malzemenin maksimum dane çapının orijinal tabanın d_{90} 'ına oranı enerji akısının kıyı boyu bileşenine karşılık çizilmesi durumunda, taşınan malzemenin granülometrik değişiminin yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru her bir kesit için enerji akısına ve orijinal taban malzemesinin özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür (Şekil 5.20). Şekil 5.20'den görüldüğü gibi yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru taşınan malzemenin özelliklerinin enerji akısı ile belli bir oranda değişime sahip olduğu belirlenmiştir. Her bir kesit için ayrı ayrı standart hatalar bulunmuştur ve Şekil 5.20'de gösterilmiştir. Yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru olan değişimlerin birbirlerine olan oranları (K) hesaplanarak Şekil 5.21'de görüldüğü gibi danelerin taşınabilecekleri en uzun mesafenin (L_d) orijinal taban malzemesinin d_{90} 'ına

olan oranına karşılık çizilmiştir. Bölüm 4’de anlatıldığı gibi taşınan taban malzemesinin yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru incelme K oranı ile tanımlanabileceği için, burada K incelme katsayısı olarak isimlendirilmiştir. Şekil 5.21’de K incelme katsayısının L_d/d_{90} oranı ile değiştiği ve L_d/d_{90} ’ın belli bir değerinden sonra ($L_d/d_{90} \sim 600$) K’nın 1’e yaklaştığı görülmektedir. Bu sonuç taban malzemesinin yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru taşınması sırasında belli bir taşınma mesafesinden sonra artık



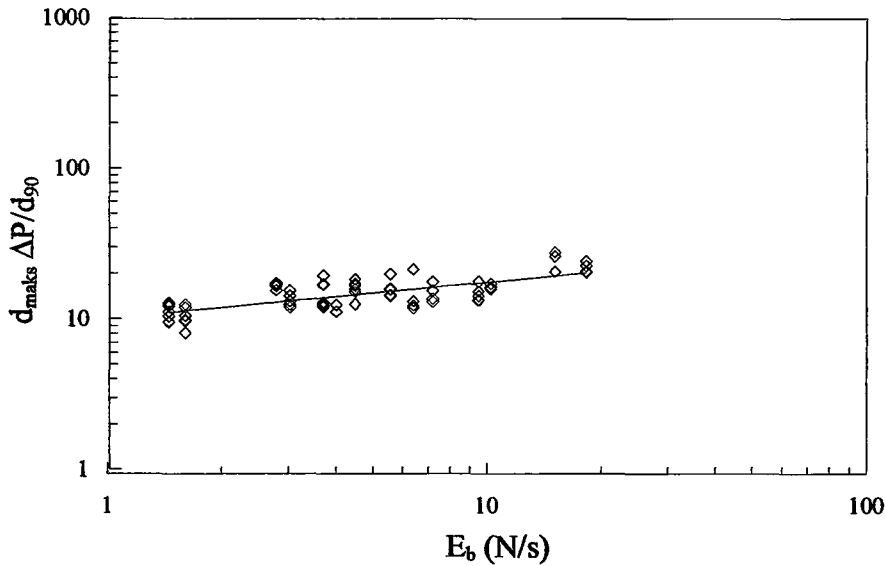
Şekil 5.20 Yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru taşınan malzeme özelliklerinin enerji akısıyla değişimi



Şekil 5.21 İncelme katsayısının (K) değişimi

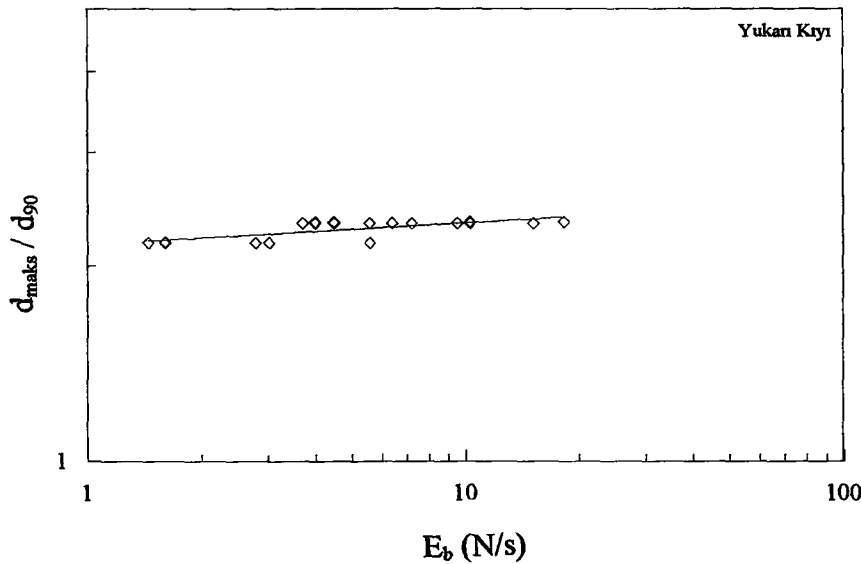
taşınan malzemenin granülometrik özelliklerinin değişmediğini göstermektedir. Bu da kıyı boyunca taşınan malzemenin aşağı kıyıya doğru incelerek daha üniform bir yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Benzeri yapılanmanın akarsularda da meydana geldiği Kapdaşlı (1982) tarafından belirtilmiştir ve taban malzemesindeki bu incelme 5.4 ifadesinde verilen α_4 düzeltme katsayısı ile gösterilmiştir. Görüldüğü gibi elde edilen bu sonuç akarsulardaki dane çapının incelmesi ile oldukça iyi bir uyum göstermektedir. Çünkü kıyı boyunca taban malzemesinin incelmesine neden olan dalga etkisiyle meydana gelen kıyı boyu akıntı yapısıdır. Bu olay akarsularda ise akarsu boyunca mevcut olan akım yapısına bağlı olarak meydana gelmektedir. Görüldüğü gibi her iki durum da akıntı yapısından kaynaklanmaktadır.

K incelme katsayısı kullanılarak yukarı kıydan aşağı kıyıya doğru bütün kesitlerdeki taşınan malzeme özellikleri ($d_{maks}\Delta P/d_{90}$) bir araya getirilerek Şekil 5.22’de enerji akısına karşılık çizilmiştir. Bu değişime ait standart hata $S_{y/x}=0.068$ ’dir. Şekil 5.22’den görüldüğü gibi incelme katsayısı yardımıyla kıyı boyunca taşınan tüm taban malzemesi özellikleri yukarı kıyıya ait taban malzemesi özellikleri cinsinden ifade edildiğinde bu durumdaki taşınan taban malzemesi özelliklerinin enerji akısıyla değişimi oldukça iyi bir korelasyon göstermektedir. Ancak Şekil 5.21’de değişimi verilen incelme katsayısının belirlenmesi için L_d danelerin



Şekil 5.22 Yukarı kıydan aşağı kıyıya taşınan taban malzemesi özelliklerinin yukarı kıyı özellikleri cinsinden değişimi

taşınma mesafesinin bilinmesi gerekmektedir. Danelerin taşınma mesafesi ise 5.5 ifadesinde verildiği gibi taşınan malzemenin maksimum çapına bağlıdır. Bu nedenle yukarı kıyıya ait taşınan malzemenin maksimum çapının orijinal taban malzemesinin d_{90} 'ına oranı deneylerde kullanılan her iki malzeme de dikkate alınarak enerji akısına karşılık Şekil 5.23'de çizilmiştir. Bu değişimin standart hatası $S_{y/x}=0.1$ 'dir. Böylece kırılma derinliğindeki dalga şartları ve orijinal taban malzemesi özellikleri bilindiğinde Şekil 5.23 yardımıyla yukarı kıyıya ait taşınan malzemenin maksimum çapı belirlenebilmektedir. Taşınan malzemenin maksimum çapı bilindiğinde L_d taşınma mesafesi hesaplanarak Şekil 5.21 ile kıyı boyu istenilen sayıda kesite ayrılmak suretiyle incelme katsayıları bulunabilmektedir. Daha sonra Şekil 5.22'de enerji akısına karşılık yukarı kıyı kesiti için verilen taşınan malzeme özellikleri her bir kesit için bulunan incelme katsayıları kullanılarak göz önüne alınan kesitlere ait taşınan malzeme özellikleri ayrı ayrı belirlenebilmektedir. Belirlenen bu değerler yardımıyla 5.14 ifadesi kullanılmak suretiyle kıyı boyu katı madde debileri hesaplanabilecektir. Ancak bütün bu değişimler laboratuvar deney şartları için verildiğinden arazi şartlarında kıyı boyu katı madde debisinin belirlenmesinde yeterli olmamaktadır. Kamphuis'in (1991) vermiş olduğu modelde olduğu gibi, bu çalışmanın da arazide ölçülen veriler kullanılarak geliştirilmesi gerekmektedir.



Şekil 5.23 Yukarı kıyıda taşınan malzemenin maksimum çapının enerji akısı ile değişimi

5.4. Granülometrik Değişimin Katı Madde Taşınımı ve Kıyı Morfolojisine Etkisi

Gerek kıyıya dik ve gerekse kıyı boyu katı madde taşınımı dinamik denge şartlarına ulaştığında deniz tabanında sistematik olarak taban malzemesinin sıralandığı anlaşılmaktadır. Yani belirli dalga şartlarında akarsularda olduğu gibi akımın sahip olduğu taşıma gücünün etkisi altında tabandaki malzemenin tamamı hareket etmeyebilmektedir. Ya da deniz tabanındaki taban malzemesinin belli çaptan olanları belli bir sistem içinde hareket ederek belirli kesitlerde konumlanmaktadırlar.

Belirli sınıftan malzemelerin kıyı profilleri boyunca belirli kesitlerde konumlanmalarının bu profillerin dinamik dengeye daha çabuk ulaşmalarını sağladıkları düşünülebilir. Örneğin bir kıyı profilinin topuğunda biriken daha kaba malzeme bu kesitte zırhlanmaya neden olarak profilin daha açığa taşınmasını engellemektedir. Benzeri şekilde kıyı çizgisi boyunca yine kaba malzemenin birikimi ve böylece zırhlanmanın oluşumu kıyının daha fazla erozyona uğramasını engellemektedir. Kıyı profillerinin dinamik dengeye ulaşmasıyla birlikte net katı madde taşınımı da sıfır olacaktır. Yani kıyı profili boyunca oluşan granülometrik değişimin kıyıdaki katı madde taşınımını kontrol eden mekanizmalardan biri olacağı düşünülebilir.

Benzeri oluşum kıyı boyunca da meydana gelmektedir. Örneğin yukarı kıyıda daha kaba malzemenin konumlanması bu bölgede zırhlanmanın meydana gelmesine ve daha fazla katı maddenin yukarı kıyıdan aşağı kıyıya taşınmasını engellemektedir. Böylece kıyı boyu katı madde taşınımı da belirli bir periyot içinde aynı dalga koşulunda dinamik dengeye ulaşabilmektedir. Dolayısıyla kıyı boyu katı madde taşınımının bu şartlarda durabileceği ya da en aza inebileceği düşünülebilir.

Yukarıda bahsedilen düşüncelerin ışığı altında kıyıya dik ve kıyı boyunca granülometrik değişimler dikkate alınarak önerilen model yardımıyla hesaplanan katı madde debilerinin literatürde mevcut metodlar ve ölçüm sonuçları ile karşılaştırılmasında oldukça uyumlu sonuçların çıkması, kıyıdaki granülometrik değişimin kıyının yapılanması üzerinde önemli bir faktör olduğunu göstermiştir

6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kıyılarda meydana gelen granülometrik değişimin ve bu granülometrik değişimin katı madde taşınımı üzerindeki etkisinin araştırılması amacıyla deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada doğrusal batimetri durumunda dalga cephelerinin kıyıya paralel ve 45° açıyla yaklaşması halleri dikkate alınmıştır. Dalga diklikleri (H_0/L_0) 0.0095-0.0718 limitleri arasında değişmektedir. Deneylerde $d_{50}=0.67$ mm ve $d_{50}=0.45$ mm olan iki farklı taban malzemesi kullanılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki gibi özetlenebilir.

1- Dalga ortogonalinin kıyı çizgisine dik yani dalga cephelerinin kıyı çizgisine paralel olması halinde;

Bir fırtına profili boyunca kıyı ve çukur kesitlerinde orijinal taban malzemesine göre daha kaba, buna karşın tepe kesitinde daha ince ve sırt ile topuk kesitlerinde tekrar kaba malzemenin yapılandığı belirlenmiştir.

Normal profil boyunca kıyı ve tepe kesitlerinde daha ince malzeme, ancak sırt ve topuk kesitlerinde ise daha kaba malzemenin yığıldığı görülmüştür.

2- Kıyı profilleri boyunca oluşan bu granülometrik yapılanma, profillerin dinamik denge şartlarının oluşmasında da etkindir. Çünkü fırtına profili boyunca, kaba malzemenin kıyı ve topukta yapılanarak zırhlınmaya neden olması, profilin dinamik denge şartlarına ulaşmasını kolaylaştırmaktadır.

3- Kıyı profilleri boyunca oluşan granülometrik yapılanmaya yaklaşan dalga karakteristiklerinin ve katı madde özelliklerinin etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu büyüklükleri karakterize eden boyutsuz parametreler yardımıyla profil boyunca farklı kesitlerde yapılan taban malzemelerinin granülometrik özellikleri incelendiğinde, orijinal taban malzemesine göre taşınan malzemenin üniformluluğunun değiştiği belirlenmiştir. Ancak rölatif dane çapının (d_{50}/h) 10×10^{-3} 'den, periyot parametresinin ($T/\sqrt{h/g}$) 15'den ve rölatif dalga

yüksekliğinin (H_0/h) 1.5'dan büyük değerlerinden sonra taşınan malzemenin orijinal taban malzemesi ile aynı üniformaluluğa sahip olduğu görülmüştür. Bunun nedeni bu değerlerden sonra taban malzemesini oluşturan danelerin tamamının taşınmasıdır.

4- Dalga ortogonalinin kıyı batimetrisi ile belli bir açı yapması ya da dalga cephelerinin kıyıya belli bir açıyla yaklaşması durumunda meydana gelen kıyı boyu katı madde taşınımı nedeniyle, yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru granülometrik bir yapılanma meydana gelmektedir. Bu yapılanma irdelendiğinde taban malzemesinin yukarı kıyıdan aşağı kıyıya doğru incelendiği görülmektedir.

5- Dalgaların kıyıya belli bir açıyla yaklaşması halinde, yine kıyıya dik granülometrik yapılanmanın meydana geldiği ve bu yapılanmanın dalga cephelerinin kıyıya paralel yaklaşması halindeki değişim ile aynı olduğu belirlenmiştir.

6- Kıyı boyunca oluşan granülometrik yapılanma, kıyıya dik yapılanmada olduğu gibi dalga karakteristiklerine ve taban malzemesi özelliklerine bağlı olarak belirlenen boyutsuz parametreler yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Kıyı boyu granülometrik yapılanmadaki üniformaluluğun, kıyıya dik yapılanmanın aksine belirli değerlerden sonra sabit olmadığı belirlenmiştir. Bu yapılanmanın özellikle dalga periyoduna bağımlı olduğu görülmüştür. Çünkü kıyı boyunca danelerin taşınım mesafeleri periyodun büyümesiyle artmaktadır. Buna karşın kıyıya dik taşınım mesafeleri periyot ile değişmemektedir. Ancak her iki durumda da periyodun artmasıyla taban malzemesinde hareket eden danelerin yüzdesi artmaktadır.

7- Bir kesite belli sınıftan malzemenin daha fazla taşınması durumunda taşınan malzemenin granülometri eğrisinin orijinal taban malzemesinin granülometri eğrisinin üzerinde, daha az taşınması durumunda ise altında olduğu görülmüştür. Çünkü bu durum, taşınan malzemenin granülometri eğrisinin orijinal taban malzemesinin granülometri eğrisinin üzerinde olması halinde taban malzemesinin incelmekten ya da bunun tersi durumunda kabalaşmasından kaynaklanmaktadır.

8- Herhangi bir kıyıda dalga etkisinde taban boyunca orijinal taban malzemesinin sahip olduğu granülometrik dağılımın değiştiği görülmüştür. Buna göre orijinal tabanda $\%P_i$ oranında bulunan i sınıflı malzemenin dalga etkisinde tabanda taşınım meydana geldikten sonra $\%P_{it}$ oranında bulunduğu belirlenmiştir. O halde göz önüne alınan bir kesitteki i sınıflı malzemede meydana gelen değişim miktarının $\%$ olarak $\Delta P_i = \frac{|P_{it} - P_i|}{P_i}$ şeklinde ve bir

kesitte bulunan bütün dane sınıflarındaki toplam değişim miktarının ise $\%$ olarak

$$\Delta P = \sum_{i=1}^N \frac{|P_{it} - P_i|}{P_i} \text{ şeklinde ifade edilebileceği belirlenmiştir.}$$

9- Kıyılarda dalga etkisinde taşınan taban malzemesinin özellikleri dalga şartlarına ve orijinal taban malzemesinin özelliklerine bağlı olarak belirli bir tabaka kalınlığı boyunca değişime uğramaktadır. Granülometrik değişimin meydana gelmesiyle tanımlanan hareketli tabaka kalınlığının özellikle dalga periyodu ile değiştiği belirlenmiştir.

10- Gerek kıyı boyunca, gerekse kıyıya dik olarak danelerin taşınma mesafelerinin taşınan malzemenin maksimum çapıyla ters orantılı olduğu belirlenmiştir. Belirli bir kesitte taşınan malzemenin maksimum dane çapının da yaklaşan dalga karakteristikleri ve orijinal taban malzemesinin özelliklerine bağlı olarak değiştiği görülmüştür. O halde tabanda bulunan bir danenin taşınma mesafesi dalga ve taban malzemesi özelliklerine bağlı olarak değişmektedir.

11- Kıyılarda surf bölgesi içinde dalga etkisinde gerek kıyı boyunca, gerekse kıyıya dik olarak yapılan akıntı mekanizmasının neden olduğu katı madde taşınımının sadece dalga şartlarına ve orijinal taban malzemesi özelliklerine bağımlı olduğu değil, aynı zamanda taşınım sırasında yapılan taban malzemesinin yeni granülometrik özelliklerine de bağımlı olduğu görülmüştür. Buna göre birim zamanda taşınan katı madde miktarının

$$Q_{mi} = B h_t \lambda_0 d_{maks} (1 - n) \Delta P \rho_s$$

ifadesiyle hesaplanabileceği belirlenmiştir. Bu ifadede ΔP dikkate alınan herhangi bir kıyı kesitinde bütün dane sınıflarındaki toplam değişim miktarı yüzdesi, d_{maks} taşınan malzemenin

maksimum ϕ , ve h_t hareketli tabaka kalınlığı yaklaşan dalga karakteristiklerine ve orijinal taban malzemesi özelliklerine bağı olarak değışen büyüklüklerdir.

12- Kıyı boyu katı madde taşınımı sırasında taşınan malzemenin granülo metrik özelliklerinde meydana gelen değışimin dalga şartlarına ve orijinal taban malzemesinin özelliklerine bağı olarak belli bir taşınım mesafesinden sonra sabit kaldığı belirlenmiştir.

13- Kıyılarda katı madde taşınımı sırasında oluşan granülo metrik yapılanmanın taşınan katı madde miktarına olan etkisinin arazi şartlarında da incelenerek belirlenmesi bu çalışmada tanımlanan modelin geliştirilmesi açısından yararlı olacaktır.

14- Bu çalışmada granülo metrik yapılanma düzenli dalga şartlarında belirlenmiştir. Aynı çalışma düzensiz dalga şartlarında da incelenmelidir.

KAYNAKLAR

- Allen, J. R. L., (1970), "Studies in Fluvial Sedimentation: A Comparison of Fining-Upwards Cycloforms, with Special Reference to Coarse-Member Composition and Interpretation", *Journal of Sedimentary Petrology*, 40 (1):298-323.
- Anding, M. G., (1970), "Hydraulic Characteristics of Mississippi River Channels", Interim Report Fy. 1970, Potamology Research Project, No.10. US Army Engineer District, Potamology Investigations, Report 19-3, Vicksburg, Miss.
- Bagnold, R. A., (1971), "The Physics of Blown Sand and Desert Dunes". Chapman ve Hall, London.
- Bird, E. C. F., (1984), *Coasts: An Introduction to Coastal Geomorphology*, 3rd ed. Canberra: Aust. National Univ. Press.
- Carstens, M. R., Neilson, F. M. ve Altınbilek, H. D., (1969), "Bed Forms Generated in the Laboratory under an Oscillatory Flow", US Corps of Eng., Coastal Eng. Res. Center, Tech. Memo, No. 28, USA.
- CERC (1984), *Shore Protection Manual*, 4th Ed., Coast. Engrg. Res. Ctr., US Army Corps Engrs., Vicksburg, Va.
- Chauhan, O. S., (1992), "Laminae and Grain-Size Measures in Beach Sediments, East Coast Beaches, India", *Journal of Coastal Research*, 8 (1).
- Chen, Z., (1992), "Sediment Concentration and Sediment Transport Due to Action of Waves and a Current", Thesis, Delft Univ. of Technology, Dept. of Coastal Eng., Delft, The Netherlands.
- Culbertson, J. K. ve Dawdy, D. R., (1964), "A Study of Fluvial Characteristics and Hydraulic Variables Middle Rio Grande, New Mexico", US Geological Survey, Water-Supply Paper 1498-F.
- Çevik, E. ve Yüksel, Y., (1998), "Scour Under Submarine Pipelines in Waves in Shoaling Conditions", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE.
- Çevik, E., (1997), *Dalga Etkisinde Denizaltı Boru Hatları ve Deniz Taban Etkileşiminin Modellenmesi*, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Dean, R. G., (1990), "Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications", *J. of Coastal Research*, 7 (1): 53-84.
- Deigaard, R., (1980), *Longitudinal and Transverse Sorting of Grain Sizes in Alluvial Rivers*, Institute of Hydrodynamics and Hydraulic Engineering, Technical University of Denmark, Series Paper No.26.

Einstein, H. A., (1950), "The Bed Load Function for Sediment Transportation in Open Channel Flows", Technical Bull. No. 1026, US Dep. Of Agriculture, Washington, USA.

Engelund, F. A. ve Fredsøe, J., (1976), "A Sediment Transport Model for Straight Alluvial Channels", *Nordic Hydrology*, 7 (5).

Engelund, F. A., (1974), "Flow and Bed Topography in Channel Bends", *J. Hyd. Div., ASCE*, 100 (HY11).

Engelund, F. ve Hansen, E., (1972), "A Monograph on Sediment Transport in Alluvial Streams", Teknisk Forlag, Copenhagen.

Foti, E. ve Blondeaux, P., (1992), "Grain Sorting over Ripples Induced by Sea Waves", XXIII. International Conference on Coastal Engineering, Venice.

Foti, E., (1993), "Grain Sorting over Ripples: Preliminary Results of an Experimental Investigation", *Euromech 93*.

Foti, E., ve Blondeaux, P., (1995), "Sea Ripple Formation: The Heterogeneous Sediment Case", *Coastal Eng.*

Fredsøe, J., (1977), "The Distinction Between Bed-Load and Suspended-Load and Its Implication in River Morphology and Sedimentation Problems", DCAMM Rep. No.128, Tech. Univ. Denmark.

Gustavson, T. C., (1978), "Bed Forms and Stratification Types of Modern Gravel Meander Lobes, Nueces River, Texas", *Sedimentology*, 25: 401-426.

Hirano, M., (1971), "River Bed Degradation with Armoring", *Proc. Of SSCE*, (195): 55-65.

Horikawa, K., (1978), *Coastal Engineering: An Introduction to Ocean Engineering*, University of Tokyo Press.

Ikeda, S., Yamasaka, M. ve Chiyoda, M., (1987), "Bed Topography and Sorting in Bends", *J. Hyd. Engrg.*, 113 (2).

Inman, D. L., (1952), "Measures for Describing the Size Distribution of Sediments", *Journal of Sedimentary Petrology*, 22 (3): 125-145.

Jonsson, I. G., (1966), "Wave Boundary Layer and Friction Factors", *Proc. of 10th Conf. on Coastal Eng.*, 127-148, Tokyo, Japan.

Jonsson, I. G., (1980), *Ocean Eng.*, 7, 567.

Kajimo, R. ve Saito, (1971), *Proc. Jpn. Conf. Coast. Eng.*, 356.

Kamphuis, J. W., (1991), "Alongshore Sediment Transport Rate", J. of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, 117 (6), ASCE.

Kapdaşı, S. ve Ünal, N. E., (1995), "Longshore Sediment Transport Under Irregular Waves", Bulletin of the Technical University of Istanbul, 46 (1): 145-157.

Kapdaşı, S., (1982), Hareketli Tabanlı Açık Kanallarda Kısmi Sürüntü Maddesi Hareketi Üzerine Bir İnceleme, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası.

Kapdaşı, S., (1992), Kıyı Mühendisliği, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.

Kapdaşı, S., Yüksel, Y. ve Mutlu, T., (1993) Düzenli ve Düzensiz Dalgalar Altına Kıyı Boyu Bar Oluşumunun Hidrodinamik Özelliklerinin Belirlenmesi, Proje No: DEBAG-47.

Krumbein, W. C., (1934), "Size Frequency Distribution of Sediments", J. Sed. Pet., 4.

Langhaar, H. L., (1980), "Dimensional Analysis and Theory of Models", Florida: Robert E. Krieger.

Leopold, L. B. ve Langbein, W. B., (1962), "The Concept of Entropy in Landscape Evolution", US Geological Survey. Prof. paper 500-A.

Lofquist, K. E. B., (1986), "Drag on Naturally Rippled Beds under Oscillatory Flows", Misc Paper CERC-86-13.

Madsen, O. S. ve Grant, W. D., (1976), "Sediment Transport in the Coastal Environment", Report No. 209, R. M. Parsons Lab., Dep. Of Civ. Eng., M. I. T., Cambridge, Massachusetts, USA.

McGowen, J. H. ve Garner, L. E., (1970), "Physiographic Features and Stratification Types of Coarse-Grained Point Bars; Modern and Ancient Examples", Sedimentology, 14: 77-111.

Mei, C. C., (1989), "The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves", Advanced Series of Ocean Eng., 1: World Scientific.

Nielsen, P., (1979), Some Basic Concepts of Wave Sediment Transport, Series Papers 20, Inst. Of Hydrodyn. And Hydr. Eng., Techn. Univ. of Denmark, Lyngby, Denmark.

Nielsen, P., (1992), "Coastal Bottom Boundary Layers and Sediment Transport", World Scientific.

Nordin, C. F., (1964), "Aspects of Flow Resistance and Sediment Transport, Rio Grande near Bernalillo, New Mexico", US Geological Survey, Water-Supply Paper 1498-F.

Parker, G., (1989a), "The relation of Selective Sorting and Abrasion to the Longitudinal Profile of Gravel Rivers", EOS, 70, 323.

Parker, G., (1989b), "Downstream Variation of Grain Size in Gravel Rivers: Abrasion Versus Selective Sorting", Proc. Int. Workshop on Fluvial Hydr. of Mountain Regions, Trento, Italy, C1-C14.

Parker, G., (1991), "Selective Sorting and Abrasion of River Gravel. I: Theory Application", J. Hyd. Engrg., 117 (2).

Pernald, R. and Considere, (1956), IV Journ 'ees de l'Hydraulique 1, 289-298.

Postacioğlu, B., (1987), Beton, 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.

Rafay, T., (1964), Analysis of Change in Size of Bed Material Along Alluvial Channels, M.S. Thesis, Colorado State University.

Rana, S. A., Simons, D. B. ve Mahmood, K., (1973), "Analysis of Sediment Sorting in Alluvial Channels", J. Hyd. Div. ASCE, 99 (HY11).

Raudkivi, A. J., (1990), Loose Boundary Hydraulics, Pergamon Press, Third Edition.
Sekine, M. ve Parker, G., (1992), "Bed-Load Transport on Transverse Slope.I", J. Hyd. Engrg., 118 (4).

Shields, A., (1936), "Anwendung der Ähnlichkeitsmechnik und der Turbulenz Forschung auf die Geschiebebewegung", Mitt. Der Preuss. Versuchsamst. Für Wasserbau und Schiffbau.

Shulits, S., (1941), "Rational Equation of River-Bed Profile", American Geophysical Union, Transactions of 1941 part III, National Research Council of The National Academy of Sciences, Washington D.C.

Sternberg, H., (1875), "Untersuchungen über Langen und Quer-Profil-Geschiebe Führende Flüsse", Zeitschrift für Bauwesen, 25.

Sunamura T. ve Horikawa K., (1974), "Two Dimensional Beach Transformation due to Waves", Proc. 14th Conf. on Coastal Eng., 920-938.

Tanaka, H. ve Shuto, N., (1981), "Friction Coefficient for a Wave-Current Coexistent System", Coastal Eng. In Japan 24: 105-128.

Tanaka, H. ve Suzuki, M., (1993), "Prediction of Shoreline Change and Grain Size Sorting at the Sendai Coast", Euromech 93.

Tanaka, H. ve Yang, D. F., (1995), "Suspension of Mixed Sand under Wave Motion", Proceedings of The 2nd International Conference on Multiphase Flow '95-Kyoto, Kyoto, Japan.

Tanaka, H., (1988), "Bed Load Transport of Sediment with Non-Uniform Grain Size due to Wave Motion", Coastal Engineering in Japan, 31 (2): 265-276.

Tanaka, H., (1989), "Sorting of Mixed Sand on a Two-Dimensional Beach", Reprinted from Hydraulic Engineering Proceedings 1989, HY Div.

Tanaka, H., (1990), "An Explicit Expression of a Friction Coefficient for a Wave-Current Coexistent Motion", Coastal Eng. In Japan.

Tanaka, H., (1992), Coastal Eng. Jpn., 35-1, 83

Tanaka, H., Yoshitake, T. ve Shuto, N., (1991), "Bed Load Transport of Non-Uniform Sand due to Waves and Current", Euromech 262.

Thiel, G.A., (1940), "The Relative Resistance to Abrasion of Mineral Grains of Sand Size", J. Sediment. Petrol., 10: 102-124.

Trask, P. D., (1932), "Origin and Environments of Source Sediments of Petroleum", Nat. Res. Coun., Rept. Comm. Sed.

TS 3526/Aralık (1980), Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini.

TS 3529/Aralık (1980), Beton Agregalarında Birim Ağırlık Tayini.

Ünal, N. E., (1996), Düzenli ve Düzensiz Dalgaların Etkisiyle Şev Üzerindeki İri Danelerin Harekete Başlaması, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Van der Meer, J. W., (1988), Rock Slopes and Gravel Beaches under Wave Attack, Phd. Thesis at Delft Technical University.

Van Hijum, E. ve Pilarczyk, K. W., (1982), Equilibrium Profile and Longshore Transport of Coarse Material under Regular and Irregular Wave Attack, Delft Hydr., Lab. Publication 274.

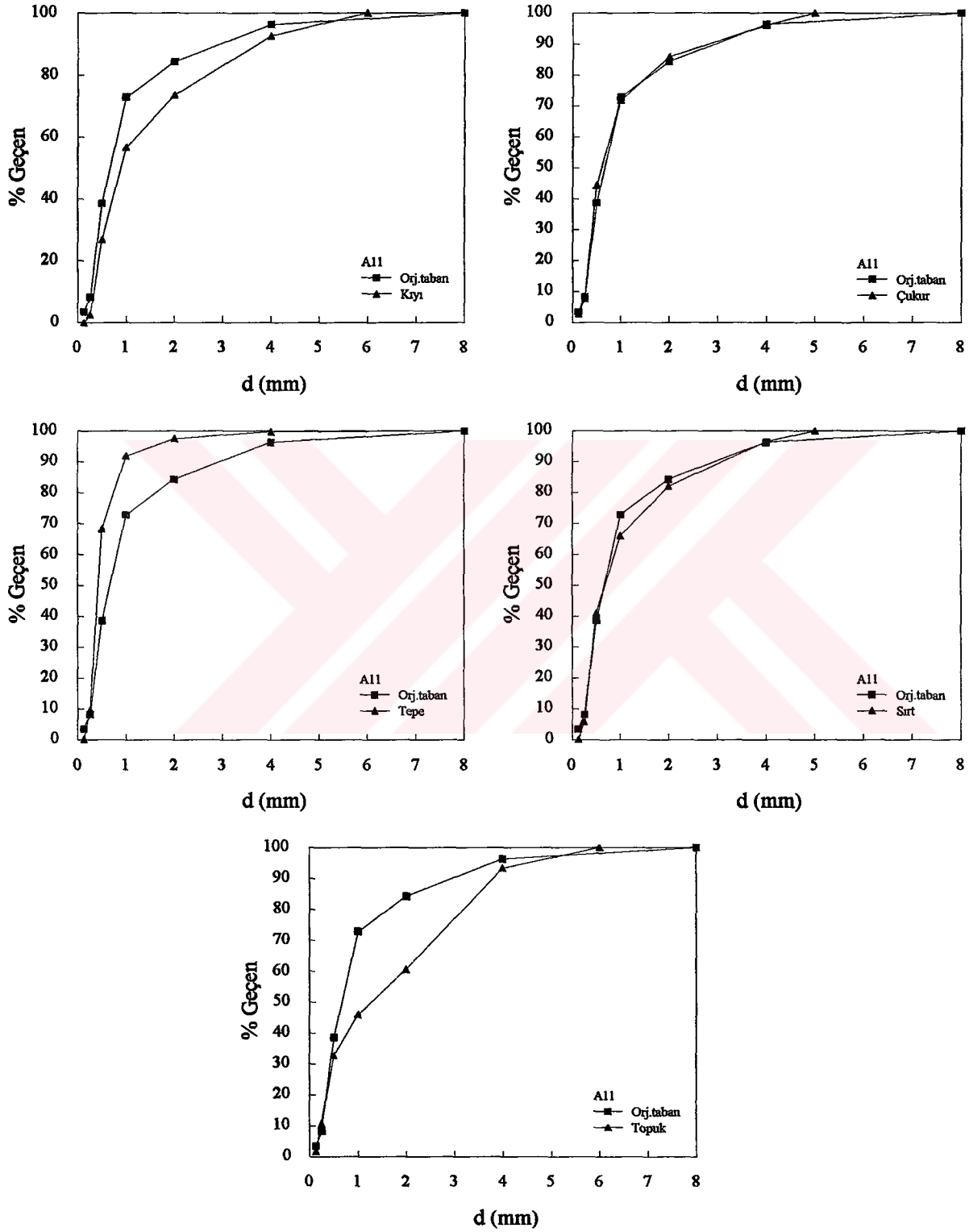
Van Rijn, L. C., (1989), Handbook of Sediment Transport by Current and Waves, Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands.

Van Rijn, L. C., (1993), Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Amsterdam: Aqua Publications.

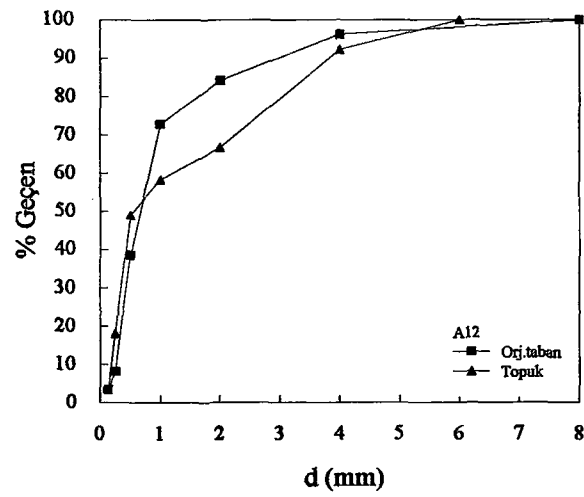
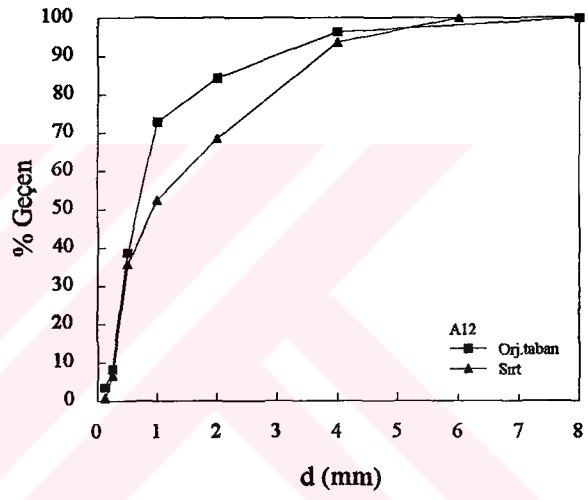
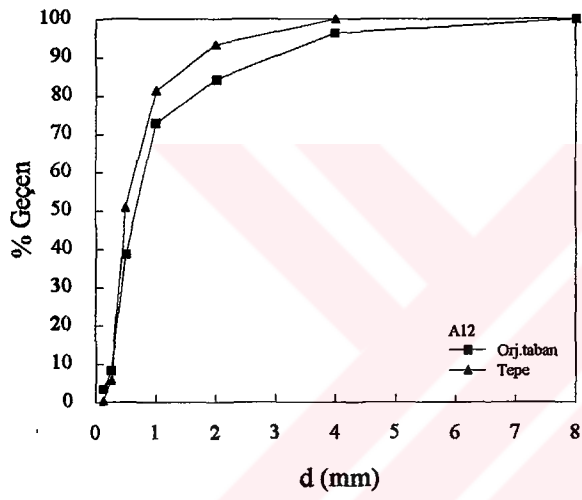
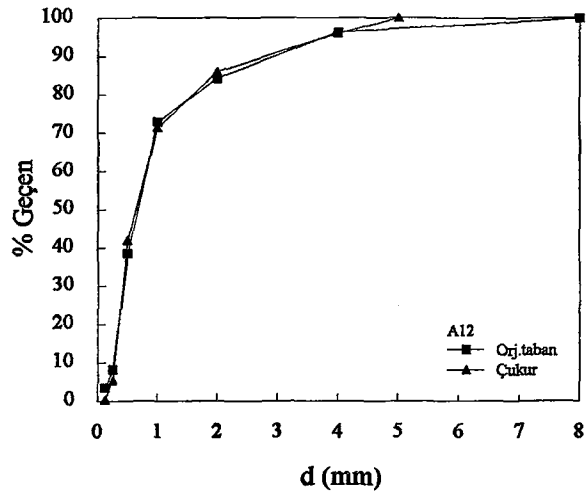
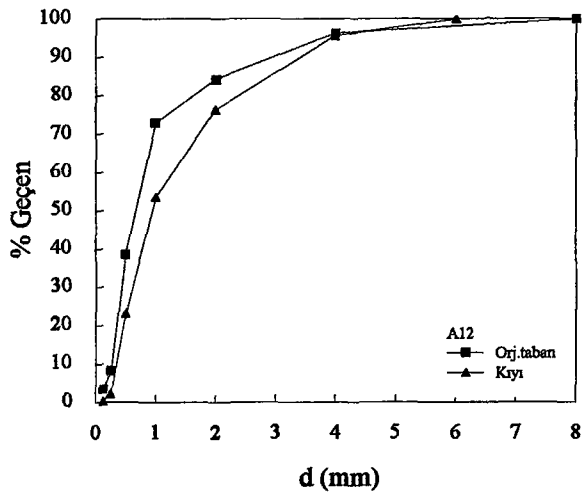
Watanabe, A. vd., (1986), "Numerical Prediction Model of Three-Dimensional Beach Deformation Around a Structure", Coastal Eng. In Japan 29: 179-194.

Wolman, M. G. ve Leopold, L. B., (1957), "River Flood Plains: Some Observations on their Formation", US Geol. Survey, Prof. Paper, 282-C.

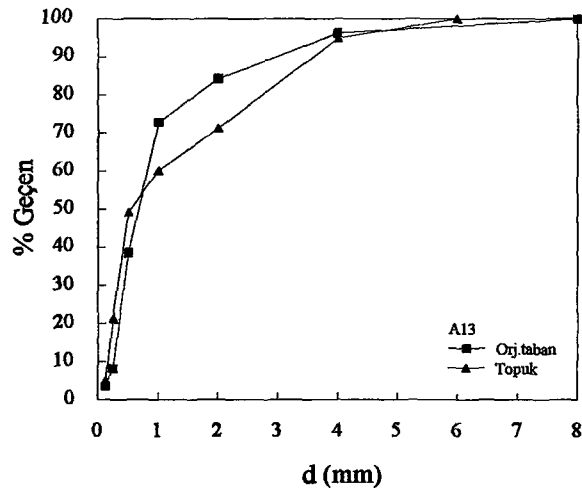
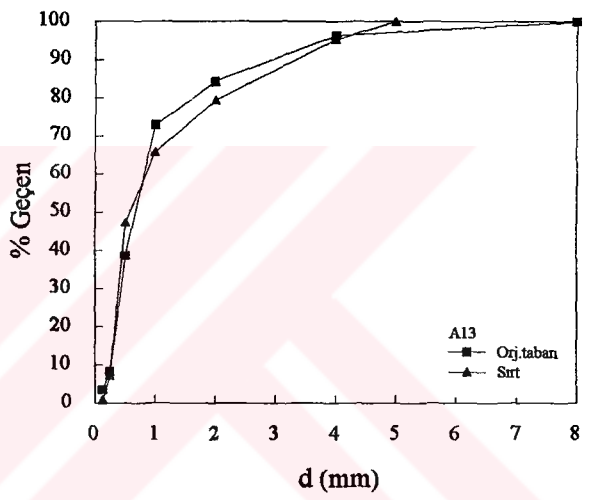
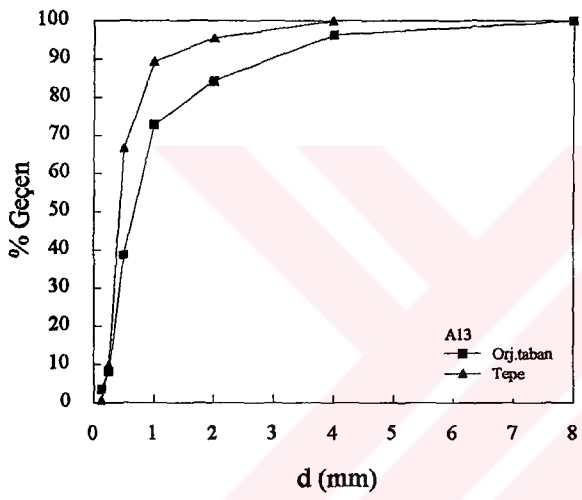
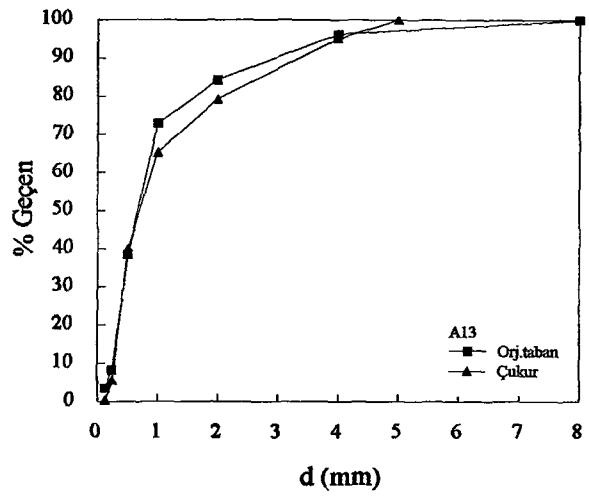
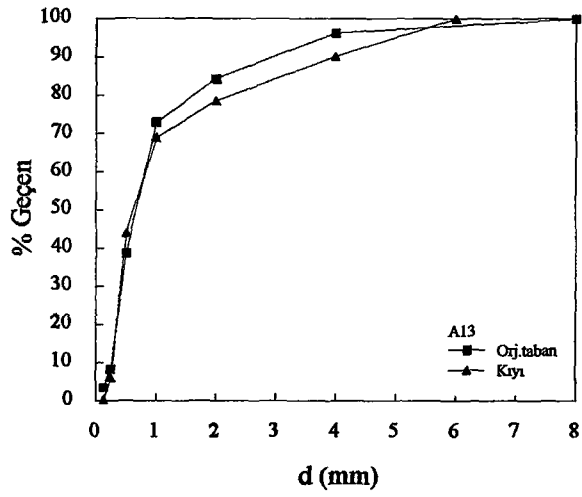
Ek 1 Fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyıya dik)



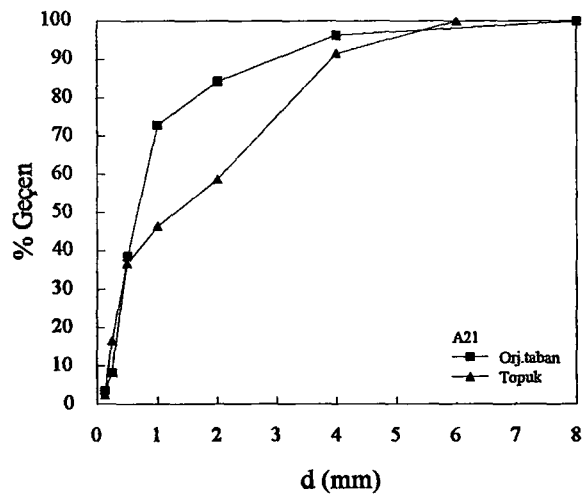
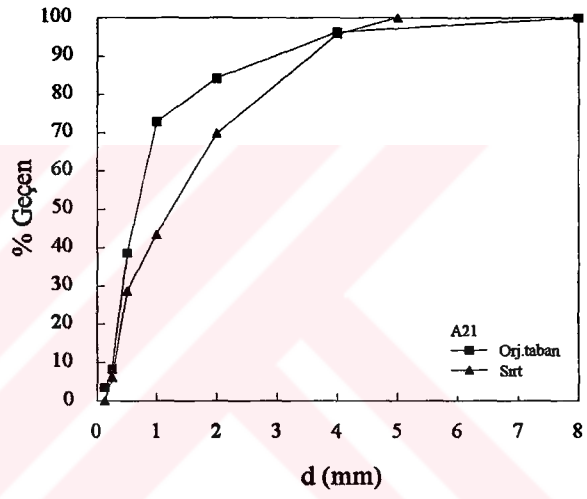
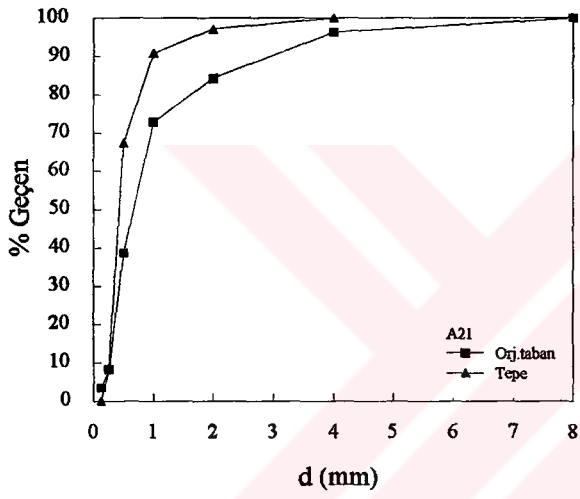
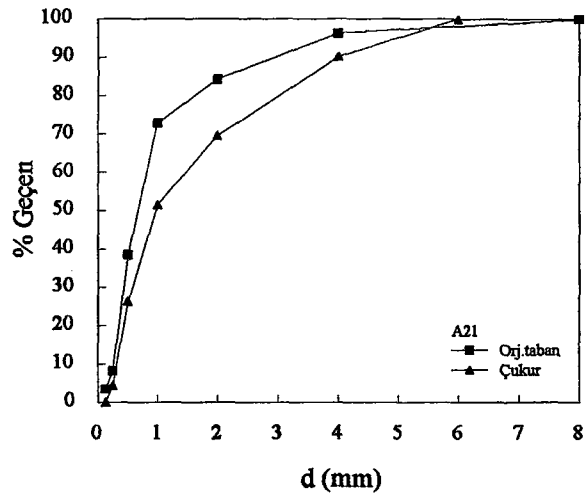
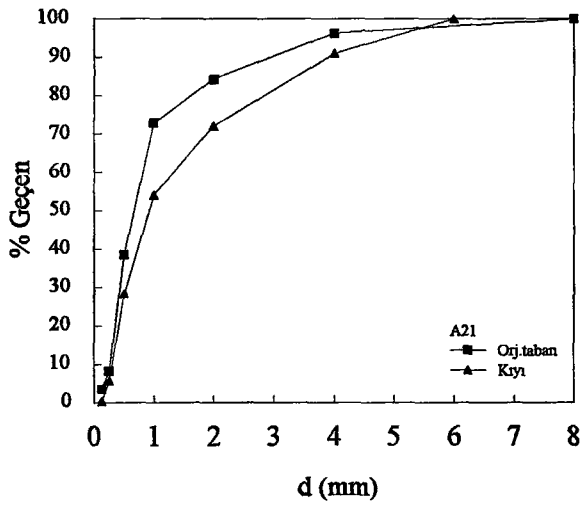
A malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)



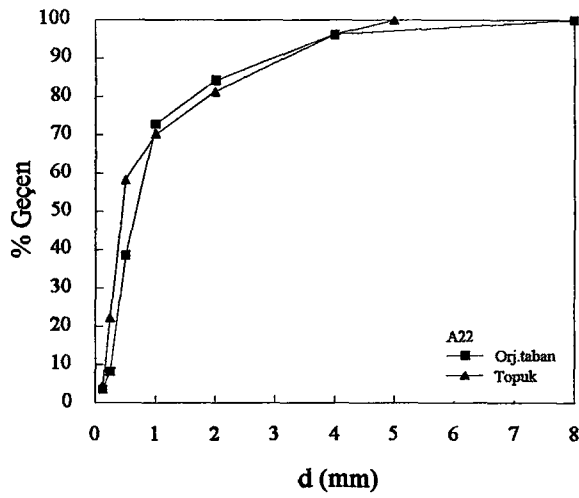
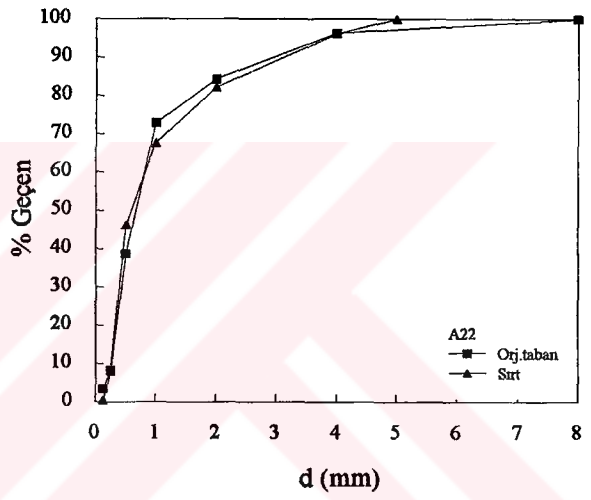
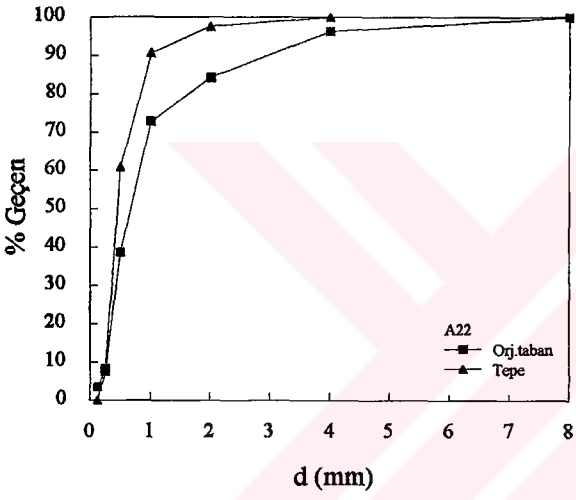
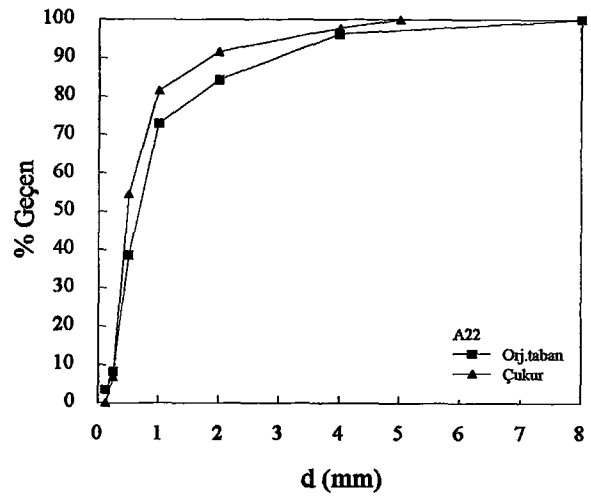
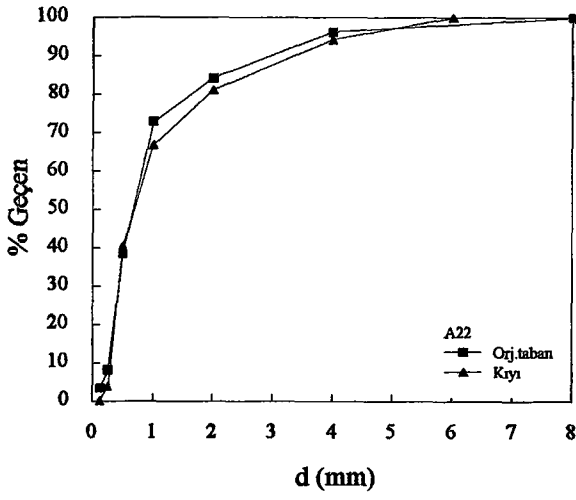
A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)



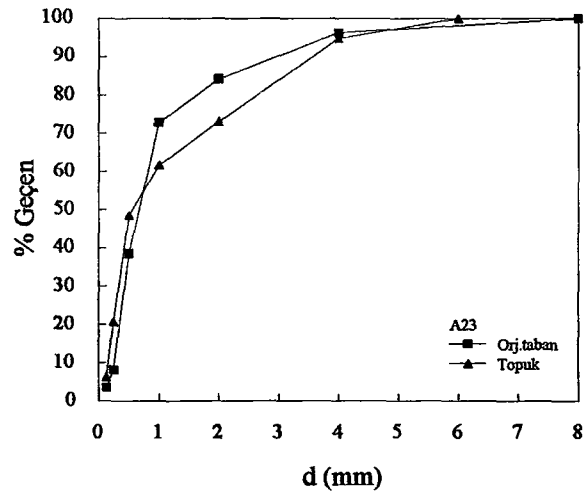
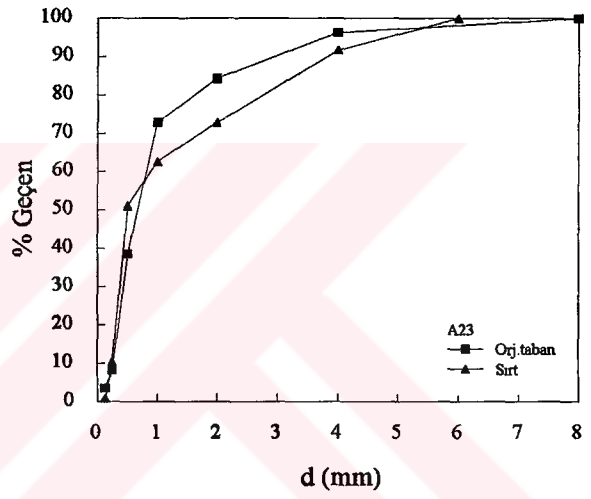
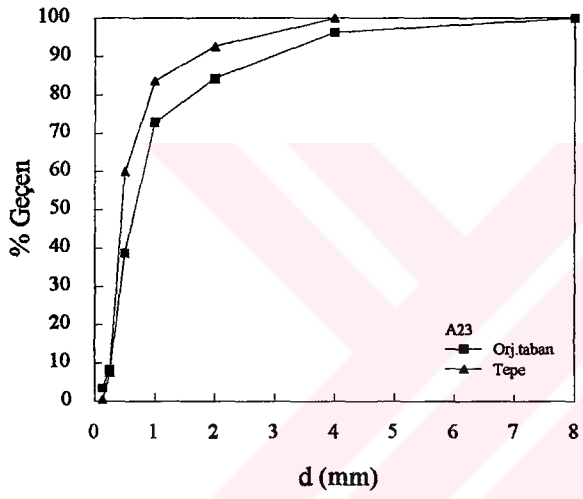
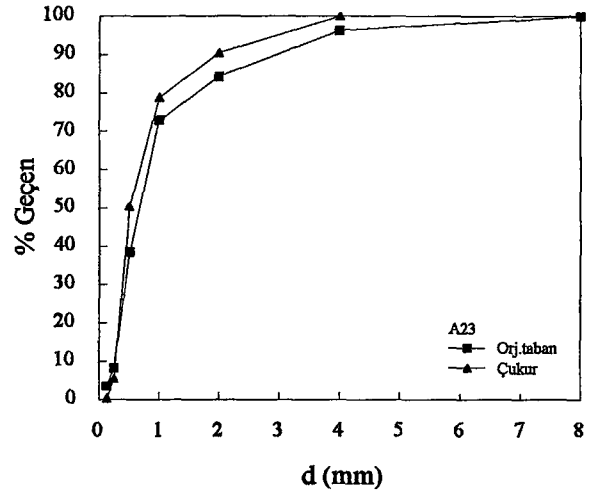
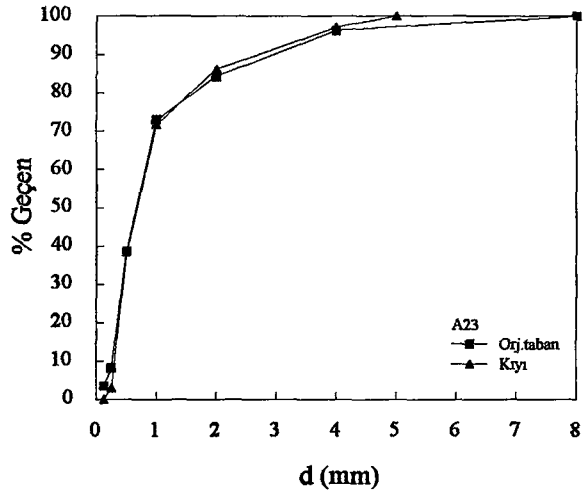
A malzemesi ($H_0 = 10.1$ cm, $T = 1$ s)



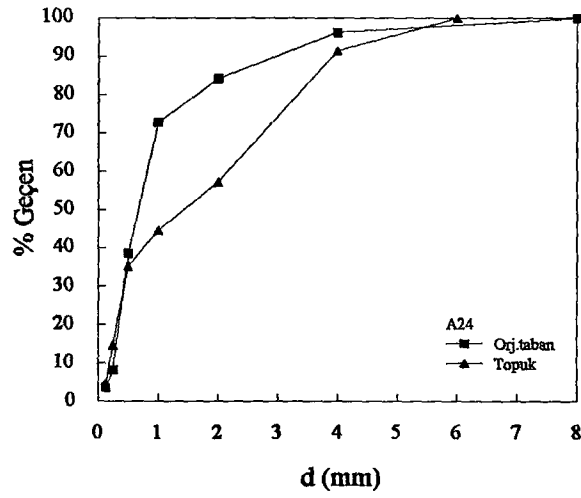
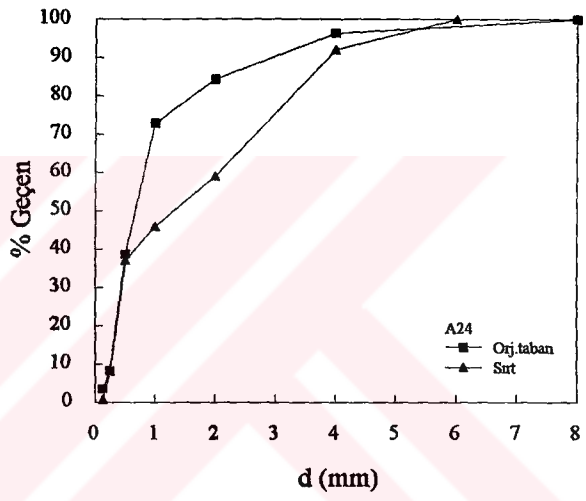
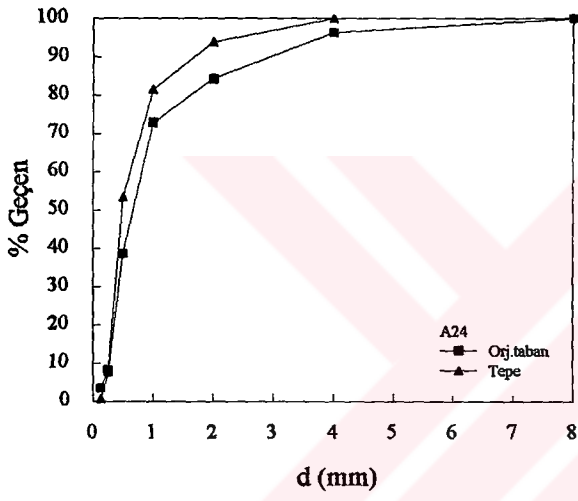
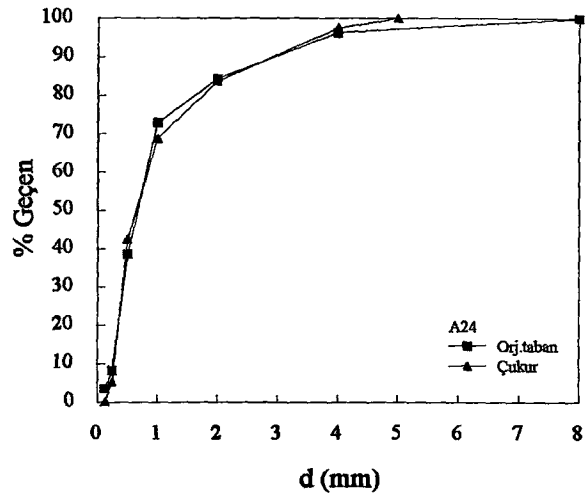
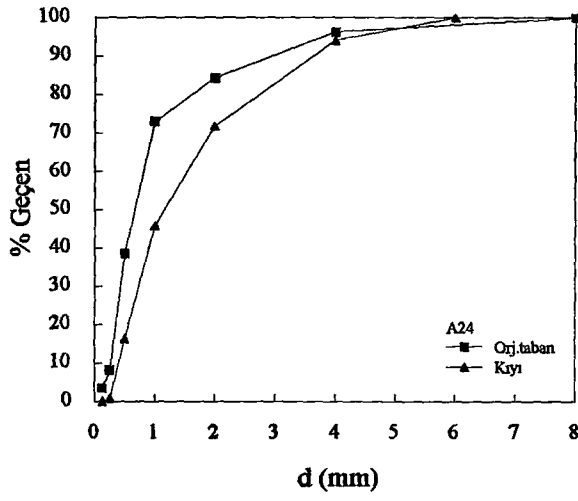
A malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)



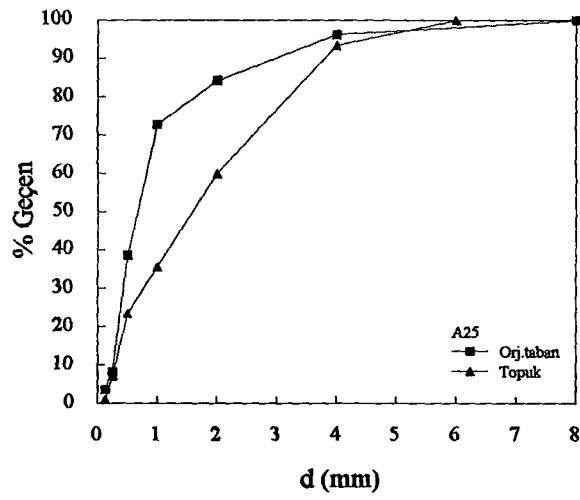
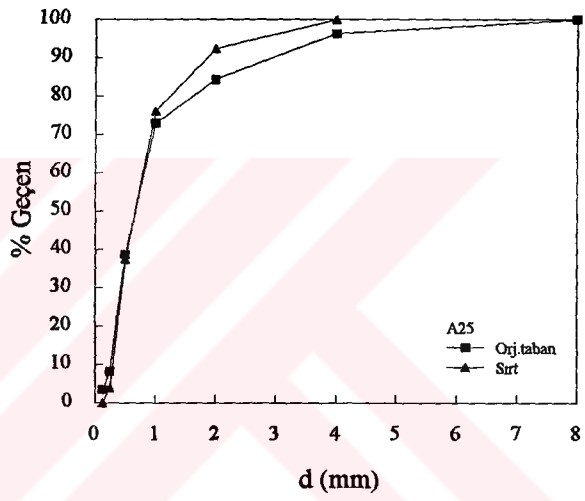
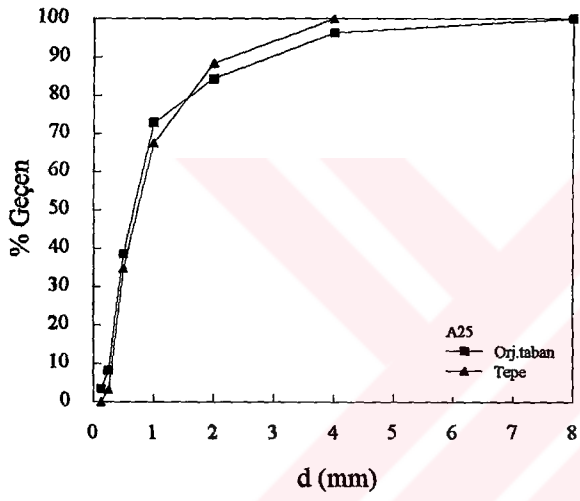
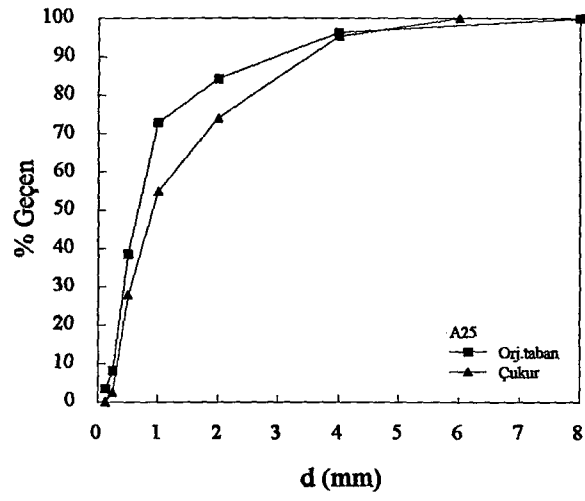
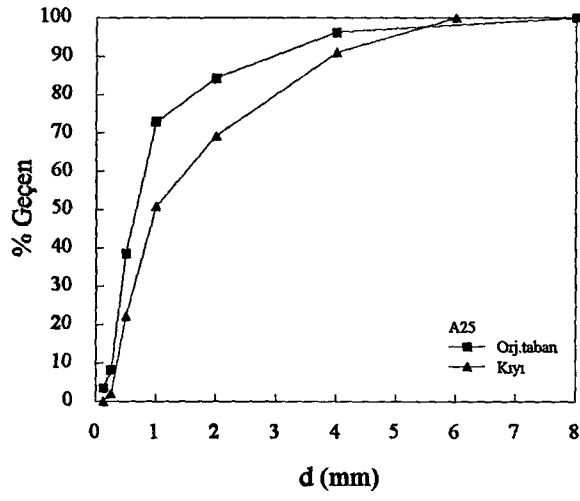
A malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)



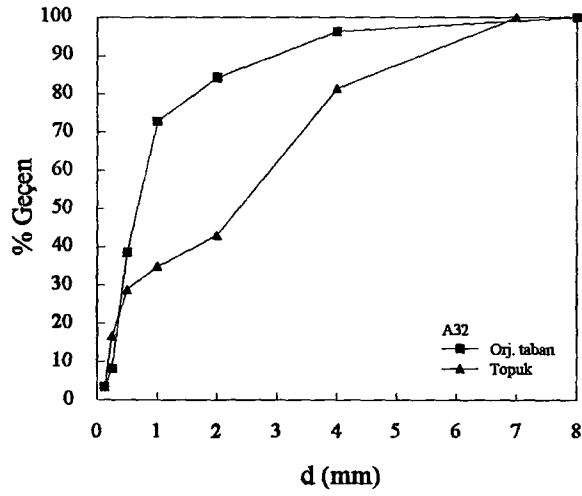
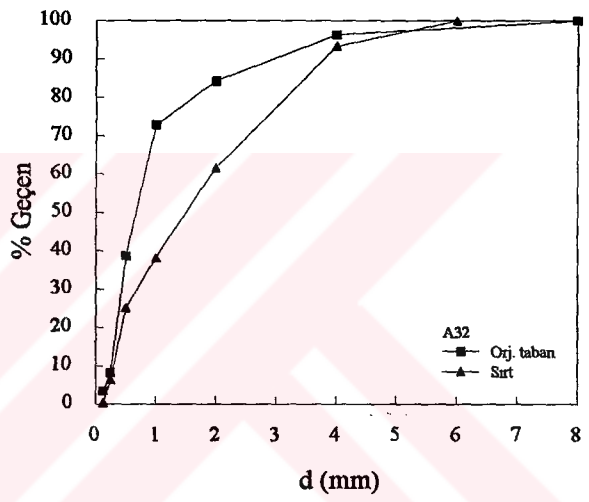
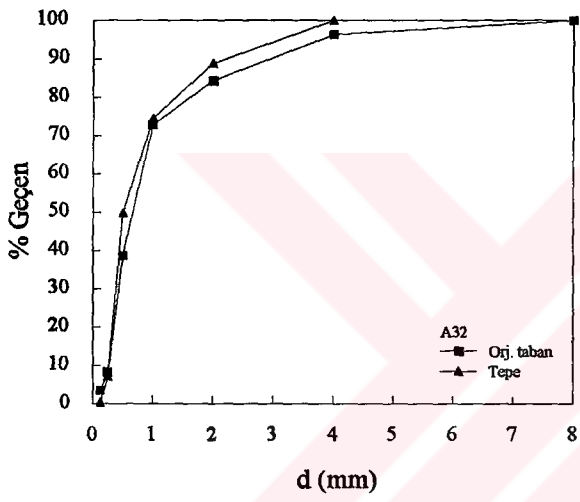
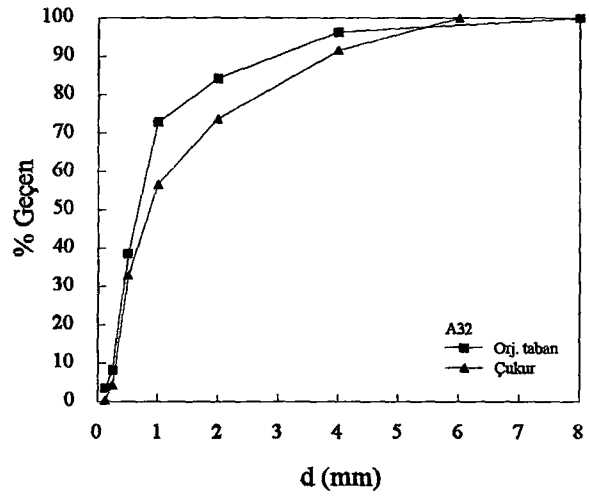
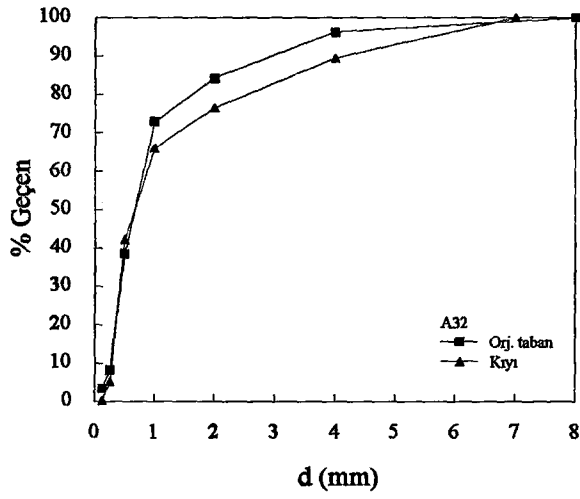
A malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)



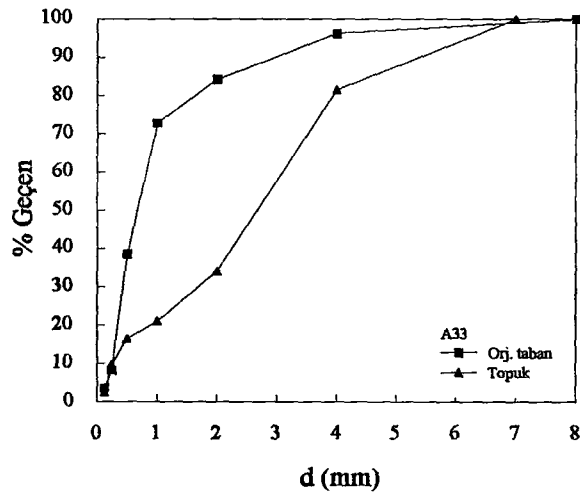
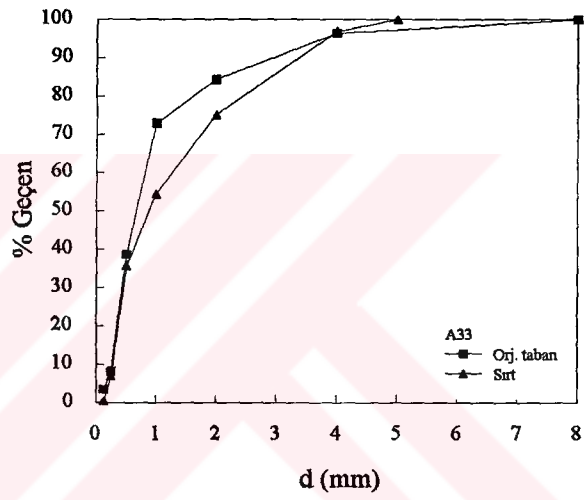
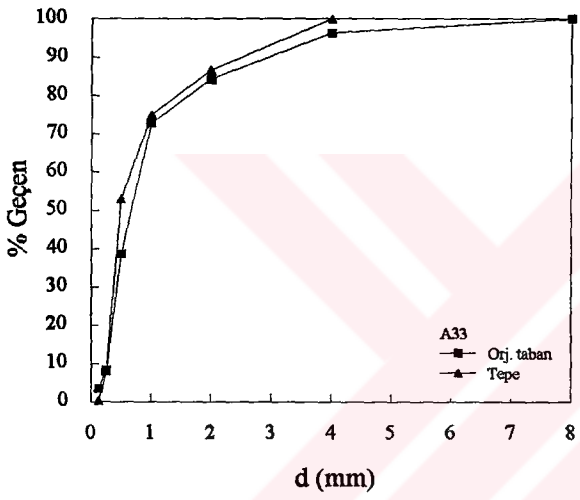
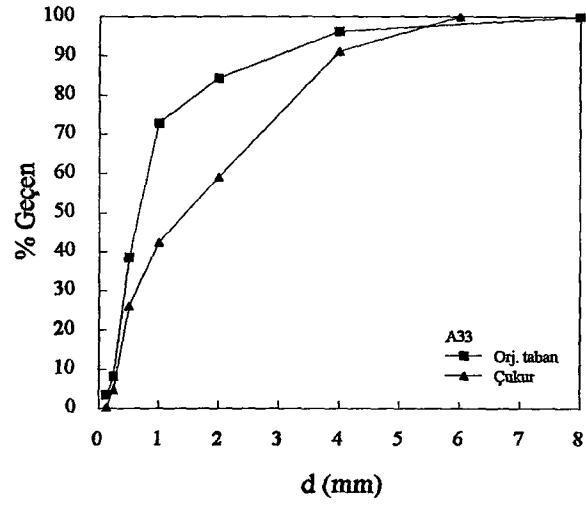
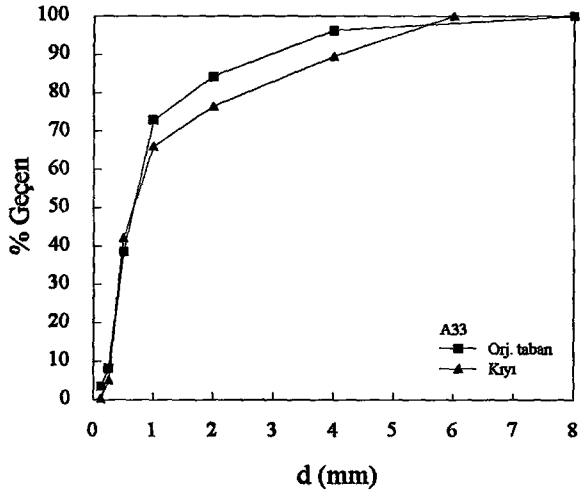
A malzemesi ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)



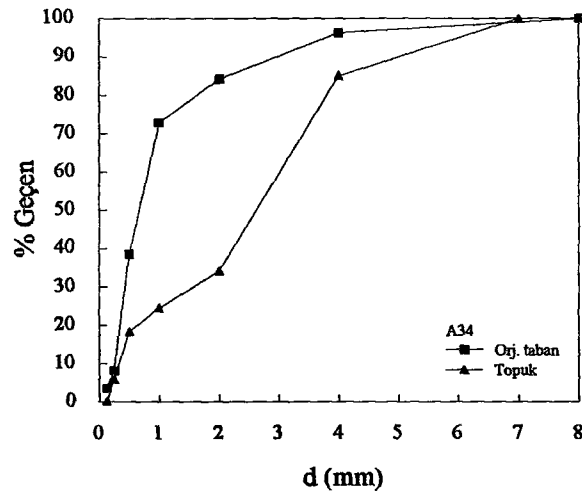
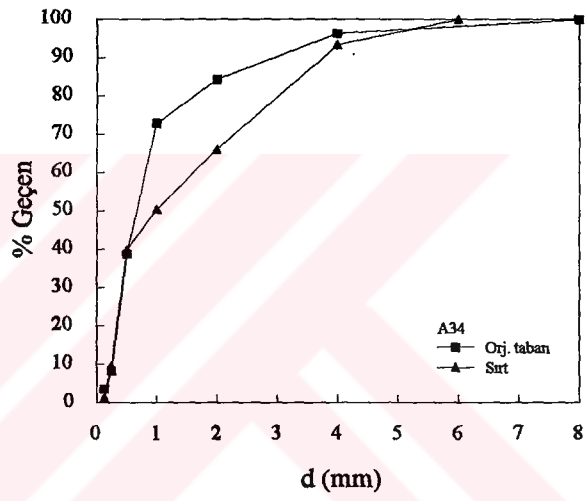
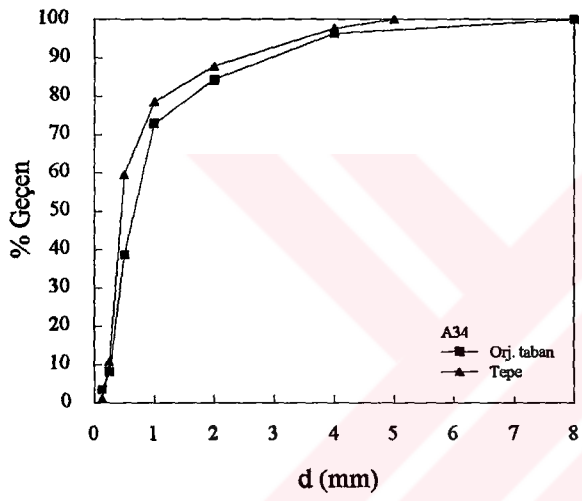
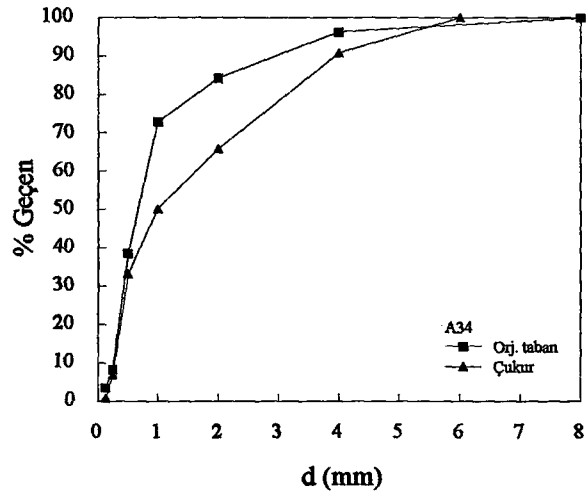
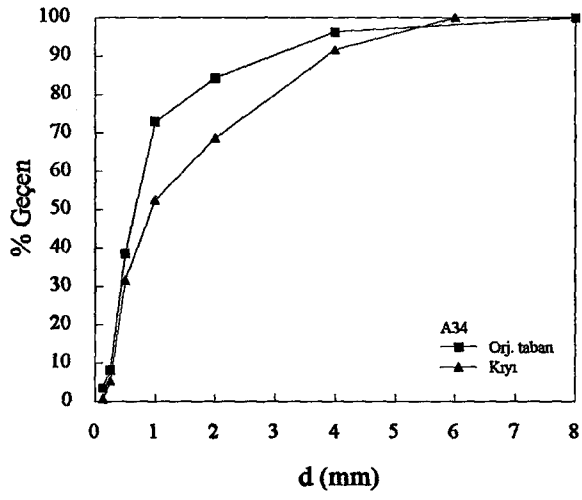
A malzemesi ($H_0=15.8$ cm, $T=1.2$ s)



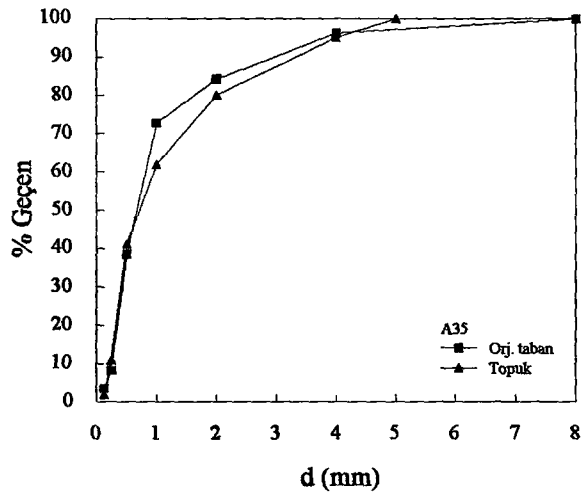
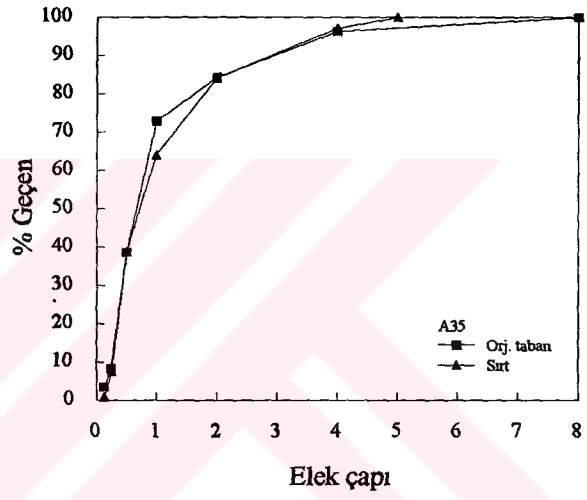
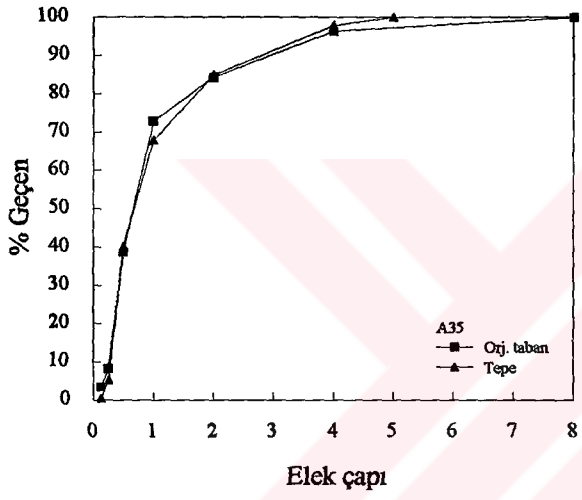
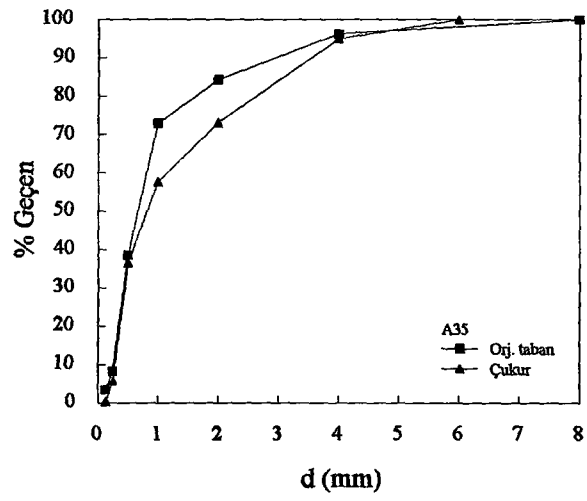
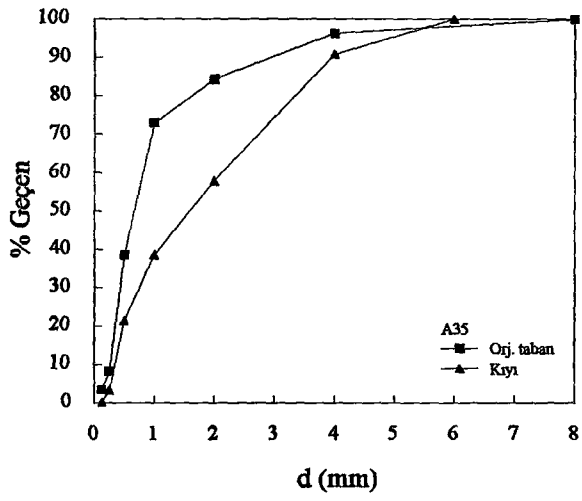
A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)



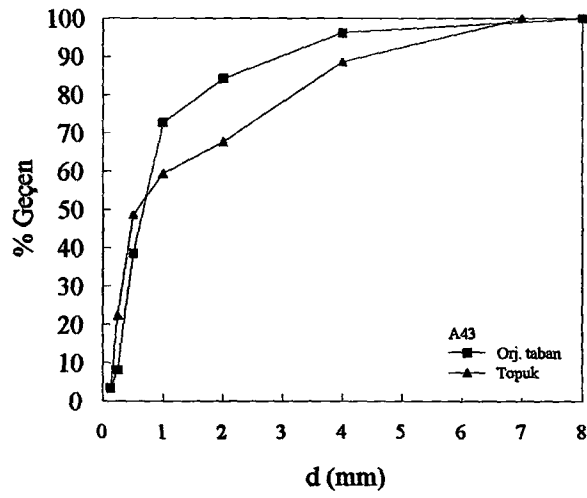
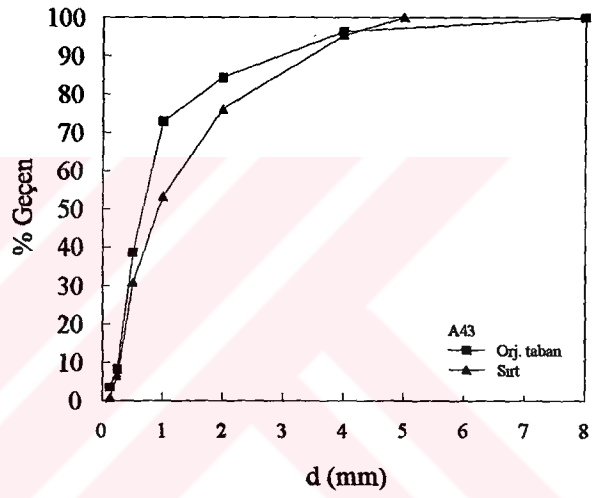
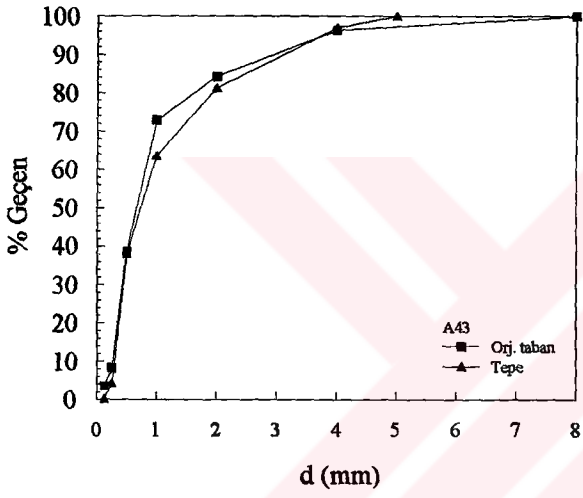
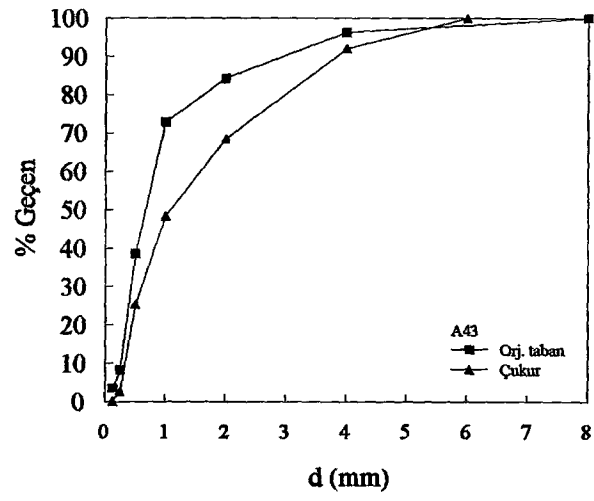
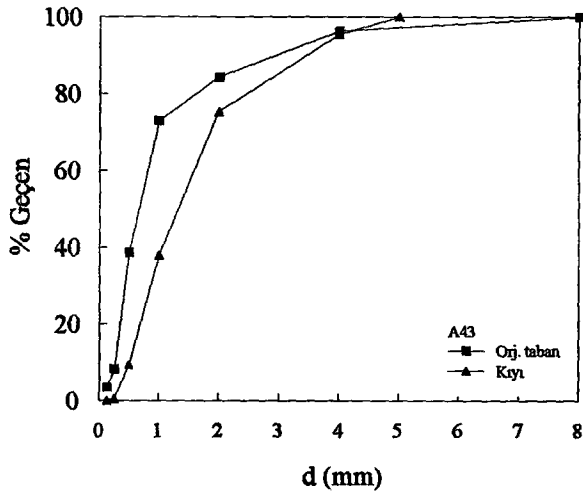
A malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)



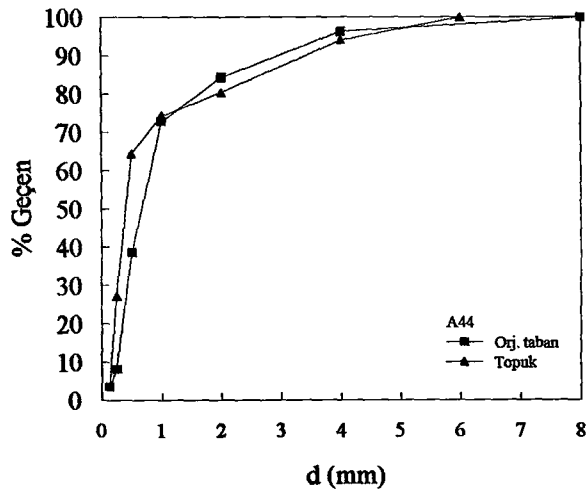
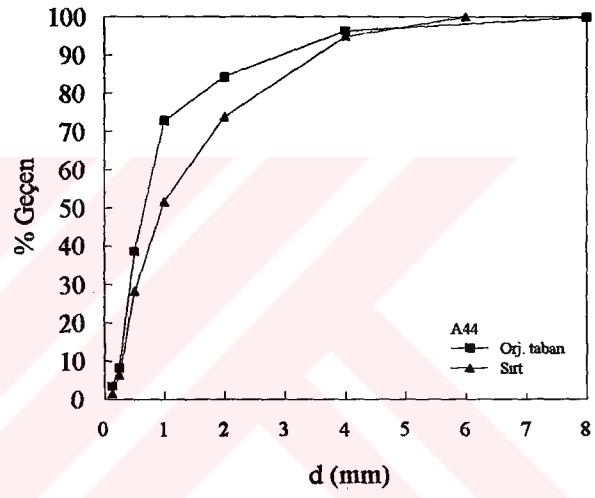
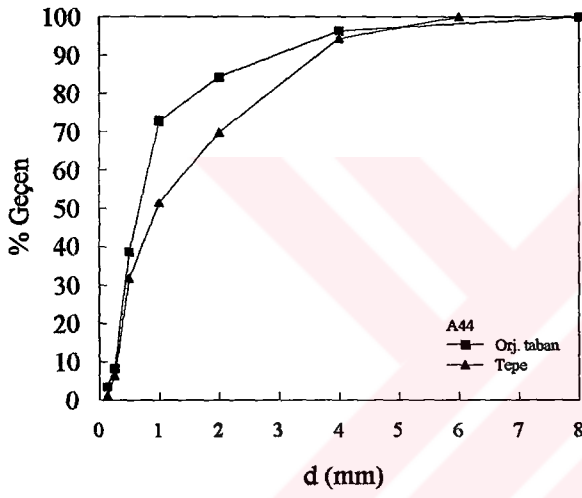
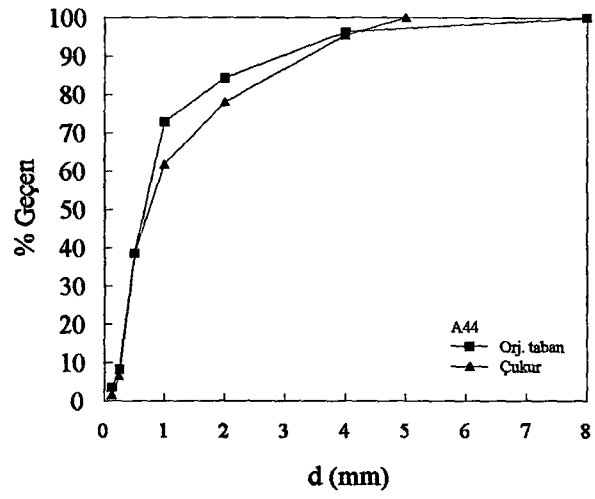
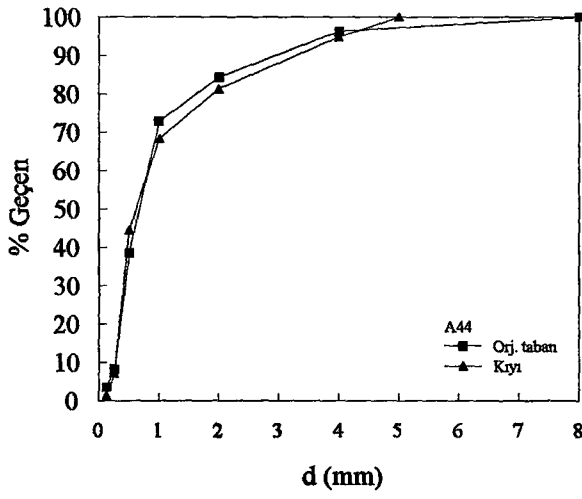
A malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)



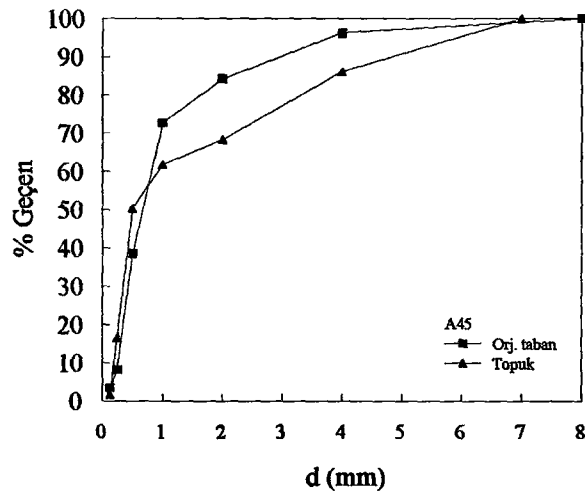
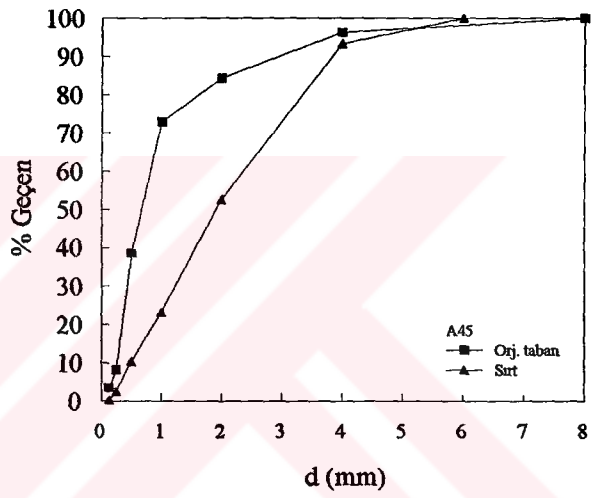
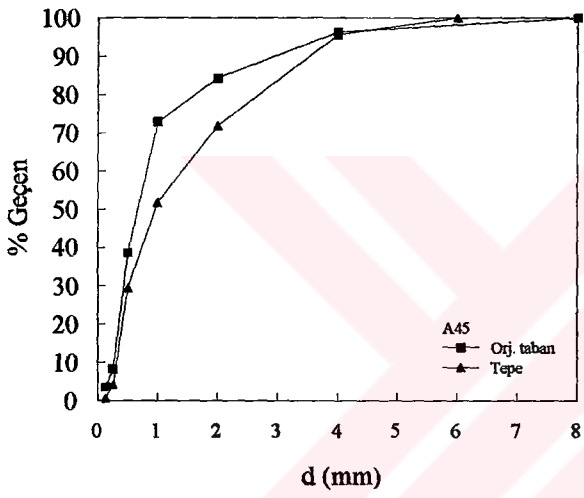
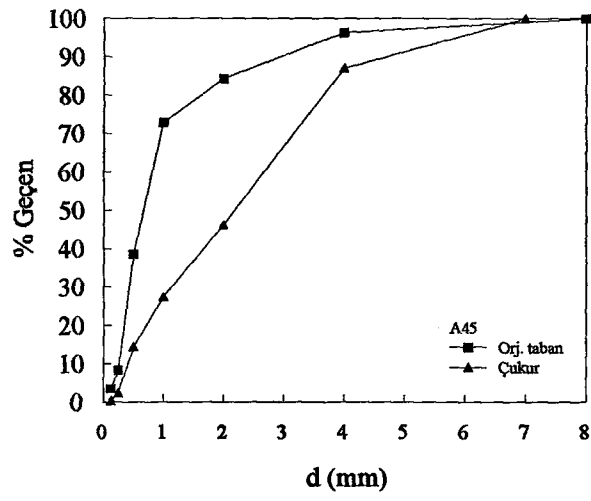
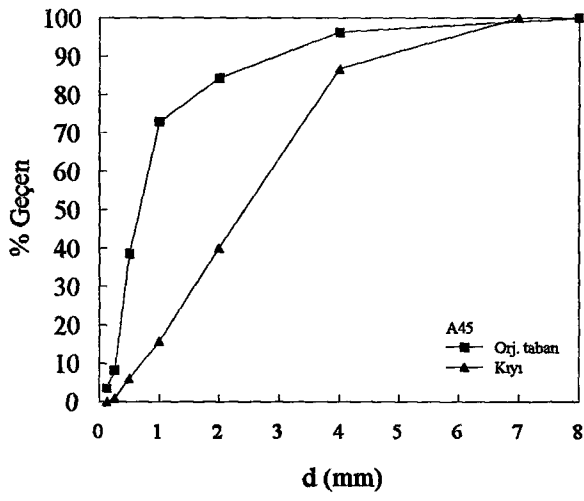
A malzemesi ($H_0=16.4$ cm, $T=1.6$ s)



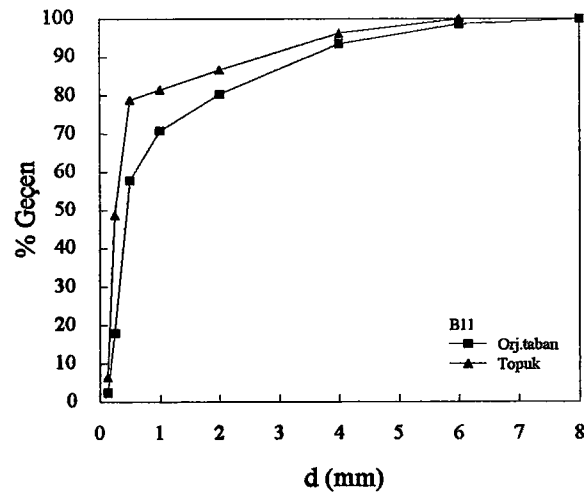
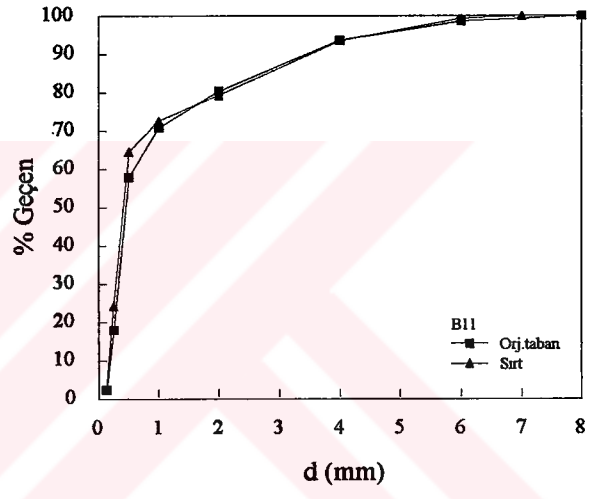
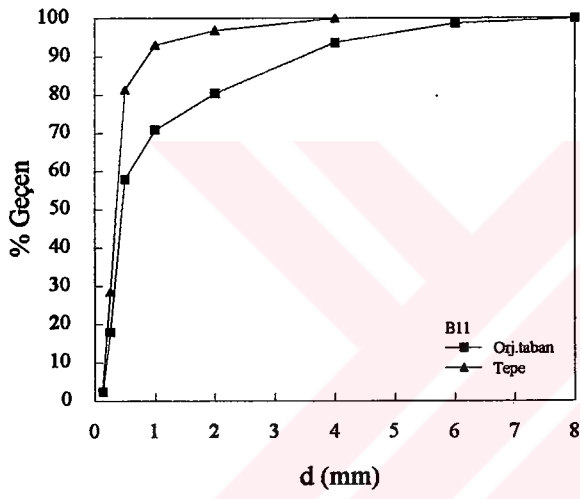
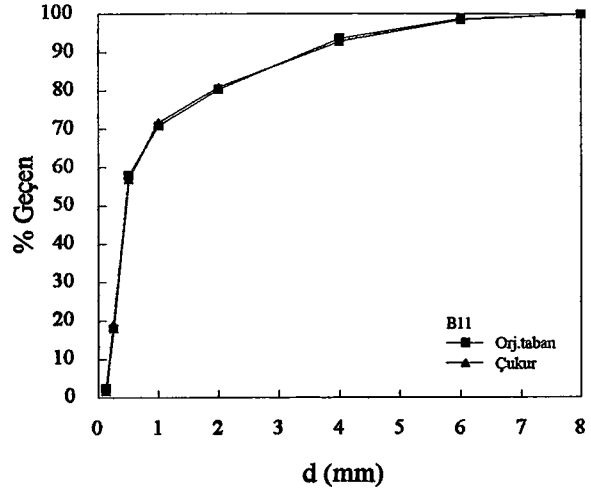
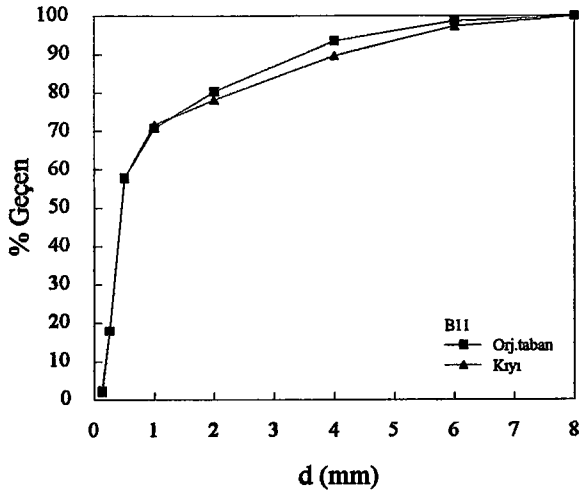
A malzemesi ($H_0=10.6$ cm, $T=2$ s)



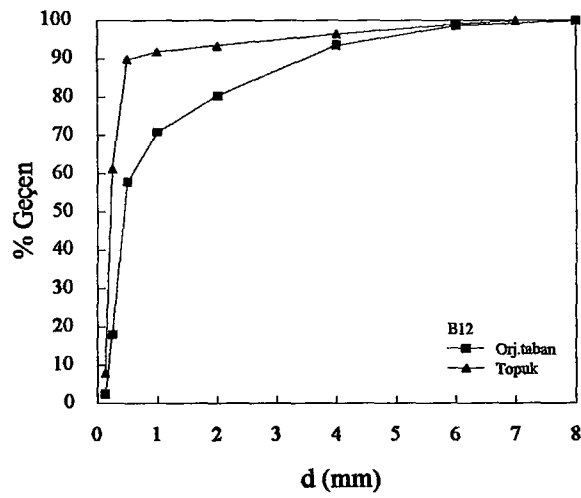
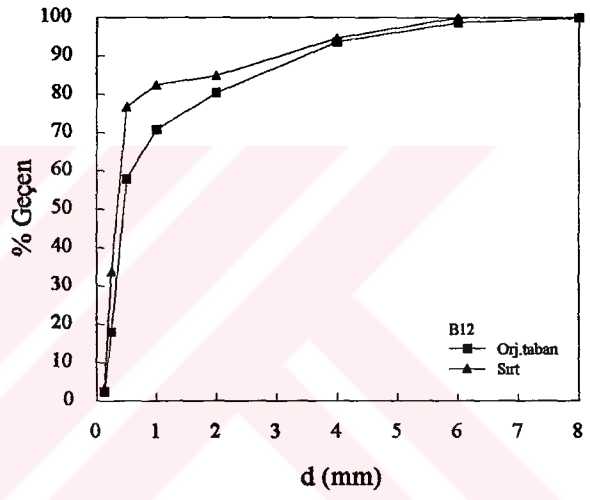
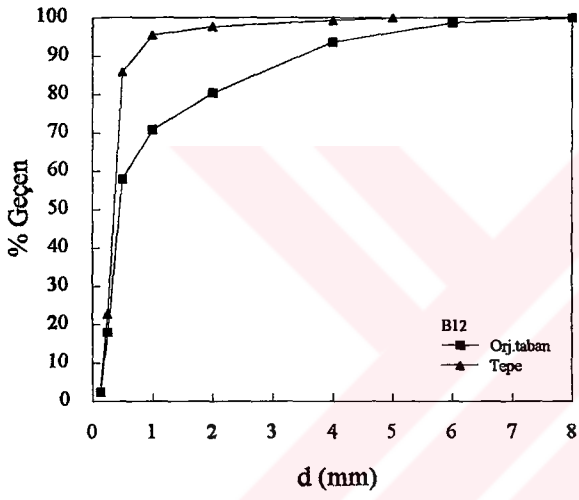
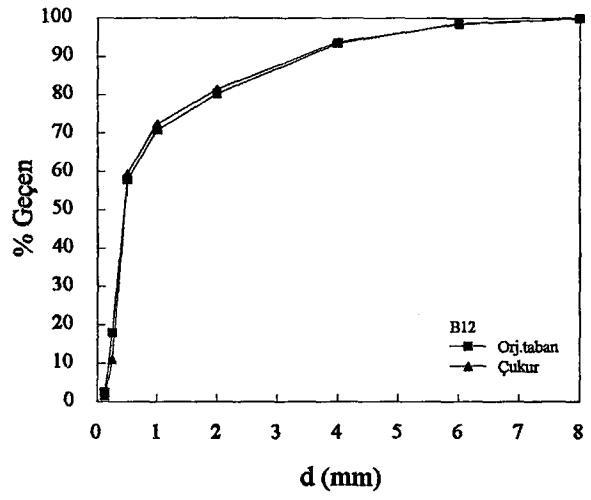
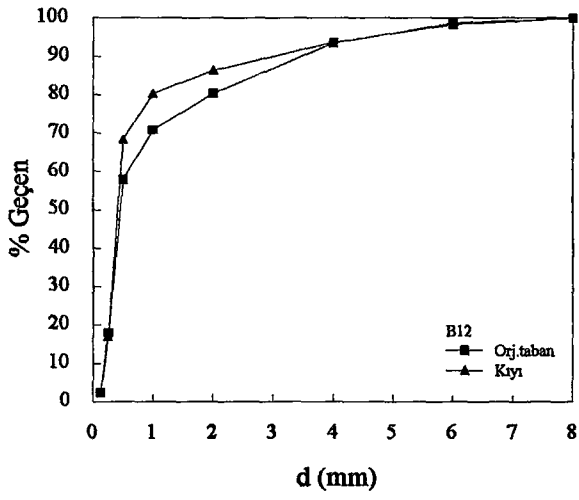
A malzemesi ($H_0=13.1$ cm, $T=2$ s)



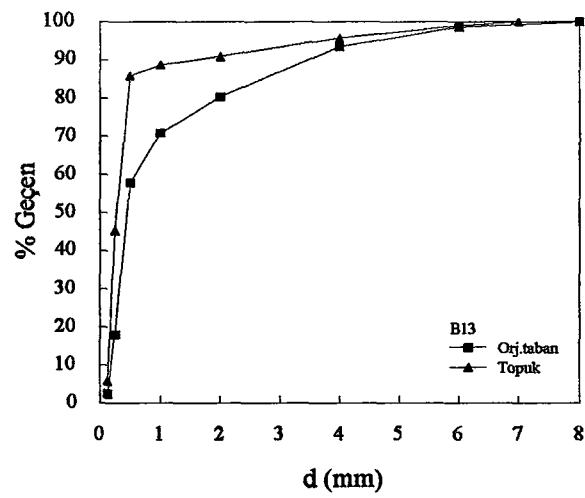
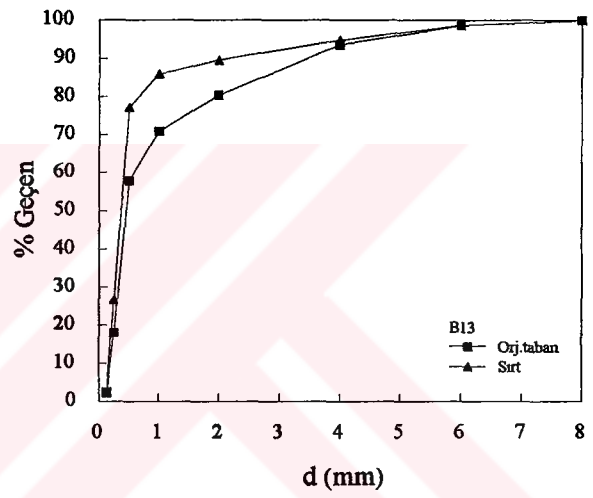
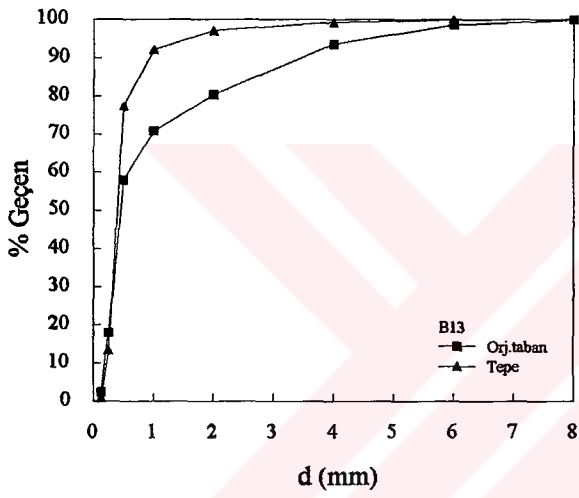
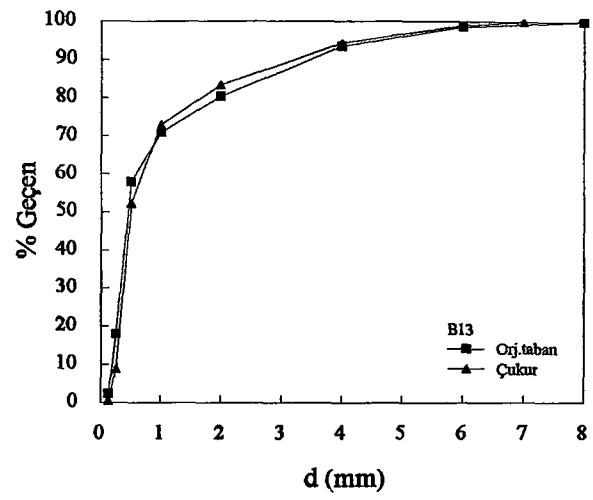
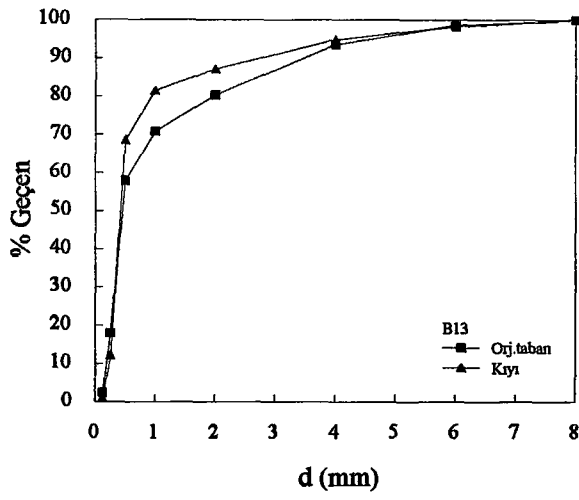
A malzemesi ($H_0=14.2$ cm, $T=2$ s)



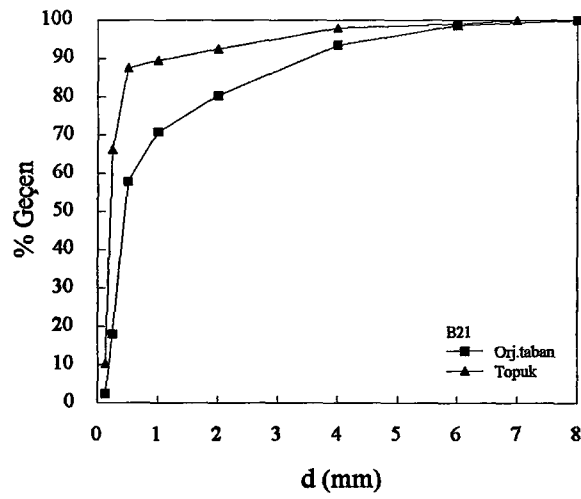
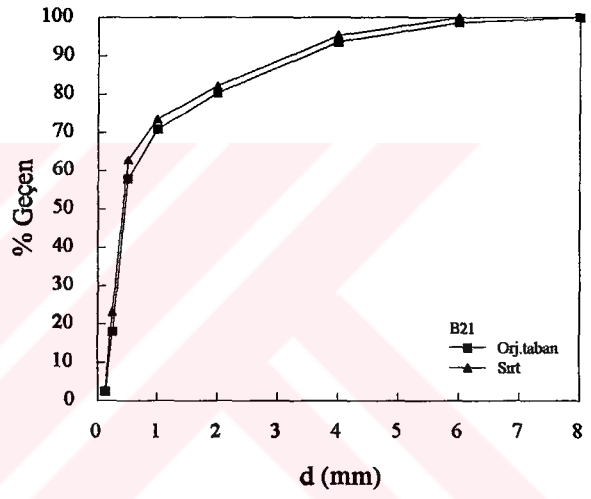
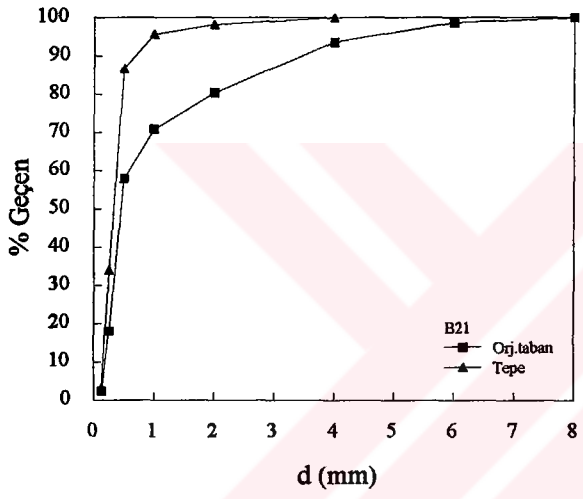
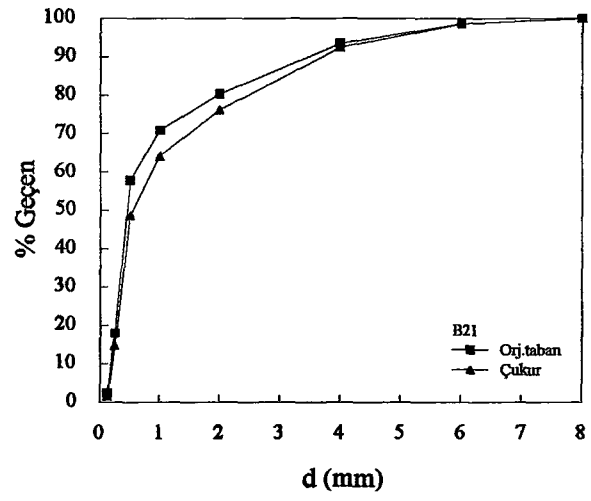
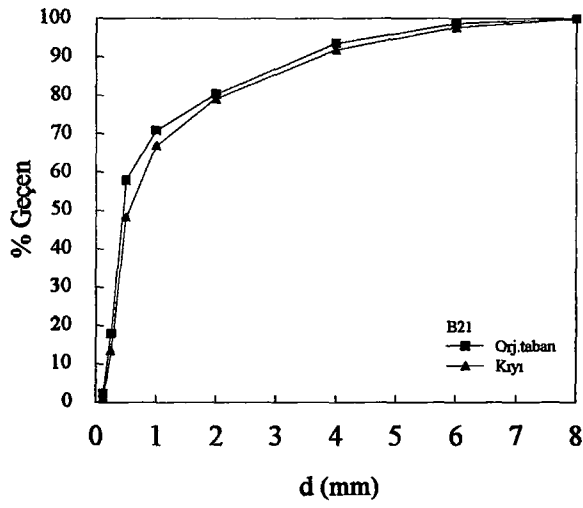
B malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)



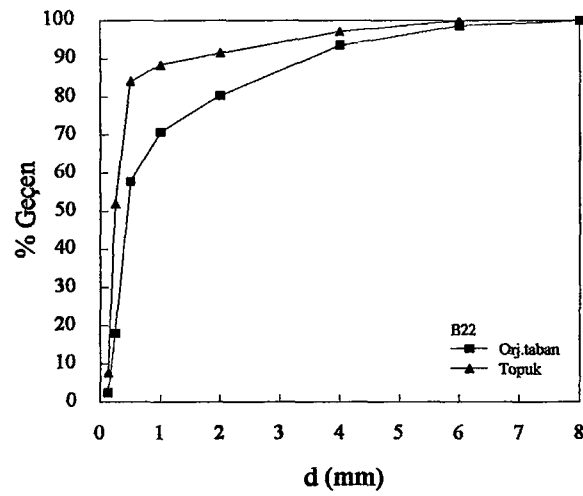
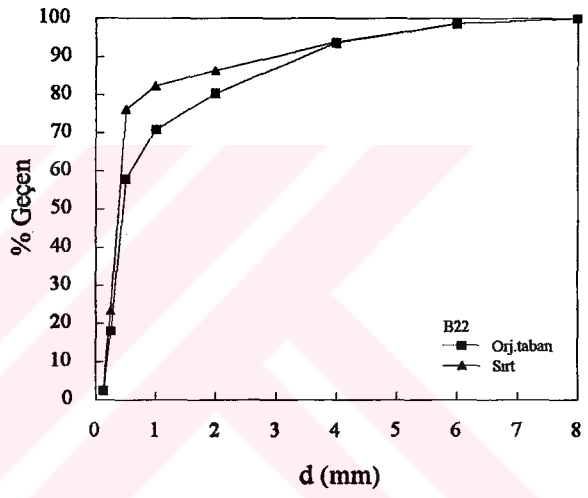
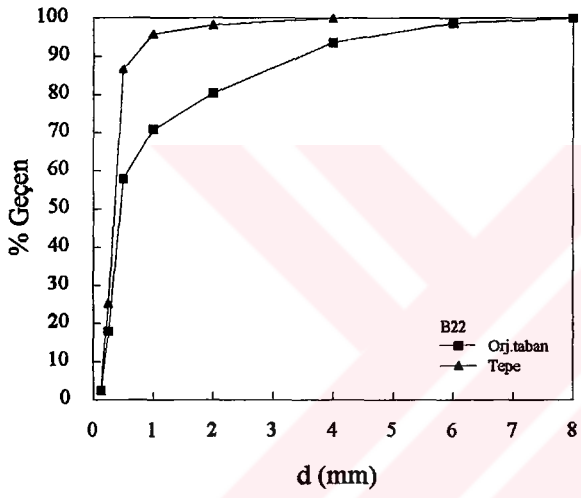
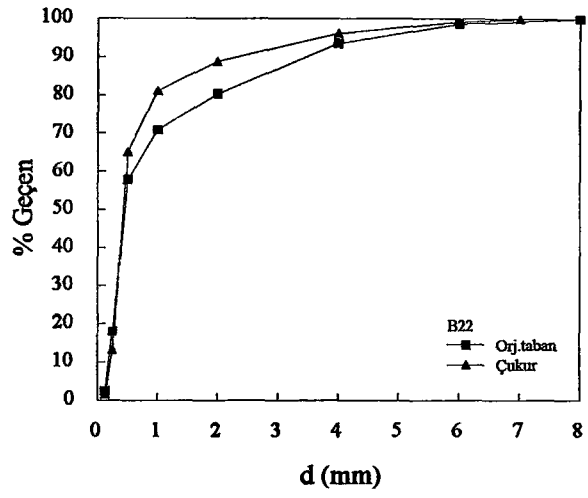
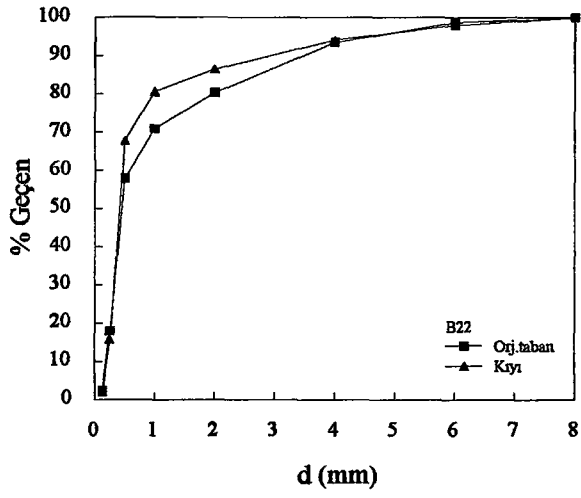
B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)



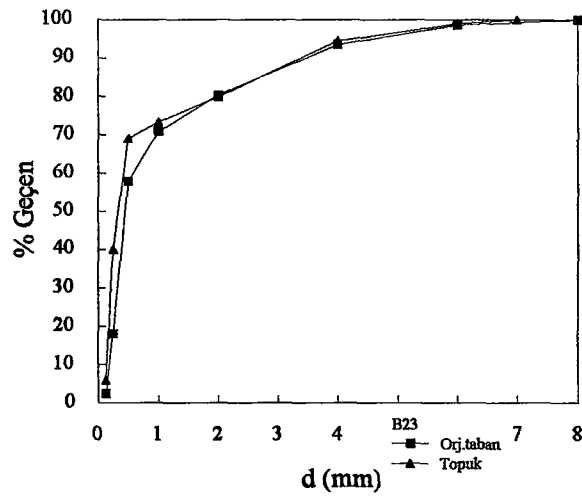
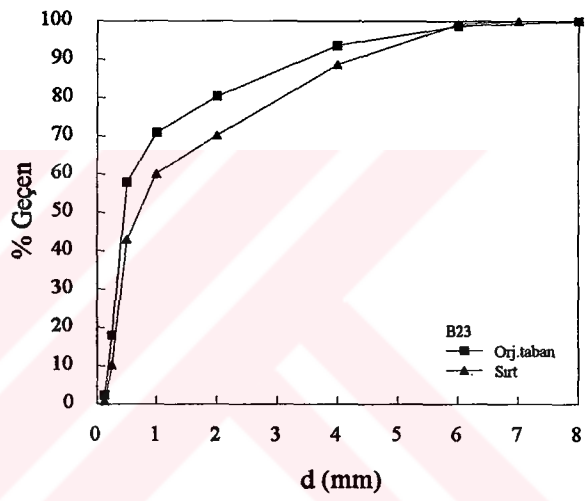
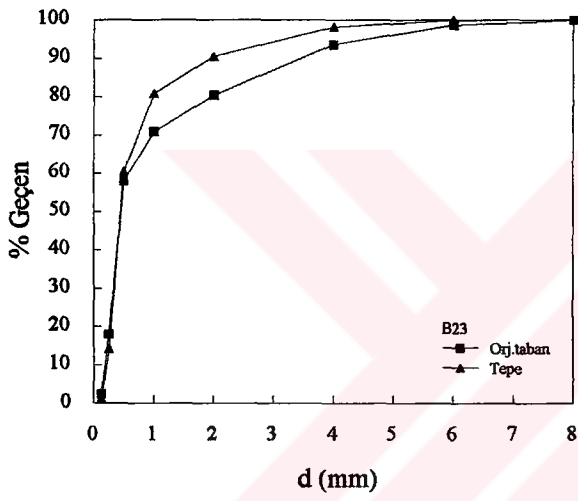
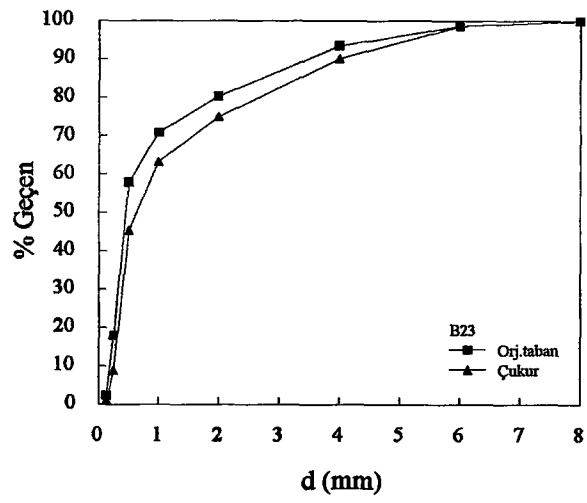
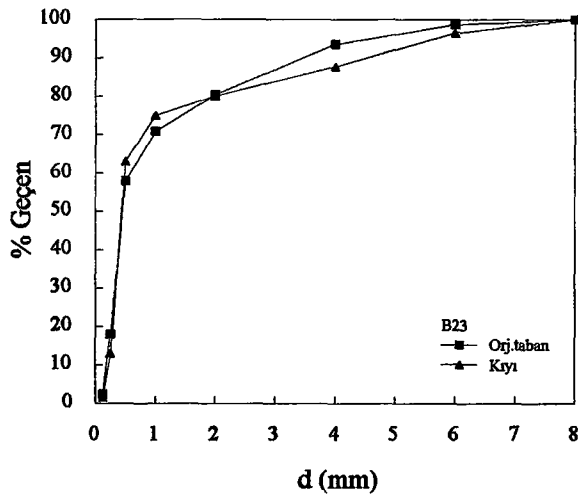
B malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)



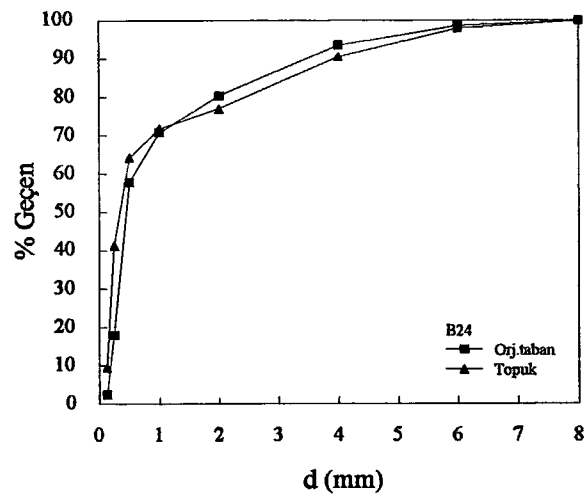
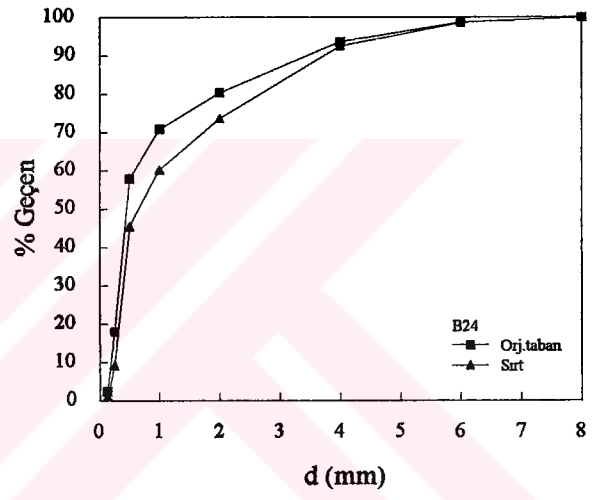
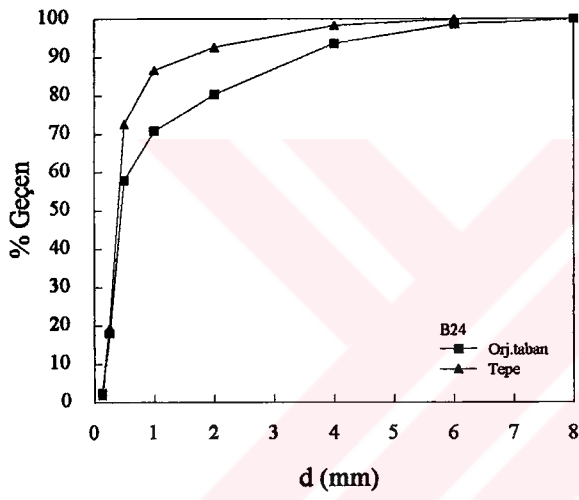
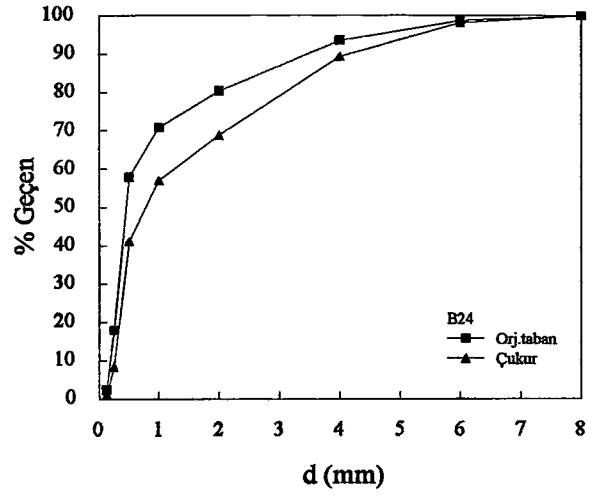
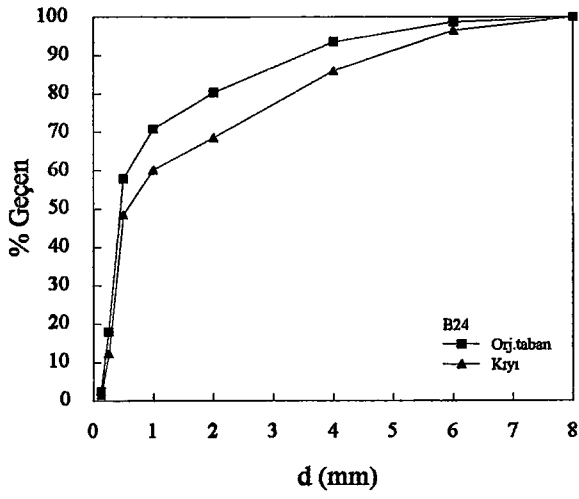
B malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)



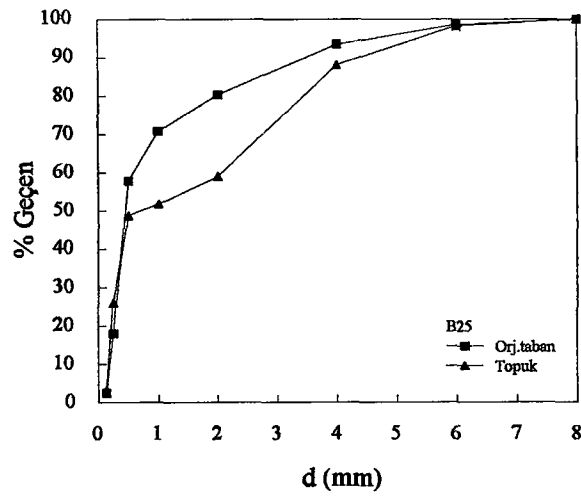
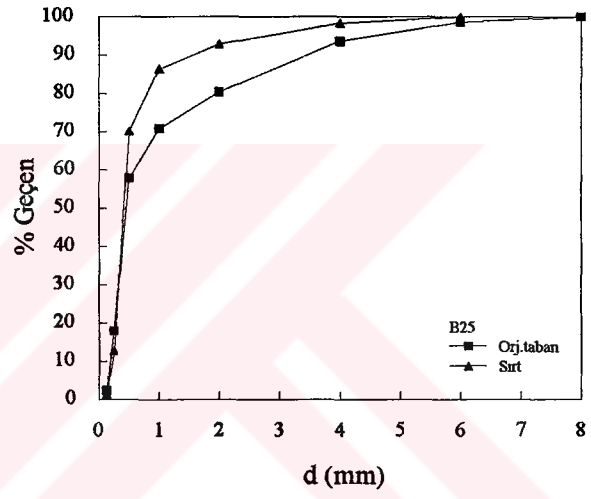
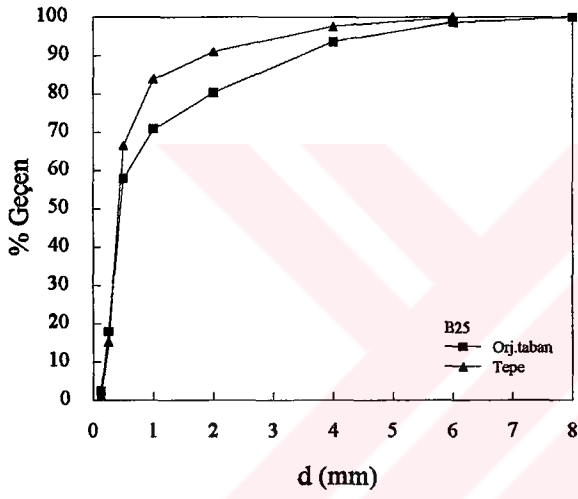
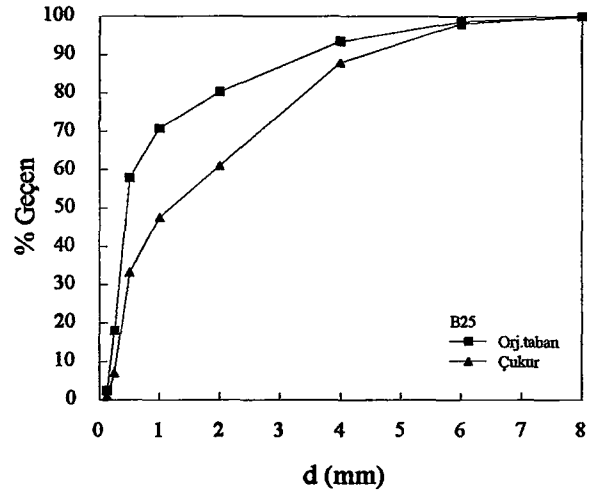
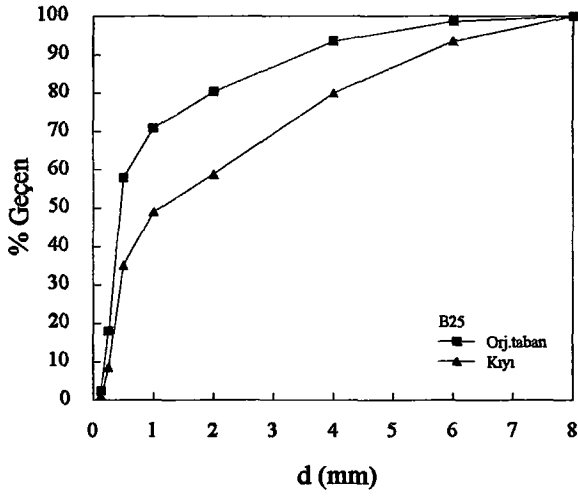
B malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)



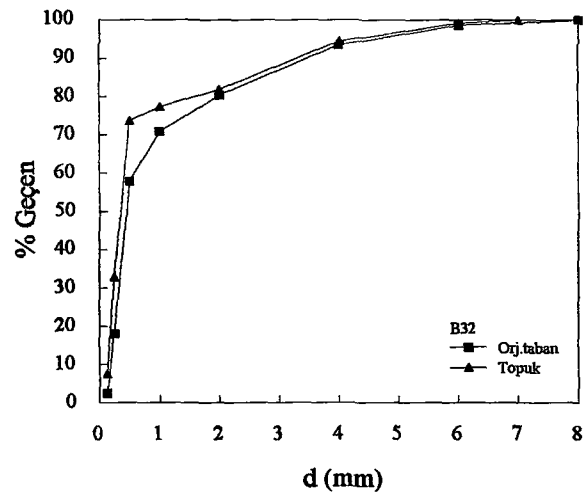
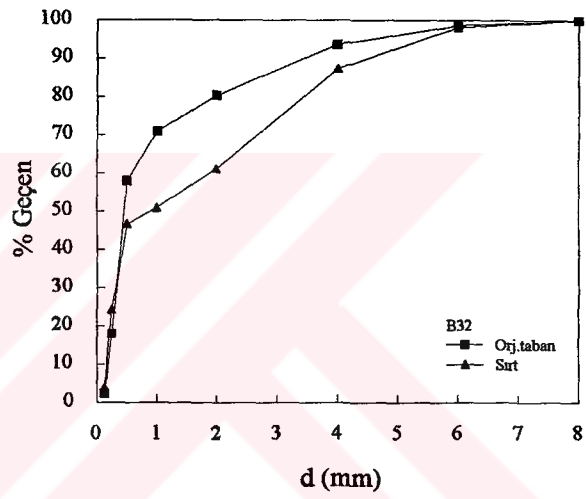
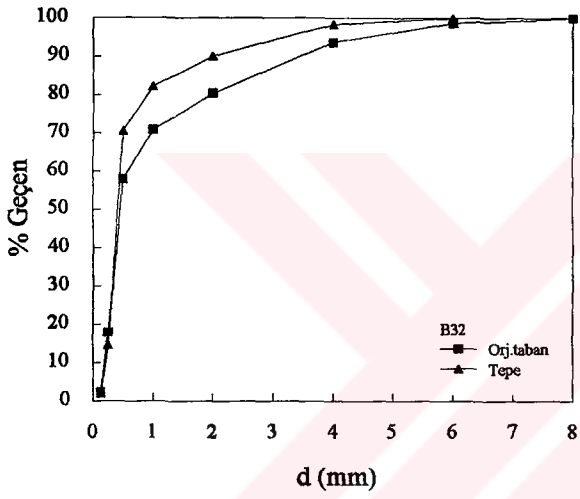
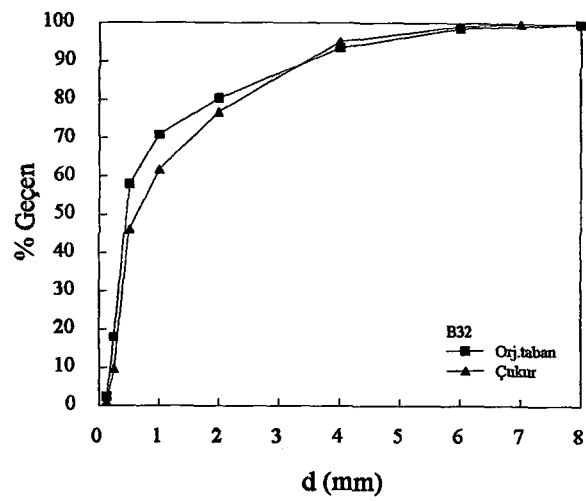
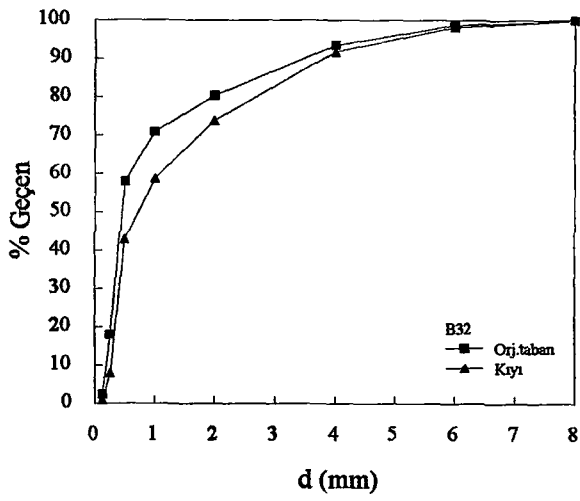
B malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)



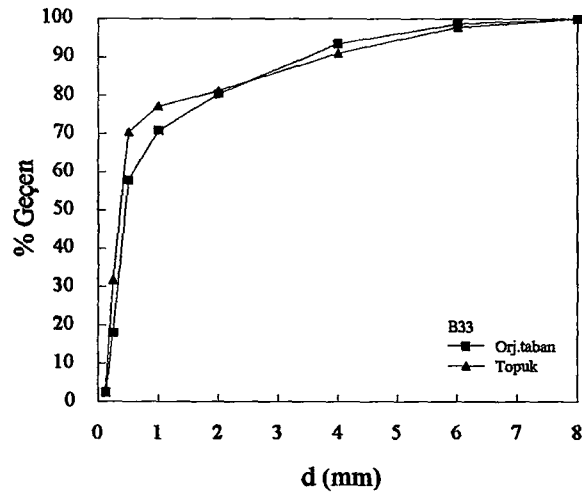
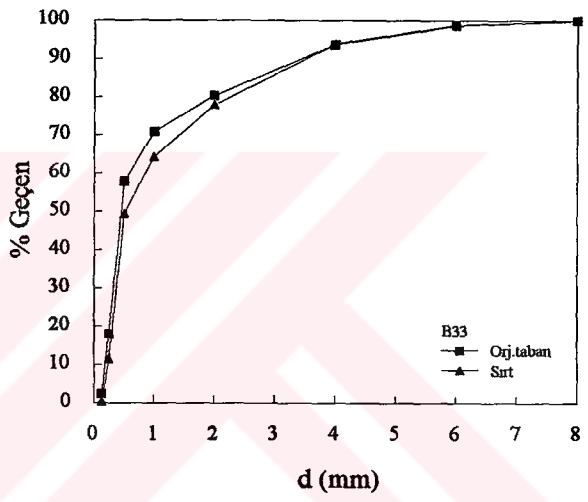
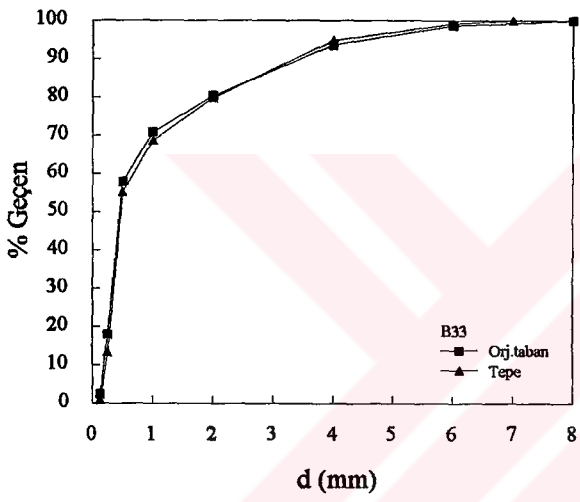
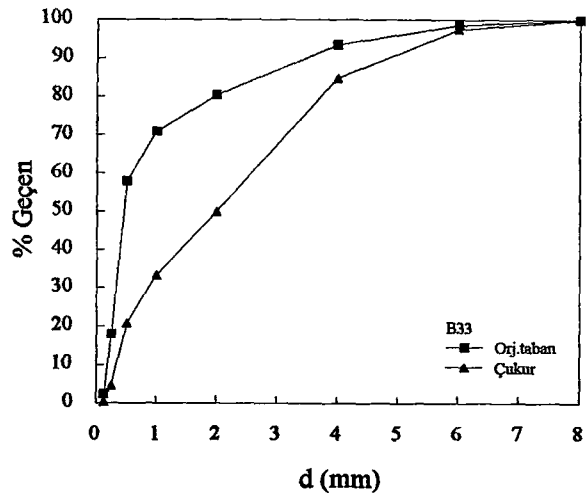
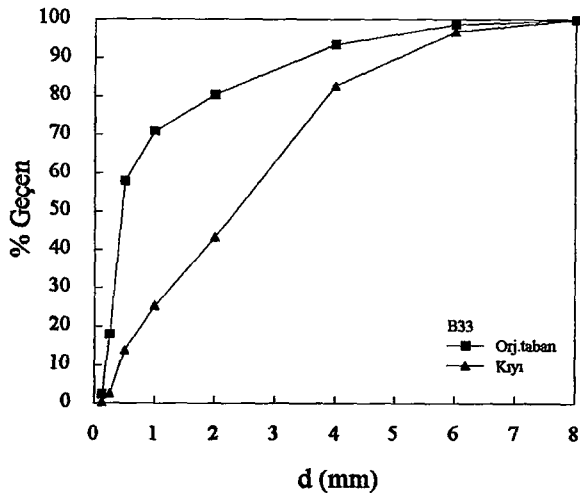
B malzemesi ($H_0=13.2$ cm, $T=1.2$ s)



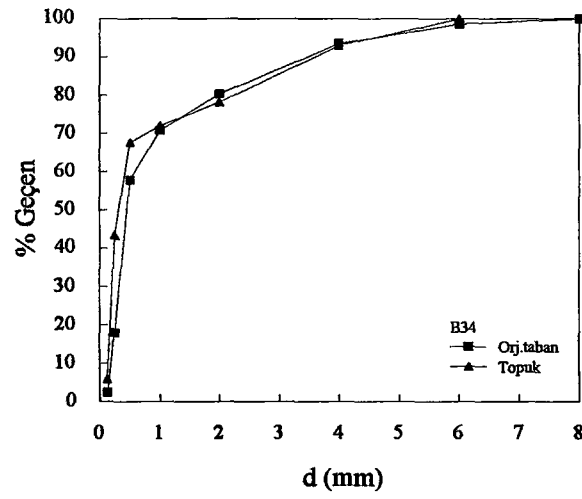
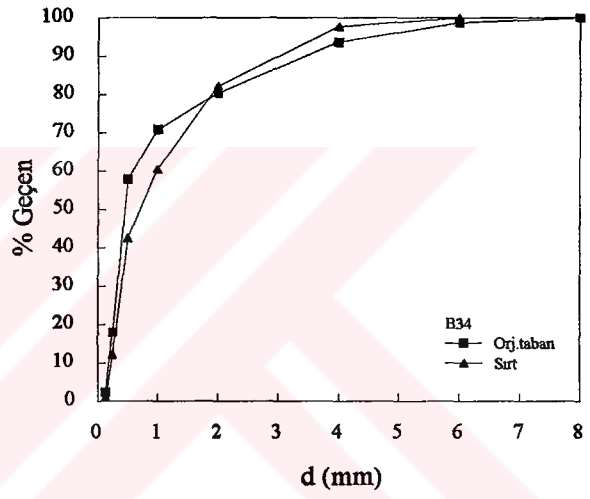
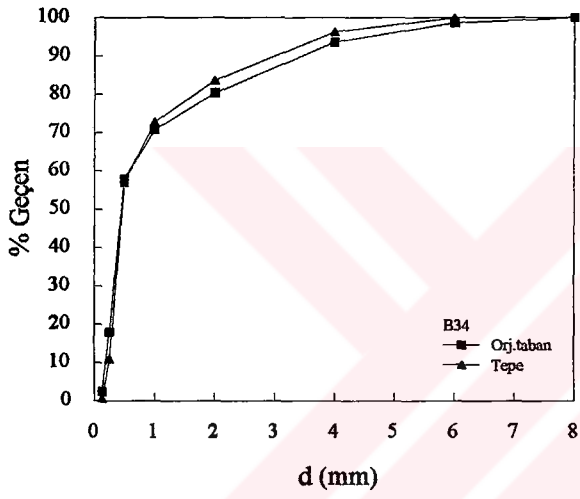
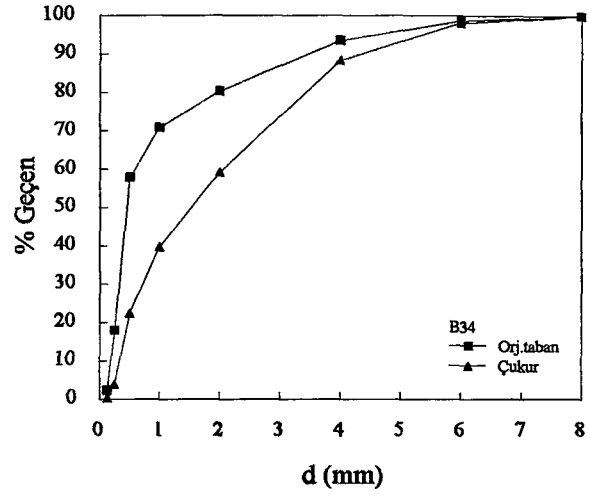
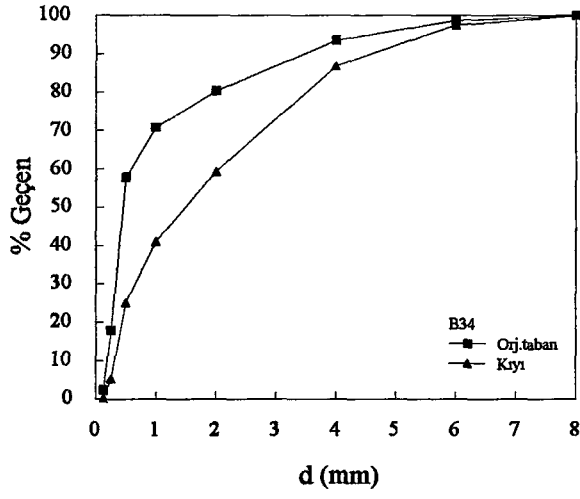
B malzemesi ($H_0=15.8$ cm, $T=1.2$ s)



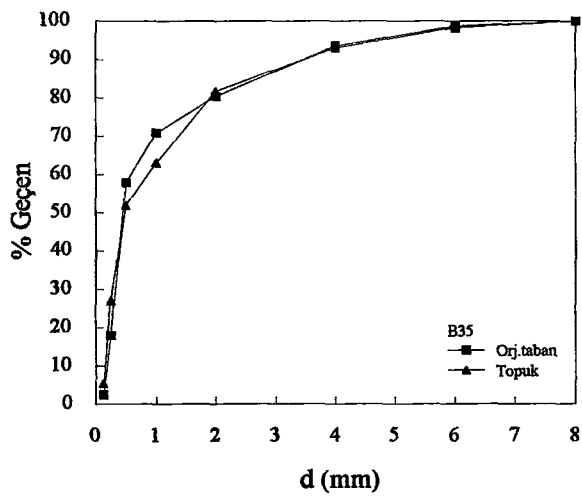
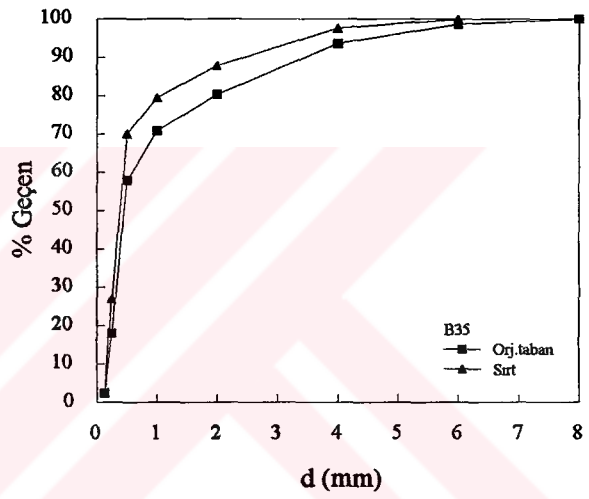
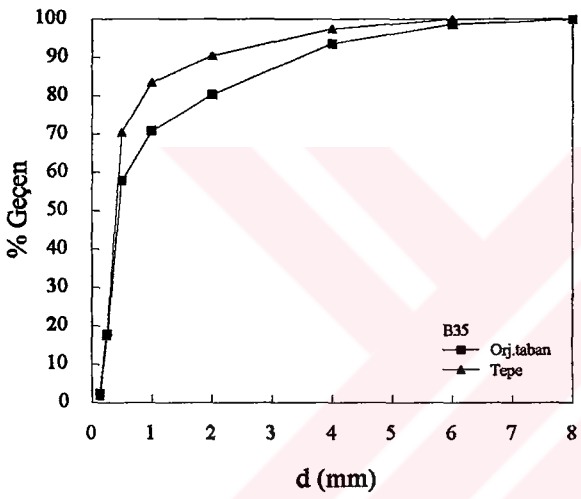
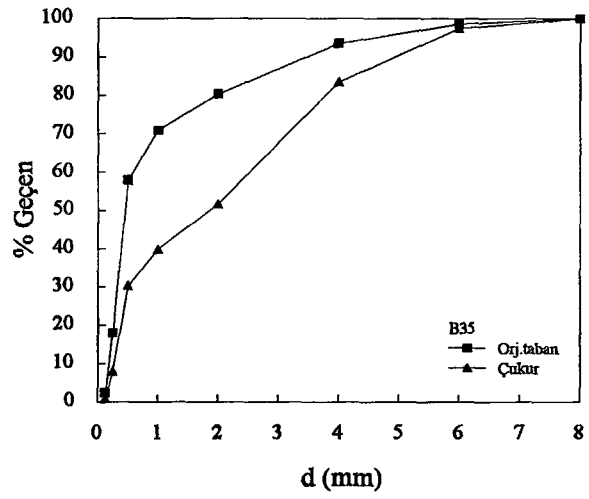
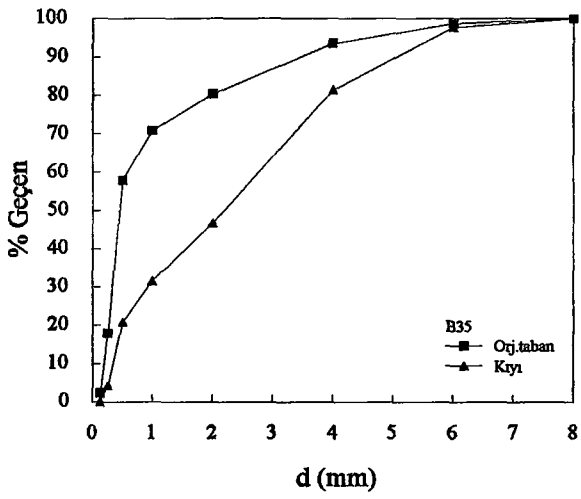
B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)



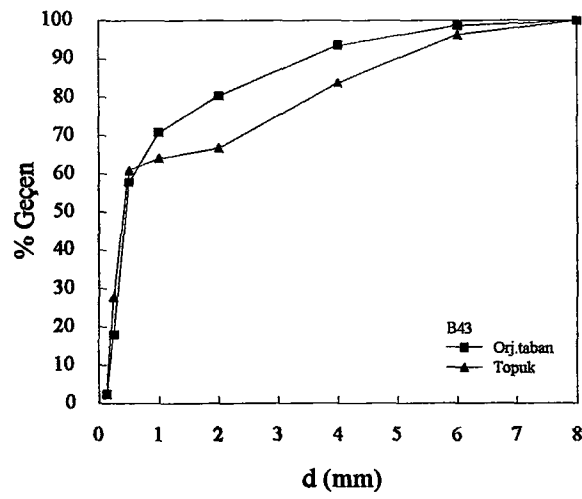
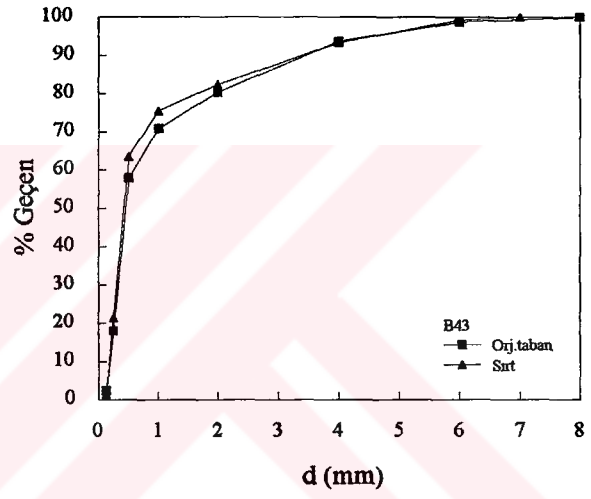
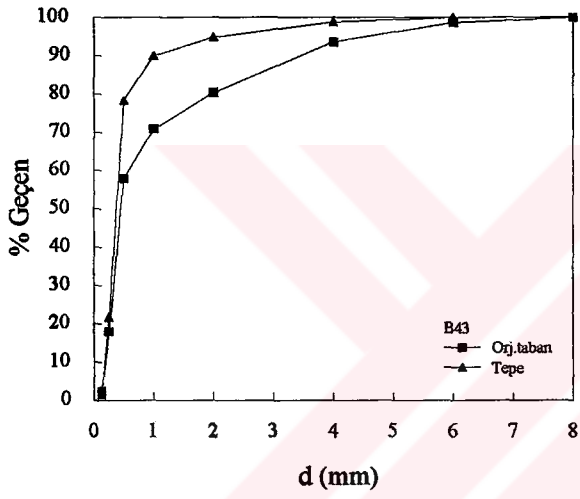
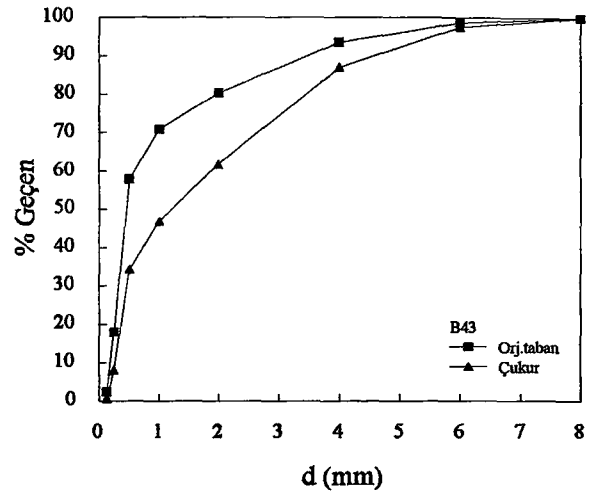
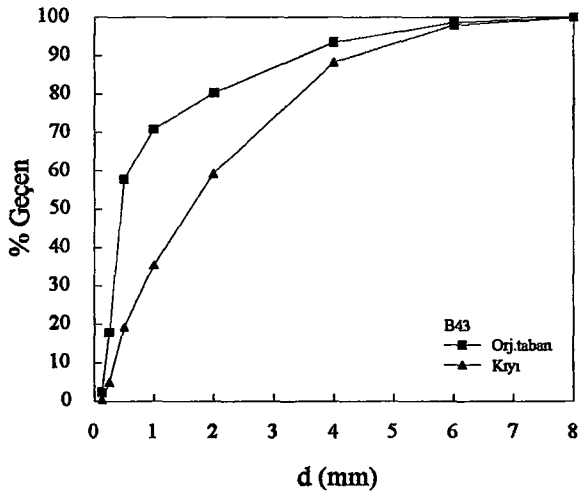
B malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)



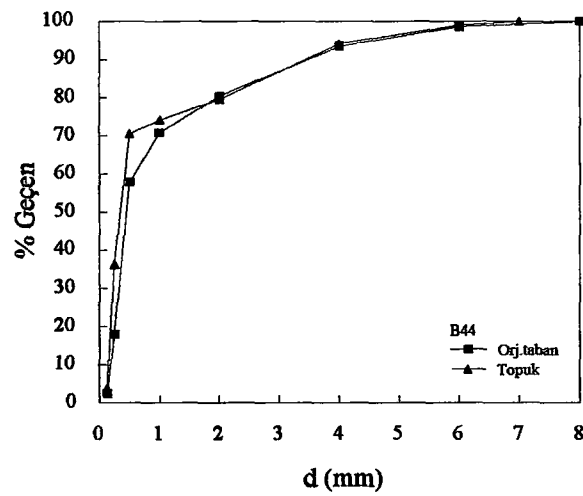
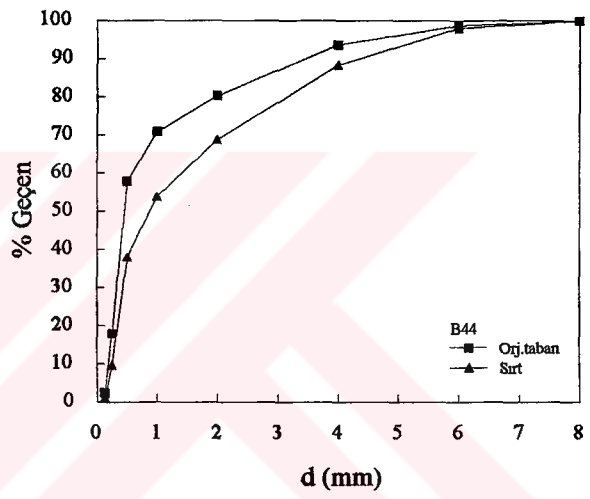
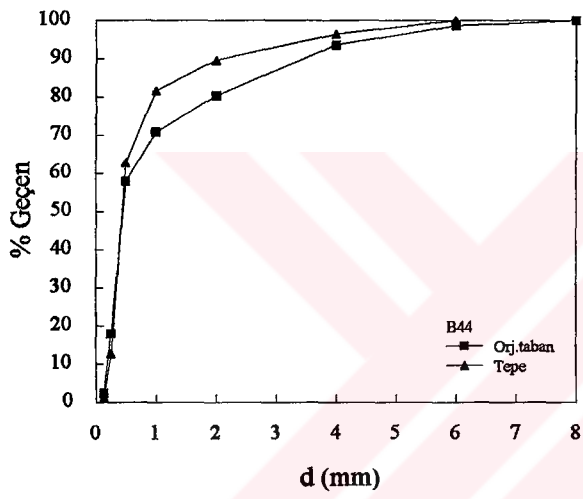
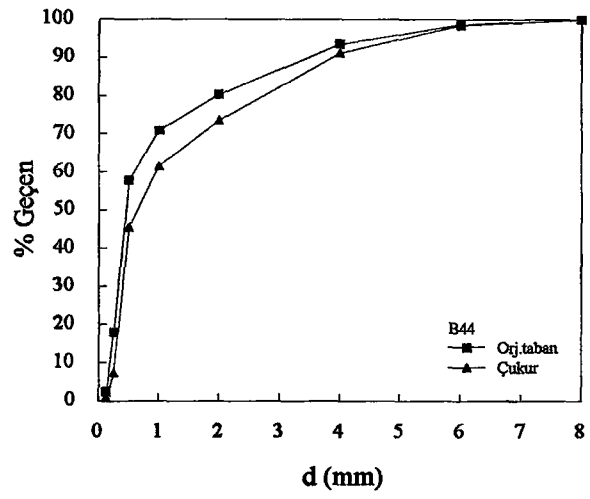
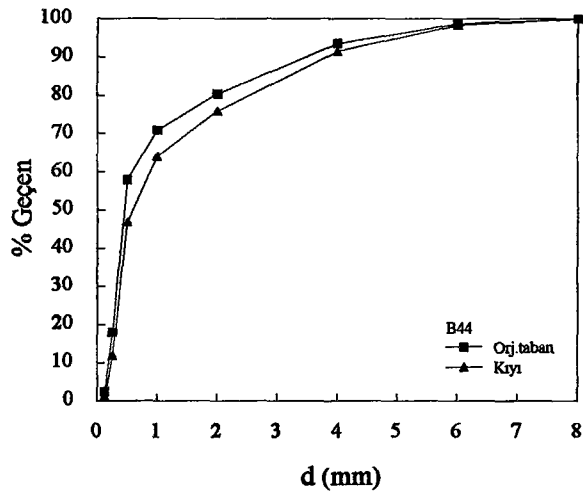
B malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)



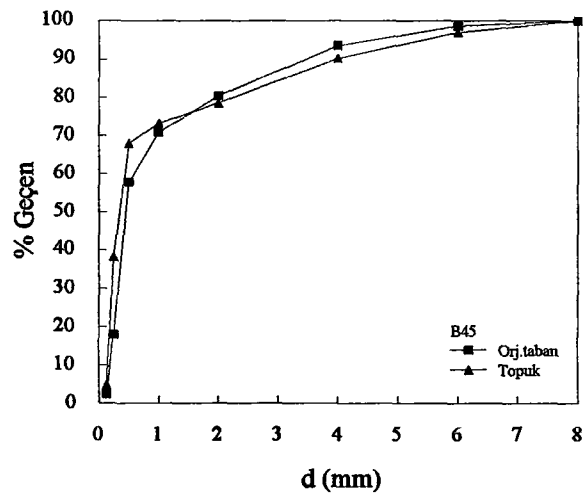
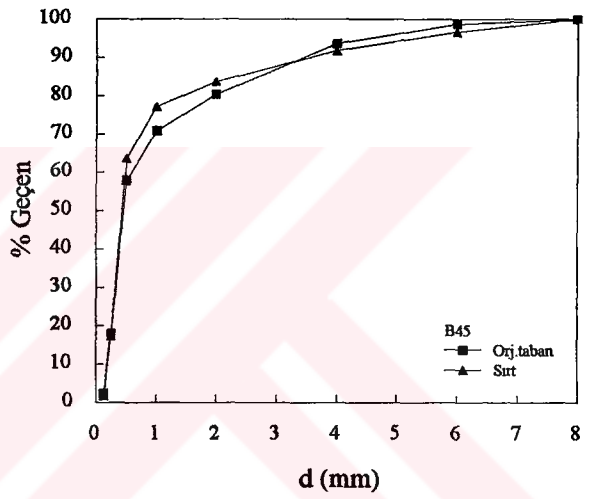
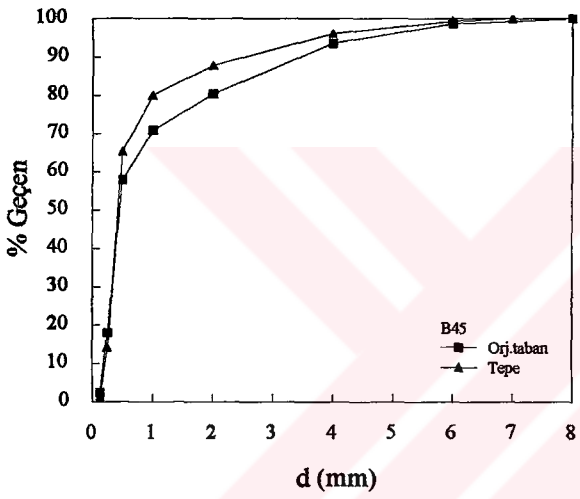
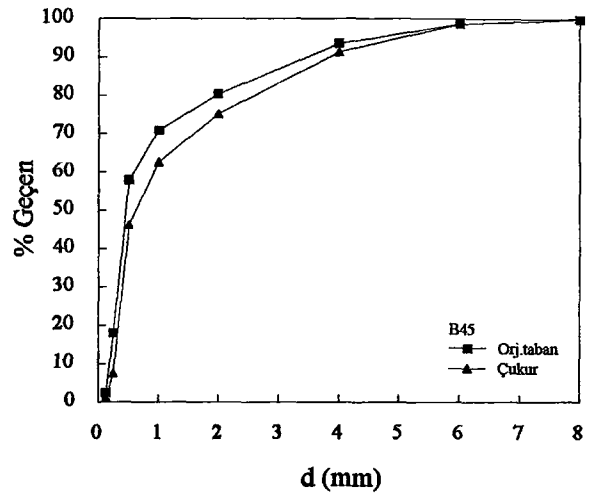
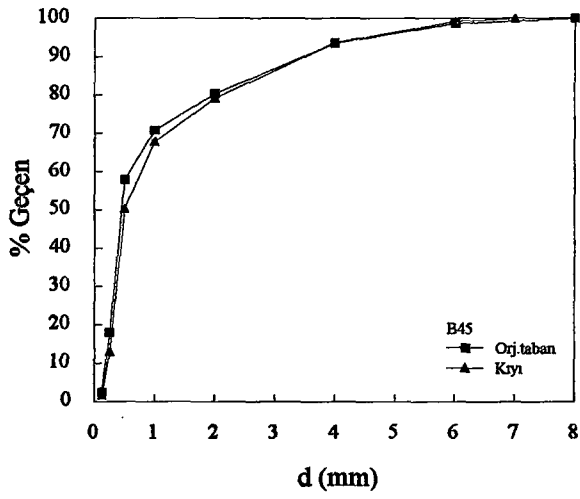
B malzemesi ($H_0=16.4$ cm, $T=1.6$ s)



B malzemesi ($H_0=10.6$ cm, $T=2$ s)

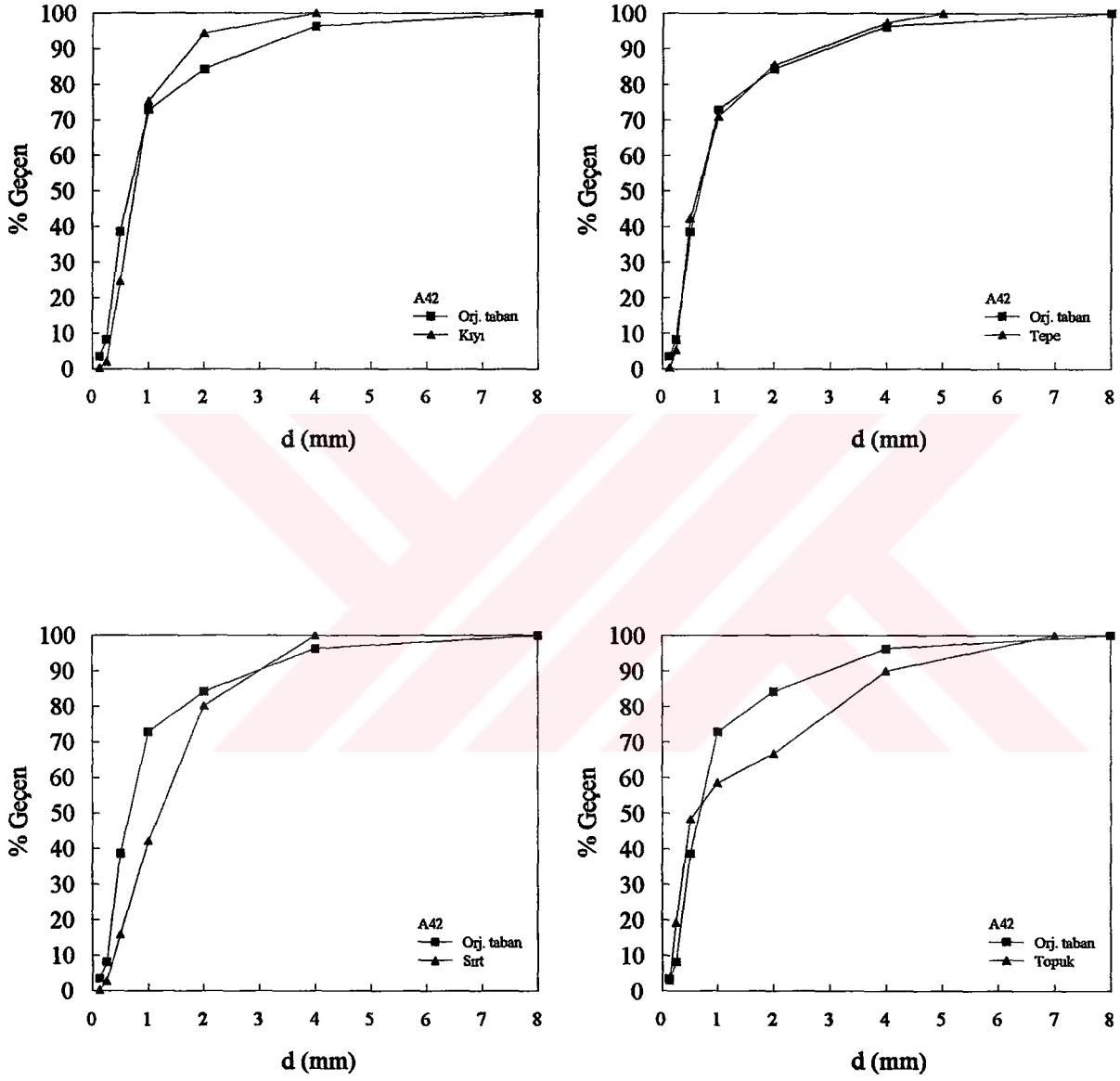


B malzemesi ($H_0=13.1$ cm, $T=2$ s)

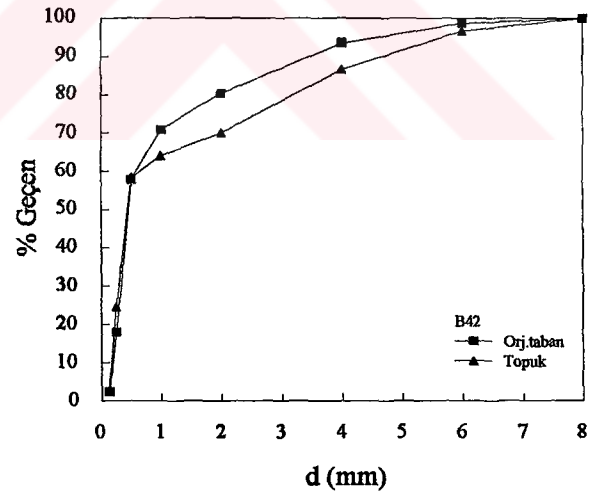
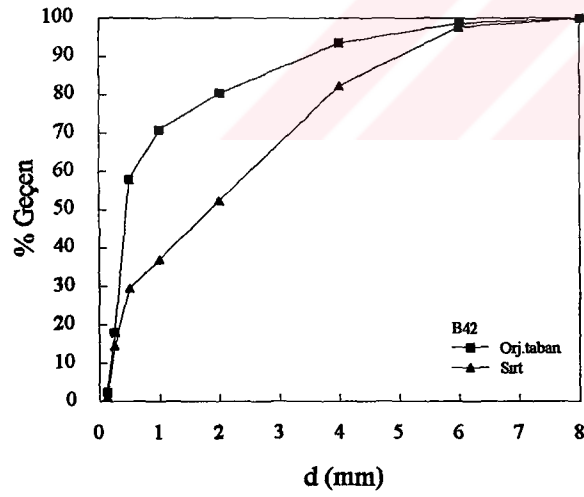
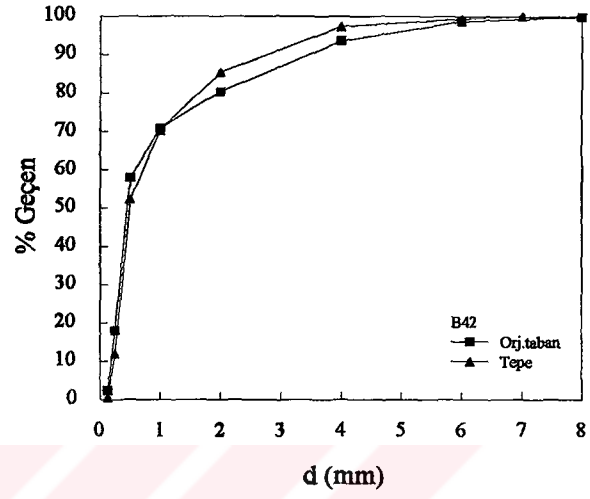
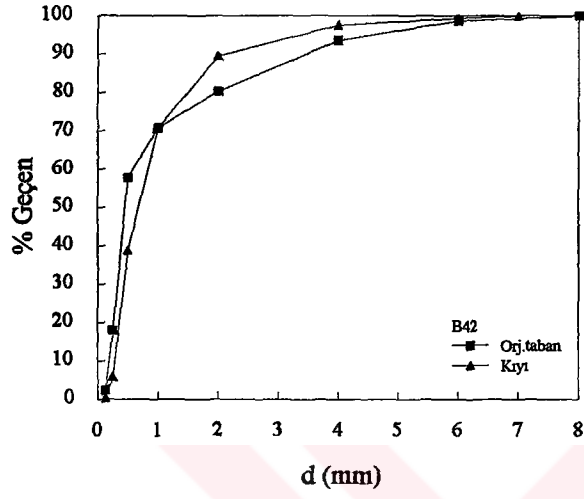


B malzemesi ($H_0=14.2$ cm, $T=2$ s)

Ek 2 Normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kırıya dik)

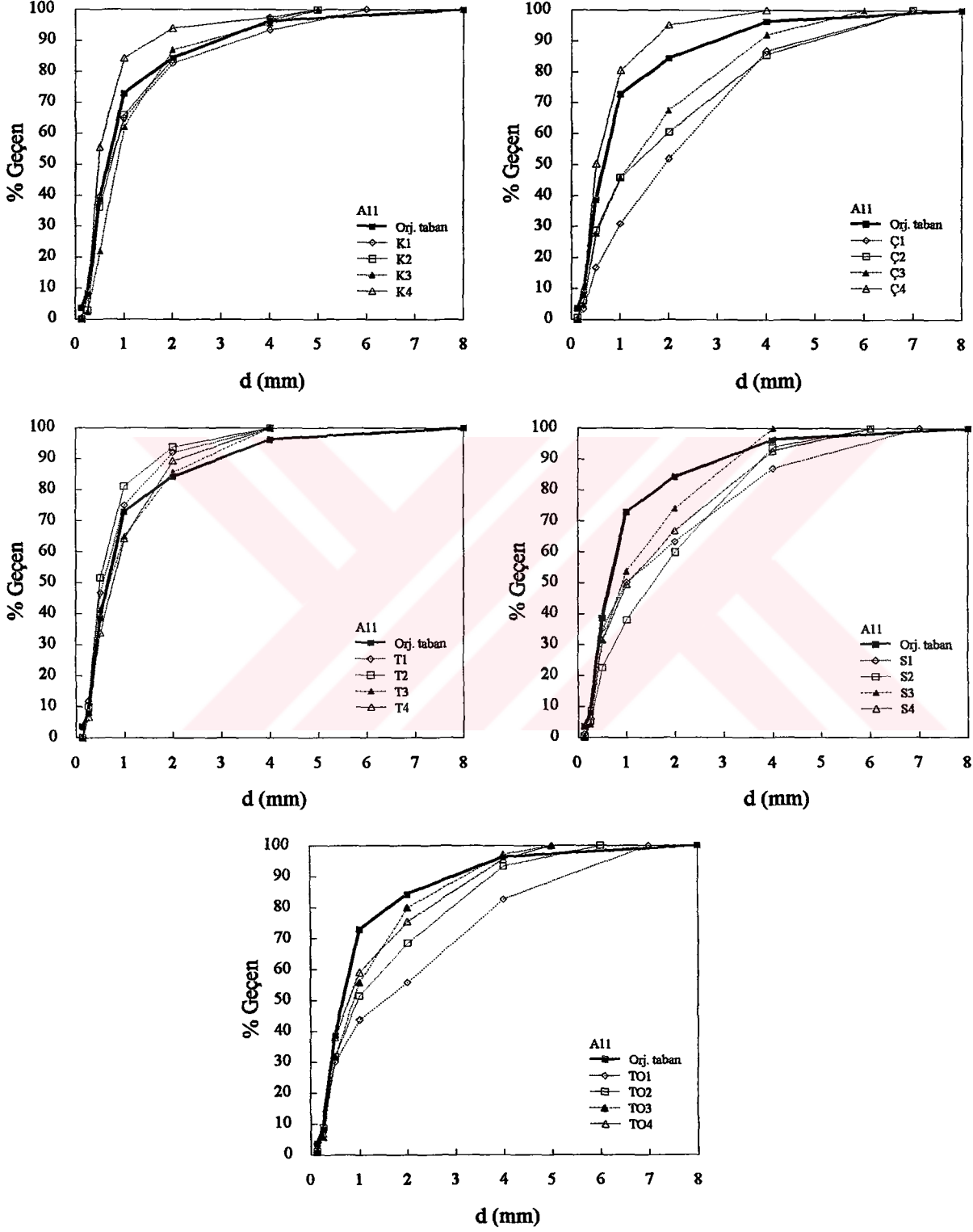


A malzemesi ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)

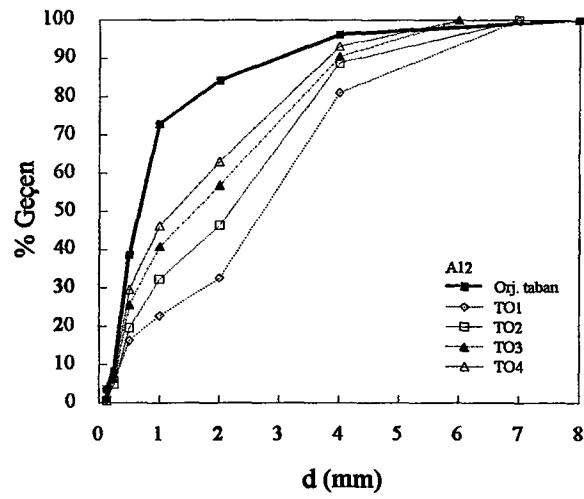
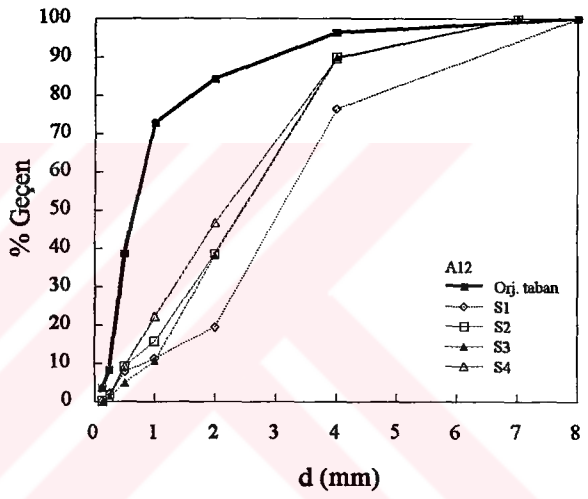
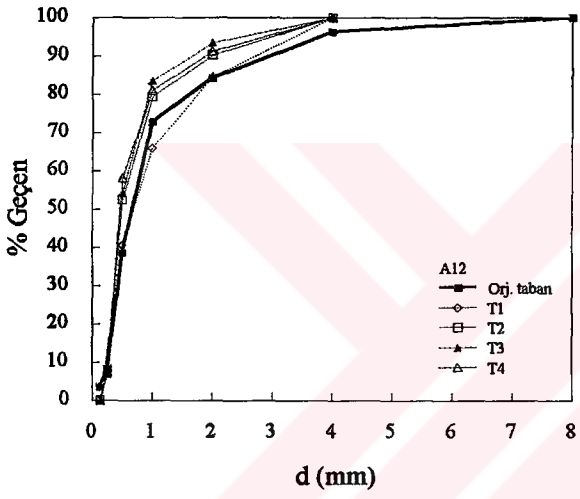
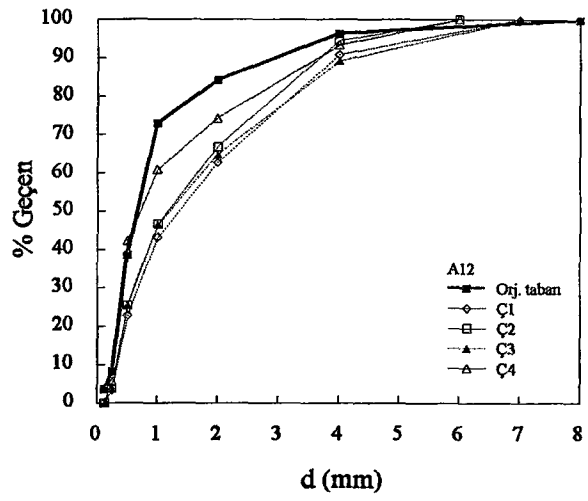
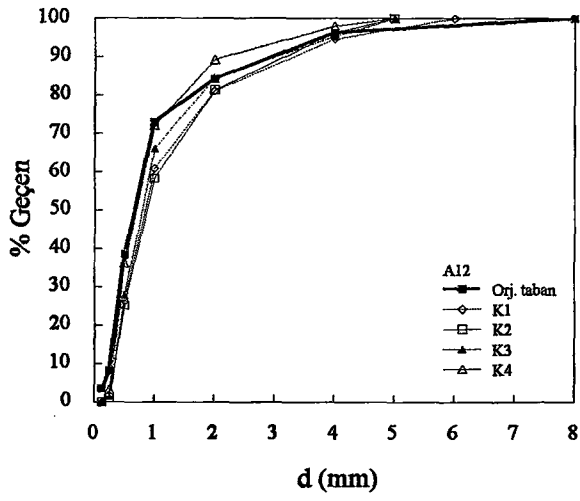


B malzemesi ($H_0=8$ cm, $T=2$ s)

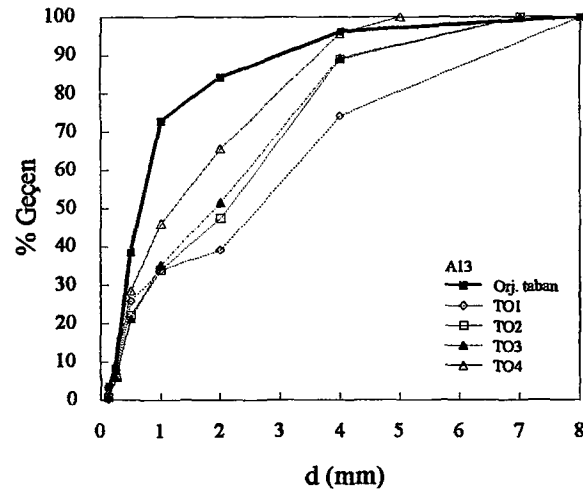
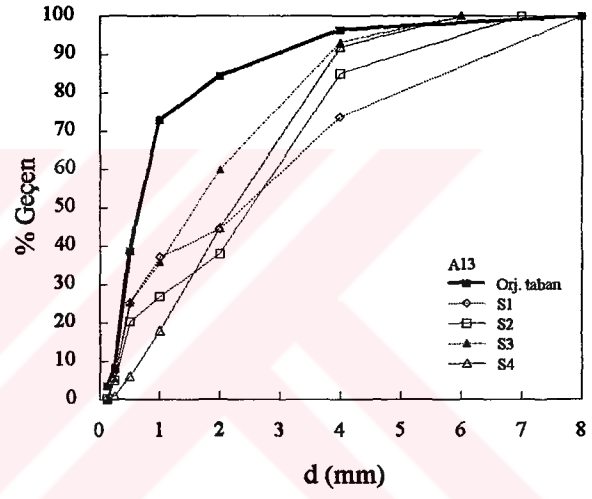
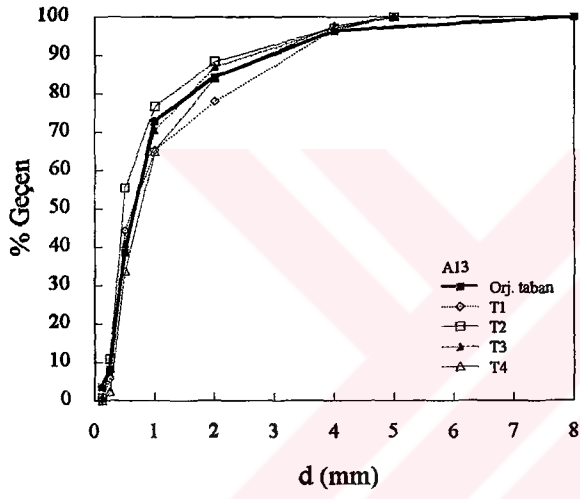
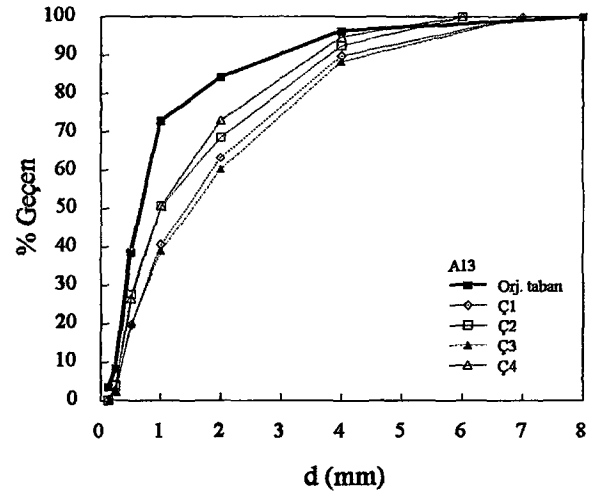
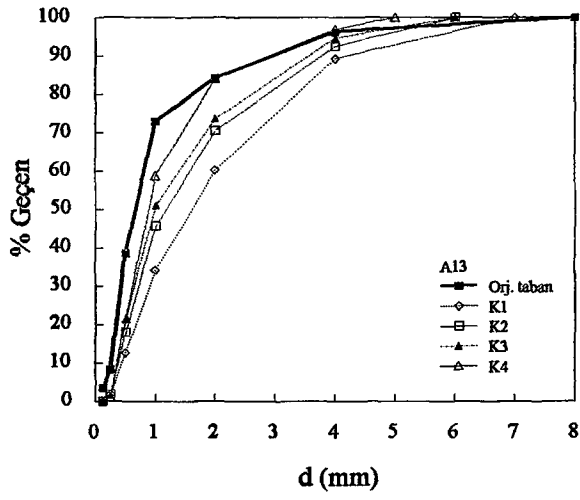
Ek 3 Fırtına profili boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyı boyu)



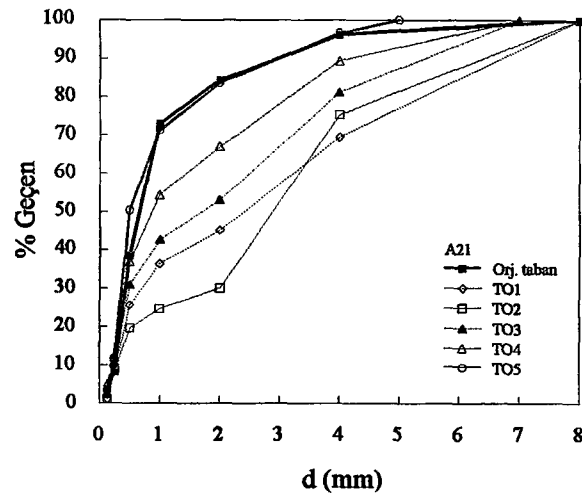
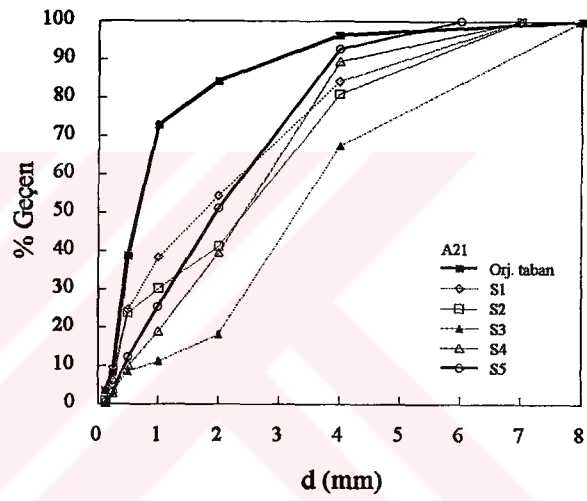
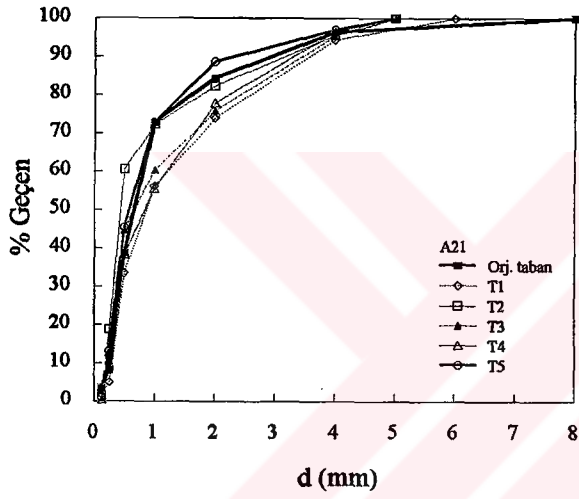
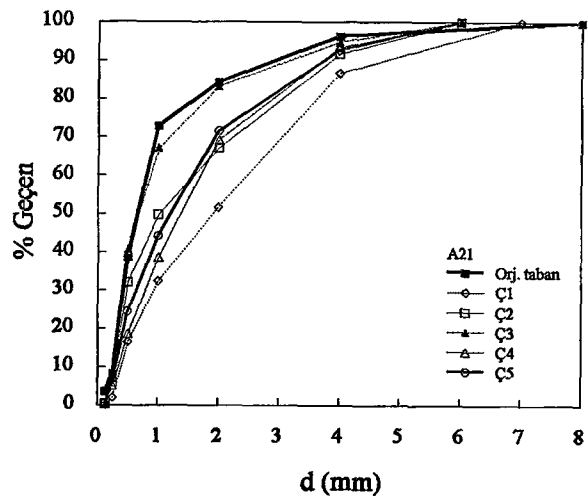
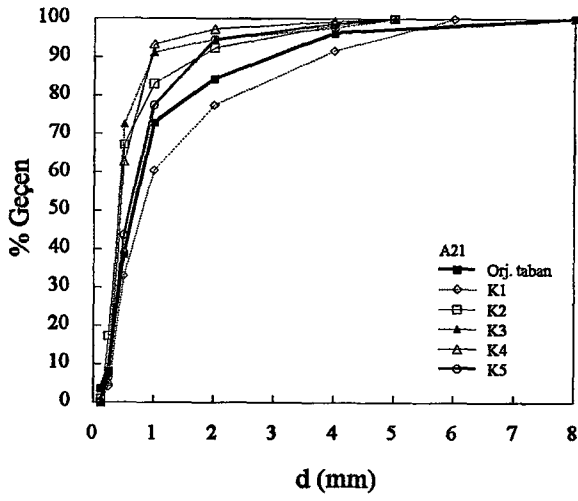
A malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)



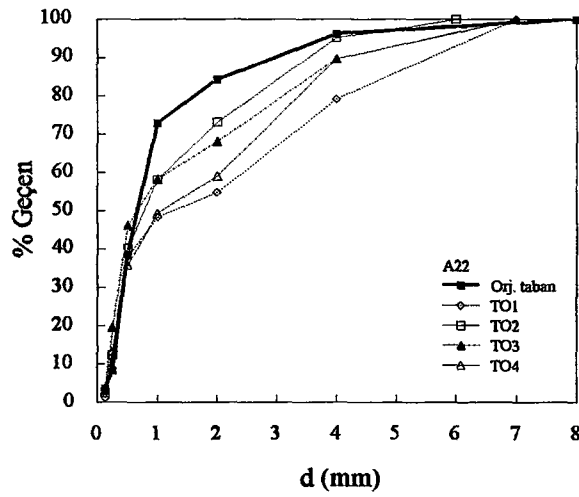
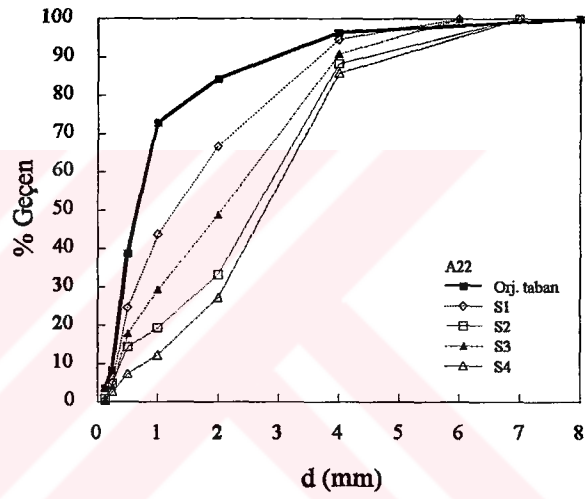
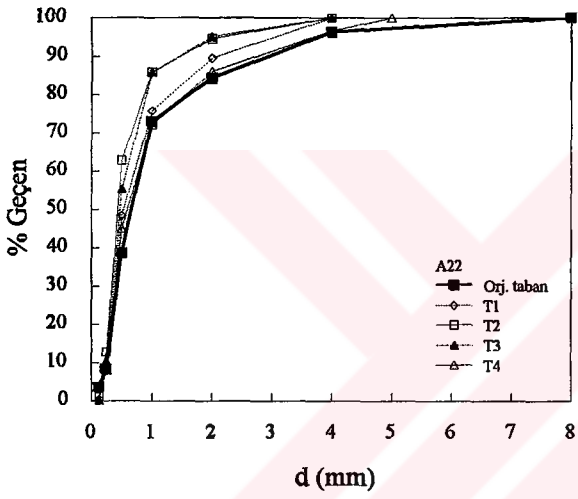
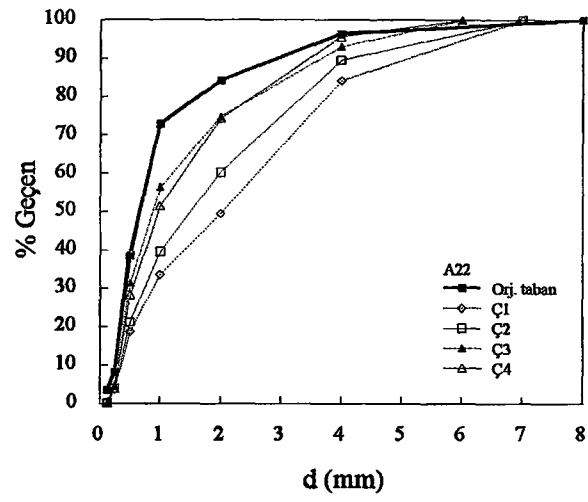
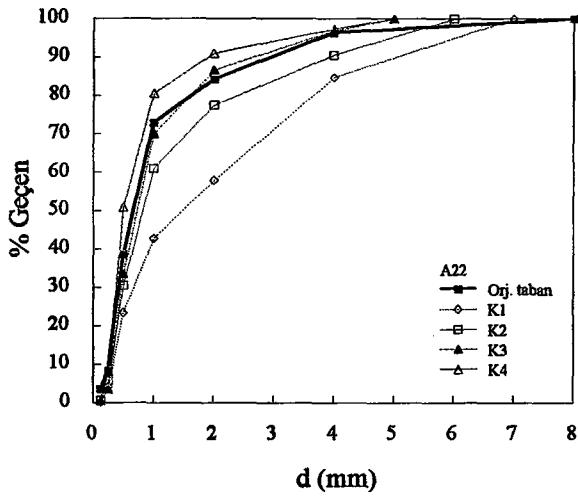
A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)



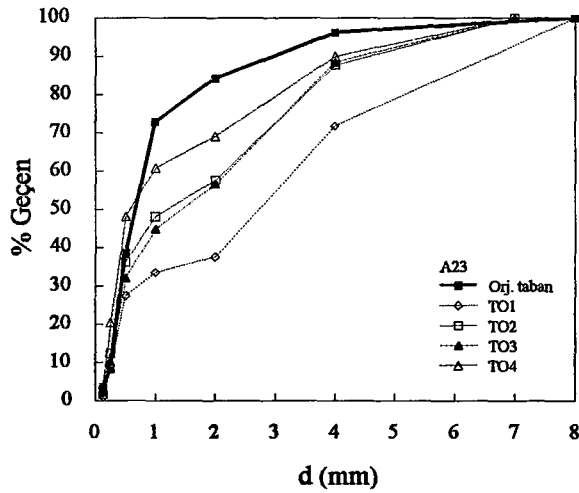
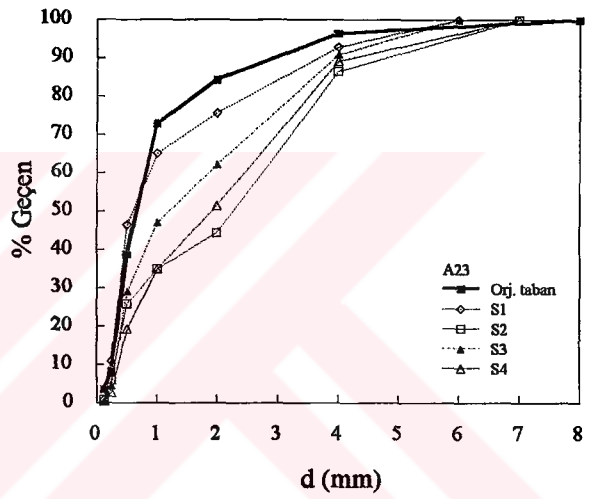
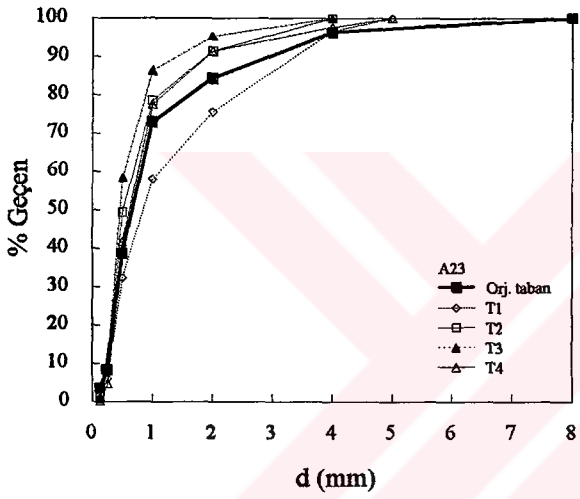
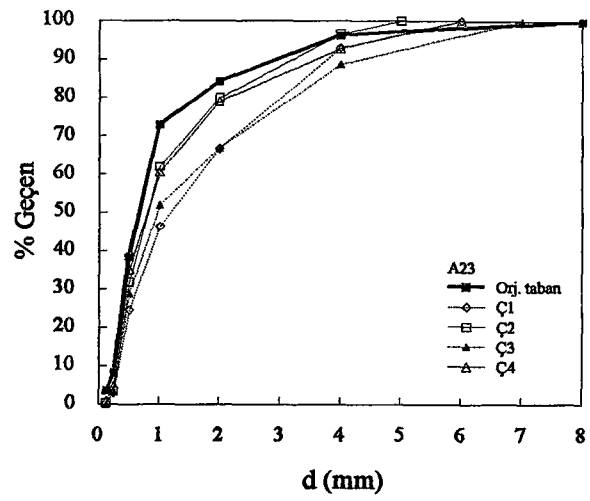
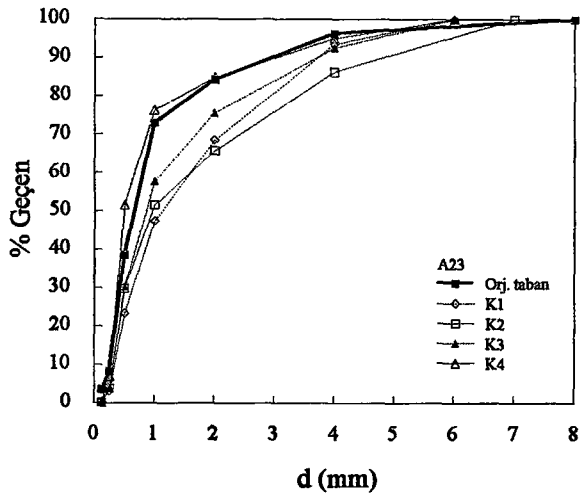
A malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)



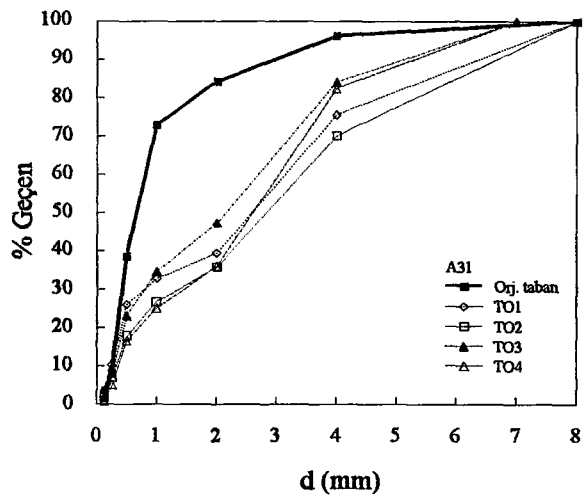
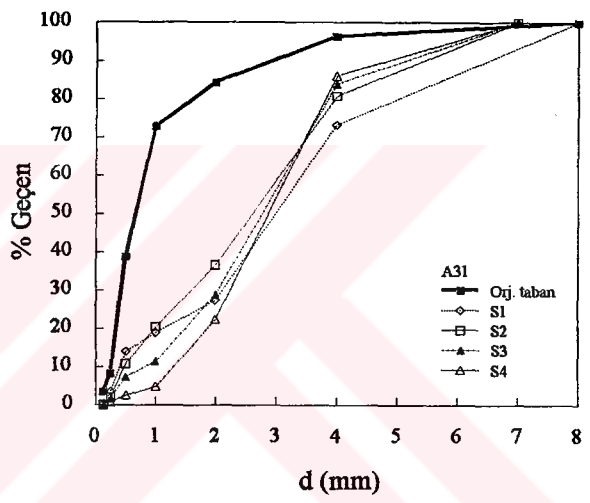
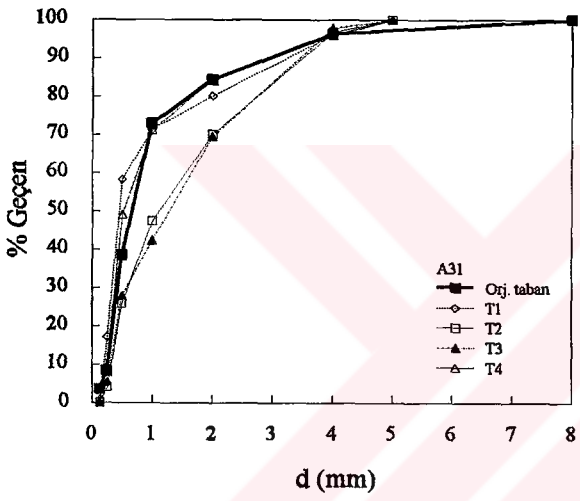
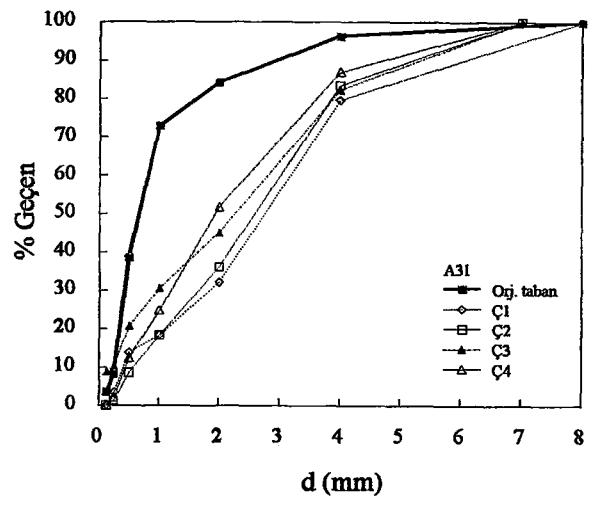
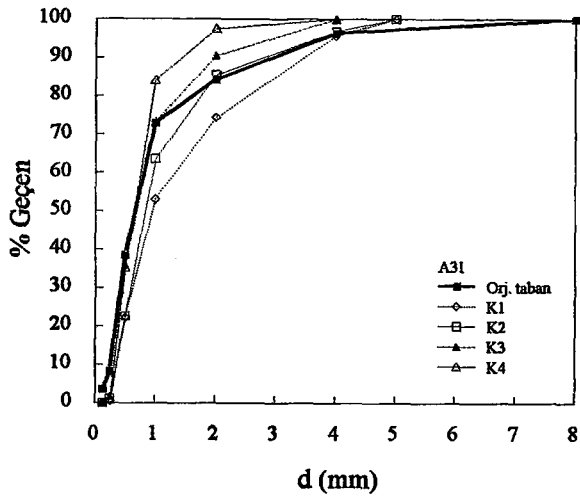
A malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)



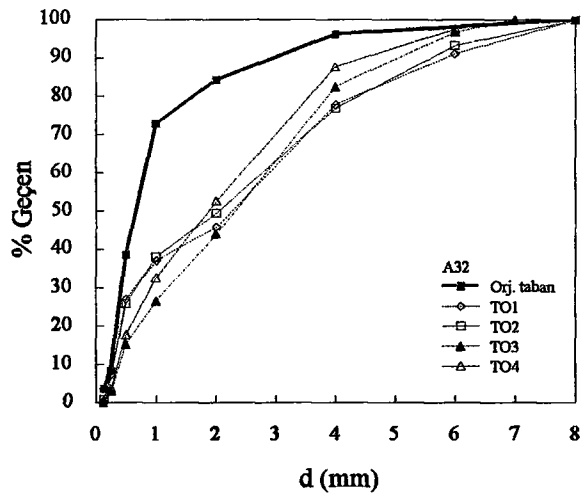
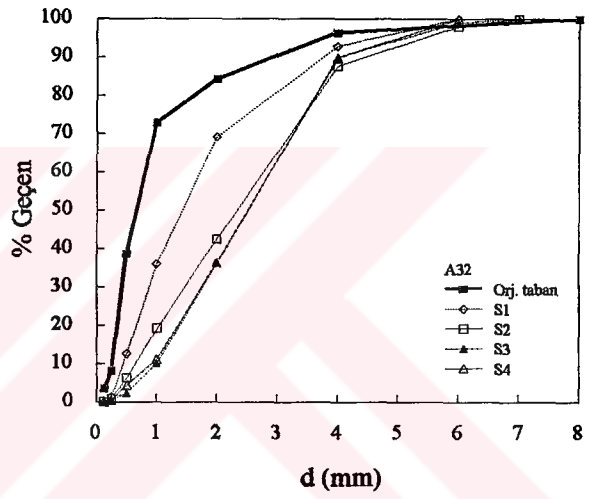
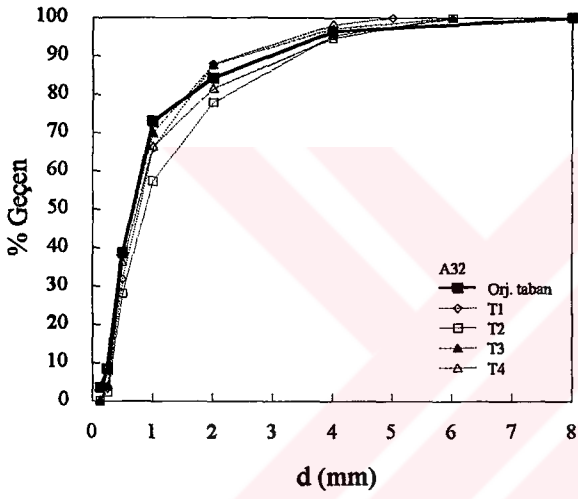
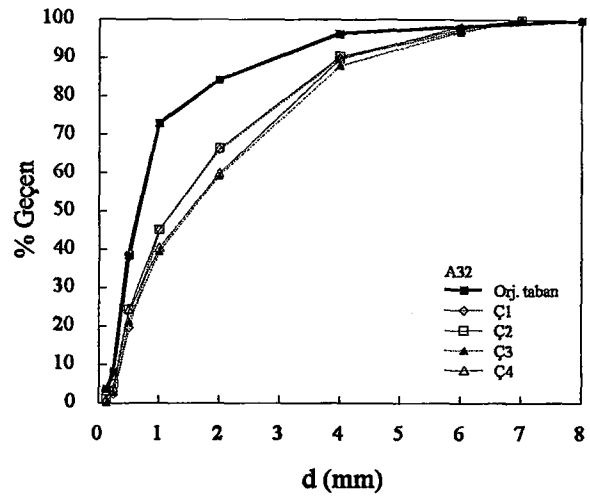
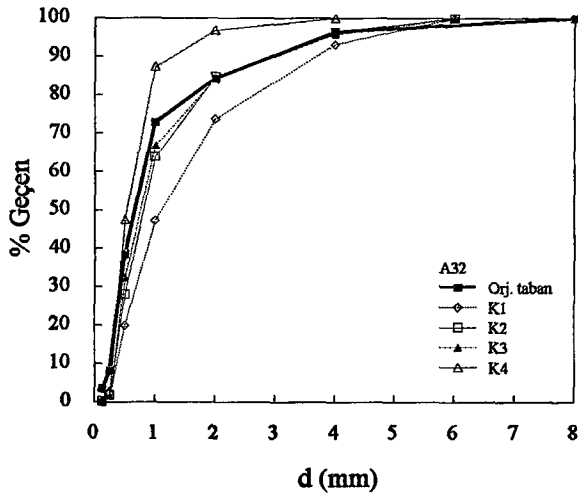
A malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)



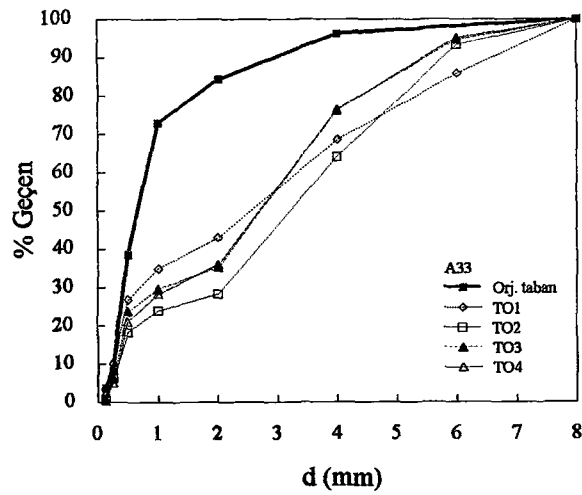
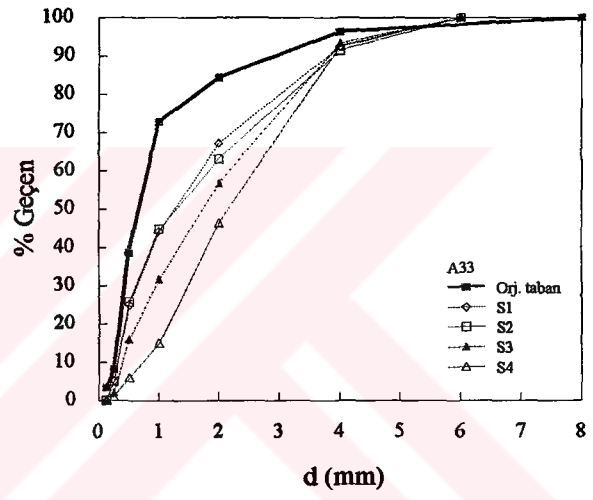
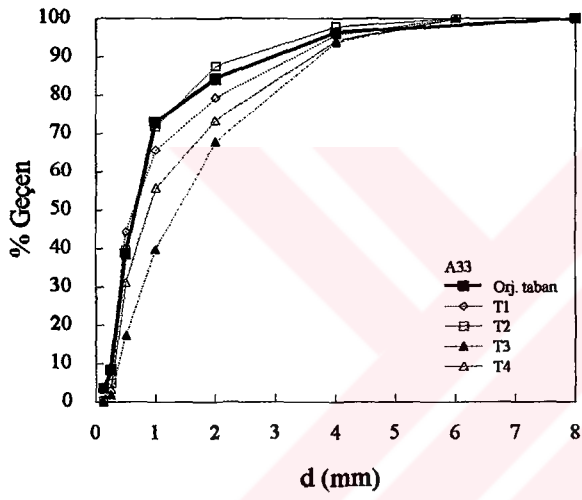
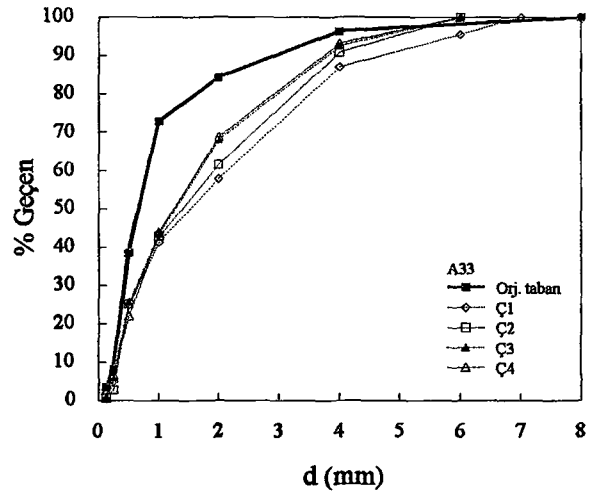
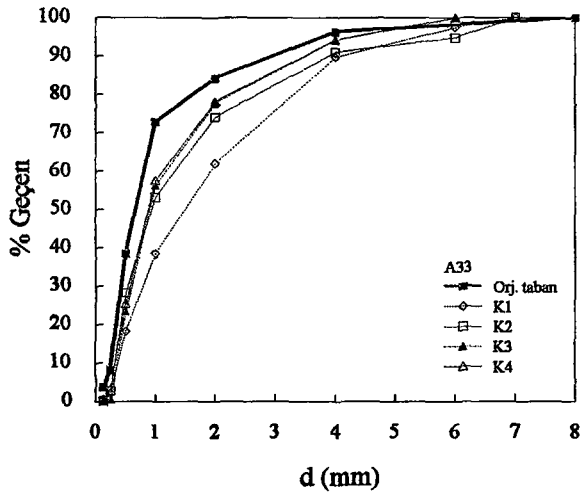
A malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)



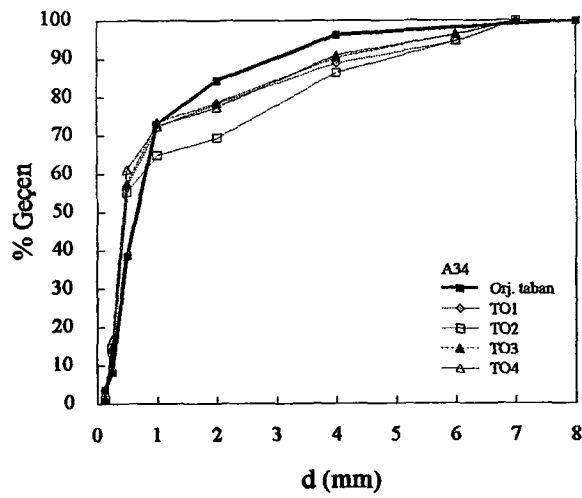
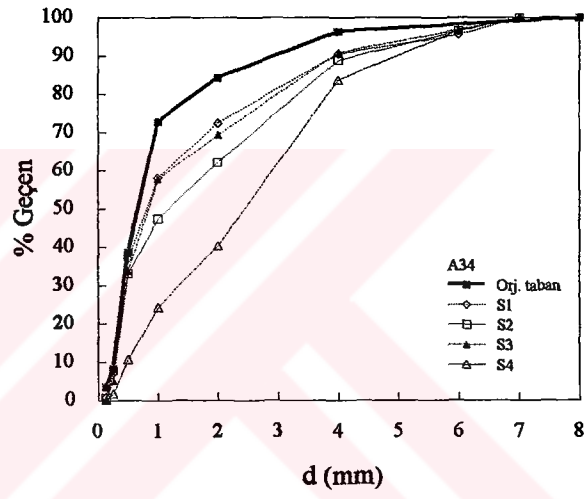
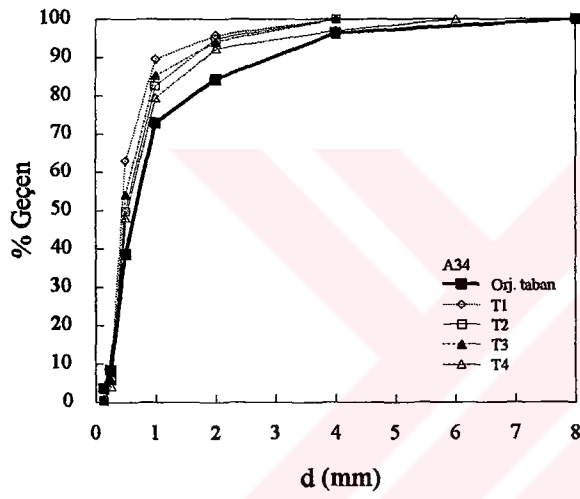
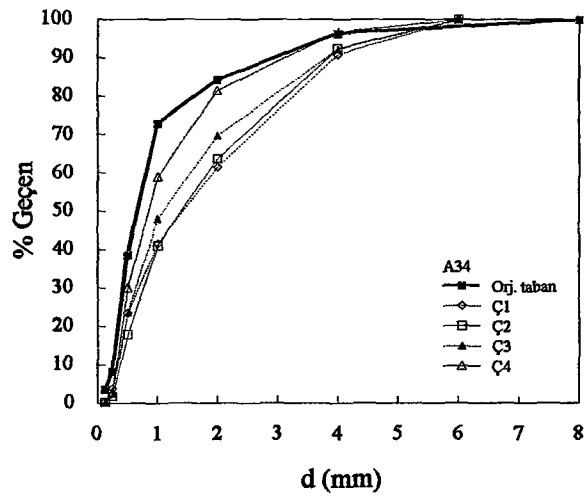
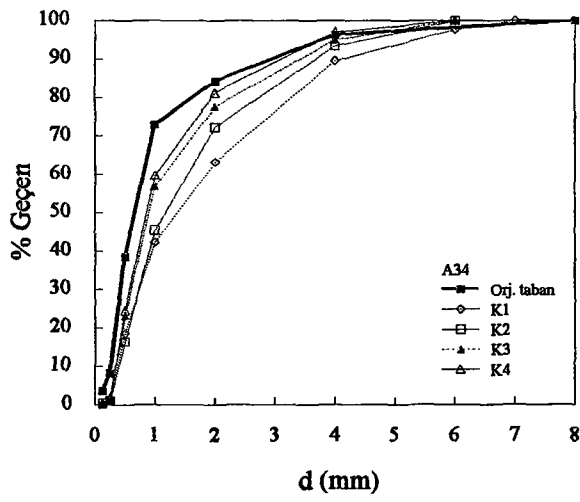
A malzemesi ($H_0=5.8$ cm, $T=1.6$ s)



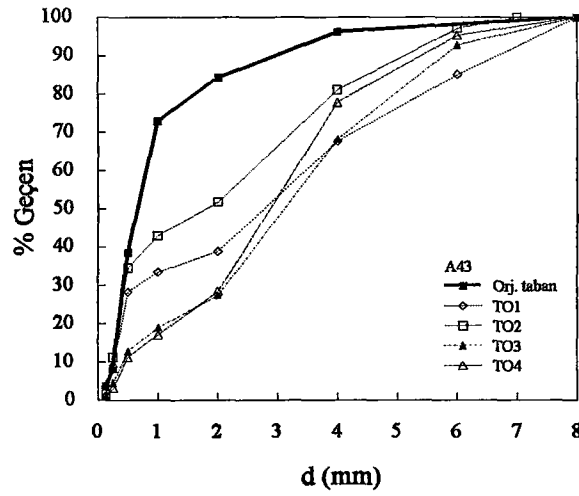
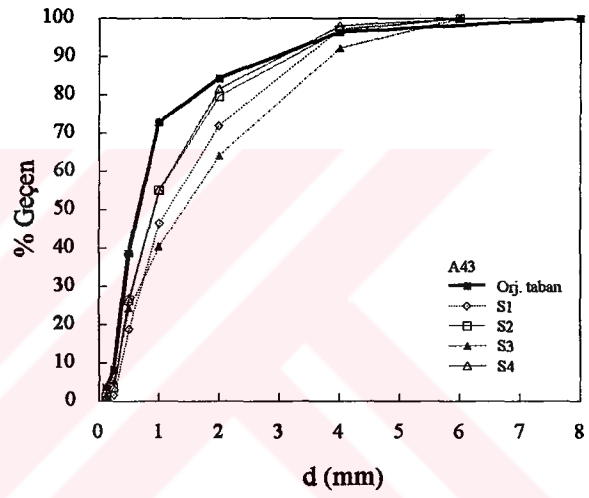
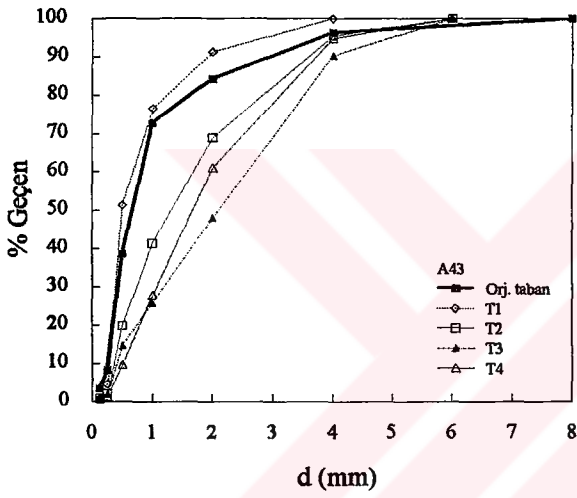
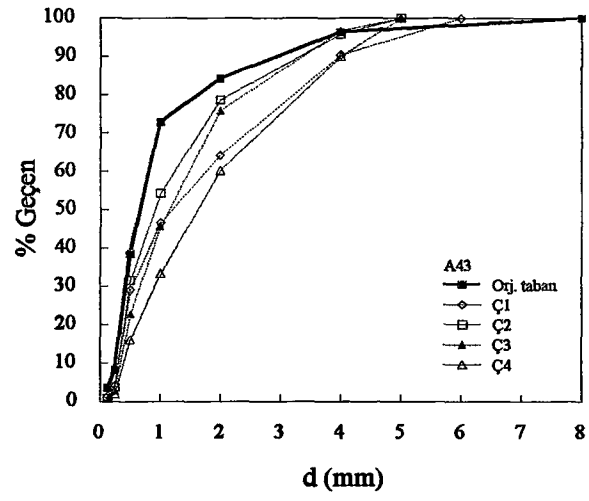
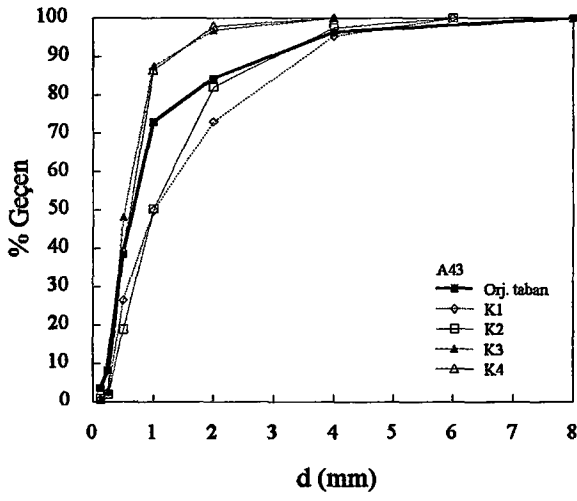
A malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)



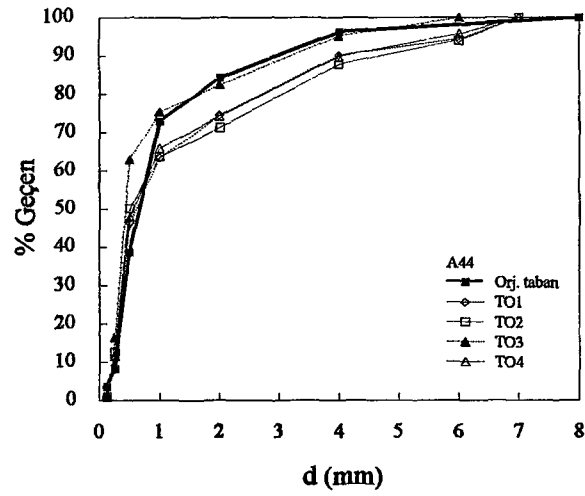
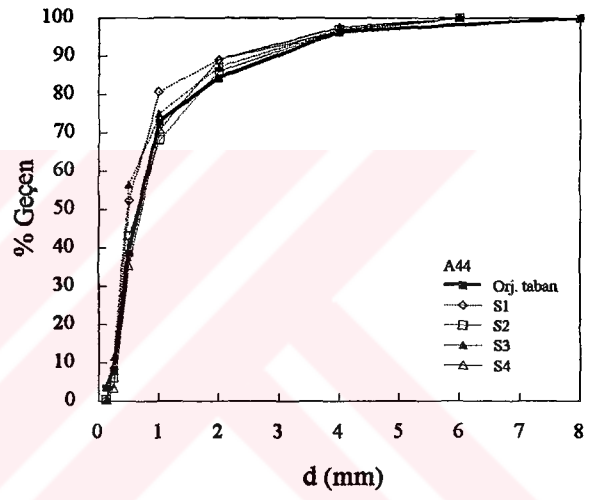
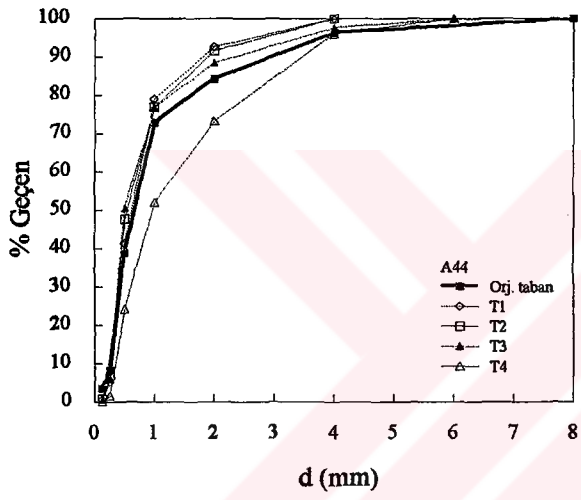
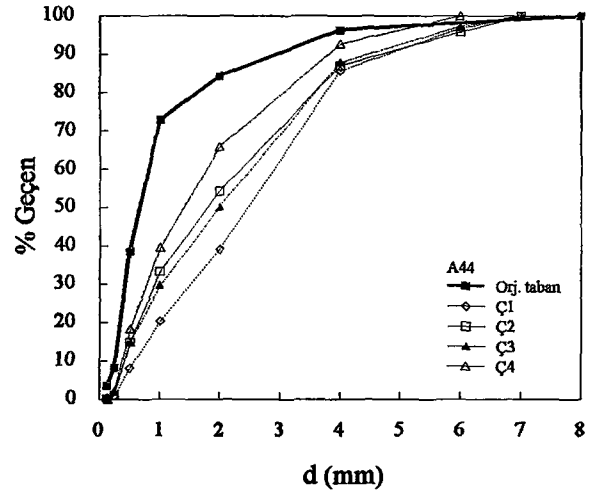
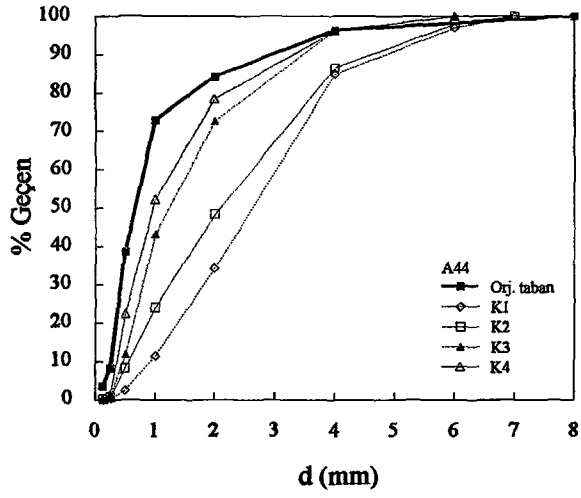
A malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)



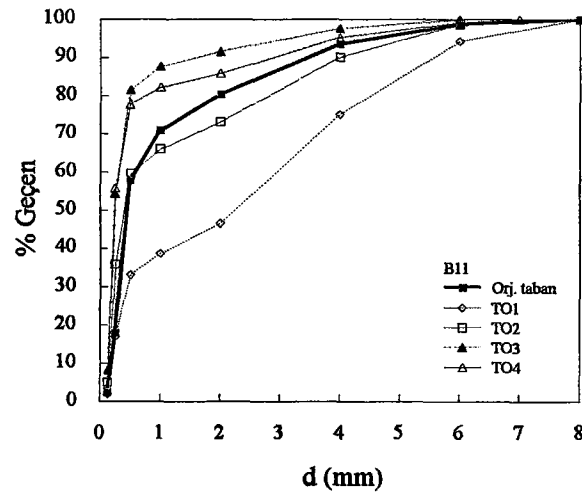
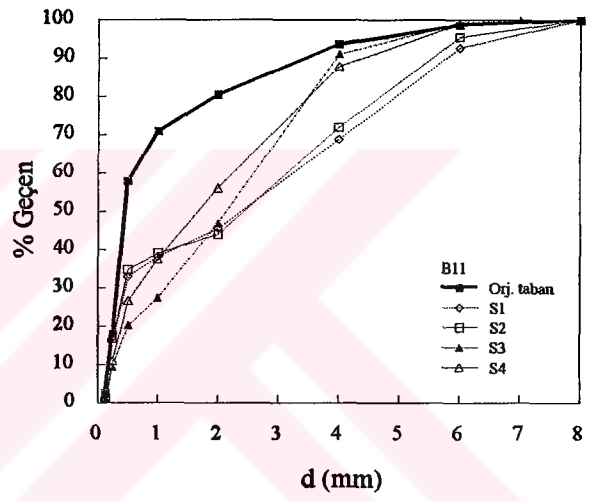
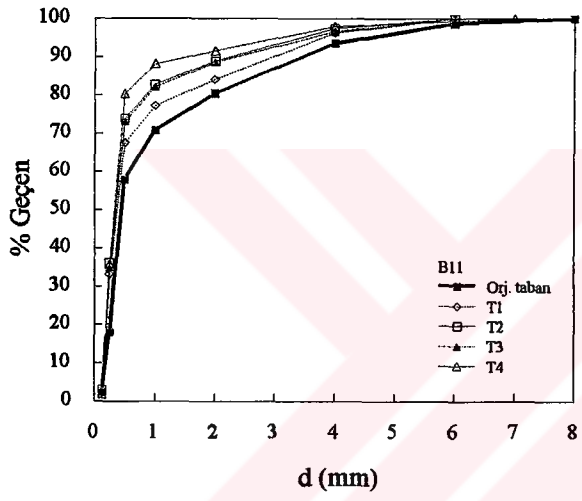
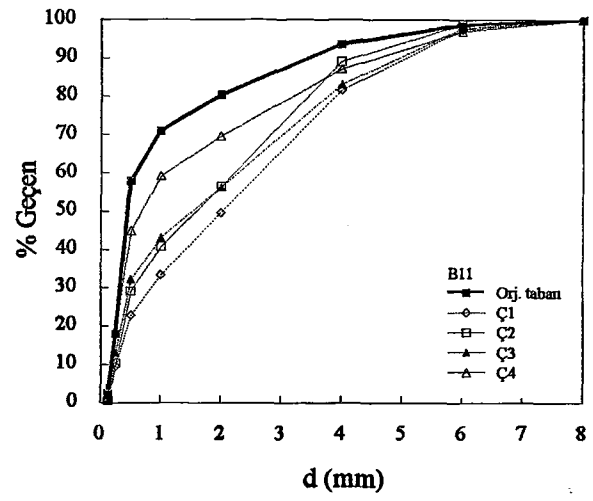
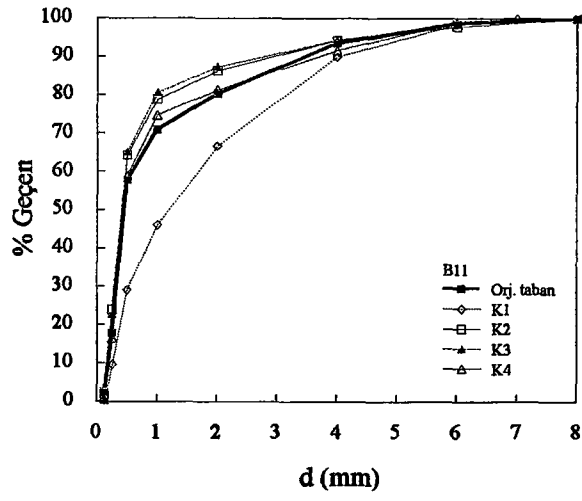
A malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)



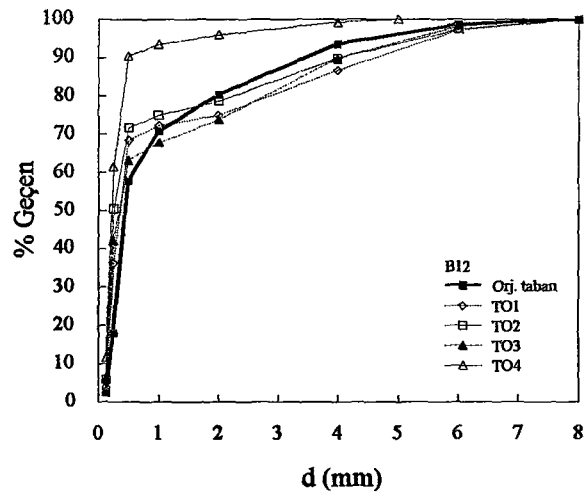
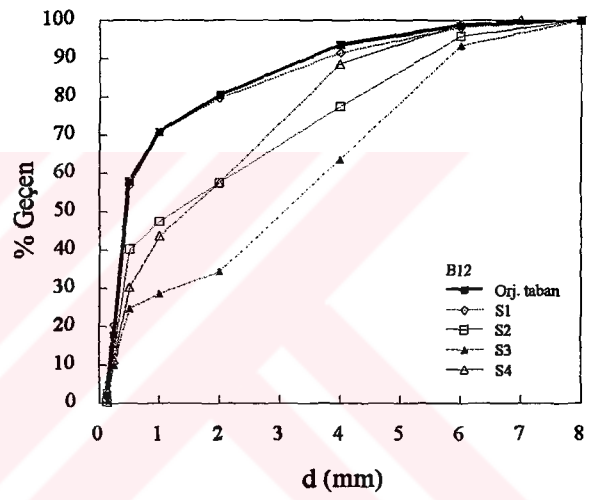
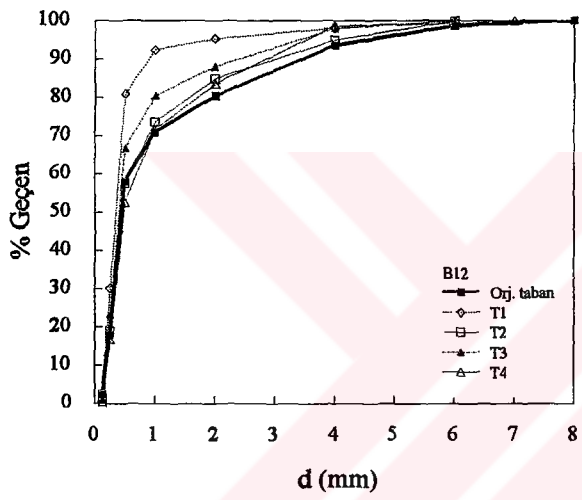
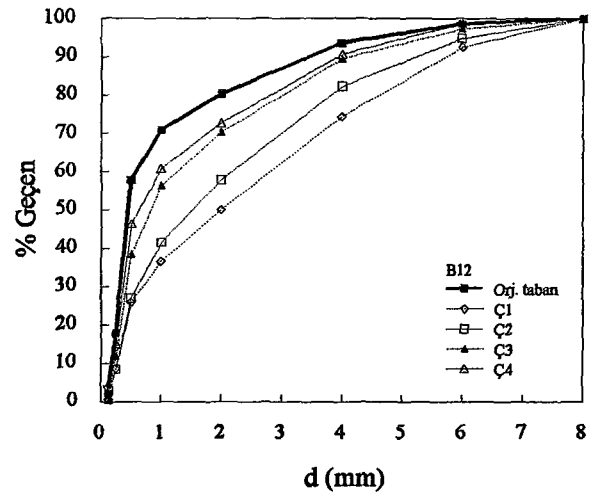
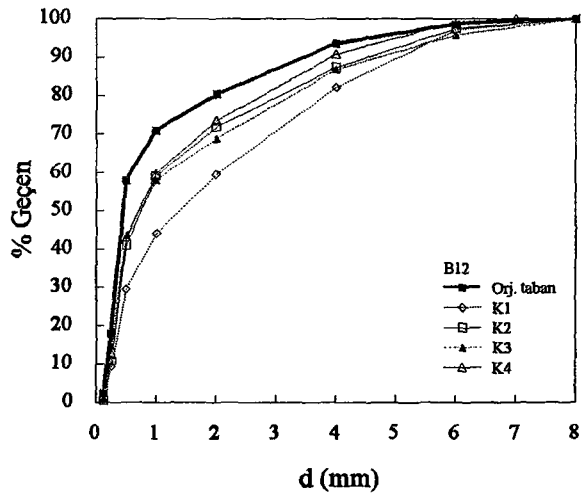
A malzemesi ($H_0=10.6$ cm, $T=2$ s)



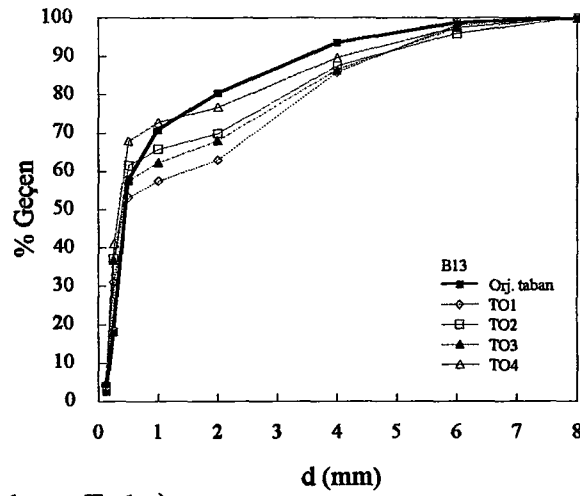
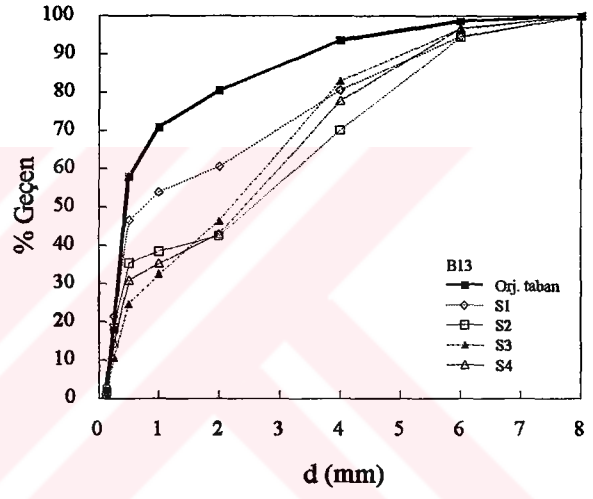
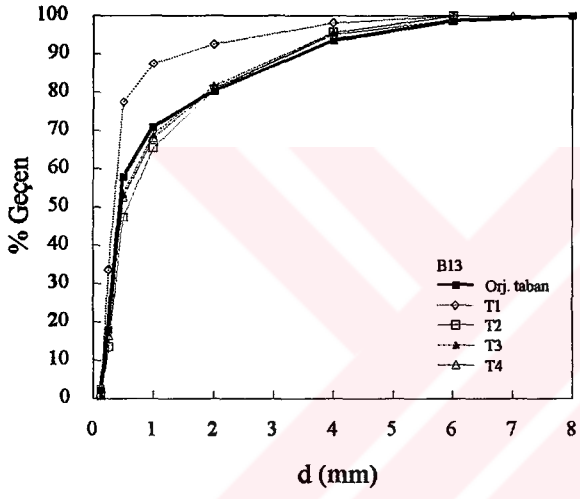
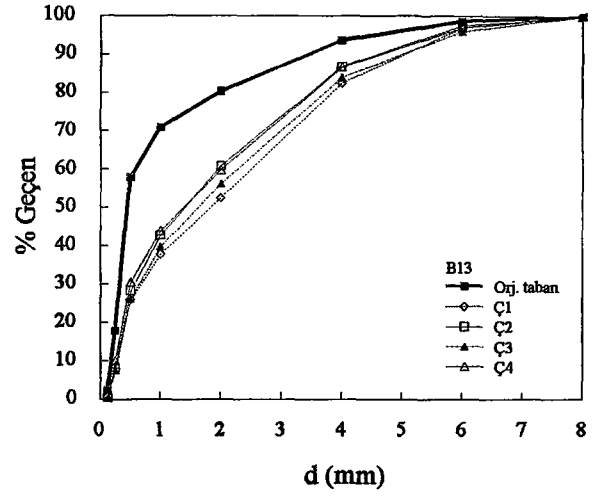
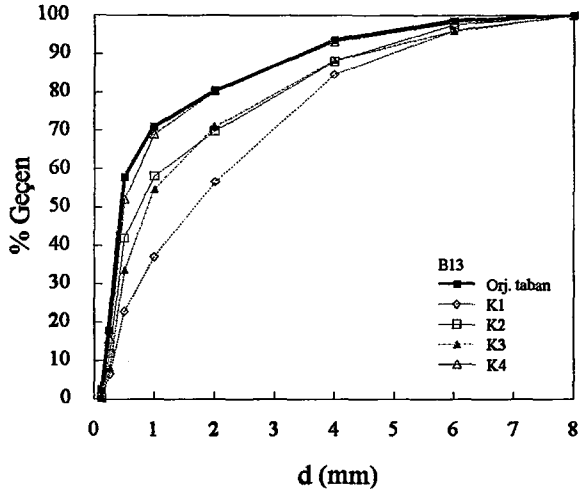
A malzemesi ($H_0=13.1$ cm, $T=2$ s)



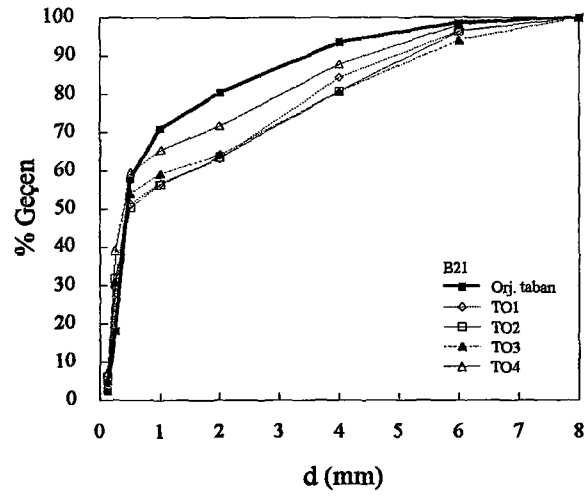
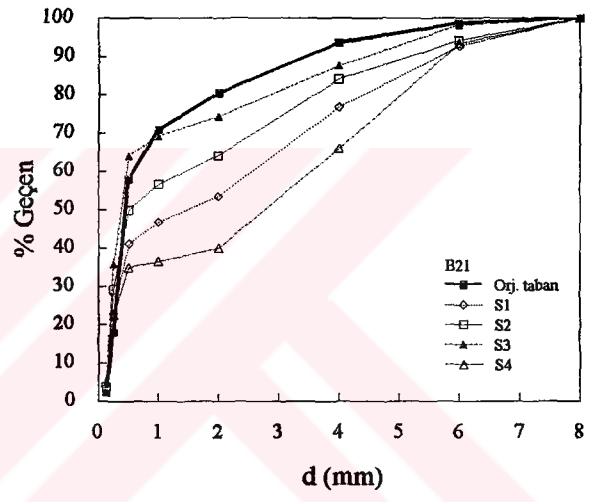
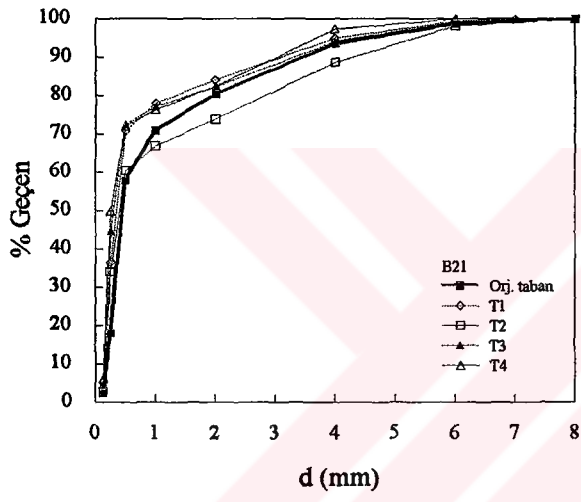
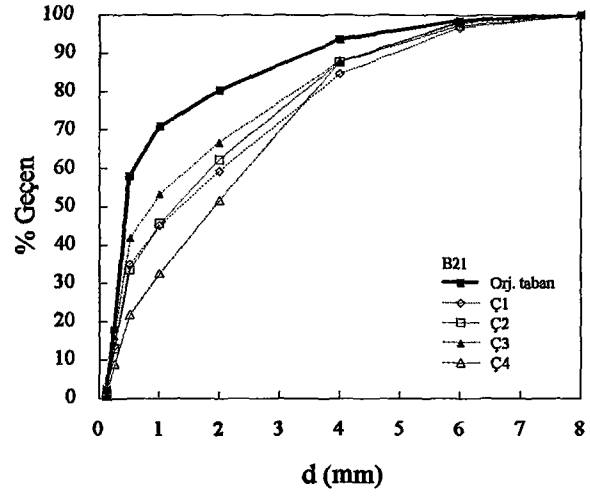
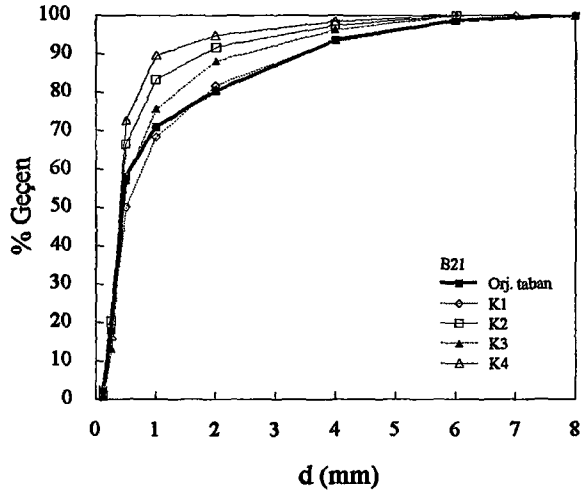
B malzemesi ($H_0=5.4$ cm, $T=1$ s)



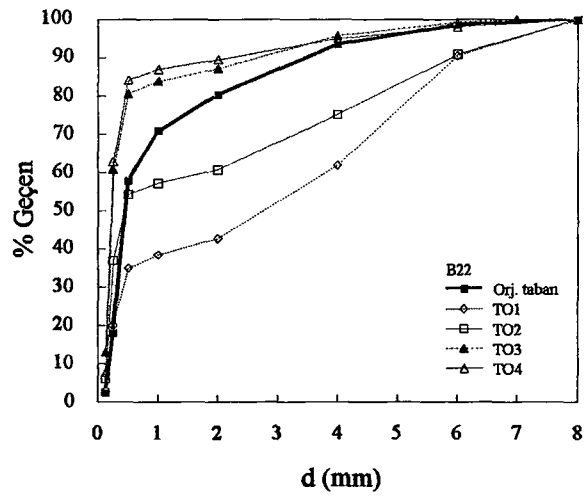
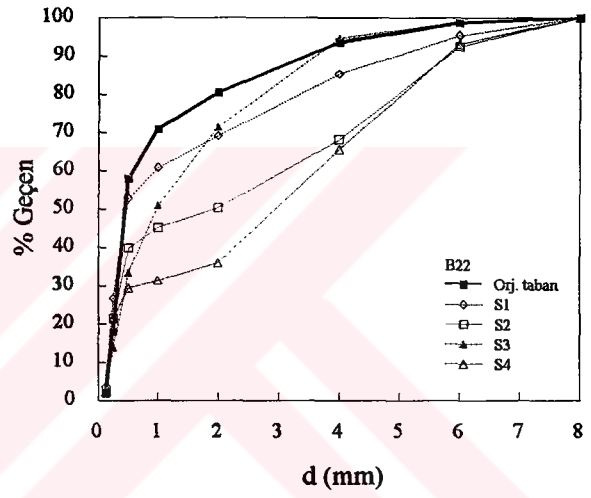
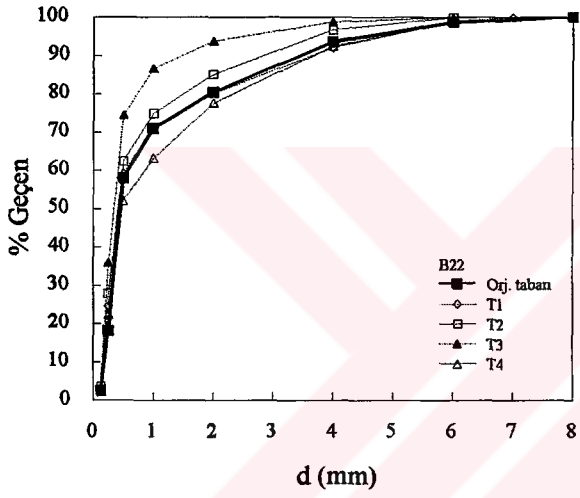
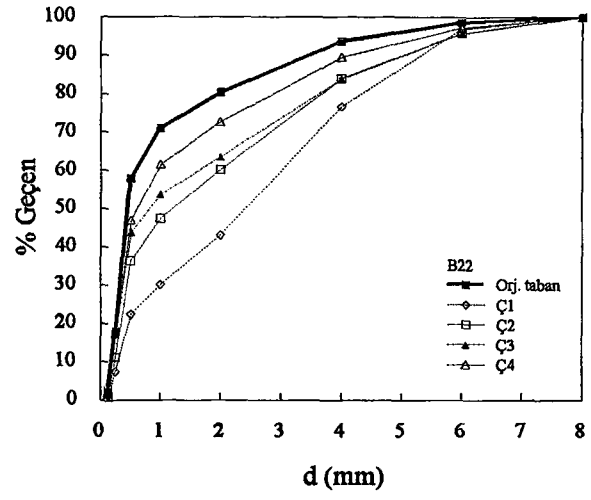
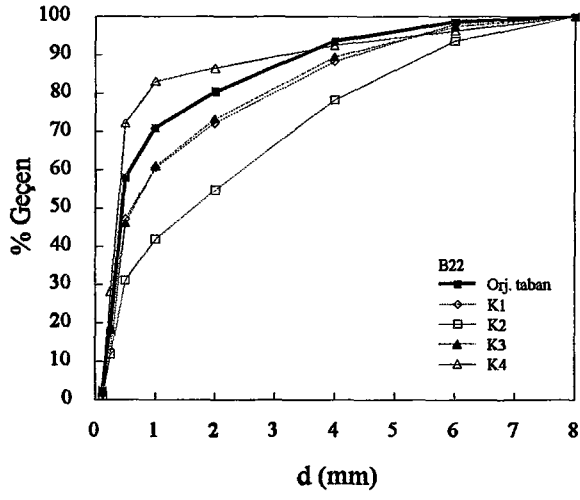
B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1$ s)



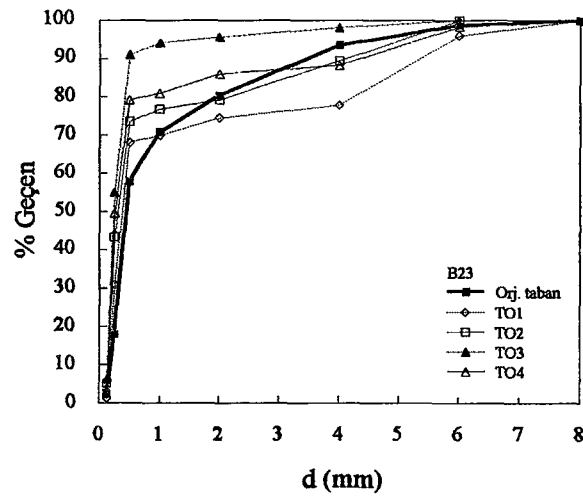
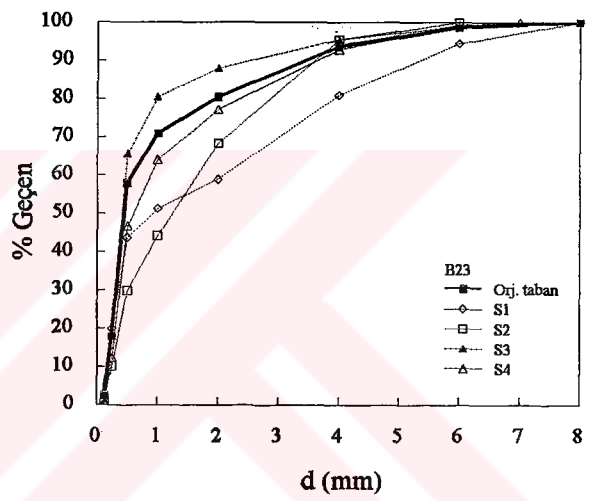
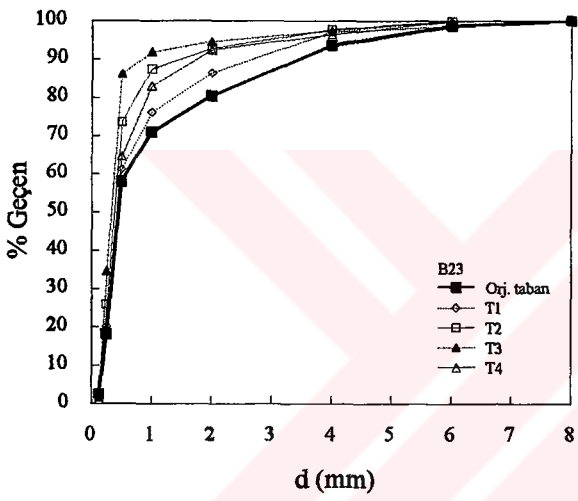
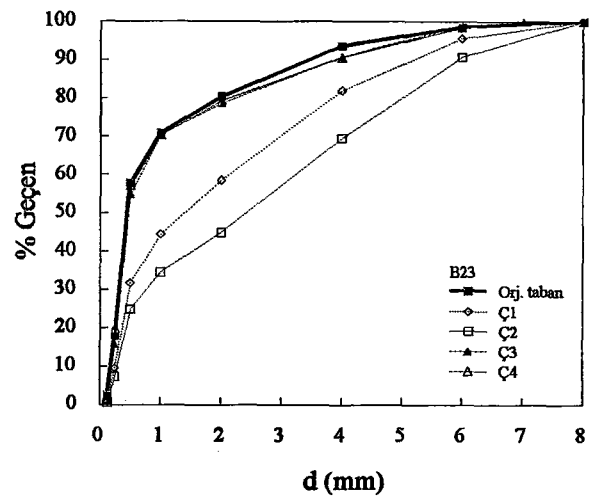
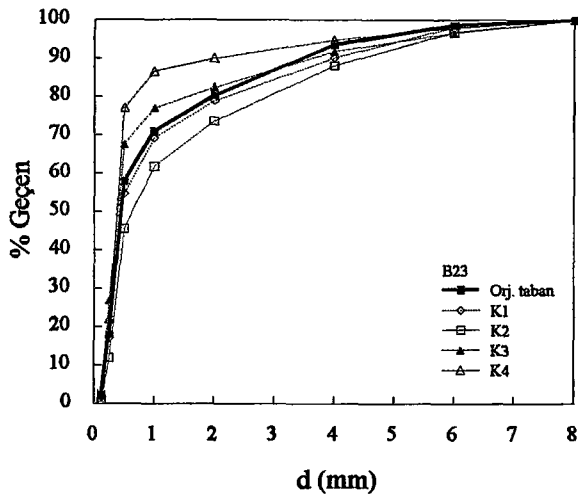
B malzemesi ($H_0=10.1$ cm, $T=1$ s)



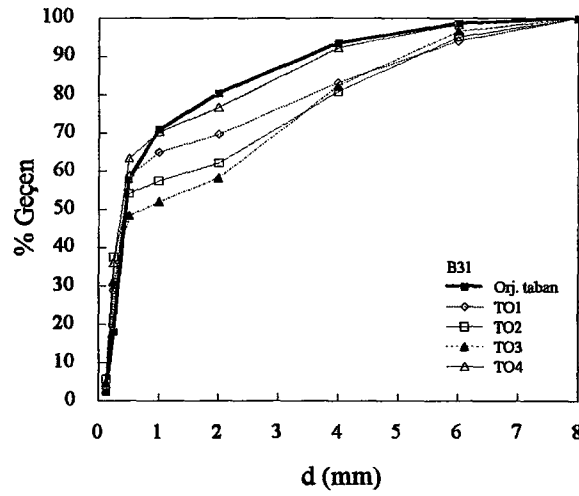
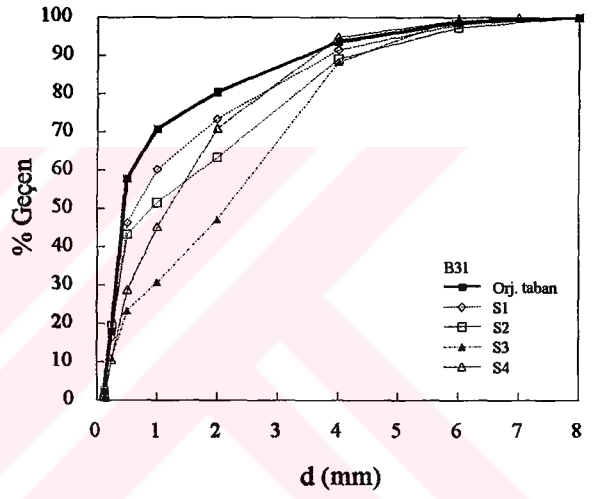
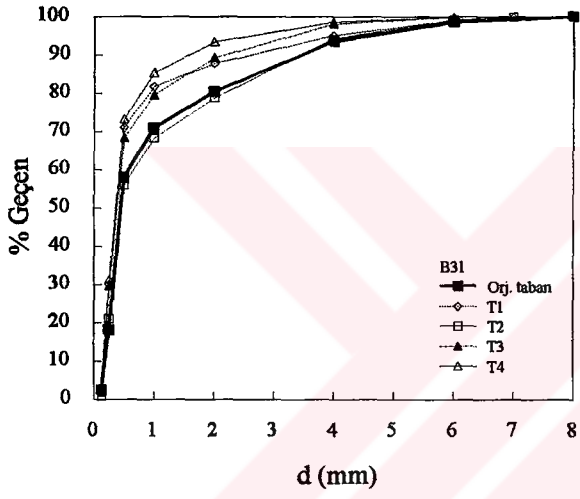
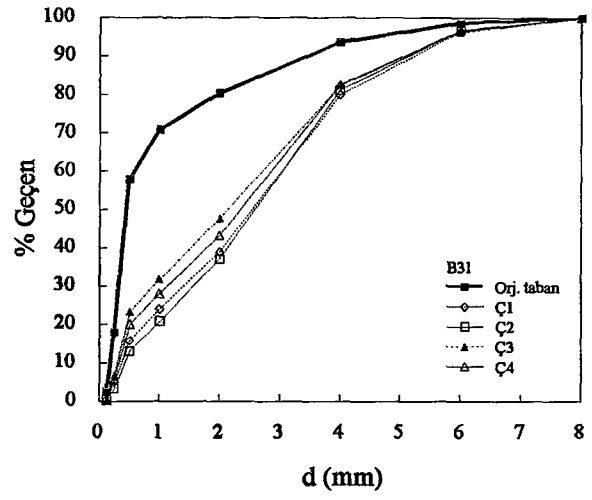
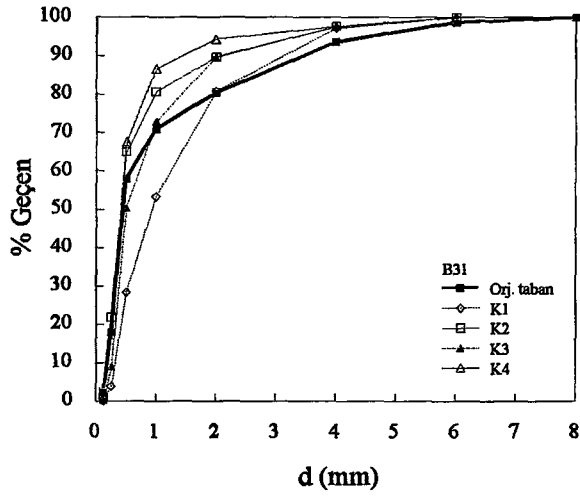
B malzemesi ($H_0=5.0$ cm, $T=1.2$ s)



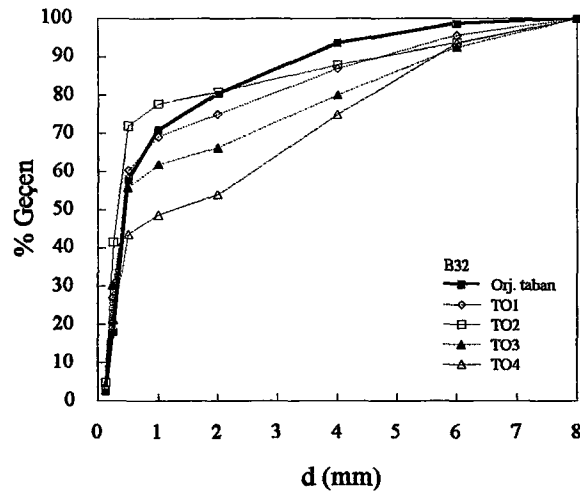
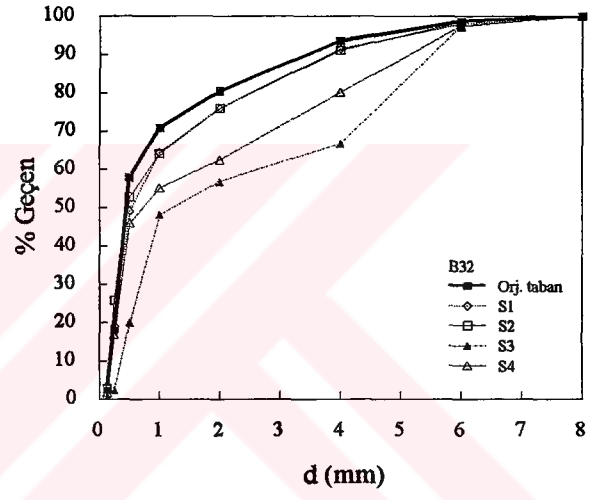
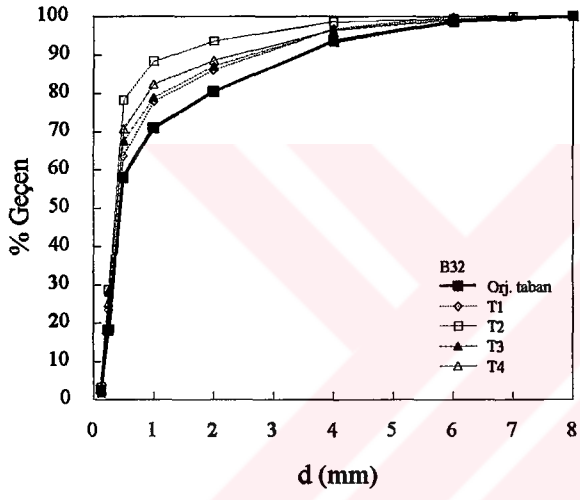
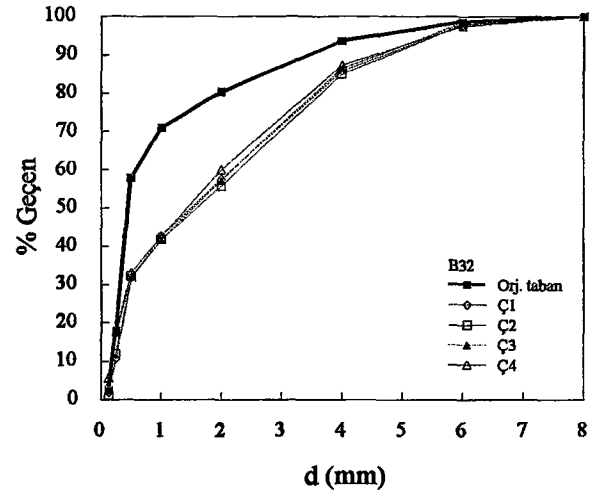
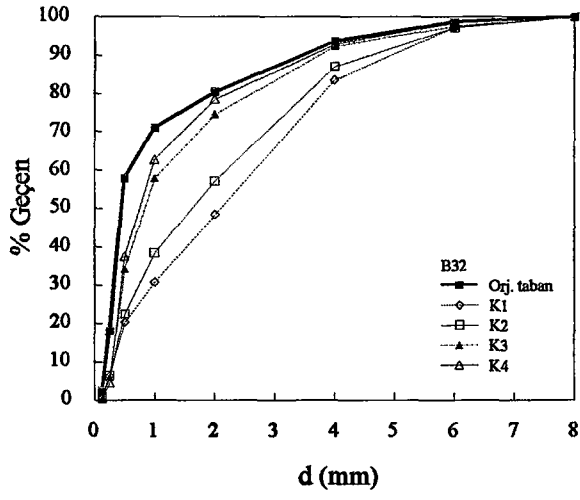
B malzemesi ($H_0=7.8$ cm, $T=1.2$ s)



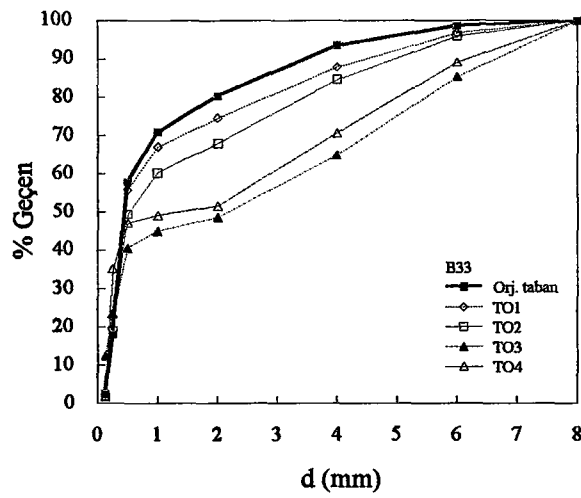
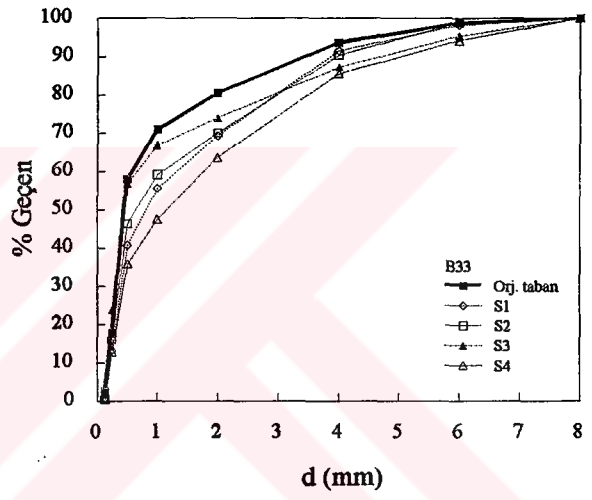
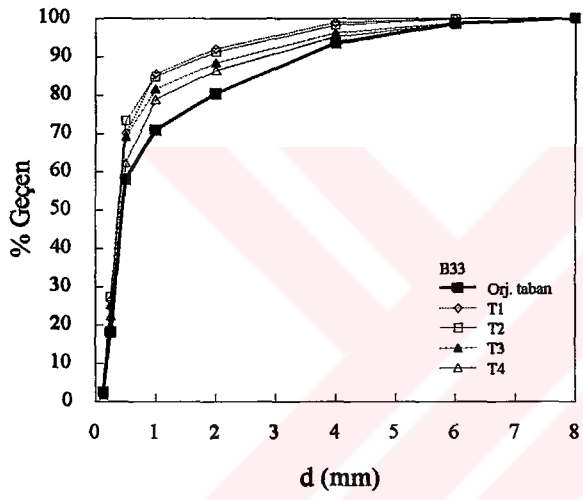
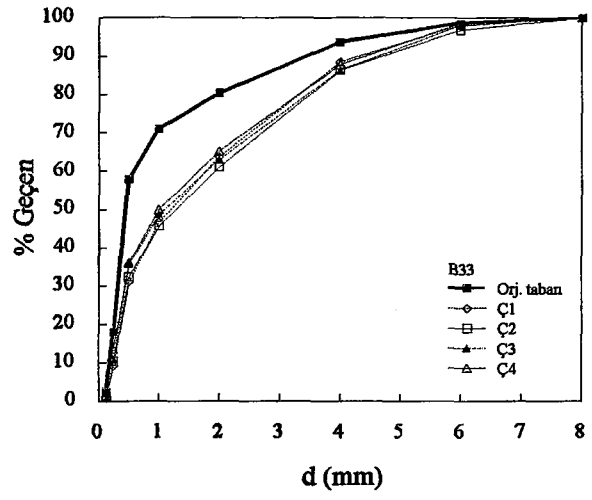
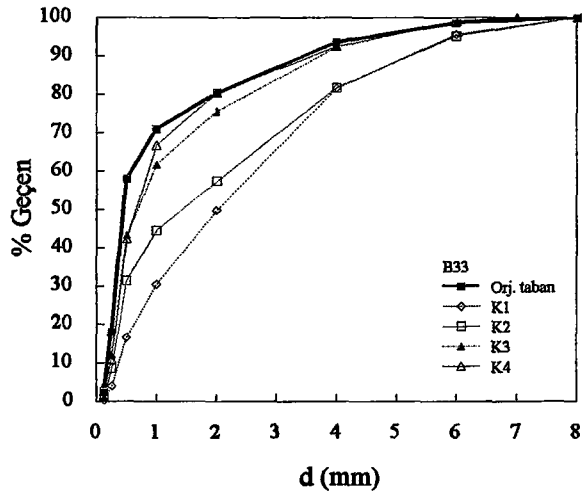
B malzemesi ($H_0=10.5$ cm, $T=1.2$ s)



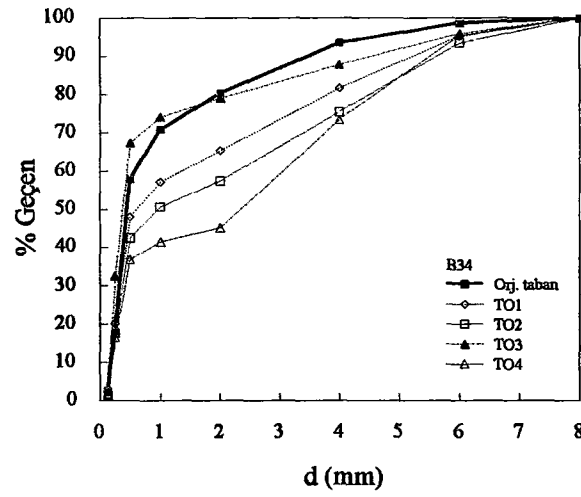
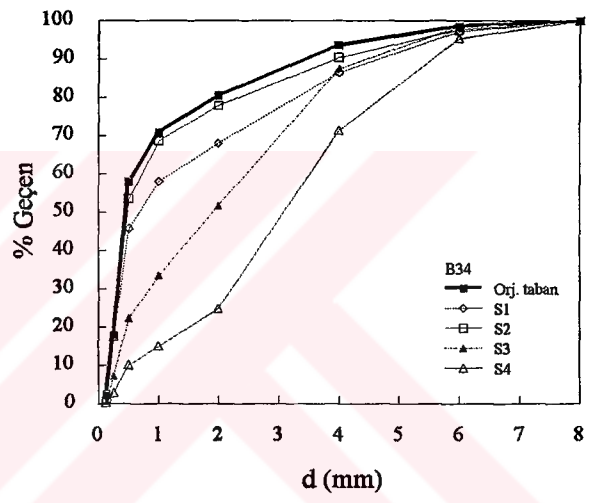
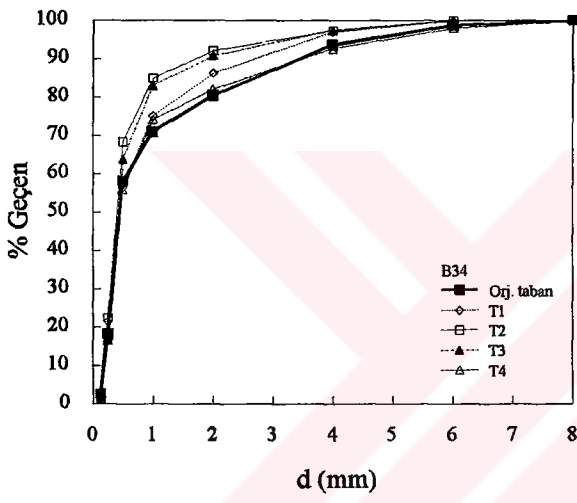
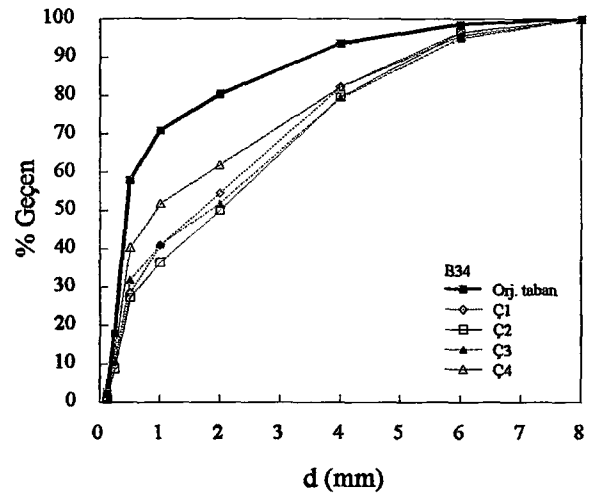
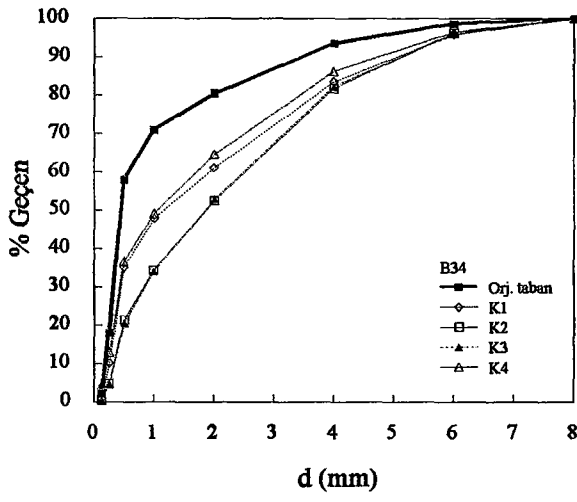
B malzemesi ($H_0=5.8$ cm, $T=1.6$ s)



B malzemesi ($H_0=8.1$ cm, $T=1.6$ s)

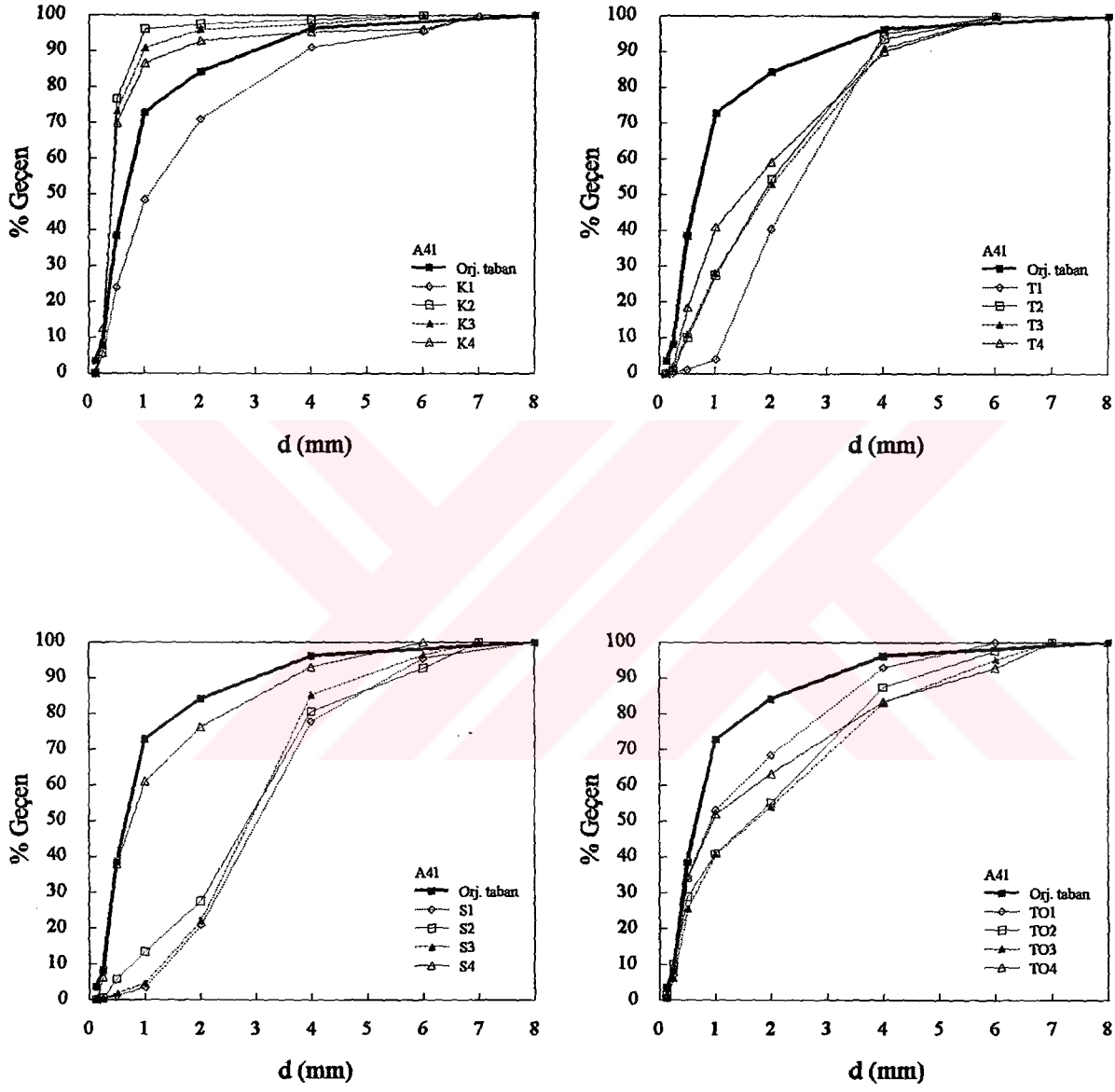


B malzemesi ($H_0=11.2$ cm, $T=1.6$ s)

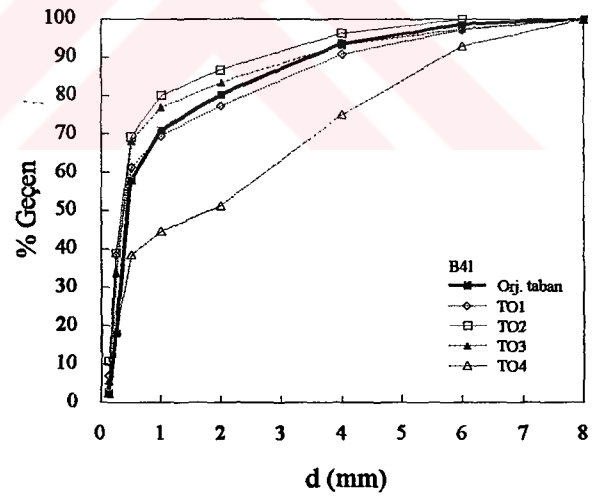
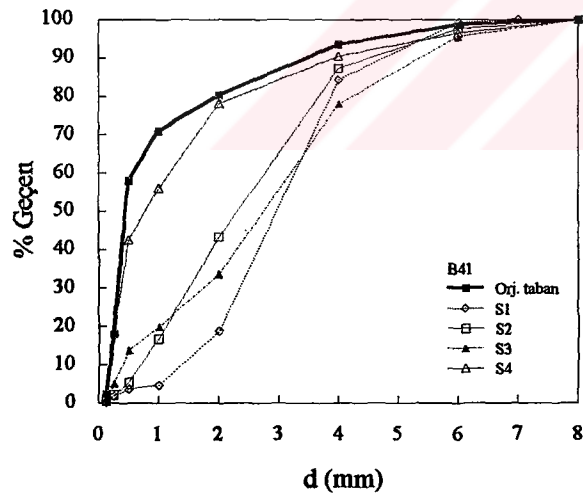
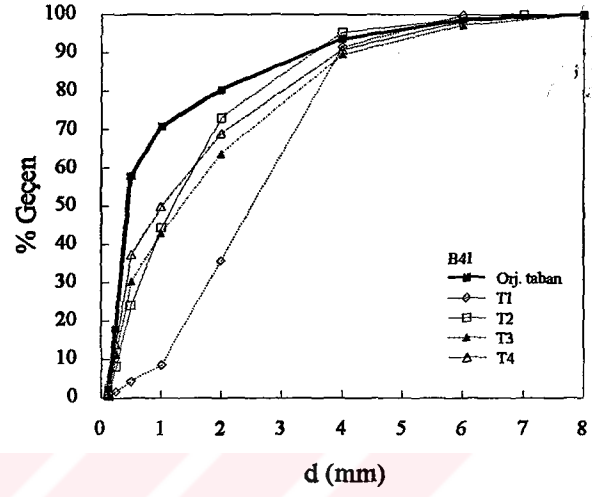
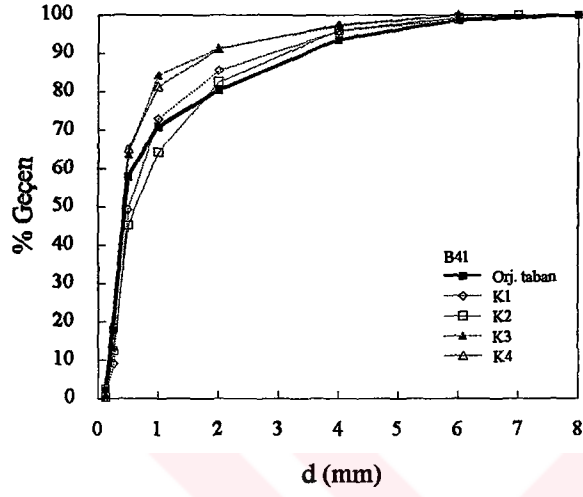


B malzemesi ($H_0=13.9$ cm, $T=1.6$ s)

Ek 4 Normal profil boyunca oluşan profil kesitlerinin orijinal taban malzemesine göre granülometrik değişimleri (Kıyı boyu)

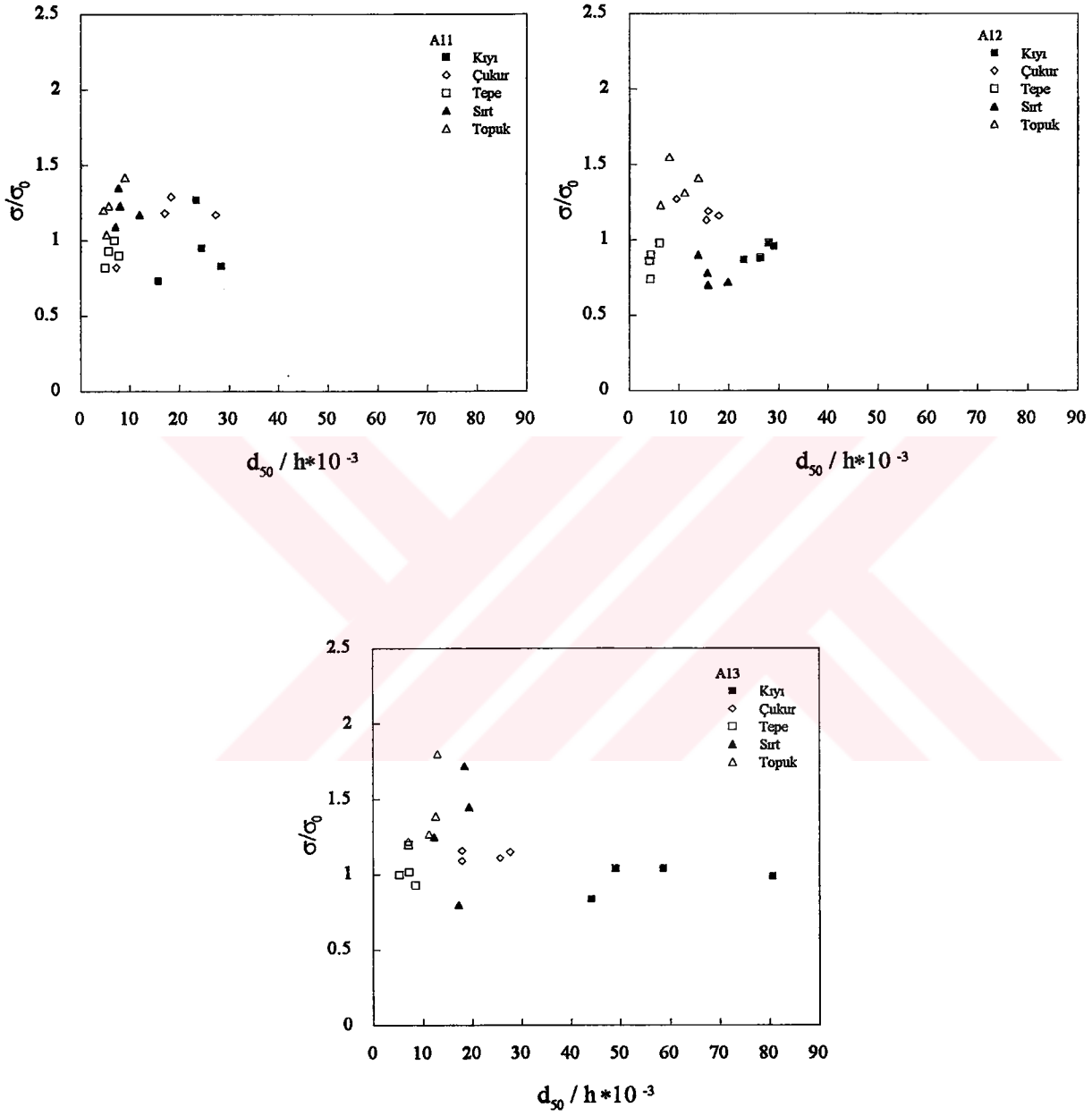


A malzemesi ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)

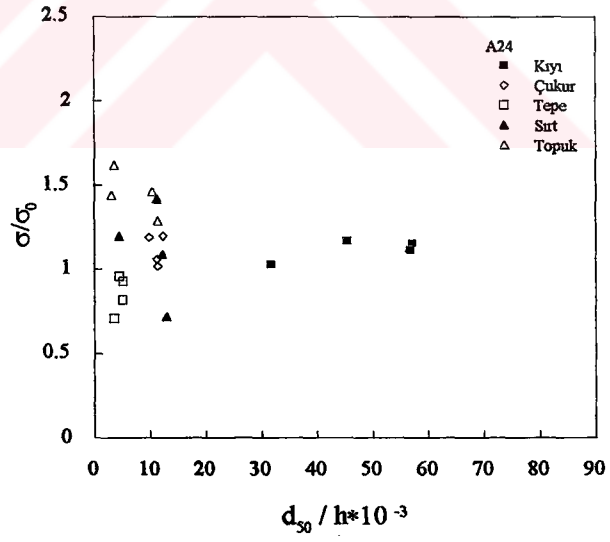
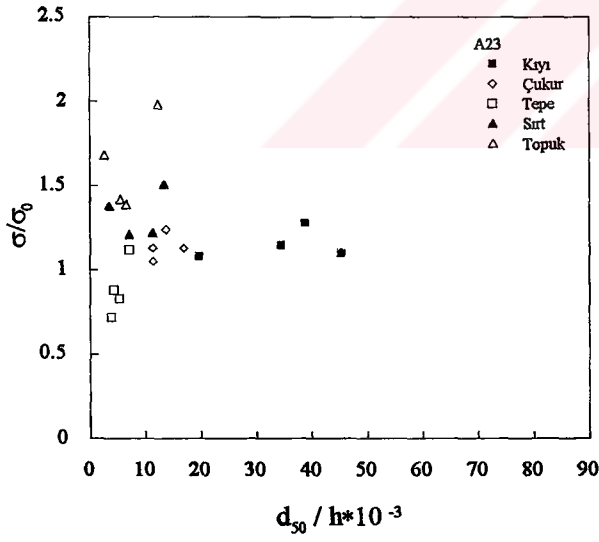
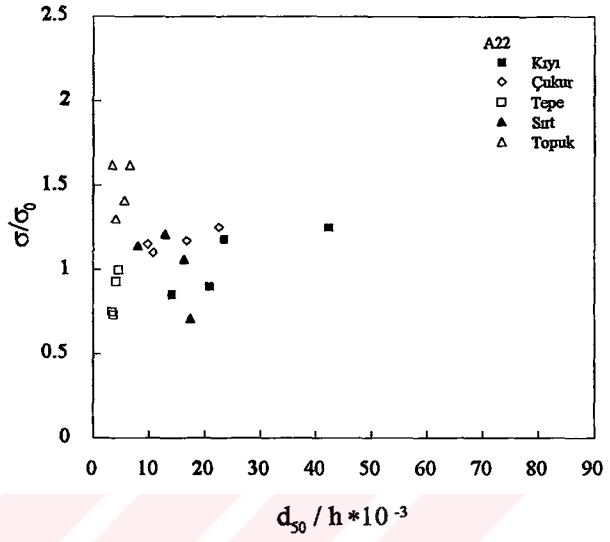
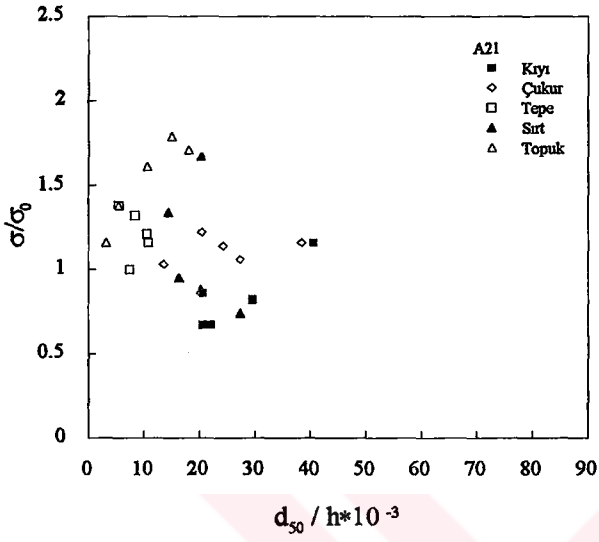


B malzemesi ($H_0=5.9$ cm, $T=2$ s)

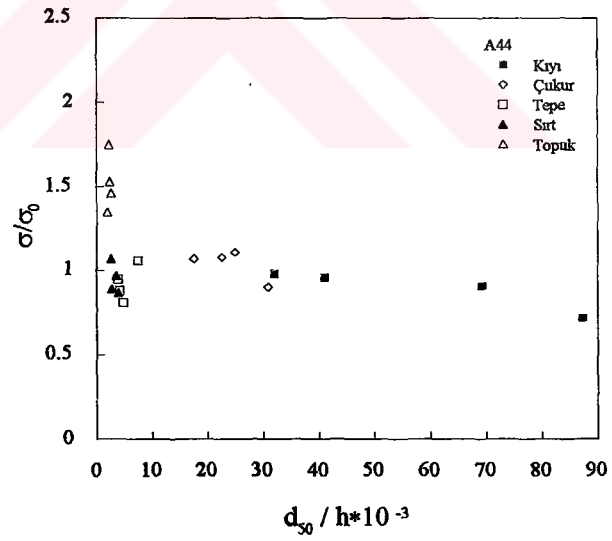
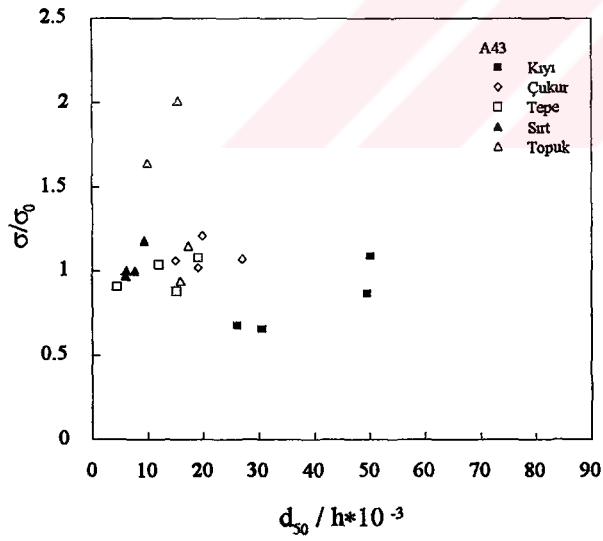
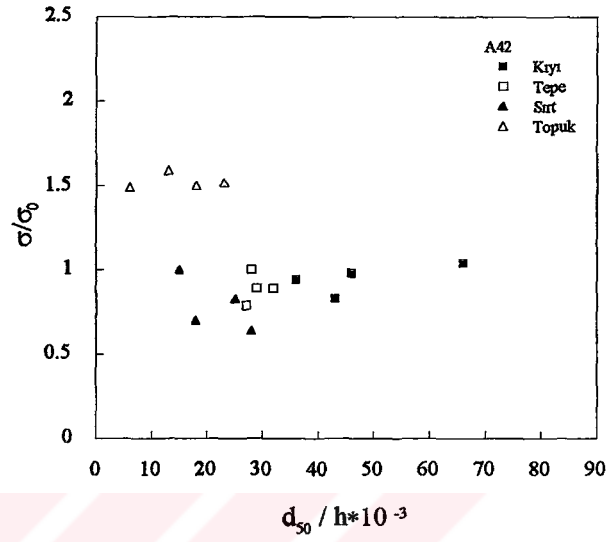
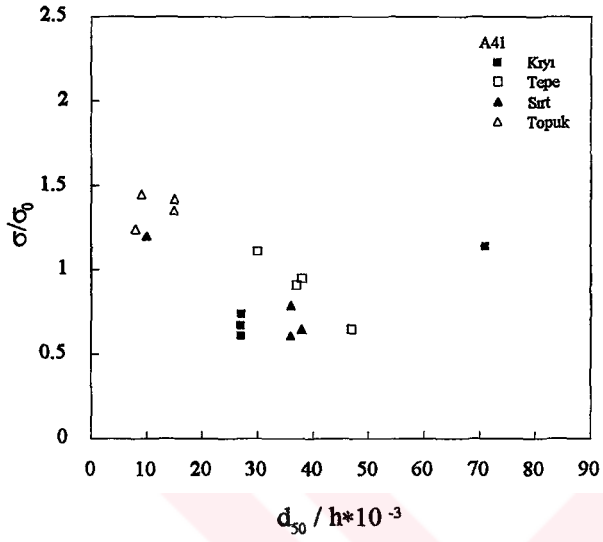
Ek 5 Rölâtif standart sapmanın rölâtif dane çapı ile değişimi (Kıyı boyu)



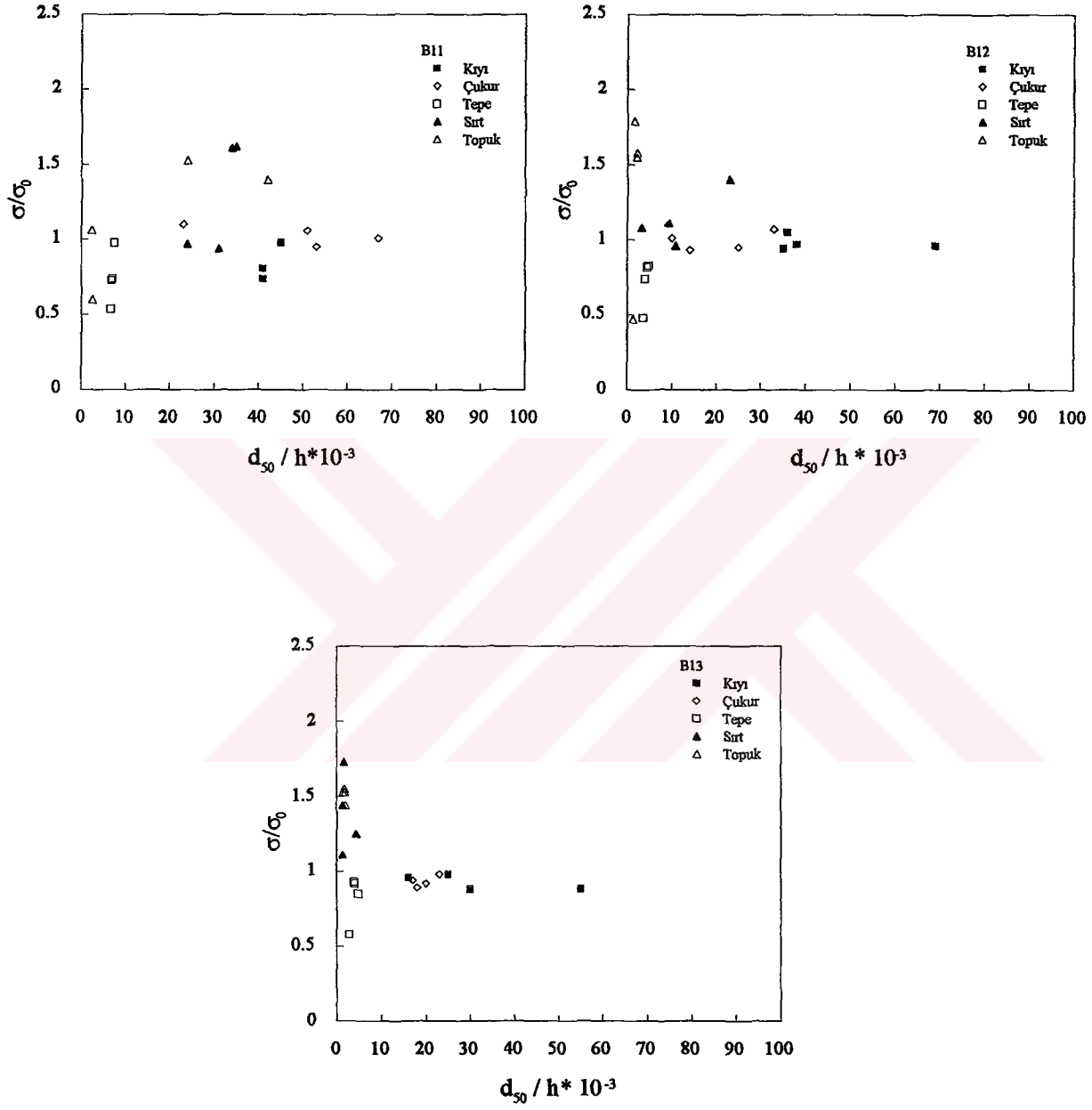
A malzemesi (T=1 s)



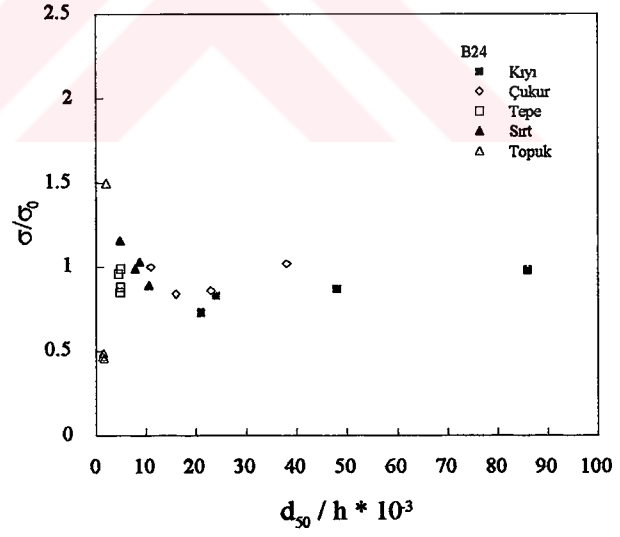
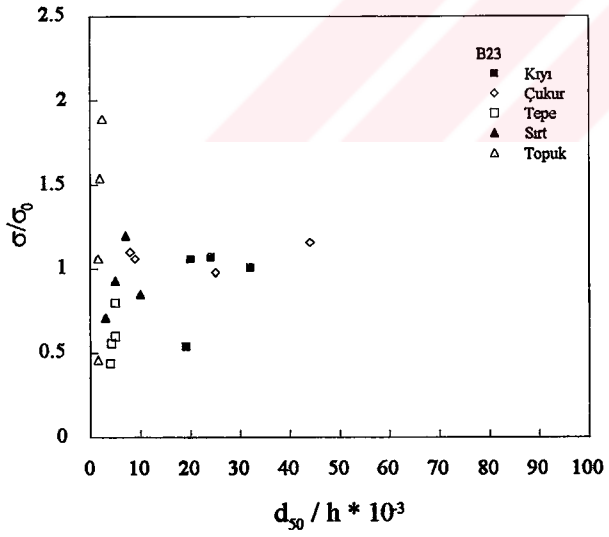
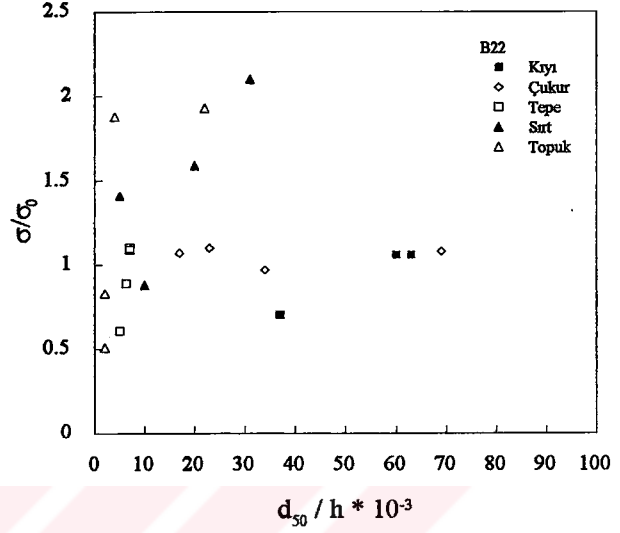
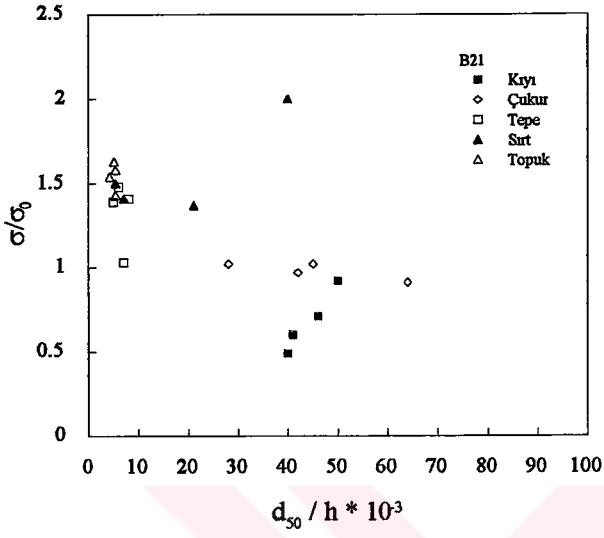
A malzemesi (T=1.2 s)



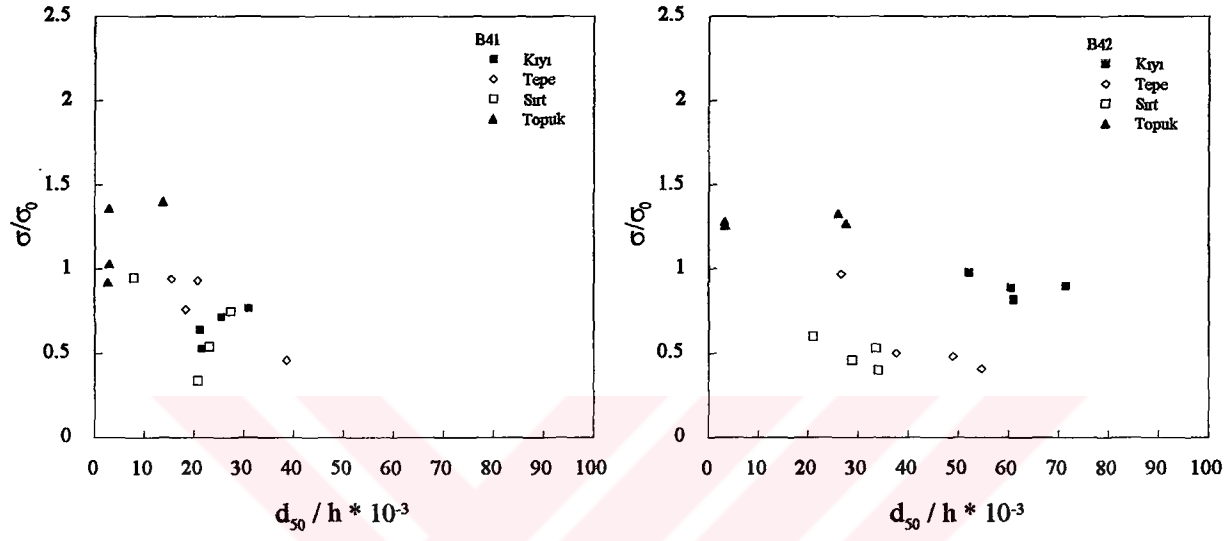
A malzemesi (T=2 s)



B malzemesi (T=1 s)

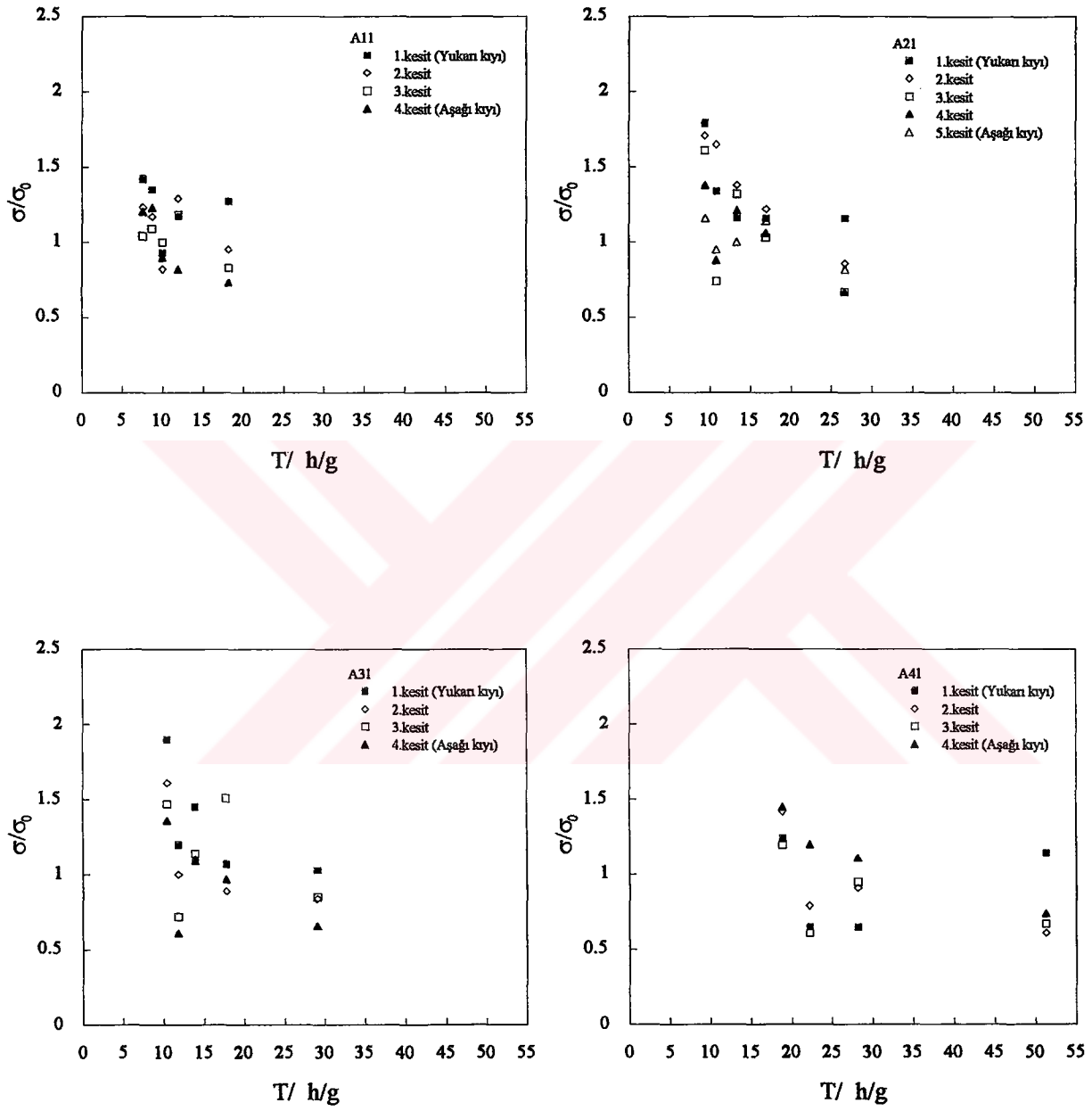


B malzemesi (T=1.2 s)

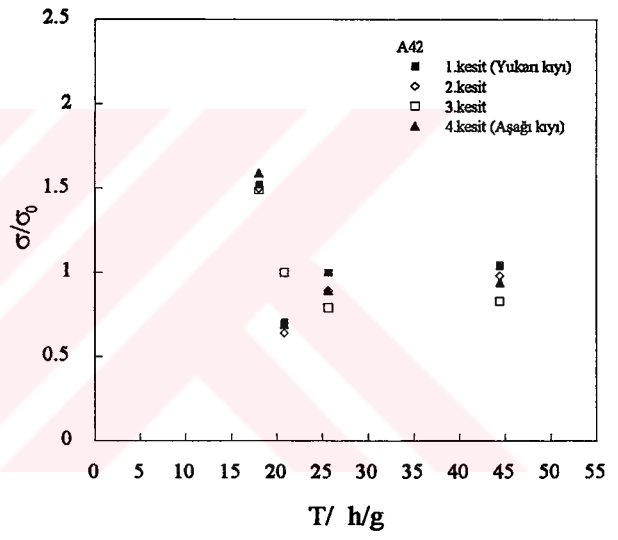
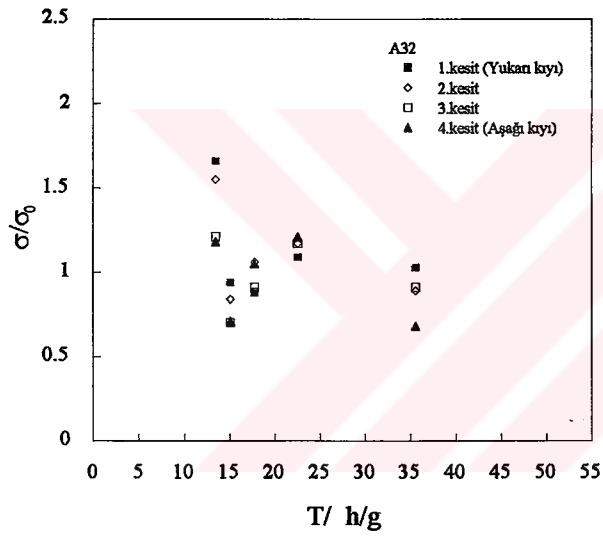
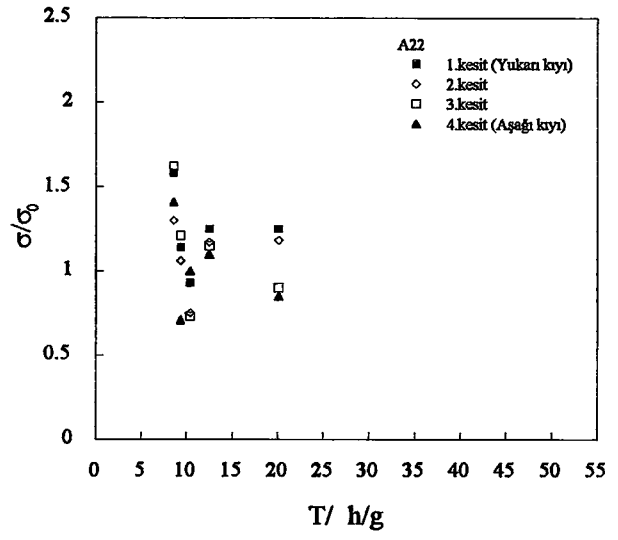
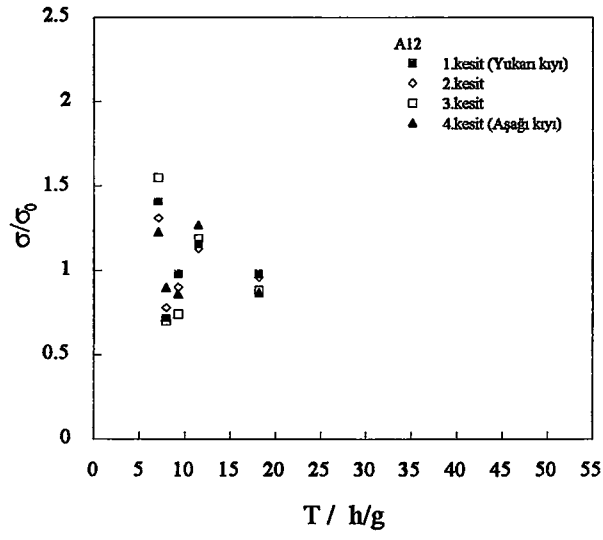


B malzemesi (T=2 s)

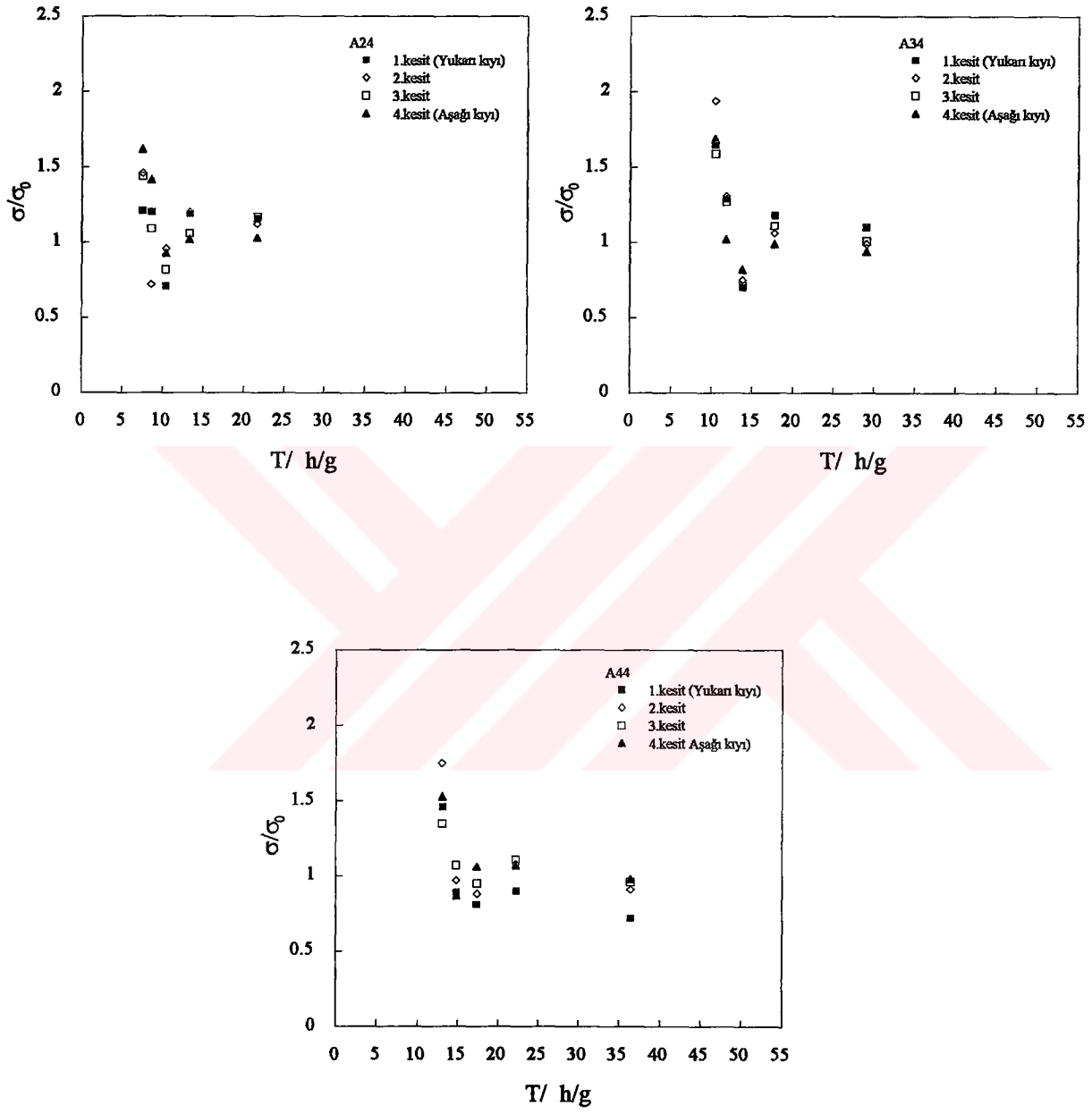
Ek 6 Aynı dalga yüksekliğinde ve farklı periyotlarda rölatif standart sapma ile periyot parametresi ile değişimi (Kıyı boyu)



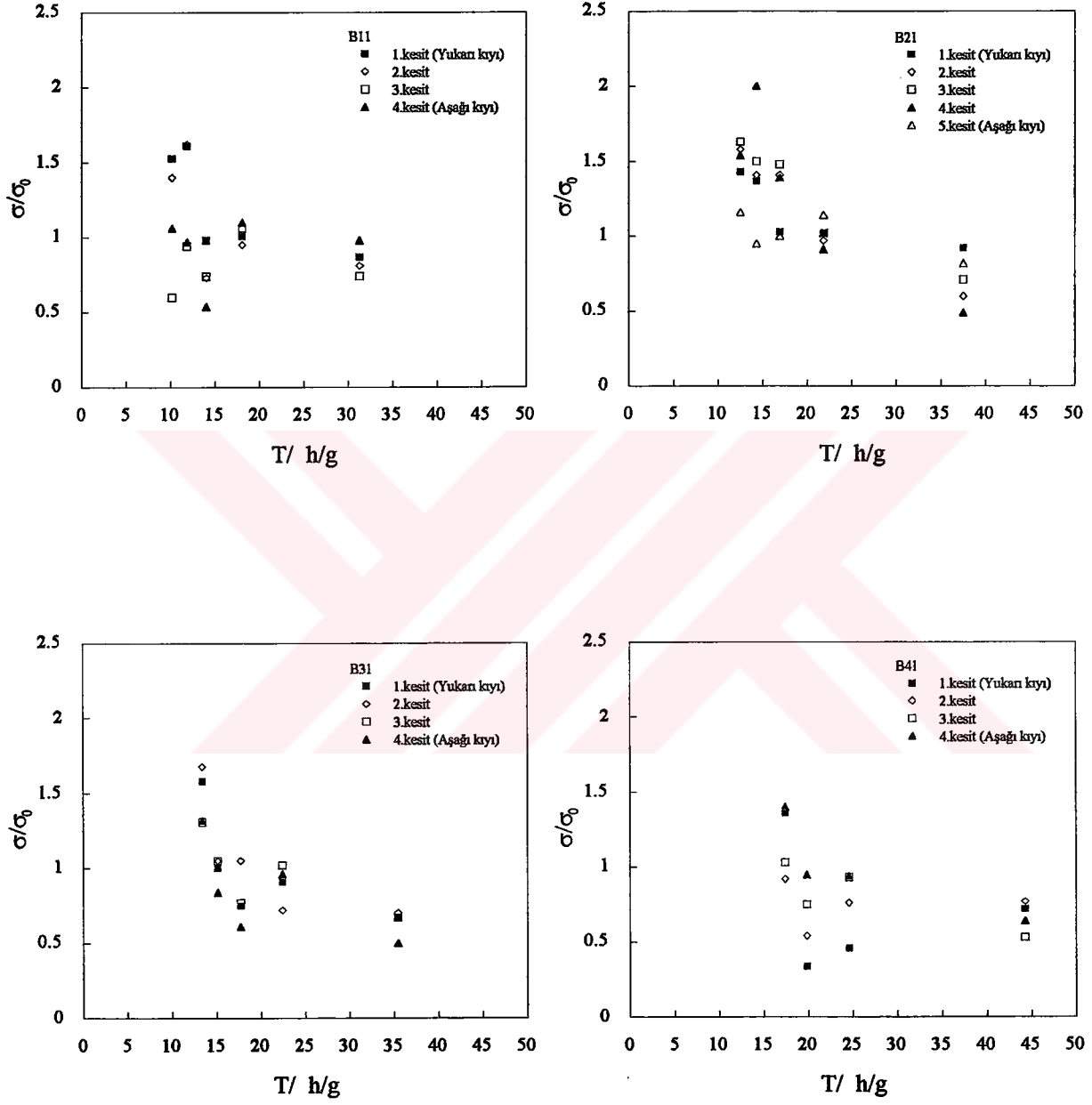
A malzemesi ($H_0=5$ cm)



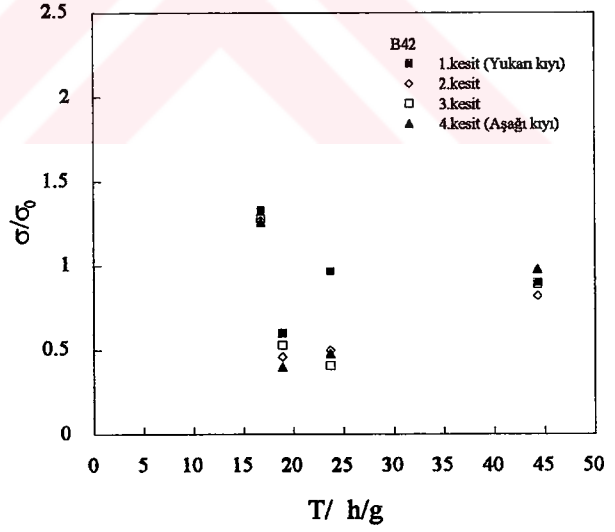
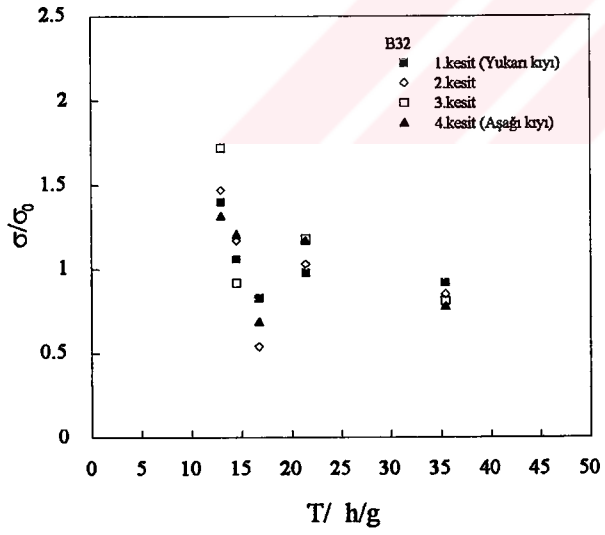
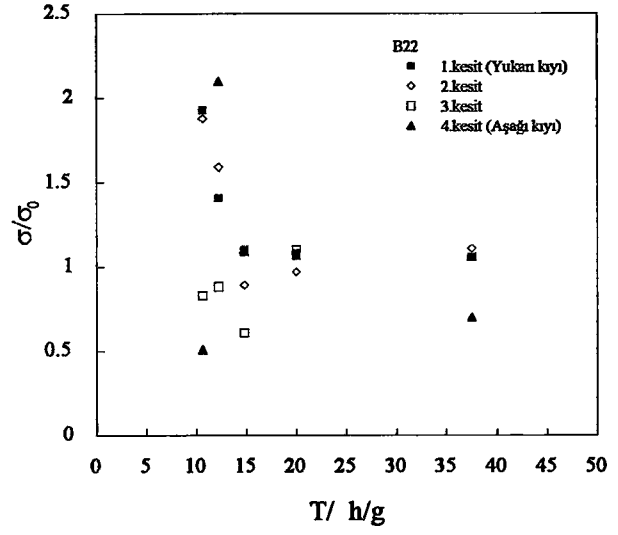
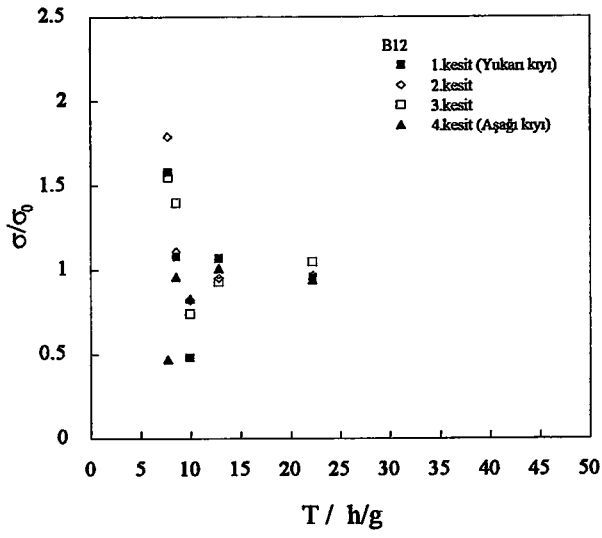
A malzemesi ($H_0 = 7.5$ cm)



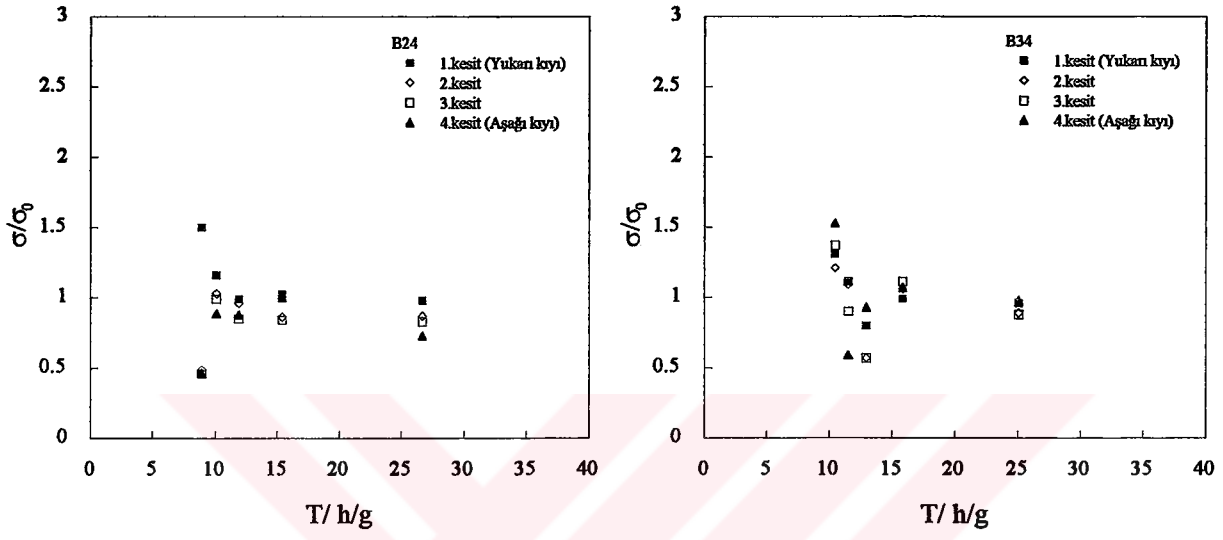
A malzemesi ($H_0 = 12.5$ cm)



B malzemesi ($H_0 = 5$ cm)

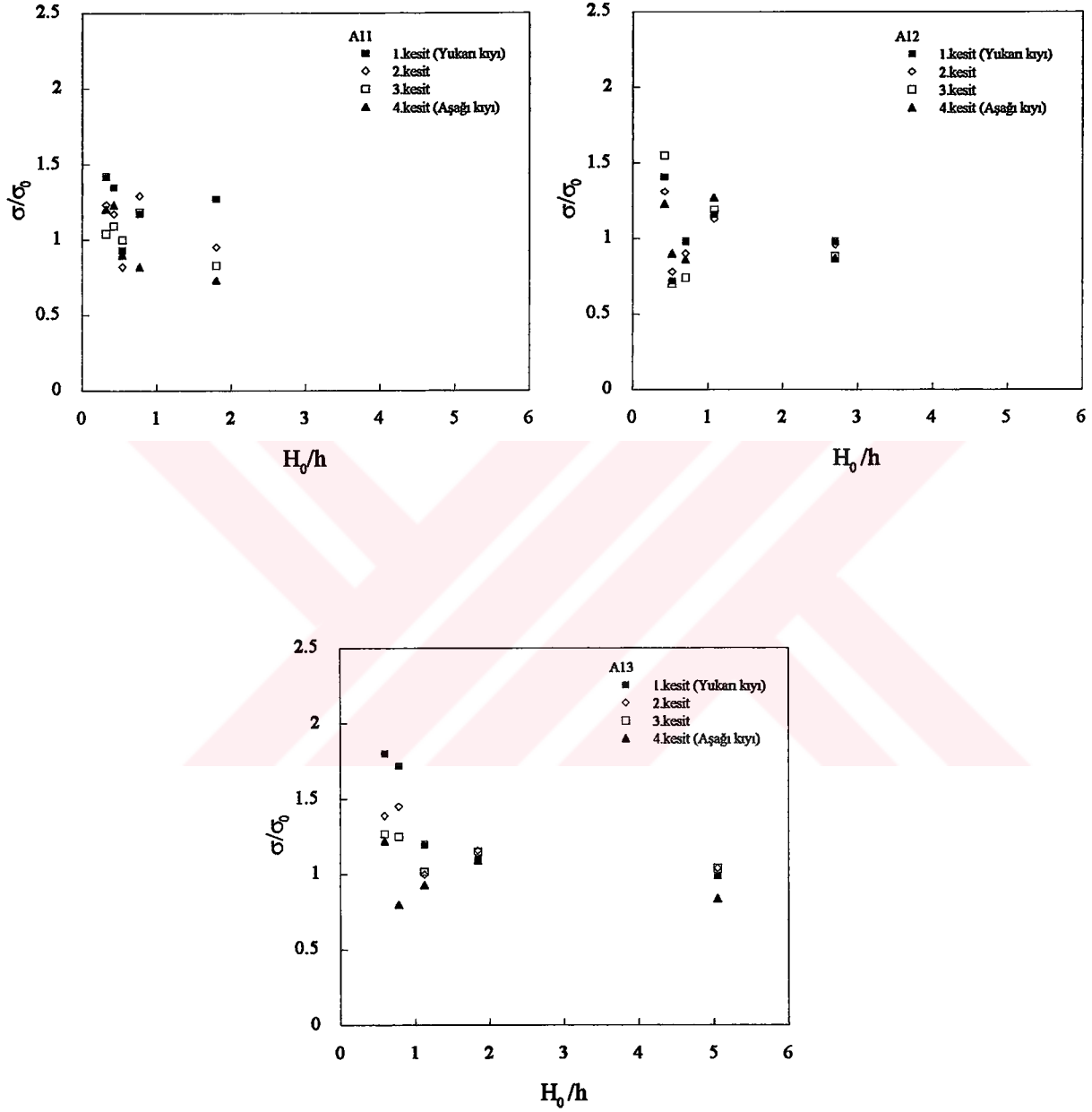


B malzemesi ($H_0=7.5$ cm)

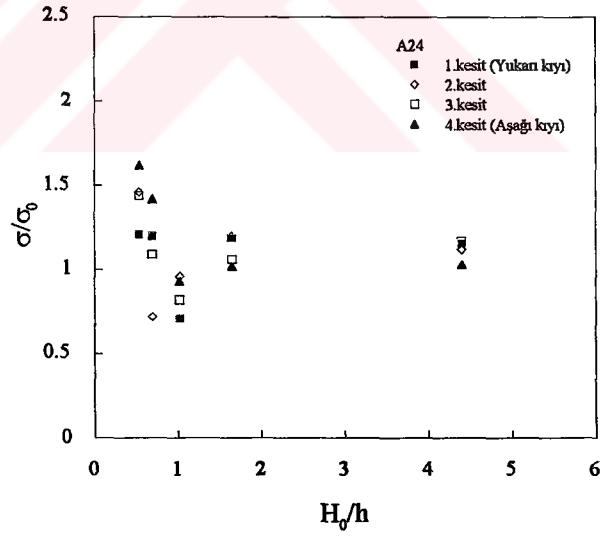
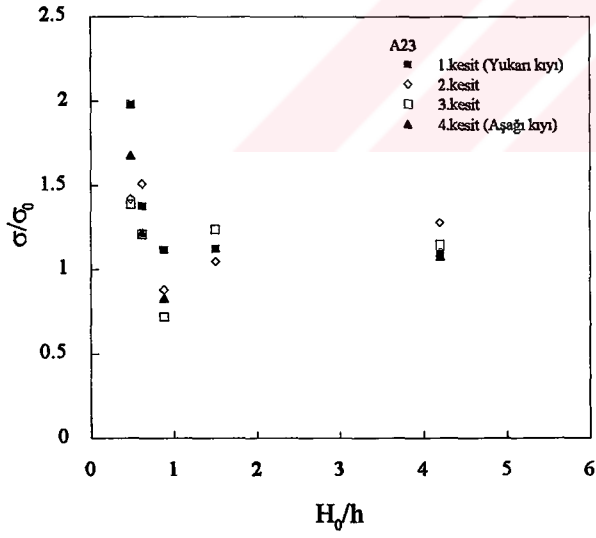
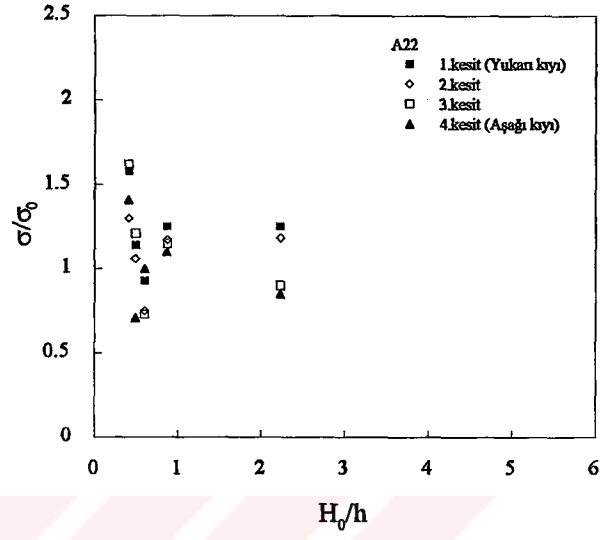
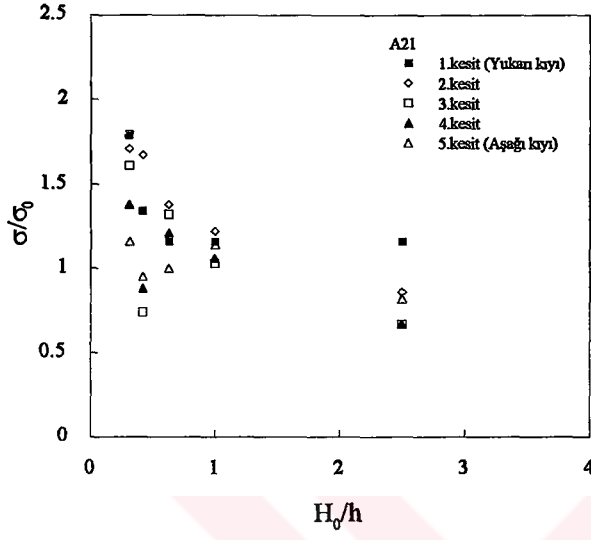


B malzemesi ($H_0 = 12.5$ cm)

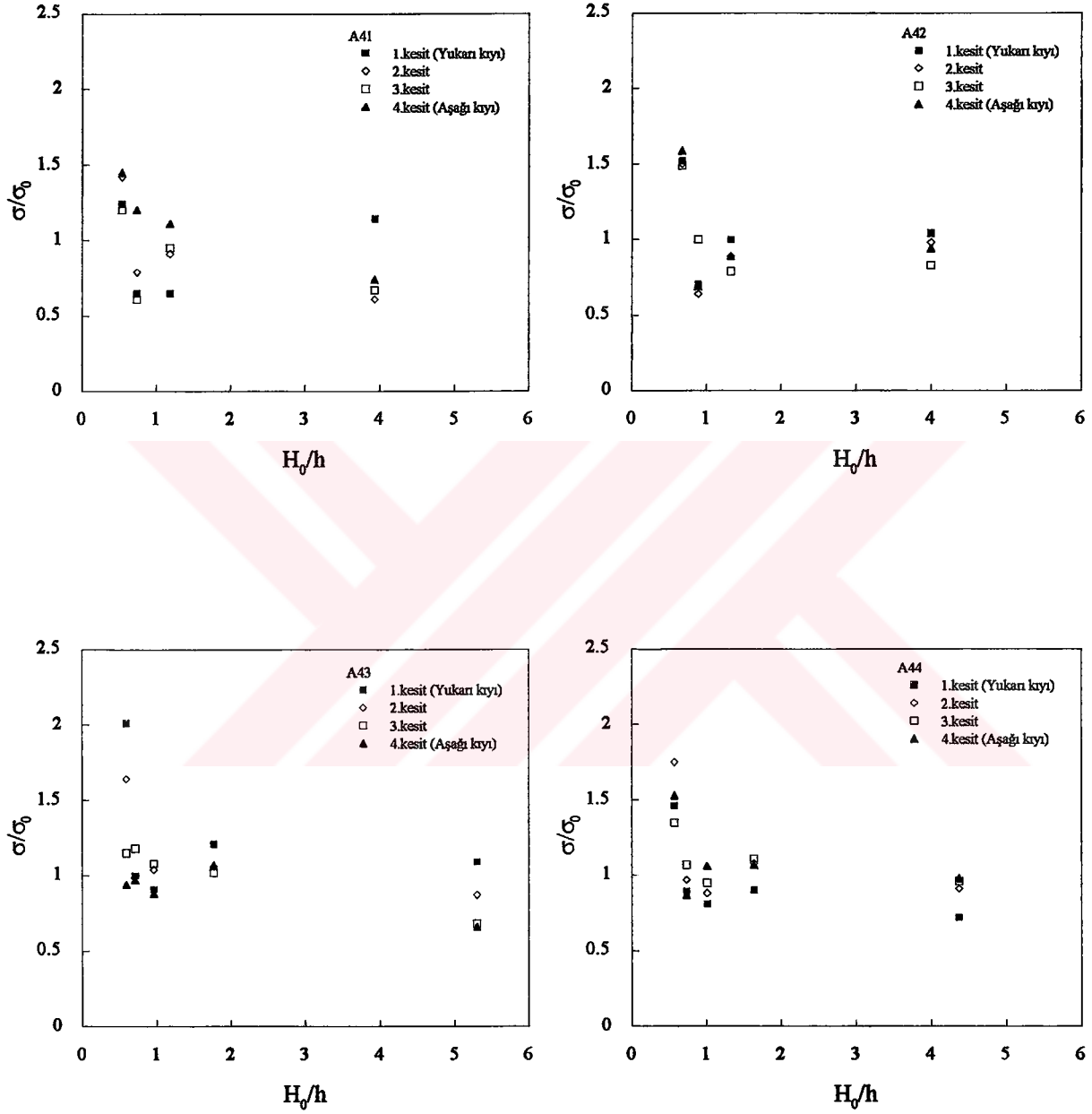
Ek 7 Rölatif standart sapmanın rölatif dalga yüksekliği ile değişimi (Kıyı boyu)



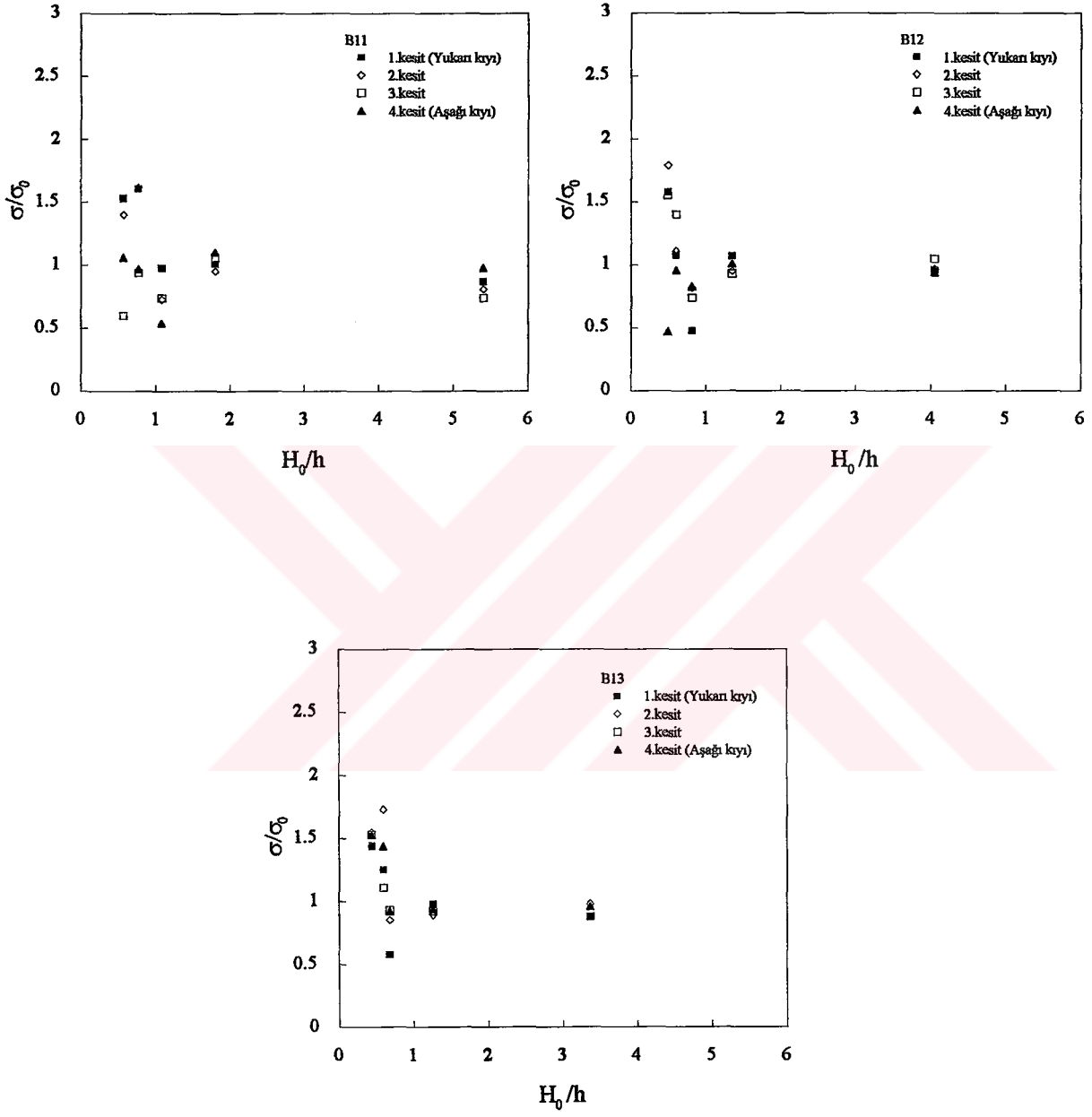
A malzemesi (T=1 s)



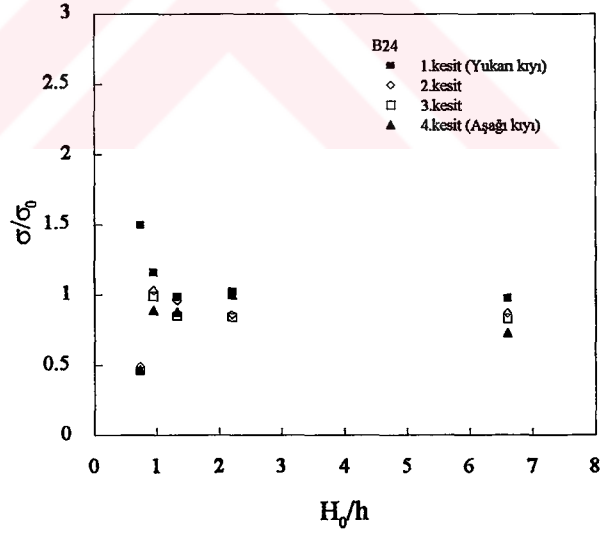
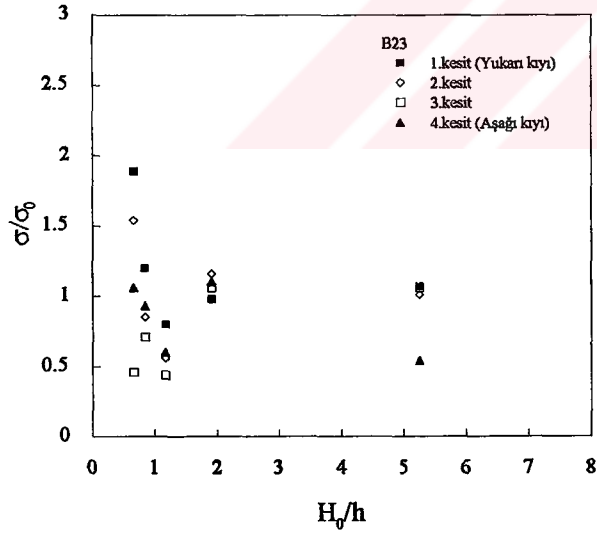
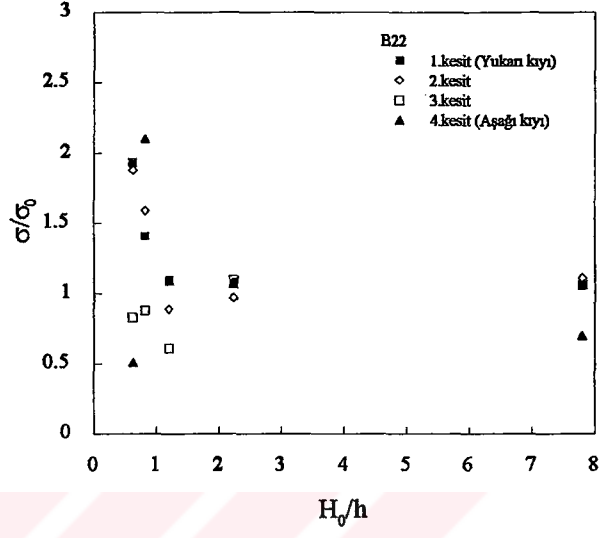
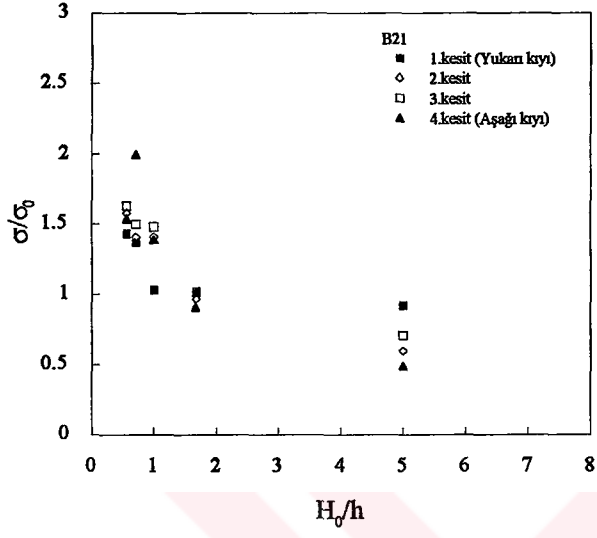
A malzemesi (T=1.2 s)



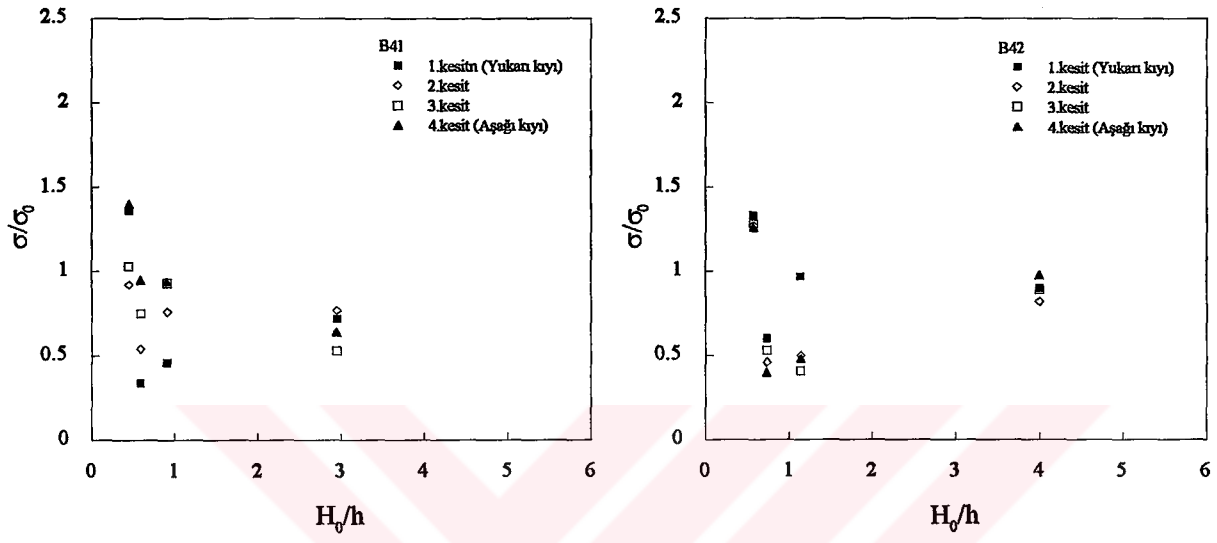
A malzemesi (T=2 s)



B malzemesi (T=1 s)

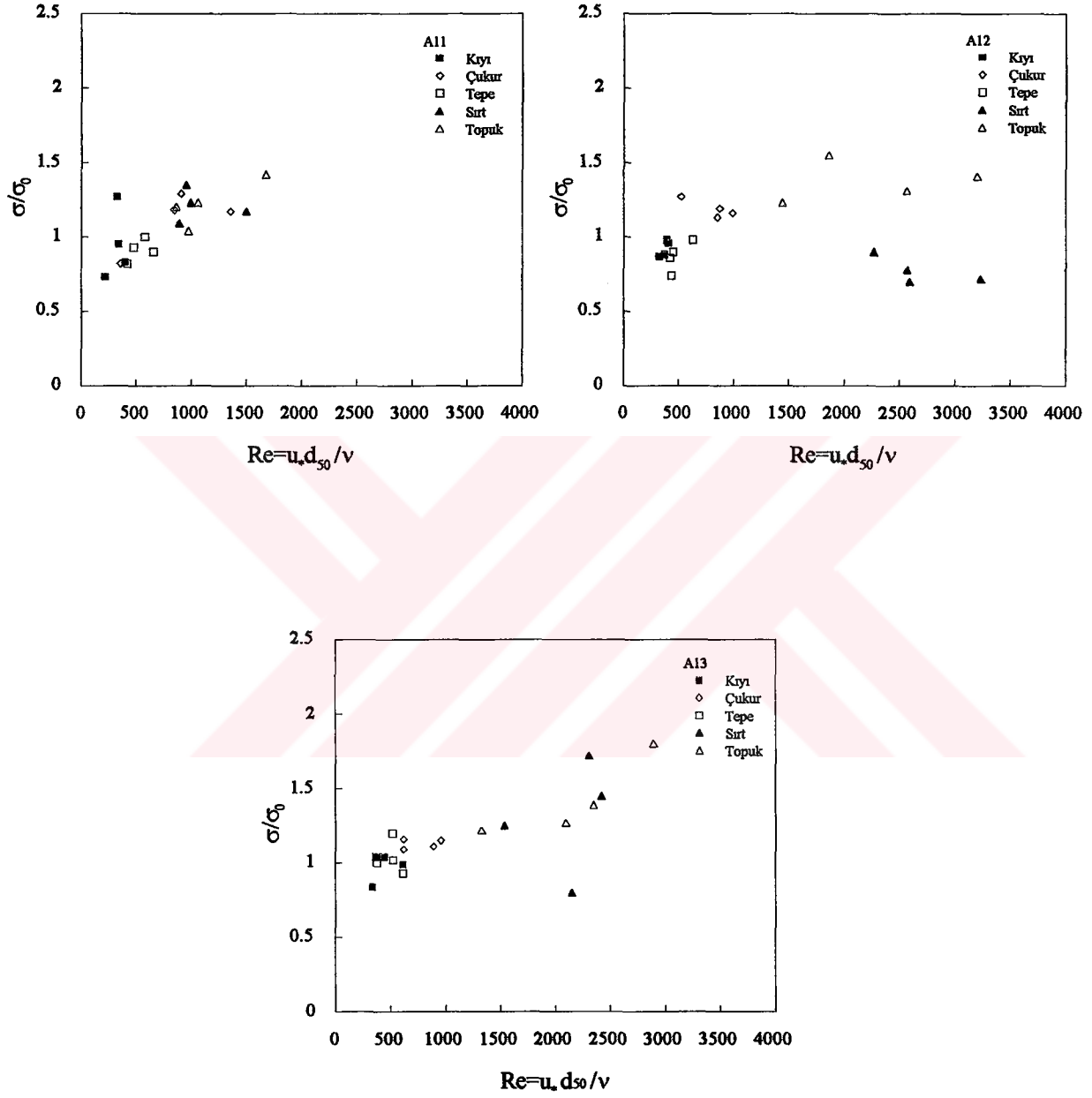


B malzemesi ($T=1.2$ s)

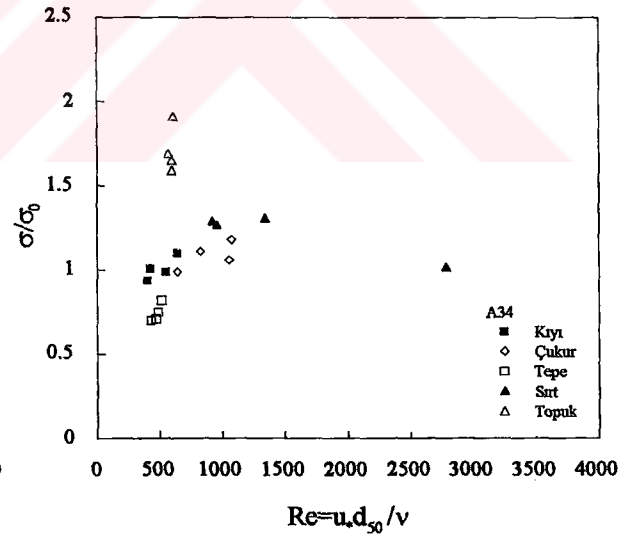
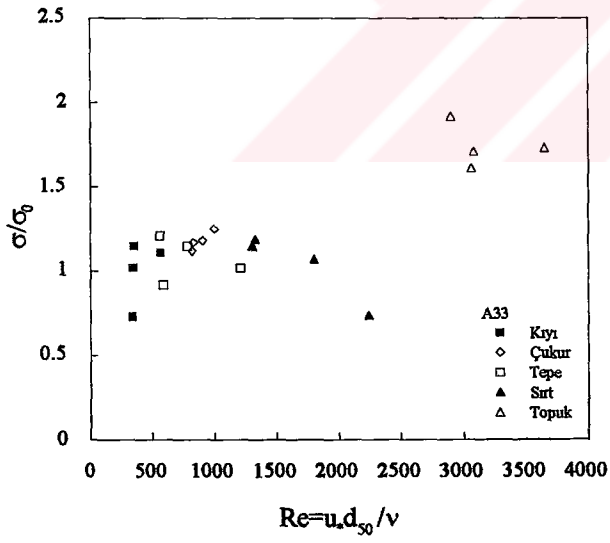
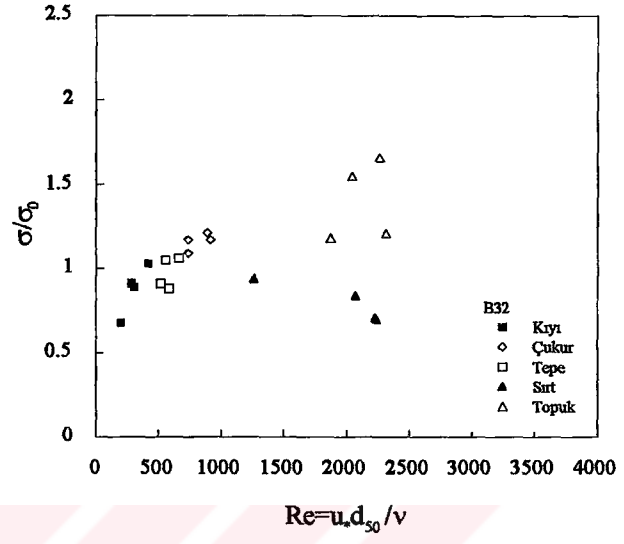
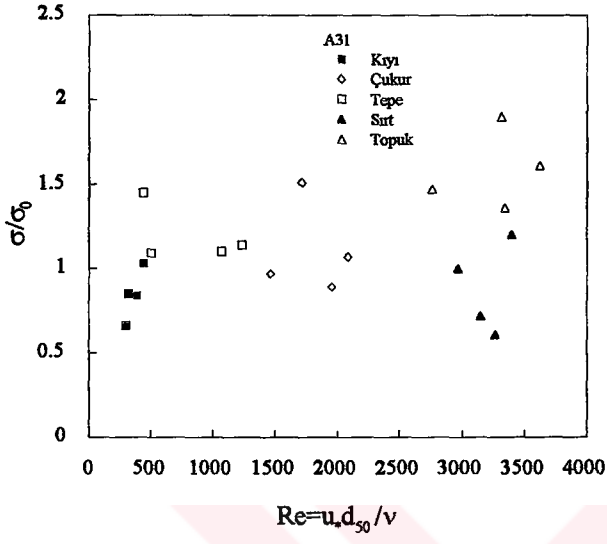


B malzemesi (T=2 s)

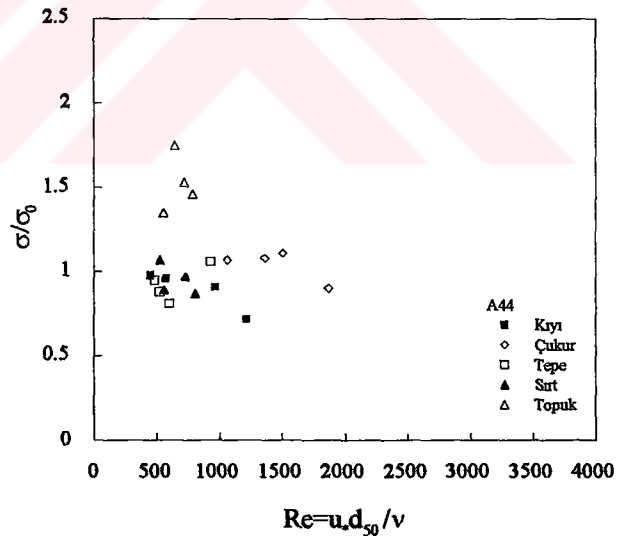
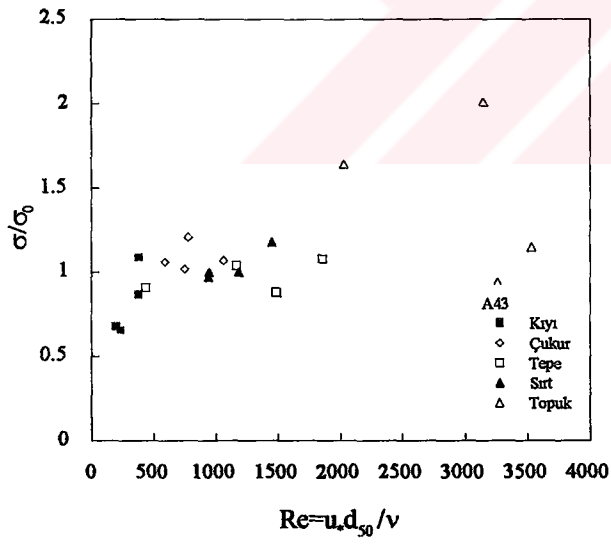
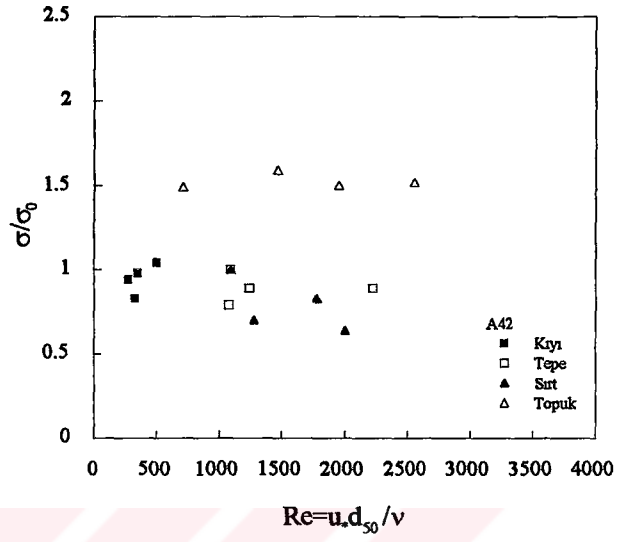
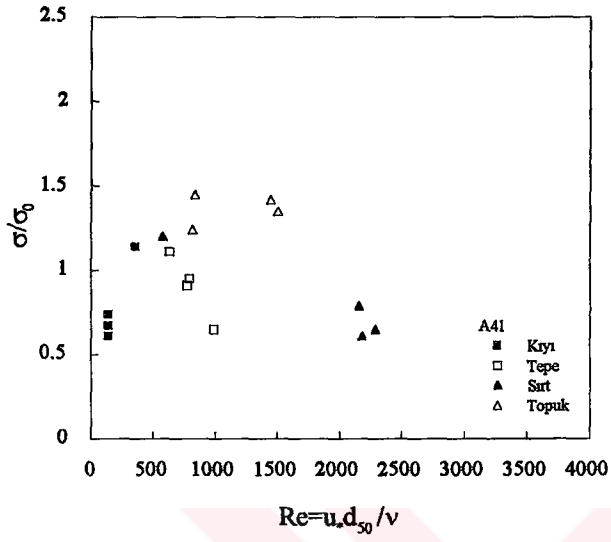
Ek 8 Rölatif standart sapmanın dane Reynolds sayısı ile değişimi (Kıyı boyu)



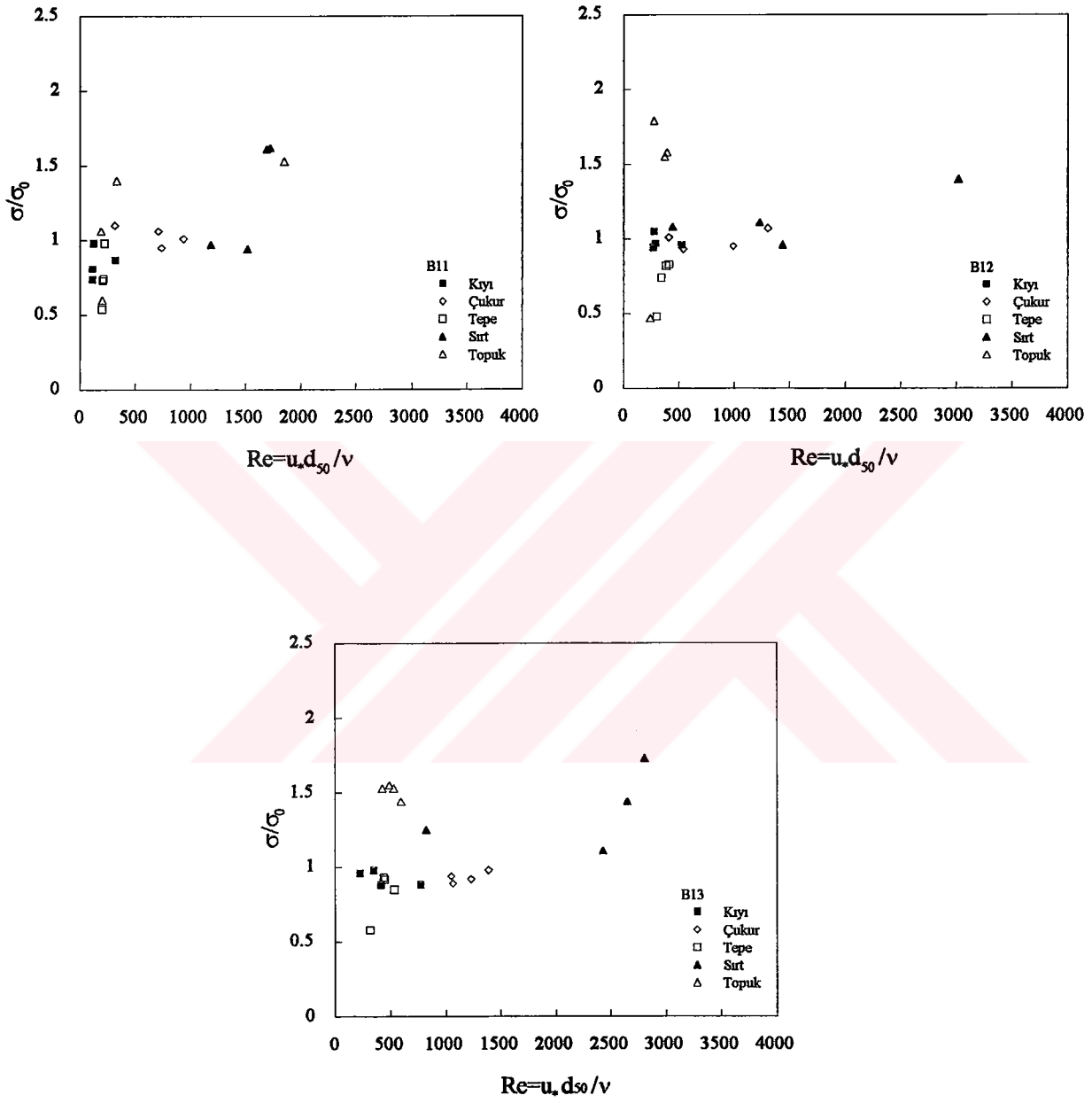
A malzemesi (T=1 s)



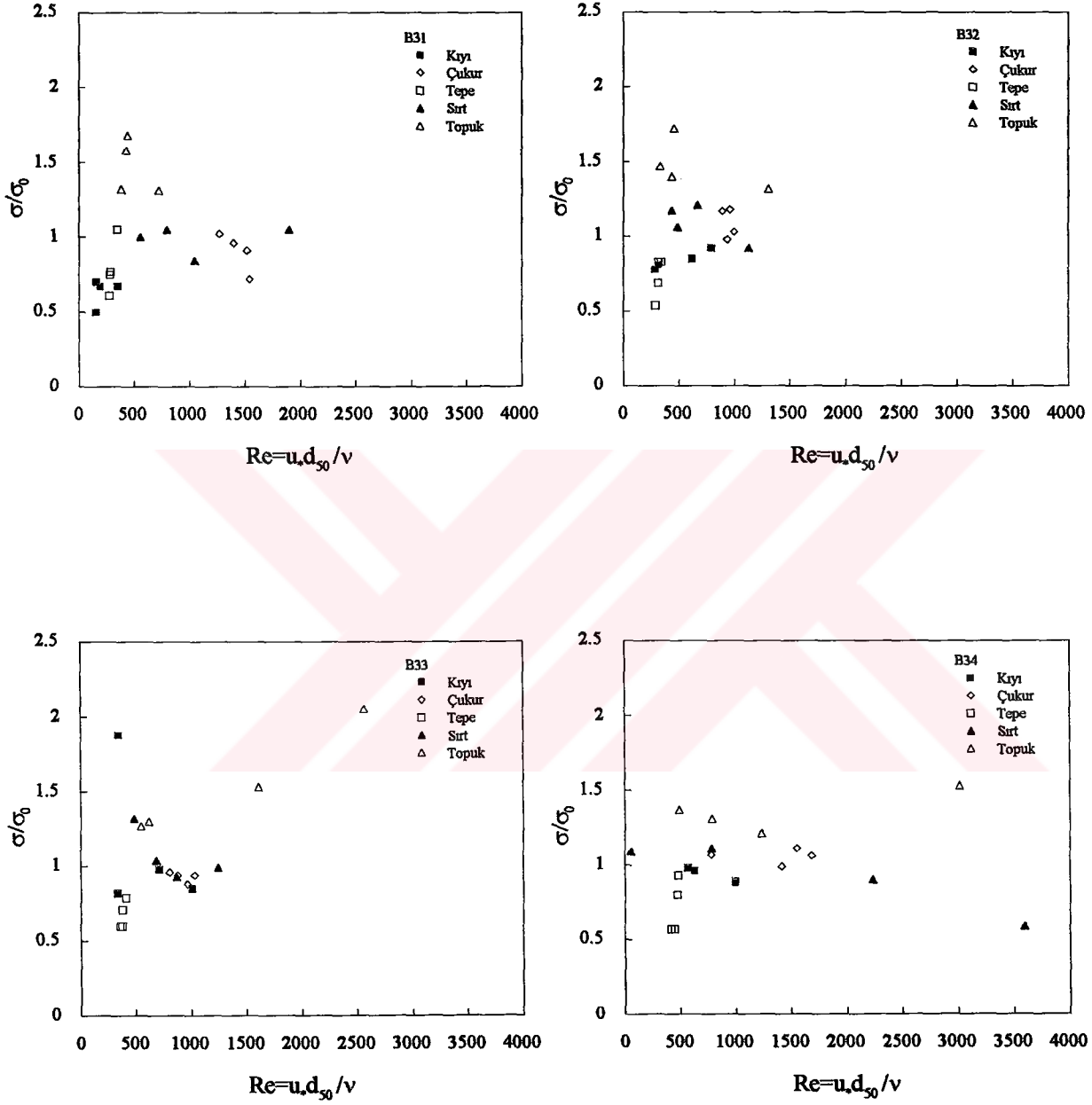
A malzemesi (T=1.6 s)



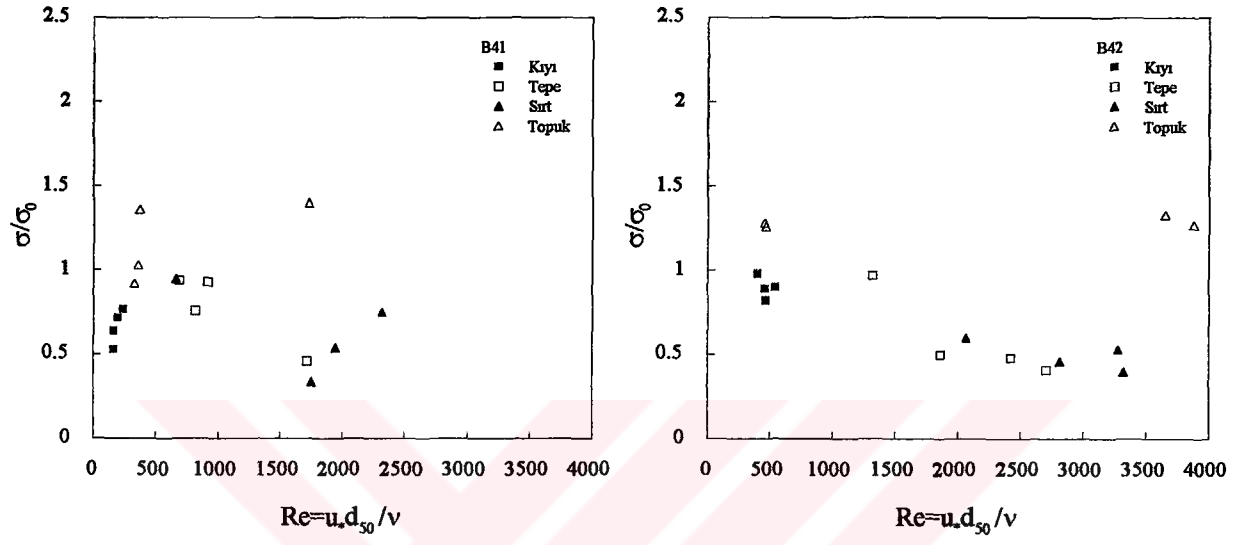
A malzemesi (T=2 s)



B malzemesi (T=1 s)



B malzemesi ($T=1.6$ s)



B malzemesi (T=2 s)

Ek 9 Kırılan dalga karakteristikleri

Periyot T (s)	Dalga Numarası	h_b (m)	H_b (m)	L_b (m)	α_b (°)	c_b (m/s)
1	11	0.081	0.063	0.842	22.44	0.842
	12	0.106	0.082	0.946	25.39	0.946
	13	0.123	0.095	0.985	27.67	0.985
1.2	21	0.087	0.068	1.061	19.85	0.884
	22	0.117	0.091	1.219	22.93	1.016
	23	0.143	0.111	1.324	25.01	1.103
	24	0.166	0.129	1.407	26.29	1.173
	25	0.188	0.146	1.480	27.77	1.233
1.6	31	0.115	0.089	1.643	16.91	1.030
	32	0.145	0.113	1.847	19.09	1.150
	33	0.181	0.140	2.038	21.15	1.270
	34	0.208	0.161	2.162	22.51	1.350
	34	0.233	0.181	2.284	23.85	1.430
2	41	0.137	0.106	2.283	15.27	1.142
	42	0.168	0.130	2.507	16.81	1.254
	43	0.202	0.157	2.730	18.34	1.365
	44	0.233	0.180	2.913	19.61	1.457
	45	0.245	0.190	2.988	19.79	1.494

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 10.09.1971

Doğum yeri Elazığ

Lise 1981-1987 Suadiye Lisesi

Lisans 1987-1991 Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fak.
İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans 1992-1994 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Doktora 1994-1998 Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Hidrolik Programı

Çalıştığı kurum 1992-Devam ediyor YTÜ İnşaat Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü
Hidrolik Anabilim Dalı, Araştırma Görevlisi