

**DALGAKIRAN ARKASINDAKİ DALGALARIN KIRINIM KATSAYISININ
SAYISAL MODELLEME İLE HESAPLANMASI**

Hikmet KAPLAN	Ömer YÜKSEK	Murat İhsan KÖMÜRCÜ
Arş.Gör.	Doç.Dr.	Arş.Gör.
KTÜ GMF İnş.Müh.Böl.	KTÜ MMF İnş.Müh.Böl.	KTÜ İnş.Müh.Böl.
GÜMÜŞHANE/TÜRKİYE	TRABZON/TÜRKİYE	TRABZON/TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmada , düzenli ve düzensiz dalgaların tekil dalgakıran arkasındaki kırınım katsayılarının belirlenmesi, birbirleriyle karşılaştırılması ve dalgakıran içerisinde istenilen noktadaki dalga yüksekliğinin hesaplanması amacıyla bir sayısal model geliştirilmiş; bu sayısal modelin bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiş ve bu programın sonuçları irdelenmiştir. Sonuç olarak, düzensiz dalgaların kırınım katsayısı ile düzenli dalgaların kırınım katsayısı arasındaki farkın, θ ile θ_0 arasındaki farka göre değiştiği, özellikle θ açısının küçük olduğu bölgelerde, düzensiz dalgalarındaki kırınım katsayısı değerlerinin, düzenli dalgalarınkinin iki katına kadar çıktığı ve $\theta > \theta_0$ olması halinde, şu anda kullanılmakta olan kırınım katsayısı değerleriyle, bu programda hesaplanan değerler arasında %20' ye varan rölatif hataların olduğu belirlenmiştir. Ancak, pratikte çoğu defa $\theta < \theta_0$ olması durumuyla karşılaşıldığından, bu hatalar uygulama açısından önemli değildir.

1. AMAÇ

Bu çalışma , düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayılarının belirlenmesi ve birbirleriyle karşılaştırılması amacıyla yapılmıştır.

Dalgakıran arkasındaki dalga parametrelerinin belirlenmesinde ana faktör olan dalga kırınımı, kıyı ve liman yapılarının planlanmasında çok önemlidir. Dalga kırınımı konusunda yapılan araştırmaların büyük bir kısmında sadece düzenli dalgalar incelenmiştir. Oysa, dalgakıran arkasındaki dalgalar genelde düzensiz dalgalardır. Düzenli dalgalar ile düzensiz dalgaların kırınımı arasında önemli farklılıklar vardır. Düzensiz dalgalarda frekans ve yön arasında farklı bileşen enerjileri olduğu için farklı etkiler oluşur. Çalışmanın sonucunda, düzenli ve düzensiz dalga şartlarında kırınım katsayısını hesaplayan bir sayısal model ve bir bilgisayar programı geliştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Tekil Dalgakıran Arkasındaki Düzenli Dalgaların Kırınım Teorisi

2.1.1. Düzenli Dalgalar İçin Kırınım Katsayısının Hesaplanması

Herhangi bir dalgakıran arkasındaki dalgaların kırınım katsayısı, kırınıma uğramış dalga yüksekliğinin gelen (etkilenmemiş) dalga yüksekliğine oranı olarak tarif edilir ve bağlı olduğu parametreler aşağıda gösterilmiştir.

$$K_d = K_d \left(\theta_0, \theta, \frac{r}{L} \right) \quad (1)$$

Kırınım katsayısı; gelen dalganın dalgakıranla yaptığı açığa (θ_0), kırınım katsayısı hesaplanacak olan noktanın dalgakıranla yaptığı açığa (θ) ve dalgakıran ucu ile ilgili nokta arasındaki mesafenin (r), dalga boyuna (L) oranının (r/L) bir fonksiyonudur.

$$K_d = K_d(u_1, u_2) \quad (2)$$

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_1 ve u_2 'nin mutlak değerleri alınır, dalga alanlarının üç bölgesi için kırınım katsayılarını gösteren fonksiyonlar gösterilmektedir

$$u^2_1 = 4 \left\{ \frac{r}{L} [1 - \cos(\theta_0 - \theta)] \right\} \quad (3)$$

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

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

$$F(r, \theta) = f(-u_1) e^{-ikr \cos(\theta_0 - \theta)} + Rg'(-u_2) e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \quad (5)$$

Burada, $k=2\pi/L$ (dalga sayısı)'dir. (5) no'lu denklemin sağ tarafındaki ilk terim gelen dalganın kırınımını, ikinci terim yansımış dalganın kırınımını, R ise yansıma katsayısını göstermektedir.

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

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} - f(-u_1) e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} + Rg'(-u_2) e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \quad (6)$$

Denklem 6'nın sağ tarafındaki ilk terim gelen dalgayı , ikinci terim gelen dalğanın yayılmasını , üçüncü terim ise yansımış dalğanın kırınımını gösterir.

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

$$F(r, \theta) = e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} - f(-u_1) e^{-ikr \cos(\theta - \theta_0)} + R \left(e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} - g'(-u_2) e^{-ikr \cos(\theta + \theta_0)} \right) \quad (7)$$

Denklem 7'nin sağ tarafındaki ilk terim gelen dalgayı, ikinci terim gelen dalğanın yayılmasını , üçüncü terim yansımış dalgayı ve dördüncü terim ise yansımış dalğanın yayılmasını gösterir.

$$f(-u) = g'(1-u) = \frac{1}{2} [(1-c-s) + i(s-c)] \quad (8)$$

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

$$|f(-u)| = \frac{1}{\sqrt{2}\pi u} \tan\left[\frac{\pi u}{\sqrt{2}} \exp(-0.4u^{0.6}) \right] \quad (9)$$

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

$$K_d = |F(r, \theta)| \quad (10)$$

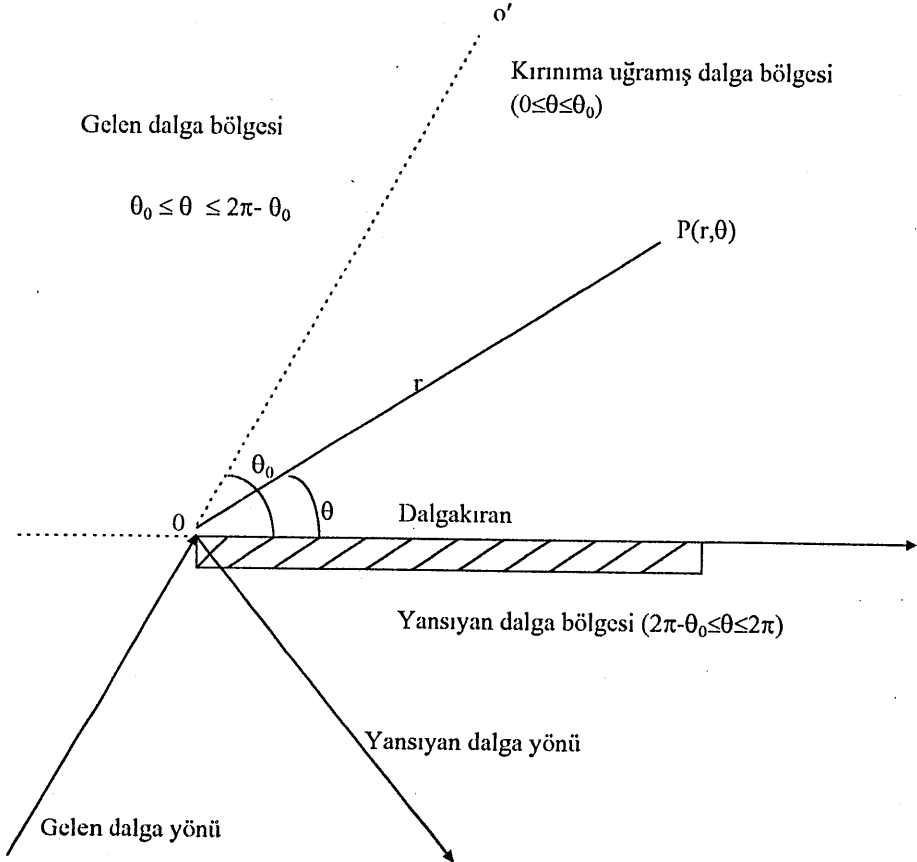
$\theta=180^\circ$ olduğunda , $R=0$ alınmalıdır.

2.1.2. Düzensiz Dalgalar İçin Kırınım Katsayısının Hesaplanması

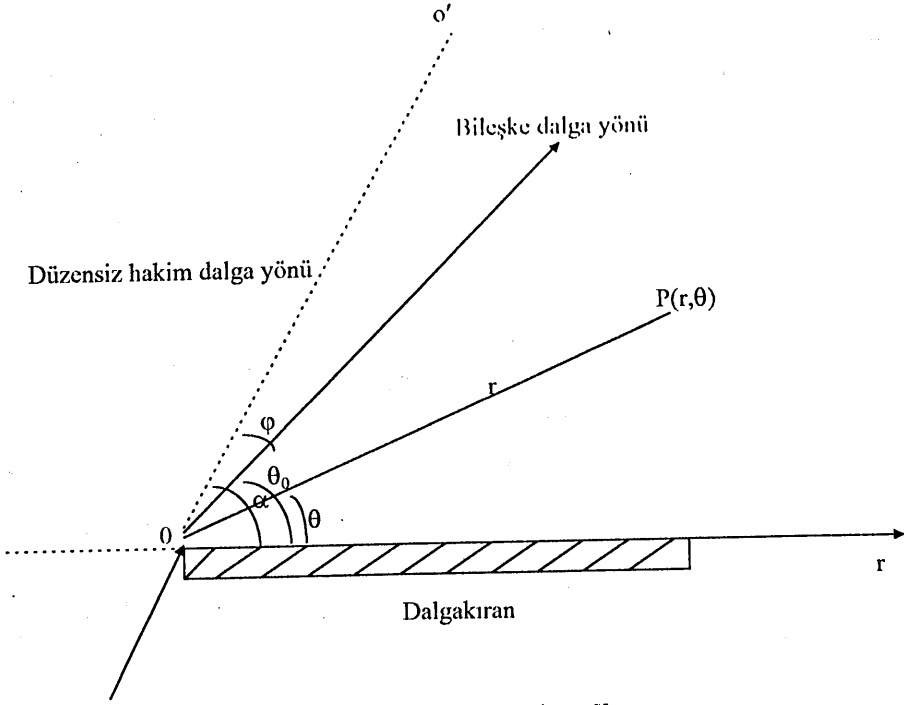
Ölçülmüş veri analizleri ve teorik dalga spektrumu araştırmaları göstermiştir ki, doğal dalgalar, frekansları ve yönleri farklı düzenli dalgalardan oluşmuş düzensiz dalgalar

topluluğudur. α ve φ , sırasıyla esas dalga yönü ve etkin dalga bileşen yönü arasındaki açı, yarı sonsuz dalgakıran absisi ve düzensiz dalgaların asıl yönü arasındaki açı olarak ifade edilirler. $D(f, \varphi)$ iki boyutlu enerji spektrumunda , φ değeri , saat dönüş yönünde pozitifdir.

$$D(f, \varphi) = F(f, \varphi) \cdot S(f) \quad (11)$$



Şekil 1. Üç dalga bölgesinin dağılımı



Şekil 2. Düzensiz Dalgaların Kırınımı

Burada , $S(f)$; enerji fonksiyonunun yoğunluk fonksiyonu, $F(f, \varphi)$; verilen spektrumun yayılma dağılım yönüdür. Dalga spektrum teorisine göre ; gelen dalganın ortalama yüksekliği şöyle hesaplanır:

$$\overline{(h_0)^2} = \pi \int_0^{\varphi_2} \int_{\varphi_1}^{\infty} D(f, \varphi) d\varphi df = \pi \int_0^{\varphi_2} \int_{\varphi_1}^{\infty} F(f, \varphi) S(f) d\varphi df \quad (12)$$

Küçük limanlarda hakim dalga yönündeki yayılmış dalga bileşenleri ihmal edilebilir. φ_1 , φ_2 'nin sırasıyla küçük ve büyük değerleri φ açısına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\begin{aligned} \alpha \leq \pi/2 \quad \text{isc} \quad \varphi_1 &= -\pi/2 ; \quad \varphi_2 = \alpha \\ \varphi > \pi/2 \quad \text{isc} \quad \varphi_1 &= \alpha - \pi ; \quad \varphi_2 = \pi/2 \end{aligned}$$

P noktasında kırınımına uğramış ortalama dalga yüksekliği şöyle bulunur:

$$\overline{(h_p)^2} = \pi \int_0^{\varphi_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f, \varphi) K_d^2 d\varphi df = \pi \int_0^{\varphi_2} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} F(f, \varphi) S(f) K_d^2 d\varphi df \quad (13)$$

Burada; K_d : Kırınım katsayısı , L : Hakim dalga bileşeni boyu , T : Periyod ise L ve T arasındaki denklem aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{L}\right) \quad (14)$$

Ortalama periyod (\bar{T}), karakteristik dalga boyu (\bar{L}) ise,

$$\bar{L} = \frac{g\bar{T}^2}{2\pi} \tanh\left(\frac{2\pi d}{\bar{L}}\right) \quad (15)$$

Boyutsuz büyüklükler olarak;

$$T^* = \frac{T}{\bar{T}} = \frac{\bar{f}}{f} = \frac{1}{f^*} \quad (16)$$

$$L^* = \frac{L}{\bar{L}} \quad (17)$$

$$d^* = \frac{d}{\bar{L}} \quad (18)$$

Boyutsuz yön spektrum fonksiyonu $D(f^*, \varphi)$ ' dir:

$$D(f^*, \varphi) = \frac{D(f, \varphi)}{H^2 \bar{T}} = F(f^*, \varphi) S(f^*) \quad (19)$$

$$L^* = f^{*-2} \frac{\tanh\left(\frac{2\pi d^*}{L^*}\right)}{\tanh(2\pi d^*)} \quad (20)$$

Denklem (20) boyutsuz uzayda dinamik ve hareketli sınır şartında geliştirildi. Bu yüzden, frekans ve spektrum istikametindeki düzensiz dalgaların kırınım katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$(K_d)_n = \frac{\overline{h_p}}{h_0} = \left[\frac{\int_0^{\varphi_1} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f^*, \varphi) K_d d\varphi df^*}{\int_0^{\infty} \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} D(f^*, \varphi) d\varphi df^*} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (21)$$

Tek yönlü frekans spektrumu göz önünde tutulursa, düzensiz dalgaların kırınım katsayısı aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$(K_d)_i = \frac{\overline{h_p}}{h_0} = \left[\frac{\int_0^{\infty} S(f^*) K_d^2 df^*}{m_0^*} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (22)$$

Burada m_0^* boyutsuz frekans spektrumunun en aşağı noktadaki momentidir.

$$m_0^* = \int_0^{\infty} S(f^*) df^* \quad (23)$$

2.2. Kırınım Katsayısının Hesabı İçin Geliştirilmiş Sayısal Modelin Bilgisayar

Programı

Geliştirilmiş bilgisayar programı ile, θ , θ_0 ve r/L değerleri girilerek düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayıları hesaplanabilmektedir. Program, θ ve θ_0 açı değerlerinin istenilen her değerinde ve r/L ' nin tüm değerleri için kırınım katsayılarını hesaplayabilmektedir. Hesaplanan kırınım katsayıları tablo değerleri ile karşılaştırarak rölatif hataları bulunmuştur.

Düzenli dalgaların hesaplanmasında, (3), (4), (9) ve dalga gelen dalganın düştüğü bölgeye göre (5), (6), (7) denklemleri, düzensiz dalgalarda ise, (3),(4), (9) ve dalga gelen dalganın düştüğü bölgeye göre (5), (6), (7) , (21) denklemleri kullanılarak kırınım katsayısı hesaplanmıştır. Bilgisayar programının akış diyagramı Şekil 3'te verilmiştir.

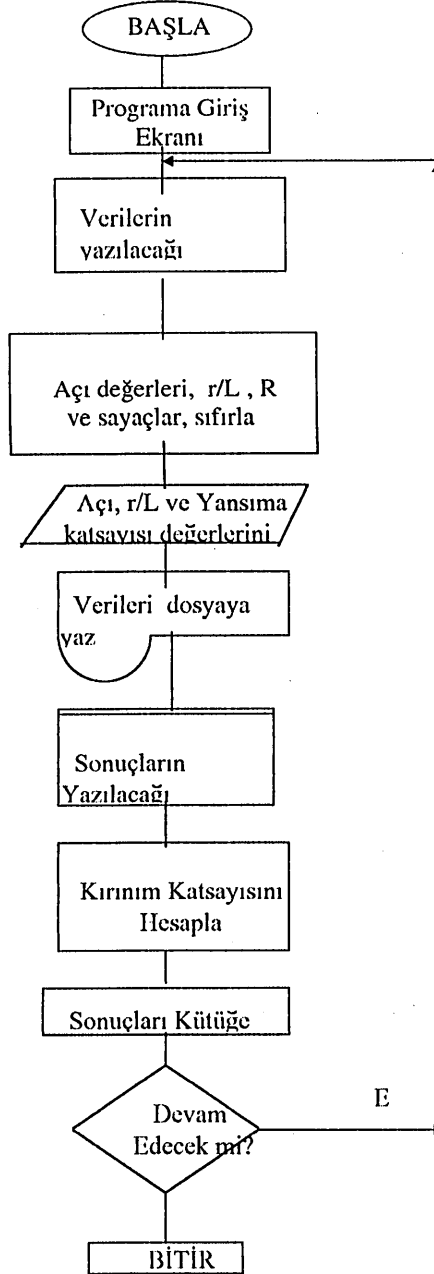
3. BULGULAR

Bölüm 2.2' de açıklanan programın çalıştırılması ile düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayısı , θ , θ_0 ve r/L 'nin değerleri klavyeden girilerek kırınım katsayıları hesaplanmıştır. Tablo değerleri ile hesaplanan düzenli dalgaların kırınım katsayılarının farkının mutlak değerini 100 ile çarpıp, tablo değerlerine oranı bulunmuştur. Bu orana rölatif hata denir. Program çıktısının bir örnek sayfası Tablo 1'de gösterilmektedir.

4. İRDELEME

4.1. Hata Oranları

$\theta > \theta_0$ olması halinde, tablodaki değerlerle hesaplanan değerler arasında %20' ye varan rölatif hatalar gözlenmektedir. Ancak, bu hatalar mühendislik açısından önemli değildir. Çünkü, uygulamada çoğu defa $\theta < \theta_0$ olması durumuyla karşılaşılmaktadır. Hesaplanan kırınım katsayıları, sadece düzenli dalgalar için hazırlanan tablo değerleri ile karşılaştırılabilmektedir. Ancak, düzensiz dalgalar için tablo değerleri bulunmadığından, karşılaştırma yapılmasına imkan bulunmamaktadır. Bu değerler, deneysel sonuçlarla karşılaştırılabilir. Ancak, bu çalışmanın kapsamı içinde fiziksel deney çalışmaları yapılmamıştır.



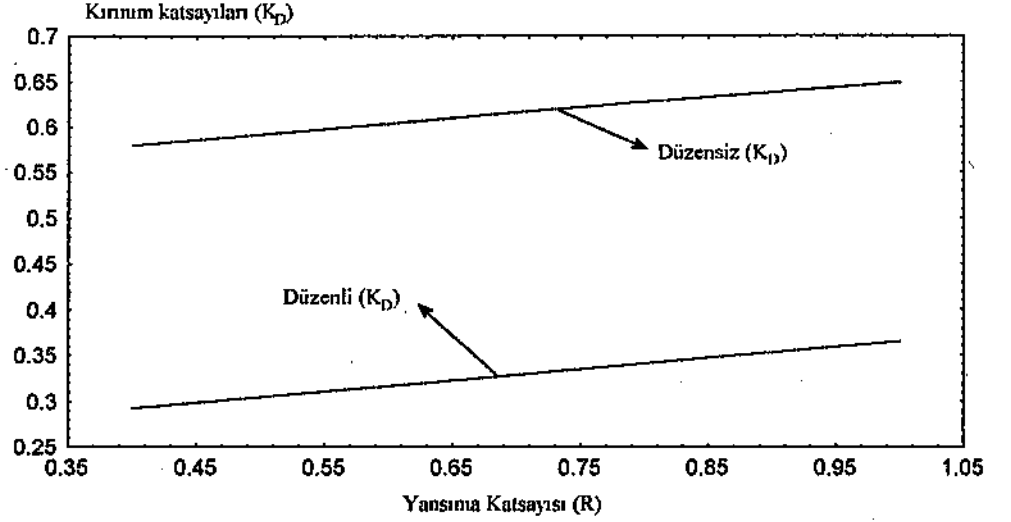
Şekil 3. Programın Akış Diyagramı

Tablo 1. Bilgisayar Program Çıktısı Örneği

r/L	θ	θ_0	Düzenli K_n	Düzensiz K_n	Tablo Değerle ri	Relatif Hata
0,5	0	15	0,776	0,927	0,49	58,37
0,5	0	30	0,613	0,835	0,61	0,49
0,5	0	45	0,491	0,747	0,49	0,2
0,5	0	60	0,406	0,676	0,4	1,5
0,5	0	75	0,346	0,589	0,34	1,76
0,5	0	90	0,304	0,552	0,31	1,94
0,5	0	105	0,274	0,524	0,28	2,14
0,5	0	120	0,253	0,503	0,25	1,2
0,5	0	135	0,238	0,488	0,24	0,83
0,5	0	150	0,228	0,478	0,23	0,87
0,5	0	165	0,223	0,472	0,23	3,04
0,5	0	180	0,221	0,47	0,2	10,5
0,5	15	15	0,794	0,92	0,79	0,51
0,5	15	30	0,634	0,842	0,63	0,63
0,5	15	45	0,51	0,759	0,5	2
0,5	15	60	0,419	0,688	0,41	2,2
0,5	15	75	0,355	0,633	0,35	1,43
0,5	15	90	0,31	0,557	0,31	0
0,5	15	105	0,279	0,528	0,28	0,36
0,5	15	120	0,256	0,506	0,26	1,54
0,5	15	135	0,241	0,491	0,24	0,42
0,5	15	150	0,231	0,48	0,23	0,43
0,5	15	165	0,225	0,474	0,23	2,17
0,5	15	180	0,223	0,472	0,25	10,8
0,5	30	15	0,857	0,921	0,83	3,25
0,5	30	30	0,69	0,853	0,68	1,47
0,5	30	45	0,561	0,79	0,55	2
0,5	30	60	0,459	0,721	0,45	2
0,5	30	75	0,383	0,661	0,38	0,79
0,5	30	90	0,33	0,614	0,33	0
0,5	30	105	0,292	0,541	0,29	0,69
0,5	30	120	0,266	0,516	0,27	1,48
0,5	30	135	0,249	0,499	0,25	0,4

4.2. Yansımaya Katsayısının Etkisi

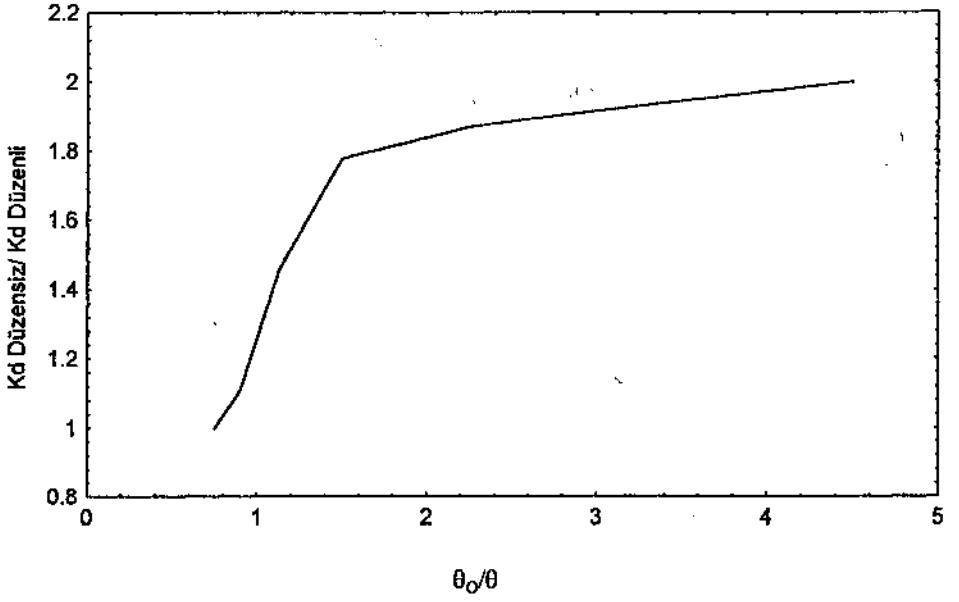
Yansımaya katsayısı değerleri büyüdükçe düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayıları da büyümektedir. Bu değerler örnek olarak seçilen bir dalga grubu için ($r/L=0.5, \theta=45^\circ, \theta_0=90^\circ$) Şekil 4te gösterilmektedir.



Şekil 4. Yansımaya Katsayısının Kırınım Katsayısına Etkisi

4.3. Düzensiz Dalgaların Etkisi

Düzensiz dalgaların kırınım katsayısı ile düzenli dalgaların kırınım katsayısı arasındaki fark, θ ile θ_0 arasındaki farka göre değişmektedir. Özellikle θ açısının küçük olduğu bölgelerde, düzensiz dalgalandaki kırınım katsayısı değerleri, düzenli dalgalarınkinin iki katına kadar çıkabilmektedir. Bu etkiyi inceleyebilmek için, örnek olarak seçilen bir veri grubunun ($r/L=0.5, R=1.0, \theta_0=135^\circ$) sonuçları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Düzensiz Dalgaların Kırınım Etkisi

5. SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen başlıca sonuçlar şöyle özetlenebilir:

1. Düzenli ve düzensiz dalga şartlarında kırınım katsayısını hesaplayan bir sayısal model ve bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.
2. Yansıma katsayısı değerleri büyüdükçe düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayıları da büyümektedir.
3. Düzensiz dalgaların kırınım katsayısı ile düzenli dalgaların kırınım katsayısı arasındaki fark, θ ile θ_0 arasındaki farka göre değişmektedir. Özellikle θ açısının küçük

olduğu bölgelerde, düzensiz dalgalarındaki kırınım katsayısı değerleri, düzenli dalgalarınkinin iki katına kadar çıkabilmektedir.

4. $\theta > \theta_0$ olması halinde, tablodaki değerlerle hesaplanan değerler arasında %20' ye varan rölatif hatalar gözlenmektedir. Ancak, bu hatalar mühendislik açısından önemli değildir. Çünkü, uygulamada çoğu defa $\theta < \theta_0$ olması durumuyla karşılaşılmaktadır.

Bu çalışmada, düzenli ve düzensiz dalgaların kırınım katsayısı sayısal modelleme ile hesaplanmaktadır. Bu program tekil dalgakıran arkasındaki dalgaların kırınım katsayısını hesaplayabilmektedir. İki dalgakıran arasında açıklık olması durumunda, kıyıya paralel olmayan yapıların ve tali mendirekli inşa edilen limanların arkasındaki kırınım katsayısını hesaplayamamaktadır. Kırılan dalgaların rıhtım duvarlarına çarpması sonucu oluşan dalga yığılmasını ve bunun sonucunda meydana gelen dalga ilave yüksekliklerini hesaplama imkanı vermemektedir. Bu konuları da kapsayan araştırmalar yapılmalıdır. Ayrıca, tüm sayısal model sonuçları, fiziksel model sonuçlarıyla ve arazi verileri ile karşılaştırılarak doğrulukları kontrol edilmelidir.

KAYNAKLAR

1. Kaplan, H., "Dalgakıran Arkasındaki Dalgaların Kırınım Katsayısının Sayısal Modelle Hesaplanması", Yüksek Lisans Tezi, KTÜ Fen Bil. Enst., İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Trabzon, 1997, 32 sayfa
2. Guoquan, Y., Zhixiong, M. ve Bingcan D., Computation of Diffraction of Irregular Waves Behind Single Jetty, China Ocean Engineering , 3 (1991) 321-334
3. Chae , J.W ve Jeong S.T , Current-Depth Refraction And Diffraction Model For Irregular Water Waves , Proceedings of the Twenty- Third Conference on Coastal Engineering (1992) 129-141
4. Watanabe, A. ve Maruyama K., Numerical Modeling Of Nearshore Wave Field Under Combined Refraction, Diffraction And Breaking , Coastal Engineering In Japan , 29 (1986) 19-39

5. Massel , S.R. , Extended Refraction- Diffraction Equation For Surface Waves, Coastal Engineering , 19 (1993) 97-126
6. Zhu, W. ve Liu P. L.-F., A Finite Model for Wave Refraction, Diffraction, Reflection and Dissipation , Applied Ocean Research , 11 (1989) 33-38

SUMMARY

**A NUMERICAL MODEL TO DETERMINE WAVE DIFFRACTION
COEFFICIENTS BEHIND BREAKWATERS**

In this study, a numerical model is studied to determine the diffraction coefficients both of regular and irregular waves behind a singular breakwater; and a computer programme is developed. It was concluded from the programme that the difference between diffraction coefficients of regular and irregular waves depends on the difference θ and θ_0 ; that in the regions where with small θ values diffraction coefficients of irregular waves are much greater than those of regular waves; and that when θ is greater than θ_0 , great relative errors are observed by using the developed model. However, since in practice θ is less than θ_0 , these errors are not important.