

75525

**TRİMARAN TEKNELERDE YAN TEKNELERİN BİLGİSAYARLA
KONUM OPTİMİZASYONU**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Murat KAYA

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 28 Nisan 1998

Tezin Savunulduğu Tarih : 27 Mayıs 1998

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Ömer GÖREN

Ömer Gören

Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Yücel ODABAŞI

Yücel Odabaşı

Doç. Dr. Aydın ŞALCI

Aydın Şalci

ÖNSÖZ

Son yıllarda piyasaların değişen talepleri nedeniyle tasarımcılar farklı gemi formları üzerinde çalışmalara yönelmişlerdir. Bu nedenle trimaran formlar üzerindeki çalışmalar da hız kazanmıştır. Öteden beri yatlarda görmeye alıştığımız trimaran formlar artık yüksek süratli yolcu gemilerine, charter teknelerine, hatta savaş gemilerine uygulanmaya başlamıştır. Ancak Türkiye'de bu formlar üzerinde kayda değer bir çalışma hemen hemen yok gibidir. Bu çalışma, trimaran formlar üzerindeki araştırmalara başlangıç teşkil edeceğini umut ediyorum.

Bu çalışmada başından sonuna kadar bana her türlü yardımı esirgemeyen, ihtiyacım olduğunda her an yanımda olan sayın hocam Prof. Dr. Ömer GÖREN'e sonsuz teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca, yardımlarını esirgemeyen sevgili arkadaşım Yük. Müh. Bülent DANIŞMAN'a ve her an bana moral kaynağı olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 1998

Murat KAYA

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	ii
SEMBOL LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
ÖZET	viii
SUMMARY	ix
BÖLÜM 1	
1.1 Giriş	1
BÖLÜM 2	
2.1 Trimaranların Dizayn Kriterleri	4
BÖLÜM 3	
3.1 İnce-Uzun Gemi Teorisi ile Dalga Direnci Hesabı	9
3.2 Yapılan Kabuller ve Sınır Şartlar	10
3.3 Trimaran Teknelerin Dalga Direnci	11
3.4 Dalga Direncinin Çadır Fonksiyonları Yardımıyla Hesaplanması	17
BÖLÜM 4	
Sayısal Hesaplamalar	26
BÖLÜM 5	
5.1 Sayısal Uygulamalar	31
5.2 Suzuki - Ikehata Formu	31
5.3 Yat Formu	50
BÖLÜM 6	
Sonuçlar ve Öneriler	67
KAYNAKLAR	69
EKLER	
Eka	70
ÖZGEÇMİŞ	72

SEMBOL LİSTESİ

L, LWL	: Su hattı boyu
B	: Su hattı genişliği
T	: Su çekimi
D	: Derinlik
Rw	: Dalga direnci
C _T	: Toplam direnç katsayısı
C _F	: Sürtünme direnci katsayısı
C _V	: Viskoz direnç katsayısı
C _w	: Dalga direnci katsayısı
P, Q	: Genlik fonksiyonları
Fn	: Froude sayısı
V	: Gemi hızı
γ_0	: $gL / 2c^2$
k ₀	: g / c^2
CWL	: Islak alan katsayısı
ϕ	: Hız potansiyeli
g	: Yerçekimi ivmesi
ρ	: Sıvı yoğunluğu
Y ₀ , y ₀	: Ana tekne ile yan teknelerin merkez düzlemleri arasındaki mesafe

ŞEKİL LİSTESİ

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1	160 m. Destroyerin DRA Haslar modeli	3
Şekil 1.2	160 m. Destroyerin DRA Haslar modeli	3
Şekil 2.1	Yelkenli spor teknelerinde, sakin sudaki statik stabilite eğrilerinin karşılaştırması	5
Şekil 2.2	Yelkenli spor teknelerinde büyük açılardaki statik stabilitenin geometrik karşılaştırması	8
Şekil 3.1	Boyutlu eksen takımı	10
Şekil 3.2	Trimaranın boyutsuz eksen takımı	12
Şekil 3.3	Boyutlu eksen takımı	17
Şekil 3.4	Posta ve suhatlarından oluşan ağ sistemi	17
Şekil 3.5	Birim çadır fonksiyonu	18
Şekil 3.6	Çadır fonksiyonu ile gemi yüzeyi tanımı	19
Şekil 3.7	White Horse Ferries Ltd.'ye ait 60 yolcu kapasiteli feribot	25
Şekil 4.1	Posta ve suhatlarından oluşan ağ sistemi	26
Şekil 4.2	Boyutsuz eksen takımı	27
Şekil 5.1	Trimaranın boyutsuz eksen takımı	31
Şekil 5.2	Trimaranda yan teknelerin boyuna konumları	33
Şekil 5.3	Suzuki - Ikehata formunun endazesi	34
Şekil 5.4	Suzuki - Ikehata formunun orta kesiti	35
Şekil 5.5	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	38
Şekil 5.6	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	39
Şekil 5.7	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	40
Şekil 5.8	Minimum dalga direnci konum eğrileri	41
Şekil 5.9	Minimum dalga direnci konum eğrileri	42
Şekil 5.10	Minimum dalga direnci konum eğrileri	43
Şekil 5.11	Minimum dalga direnci konum eğrileri	44
Şekil 5.12	Minimum dalga direnci konum eğrileri	45

		<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.13	$F_n = 0.5$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	46
Şekil 5.14	$F_n = 0.5$ için eşdirenç eğrileri	47
Şekil 5.15	$F_n = 0.6$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	48
Şekil 5.16	$F_n = 0.6$ için eşdirenç eğrileri	49
Şekil 5.17	Yat formunun endazesi	52
Şekil 5.18	Yat formunun orta kesiti	53
Şekil 5.19	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	54
Şekil 5.20	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	55
Şekil 5.21	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	56
Şekil 5.22	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	57
Şekil 5.23	Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	58
Şekil 5.24	Minimum dalga direnci konum eğrileri	59
Şekil 5.25	Minimum dalga direnci konum eğrileri	60
Şekil 5.26	Minimum dalga direnci konum eğrileri	61
Şekil 5.27	Minimum dalga direnci konum eğrileri	62
Şekil 5.28	$F_n = 0.4$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	63
Şekil 5.29	$F_n = 0.5$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	64
Şekil 5.30	$F_n = 0.5$ için eşdirenç eğrileri	65
Şekil 5.31	$F_n = 0.6$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri	66

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1. Suzuki - Ikehata formunun ana boyutları	32
Tablo 5.2. Suzuki - Ikehata formunda ana teknenin ofset tablosu	32
Tablo 5.3. Suzuki - Ikehata formunda yan teknelerin ofset tablosu	33
Tablo 5.4. Yat formunun ana boyutları	50
Tablo 5.5. Yat formunda ana teknenin ofset tablosu	50
Tablo 5.6. Yat formunda yan teknelerin ofset tablosu	51



ÖZET

Son yıllarda, yüksek süratli teknelerin tasarımında farklı fikirler ortaya atılmaktadır. Piyasaların farklı ihtiyaçları, tasarımcıları değişik yöntemlere itmektedir. Bu nedenle yeni yüksek süratli tekne tasarımları üzerinde çalışılmaktadır.

Tasarımcılardan talep edilen, geniş güverte alanı, yüksek stabilite ve yüksek sürat gibi özellikleri bir arada sağlamak klasik dizaynlarla hemen hemen imkansızdır. Konvensiyonel deplasman teknelerinde direnci azaltmak için oldukça narin formlar seçilmektedir. Bu formlarda ortaya çıkan stabilite problemi de son yıllarda çok gövdeli dizaynlarla aşılmaya çalışılmaktadır. Bu formlardan biri de trimaranlardır.

Bu çalışmada, trimaran teknelerde, yan teknelerin ana tekneye göre konumlarının toplam dalga direnci üzerindeki etkileri araştırılmış, matematiksel programlama yöntemiyle, minimum dalga direnci elde edilecek şekilde yan teknelerin konum optimizasyonu yapılmaya çalışılmıştır.

Dalga direnci, Michell integrali ile hesaplanmış, integralin girişim (interference) terimini içeren ve integrantın hızla salınan kısmı, özel bir algoritma kullanılarak [SIGI (1982)] çözülebilmüş ve hesaplara katılmıştır. Hesaplamalarda kullanılan gemi yüzeyi çadır fonksiyonlarıyla modellenmiştir.

Geliştirilen bilgisayar programı farklı formlara uygulanmıştır. Farklı Froude sayılarında yan teknelerin minimum dalga direnci elde edilen konumları grafikler halinde verilmiştir. Matematiksel uygulamalar göstermiştir ki, ana tekne ve yan teknelerin dalga formlarının girişim (interference) etkisinden dolayı yan teknelerin farklı konumlarında farklı dalga direnci değerleri elde edilmektedir. Böylece tasarımcının diğer dizayn kriterlerini de göz önüne alarak yan tekneleri minimum dalga direnci sağlayacak şekilde yerleştirmesi mümkündür ve bu da daha yüksek hız değerlerinin elde edilmesini sağlayacaktır.

SUMMARY

COMPUTATIONAL OPTIMIZATION FOR POSITION OF OUTRIGGERS OF TRIMARAN

In recent years, because of different demands of boat market, designers have been directed to different concepts of high speed vessels. Many ideas are proposed in order to pursue the design of high speed vessels. Most of them are based on unconventional concepts. The demand as large deck area, strong transverse stability and high speed is nearly impossible to carry out. To overcome these problems, new concepts of high speed vessels based on the displacement type are also proposed and studied, and very slender hull forms are generally employed. For the hull of such type, stability problems are recognized and the choice is multi - hull forms. Catamaran and trimaran forms belong a group of this type of ships.

Recently, designers has been interested in catamaran forms and now trimaran forms begin to be favourite. The important problem on trimaran forms is their higher resistance. Because, the total resistance of trimaran is higher than that of monohull with the same length, draft and displacement.

One of the important factor of resistance is the wave making interference. So, the wave making interference between the main hull and outriggers is expected to be minimized. In this study, position of outriggers are optimized in order to minimize the wave resistance.

It was in 1898 that J.H. Michell gave the first approximate hydrodynamical solution to the problem of wave making resistance of a thin ship moving on the surface of an inviscid fluid of infinite extent. The Michell integral use linear wave resistance theory based on the thin-ship assumption. The well-known Michell integral for monohulls is;

$$Rw = 4 (\rho g^2 / (\pi c^2)) \int_0^\infty ((u^2 + 1)^2 / (\sqrt{u^2 + 2})) (P^2 (u) + Q^2 (u)) du \quad (1a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^L \int_0^T H_\xi (\xi, \zeta) \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} \left\{ \begin{matrix} k_0 \xi_0 (u^2 + 1) + k_0 \eta_0 u (u^2 + 1) \sqrt{u^2 + 2} \\ k_0 (u^2 + 1)^2 (\zeta_0 - T) \end{matrix} \right\} e^{-\dots} d\xi_0 d\zeta_0 \quad (1b)$$

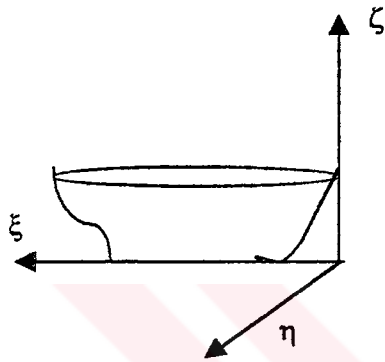


Fig 1

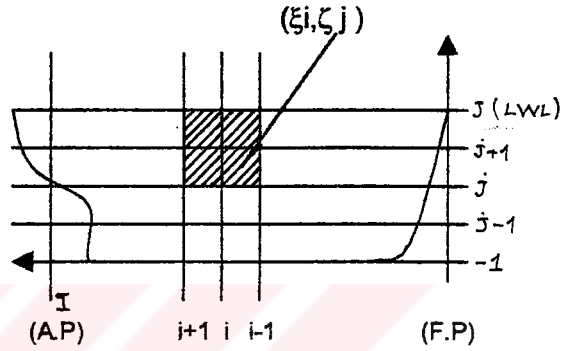


Fig 2

Following the same formulation given by Hsiung (1981), the coordinate system is chosen as in fig 1 and ship hull function is defined as

$$\eta = F (\xi, \zeta) \quad (2)$$

The variables ξ, η, ζ are non dimensionalized ;

$$x = \xi / L \quad y = \eta / (B/2) \quad z = \zeta / T \quad (3)$$

Non dimensionalized hull form expressed as

$$f (x, z) = (2/B) F (\xi, \zeta) \quad (4)$$

The wave resistance function (1a-1b) can be nondimensionalized by the factor $[8\rho g B^2 T^2]$. Then Michell integral turns out to be

$$C_w = (\gamma_0 / 2) \int_0^\infty (P^2 + Q^2) \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} du \quad (5a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^1 \int_0^1 h_x(x,z) \left\{ \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} \right\} \left\{ 2\gamma_0 x (u^2+1) \right\} e^{2\gamma_0 (T/L) (u^2+1)^2 (z-1)} dx dz \quad (5b)$$

To calculate wave resistance as given above ship surface has to be defined. Therefore, tent functions are used to define ship surface and the ship center-plane is meshed as shown fig 2. The first station is the fore-perpendicular of the ship, the first waterline is the base line. The last station is the aft-perpendicular of the ship, the waterline is loaded waterline. Then the unit tent function at the grid point (x_i, z_j) is given as

$$h_{(i,j)}(x, z) = \begin{cases} \left[1 - \frac{x_i - x}{x_i - x_{i-1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j-1}} \right] & ; x_{i-1} \leq x \leq x_i, z_{j-1} \leq z \leq z_j \\ \left[1 - \frac{x_i - x}{x_i - x_{i-1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j+1}} \right] & ; x_{i-1} \leq x \leq x_i, z_j \leq z \leq z_{j+1} \\ \left[1 - \frac{x_i - x}{x_i - x_{i+1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j-1}} \right] & ; x_i \leq x \leq x_{i+1}, z_{j-1} \leq z \leq z_j \\ \left[1 - \frac{x_i - x}{x_i - x_{i+1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j+1}} \right] & ; x_i \leq x \leq x_{i+1}, z_j \leq z \leq z_{j+1} \\ 0 & ; \text{out of rectangular element centered as } (i, j) \end{cases} \quad (6)$$

The ship surface is defined as

$$h(x, z) = \sum_i \sum_j y_{ij} h^{(i,j)}(x, z) \quad (7)$$

The integral in (4a) and (4b) can be taken in terms of tent functions. C_w can be given as

$$C_w = \gamma_0/2 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L y_{ij} y_{kl} \int_0^{\infty} \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} [(C_i C_k + S_i S_k) E_j E_l] du \quad (8)$$

where

$$C_i(u) = \frac{1}{2\gamma_0(u^2+1)} \left\{ \frac{1}{x_i - x_{i-1}} (\sin 2\gamma_0 x_i (u^2+1) - \sin 2\gamma_0 x_{i-1} (u^2+1)) - \frac{1}{x_{i+1} - x_i} (\sin 2\gamma_0 x_{i+1} (u^2+1) - \sin 2\gamma_0 x_i (u^2+1)) \right\} \quad (9)$$

$$S_i(u) = \frac{1}{2\gamma_0(u^2+1)} \left\{ \frac{1}{x_{i+1} - x_i} (\cos 2\gamma_0 x_{i+1} (u^2+1) - \cos 2\gamma_0 x_i (u^2+1)) - \frac{1}{x_i - x_{i-1}} (\cos 2\gamma_0 x_i (u^2+1) - \cos 2\gamma_0 x_{i-1} (u^2+1)) \right\} \quad (10)$$

$$E_j(u) = \frac{1}{2\gamma_0(T/L)(u^2+1)^2} \left\{ \frac{1}{z_{j+1} - z_j} (e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_{j+1})(u^2+1)^2} - e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_j)(u^2+1)^2}) - \frac{1}{z_j - z_{j-1}} (e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_j)(u^2+1)^2} - e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_{j-1})(u^2+1)^2}) \right\} \quad (11)$$

By introducing the coefficient

$$d_{ijk\ell} = \gamma_0/2 \int_0^{\infty} \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} [(C_i C_k + S_i S_k) E_j E_{\ell}] du \quad (12)$$

The equation (8) can be written as

$$C_w = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{\ell=1}^L d_{ijk\ell} y_{ij} y_{k\ell} \quad (13)$$

With regards to equation (13), it is possible to reduce the dimensions of the array by setting

$$m = (i - 1) J + j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, I, j = 1, 2, 3, \dots, J) \quad (14a)$$

$$n = (k - 1) L + \ell \quad (k = 1, 2, 3, \dots, K, \ell = 1, 2, 3, \dots, L) \quad (14b)$$

Therefore, the equation (13) is expressed as

$$C_w = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N d_{mn} y_m y_n \quad M=N= I \times J \quad (15)$$

and in matrix form

$$C_w = y^T D y \quad (16)$$

Therefore, the total ship resistance coefficient is obtained as follows

$$C_T = C_V + C_W \quad (17)$$

Thus, to complete the standart optimization problem entirely, possible constraints can be given as follows

- All the unknown offsets are less than or equal to the half beam ;

$$y_{ij} \leq 1 \quad (18)$$

- Original offsets $y_{ij}^{(0)}$ of the given ship are taken as the lower bound for the unkown offset ;

$$y_{ij} \geq y_{ij}^{(0)} \quad (19)$$

- The waterplane area coefficient is kept constant ;

$$C_{WL} = C_{WL}^{(0)} \quad (20)$$

- Waterline slope is less than or equal to $\tan\theta$

$$y_{i+1,j} - y_{i,j} \leq (x_{i+1} - x_i) (2L/B) \tan\theta \quad (21)$$

The wave resistance of trimaran forms can be expressed as follows

$$C_W = 8 \pi \gamma_0^2 \int_0^{\pi/2} (\{P(\theta)\}^2 + \{Q(\theta)\}^2) \sec^3\theta \, d\theta \quad \gamma_0 = g \ell / u^2 = 1 / (2Fn^2) \quad (22a)$$

In case of the linear theory, amplitude functions $P(\theta)$ and $Q(\theta)$ can be represented by the linear superposition such as

$$\begin{Bmatrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_m(\theta) \\ Q_m(\theta) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} P_0(\theta) \\ Q_0(\theta) \end{Bmatrix} \quad (22b)$$

The first term of the right hand side of equation (22b) represents the wave making effect of the main hull, its second term represents total wave making effect of outriggers at port and starboard sides. Amplitude functions can be integrated by Michell's theory based on the thin ship assumption as follows

$$\left. \begin{matrix} P_m(\theta) \\ Q_m(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{(-1/2\pi) \int_{-1}^{+1} (\partial f(x)/\partial x) \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 x \sec \theta) dx \int_{-t}^0 g(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (23a)$$

$$\left. \begin{matrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{(-1/2\pi) \int_{x_o-\lambda_o}^{x_o+\lambda_o} (\partial f_o(x-x_o)/\partial x) \left[\frac{\cos}{\sin} \{ \gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y_o \sin \theta) \} \right. \quad (23b)$$

$$\left. + \frac{\cos}{\sin} \{ \gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta - y_o \sin \theta) \} \right] dx \int_{-t_o}^0 g_o(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz$$

or

$$\left. \begin{matrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{(-1/\pi) \cos (\gamma_0 y_o \sec \theta \tan \theta) \int_{x_o-\lambda_o}^{x_o+\lambda_o} (\partial f(x-x_o)/\partial x) \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 x \sec \theta) dx \int_{-t_o}^0 g_o(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (23c)$$

$$\left. \begin{matrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow 2 \cos (\gamma_0 y_o \sec \theta \tan \theta) \left\{ \begin{matrix} P_{oo}(\theta) \\ Q_{oo}(\theta) \end{matrix} \right\} \quad (24)$$

$$\left. \begin{matrix} P_{oo}(\theta) \\ Q_{oo}(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \frac{(-1/2\pi) \int_{x_o-\lambda_o}^{x_o+\lambda_o} (\partial f(x-x_o)/\partial x) \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 x \sec \theta) dx \int_{-t}^0 g_o(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (25)$$

We can separate trimaran wave making resistance in three parts

$$C_w = C_{w1} + C_{w2} + C_{w3} \quad (26)$$

$$C_{w1} = 8\pi\lambda\omega^2 \int_0^{\pi/2} \{ P_m^2(\theta) + Q_m^2(\theta) \} \sec^3\theta \, d\theta \quad (27)$$

$$C_{w2} = 32\pi\lambda\omega^2 \int_0^{\pi/2} \{ P_m(\theta)Q_{\omega}(\theta) + P_{\omega}(\theta)Q_m^2(\theta) \} \cos(\gamma\omega\omega\sec\theta \tan\theta) \sec^3\theta \, d\theta \quad (28)$$

$$C_{w3} = 32\pi\lambda\omega^2 \int_0^{\pi/2} \{ P_{\omega}^2(\theta) + Q_{\omega}^2(\theta) \} \cos(\gamma\omega\omega\sec\theta \tan\theta) \sec^3\theta \, d\theta \quad (29)$$

C_{w1} is the wave making resistance of main hull, C_{w2} is the interference effects between main hull and outriggers and C_{w3} is the wave making resistance of outriggers.

The computer program is developed to calculate the wave-making resistance of trimaran forms. Simpson's integration method is used by employing Michell integral for the resistance of monohull and outriggers. A special integration technique SIDI (1982) is used in the evaluation of Michell integral because of the highly oscillatory integrand due to the interference effects.

Two different trimaran forms are used as computational examples. One of them is the mathematical hull form whose waterlines and frame lines are cosine curve and parabolic curve, the other one is a yacht form. Two methods are used for the optimization;

1. Variations in outriggers separation from the main hull.
2. Variations in the longitudinal position of the outriggers relative to the main hull.

Using the method explained above, position of outriggers have been optimized to minimize the wave resistance by means of the wave making interference between the main hull and outriggers. The main conclusions obtained as follows;

1. Optimum position of outriggers can be determined by minimization of wave making resistance based on the linear superposition of amplitude functions for the main hull and outriggers.
2. Wave resistance of a trimaran hull becomes higher than that of the monohull. However, the wave resistance of a trimaran with the optimized positions of outriggers are smaller than that of the trimaran form which is not optimized
3. At different Froude numbers, the optimum position curves of outriggers have different characteristics.
4. When outriggers are far away from the main hull, the wave resistance due to interference effects is reduced. So, main hull and outriggers behave as separated monohulls.
5. At high Froude numbers, the differences of wave making resistance is reduced for different position of outriggers and total wave making resistance goes to one point.

BÖLÜM 1

1.1 GİRİŞ

Piyasaların farklı ihtiyaçlarından doğan talepler, tasarımcıları değişik tekne tiplerine itmektedir. Özellikle yüksek süratli teknelere talep son yıllarda artmaya başlamıştır. Yolcu ve yük gemilerinde istenen geniş güverte alanı, yüksek stabilite, bunun yanında yüksek süratli klasik tasarımlarla elde etmek hemen hemen imkansızdır.

Katamaranlar bu dizayn kriterlerine cevap vermek amacıyla geliştirilmiş ve son yıllarda oldukça rağbet görmeye başlamıştır. Bu formlar yolcu gemisi, konteyner, feribot ve balıkçı gemisi olarak kullanılmaya uygundur. Nitekim katamaranlar öteden beri yolcu gemisi olarak kullanılmakta, son yıllarda da balıkçı gemisi olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Bu dizayn kriterlerine cevap verebilen formlardan bir diğeri de trimaranlardır. Fakat geçmişte trimaranlar katamaranların biraz gölgesinde kalmış, çok fazla rağbet görmemişlerdir. Ancak son yıllarda farklı dizayn tiplerine yönelinmesiyle trimaranlar üzerindeki çalışmalar da artış göstermektedir. Öteden beri hızlı ve etkili yelkenli tekneler olarak karşımıza çıkan trimaranlar son yıllarda, yüksek süratli yolcu gemileri olarak denizlerde boy göstermeye başlamışlardır. Hatta trimaran fırkateyn ve hücum botlar üzerinde çalışmalar yapılmaya başlanmış, bu tekneler 2000'li yılların savaş makineleri olarak gösterilmektedirler. University College London'da trimaran fırkateyn ve hücum botlar üzerine yapılan araştırmalar oldukça ilgi çekicidir. [1]

Bir ana tekne ve yanlarda iki küçük yan teknenin bir araya gelmesiyle oluşan trimaran formlarda, direnç karakteristiklerini etkileyen birçok etken mevcuttur.

Bunların başlıcaları;

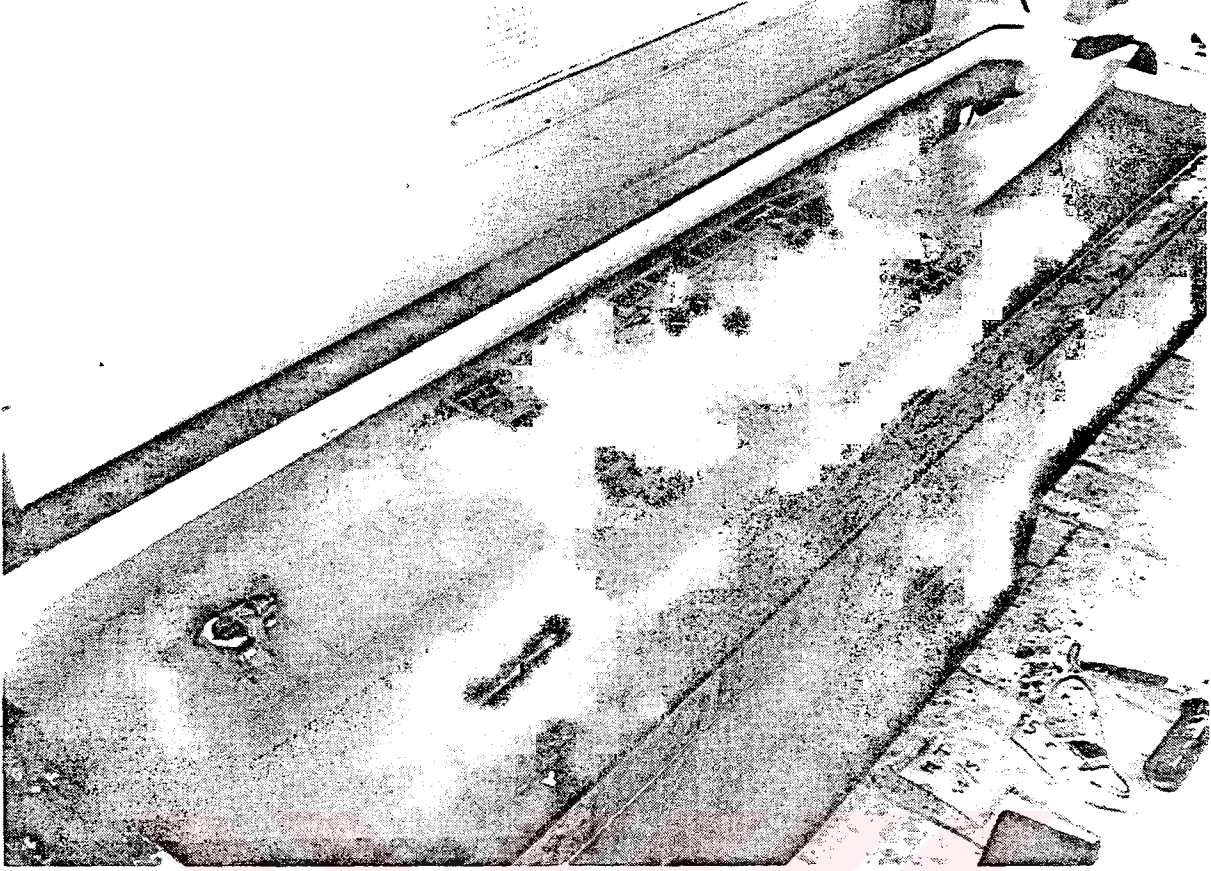
- Yan teknelerin ana teknedeki uzaklıkları,
- Yan teknelerin ana tekneye göre boyuna konumları,

- Yan teknelerin ana tekneye göre boyutları,
- Ana ve yan teknelerin formları.

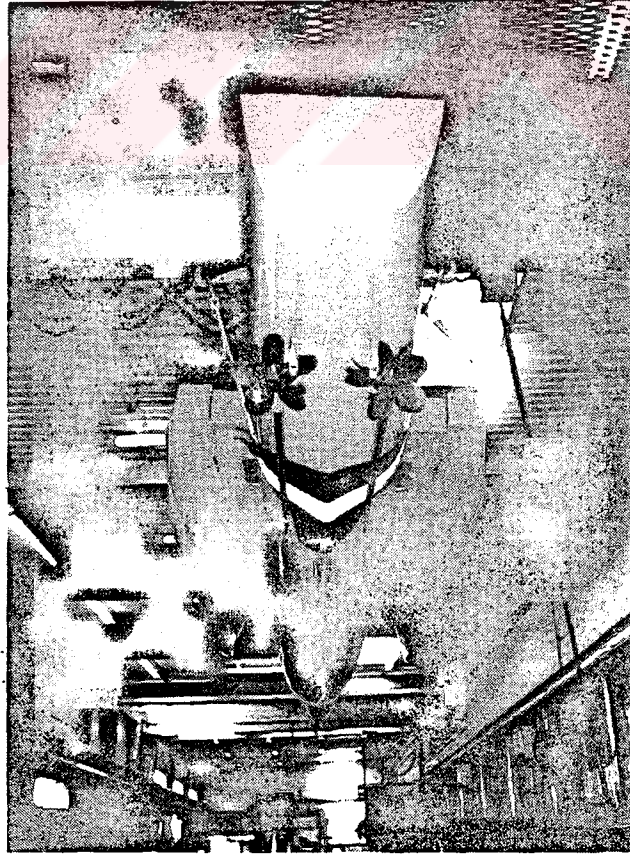
Diğer formlara göre geniş güverte alanına ve yüksek stabilite değerlerine sahip trimaranların zayıf noktası gibi görünen yüksek direnç değerlerinin yukarıda belirtilen konular üzerinde yapılacak çalışmalar ile daha uygun değerlere ulaştırılması ve direnç değerlerinin bir dezavantaj olmaktan çıkarılması mümkündür. Örneğin Suzuki ve Ikehata'nın bu konudaki çalışması ilginçtir. [6]

Bu tezde, Suzuki ve Ikehata'nın FAST 93'te yayınlanan çalışması temel olarak alınmıştır. [6] Trimaranın dalga direnci matematiksel olarak hesaplanmıştır. Bunun için trimaranların toplam dalga direncini sayısal olarak hesaplayan bir algoritma geliştirilmiş ve bilgisayar programı yazılmıştır. Hesaplamalar yapılırken dalga direnci üçe ayrılmıştır. Ana teknenin dalga direnci, yan teknelerin dalga direnci ve ana tekne ile yan teknelerin dalga formlarının oluşturduğu girişim (interference) etkisi hesaplanmakta ve bunlar süperpoze edilmektedir. Ana ve yan tekneler arasındaki etkileşim (interaction) etkisi hesaplamaları kolaylaştırmak için ihmal edilmiştir. Yapılan çalışmalarda yan teknelerin ana tekneye göre farklı konumları için farklı toplam dalga direnci değerleri elde edilmektedir. Bu da ana tekne ile yan teknelerin dalga formlarının oluşturduğu girişim (interference) etkisinden kaynaklanmaktadır. Çünkü, ana teknenin ve yan teknelerin kendi dalga dirençleri daima pozitifdir. Ancak girişim (interference) etkisi pozitif veya negatif değerler alabilmektedir. Bu da yan teknelerin farklı konumları için trimaranın dalga direncinin farklı değerler almasına neden olmaktadır. Bu noktada yan teknelerin belirli konumları için trimaranın dalga direncinin minimize edilebileceği düşünülebilir.

İşte bu çalışmada, minimum dalga direnci sağlayacak şekilde yan teknelerin ana tekneye göre uzaklıkları ve boyuna konumları, farklı Froude sayıları için optimize edilmiş ve sonuçlar grafikler halinde verilmiştir.



Şekil 1.1 160 m. Destroyerin DRA Haslar modeli , [1]



Şekil 1.2 160 m. Destroyerin DRA Haslar modeli , [1]

BÖLÜM 2

2.1 Trimaranların Dizayn Kriterleri

Trimaranlar, oldukça ince ve uzun formlara sahiptirler.İnce ve uzun merkez tekne, merkez tekneye oranla daha kısa (ana tekne boyunun 1/3-1/4 oranında) ve yine ince iki yan tekneden oluşurlar.

Genel olarak dizayn karekteristiklerini incelersek ;

DİRENÇ : Trimaranların ince formlara olanak sağlaması direnç açısından oldukça olumlu sonuçlar elde edilebileceğini göstermektedir.Yüksek L/B oranları sağlanarak toplam direnci düşürmek mümkündür.Bunun yanında oldukça yüksek stabilite karakteristiklerine sahip olması, teknelerde B/T oranının düşürülmesine olanak sağlar.Direnç karakteristiklerini etkileyen L/B ve B/T oranlarının istenilen düzeyde tutulabilmesi tasarımcıya büyük serbestlik sağlamaktadır.

İnce formlar, düşük dalga direnci, fakat yüksek ıslak alana, dolayısıyla yüksek sürtünme direncine sahiptir.Bu dezavantaj, V kesitler kullanmak yerine daha yuvarlak kesitler kullanılarak azaltılabilir.Bunun da teknenin denizciliğini ve yaralı stabilitesini etkileyeceği göz önünde tutulmalıdır.

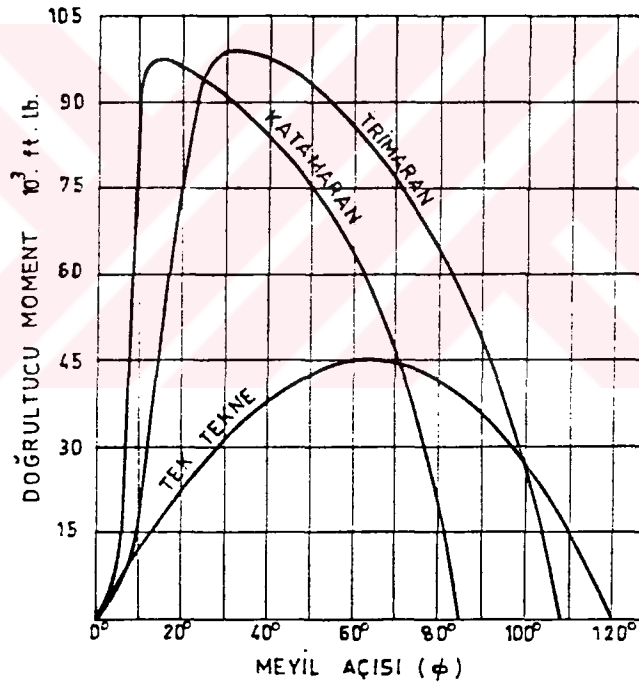
Yan tekne ile merkez tekne arasındaki mesafe, dalga formlarının girşimini etkileyerek dalga direncini, ayrıca serpinti direncini de etkileyecektir.

Bunlarla beraber yan teknelerin merkez tekne boyunca pozisyonu, dalga direncini etkilemektedir.Merkez ve yan teknelerin oluşturduğu dalga formlarının girişiminin dalga direncini düşüreceği düşünülebilir.Bu da yan teknelerin farklı yerleri için, farklı dalga direnci değerleri demektir. Böylece yan tekneleri merkez tekneye göre farklı yerlere yerleştirerek düşük dalga direnci değerleri elde edilebilir.

Yan teknelerle ana tekne arasındaki deplasman oranı direnç değerlerini etkilemektedir. Yan teknelerin deplasmanı düşürülerek direnç değerlerini düşürmek mümkündür.

STABİLİTE :Tek gövdeli teknelerde stabilite tamamen teknenin formuna bağlıdır. Trimaranlarda ise stabilite değerlerini yan teknelerle ayarlamak mümkündür.

Trimaranlar oldukça yüksek GM ve GML değerlerine sahiptir. Bu da tasarımcıya oldukça geniş bir çalışma alanı sağlar. Fakat yüksek GM değerleri bu teknelerin denizciliğini olumsuz yönde etkileyecektir. Ayrıca yan teknelerde su geçmez perdeler oluşturularak oldukça iyi yaralı stabilite değerleri elde etmek mümkündür.



Şekil 2.1 Yelkenli spor teknelerinde, sakin sudaki statik stabilite eğrilerinin karşılaştırması , [8]

MANEVRA : Trimaran teknelerin manevra kabiliyetleri, geleneksel sevk sistemleri ile tek gövdeli teknelere göre düşüktür. Fakat yan teknelerde su jeti, hava jeti vb. yardımcı sevk sistemleri kullanılarak oldukça iyi manevra değerleri elde edilebilir.

DENİZCİLİK : Trimaranlar oldukça ince formlara sahip olduklarından tek gövdeli teknelere göre daha fazla baş-kıç vurma hareketine sahiptirler. GM değerlerinin yüksek olması da teknelerin iyi stabiliteye sahip olmasını sağlarken fazla yalpa yapmalarına neden olur.

Bunun yanında UCL'de trimaranlarla tek gövdeli tekneler arasında deneysel ve analitik olarak yapılan araştırmalar göstermiştir ki trimaran tekneler de oldukça iyi denizcilik özelliklerine sahip olabilirler. [1]

Yukanda dizayn özelliklerinden bahsedilen trimaranlardan daha iyi performans elde edebilmek için bazı konuların dikkatlice incelenmesi oldukça yararlı olacaktır.

Bunları kısaca şöyle sıralamak mümkündür,

- A) *Yan teknelerin ana teknedeki uzaklıkları;* teknenin denizcilik ve direnç özelliklerini etkiler.
- B) *Yan teknelerin ana tekneye göre boyuna konumları;* teknenin denizcilik ve direnç özelliklerini etkiler.
- C) *Ana tekneye göre yan teknelerin boyutları;* teknenin stabilite, direnç ve manevra özelliklerini etkiler.
- D) *Yan teknelerin formu;* teknenin denizcilik, stabilite ve direnç özelliklerini etkiler.

Yan teknelerin ince ve uzun olması dalga direncini düşürür, fakat yüksek ıslak alana neden olur. Teknenin güç gereksinimini düşürmek için yan teknelerin draftını düşürmek gerekebilir, bunun için de V kesitli formlardan çok yuvarlak kesitli formları kullanma ihtiyacı doğabilir.

Bu tezde, Yokohama Ulusal Üniversitesi'nden Kazuo Suzuki ve Mitsuhsa Ikehata'nın 1993'te yayınladıkları çalışmalarından yola çıkılarak yan teknelerin ana tekneye uzaklıkları ve yan teknelerin ana tekneye göre boyuna konumlarının teknenin dalga direncini nasıl etkilediği incelenmiştir. [6]

Ana tekne ile yan teknelerin dalga formlarının oluřturduėu giriřim (interference) etkisinin toplam dalga direncini dūřūrecekēi dūřūnūlmūřtır. Bu dūřūnce çerçevesinde yan teknelerin ana tekneye gōre farklı konumlarında, trimaranın dalga direnci farklı olmalıdır. Bu da gōstermektedir ki yan tekneler iēin dalga direncine baėlı konum optimizasyonu yapılabilir.

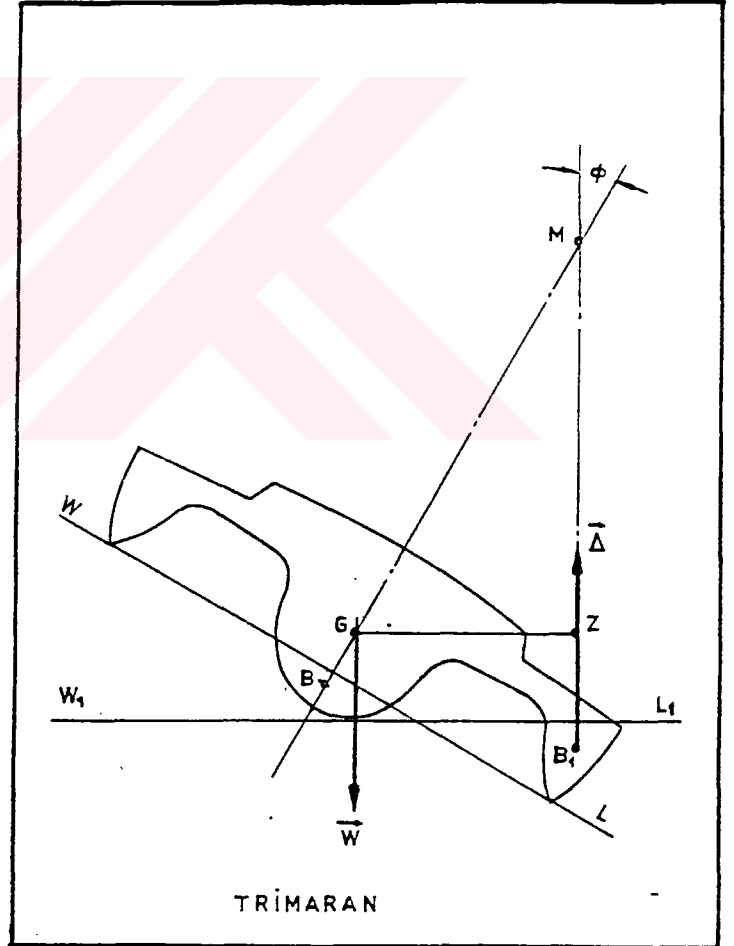
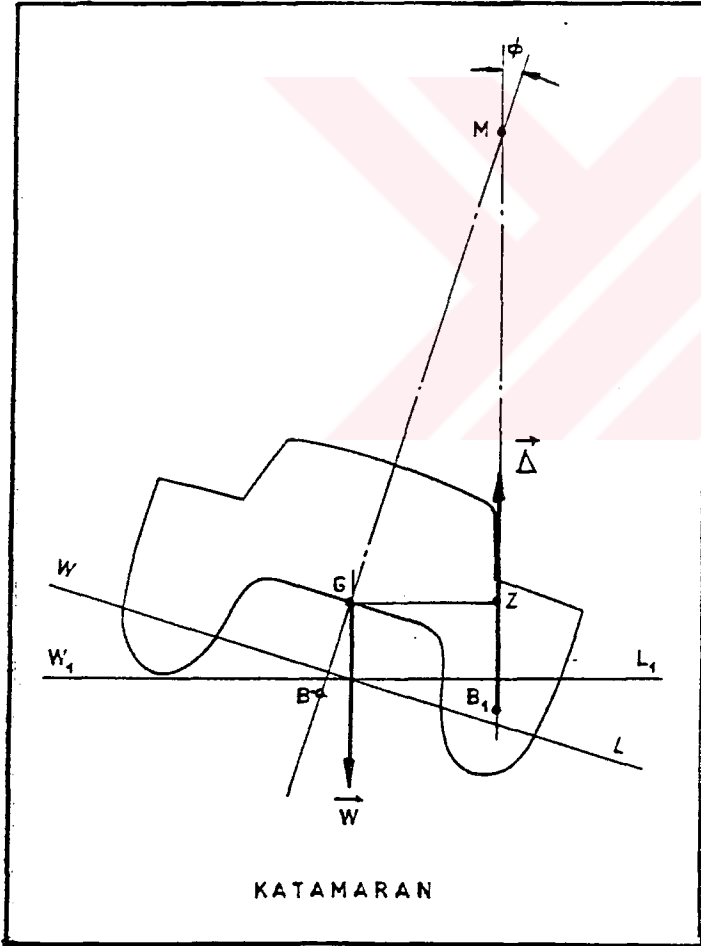
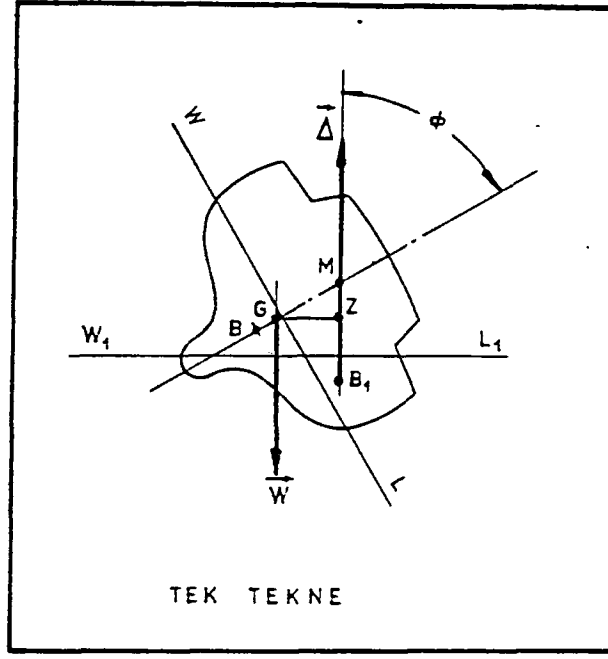
Dalga direncinin hesaplanmasında ince-uzun gemi teorisi (thin ship teory) kullanılmıştır. Trimaranların ince formlara sahip olması bu teorinin kullanılmasına olanak sağlamıştır. Aslında amaē gerēek dalga direncini hesaplamak değil, yan teknelerin farklı konumlarında dalga direnci değişimini elde edebilmektir.

İnce-uzun gemi yaklařımı kullanılarak matematik formūlasyon oluřturulmuř ve algoritma kurulmuřtur. En kesitleri ve su hatları kosinūs ve parabolik eėrilerden oluřan matematiksel bir form (Suzuki & Ikehata formu) ve yat formu olmak ūzere iki trimaran forma kurulan algoritma uygulanmıřtır.

Optimizasyon iēin iki durum sōz konusudur;

- Yan teknelerin ana tekneye olan mesafeleri;
- Yan teknelerin ana tekneye gōre boyuna konumları.

İki durum da aynı anda kullanılarak dalga direncinin minimum olduğu noktalar saptanmaya ēalıřılmıřtır. Farklı Froude sayılarında elde edilen değerler kullanılarak yan tekneler iēin konum optimizasyonu yapılmıştır.



Şekil 2.2 Yelkenli spor teknelerinde büyük açılardaki statik stabilitenin geometrik karşılaştırması , [8]

BÖLÜM 3

3.1 İnce-Uzun Gemi Teorisi ile Dalga Direnci Hesabı

J.H. Michell, 1898 yılında, o zamana kadar teorik olarak çözülememiş dalga direnci problemine ilk olarak hidrodinamik bir çözüm getirmiştir. Dalga direnci problemini iki katlı Fourier analizi yardımıyla çözmüştür ve S.T. Havelock, bugün Michell integrali olarak bilinen direnç ifadesini integral denklem şeklinde vermiştir. [4] Michell integralinde lineer teori sınırları içinde kalabilmek için bazı kabuller yapılır. En önemlisi narin gemi yaklaşımıdır. Sıvı içinde hareket eden cismin kalınlığı sıfır kabul edilir. Yani dalga direnci hesaplanan gemide $L/B \gg 0$ kabulü yapılır. Bu göstermektedir ki L/B oranı ne kadar büyükse gerçek dalga direnci değerine o oranda yaklaşılacaktır.

Bu çalışmada amaç, gerçek dalga direncini hesaplamak değil, trimaranda yan teknelerin ana tekneye göre farklı konumlarında dalga direnci değişimini görmektir. Ayrıca trimaranlar, oldukça ince formlara sahip olduklarından, gerçek değere yakın dalga direnci değerleri elde edilecektir. Suzuki ve Ikehata'nın çalışması [6] temel olarak alınmış ve trimaranın dalga direnci Michell integrali ile sayısal olarak hesaplanmıştır. Bu integrali hesaplamak için gemi geometrisi çadır fonksiyonları ile temsil edilmiştir. Ancak yan teknelerin dalga direnci hesabı sırasında gelen kosinüs integrantın hızla salınması, Michell integralinin çözümünü imkansız kılmaktadır. Burada Sidi (1982) tarafından verilen ve hızla salınan integrant içeren integrallerin çözümünde çok hızlı ve duyarlı olarak sonuca ulaşan bir algoritma kullanılmıştır. [5] Geliştirilen bilgisayar programı ile trimaranın dalga direnci hesaplanmış ve elde edilen datalar ışığında yan teknelerin konum optimizasyonu yapılmıştır.

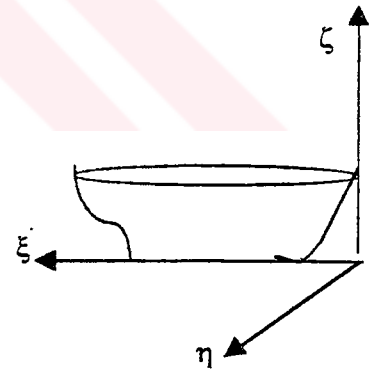
3.2 Yapılan Kabüller ve Sınır Şartlar :

Dalga direncinin hesabı için gemi etrafındaki akımın potansiyel akım olarak modellenmesi gerekir. Bunun için yapılan kabüller;

- Akışkan homojen ve sıkıştırılmaz,
- Vizkozitesiz,
- Akışkan hareketi daimi ve irrotasyonel,
- Yüzey gerilimi ihmal edilmiştir,
- Gemi formu ince-uzun gemi tanımına uymalıdır,
- Serbest su yüzeyinde oluşan dalgaların genlikleri boylarına göre ihmal edilebilir büyüklüktedir.

Cisim sabit C hızıyla akan düzgün bir akım içindeyse hız potansiyelini şöyle yazabiliriz ;

$$\phi = Cx + \phi(x, y, z)$$



Şekil 3.1 Boyutlu eksen takımı

Serbest su yüzeyini $z = \zeta(x, y)$ ve gemi geometrisini $y = f(x, z)$ olarak tanımlarsak akışkan hareketini belirleyen denklem ;

$$\nabla^2 \phi = \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \quad (\text{Laplace Denklemi})$$

1. Lineerleştirilmiş serbest su yüzeyi şartı ;

$$g\zeta + C \phi_x = 0 \quad z = \zeta = T \quad (\text{Dinamik serbest su yüzeyi şartı})$$

$$C\xi_x - \phi_z = 0 \quad z = \zeta = T \quad (\text{Kinematik serbest su yüzeyi şartı})$$

Yukarıdaki iki denklemi birleştirerek lineerleştirilmiş serbest su yüzeyi şartı elde edilir.

$$\phi_{xx} + k_0 \phi_z = 0 \quad z = \zeta = T \quad k_0 = g / c^2$$

2. Su zemini şartı ; $z = 0$ için $\phi_z = 0$

3. Rijit cisim yüzeyi şartı ;

$$c\phi_x + \phi_y = 0 \quad y = 0$$

4. Radyasyon şartı ; $\lim_{x \rightarrow -\infty} \phi = 0$ $\lim_{x \rightarrow \infty} \phi = \text{sonlu}$

Yukarıdaki kabuller ve sınır şartlarının ışığı altında Michell integrali şu şekilde verilir;

$$Rw = 4 \left(\rho g^2 / (\pi c^2) \right) \int_0^\infty \left((u^2 + 1)^2 / (\sqrt{u^2 + 2}) \right) (P^2(u) + Q^2(u)) du \quad (3.1a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^L \int_0^T H\xi(\xi, \zeta) \frac{\cos}{\sin} \left\{ \frac{k_0 \xi_0 (u^2 + 1) + k_0 \eta_0 u (u^2 + 1) \sqrt{u^2 + 2}}{k_0 (u^2 + 1)^2 (\zeta_0 - T)} \right\} d\xi_0 d\zeta_0 \quad (3.1b)$$

3.3 Trimaran Teknelerin Dalga Direnci :

Suzuki ve Ikehata uzun-ince gemi yaklaşımıyla lineer teoriyi kullanarak trimaranın dalga direncini aşağıdaki şekilde vermişlerdir. Burada bir nevi Froude - Krilov hipotezine paralel bir yaklaşım ile teknelerin çıkardığı dalga sistemleri süperpoze

edilmiş, ancak her tekne dalga sisteminin diğer tekneler üzerindeki etkileşimi ihmal edilmiştir ;

$$\ell = L/2$$

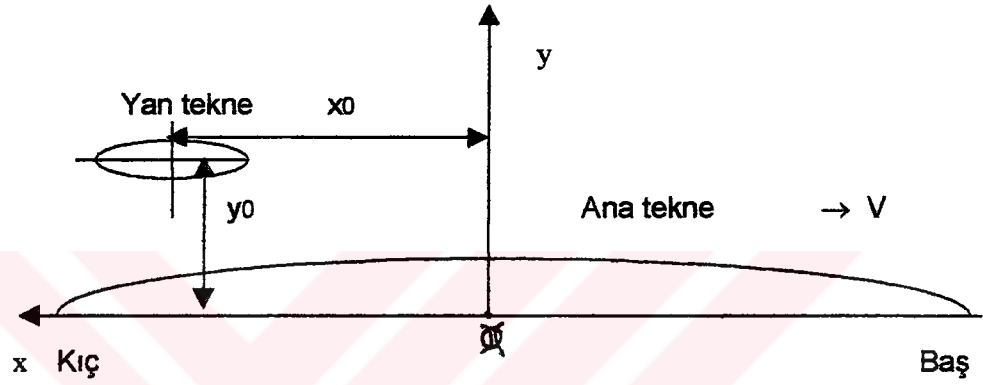
$$t = T / \ell$$

$$b = (B/2) / \ell = B/L$$

$$\lambda_0 = (L_0/2) / \ell = L_0 / L$$

$$b_0 = (B_0/2) / \ell = B_0 / L$$

$$t_0 = T_0 / \ell$$



Şekil 3.2 Trimaranın boyutsuz eksen takımı

Tek gövde için Michell integrali;

$$Rw = 4 \left(\rho g^2 / (\pi c^2) \right) \int_0^{\pi/2} (P^2(\theta) + Q^2(\theta)) \sec^3 \theta d\theta \quad (3.2a)$$

$$\left. \begin{matrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left. \begin{matrix} \int_{-L/2}^{L/2} \int_T^0 \left(\frac{\partial f(\xi, \zeta)}{\partial \xi} \right) e^{-k_0 \zeta \sec^2 \theta} \cos \\ \sin \end{matrix} \right\} (k_0 \xi \sec \theta) d\xi d\zeta \quad (3.2b)$$

$$k_0 = g / c^2 \quad \gamma_0 = g L / (2c^2)$$

Denklemleri boyutsuzlaştıralım ;

$$x = 2\xi / L \quad y = 2\eta / L \quad z = 2\zeta / L$$

$$\hat{h}(x, z) = (2/B) \hat{H}(\xi, \zeta) \quad (\text{Gemi yüzeyini temsil eden çadır fonksiyonu}) \quad (3.3)$$

$$R_w = (8 \rho g \gamma_0 / \pi L) \int_0^{\pi/2} (P^2(\theta) + Q^2(\theta)) \sec^3 \theta \, d\theta \quad (3.4)$$

$$\left. \begin{matrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow (L/2)^2 \int_{-1}^{+1} \int_t^0 (\partial f(x,y) / \partial x) e^{-\gamma_0 z \sec^2 \theta} \frac{\cos(\gamma_0 x \sec \theta)}{\sin} \, dx \, dz \quad (3.4a)$$

$$R_w = (2 \rho g \gamma_0 \pi L^3) \int_0^{\pi/2} (P^2(\theta) + Q^2(\theta)) \sec^3 \theta \, d\theta \quad (3.5)$$

$$\left. \begin{matrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow (1/2\pi) \int_{-1}^{+1} \int_t^0 (\partial f(x,y) / \partial x) e^{-\gamma_0 z \sec^2 \theta} \frac{\cos(\gamma_0 x \sec \theta)}{\sin} \, dx \, dz \quad (3.5a)$$

$$C_w = R_w / F \quad (3.6)$$

$F = 1/2 \rho L^2 c^2$ kabul edersek ;

$$C_w = 8 \pi \gamma_0^2 \int_0^{\pi/2} (\{P(\theta)^2\} + \{Q(\theta)^2\}) \sec^3 \theta \, d\theta \quad \text{elde edilir.} \quad (3.7)$$

$$\left. \begin{matrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow (1/2\pi) \int_{-1}^{+1} \int_t^0 (\partial f(x,y) / \partial x) e^{-\gamma_0 z \sec^2 \theta} \frac{\cos(\gamma_0 x \sec \theta)}{\sin} \, dx \, dz \quad (3.7a)$$

Eksen yönünü değiştirelim ;

$$C_w = 8 \pi \gamma_0^2 \int_0^{\pi/2} (\{P(\theta)^2\} + \{Q(\theta)^2\}) \sec^3 \theta \, d\theta \quad (3.8)$$

$$\left. \begin{matrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow (-1/2\pi) \int_{-1}^{+1} \int_{-t}^0 (\partial f(x,y) / \partial x) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} \frac{\cos(\gamma_0 x \sec \theta)}{\sin} \, dx \, dz \quad (3.8a)$$

Trimaranın genlik fonksiyonları, ana teknenin genlik fonksiyonları ile yan teknelerin genlik fonksiyonlarının süperpoze edilmesiyle elde edilir ;

$$\begin{Bmatrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} P_m(\theta) \\ Q_m(\theta) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{Bmatrix} \quad (3.9)$$

Ana tekne yüzeyini $y = f(x) g(z)$ olarak tanımladığımızda ;

$$\begin{Bmatrix} P_m(\theta) \\ Q_m(\theta) \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} +1 \\ -1 \end{matrix} \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 x \sec \theta) dx \int_{-1}^0 g(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.10)$$

Yan teknelerin yüzeyini $y = f(x-x_0) g_0(z)$ olarak tanımladığımızda ve koordinat sistemini x yönünde ötelediğimizde ;

$$\begin{Bmatrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} x_0+\lambda_0 \\ x_0-\lambda_0 \end{matrix} \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 x \sec^2 \theta \cos \theta) dx \int_{-t_0}^0 g_0(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.11)$$

Koordinat sistemini y yönünde ötelediğimizde ;

$$\begin{Bmatrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} x_0+\lambda_0 \\ x_0-\lambda_0 \end{matrix} \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y_0 \sin \theta)) dx \int_{-t_0}^0 g_0(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.12)$$

İki tekne için ;

$$\begin{Bmatrix} P_o(\theta) \\ Q_o(\theta) \end{Bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} x_0+\lambda_0 \\ x_0-\lambda_0 \end{matrix} \frac{\cos}{\sin} (\gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y_0 \sin \theta)) + \frac{\cos}{\sin} \quad (3.13)$$

$$\left. \{ \gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta - y_0 \sin \theta) \} \right\} dx \int_{-t_0}^0 g_0(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.13)$$

Sonuç olarak trimaranın dalga direnci ;

$$C_w = 8 \pi \gamma_0^2 \int_0^{\pi/2} (\{ P(\theta)^2 \} + \{ Q(\theta)^2 \}) \sec^3 \theta d\theta \quad (3.14)$$

$$\left. \begin{matrix} P(\theta) \\ Q(\theta) \end{matrix} \right\} = \left\{ \begin{matrix} P_m(\theta) \\ Q_m(\theta) \end{matrix} \right\} + \left\{ \begin{matrix} P_0(\theta) \\ Q_0(\theta) \end{matrix} \right\} \quad (3.14a)$$

$$\left. \begin{matrix} P_m(\theta) \\ Q_m(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left. \begin{matrix} +1 & \cos \\ -1 & \sin \end{matrix} \right\} (\gamma_0 x \sec \theta) dx \int_{-t}^0 g(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.14b)$$

$$\left. \begin{matrix} P_0(\theta) \\ Q_0(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left. \begin{matrix} x_0 + \lambda_0 & \cos \\ x_0 - \lambda_0 & \sin \end{matrix} \right\} \left(\frac{\partial f_0(x-x_0)}{\partial x} \right) \left\{ \begin{matrix} \gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta + y_0 \sin \theta) \\ \gamma_0 \sec^2 \theta (x \cos \theta - y_0 \sin \theta) \end{matrix} \right\} dx \int_{-t_0}^0 g_0(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.14c)$$

veya

$$\left. \begin{matrix} P_0(\theta) \\ Q_0(\theta) \end{matrix} \right\} \Rightarrow (-1/\pi) \cos(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) \left. \begin{matrix} x_0 + \lambda_0 & \cos \\ x_0 - \lambda_0 & \sin \end{matrix} \right\} \left(\frac{\partial f(x-x_0)}{\partial x} \right) (\gamma_0 x \sec \theta) dx \int_{-t_0}^0 g_0(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.14d)$$

Trimaranın dalga direncini üç bölüme ayırabiliriz;

$$\begin{Bmatrix} P_0(\theta) \\ Q_0(\theta) \end{Bmatrix} \Rightarrow 2 \cos(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) \begin{Bmatrix} P_{\infty}(\theta) \\ Q_{\infty}(\theta) \end{Bmatrix} \quad (3.15)$$

$$\begin{Bmatrix} P_{\infty}(\theta) \\ Q_{\infty}(\theta) \end{Bmatrix} \Rightarrow \frac{x_0 + \lambda_0}{x_0 - \lambda_0} \frac{\cos(\gamma_0 x \sec \theta)}{\sin(\gamma_0 x \sec \theta)} \frac{d}{dx} \int_{-t}^0 g_0(z) e^{\gamma_0 z \sec^2 \theta} dz \quad (3.16)$$

$$P^2(\theta) = P_m^2(\theta) + P_0^2(\theta) + 2 P_m(\theta) P_0(\theta) \quad (3.17)$$

$$Q^2(\theta) = Q_m^2(\theta) + Q_0^2(\theta) + 2 Q_m(\theta) Q_0(\theta) \quad (3.18)$$

$$P^2(\theta) = P_m^2(\theta) + 4 \cos^2(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) P_{\infty}^2(\theta) + 4 \cos(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) P_m(\theta) P_{\infty}(\theta) \quad (3.19)$$

$$Q^2(\theta) = Q_m^2(\theta) + 4 \cos^2(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) Q_{\infty}^2(\theta) + 4 \cos(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) Q_m(\theta) Q_{\infty}(\theta) \quad (3.20)$$

$$C_w = C_{w1} + C_{w2} + C_{w3} \quad (3.21)$$

$$C_{w1} = 8\pi\lambda\omega^2 \int_0^{\pi/2} \{ P_m^2(\theta) + Q_m^2(\theta) \} \sec^3 \theta d\theta \quad (3.22)$$

$$C_{w2} = 32\pi\lambda\omega^2 \int_0^{\pi/2} \{ P_{\infty}^2(\theta) + Q_{\infty}^2(\theta) \} \cos^2(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) \sec^3 \theta d\theta \quad (3.23)$$

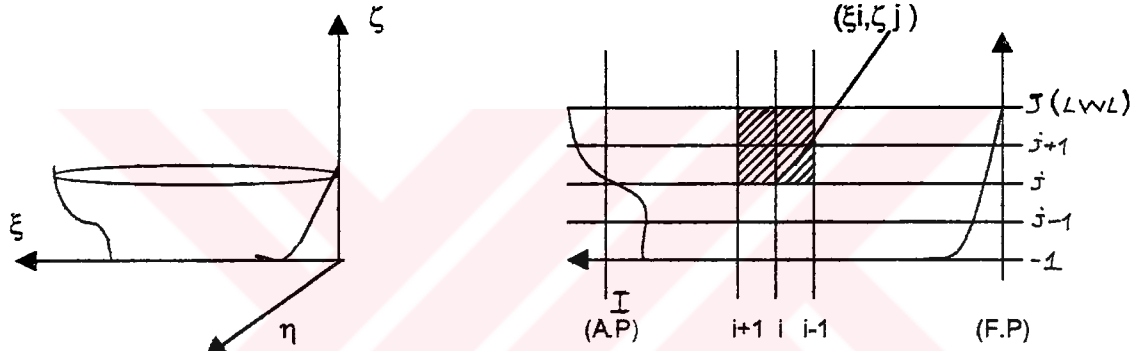
$$C_{w3} = 32\pi\lambda\omega^2 \int_0^{\pi/2} \{ P_m(\theta) Q_{\infty}(\theta) + P_{\infty}(\theta) Q_m(\theta) \} \cos(\gamma_0 y_0 \sec \theta \tan \theta) \sec^3 \theta d\theta \quad (3.24)$$

C_{w1} , ana teknenin dalga direnci, C_{w2} , yan teknelerin dalga direnci ve C_{w3} , ana

tekne ile yan teknelerin dalga formlarının oluşturduğu girişim (interference) etkisinden doğan dalga direncidir.

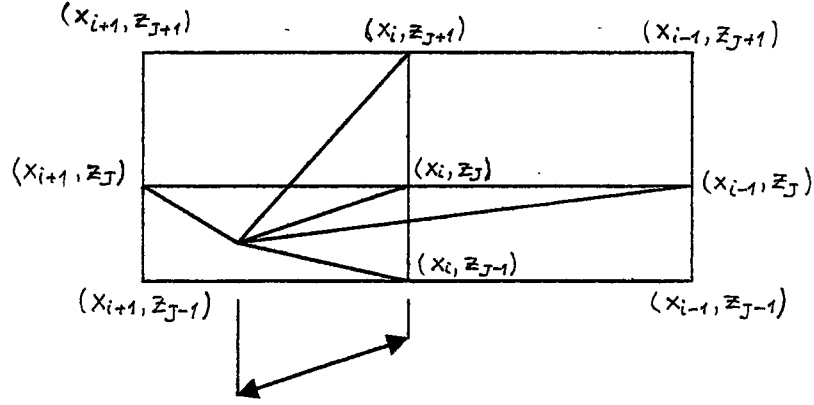
3.4 Dalga Direncinin Çadır Fonksiyonları Yardımıyla Hesaplanması :

Dalga direncini hesaplayabilmek için daha önceki bölümde görüldüğü gibi gemi yüzeyinin tanımlanması gerekmektedir. Bunun için çadır fonksiyonlarından yararlanılmıştır.



Şekil 3.3 Boyutlu eksen takımı Şekil 3.4 Posta ve suhatlarından oluşan ağ sistemi

Gemi yüzeyini veren çadır fonksiyonlarını kullanabilmek için geminin merkez düzlemi ağ çizgileriyle elemanlara ayrılmaktadır. Ağ çizgilerinin arası istenildiği gibi alınabilir. Omurga hattı ilk yatay ağ çizgisi, yüklü su hattı son yatay ağ çizgisi olarak alınacaktır. Baş dikey ilk düşey ağ çizgisi, kıç dikey ise son düşey ağ çizgisi olacaktır. Birim çadır fonksiyonunu tanımlamak için (i, j) merkezli öyle bir eleman alınsın ki fonksiyon (i, j) noktasında birim, eleman çevresinde sıfır olsun. (i, j) merkezli böyle bir eleman için tanımlı çadır fonksiyonu aşağıdaki gibi verilebilir;



Şekil 3.5 Birim çadır fonksiyonu

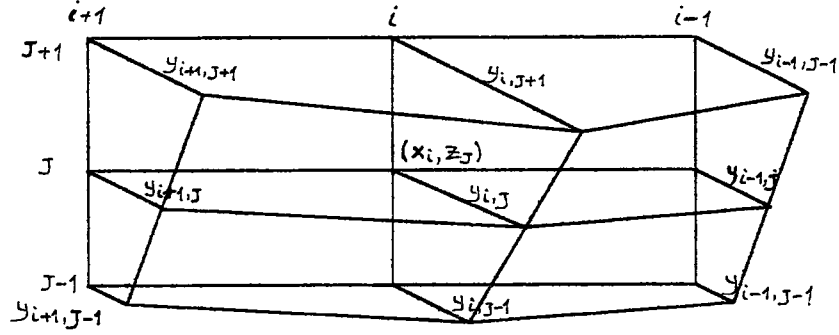
$$\begin{aligned}
 & \left\{ \begin{aligned}
 & \left[1 - \frac{\chi^i - \chi}{\chi^i - \chi^{i-1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j-1}} \right] ; \chi^{i-1} \leq \chi \leq \chi^i, z_{j-1} \leq z \leq z_j \\
 & \left[1 - \frac{\chi^i - \chi}{\chi^i - \chi^{i-1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j+1}} \right] ; \chi^{i-1} \leq \chi \leq \chi^i, z_j \leq z \leq z_{j+1} \\
 & \left[1 - \frac{\chi^i - \chi}{\chi^i - \chi^{i+1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j-1}} \right] ; \chi^i \leq \chi \leq \chi^{i+1}, z_{j-1} \leq z \leq z_j \\
 & \left[1 - \frac{\chi^i - \chi}{\chi^i - \chi^{i+1}} \right] \left[1 - \frac{z_j - z}{z_j - z_{j+1}} \right] ; \chi^i \leq \chi \leq \chi^{i+1}, z_j \leq z \leq z_{j+1} \\
 & 0 ; (i, j) \text{ merkezli dikdörtgenin dışında}
 \end{aligned} \right. \quad (3.25)
 \end{aligned}$$

(i, j) noktalarında y_{ij} ofsetlerinin tanımlanmasıyla

$$\hat{h}(\chi, z) = \sum_i \sum_j y_{ij} h^{(i,j)}(\chi, z) \quad (3.26)$$

şeklinde verilen $\hat{h}(\chi, z)$ fonksiyonu gemi yüzeyini yaklaşık olarak tanımlamaktadır.

(i, j)
 (3.25)'te görüldüğü gibi $h(x, z)$ fonksiyonu lineer değildir, fakat x ve z için ayrı ayrı lineerdir. Böyle bir fonksiyon (3.26) ile ifade edildiğinde x ve z yönünde lineer olarak değişen bir gemi formu verir. Bu durumda ağ çizgileri ne kadar sık alınırsa, gemi yüzeyi çadır fonksiyonlarıyla o kadar doğru bir şekilde tanımlanabilecektir.



Şekil 3.6 Çadır fonksiyonu ile gemi yüzeyi tanımı

Narin bir gemi için dalga direnci ;

$$R_w = ((8\rho g \gamma_0)/(\pi L)) \int_0^{\pi/2} (P^2 + Q^2) \sec^3 \theta \, d\theta \quad (3.27a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow (BT/2) \int_0^1 \int_0^1 h_x(x, z) \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} \left\{ 2\gamma_0 x \sec \theta \right\} e^{2\gamma_0 (T/L) \sec^2 \theta (z-1)} dx dz \quad (3.27b)$$

$\lambda = \sec \theta$ alırsak ;

$$R_w = ((8\rho g \gamma_0)/(\pi L)) \int_1^{\infty} (P^2 + Q^2) \frac{\lambda^2}{\sqrt{\lambda^2 - 1}} d\lambda \quad (3.28a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow (BT/2) \int_0^1 \int_0^1 h_x(x, z) \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} \left\{ 2\gamma_0 x \lambda \right\} e^{2\gamma_0 (T/L) \lambda^2 (z-1)} dx dz \quad (3.28b)$$

$\lambda = 1$ 'deki tekilliği kaldırmak için $\lambda = u^2 + 1$ dönüşümü uygulanırsa ;

$$R_w = ((4\rho g \gamma_0 / \pi) / (B^2 T^2 / 2)) \int_0^{\infty} (P^2 + Q^2) \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} du \quad (3.29a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^1 \int_0^1 h_x(x,z) \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} \left\{ 2\gamma_0 x (u^2+1) \right\} e^{2\gamma_0 (T/L) (u^2+1)^2 (z-1)} dx dz \quad (3.29b)$$

$$C_w = \frac{R_w}{(8\rho g / \pi) (B^2 T^2 / 2)} \quad \text{kabul edersek ;}$$

$$C_w = (\gamma_0 / 2) \int_0^{\infty} (P^2 + Q^2) \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} du \quad (3.30a)$$

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^1 \int_0^1 h_x(x,z) \begin{matrix} \cos \\ \sin \end{matrix} \left\{ 2\gamma_0 x (u^2+1) \right\} e^{2\gamma_0 (T/L) (u^2+1)^2 (z-1)} dx dz \quad (3.30b)$$

Yukarıdaki dalga direncini veren integrasyonu çadır fonksiyonlarıyla ifade etmeye çalışalım ;

$$\left. \begin{matrix} P \\ Q \end{matrix} \right\} \Rightarrow \left\{ \begin{matrix} I & J & C_i \\ \sum_{i=1} & \sum_{j=1} & y_{ij} \\ & & S_i \end{matrix} \right\} (u) E_j(u) \quad (3.31)$$

Burada ;

$$C_i(u) = \frac{1}{2\gamma_0(u^2+1)} \left\{ \frac{1}{x_i - x_{i-1}} (\sin 2\gamma_0 x_i (u^2+1) - \sin 2\gamma_0 x_{i-1} (u^2+1)) - \right.$$

$$\frac{1}{x_{i+1} - x_i} \left(\sin 2\gamma_0 x_{i+1} (u^2+1) - \sin 2\gamma_0 x_i (u^2+1) \right) \} \quad (3.32)$$

$$S_i(u) = \frac{1}{2\gamma_0(u^2+1)} \left\{ \frac{1}{x_{i+1} - x_i} \left(\cos 2\gamma_0 x_{i+1} (u^2+1) - \cos 2\gamma_0 x_i (u^2+1) \right) - \frac{1}{x_i - x_{i-1}} \left(\cos 2\gamma_0 x_i (u^2+1) - \cos 2\gamma_0 x_{i-1} (u^2+1) \right) \right\} \quad (3.33)$$

$$E_j(u) = \frac{1}{2\gamma_0(T/L)(u^2+1)^2} \left\{ \frac{1}{z_{j+1} - z_j} \left(e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_{j+1})(u^2+1)^2} - e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_j)(u^2+1)^2} \right) - \frac{1}{z_j - z_{j-1}} \left(e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_j)(u^2+1)^2} - e^{-2\gamma_0(T/L)(1-z_{j-1})(u^2+1)^2} \right) \right\} \quad (3.34)$$

(3.31) ile verilen P ve Q fonksiyonları da (3.30a) da yerine konulursa ;

$$C_w = \gamma_0/2 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{\ell=1}^L y_{ij} y_{k\ell} \int_0^{\infty} \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} [(C_i C_k + S_i S_k) E_j E_\ell] du \quad (3.35)$$

$$d_{ijk\ell} = \gamma_0/2 \int_0^{\infty} \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} [(C_i C_k + S_i S_k) E_j E_\ell] du \quad (3.36)$$

$d_{ijk\ell}$, y_{ij} ve $y_{k\ell}$ dizilerinin boyutları bir boyut düşürülebilir. Bu işlemler sırasında ;

$$m = (i - 1) J + j \quad (i = 1, 2, 3, \dots, I, j = 1, 2, 3, \dots, J)$$

$$n = (k - 1) L + \ell \quad (k = 1, 2, 3, \dots, K, \ell = 1, 2, 3, \dots, L)$$

olarak tanımlıdır. Böylece ;

$$C_w = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N d_{mn} y_m y_n \quad (3.37)$$

eşitliği elde edilir.

Yukarıdaki formülasyonu trimaranlara uygulayalım ;

$$C_w = (\gamma_0 / 2) \int_0^{\infty} (P(u)^2 + Q(u)^2) \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} du \quad (3.38)$$

$$\left. \begin{matrix} P_m \\ Q_m \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^1 \int_0^1 h_x(x,z) \frac{\cos}{\sin} \left\{ 2\gamma_0 x (u^2+1) \right\} e^{2\gamma_0 (T/L) (u^2+1)^2 (z-1)} dx dz \quad (3.38a)$$

$$\left. \begin{matrix} P_0 \\ Q_0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow 2 \cos \left((B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \right) \int_0^1 h_x(x,z) \frac{\cos}{\sin} (2\gamma_0 x (u^2+1)) dx \int_0^1 e^{2\gamma_0 (T/L) (u^2+1)^2 (z-1)} dz \quad (3.38b)$$

$$\left. \begin{matrix} P_0 \\ Q_0 \end{matrix} \right\} \Rightarrow 2 \cos \left((B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \right) \left\{ \begin{matrix} P_{\infty} \\ Q_{\infty} \end{matrix} \right\} \quad (3.38c)$$

$$\left. \begin{matrix} P_{\infty} \\ Q_{\infty} \end{matrix} \right\} \Rightarrow \int_0^1 h_x(x,z) \frac{\cos}{\sin} (2\gamma_0 x (u^2+1)) dx \int_0^1 e^{2\gamma_0 (T/L) (u^2+1)^2 (z-1)} dz \quad (3.38d)$$

Çadır fonksiyonları ile ifade edersek ;

$$P_m = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij} C_{im}(u) E_{jm}(u) \quad (3.39a)$$

$$Q_m = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij} \text{Sim}(u) E_{jm}(u) \quad (3.39b)$$

$$P_0 = 2 \cos \left(\left(\frac{B}{L} \right) \gamma_0 \gamma_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \right) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij} C_{i0}(u) E_{j0}(u) \quad (3.40a)$$

$$Q_0 = 2 \cos \left(\left(\frac{B}{L} \right) \gamma_0 \gamma_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \right) \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J y_{ij} S_{i0}(u) E_{j0}(u) \quad (3.40b)$$

$$P^2 = [P_m^2 + P_0^2] = P_m^2 + P_0^2 + 2P_m P_0 \quad (3.41a)$$

$$Q^2 = [Q_m^2 + Q_0^2] = Q_m^2 + Q_0^2 + 2Q_m Q_0 \quad (3.41b)$$

$$C_w = \gamma_0/2 \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{\ell=1}^L y_{ij} y_{k\ell} d_{ijk\ell} \quad (3.42)$$

Dalga direncini üçe ayıralım ;

$$C_w = C_{w1} + C_{w2} + C_{w3} \quad (3.43)$$

$$C_{w1} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{\ell=1}^L y_{ijm} y_{k\ell m} d_{1ijk\ell} \quad (3.44a)$$

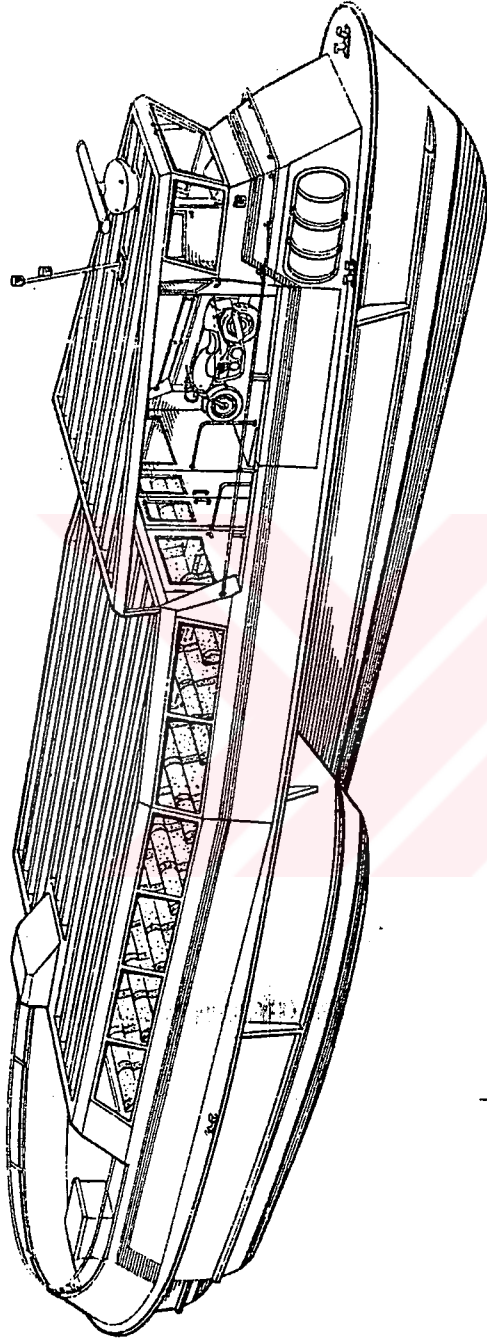
$$d_{1ijk\ell} = \gamma_0/2 \int_0^{\infty} \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} [(C_{im}C_{km} + S_{im}S_{km}) E_{jm}E_{\ell m}] du \quad (3.44b)$$

$$C_{w2} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{\ell=1}^L y_{ij0} y_{k\ell 0} d_{2ijk\ell} \quad (3.45a)$$

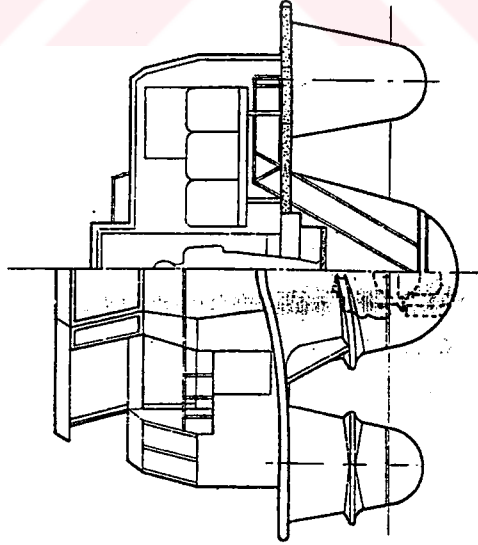
$$d_{2ijk\ell} = \gamma_0/2 \int_0^{\infty} 4 \cos^2 \left(\left(\frac{B}{L} \right) \gamma_0 \gamma_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \right) \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} [(C_{im}C_{km} + S_{im}S_{km}) E_{jm}E_{\ell m}] du \quad (3.45b)$$

$$C_{w3} = \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K \sum_{\ell=1}^L y_{ijm} y_{k\ell 0} d_{3ijk\ell} \quad (3.46a)$$

$$d_{3ijk} = \gamma_0/2 \int_0^\infty 4 \cos \left((B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \right) \frac{(u^2+1)^2}{\sqrt{u^2+2}} \left[(C_{im}C_{k0} + S_{im}S_{k0}) E_{jm}E_{i0} \right] du \quad (3.46b)$$



OVERALL LENGTH	17.50
OVERALL BEAM	5.50
DRAUGHT LOADED	0.75
DISPLACEMENT LOADED	14 TCIN



Şekil 3.7 White Horse Ferries Ltd.'ye ait 60 yolcu kapasiteli feribot

BÖLÜM 4

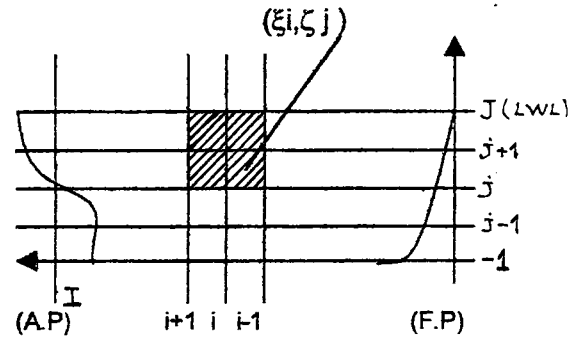
Sayısal Hesaplamalar

Optimizasyon için gerekli dalga direnci değerlerini hesaplayan bir algoritma geliştirilmiş ve bilgisayar programı yazılmıştır. Gören ve Çalışal'ın [9] tek gövdeli teknelerin sürtünme ve dalga dirençlerini hesaplayan Opcat1 adlı programı temel olarak alınmış ve trimaranlar için geliştirilmiştir. Program Michell integralini kullanarak trimaran teknelerin dalga direncini hesaplamaktadır.

Önceki bölümde açıklandığı üzere dalga direncinin kuadratik formda ifade edilmesinde Hsiung'un formülasyonu kullanılmıştır. [10] Gemi yüzeyini veren çadır fonksiyonlarını kullanabilmek için gemi merkez düzlemi gridlere bölünmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken, ana tekne ve yan teknelerin orta düzlemlerinde oluşturulan gridlerin üst üste gelmesidir. Bu da demektir ki, ana tekne ile yan teknenin su hattı ile posta aralıkları eşit olmalıdır.

$$i - (i - 1) = i' - (i' - 1)$$

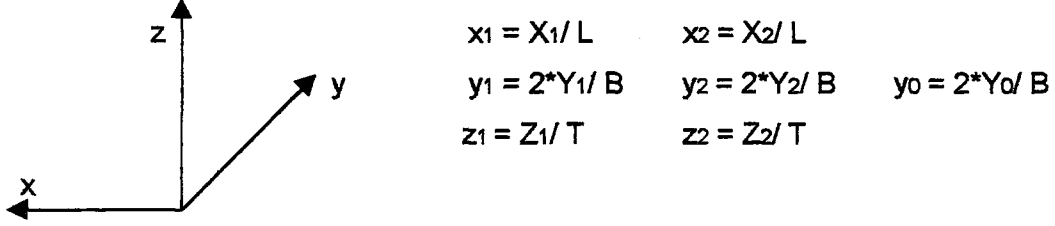
$$j - (j - 1) = j' - (j' - 1)$$



Şekil 4.1 Posta ve suhatlarından oluşan ağ sistemi

Programa data olarak teknenin ana boyutları, ana ve yan teknelerin ofsetleri ve ana tekne ile yan teknenin arasındaki uzaklık verilmekte, trimaranın dalga direnci ve dalga direnç katsayısı elde edilmektedir.

Data değerleri boyutsuzlaştırılmış ve program boyunca boyutsuz değerler kullanılmıştır.



Şekil 4.2 Boyutsuz eksen takımı

Froude sayısı ana teknenin boyuna bağlı olarak verilmiştir.

$$Fn = V / \sqrt{g * L}$$

Programda, tek gövdeli durum için Michell integrali Simpson integrasyon yöntemiyle çözülmektedir. İki tekneli durumda ise girişim [interference] etkisinden gelen ve integrantın hızla salınmasına neden olan kosinüslü terim, integralin tek gövdeli haldeki yöntemlerle çözülmesini olanaksız kılmaktadır. Bu sorunu ortadan kaldırmak için Sidi (1982) tarafından verilen ve hızla salınan integranta sahip integrallerde oldukça çabuk ve duyarlı sonuçlar veren bir algoritma kullanılmıştır. [5]

Algoritmayı kısaca özetlersek ;

$I[f] = \int_a^{\infty} f(t) dt$ şeklinde verilen ve hızla salındığı bilinen bir integral için integrantın ;

$f(x) = u(\theta(x)) e^{\phi(x)} h(x)$ şeklinde verildiğini kabul edersek integrantın içindeki terimleri şöyle açıklayabiliriz.

$u(t) : \cos t$ ya da $\sin t \rightarrow$ trigonometrik terim

$\theta(x) : \theta \in A^{(m)} \rightarrow$ trigonometrik terimin argümanı

$\phi(x) : \phi \in A^{(k)} \rightarrow$ eksponansiyel terim

$h(x) : h \in A^{(\gamma)} \rightarrow$ polinom

W dönüşümü :

$$W_n^{(0)} = F(x_1) + \psi(x_1) \sum_{i=0}^n \left(\bar{B}_i / x_1 \right), \quad i : 0, 1, 2, 3, \dots, n+1 \quad (4.1)$$

Burada x_1 integrantı sıfır yapan x değerleridir ve ' n ' adet kökün hesaplandığı varsayılmaktadır. $F(x_1)$ ise integrantın her bir kök arasındaki integralidir.

$$u(\theta(x)) = \cos(\theta(x))$$

$\theta(x) = (q + i + 1/2)\pi$ için yukarıdaki denklemin çözümü x_1 değerlerini verecektir.

Bunlara göre ;

$$\int_x^\infty g(t) dt = x^\sigma g(x) \beta(x) = x^{\sigma+\gamma} e^{\phi(x)} \{ \cos(\bar{\theta}(x)) b_1 + \sin(\bar{\theta}(x)) b_2 \} \quad (4.2)$$

$$\psi(x) = \sin[\bar{\theta}(x_0)] (-1)^i x_1^{\sigma+\gamma} e^{\phi(x_1)} \quad (4.3)$$

$j = s = 0$ için W algoritması şöyle ifade edilebilir;

$$M_{-1}^{(s)} = F(x_s) / \psi(x_s) \quad (4.4)$$

$$N_{-1}^{(s)} = 1 / \psi(x_s) \quad (s = 1, 2, 3, \dots) \quad (4.5)$$

$$M_k^{(0)} = (M_{k-1}^{(0)} - M_{k-1}^{(1)}) / (x_0 - x_{k+1}) \quad (4.6)$$

$$N_k^{(0)} = (N_{k-1}^{(0)} - N_{k-1}^{(1)}) / (x_0 - x_{k+1}) \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (4.7)$$

$$W_k^{(0)} = M_k^{(0)} / N_k^{(0)} \quad (4.8)$$

$k_{\max}$ kök sayısı olmak üzere $s = 0, 1, 2, \dots, k_{\max}+1$ ve $k = 0, 1, 2, \dots, k_{\max}$ için yukarıdaki algoritma uygulandığında en son bulunan W_k değeri integralin çözümüdür.

Trimaranda ana tekne ile yan tekneler arasındaki girişim (interference) etkisini ifade edersek ;

$$C_w = \gamma_0 \int_0^{\infty} ((u^2+1)^2 / \sqrt{u^2+2}) \cos \{2(B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2}\} (P^2 + Q^2) du \quad (4.9)$$

Buradan $f(u)$ değerini yazarsak ;

$$f(u) = ((u^2+1)^2 / \sqrt{u^2+2}) \cos \{2(B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2}\} (P^2 + Q^2) \quad (4.10)$$

Burada ;

$u(t) : \cos t \rightarrow$ trigonometrik terim

$\theta(u) : 2(B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \rightarrow$ trigonometrik terimin argümanı

Eksponansiyel terim ve polinoma ise $Z(u)$ dersek ;

$$Z(u) = ((u^2+1)^2 / \sqrt{u^2+2}) (P^2 + Q^2)$$

P ve Q içinde hem üstel hem de polinom terimleri vardır. Bu terimlerin ayrıştırılması oldukça zordur. Bu uzun ve karmaşık işlemlerden kurtulmak için $Z(u)$ terimine çok terimli bir eğri uydurmak yeterli olacaktır. Eğri uydurma işlemi sonucu elde edilen yeni eğrinin noktaları ile orjinal eğrinin noktalarının standart sapmaları alındığında en uygun polinomun 3. Dereceden olacağı görülmüştür.

Algoritmayı uygularsak ;

$u(t) : \cos t \rightarrow$ trigonometrik terim

$\theta(u) : 2(B/L) \gamma_0 y_0 u(u^2+1) \sqrt{u^2+2} \quad m=4 \rightarrow$ trigonometrik terimin argümanı

$\phi(x) : 0 \quad k=0 \rightarrow$ eksponansiyel terim

$h(x) : ax^3 + bx^2 + cx + d \rightarrow$ polinom

$$\sigma = \min(-m+1, -k+1) = -3$$

$$\psi(x_1) = \sin[\theta(x_0)](-1)^{\sigma-\gamma} x_1^{\phi(x_1)} e \quad (4.11)$$

ve algoritma uygulanarak çözüm elde edilir.

Bu hesapların yapılabilmesi için ana programın içine SIDI alt programı yerleştirilmiştir. İntegrasyon işlemlerinde 10 noktalı Gauss integrasyonu kullanılmıştır. Kosinüslü terimin köklerini Regula-Falsi yöntemiyle hesaplayan bir alt program ana program içinde kullanılmıştır.

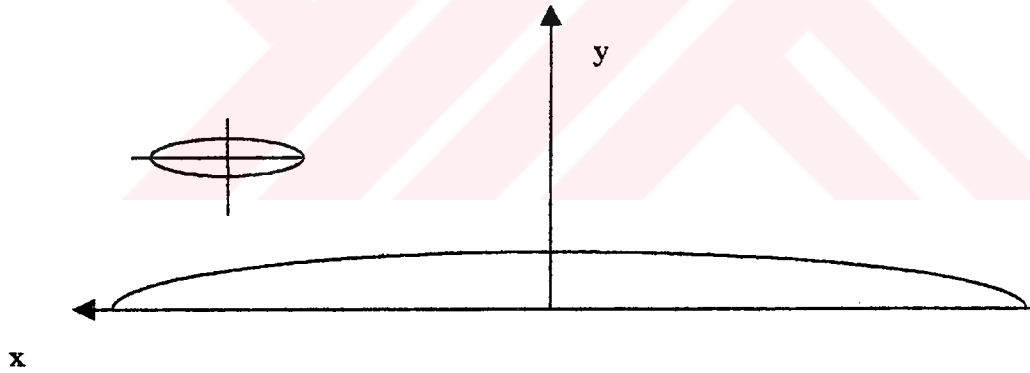
Program ana teknenin dalga direncini, yan teknelerin dalga direncini ve dalga formlarının girişim (interference) etkisini ayrı ayrı hesaplar, bunları süperpoze ederek trimaranın toplam dalga direncini elde eder.

BÖLÜM 5

5.1 Sayısal Uygulamalar

Bölüm 5'te verilen algoritmaya göre hazırlanan bilgisayar programı iki adet trimaran forma uygulanmış ve elde edilen sonuçlar bu bölümde verilmiştir. Bu formlardan ilki, Suzuki ve Ikehata'nın matematiksel formu [6], ikincisi ise tezi hazırlayan tarafından geliştirilen trimaran yat formudur.

5.2 Suzuki-Ikehata Formu :



Şekil 5.1 Trimaranın boyutsuz eksen takımı

$$\ell = L/2$$

$$t = T / \ell$$

$$b = (B/2) / \ell = B/L$$

$$\lambda_0 = (L_0/2) / \ell = L_0 / L$$

$$b_0 = (B_0/2) / \ell = B_0 / L$$

$$t_0 = T_0 / \ell$$

Ana teknenin ve yan teknelerin su hatları kosinüs eğrileri olarak, postalar ise 4. dereceden polinomlar şeklinde verilmiştir.

Ana teknenin ve yan teknelerin su hatları kosinüs eğrileri olarak, postalar ise 4. dereceden polinomlar şeklinde verilmiştir.

Ana tekne ;

$$y = \pm b_0 \cos(x\pi/2) \{ 1 - (z/t)^4 \} \quad (5.1)$$

Yan tekneler ;

$$y \pm y_0 = \pm b_0 \cos[\pi(x-x_0) / 2\lambda_0] \{ 1 - (z/t_0)^4 \} \quad (5.2)$$

Formülasyonda da görüldüğü gibi ana ve yan teknelerin baş ve kış formları simetrik olarak verilmiştir.

Tablo 5.1 Suzuki - Ikehata formunun ana boyutları

Ana Boyutlar				
	Ana Tekne		Yan Tekneler	
Boy	L	1.500 m.	L0	0.450 m.
Genişlik	B	0.118 m.	B0	0.039 m.
Draft	T	0.075 m.	T0	0.025 m.

Tablo 5.2 Suzuki - Ikehata formunda ana teknenin ofset tablosu

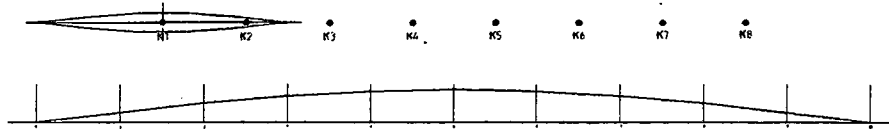
Ana Teknenin Ofset Tablosu							
	Su Hatları						
Postalar	WL0	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0.0094	0.0146	0.0171	0.0180	0.0182	0.0182
2	0	0.0180	0.0278	0.0325	0.0343	0.0347	0.0347
3	0	0.0247	0.0383	0.0448	0.0472	0.0477	0.0477
4	0	0.0291	0.0450	0.0526	0.0554	0.0561	0.0561
5	0	0.0306	0.0474	0.0553	0.0583	0.0590	0.0590
6	0	0.0291	0.0450	0.0526	0.0554	0.0561	0.0561
7	0	0.0247	0.0383	0.0448	0.0472	0.0477	0.0477
8	0	0.0180	0.0278	0.0325	0.0343	0.0347	0.0347
9	0	0.0094	0.0146	0.0171	0.0180	0.0182	0.0182
10	0	0	0	0	0	0	0

* Tablodaki ölçülerin birimi metredir.

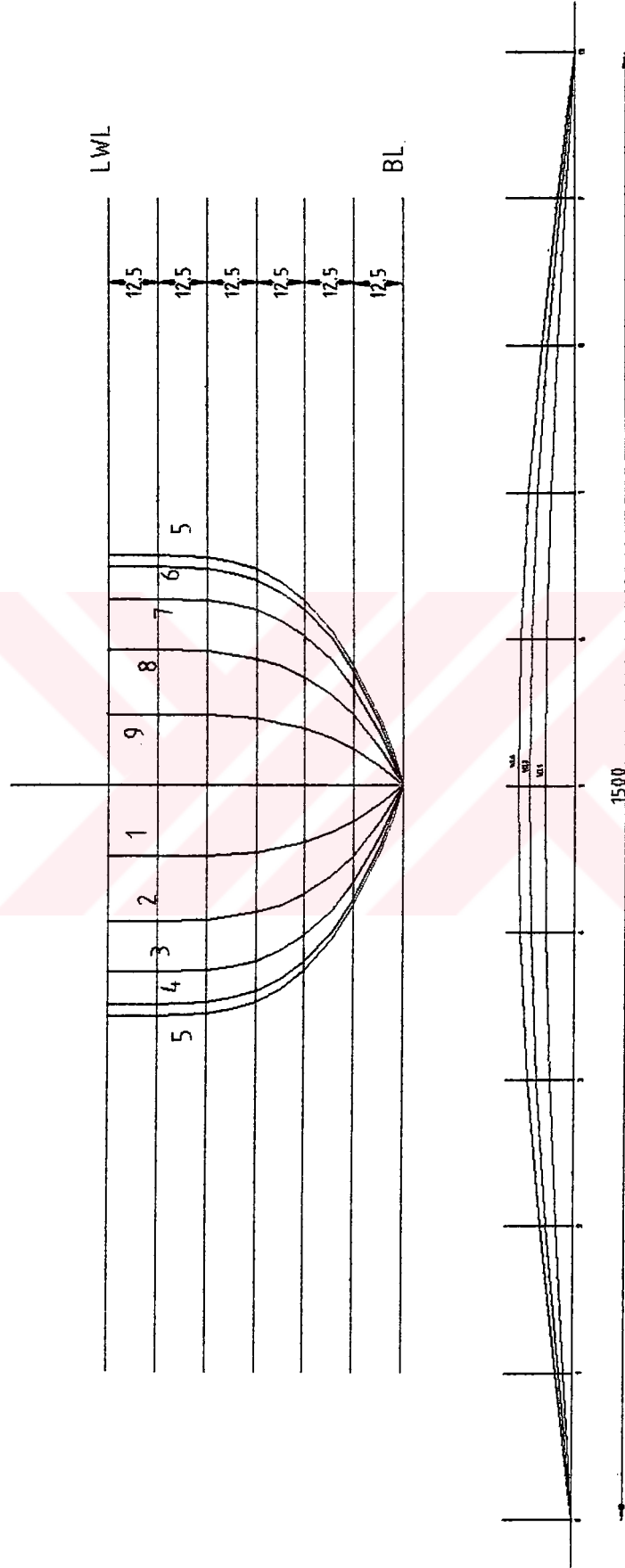
Tablo 5.3 Suzuki - Ikehata formunda yan teknelerin ofset tablosu

Yan Teknelerin Ofset Tablosu							
	Su Hatları						
Postalar	WL0	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0.0158	0.0158
2	0	0	0	0	0	0.0158	0.0158
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0

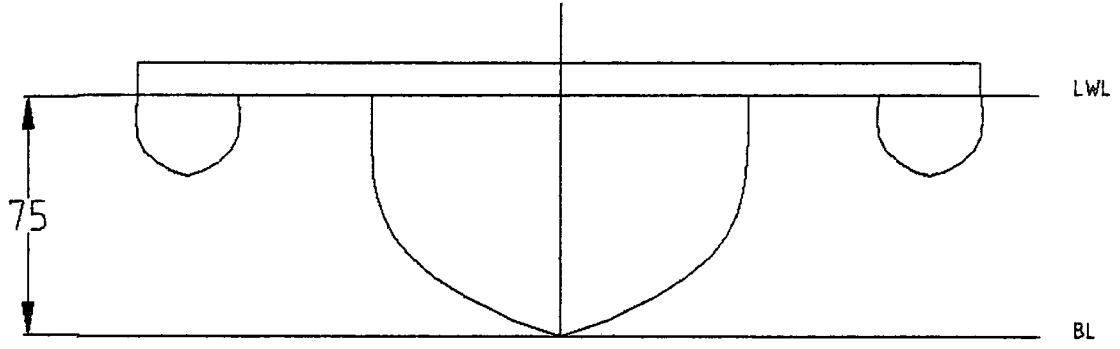
* Tablodaki ölçülerin birimi metredir.



Şekil 5.2 Trimaranda yan teknelerin boyuna konumları



Şekil 5.3 Suzuki - Ikehata formunun endazeesi



Şekil 5.4 Suzuki - Ikehata formunun orta kesiti



Yukarıda ofset tablosu verilen trimaran formun kullanılmasıyla elde edilen sonuçlar şekil 5.5'den şekil 5.16'ya kadar olan grafiklerde verilmiştir.

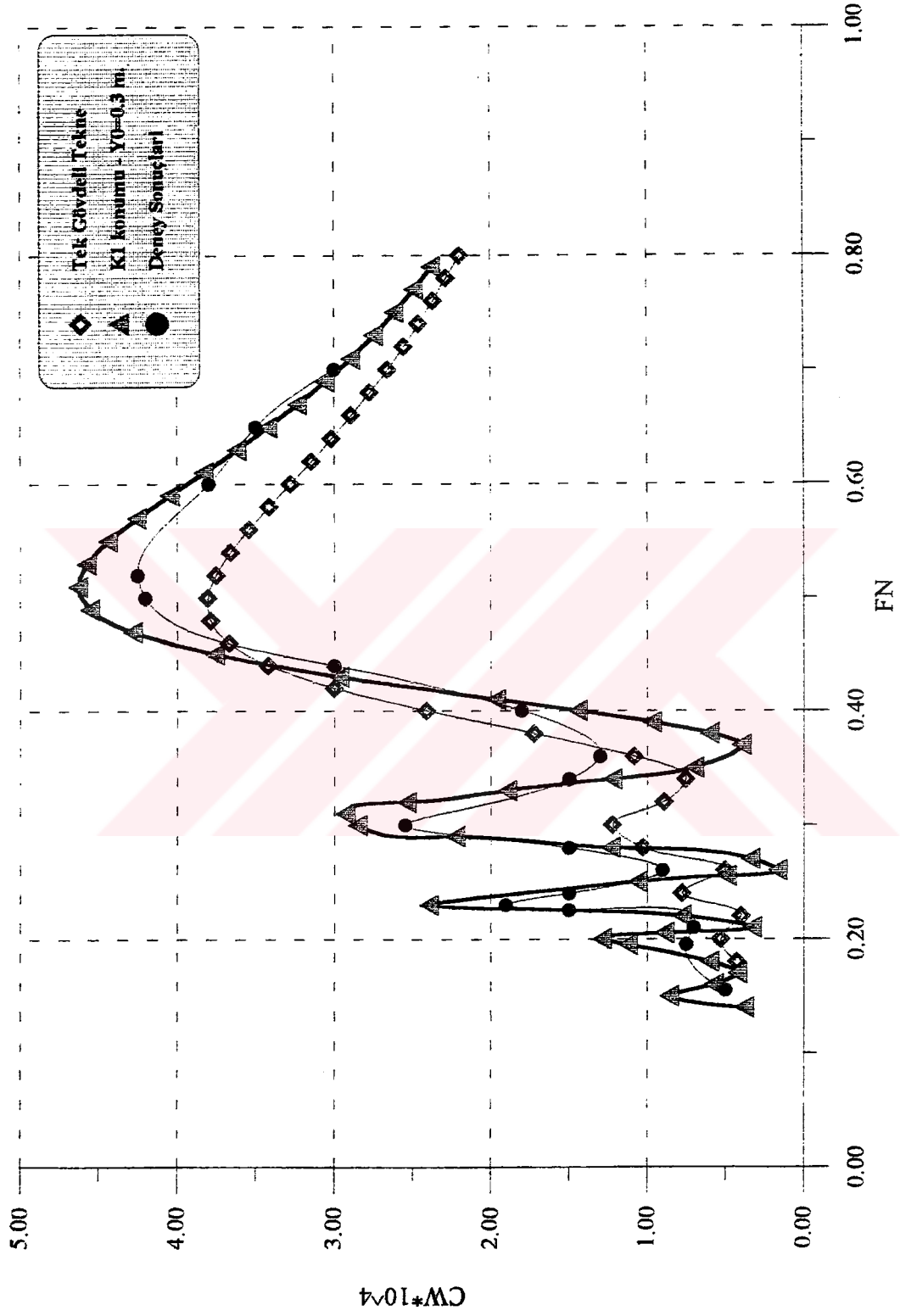
Şekil 5.5'te Suzuki & Ikehata'nın çalışmalarında verdikleri deneysel sonuçlar, tek gövdeli tekne ve buna iki adet yan teknenin eklenmesiyle elde edilen trimaran formun değişen Froude sayılarında dalga direnci değerleri karşılaştırılmıştır. Yan tekneler ana tekneden 0.3 m. uzaklıktadır ve K1 konumundadır. Burada görülmektedir ki, beklendiği üzere trimaranın direnç değerleri tek gövdeli teknenin direnç değerlerinin üzerindedir. Sadece Fn 0.34-0.44 arasında tek gövdeli teknenin direnci fazladır ki o da girişim (interference) etkisinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca, sayısal çalışma ile deneyden elde edilen sonuçların grafikleri aynı karakterdedir. Şekil 5.6 'da yan tekneler farklı uzaklıklara yerleştirilerek dalga direnci değerleri karşılaştırılmıştır. Yan tekneler K1 konumundadır ve ana tekneden 0.3 m. ve 0.5 m. uzaklıklardadır. Grafikte görüldüğü üzere yan tekneler ana tekneden uzaklaştıkça genel olarak toplam dalga direnci düşmektedir. Şekil 5.7 'te yan tekneler K4 konumuna ve ana tekneden 0.75 m. uzağa yerleştirilmişlerdir. Trimaran ve tek gövdeli teknenin farklı Froude sayılarında dalga direnci değerleri karşılaştırılmıştır. Bu grafikte trimaranın dalga direncinin tek gövdeli teknenin dalga direncinden daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Yan tekneler ana tekne boyunca farklı konumlara yerleştirilmiş ve aynı zamanda ana tekne ile yan teknelerin birbirleri arasındaki uzaklıklar değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar şekil 5.8-5.9-5.10-5.11-5.12 'deki grafiklerde verilmiştir. Bu grafiklerde x ekseninin orijin tarafı teknenin kıçını, aksi yönü teknenin başını göstermektedir. Örneğin şekil 5.9 'da verilen grafikte görülmektedir ki, yan tekneler K3 konumuna yerleştirildiğinde trimaranın dalga direnci minimum olmaktadır. Eğer yan tekneler K4 konumuna yerleştirilirse trimaranın dalga direnci maksimum olmaktadır. Ana tekne ve yan teknelerin baş ve kıç formları aynıdır, yani tekne ortasına göre formlar simetriktir, dolayısıyla elde edilen dalga direnci değerleri de simetrik olmaktadır.

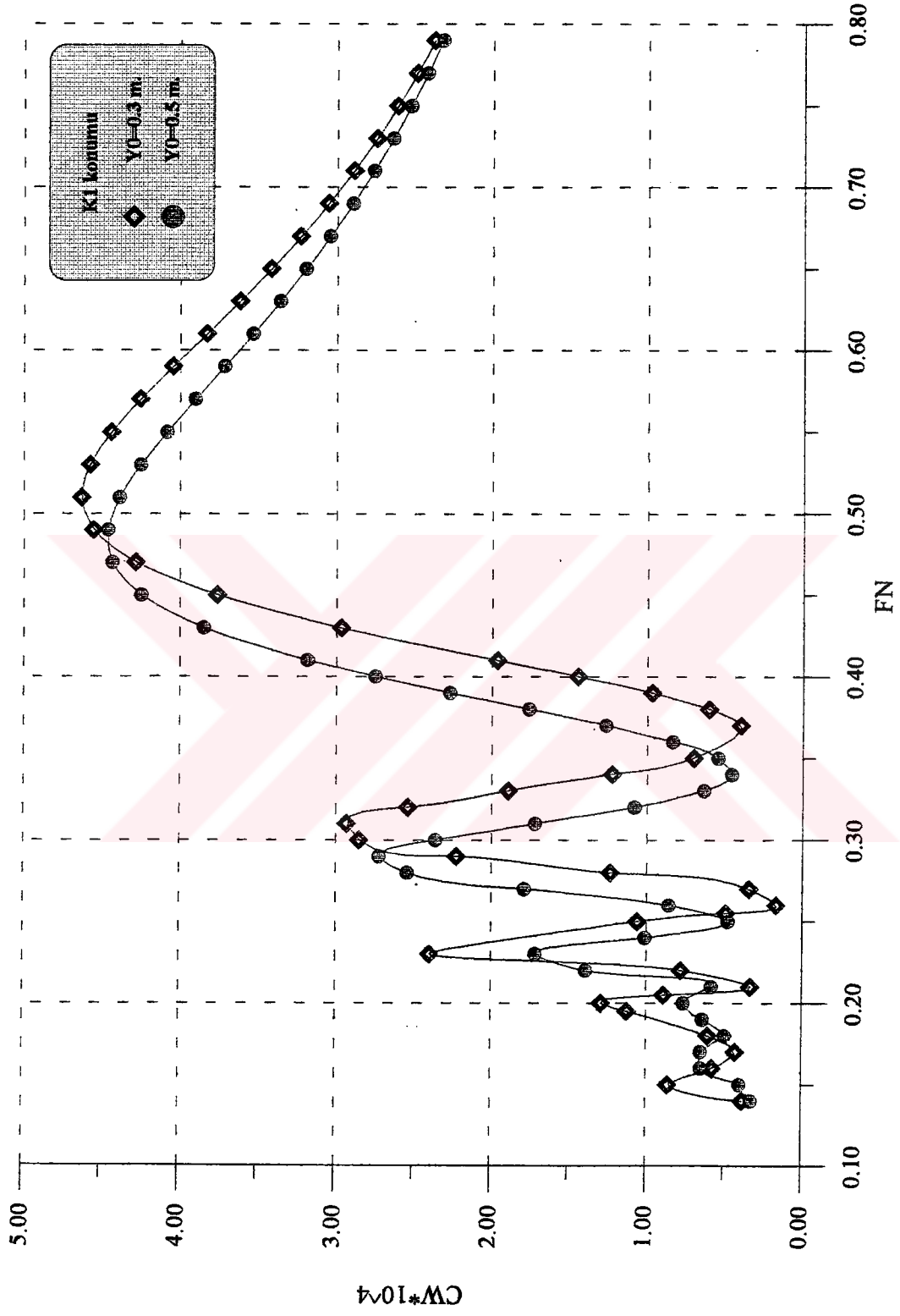
0.4 'ten daha büyük Froude sayılarında dalga direnci değerleri minimize edilememektedir. Froude sayısı 0.5 ve 0.6 için dalga direnci değerleri şekil 5.13 ve şekil 5.15 'te verilmiştir. Ancak, bu Froude sayılarında eşdeğer direnç eğrilerini elde etmek mümkündür. Bu eğriler, yan teknelerin ana tekneye göre farklı boyuna konumlarında, aynı direnci elde etmek için ana tekneden hangi yo mesafelerine

konulmaları gerektiğini göstermektedir ki, tasarımcıya fikir vermesi açısından yararlıdır.

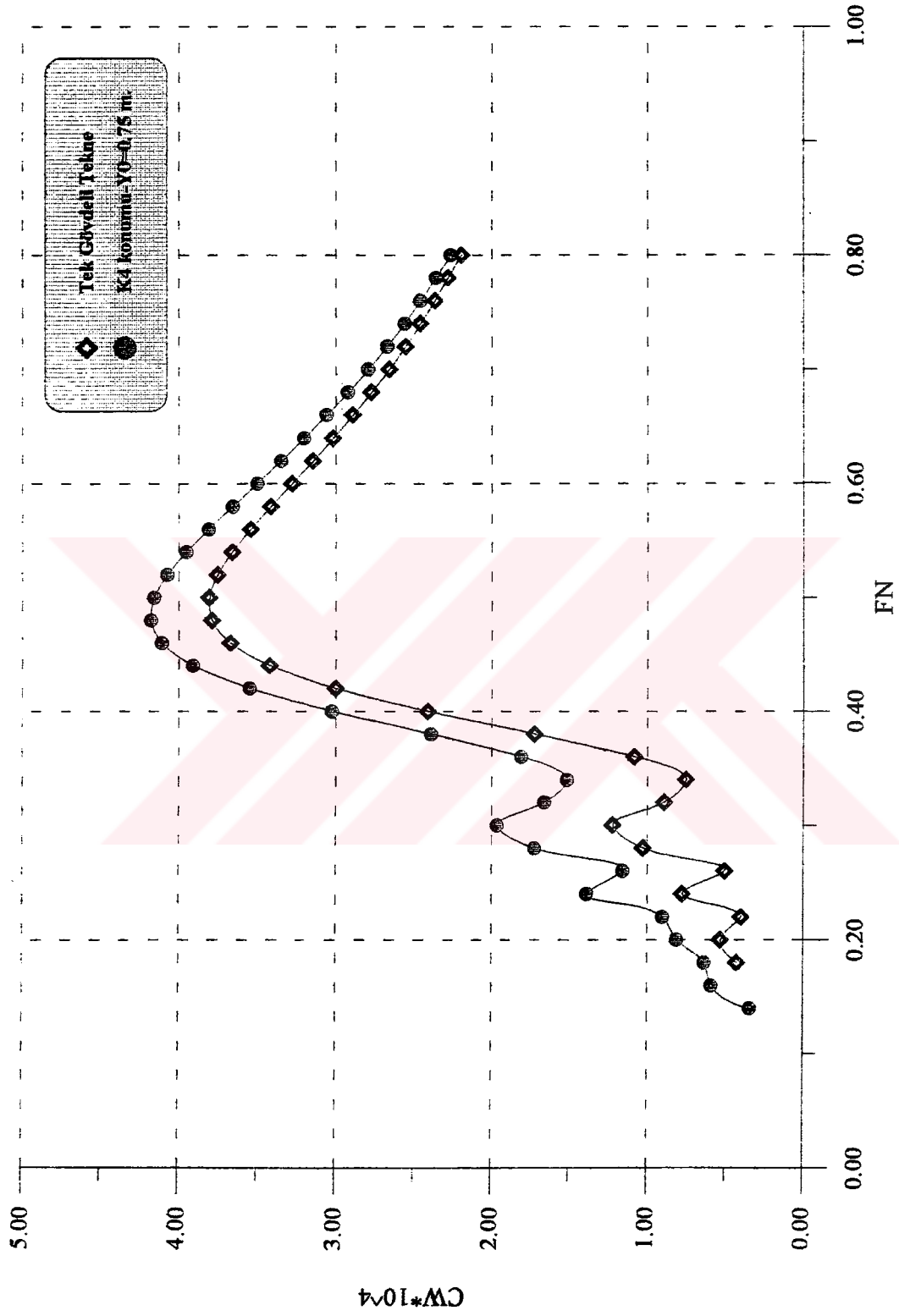




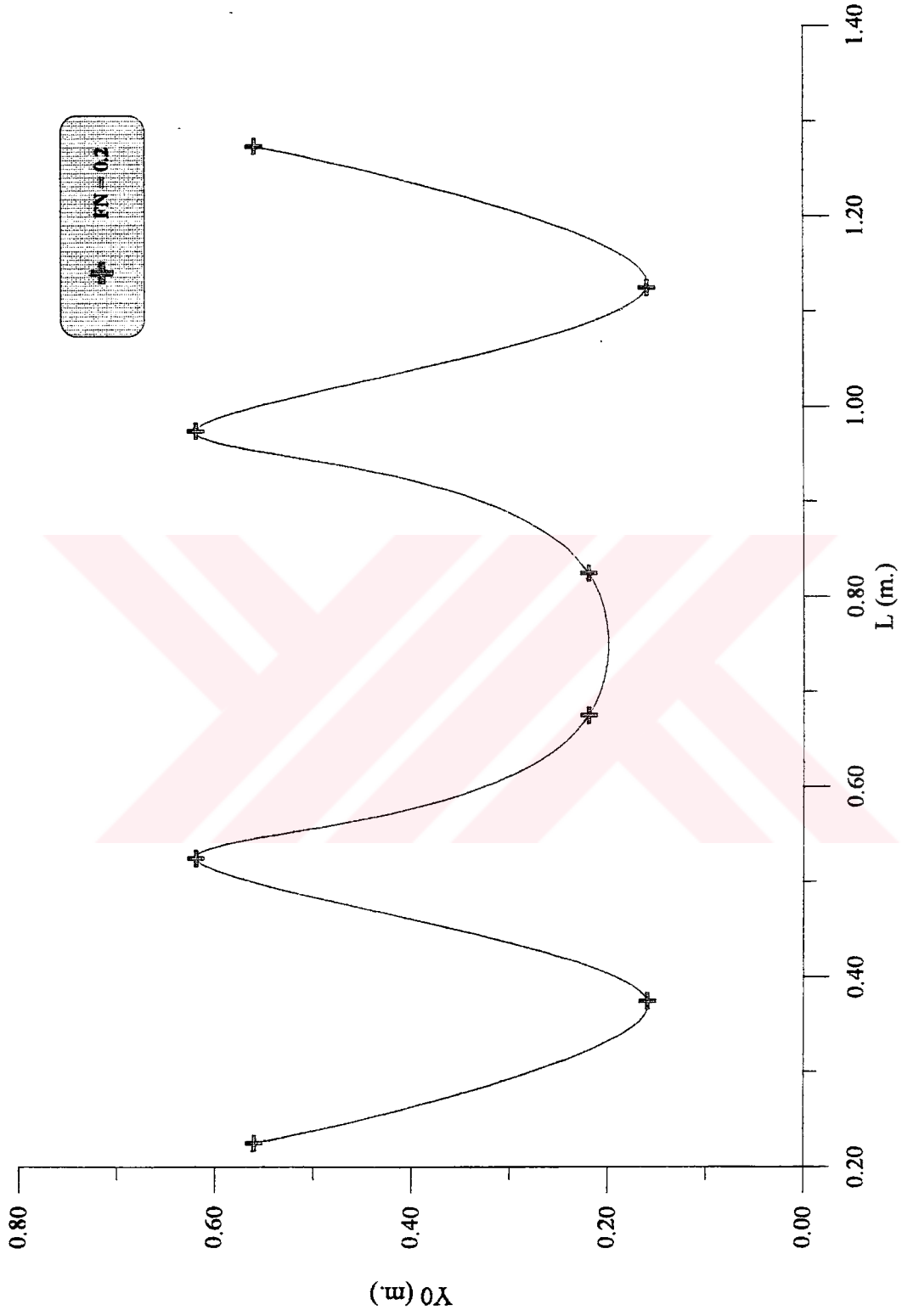
Şekil 5.5 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



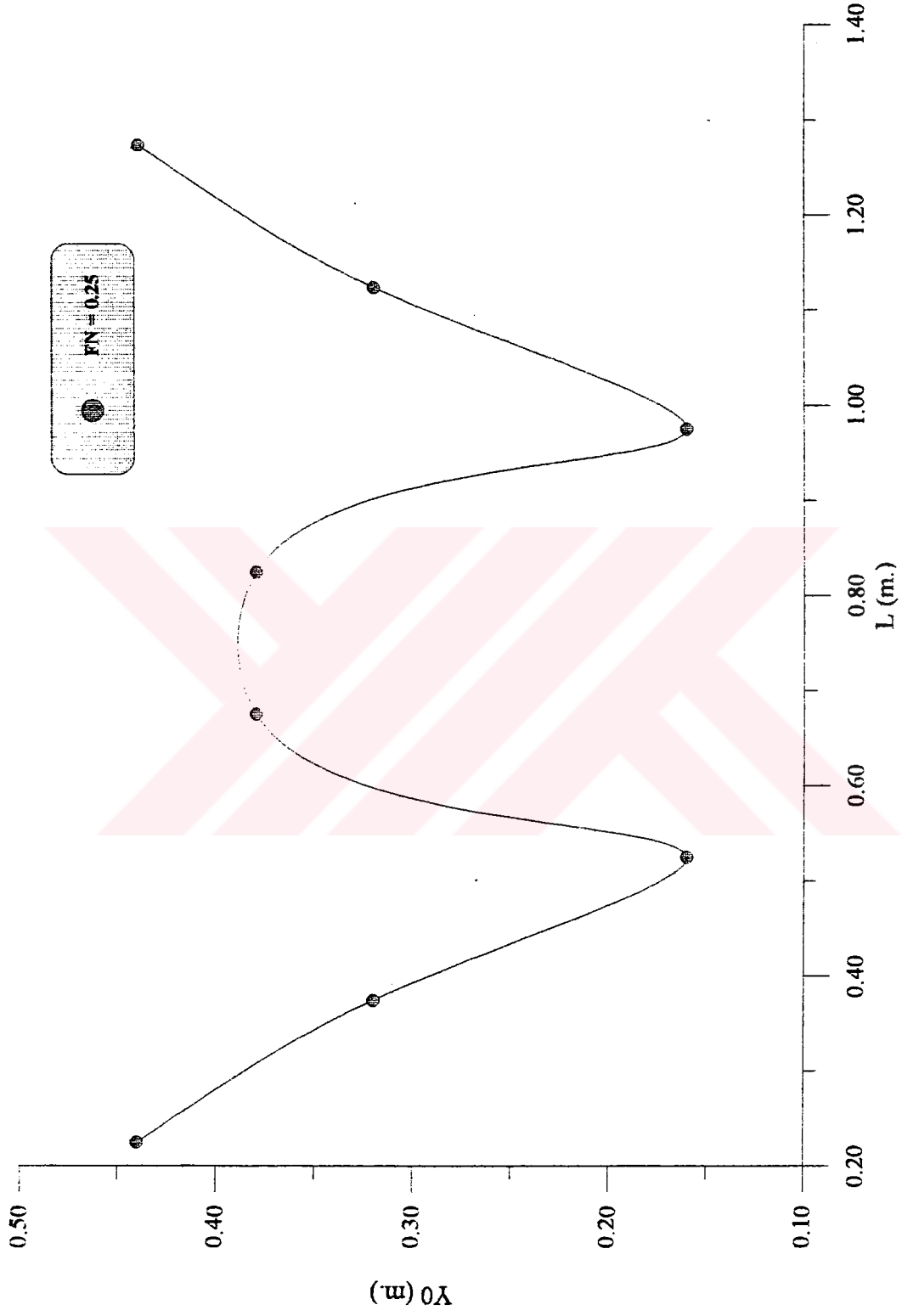
Şekil 5.6 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



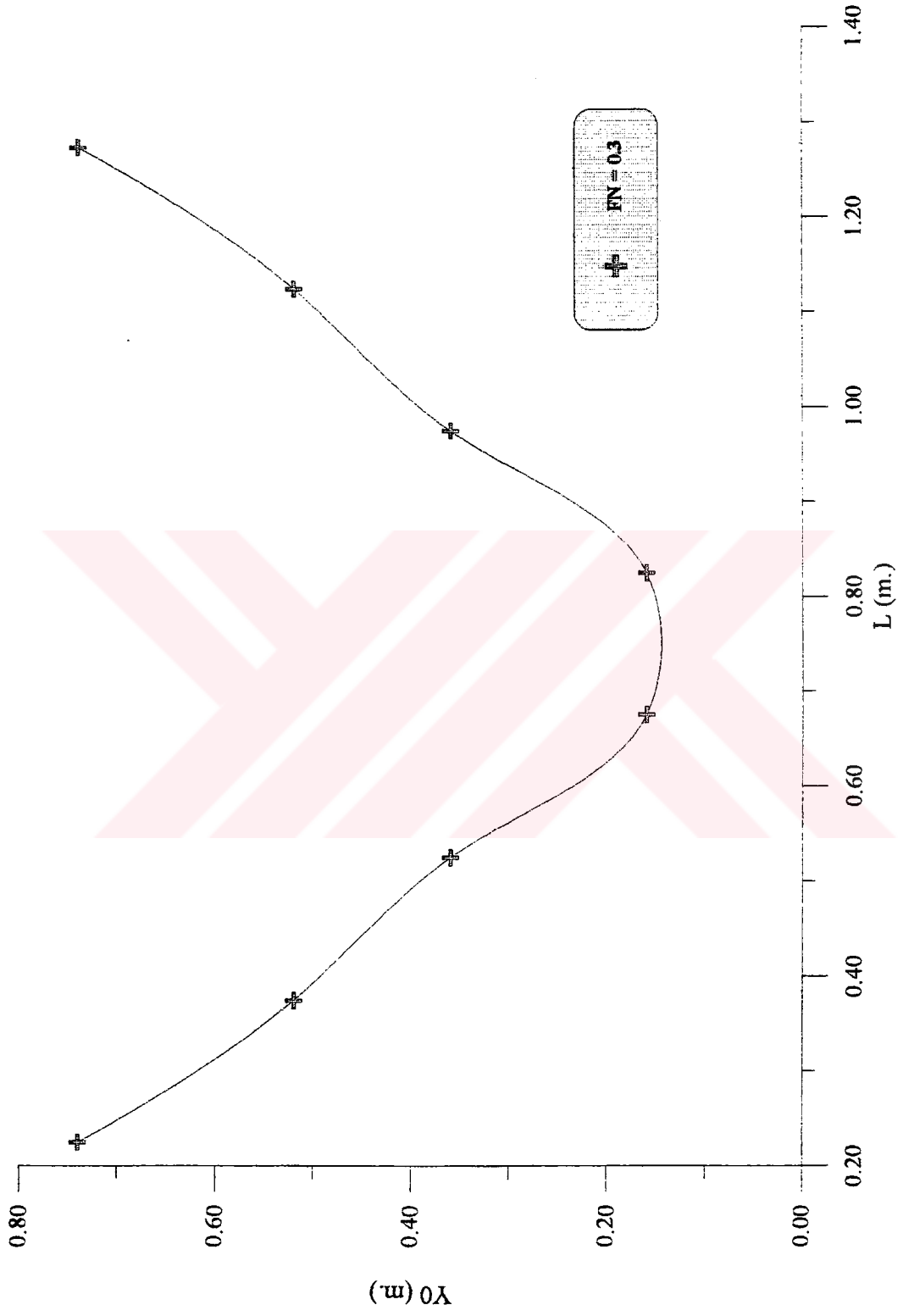
Şekil 5.7 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



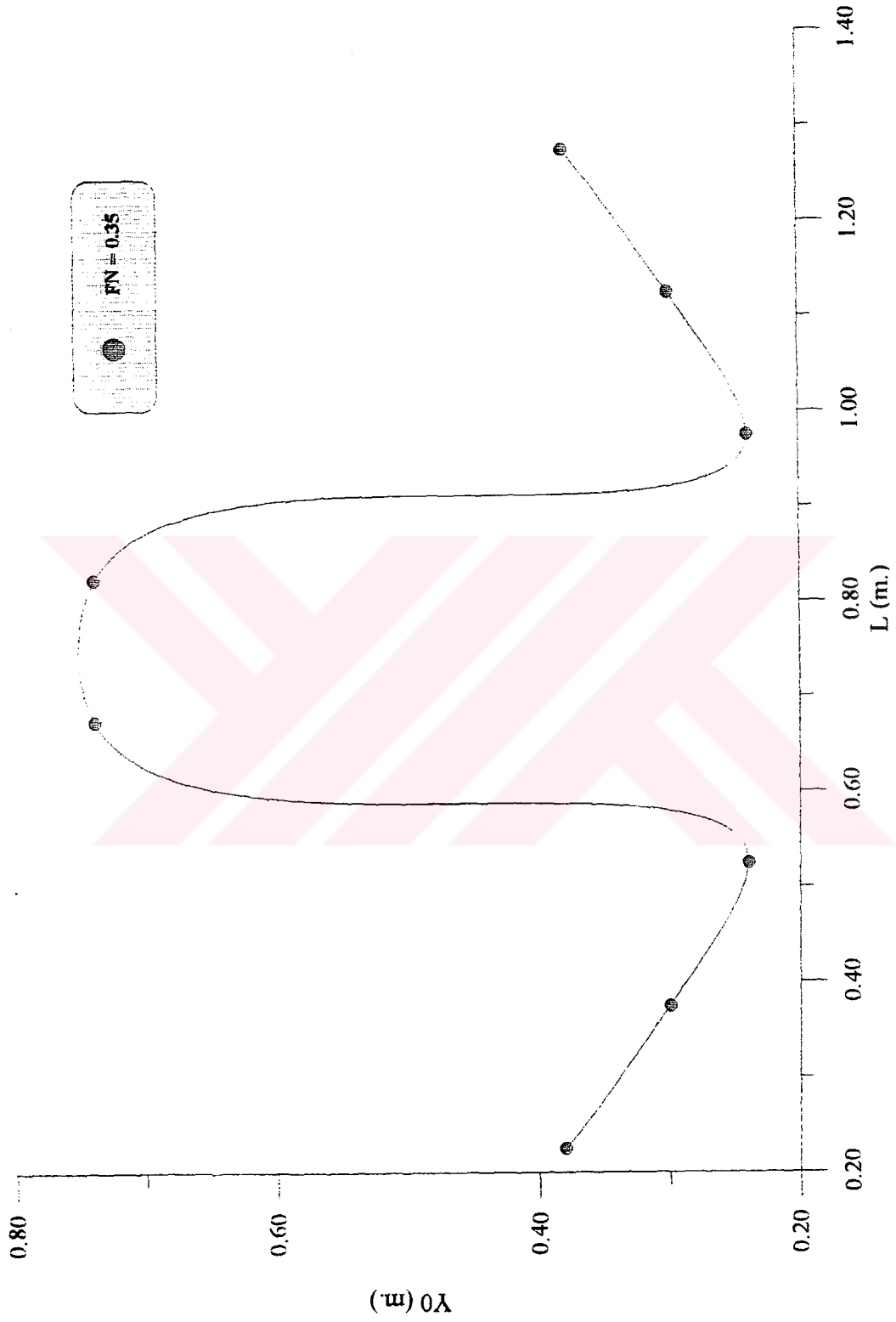
Şekil 5.8 Minimum dalga direnci konum eğrileri



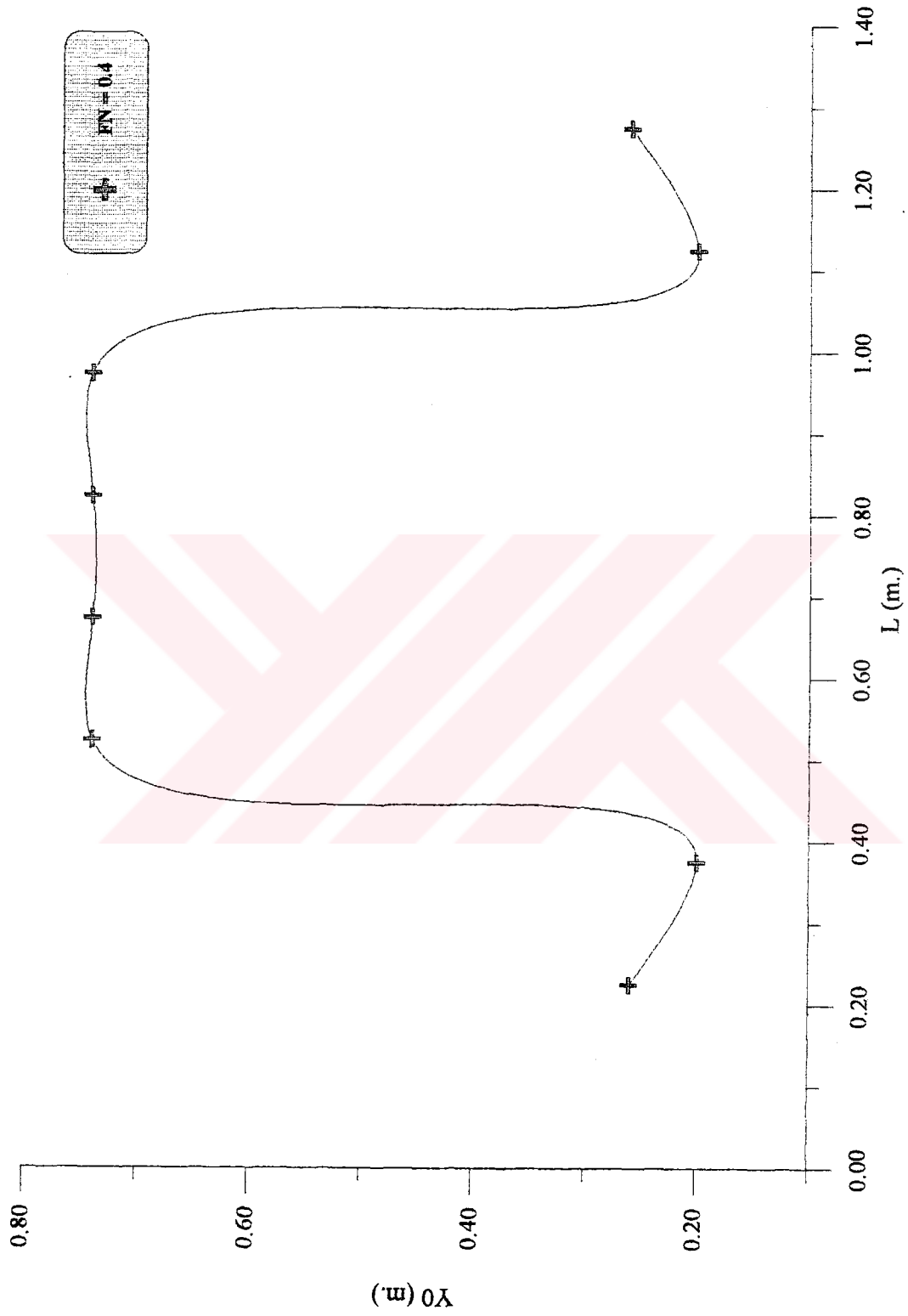
Şekil 5.9 Minimum dalga direnci konum eğrileri



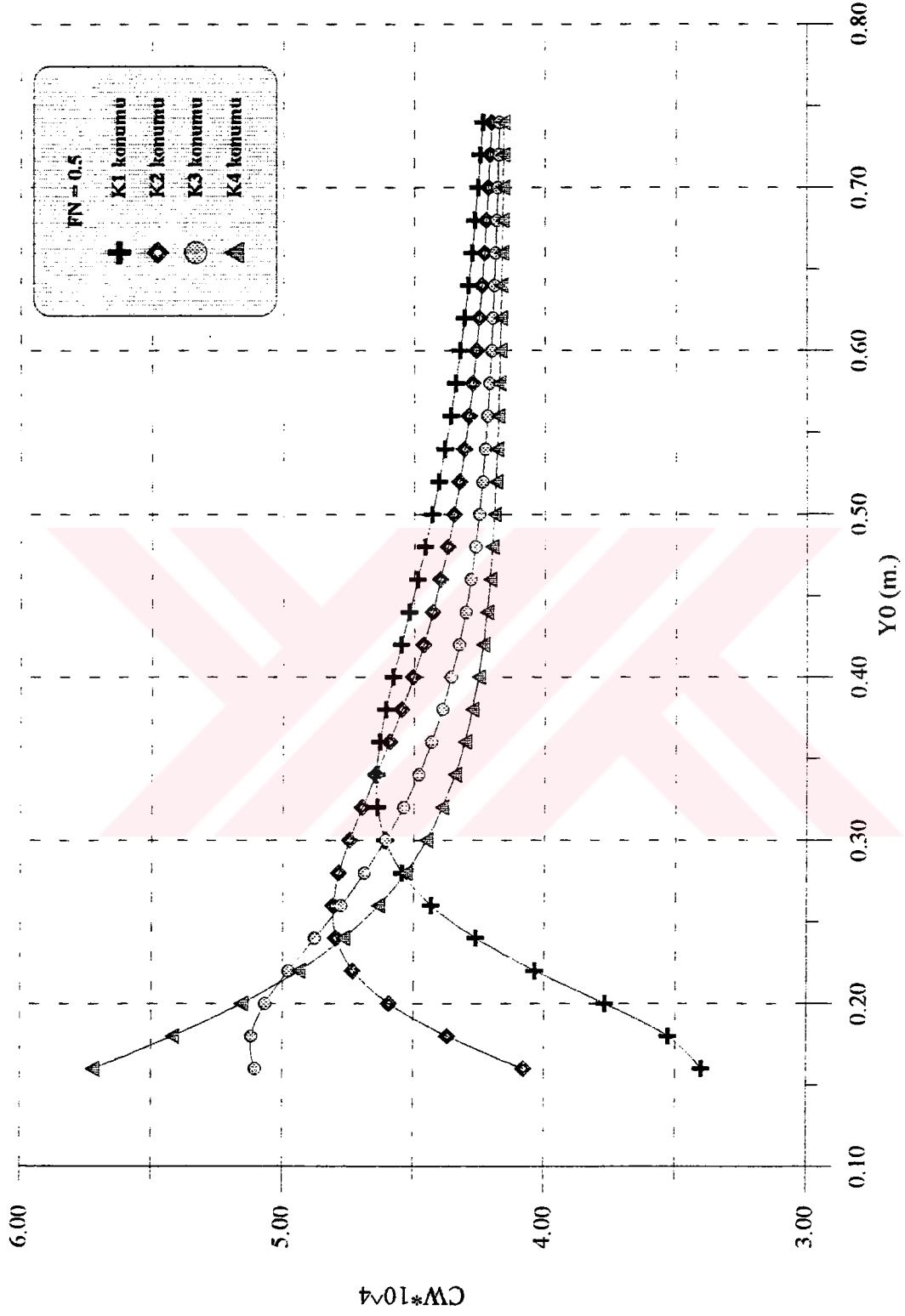
Şekil 5.10 Minimum dalga direnci konum eğrileri



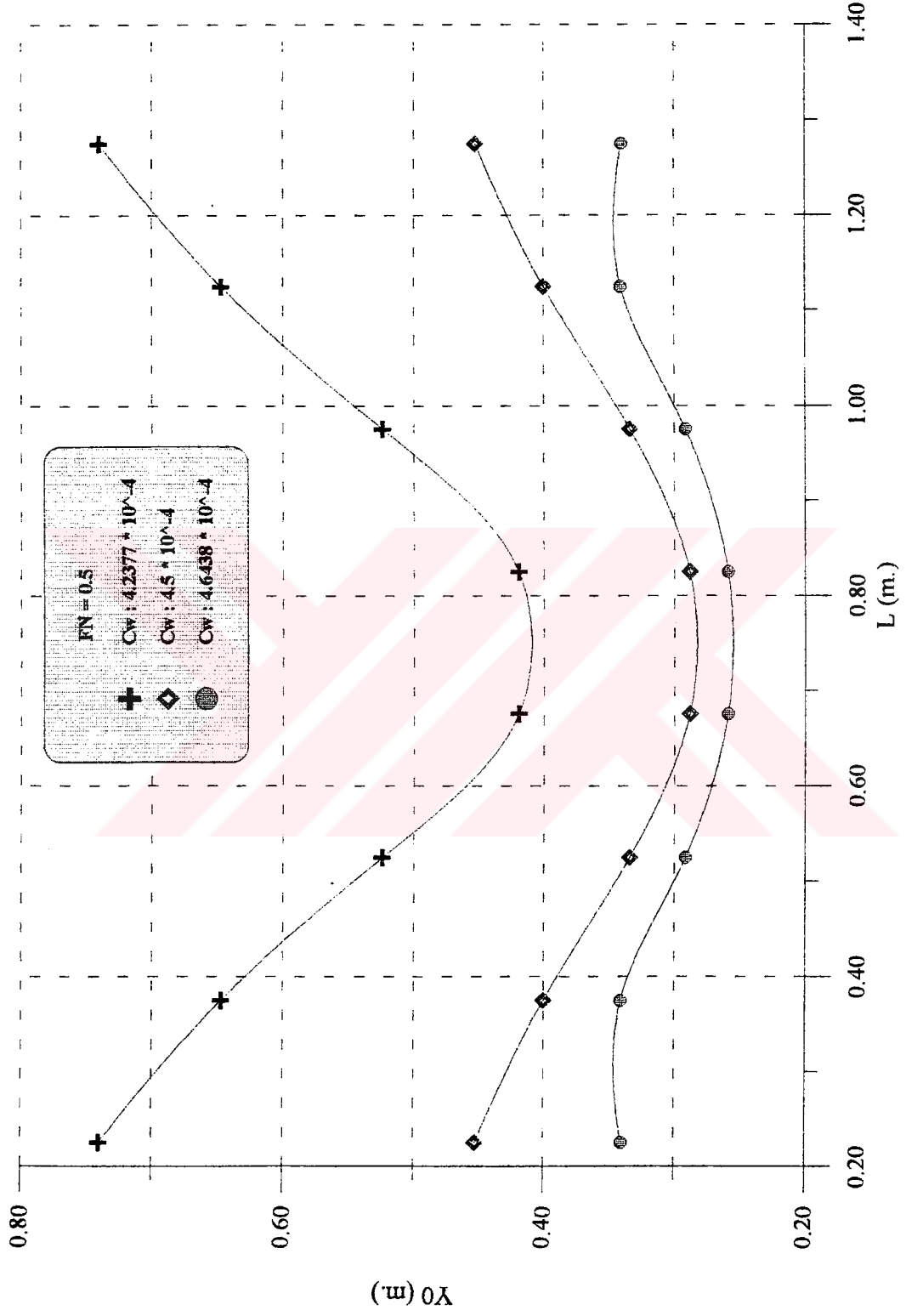
Şekil 5.11 Minimum dalga direnci konum eğrileri



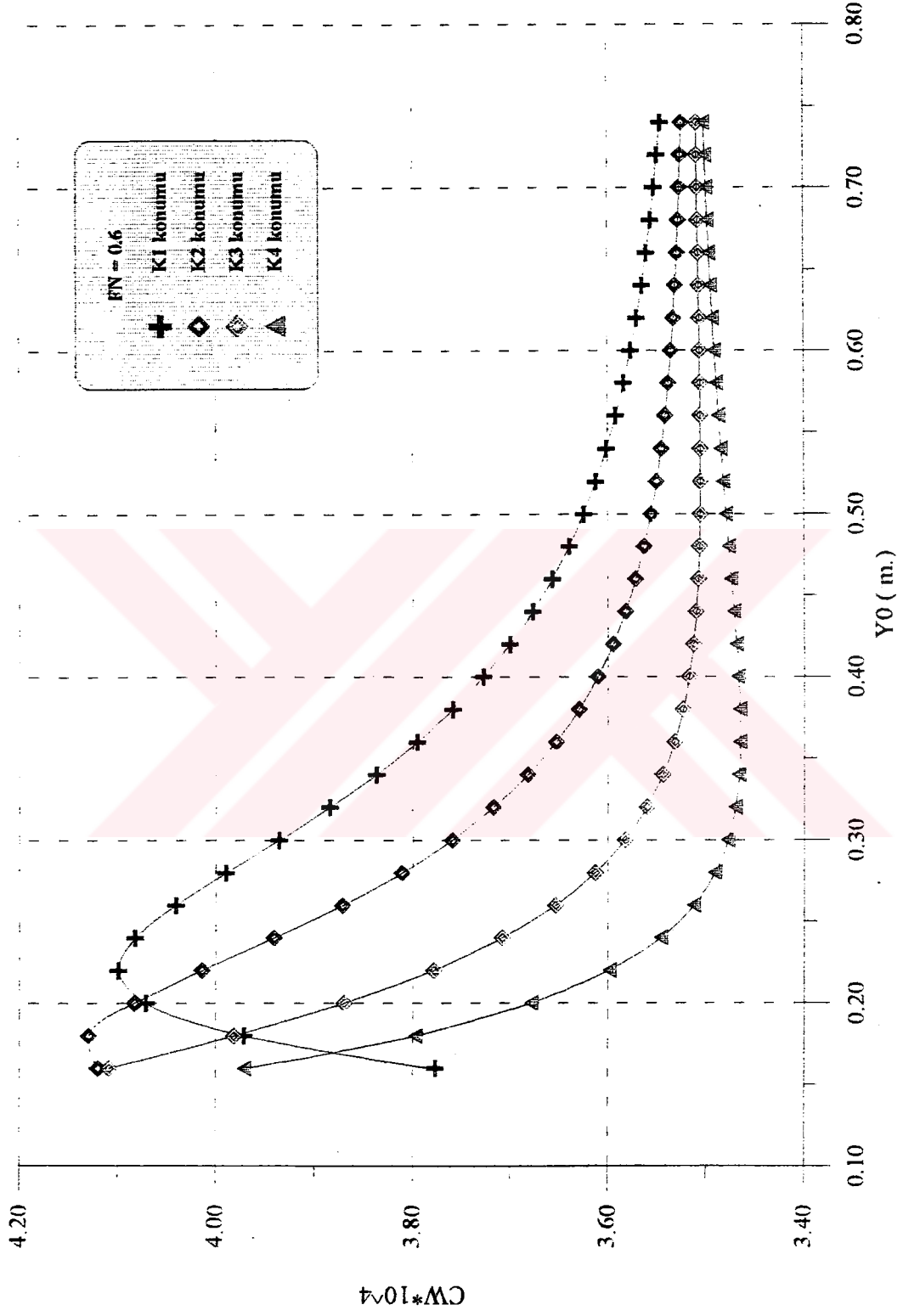
Şekil 5.12 Minimum dalga direnci konum eğrileri



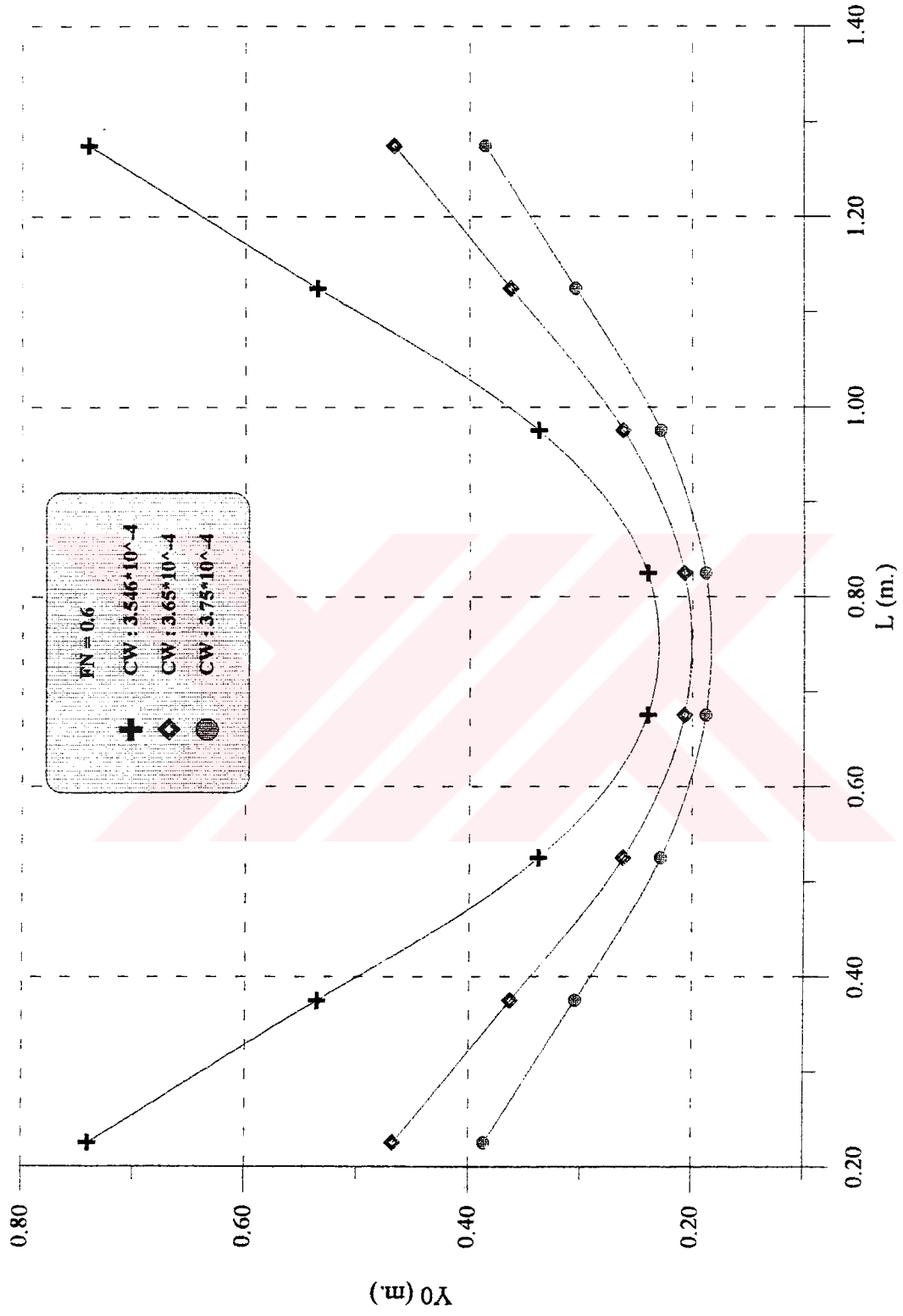
Şekil 5.13 $Fn = 0.5$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



Şekil 5.14 $Fn = 0.5$ için eşdirenç eğrileri



Şekil 5.15 FN = 0.6 için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



Şekil 5.16 $Fn = 0.6$ için eşdirenç eğrileri

5.3 Yat Formu :

Tablo 5.4 Yat formunun ana boyutları

Ana Boyutlar				
	Ana Tekne		Yan Tekneler	
Boy	L	18.000 m.	L0	4.500 m.
Genişlik	B	3.184 m.	B0	0.402 m.
Draft	T	1.000 m.	T0	0.200 m.

Tablo 5.5 Yat formunda ana teknenin ofset tablosu

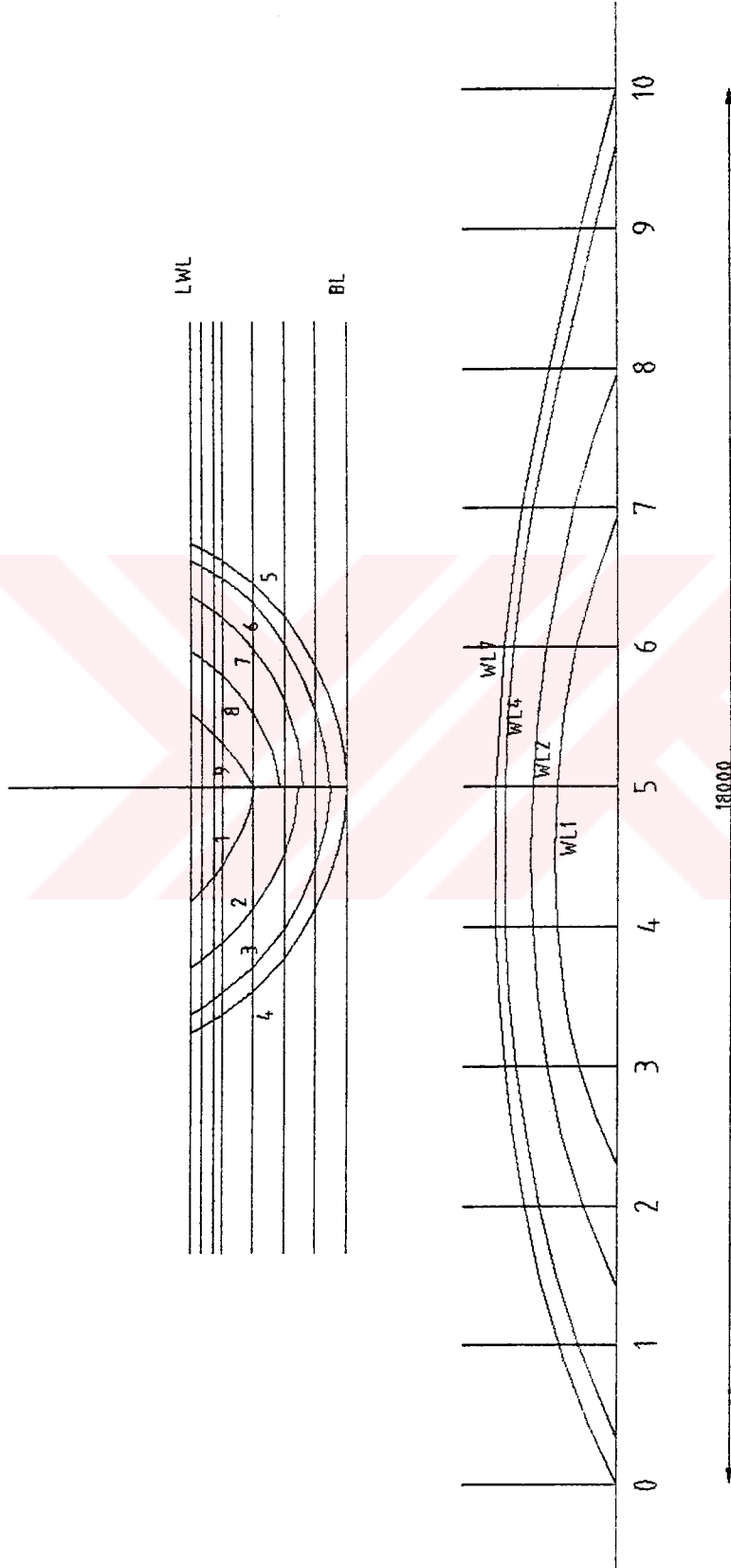
Ana Teknenin Ofset Tablosu								
	Su Hatları							
Postalar	WL0	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6	WL7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0,510	0,580	0,665	0,735
2	0	0	0,440	0,785	1,000	1,040	1,115	1,157
3	0	0,510	0,915	1,155	1,325	1,360	1,425	1,460
4	0	0,785	1,105	1,320	1,465	1,495	1,545	1,580
5	0	0,785	1,105	1,320	1,465	1,495	1,545	1,580
6	0	0,495	0,920	1,190	1,350	1,380	1,430	1,470
7	0	0	0,560	0,910	1,100	1,135	1,190	1,240
8	0	0	0	0,480	0,725	0,770	0,830	0,878
9	0	0	0	0	0,280	0,340	0,420	0,480
10	0	0	0	0	0	0	0	0

*Tablodaki ölçülerin birimi metre

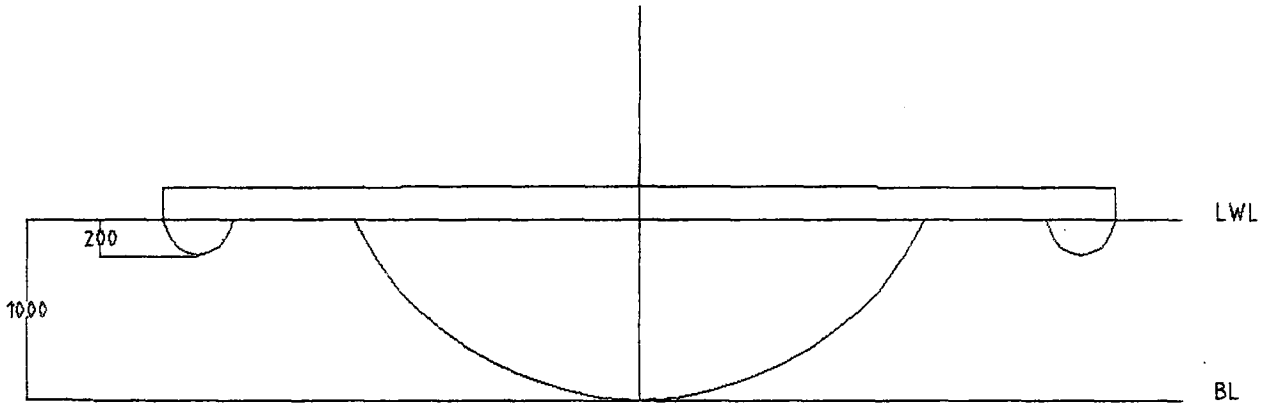
Tablo 5.6 Yat formunda yan teknelerin ofset tablosu

Yan Teknelerin Ofset Tablosu								
	Su Hatları							
Postalar	WL0	WL1	WL2	WL3	WL4	WL5	WL6	WL7
0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0,1300	0,1775	0,2010
2	0	0	0	0	0	0	0,0425	0,0780
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0

* Tablodaki ölçülerin birimi metredir.

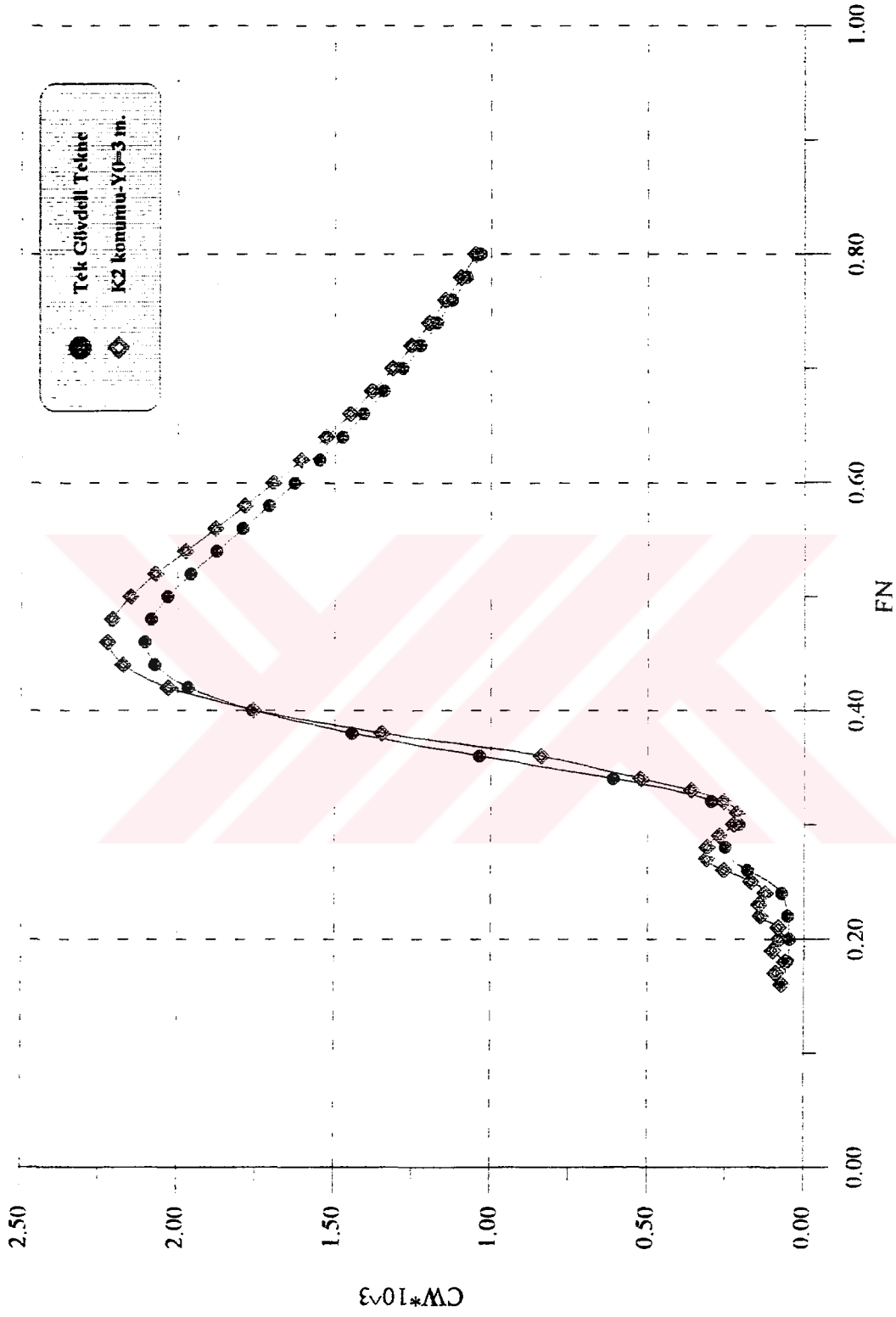


Şekil 5.17 Yat formunun endazesi

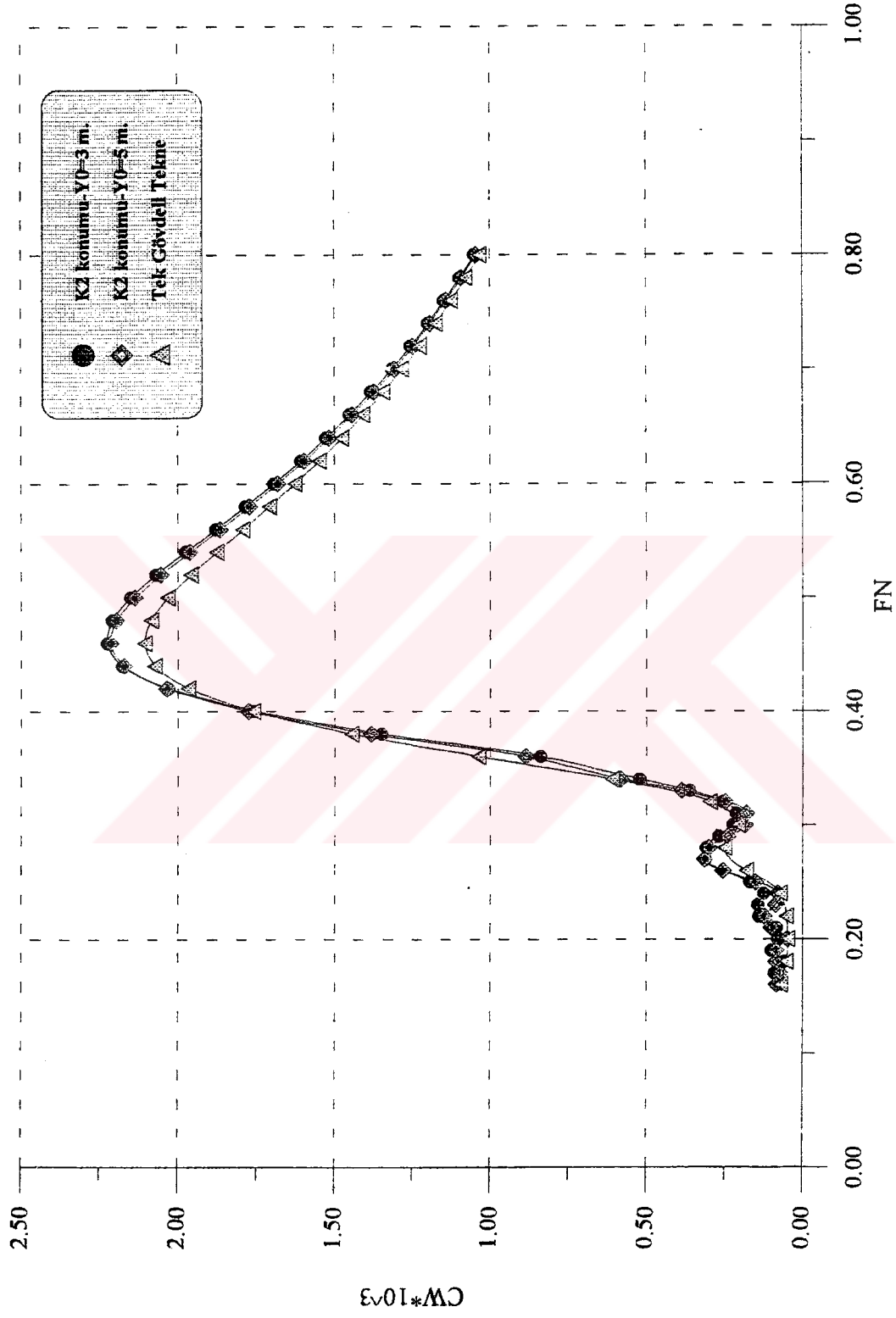


Şekil 5.18 Yat formunun orta kesiti

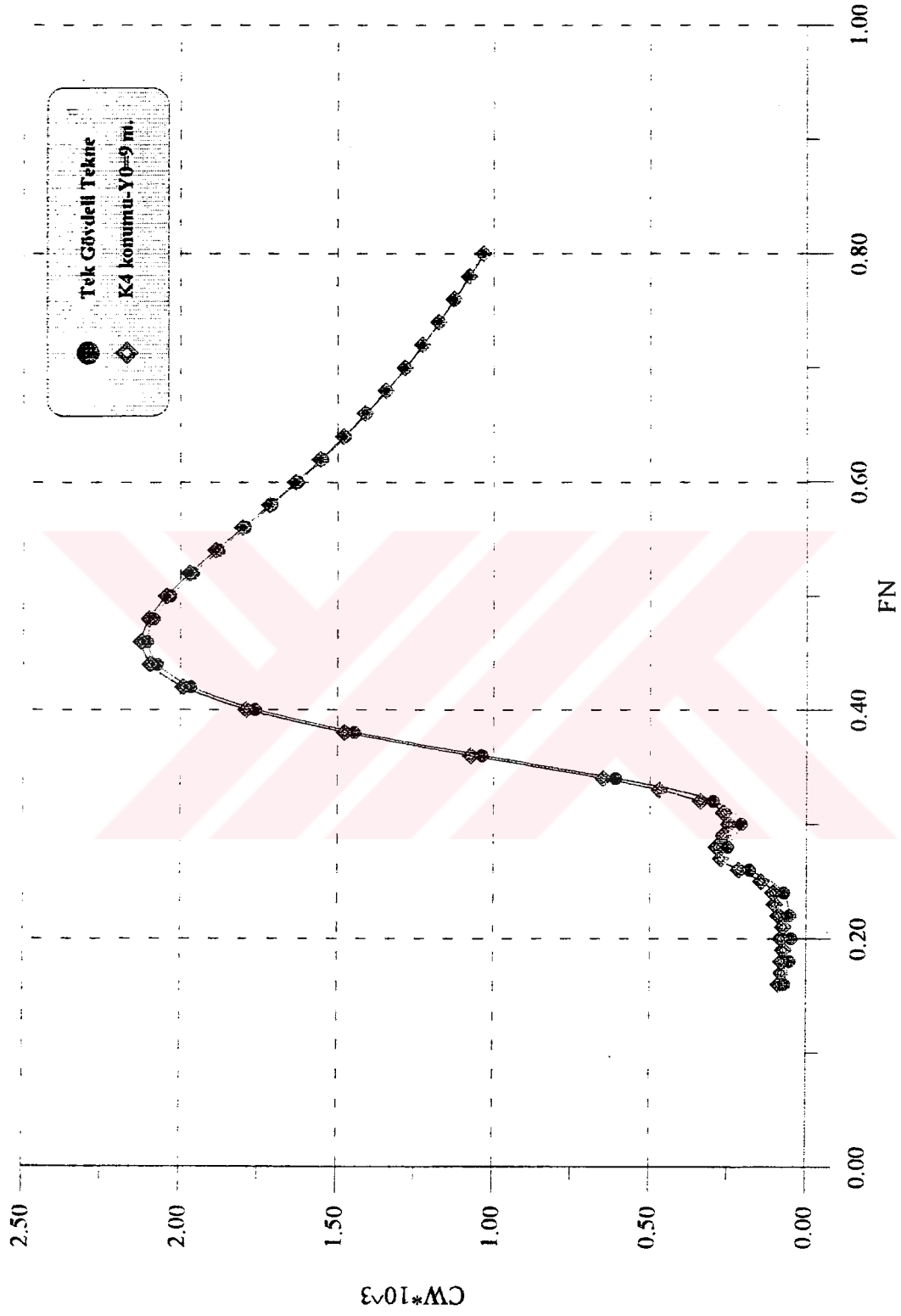




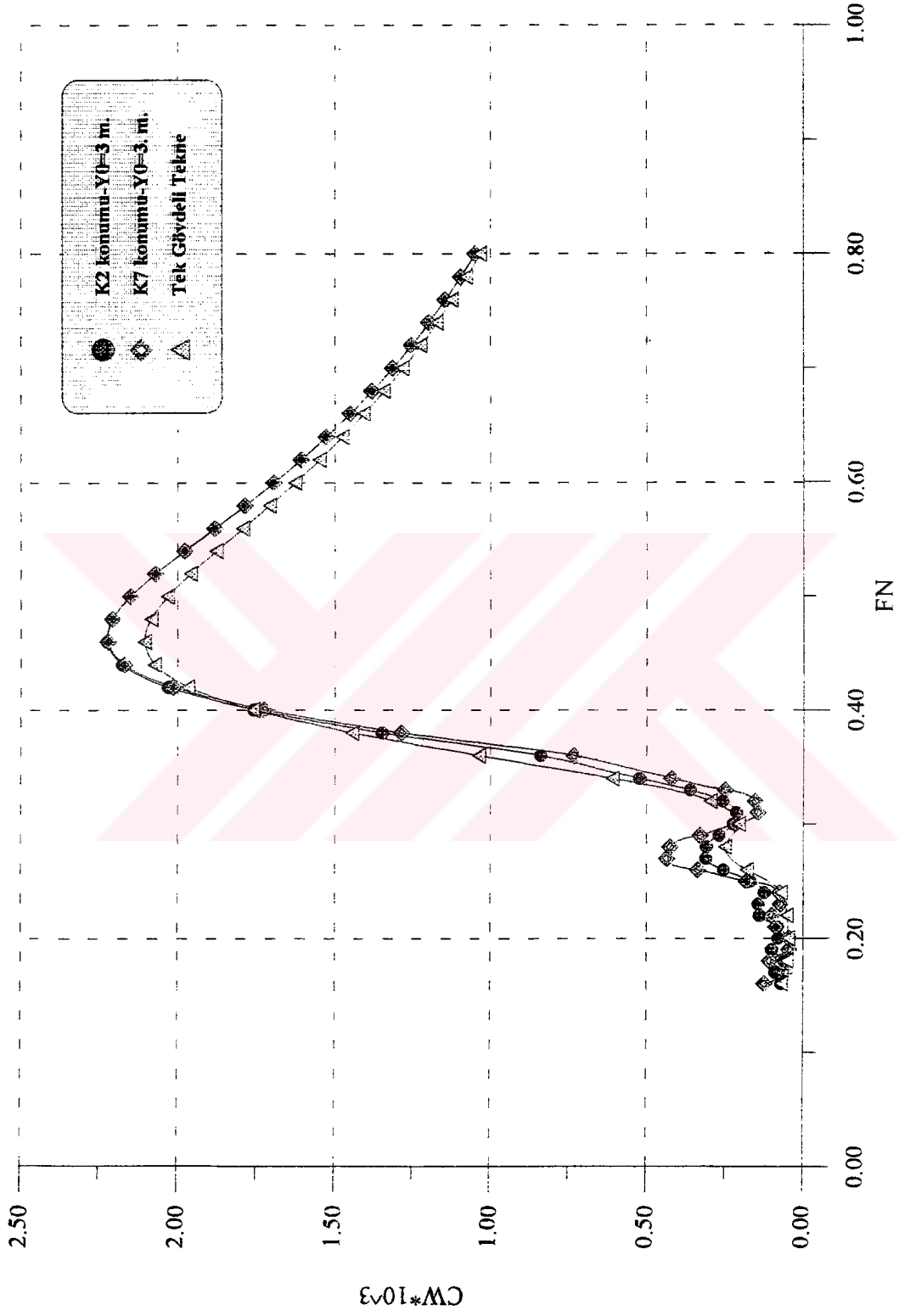
Şekil 5.19 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



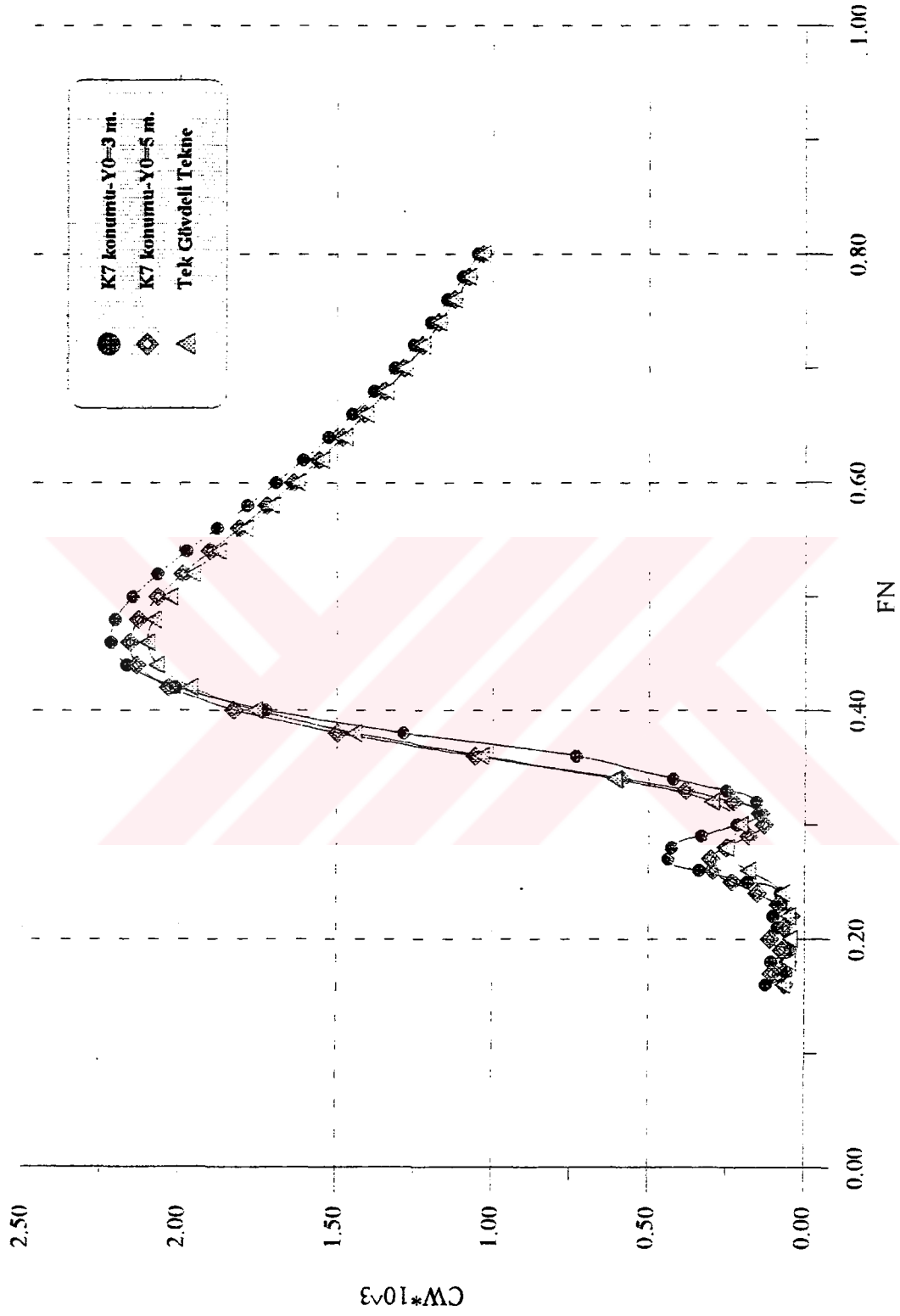
Şekil 5.20 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



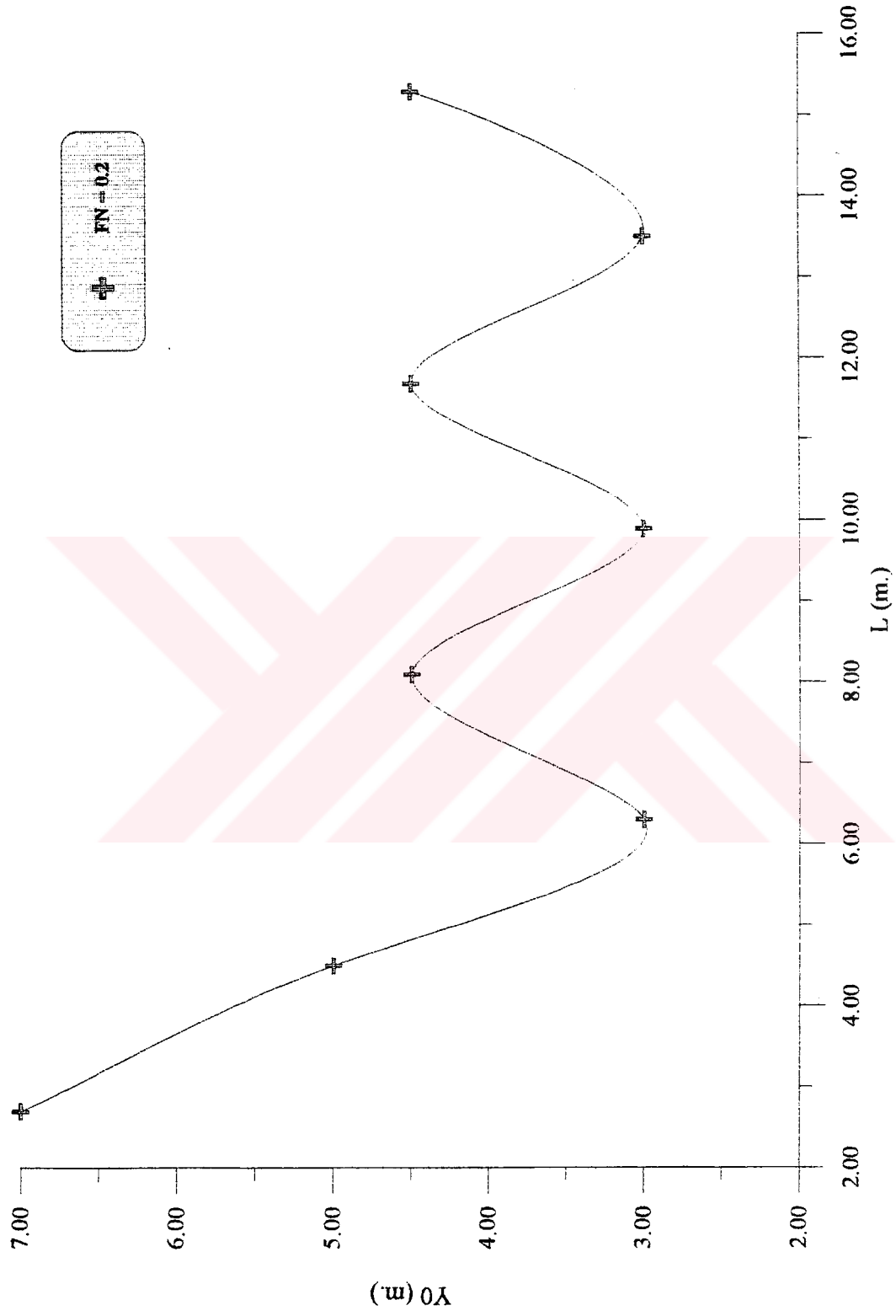
Şekil 5.21 Kar ıla tırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



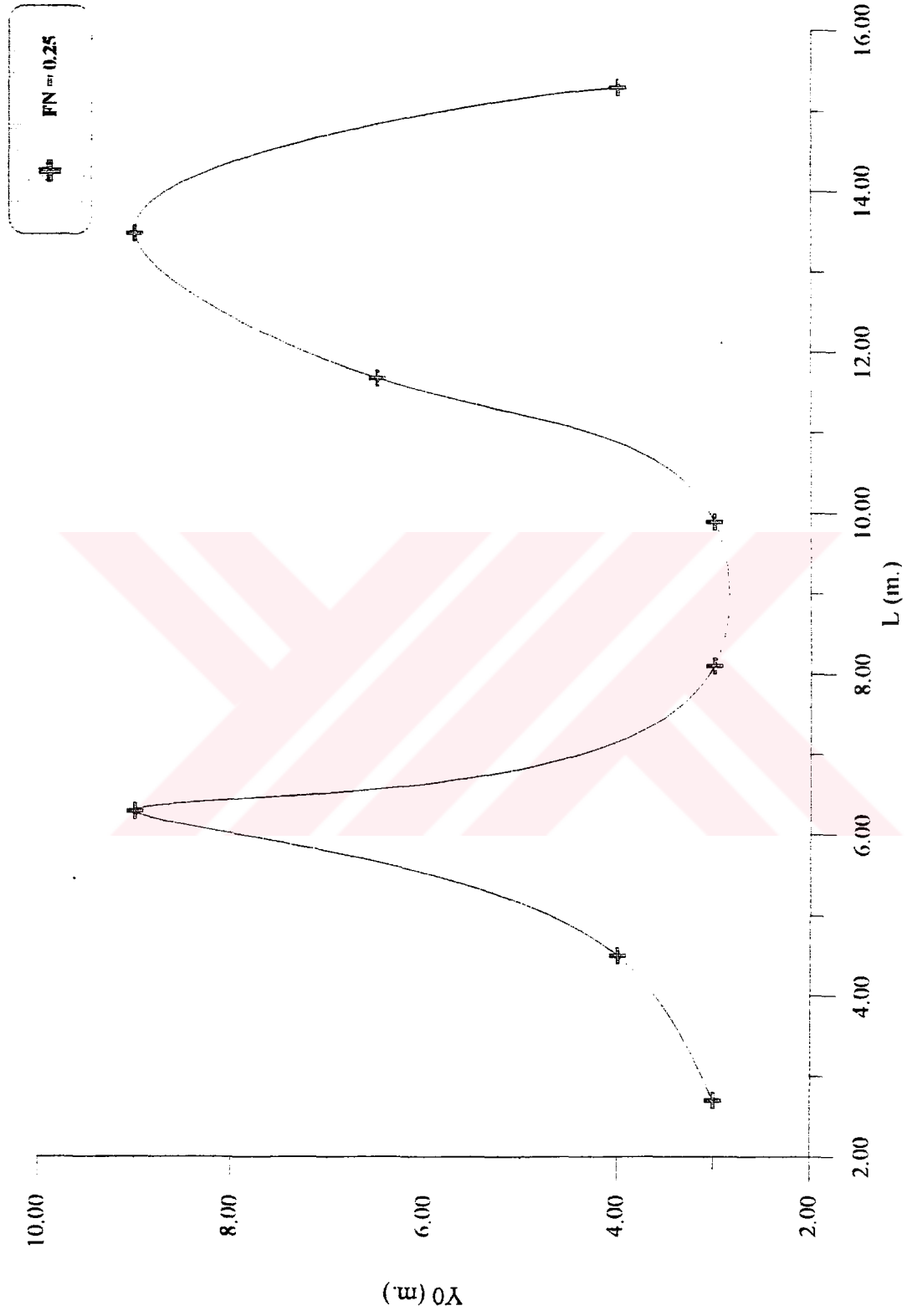
Şekil 5.22 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



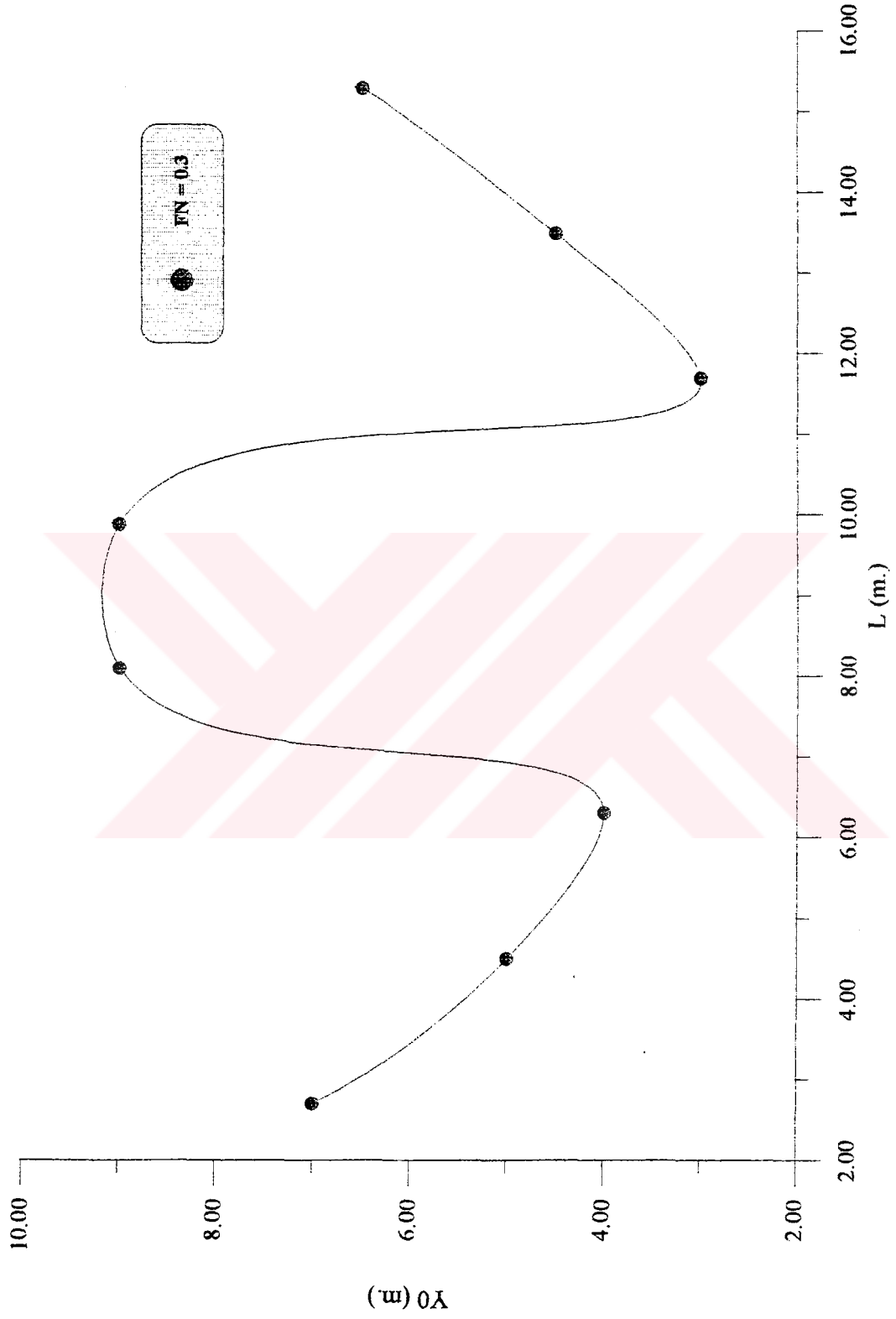
Şekil 5.23 Karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



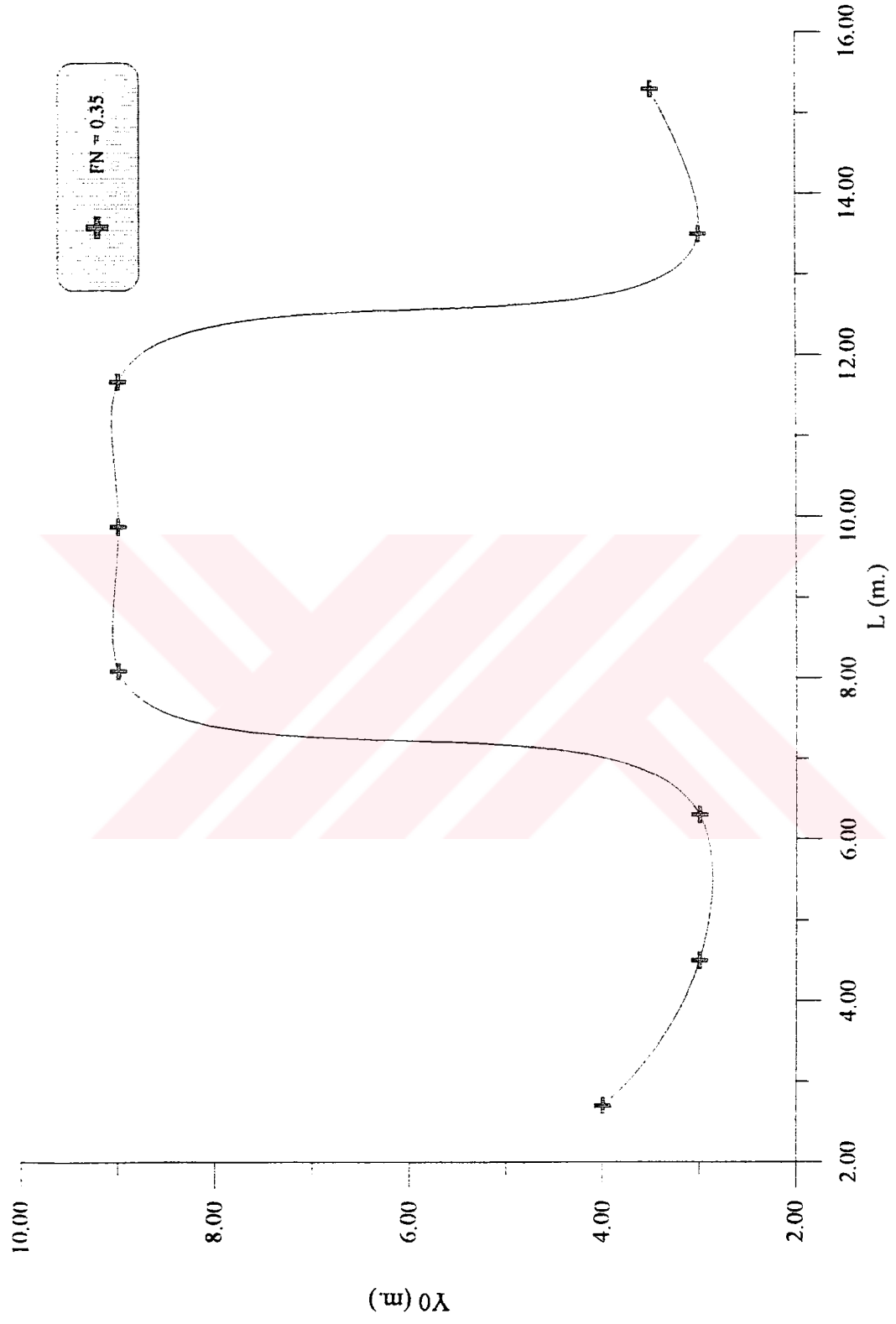
Şekil 5.24 Minimum dalga direnci konum eğrileri



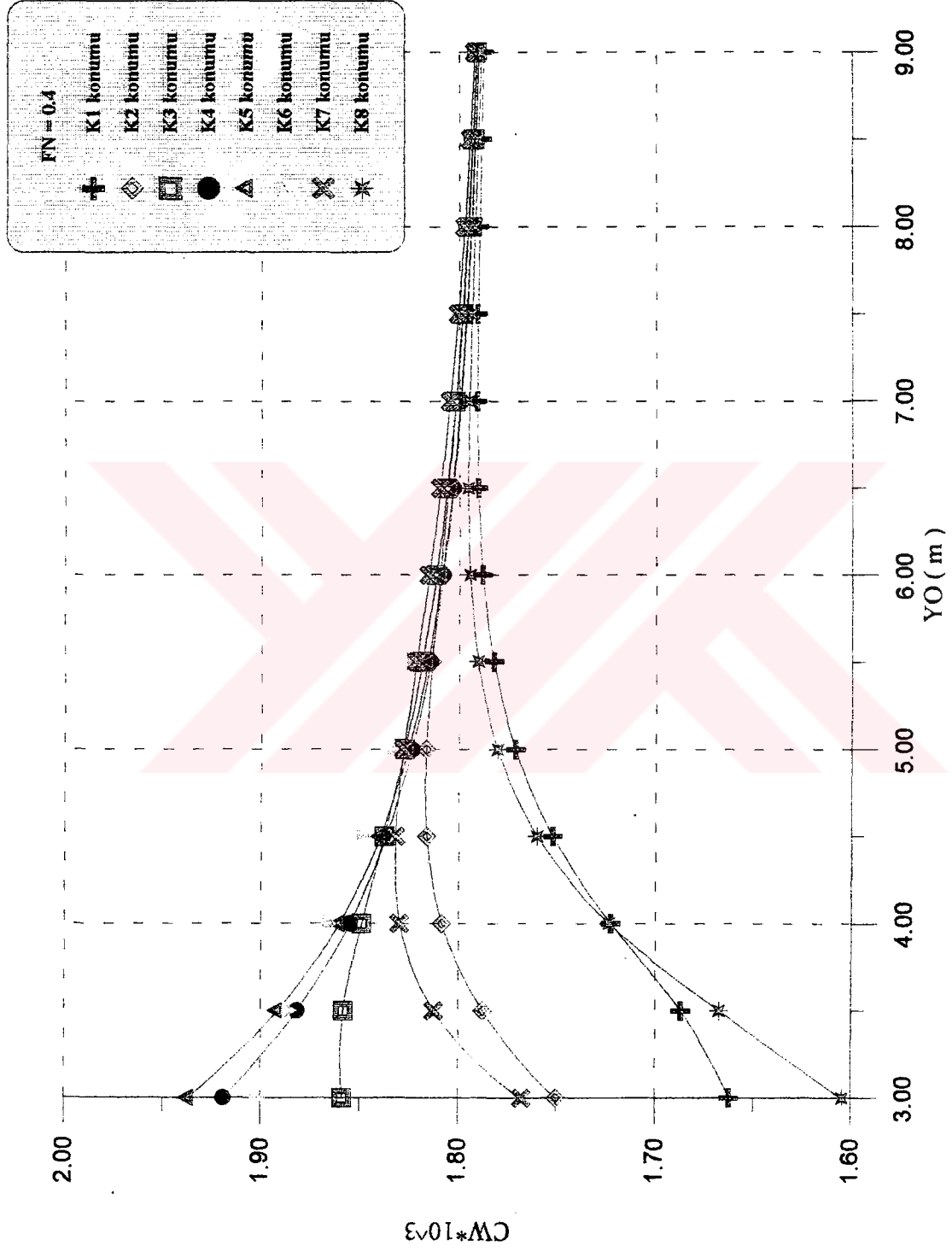
Şekil 5.25 Minimum dalga direnci konum eğrileri



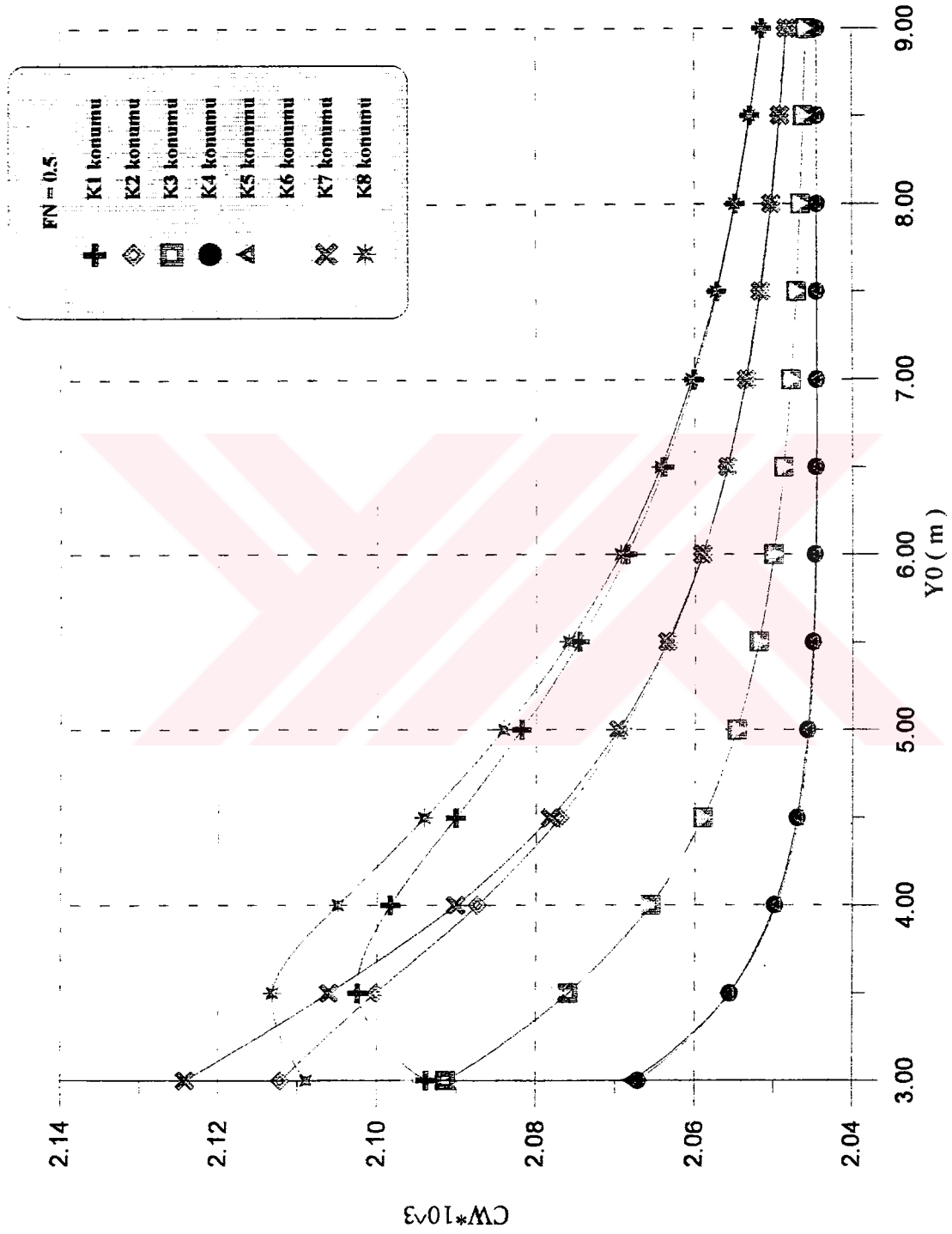
Şekil 5.26 Minimum dalga direnci konum eğrileri



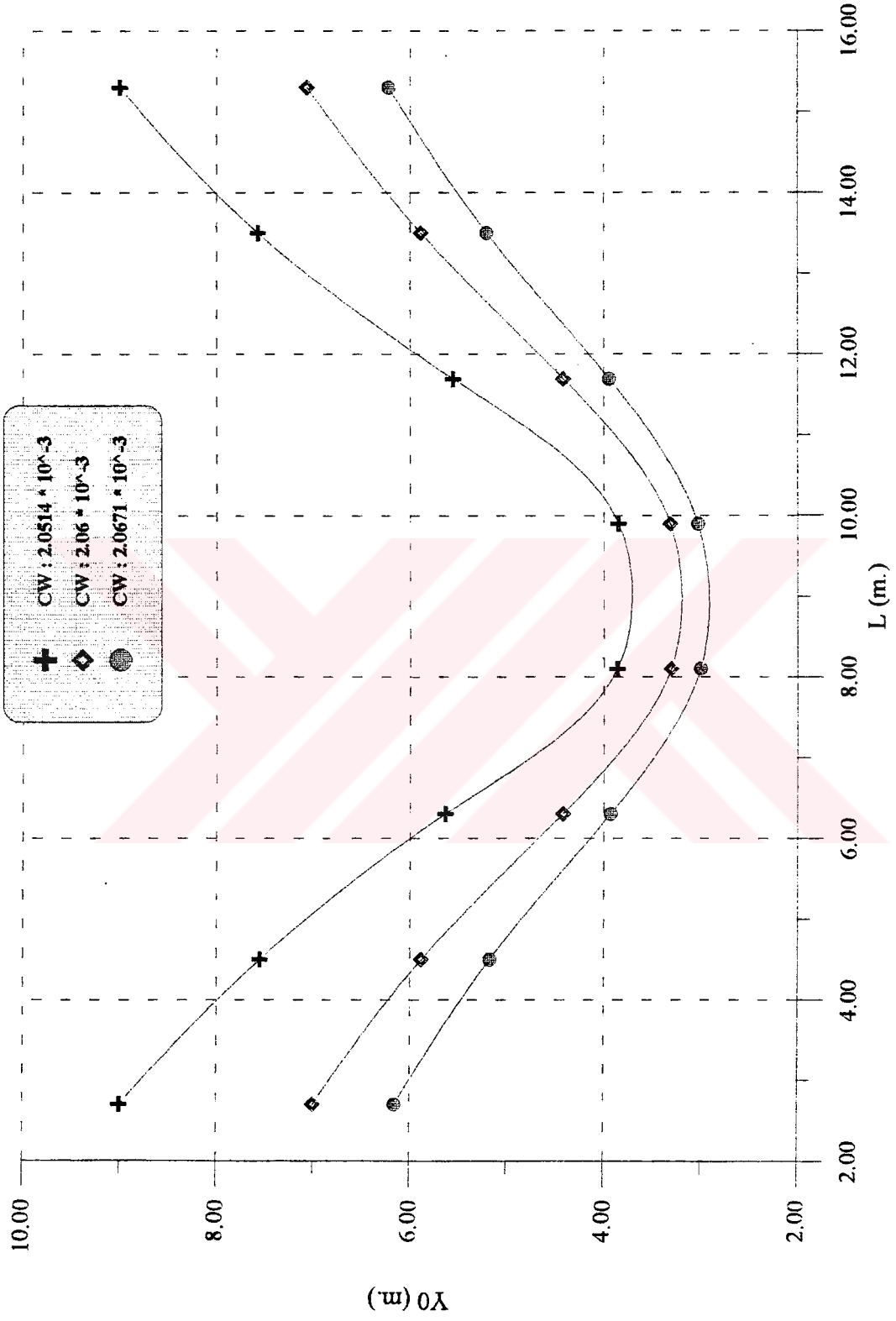
Şekil 5.27 Minimum dalga direnci konum eğrileri



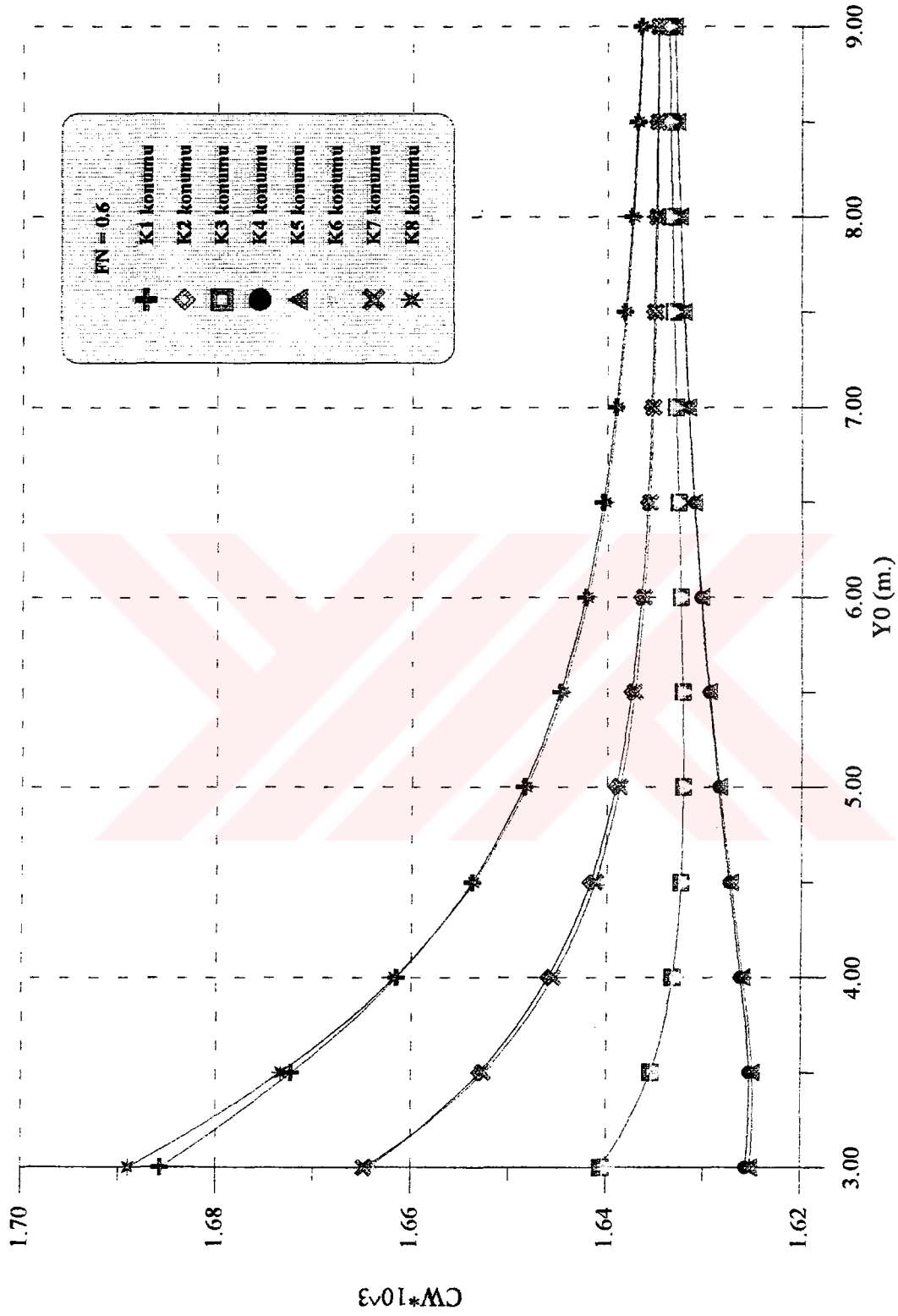
Şekil 5.28 $Fn = 0.4$ için karşıştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



Şekil 5.29 $Fn = 0.5$ için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri



Şekil 5.30 $Fn = 0.5$ için eşdirenç eğrileri



Şekil 5.31 FN = 0.6 için karşılaştırmalı dalga direnç katsayısı eğrileri

BÖLÜM 6

Sonuçlar ve Öneriler

Trimaranların dalga direnci karakteristiklerini etkileyen unsurlardan biri yan teknelerin ana tekneye göre konumlarıdır. Bu tezde yan teknelerin konumları dalga direnci değerlerine göre optimize edilmiştir. Bu optimizasyon matematiksel programlama yöntemiyle yapılmış ve akış diyagramı Ek A'da verilmiştir. Farklı Froude sayılarında yan teknelerin ana tekneye göre minimum dalga direnci veren enine ve boyuna konumları grafikler halinde verilmiştir. Bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçları kısaca şöyle özetleyebiliriz ;

- Yan teknelerin ana tekneye göre farklı konumlarında, farklı dalga direnci değerleri, ana tekne ile yan teknelerin dalga formları arasındaki girişim (interference) etkisinden kaynaklanmaktadır. Böylece minimum dalga direnci sağlayacak şekilde yan teknelerin konumları optimize edilebilmektedir.
- Trimaranın dalga direnci, tek gövdeli teknenin dalga direncinden daha fazladır. Ancak, konum optimizasyonu yapılmış trimaranın dalga direnci, yan tekneleri rastgele konumlandırılmış bir trimaranın dalga direncinden daha düşüktür.
- Farklı Froude sayılarında, yan teknelerin optimum konum eğrileri, aynı karakterde değildir, farklılık göstermektedir.
- Yan tekneler ana teknedan uzaklaştıkça, dalga formlarının girişim (interference) etkisi azalmakta, dolayısıyla dalga direnci değişimi azalmakta ve ana tekne ile yan tekneler direnç açısından birbirinden bağımsız tekneler gibi davranmaktadır.
- Çok yüksek Froude sayılarında yan teknelerin farklı konumları için dalga direnci farklılıkları azalmakta ve belirli bir direnç değerine yaklaşmaktadır.
- $Fn = 0.4$ değerinin üzerindeki Froude sayılarında, direnç eğrilerinde minimum değerler ana teknedan çok uzakta elde edilmektedir. Pratik bir anlamı olmadığı için bu değerler verilmemiştir. $Fn = 0.4$ 'ün üzerindeki hızlarda, tasarımcılara fikir vermesi açısından eşdirenç eğrileri verilmiştir.

Trimaranlarda, matematiksel programlama yöntemiyle yan teknelerin dalga direnci açısından konum optimizasyonu yapılabileceği bu çalışmada gösterilmiştir. Ancak, matematiksel programlama yöntemiyle yapılan çalışmanın deneysel yöntemle de tekrarlanıp karşılaştırılması faydalı olacaktır. Ayrıca, etkileşim (interaction) etkisini de göz önüne alan modellerin uygulanması burada cevap bulunamayan bir takım sorulara açıklık getirecektir. Bunlardan birisi de düşük - hız yaklaşımına dayanan panel yöntemidir.



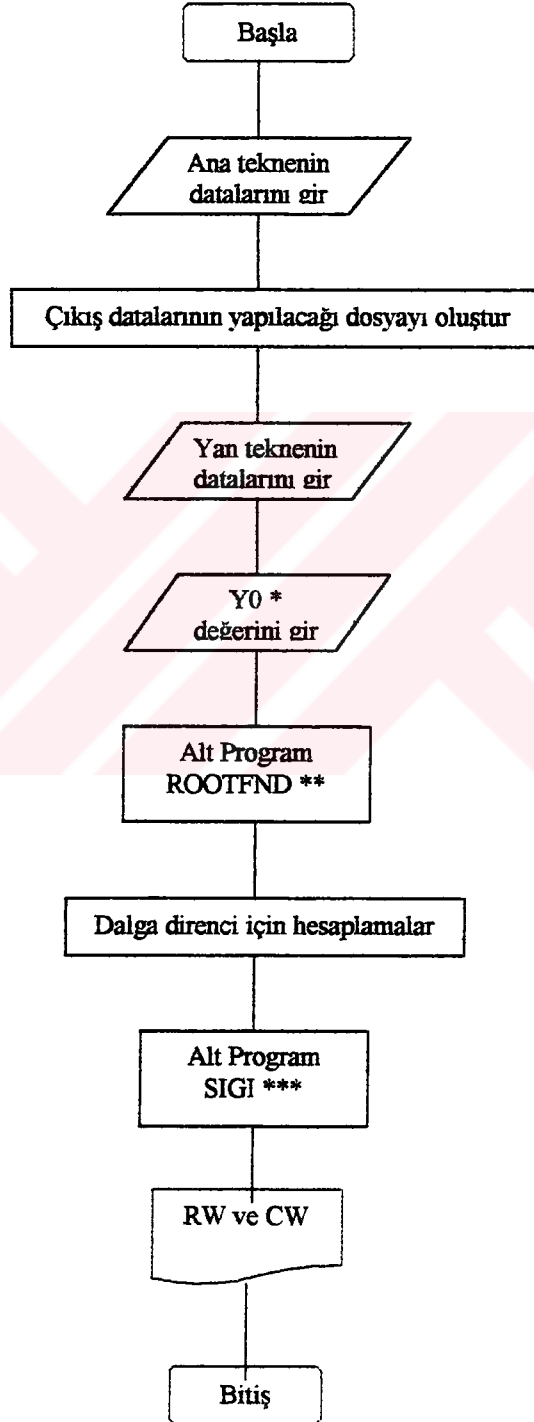
KAYNAKLAR

- [1] ANDREWS D.,ZHANG J. (1995)," Consideration in the Design of a Trimaran Frigate ", RINA Transactions
- [2] LUNDE J.K. (1951), " On the Linearized Theory of Wave Resistance for Displacement Ships in Steady and Accelerated Motion ", SNAME Transactions Vol.59, pp 25-76
- [3] SABUNCU T. (1962), " Gemilerin Dalga Direnci Teorisi ", İ.T.Ü. Gemi Enstitüsü Bülteni No.12
- [4] SABUNCU T., GÖREN Ö. (1986), "Çadır Fonksiyonları Yardımıyla Gemi Direncinin Hesabı ", İ.T.Ü. Gemi Enstitüsü Bülteni Cilt 44, Sayı 3-4, pp 32-40
- [5] SIDI A. (1982), " The Numerical Evaluation of Very Oscillating Infinite Integrals by Extrapolation, Mathematics of Computation, Volume 38, No.158, pp 517-529
- [6] SUZUKI K., IKEHATA M. (1993), " Fundamental Study on Optimum Position of Outriggers of Trimaran from View Point of Wave Making Resistance ", FAST 93 pp 1219-1230,
- [7] HANHIROVA K., RINTALA S., KARPPINEN T. (1995), " Preliminary Resistance Prediction Method for Fast Mono and Multihull Vessels ", International Symposium on High Speed Vessels for Transport and Defence Nov. 1995 pp 6
- [8] ŞALCI A. (1970 - 1971), " Katamaran Tekneler ", Öğrenci Seminerleri
- [9] GÖREN Ö, ÇALIŞAL S. M. (1988), "Optimal Hull Forms for Fishing Vessels ", SNAME, Spring Meeting, Star Symposium pp 41 - 54
- [10] HSIUNG C.C. (1981), " Optimal Ship Forms for Minimum Wave Resistances ", J. Ship Research, Vol. 9, pp 62 - 68

EKLER

Ek A

Trimaranın Dalga Direncini Hesaplayan Programın Akış Diyagramı



* Ana tekne ile yan teknelerin simetri düzlemleri arasındaki mesafe.

**** İntegrasyonda cosinüslü terimin köklerini Regula-Falsi yöntemiyle bulan alt program.**

***** Cosinüslü terimi içeren integralin çözümünü yapan alt program.**



ÖZGEÇMİŞ

Murat KAYA, Mart 1973 tarihinde Balıkesir'de doğdu. Orta öğrenimini Susurluk Ortaokulu'nda ve Bandırma Ş.M.G. Lisesi'nde tamamladı.1989 yılında İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi, Gemi İnşaatı bölümünde lisans öğrenimine başladı. Eylül 1994 tarihinde mezun oldu ve aynı yıl İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Gemi İnşaatı Mühendisliği bölümünde lisans üstü eğitime başladı. Şubat 1997 tarihinde Can Yatçılık A.Ş.'de çalışmaya başladı ve halen aynı firmada 36 m. CTP motor-yatın inşaat sorumlusu olarak çalışmaktadır.

