

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

KIYI KORUNMASINDA MAHMUZLARIN
ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI

İnş. Yük. .Müh. İsmail Hakkı ÖZÖLÇER

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde

“Doktor”

Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28.11.1997

Tezin Savunma Tarihi : 27.01.1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Hızır ÖNSOY

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Necati AĞIRALIOĞLU

Jüri Üyesi : Doç. Dr. Basri ERTAŞ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN

Trabzon 1998

ÖNSÖZ

Kıyıya dik yapılardan, düz ve “T” mahmuzların kıyı değişimine etkilerinin ve mahmuz parametrelerinin araştırıldığı bu tez Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Doktora tezi danışmanlığımı üstlenerek gerek konu seçimi, gerekse çalışmaların yürütülmesi sırasında yardımlarını ve ilgisini esirgemeyen Sayın Hocam Profesör Doktor Hızır ÖNSOY’a teşekkürü bir borç bilirim.

Yapıcı eleştirilerinden ve bilgisinden istifade ettiğim Sayın Hocam Doçent Doktor Ömer YÜKSEK’e teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen araştırma görevlisi Sayın Ali Remzi BİRBEN’e teşekkür ederim.

Yardımlarını gördüğüm araştırma görevlileri Sayın Murat İhsan KÖMÜRCÜ’ye, Sayın Hülya BOĞUŞLU, Sayın Uğur ÇEVİK, Sayın Emin BACAKSIZ’a ve Hidrolik Laboratuvarı personeline teşekkürlerimi sunarım.

Bugünlere ulaşmamda en büyük pay sahibi olan aileme minnetlerimi sunarım.

İsmail Hakkı ÖZÖLÇER

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xv
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	1
1.3. Literatür Taraması	2
1.4. Mahmuzların Genel Özellikleri	13
1.4.1. Mahmuzların Çeşitleri	14
1.4.2. Mahmuz Taş Ağırlıklarının Belirlenmesi	15
1.5. Dalgaların Genel Özellikleri	17
1.5.1. Temel Dalga Teorisi	17
1.5.2. Dalga Mekaniği	19
1.5.2.1. Basit Dalga Profili	19
1.5.2.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı	20
1.5.2.3. Derin Deniz Dalgaları	21
1.5.2.4. Dalgaların Sınıflandırılması	21
1.5.3. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler	22
1.5.3.1. Dalga Sapması	22
1.5.3.2. Dalga Sığlaşması	25
1.5.3.3. Dalga Kırınımı	25
1.5.3.4. Dalga Yansıması	26
1.5.3.5. Dalga Kırılması	27

1.6. Kıyılarda Katımadde Hareketi	30
1.6.1. Tabanda Hareketin Başlaması	30
1.6.2. Katımadde Taşınım Bölgesinin Sınırı	31
1.6.3. Kıyıya Dik Katımadde Taşınımı	32
1.6.4. Kıyıya Paralel Katımadde Taşınımı	37
1.6.5. Kırılma Anındaki Dalga Parametreleri	42
1.7. Doğu Karadeniz Dalga İklimi ve Katımadde Rejimi	43
1.7.1. Dalga İklimi	43
1.7.2. Katımadde Rejimi	44
1.7.2.1. Akarsuların Taşıdığı Katımadde	44
1.7.2.2. Katımadde Daneciklerinin Fiziksel Özellikleri	45
2.YAPILAN ÇALIŞMALAR	46
2.1. Deneysel Çalışmalar	46
2.1.1. Model Düzenine Kurulması	46
2.1.1.1. Model Ölçeğinin Seçimi	46
2.1.1.2. Dane Çapı ve Taban Eğiminin Seçimi	47
2.1.1.3. Dalga Yüksekliği, Periyodu ve Yönünün Seçimi	48
2.1.1.4. Model Havuzu Donanımı	49
2.1.2. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deneyle Yapılışı	50
2.2. Sayısal Model Çalışmaları	55
2.2.1. Sayısal Modelde Kullanılan Formüller	60
2.2.1.1. Kıyıya Dik Taşınım Formülü	60
2.2.1.2. Kıyıya Paralel Taşınım Formülü	60
2.2.1.3. Sayısal Modelin Bilgisayar Uygulaması	61
3. BULGULAR	65
3.1. Deney ve Sayısal Model Sonuçları	65
4. İRDELEME	73
4.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları	73
4.1.1. Mahmuz Uzunluğunun Dolma Miktarı Parametresine Etkisi	73
4.1.2. Mahmuz Başlık Uzunluğunun Dolma Miktarı Parametresine Etkisi	77
4.1.3. Mahmuz Aralığının Dolma Miktarı Parametresine Etkisi	81

4.1.4. Dalga Yüksekliğinin Dolma Miktarı Parametresine Etkisi	82
4.1.5. Dalga Periyodunun Dolma Miktarı Parametresine Etkisi.....	83
4.1.6. Dalga Geliş Açısının Dolma Miktarı Parametresine Etkisi	85
4.1.7. Dolma Miktarı Parametresinin Zamanla Değişimi	88
4.1.8. Düz ve T Mahmuzların Dolma Miktarı Parametresine Göre Karşılaştırılması	89
4.2. Sayısal Model Sonuçları	93
5. SONUÇLAR	99
6. ÖNERİLER	102
7. KAYNAKLAR	103
8. EKLER	108
9. ÖZGEÇMİŞ	147



ÖZET

Son yıllarda kıyı korumasında ve katımadde tutulması üzerindeki matematiksel ve fiziksel model çalışmaları hızlı bir biçimde sürmektedir. Kıyıların korunmasında ve kıyı boyunca hareket halindeki malzemenin tutulmasında çeşitli yapılar kullanılmaktadır. Kıyıya dik yapılardan olan mahmuzlar bu tür yapılardandır. Mahmuzların esas hidrolik fonksiyonu, kıyı boyu akımları ve kıyısız katımadde hareketini kontrol etmektir.

Bu çalışmada, Düz ve T mahmuz parametrelerinin kıyı korumasına ve katı madde tutulmasına etkileri deneysel olarak incelenmiş ve konu ile ilgili bir de sayısal model geliştirilmiştir. Deneysel çalışmada Doğu Karadeniz Bölgesi'nin verileri kullanılmıştır.

Birinci bölümde mahmuzlar ve dalga mekaniği hakkında genel bilgiler, literatür çalışmaları, bölgenin dalga iklimi ve katımadde rejimi verilmiştir. İkinci bölümde fiziksel model deneyleri ile ilgili çalışmalar ve oluşturulan sayısal modelin bilgisayara uyarlanması ile ilgili çalışmalar anlatılmıştır. Üçüncü bölümde fiziksel model deneylerinden ve bilgisayar programından elde edilen sonuçlar verilmiştir. Dördüncü bölümde deney sonuçlarının irdelenmesi ve bilgisayar programı sonuçlarının deney sonuçları ile karşılaştırılması yapılmıştır. Beşinci bölümde çalışmadan çıkarılan sonuçlar verilmiştir. Altıncı bölümde çalışmada elde sonuçlara göre belirlenen öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Mahmuz, Kıyısız Katımadde Taşınımı, Kıyı Koruması, Dalga Mekaniği, Dolma Miktarı Parametresi, Sayısal Model

SUMMARY

A Study On The Effects Of Groins In Shore Protection

Numerical and physical modelling studies in shore protection and sediment trapping have been rapidly continuing recently. Various type of structures are used in shore protection and littoral sediment trapping studies. Groins are one of these structures. The main hydraulic function of groins is to control the long shore current and littoral sediment transport.

In this study, the effects of straight and T shaped groin parameters in shore protection and sediment trapping are empirically studied. The data of Eastern Black Sea Region are used in the study.

In the first chapter, general knowledge about groins and wave mechanics, the results of literature studies and the sediment regime and wave climate of the region are presented.

In the second chapter, the physical model and numerical model studies are presented.

In the third chapter, the results of the model tests and computer program of shoreline change are given.

In the fourth chapter, the results obtained from the model studies are examined. The results are compared with the results of computer program.

In the fifth chapter, conclusions of this study are presented.

In the sixth chapter, the suggestions are given.

Key words: Groins, Littoral Sediment Transport, Shore Protection, Wave Mechanics, Parameter of Amount of Accretion, Numerical Model

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Nagai'ye göre mahmuzlar arası kum birikmesi	3
Şekil 2. Nagai'ye göre değişik mahmuz aralıkları için mahmuzlar arası kum birikmesi	3
Şekil 3. Magens'e göre mahmuz aralığı	3
Şekil 4. Kraus ve Hanson'un deney düzeneği	6
Şekil 5. Webb'in mahmuz parametreleri	10
Şekil 6. Bir taş mahmuzun enkesiti	17
Şekil 7. Sünizoidal dalga profili	19
Şekil 8. Model havuzu donanımı	50
Şekil 9. Ölçüm ağı	51
Şekil 10. T Mahmuz ölçüm bölgeleri	52
Şekil 11. Düz Mahmuz ölçüm bölgeleri	52
Şekil 12. Sayısal modelin fiziksel ifadesi	56
Şekil 13. $X/X_b=0$ için kıyıya paralel taşınımın kıyıya dik yayılışı	58
Şekil 14. $X/X_b=0.5$ için kıyıya paralel taşınımın kıyıya dik yayılışı	59
Şekil 15. $X/X_b=0.7$ için kıyıya paralel taşınımın kıyıya dik yayılışı	59
Şekil 16. Sayısal modelde bir noktada etkili olan taşınım debileri ve pozitif yönleri	61
Şekil 17. Gelen dalganın üç dalga bölgesinin dağılımı	64
Şekil 18. 3 Değişik mahmuz boyu için mahmuz uzunluğunun dolma miktarına etkisi ($\alpha=30^\circ$)	74
Şekil 19. 4 Değişik mahmuz boyu ve 2 mahmuz uzunluğu için mahmuz boyunun dolma miktarına etkisi ($\alpha=30^\circ$).....	75
Şekil 20. Düz mahmuzlarda mahmuz boyunun dolma miktarına etkisi ($\alpha=15^\circ$)	76
Şekil 21. 3 Başlık uzunluğu için dolma miktarının L_G/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$).....	78
Şekil 22. 4 Mahmuz aralığı için dolma miktarı parametresinin L_B/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)	79

Şekil 23. $L_X=133.33$ cm için dolma miktarı parametresini L_B/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)	80
Şekil 24. $H=5.33$ cm için dolma miktarı parametresinin L_B/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)	81
Şekil 25. T mahmuzlarında dalga yüksekliğinin dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=30^\circ$).....	82
Şekil 26. Düz mahmuzlarda dalga yüksekliğinin dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=15^\circ$).....	83
Şekil 27. T mahmuzlarında dalga periyodunun dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=15^\circ$).....	84
Şekil 28. Düz mahmuzlarda dalga periyodunun dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=15^\circ$).....	85
Şekil 29. T mahmuzlarında dalga geliş açısının dolma miktarı parametresine etkisi ($H=3.33$ cm).....	86
Şekil 30. T mahmuzlarında dalga geliş açısının dolma miktarı parametresine etkisi ($H=5.33$ cm).....	86
Şekil 31. Düz mahmuzlarda dalga geliş açısının dolma miktarı parametresine etkisi	87
Şekil 32. Dolma miktarı parametresinin zamanla değişimi ($\alpha=15^\circ$).....	89
Şekil 33. 3 Değişik başlık uzunluğuna sahip T mahmuzu ile düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$).....	90
Şekil 34. $H/L=0.028$ olması durumunda T mahmuzu ve düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=15^\circ$).....	91
Şekil 35. $H/L=0.045$ olması durumunda T mahmuzu ve düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=15^\circ$).....	91
Şekil 36. Değişik dalga periyodu durumunda T mahmuzu ve düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=15^\circ$).....	92
Şekil 37. T mahmuzları için sayısal modelde kullanılan denklemlerin karşılaştırılması	93

Şekil 38. Düz mahmuzlar için sayısal modelde kullanılan denklemlerin karşılaştırılması	94
Şekil 39. T mahmuzları için sayısal modelde kullanılan denklemlerin karşılaştırılması	95
Şekil 40. Düz mahmuzlar için sayısal modelde kullanılan denklemlerin karşılaştırılması	96
Şekil 41. T mahmuzlarında deney sonuçları ve sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması	96
Şekil 42. Düz mahmuzlarda deney sonuçları ve sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması	97
Şekil 43. T mahmuzları için zaman karşı yapılan deneylerin sayısal modelde sonuçları	98
Ek şekil 1. Deney 1 sonucu oluşan taban topoğrafyası	115
Ek şekil 2. Deney 4 sonucu oluşan taban topoğrafyası	116
Ek şekil 3. Deney 11 sonucu oluşan taban topoğrafyası	116
Ek şekil 4. Deney 15 sonucu oluşan taban topoğrafyası	116
Ek şekil 5. Deney 22 sonucu oluşan taban topoğrafyası	117
Ek şekil 6. Deney 23 sonucu oluşan taban topoğrafyası	117
Ek şekil 7. Deney 24 sonucu oluşan taban topoğrafyası	118
Ek şekil 8. Deney 26 sonucu oluşan taban topoğrafyası	118
Ek şekil 9. Deney 27 sonucu oluşan taban topoğrafyası	119
Ek şekil 10. Deney 29 sonucu oluşan taban topoğrafyası	119
Ek şekil 11. Deney 30 sonucu oluşan taban topoğrafyası	120
Ek şekil 12. Deney 31 sonucu oluşan taban topoğrafyası	120
Ek şekil 13. Deney 36 sonucu oluşan taban topoğrafyası	120
Ek şekil 14. Deney 39 sonucu oluşan taban topoğrafyası	121
Ek şekil 15. Deney 55 sonucu oluşan taban topoğrafyası	121
Ek şekil 16. Deney 58 sonucu oluşan taban topoğrafyası	121
Ek şekil 17. Deney 64 sonucu oluşan taban topoğrafyası	122
Ek şekil 18. Deney 65 sonucu oluşan taban topoğrafyası	122
Ek şekil 19. Deney 66 sonucu oluşan taban topoğrafyası	123

Ek şekil 20. Deney 67 sonucu oluşan taban topoğrafyası	123
Ek şekil 21. Deney 68 sonucu oluşan taban topoğrafyası	124
Ek şekil 22. Deney 69 sonucu oluşan taban topoğrafyası	124
Ek şekil 23. Deney 70 sonucu oluşan taban topoğrafyası	124
Ek şekil 24. Deney 71 sonucu oluşan taban topoğrafyası	125
Ek şekil 25. Deney 72 sonucu oluşan taban topoğrafyası	125
Ek şekil 26. Deney 73 sonucu oluşan taban topoğrafyası	126
Ek şekil 27. Deney 74 sonucu oluşan taban topoğrafyası	126
Ek şekil 28. Deney 75 sonucu oluşan taban topoğrafyası	127
Ek şekil 29. Deney 76 sonucu oluşan taban topoğrafyası	127
Ek şekil 30. Deney 77 sonucu oluşan taban topoğrafyası	128
Ek şekil 31. Deney 78 sonucu oluşan taban topoğrafyası	128
Ek şekil 32. Deney 79 sonucu oluşan taban topoğrafyası	128
Ek şekil 33. Deney 80 sonucu oluşan taban topoğrafyası	129
Ek şekil 34. Deney 81 sonucu oluşan taban topoğrafyası	129
Ek şekil 35. Deney 82 sonucu oluşan taban topoğrafyası	130
Ek şekil 36. Deney 83 sonucu oluşan taban topoğrafyası	130
Ek şekil 37. Deney 84 sonucu oluşan taban topoğrafyası	131
Ek şekil 38. Deney 85 sonucu oluşan taban topoğrafyası	131
Ek şekil 39. Deney 86 sonucu oluşan taban topoğrafyası	132
Ek şekil 40. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no:22)	133
Ek şekil 41. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no:22)	133
Ek şekil 42. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no:22)	133
Ek şekil 43. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no:22)	134
Ek şekil 44. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)	134
Ek şekil 45. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no:27)	134
Ek şekil 46. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)	135

Ek şekil 47. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)	135
Ek şekil 48. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)	135
Ek şekil 49. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)	136
Ek şekil 50. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)	136
Ek şekil 51. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)	136
Ek şekil 52. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 66)	137
Ek şekil 53. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 69)	137
Ek şekil 54. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 71)	137
Ek şekil 55. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: ...)	138
Ek şekil 56. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 74)	138
Ek şekil 57. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: ...)	138
Ek şekil 58. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 76)	139
Ek şekil 59. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 79)	139
Ek şekil 60. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 80)	139
Ek şekil 61. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)	140
Ek şekil 62. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)	140
Ek şekil 63. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)	140
Ek şekil 64. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)	141
Ek şekil 65. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)	141
Ek şekil 66. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)	141
Ek şekil 67. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)	142

Ek Şekil 68. $x/x_b=0$ işin Kamphuis denkleminin sonucu taban topoŐrafyası (Deney no: 84)	142
Ek Şekil 69. $x/x_b=0$ işin Cerc denkleminin sonucu taban topoŐrafyası (Deney no: 86)	142
Ek Şekil 70. $x/x_b=0.5$ işin Cerc denkleminin sonucu taban topoŐrafyası (Deney no: 86)	143
Ek Şekil 71. $x/x_b=0.7$ işin Cerc denkleminin sonucu taban topoŐrafyası (Deney no: 86)	143
Ek Şekil 72. $x/x_b=0$ işin Kamphuis denkleminin sonucu taban topoŐrafyası (Deney no: 86)	143
Ek Şekil 73. Düz paralel konturlarda dalga sapmasının bulunması	144
Ek Şekil 74. Kırılan dalga yüksekliğinin bulunması	145
Ek Şekil 75. Kırılma derinliğinin bulunması	146



ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Çizelge 1. Dalga kırılma tipleri	30
Çizelge 2. Yapılan deneyler	53
Çizelge 3. T mahmuzu deney sonuçları	67
Çizelge 4. Düz mahmuz deney sonuçları	69
Çizelge 5. T mahmuzlarında zamana karşı yapılan deney sonuçları	69
Çizelge 6. T mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)	70
Çizelge 7. T mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)	70
Çizelge 8. Düz mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)	71
Çizelge 9. Düz mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)	71
Çizelge 10. T mahmuzları zamana karşı sayısal model sonuçları (R_i)	72
Ek çizelge 1. T mahmuzlarda bölgelere göre dolma miktarları	108
Ek çizelge 2. Düz mahmuzların bölgelere göre dolma miktarları	112
Ek çizelge 3. Zamana göre deneylerde bölgelere göre dolma miktarları	113
Ek çizelge 4. Taban topoğrafyası çizilen deneyler ve sayısal model sonuçları	114

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

- a** : Mahmuzlar arası mesafe, dalga genliği, regresyon katsayısı, taban eğimine bağlı bir parametre
- A** : Havza alanı
- A_k** : Oluşturulan ölçüm ağındaki bir karenin alanı
- A_m** : Toplam mendirek koruma alanı
- A_w** : Boyutsuz katsayı
- A_{wb}** : Türbülansın bir fonksiyonu
- b** : Kırılma noktasını gösteren indis, ortagonaller arası mesafe, regresyon katsayısı, taban eğimine bağlı bir parametre
- B** : Mahmuz ucundan dolaşan kum miktarı faktörü
- C** : Dalga yayılma hızı
- C_g** : Dalga grup hızı
- d'** : Dalga genliği (H/2)
- d₅₀** : Ortalama dane çapı
- D** : Her bir hacim başına enerji dağılımı, mahmuz koruma alanındaki toplam dolma yüksekliği
- D_{EQ}** : Denge profili altında dağılım
- e** : Orijinal kıyı çizgisi ile müsaade edilen kıyı çizgisi gerilemesi arasındaki mesafe, deneysel katsayı
- E** : Dalga enerjisi
- f** : α ve H'nın dağıtma frekansı
- f_i** : Fırtınanın görülme yüzdesi
- F_D** : Taşınım yönünü belirleyen fonksiyon
- F_O** : Boyutsuz çökme parametresi
- F** : Mahmuzun içinden veya üzerinden kum geçme oranı
- g** : Yerçekimi ivmesi
- G_O** : Dolma ve erozyon miktarı ile ilgili bir parametre

Δt	: Zamandaki artış miktarı
Δx	: Dilim genişliği
Δy	: Dilim genişliği
γ_s	: Taşın özgül ağırlığı
γ_w	: Suyun özgül ağırlığı
γ_r	: Kullanılacak malzemenin birim ağırlığı
γ_f	: Deniz suyunun özgül ağırlığı
η	: Dalga profiline bağlı bir değişken
ξ	: Dalga kırılma tipi katsayısı
ψ_m	: Shields parametresi
ψ_c	: Katı madde taşınımının başladığı kritik shields parametresi
ψ'	: Katı madde hareket faktörü
τ	: Taban kayma gerilmesi
τ_{cr}	: Hareket başlangıcındaki kayma gerilmesi
ϕ	: Taşınım oranı
Φ	: Kırılma indisi
ρ	: Suyun özgül ağırlığı
ρ	: Akışkanın özgül ağırlığı
ρ_s	: Katı maddenin özgül ağırlığı
ν	: Akışkanın viskozitesi
λ	: Ölçek parametresi

- h** : Su derinliği
- h_b** : Kırılma anındaki su derinliği
- h'** : Taban malzemesinin taşınabileceği derinlik
- H** : Dalga yüksekliği
- h_m** : Mendirek önü derinliği
- H'** : Sığlaşma sonucu oluşan dalga yüksekliği
- H_b** : Kırılma anındaki dalga yüksekliği
- H_d** : Engel arkasındaki dalga yüksekliği
- H_m** : Modeldeki dalga yüksekliği
- H_o** : Derin deniz dalga yüksekliği
- H_p** : Gerçekteki dalga yüksekliği
- H_Y** : Yansıyan dalga yüksekliği
- i** : x doğrultusu boyunca dilim artış indisi,
- j** : Akarsuyun taban eğimi,
- k** : Dalga sayısı, deneysel katsayı
- K_1** : Deneysel kalibrasyon katsayısı, kaya dolgu malzemesi için bir katsayı,
- K_2** : Deneysel kalibrasyon katsayısı,
- K_d** : Dönme katsayısı
- K_D** : Boyutsuz katsayı
- K_r** : Sapma katsayısı
- K_s** : Sığlaşma katsayısı
- K_Y** : Yansıma katsayısı
- l** : Durgun su seviyesinden mesafe
- L** : Dalga boyu
- L_G** : Mahmuz aralığı
- L_m** : Modeldeki dalga boyu
- L_o** : Derin deniz dalga boyu
- L_p** : Gerçekteki dalga boyu
- L_X** : Mahmuz boyu
- m** : Taban eğimi
- n** : Mahmuz koruma alanındaki ölçüm noktası sayısı, zamandaki artış değişkeni

p	: Kumun porozitesi
P	: Geçirgenlik faktörü, dalga gücü veya enerji akısı
q	: Taşınım miktarı
q_{net}	: Net taşınım miktarı
q_b	: Kırılma noktasındaki taşınım miktarı
Q	: Kıyı boyu katı madde taşınımı miktarı
Q_i	: i diliminden çıkan debi
R	: Akımın hidrolik yarıçapı, boyutsuz dolma miktarı parametresi
s	: Danenin sudaki ağırlığı
t	: Zaman
T	: Dalga periyodu
T_m	: Modeldeki periyot
T_p	: Gerçekteki periyot
T_r	: Taşınan malzemenin mahmuzlarla tutulma oranı
u_b	: Taban yörünge hızı
U_r	: Ursel parametresi
U_{max}	: Tabandaki akışkan hızı
v	: Akımın ortalama hızı
w	: Çökelme hızı, açısal frekans, taş ağırlığı
w_o	: Çökelme hızı
x	: Kırılma noktasından mesafe, yatay eksen boyunca alınan mesafe
X	: Mahmuz aralığı
X_G	: Mahmuz aralığı
X_r	: Tırmanma limitinden mesafe
Y_G	: Mahmuz boyu
Y_i^n	: Başlangıç anında i diliminin kıyı çizgisi ordinatı
Y_i^{n+1}	: Başlangıçtan t süre sonra i diliminin kıyı çizgisi ordinatı
α	: Dalga geliş açısı, şev açısı
α_b	: Kırılma anındaki dalga açısı
β	: Gelecekteki kıyı çizgisi ile müsaade edilen kıyı çizgisi gerilemesi arasındaki açı
ΔF	: Birim alan başına enerji akısı dağılımı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Uzun bir kıyı şeridine sahip ülkemizde, kıyılar ve kıyı yapıları ile ilgili çalışmalar, İnşaat Mühendisliğinin önemli uygulama alanlarından biri olmuştur. Dünyada meydana gelen gelişmelerin bir sonucu olarak, insanların kıyılara bakışı değişmekte ve kıyıların kullanımı her geçen gün artmaktadır. Buna paralel olarak Kıyı ve Liman Mühendisliği de İnşaat Mühendisliğinin önemli bir dalı haline gelmiştir.

Dalgaların karmaşık bir yapıda olması ve mekanizmasının tam olarak çözülememiş olmasından dolayı kıyı yapıları ile ilgili çalışmalar zor ve zahmetli olmaktadır. Bugüne kadar bu konuda teorik ve deneysel olmak üzere bir çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bir kıyı yapısı tasarımının sadece yapının şekli, yeri ve boyutları ile sınırlı olmadığı açıkça ortaya çıkmaktadır. Kıyı yapısının sadece statik olarak yerinde kalabilmesi yeterli olmamaktadır. Bunun yanı sıra yapı görevini en ekonomik şekilde yerine getirmelidir. Yapının çevreye etkileri olabildiğince az olmalıdır. Akıntıları çok az etkilemeli, ekolojik dengeyi bozmamalıdır.

Özetle bir kıyı yapısının planlanması bir çok faktörü kapsayan ve sonuçta optimum çözüme varmayı amaçlayan geniş bir çalışmadır.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, kıyıya dik yapıların kıyı değişimine etkileri araştırılmıştır. Dünyada kıyı yapıları konusunda çalışmalar hızla ilerlerken 8500 km'lik deniz kıyısı bulunan ülkemizde de bu tür çalışmalar hızla artmaktadır. Bir çok kıyımızda, kıyı koruma problemleri ve kumsal oluşturulması ile ilgili problemler mevcuttur. Çalışmada, kıyıya dik yapıların, çeşitli dalga ve kıyı şartları için yer, konum ve boyutları araştırılmıştır.

İlk önce, mahmuzlar konusunda dünyada yapılan çalışmalar incelenmiş ve çalışmaya esas teşkil edilmiştir. Literatürde geçen fiziksel model çalışmaları, kıyı çizgisi değişimi için geliştirilen teoriler ve kıyı boyu katı madde taşınımı hakkında genel bilgiler

araştırılmıştır. Çalışmada, kıyı değişimini hesaplayabilmek için, literatürde geçerli olan denklemlerin kullanıldığı bir sayısal model ve bunun bilgisayara uyarlanması yapılmıştır.

İncelemeler sonucu, yapılabilecek model tespit edilmiş ve 12-30 m ebadındaki model havuzunun elverdiği oranda model ölçeği küçük tutulmak istenmiş ve ölçek 1/75 olarak seçilmiştir. Çeşitli yönlerden, çeşitli yükseklik ve periyotlarda gelen dalgalar için, iki adet mahmuzdan oluşan deney düzeneğinde deneyler yapılmıştır. Mahmuzların koruma alanında meydana gelen değişimler incelenmiştir. Deney sonuçlarına göre mahmuzların kıyı değişimine etkileri düzeneği üzerinde belirlenmeye çalışılmıştır. Deney sonuçları geliştirilen sayısal model sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

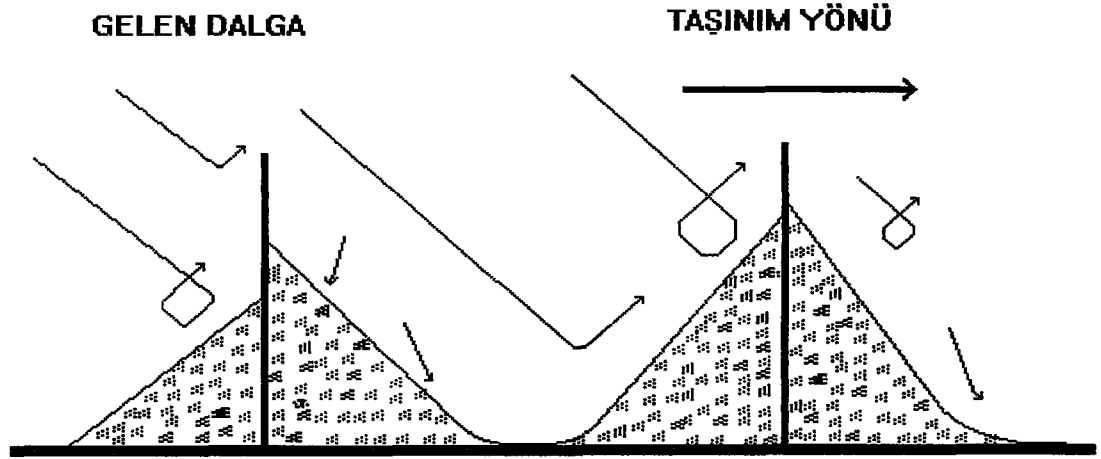
1.3. Literatür Taraması

Dünyamızda denizlerin karalardan daha fazla yer kapladığı ve deniz kıyıları ile ilgili yüzlerce sorunla karşılaştığı göz önüne alınırsa, deniz yapılarının önemi ortaya çıkmaktadır. Teknolojik gelişmeye paralel olarak kıyı ve liman mühendisliği dalında da gelişmeler hızlanmıştır. Çeşitli yerlerde kıyı koruması ve mahmuzların boyları, aralıkları, açıları vb. konularda teorik ve deneysel çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Burada, bu araştırma ve çalışmalar konusunda tarih sırası gözetilerek özet bilgiler verilmektedir.

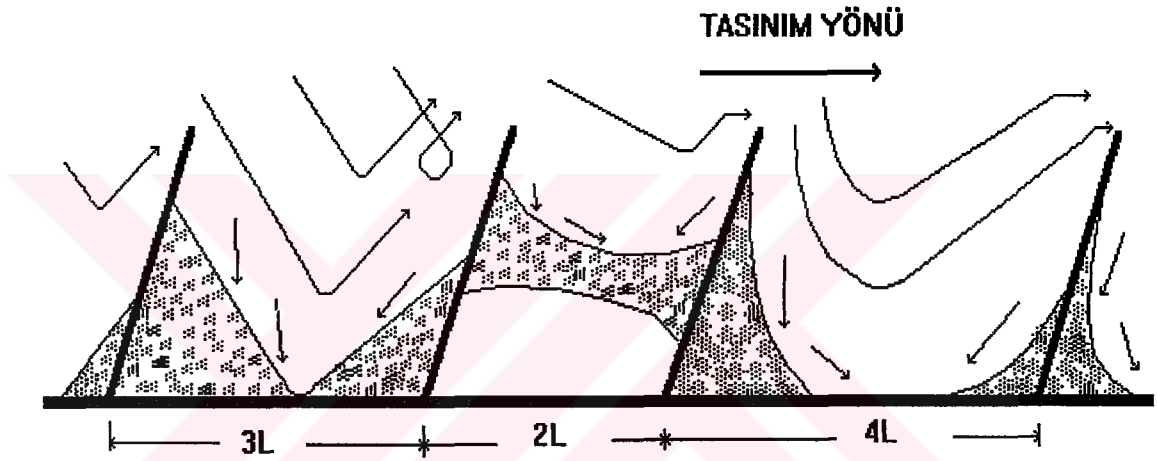
Nagai ve Magens [1], düz mahmuzlar üzerine genel bir çalışma yapmışlardır. Yaptıkları model deneylerinde mahmuz açıları, mahmuz aralıkları ve kum birikme şekillerini incelemişlerdir. Nagai, değişik mahmuz aralıkları için mahmuz aralıklarında kum birikmelerini incelemiştir(Şekil 1 ve Şekil 2). Magens kum birikme şekline göre mahmuz aralığı ile ilgili bir formül vermiştir(Şekil 3).

$$\text{Cotg}\beta = \frac{a}{2 \cdot e} \quad (1)$$

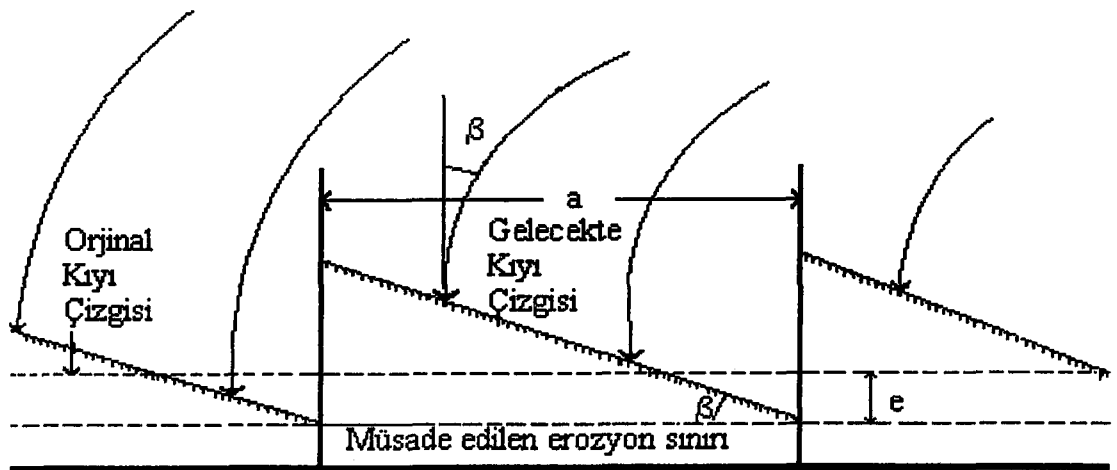
Burada, a mahmuzlar arası mesafe, e orijinal kıyı çizgisi ile müsaade edilen kıyı çizgisi arasındaki mesafe ve β gelecekteki kıyı çizgisi ile müsaade edilen kıyı çizgisi arasındaki açıdır.



Şekil 1. Nagai'ye göre mahmuzlar arası kum birikmesi



Şekil 2. Nagai'ye göre değişik mahmuz aralıkları için mahmuzlar arası kum birikmesi



Şekil 3. Magens'e göre mahmuz aralığı

Ishiara ve Sawaragi [2], mahmuz kullanılan kıyılarının stabilitesi hakkında araştırmalar yapmışlardır. Burada söz konusu olan yer, Japonya'nın Tokushima kentinde yaklaşık 8 km uzunluğundaki Imuza ve Sakano kıyılarıdır. Buradan elde edilen sonuçlara göre, "T" tipi mahmuzlar kıyı boyu taşınım yönünün önemli değişikliğe neden olduğu kıyılarda, stabilite için etkili sonuçlar vermektedir. Uzun "T" mahmuzları, kıyı şekillerini düzenlemek için inşa edilebilir. Mahmuz yapılacak sahilin şartları iyi bilinirse, mahmuzlarla depolanabilecek kum miktarları tahmin edilebilir. Yöreye göre mahmuzların depolama kapasitesinin değişim gösterdiği görülür. Çünkü kıyı boyu katı madde taşınımı yöreden yöreye değişebilir.

Bakker [3] mahmuz yapılarının inşa edildiği kıyılarda kullanılan one-line ve two-line teorileri ile ilgili formülleri vermiştir.

Çeşitli araştırmacıların çalışmalarını değerlendirmiştir. Pelnard-Considerere göre kıyı boyu taşınım Q , belirgin dalga açısının bir fonksiyonudur. Kıyı boyu taşınım formülleri,

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{q}{D} \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (2)$$

$$q = \frac{\partial Q}{\partial \alpha} \quad (3)$$

şeklindedir. Konveks bir kıyının oyulduğunu ve konkav bir kıyının dolacağını ortaya koymuşlardır. Kıyıda mahmuz yokken, tek mahmuz ve birden fazla mahmuz varken kıyının durumunu gösteren formülleri vermişlerdir.

Price ve Tomlinson [4], zamanla değişmeyen durgun kıyılarda düz mahmuzların etkilerini incelemişlerdir. Geçirgen ve geçirgen olmayan mahmuzları ele almışlar ve mahmuz aralıklarının $L_G=L_X$, $L_G=1.5 \cdot L_X$ ve $L_G=2 \cdot L_X$ olması halinde kıyıda oluşabilecek değişiklikleri araştırmışlardır.

Barcelo [5], mahmuz sistemlerinin hidrolik davranışlarını deneysel olarak inceledi. Mahmuz aralıkları ile kıyıda kum tutma problemini, erozyon problemini çeşitli boyutsuz sayılara bağlı olarak gösterdi. Kıyı normali ile 5, 10 ve 20 derecelerle gelen dalga serileri denedi ve bunların kum tutma olayındaki etkisini gösterdi. Katı madde debisini aşağıdaki eşitlikle inceledi;

$$Q_{lit} = k \cdot H_o^2 \cdot C_o \quad (4)$$

Buradaki denklemin, açının etkisiyle aşağıdaki biçime dönüştüğünü gösterdi:

$$Q_{lit} = 0.03 \cdot H_o^2 \cdot \sin^2 2\alpha_o \quad (5)$$

Anderson, Hardaway ve Gunn [6], Virginia'nın Chesapeake körfezinde 5 km uzunluğundaki kıyıda mahmuzlar ve spur denilen kıyıya az çok paralel yapıların kıyıya etkilerini incelemişlerdir. Spur sayesinde kıyıda oluşan olumlu gelişmeyi bulmuşlardır.

Hanson ve Kraus [7], üç adet mahmuz ve üç adet açıklık mendireğinden oluşan ayrı iki sistem üzerinde deneysel çalışma gerçekleştirdiler. Şekil 4'de görüldüğü gibi 16-20 metre ebadındaki deney havuzunda, 1/50 model ölçeği kullanarak, 14° açı ile gelen dalgalar için, 1/10 taban eğiminde ve 0.27 mm dane çapında kum kullanarak düzeneği oluşturdular. Deneylerde, mahmuzlar için, $H_o=5.8$ cm, $T=1.2$ sn, $h=40$ cm ve $H_o/L_o=0.027$ olarak kullanmışlardır. 0.5 m aralıklarla dalga yüksekliklerini ölçmüşler ve hesap yolu ile bulunan dalga yükseklikleri ile karşılaştırmışlardır. Daha önceden elde ettikleri kıyı boyu katı madde taşınımına ait olan aşağıdaki formülü vermişlerdir.

$$Q = [H^2 \cdot C_g]_b \cdot \left\{ \frac{K_1}{16 \cdot (S-1) \cdot (1-p)} \cdot \sin 2\alpha_{bs} - \frac{K_2}{8 \cdot (S-1) \cdot (1-p) \cdot \tan \beta} \cdot \cos \alpha_{bs} \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right\} \quad (6)$$

- Q : Kıyı boyu taşınım
- H : Dalga yüksekliği
- C_g : Dalga grup hızı
- K_1 : Deneysel kalibrasyon katsayısı
- K_2 : Deneysel kalibrasyon katsayısı
- α : Dalga açısı
- p : Porozite
- S : ρ_s / ρ
- β : Taban eğimidir.

Denklem 8'de birinci terim, kırılan dalgalar sonucu oluşan kıyı boyu taşınımı, ikinci terim ise, kıyı boyunca kırılan dalga yüksekliğinin değişimi tarafından oluşturulan taşınımı göstermektedir. Deneyleerde dalga yüksekliği 1 m ve dalga açısı 20° olarak kullanılmıştır. 3 mahmuzlu bir kıyıda, 1 ve 10 yıllık zaman aralıklarında kıyının gelişimini incelemişler ve mahmuzun memba tarafındaki yığılmanın mansap tarafındaki erozyona yakın miktarda olduğunu görmüşlerdir.

Sundar, Noethel ve Holz [10] düz mahmuzlarla kıyı koruması gerçekleştirilmiş olan Doğu Frison adasında, mahmuz aralarındaki dalga yüksekliklerini ölçmüşler ve bunların olasılık dağılımlarını incelemişlerdir. Olasılık yoğunluğu hakkında aşağıdaki formülü vermişlerdir:

$$P = p(\eta) \cdot \partial\eta = \frac{1}{\sigma_\eta \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\eta - \bar{\eta})^2}{2 \cdot \sigma_\eta^2}\right] \cdot \partial\eta \quad (9)$$

Bu fonksiyon Rayleigh ve Weibull dağılımları ile karşılaştırmış ve sonuç olarak ölçüm yapılan yerlerde, dalga karakteristiklerinin belirgin şekilde değişmediği, fakat analiz metoduna göre, olasılık yoğunluğunun farklılık gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Moutzouris [11], Yunanistan'ın kuzeyinde Aghia Marina Platanias sahilinde 1985'de tamamlanan balıkçı barınağının neden olduğu kıyı erozyonu sorununu incelemiştir. Yapılan laboratuar çalışması neticesinde, erozyon olan sahilde kıyıya dik 6 adet seri mahmuz inşa edilmesini önermiştir. Önerilen mahmuzlar inşa edildikten sonra yapılan gözlemlerde, model sonucu hesaplanan değerler ile uygulama sonucu oluşan değerlerin birbirine uygun olduğunu belirledi.

Yu-Hwa Wang [12], Galveston koyu girişinde, mahmuzlarla oluşturulan bir kıyı koruma çalışması gerçekleştirmiştir. Bu bölgede hakim dalga yönü güneydoğu ve güney yönleridir. Çalışmada, mahmuzlar arası kum beslenmesi de yapılmıştır. Gelen dalga yönlerine göre kum hareket yönlerini incelemiştir. Mahmuzlar arası açıklık 1500 feet'den 750 feet'e indirilince, taşınım miktarının azaldığını ve taşınım yönünün benzer kaldığını görmüştür. Kıyısız taşınım miktarının kıyı çizgisi ile dalga kreti arasındaki açıya bağlı olduğu bilinmektedir. Taşınım yönü aynı, açı farklı iken taşınım miktarını aşağıdaki gibi vermiştir:

$$Q(\alpha, H) = 2.03 \cdot 10^6 \cdot f \cdot H^{5/2} \cdot F(\alpha) \quad (10)$$

$$F(\alpha) = (\cos \alpha)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha \quad (11)$$

Verilen bir H değeri için kıyasal taşınım miktarı dalga açısının bir fonksiyonu ise, $\alpha_1 > \alpha_2 > \alpha_3$ için $Q_1 > Q_2 > Q_3$ şeklinde olur. Burada f, H ve α 'nın dağıtma frekanslarıdır. Kıyı koruma yapıları gerçekleştirilmeden önce, mahmuz tipinin iyi seçilmesi, uzunluklarının hesaplanması ve kırılma çizgileri ile sapma analizinin yapılması gerektiğini belirtmiştir.

Silvia C. Marcomini ve Ruben A. Lopez [13] adlı araştırmacılar, Buenos Aires kıyılarının korunması konusunda çalışmışlardır. Bu bölgede erozyonun, doğal ve insanlar tarafından oluşturulduğunu belirlemişlerdir. Çalışılan kıyılarda son 50 yıl içerisinde 70 adet civarında yapı inşa edilmiştir. Hakim dalga yönü güney ve güney doğudur, maksimum dalga yüksekliği H=4 m ve periyot T=6-16 sn arasında değişmektedir. Net taşınım yönü güneyden kuzeye doğrudur. Net taşınım 300.000-1.000.000 m³/yıl arasındadır. Bölgede araştırmalar sonucu erozyonun üç şekilde görüldüğü gözlenmiştir:

- fırtınalarda ani oluşan erozyon,
- kıyılardaki plansız yapılar sonucu oluşan erozyon,
- deniz seviyesindeki yükselme sonucu oluşan erozyon.

Bu araştırmacılar, denizin, yılda 1.6 mm yükseldiğini görmüşlerdir. Bölgede sadece bir liman bulunmaktadır. Bu kıyılarda üç tip mahmuz, düz açılı ve "T" mahmuzları olarak inşa edilmiştir. Mahmuz boyları 100 m ve mahmuzlar arası boşluklar 80-250 m arasında değişmektedir. İncelemeler sonucu bu kıyılar ve yapılar konusunda üç değerlendirmede bulunmuşlardır. Bunlar;

- bazı kısımlarda koruma yapısının gereksizliği,
- bazı kısımlarda suni besleme yapılması ve
- bazı kısımlarda ise T mahmuzlarının kullanılmasıdır.

Kraus, Hanson ve Blomgren [14] çalışmalarında, tek ve birden fazla mahmuzların Genesis sayısal modeli ile benzeşimlerini gerçekleştirmişlerdir. Mahmuz ucundan kum geçişi, mahmuzun geçirgenliği ve mahmuz alanındaki kıyı çizgisi değişimi araştırmışlardır. Net ve brüt kıyı boyu kum taşınımı arasındaki oranın, mahmuzların

dizaynında önemli bir yer tuttuğunu görmüşlerdir. Kumun mahmuz üzerinden veya içinden geçen kısmı için,

$$F = P \cdot (1 - B) + B \quad (12)$$

vermişlerdir. Burada P, $0 \leq P \leq 1$ olmak üzere geçirgenlik faktörü B, $0 \leq B \leq 1$ olmak üzere mahmuz ucundan dolaşan kum miktarı faktörüdür. Buradan, gerçek taşınım oranını Q_g modelden hesaplanan taşınım miktarı olmak üzere,

$$Q'_g = F \cdot Q_g \quad (13)$$

şeklinde vermişlerdir. Tek ve birden fazla mahmuz için modelle çalışma yapmışlardır. 50, 75, 100, 150 ve 200 m'lik mahmuz boyları (Y_G) için mahmuz aralığı (X_G) araştırılmıştır. 0.25 mm dane çapı, 8 sn dalga periyodu ve 30° dalga açısı kullanarak gerçekleştirdikleri bu çalışmada ortalama $X_G/Y_G=1.0$ olmasının iyi sonuç verdiğini ve mahmuz çalışmalarında Genesis sayısal modelinin başarı ile uygulanabildiğini görmüşlerdir.

Badici, Kamphuis ve Hamilton [15], iki ayrı laboratuarda mahmuzların kıyılara etkileri konusunda deneyler yapmışlardır. Jonswap spektrumuna dayanarak 200 dalgadan oluşan bir düzensiz dalga dizisi kullanarak 8 ve 28 m eninde iki dalga havuzunda deneyleri gerçekleştirmişlerdir. İlk etap da mahmuz bulunmayan bir sahil için, daha sonra bir ve ikili mahmuzlar için gözlem yapmışlardır. Ortalama dane çapı 0.12 mm ve başlangıç eğimi olarak 1/10 kullanılmıştır. Net dolmanın, net erozyondan fazla olduğunu tespit etmişler ve uzun zaman süresince çalışan deney düzeneğinde bile denge konumundaki sahil profilini tespit edememişlerdir. Düzenli dalgalı deneylere tezat olacak şekilde, açıkdeniz de bar oluşmamıştır. Uzun mahmuz durumunda, mahmuz ucundan diğer tarafa kum geçişi olmamasına rağmen, kısa mahmuz durumunda ise geçiş olduğunu tespit etmişlerdir.

Webb [16, 17] 3 ayrı kıyı şeridinde bulunan mahmuzlar üzerinde çalışmıştır. Bu kıyılarda mevcut mahmuzları, hava fotoğraflarını da alarak, uzun dönem ve mevsimlik kıyı değişimlerini ve boyutsuz mahmuz değişkenlerini zamanın, bir fonksiyonu olarak

incelemiştir. Çalışmada, mahmuz davranışlarını tanımlayan değişkenleri 3 gruba ayırmıştır ki bunlar;

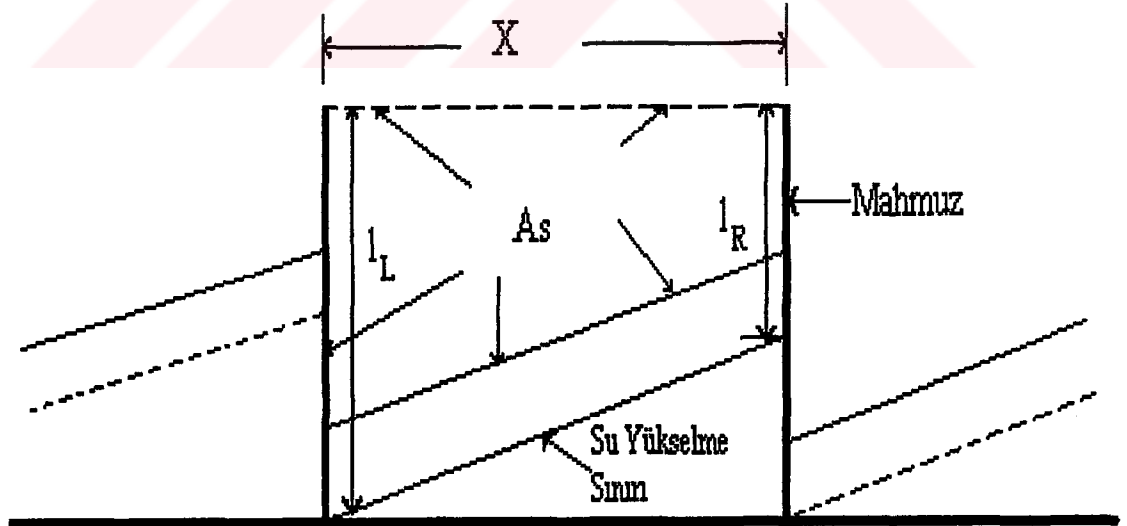
- fiziksel çevreyi tanımlayan yer ve mevki değişkenleri
- tek mahmuzun kıyı çizgisine etkisini tanımlayan mahmuz değişkenleri
- iki bitişik mahmuzu tanımlayan mahmuz bölüm değişkenleridir.

Tüm incelenen değişkenler boyutsuz hale getirilerek kullanılmıştır. İncelenen üç değişik bölgede 10, 12 ve 14 adet mahmuz bulunmaktadır. Mahmuz aralıkları (Şekil 5) için tanımlanmış, boyutsuz mahmuz aralığı değişkenini:

$$\text{- birinci bölge : } \frac{X}{g \cdot T^2} = 0.6 - 1.6 \quad (14)$$

$$\text{- ikinci bölge : } \frac{X}{g \cdot T^2} = 0.5 - 1.0 \quad (15)$$

$$\text{- üçüncü bölge: } \frac{X}{g \cdot T^2} = 0.4 - 1.0 \quad (16)$$



Şekil 5. Webb'in mahmuz parametreleri

şeklinde elde etmişlerdir. Tüm bölgeler için ortalama $l_L/l_R=1.0$ olarak ve $A_S/X((l_L+l_R)/2)=0.95-1.1$ arasında elde edilmiştir.

Wiel, Tilmans ve Vroeg [18]'in yapmış oldukları çalışmada, Cotonou sahillerindeki erozyon ve çözüm önerileri anlatılmaktadır. Burada maksimum erozyon 10-15 m/yıl ve net kıyı boyu taşınım 1.25 milyon m³/yıl'dır. Belirgin dalga yüksekliği 1.25 m, periyodu 4 sn ve dalga yönü SW (güneybatı)'dır. Dane çapı $d_{50}=0.3-0.5$ mm'dir. Kıyı boyu katı madde taşınımının Cotonou Limanı tarafından kesilmesi sonucu bölgede erozyon olmuştur.

Bu çalışmada, kıyı yapılarının modellenmesinde kullanılan "Unibest" bilgisayar programı kullanılmıştır. Bölgeye mahmuzlar, açıkdeniz mendirekleri ve suni besleme yapılması durumları karşılaştırılmış ve mahmuzlarla kıyının düzenlenmesinin, hem fiziksel hem de ekonomik yönden açıkdeniz mendireklerine nazaran daha olumlu sonuçlar verdiği görülmüştür.

Sawaragi[19] gerçekleştirdiği deneysel çalışmada, mahmuzlarla kıyı boyu taşınan malzemenin tutma oranını,

$$T_r = \frac{[Q_{ye}(i_g) - Q_{ye}(i_g + 1)]}{Q_{ye}(i_g)} \quad (17)$$

şeklinde verilmiştir. Burada, $[Q_{ye}(i_g) - Q_{ye}(i_g + 1)]$ toplam kıyı boyu taşınım oranını ifade etmektedir. T_r 'nin mahmuzun uzunluğunda meydana gelen artışla birlikte lineer olarak artmadığını ve mahmuzun bütün kırılma bölgesini kapsamaması durumunda, taşınım oranının %80'ini tuttuğunu tespit etmiştir. Kıyı boyu katı madde taşınımının, gelen dalgaların tırmanma noktası ile açıkdeniz de katı madde hareketinin oluşması için gerekli olan su derinliği arasında gerçekleştiğini belirterek, mahmuz boyunun durgun su seviyesinden değil, tırmanma limitinden ölçülmesi gerektiğini göstermiş ve X_r tırmanma limitinden mesafe, l durgun su seviyesinden mesafe olmak üzere aşağıdaki gibidir.

$$l_e = X_r + l \quad (18)$$

Güngördü ve Otay [20], tek bir mahmuz çevresindeki kıynın değişimini, sadece kıyıya paralel sediment taşınımını dikkate alarak hesaplayan bir sayısal model ve bilgisayar programı gerçekleştirmişlerdir. Geliştirdikleri modelin sonuçlarını 4 sene saha ölçümü yapılan bir kıyı dolgusunun kıyıya etkileri ile karşılaştırmışlardır. Süreklilik denklemleri olarak;

$$\frac{\partial y}{\partial t} \cdot (B + h_c) + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (19)$$

Kıyıya paralel sediment taşınımını hesaplamak için;

$$Q = \frac{K \cdot H_b^{5/2} \cdot g^{1/2} \cdot \sin(2 \cdot \theta)}{16 \cdot k^{1/2} \cdot (s - 1) \cdot (p - 1)} \quad (20)$$

denklemlerini kullanmışlardır. Burada,

- Q : Kıyı boyu taşınım
- H_b : Kırılma anındaki dalga yüksekliği
- C_g : Dalga grup hızı
- K : Sediment taşınım sabiti
- k : Kırılma sabiti
- θ : Dalganın kıyı normali ile yaptığı açı
- B : Mahmuz banket yüksekliği
- h_c : Aktif derinlik
- p : Sedimentin porozitesi
- S : Sediment birim hacim ağırlığı
- t : Zaman
- y : Kıyı şeridinin kıyıya dik uzaklığı
- x : Yanal uzaklığı
- β : Taban eğimi

şeklinde dir. Mahmuz için analitik çözümle geliştirilen modelin ufak farklılıklarla beraber birbirine yakın sonuçlar verdiklerini göstermişlerdir.

Gerçekleştirilen literatür çalışmalarından anlaşıldığı üzere, bir kıyı yöresine bir yapı yapıldığında, kıyının dengesi değişmekte ve kıyı çizgisi etkilenmektedir. Hiç bir yapı olmayan kıyılar ise denge halindedir.

Bir kıyı bölgesine yapı inşa edileceği zaman, bölgenin şartları dikkatli bir biçimde incelenmelidir. Kıyıda hakim dalga yönü ve buna bağlı olarak da, katı madde taşınım yönü çok önemlidir. Eğer kıyıda bir yapı varsa, katı madde taşınımının etkin olduğu yapının memba tarafı dolmaya başlayacak ve yapının mansap tarafı ise erozyona maruz kalacaktır. Bu durum seri halde inşa edilen yapılarda daha değişik sonuçlar verir.

Yapılan incelemeye göre, mahmuzların boy, aralık ve başlık uzunlukları hakkında kesin sonuçlar verilmediği ortaya çıkmıştır. Herhangi bir kıyıda, bir kıyı yapısı inşa edilmiş ise, kıyı çizgisi değişimini etkileyen faktörler;

- dalga yüksekliği (H)
- dalga periyodu (T)
- dalga açısı (α)
- taban eğimi ($\tan\beta$)
- dane çapı (d_{50})
- yapının boyu (L_x)
- yapılar arası mesafe (L_G)
- kıyı boyu katı madde taşınım miktarı (Q)

şeklinde verilmiştir.

1.4. Mahmuzların Genel Özellikleri

Kıyılarda inşa edilen mahmuzlar, kıyı boyu katı madde hareketini engellemek, miktarını azaltmak, kıyıda meydana gelen erozyonu önlemek ve yeni bir kıyı çizgisi veya koruyucu kumsal yaratmak amacıyla, genellikle kıyıya dik olarak inşa edilen kıyı yapılarıdır. Memba tarafındaki malzeme hareketini azaltıp, liman ve balıkçı barınaklarının dolmalarını önlemek amacıyla da kullanılırlar[21, 22].

Kıyı çizgisi boyunca oluşan katı madde taşınımı ile, mahmuzlar arasındaki etkileşim oldukça karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle projelendirilmelerinde çok kesin esaslar koyabilmek, ancak çok uzun çalışmalar sonucu olabilir.

Bir mahmuz inşa edilirken, mahmuzun kıyıya olan bağlantısı sağlam yapılmalı ve en az 6 metre kara içine girmelidir. Mahmuzlar öyle yerleştirilmelidir ki, verilecek açıklıklarda, kıyıda ve kıyıya doğru hareket halindeki malzeme yapıların uçlarını aşıp, dışarı çıkmamalıdır. Bu durumda dalgaların doğrultusu, gelişimi ve malzeme hareketi dikkate alınacak en önemli faktörlerdir.

Mahmuzların uzunlukları ortalama 30-200 metre civarında değişir. Ortalama açıklıkları ise yaklaşık olarak,

$$L_G = (1 - 3) \cdot L_x \quad (21)$$

kadar alınır. "T" mahmuzları ise kıyı malzemesini her iki tarafından tutar ve düz mahmuzlara oranla daha iyi bir koruma sağlarlar.

Kıyının uzun bir kesimini korumak için beraber işleyen bir dizi mahmuza "mahmuz sistemi" adı verilebilir. Mahmuzlar gerek yapısal, gerek işlevsel olarak dalgakıranlardan farklıdır. Dalgakıranlar daha ağır ve büyük elemanlardan meydana gelmiş olup daha geniş ve yüksektirler[23, 24].

Bir mahmuzun uzunluğu, kıyasal katı madde taşınım miktarını belirler ve mahmuzun çalışma şekli yan yana bulunan mahmuzlar arasındaki açıklığın belirlenmesinde kullanılır. Mahmuzlarda kıyıya doğru taşınım artarken, açığa doğru taşınım azalır ve kıyının aşağıya doğru taşınması bir nevi önlenir. Bu durum, kıyıya doğru taşınan kumların bir tepecik oluşturmasına neden olur.

1.4.1. Mahmuzların Çeşitleri

Bu tezde, etüt edilen mahmuz çeşidi taş mahmuzlar olmasına karşın kullanılan malzemenin cinsine göre ve işlevlerine göre mahmuz cinsleri de vardır. Bunları aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir.

1. Kullanılan Malzemenin Cinsine Göre

- Ahşap mahmuzlar
- Çelik mahmuzlar
- Beton mahmuzlar

- Asfalt mahmuzlar

- Taş mahmuzlar

2. İşlevlerine Göre Sınıflandırma

- Geçirimli ve geçirimsiz mahmuzlar

- Yüksek ve alçak mahmuzlar

- Sabit ve ayarlanabilen mahmuzlar

3. Şekillerine göre sınıflandırma

- Düz mahmuzlar

- T mahmuzlar

- L mahmuzlar

1.4.2. Mahmuz Taş Ağırlıklarının Belirlenmesi

Bu çalışmada mahmuzların stabiliteleri önem taşımadığından, sadece mahmuz taş ağırlığını veren ve dünyada geçerli olan üç adet formül verilmiştir. Bunlardan literatürde en çok kullanılan bir tanesi hesaplamalarda kullanılabilir[25, 26].

Irribarren'in verdiği ampirik formül;

$$W = \frac{K_1 \cdot \gamma_r \cdot H^3}{(\gamma_r - 1)^3 \cdot (\text{Cos}\alpha - \text{Sin}\alpha)^3} \quad (22)$$

olarak verilmiştir. Hudson'a göre;

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_2 \cdot (\gamma_r - \gamma_f) \cdot \text{Cot}\alpha} \quad (23)$$

olarak verilmiştir.

Diğer bir formül ise, Larras tarafından aşağıdaki şekilde verilmiştir.

$$W = 0.175^3 \cdot \frac{H^3 \cdot \gamma_s \cdot \gamma_w^3}{\sin^3(45 - \alpha) \cdot (\gamma_s - \gamma_w)^3} \cdot \left[\frac{\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}}{\sinh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot d}{L}\right)} \right]^3 \quad (24)$$

Buradaki semboller,

- W : taş ağırlığı (kg)
- H : dalga yüksekliği (m)
- α : şev açısı
- γ_s : taşın özgül ağırlığı (kg/m^3)
- γ_w : suyun özgül ağırlığı (kg/m^3)
- L : dalga boyu (m)
- d' : dalga genliği (H/2)
- K_1 : kaya dolgu malzemesi için bir katsayı ($K_1=15$)
- K_2 : bir katsayı ($3 \leq K \leq 4$)
- γ_r : kullanılacak malzemenin birim ağırlığı (t/m^3)
- γ_f : deniz suyunun özgül ağırlığı (1.0 t/m^3)

şeklinde ifade edilmektedir. Ortalama bir mahmuzun enkesiti şekil 6'da örnek olarak verilmiştir.

Kıyı koruyucu yapıların projelendirilmesinde en önemli konu, güvenilir yöresel bilgilerdir. Projelendirmeye temel olabilecek herhangi bir ön tasarı ortaya koymadan önce yöreye ilişkin hakim rüzgarlar, ekstrem dalgalar, kumsal oluşumlar, en az 10 m derinliğe kadar kıyı topoğrafyası hakkında mümkün olan en geniş bilgi toplanmalıdır. Koruyucu kıyı yapısı olarak hangi tip seçilirse seçilsin büyük fırtınalar esnasında az çok hasar görmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla bunların periyodik bakımı mutlaka yapılmalıdır.

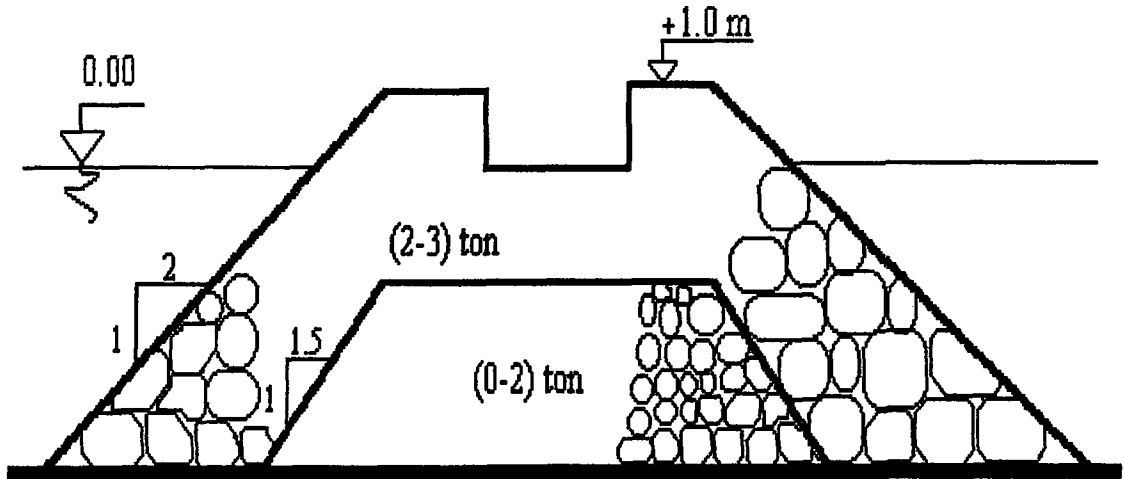
1.5. Dalgaların Genel Özellikleri

1.5.1. Temel Dalga Teorisi

Deniz yüzeyinde rüzgar etkileri ile oluşan dalgalara ilerleyen *ağırlık dalgaları* adı verilir. Gerçek ortamda oluşan ağırlık dalgaları hem çok düzensiz bir dizide oluşurlar, hem de su yüzeyi profili olarak değişkenlik gösterirler. Bu nedenle matematiksel olarak ifade edilmeleri zordur. Diğer taraftan, basit dalga durumunda çeşitli karakteristikleri veren ifadeler, belirli bir yaklaşımla değişik dalga teorilerinde verilmektedir [22]. Bu teoriler:

- Küçük genlikli dalga teorisi
- Sığ su teorisi
- Akım fonksiyonu ve
- Nümerik çözümdür.

Bu teoriler içerisinde uygulamada en sık tercih edilen teori, küçük genlikli dalga teorisidir. Bu teoride küçük genlikli sünizoidal dalgalar göz önüne alınmaktadır. Genellikle Airy tarafından geliştirilen teori kullanılmaktadır. Bu teoride, dalga ortamı bir akım ve bir potansiyel fonksiyonu ile tanımlanmaktadır [27]. İki boyutlu dalgalar için Laplace denkleminin, yüzeydeki ve dipteki sınır koşullarının göz önüne alınarak çözülmesi ile geliştirilmiştir [28, 29, 30, 31]. Burada, hız potansiyeli fonksiyonu için Laplace denklemi,



Şekil 6. Bir taş mahmuzun enkesiti

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} = 0 \quad (25)$$

şeklindedir. Hız potansiyel fonksiyonu ise,

$$\phi = f(z) \cdot \sin(k \cdot x - w \cdot t) \quad (26)$$

halindedir ve dalga profili ($z=0$ için),

$$\eta = -\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial \phi}{\partial z} \quad (27)$$

şeklinde yazılır. Tabanda ve yüzeyde sınır şartları, $-h \leq z \leq \eta$ ve $-\infty \leq x \leq +\infty$ için şu şekli alır:

$$\phi = \frac{a \cdot w}{k} \cdot \frac{\cosh[k \cdot (z + h)]}{\sinh(k \cdot h)} \cdot \sin(k \cdot x - w \cdot t) \quad (28)$$

Burada,

- a : genlik (m)
- k : dalga sayısı ($2\pi/L$)
- L : dalga boyu (m)
- W : açısal frekans ($\text{rad/sn} - 2\pi/T$)
- h : su derinliği (m)
- T : dalga periyodu (sn)

şeklindedir. Eğer deniz yeterince derinse bağıntı aşağıdaki gibi yazılır.

$$\eta(x,t) = a \cdot \cos(k \cdot x - w \cdot t) \quad (29)$$

1.5.2. Dalga Mekanikği

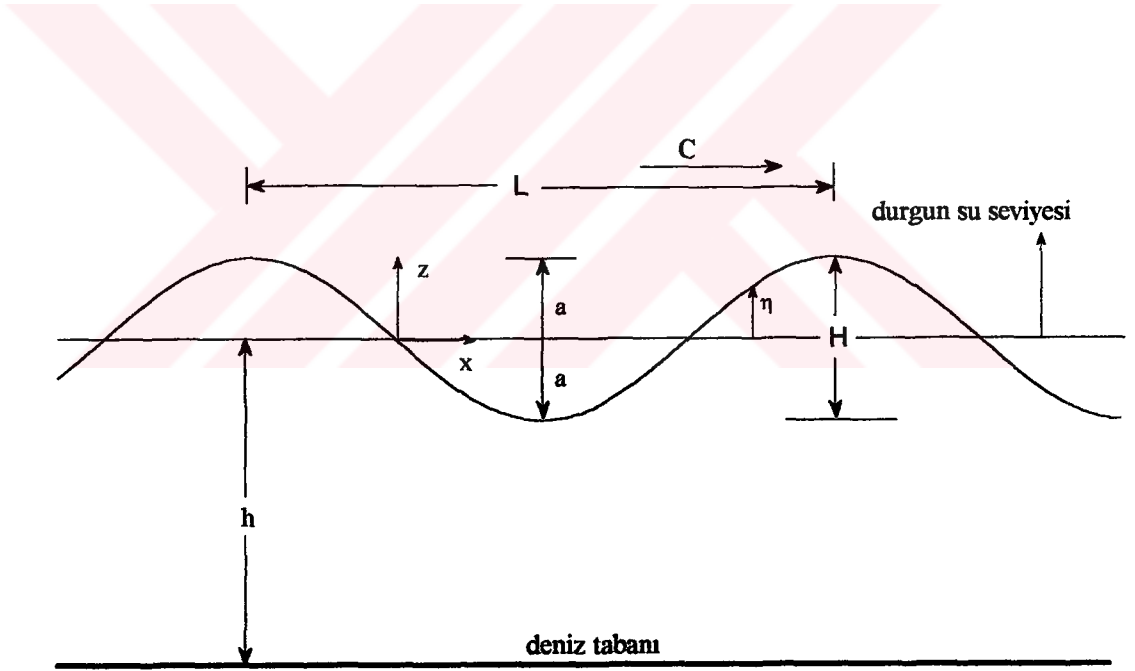
1.5.2.1. Basit Dalga Profili

Dalga problemlerini çözmeye teorik bir dalga formu kullanılmaktadır. İdealize edilmiş bu dalga profiline trigonometrik sinüs fonksiyonu ile aynı yapıda olduğundan *sünizoidal dalga* denir (Şekil 7).

Değişik su seviyelerinde dalga profili, su yüzeyinin düşey hareketini belirler. Dalga profili zamanın ve yerin bir fonksiyonudur. Sünizoidal dalga profili;

$$\eta = a \cdot \text{Sin}\left(2 \cdot \pi \cdot \left[\frac{x}{L} - \frac{t}{T}\right]\right) \quad (30)$$

eşitliği ile verilir. Burada,



Şekil 7. Sünizoidal dalga profil

- η : dalga profilinin durgun suya göre düşey mesafesi
 x : yatay eksen boyunca alınan mesafe (m)
 t : zaman (sn)
 a : dalga genliği (m)
 L : dalga boyu (m)
 T : dalga periyodu (sn)

şeklindedir.

1.5.2.2. Dalga Boyu ve Dalga Hızı

Dalga boyu, dalga periyodu ve su derinliği arasındaki ilişki,

$$L = \frac{g \cdot T^2}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right] \quad (31)$$

ifadesi ile verilmektedir.

Denklem, kapalı bir (implicit) denklem olduğundan, her iki tarafında bilinmeyen olan L yer almaktadır. T ve h değerleri yerlerine yazıldığında, L tatonmanla veya bilgisayar yardımıyla bulunabilir. Dalga hızı,

$$C = \frac{L}{T} \quad (32)$$

dir. Burada verilen iki denklemden,

$$C = \frac{g \cdot T}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right] \quad (33)$$

eşitliği elde edilir veya aşağıdaki gibi yazılır.

$$C = \left[\frac{g \cdot L}{2 \cdot \pi} \cdot \tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right) \right]^{1/2} \quad (34)$$

1.5.2.3. Derin Deniz Dalgaları

Derin deniz dalgalarının iki önemli parametresi, belirgin dalga yüksekliği ($H_{1/3}$) ve belirgin dalga periyodu ($T_{1/3}$)'dur. Derin denizde oluşan dalgalar, kıyıya doğru yaklaşırken çeşitli etkenler nedeniyle değişime maruz kalırlar. Bu değişimin başladığı derinlik, *derin deniz sınırıdır*. Derin deniz sınırının açığındaki dalgalar herhangi bir değişime uğramazken, bu sınırdan kıyıya doğru ilerlerken çeşitli değişikliklere uğrarlar. Bu değişiklikler dalga yönü ve yüksekliğinde olur; dalga periyodu sabit ise kalır. Derin deniz sınırı, deniz derinliğinin dalga boyunun yarısına eşit olduğu yerdir [32].

$$h = 0.5 \cdot L_o \quad (35)$$

$$L_o = 1.56 \cdot T^2 \quad (36)$$

Burada,

- h : derin deniz sınırı derinliği (m),
- L_o : derin deniz dalga boyu (m),
- T : dalga periyodu (sn)'dur.

1.5.2.4. Dalgaların Sınıflandırılması

Deniz dalgaları bir çok farklı kriterlere göre sınıflandırılabilir.

1. Su derinliğine göre ,(küçük genlikli dalgalar, yani ağırlık dalgaları, daha çok bu sınıfa göre sınıflandırılırlar.)
2. Dalga yüksekliğine göre,
3. Dalga yüksekliği, dalga boyu ve dalga derinliğine göre,
4. Dalga hareketinin karakteristiklerine (a,T ve L) göre,
5. Dalga üreten kuvvetlere göre.

1.5.3. Dalgaların Kıyıya Yaklaşırken Uğradığı Değişimler

Dalgalar derin sulardan sığ sulara doğru hareket ederken, taban topografyasının değişiminden ve bir takım doğal ve yapay engellerden etkilenirler. Bu değişimler, dalga mekaniğini ve katı madde taşınım hareketini önemli ölçüde etkiler. Bunlar,

- sapma (refraction)
- sığlaşma (shoaling)
- kırılma (breaking)
- kırınım (diffraction)
- yansıma (reflection)'dir.

1.5.3.1. Dalga Sapması

Dalgaların yayılma hızı su derinliğinin bir fonksiyonudur. Deniz tabanının dalgayı etkilemeye başladığı bölgede, su derinliğine bağlı olarak dalga hızı da değişmektedir. Bir dalganın yayılma hızı denklem (34)'de verilmişti. Sığ bölgedeki bir A noktasında yayılma hızı C_A ve derin bölgede bir B noktasındaki yayılma hızı C_B ise, $C_B > C_A$ olacağından dalga kretinin kıyıya yakın kısımlarının yavaşladığı görülür. Bu hız farkları dolayısıyla dalga batimetriye bağlı olarak dönmeye başlar. Bu olaya *dalga sapması* adı verilir. Bu optikteki ışığın farklı kırıcılıktaki ortamlardan geçişine benzetilebilir. Sapma şu kabullerle Snell Kanununa dayanarak çözülebilir [22, 33].

1. Dalga eksenleri arasında enerji sabittir.
2. Dalga yönü dalga kretine diktir.
3. Dalga yayılma hızı sadece derinliğe bağlıdır.
4. Dalga sabit periyotlu ve küçük genliklidir.
5. Akıntı, rüzgar ve diğer etkiler ihmal edilmektedir.
6. Tabandaki değişim tedricidir.

Dalga yayılma hızı derin sularda $h > L/2$ için $\tanh(2\pi \cdot h/L)=1$ olacağından,

$$C_o = \left[\frac{g \cdot L}{2 \cdot \pi} \right]^{1/2} \quad (37)$$

şeklinde olur. Sığ sularda ise $h \leq L_o/2$ olduğunda ise C,

$$C = (g \cdot h)^{1/2} \quad (38)$$

olur. Bir dalganın açıkdenizdeki enerjisi,

$$E = \frac{1}{8} \cdot \rho \cdot g \cdot H_o^2 \cdot L \quad (39)$$

şeklinindedir. Hareket yönünde birim zamanda yayılan enerjiye *dalga gücü (P)* veya *enerji akısı* denir. Açıkdenizde b_o aralıklı iki bitişik ortogonal arasındaki enerji akısı,

$$P_o = \frac{1}{2} \cdot b_o \cdot E_o \cdot C_o \quad (40)$$

şeklinde verilir. Sığ suda b aralıklı iki ortogonal için,

$$P = n \cdot b \cdot E \cdot C \quad (41)$$

burada,

$$n = \frac{1}{2} \cdot \left[1 + \frac{\frac{4 \cdot \pi \cdot h}{L}}{\text{Sinh}\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \right] \quad (42)$$

şeklinindedir. Her iki denklem eşitlenirse,

$$\frac{E}{E_o} = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{b_o}{b} \cdot \frac{C_o}{C} \quad (43)$$

olur. Dalganın birim boydaki enerjisi bilindiğine göre,

$$\frac{E}{E_o} = \frac{H^2}{H_o^2} \quad (44)$$

olmaktadır. Bu yukardaki bağıntılarda yerine yazılırsa,

$$\frac{H}{H_o} = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{C_o}{C}} \cdot \sqrt{\frac{b_o}{b}} \quad (45)$$

elde edilir. Burada ikinci terim *dalga sapması* olarak adlandırılır. Gösterimi,

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} \quad (46)$$

şeklindedir. Bir dalga ortogonalinin sapma açısı snell kanununa göre,

$$\text{Sin}\alpha_2 = \frac{C_2}{C_1} \cdot \text{Sin}\alpha_1 \quad (47)$$

şeklindedir ve açıkdeniz tarafındaki sınır batimetrisinde,

$$\text{Sin}\alpha = \frac{C}{C_o} \cdot \text{Sin}\alpha_o \quad (48)$$

olmaktadır. Burada K_r ,

$$K_r = \sqrt{\frac{b_o}{b}} = \sqrt{\frac{\text{Cos}\alpha_o}{\text{Cos}\alpha}} \quad (49)$$

bağıntısından bulunur.

1.5.3.2. Dalga Sığlaşması

Derinliğin azalması nedeniyle, dalgalar tabandan etkilenir. Bu etkilenme sonucu, dalga yüksekliğinde çoğu zaman azalma, bazen de artış meydana gelir. Sığlaşma sonucu oluşan dalga yüksekliği,

$$H = H_o \cdot K_s \quad (50)$$

bağıntısı ile hesaplanır. Burada K_s , sapma olayında verilen (45) numaralı formüldeki birinci terimdir ve,

$$K_s = \sqrt{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{n} \cdot \frac{C_o}{C}} \quad (51)$$

bağıntısı ile verilir. Bilinen terimler yerlerine yazılırsa,

$$K_s = \left[\tanh\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right) \right]^{-0.5} \cdot \left[1 + \frac{\frac{4 \cdot \pi \cdot h}{L}}{\text{Sinh}\left(\frac{4 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \right]^{-0.5} \quad (52)$$

şeklinde olur [22]. K_s katsayısı h/L_o değerine bağlı olarak Ağırılık Dalgaları Tablolarından (GWT) alınabilir [34].

1.5.3.3. Dalga Kırınımı

Dalga kırınımı olayı, dalga kreti boyunca yanal enerji transferi olayıdır. Bir dalga katarı, bir engelle karşılaştığında dönme olayı oluşur. Yanal enerji transferi olmasaydı engelin arkasındaki bölge herhangi bir değişikliğe uğramadan ilerlemeye devam ederdi. Oysa, gerçek akışkanlarda enerjinin çok olduğu yerden az olduğu yere doğru bir enerji geçişi olmaktadır. Bu nedenle engelin arkasındaki dalganın sürekliliğini sağlayacak

şekilde bir miktar dalga oluşur ve bu şekilde dalga engelin arkasına dönmüş olur. Kırınım sonucu dalgaların yönü değiştiği gibi yüksekliği de azalır.

Dalga kırınımı kıyı mühendisliğinde önemli bir yer tutar. Özellikle dalgakıran yapılarında, liman giriş ağzı yeri ve liman içi çalkantıları bu olaya bağlıdır. Dalgakıran arkasına dönen dalgaların büyüklüğü grafik veya nümerik yollarla bulunabilir. Bu hesaplar için şu kabuller yapılır.

-Su ideal akışkandır sıkışmaz.

-Dalga küçük genliklidir.

-Dalgakıran ve arkasındaki su derinliği sabittir. Aksi halde sığlaşma ve sapma da meydana gelir. Bir engеле gelen H yüksekliği dalga , engelin arkasında belli bir noktadaki dalga yüksekliği H_d ise dönme katsayısı,

$$K_d = \frac{H_d}{H} \quad (53)$$

şeklinde tanımlanabilir.

Bir engelin arkasındaki değişik noktalarda dalga yükseklikleri değişik olacağından farklı kırınım katsayıları elde edilir. Engelin arkasındaki, aynı dönme katsayısına sahip noktaları birleştiren eğrilere dönme çizgileri adı verilir. Kırınım katsayıları, dalganın dalgakıran eksenine göre geliş açısına, dalgakıran tipine, boyutlarına ve geometrik özelliklerine bağlıdır.

1.5.3.4. Dalga Yansıması

Açık denizden kıyıya doğru yaklaşan bir dalga, bir engelle karşılaştığında, eğer engelin geometrisi ve yüzey özellikleri dalganın sönmelenmesine yol açmıyorsa, gelen dalga enerjisinin bir kısmı veya tamamı geri yansır.

Dalga yansıması çeşitli kıyı problemlerinde ve özellikle liman boyutlarının ve liman yapılarının tiplerinin belirlenmesinde başlıca etkenlerden birisidir. Bir limanda yansıyan ve gelen dalgaların süperpozisyonu ile büyük çalkantılar meydana gelmektedir. Yansıma katsayısı,

$$K_y = \frac{H_y}{H} \quad (54)$$

şeklindedir. Burada,

H : gelen dalga yüksekliği

H_y : yansıyan dalga yüksekliğidir.

Bu katsayı 0 ile 1 arasındadır. $K_y=1$ olduğunda tam yansıma, $K_y=0$ olduğunda dalganın yok olduğu söylenebilir.

Çeşitli durumlar için yansıma katsayıları, örneğin, düşey geçirimsiz bir duvardan yansıma ve eğimli yüzeylerden yansıma gibi durumlar için çeşitli şekillerde hesaplanabilir.

1.5.3.5. Dalga Kırılması

Dalgaların, kıyı yakınlarında ilerlemeleri sırasında yükseklikleri ve boyları değişerek deformasyona uğrarlar. Bunun sonucunda, dalga kretinde su moleküllerinin hızlarının dalga hızına eşit olduğu bir sınır koşulu vardır. Bu sınırdaki dalga dikliği çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Mitchel'in verdiği formül:

$$\frac{H}{L} = \frac{1}{7} \cong 0.142 \quad (55)$$

şeklindedir. Kret açısı 120° 'dir. Bu değer üstüne çıktığında, dalga kırılmaya başlar [12, 21, 22, 35, 36]. Miche'de,

$$\left[\frac{H}{L} \right]_b = 0.142 \cdot \tanh \left[\frac{2 \cdot \pi \cdot h_b}{L_b} \right] \quad (56)$$

bağıntısını vermiştir. Goda aşağıdaki formülü vermiştir.

$$\left[\frac{H_0}{L_0} \right] = 0.17 \cdot \left[1 - \exp \left[-15 \cdot \pi \cdot \left(\frac{h_b}{L_0} \right) \cdot \left(1 + 15 \cdot (\tan \beta)^{4/3} \right) \right] \right] \quad (57)$$

Kırılan dalga yüksekliğini bulabilmek için geliştirilmiş olan çeşitli formül ve grafikler vardır. Mc Cowan'ın verdiği formüllerden,

$$H_b = K \cdot h_b \quad (58)$$

$$K = b - a \cdot \frac{H_b}{g \cdot T_2} \quad (59)$$

$$a = 43.75 \cdot (1 - e^{-19 \cdot m}) \quad (60)$$

$$b = \frac{1.56}{(1 + e^{-19.5 \cdot m})} \quad (61)$$

$$h_b = \left[\frac{1}{g^{1/5} \cdot K^{4/5}} \right] \cdot \left[\frac{H_0^2 \cdot C_0 \cdot \cos \alpha_0}{2} \right]^{2/5} \quad (62)$$

$$H_b = \left[\frac{K}{g} \right]^{1/5} \cdot \left[\frac{H_0^2 \cdot C_0 \cdot \cos \alpha_0}{2} \right]^{2/5} \quad (63)$$

H_b elde edilebilir [33, 37].

Munk'un verdiği formül ise [38],

$$\frac{H_b}{H_0} = \frac{1}{3.3 \cdot \sqrt[3]{\frac{H_0}{L_0}}} \quad (64)$$

$$\frac{h_b}{H_b} = 1.28 \quad (65)$$

burada,

- H_b : kırılan dalga yüksekliği
 H_0 : açıkdeniz deki dalga yüksekliği
 L_0 : açıkdenizdeki dalga boyu
 h_b : kırılma derinliğidir.

Mehaute ve Wang ,

$$\frac{H_b}{h_b} = 0.76 \cdot K_r^{3/4} \cdot (\cos \alpha_b)_{1/7} \cdot \left[\frac{H_0}{L_0} \cdot \beta^{4/7} \right]^{-1/4} \quad (66)$$

$$K_r = \left[\frac{\cos \alpha_b}{\cos \alpha_0} \right]^{1/2} \quad (67)$$

bağıntılarını vermiştir [35].

Kırılma noktasına kadar dalga hareketi, yalnızca bir salınım şeklindedir. Bu noktadan sonra ise kütle taşınımı söz konusudur. Kıyıdaki kum hareketinin büyük kısmı, kırılma noktasındaki dalga açısı (α_b) ve dalga yüksekliği (H_b), kıyı boyu katı madde taşınım rejiminde önemli parametrelerdir [39].

Dalgalar, geliş özelliklerine ve taban eğimine bağlı olarak çeşitli tiplerde kırılabilirler. Kırılan dalga tiplerinin tanımlanmasında Battjes tarafından sığ ve derin suda olmak üzere aşağıdaki tarifler yapılmıştır [12, 35].

$$\xi = \tan \beta \cdot \left[\frac{H}{L} \right]^{-1/2} \quad (68)$$

Açıkdeniz ve kırılma noktası dalga özelliklerine bağlı olarak belirlenen ξ_0 ve ξ_b değerleri dikkate alınarak, Çizelge 1'de gösterilen sınıflandırmaya göre, dalga kırılma türleri belirlenir.

Çizelge 1. Dalga kırılma tipleri

Kırılma Türü	ξ_0	ξ_b
Taşarak ve Çökerek	$3.3 < \xi_0$	$2.0 < \xi_b$
Dalarak	$0.5 < \xi_0 < 3.3$	$0.4 < \xi_b < 2.0$
Dökülerek	$\xi_0 < 0.5$	$\xi_b < 0.4$

1.6. Kıyılarda Katımadde Hareketi

Bir kıyı yöresinde, kıyıya dik gelen dalgalar kıyıya dik taşınma neden olurken, kıyıyla bir açı yaparak gelen dalgalar hem kıyıya dik, hem de kıyı boyu taşınım oluştururlar. Kıyıya dik taşınım miktarı, kıyı boyu taşınım miktarına oranla daha azdır. Kış aylarında taşınım yönü kıyıdan uzaklaşacak şekilde olur ki, bu da oyulmaya neden olur ve sahil dikleşir. Yaz mevsiminde de, taşınım kıyıya doğrudur ve malzeme yığılması sonucu yatık profiller oluşur.

1.6.1. Tabanda Hareketin Başlaması

Deniz tabanındaki bir katı madde daneciğini, bir dalga geçişi sırasında harekete geçiren etmen, akış hızı nedeniyle tabanda oluşan kayma gerilmesidir [39]. Kum danecikleri için hareketi başlatan hız,

$$U_{\max} = \left[8 \cdot \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \cdot g \cdot d_{50} \right]^{0.5} \quad (69)$$

eşitliğiyle hesaplanır. Burada;

- U_{\max} : tabandaki akışkan hızı (m/sn),
 g : yerçekimi ivmesi (m/sn^2),
 d_{50} : katı madde daneciğın ortalama çapı (m),
 ρ_s : kum daneciğının özgül ağırlığı (t/m^3),
 ρ : suyun özgül ağırlığıdır(t/m^3).

Bir dalga geçişi sırasında deniz tabanında oluşan hız,

$$U_{\max} = \frac{H \cdot \pi}{T \cdot \text{Sinh}(2 \cdot \pi \cdot h/L)} \quad (70)$$

eşitliğıyle hesaplanır. Burada;

- T : dalga periyodu (sn),
 H : dalga yüksekliğı (m),
 h : su derinliğı (m),
 L : dalga boyudur(m).

Bu iki denklem birbirine eşitlenir ve $\rho_s = 2.65 t/m^3$, $\rho = 1.025 t/m^3$ ve $g = 9.81 m/sn^2$ yazılırsa, buradan hareket ettirilecek malzemenin ortalama çapı,

$$d_{50} = \left[\frac{0.2816 \cdot H}{T \cdot \text{Sinh}\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \right]^2 \quad (71)$$

bağıntısından elde edilir.

1.6.2. Katımadde Taşınım Bölgesinin Sınırı

Katı madde daneciklerinin kıyıda ne kadar uzağı veya hangi derinliklere kadar taşınabileceğı konusunda yapılan araştırmalar, taban batimetrisinin, katımadde daneciklerinin çapının ve dalga şartlarının bu konuda etkili olduğunu göstermiştir.

Normal olarak, kıyıya paralel en derin taban konturuna kadar malzeme taşınımının olduğu kabul edilebilir. Dalga şartlarının etkisini de dikkate alan bir başka yaklaşım ise, dalga nedeniyle meydana gelen maksimum hızın 0.15 m/sn olduğu derinlik sınırına kadar malzeme taşınımının olabileceği varsayılmıştır. Yani maksimum hız 0.15 m/sn olduğundaki h değeri aranılan değerdir.

Son yıllarda geliştirilen ve başarı ile uygulanan başka bir yaklaşımda, taban malzemesinin taşınabileceği derinlik aşağıda verilmiştir [40].

$$h' = 2.28 \cdot H_0 - 6.987 \cdot \frac{H_0^2}{T^2} \quad (72)$$

1.6.3. Kıyıya Dik Katımadde Taşınımı

Kıyı ile belli bir açı yaparak gelen dalgaların enerjilerinin kıyıya paralel bileşeni kıyı boyu, kıyıya dik bileşeni ise kıyıya dik taşınımı oluşturur. Katı madde taşınımının etkin olduğu derinliğe kadar bazen erozyon bazen de dolma meydana gelir. Kıyıya dik malzeme taşınımı, birim genişlikteki bir kıyının kıyıya dik yöndeki kesiti üzerinde incelenir ve bu kesite *kıyı profili* adı verilir.

Kıyı profilini etkileyen esas parametre kıyıya dik taşınım olmakla beraber, kıyıya paralel taşınımın da etkisi bazen çok önemli olmaktadır. Özellikle, sonradan yapılmış olan yapılar (dalgakıran, mahmuz, liman, barınak v.b.) sonucu kıyı boyu taşınımın engellenmesi durumunda, kıyı profilindeki değişim önemli olmaktadır.

Kıyı profili, normal (yaz) profili ve fırtına (kış) profili diye ikiye ayrılmaktadır. Kıyı profilinde, hangi şartlarda oyulma (fırtına profili), hangi şartlarda yığılma (yaz profili) oluşacağını belirlemede esas faktör dalga parametreleridir. Yapılan araştırmalar göstermiştir ki, bu konuda en etkin etmen, derin deniz dalga dikliğidir (H_0/L_0). Katı madde daneciklerinin çökme hızı (w), ortalama çapı (d_{50}) ve taban eğimi (m)'de önemli etmenlerdir. Dean kıyı profilinin belirlenmesinde, aşağıda verilen boyutsuz bir çökme süresi parametresi tanımlamıştır [41]:

$$F_o = \frac{H_o}{w \cdot T} \quad (73)$$

$F_o > 1$ olması durumunda oyulma

$F_o < 1$ olması durumunda yığılma

tespit etmiştir.

Sunamura ve Horikawa, kıyıya yakın bölgenin (kıyı çizgisi ile yaklaşık 20 m derinlik arasındaki bölgenin) ortalama eğimini ve taban malzemesinin ortalama çapını da hesaba katan bir parametre tanımlamışlardır:

$$G_o = \frac{H_o}{L_o} \cdot m^{0.27} \left(\frac{L_o}{d_{50}} \right)^{0.67} \quad (74)$$

$G_o > 1/9$ ise dolma

$G_o < 1/18$ ise erozyon

oluşacaktır.

Taşınım miktarı ve yönü üzerine çeşitli araştırmalar vardır. Değişik araştırmacılar, çoğu deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş, çeşitli formüller vermişlerdir [42, 43, 44, 45].

Watanabe yaptığı çalışmada, ki bu düzenli dalgalar kullanılarak gerçekleştirilen bir deneysel çalışmadır, Shields parametresi ve boyutsuz taşınım oranı tanımlamıştır. Çalışmada Shields parametresi [43],

$$\psi_m = \frac{\tau_b}{\rho \cdot s \cdot g \cdot d} \quad (75)$$

şeklinde ve taşınım oranı,

$$\phi = \frac{q_{net}}{\omega_0 \cdot d} = 7 \cdot (\psi_m - \psi_c) \cdot \psi_m^2 \quad (76)$$

şeklinde verilmiştir. İki boyutlu dalga kanalında 0.2 mm çapında kum kullanarak ve başlangıç taban eğimini 1/10-1/15 arasında alarak deneyleri gerçekleştirmiştir. Burada $0.08 < \psi_m < 0.5$ şeklinde bulunmuştur. Burada,

- q_{net} : net taşınım miktarı
- ψ_c : katı madde taşınımının başladığı kritik shields parametresi
- ω_o : çökme hızı
- ρ : suyun yoğunluğu
- s : danenin sudaki ağırlığı
- g : yerçekimi ivmesidir.

Madsen ve Grant'in formülü şöyledir [43].

$$\phi' = \frac{\bar{q}}{w_o \cdot d} = 12.5 \cdot \psi_m^3 \quad (77)$$

Watanabe ve Dibajnia, düzenli dalgalar kullanarak gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda verdikleri formül şöyledir [42, 43].

$$q = \left[A_w \cdot \frac{(\tau - \tau_{cr})}{\rho \cdot g} \cdot \bar{u}_b + A_{wb} \cdot \frac{\Delta F}{\rho \cdot g} \right] \cdot F_D \quad (78)$$

İlk terim tabandaki katı madde taşınımını, ikinci terim ise askı halindeki katı madde taşınımını göstermektedir. Burada,

$$\bar{u}_b = \frac{w_p \cdot H_s}{2 \cdot \text{Sinh}(K_p \cdot h)} \quad (79)$$

$$F_D = \tanh \left[K_D \cdot \frac{(f_w \cdot \Pi)_c - (f_w \cdot \Pi)}{(f_w \cdot \Pi)_c} \right] \quad (80)$$

$$\Pi = \frac{u_b^2 \cdot h}{\gamma' \cdot g \cdot d \cdot L_o} \quad (81)$$

$$\tau = \rho \cdot \frac{f_w \cdot u_b^2}{2} \quad (82)$$

şeklindedir ve,

- τ : taban kayma gerilmesi
- τ_{cr} : hareket başlangıcındaki kayma gerilmesi
- u_b : taban yörünge hızı
- A_w : boyutsuz katsayı (surf zone 0.15 - offshore zone 0.45)
- A_{wb} : türbülansın bir fonksiyonu
- ΔF : birim alan başına enerji akısı dağılımı
- F_D : taşınım yönünü belirleyen fonksiyon
- K_D : boyutsuz katsayıyı göstermektedir.

Nishihara ve Sunamura 'da verdikleri formül [42, 43],

$$\frac{q_{net}}{w_0 \cdot d} = B \cdot u_r^{0.2} \cdot \psi \cdot (\psi - 0.13 \cdot u_r) \quad (83)$$

Burada $B = -1.15 \cdot 10^{-7}$ 'dir.

$$u_r = \frac{H \cdot L^2}{h^3} \quad (84)$$

$$\varphi = \left[\frac{(2 \cdot \pi \cdot a)^2}{g \cdot T^2 \cdot \gamma' \cdot d} \right] \quad (85)$$

$$\psi' = \frac{(d_o \cdot \sigma)^2}{s \cdot g \cdot d} \quad (86)$$

$$d_o = \frac{H}{\text{Sinh}\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot h}{L}\right)} \quad (87)$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot \pi}{T} \quad (88)$$

$U_r > 230$ hareket başlangıcı

$\phi < 0.13U_r$ onshore transport

$\phi > 0.13U_r$ offshore transport

Larson, Kraus ve Sunamura, düzenli dalgalar ile deneysel bir çalışma yapmış ve kırılmaya bağlı olarak oluşan katı madde taşınımını esas alarak kıyıyı dört bölgeye ayırmışlardır [42, 45].

- Birinci bölge olarak, açık denizden kırılma noktasına kadar olan kısmı almışlardır.

Burada şu formül geçerlidir:

$$q = q_b \cdot e^{-\lambda \cdot x} \quad (89)$$

burada,

x : kırılma noktasından mesafe

q_b : kırılma noktasındaki taşınım miktarı ve,

$$\lambda = 10.3 \cdot \left[\frac{D}{H_b} \right]^{0.47} \quad (90)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

- İkinci bölge, kırılma çizgisinden dökülme noktasına kadar olan bölgedir. 85 numaralı denklem burada da geçerlidir. λ önceki bölgeye göre % 80 azalır ve x hala pozitiftir.

- Üçüncü bölge, kırılmanın tamamen geliştiği dökülme noktasından onshore'a kadar olan kısımdır ve burada,

$$q = k \cdot \left(D - D_{EQ} + \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \right) \dots \dots D \rangle D_{EQ} - \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (91)$$

$$q = 0 \dots \dots \dots D \langle D_{EQ} - \frac{\varepsilon}{k} \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad (92)$$

bağıntıları kullanılabilir. Burada,

ε ve k : deneysel katsayılar

D : her bir hacim başına enerji dağılımı

D_{EQ} : denge profili altında dağılımını göstermektedir.

- Dördüncü bölge, sörf bölgesinden tırmanma limitine kadar olan kısımdır. Katı madde akımı üçüncü kısmın sonundaki maksimum değerden sıfıra kadar değişir.

1.6.4. Kıyıya Paralel Katımadde Taşınımı

Dalga enerjisinin kıyıya paralel bileşeninin neden olduğu ve yönü kıyıya paralel olan katı madde taşınımına *kıyıya paralel taşınım* adı verilir. Derin denizde kıyı ile belli bir α_0 açısı yapan dalgalar, sapmanın etkisi ile kıyıya yaklaştıkça, kıyıya dik gelme eğilimindedirler. Kırılma anında bir α_b açısı yaparlar ve genellikle $\alpha_b < \alpha_0$ 'dır. Bu nedenle, dalgaların hem kıyıya paralel hem de dik bir enerjileri söz konusudur. Kıyıya paralel enerji bileşeni, kıyıya yakın bir bölgede bir su kütlesi hareketine neden olur. Bu harekete *kıyı boyu akıntısı* denilir. Kıyı boyu katı madde akımını doğuran asıl etmen bu kıyı boyu akıntılardır.

Bir kıyı yöresinde, kıyı boyu katı madde taşınım yönü, kırılma anındaki dalga yönüne bağlı olduğundan, kıyı çizgisine dik bir doğrultuya göre, hem sağ ve hem sol yönde bir taşınım söz konusudur [38, 42]. Buna göre belli bir süredeki taşınım debisi;

$$Q_{net} = Q_{sağ} - Q_{sol} \quad (93)$$

$$Q_{brüt} = Q_{sağ} + Q_{sol} \quad (94)$$

şeklinde olacaktır. Burada kıyı boyu taşınım debisini hesaplamak için geçerli olan üç formül verilmiştir.

Enerji Akısı adı verilen yöntemde, açık denizde, birim boydaki bir dalga tepesinin sahip olduğu enerji akısı;

$$P = E \cdot C_g \quad (95)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada E dalga enerjisi ve C_g dalga grup hızıdır. E yerine değeri yazılırsa,

$$P = \frac{\gamma \cdot H^2}{8} \cdot C_g \quad (96)$$

elde edilir. Dalga cephesi ile kıyı arasında bir α açısı varsa eşitlik,

$$P' = P \cdot \cos\alpha = \gamma \cdot \left[\frac{H^2 \cdot C_g}{8} \cdot \cos\alpha \right] \quad (97)$$

şeklini alır. Kıyıya paralel bileşen,

$$P_1 = P' \cdot \sin\alpha = \gamma \cdot \left[\frac{H^2 \cdot C_g}{8} \cdot \cos\alpha \cdot \sin\alpha \right] \quad (98)$$

olarak elde edilir. Burada,

$$\cos\alpha \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2} \cdot \sin 2\alpha \quad (99)$$

olarak yerine yazılırsa kıyıya paralel bileşen,

$$P_i = \frac{\gamma \cdot H^2 \cdot C_g}{16} \cdot \sin 2\alpha \quad (100)$$

olur. Kırılma anındaki dalga yüksekliği H_b ve dalga açısı α_b ise, sığ sularda dalga yayılma hızının (C), dalga grup hızına (C_g) eşit olduğu varsayımıyla, kırılma noktasındaki enerji akısı,

$$P_b = \frac{\gamma \cdot H_b^2 \cdot C_g}{16} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (101)$$

şeklindedir.

Bu eşitliklerin tümü, sabit yükseklik ve periyoda sahip dalgalar için geçerlidir. Halbuki tabiattaki dalgaların yükseklik ve periyotları değişiktir. Yükseklik dağılımları *Rayleigh* dağılımına uymaktadır. Uygulamada genellikle belirgin dalga değerleri kullanılmaktadır. Eşitliğe belirgin dalga değerleri yazılırsa,

$$P_{ls} = \frac{\gamma \cdot H_{sb} \cdot C_b}{16} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (102)$$

Çeşitli araştırmacılar, P_{ls} değeri için farklı eşitlikler öne sürmüşlerdir [22]. Bunlardan bazıları,

$$P_{ls} = 0.0884 \cdot \rho \cdot g^{3/2} \cdot H_{sb}^{5/2} \cdot \sin 2\alpha_b \quad (103)$$

$$P_{ls} = 0.05 \cdot g^{3/2} \cdot H_{sb}^{5/2} \cdot (\cos \alpha_0)^{1/4} \cdot \sin 2\alpha_0 \quad (104)$$

$$P_{ls} = 0.00994 \cdot \rho \cdot g^2 \cdot T \cdot H_{sb}^2 \cdot \sin \alpha_b \cdot \cos \alpha_0 \quad (105)$$

$$P_{ls} = 1572 \cdot \rho \cdot g \cdot \left(\frac{H_{sb}^3}{T} \right) \cdot \sin \alpha_0 \quad (106)$$

şeklindedir. Kıyı boyunca taşınan katı maddenin batmış (su altındaki) ağırlığı enerji akısı ile doğru orantılıdır.

$$I = K \cdot P_{ts} \quad (107)$$

Burada, K yaklaşık 0.39 olarak alınan boyutsuz bir katsayıdır. Kıyı boyu katı madde debisi ise şöyle hesaplanır;

$$Q = \frac{K \cdot P_{ts}}{P \cdot (\gamma_s - \gamma)} \quad (108)$$

denklemden sırası ile, γ_s ve γ katı madde daneciklerinin ve suyun özgül ağırlıkları, P ise katı madde daneciklerinin porozitesidir. Bu eşitlikle kıyıda birim genişlikten, birim zamanda geçen katı madde miktarı hacımsal olarak hesaplanabilir.

Bir yıl boyunca dalga parametreleri sürekli değişeceğinden, her bir fırtına için ayrı hesap yapılmalıdır. Bu hesaplarda fırtına süresinin tüm yıla oranı (bu fırtınanın yıl içindeki görülme yüzdesi veya ihtimali) hesaplarda kullanılmalıdır. Bu durumda bir i fırtınasının neden olacağı taşınım miktarı,

$$Q_i = f_i \cdot Q \quad (109)$$

şeklindedir ve burada f_i fırtınanın görülme yüzdesidir.

Hesaplarda, deniz tabanını oluşturan malzemenin fiziksel özellikleriyle ilgili bir parametrenin bulunmadığı görülmektedir. Bu şartlarda, taban malzemesinin hareket ettirilebileceği kabulü yapılmaktadır. Gerçekte, her dalga şartlarında hareket ettirilebilecek malzemenin büyüklüğü farklıdır. Bu nedenle, verilen şartlarda mevcut malzemenin hareket edip etmeyeceği araştırılmalı ve hesaplar yapılmalıdır. Ayrıca, bu dalga şartlarında taban malzemesinin tümü hareket etmeyebilir. O halde, hareket edebilen malzemenin tüm taban malzemesine oranı dikkate alınarak, gerekirse debi miktarında bir azaltma yapılmalıdır.

Kraus ve Hanson'un diğ er bir yönteminde ise, taban malzemesi özellikleri ve taban eğimi de dikkate alındığında iyi sonuçlar vermektedir. Kıyı yakınlarında dalga yüksekliğinin değişimini de hesaba kattığından, kıyı yapılarının mevcut olması durumunda da başarıyla uygulanmaktadır [45, 46]. Bu yöntemde kıyı boyu katı madde taşınım debisi,

$$Q = (H^2 \cdot C_g)_b \cdot \left[a_1 \cdot \sin 2\alpha - a_2 \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (110)$$

şeklinde verilmiştir. Burada lineer dalga teorisine göre

$$C_g = \left(\frac{g}{\Phi} \right)^{0.5} \cdot H_b^{0.5} = 3.132 \cdot \left(\frac{H_b}{\Phi} \right)^{0.5} \quad (111)$$

verilir. Burada,

$$a_1 = K_1 / \left[16 \cdot (\gamma_s / \gamma - 1) \cdot (1 - p) \cdot 1.416^{(5/2)} \right] \quad (112)$$

$$a_2 = K_2 / \left[8 \cdot (\gamma_s / \gamma - 1) \cdot (1 - p) \cdot \tan \beta \cdot 1.416^{(7/2)} \right] \quad (113)$$

Φ : kırılma indisi

α : dalga açısı

b : kırılma noktasını gösteren indis

K_1 ve K_2 : deneysel kalibrasyon katsayıları

ρ_s ve ρ : sırasıyla kumun (2.65 t/m^3) ve suyun (1.025 t/m^3) özgül ağırlıkları

p : kumun porozitesi

$\tan \beta$: kıyı çizgisinden etkin derinliğe (h') kadar ortalama taban eğimi

a_1 ve a_2 yerine konulduğunda,

$$Q = (H^2 \cdot h^{0.5})_b \cdot \left[\frac{K_1}{11.6} \cdot \sin 2\alpha - \frac{K_2}{5.8 \cdot \tan \beta} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right]_b \quad (114)$$

elde edilir. Birinci terim kıyıya eğik gelen dalgalar nedeniyle oluşan kıyı boyu katı madde taşınımını, ikinci terim ise kırılma noktasındaki dalga yüksekliği gradyanının ($\partial H_b / \partial x$) neden olduğu taşınımı ifade etmektedir. Deneysel çalışmalar sonucu K_1 'in 0.58-0.77, K_2 'nin $0.5K_1$ - K_1 arasında değiştiği belirlenmiştir [40].

Kamphuis'ün verdiği bir formülde m taban eğimini ve K bir katsayıyı göstermek üzere aşağıdaki gibidir [48].

$$Q = K \cdot H_b^2 \cdot T^{1.5} \cdot m^{0.75} \cdot d_{50}^{-0.25} \cdot \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (115)$$

1.6.5. Kırılma Anındaki Dalga Parametreleri

Yukarıda verilen formüllerde kullanılmak üzere kırılma noktasındaki dalga parametreleri yani dalga yüksekliğinin (H_b), dalga açısının (α_b) ve kırılma noktasındaki su derinliğinin (h_b) bilinmesi gerekir. Kırılma noktasındaki dalga yüksekliğinin hesaplanması aşağıdaki formülden yapılabilir.

$$H_b = K_s \cdot K_r \cdot K_d \cdot H_o \quad (116)$$

Burada,

- H_o : derin deniz dalga yüksekliği
- K_d : kırınım katsayısı
- K_r : sapma katsayısı
- K_s : sığlaşma katsayısı

şeklindedir.

Diğer bir yaklaşımla, kırılma derinliği ve kırılma noktasındaki dalga yüksekliği aşağıdaki sıra izlenerek bulunur:

- 1) h_b için bir h_1 derinliği seçilir,
- 2) $L_0=1.56 \cdot T^2$ belirlenir ve h_1/L_0 bulunur.
- 3) h_1/L_0 'a bağlı olarak Ağırlık Dalgaları Tabloları'dan $K_s=H/H_0$ değeri okunur.
- 4) $h_1/g \cdot T^2$ değeri bulunur ve buna bağlı olarak Ek şekil 73'dan K_r ve α_1 değeri okunur.
- 5) $H_0'=K_s \cdot K_r \cdot H_0$ değeri hesaplanır.
- 6) $H_0'/g \cdot T^2$ hesaplanır ve taban eğimine bağlı olarak Ek şekil 74'den H_b/H_0' okunur.
- 7) H_b bulunur.
- 8) $H_b/g \cdot T^2$ hesaplanır ve Ek şekil 75'den h_b/H_b okunur.
- 9) h_b bulunur. Eğer bu değer başta seçilen değere eşit ise $h_1=h_b$ olur. Eşit değil ise işlemlere eşit olana kadar devam edilir.

1.7. Doğu Karadeniz Dalga İklimi ve Katımadde Rejimi

1.7.1. Dalga İklimi

Doğu Karadeniz'de katımadde hareketini oluşturan en önemli faktör dalgalar olduğundan, yörenin uzun süreli dalga değerlerinin (dalga iklimi) analizi gereklidir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde dalga ölçüm istasyonları bulunmadığından, doğrudan ve en güvenilir yoldan dalga değerleri elde edilememektedir. Bu nedenle dalga verilerini tahmin etmek için, rüzgar verilerinin kullanılması kaçınılmaz olmaktadır.

Dalga değerlerini tahmin etmek için kullanılacak rüzgar verileri, ya meteorolojik rüzgar verilerinden, veya sinoptik rüzgar haritalarından elde edilebilir. Sinoptik haritalardan elde edilen değerler meteorolojik rüzgar verilerinden elde edilen değerlerden büyük çıktığı için, genelde güvenli tarafta kalabilmek için sinoptik harita verileri kullanılmaktadır. Bu yöntemden elde edilen veriler, SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider) yöntemiyle belirgin dalga yüksekliği ve periyoduna dönüştürülürler.

Doğu Karadeniz Bölgesi ile ilgili daha önce yapılan çalışmalardan görüldüğü gibi, bölgede etkin dalga yönleri N, NNW ve NW'dir. Genel olarak yörede batı yönünden gelen dalgaların etkin olduğu söylenebilir. Kıyı boyu katı madde taşınım yönü, batıdan doğuya doğru olmaktadır. Tüm yöreler için ortalama belirgin dalga yükseklikleri 1.5~4.5 m, belirgin dalga periyotları ise 4.5~8.0 sn'ye arasında bulunmaktadır [39, 50, 51].

1.7.2. Katımadde Rejimi

1.7.2.1. Akarsuların Taşıdığı Katımadde

Doğu Karadeniz Bölgesi'nde bulunan çeşitli akarsular, eğimleri büyük olmasından dolayı çok miktarda katı madde taşımaktadırlar [39, 52, 53]. Bir akarsuyun taşıdığı katı madde debisi, akışkan ve katı madde özellikleriyle, akım şartlarına bağlıdır.

$$Q = f(v, \rho_s d, \rho, h, R, v, j) \quad (117)$$

Burada;

- Q : katı madde taşınım debisi,
- d : dane çapı,
- j : akarsuyun taban eğimi,
- ρ_s : katı maddenin özgül ağırlığı
- ρ : akışkanın özgül ağırlığı
- v : akışkanın viskozitesi
- h : akımın su yüksekliği,
- R : akımın hidrolik yarıçapı,
- v : akımın ortalama hızı

şeklinde. Burada katı madde debisini hesaplamak için, her şart altında geçerli olan bir yöntem henüz geliştirilememiştir. Yalnız, EİE Genel Müdürlüğünün Türkiye'deki tüm havzalarda yaptığı gözlemlere dayanarak geliştirdiği formül yardımıyla katı madde taşınımı, debileri tahmin edilebilir [52].

$$Q = 14.153 \cdot 10^{1.26016 \cdot \log A} \quad (118)$$

Burada;

Q : katı madde debisi (ton/yıl)

A : Havza alanıdır(km²).

Ayrıca Doğu Karadeniz Bölgesi'nde gözlem yapılan 7 akarsuyun verilerine göre elde edilen bir denklem aşağıda verilmiştir [39].

$$Q = a \cdot Q_{ort}^b \quad (119)$$

Burada;

Q : katımadde taşının debisi (ton/gün)

Q_{ort} : günlük ortalama akım debisi (m³/sn)

a ve b : regresyon katsayılarıdır.

1.7.2.2. Katı Madde Daneciklerinin Fiziksel Özellikleri

Doğu Karadeniz Bölgesindeki kıyıların taban malzemesinin özelliklerini bulmak için yapılan incelemelerden sonra, taban malzemesinin özgül ağırlığı 2.55-2.70 t/m³ arasındaki kumdan oluştuğu ve ortalama dane çapı d₅₀ = 0.33 mm olduğu belirlenmiştir [39].

2. MODEL ÇALIŞMALARI

Dünyada, Üniversiteler ve çeşitli araştırma merkezlerinde, kıyı koruması, kıyı çizgisi değişimi, katımadde taşınımı gibi konularda, matematik yöntemlerle çözüm yapmanın yanı sıra, deneysel çalışmalar da yapılmaktadır. Genelde, kıyı çizgisi ve dalga mekaniği problemleri çok karmaşık ve özel problemlerdir. Henüz bu konularda kullanılan matematiksel ifadeler yeterli değildir. Bu yüzden, bu tür bir problemin çözümünde bir model yaklaşımı da kullanmanın yararları büyüktür. Model çalışması beraberinde bazı hatalar getirirse bile, bir çok problemin çözümünde başarı ile uygulanmaktadır [54, 55, 56].

Burada, kıyıya dik olarak inşa edilen mahmuzların çeşitli durumları için kıyıya etkileri incelenecektir. Doğu Karadeniz Bölgesi'nin özel şartlarına göre, bir mahmuzun boyutları (boy, aralık ve başlık uzunluğu v.b.) ne alınırsa, en doğru çözüme ulaşabiliriz, bunun araştırılması yapılacaktır. Bu çalışma, daha çok deneysel bir yaklaşımı içerecek ve literatürde en çok geçen formüllerin kullanıldığı, mahmuzlar sonucu kıyıda oluşan değişimleri hesaplamak için geliştirilen bir sayıl model ve bunun bilgisayara uyarlanması sonucu oluşan programın sonuçları incelenecektir.

2.1. Deneysel Çalışmalar

2.1.1 Model Düzeneginin Kurulması

2.1.1.1. Model Ölçeğinin Seçimi

Gerçekte, mevcut olan bir problemi laboratuarda incelemek için çeşitli büyüklüklerin (uzunluk, kuvvet, zaman v.b.) belli ölçeklerde küçültülmesi gerekir. Seçilen ölçeğe göre diğer parametrelerin ölçeklerinin nasıl hesaplanacağı konusunda pek çok araştırma vardır [57, 58, 59, 60].

Model ölçeğinin seçiminde etkili olan bazı faktörler vardır. Bunlar, yapılan işin cinsi, laboratuvar düzeneginin durumu, kullanılan malzemenin çalışmaya uygunluğu gibi

etmenlerdir. Bu şartların en uygun olduğu durum, bize kullanabileceğimiz model ölçeğini seçmede kolaylık sağlar.

Burada, 30 m boyunda, 12 m eninde ve 1.2 m derinliğinde üç boyutlu bir model havuzunda çalışma yapılmaktadır. Bu boyuttaki kıyı liman problemlerinin çözümünde 1/50-1/150 arasında bir model ölçeğinin seçiminin uygun olacağı, daha önce yapılan çalışmalardan anlaşılmaktadır[39]. Çalışılan havuzun boyutları, çalışılacak sürelerin uzunluğu çalışmada, $\lambda=1/75$ ölçeğini kullanmamızın uygun olacağını göstermiştir. Yapılan çalışmalar, distorsiyonsuz modelle çalışmanın da uygun olacağını ortaya koymuştur [61].

2.1.1.2. Dane Çapı ve Taban Eğiminin Seçimi

Daha önce Doğu Karadeniz'deki kıyılar için yapılan çalışmalara göre, bölgenin ortalama dane çapı $d_{50}=0.33$ mm civarında bulunmaktadır [38]. Burada bir model çalışması yapıldığına ve model ölçeği de $\lambda=1/75$ olarak seçildiğine göre, malzemenin modeldeki çapının ne olması gerektiği öncelikle belirlenmelidir. Seçilen model ölçeğine göre modeldeki dane çapı $d_{50}=0.112$ mm olmalıdır [62]. Laboratuarda kullanmakta olduğumuz ve İstanbul-Şile sahillerinden temin ettiğimiz kumun ortalama dane çapı ise $d_{50}=0.16$ mm'dir. Bu boyut tam olarak model çapını karşılamasa bile, sonuca yakın bir yaklaşım sağlayacaktır.

Taban eğiminin belirlenmesinde ise, yine daha önce yapılan çalışmalar baz alınmıştır [39, 63]. Bu çalışmalara göre, Doğu Karadeniz Bölgesinde ortalama taban eğimi 1/23 ile 1/30 arasında değişmektedir. Çalışmamızda taban eğimini sabit tutarak diğer parametreleri değiştirmeyi düşündüğümüzden modelde, ortalama olarak yöreyi temsil edebilecek şekilde taban eğiminin 1/25 alınması uygun bulunmuş ve deneylerde bu değer kullanılmıştır.

2.1.1.3. Dalga Yüksekliği, Periyodu ve Yönünün Seçimi

Daha önceki bölümde anlatıldığı şekilde, bölgenin ortalama belirgin dalga yüksekliği 1.5-4.5 m arasında, belirgin dalga periyodu 4.5-8.0 sn arasında ve dalga yönlerinin ise N, NNW ve NW olduğu bulunmuştur. Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ortalama dalga dikliği (H_0/L_0) bir araştırmaya göre yaklaşık 0.04 kadardır [24]. Fakat, daha az miktarda dalga dikliğinin kum hareketini oluşturduğunu bildiğimize ve elde edilen değerlere göre deneylerde kullanılacak dalga yüksekliği olarak, her değiştirilen değer için deney sayısını misli kadar artırdığı da göz önüne alınarak, $H=2.5$ ve 4 m, dalga periyodu $T=6$ ve 7.5 sn, dalga açısı olarak $\alpha=15^\circ$ ve 30° seçildi. Bu değerlere bağlı olarak da, dalga dikliği (H_0/L_0) 0.028 ve 0.045 olarak elde edildi.

Çalışmada, geometrik büyüklükler için Froude sayısı esas olarak alınmıştır. Froude sayısından yola çıkarak,

$$\left[\frac{V^2}{g \cdot L} \right]_p = \left[\frac{V^2}{g \cdot L} \right]_m \quad (120)$$

şeklinde yazılabilir ve burada $g_m/g_p=1$ olacağından,

$$\left[\frac{V_m}{V_p} \right]^2 = \frac{L_m}{L_p} = \lambda \quad (121)$$

elde edilir. Burada "m" indisi modeldeki, "p" indisi ise gerçekteki değeri ifade etmektedir. Model ölçeği bulunduktan sonra dalga yüksekliği ve periyodu da buna bağlı olarak,

$$\frac{H_m}{H_p} = \lambda \quad (122)$$

$$\frac{T_m}{T_p} = \frac{\left[\frac{L_m}{V_m} \right]}{\left[\frac{L_p}{V_p} \right]} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda} \quad (123)$$

şeklinde elde edilir. Bu verilere göre, kullanılan tabiattaki değerleri modeldeki değerlere dönüştürürsek, model ölçeği 1/75 olduğuna göre λ ,

$$\frac{L_m}{L_p} = \frac{1}{75} = \lambda \quad (124)$$

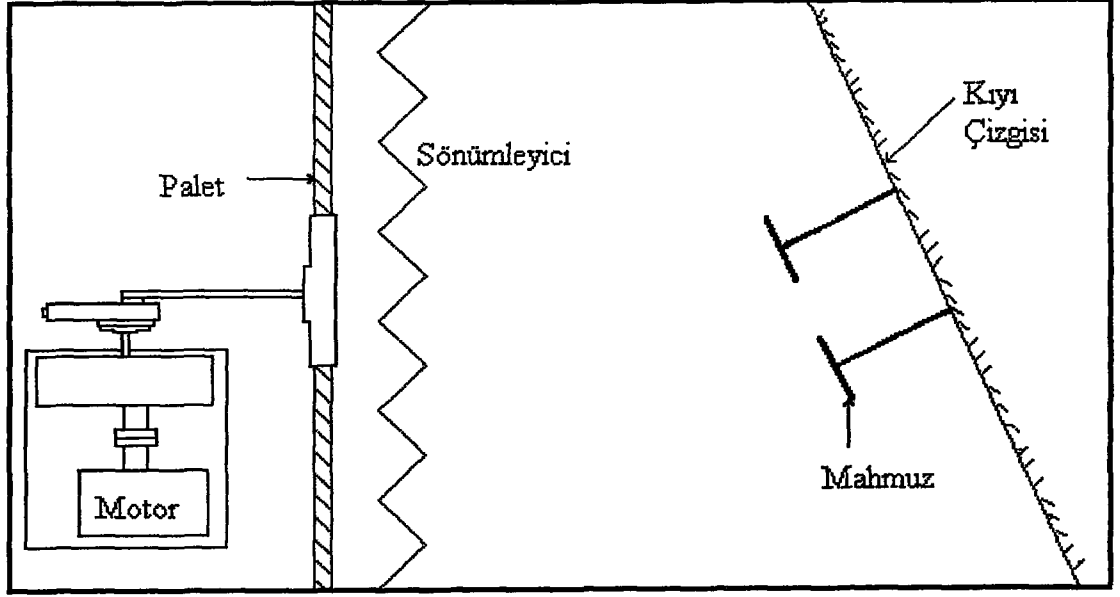
olur. Ölçek nispeti tespit edildiğine göre, diğer veriler buna göre model boyutlarına çevrilebilir. Prototipte ve modelde kullanılan dalga karakteristikleri, modeldeki dalga yükseklikleri $H_m=3.33$ ve 5.33 cm, modeldeki periyotlar $T_m=0.692$ ve 0.866 sn olarak bulunur.

Deneylerin çalıştırılma süresi 4 saat olarak düşünülmüştür. Bu 4 saat, prototipte yaklaşık 35 saate karşılık gelmektedir. Bu ise yeterli bir zamanı ifade etmektedir. Çalışmada, mahmuzların optimum boyutlarının belirlenmek istendiğinden ve bütün mahmuz deneyleri için aynı süre kullanılarak yapılan deneyler karşılaştırılacağından, çok uzun süreli deney süresi gözönüne alınmasına gerek görülmemiştir.

2.1.1.4. Model Havuzu Donanımı

1.2-12-30 m ebadındaki üç boyutlu model havuzunda, ölçüm sistemi, dalga üreten bir motor, motor hızını ayarlamak için kullanılan değişken redüktör (ayarlayıcı), sabit hız düşürücü dişli kutusu ve palet sistemi bulunmaktadır. Dalga üretimi için kullanılan varyatörlü elektrik motoru 10 Hp gücünde ve dönüş hızı 50-400 devir/dakika arasında değişmektedir (Şekil 8).

Dalga periyodu kronometre yardımıyla hassas bir şekilde ayarlanmıştır. Oluşturulan dalgaların yüksekliğini ölçmek için, gerilim farklarından dalga yüksekliğini tespit eden elektronik cihaz kullanılmıştır. Havuz içine yerleştirilen prob denilen uçlar sayesinde



Şekil 8. Model havuzu donanımı

gelen gerilim farkları belirli oranlarda büyütülerek, yazıcıya gönderilmesi ile dalga yükseklikleri hassas bir şekilde ayarlanmıştır.

2.1.2. Deney Parametrelerinin Belirlenmesi ve Deneylerin Yapılışı

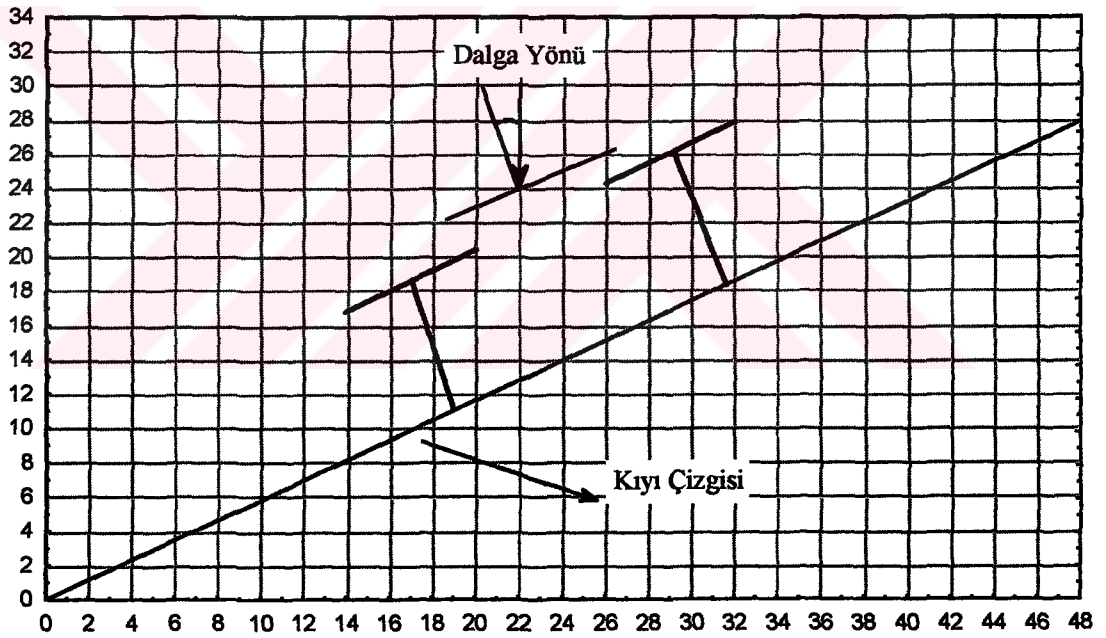
İlk etapta Şile'den getirilen kum, havuzda gerekli olan su derinliğini sağlayabilecek kadar yeterli olmadığından, havuzun, deneylerin yapılacağı tarafına çakıl ve moloz doldurulduktan sonra bunların üzerine, kum derinliğini ölçmede kolaylık sağlayacağı göz önüne alınarak beton döküldü. Daha sonra silisli kum buraya yerleştirildi. Deneylerde kullanılacak olan 1/25 taban eğimini oluşturmada kullanılmak üzere, yükseklikleri nivo ile ölçülerek, bir adet kıyıda ve bir adet de yeterli uzaklıkta olmak üzere demir profil çakıldı. Bu profillerin üzerinden master çekerek, her seferinde kıyı taban eğiminin kolay bir şekilde oluşturulması sağlandı.

Model havuzu deney çalışmalarını yapabilecek duruma getirildikten sonra, önce kıyı çizgisi, dalga gelme açısına (30° - 15°) uygun olacak şekilde düzenlendi. Mahmuzları oluşturmak için ortalama çapları 3 ~ 5 cm arasında olan taşlar kullanılmıştır. Mahmuzlar civarındaki dolma ve oyulmaları belirleyebilmek için, havuzun kenarlarında, 25-25 cm olacak şekilde bir ölçüm ağı sistemi oluşturulmuştur (Şekil 9).

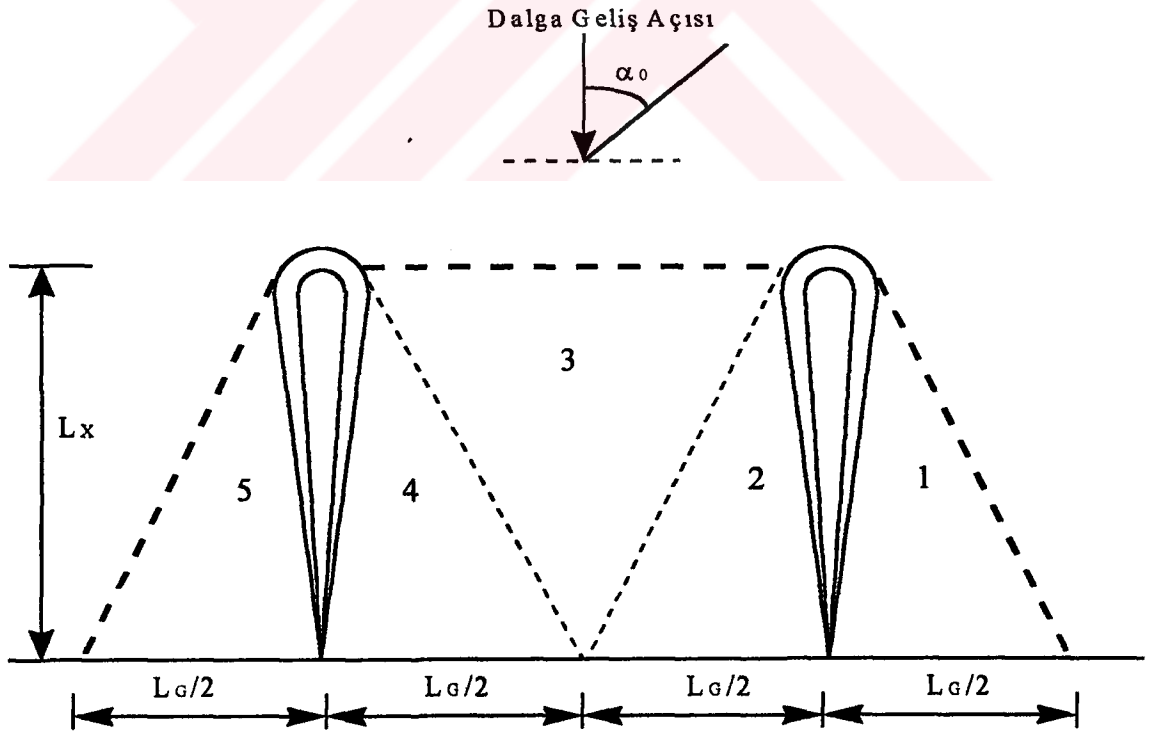
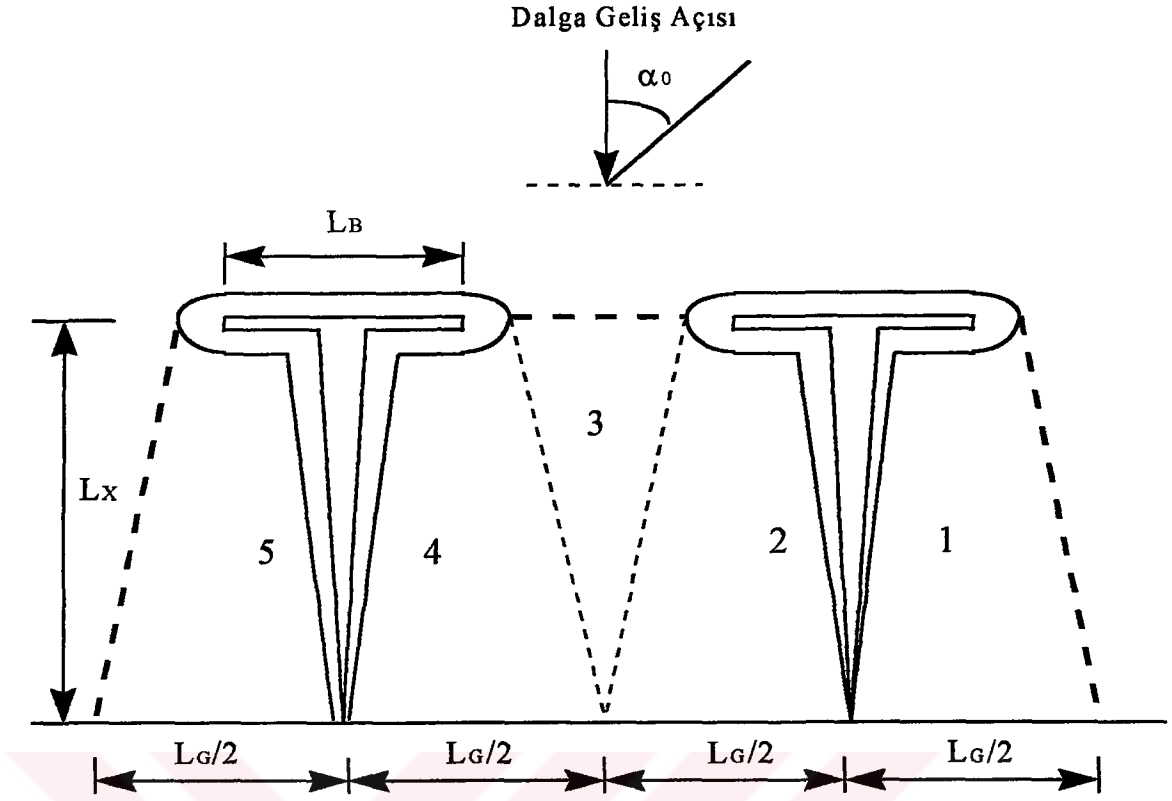
Bu sistem oluşturulduktan sonra, başlangıçta kum derinliği okunmuş (h_1), deney süresi tamamlandıktan sonra aynı noktalarda tekrar kum derinlikleri okunmuş (h_2) ve ikinci okuma değerinden, birinci okuma değeri çıkartılarak, fark bulunmuştur. Matematik olarak bu,

$$\Delta h = h_2 - h_1 \quad (125)$$

şeklinde yazılabilir. Bu eşitliğin pozitif olması dolmaya, negatif olması ise oyulmaya karşılık gelmektedir. Bu ölçümler, mahmuzlar arkasında kalan ve koruma bölgesi olarak adlandırılan 5 kısımda yapılmıştır (Şekil 10, 11).



Şekil 9. Ölçüm ağı



Çizelge 2. Yapılan deneyler

Deney No	m	α (°)	T (sn)	H (cm)	h_m (cm)	H/L	L_x (cm)	L_G (cm)	L_B (cm)
1	1/25	30	0.866	3.33	2.67	0.028	66.67	66.67	33.33
2								80.00	
3								113.33	
4								133.33	
5								146.67	
6								180.00	
7								193.33	
8					4.00		100.0	130.00	20.00
9								200.00	
10								230.00	
11								110.00	30.00
12								130.00	
13								150.00	
14								170.00	
15								200.00	
16								230.00	
17								250.00	
18								130.00	40.00
19								170.00	
20								200.00	
21								230.00	
22								100.00	50.00
23								110.00	
24								130.00	
25								160.00	
26								170.00	
27								200.00	
28								210.00	
29								230.00	
30								260.00	
31								290.00	
32								130.00	60.00
33								170.00	
34								200.00	
35								230.00	
36								100.00	70.00
37								130.00	
38								170.00	
39								200.00	
40								230.00	
41								250.00	

Çizelge 2'nin devamı

Deney No	m	α (°)	T (sn)	H (cm)	h_m (cm)	H/L	L_X (cm)	L_G (cm)	L_B (cm)
42	1/25	30	0.866	3.33	4.00	0.028	100.00	130.00	80.00
43								200.00	
44								230.00	
45				5.33		0.045		130.00	30.00
46								170.00	
47								200.00	
48								130.00	50.00
49								170.00	
50								200.00	
51								130.00	70.00
52								200.00	
53				3.33	5.33	0.028	133.33	133.33	40.00
54								266.66	
55								133.33	66.67
56								200.00	
57								226.66	
58								266.66	
59								306.66	
60								333.33	
61								386.66	
62								133.33	93.33
63								266.66	
64							166.67	166.67	83.33
65								333.33	
66		15			4.00		100.00	100.00	50.00
67								130.00	
68								170.00	
69								200.00	
70								230.00	
71								260.00	
72				5.33		0.045		130.00	50.00
73								170.00	
74								200.00	
75								230.00	
76			0.692	3.33				100.00	
77								130.00	
78								170.00	
79								200.00	
80								260.00	

Çizelge 2'nin devamı

Deney No	m	α (°)	T (sn)	H (cm)	h_m (cm)	H/L	L_x (cm)	L_G (cm)	L_B (cm)
81	1/25	30	0.866	3.33	4.00	0.028	100.0	100.00	0.000
82								130.00	
83								170.00	
84								200.00	
85								230.00	
86								260.00	
87		15						100.00	
88								130.00	
89								170.00	
90								200.00	
91								230.00	
92				5.33		0.045		130.00	
93								170.00	
94								200.00	
95								230.00	
96			0.692	3.33				130.00	
97								170.00	
98								200.00	
99								260.00	
100			0.866			0.028	133.33	133.33	
101								173.33	
102								226.67	
103								266.67	
104								346.67	
105							100.0	185.00	50.00
106				5.33		0.045		185.00	
107			0.692	3.33				185.00	

2.2. Sayısal Model Çalışmaları

Esas çalışma konusunu teşkil eden deneysel çalışmaların yanında, birde sayısal modelin gerçekleştirilmesi düşünülmüştür. Deneysel çalışmalar sayısal model ile desteklenmek istenmiştir.

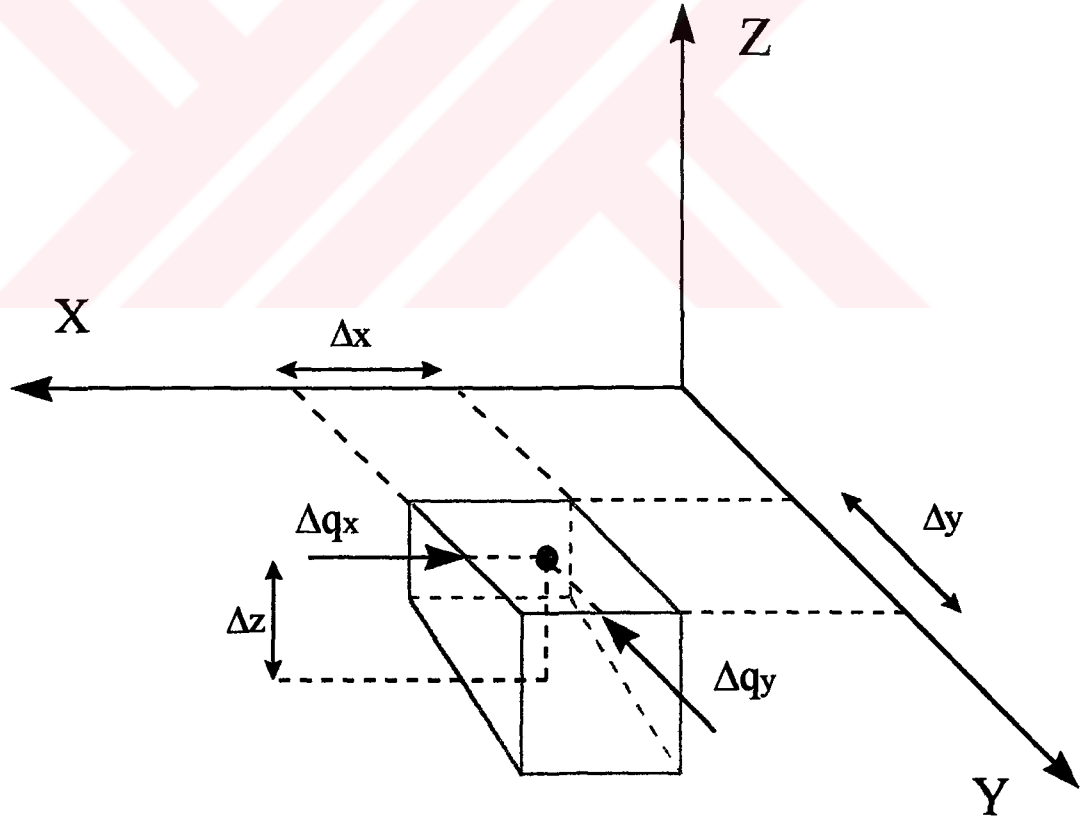
Bu amaçla kullanılan literatürde geçmekte olan bazı modeller vardır. Sadece kıyı çizgisinin değişimini dikkate alan one-line model ve bütün taban konturlarının değişimini dikkate alan n-line model bunlardan en bilinenleridir. Bu çalışmada, sadece kıyı çizgisi değişiminin bilinmesinin yeterli olmamasından dolayı, mahmuzlar arasında kalan alandaki

bütün noktalarda değişimin hesaplanabilmesi için hem kıyı boyu taşınımı hemde kıyıya dik taşınımı dikkate alan ve nokta nokta kıyı değişimini hesaplayabilen bir sayısal model geliştirilmesi düşünölmüştür.

Geliştirilen sayısal modelde kullanılan ve en genel halde kıyı değişimini gösteren süreklilik denklemi aşığıdaki gibidir (Şekil 12).

$$\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\partial q_x}{\partial y} + \frac{\partial q_y}{\partial x} \quad (126)$$

Çalışmalardan kıyıya paralel katımadde hareketinin kıyıya dik yayılışının exponansiyel (Rayleigh Dağılımı) olarak değiştii görölmektedir [43]. Taşınımın maksimum olduğu nokta, $q_x/q_{\max}=1.0$ olduğu durumdur. Taşınımın maksimum olduğu nokta olarak Watanabe $0.53 < X/X_b < 0.85$ olarak elde etmekte ve ortalama bir değer olarak da $X/X_b=0.7$ değerini göstermektedir. Burada X kıyidan herhangi bir noktanın



Şekil 12. Sayısal modelin fiziksel ifadesi

mesafesi, X_b ise kırılma noktasının mesafesidir. CERC denkleminde ise, $X/X_b=0$ olduğu nokta yani kıyı çizgisi üzeri kullanılmıştır [22, 40, 64]. Bunlar gözönüne alınarak burada, $X/X_b=0$ noktasında, $X/X_b=0.5$ noktasında ve $X/X_b=0.7$ noktasında maksimum olmak üzere üç denklem sayısal modelde kullanılmıştır. Kullanılan denklemler ve bir tanesinin hesaplanmış yöntemi aşağıda verilmiştir (Şekil 13, 14, 15).

$$\frac{q_x}{q_{\max}} = \left[1 - 0.63 \cdot (x/x_b)^{2/3} \right] \quad (127)$$

$$q_x = q_{\max} \cdot \left[1 - 0.63 \cdot (x/x_b)^{2/3} \right] \quad (128)$$

$$\int_0^x q_x \cdot dx = Q_x = \int_0^x \left[1 - 0.63 \cdot (x/x_b)^{2/3} \right] \cdot dx \quad (129)$$

$$q_{\max} = \frac{Q_x}{\int_0^x \left[1 - 0.63 \cdot (x/x_b)^{2/3} \right] \cdot dx} \quad (130)$$

$$q(x/x_b) = q_{\max} \cdot \int_0^2 \left[1 - 0.63 \cdot (x/x_b)^{2/3} \right] \cdot dx \quad (131)$$

$$q(x/x_b) = \left[1.25 - 0.7875 \cdot (x/x_b)^{2/3} \right] \cdot Q_x \quad (132)$$

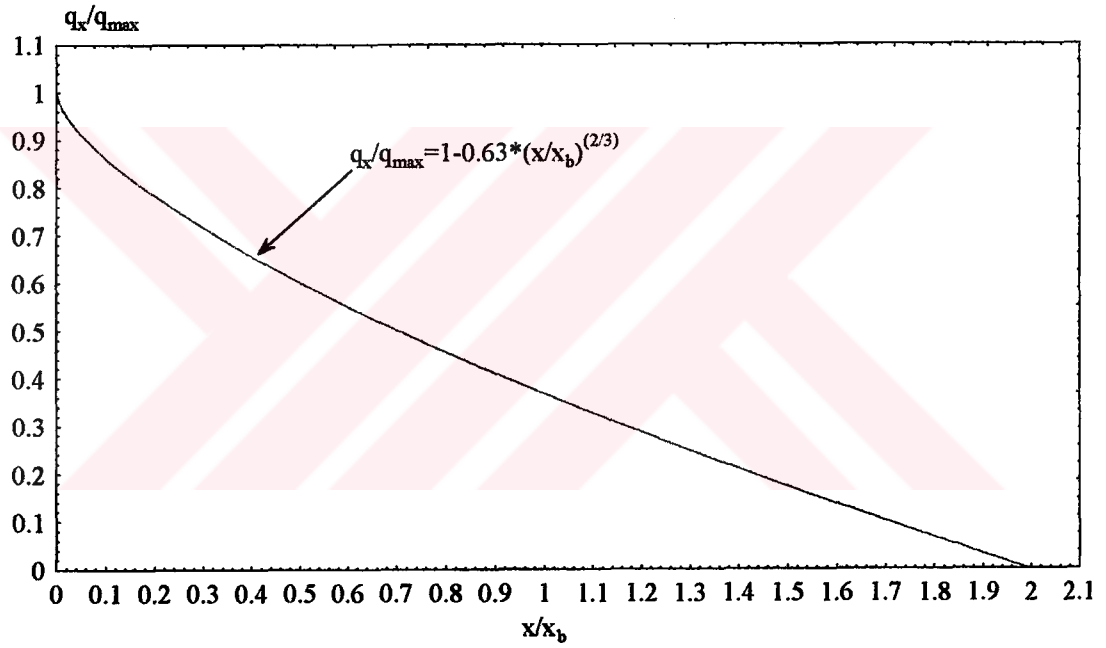
Yukarıdaki denklem $X/X_b=0$ için bulunmuştur. Diğer denklemler ise aşağıda verilmiştir. $X/X_b=0.5$ için,

$$q(x/x_b) = Q_x \cdot 11.35 \cdot [x/x_b + 0.5]^{(4.9)} \cdot e^{(-5 \cdot x/x_b)} \quad (133)$$

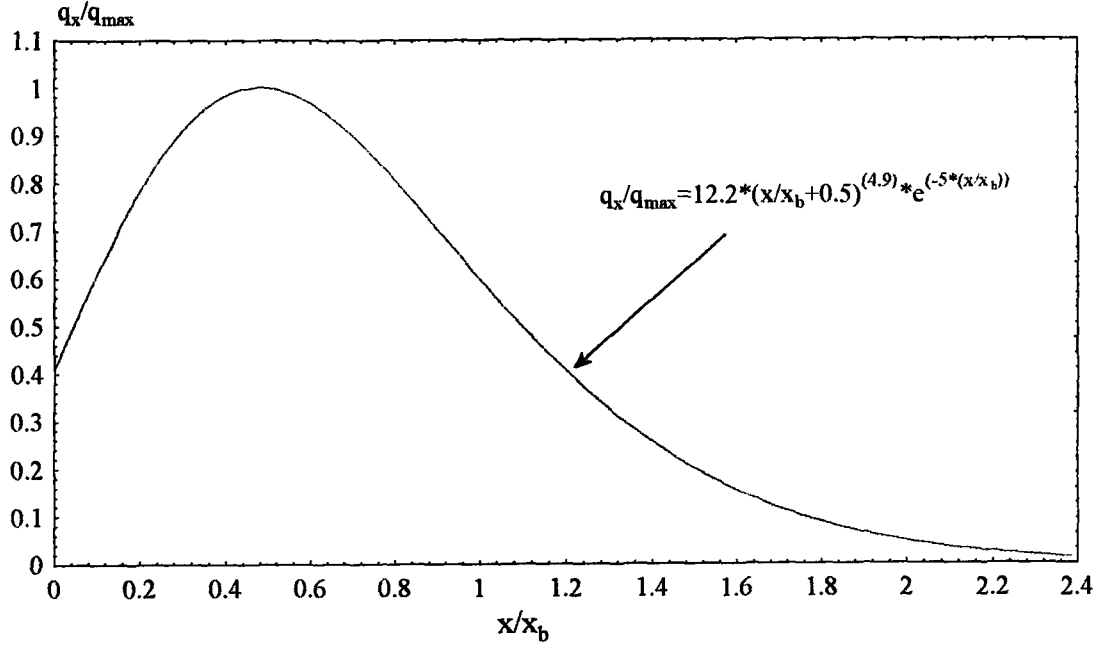
$X/X_b=0.7$ için,

$$q(x/x_b) = Q_x \cdot 0.98 \cdot [x/x_b + 0.825]^{(7.1)} \cdot e^{(-4.7 \cdot x/x_b)} \quad (134)$$

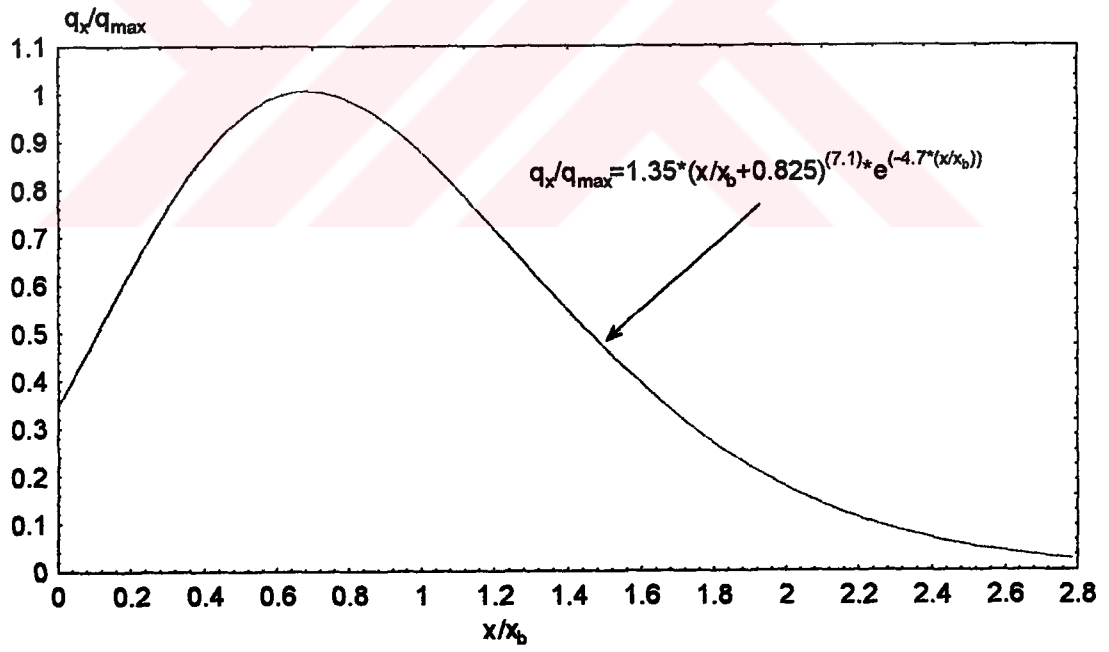
şeklinde elde edilmiştir. Kırılma anındaki dalga yüksekliği, sığlaşma, sapma ve kırınım katsayıları bulunduğundan sonra hesaplanabilir. Bu dalga yüksekliği hesaplandıktan sonra, yukarıda verilen denklemlerde yerine konularak Q_x hesaplanmaktadır. Bu değer hesaplandıktan sonra, kıyıboyu taşınımın kıyıya dik yayılışı için verilen denklemlerden istenilen X mesafesindeki taşınım hesaplanabilmektedir.



Şekil 13. $X/X_b=0$ için kıyıya paralel taşınımın kıyıya dik yayılışı



Şekil 14. $X/X_b=0.5$ için kıyıya paralel taşınımın kıyıya dik yayılışı



Şekil 15. $X/X_b=0.7$ için kıyıya paralel taşınımın kıyıya dik yayılışı

2.2.1. Sayısal Modelde Kullanılan Formüller

2.2.1.1. Kıyıya Dik Taşınım Formülü

Sayısal modelin oluşturulmasında literatürde kullanılan, kıyı boyu taşınım debisi ve dik taşınım debisi için geçerli olan ve en bilinen formüller kullanılmıştır. Kıyıya dik taşınım için aşağıdaki formül kullanılmıştır [42, 43]:

$$q_{net} = -1.15 \cdot 10^{-7} \cdot \omega_o \cdot d_{50} \cdot U_r^{0.2} \cdot \Psi \cdot (\Psi - 0.13 \cdot U_r) \quad (135)$$

Katı maddenin çökme hızı hariç U_r ve Ψ , daha önceki bölümde verilen (84) ve (86) numaralı denklemlerden hesaplanmaktadır. Burada çökme hızı aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$\omega_o = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot \frac{g \cdot d_{50}^2}{18 \cdot \nu} = 0.028 \quad (136)$$

2.2.1.2. Kıyıya Paralel Taşınım Formülü

Kıyı boyu taşınım için ise, iki adet formül kullanılmıştır. Birincisi, CERC formülüdür ve aşağıda verilmiştir.

$$Q = \left(H^2 \cdot C_g \right)_b \cdot [a_1 \cdot \sin 2\alpha]_b \quad (137)$$

C_g ve a_1 (111) ve (112) numaralı denklemlerden bulunmaktadır. Burada $\rho_s/\rho - 1 = 1.65$ ve $1 - p = 0.6$ şeklindedir [46].

Kıyı boyu taşınım için kullanılan bir başka denklemde Kamphuis'ün verdiği formül ki, burada m taban eğimini göstermek üzere aşağıdaki gibidir [48, 65].

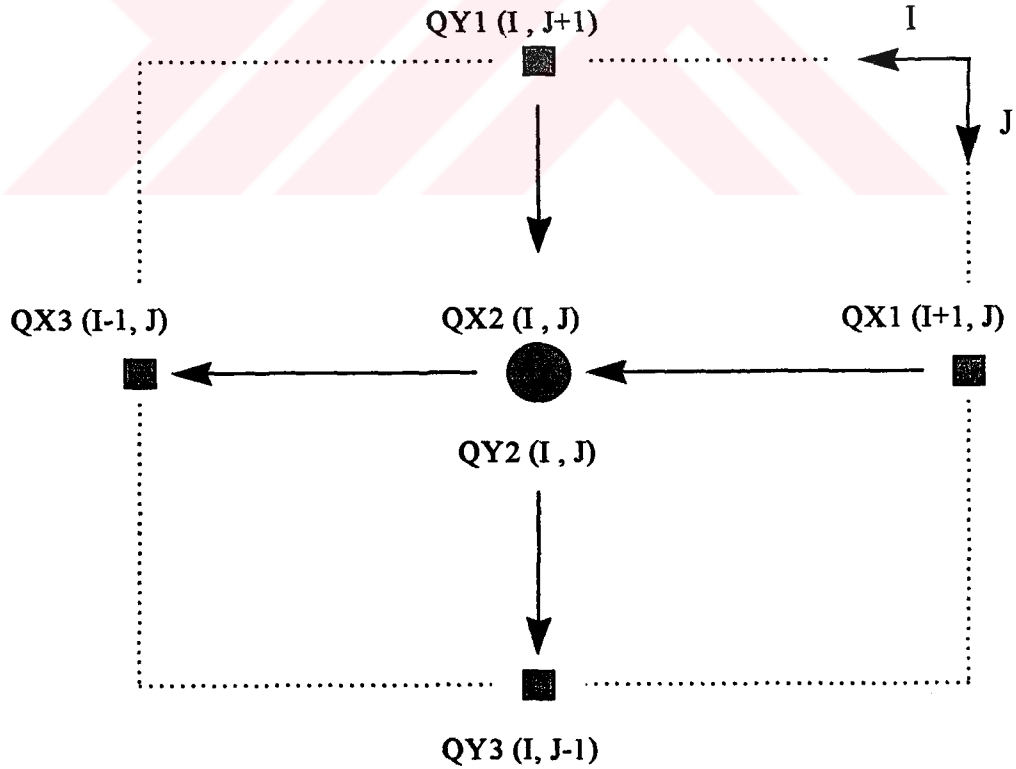
$$Q = 0.00203 \cdot H_b^2 \cdot T^{1.5} \cdot m^{0.75} \cdot d_{50}^{-0.25} \cdot \sin^{0.6}(2\alpha_b) \quad (138)$$

2.2.1.3. Sayısal Modelin Bilgisayar Uygulaması

Yukarıda açıklanan formüller kullanılarak, yapılan deneylerde kullanılan şartlar altında kıyıda olabilecek değişiklikleri hesaplayabilmek için oluşturulan sayısal modelin bilgisayar uygulaması yapılmıştır. Bu programda çalışılan alan 12.5·12.5 cm²'lik karelere bölünmüştür. Formüllerden her bir karedeki taşınım miktarı hesaplanabilmektedir. Bir noktadaki taşınım miktarı, kendi üzerindeki taşınım miktarı dahil, çevresindeki noktalarla beraber 5 tane noktanın taşınım miktarından hesaplanabilmektedir. Bu debiler ve pozitif taşınım yönleri Şekil 16'da gösterilmektedir.

Burada, QX1, QX2 ve QX3 kıyıya paralel taşınım debileri, QY1, QY2 ve QY3 ise kıyıya dik taşınım debilerini göstermektedirler. Bu nokta civarındaki toplam debi, işaretleri elde edildikten sonra, bu 6 debi miktarının toplamı sonucu elde edilmektedir. Debi elde edildikten sonra ise dolma yüksekliği bulunmaktadır.

Programda kırılma anındaki dalga yüksekliği (59), (60) ve (61) numaralı denklemlerden hesaplanabilmektedir. Ayrıca literatürde en çok kullanılan biçimde $h_b/H_b=1.28$ olarak kullanılmaktadır.



Şekil 16. Sayısal modelde bir noktada etkili olan taşınım debileri ve pozitif yönleri

Burada sığlaşma ve sapma katsayıları daha önceden verilen (49) ve (52) formülleri ile hesaplanabilmektedir. Yapı arkasındaki kırınım katsayısının hesaplanması ise daha karışıktır. Bu konuda çeşitli yöntemler mevcuttur. Burada kullanılan, yapı arkasındaki bir noktanın kırınım katsayısı;

$$K_d = K_d\left(\theta_0, \theta, \frac{r}{L}\right) \quad (139)$$

şeklindedir. Gelen dalganın dalgakıranla yaptığı açıya (θ_0), kırınım katsayısı hesaplanacak olan noktanın dalgakıranla yaptığı açıya (θ) ve dalgakıran ucu ile ilgili nokta arasındaki mesafenin (r), dalga boyuna (L) oranının (r/L) bir fonksiyonudur. Ayrıca,

$$K_d = K_d(u_1, u_2) \quad (140)$$

Buradaki u_1 ; gelen dalga ve kırınımına uğramış dalga arasındaki faz farkı ile ilgili bir fonksiyonu u_2 ; gelen dalga ve yansıyan dalga arasındaki faz farkı ile ilgili bir fonksiyonu gösterir.

$$u^2_1 = 4\left\{\frac{r}{L}[1 - \cos(\theta_0 - \theta)]\right\} \quad (141)$$

$$u^2_2 = 4\left\{\frac{r}{L}[1 - \cos(2\pi - \theta_0 - \theta)]\right\} \quad (142)$$

1) Kırınım Bölgesi ($0 \leq \theta \leq \theta_0$)

$$F(r, \theta) = f(-u_1)e^{-ikr \cos(\theta_0 - \theta)} + Rg'(-u_2)e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \quad (143)$$

Burada, $k=2\pi/L$ (dalga sayısı)'dir. (143) numaralı denklemin sağ tarafındaki ilk terim gelen dalganın kırınımını , ikinci terim yansımış dalganın kırınımını, R ise yansımaya katsayısını göstermektedir [34, 66].

2) Gelen Dalga Bölgesi ($\theta_0 \leq \theta \leq 2\pi-\theta_0$)

$$F(r,\theta) = e^{-ikr \cos(\theta-\theta_0)} - f(-u_1)e^{-ikr \cos(\theta-\theta_0)} + Rg'(-u_2)e^{-ikr \cos(\theta+\theta_0)} \quad (144)$$

Denklem (144)' in sağ tarafındaki ilk terim gelen dalgayı , ikinci terim gelen dalganın yayılmasını , üçüncü terim ise yansımış dalganın kırınımını gösterir.

3) Yansıyan Dalga Bölgesi ($2\pi-\theta_0 \leq \theta \leq 2\pi$)

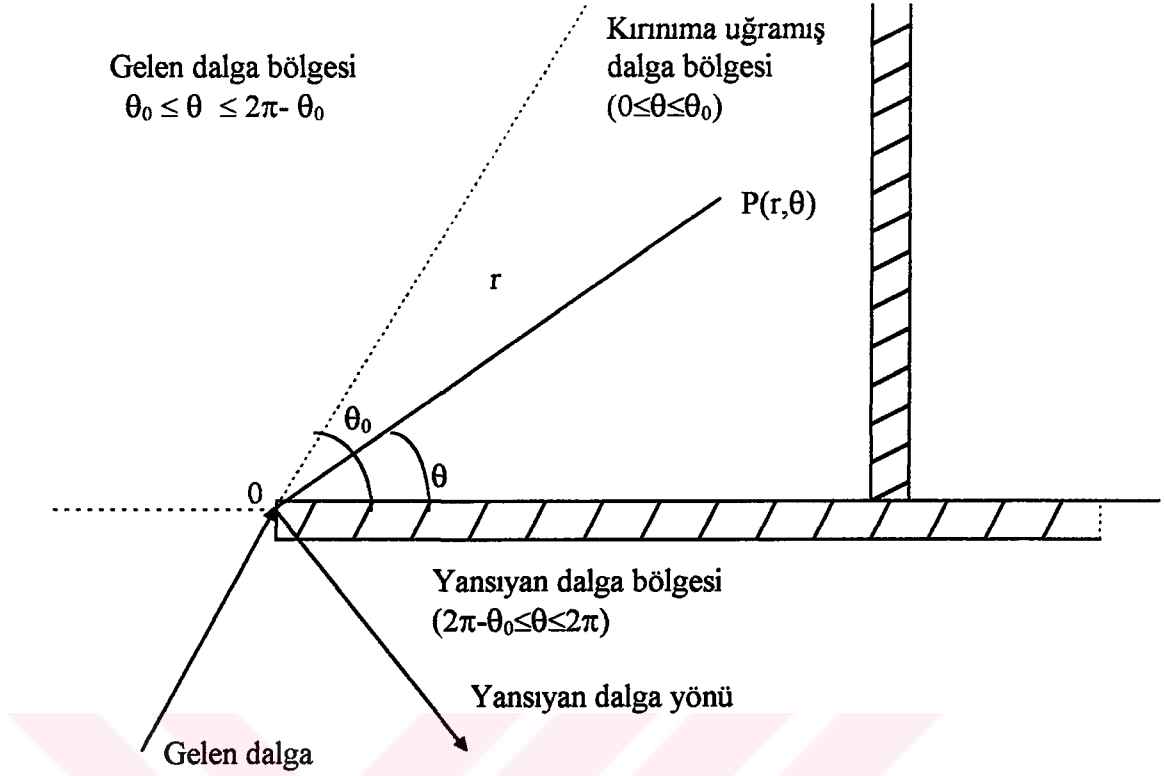
$$F(r,\theta) = e^{-ikr \cos(\theta-\theta_0)} - f(-u_1)e^{-ikr \cos(\theta-\theta_0)} + R \left(e^{-ikr \cos(\theta+\theta_0)} - g'(-u_2)e^{-ikr \cos(\theta+\theta_0)} \right) \quad (145)$$

Denklem (145)'in sağ tarafındaki ilk terim gelen dalgayı, ikinci terim gelen dalganın yayılmasını , üçüncü terim yansımış dalgayı ve dördüncü terim ise yansımış dalganın yayılmasını gösterir.

$$f(-u) = g'(1-u) = \frac{1}{2} [(1-c-s) + i(s-c)] \quad (146)$$

Buradaki ; $c=c(u)$, $s=s(u)$ sırasıyla Fresnel integrallerindeki kosinüs ve sinüs fonksiyonlarını gösterir. Yukarıdaki denklemin reel ifadesi aşağıdaki eşitlikle ifade edilebilir.

$$|f(-u)| = \frac{1}{\sqrt{2\pi u}} \tanh \left[\frac{\pi u}{\sqrt{2}} \exp(-0.4u^{0.6}) \right] \quad (147)$$



Şekil 17. Gelen dalganın üç dalga bölgesinin dağılımı

Kırınım katsayısı (K_d), kompleks değişken fonksiyonunun ($F(r, \theta)$) mutlak değeri olarak ifade edilir.

$$K_d = |F(r, \theta)| \quad (148)$$

Bu deneysel çalışmada iki adet mahmuzdan oluşan yapılar söz konusu olduğundan, "T" mahmuzu için iki mahmuz arasındaki kırınım katsayısını hesaplanırken, her iki yönden hesaplanan kırınım katsayılarının çarpımları, mahmuzların mansap ve memba taraflarında katsayıların kendileri alınmaktadır. Düz mahmuzlarda iki mahmuz arasında memba tarafından elde edilen katsayının karesi, mahmuzların memba tarafında $K_D=1$ ve mansap tarafında kendi değerleri alınmaktadır [21, 22].

3. BULGULAR

3.1. Deney Sonuçları

Daha önceki çalışmaların incelenmesi sonucu, "T" mahmuzlar için, mahmuz boyu (L_x), mahmuzlar arası açıklık (L_G) ve mahmuz başlık uzunluğu (L_B), düz mahmuzlar için ise mahmuz boyu (L_x) ve mahmuzlar arası uzaklık (L_G)'ın temel mahmuz parametreleri oldukları görülmüştür. Deneylere, literatürde ve bölgede uygulaması daha fazla görüldüğünden, "T" mahmuzları ile başlanması düşünülmüştür. Daha sonra, düz mahmuzlarla ilgili deneyler karşılaştırabilme amacıyla yapılmıştır.

İlk önce, mahmuz boyunun dolma miktarına etkisi araştırılmıştır. Mahmuz boyunun etkisi incelendikten sonra, mahmuz başlık uzunluğunun, aralığının etkisi ve daha sonra dalga parametrelerinin (dalga geliş açısı, dalga yüksekliği ve dalga periyodu) etkisi incelenmiştir. Deney sonuçlarının değerlendirilebilmesi için bir dolma miktarı parametresi tarif edilmiştir.

$$R = \frac{D * A_k}{A_m * h_m} \quad (149)$$

Burada,

- D : mahmuz koruma alanındaki toplam dolma yüksekliği (cm)
- A_k : oluşturulan ölçüm ağındaki bir karenin alanı (cm²)
- A_m : toplam mendirek koruma alanı (cm²)
- h_m : mendirek önü derinliği (cm)

Burada A_k ve A_m aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır:

$$A_k = 25 \cdot 25 = 625 \text{ cm}^2 \quad (150)$$

Burada 25·25 deney havuzunda oluşturulan bir karenin alanını ifade etmektedir. A_m değeri ise mendirek arkasındaki bölgelerin toplam alanıdır ve aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$A_m = \frac{(a + c) \cdot h}{2} \quad (151)$$

Bu yamuk alanının hesabında Şekil 13 ve Şekil 14 incelenirse, a değeri için $a=L_G+L_B$ (T mahmuzları için), $a=L_G$ (Düz mahmuzlar için) ve $c=2 \cdot L_G$ olarak alınmaktadır. Bu değerler yerine konulduğu takdirde T mahmuzları ve düz mahmuzlar için formüller aşağıdaki gibi olur.

$$A_{mT} = \frac{(L_B + 3 \cdot L_G) \cdot L_X}{2} \quad (152)$$

$$A_{mD} = \frac{(3 \cdot L_G) \cdot L_X}{2} \quad (153)$$

Diğer taraftan deneyler sonrası oluşturulan karelaj noktalarında ölçümler yapıldığı ve her koruma bölgesindeki ölçüm sayısına n dediğimize göre, toplam koruma alanını, bir karenin alanının n katı olarak aşağıdaki gibi bulabiliriz.

$$A_m = n \cdot 25 \cdot 25 = n \cdot 625 = n \cdot A_k \quad (154)$$

Elde edilen bu değerler dolma miktarı parametresinin hesaplandığı 149 numaralı denklemde yerine konulursa:

$$R = \frac{D \cdot A_k}{A_m \cdot h_m} = \frac{D \cdot A_k}{n \cdot A_k \cdot h_m} = \frac{D}{n \cdot h_m} \quad (155)$$

şeklinde elde edilmiş olur. Mahmuz koruma alanında deney sonuçlarından elde edilen toplam dolma miktarı parametreleri Çizelge 3, Çizelge 4 ve Çizelge 5’de verilmektedir.

Çizelge 3. T Mahmuzu deney sonuçları

DENEY NO	L _X (cm)	L _G (cm)	L _B (cm)	L _G /L _X	L _B /L _X	R
1	66.67	66.67	33.33	1.0	0.5	0.0800
2		80		1.2		0.1039
3		113.33		1.7		0.1196
4		133.33		2.0		0.1417
5		146.67		2.2		0.1312
6		180		2.7		0.0971
7		193.33		2.9		0.0870
8	100	130	20	1.3	0.2	0.1130
9		200		2.0		0.1080
10		230		2.3		0.1018
11		110	30	1.1	0.3	0.1320
12		130		1.3		0.1280
13		150		1.5		0.1343
14		170		1.7		0.1250
15		200		2.0		0.1150
16		230		2.3		0.1180
17		250		2.5		0.1155
18		130	40	1.3	0.4	0.1300
19		170		1.7		0.1200
20		200		2.0		0.1200
21		230		2.3		0.1080
22		100	50	1.0	0.5	0.0740
23		110		1.1		0.0780
24		130		1.3		0.1070
25		160		1.6		0.0900
26		170		1.7		0.1150
27		200		2.0		0.1100
28		210		2.1		0.0900
29		230		2.3		0.1030
30		260		2.6		0.0900
31		290		2.9		0.0740
32		130	60	1.3	0.6	0.1330
33		170		1.7		0.1200
34		200		2.0		0.1228
35		230		2.3		0.1135
36		110	70	1.1	0.7	0.1360
37		130		1.3		0.1350
38		170		1.7		0.1480
39		200		2.0		0.1420
40		230		2.3		0.1473
41		250		2.5		0.1330
42		130	80	1.3	0.8	0.1000
43		200		2.0		0.1280
44		230		2.3		0.1373

Çizelge 3'ün devamı

DENEY NO	L _X (cm)	L _G (cm)	L _B (cm)	L _G /L _X	L _B /L _X	R
45	100	130	30	1.3	0.3	0.0475
46		170		1.7		0.0425
47		200		2.0		0.0080
48		130	50	1.3	0.5	0.0800
49		170		1.7		0.0783
50		200		2.0		0.0298
51		130	70	1.3	0.7	0.0163
52		200		2.0		0.0755
53	133.33	133.33	40	1.0	0.3	0.1250
54		266.67		2.0		0.0680
55		133.33	66.67	1.0	0.5	0.0513
56		200		1.5		0.0594
57		226.67		1.7		0.0568
58		266.67		2.0		0.0782
59		306.67		2.3		0.0563
60		333.33		2.5		0.0568
61		386.67		2.9		0.0400
62		133.33	93.33	1.0	0.7	0.1060
63		266.67		2.0		0.0700
64	166.67	166.67	83.33	1.0	0.5	0.0565
65		333.33		2.0		0.0580
66	100	100	50	1.0		0.0650
67		130		1.3		0.0985
68		170		1.7		0.0943
69		200		2.0		0.1060
70		230		2.3		0.0818
71		260		2.6		0.0000
72		130		1.3		-0.01050
73		170		1.7		0.0375
74		200		2.0		0.0175
75		230		2.3		-0.01200
76		100		1.0		0.0220
77		130		1.3		-0.01580
78		170		1.7		-0.02280
79		200		2.0		-0.00575
80		260		2.6		-0.00850

Çizelge 4. Düz mahmuz deney sonuçları

DENEY NO	L_x (cm)	L_G (cm)	L_G/L_x	R
81	100	100	1.0	0.1073
82		130	1.3	0.1323
83		170	1.7	0.1258
84		200	2.0	0.1328
85		230	2.3	0.1125
86		260	2.6	0.0638
87		100	1.0	0.1450
88		130	1.3	0.1120
89		170	1.7	0.1200
90		200	2.0	0.0828
91		230	2.3	0.0278
92		130	1.3	0.0300
93		170	1.7	0.0450
94		200	2.0	0.0365
95		230	2.3	0.0370
96		130	1.3	0.0080
97		170	1.7	-0.0035
98		200	2.0	-0.00975
99		260	2.6	-0.0303
100	133.33	133.33	1.0	0.06470
101		173.33	1.3	0.04290
102		226.67	1.7	0.04140
103		266.67	2.0	0.03190
104		346.67	2.6	0.00994

Çizelge 5. T Mahmuzlarında zamana karşı deney sonuçları

DENEY NO	L_x (cm)	L_G (cm)	L_B (cm)	L_G/L_x	L_B/L_x	R
105	100	185	50	1.85	0.5	-0.04180
						0.0207
						0.0696
						0.0679
						0.0886
106						-0.002041
						0.00612
						0.02296
						0.10310
						0.19540
107						-0.00213
						-0.05320
						0.0112
						-0.02340
						-0.01010
						0.0378

Deneylerden elde edilen sonuçlar verildikten sonra, geliştirilen sayısal model ve bu modelden elde edilen dolma miktarı parametreleri (R_i), gözönüne alınan deneyler belirtilerek verilmiştir.

Çizelge 6. T mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)

H, T, Aı	DENEY NO	L_G/L_X	CERC $X/X_b=0.0$	CERC $X/X_b=0.5$	CERC $X/X_b=0.7$	KAMP. $X/X_b=0.0$
H=3.33 cm T=0.866 sn $\alpha=30^\circ$	22	1.0	0.108	0.057	0.044	0.095
	23	1.1	0.112	0.055	0.050	0.100
	24	1.3	0.081	0.039	0.037	0.091
	25	1.6	0.076	0.030	0.029	0.086
	26	1.7	0.074	0.029	0.027	0.087
	27	2.0	0.053	0.021	0.022	0.064
	28	2.1	0.055	0.020	0.020	0.064
	29	2.3	0.041	0.017	0.018	0.046
	30	2.6	0.032	0.008	0.011	0.035
	31	2.9	0.022	0.005	0.009	0.026

Çizelge 7. T mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)

DENEY NO	H (cm)	T (sn)	α	H/L	L_G/L_X	CERC $X/X_b=0.0$
66	3.33	0.866	15	0.028	1.0	0.052
67					1.3	0.040
68					1.7	0.028
69					2.0	0.020
70					2.3	0.019
71					2.6	0.012
					1.0	0.073
72	5.33			0.045	1.3	0.062
73					1.7	0.054
74					2.0	0.044
75					2.3	0.033
					2.6	0.021
76	3.33	0.692		0.045	1.0	0.047
77					1.3	0.033
78					1.7	0.024
79					2.0	0.019
					2.3	0.015
80					2.6	0.010

Çizelge 8. Düz mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)

H, T, Aç	DENEY NO	L_G/L_X	CERC $X/X_b=0.0$	CERC $X/X_b=0.5$	CERC $X/X_b=0.7$	KAMP. $X/X_b=0.0$
H=3.33 cm T=0.866 sn $\alpha=30^\circ$	81	1.0	0.136	0.092	0.066	0.120
	82	1.3	0.184	0.092	0.061	0.188
	83	1.7	0.129	0.054	0.032	0.136
	84	2.0	0.134	0.055	0.031	0.160
	85	2.3	0.12	0.049	0.025	0.154
	86	2.6	0.105	0.042	0.024	0.140

Çizelge 9. Düz mahmuzları sayısal model sonuçları (R_i)

DENEY NO	H (cm)	T (sn)	α	H/L	L_G/L_X	CERC $X/X_b=0.0$
87	3.33	0.866	15	0.028	1.0	0.121
88					1.3	0.115
89					1.7	0.074
90					2.0	0.069
91					2.3	0.061
					2.6	0.054
					1.0	0.129
92	5.33			0.045	1.3	0.177
93					1.7	0.120
94					2.0	0.154
95					2.3	0.158
					2.6	0.134
					1.0	0.110
96	3.33	0.692		0.045	1.3	0.103
97					1.7	0.066
98					2.0	0.060
					2.3	0.054
99					2.6	0.047

Sayısal model ile ilgili olarak verilen çizelgelerde deney numarası boş bırakılan yerler, deneylerde yapılmayan fakat sayısal model ile hesaplanmış olan değerleri ifade etmektedir.

Çizelge 10. T mahmuzları zamana karşı sayısal model sonuçları (R_i)

DENEY NO	Zaman (saat)	H (cm)	T (sn)	α	H/L	L_G/L_X	CERC $X/X_b=0.0$
105	2	3.33	0.866	15	0.028	1.85	0.019
	4						0.025
	6						0.034
	8						0.041
	10						0.051
106	2	5.33			0.045		0.024
	4						0.038
	6						0.050
	8						0.035
	10						0.001
107	2	3.33	0.692		0.045		0.016
	4						0.021
	6						0.030
	8						0.038
	10						0.049
	12						0.057

4. İRDELEME

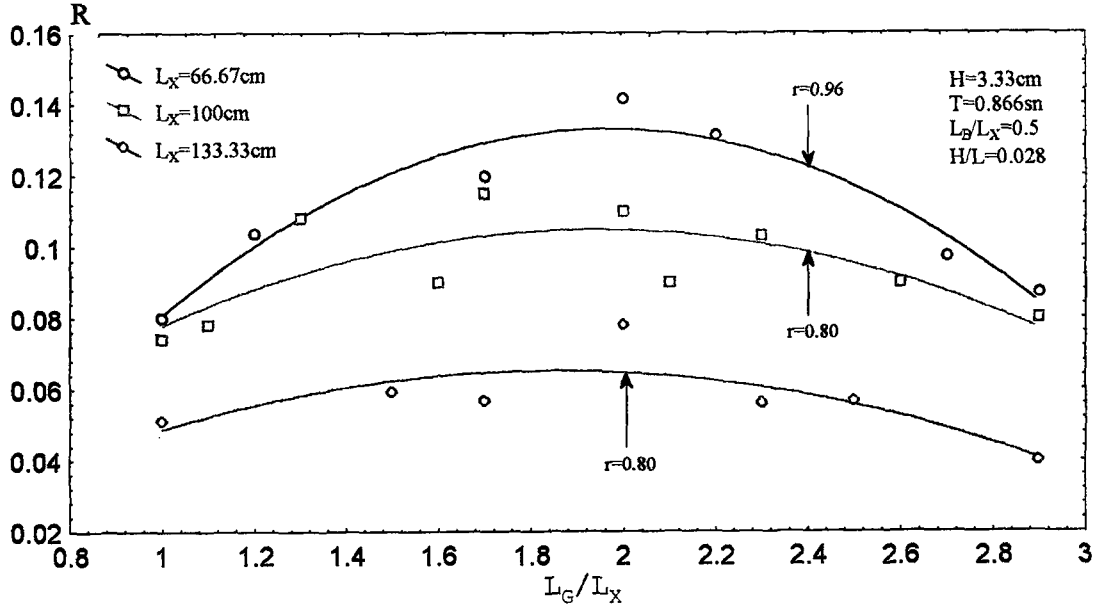
Burada, bir önceki bulgular bölümünde sonuçları verilen deneyler kullanılarak, “T” ve düz mahmuz parametrelerinin, dolma miktarı (R) parametresine etkileri incelenmiştir.

İlk olarak, mahmuz parametrelerinin (mahmuz boyu L_X , mahmuz aralığı L_G ve mahmuz başlık uzunluğu L_B), dolma miktarı parametresine etkileri incelenmiş ve daha sonra, dalga parametrelerinin (dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga geliş açısı) dolmaya etkileri araştırılmıştır. Burada, hareket noktası olarak alınan Doğu Karadeniz Bölgesi verileri, derin deniz dalga yüksekliği için $H_1=3.33$ cm (tabiatta 2.5 m) ve $H_2=5.33$ cm (tabiatta 4 m), dalga yüksekliği için $T_1=0.692$ sn (tabiatta 6 sn) ve $T_2=0.866$ sn (tabiatta 7.5 sn) ve derin deniz dalga geliş açısı için ise $\alpha_1=30^\circ$ ve $\alpha_2=15^\circ$ için deneyler gerçekleştirilmiştir. Deneylere, öncelikle $\alpha_1=30^\circ$ ’lik dalga geliş açısı ile başlanmış ve daha sonra $\alpha_2=15^\circ$ için devam edilmiştir. Deneyler süresince, Doğu Karadeniz Bölgesini temsil eden ortalama taban eğimi $m=1/25$, bütün deneylerde sabit olarak alınmış ve değiştirilmeden deneylere devam edilmiştir. Ayrıca geliştirilen sayısal modelin sonuçları da verilerek, deney sonuçları ile olan benzerlikleri irdelenmiştir.

4.1. Deneysel Çalışmaların Sonuçları

4.1.1. Mahmuz Uzunluğunun Dolma Miktarı Parametresine Etkisi

Araştırmaya, “T” mahmuzları ile ilgili deneylerle başlanmıştır. Mahmuz uzunluğunun etkisini araştırmak için, ilk olarak 3 adet mahmuz uzunluğunun ($L_X=66.67$ cm, 100 cm ve 133.33 cm) dolma miktarı parametresini (R) ne şekilde etkilediği incelenmiş ve daha sonra iki adet mahmuz aralığı parametresine ($L_G/L_X =1.0$ ve 2.0) bağlı olarak, dört adet mahmuz boyunun değişimi incelenmiştir. Bu incelemede, açısı $\alpha_1=30^\circ$ dalga yüksekliği $H=3.33$ cm, dalga periyodu $T=0.866$ sn olarak ve “T” mahmuzları için, mahmuz başlık uzunluğu olarak ortalama bir değer olan mahmuz boyunun yarısı $L_B/L_X=0.5$ değeri alınmıştır. Sonuçlar Şekil 18 ve Şekil 19’de verilmiştir.



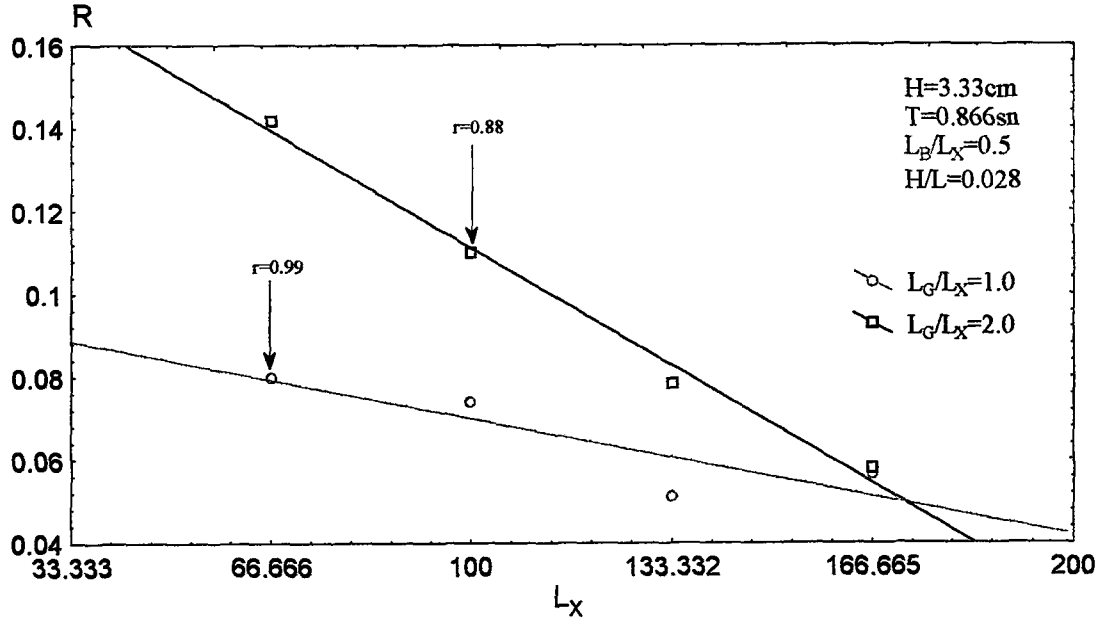
Şekil 18. 3 Değişik mahmuz boyu için mahmuz uzunluğunun dolma miktarına etkisi ($\alpha=30^\circ$)

Şekil 18'den dolma miktarının uzunlukla azaldığı görülmüş, bu sadece iki adet mahmuz aralığı ($L_G/L_X=1.0$ ve 2.0) ve $L_X=166.67$ cm'lik mahmuz boyu da kullanılarak yapılan deneylerden sonra Şekil 19'dan de tespit edilmiştir. Şekil 18'deki noktalardan elde edilmiş olan ikinci dereceden denklemler aşağıda verilmiştir:

$$R_{66.67} = -0.083 + 0.22 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] - 0.056 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (156)$$

$$R_{100} = -0.01 + 0.118 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] - 0.03 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (157)$$

$$R_{133.33} = -0.012 + 0.083 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] - 0.022 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (158)$$



Şekil 19. 4 Değişik mahmuz boyu ve 2 mahmuz aralığı için mahmuz boyunun dolma miktarına etkisi ($\alpha=30^\circ$)

denklemlerin A, B ve C katsayılarının birbirlerine göre değişimleri incelendikten sonra aşağıdaki denklem elde edilmiştir.

$$R = -A + B * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] - C * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (159)$$

$$A = 0.454 - 0.0078 * (L_X) + 0.34 \cdot 10^{-4} * (L_X)^2 \quad (160)$$

$$B = 0.625 - 0.0081 * (L_X) + 0.3 \cdot 10^{-4} * (L_X)^2 \quad (161)$$

$$C = 0.162 - 0.0021 * (L_X) + 0.8 \cdot 10^{-3} * (L_X)^2 \quad (162)$$

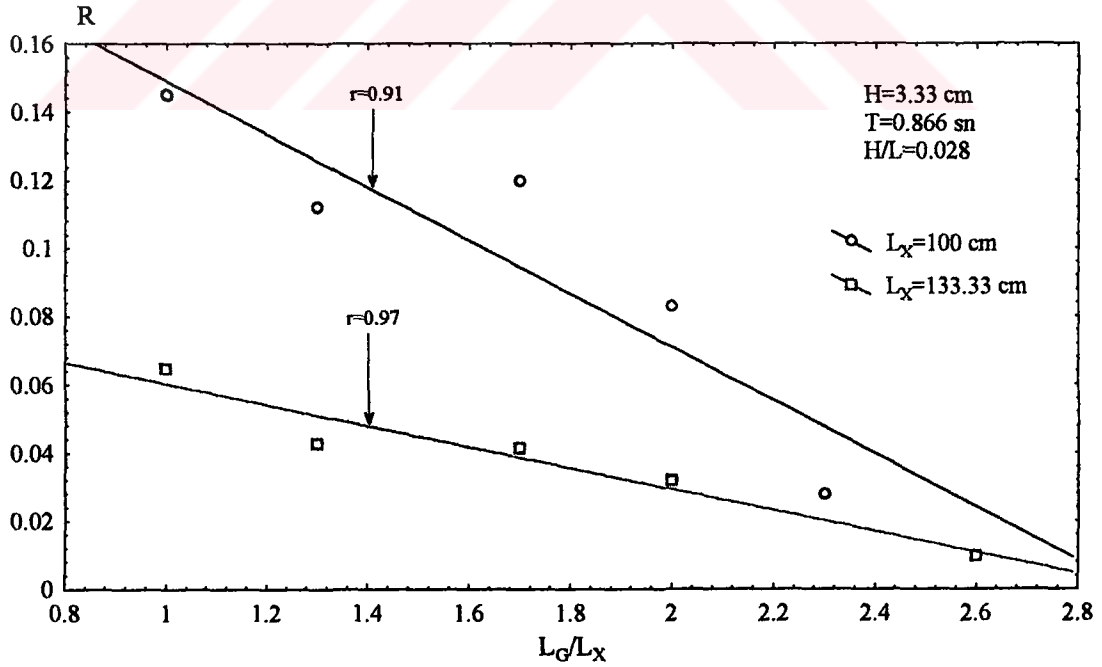
Şekil 18'den anlaşılacağı üzere, her üç değişik mahmuz uzunluğu için de, dolma miktarı parametresinin mahmuz aralığı parametresinin artışı ile beraber bir benzer eğrilik takip ettiği görülmektedir. Her üçü'nünde $L_G/L_X=2.0$ de, maksimum değeri aldığı gö-

rılmaktadır. 4 değişik mahmuz uzunluğu ve iki mahmuz aralığı için deney sonucu oluşan taban topografyaları Ekler kısmında verilmiştir.

Daha sonra, düz mahmuz için, $H_1=3.33$ cm, $T_1=0.866$ sn ve $\alpha_2=15^\circ$ kullanılarak ve "T" mahmuzları için gerçekleştirilen deneyler göz önüne alınarak, iki adet mahmuz boyu $L_X=100$ cm ve $L_X=133.33$ cm için deneyler yapılmış ve bu deney sonuçları Şekil 20'de verilmiştir. Şekilden anlaşıldığı gibi, $L_X=100$ cm olan mahmuz uzunluğunda, dolma miktarı parametresinin daha büyük değerler aldığı görülmektedir. Her iki mahmuz uzunluğu için de geçerli olmak üzere, boyutsuz mahmuz aralığı parametresi (L_G/L_X) arttıkça, dolma miktarı parametresinin azaldığı tespit edilmiştir. Bu noktalardan elde edilen denklemler,

$$R_{100} = 0.227 - 0.078 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] \quad (163)$$

$$R_{133.33} = 0.091 - 0.031 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] \quad (164)$$



Şekil 20. Düz mahmuzlarda mahmuz boyunun dolma miktarına etkisi ($\alpha=15^\circ$)

şeklinde. Şekilden, daha dar mahmuz aralığı ve kısa mahmuz uzunluğunda, düz mahmuzlarda dolma miktarı parametresinin daha büyük değerler alacağı anlaşılmaktadır. Yukarıdaki denklemlerde A ve B katsayılarının değişimleri incelenirse, aşağıdaki gibi bir R değeri elde edilir.

$$R = A + B * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] \quad (165)$$

$$A = 0.635 - 0.004 * (L_X) \quad (166)$$

$$B = 0.219 - 0.001 * (L_X) \quad (167)$$

4.1.2. Mahmuz Başlık Uzunluğunun Dolma Miktarı Parametresine Etkisi

Mahmuz başlık uzunluğunun dolma miktarı parametresine (R) etkisini araştırmak için, daha önceden mahmuz uzunluğunun tayini için yapılan deneyler de göz önünde bulundurularak, uygun ve ortalama bir değer olduğuna karar verilen $L_X=100$ cm mahmuz uzunluğu kullanılarak, diğer deneylere devam edilmesine karar verilmiştir. Başlık uzunluğunun araştırılması için yapılacak deneylerde, $L_X=100$ cm alınıp diğer parametreler değiştirilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde esas olarak, dalga yüksekliği $H_1=3.33$ cm, dalga periyodu $T_1=0.866$ sn ve dalga geliş açısı $\alpha_1=30^\circ$ kullanılmıştır. Bulguları güçlendirmek için, dalga yüksekliği $H_2=5.33$ cm için de, aynı periyot ve açı ile deneyler yapılmış, daha sonra $L_X=133.33$ cm dalga yüksekliği $H=3.33$ cm, dalga periyodu $T=0.866$ sn olan ve dalga geliş açısı $\alpha_1=30^\circ$ için ilave birkaç deney daha yapılmıştır. Başlık uzunluğu parametresi $L_B/L_X=0.3, 0.5$ ve 0.7 için gerçekleştirilen deneyler Şekil 21'de verilmiştir.

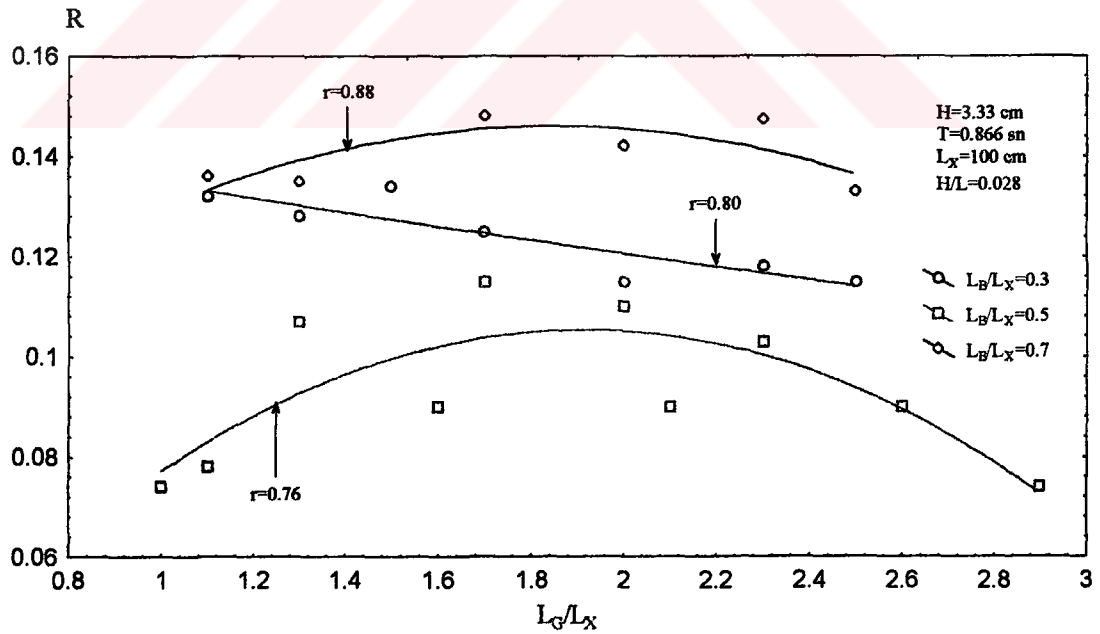
Şekildeki gibi, her üç değişik mahmuz başlık uzunluğu için dolma miktarları farklı değerler almaktadır. $L_B/L_X=0.3$ için dolma miktarı parametresi (R), boyutsuz mahmuz aralığı parametresi (L_G/L_X) arttıkça, az bir meryille azalmaktadır. Fakat, dolma miktarı parametresi (R) $L_B/L_X=0.5$ 'in değerlerinden yüksek görünmektedir. Bu noktalardan geçirilen ikinci derece denklemin korelasyon katsayısı 0.87 'dir. $L_B/L_X=0.5$ ise L_G/L_X değerele-

rinin artması ile ilk önce $L_G/L_X=2$ değerine kadar bir artış, daha sonra ise bir azalma görülmektedir. Bu noktalardan geçirilen ikinci derece denklemin korelasyon katsayısı 0.80'dir. $L_B/L_X=0.7$ için izlenen deney sonuçlarında ise, $L_B/L_X=0.5$ değerinde olduğu gibi, ilk önce $L_G/L_X=2$ değerine kadar bir artış, daha sonra bir azalma görülmektedir. $L_B/L_X=0.7$ için elde edilen deney sonuçları, diğerleri için elde edilen sonuçlardan daha büyük çıkmaktadır. Noktalardan elde edilen eğrilerin denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$R_{0.3} = 0.15 - 0.016 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] + 0.000613 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (168)$$

$$R_{0.5} = -0.018 + 0.129 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] - 0.034 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (169)$$

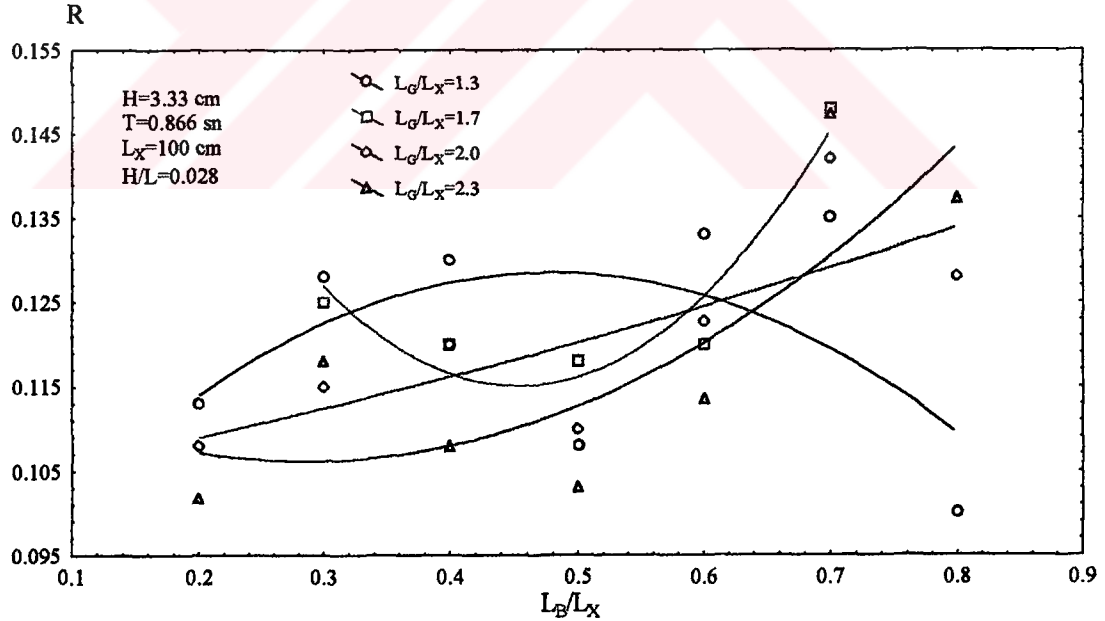
$$R_{0.7} = 0.068 + 0.084 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right] - 0.023 * \left[\frac{L_G}{L_X} \right]^2 \quad (170)$$



Şekil 21. 3 Başlık uzunluğu için dolma miktarının L_G/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)

Yukarıda bahsedilen üç değişik başlık uzunluğu ve iki değişik mahmuz aralığı için deney sonuçlarından elde edilen taban topoğrafyaları Ekler kısmında verilmiştir. Bu deneylerden sonra, $L_B/L_X=0.2, 0.4, 0.6$ ve 0.8 değerleri için de, birer seri deneyler yapılarak, çeşitli mahmuz aralığı parametreleri için ($L_G/L_X=1.3, 1.7, 2.0$ ve 2.3) boyutsuz başlık uzunluğu parametresinin (L_B/L_X), dolma miktarı parametresine etkisi incelenmiştir. Bu deneylerin sonuçları Şekil 22'de gösterilmiştir.

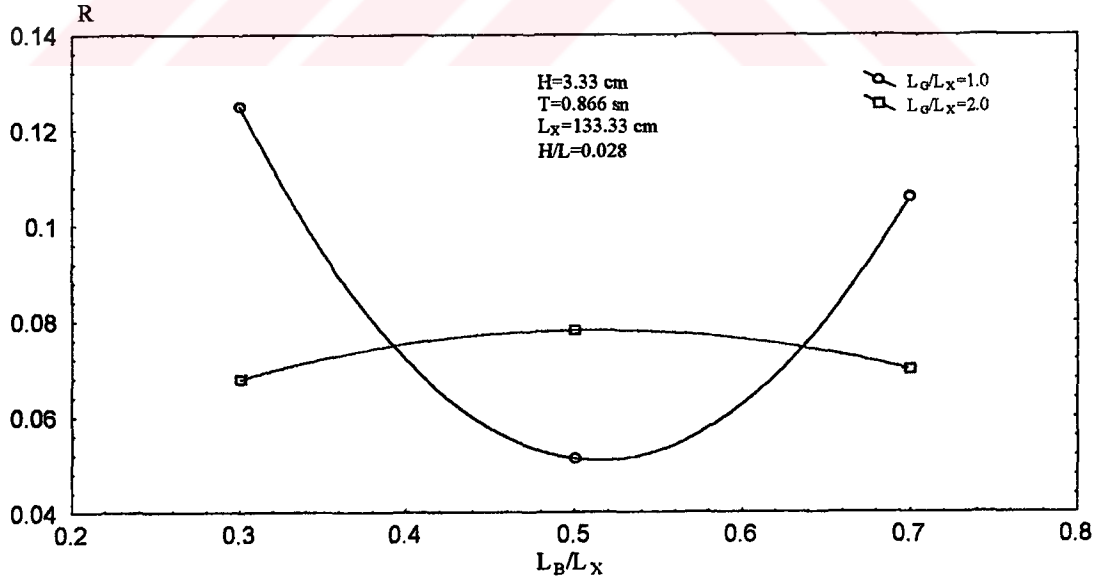
Şekildeki gibi, $L_G/L_X=1.3$ için elde edilen veriler, 0.5 gibi düşük bir korelasyon katsayısı vermiştir. Yine de bu aralıkta dolma miktarı parametresi değerleri diğer aralıklardakilere göre daha büyük değerler almıştır. Bu aralık için, ilk önce $L_B/L_X=0.5$ değerine kadar elde edilen eğride bir artış, daha sonra ise azalma görülmektedir. Korelasyon katsayısı 0.95 bulunan $L_G/L_X=1.7$ değeri için elde edilen sonuçlara göre, $L_B/L_X=0.3$ 'den sonra $L_B/L_X=0.5$ değerine kadar bir azalma ve daha sonra bir artış gözlenmektedir. $L_G/L_X=2.0$ 'da ise, korelasyon katsayısı 0.78 olup, boyutsuz başlık uzunluğu parametresinin (L_B/L_X) artışı ile arttığı görülmektedir. Korelasyon katsayısının 0.81 olduğu $L_G/L_X=2.3$ deneylerinin sonuçları da $L_G/L_X=2.0$ 'dakiler gibi, başlık uzunluğu katsayısının (L_B/L_X) artışı ile artma göstermektedir. Buna göre, mahmuz aralığının dar olduğu yerler



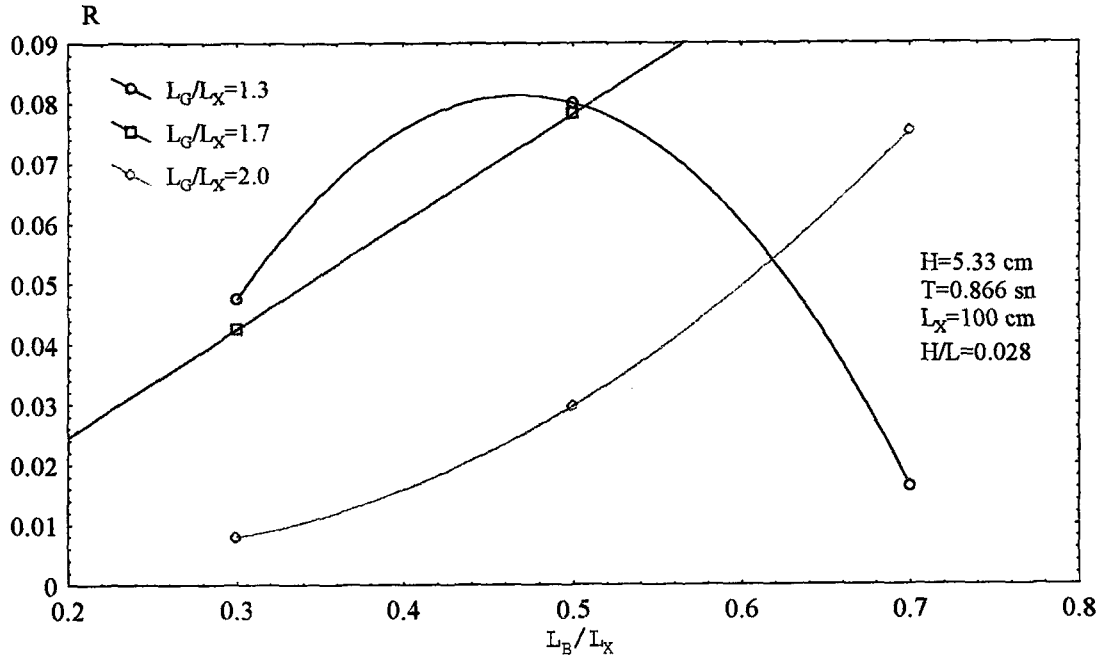
Şekil 22. 4 Mahmuz aralığı için dolma miktarı parametresinin L_B/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)

de küçük mahmuz başlık uzunluğunun, mahmuz aralığının fazla olduğu durumlarda büyük mahmuz başlık uzunluğunun, dolma miktarı parametresini artırdığı görülmektedir. $L_X=133.33$ cm mahmuz uzunluğu için yapılan deneylerin sonuçları Şekil 23'de verilmiştir. Burada $H_1=3.33$ cm, $T_1=0.866$ sn, $\alpha_1=30^\circ$ lik açı kullanılmıştır. Sadece iki mahmuz aralığı parametresi için ($L_G/L_X=1.0$ ve 2.0), $L_B/L_X=0.3, 0.5$ ve 0.7 başlık uzunluğu oranları kullanılarak deneyler yapılmıştır. $L_G/L_X=1.0$ için dolma miktarı parametresi (R), $L_B/L_X=0.5$ değerine kadar azalmış ve daha sonra artmıştır. $L_G/L_X=2.0$ için, $L_B/L_X=0.5$ 'e kadar bir artış daha sonra azalma görülmüştür. Mahmuz aralığı büyüdüğünde L_B/L_X 'in büyük değerlerinde, dolma miktarı parametresi R 'nin de daha büyük değerler aldığı görülmüştür. $L_X=100$ cm ve $H=5.33$ cm dalga yüksekliği kullanılarak gerçekleştirilen deneyler Şekil 24'de gösterilmektedir.

Burada dalga yüksekliğinin büyümesi durumunda, başlık uzunluğunun etkisi görülmek istenmiştir. Üç adet boyutsuz mahmuz aralığı parametresi için ($L_G/L_X=1.3, 1.7$ ve 2.0) deneyler yapılmıştır. $L_G/L_X=1.3$ değeri için, $L_B/L_X=0.5$ 'e kadar artma, sonra azalma vardır. Bu aralıkta, $L_B/L_X=0.3$ ve 0.5 değerleri daha büyük sonuçlar vermiştir. $L_G/L_X=1.7$ ve 2.0 değerlerinde ise, L_B/L_X 'in artması ile dolma miktarı parametresi değerlerinde artma görülmektedir. Yani, mahmuz aralığının büyümesi durumunda, başlık uzunluğunun büyük değerlerinde daha büyük değerler bulunmuştur.



Şekil 23. $L_X=133.33$ cm için dolma miktarı parametresinin L_B/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)



Şekil 24. $H=5.33$ cm için dolma miktarı parametresinin L_B/L_X ile değişimi ($\alpha=30^\circ$)

4.1.3. Mahmuz Aralığının Dolma Miktarı Parametresine Etkisi

Mahmuz aralığının dolma miktarı parametresine etkisi, bundan önce verilen bütün şekillerden görülmektedir. Mahmuz boyunun irdelendiği deneylerde, "T" mahmuzlarında, $L_G/L_X=2.0$ değerine kadar, dolma miktarı parametresinde artış olmakta, daha sonra azalma görülmektedir. Başlık uzunluğu ve mahmuz aralığı irdelendiğinde ise, bazı durumlarda düşük korelasyona sahip olmakla beraber, L_G/L_X değerinin küçük olduğu durumlarda L_B/L_X 'in küçük, L_G/L_X 'in büyük olduğu durumlarda ise L_B/L_X 'in büyük değerleri için dolma miktarı parametresinin daha büyük değerler aldıkları görülmektedir.

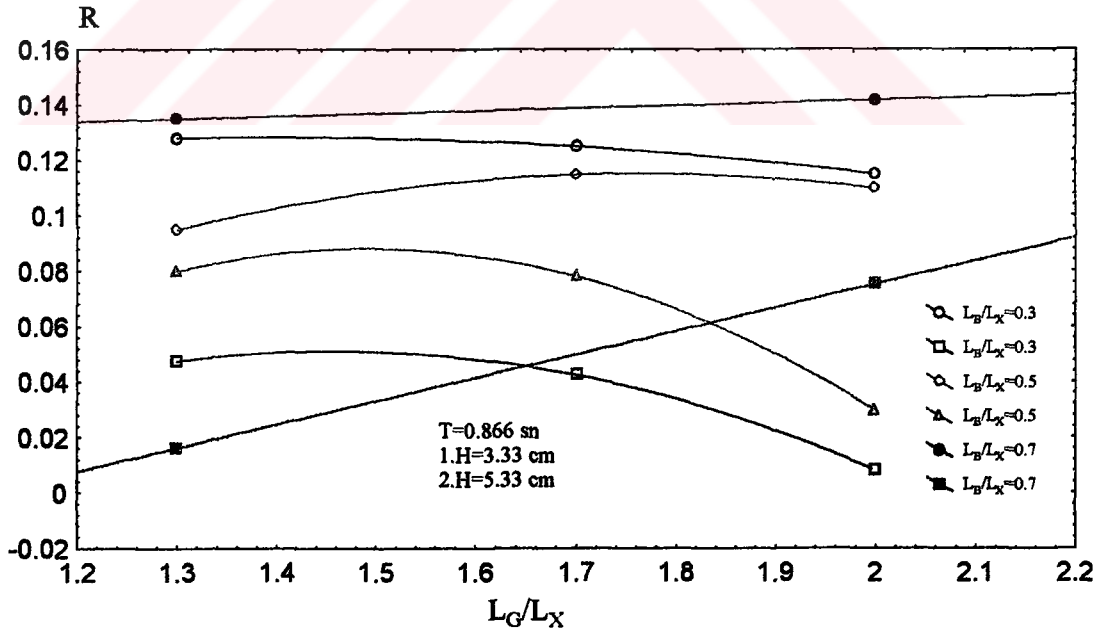
Düz mahmuzlarda, "T" mahmuzlarına nazaran, L_G/L_X 'in çok daha küçük olması durumlarda, yani mahmuz aralığının ufak olduğu durumlarda, dolma miktarı parametresinin değerinin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. "T" mahmuzlarının başlığı, düz mahmuzlara göre L_G/L_X aralığının daha büyük olabileceği avantajını sağlar.

4.1.4. Dalga Yüksekliğinin Dolma Miktarı Parametresine Etkisi

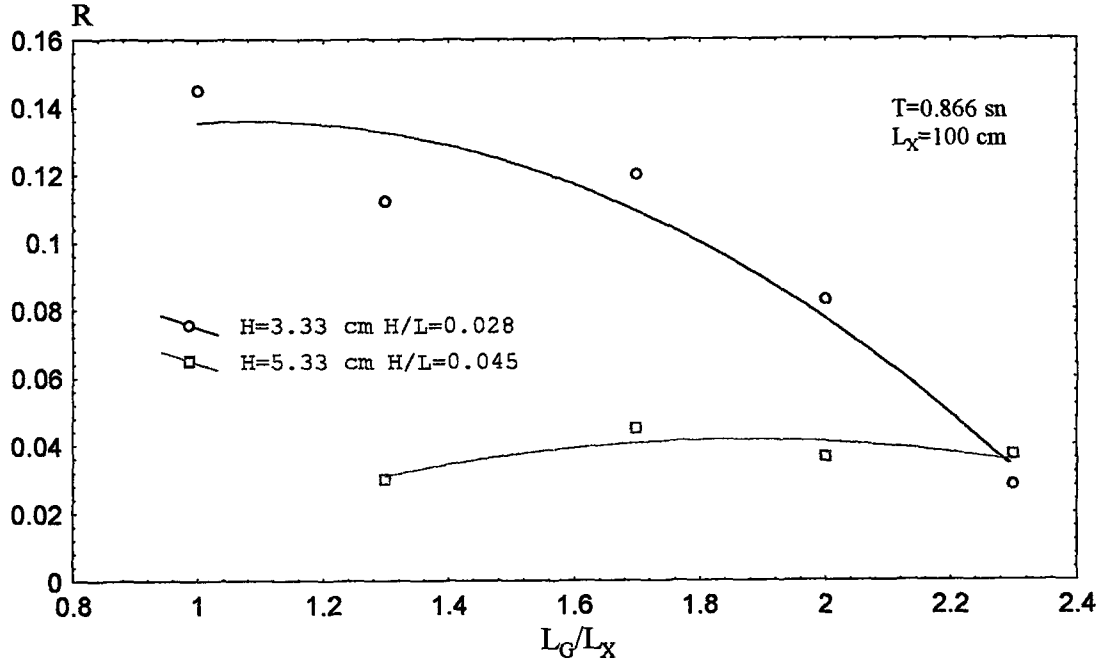
Dalga yüksekliğinin etkisini araştırmak amacıyla, daha önce başlık uzunluğu için yapılan deneyler de dikkate alınarak, $L_B/L_X=0.3$, 0.5 ve 0.7 başlık uzunlukları için deneyler yapılmıştır. Daha önce, $H_1=3.33$ cm için yapılan deneylerde, dalga yüksekliği $H_2=5.33$ cm kullanılarak deneyler gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde, dalga açısı $\alpha_1=30^\circ$ mahmuz uzunluğu $L_X=100$ cm dalga periyodu $T=0.866$ sn alınmıştır. Sonuçlar Şekil 25’de verilmiştir.

$\alpha_1=30^\circ$ olduğu şekil incelendiğinde, her üç başlık uzunluğu için de, dalga yüksekliğinin artışının, dolma miktarı parametresini azalttığı görülür. $L_B/L_X=0.3$ ve 0.7 ’de azalma fazla, 0.5 ’de ise daha azdır. L_G/L_X ’in artışı ile, $L_B/L_X=0.3$ durumundaki dolma miktarı parametresi devamlı azalırken, $L_B/L_X=0.5$ ’de ve $L_B/L_X=0.7$ ’de de arttığı görülmektedir.

Düz mahmuzlarda, dalga yüksekliğinin dolma miktarı parametresine etkisi Şekil 26’da incelenmiştir. Burada $L_X=100$ cm, $T_1=0.866$ sn ve $\alpha_2=15^\circ$ dalga açısı için, $H_1=3.33$ cm ve $H_2=5.33$ cm’lik dalga yükseklikleri kullanılarak deneyler yapılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi, dalga yüksekliği $H_1=3.33$ cm için elde edilen değerlerin, dalga yüksekliğinin büyüdüğü $H_2=5.33$ cm için elde edilen değerlere oranla oldukça fazla



Şekil 25. "T" mahmuzlarında dalga yüksekliğinin dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=30^\circ$)



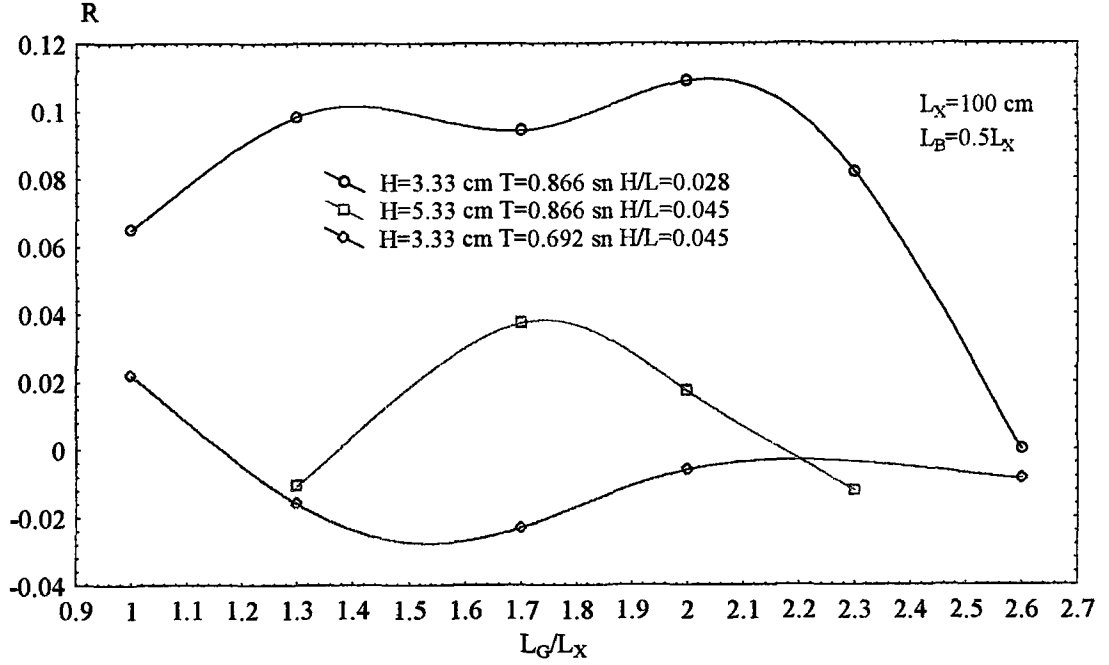
Şekil 26. Düz mahmuzlarda dalga yüksekliğinin dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=15^\circ$)

görülmektedir. $H_1=3.33$ cm için elde edilen dolma miktarı parametresi $L_G/L_X=1.4$ değerine kadar sabit olarak gitmekte, daha sonra azalmaktadır. Dalga yüksekliğinin $H_2=5.33$ cm olduğu durumda, önce küçük bir artış ve daha sonra azalma göstermektedir. Yaklaşık $L_G/L_X=2.3$ değerinde iki değişik dalga sonucunda elde edilen eğrilerin birbirini kestiği görülmektedir.

4.1.5. Dalga Periyodunun Dolma Miktarı Parametresine Etkisi

Dalga periyodunun dolma miktarı parametresi üzerindeki etkisini belirleyebilmek amacıyla, üç seri deney karşılaştırmaya alınmıştır. $H_1=3.33$ cm, $\alpha_2=15^\circ$, $L_X=100$ cm ve $L_B/L_X=0.5$ alınarak $T_1=0.866$ sn ve $T_2=0.692$ sn için irdeleme yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 27'de verilmiştir.

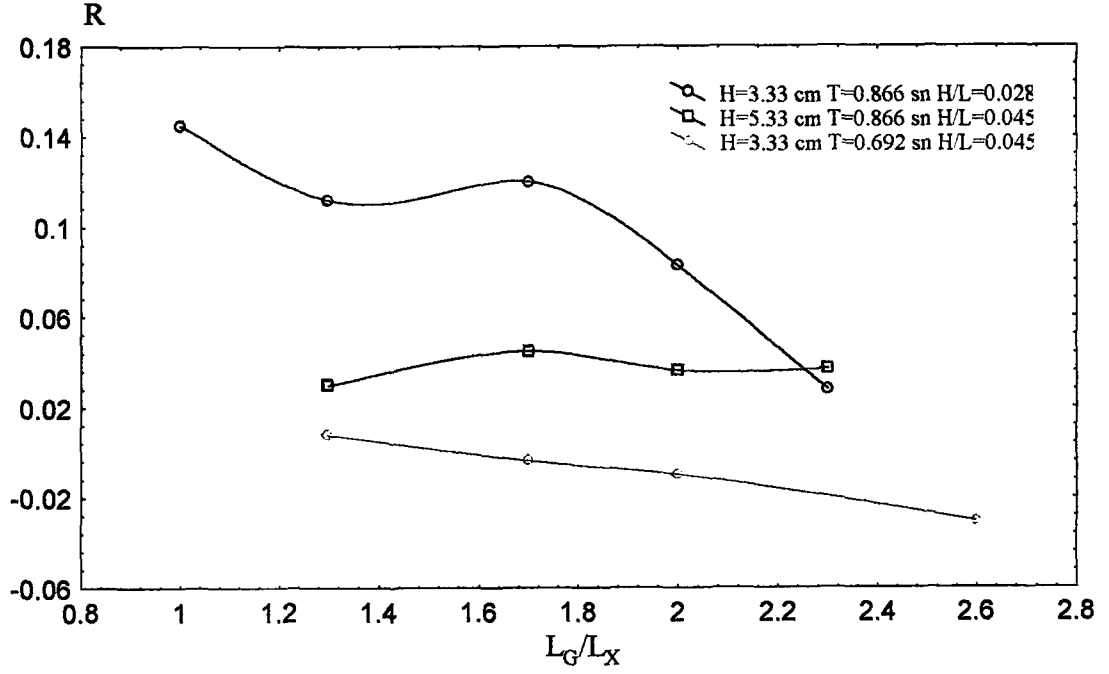
Bu şekilden de anlaşılacağı gibi, dalga periyodu $T_1=0.866$ sn olarak kullanılan deneylerdeki dolma miktarı parametresi, $T_2=0.692$ sn olduğu deneylerden büyük



Şekil 27. "T" mahmuzlarında dalga periyodunun dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=15^\circ$)

çıkılmaktadır. Yani, dalga periyodunun azalması, dolma miktarı parametresini de azaltmaktadır. $T_1=0.866$ sn olduğu deneylerde, bu parametre mahmuz aralığı parametresinin (L_G/L_X) artması ile, $L_G/L_X=2.0$ değerine kadar artmakta ve bu değerden sonra hızlı bir biçimde azalmaktadır. $T_2=0.692$ sn ile gerçekleştirilen deneylerde ise, L_G/L_X arttıkça, dolma miktarı parametresi değerleri düşük bir meyille azalma göstermektedir. Her iki deneyde, $L_G/L_X=2.6$ değeri civarında aynı değere yaklaşmaktadır. En fazla dolma, dalga dikliğinin küçük olduğu durumda görülmektedir. En az dolmalar ise, dalga periyodunun küçük olduğu durumda görülmektedir. Yani, aynı dalga dikliğine sahip, fakat periyotları farklı olan deneylerde, periyodu küçük olan deneylerdekinde daha az dolma olmuştur.

Düz mahmuzlarda da, dalga periyodunun etkisini belirlemek için, iki seri deney gerçekleştirilmiştir. Bu deneylerde $H_1=3.33$ cm, $\alpha_2=15^\circ$, $L_X=100$ cm kullanılmış ve periyotlar için $T_1=0.866$ sn ve $T_2=0.692$ sn alınmıştır. Deney sonuçları Şekil 28'de verilmektedir. "T" mahmuzları için gerçekleştirilen deneylere benzer şekilde, bu deneylerde de dalga periyodunun $T_1=0.866$ sn'den ve $T_2=0.692$ sn'ye düşmesi ile birlikte, dolma

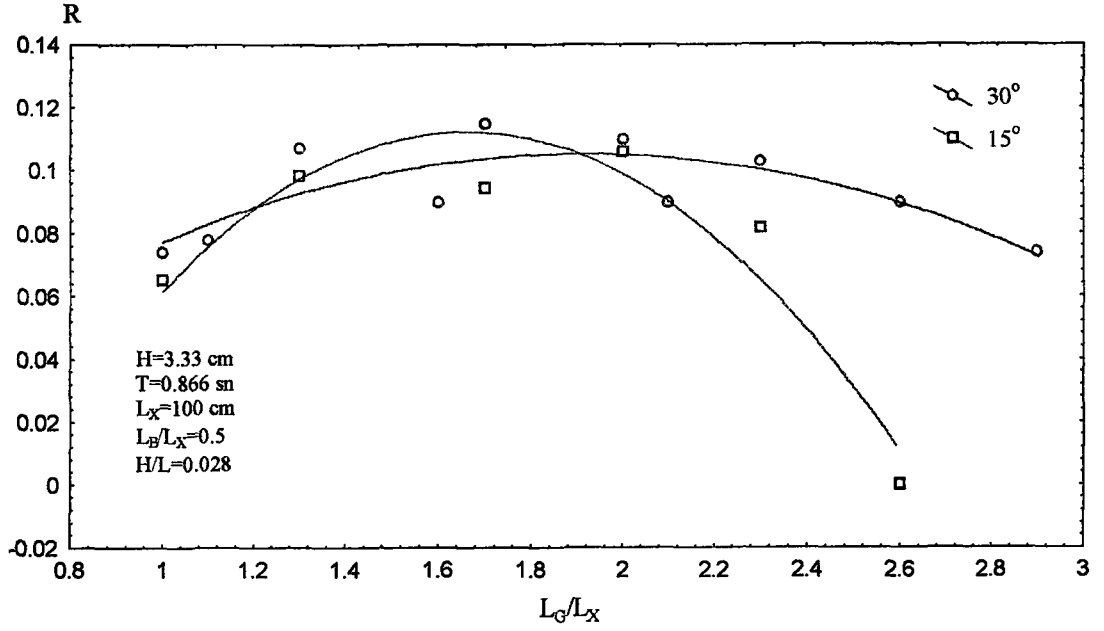


Şekil 28. Düz mahmuzlarda dalga periyodunun dolma miktarı parametresine etkisi ($\alpha=15^\circ$)

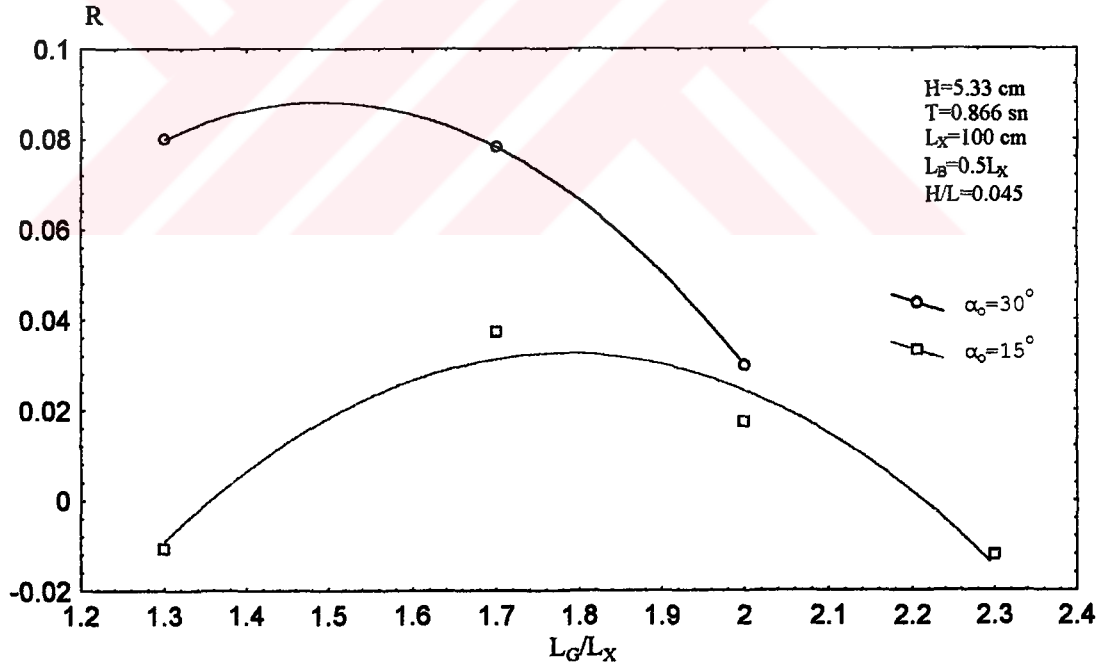
miktari parametresi de azalmıştır. Her iki deney serisindeki noktalardan geçirilen eğrilere göre mahmuz aralığı parametresinin (L_G/L_X)'in artması ile, $L_G/L_X = 1.0$ değerinden aşağıya doğru, dolma miktarı parametresinde sürekli bir azalma tespit edilmektedir. Burada her iki periyot arasındaki dolma miktarı parametresinin ortalama farkı, "T" mahmuzlarındaki farka göre daha az olduğu görülmektedir. Dalga dikliğinin azalmasının, dolma miktarını artırdığı da şekilden görülmektedir.

4.1.6. Dalga Geliş Açısının Dolma Miktarı Parametresine Etkisi

"T" mahmuzlarında, dalga geliş açısının etkisini incelemek için, ilk önce dalga yükseklikleri $H_1=3.33$ cm ve $H_2=5.33$ cm için, dalga açıları $\alpha_1=30^\circ$ ve $\alpha_2=15^\circ$ durumunda dolma miktarı parametresinin değişimi belirlenmiştir. Bu deneylerde, dalga periyodu olarak $T_1=0.866$ sn, $L_X=100$ cm ve $L_B/L_X=0.5$ değerleri dikkate alınmıştır. $H_1=3.33$ cm kullanılarak irdelenen deney sonuçları Şekil 29'de ve $H_2=5.33$ cm kullanılan deneylerinkiler ise Şekil 30'de gösterilmiştir. Dalga yüksekliğinin $H_1=3.33$ cm olduğu deneylere göre



Şekil 29. "T" Mahmuzlarında dalga geliş açısının dolma miktarı parametresine etkisi ($H=3.33$ cm)

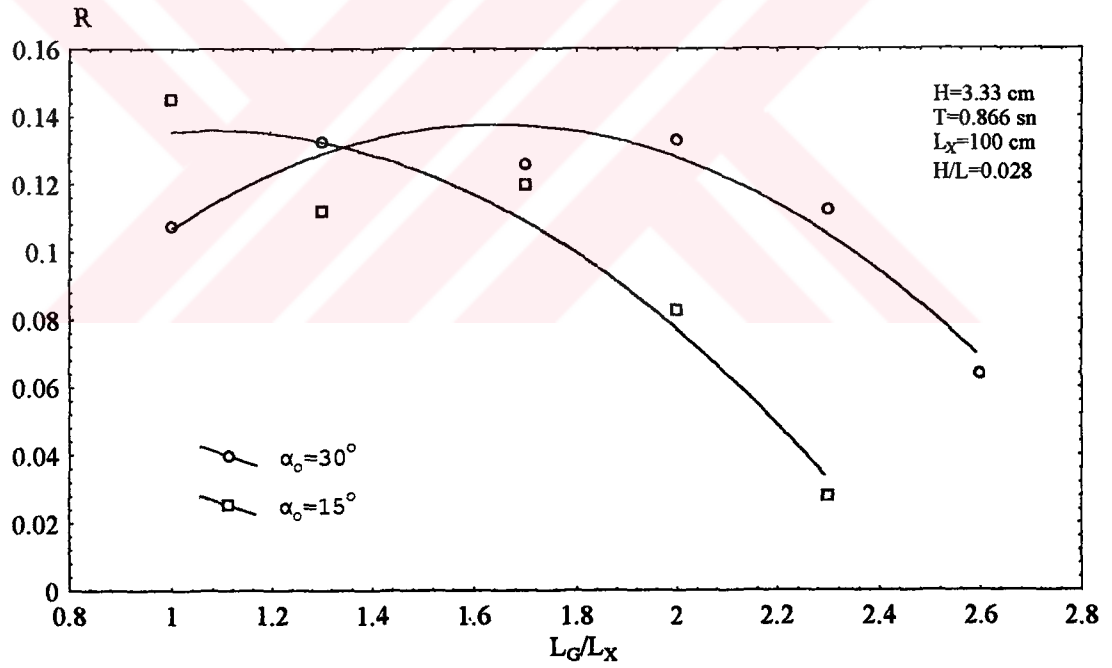


Şekil 30. "T" mahmuzlarında dalga geliş açısının dolma miktarı parametresine etkisi ($H=5.33$ cm)

$\alpha_1=30^\circ$ ve $\alpha_2=15^\circ$ 'deki dolma miktarı parametresinin artışı ile benzer bir artış göstermekle beraber, $L_G/L_X=1.9$ değerinden sonra, $\alpha_2=15^\circ$ için elde edilen değerlerde hızlı bir azalma olmasına rağmen, $\alpha_1=30^\circ$ 'deki değerler bir miktar daha ($L_G/L_X=2.2$ 'ye kadar) artış göstermekte, daha sonra ise düşük bir eğimle azalmaktadır.

Dalga yüksekliğinin $H_2=5.33$ cm olduğu deneylerde ise $\alpha_1=30^\circ$ için dolma miktarı parametresi R, mahmuz aralığı parametresinin $L_G/L_X=2.0$ değerine kadar, $\alpha_2=15^\circ$ için elde edilen R değerlerinden daha büyüktür. $L_G/L_X=2.0$ 'den sonra ise, benzer şekilde devam etmektedir. Dalga geliş açısının artmasıyla, dolma miktarı parametresinin de artmasına neden olmaktadır.

Düz mahmuzlar içinde, $\alpha_1=30^\circ$ ve $\alpha_2=15^\circ$ 'lik dalga geliş açıların da dolma miktarı parametresinin etkisi, $H_1=3.33$ cm, $T=0.866$ sn ve $L_X=100$ cm mahmuz uzunluğu kullanılarak yapılan deneyler irdelenmiştir. Sonuçlar Şekil 31'de verilmiştir.



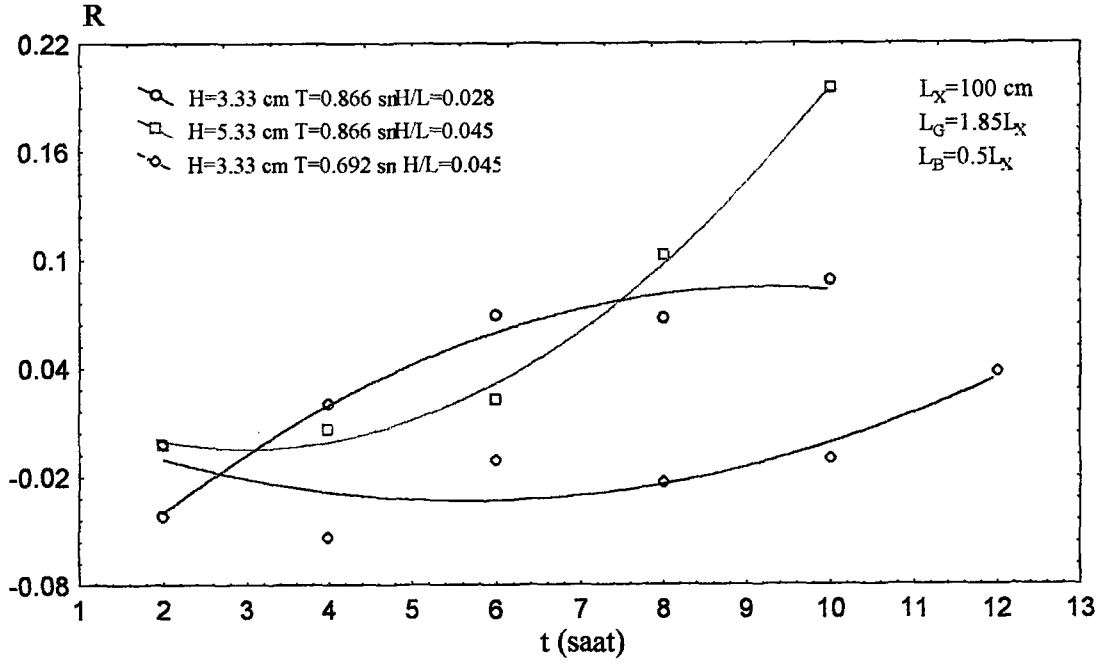
Şekil 31. Düz mahmuzlarda dalga geliş açısının dolma miktarı parametresine etkisi

Şekil incelendiğinde, L_G/L_X 'in artması ile, dalga geliş açısının $\alpha_2=15^\circ$ durumunda dolma miktarı parametresinin, belli bir eğimle azaldığı görülmektedir. $\alpha_1=30^\circ$ de ise $L_G/L_X=1.7$ değerine kadar artmakta ve daha sonra, diğer dalga durumunda da benzer bir eğimle azalma görülmektedir. Buradan da, mahmuz aralığı parametresi L_G/L_X 'in artması ile, küçük dalga açısı için dolma miktarı parametresi değerinin azaldığı anlaşılmaktadır.

4.1.7. Dolma Miktarı Parametresinin Zamanla Değişimi

“T” mahmuzlarında, dolma miktarının zamanla ne şekilde değiştiğinin araştırılabilmesi için 3 seri deney yapılmıştır. Bu deneylerde, $L_X=100$ cm mahmuz uzunluğu için ortalama bir değer alınması düşünülen $L_G/L_X=1.85$ değeri ve başlık uzunluğu için de ortalama $L_B/L_X=0.5$ değerleri kullanılmıştır. İlk olarak $H_1=3.33$ cm ve $T_1=0.866$ sn , ikinci olarak $H_2=5.33$ cm ve $T_1=0.866$ sn ve üçüncü orally $H_1=3.33$ cm ve $T_2=0.692$ sn değerleri alınarak deneyler yapılmıştır. Deneylerde $t=0$ anında ölçümler gerçekleştirilmiş ve deney düzeneği çalıştırılarak her 2 saatte bir (tabiatta 17.32 saat) deney durdurularak ölçüm yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Deney sonuçları Şekil 32’de verilmektedir.

Şekil incelendiğinde her durumdaki dalgalar için, zamanla, dolma miktarı parametresinde bir artış gözlenmektedir. İkinci ve üçüncü serideki deneyler de, yani aynı dalga dikliğine sahip ($H/L=0.045$), ancak dalga yüksekliği ve dalga periyodu farklı olan deneylerdeki dolma grafiğinin eğimleri, birinci deneydeki dalga dikliğinin daha düşük olduğu ($H/L=0.028$) duruma göre, ters bir eğimle artış göstermektedir. Yaklaşık 7.5 saat sonunda (tabiatta yaklaşık 65 saat) dalga dikliğinin küçük olduğu deneyde, dolma miktarı parametresinin artışı daha fazla olmuştur. Bu saatten sonra, dalga dikliğinin $H/L=0.045$ olduğu ikinci ve üçüncü deneylerde artış devam etmiştir. Fakat üçüncü deneydeki artış diğerlerinden daha küçük kalmaktadır. Buradan, aynı dalga yüksekliğinin alındığı birinci ve üçüncü deneyden, dalga periyodunun ufak olduğu üçüncü deneydeki dolma miktarını daha az etkilediği görülmektedir. İkinci deneyde ise, belli saatten sonra artışın fazla olduğu görülmektedir. Fakat deney sayısının sınırlı olması bize kesin bir sonuç elde etme imkanı vermemektedir.

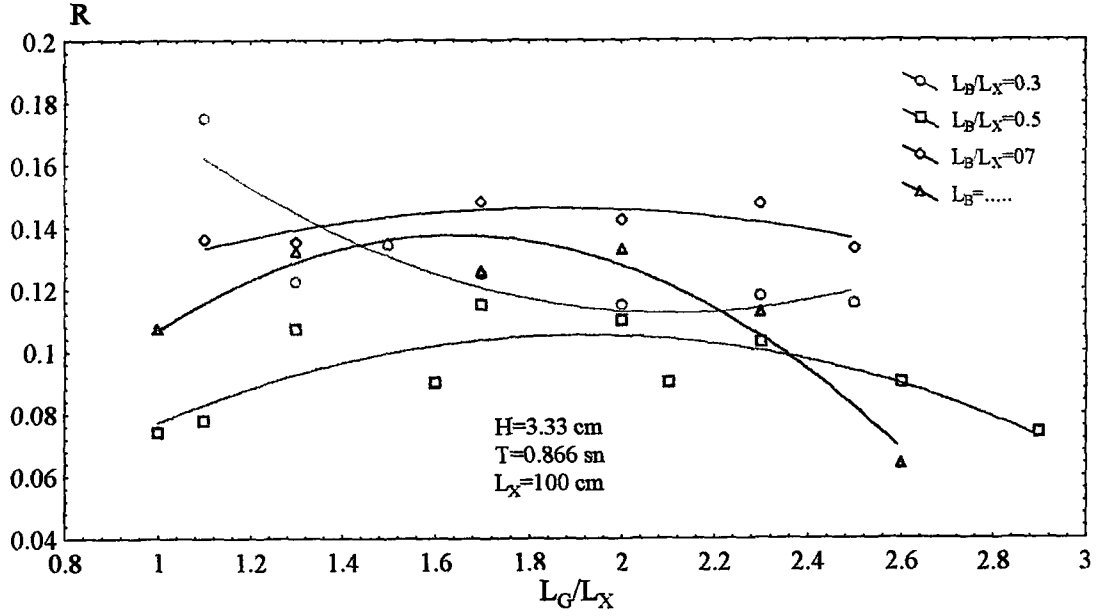


Şekil 32. Dolma miktarı parametresinin zamanla değişimi ($\alpha=15^\circ$)

4.1.8. Düz ve “T” Mahmuzların Dolma Miktarı Parametresine Göre Karşılaştırılması

“T” mahmuzları ile düz mahmuzları birbirleri ile karşılaştırmak için, daha önce yapmış olduğumuz deneyler irdelenmiş, düz ve “T” mahmuzlar için benzer şartları taşımakta olan deneyler seçilerek incelemeye alınmıştır.

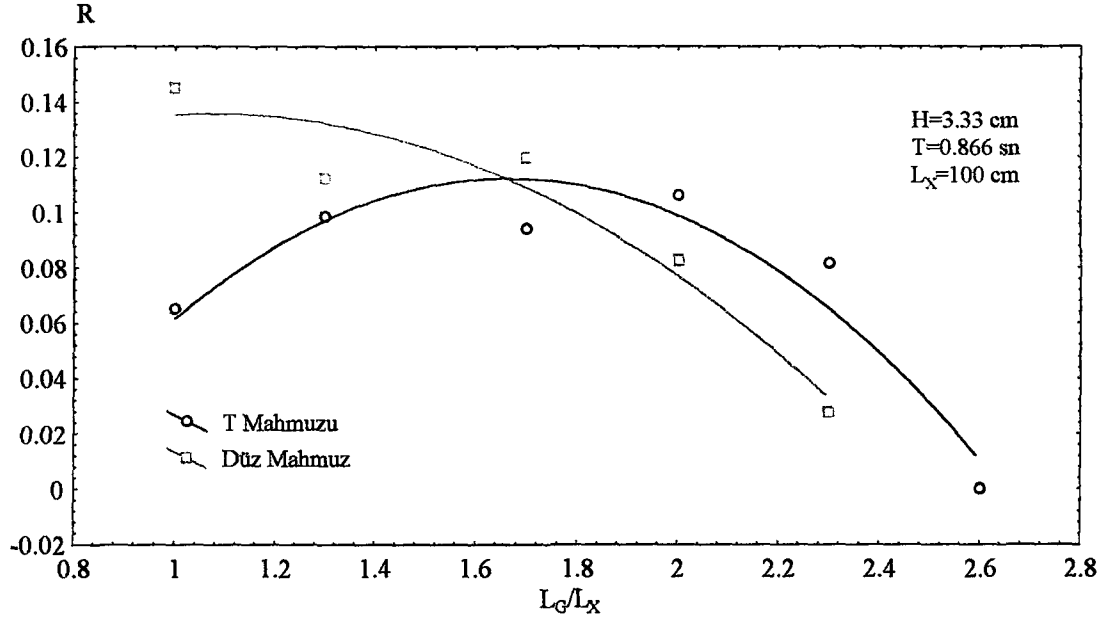
İlk olarak, dalga geliş açısı $\alpha_1=30^\circ$ için, $L_X=100$ cm, $H_1=3.33$ cm, $T_1=0.866$ sn kullanılarak, bir düz mahmuz ve $L_B/L_X=0.3, 0.5$ ve 0.7 olan “T” mahmuzlarının sonuçları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 33’de görülmektedir. Buradan görüldüğü gibi, düz mahmuz için elde edilen dolma miktarı parametresi değerleri, T mahmuzlarının değerlerinin ortasında bir yerden geçmektedir. Düz mahmuzdaki dolma miktarı parametresi değerleri, $L_G/L_X=1.65$ değerine kadar artmış ve daha sonra azalma göstermiştir. $L_B/L_X=0.3$ değerindeki dolma miktarı parametresi yaklaşık $L_G/L_X=1.45$ ’e kadar düz mahmuz durumundan fazladır. Bu değerden sonra sabit bir değer almaktadır. Yaklaşık $L_G/L_X=2.2$ ’den sonra ise, $L_B/L_X=0.3$ ’ün değerleri yine üste çıkmaktadır. $L_B/L_X=0.5$ değerine tekabül eden dolma miktarı (R) düz mahmuzdakinden bir miktar aşağıda gitmesine



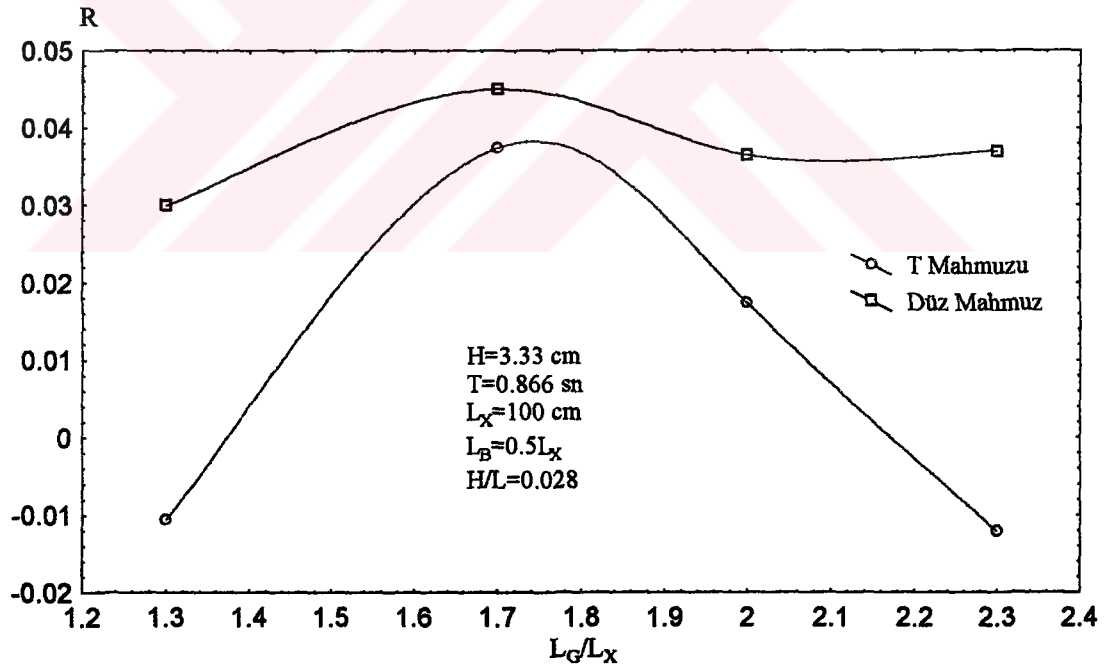
Şekil 33. 3 Değişik başlık uzunluğuna sahip T mahmuzu ile düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=30^\circ$)

rağmen, $L_G/L_X=2.0$ değerine kadar artış göstermekte ve bundaki azalma düz mahmuzdaki daha az olmakta, $L_G/L_X=2.35$ değerinden sonra, düz mahmuzun üzerine geçmektedir. $L_B/L_X=0.7$ olan "T" mahmuz durumunun sonuçları daima düz mahmuzunkilerden üstte kalmakta ve $L_G/L_X=2.0$ değerine kadar artmakta, daha sonra çok az bir düşüş göstermektedir.

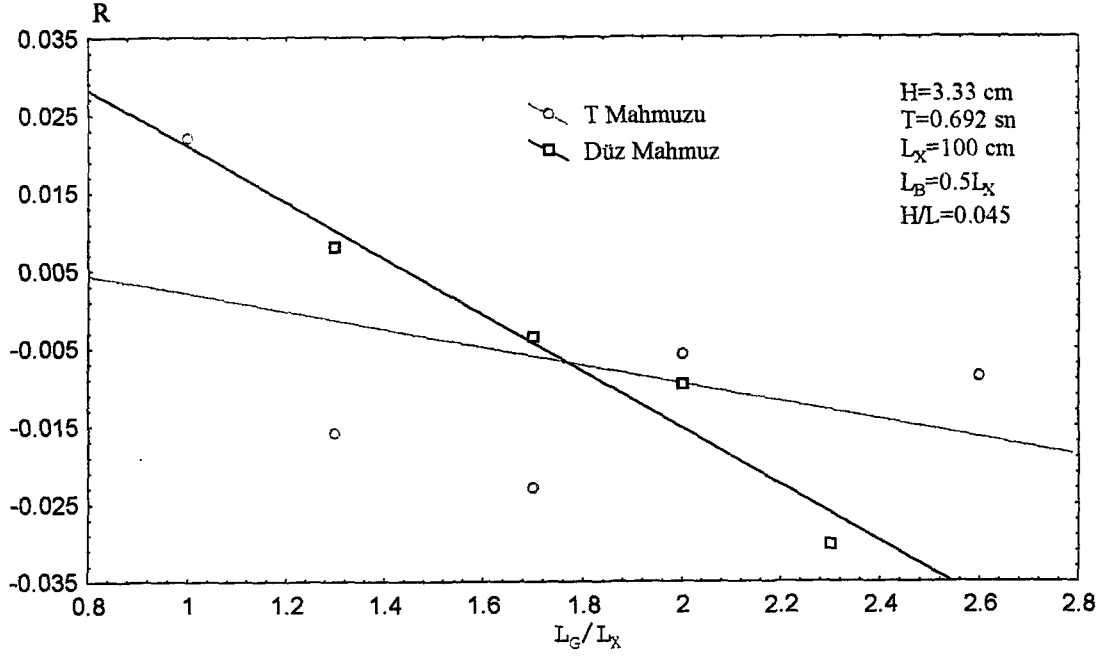
İkinci olarak, dalga açısı $\alpha_2=15^\circ$ için, $L_X=100$ cm, $H_1=3.33$, $T_1=0.866$ sn kullanılarak düz mahmuz ile $L_B/L_X=0.5$ olan "T" mahmuz durumu karşılaştırılarak çizilen grafik Şekil 34'de verilmiştir. Görüldüğü gibi, $L_G/L_X=1.65$ değerine kadar, düz mahmuz durumundaki değerler "T" mahmuzunkilerden daha büyüktür. Fakat bu değere kadar, düz mahmuz durumundaki değerlerde azalma olurken, "T" mahmuzunkilerde artış olmaktadır. "T" mahmuzu durumundaki dolma miktarı parametresi $L_G/L_X=1.75$ 'e kadar artmakta, daha sonra azalmaya başlamaktadır. "T" mahmuzu aralık açısından bir miktar daha fazla avantaj sağlamış olacaktır.



Şekil 34. $H/L=0.028$ olması durumunda T mahmuzu ve düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=15^\circ$)



Şekil 35. $H/L=0.045$ olması durumunda T mahmuzu ve düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=15^\circ$)



Şekil 36. Değişik dalga periyodu durumunda T mahmuzu ve düz mahmuzun karşılaştırılması ($\alpha=15^\circ$)

Üçüncü olarak, dalga açısı $\alpha_2=15^\circ$ için, $H_2=5.33$ cm, $T_1=0.866$ sn ($H/L=0.028$), $L_X=100$ cm ve $L_B/L_X=0.5$ olan "T" mahmuzu ve düz mahmuz incelenmiştir. Sonuçlar Şekil 35'de görülmektedir. Şekil incelendiğinde, $L_G/L_X=1.70$ değerine kadar, her iki tip mahmuz durumunda da artış görülmektedir. Düz mahmuz durumundaki dolma miktarı parametresi değerleri bir miktar daha yukarıda kalmaktadır. Bu değerden sonra her iki mahmuzda durumunda da azalma olmakta, fakat "T" mahmuzdaki azalma miktarı daha fazla görülmektedir. Dalga yüksekliğinin artması, "T" mahmuzunu daha olumsuz etkilemiştir.

Dördüncü olarak, dalga açısı $\alpha_2=15^\circ$ için, $H_1=3.33$ cm, $T_2=0.692$ sn ($H/L=0.045$), $L_X=100$ cm ve $L_B/L_X=0.5$ olan "T" ve düz mahmuz durumu karşılaştırılmıştır. Sonuçlar Şekil 36'de verilmiştir. Burada her iki mahmuz için de L_G/L_X 'in artışı ile bir göze çarpmaktadır. Dalga periyodunun azalması, her iki tip mahmuz durumunda da dolma miktarı parametresini olumsuz etkilemiştir. $L_G/L_X=1.75$ değerine kadar, düz mahmuz durumundaki dolma miktarı parametresi değerleri daha büyüktür. Bu değerden sonra ise, "T" mahmuzu durumundaki değerler üste geçmektedir. Yani "T" mahmuzu durumundaki dolma miktarı parametresinin azalma eğimi daha düşüktür.

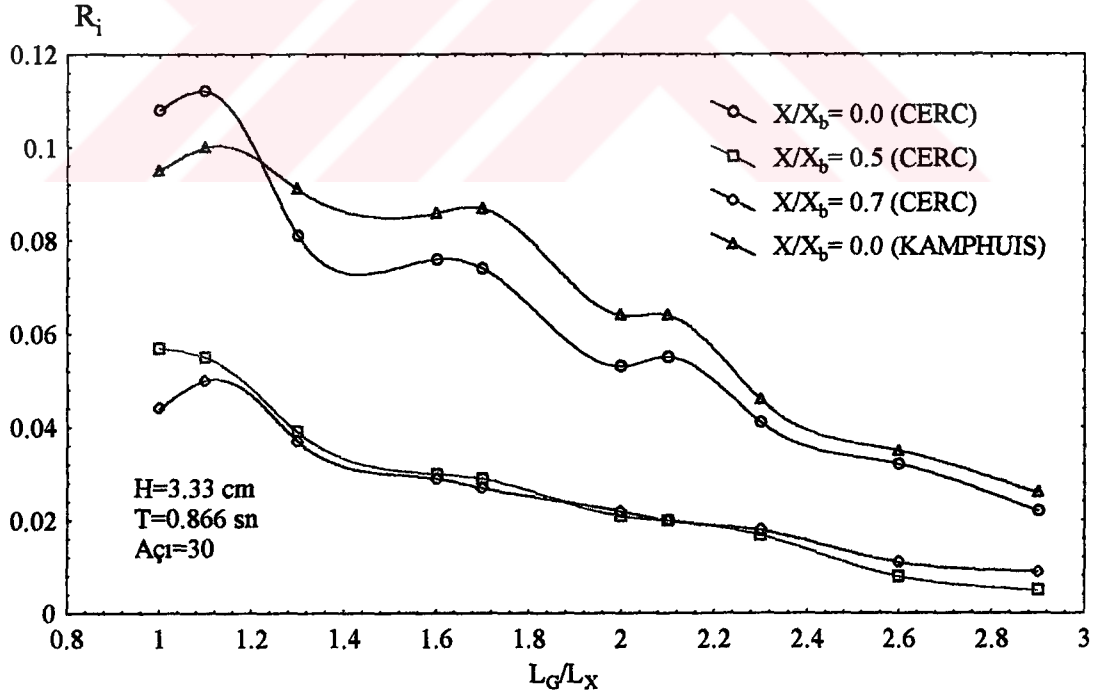
4.2. Sayısal Model Sonuçları

Geliştirilmiş olan sayısal modelin, kullanılan Cerc ve Kamphuis denklemleri için ne sonuçlar verdiği ve sayısal modelde kullanılan $X/X_b=0$, $X/X_b=0.5$ ve $X/X_b=0.7$ mesafeleri için göz önüne alınan denklemlerin düz ve T mahmuzlar için ne sonuçlar verdiği Şekil 37 ve Şekil 38’de verilmiştir.

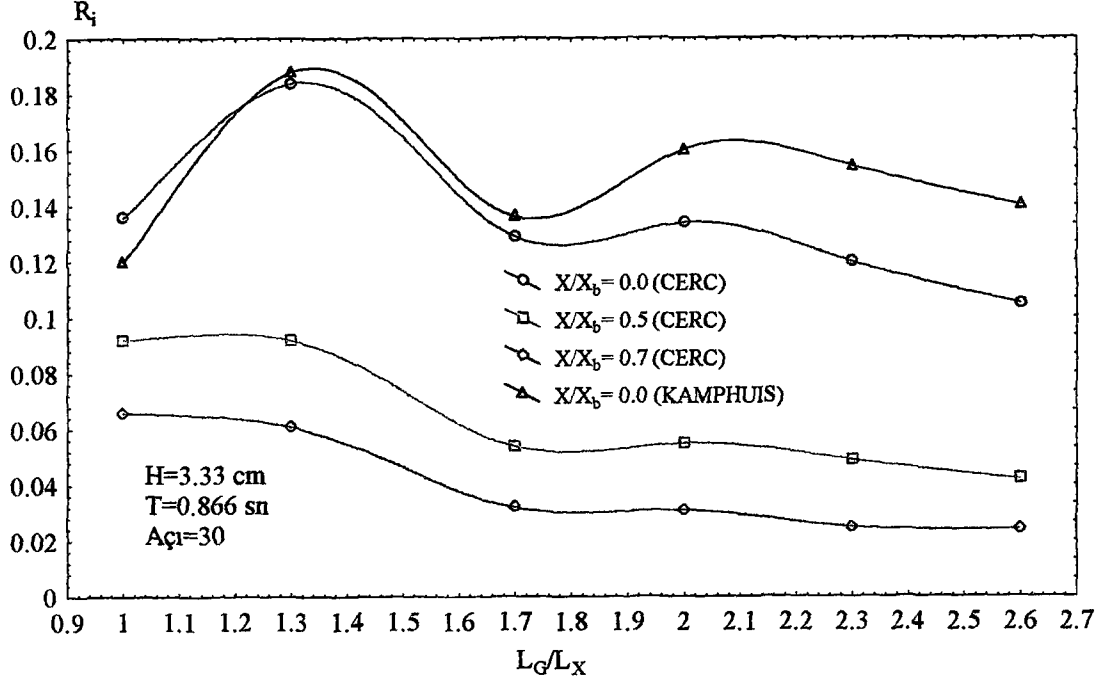
Sayısal modelin dalga yüksekliği, dalga periyodu ve dalga geliş açısının değişmesi durumunda düz ve T mahmuzları için elde edilmiş olan sonuçları Şekil 39 ve Şekil 40’da gösterilmişlerdir. Ayrıca daha önce deneysel çalışmalarda da gösterilen T mahmuzları için, çeşitli zaman periyotlarında dolma miktarı parametresinin değişimi sayısal modelde de elde edilerek Şekil 43’de verilmiştir.

Şekil 41 ve Şekil 43’de T ve düz mahmuzların deney ve sayısal model sonuçları birlikte verilmiştir.

Bütün karşılaştırılmış olan deney ve sayısal model sonuçlarından elde edilmiş olan kıyı taban topoğrafyaları Ekler kısmında sunulmuştur.



Şekil 37. T mahmuzları için sayısal modelde kullanılan denklemlerin karşılaştırılması

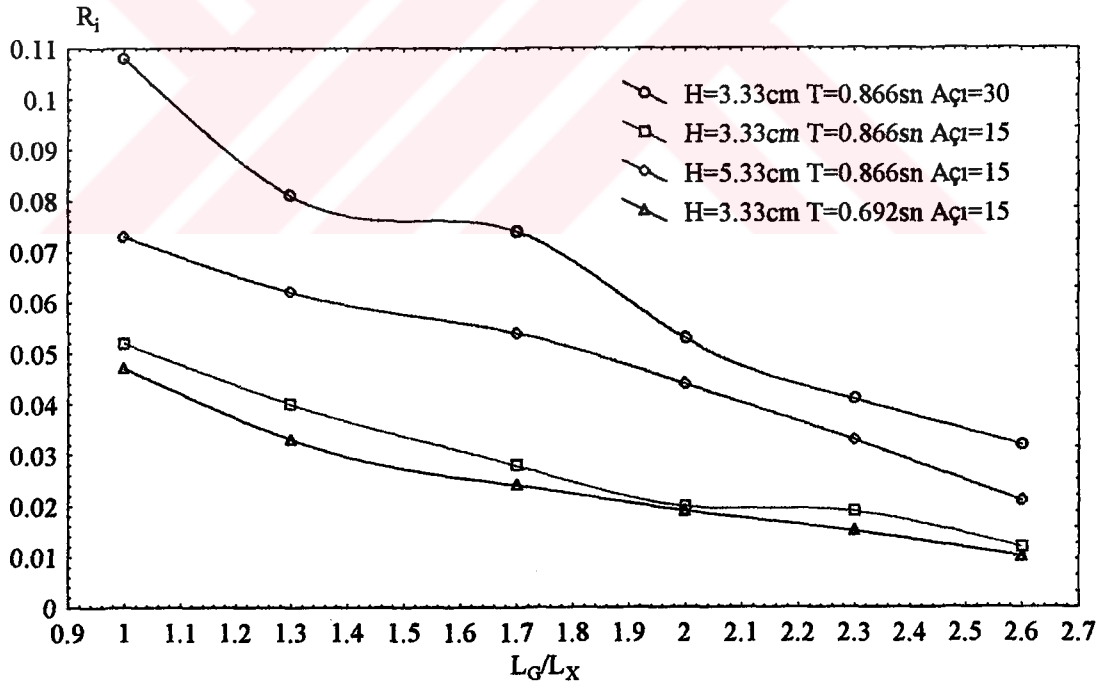


Şekil 38. Düz mahmuzlar için sayısal modelde kullanılan denklemlerin karşılaştırılması

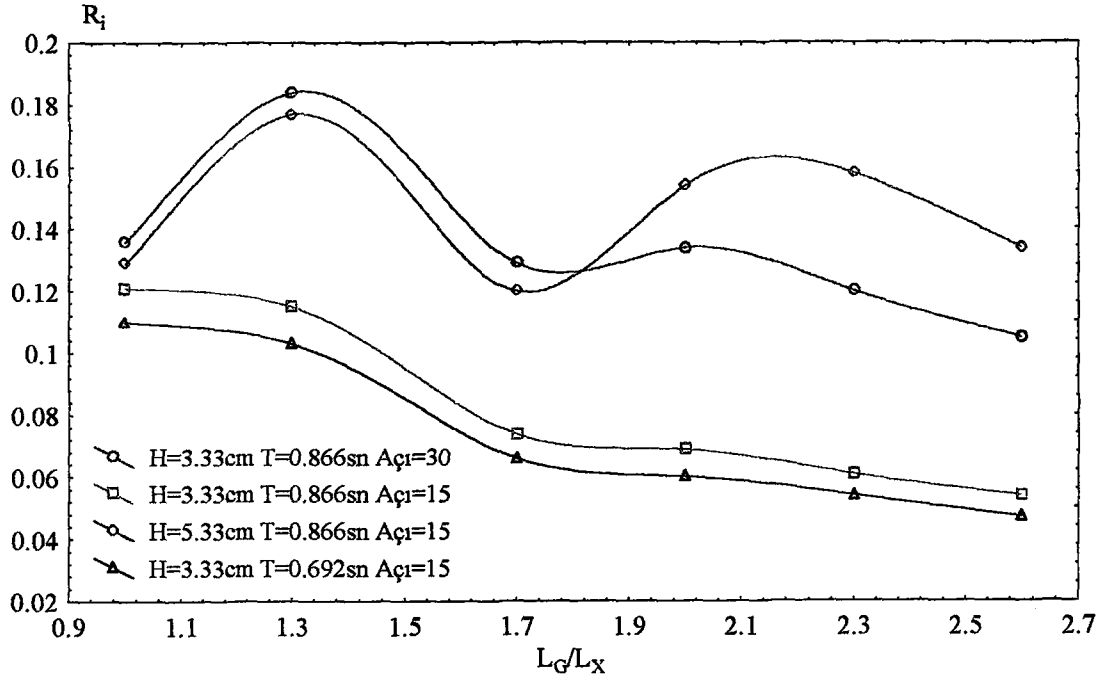
Şekil 37 ve 38 beraber incelenirse T ve düz mahmuzlar için kullanılan denklemlerin birbirlerine benzer gelişim gösterdikleri izlenebilir. Her iki şekilde de Cerc ve Kamphuis denklemlerinin sonuçları hemen hemen aynı gitmişler ve Kamphuis denkleminde elde edilen sonuçların çok ufak da olsa diğer denklemden büyük olduğu görülmüştür. Bu yüzden diğer karşılaştırma işlemlerinde her ikisinin de kullanılabileceği görüldükten sonra, Cerc denklemine göre diğer sonuçlar elde edilmiştir.

Kıyı boyu malzeme taşınımının kıyıya dik yayılışı için kullanılmış olan $X/X_b=0$, $X/X_b=0.5$ ve $X/X_b=0.7$ noktalarında maksimum taşınım veren denklemlerin incelenmesinde, $X/X_b=0$ noktasında maksimum olan durumda elde edilen değerlerin daha büyük ve deneylerden elde edilen sonuçlara benzerlik gösterdikleri ve ayrıca ekler kısmında verilen deneyler sonucu elde edilen kıyı taban topoğrafyaları ile sayısal model sonucu elde edilen kıyı taban topoğrafyalarının şekillerinin incelenmesinden sonra da bu noktadaki kullanılan denklemin sonuçlarının diğer karşılaştırmalarda kullanılması uygun olacağı düşünülmüştür.

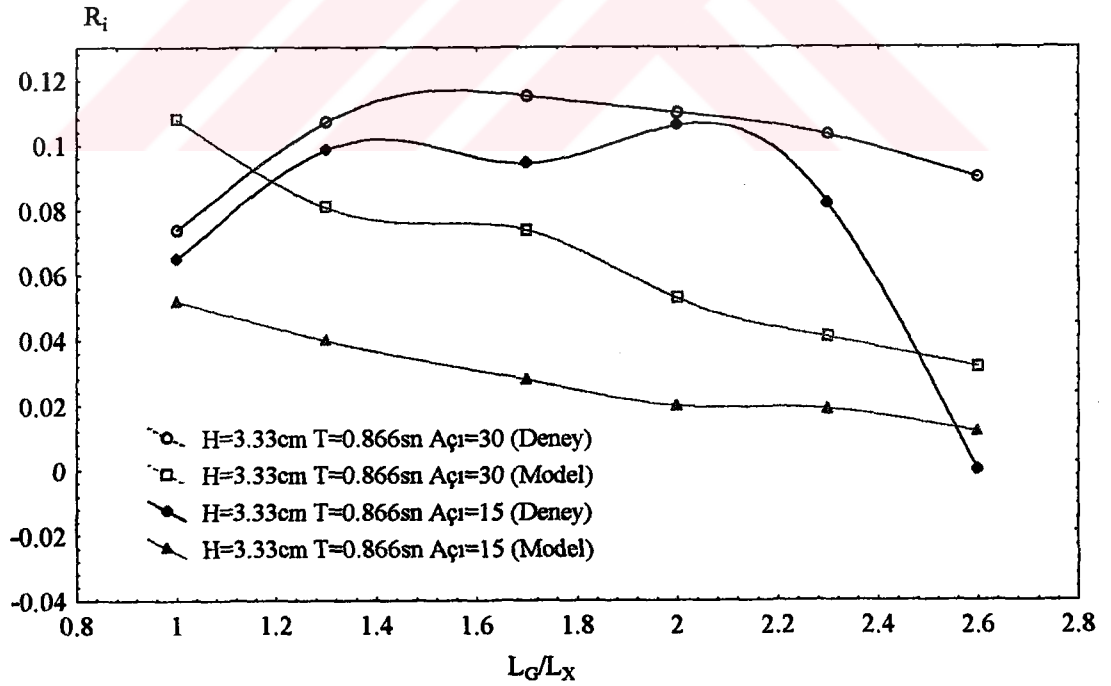
Düz ve T mahmuzlar için, çeşitli açı, dalga yüksekliği ve periyodu için elde edilmiş olan sayısal model sonuçlarının verilmiş olduğu Şekil 39 ve Şekil 40 incelenirse, her iki mahmuz durumu için de sayısal model sonuçlarının gidişat olarak benzerlik arz ettiği görülür. Bunlarla beraber, deney sonuçlarının sayısal model sonuçları ile beraber verildiği, Şekil 41 ve Şekil 42’de ve deney sonuçları kısmında bu şartlar için elde edilen sonuçlarda gözönüne alınırsa, deney sonuçları ile sayısal model sonuçlarının birbirine yakın değerler aldığı görülür. Dalga periyodu ve dalga geliş açısının değişimi durumlarında deneylerle benzer olan sayısal model sonuçları, dalga yüksekliğinin değişmesi durumunda deney sonuçlarından bir miktar farklı sonuçlar vermektedir. Deney sonuçlarında, dalga yüksekliğinin $H=3.33$ cm’den $H=5.33$ cm’ye artması durumunda dolma miktarı parametresi daha küçük kalırken, sayısal model de aynı şartlarda, dolma miktarı parametresi bir miktar büyük olmaktadır. Bunun sebebi kıyı profili oluşumunda kıyıda meydana gelen bardan sonra dalga yüksekliğindeki değişimin sayısal modelde tam olarak ifade edilememesidir. Bunun dışında diğer sonuçlar benzerlik arz etmektedirler.



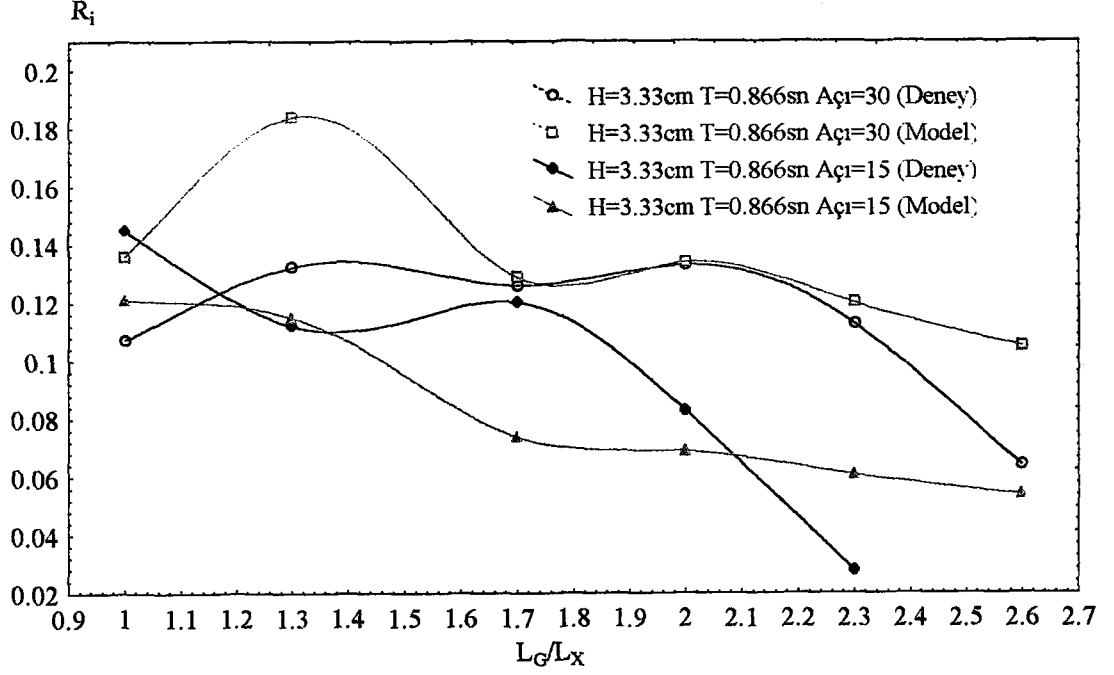
Şekil 39. T mahmuzlarında farklı dalga açısı, dalga periyodu ve dalga yüksekliği durumunda sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 40. Düz mahmuzlarda farklı dalga açısı, dalga periyodu ve dalga yüksekliği durumunda sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 41. T mahmuzlarında deney sonuçları ve sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması

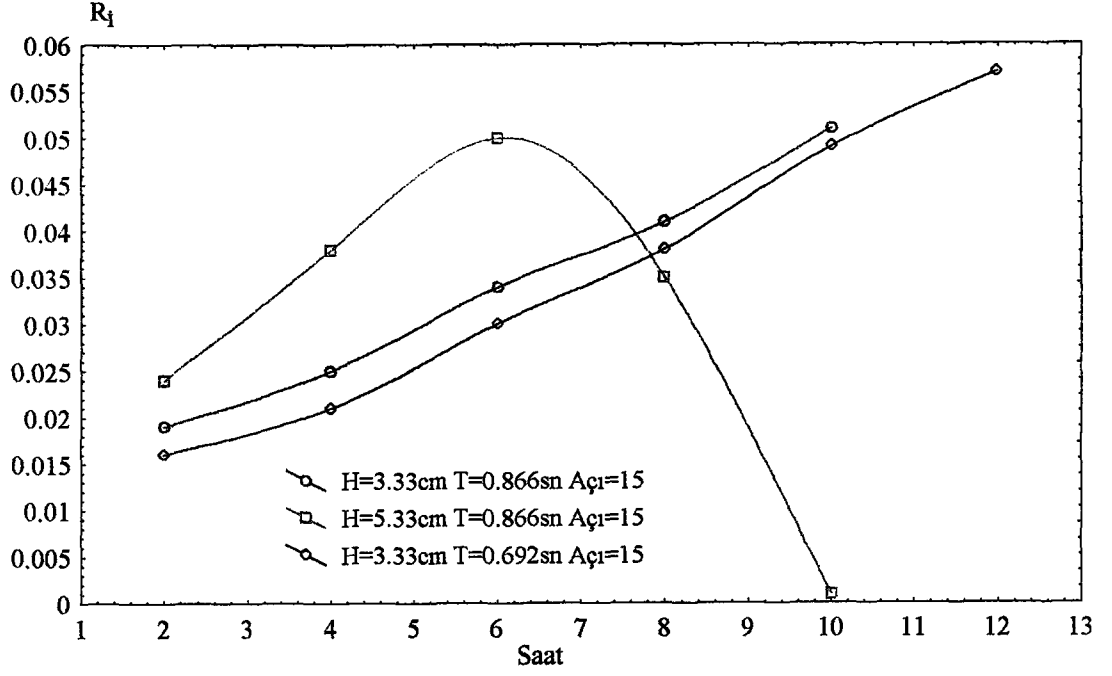


Şekil 42. Düz mahmuzlarda deney sonuçları ve sayısal model sonuçlarının karşılaştırılması

Sayısal model sonuçlarının deney sonuçlarına benzer sonuçlar verdiği ve düz mahmuzlar için elde edilen sonuçların T mahmuzlarından elde edilen deney sonuçlarıyla daha yakın oldukları anlaşılmıştır.

Zamana göre dolma miktarı parametresinin değişiminin incelendiği deneylere göre sayısal modelde elde edilen sonuçların verilmiş olduğu Şekil 32 incelenirse, sayısal model sonuçlarının (Şekil 43) deney sonuçları ile yukarıda da geçtiği gibi dalga yüksekliğinin büyük olduğu durumda $t=6$ saate kadar dolma miktarı parametresi benzer bir seyir izlemekte, bu değerden sonra azalım olmaktadır. Bunun sebebi mahmuzlar arası malzeme birikiminin fazla olması sonucu artık malzeme birikimi yapılamaması ve oyulma noktalarında fazlalıkların ortaya çıkmasıdır.

Sonuç olarak sayısal modelden elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile bazı farklılıklara rağmen yakın sonuçlar vermektedir. Şüphesiz oluşturulan modellerin tam güvenilirliği kullanılan denklemlerdeki parametrelerle direkt olarak ilişkilidir. Dalga mekaniğindeki karmaşıklık ve tam çözüm getirilememiş olan bazı durumlar modeli etkilemektedirler. Ayrıca yapılmış olan deneysel çalışmalarda bazı eksiklikler, iki model sonuçlarının tam olarak çakışmaması sonucunu getirmektedir. Örnek olarak deneylerde kullanılmış



Şekil 43. T mahmuzları için zaman karşı yapılan deneylerin sayısal modelde sonuçları

olan kumun modelde kullanılması gereken kum boyutundan bir miktar daha büyük olması bile dolma miktarlarında az da olsa farklar oluşturabilmiştir. Dalga mekaniğinde henüz sayısal olarak ifade edilememiş olan bazı durumlar olayda etkili olmaktadır. Bu olumsuzluklara karşı deneysel ve sayısal sonuçların yakınlığı ortadadır.

Ekler kısmındaki taban topoğrafyaları incelendiğinde, literatürde geçen ve prototipde de gözlemlenen dolmaların da yani mahmuzların menba tarafının dolarak mansap tarafının oyulması durumunun, bu çalışmada da, sayısal modelde daha belirgin olmak üzere gerçekleştiği görülmüştür.

5. SONUÇLAR

Kıyı Mühendisliği dalında bugüne kadar çeşitli çalışmalar yapılmış ve halende yapılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları teorik bazıları ise deneyseldir. Teorik çalışmalarda artışlar olmasına rağmen, araştırmacılar deneysel çalışmalardan vazgeçmemektedirler. Dalga mekaniğinin karmaşık bir yapıya sahip olması, teorik çalışmaları zorlaştırmaktadır. Deneysel çalışmalar ise, bazı kabuller yapıldığı takdirde, doğruya yakın sonuçlar vermektedir.

Bunlar göz önüne alarak, gerçekleştirilen deneysel çalışmada esas olarak, Doğu Karadeniz Bölgesi'nin dalga iklimi ve fiziksel verileri kullanılmıştır. Bu bölgenin şartlarını içeren diğer bölgelerde de sonuçların kullanılabilmesi umulmuştur. Deneysel çalışmalarla beraber konu ile ilgili olan ve literatürde en çok kullanılan denklemlerin kullanılmış olduğu bir sayısal model ve bunun sonuçları da irdelenmiştir.

Deneylerden ve sayısal modelden elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

1. İlk olarak, dolma miktarını etkileyen parametrelerin başında geldiği düşünülen mahmuz boyu araştırılmıştır. İnceleme sonuçlarına göre, hem düz hem de "T" mahmuzları için ayrı ayrı mahmuz boyunun artmasının, mahmuzların koruma bölgesi içerisindeki dolma miktarını azalttığı sonucuna varılmıştır.

2. Dolma miktarı üzerindeki önemli etkenlerden birisi de, mahmuz başlık uzunluğudur. Mahmuz başlık uzunluğunun ve mahmuz aralığının artışı ile, koruma alanı içerisindeki dolma miktarları bazı sonuçlar vermesine rağmen kesin sonuçlar elde edilememiştir. Ancak, mahmuz aralığının artması ile, başlık uzunluğunun da, belirli bir yaklaşım olarak artması gerektiği görülmüştür. Yani, korunması gerekli kıyı uzunluğu arttıkça, uzun başlığa sahip geniş aralıklı mahmuzlar tercih edilmesi gerektiği ortaya çıkmaktadır.

3. Düz ve "T" mahmuzları için, mahmuz aralıklarının dolma miktarına etkisi üzerine değişik sonuçlar elde edilmiştir. "T" mahmuzları için mahmuz aralığının, başlık uzunluğuna da bağlı olarak, en fazla mahmuz uzunluğunun iki ($L_G/L_X=2.0$) katına, kadar

dolma miktarı parametresinin arttığı, daha sonra azaldığı sonucu elde edilmiş ve dolayısıyla bu değerlerin ortalama bir değer olduğu görülmüştür.

Düz mahmuz durumunda ise, mahmuz aralığının yaklaşık mahmuz uzunluğunun $L_G/L_X=1.7$ katına kadar, dolmanın sabit kaldığı daha sonra azaldığı görülmektedir.

Sayısal modelden elde edilen sonuçlarda ise, düz mahmuzlarda yukarı da verilen değer tam olarak elde edilirken, bu değerlerin T mahmuzlarında biraz daha ufak olduğu görülmüştür.

4. Dalga yüksekliğinin değişmesi ile, hem "T" hem de düz mahmuz durumunda dolma miktarının değiştiği görülmüştür. Dalga yüksekliği arttığı zaman, dolma miktarının azaldığı tespit edilmiştir.

Sayısal modelde ise dalga yüksekliğinin artması durumunda dolma miktarında artma görülmüştür.

5. Dalga periyodunun değişmesi, her iki mahmuz türünü de olumsuz etkilemiştir. Dalga periyodu azaldığında yani dalga hızlandığında, dolma miktarı parametresi azalmaktadır. Buna bağlı olarak, her iki mahmuzda da dalga dikliğinin, periyot azalarak artması sonucunda dolma miktarındaki azalma, dalga dikliğinin dalga yüksekliğinin artması sonucu, oluşan dolma miktarı azalmasından daha fazla olmuştur.

Sayısal modelde de, dalga periyodunun değişmesi durumunda elde edilen deney sonuçları benzer olmuştur.

6. Dalga geliş açısının azalması durumunda, "T" mahmuzlarında, geliş açısının büyük olması durumunda, elde edilen dolma miktarı mahmuz aralığının belli değerine kadar benzer kaldığı görülmüştür. Ancak, ortalama mahmuz boyunun iki katı olarak tespit edilen mahmuz aralığının $L_G/L_X=1.7$ katına kadar düştüğü anlaşılmıştır. Dalga geliş açısının azalması ile, dalga yüksekliğinin de aynı zamanda artması durumunda, dolmayı belirgin olarak azalttığı görülmüştür.

Düz mahmuzlarda ise, dalga geliş açısının küçülmesi ve mahmuz aralığının artması ile, dolma miktarı parametresinin azaldığı görülmektedir. Ortalama mahmuz aralığı parametresinin $L_G/L_X=1.7$ katına kadar dolma miktarı parametresi artış gösterirken açının küçülmesi durumunda, $L_G/L_X=1.4$ değerine kadar düşmektedir.

Sayısal modelde de, dalga geliş açısının değişmesi durumunda elde edilen deney sonuçları her iki mahmuz durumu içinde benzer olmuştur.

7. "T" mahmuzları durumunda incelenen dolma miktarının zamanla değişimine göre, 10-12 saate kadar artış ve daha sonra sabitleşme göze çarpmaktadır. Yaklaşık 7.5 saate kadar, dalga dikliğinin küçük olduğu durumda, elde edilen dolma miktarı daha büyük olmuştur. Bu saatten sonra, dalga yüksekliğinin büyük olduğu deneylerde, elde edilen sonuçlar biraz daha artış göstermektedir. Ancak, bu deneyler bize yeterince güvenilir sonuçlar vermemiştir. Sayısal modelde elde edilen sonuçlar, dalga yüksekliği artışı durumu hariç benzerlik arz etmiştir.

8. Düz ve "T" mahmuzlarının beraberce karşılaştırılmasına göre, mahmuz aralığının belli değerlerine kadar, dolma miktarları benzer olmasına rağmen, belli aralıklardan sonra "T" mahmuzları durumunda daha fazla dolmaya sebep olduğu görülmektedir. Yani düz mahmuzlar bir sistem olarak düşünüldüklerinde, "T" mahmuzlarına nazaran daha dar aralıklı olmaları gerektiği sonucuna varılmaktadır. Korunması gerekli kıyı şeridi büyükse, "T" mahmuzunun kullanılması ve küçükse, düz mahmuzların kullanılması uygun ve ekonomik olabilir. Sayısal modelde elde edilen sonuçlarda bu durumlara benzer olmaktadır.

9. Ekler kısmında verilmiş olan deney ve sayısal model sonucu taban topoğrafyası çizimlerine göre mahmuzların memba kısımlarında kıyı boyu taşınım kesildiğinden dolayı dolma, mansap kısımlarında ise oyulmalar görülmüştür. Bu durum sayısal model sonuçlarında daha belirgindir. Literatürde ve gerçekte de görülen olay bu şekilde oluşmaktadır.

6. ÖNERİLER

Kıyı koruma yapılarının esas amacı, arkalarındaki kıyı parçasını dalgaların yıkıcı etkilerinden korumak, kıyasal akım ve katımadde taşınımını kontrol etmektir. Mahmuzlar bu tür yapılardandır. Bir kıyı yöresi, çeşitli parametrelerin (taban eğimi, dalga rejimi, katımadde dane boyutu, katımadde taşınım miktarı, kıyı yapılarının durumu v.b.) bir fonksiyonudur. Bunlara bir de kıyı koruma amaçlı yapılacak mahmuzlar ve parametrelerini eklersek, olay daha karışık bir boyut almaktadır. Yöre ve yapı parametrelerinin fazla olması, bütün yörelerde kullanılacak genel ifadelerin elde edilmesini zorlaştırmaktadır. Her şeye rağmen, model çalışmaları araştırmacılara faydalı yaklaşımlar vermektedir.

Dalga mekaniğinin de çok karmaşık bir yapıya sahip olması ve sayısal ifadelerin tam anlamı ile kurulamamış olması, geliştirilen sayısal modelin tam tekamül edebilmesini zorlaştırmaktadır. Çok değişik şartlar içinde kullanılabilen bir sayısal modelin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, çalışılan şartlarla benzer özellik taşıyan yerlerde kullanılabilir. Ancak daha genel ifadeler elde edebilmek için, bu konuda daha çok deneysel çalışma yapılmalıdır. Ülkemiz deniz kıyılarının yaklaşık 8500 km uzunluğunda olması, bu tür çalışmaların gereğini ve önemini ortaya koymaktadır.

7. KAYNAKLAR

1. Press, H., Seewasserstrakenundseehafen , Verlagvon Wilhelm Ernst und Sohn, Berlin-München, 1962, 814-864.
2. Ishihara, T. ve Sawaragi, T., Stability of Beaches Using Groins, Coastal Engineering, Volume 1, 1964, 299-309.
3. Bakker, W.T., The Dynamics of a Coast With a Groyne System, Coastal Engineering, 1964, 462-517.
4. Price, W.A. ve Tomlinson, K.W., The Effect of Groynes on Stable Beaches, Coastal Engineering, Volume 1, 1968, 518-526.
5. Barcelo, J.P., Experimental Study of Hydrulic Behaviour of Groyne System, Coastal Engineering, 1968, 526-547.
6. Anderson, G.I., Hardaway, C.S. ve Gunn, J.R., Beach Response to Spurs and Groins, Coastal Structures, 1983, 727-739.
7. Hanson, H. ve Kraus, N.C., Comparison of Shoreline Change With Physical and Numerical Models, Coastal Sediment'91, June 25-27 1991, Seattle, Washington, Volume 1, 1785-1799.
8. Brampton, A.H. ve Goldberg, D.G., Mathematical Model of Groynes on Shingle Beaches, Report SR 276, Hydraulics Research Ltd., Wallingford, Oxfordshire OX10 8BA, United Kingdom, November 1991.
9. Brampton, A.H. ve Goldberg, D.G., Mathematical Model of Groyned Shingle Beaches, Coastal Sediments'91, June 25-27 1991, Volume 2, 1842-1853.
10. Sundar, V., Noethel, H. ve Holz, K.P., Wave Climate in a Groin Field, Ocean Engineering, Volume 19, No 5, 1992, 413-426.
11. Moutzouris, C.I., Observation of the Post-Construction Performance of a System of Groins Along on Eroding Beach, Coastal Engineering Practice'92, Marc 9-11 1992, Long Beach, California, 303-319.
12. Wang, Yu Hwa, Modification and Layout of the Galveston Island Groin Field For Retaining Sand on Beach, International Conference of Coastal Zone'93, 19-23 July 1993, New Orleans, Lousiana.
13. Marcomini, S.C. ve Lopez, R.A., Coastal Protection Effects at Buenos Aires, Argentina, Coastal Zone'93, 19-23 July 1993, New Orleans, Lousiana, Volume 3, 2724-2738.

14. Kraus, N.C., Hanson, H. ve Blomgren, S.H., Modern Functional Design of Groin System, Coastal Engineering, 1994, 1327-1342.
15. Badici, P., Kamphuis, J.W. ve Hamilton, D.G., Physical Experiments on the Effects of Groins on Shore Morphology, Coastal Engineering, 1994, 1782-1796.
16. Webb, R.S., Design of Groin Fields-Dimensional Considerations, A Thesis Submitted to the Faculty of Drexel in Partial Fulfillment of the Requirement For The Degree of Master of Science in Civil Engineering, Drexel University, August 1994.
17. Webb, R. ve Weggel, J.R., Design of Groins and Groin Fields; Dimensional Considerations, International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries, 25/29 September 1995, R.J. Brazil, Volume 1, 229-245.
18. Wiel, M.K., Tilmans, H.H. ve De Vroeg, J.P., Coastal Protection at Cotonou Benin, International Conference on Coastal and Port Engineerin in Developing Countries , 25/29 September 1995, R.J. Brazil, Volume 1, 171-184.
19. Sawaragi, T., Coastal Engineering-Waves, Beaches, Wave-Structure Interactions, Elsevier Science B.V., Amsterdam, The Netherlands, 1995.
20. Güngördü, Ö., ve Otay, E.N., Kıyı Şeridi Değişiminin Sayısal Modellemesi, İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler III. Teknik Kongre, 15-16 Eylül 1997, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 701-710.
21. Kapdaşlı, S., Kıyı Mühendisliği, İ.T.Ü. Yayını No: 1504, 1992.
22. CERC, Shore Protection Manuel, Fourth Edition, US Army WES, Washington, 1984.
23. Bilgin, R. ve Ertaş, B., Doğu Karadeniz Sahil Tahkimat Projesi, Ara Rapor No:1 ve 2, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı, Trabzon, 1986.
24. Bilgin, R. ve Ertaş, B., Doğu Karadeniz Sahil Tahkimat Projesi , Sonuç Raporu, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarı, Trabzon, 1986.
25. Önsoy, H. ve Yüksek, Ö., Doğu Karadeniz'de Deniz Erozyonuna Karşı Koruma ve Yapay Plajlar İçin Kıyıya Dik Yapıların Etüdü, K.T.Ü.-DPT Araştırma Projesi, Mayıs 1993, Trabzon
26. Özkan, E., Günbak, A.R., Introduction to Coastal and Harbour Engineering , Ders Notları, ODTÜ, Ankara, 1985.
27. Airy, G.B., On Tides and Waves, Encyclopeda, Metropolitana, 1845.
28. Eagleson, P.S., Estuary and Coastline Hydrodynamics, McGraw-Hill Book Co., New York, 1966.

29. Bruun, P., Port Engineering, Gulf Publishing Company Book Division, Second Edition, Houston, WA, 1976.
30. Kinsman, B., Wind Waves, Practice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1965.
31. Mei, C.C., The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, World Scientific Publishing Co. Pte. Hd., Singapore, 1989.
32. Bilgin, R., Kıyı Hidroliği Ders Notları, K.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1988.
33. Dean, R.G. ve Dalrymple, R.A., Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Advanced Series on Ocean Engineering, Volume 2, Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. PO Box 128, Farrer Road, Singapore 9128, First Published by in 1984 by Prentice Hall.
34. Wiegel, R.L., Oceanographical Engineering, Prentice-Hall International Series in Theoretical and Applied Mechanics, 1964.
35. Massel, S.R., Hydrodynamics of Coastal Zones, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherland, 1989.
36. Lakhan, V.C. ve Trenhaile, A.S., Applications in Coastal Modeling, Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherland, 1989.
37. Weggel, J.R., Maximum Breaker Height, Journal of the Waterways, Harbors and Coastal Engineering Division, ASCE, Volume 98, 1972.
38. Munk, W.H., The Solitary Teory and its Aplication to Surf Problems, Annals of the New York Academy of Sciences, Volume 51, 1949, 376-462.
39. Yüksek, Ö., Balıkçı Barnaklarının Dolma Sürecinin Araştırılması ve Uygun Proje Ölçütlerinin Geliştirilmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992.
40. Hanson, H. ve Kraus, N.C., GENESIS: Generalized Model for Simulating Shoreline Change, Report1, Technical Reference, Cerc, Mississipi, 1989, 25-57.
41. Yüksek, Ö., Kıyılarda Katı Madde Hareketi Ders Notları, KTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1995.
42. Chiaia, G., Damania, L. ve Petrillo, A., Analysis of Cross-Shore Transport, International Conference on Coastal and Port Engineerin in Developing Countries, 25/29 September 1995, R.J. Brazil, 412-426.
43. Horikawa, K., Nearshore Dynamics and Coastal Processes, University of Tokyo Press, 1987.

44. Schoonees, J.S. ve Theron, A.K., Evaluation of 10 cross-Shore Sediment Transport/Morphological Models, Coastal Engineering, 25 (1995), 1-41.
45. Larson, M., Kraus, N.C. ve Sunamura, T., Beach Profile Change: Morphology, Transport Rate, and Numerical Simulation, 21st Coastal Engineering Conference CERC/ASCE, June 1988, Coasta del Sol-Malaga, Spain,
46. Kraus, N.C. ve Harikai, S., Numerical Model of the Shoreline Change at Oarai Beach, Coastal Engineering, 7 (1983), Amsterdam, 1-28.
47. Hanson, H. ve Kraus, N.C., Forecast of Shoreline Change Behind Multiple Coastal Structures, Coastal Engineerin in Japan, Volume 29, 1986, 195-214
48. Kamphuis J.W. Alongshore Sediment Transport Rate, Proc. 22nd. Coastal Engineering Conference, ASCE, 1990, 2402-2415.(Longshore)
49. Hanson, H., GENESIS: Generalized Shoreline Change Numerical Model, Journal Coastal Research, Vol:5, No:1, 1989, 1-27.
50. Çam, T., Doğu Karadeniz'de Dalga Tahmini ve Tasarım Dalgası Özelliklerinin Belirlenmesi , Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1986.
51. Uysal, K., Rüzgar Verileri Kullanarak Doğu Karadeniz'de Tasarı Dalgası Tahmini, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1995.
52. Orhan, F., Doğu Karadeniz Akarsularında Sürüntü Maddesi Hareketi ve Miktarının Etüdü , Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1992.
53. EİE Genel Müdürlüğü, Türkiye Akarsularında Sediment Gözlemleri ve Sediment Taşınım Miktarları, EİE Yayın No:87-44, Ankara, 1987.
54. Günbak, A.R., Gökçe, K.T. ve Güler, I., Yakakent Balıkçı Barınağı Sığılaşması Araştırması, Sonuç Raporu, ODTÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü.
55. Dean R.G., Physical Modelling of Littoral Processes, Physical Modelling in Coastal Engineering, Ed. Dalrymple, R.A., A.A. Balkema Uitgevers B.V., 1985, 119-139.
56. Kamphuis J.W., On Understanding Scale Effect in Cosatal Mobile Bed Models, Physical Modelling in Coastal Engineering, Ed. Dalrymple, R.A., A.A. Balkema Uitgevers B.V., 1985, 141-162.
57. Whalin, R.V. ve Chatman, C.E., Coastal Erosion, Coastal Hydraulic Models, CERC, SR-5, Mississippi, 1979, Chapter 5, 284-307.

58. Hallermeier, R.J., Unified Modelling Guidance Based on a Sedimentation Parameter for Beach Changes, Coastal Engineering, 9 (1985), Amsterdam, pp. 37-70.
59. Hayami, S., Ishihara, T. ve Iwagaki, Y., Some Contributions to Hydraulic Model Experiments in Coastal Engineering, Proceedings of Tenth Conference on Coastal Engineering, 1966, Tokyo, 1291-1312.
60. Wang, H., A Note on Beach Profile Scale Modelling, Praunschweig'86, Florida, 1986, 355-398.
61. Özhan, E. ve Şendil, U., Antalya Limanı Limanı Çalkantısının Önlenmesi, ODTÜ Kıyı ve Liman Mühendisliği Araştırma Enstitüsü, Rapor No 18, Ankara, 1978.
62. Güler, I., A Study on Coastal Morphological Models, Master's Thesis in Civil Engineering Department, METU, Ankara, 1985.
63. Bayramçavuş, S., Kıyıların Korunmasında Yapay Beslemenin Önemi ve Doğu Karadeniz (Hopa-Kemalpaşa-Sarp Kıyı Şeridi İçin) Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, Ocak 1994.
64. Watanabe, A., Total Rate and Distribution of Longshore Sand Transport, Coastal Engineering 1992, 2528-2544.
65. Kamphuis, W.J., Alongshore Sediment Transport Rate, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, Volume 117, No. 6, November/December 1991, 624-640.
66. Kaplan, H., Dalgakıran Arkasındaki Dalgaların Kırınım Katsayısının Sayısal Modelleme İle Hesaplanması, Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Haziran 1997, Trabzon.

8. EKLER

Ek Çizelge 1. T mahmuzlarda bölgelere göre dolma miktarları

DENEY NO	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	ΣD (mm)
	n	n	n	n	n	Σn
1	6	1	10	4	3	24
	3	2	2	2	2	11
2	-2	11	26	2	-1	36
	3	3	3	3	1	13
3	-7	3	48	11	-4	51
	4	2	5	3	2	16
4	19	24	26	5	13	87
	4	4	6	4	5	23
5	-10	18	67	-7	6	84
	5	4	7	4	4	24
6	-3	6	58	17	5	83
	7	5	9	5	6	32
7	-4	16	65	-6	1	72
	7	5	8	6	5	31
8	25	26	64	-8	24	131
	5	4	11	4	5	29
9	22	22	112	17	29	203
	8	8	15	8	8	47
10	61	26	101	3	33	224
	9	9	17	9	9	55
11	24	21	59	11	17	132
	5	6	6	4	4	25
12	41	16	72	9	25	164
	6	5	10	6	5	32
13	79	32	85	-4	12	204
	7	6	11	6	8	38
14	36	16	64	8	76	200
	9	6	12	6	8	40
15	17	31	104	17	52	221
	9	8	13	9	9	48
16	41	37	79	30	63	250
	9	9	17	9	9	53
17	36	70	99	33	44	282
	10	11	17	12	11	61
18	42	46	34	12	32	165
	6	6	8	6	6	32
19	57	21	60	28	21	187
	8	7	12	6	6	39
20	33	22	60	62	40	216
	8	8	12	8	9	45
21	19	33	92	22	63	229
	9	10	14	10	9	53

Ek Çizelge 1'in devamı

DENEY NO	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	ΣD (mm)
	n	n	n	n	n	Σn
22	26	28	22	-2	0	74
	5	4	5	6	5	25
23	6	33	20	3	19	81
	5	5	4	7	5	26
24	34	36	26	11	26	133
	6	6	7	6	6	31
25	34	23	24	38	25	144
	7	7	10	8	8	40
26	44	22	95	0	18	184
	8	6	11	8	7	40
27	61	28	88	1	33	211
	10	8	12	9	9	48
28	23	30	42	27	54	176
	9	9	13	9	9	49
29	29	0	135	5	58	227
	10	10	15	10	10	55
30	-1	50	129	19	33	230
	12	11	17	12	12	64
31	12	77	60	18	38	205
	12	12	20	12	13	69
32	45	39	28	24	34	170
	7	7	6	6	6	32
33	36	26	70	19	46	192
	8	6	11	8	7	40
34	14	22	112	24	54	226
	8	9	12	8	9	46
35	17	32	88	46	76	259
	10	12	13	11	11	57
36	16	10	42	31	53	152
	7	5	4	6	6	28
37	59	24	45	14	47	189
	9	6	6	6	8	35
38	45	32	94	21	45	237
	9	8	9	8	6	40
39	32	46	93	20	76	267
	9	9	11	9	9	47
40	8	64	142	39	83	336
	11	11	13	11	11	57
41	17	60	161	21	71	330
	11	12	14	13	12	62
42	33	37	32	21	39	129
	7	7	4	7	7	32

Ek Çizelge 1'in devamı

DENEY NO	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	ΣD (mm)
	n	n	n	n	n	Σn
43	36	57	60	30	20	235
	9	8	11	9	9	46
44	68	19	120	16	90	313
	12	11	13	10	11	57
45	6	15	4	2	30	57
	5	5	10	4	6	30
46	-6	9	30	6	29	68
	7	7	13	5	8	40
47	-2	19	-23	-13	33	14
	8	8	13	7	8	44
48	4	44	-2	13	37	96
	6	7	7	4	6	30
49	6	37	24	4	51	122
	7	7	11	7	7	39
50	-17	21	9	-12	55	56
	9	9	12	8	9	47
51	16	2	-8	-2	14	22
	8	8	6	5	7	34
52	33	15	21	14	56	139
	8	9	12	8	9	46
53	120	85	23	1	51	280
	9	8	12	6	7	42
54	65	74	-48	96	128	315
	16	16	24	15	16	87
55	22	40	-1	16	43	120
	18	10	5	12	8	44
56	5	31	54	24	105	219
	13	14	15	14	13	69
57	57	65	50	0	49	221
	15	12	19	15	12	73
58	38	106	25	80	122	371
	17	17	21	17	17	89
59	60	65	-39	135	70	291
	17	18	27	18	17	97
60	74	69	63	59	74	339
	20	22	28	22	20	112
61	216	116	-167	26	79	270
	24	23	35	22	22	126
62	100	38	25	30	85	278
	11	11	5	11	11	49
63	102	106	-98	86	136	332
	17	18	20	17	18	89

Ek Çizelge 1'in devamı

DENEY NO	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	ΣD (mm)
	n	n	n	n	n	Σn
64	123	73	-16	42	46	268
	15	15	11	15	15	71
65	52	23	-55	74	53	147
	7	8	8	8	7	38
66	33	0	11	14	7	65
	5	7	3	5	5	25
67	36	12	54	9	11	122
	6	6	8	5	6	31
68	57	31	16	24	34	162
	10	7	12	6	8	43
69	15	75	50	51	34	217
	11	9	11	10	10	51
70	-10	87	-29	103	54	203
	13	13	14	12	10	62
71	0	21	-37	6	9	0
	12	11	20	11	10	64
72	-3	-11	11	-15	3	-15
	7	9	6	7	7	36
73	22	10	10	7	20	69
	10	9	8	11	8	46
74	17	-6	3	-14	37	37
	11	10	13	10	9	53
75	-46	-1	23	-13	7	-30
	14	11	18	10	10	63
76	3	7	2	1	8	21
	5	7	2	4	6	24
77	0	-1	7	-4	-4	-2
	7	8	5	5	7	32
78	-14	-7	0	-16	-5	-42
	11	8	10	8	9	46
79	-5	7	-2	-1	-11	-12
	10	10	12	10	11	53
80	-2	-9	27	-36	-3	-23
	13	13	16	13	12	67

Çizelge 2. Düz mahmuzların bölgelere göre dolma miktarları

DENEY NO	D ₁ (mm)	D ₂ (mm)	D ₃ (mm)	D ₄ (mm)	D ₅ (mm)	ΣD (mm)
	n	n	n	n	n	Σn
81	0	19	60	-15	9	73
	2	2	7	3	3	17
82	32	31	107	2	-24	148
	4	3	12	3	6	28
83	4	41	153	-9	-8	181
	5	7	13	5	6	36
84	8	40	106	38	47	239
	8	6	16	7	8	45
85	30	46	67	12	78	234
	9	8	19	7	9	52
86	26	7	53	7	50	143
	10	9	21	8	8	56
87	40	10	91	0	4	145
	4	4	9	4	4	25
88	15	23	73	12	20	143
	5	6	10	6	5	32
89	-15	56	130	13	8	192
	7	7	13	7	6	40
90	-1	56	18	42	47	162
	9	8	15	9	8	49
91	10	16	-26	-10	73	63
	11	10	18	10	18	57
92	2	4	11	-4	23	36
	5	5	10	5	5	30
93	34	3	24	4	16	81
	9	8	14	8	6	45
94	12	5	38	2	19	76
	10	9	16	9	8	56
95	0	6	70	-9	16	83
	11	10	18	9	8	56
96	-6	-2	13	0	-1	10
	5	6	10	4	5	30
97	1	-14	7	1	-1	-6
	7	7	14	6	8	42
98	-9	-17	-16	0	23	-19
	8	8	16	8	8	48
99	-9	-21	-12	-23	-11	-76
	11	11	22	9	10	63
100	39	-1	57	15	28	138
	8	7	13	6	6	40
101	19	50	15	-1	36	119
	10	9	18	8	7	52
102	-1	55	8	-9	108	161
	15	14	22	11	11	73
103	7	26	-14	32	88	139
	15	15	27	13	12	82
104	78	64	-221	40	97	58
	21	20	36	16	16	109

Ek Çizelge 3. Zamana göre deneylerde bölgelere göre dolma miktarları

DENEY NO	t (saat)	D ₁	D ₂	D ₃	D ₄	D ₅	ΣD
		(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
105	2	n	n	n	n	n	Σn
		-26	-12	-15	0	-24	-77
	4	9	8	11	8	10	46
		-19	39	37	6	-25	38
	6	9	8	11	8	10	46
		-10	70	-36	81	23	128
	8	9	8	11	8	10	46
		7	85	-87	93	27	125
	10	9	8	11	8	10	46
		17	95	-107	98	60	163
106	2	9	8	11	8	10	46
		-6	-12	-8	20	0	-4
	4	9	9	11	10	10	49
		20	-21	9	-3	7	12
	6	9	9	11	10	10	49
		-5	-10	28	-7	39	45
	8	9	9	11	10	10	49
		59	5	100	-8	46	202
	10	9	9	11	10	10	49
		59	61	159	33	71	383
107	2	9	9	11	10	10	49
		-4	5	-8	12	-9	-4
	4	9	9	11	9	9	46
		-10	-7	-3	6	4	-10
	6	9	9	11	9	9	46
		4	-8	-4	15	11	21
	8	9	9	11	9	9	46
		-18	-17	-14	8	-3	-44
	10	9	9	11	9	9	46
		-5	-27	-8	10	21	-19
12	9	9	11	9	9	46	
	7	-1	8	16	41	71	
		9	9	11	9	9	46

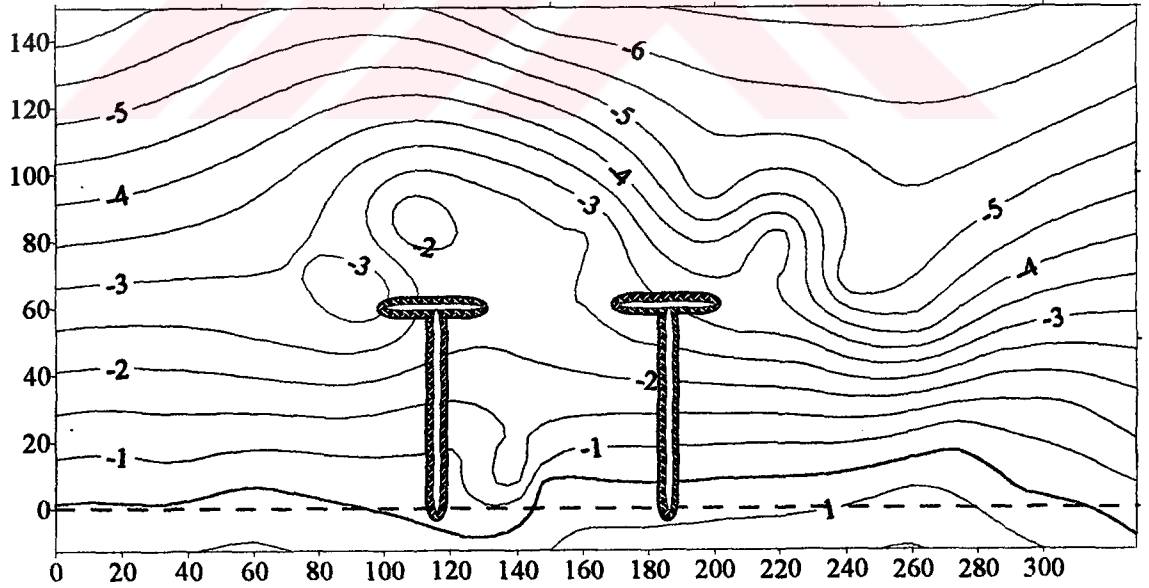
Ek çizelge 4. Taban topoğrafyası çizilen deneyler ve sayısal model sonuçları

Deney No	Deney Taban Konturları	Cerc ($x/x_b=0$) Konturları	Cerc ($x/x_b=0.5$) Konturları	Cerc ($x/x_b=0.7$) Konturları	Kamphuis ($x/x_b=0$) Konturları
1	Ek şekil 1	-----	-----	-----	-----
4	Ek şekil 2	-----	-----	-----	-----
22	Ek şekil 5	Ek şekil 40	Ek şekil 41	Ek şekil 42	Ek şekil 43
27	Ek şekil 9	Ek şekil 44	Ek şekil 45	Ek şekil 46	Ek şekil 47
55	Ek şekil 15	-----	-----	-----	-----
58	Ek şekil 16	-----	-----	-----	-----
64	Ek şekil 17	-----	-----	-----	-----
65	Ek şekil 18	-----	-----	-----	-----
11	Ek şekil 3	-----	-----	-----	-----
15	Ek şekil 4	-----	-----	-----	-----
23	Ek şekil 6	-----	-----	-----	-----
27	Ek şekil 9	Ek şekil 44	Ek şekil 45	Ek şekil 46	Ek şekil 47
36	Ek şekil 13	-----	-----	-----	-----
39	Ek şekil 14	-----	-----	-----	-----
22	Ek şekil 5	Ek şekil 40	Ek şekil 41	Ek şekil 42	Ek şekil 43
23	Ek şekil 6	-----	-----	-----	-----
24	Ek şekil 7	-----	-----	-----	-----
26	Ek şekil 8	-----	-----	-----	-----
27	Ek şekil 9	Ek şekil 44	Ek şekil 45	Ek şekil 46	Ek şekil 47
29	Ek şekil 10	-----	-----	-----	-----
30	Ek şekil 11	Ek şekil 48	Ek şekil 49	Ek şekil 50	Ek şekil 51
31	Ek şekil 12	-----	-----	-----	-----
66	Ek şekil 19	Ek şekil 52	-----	-----	-----
67	Ek şekil 20	-----	-----	-----	-----
68	Ek şekil 21	-----	-----	-----	-----
69	Ek şekil 22	Ek şekil 53	-----	-----	-----
70	Ek şekil 23	-----	-----	-----	-----
71	Ek şekil 24	Ek şekil 54	-----	-----	-----
		Ek şekil 55	-----	-----	-----
72	Ek şekil 25	-----	-----	-----	-----
73	Ek şekil 26	-----	-----	-----	-----
74	Ek şekil 27	Ek şekil 56	-----	-----	-----
		Ek şekil 57	-----	-----	-----
75	Ek şekil 28	-----	-----	-----	-----
76	Ek şekil 29	Ek şekil 58	-----	-----	-----

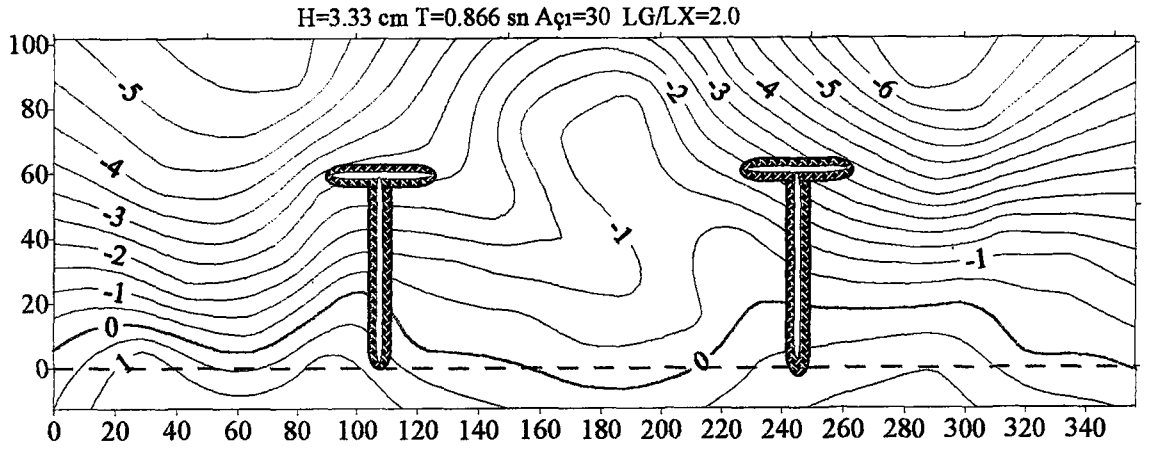
Ek çizelge 4'ün devamı

Deney No	Deney Taban Konturları	Cerc ($x/x_b=0$) Konturları	Cerc ($x/x_b=0.5$) Konturları	Cerc ($x/x_b=0.7$) Konturları	Kamphuis ($x/x_b=0$) Konturları
77	Ek şekil 30	-----	-----	-----	-----
78	Ek şekil 31	-----	-----	-----	-----
79	Ek şekil 32	Ek şekil 59	-----	-----	-----
80	Ek şekil 33	Ek şekil 60	-----	-----	-----
81	Ek şekil 34	Ek şekil 61	Ek şekil 62	Ek şekil 63	Ek şekil 64
82	Ek şekil 35	-----	-----	-----	-----
83	Ek şekil 36	-----	-----	-----	-----
84	Ek şekil 37	Ek şekil 65	Ek şekil 66	Ek şekil 67	Ek şekil 68
85	Ek şekil 38	-----	-----	-----	-----
86	Ek şekil 39	Ek şekil 69	Ek şekil 70	Ek şekil 71	Ek şekil 72

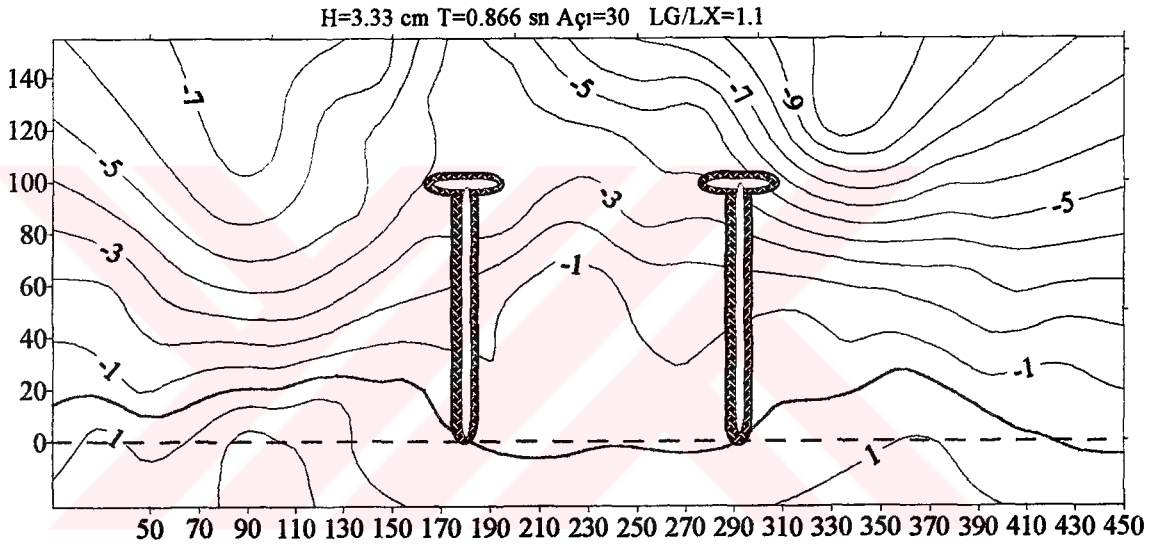
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.0



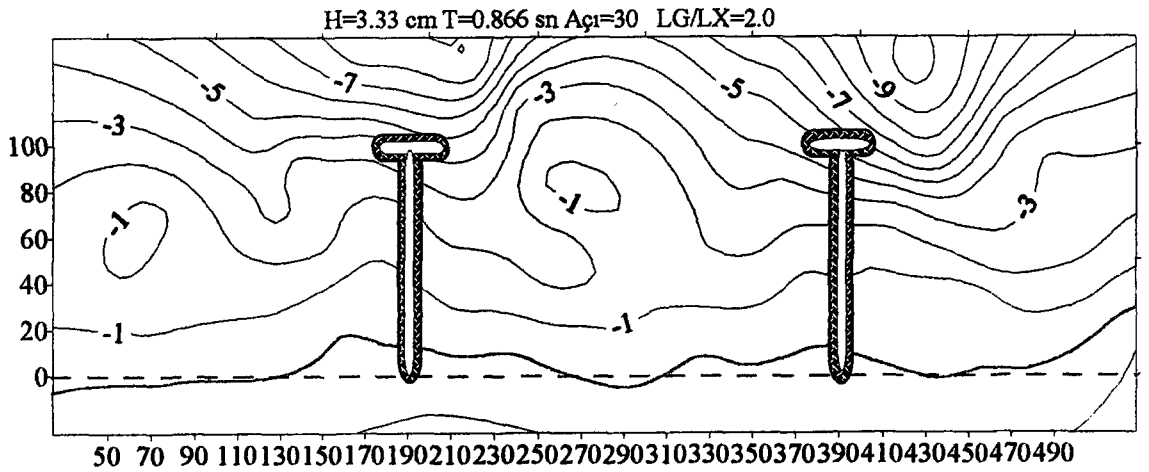
Ek şekil 1. Deney 1 sonucu oluşan taban topografyası



Ek şekil 2. Deney 4 sonucu oluşan taban topoğrafyası

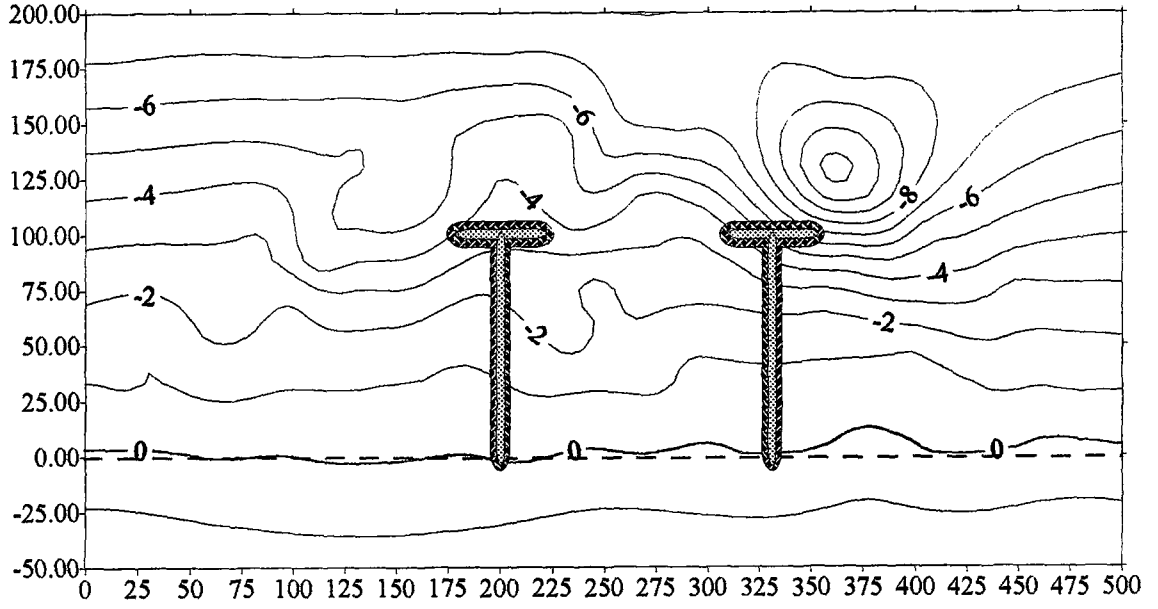


Ek şekil 3. Deney 11 sonucu oluşan taban topoğrafyası



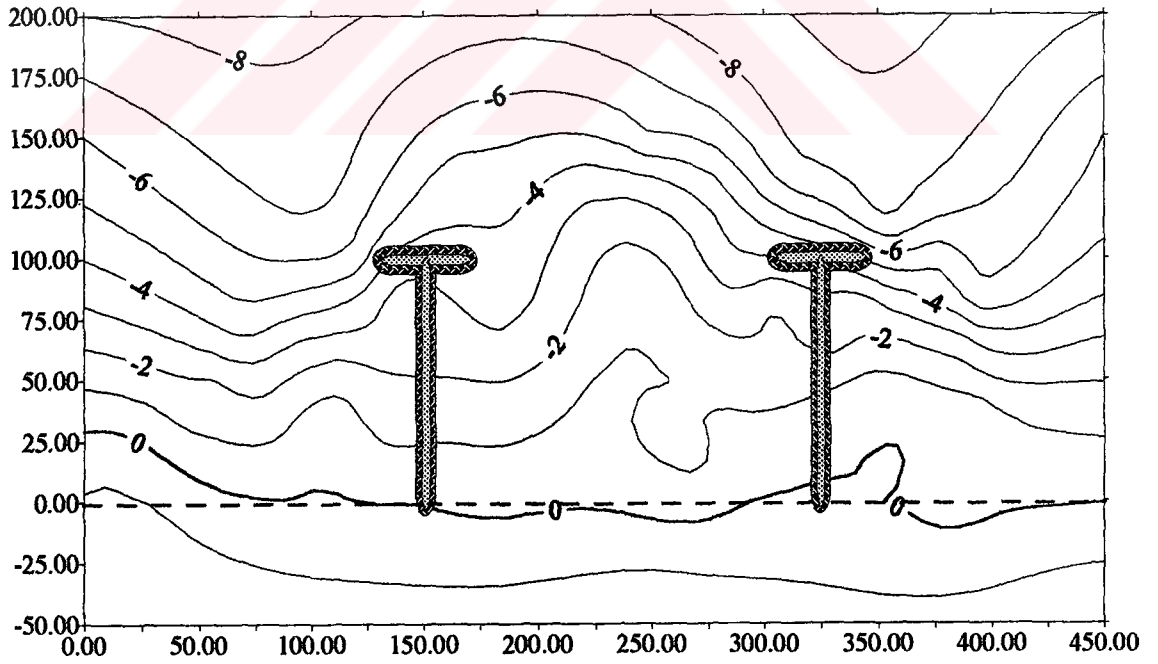
Ek şekil 4. Deney 15 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.3

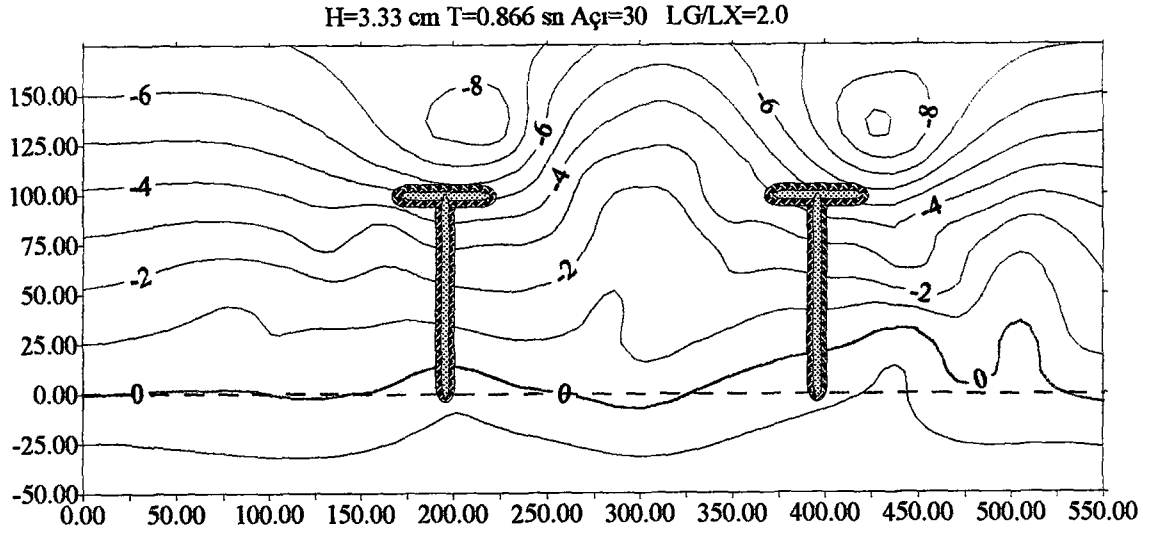


Ek şekil 7. Deney 24 sonucu oluşan taban topoğrafyası

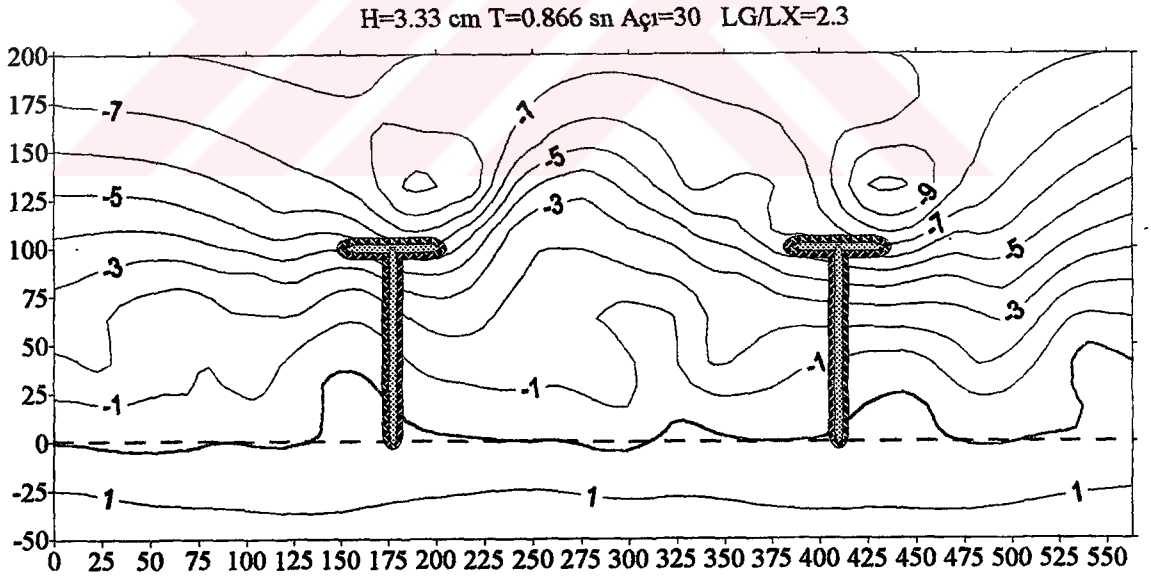
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.7



Ek şekil 8. Deney 26 sonucu oluşan taban topoğrafyası

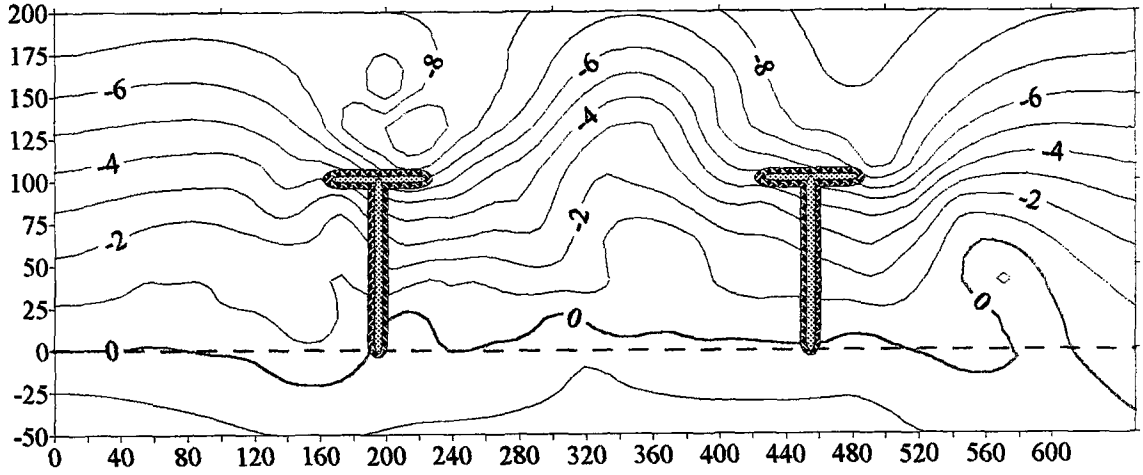


Ek şekil 9. Deney 27 sonucu oluşan taban topoğrafyası



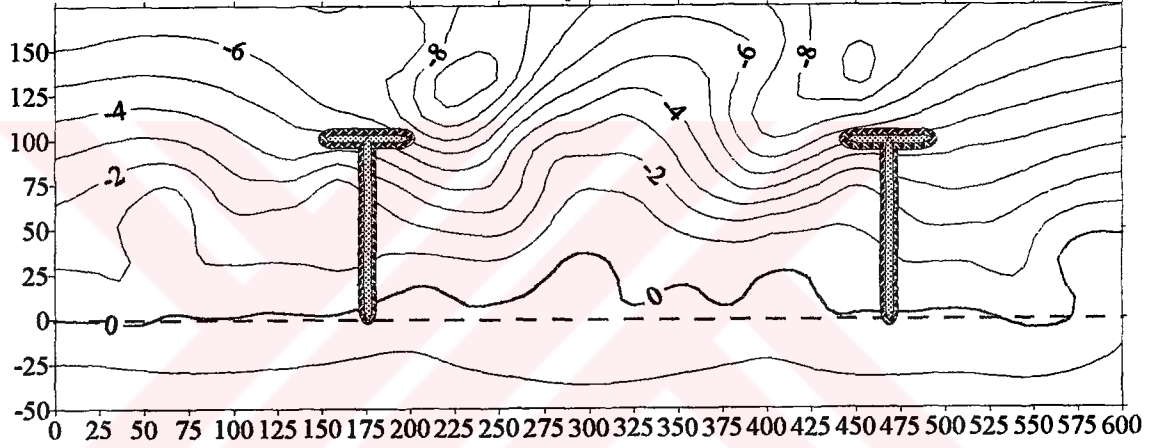
Ek şekil 10. Deney 29 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.6



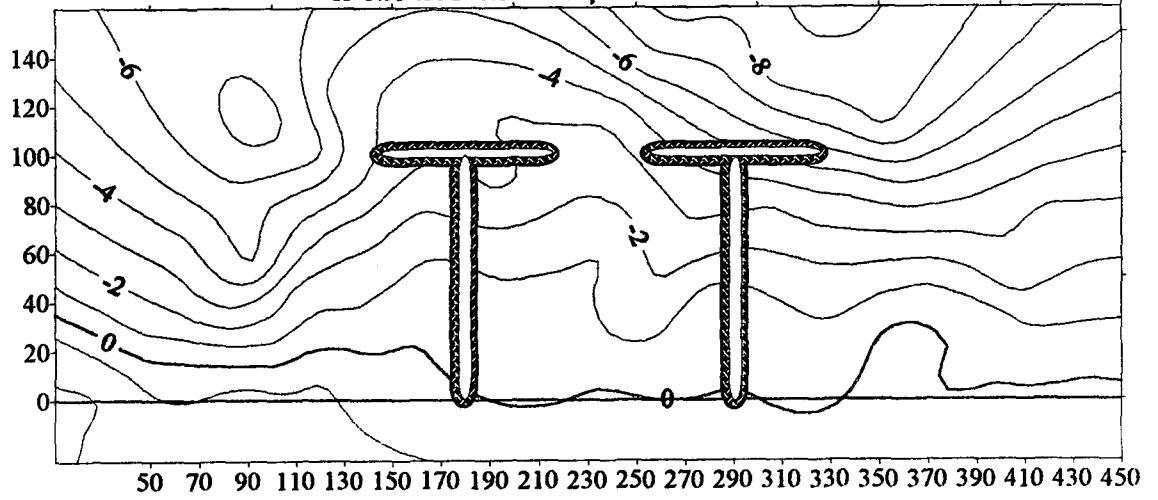
Ek şekil 11. Deney 30 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.9

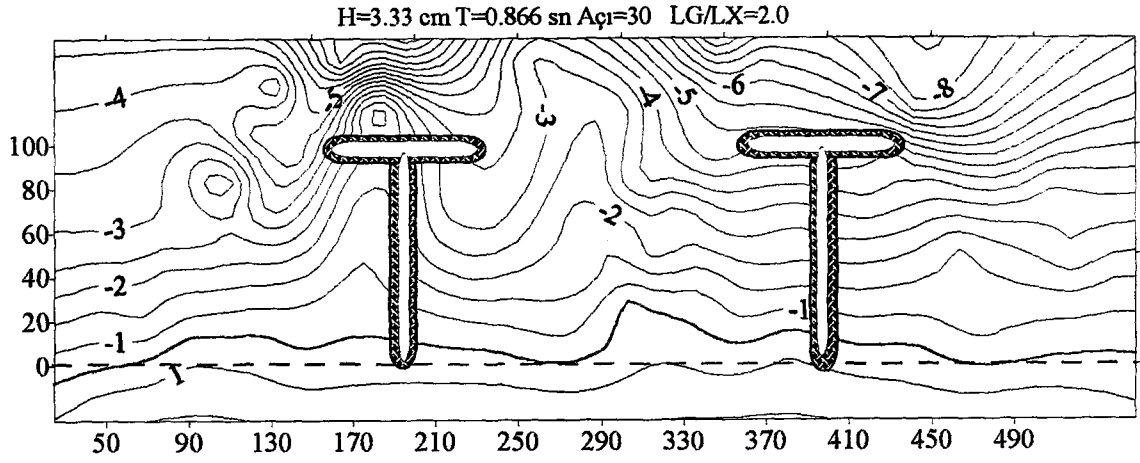


Ek şekil 12. Deney 31 sonucu oluşan taban topoğrafyası

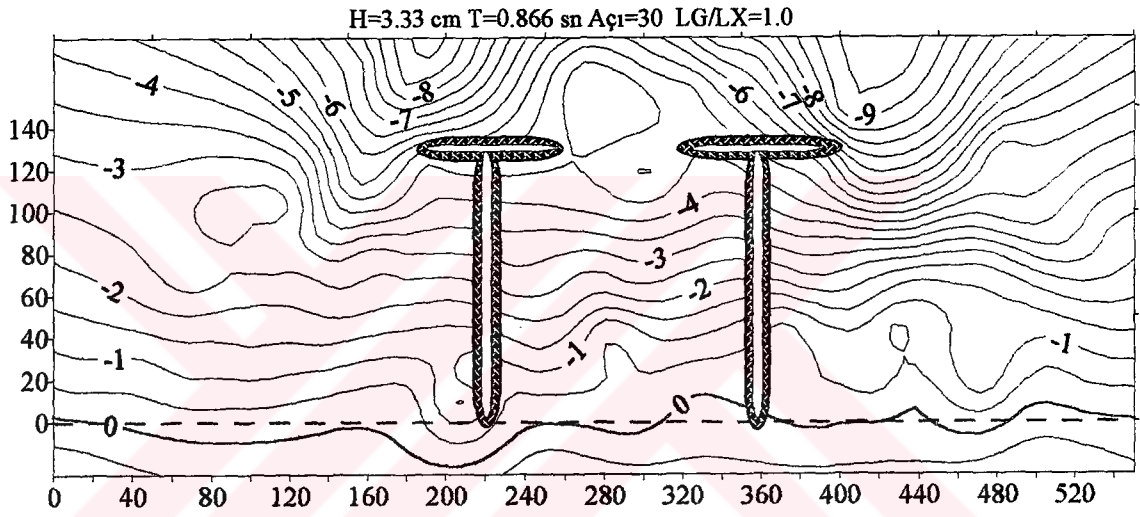
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.1



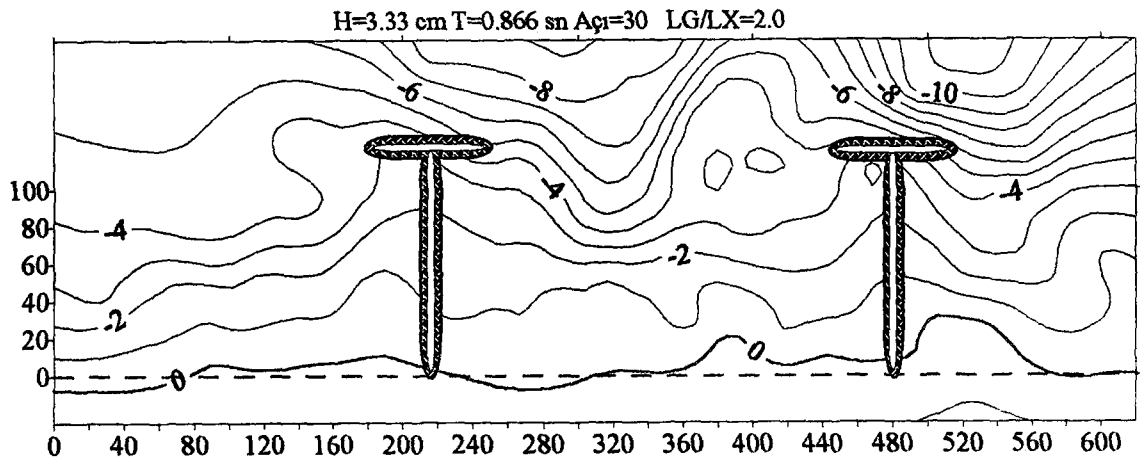
Ek şekil 13. Deney 36 sonucu oluşan taban topoğrafyası



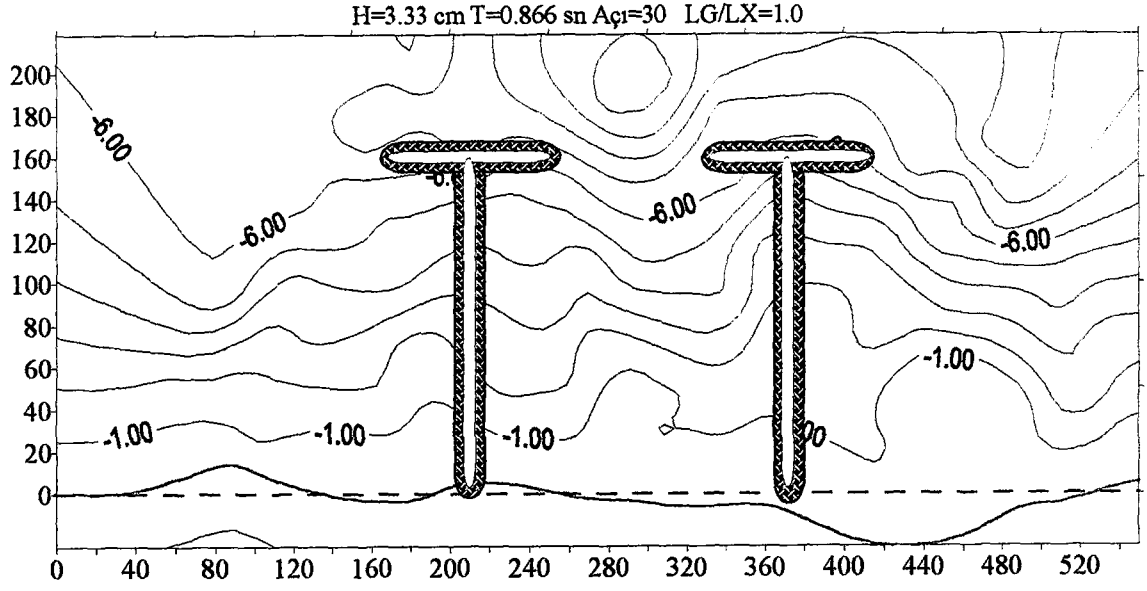
Ek şekil 14. Deney 39 sonucu oluşan taban topoğrafyası



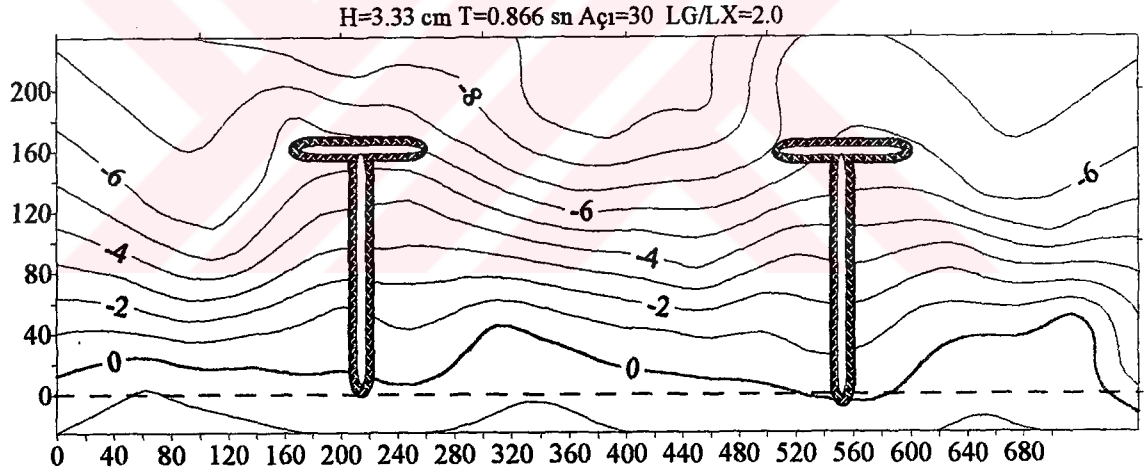
Ek şekil 15. Deney 55 sonucu oluşan taban topoğrafyası



Ek şekil 16. Deney 58 sonucu oluşan taban topoğrafyası

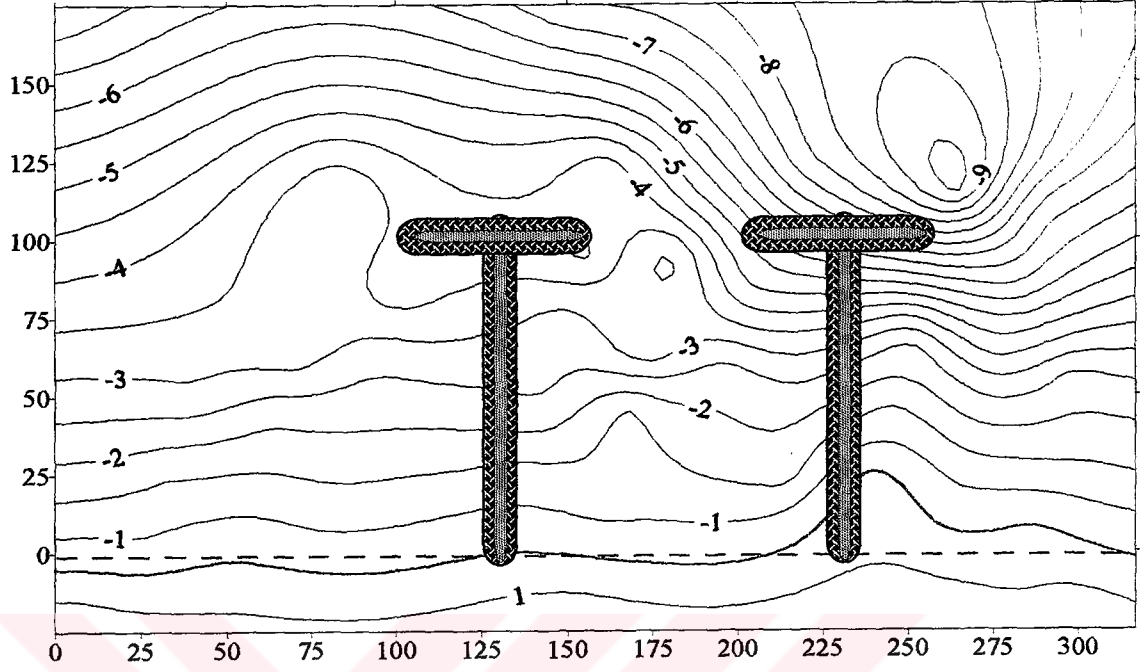


Ek şekil 17. Deney 64 sonucu oluşan taban topoğrafyası



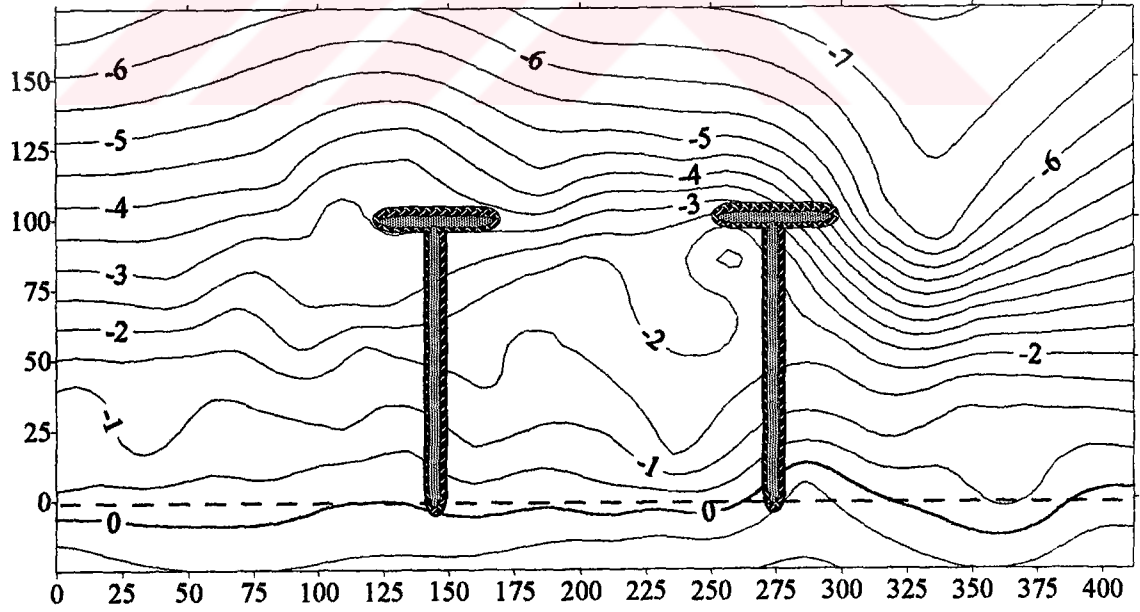
Ek şekil 18. Deney 65 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=1.0

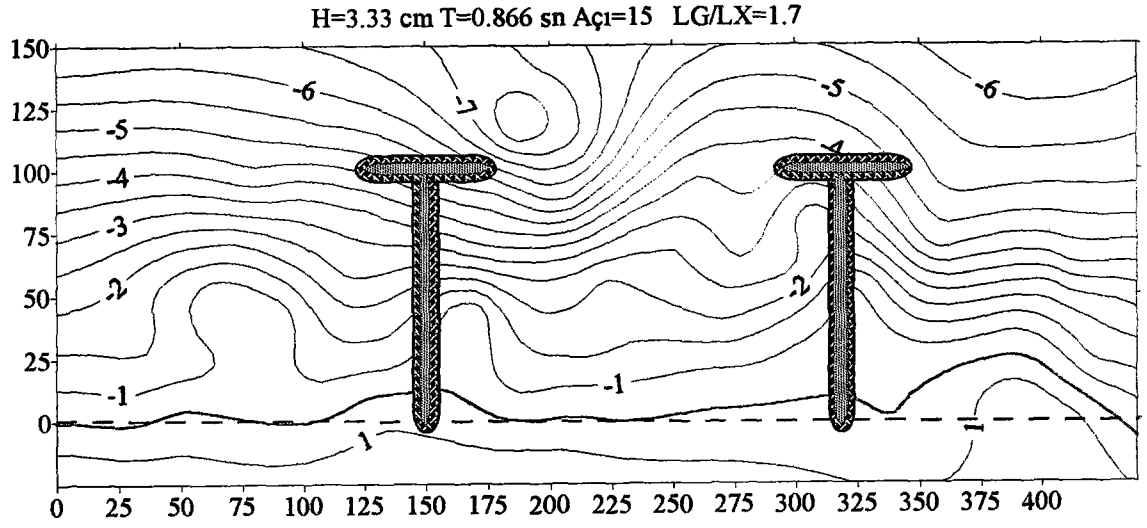


Ek şekil 19. Deney 66 sonucu oluşan taban topoğrafyası

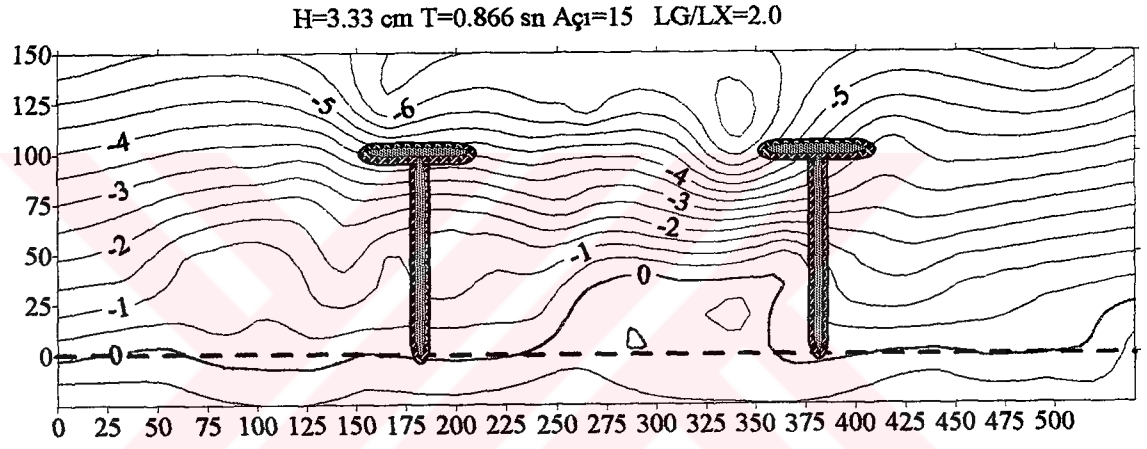
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=1.3



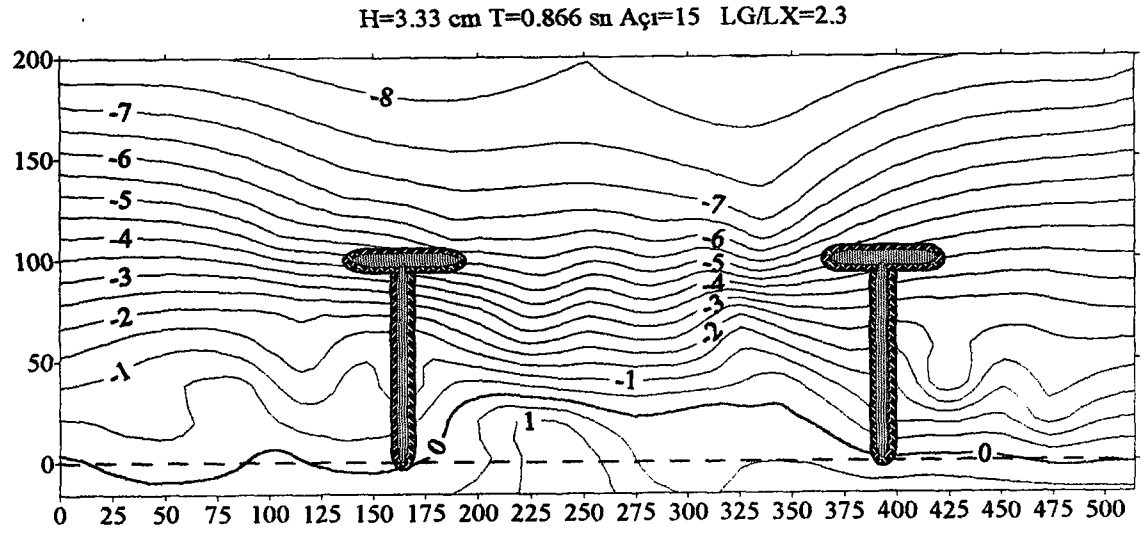
Ek şekil 20. Deney 67 sonucu oluşan taban topoğrafyası



Ek şekil 21. Deney 68 sonucu oluşan taban topoğrafyası

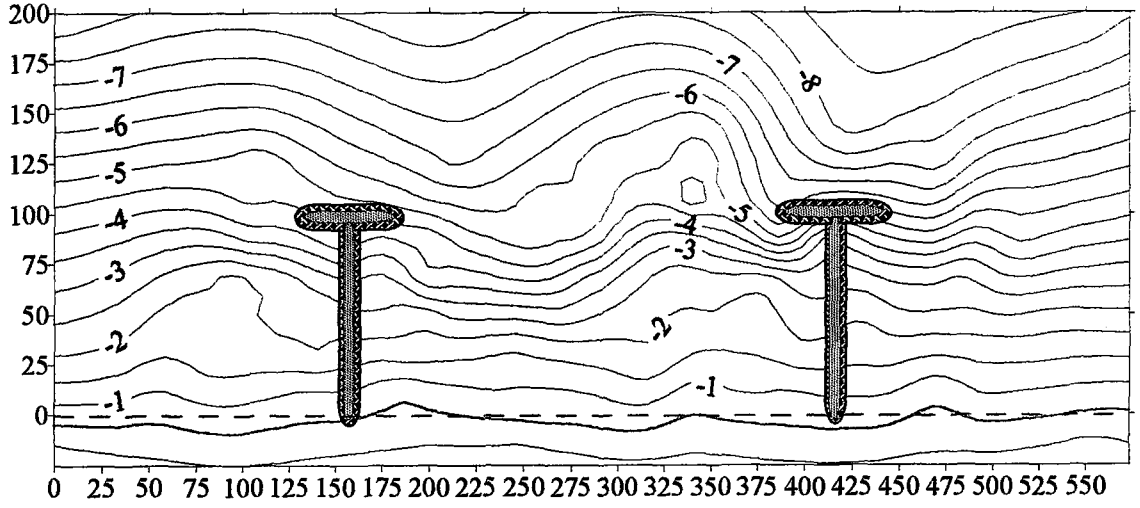


Ek şekil 22. Deney 69 sonucu oluşan taban topoğrafyası



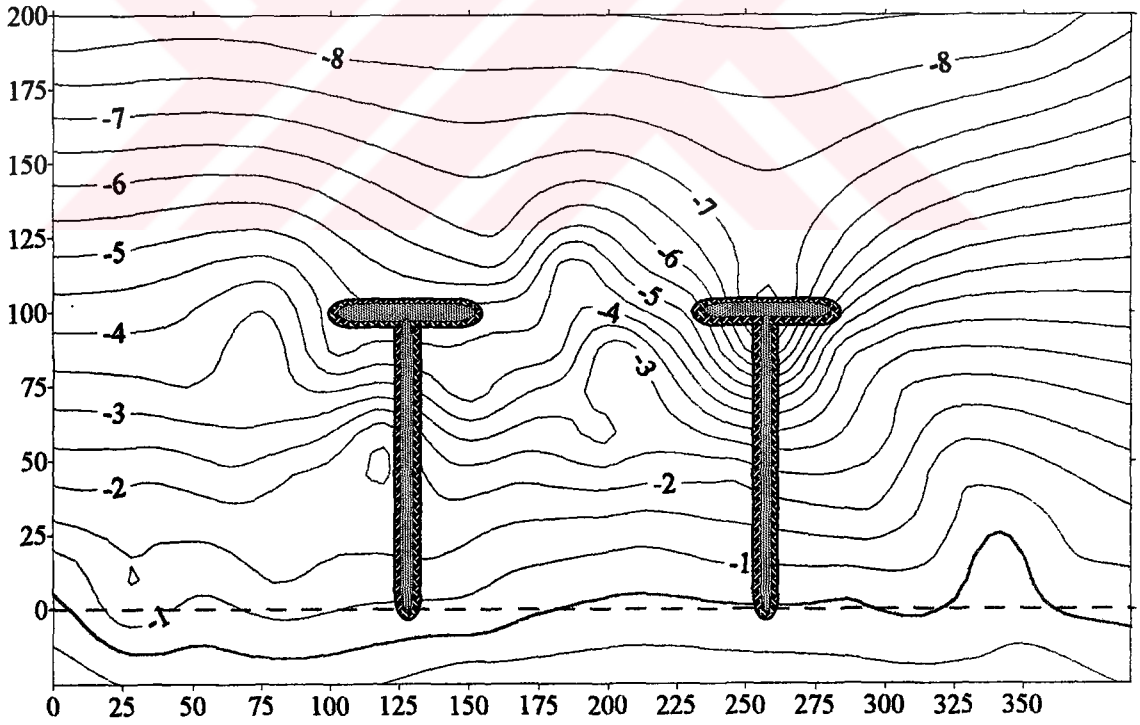
Ek şekil 23. Deney 70 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=2.6



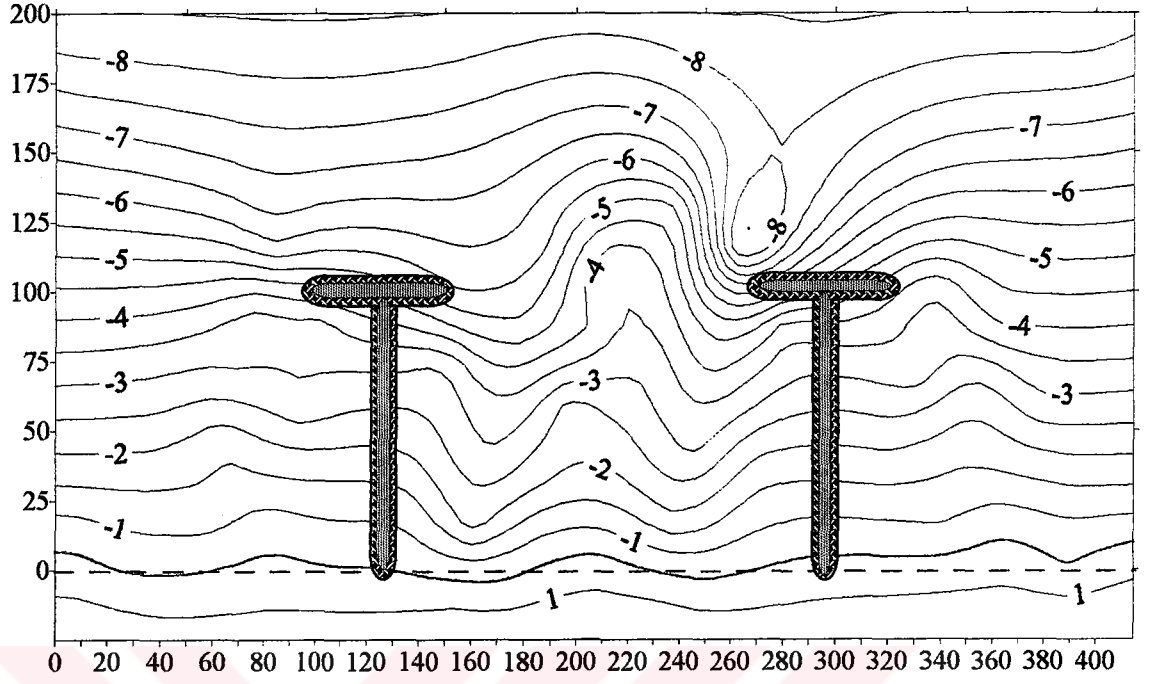
Ek şekil 24. Deney 71 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=5.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=1.3



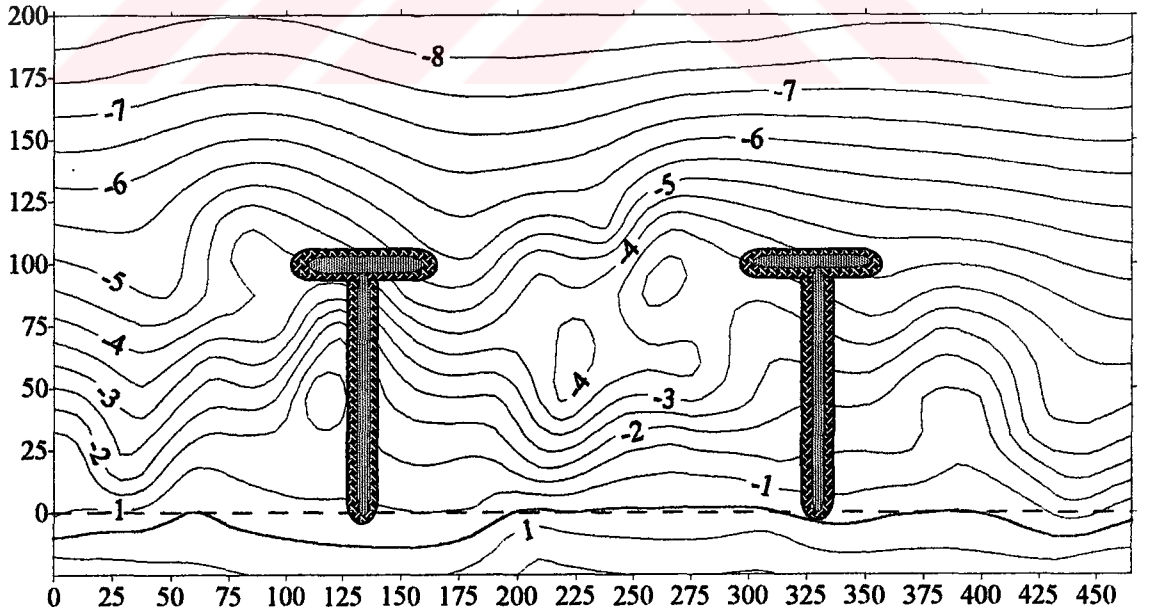
Ek şekil 25. Deney 72 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=5.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=1.7



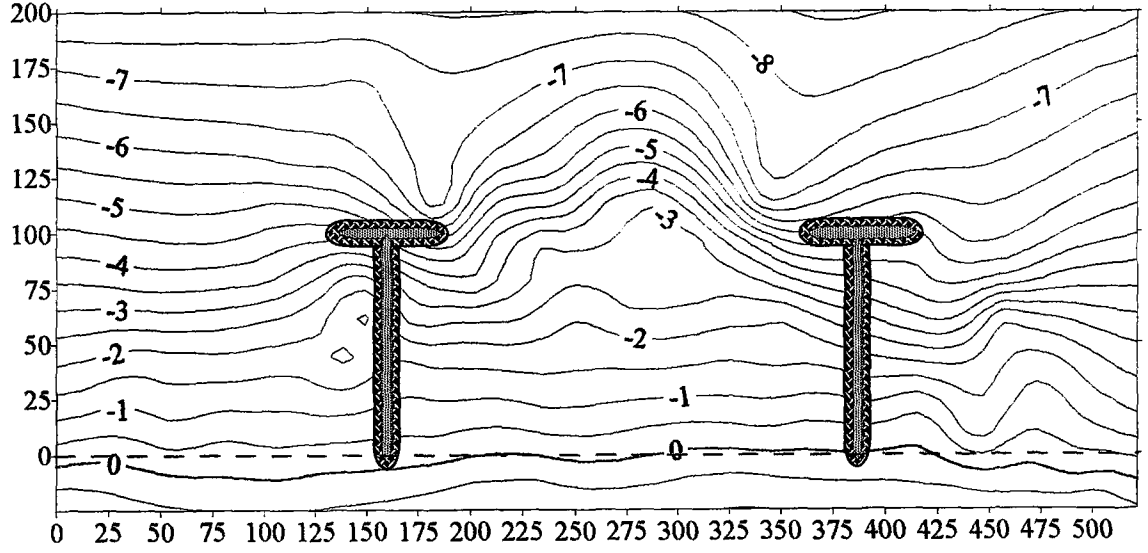
Ek şekil 26. Deneş 73 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=5.33 cm T=0.866 Aç=15 LG/LX=2.0



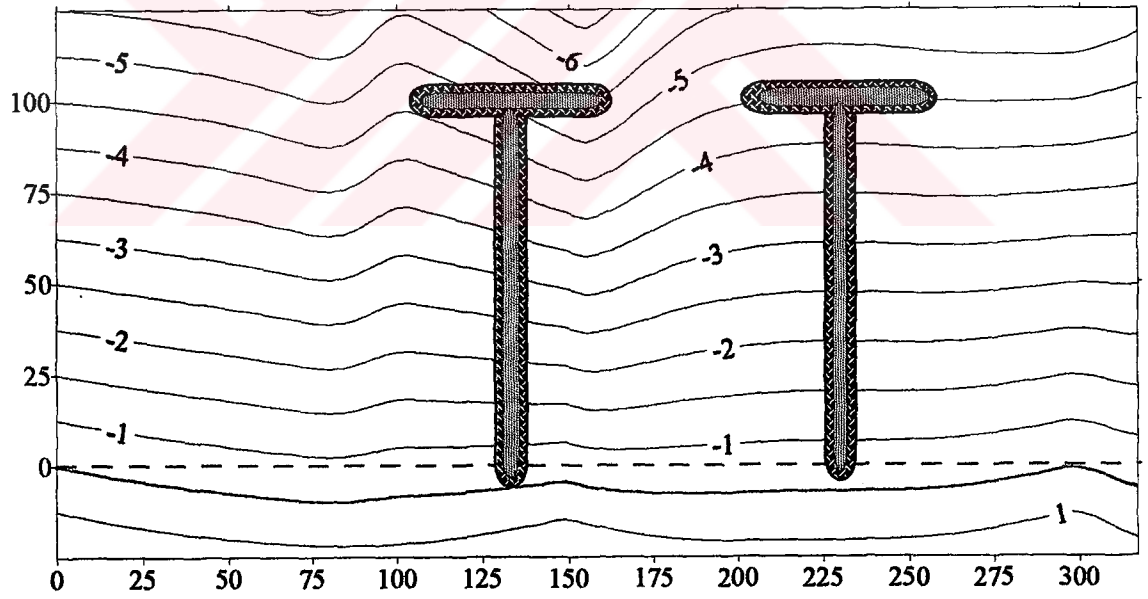
Ek şekil 27. Deneş 74 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=5.33 cm T=0.866 Aç=15 LG/LX=2.3



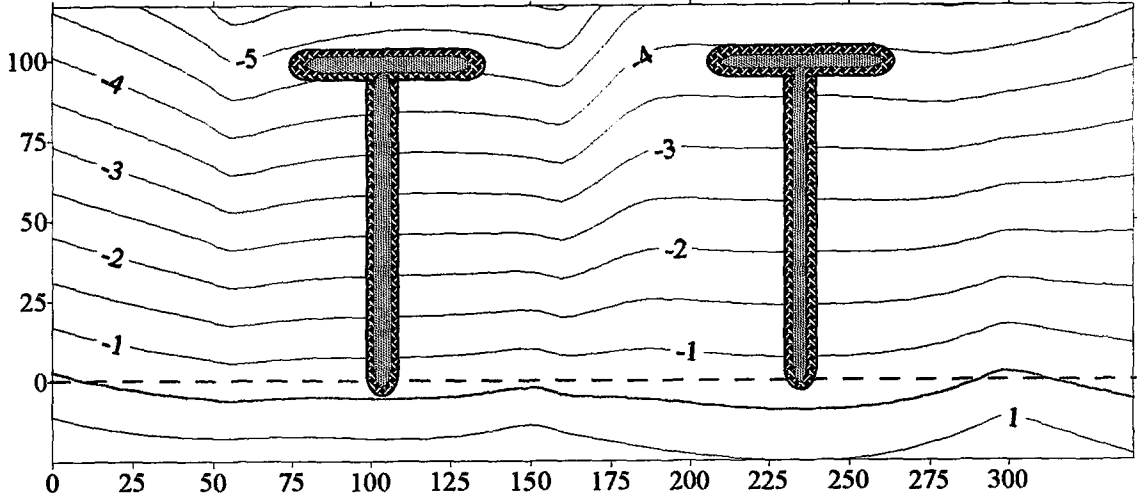
Ek şekil 28. Deney 75 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.692 Aç=15 LG/LX=1.0



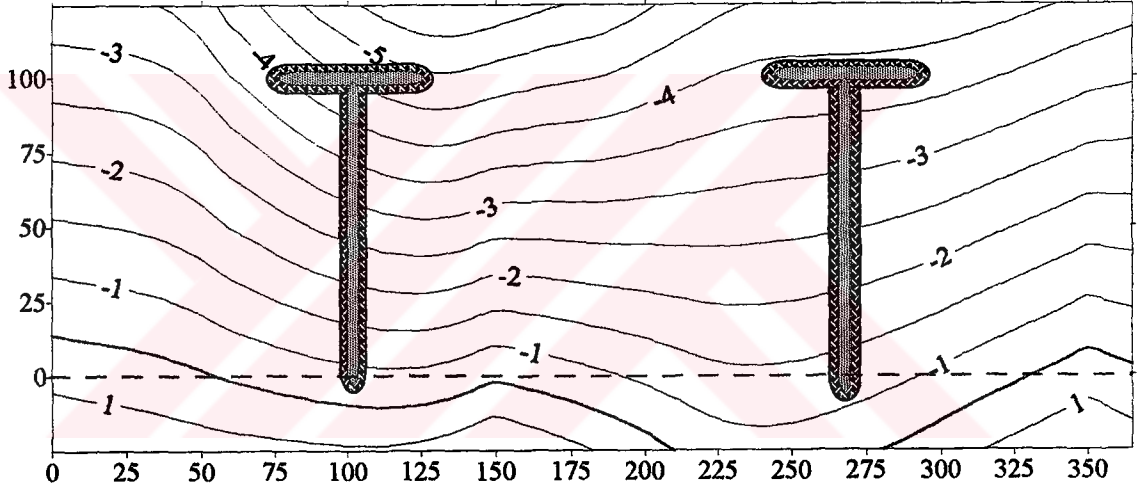
Ek şekil 29. Deney 76 sonucu oluşan taban topoğrafyası

$H=3.33$ cm $T=0.692$ $Açı=15$ $LG/LX=1.3$



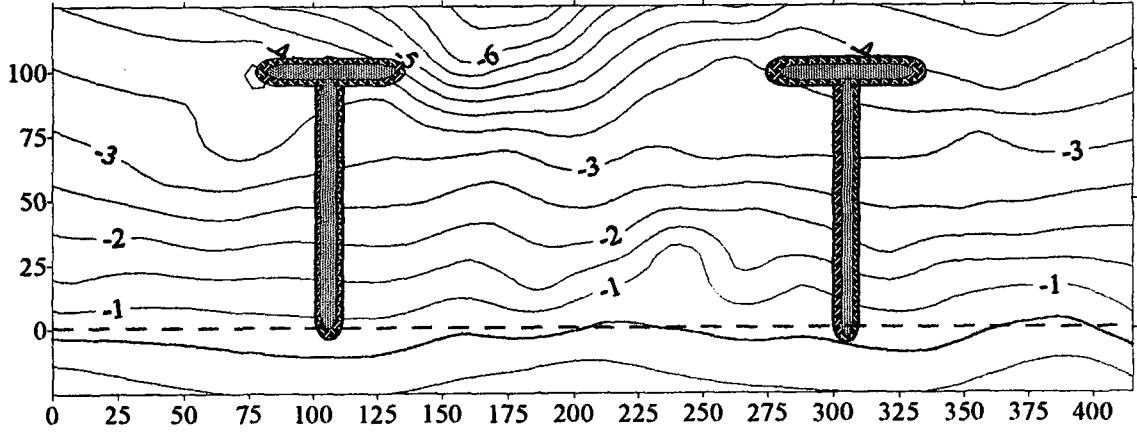
Ek şekil 30. Deney 77 sonucu oluşan taban topoğrafyası

$H=3.33$ cm $T=0.692$ sn $Açı=15$ $LG/LX=1.7$

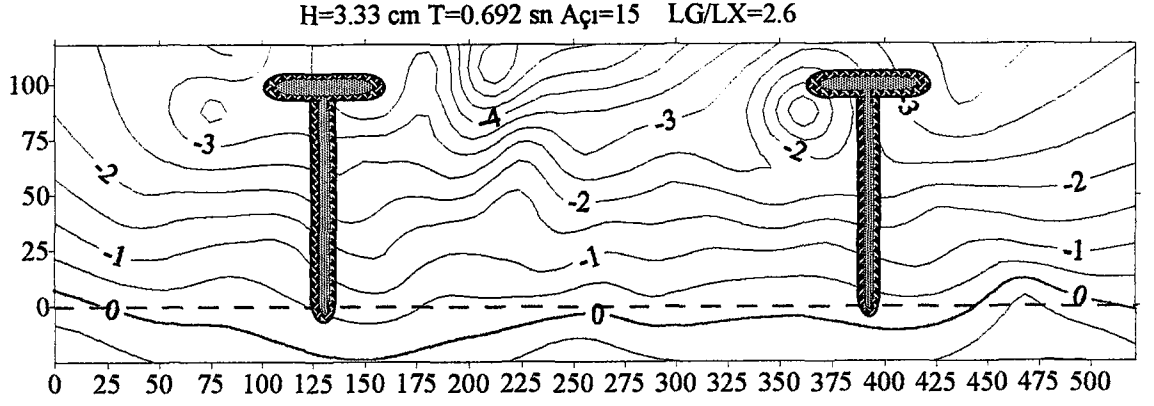


Ek şekil 31. Deney 78 sonucu oluşan taban topoğrafyası

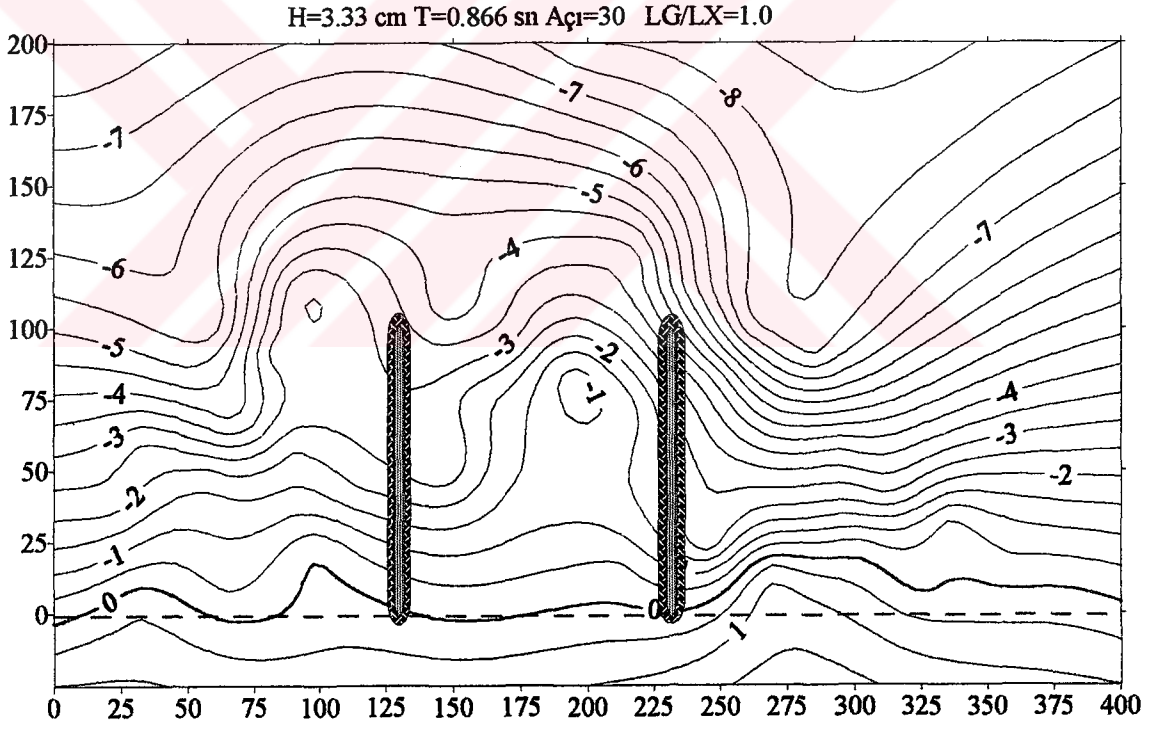
$H=3.33$ cm $T=0.692$ sn $Açı=15$ $LG/LX=2.0$



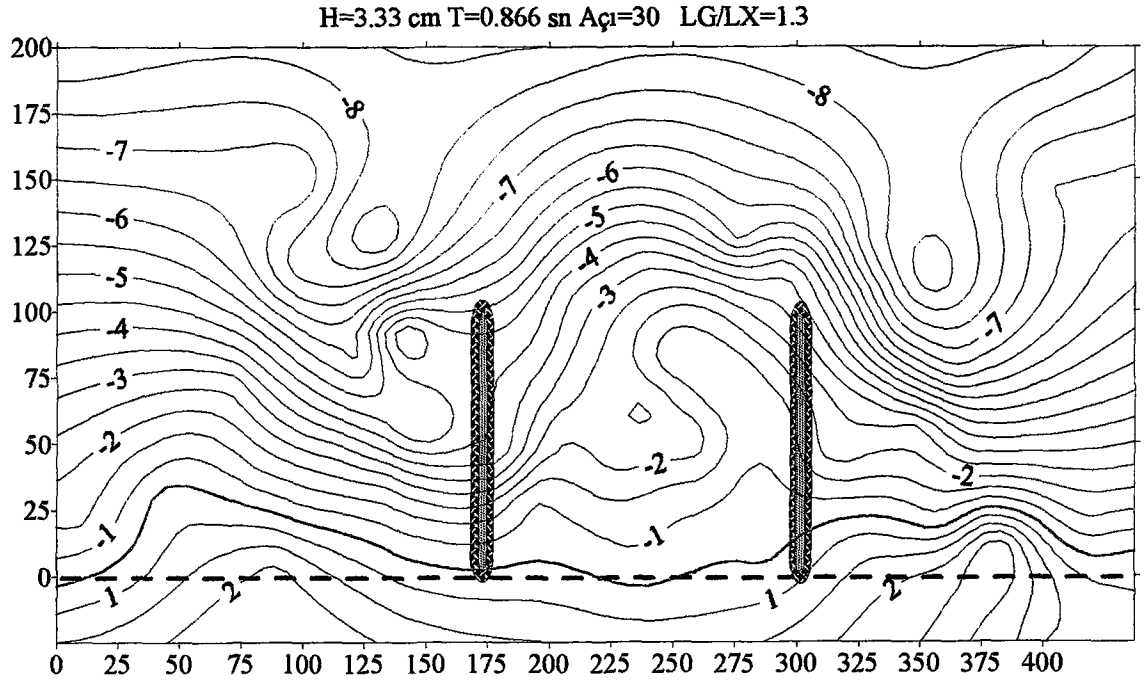
Ek şekil 32. Deney 79 sonucu oluşan taban topoğrafyası



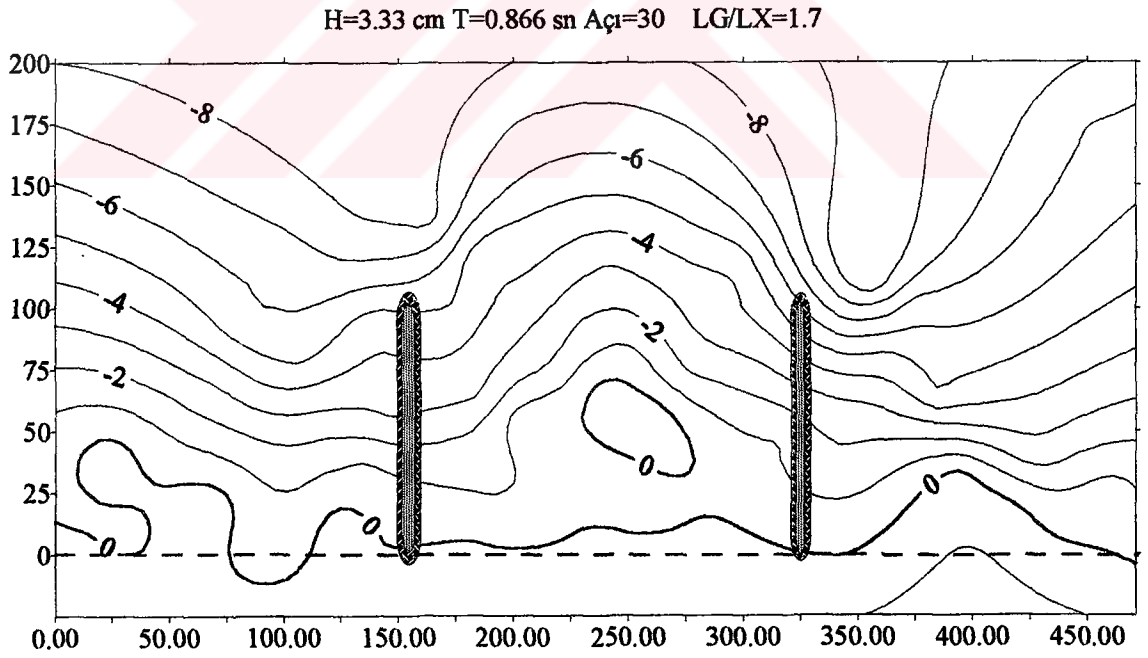
Ek şekil 33. Deney 80 sonucu oluşan taban topoğrafyası



Ek şekil 34. Deney 81 sonucu oluşan taban topoğrafyası

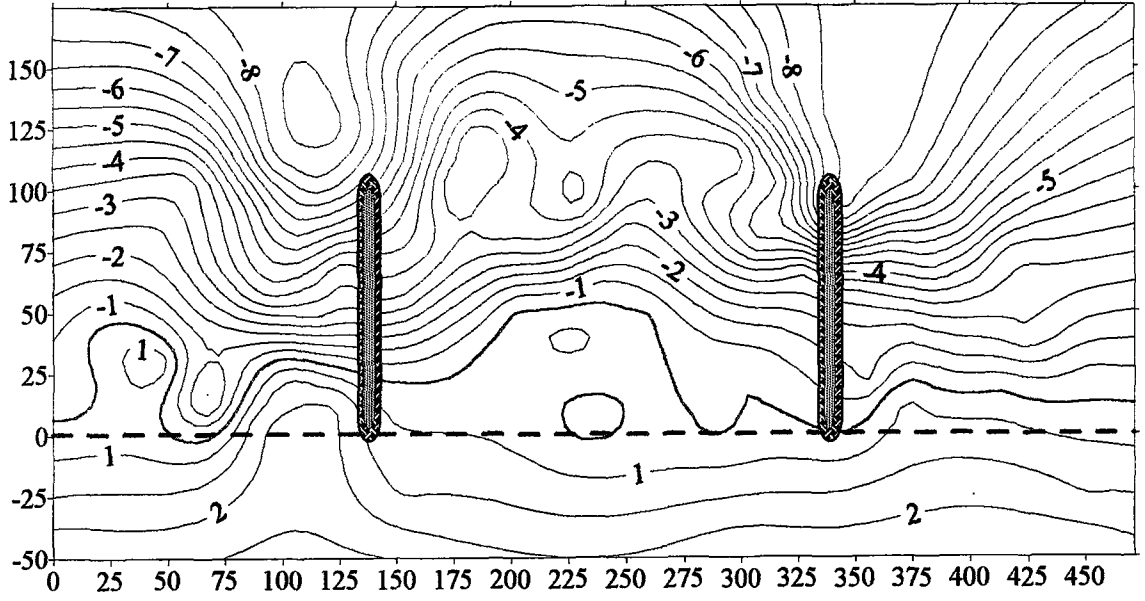


Ek şekil 35. Deney 82 sonucu oluşan taban topografyası



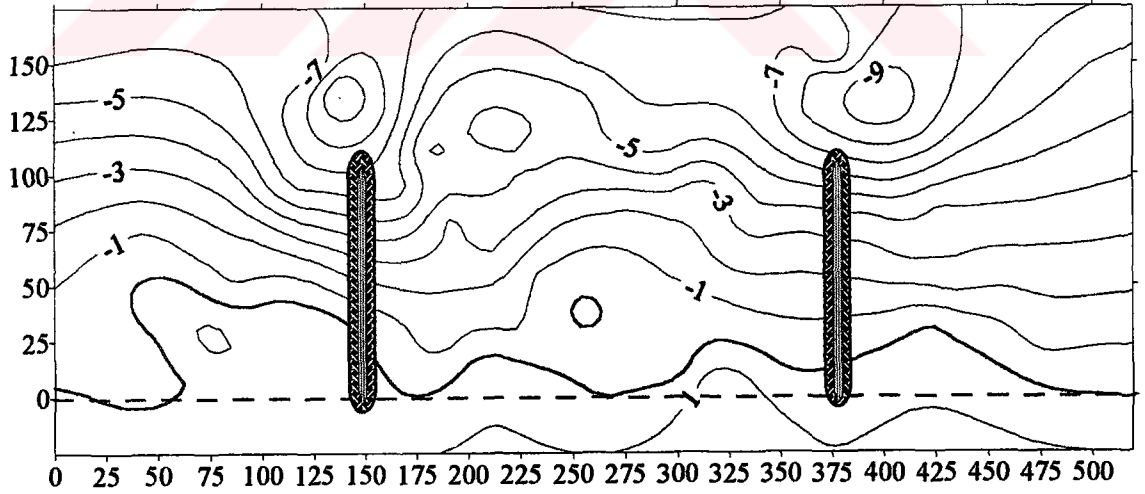
Ek şekil 36. Deney 83 sonucu oluşan taban topografyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.0



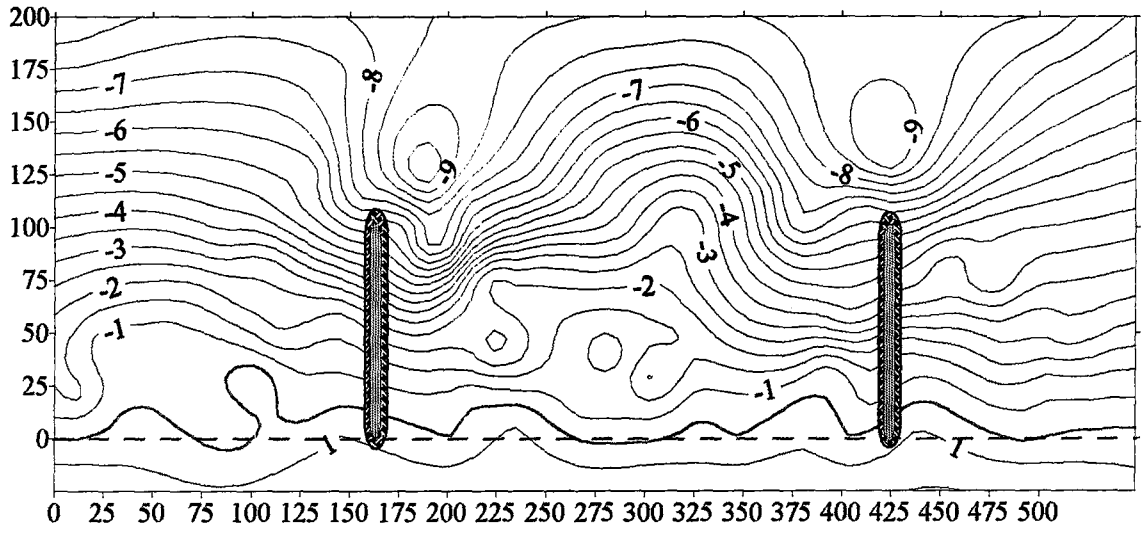
Ek şekil 37. Deney 84 sonucu oluşan taban topoğrafyası

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.3

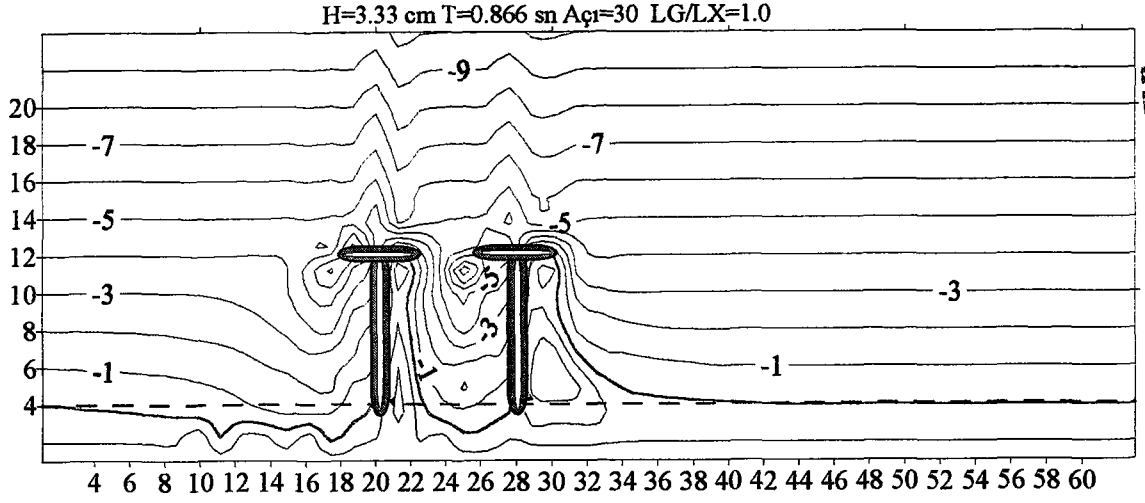


Ek şekil 38. Deney 85 sonucu oluşan taban topoğrafyası

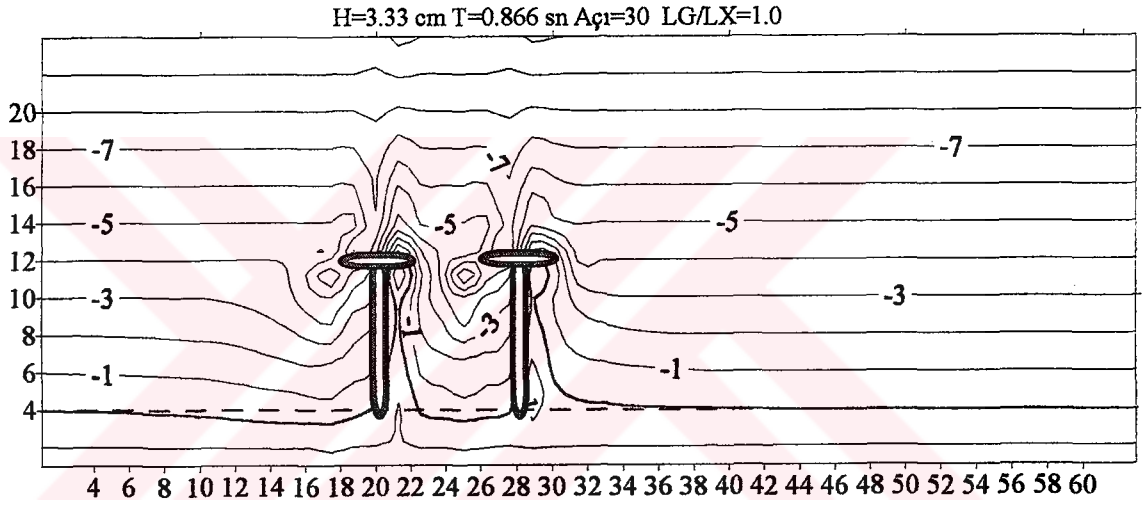
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.6



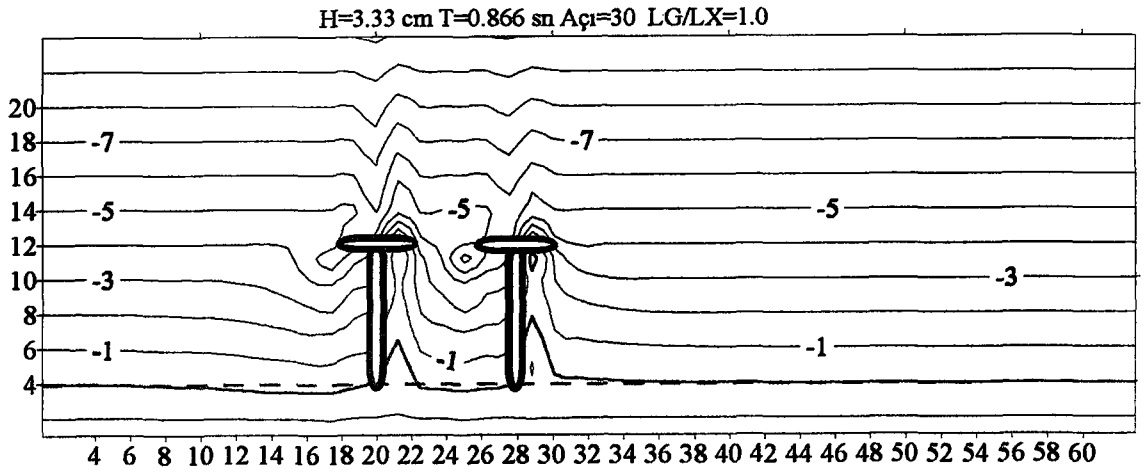
Ek şekil 39. Deney 86 sonucu oluşan taban topoğrafyası



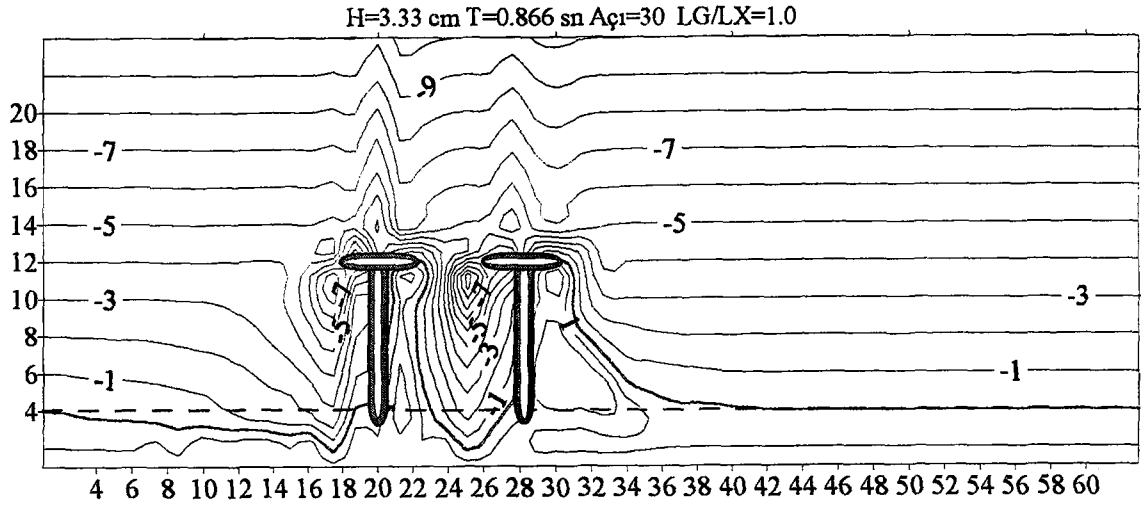
Ek şekil 40. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 22)



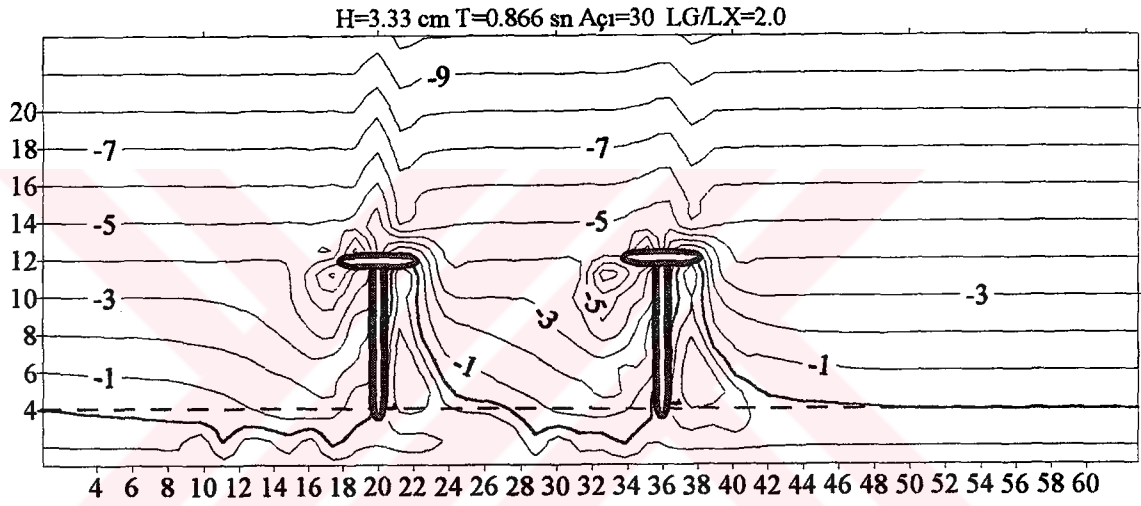
Ek şekil 41. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 22)



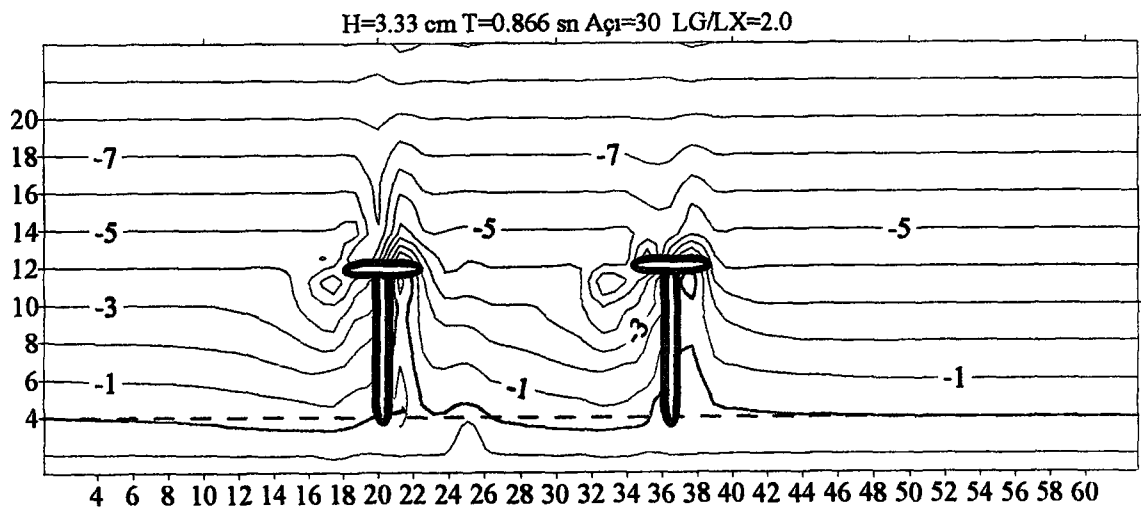
Ek şekil 42. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 22)



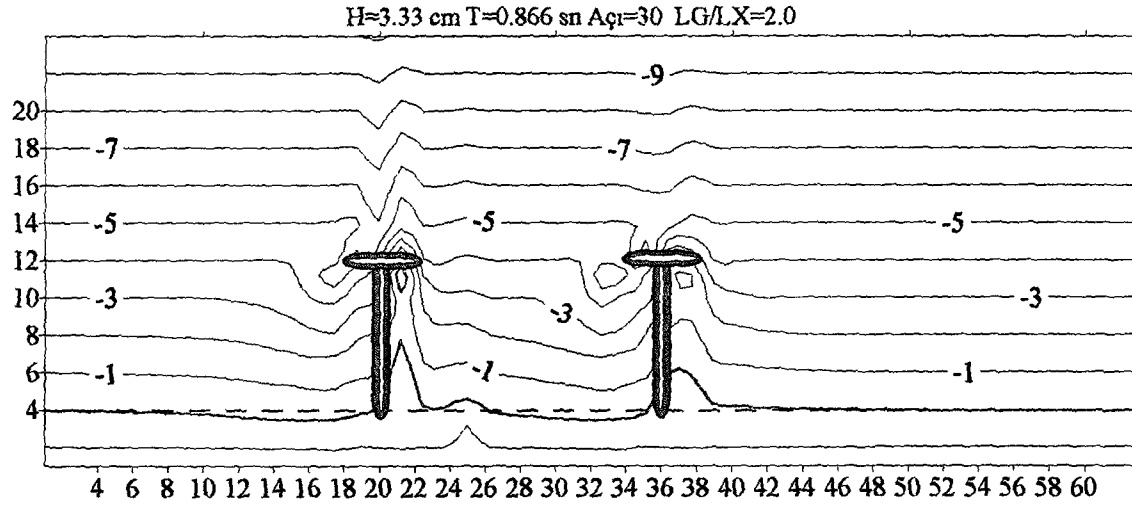
Ek şekil 43. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 22)



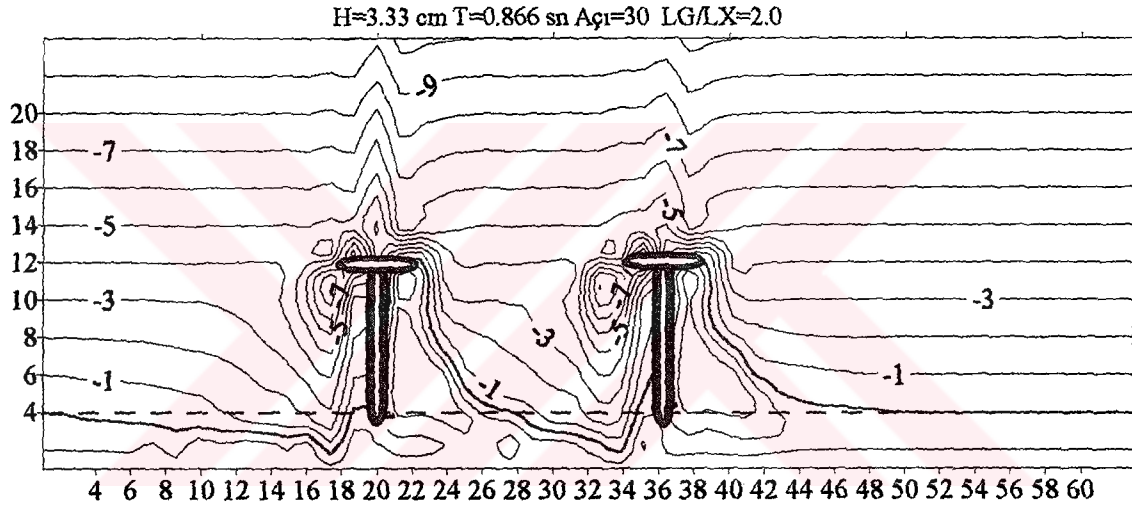
Ek şekil 44. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)



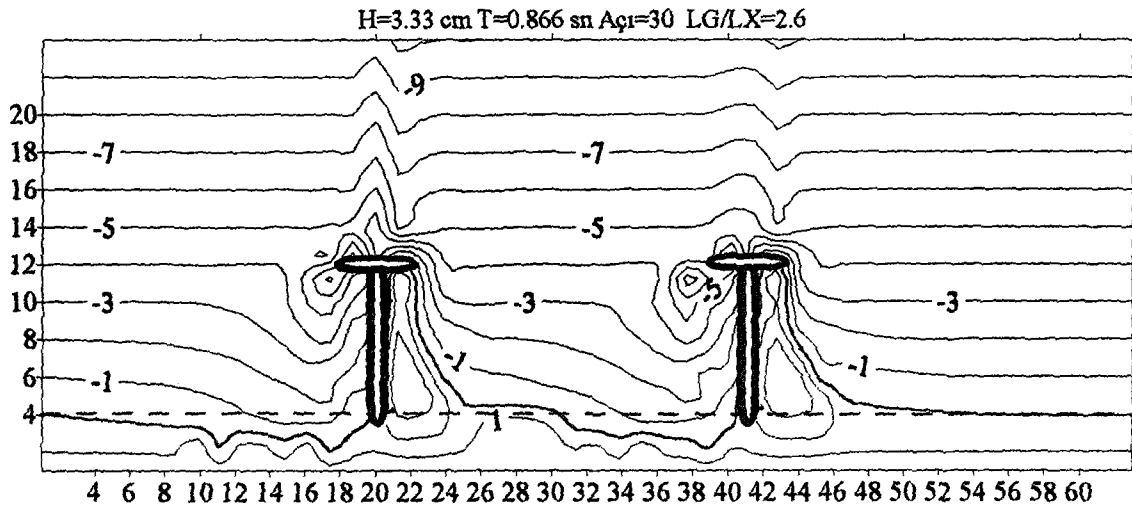
Ek şekil 45. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)



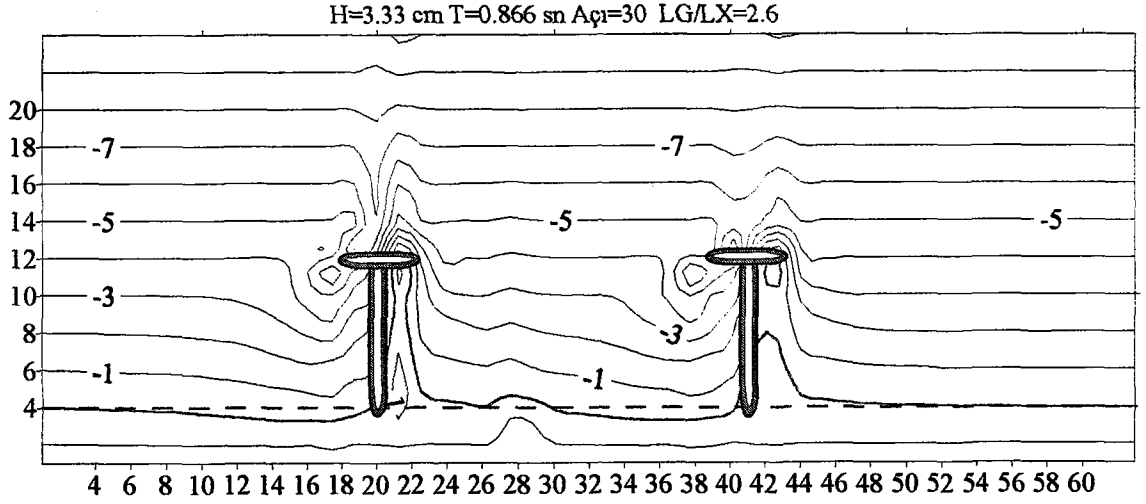
Ek şekil 46. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)



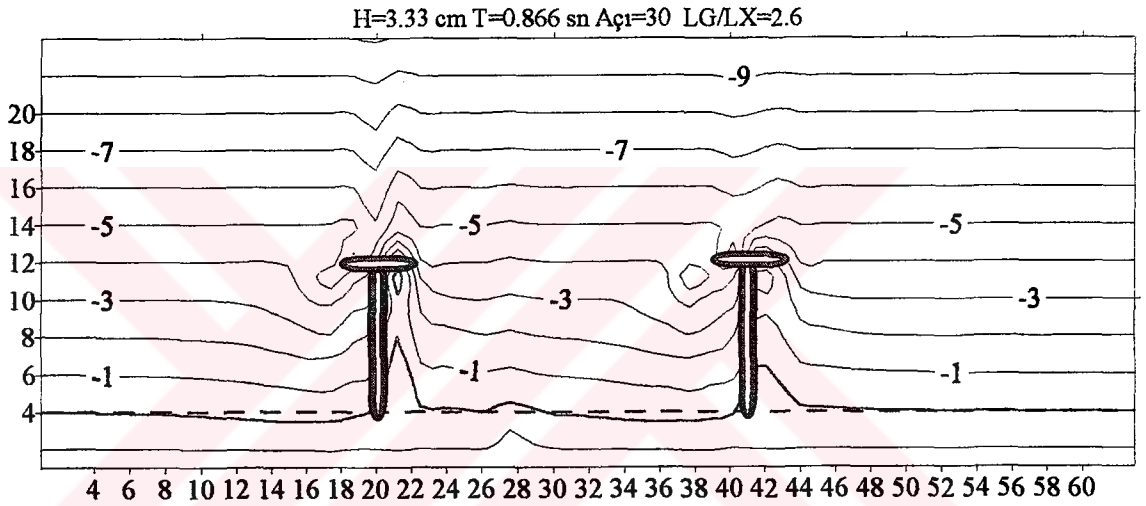
Ek şekil 47. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 27)



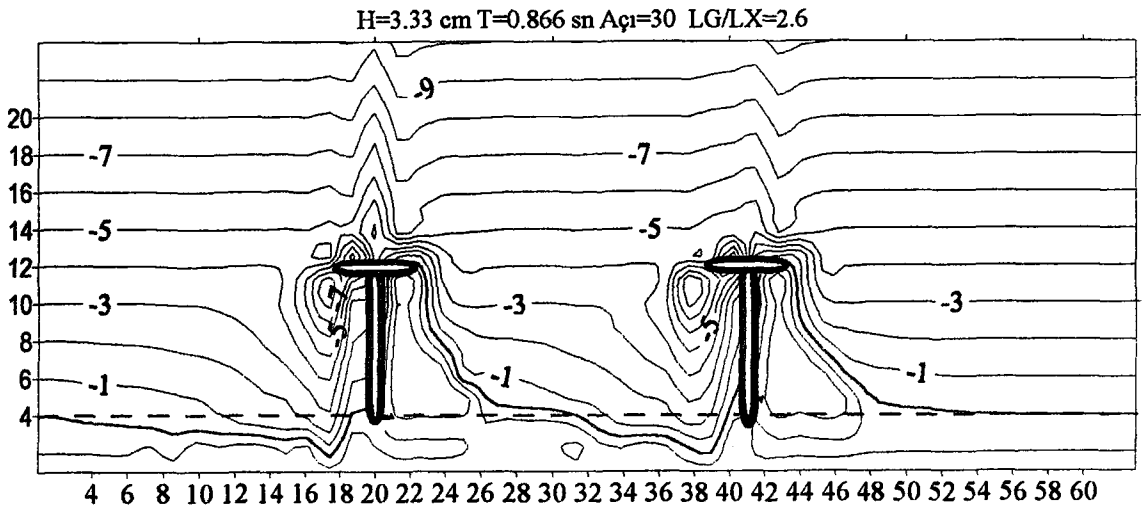
Ek şekil 48. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)



Ek şekil 49. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)

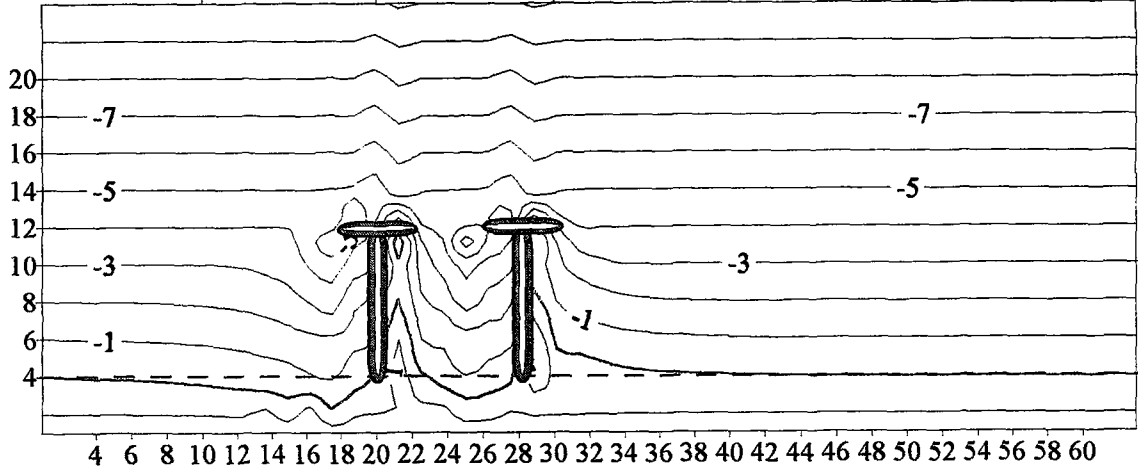


Ek şekil 50. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)



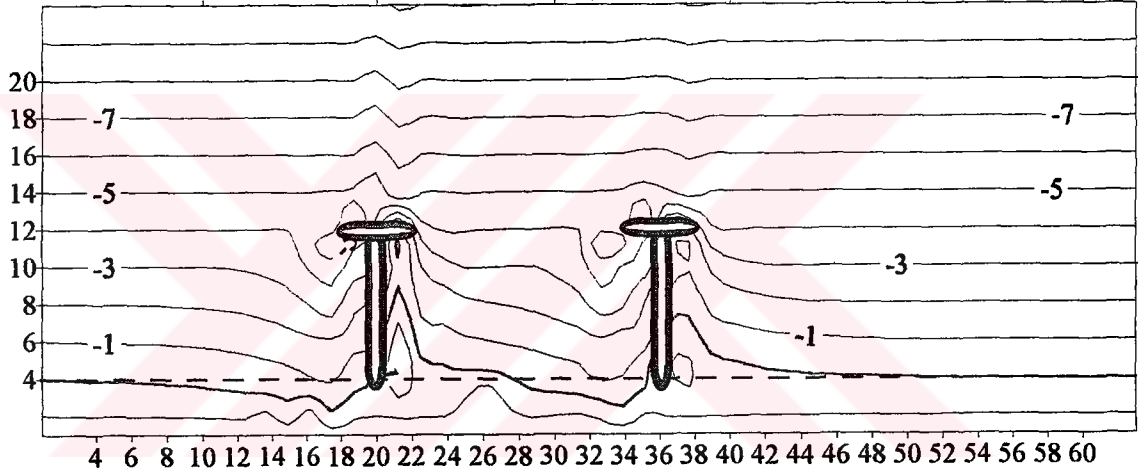
Ek şekil 51. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 30)

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=1.0



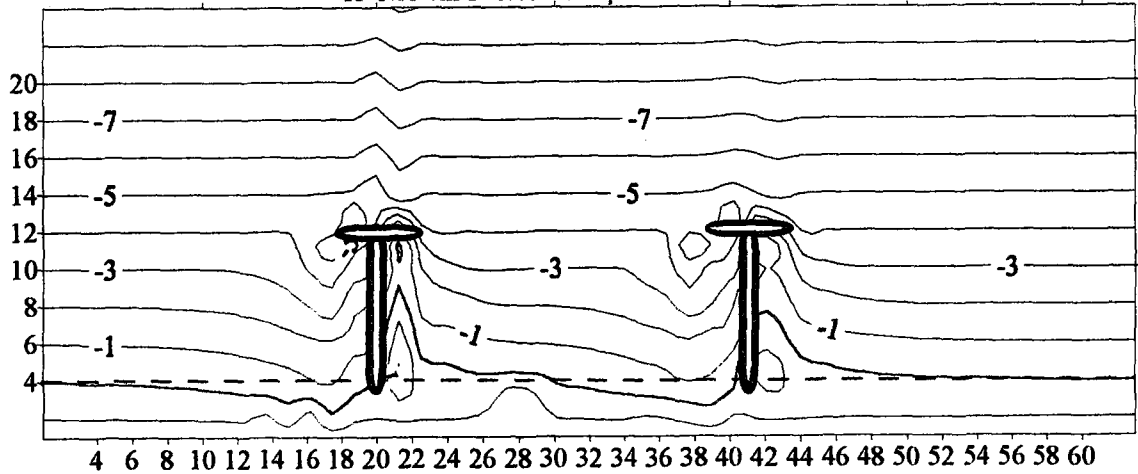
Ek şekil 52. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 66)

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=2.0

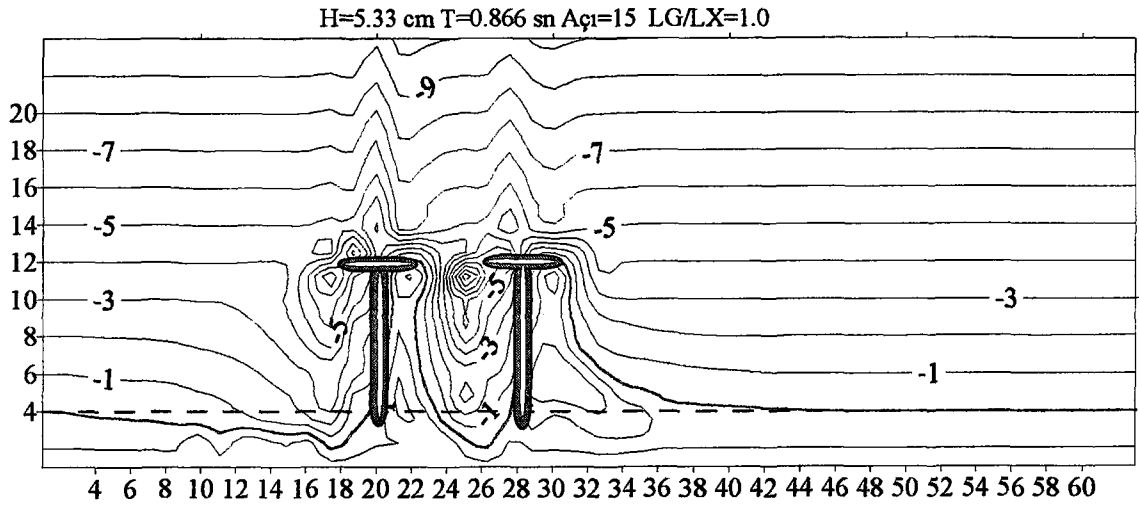


Ek şekil 53. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 69)

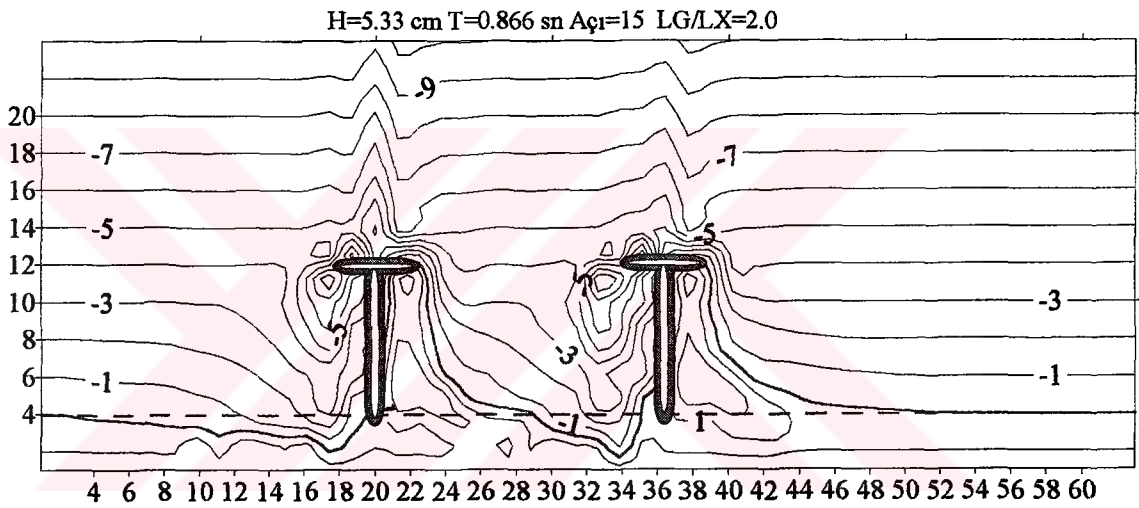
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=15 LG/LX=2.6



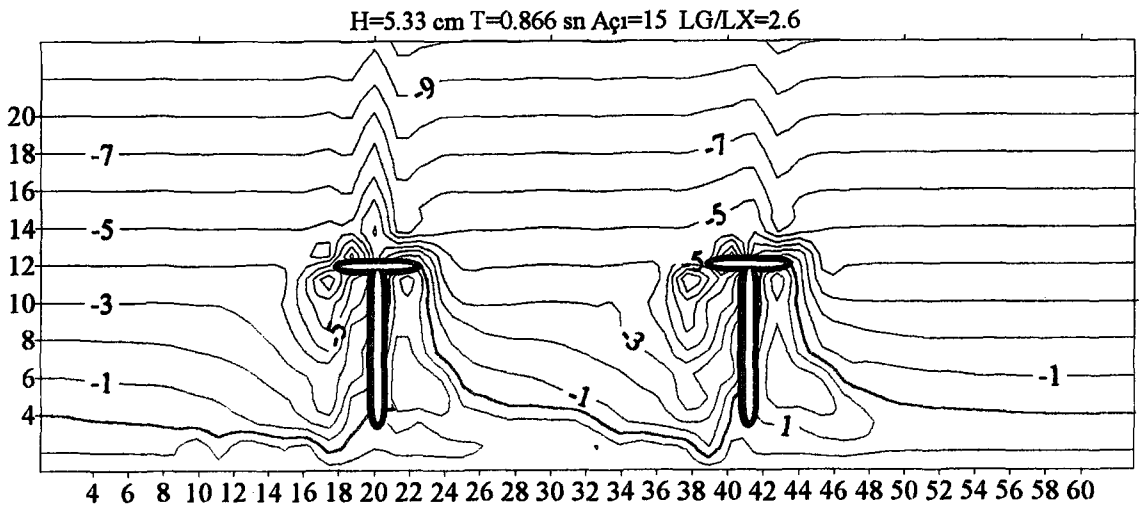
Ek şekil 54. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 71)



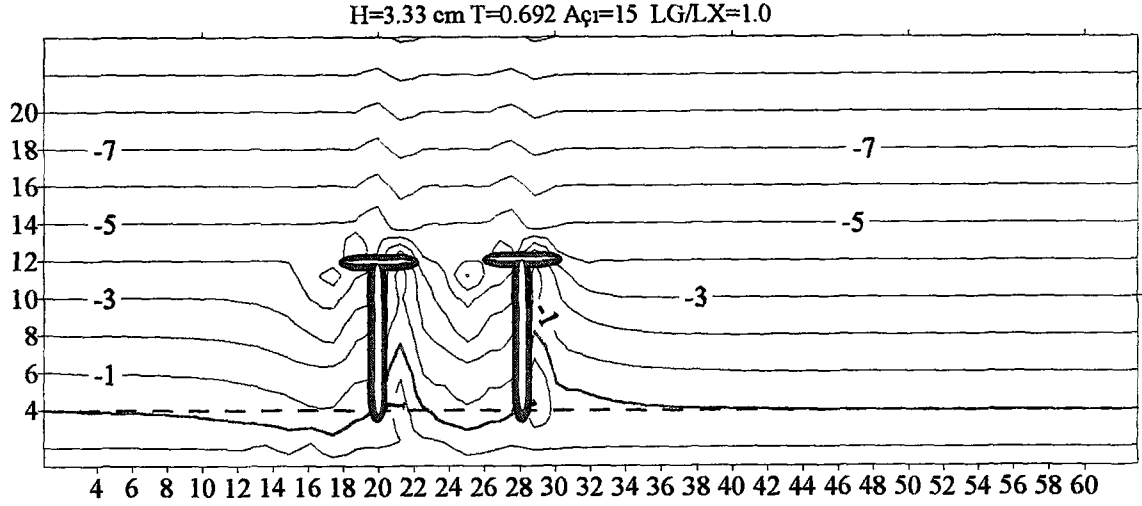
Ek şekil 55. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: ...)



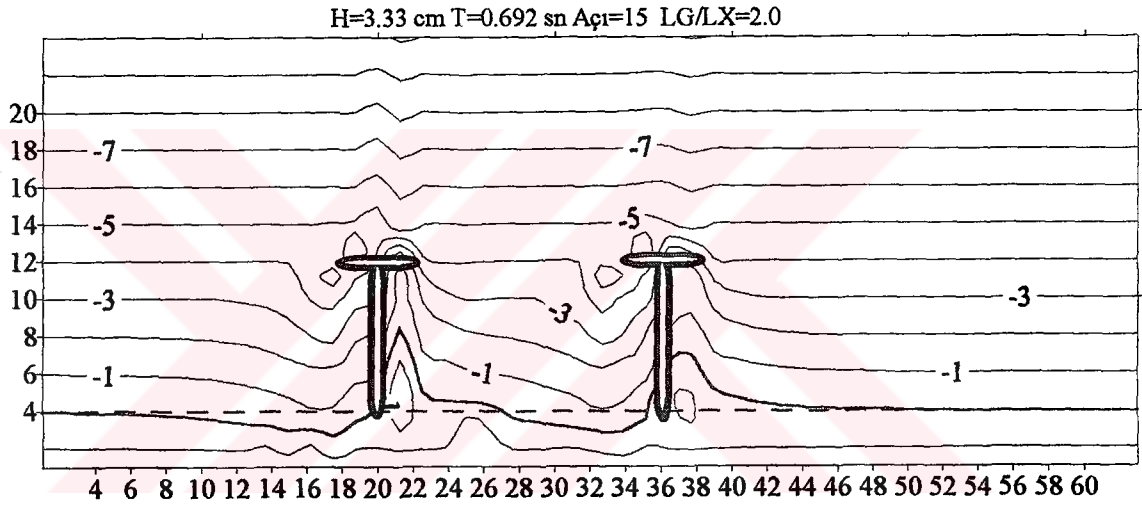
Ek şekil 56. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 74)



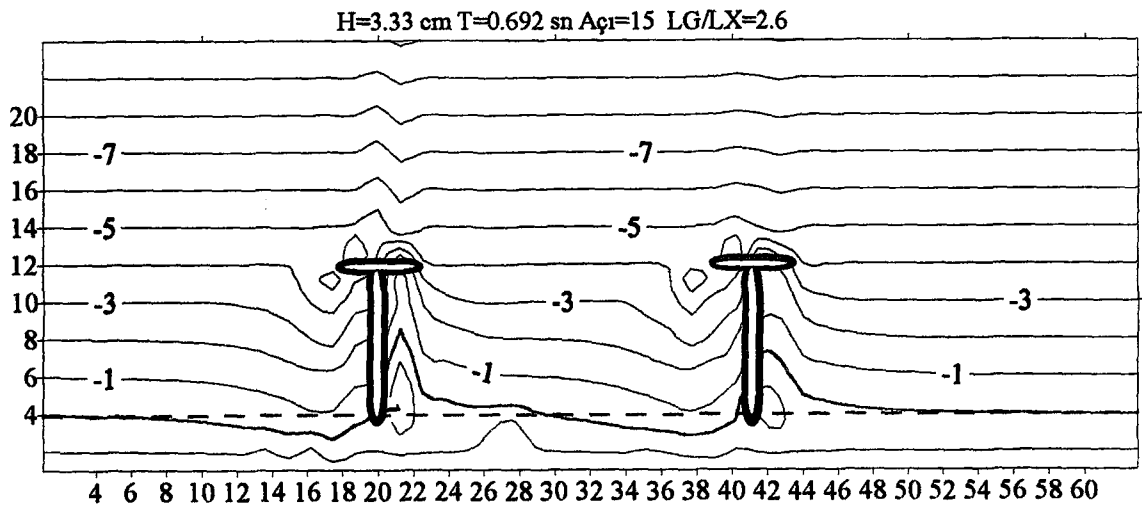
Ek şekil 57. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: ...)



Ek Şekil 58. $x/x_b=0$ işin Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 76)

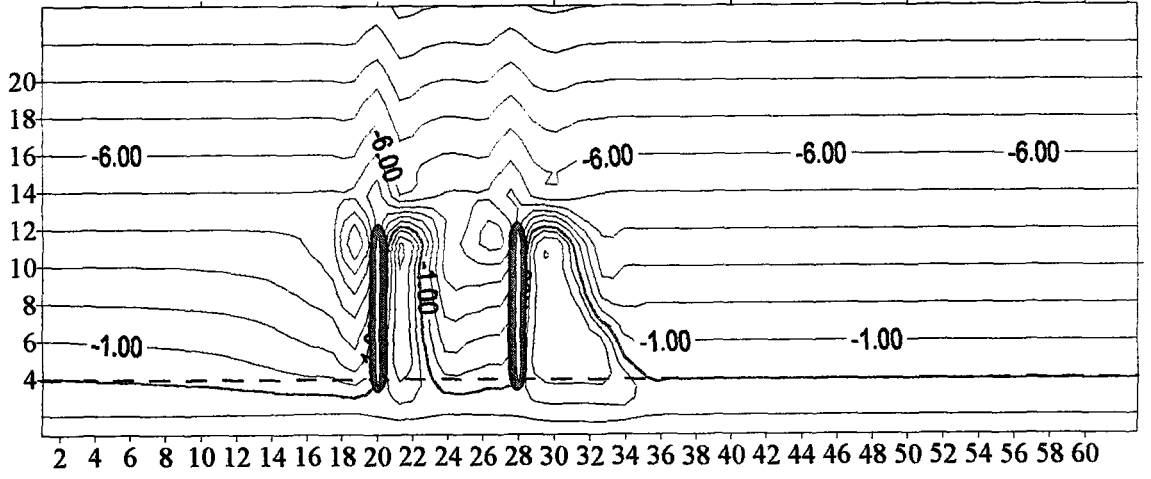


Ek Şekil 59. $x/x_b=0$ işin Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 79)



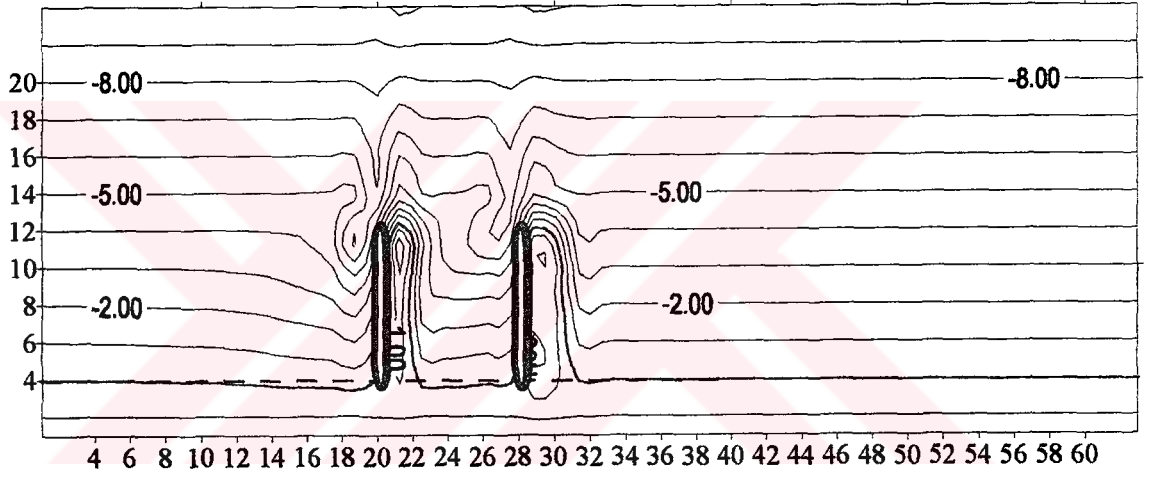
Ek Şekil 60. $x/x_b=0$ işin Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 80)

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.0



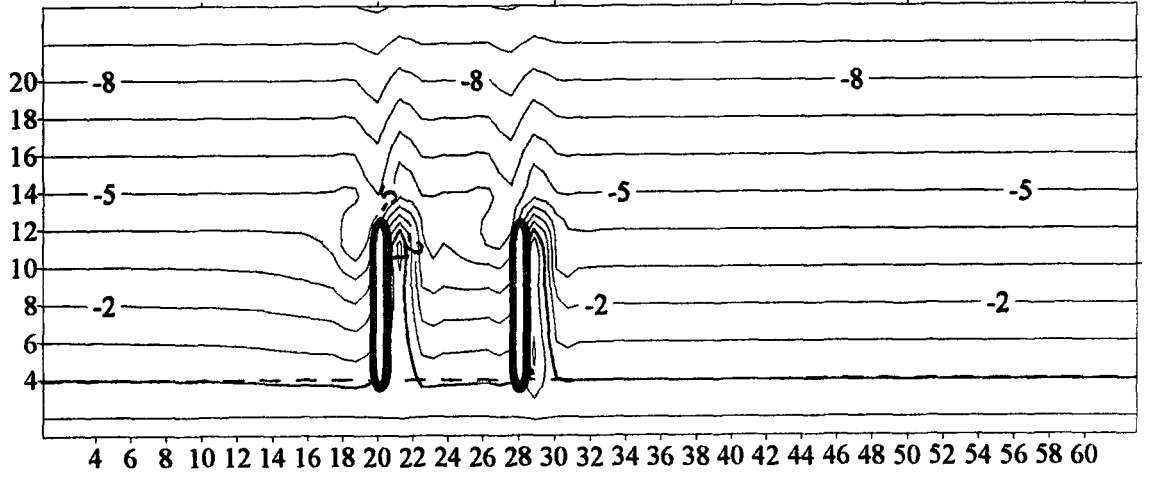
Ek şekil 61. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.0

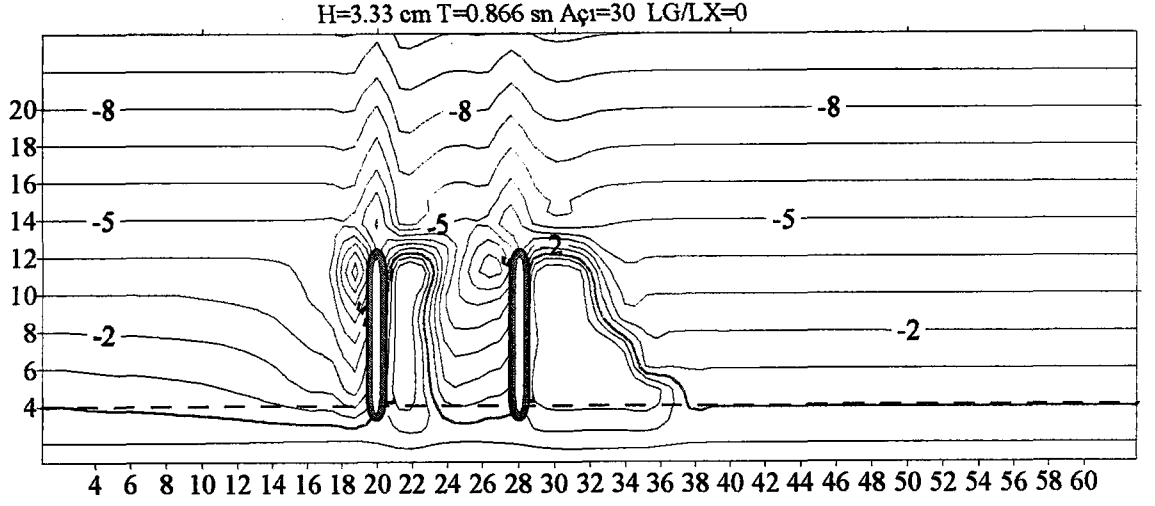


Ek şekil 62. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)

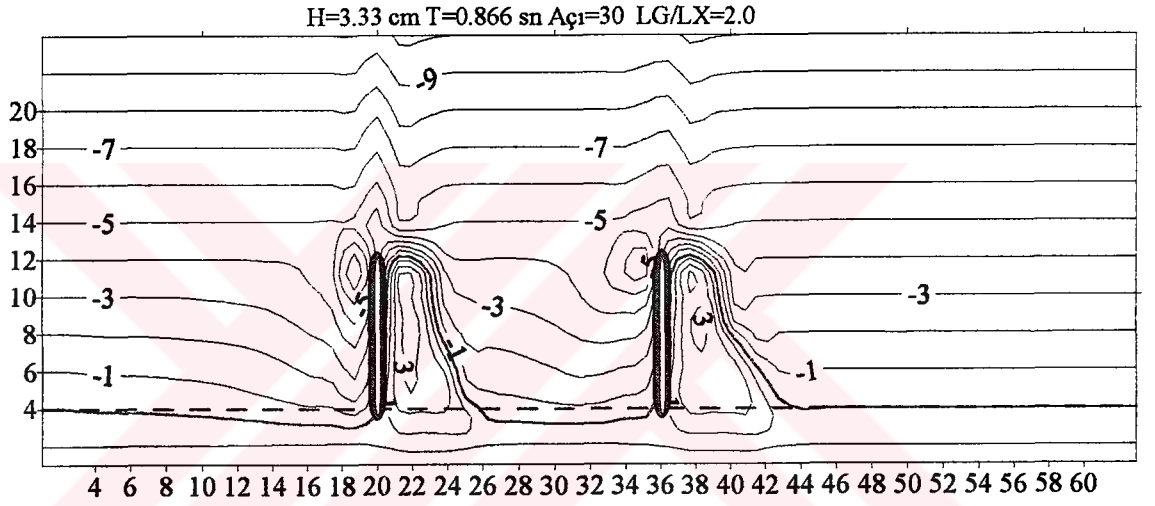
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=1.0



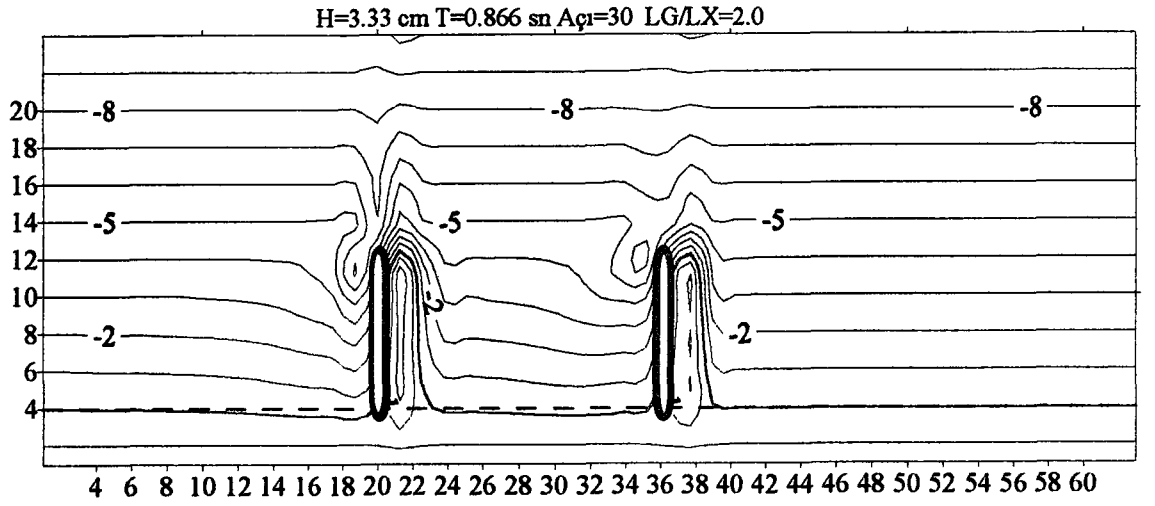
Ek şekil 63. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)



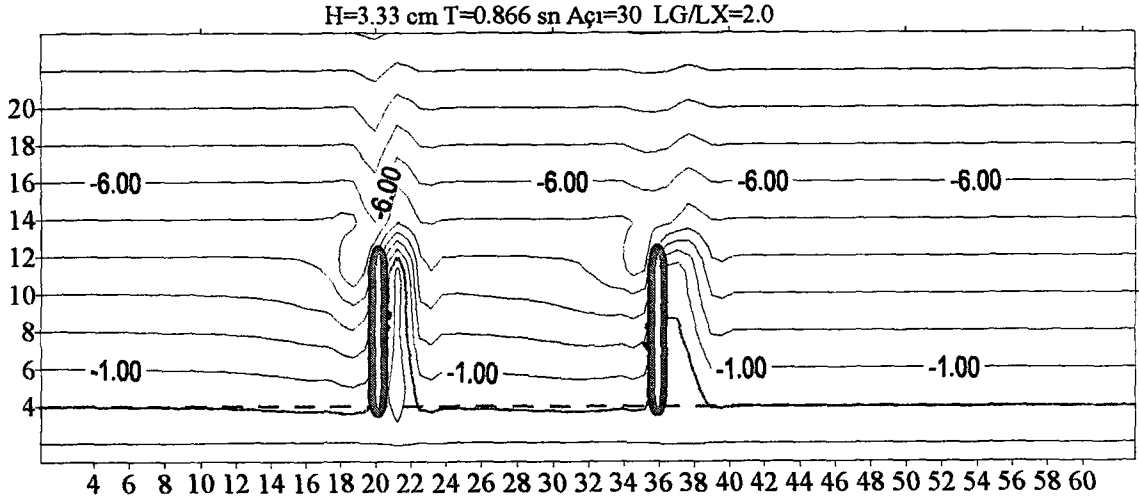
Ek şekil 64. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 81)



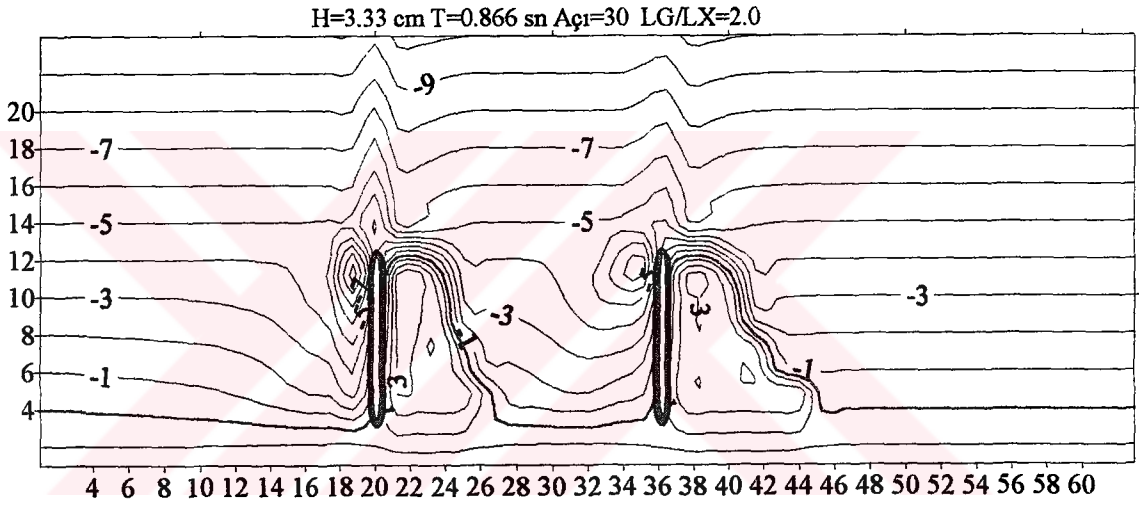
Ek şekil 65. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)



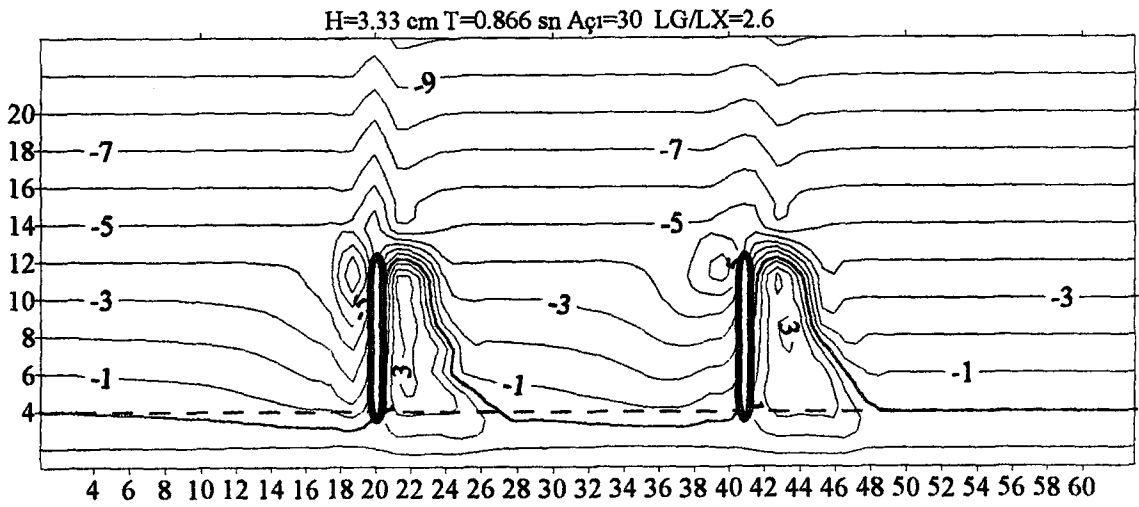
Ek şekil 66. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)



Ek şekil 67. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)

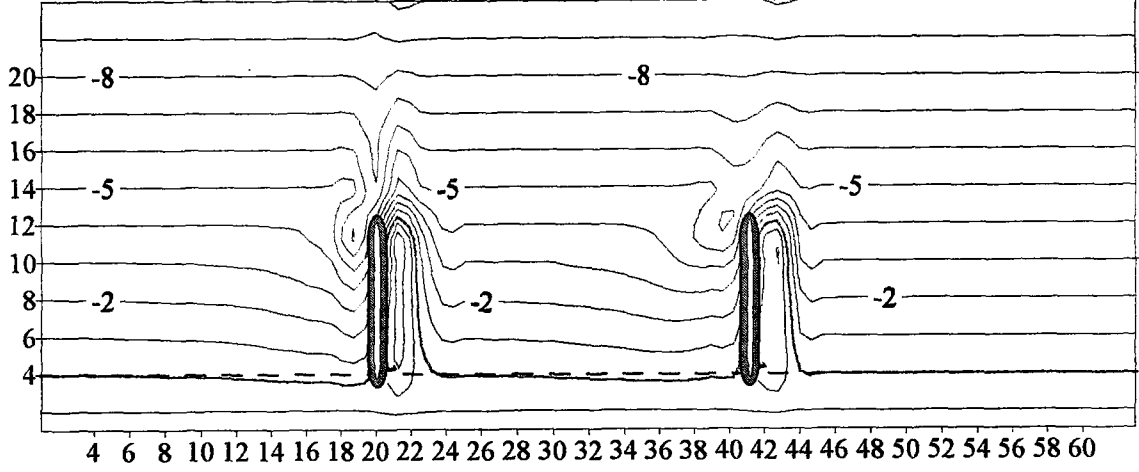


Ek şekil 68. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 84)



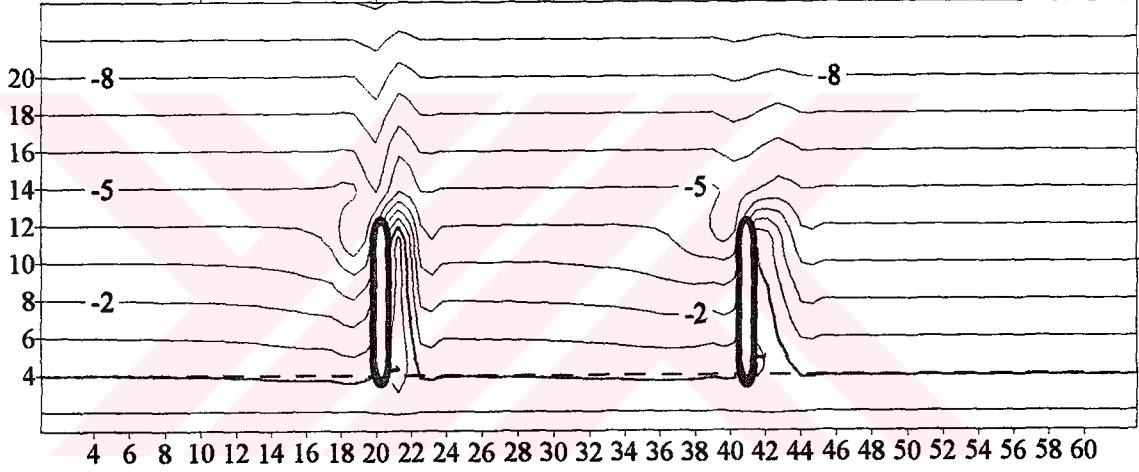
Ek şekil 69. $x/x_b=0$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 86)

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.6



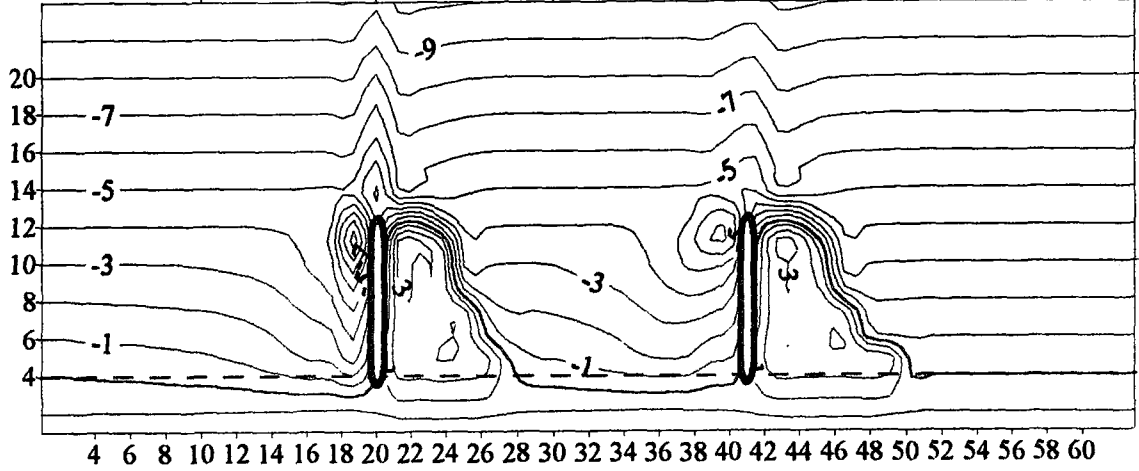
Ek şekil 70. $x/x_b=0.5$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 86)

H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.6

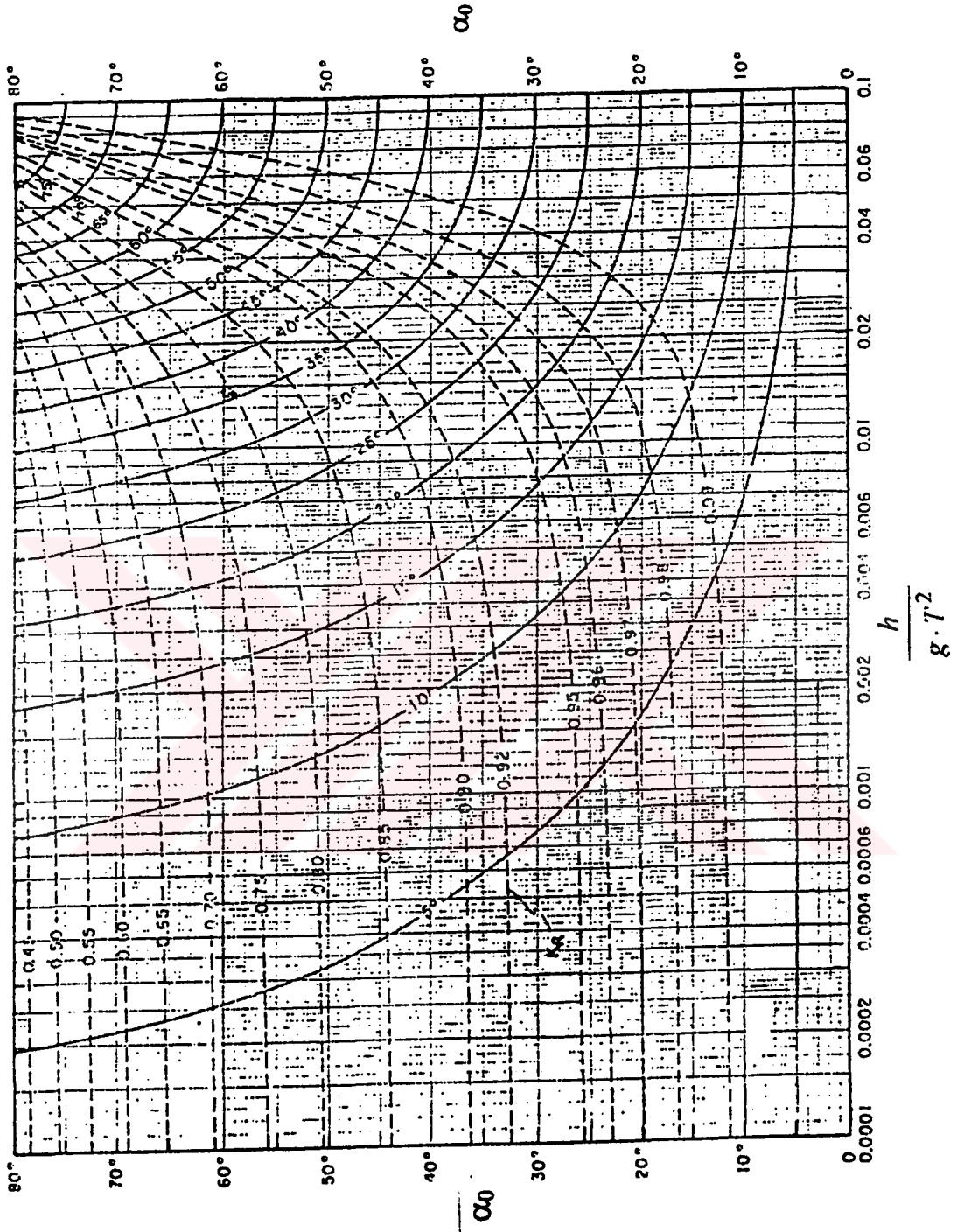


Ek şekil 71. $x/x_b=0.7$ için Cerc denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 86)

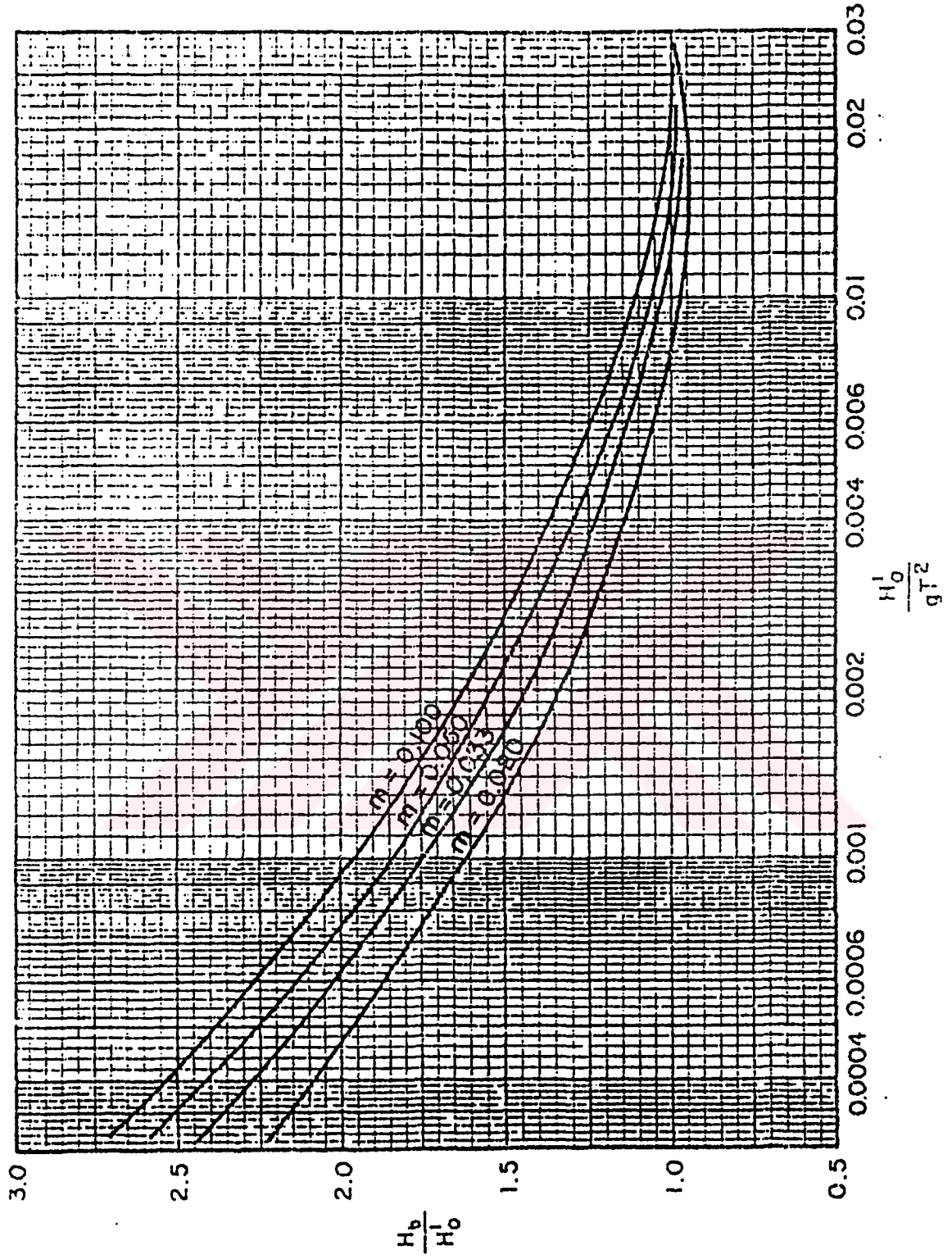
H=3.33 cm T=0.866 sn Aç=30 LG/LX=2.6



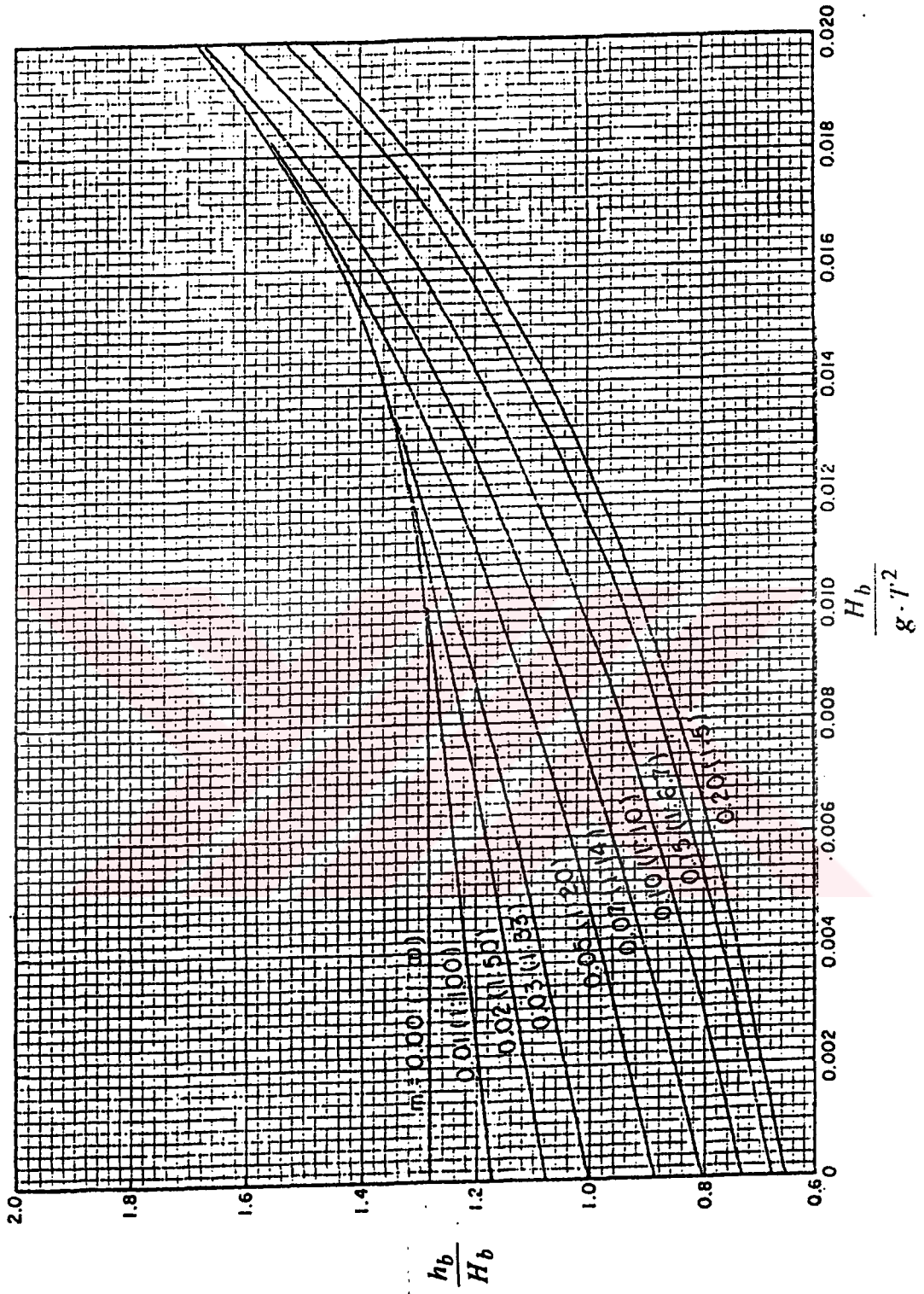
Ek şekil 72. $x/x_b=0$ için Kamphuis denklemi sonucu taban topoğrafyası (Deney no: 86)



Ek şekil 73. Düz paralel konturlarda dalga sapmasının bulunması



Ek şekil 74. Kırlan dalga yüksekliğinin bulunması



Ek şekil 75. Kırılma derinliğinin bulunması

8. ÖZGEÇMİŞ

1969 yılında Çorum'da doğdu. İlkokulu, Bahçelievler İlkokulu'nda, Ortaokulu Eti Ortaokulunda ve liseyi 1986 yılında Çorum Atatürk Lisesi'nde bitirdi. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne girdi. 1990 yılında mezun oldu ve beşinci olarak sınavsız yüksek lisansa girme hakkını kazandı. Kasım 1991'de açılan sınavı kazanarak, aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. Temmuz 1993'de yüksek lisansını bitirerek yüksek mühendis unvanını aldı. Eylül 1993'de açılan sınavı kazanarak doktora programına başladı. Halen aynı bölümde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

