

Kuşatılmamış Betonlu Çift Donatılı
Dörtgen Kiriş Kesintileri

Hayri Haşcelik

Yüksek Lisans Tezi

90
91
YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

KUSATILMAMIS BETONLU ÇİFT DONATILI
DİKDÖRTGEN KİRİS KESİTLERİNİN AKMA
EĞRİLİKLERİ VE AKMA MOMENTLERİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezi veren:

Aitay Gündüz

Tezi hazırlayan:

Hayri Haşçelik

Haziran 1984

Comp



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

KUŞATILMAMIŞ BETONLU ÇİFT DONATILI
DİKDÖRTGEN KİRİŞ KESİTLERİNİN AKMA
EĞRİLİKLERİ VE AKMA MOMENTLERİNİN
BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tezi veren:

Altay Gündüz

Tezi hazırlayan:

Hayri Hasçelik

Haziran 1984

ÖNSÖZ

Bügüne kadar keşfedilen yapı malzemelerinin en önemlisi betonarmedir. İstenilen biçime sokulabilmesi, ucuz olması ve öteki özellikleriyle uygulama alanları gün geçtikçe genişlemektedir.

Bugün sanayide ileri ülkelerde mukavemet hesaplarının yapılmasında plastik teoriden yararlanılmaktadır. Bu teoriye göre yapılan mukavemet hesaplarında, taşıyıcının kırılma durumuna yakın davranış esas alınır ve bu yöntem "T aşırma Gücü Yöntemi" denir. Yöntemde kullanılan malzeme mukavemeti ve malzeme katsayıları ile, kesit kuvvetlerinin bulunmasında esas alınan işletme yükleri (Karakteristik Yük) ve yük katsayıları, istatistik ve probabilistik yollarla belirlenir. Proje hesaplarının da "Limit Çözüm" yöntemleriyle yapılması önerilmektedir.

Bu tezde, proje mühendislerine, proje hesaplarında ve limit hesapta kolaylık sağlayacak tablo ve abaklar verilmiştir. Tezde esas alınan konu: kuşatılmamış betonlu çift donatılı dikdörtgen giriş kesitlerinin akma eğrilikleri ve akma momentlerinin belirlenmesidir.

Limit hesapta, akma eğriliğinin ve akma momentinin genel bağıntılarla belirlenmesi uzun zaman alır. Bu süreyi azaltabilmek için bu çalışma yapılmıştır. Söz konusu hesabın kısa sürede yapılmasını sağlayacak tablo ve abaklar verilmiştir. Ayrıca kesitin plastik dönme kapasitesi de belirlenebilir. Bu tablo ve abakların kullanılmasına ait bir örnek verilmiştir.

Bu çalışmanın tamamlanmasında, eleştirileri ve yardımları dolayısıyla Hocam Altay Gündüz'e (Prof. Yük. Mühendisi ITÜ/Yıldız Üniversitesi), ayrıca yardımlarından dolayı Mustafa Zorbozan'a (Öğretim Görevlisi Dr. Yük. Mühendis ITÜ/Yıldız Üniversitesi) içtenlikle teşekkür ederim.

HAYRİ HASÇELİK

İÇİNDEKİLER

Önsöz	I
İşaretler	III
Kuşatılmamaş betonlu çift donatılı dikdörtgen kiriş kesitlerinin akma eğrilikleri ve akma momentlerinin belirlenmesi	
1. Giriş	
2. Akma eğrilikleri ve akma momentlerinin belirlenmesi	3
2.1 Akma eğrilerinin hesabı	3
2.2 Akma momentinin hesaplanması	7
3. Tablo ve abaklar	II
4. Sonuçlar	II
5. Örnek problem	12
6. Tablolar	13
7. Abaklar	37
8. Kaynaklar	73

-III-

İŞARETLER

As :Çekme donatısı alanı

As':Basınc donatısı alanı

b :Dikdörtgen kesitin genişliği

d :Etkili derinlik(Çekme donatısı ağırlık merkezinin en dış beton lifinden uzaklığı

d' :En dış beton basınc lifi ile basınc donatısı ağırlık merkezi arasındaki uzaklık

E :Elastiklik modülü

Ecy:Akma anındaki betonun birim deformasyonu

Es :Donatıdaki birim uzama

Es':Basınc donatısındaki birim deformasyon

Esy:Donatı çeliğinin akma mukavemetine ulaştığı andaki birim deformasyonu

fcd:Betonun kesit hesaplarında kullanılan basınc mukavemeti

fyd:Çeliğin hesapta kullanılan akma mukavemeti

kxy:Akma anında tarafsız eksen katsayısı

My :Akma anında kesitte oluşan moment

z :Moment kolu

z' :Basınc kuvveti bileşkesinin en dış beton basınc lifinden uzaklığı

ρ :Çekme donatısı yüzdesi

ρ' :Basınc donatısı yüzdesi

x :Tarafsız eksen derinliği

KUŞATILMAMIŞ BETONLU ÇİFT DONATILI DİKDORTGEN KIRIŞ
KESİTLERİNİN AKMA EĞRİLİKLERİ VE AKMA MOMENTLERİNİN
BELİRLENMESİ

I. GİRİŞ

Kirişler, özellikle eğilme ve kesmeye çalışan taşıyıcılardır. Kesme kırılması gevrek bir kırılma biçimi olduğu için kirişlerin kesmeyle ilgili yük taşıma kapasiteleri, eğilmeyle ilgili kapasiteden büyük olmalıdır.

Moment taşıma gücünü çekmeyle kaybeden bir kirişte yükler hesap yüküne yaklaştığı zaman çekme donatısı akmaya başlar, yük hesap değerine ulaştığı anda da beton ezilir. Betonun ezildiği ve donatının aktığı kesit belli **bir** eğilme momentini karşılayabilen bir mafsala gibi çalışır: bu mafsala plastik mafsala denir. Bu taşıyıcı sistemin herhangi bir kesitinde çekme donatısının akmasıyla plastik mafsala oluşmaya başlar. Yüklerin artırılmasına devam edilirse plastik mafsalın olduğu kesitte şekil değiştirme (deformasyon, dönme, eğrilik) artar: ama eğilme momentinin ihmal edilebilecek derecede çok az artar. Yükler sistemin hesap yüküne yaklaşıırken plastik mafsala oluşan kesitlerde sabit sayılabilecek momentler altında plastik şekil değiştirmeler oluşur. Yük artışıyla ilgili momentler diğer kesitlere dağılır, ve kritik kesitlerdeki momentler de moment taşıma gücü değerlerine ulaşır.

Hesap yüküne ulaşılabilmesi için kritik kesitler belirli ölçüde düktil olmalıdır. Limit hesapta ve deprem hesabında, bir elemanın düktilitesi genellikle taşıma gücü deformasyonunun, akmanın başladığı andaki deformasyona bölünmesiyle elde edilen oranla belirtilir. (I)

Betonarme çerçevelerde doğrusal elastik çözümlemeyle belirlenen eğilme momenti diyagramları üzerinde değişiklik yapılabilmesi için yeniden dağılım oluşmalıdır. Yeniden dağılımın miktarı ise kesit düktilitesine bağlı olarak değişir. Bu bakımdan kimi yönetmeliklerde, doğrusal elastik teoriye göre belirlenen eğilme momenti diyagramları üzerinde, kesit düktilitesine bağlı değişiklik yapılmasına izin verilmektedir. Ayrıca deprem tipi yükler etkisinde kalan düktil yapılarda, enerji, elastik olmayan deformasyonlar nedeniyle büyük ölçüde tüketilebilir. Bu nedenle yapının düktilitesi deprem hesaplarında da göz önüne alınması gereken önemli bir unsurdur.

Kabul edilen hesap momentleri dağılımının gerçekleşebilmesi için plastik mafsallık kesitlerinin dönme kapasiteleri, dağılımın oluşmasını sağlayan, plastik mafsallık dönmelerinden büyük yada en az onlara eşit olmalıdır.

Akma sonrası eğilme momentindeki artışın mertebesi M_u/M_y oranı verir.

Kesitin, eğrilik düktilitesinin mertebesini ϕ_u/ϕ_y oranı verir.

Betonarme bir elemanın kritik kesitinin bir yanı için plastik dönme, $\theta_p = (\phi_u - \phi_y) \cdot L_p$, bağıntısıyla belirlenir. (2) Burada ϕ_u kesitin taşıma gücü eğriligi, ϕ_y kesitin çekme donatısının akmaya başladığı andaki eğriligi (Akma eğriligi) ve, L_p , plastik mafsallık boyudur. Bu bağıntıyla kullanılarak bir betonarme kesitin plastik dönme kapasitesinin hesaplanabilmesi için akma eğriliginin (ϕ_y), belirlenmesi gerekir.

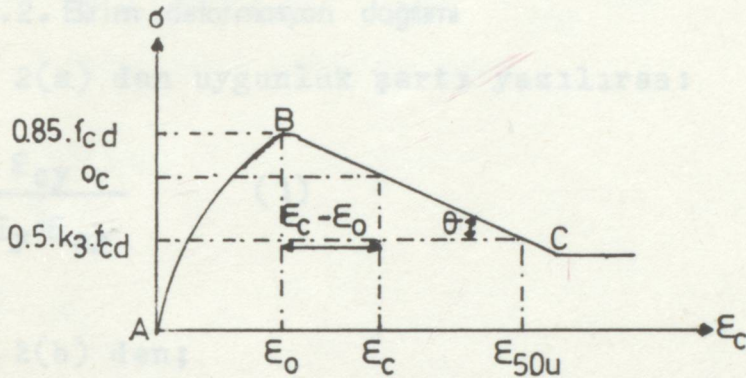
Limit hesapta kabul edilebilen eğilme momenti diyagramının oluşabilmesi için plastik mafsallık kesitlerinin plastik dönme kapasiteleri, kabul edilen moment diyagramıyla ilgili plastik dönmelerden büyük olmalıdır.

Bu çalışmada akma eğriliginin ve akma momentinin, kısa sürede hesaplanmasını sağlayacak tablo ve abaklar düzenlenmiştir. Bu tablo ve abaklar yardımıyla kesit eğrilik düktiliteleri ve kesitlerin plastik dönme kapasiteleri kolayca hesaplanabilir.

Tablo ve abakların düzenlenmesinde teorik bir $\sigma - \epsilon$ hesap eğrisi esas alınmıştır. Bu eğrideki maksimum gerilme karşılığı birim deformasyon 0.002 kabul edilmiştir. Gene tablo ve abaklar, $k_3 = 0.85$ $k_2 = 0.5k_3 = 0.425$ alınarak, 0.25'e kadar olan betonlar için düzenlenmiştir. Tablo ve abakların düzenlenmesinde çekme donatısındaki birim deformasyonu (ϵ_y) karşılığı en üst beton basınç lifindeki beton birim deformasyonu (ϵ_{cy}) ile gösterilmiş ve bu birim deformasyonun (ϵ_{cy}), 0.0005'den 0.003'e (ϵ_{cu}) kadar olan değerleri 0.0001 aralıklarla hesaba katılmıştır.

2. AKMA EGRİLİKLERİ VE AKMA MOMENTLERİNİN BELİRLENMESİ

Akma eğriliğinin ve akma momentinin belirlenmesi için $\sigma_c - \epsilon_c$ hesap eğrisi kabul edilmiştir. Bu eğrinin özellikleri şekil I'de gösterilmiştir.



Şekil.1-Kuşatılmamış beton için σ - ϵ eğrisi

Sekil I. Kusatılmamış beton için σ - ϵ hesap eğrisi

Eğri denklemleri:

AB bölümü için

$$\sigma_c = k_3 \cdot f_{cd} \cdot \left[\frac{2\varepsilon_c}{\varepsilon_0} - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 \right] \quad (1)$$

BC bölümü için

$$\sigma_c = 0.85 \cdot f_{cd} \cdot [1 - 1.18 \Psi (\epsilon_c - \epsilon_0)] \quad (2)$$

(2) bağıntısındaki parametresi aşağıdaki bağıntılarla belirlenir.

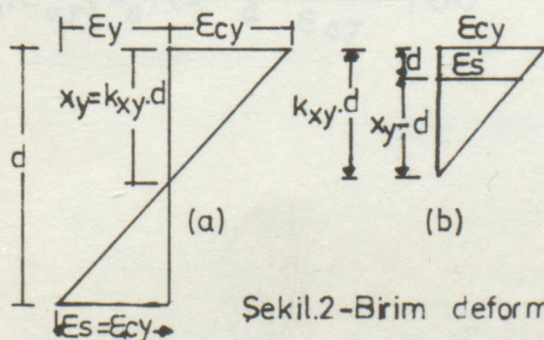
$$\psi = \tan \theta / f_{cd}$$

$$\tan \theta = \frac{0.5 \cdot k_3 \cdot f_c d}{E_{50u} - E_o}$$

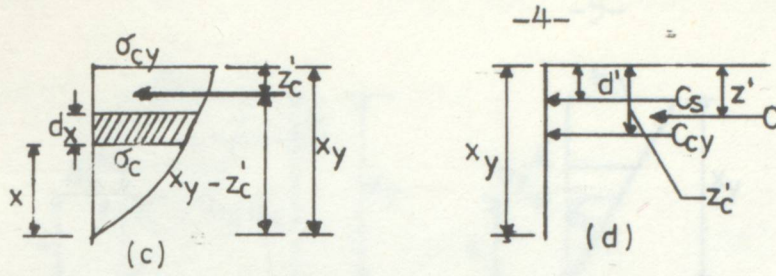
$$E_{50u} = \frac{0.02067 + 0.002 \cdot k_3 \cdot f_{cd}}{k_3 \cdot f_{cd} - 6.89}$$

Tablo ve abakların düzenlenmesinde $E_0=0.002$ kabul edilmiştir.

2.1. AKMA EĞRİLERİNİN HESABI



Şekil.2-Birim deformasyon dağılımı



Şekil.2. Birim deformasyon dağılımı

Şekil 2(a) dan uygunluk şartı yazılırsa:

$$k_{xy} = \frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_y + \epsilon_{cy}} \quad (3)$$

Şekil 2(b) den;

$$\epsilon_s' = \epsilon_{sy} \left(1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{I}{k_{xy}} \right) \quad (4) \quad k_{xy} \text{ ifadesi (4) de yerine yazılırsa;}$$

$$\epsilon_s' = \epsilon_{cy} \left(1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right) \quad (5)$$

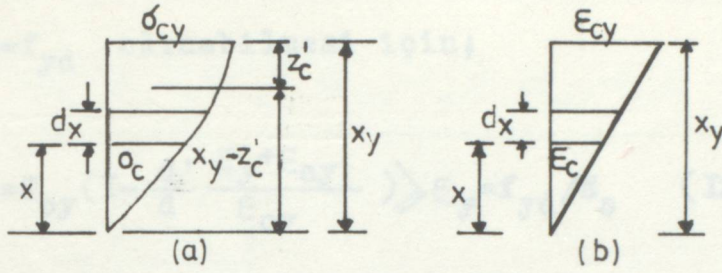
$\sigma_s' = \epsilon_s' E_s \ll f_{yd}$ koşulu sağlanmalıdır. ϵ_s' nun (5) teki ifadesi yerine yazılırsa:

$$\sigma_s' = \epsilon_{cy} E_s \left(1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right) \quad (6)$$

$$0 \text{ halde } C_s = A_s' \cdot \sigma_s' \quad (7)$$

(6) ifadesi (7) de yerine yazılırsa;

$$\sigma_s' = A_s' \cdot \epsilon_{cy} \cdot E_s \cdot \left(1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right) \quad (8)$$



Şekil.3.Beton basınç gerilmeleri dağılımı

Şekil 3(a) dan

$$C_{cy} = b \int_0^{xy} \sigma_c \cdot dx$$

$$dx = \frac{xy}{E_{cy}} dE_c$$

Şekil 3(a) dan:

$$C_{cy} = \frac{b}{E_y + E_{cy}} \int_0^{E_{cy}} f(E_c) dE_c \quad (9)$$

(9) ifadesi $f(E_c)$ fonksiyonu olarak yazılmış olur.

Şekil 2(d) den

$C = C_{cy} + C_s$ ve $A_s' = \rho' b \cdot d$ olduğundan.

$$C = b \cdot d \cdot \left(\frac{I}{E_y + E_{cy}} \int_0^{E_{cy}} f(E_c) dE_c + \rho' E_{cy} \cdot E_s \left(1 - \frac{d' E_y + E_{cy}}{d E_{cy}} \right) \right) \quad (10)$$

(10) ifadesinde olduğu gibi C basınç kuvveti E_{cy} nin fonksiyonu olarak belirlenir. Basınç (C) ve çekme (T) kuvvetlerinin dengesi yazılır ve gerekli kısaltmalar yapılır ve ρ/f_{cd} çekilirse:

$$\frac{\rho}{f_{cd}} = \frac{\int_0^{E_{cy}} f(E_c) dE_c}{(E_y + E_{cy}) f_{yd} \cdot f_{cd} \left(1 - \frac{\sigma' \sigma_s'}{\sigma f_{yd}} \right)} \quad (II)$$

Basınç donatısındaki gerilmenin denetlenmesi;

$\sigma'_s = f_{yd}$ alınabilmesi için;

$$\sigma'_s = \epsilon_{cy} \left(1 - \frac{d'}{d} \cdot \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right) \gg \epsilon_y = f_{yd} / E_s \quad (I2)$$

yada

$$\frac{d'}{d} = \frac{\epsilon_{cy} - \epsilon_y}{\epsilon_{cy} + \epsilon_y} \quad (I3) \text{ olmalıdır.}$$

ϵ_{cy} nin belirli sınır değerleri için $\int_0^{\epsilon_{cy}} f(\epsilon_c) d\epsilon_c$ hesaplanırsa;

$0 \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_o$ ve $\sigma'_s < f_{yd}$ için $\epsilon_{cy} - \rho / f_{cd}$ ilişkisi:

$$\frac{\rho}{f_{cd}} = \frac{k_3 \left\{ \frac{2}{3} \epsilon_o + \left[1 - \frac{0.5}{k_3} (\epsilon_{cy} - \epsilon_o) \right] (\epsilon_{cy} - \epsilon_o) \right\}}{3 \epsilon_o^2 (\epsilon_y + \epsilon_{cy}) f_{yd} \left\{ 1 - (\rho' / \rho) (\epsilon_{cy} / \epsilon_y) \left(1 - \frac{d'}{d} \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right) \right\}} \quad (I4)$$

$0 \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_o$ ve $\sigma'_s = f_{yd}$ için $\epsilon_{cy} - \rho / f_{cd}$ ilişkisi:

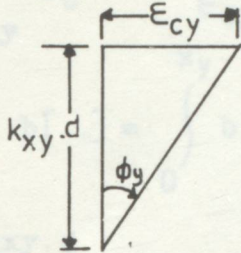
$$\frac{\rho}{f_{cd}} = \frac{k_3 \epsilon_{cy}^2 (3 \epsilon_o - \epsilon_{cy})}{3 \epsilon_o^2 f_{yd} (\epsilon_y + \epsilon_{cy}) (1 - \rho' / \rho)} \quad (I5)$$

$\epsilon_o \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_{cu}$ $\sigma'_s < f_{yd}$ için $\epsilon_{cy} - \rho / f_{cd}$ ilişkisi:

$$\frac{\rho}{f_{cd}} = \frac{k_3 \left\{ \frac{2}{3} \epsilon_o + \left[1 - \frac{0.5}{k_3} (\epsilon_{cy} - \epsilon_o) \right] (\epsilon_{cy} - \epsilon_o) \right\}}{f_{yd} (\epsilon_y + \epsilon_{cy}) \left\{ 1 - (\rho' / \rho) (\epsilon_{cy} / \epsilon_y) \left(1 - \frac{d'}{d} \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right) \right\}} \quad (I6)$$

$\epsilon_0 \ll \epsilon_{oy} \ll \epsilon_{cu}$ $\sigma_s' = f_{yd}$ için $\epsilon_{oy} - \rho / f_{od}$ ilişkisi:

$$\rho = \frac{k_3 \left\{ \frac{2}{3} \epsilon_0 + \left[1 - \frac{0.5}{k_3} (\epsilon_{oy} - \epsilon_0) \right] (\epsilon_{oy} - \epsilon_0) \right\}}{f_{od} (\epsilon_y + \epsilon_{oy}) (1 - \rho / f_{od})} \quad (I7)$$



Şekil.4. Akma anındaki eğriliği

Sekil (4)den:

$$\phi_y = \frac{\epsilon_{cy}}{k_{xy} \cdot d} \quad (I8)$$

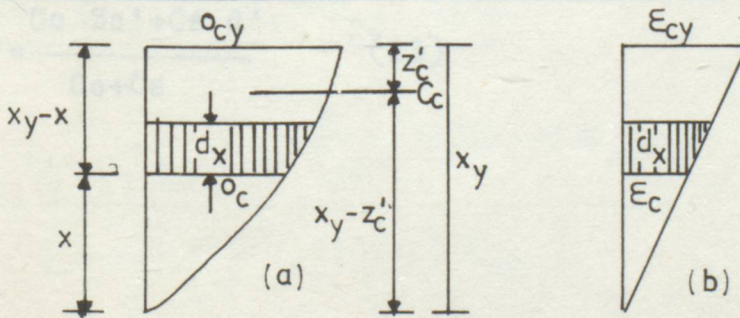
(I8) de k_{xy} nin (3) deki değeri yazılırsa;

$$\phi_y d = \epsilon_{cy} + \epsilon_y \quad (I9)$$

Tablo ve abaklar S220, S420 ve $d'/d=0.05$ $d'/d=0.10$ için düzenlenmiştir.

ρ'/ρ oranları : 0.025, 0.333, 0.50, 0.75, 1.00 alınmıştır.

2.2. AKMA MOMENTİNİN (M_y) HESAPLANMASI



Şekil .5. Akma anındaki beton basınç gerilmeleri dağılımı

Basınç donatısı yoksa;

$$C_0 = b \int_0^{\epsilon_{cy}} \sigma_c dx = \int_0^{\epsilon_{cy}} [b \cdot \sigma_c \cdot dx] \cdot (xy - x) \quad (20)$$

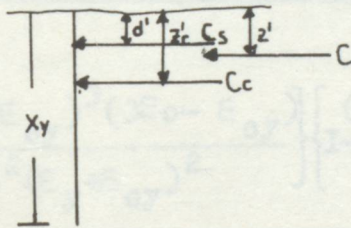
$$x = \frac{xy}{\epsilon_{cy}} \epsilon_c \quad dx = \frac{xy}{\epsilon_{cy}} d\epsilon_c$$

$$z'_c \cdot b [\dots] = \int_0^{xy} b \cdot xy \cdot \sigma_c \cdot dx - \int_0^{xy} bx \cdot \sigma_c \cdot dx$$

$$xy = kxy \cdot d$$

$$z'_c = \left[1 - \frac{\int_0^{\epsilon_{cy}} \epsilon_c f(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cy} \int_0^{\epsilon_{cy}} f(\epsilon_c) d\epsilon_c} \right] \cdot \frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_y + \epsilon_{cy}} \cdot d \quad (21)$$

Basınç donatısı varsa:



Sekil .6. Beton basınç kuvveti ve bileşkesi

$$z' \cdot (C_s + C_0) = C_0 \cdot z'_c + C_s \cdot d' \quad (22)$$

$$z' = \frac{C_0 z'_c + C_s d'}{C_0 + C_s} \quad (23)$$

$$\frac{z'}{d} = \frac{\left[\frac{\int_0^{\epsilon_{cy}} f(\epsilon_c) d\epsilon_c}{y + \epsilon_{cy}} \right] \left[I - \frac{\int_0^{\epsilon_{cy}} \epsilon_c f(\epsilon_c) d\epsilon_c}{\epsilon_{cy} \int_0^{\epsilon_{cy}} f(\epsilon_c) d\epsilon_c} \left(\frac{\epsilon_{cy}}{y + \epsilon_{cy}} \right) \right] \cdot d + (\rho' \sigma'_s \cdot d')}{\frac{\int_0^{\epsilon_{cy}} f(\epsilon_c) d\epsilon_c}{y + \epsilon_{cy}} + \rho' \sigma'_s} \quad (24)$$

*pay ve payda $[\rho/\rho_{cd}/f_{cd}]$ ile çarpılırsa:

$$\frac{z'}{d} = \frac{[\dots][\dots] + (\rho/f_{cd})(\rho'/\rho)(d'/d)f_{cd}\sigma'_s}{[\dots] + (\rho/f_{cd})(\rho'/\rho) \cdot f_{cd}\sigma'_s} \quad (25)$$

ϵ_{cy} nin belirli değerleri için z'/d ifadeleri şöyle olur;

$0 \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_0$ ve $\sigma'_s < f_{yd}$ için:

$$\frac{z'}{d} = \frac{\left\{ \frac{k_3 (\epsilon_{cy})^3 (3\epsilon_0 - \epsilon_{cy})}{3\epsilon_0^2 (\epsilon_y + \epsilon_{cy})^2} \right\} \left[I - \frac{(8\epsilon_0 - 3\epsilon_{cy})}{4(3\epsilon_0 - \epsilon_{cy})} \right] + \frac{\rho}{f_{cd}} \frac{\rho'}{\rho} \frac{d'}{d} f_{yd} \frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_y} \left(1 - \frac{d'}{d} \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right)}{\frac{k_3 \epsilon_{cy}^2 (3\epsilon_0 - \epsilon_{cy})}{3\epsilon_0^2 (\epsilon_y + \epsilon_{cy})} + \left(\frac{\rho}{f_{cd}} \right) f_{yd} \left(\frac{\rho'}{\rho} \right) \left(\frac{\epsilon_{cy}}{\epsilon_y} \right) \left(I - \frac{d'}{d} \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right)} \quad (26)$$

$0 \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_0$ ve $\sigma'_s = f_{yd}$ için:

$$\frac{z'}{d} = \frac{[\dots][\dots] + \frac{\rho}{f_{cd}} (\rho'/\rho)(d'/d)f_{yd}}{[\dots] + (\rho/f_{cd})(\rho'/\rho) f_{yd}} \quad (27)$$

$\epsilon_0 \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_{cu}$ ve $\sigma'_s \ll f_{yd}$ için:

$$I_I = \left\{ \frac{2}{3} \epsilon_0 + \left[I - \frac{0.5 \psi}{k_3} (\epsilon_{cy} - \epsilon_0) \right] (\epsilon_{cy} - \epsilon_0) \right\}$$

$$I_2 = I - \frac{\frac{5 \epsilon_0^2}{12} + \frac{I}{2} \left(1 + \frac{\psi \epsilon_0}{k_3} \right) (\epsilon_{cy}^2 - \epsilon_0^2) - \frac{\psi}{3 k_3} (\epsilon_{cy}^3 - \epsilon_0^3)}{\epsilon_{cy} I_I}$$

$$\frac{z}{d} = \frac{\frac{k_3 \epsilon_{cy}}{\epsilon_y + \epsilon_{cy}} I_I \cdot I_2 + (\rho / f_{cd}) (\rho' / \rho) (d' / d) f_{yd} (\epsilon_{cy} / \epsilon_y) \left(I - \frac{d'}{d} \cdot \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right)}{\frac{k_3}{\epsilon_y + \epsilon_{cy}} I_I + (\rho / f_{cd}) (\rho' / \rho) f_{yd} (\epsilon_{cy} / \epsilon_y) \left(I - \frac{d'}{d} \cdot \frac{\epsilon_y + \epsilon_{cy}}{\epsilon_{cy}} \right)} \quad (28)$$

$\epsilon_0 \ll \epsilon_{cy} \ll \epsilon_{cu}$ ve $\sigma'_s = f_{yd}$ için:

$$\frac{z'}{d} = \frac{[\dots] [\dots] + (\rho / f_{cd}) (\rho' / \rho) d' / d f_{yd}}{[\dots] + (\rho / f_{cd}) (\rho' / \rho) f_{yd}} \quad (29)$$

$$M_y = A_s f_{yd} (d - z') = \rho \cdot b \cdot d^2 f_{yd} \left(I - \frac{z'}{d} \right)$$

$$\frac{M_y}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{\rho}{f_{cd}} \cdot f_{yd} \left(I - \frac{z'}{d} \right) \quad (30)$$

$$\frac{M_y}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = K_{md} \quad (31) \text{ ile gösterilir.}$$

3. TABLO VE ABAKLAR

Tablolar S220, S420 donatı çeliği ve C16, C20, C25 beton sınıfları ile $d'/d=0.05$, $d'/d=0.10$ oranları için tablolarda sınır değerler 0.05 alınmıştır.

Tablo ve abakların düzenlenmesinde E_{cy} 0.0005-0.003 ve $\rho'/\rho=0:0.25:0.333:0.50:0.75:1.00$ alınmıştır.

Abaklar üç bölüm halinde düzenlenmiştir:

Birinci bölüm abaklarda:

% ρ absiste, k_{xy} ordinatta gösterilerek ρ'/ρ 'nun oranları için çizilmiştir.

İkinci bölüm abaklarda:

% ρ absiste, E_{cy} ordinatta gösterilerek ρ'/ρ 'nun oranları için çizilmiştir.

Üçüncü bölüm abaklarda:

% ρ absist e, $\phi_y.d$ ordinatta gösterilerek ρ'/ρ 'nun oranları için çizilmiştir.

4. SONUÇLAR

Limit hesapta ve kesit eğrilik düktilitesinin belirlenmesinde ϕ_y nin bilinmesi gerekir. Akma eğriliğinin pratik olarak belirlenebilmesi için yukarda bahsedilen tablo ve abaklar düzenlenmiştir. Beton-arme kesit belirlendikten ve d'/d , ρ'/ρ oranları seçildikten sonra tablo ve abaklar yardımıyla kısa yoldan ϕ_y hesaplanabilir.

Tablo ve abakların kullanılabilmesi için bir örnek problem çözülmüştür.

Limit hesapta akma eğriliğinin ve akma momentinin genel bağıntılarla belirlenmesi uzun zaman alır. Bu çalışmada düzenlenen tablo ve abaklarla sözkonusu eğrilik ve moment kısa sürede hesaplanabilir. Kesitin plastik dönme kapasiteleri belirlenebilir. Ayrıca bu tablo ve aşağıdaki belirlemelerin (3) sayısal olarak görülmesini sağlamıştır:

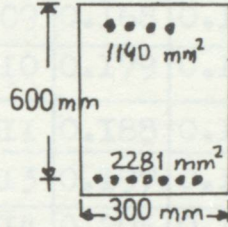
a)-Çekme donatısı miktarının artması düktiliteyi azaltır. ϕ_y artar, ϕ_u azalır.

b)-Basınc donatısı miktarının artması düktiliteyi artırır. ϕ_y azalır, ϕ_u artar.

c)-Çeliğin akma mukavemetinin artması düktiliteyi azaltır. ϕ_y artar, ϕ_u azalır.

d)-Beton mukavemetinin artması düktiliteyi artırır. ϕ_y azalır ϕ_u artar.

ORNEK PROBLEM



Verilenler: $d'/d=0.10$, S220, C16 $d=600\text{mm}$ $d'=60\text{mm}$ $h=600+60=660\text{mm}$

$\rho/\rho=0.50$ $A_s=2281\text{ mm}^2$ $A_s'=1140\text{ mm}^2$

$$\rho = \frac{2281}{300 \cdot 600} = 0.013$$

Bu ρ 'ya karşılık gelen ϵ_{cy} değeri abak 2'den 0.00084 okunur.

Abak I4'den k_{xy} 0.470 okunur.

$$k_{xy} = \epsilon_{cy} / \epsilon_y + \epsilon_{cy}$$

$$\phi_y \cdot d = \epsilon_{cy} + \epsilon_y = \epsilon_{cy} / k_{xy} \text{ olur.}$$

$$\phi_y \cdot d = 0.00084 / 0.470 = 1.787 \cdot 10^{-3}$$

$$d = 600\text{mm}$$

$$\phi_y = 1.787 \cdot 10^{-3} / 600 = 2.978 \cdot 10^{-6}$$

M_y momentinin hesaplanması:

Tablo 2-b'den 0.00084'e karşılık gelen k_{md} değeri alınır (Enterpolasyon). $k_{md}=0.215$ bulunur.

$$M_y / b \cdot d \cdot f_{cd} = k_{md}$$

$$M_y = 300 \cdot (600)^2 \cdot (16/1,5) \cdot 0.215 = 247,68 \text{ kNm}$$

Tablo 1-a C16,d'/d=0.05, S220

[illegible]

Tablo 1-b C16, $d'/d=0.05$, S220

[illegible]

Tablo 2-a C16, $d'/d=0.10$, S220

[illegible]

Tablo 2-b C16, $d'/d=0.10$, S220

[illegible]

Tablo 3-a C16, $d'/d=0.05$, S420

[illegible]

Tablo 3-b C16, $d'/d=0.05$, S.420

[illegible]

Tablo 4-a C16, $d/d=0.10$, S420

100. ϵ_{cy}	k_{xy}	100. $\phi_{y,d}$	$\rho'/\sigma=0.00$			$\rho'/\sigma=0.25$			$\rho'/\sigma=0.333$		
			ϕ	z/d	K_{md}	ρ	z/d	K_{md}	ϕ	z/d	K_{md}
0.05	0.215	0.233	0.001	0.073	0.039	0.001	0.074	0.040	0.001	0.075	0.041
0.06	0.247	0.243	0.002	0.085	0.052	0.002	0.085	0.055	0.002	0.086	0.055
0.07	0.277	0.253	0.002	0.095	0.066	0.002	0.096	0.070	0.002	0.096	0.072
0.08	0.304	0.263	0.003	0.105	0.080	0.003	0.105	0.087	0.003	0.105	0.089
0.09	0.330	0.273	0.003	0.115	0.095	0.003	0.114	0.104	0.004	0.113	0.101
0.10	0.353	0.283	0.004	0.123	0.109	0.004	0.121	0.122	0.004	0.120	0.127
0.11	0.375	0.293	0.004	0.132	0.124	0.005	0.128	0.140	0.005	0.127	0.147
0.12	0.396	0.303	0.005	0.140	0.139	0.005	0.135	0.159	0.006	0.134	0.167
0.13	0.415	0.313	0.005	0.148	0.153	0.006	0.141	0.178	0.006	0.139	0.189
0.14	0.434	0.323	0.006	0.156	0.167	0.007	0.147	0.198	0.007	0.145	0.211
0.15	0.451	0.333	0.006	0.163	0.181	0.008	0.153	0.217	0.008	0.149	0.233
0.16	0.467	0.343	0.007	0.170	0.193	0.008	0.158	0.237	0.009	0.154	0.256
0.17	0.482	0.353	0.007	0.177	0.206	0.009	0.162	0.256	0.010	0.158	0.279
0.18	0.496	0.363	0.008	0.183	0.217	0.010	0.167	0.276	0.011	0.161	0.302
0.19	0.510	0.373	0.008	0.190	0.228	0.010	0.171	0.295	0.011	0.165	0.326
0.20	0.522	0.383	0.009	0.195	0.237	0.011	0.175	0.314	0.012	0.167	0.350
0.21	0.534	0.393	0.009	0.203	0.246	0.012	0.179	0.332	0.013	0.171	0.373
0.22	0.546	0.403	0.009	0.209	0.255	0.013	0.182	0.351	0.014	0.174	0.398
0.23	0.557	0.413	0.010	0.215	0.263	0.013	0.187	0.364	0.015	0.177	0.414
0.24	0.568	0.423	0.010	0.221	0.271	0.014	0.191	0.375	0.015	0.181	0.427
0.25	0.577	0.433	0.010	0.227	0.277	0.014	0.195	0.385	0.016	0.185	0.439
0.26	0.587	0.443	0.011	0.232	0.283	0.014	0.197	0.396	0.016	0.186	0.451
0.27	0.596	0.453	0.011	0.239	0.286	0.015	0.204	0.404	0.017	0.192	0.460
0.272	0.593	0.454	0.011	0.239	0.290	0.015	0.204	0.405	0.017	0.193	0.462

Tablo 4 -b C16, $d'/d=0.10$, S420

[illegible]

Tablo 5-a C20, $d'/d=0.05$, S420

[illegible]

Tablo 5-b C20, $d'/d=0.05$, S220

[illegible]

Table 6-a C20, $d'/d=0.10$, S220[illegible]

Tablo 6 -b C20, $d'/d=0.10$, S220

[illegible]

Tablo 7-a C 20, $d'/d=0.05$, S4 20

[illegible]

Tablo 7-b C20 d/d=005 S420

[illegible]

Tablo 8-a C20 d/d=0.10 S420

[illegible]

Tablo 8-b C20 d/d=0.10 S420

[illegible]

Tablo 9-a C25, $d'/d=0.05$, S220

[illegible]

Tablo 9-b C25, $d'/d=0.05$, S220

[illegible]

Tablo 10-a C25, $d'/d=0.10$, S220

[illegible]

Tablo 10-b C25, $d'/d=0.10$, S220

[illegible]

Tablo 11-a C 25, d/δ=0.0520 S420

[illegible]

Tablo 11-b C25, $d'/d=0.05$, S 4'20

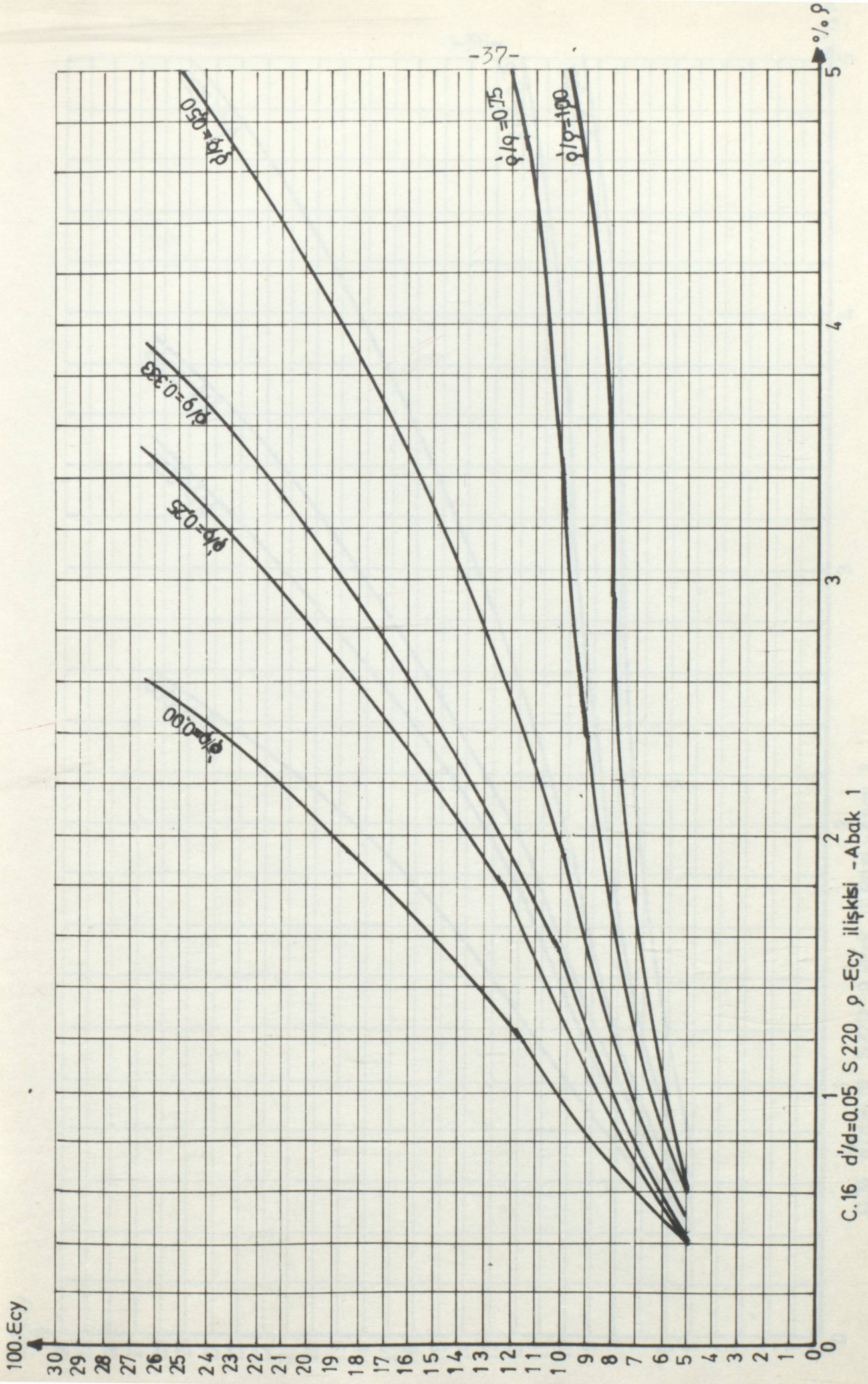
[illegible]

Tablo 12-a C25, $d'/d=0.10$, S420

[illegible]

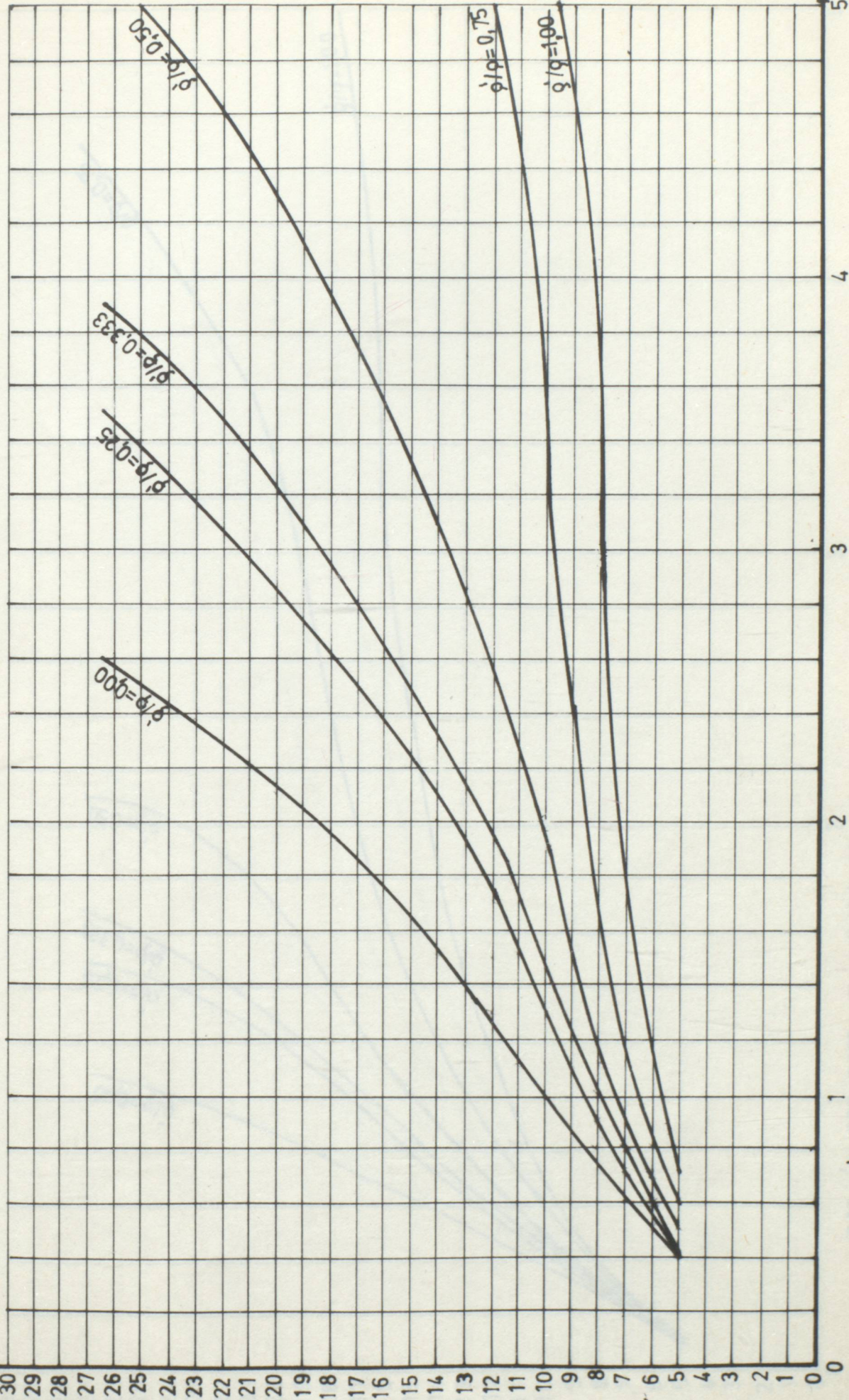
Tablo 12-b C25, $d'/d=0.10$, S420

[illegible]

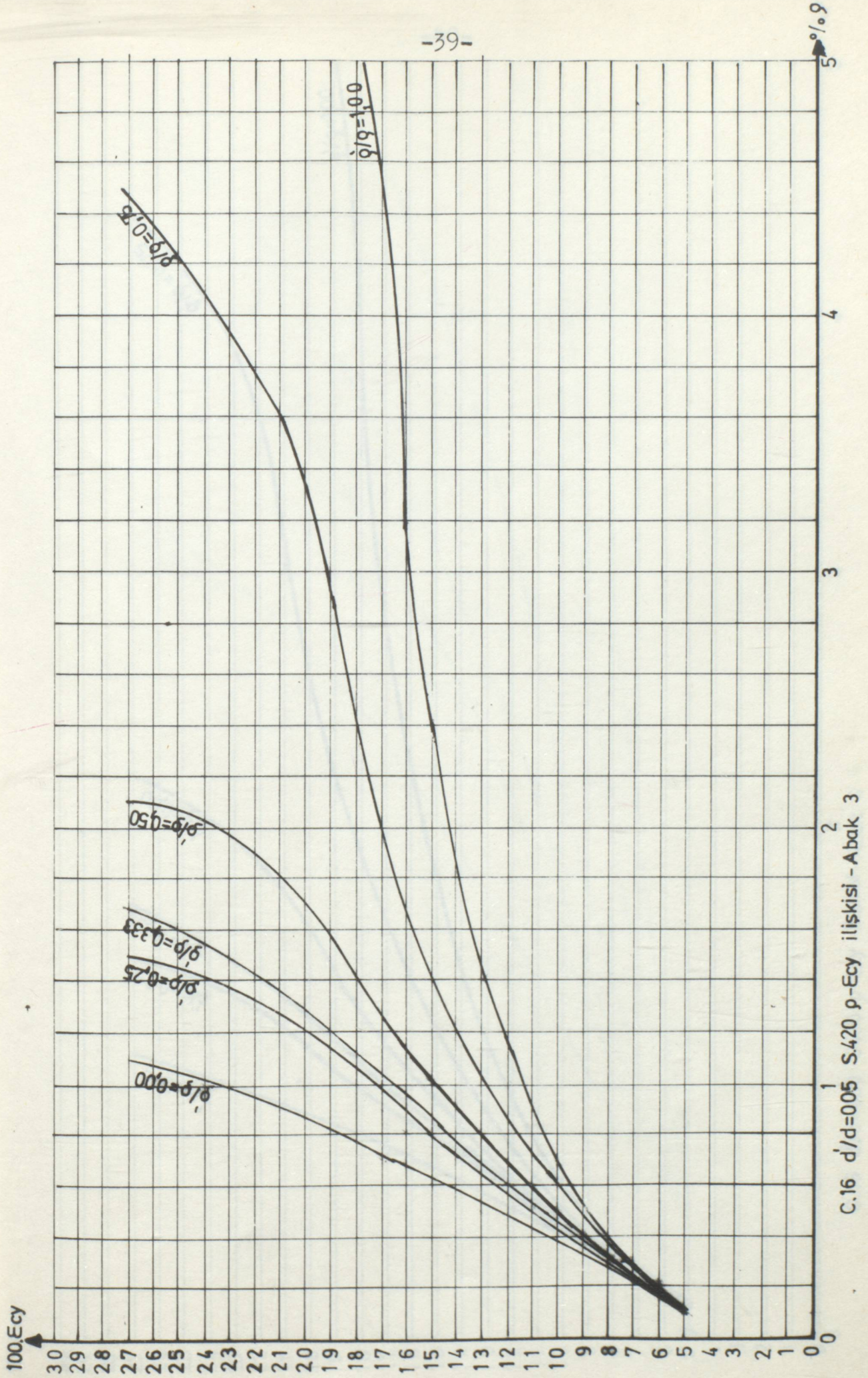


C.16 $d'/d=0.05$ S 220 ρ - E_{cy} ilişkisi - Abak 1

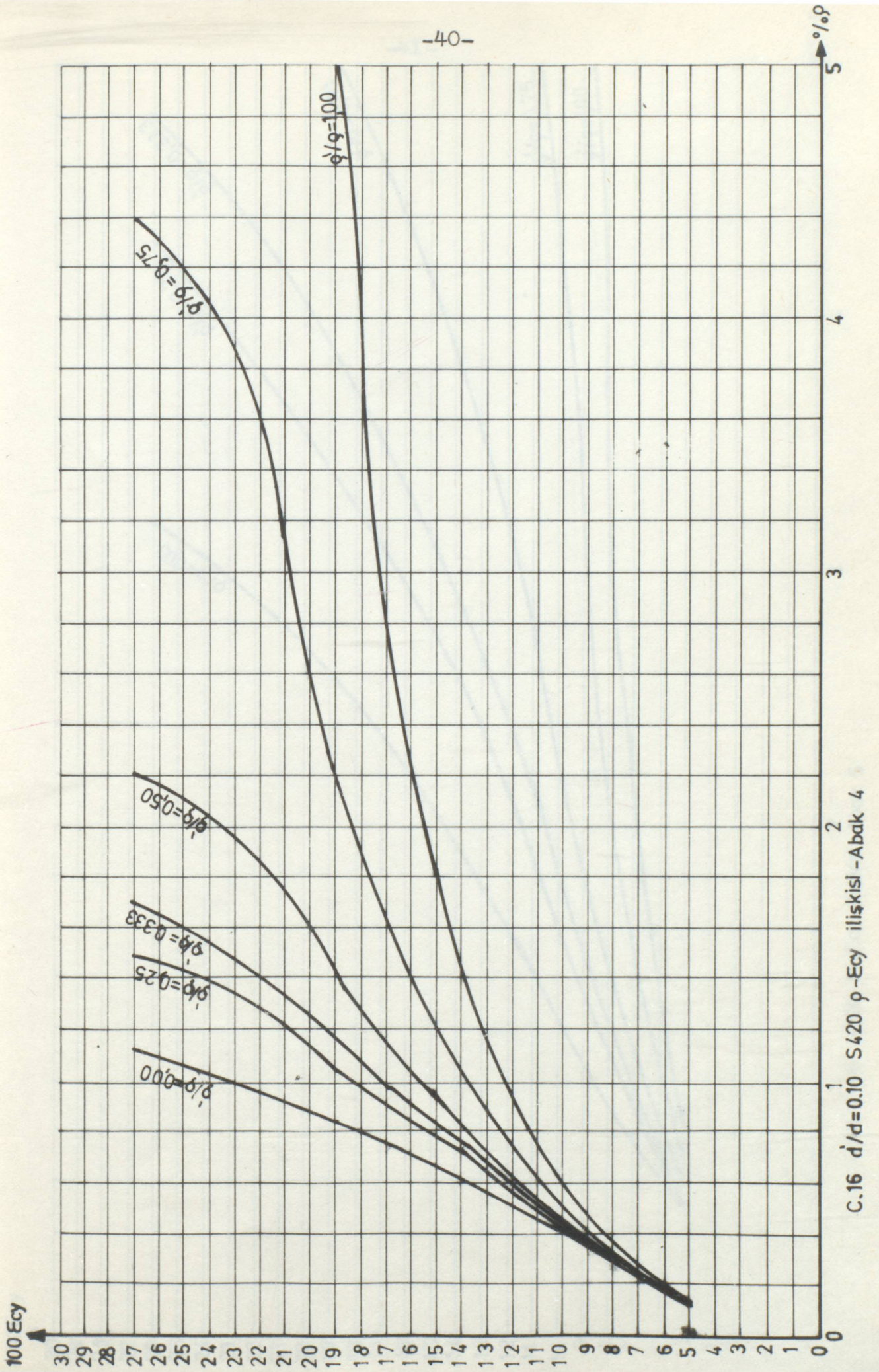
100.Ecy



C.16 $d'/d=0.10$ S220 $p-E_{cy}$ ilişkisi - Abak 2

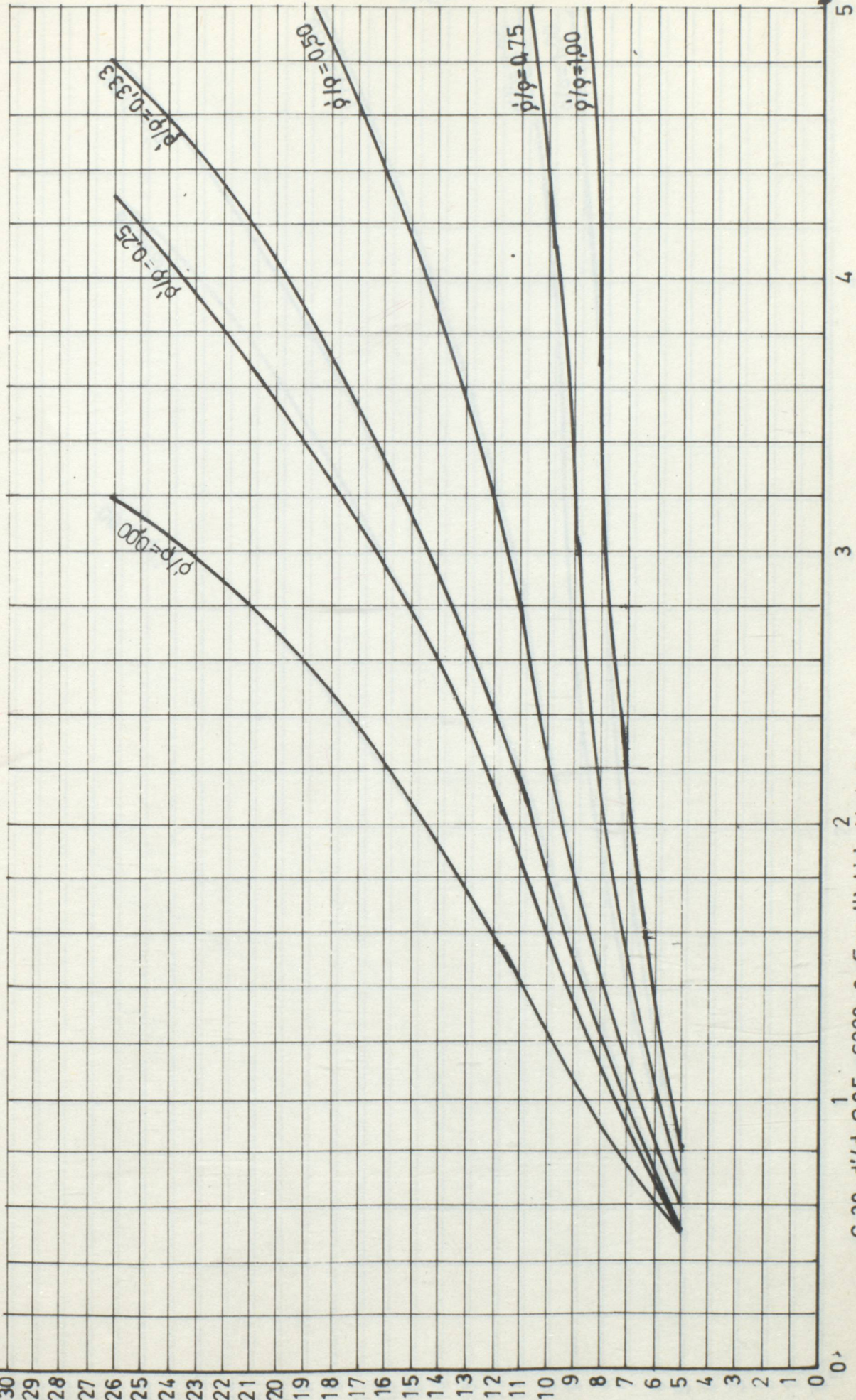


C.16 $d'/d=0.05$ S420 p - Ecy ilişkisi - Abak 3



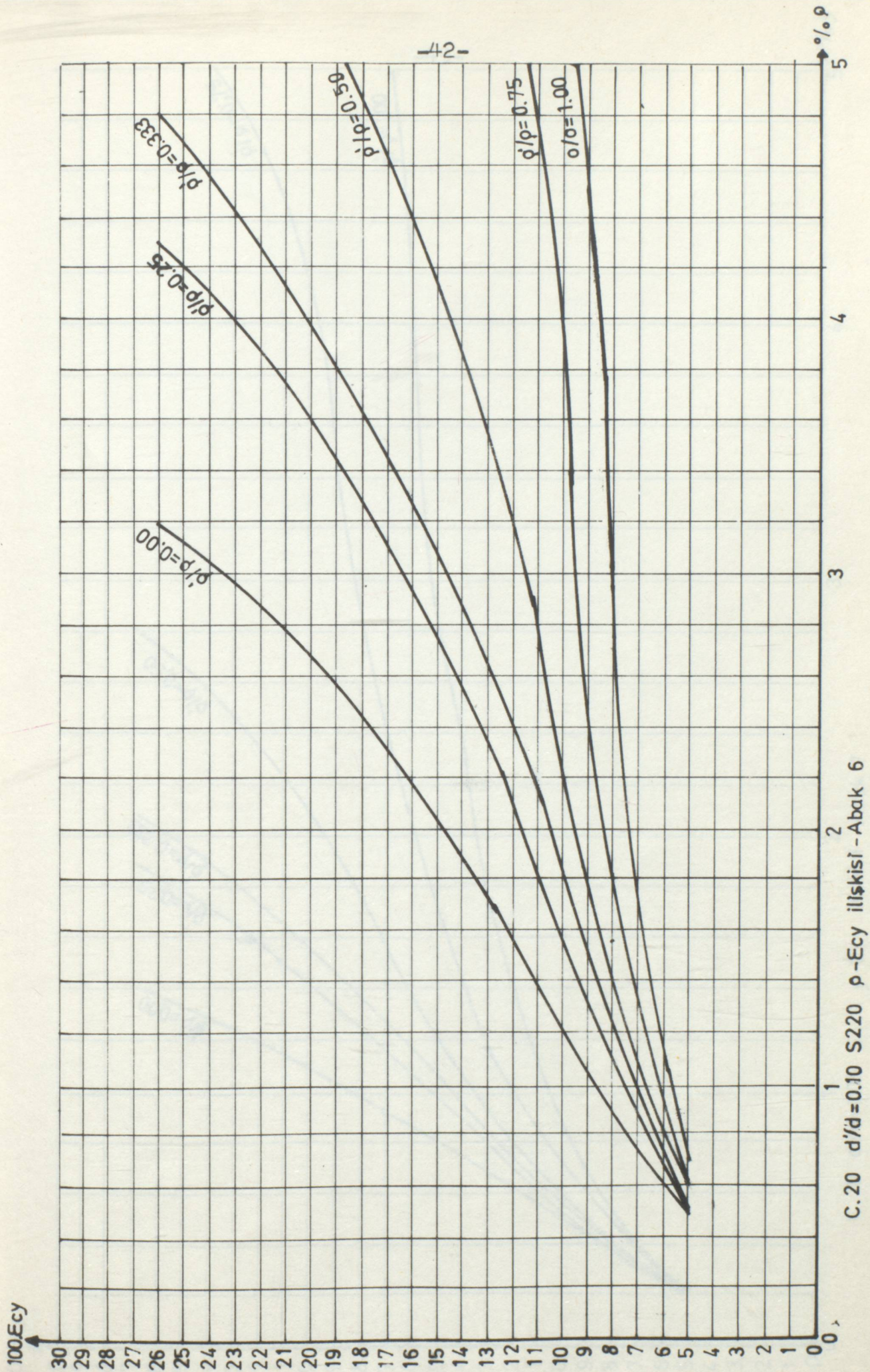
C.16 $d/d=0.10$ S420 $\rho-E_{cy}$ ilişkisi - Abak 4

100Ecy

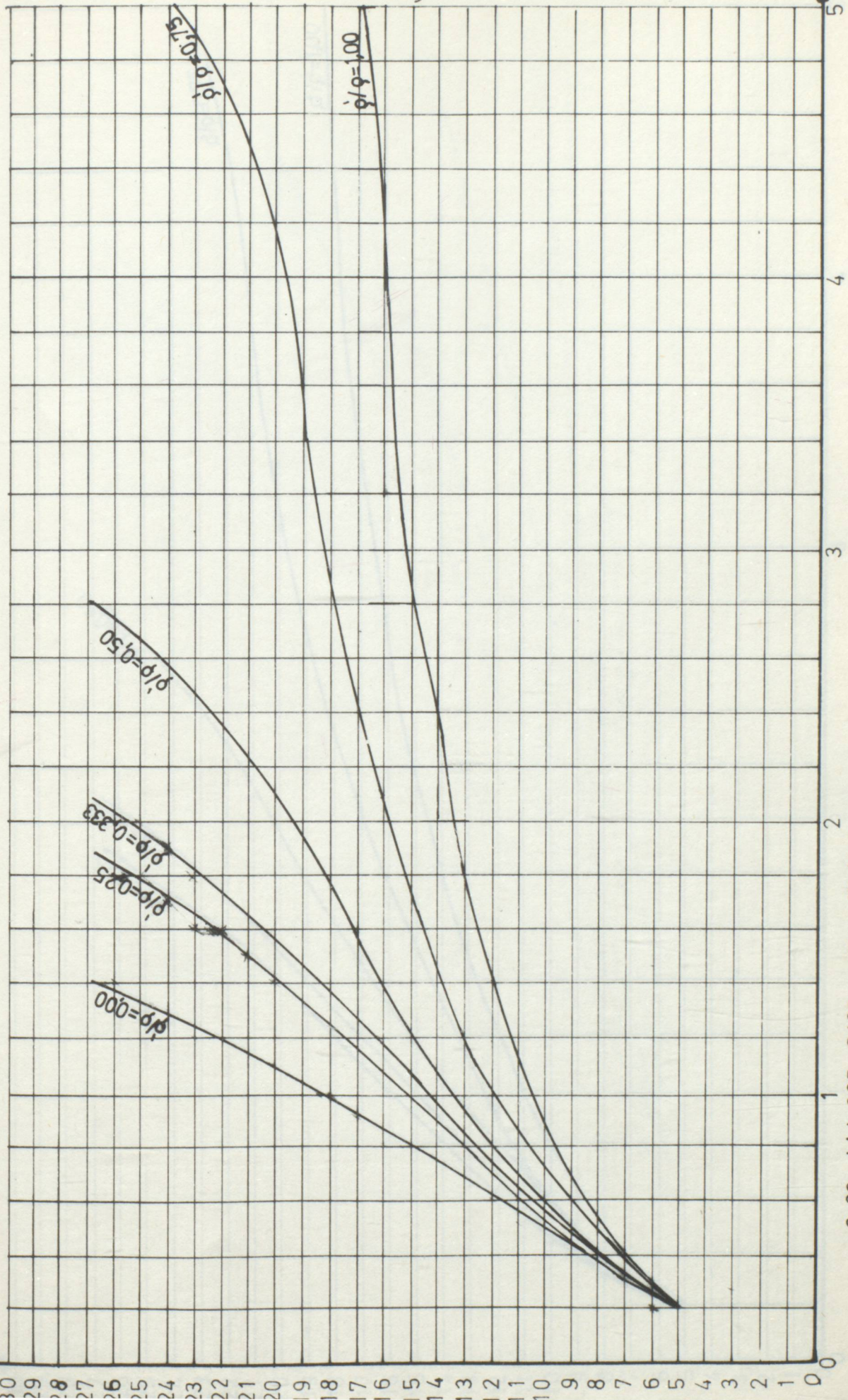


C.20 $d'/d=0.05$ S220 ρ -Ecy ilişkisi -Abak 5

-I-I-



100Ecy

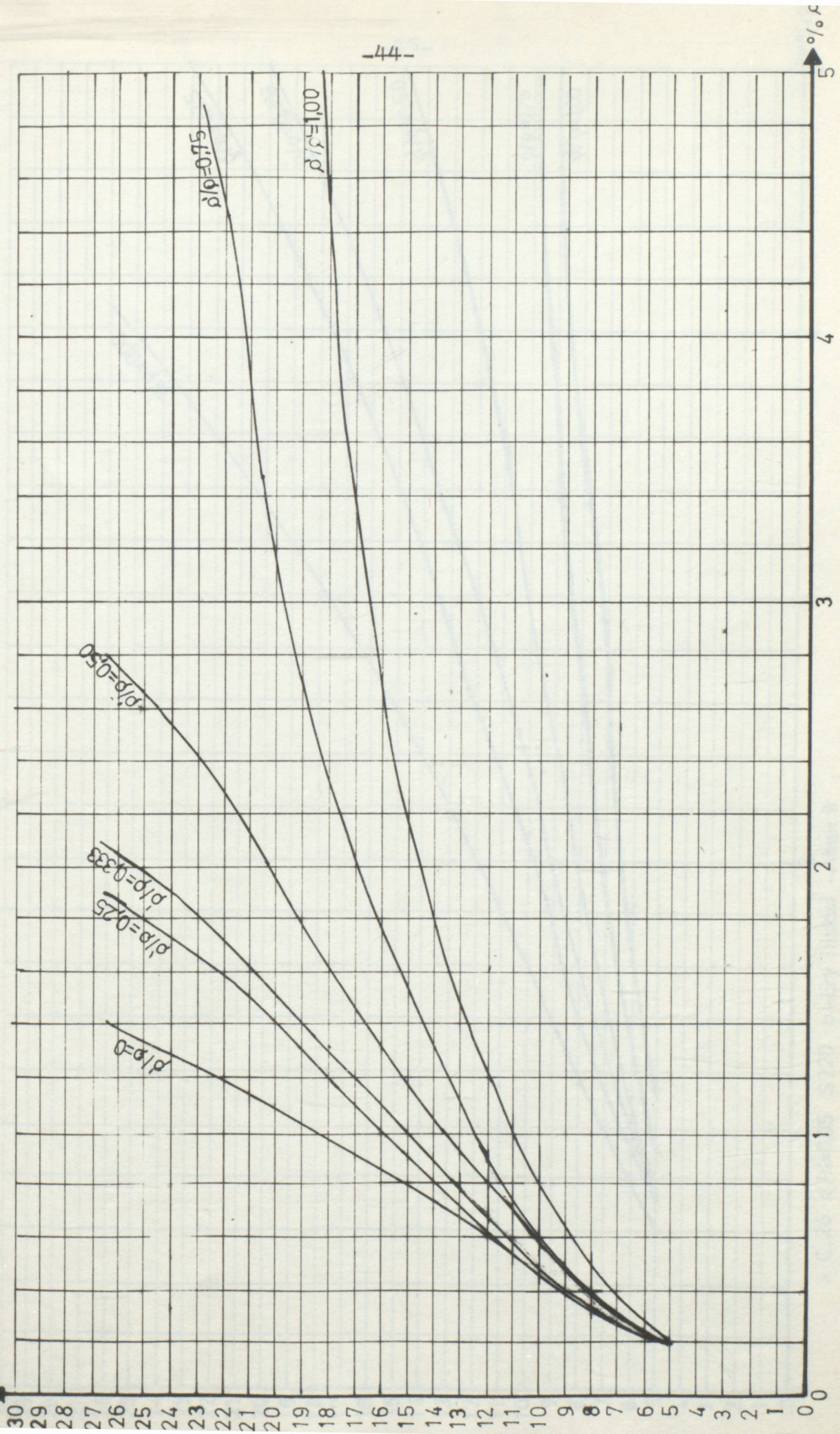


-43-

5%

C.20 $d/d=0.05$ S420 $p-Ecy$ ilişkisi - Abak 7

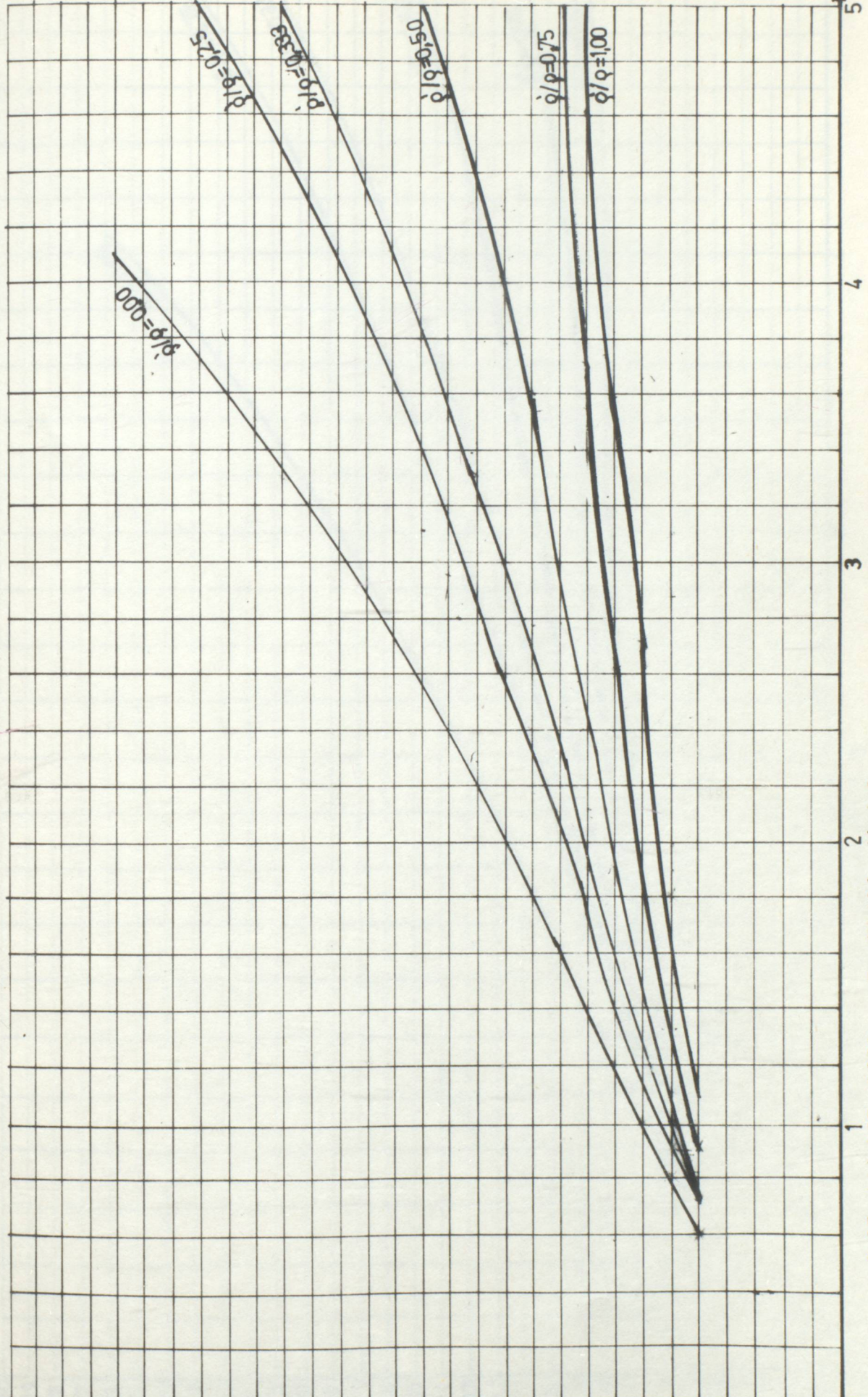
100 Ecy



C.20 $d/d_0=0.10$ S420 $\rho-Ecy$ ilişkisi - Abak 8

100 Ecy

30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0

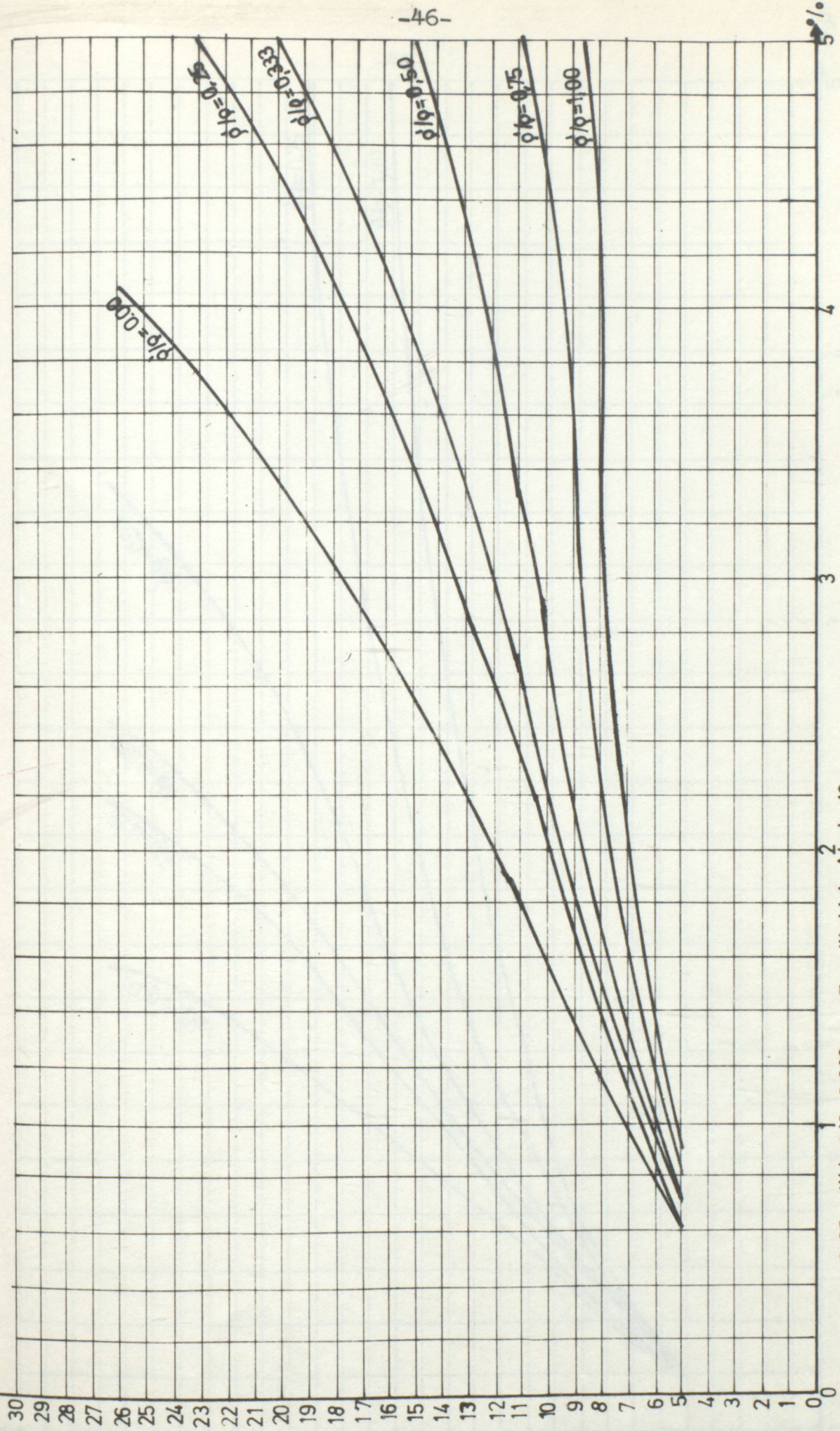


C.26 $d/d_0=0.05$ S220 ρ -Ecy ilişkisi - Abak 9

-45-

5
%

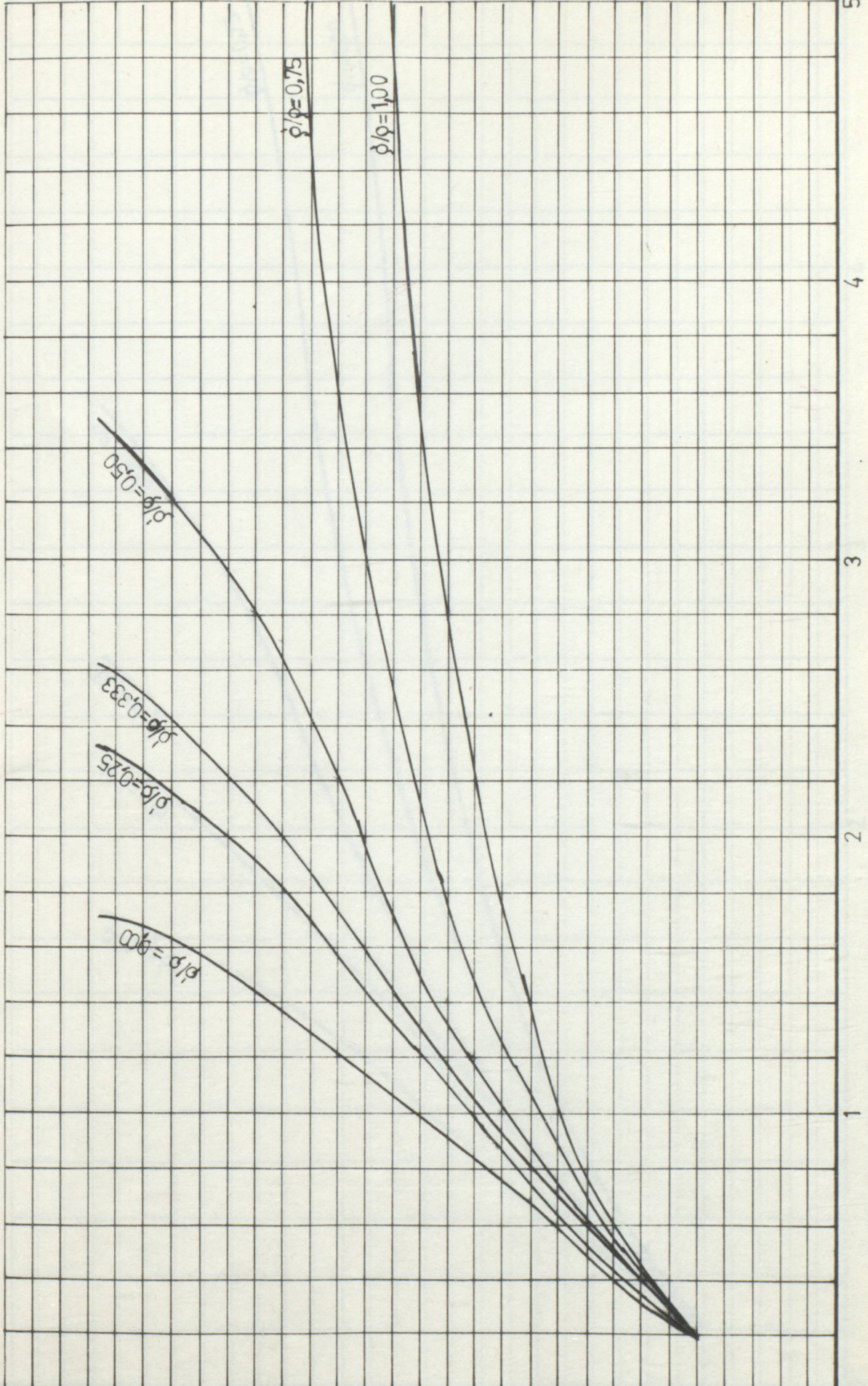
100.Ecy



C.25 $d'/d=0.10$ S 220 $\rho-Ecy$ ilişkisi - Abak 10

100Ecy

30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0



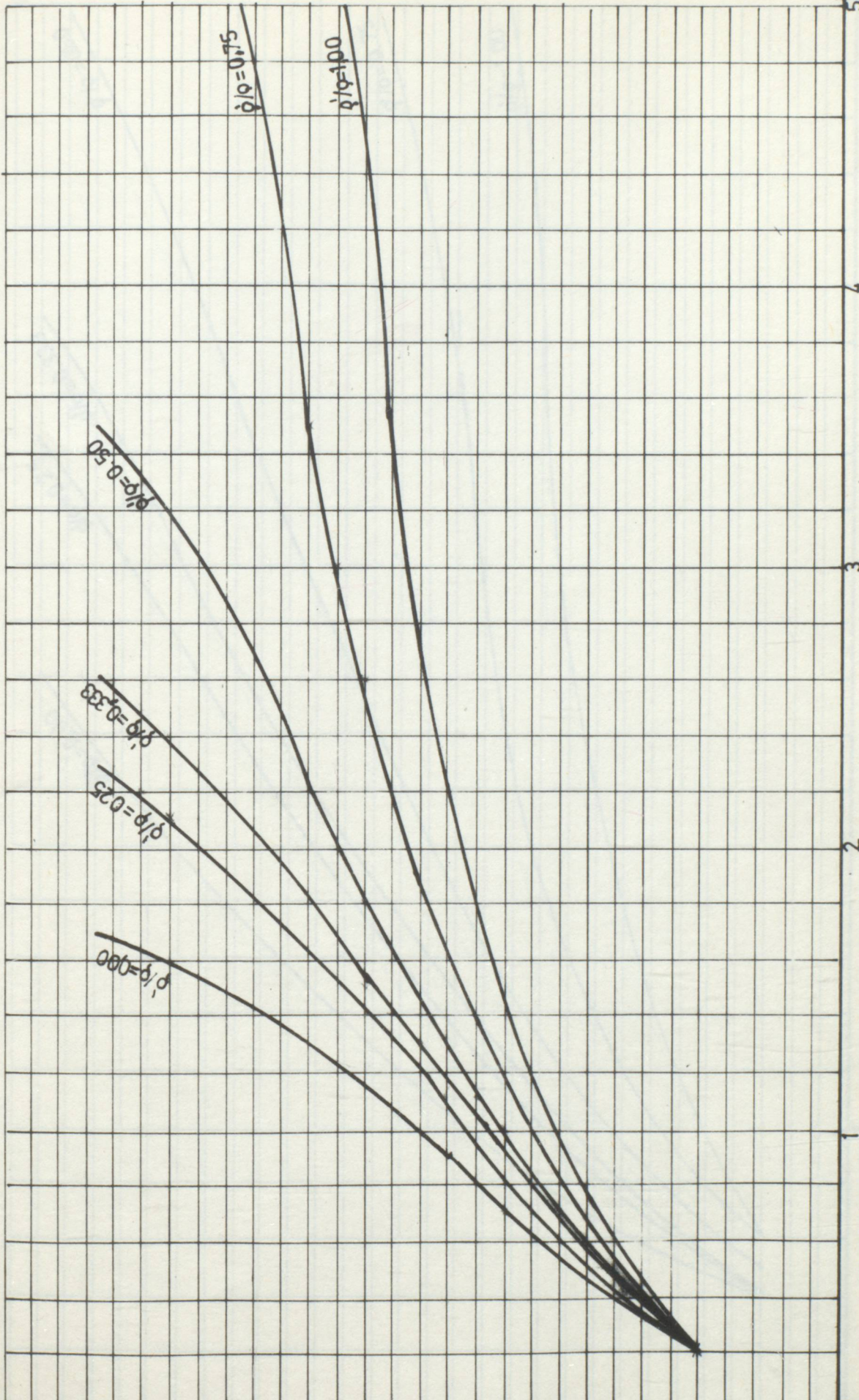
-47-

5
rho

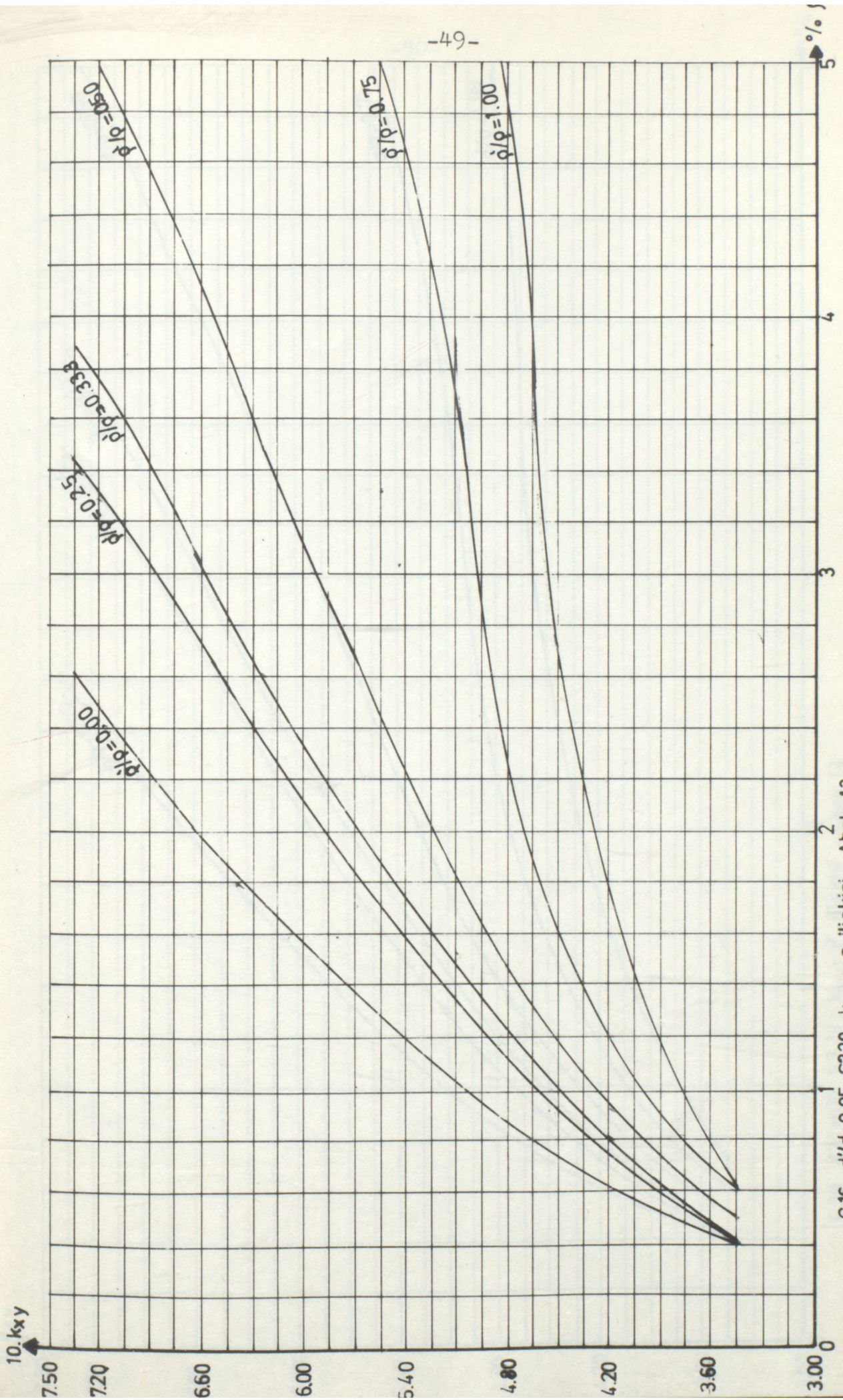
C 25 d/d0=0.05 S420 rho-Ecy ilişkisi - Abak 11

100Ecy

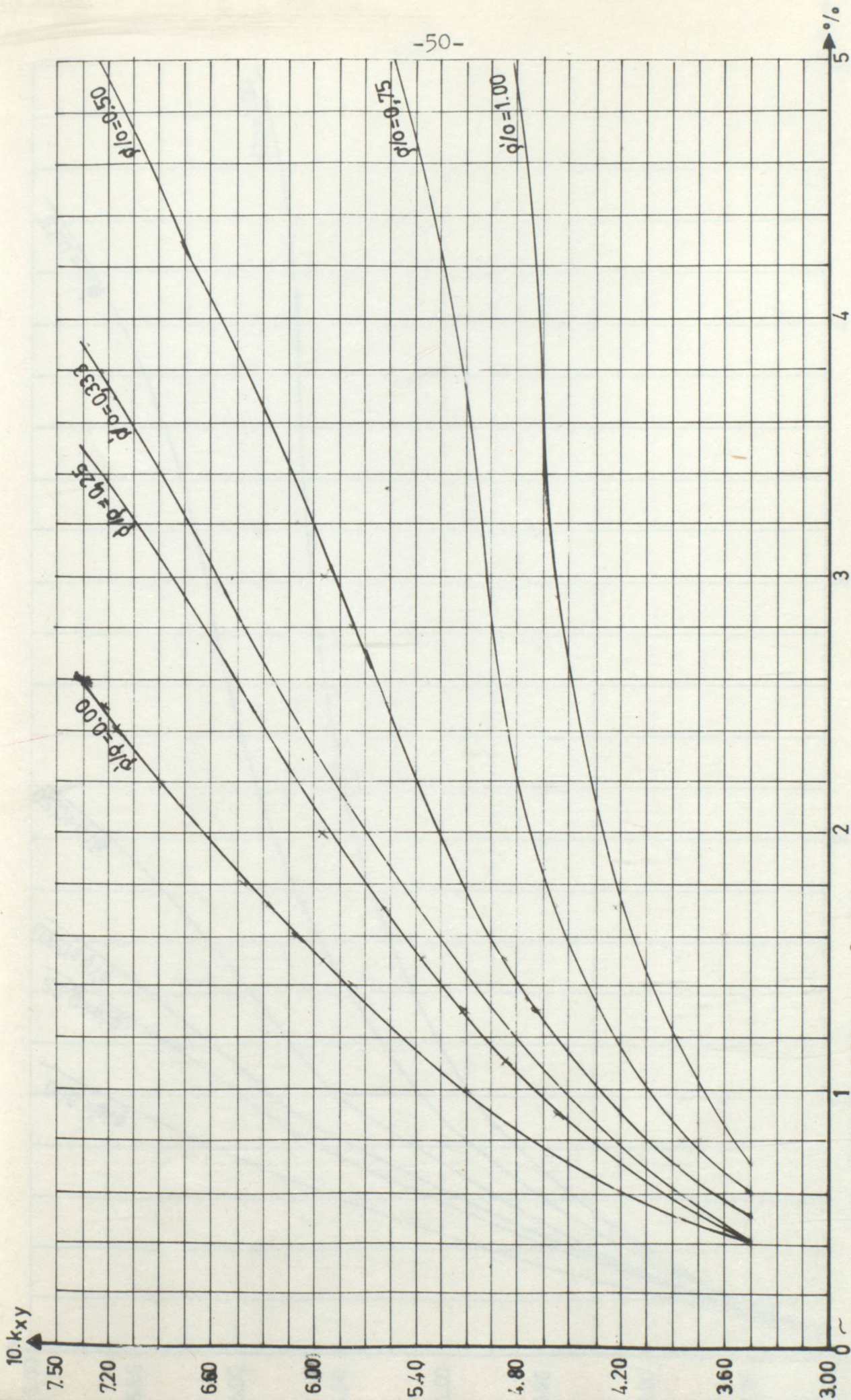
30
29
28
27
26
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1
0



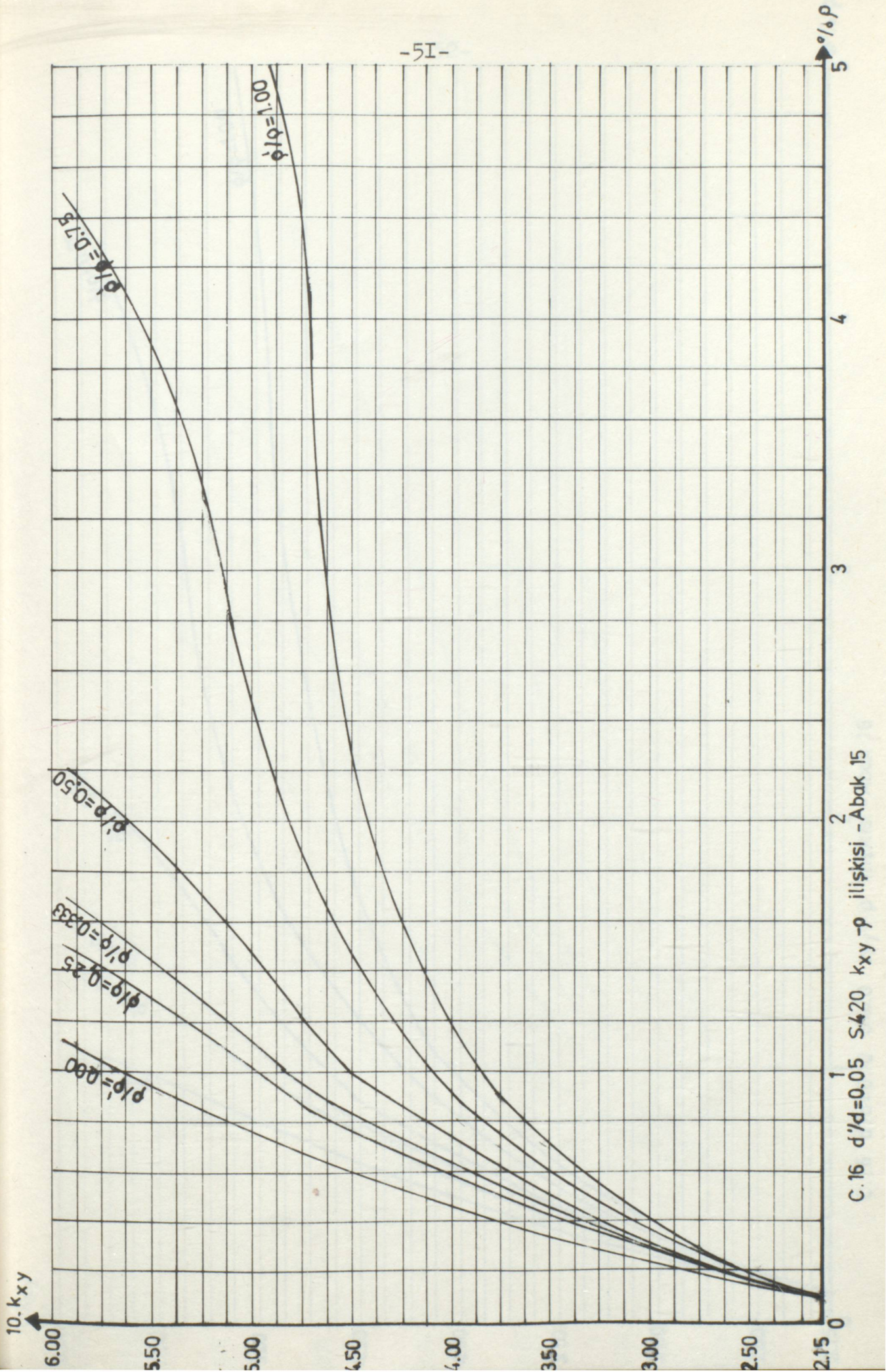
C.25 $d'/d=0.10$ S420 $p-Ecy$ ilişkisi - Abak 12



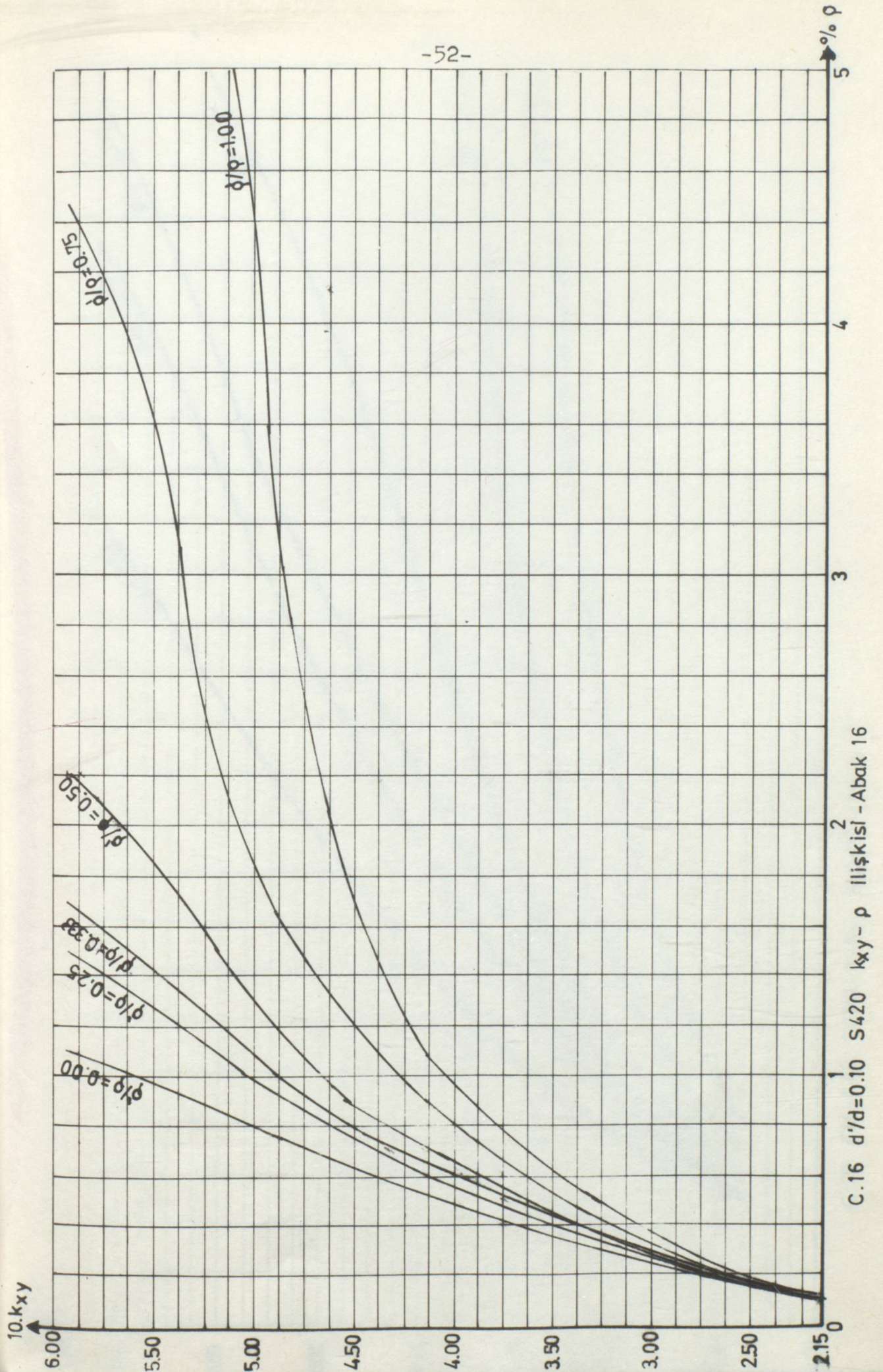
C.16 $d'/d=0.05$ S220 $k_{xy} - \rho$ ilişkisi - Abak 13



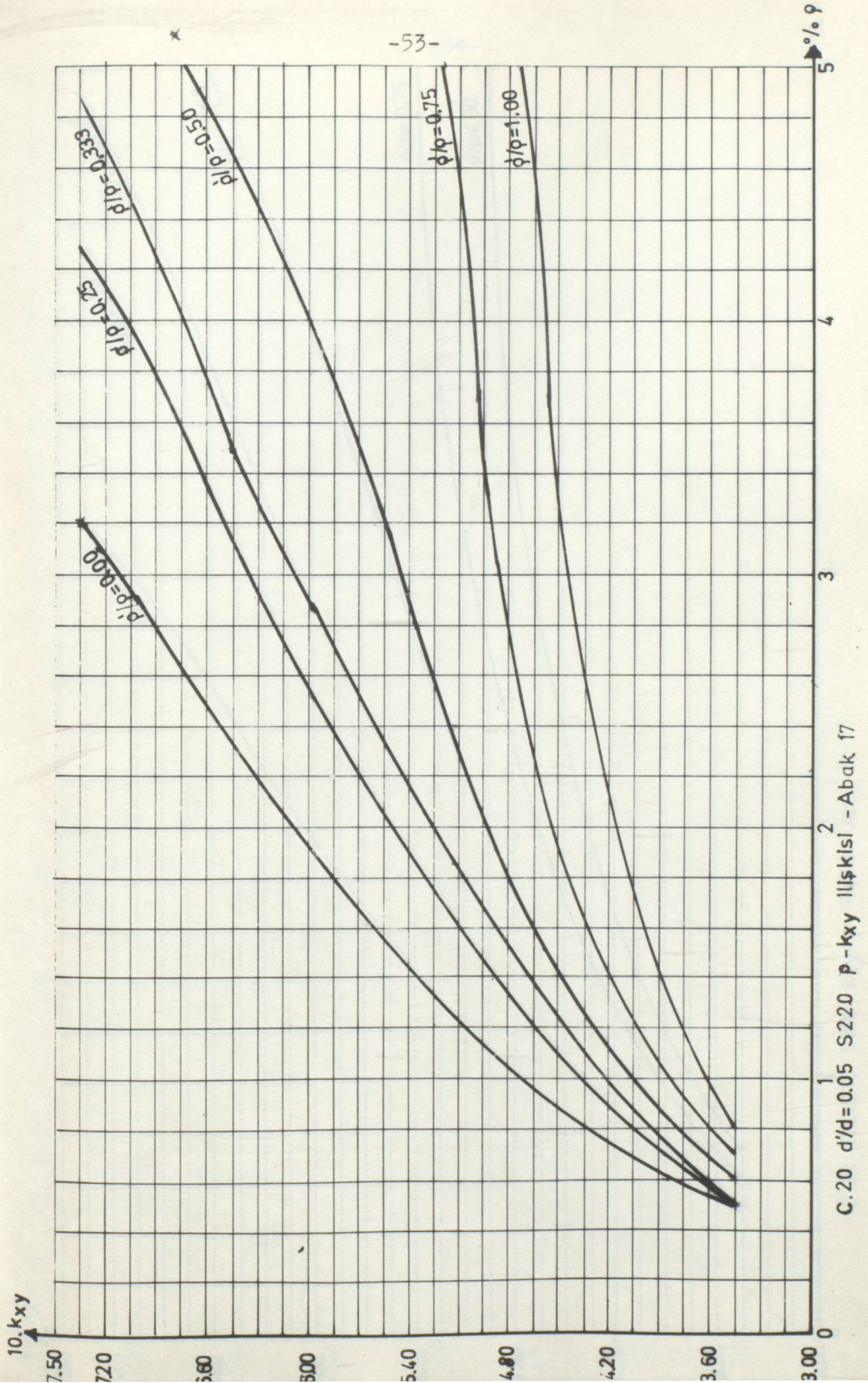
C.16 $d'/d=0.10$ S220 $k_{xy}-\rho$ Iliskisl - Abak 14



C.16 $d'/d=0.05$ S420 k_{xy} - ρ ilişkisi - Abak 15



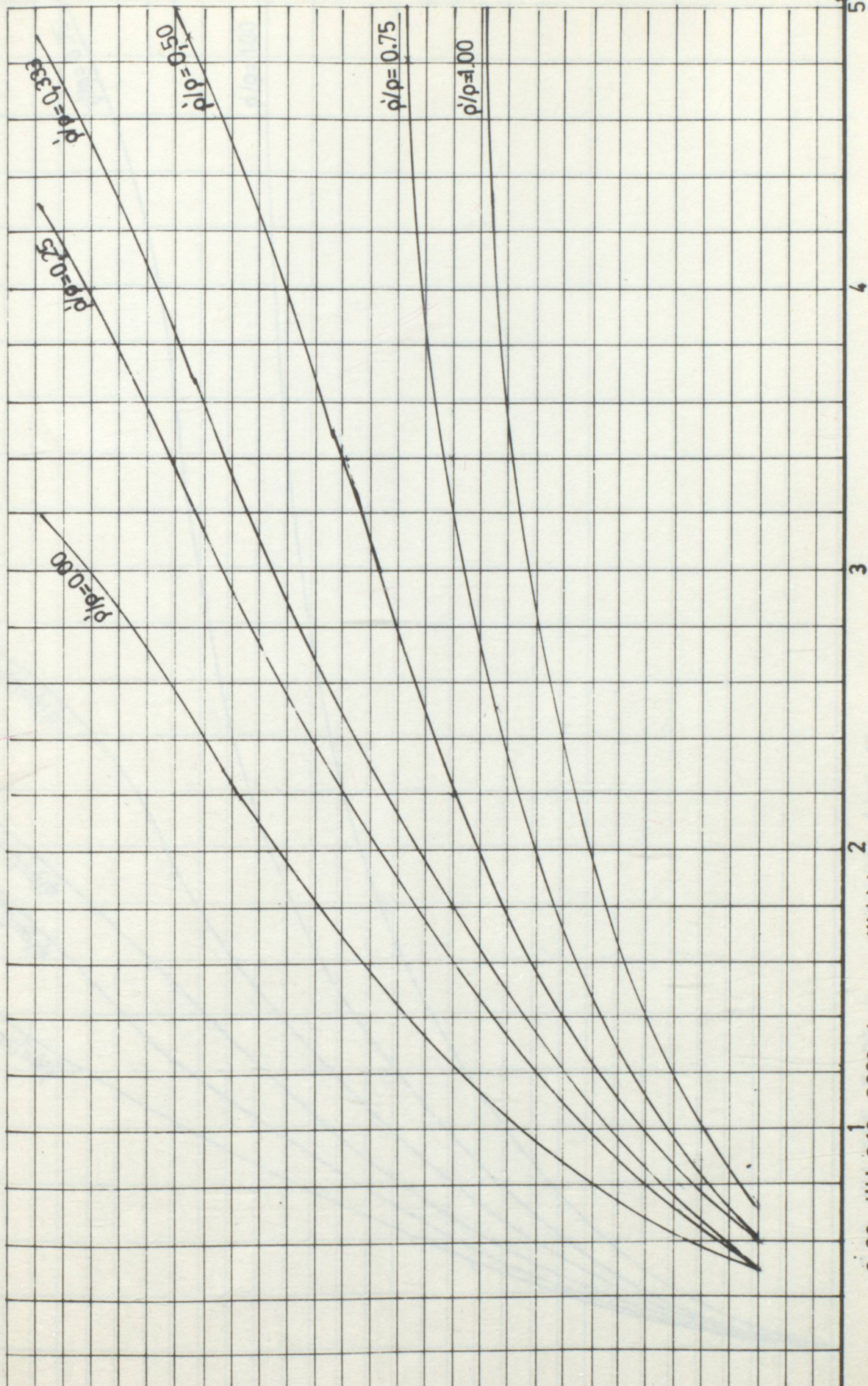
C.16 $d'/d=0.10$ S420 $k_{xy} - \rho$ ilişkisi - Abak 16



C.20 $d'/d=0.05$ S220 p-k_{xy} ilişkisi - Abak 17

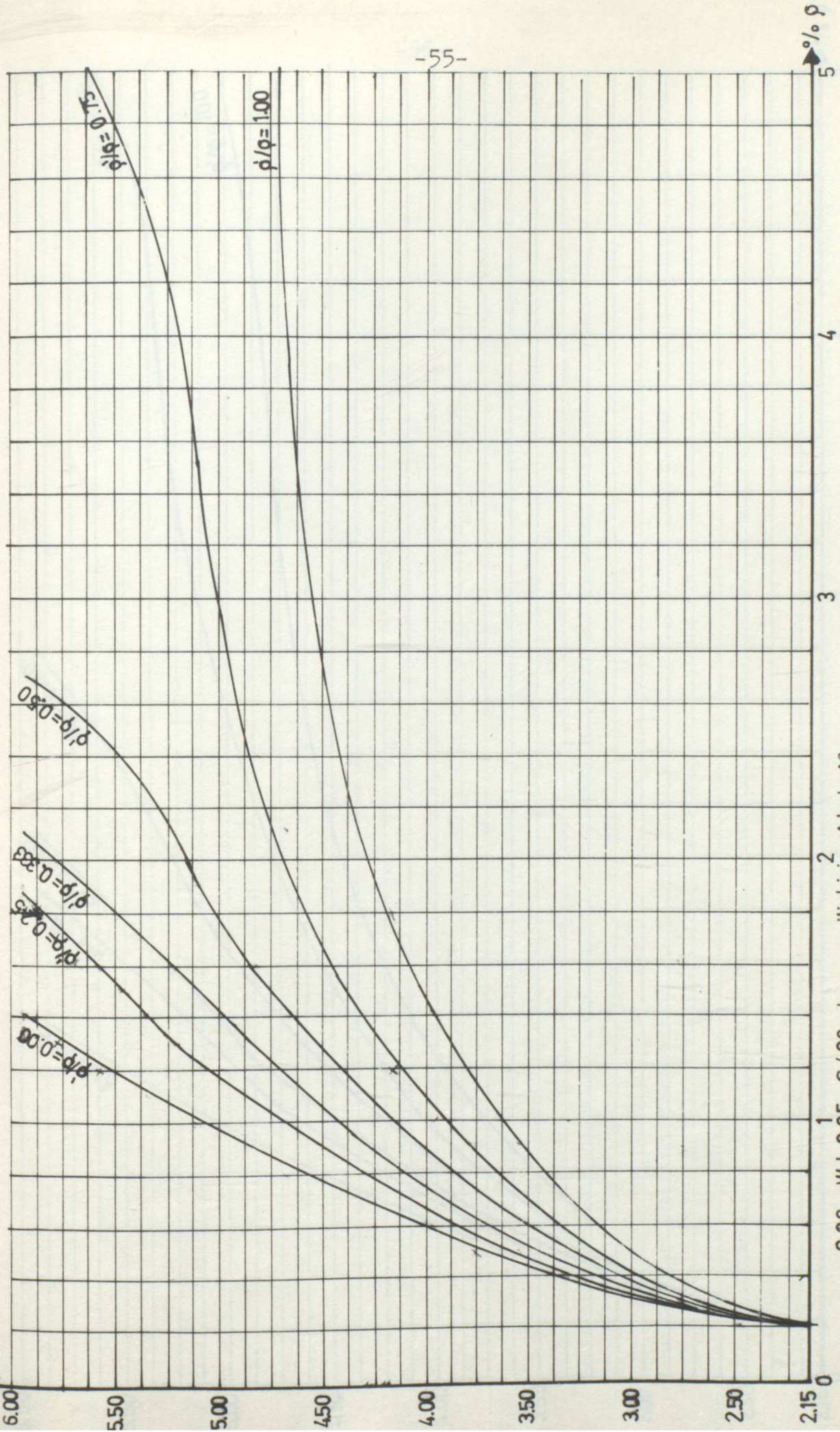
10. k_{xy}

750
720
680
640
600
560
520
480
440
400
360
320

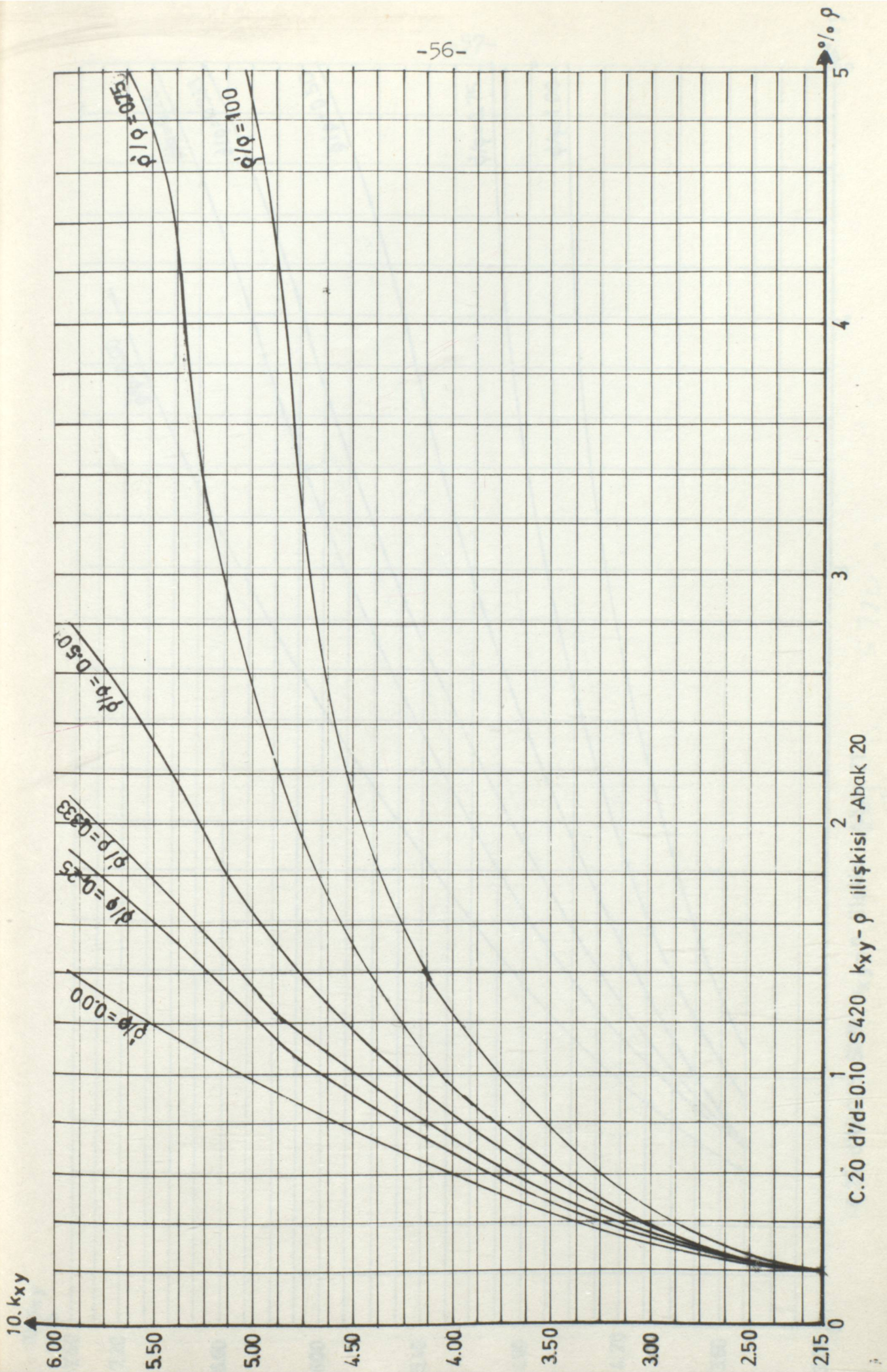


C.20 $d'/d=0.10$ S220 $k_{xy}-\rho$ ilişkisi - Abak 18

10. k_{xy}



C.20 $d'/d=0.05$ S 420 $k_{xy} - \rho$ ilişkisi - Abak 19



C.20 $d'/d=0.10$ S420 $k_{xy}-\rho$ ilişkisi - Abak 20

10. k_{xy}

7.50

7.20

6.60

6.00

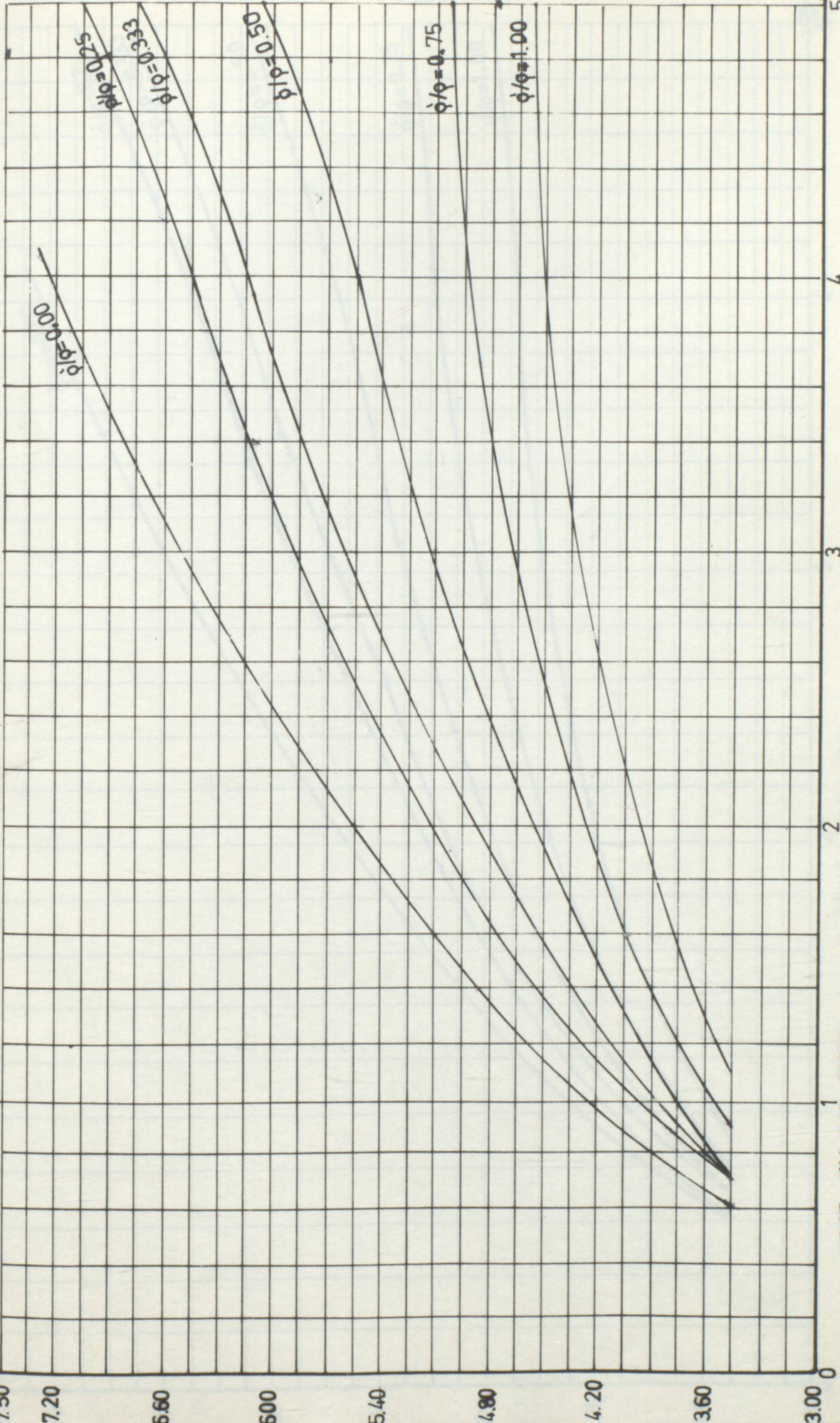
5.40

4.80

4.20

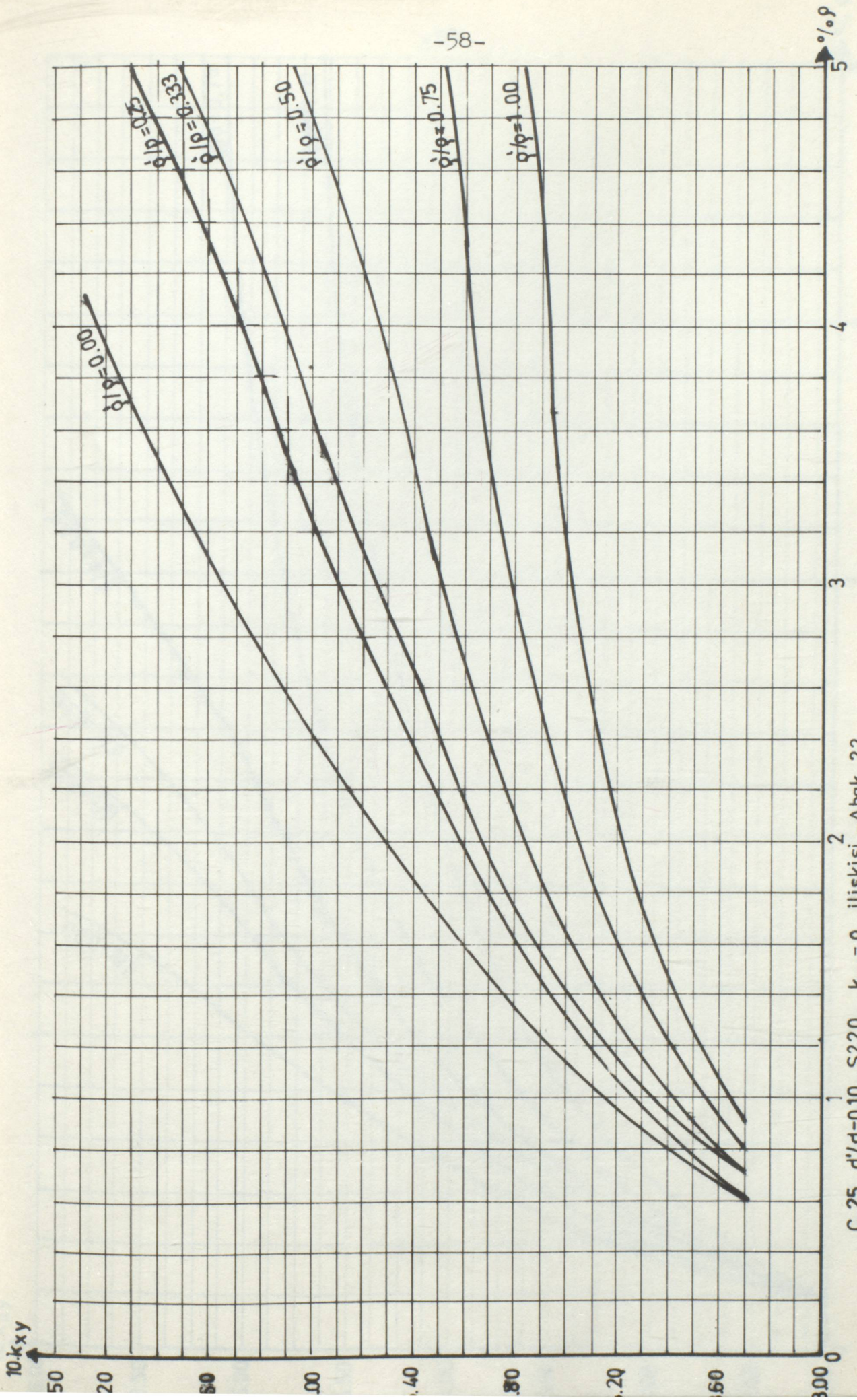
3.60

3.00

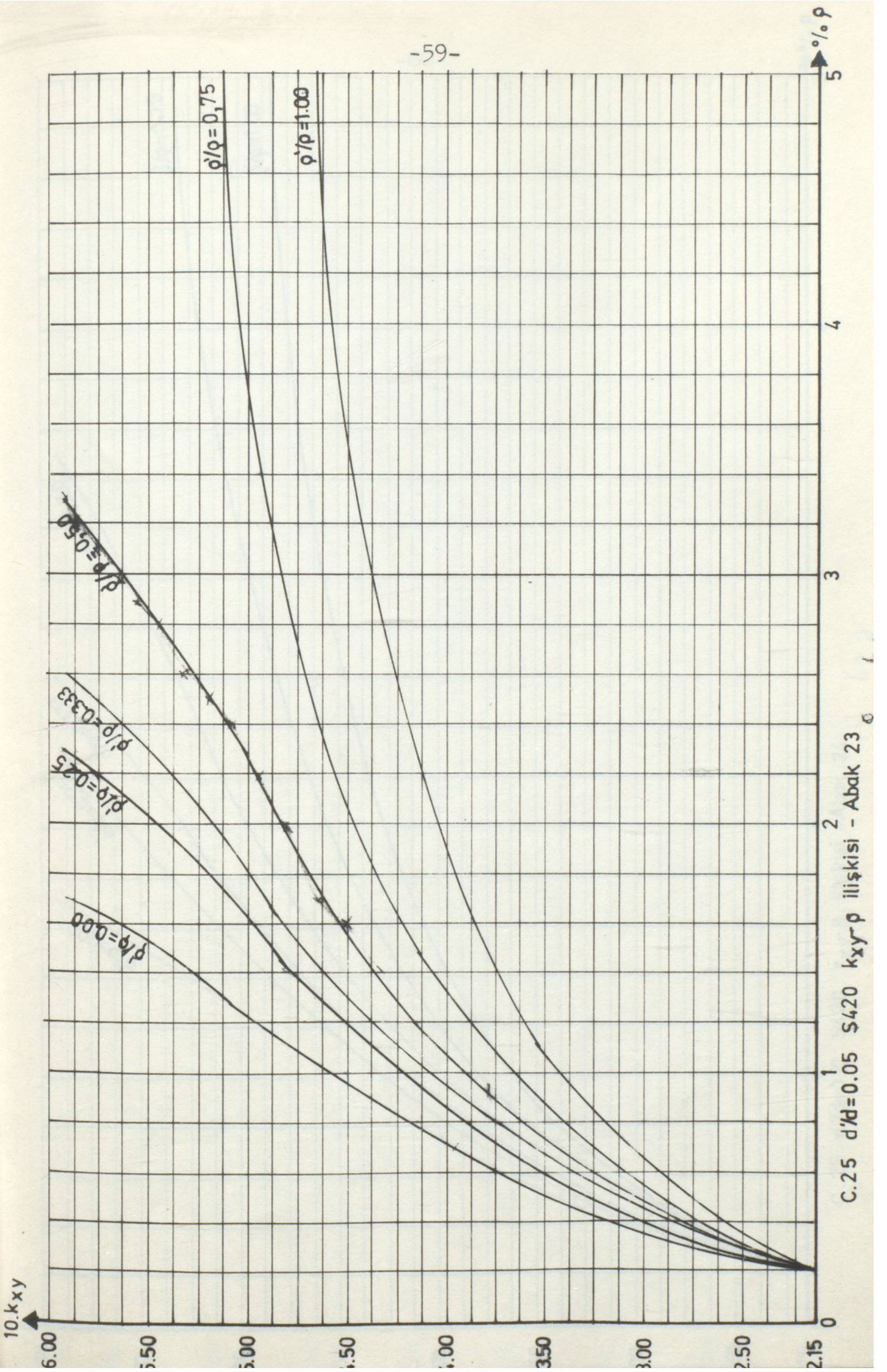


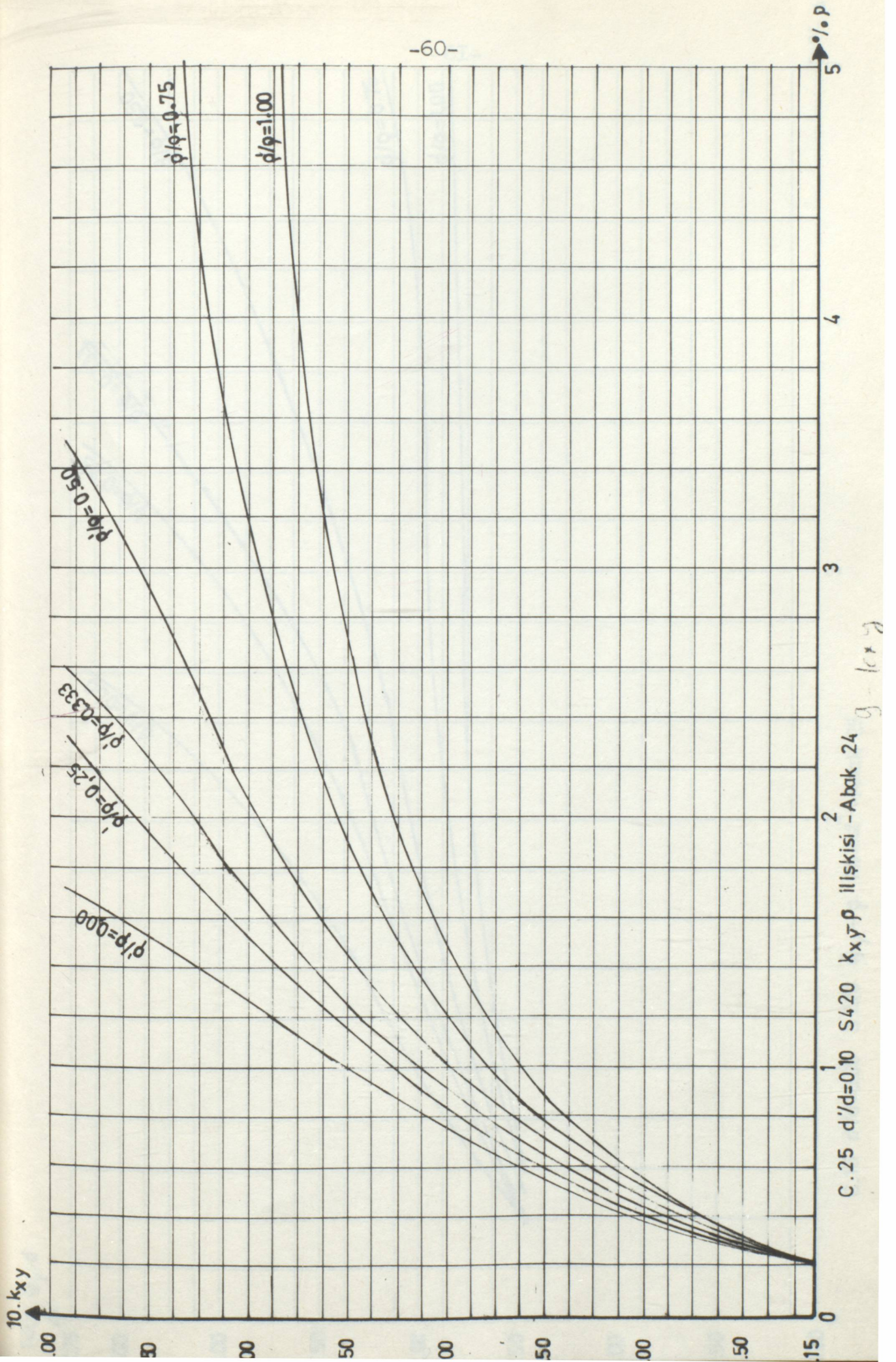
C 25 $d'/d=0.05$ S220 $k_{xy} - o$ ilişkisi - A bak 21

5720



C.25 $d'/d=0.10$ S220 $k_{xy} - \rho$ ilişkisi - Abak 22

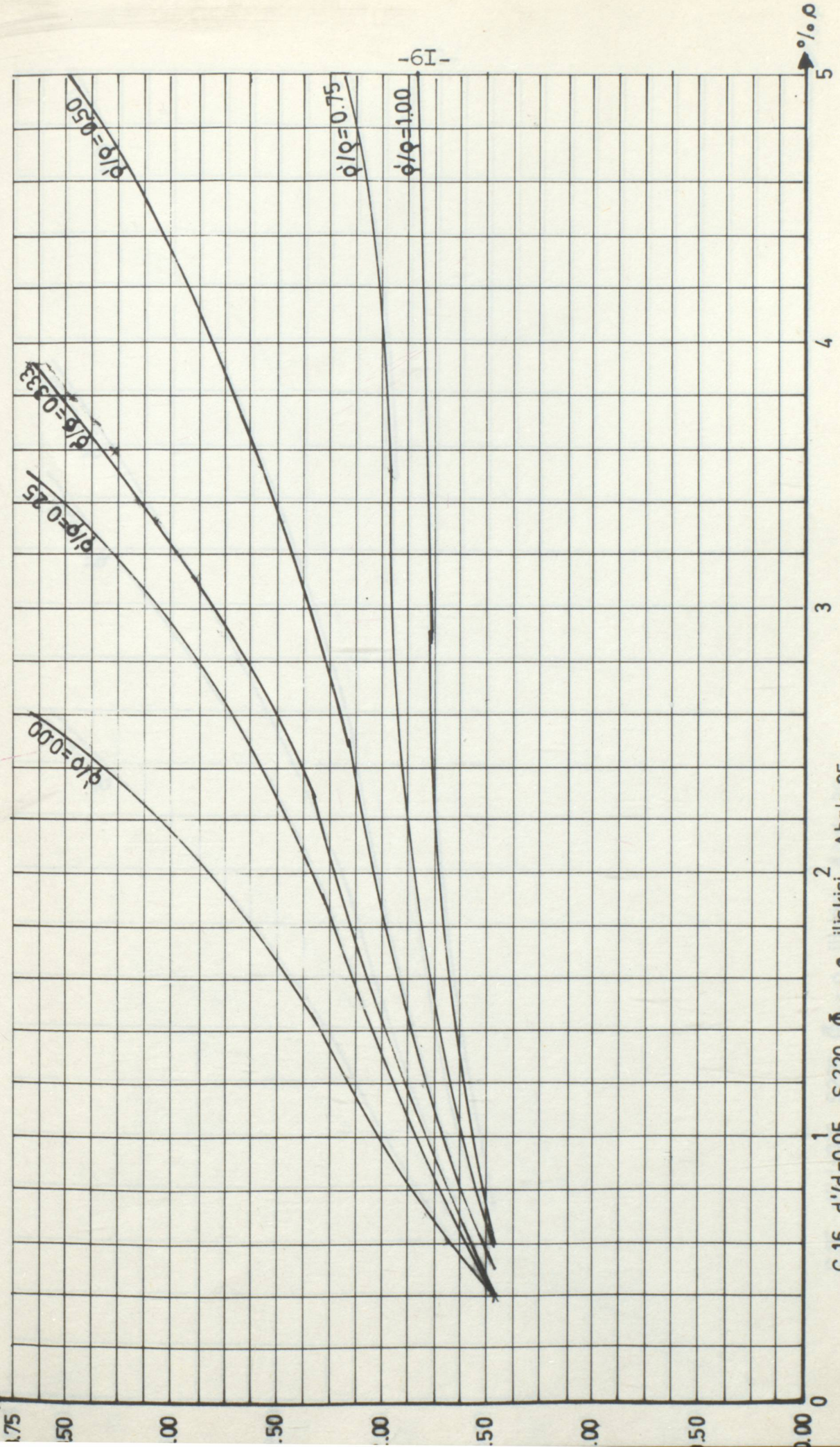




C. 25 $d'/d=0.10$ S420 k_{xy} ρ ilişkisi - Abak 24

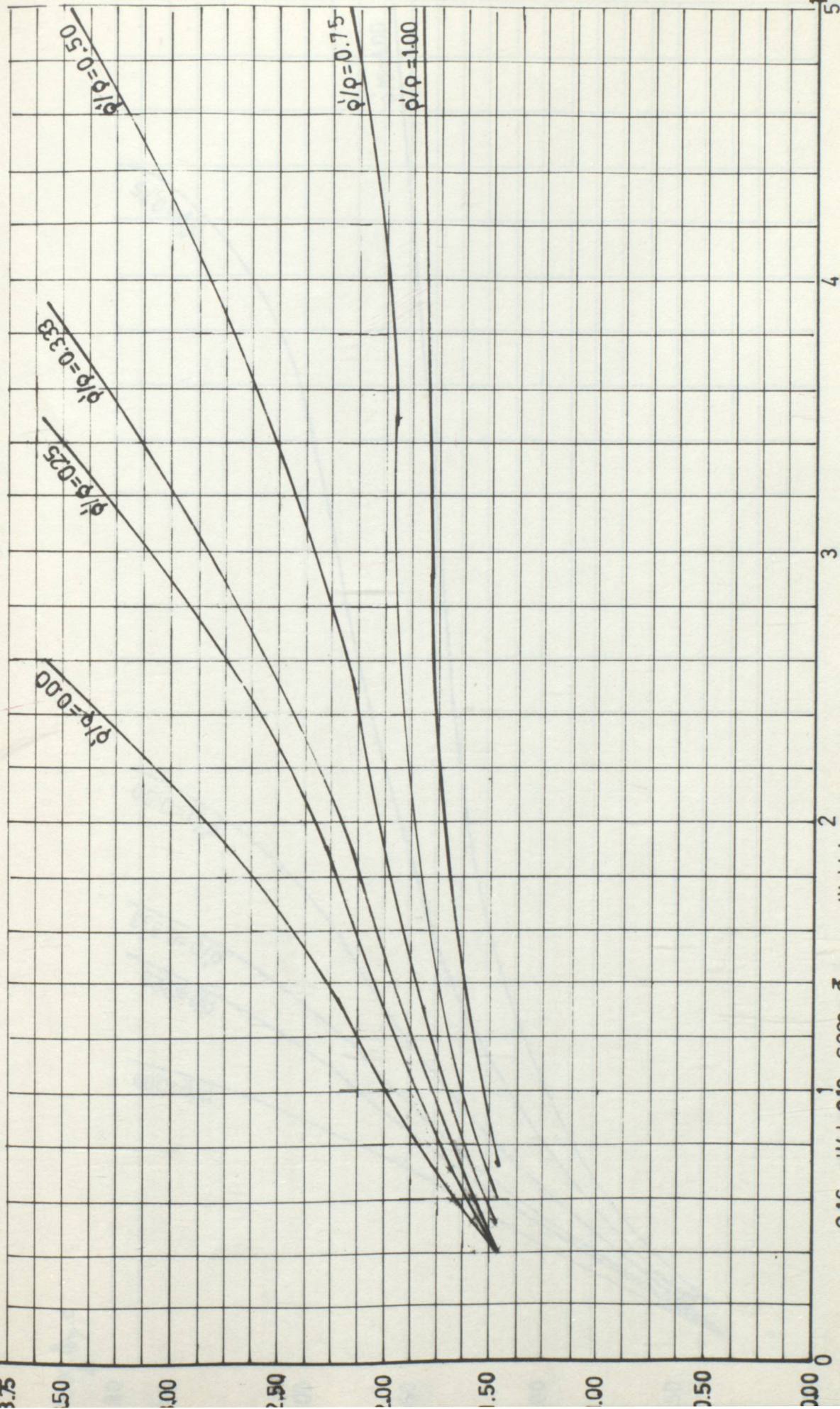
g-10x9

1000. $\Phi_y \cdot d$

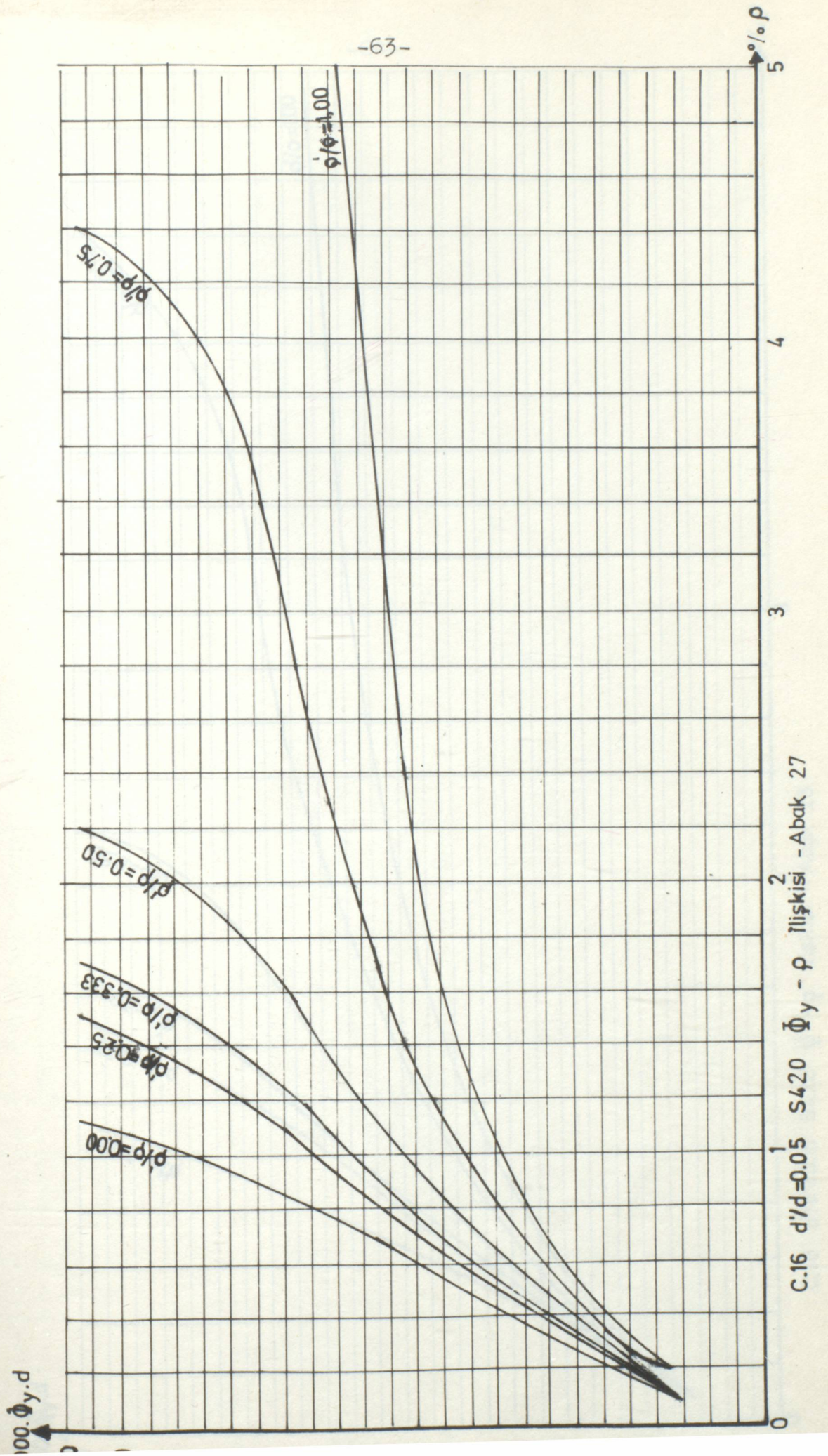


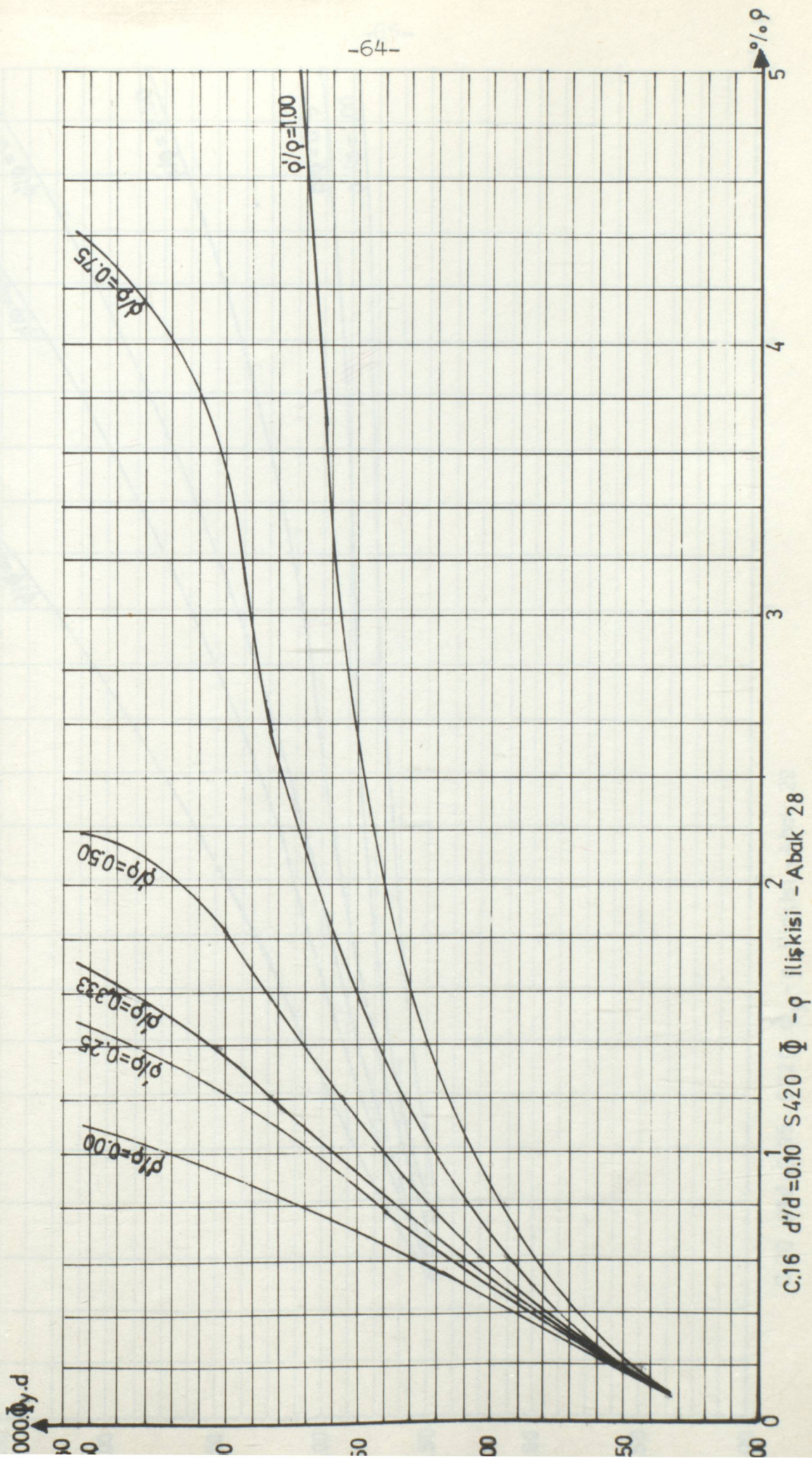
C.16 $d'/d=0.05$ S 220 $\Phi_y - \rho$ ilişkisi - Abak 25

$1000 \cdot \phi_y \cdot d$



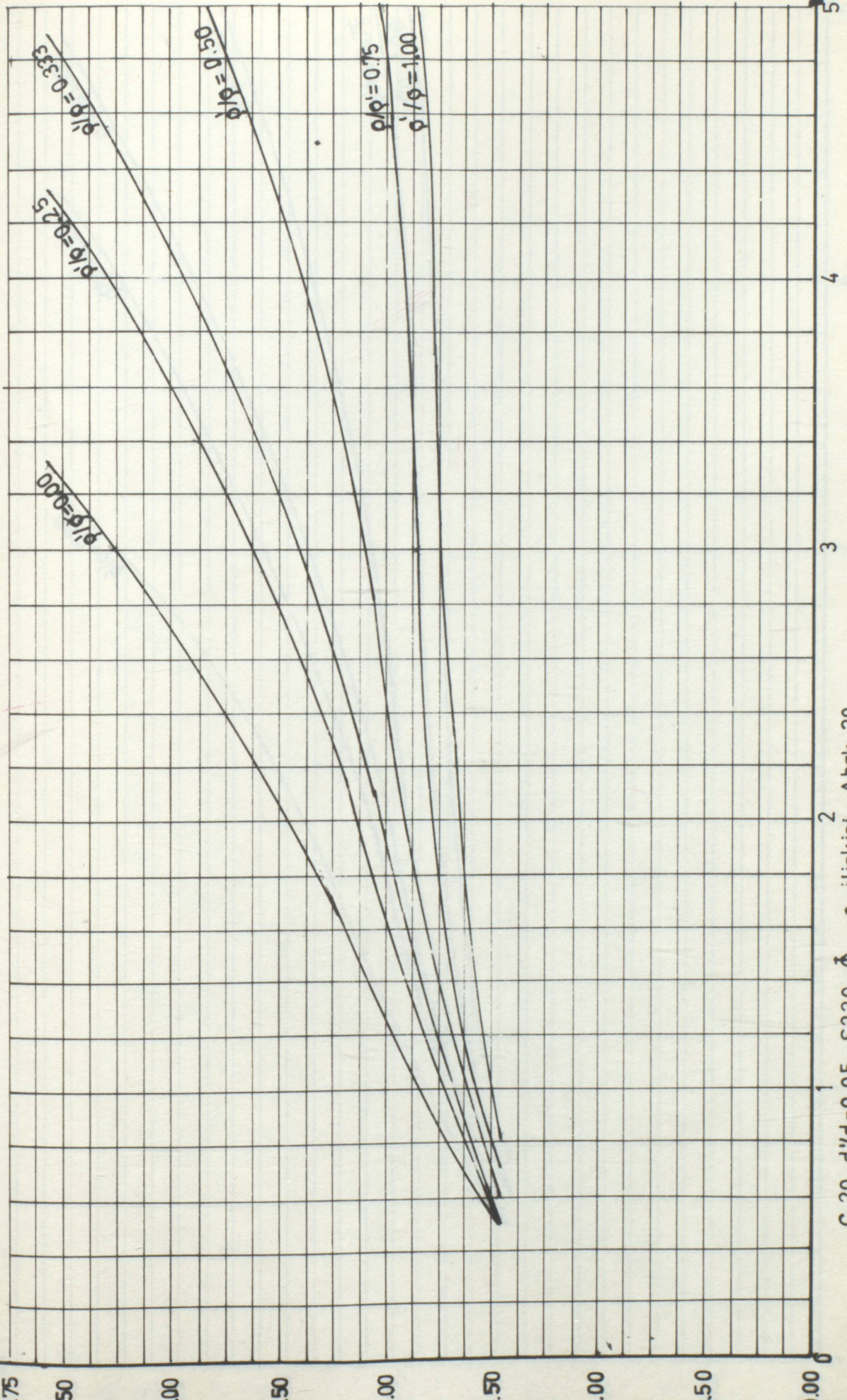
C.16 $d'/d=0.10$ S220 $\phi_y - \rho$ ilişkisi - Abak 26





C.16 $d'/d = 0.10$ S420 $\Phi - \rho$ ilişkisi - Abak 28

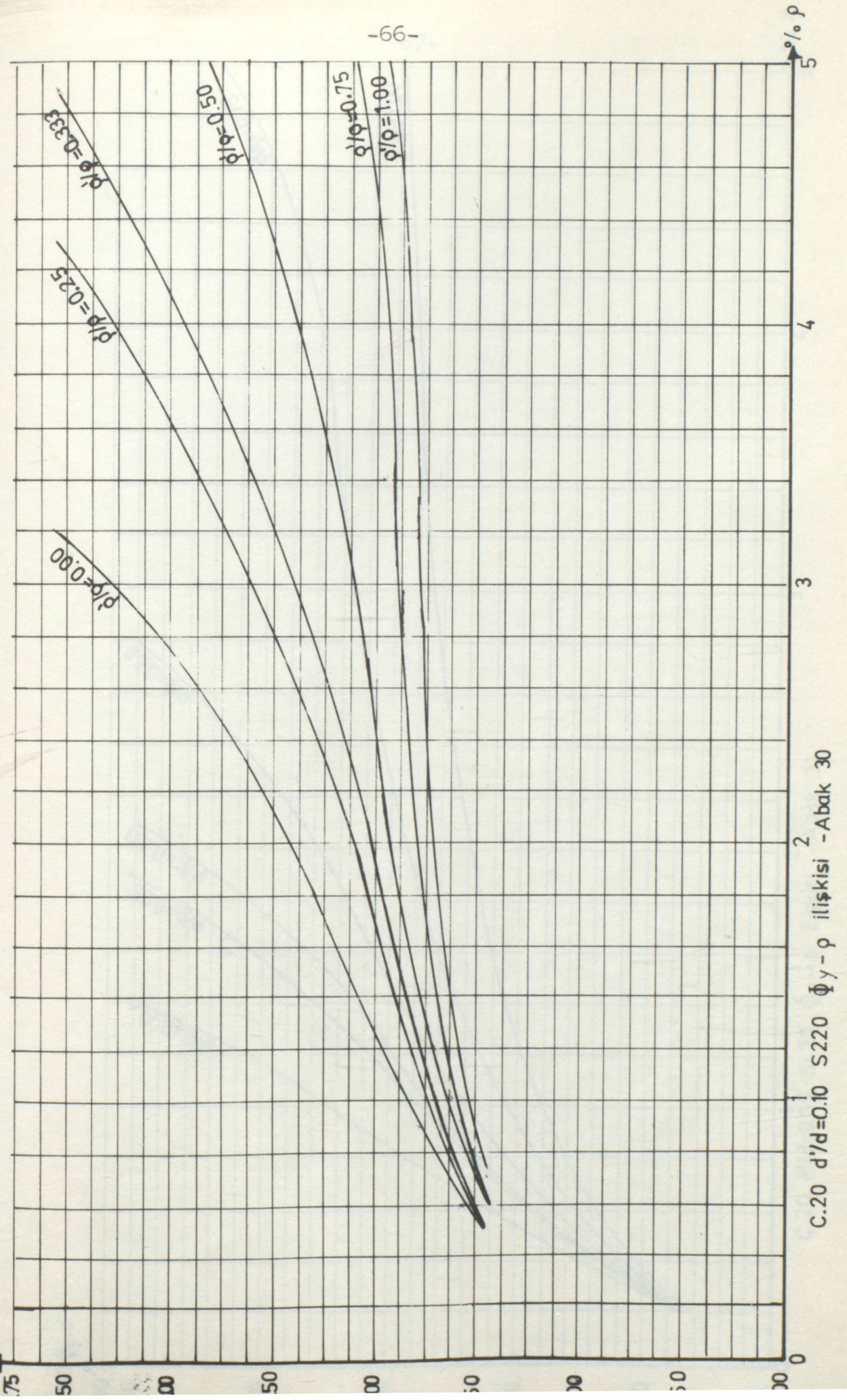
$1000 \cdot \Phi_y \cdot d$

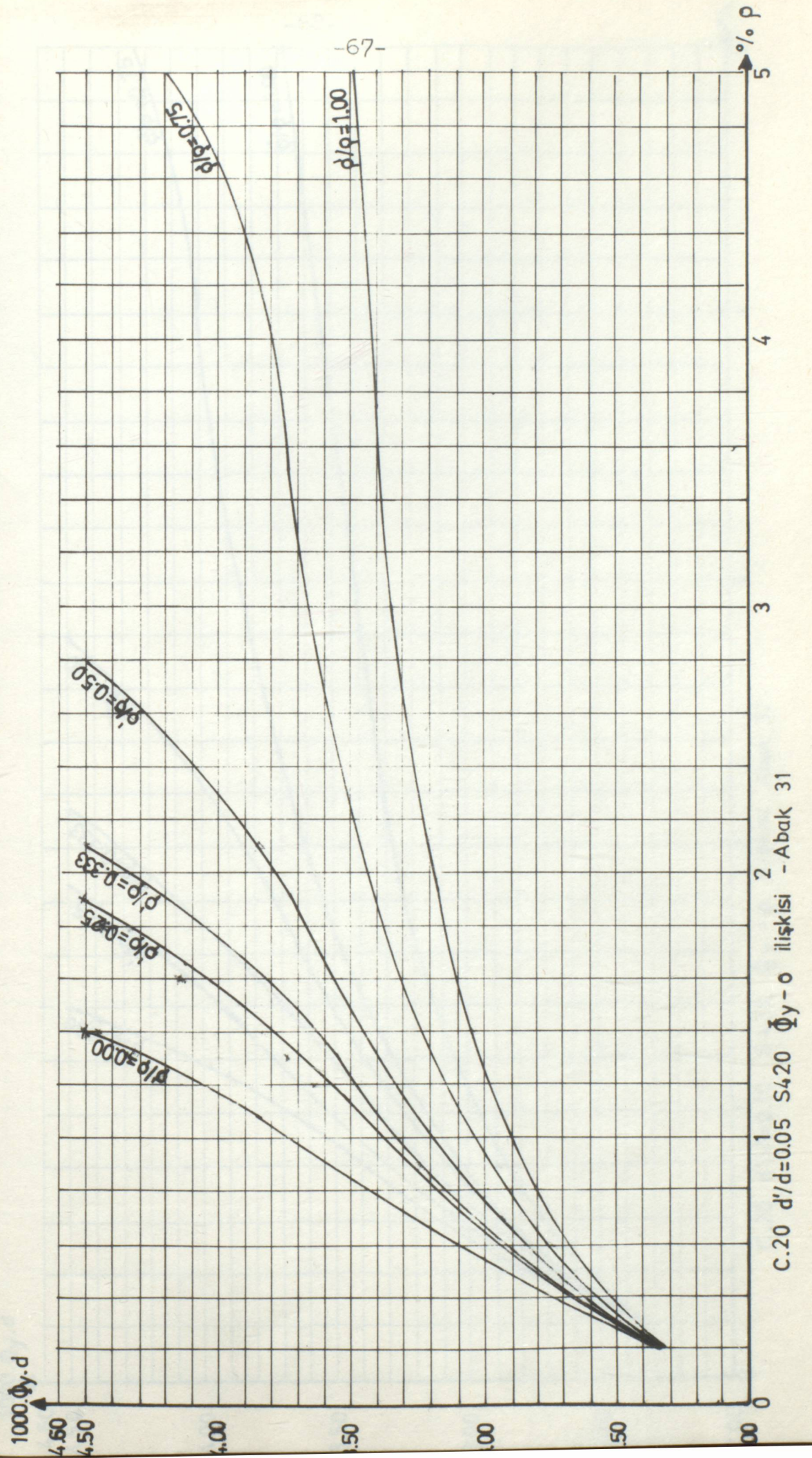


C.20 $d'/d=0.05$ S220 $\Phi_y - \rho$ ilişkisi - Abak 29

$\Phi_y - \rho$

000. $\phi_y \cdot d$





1000. $\Phi_y \cdot d$

4.50

4.50

4.00

3.50

3.00

2.50

2.00

0

1

2

3

4

5

$\rho/p=0.00$

$\rho/p=0.25$

$\rho/p=0.33$

$\rho/p=0.50$

$\rho/p=0.75$

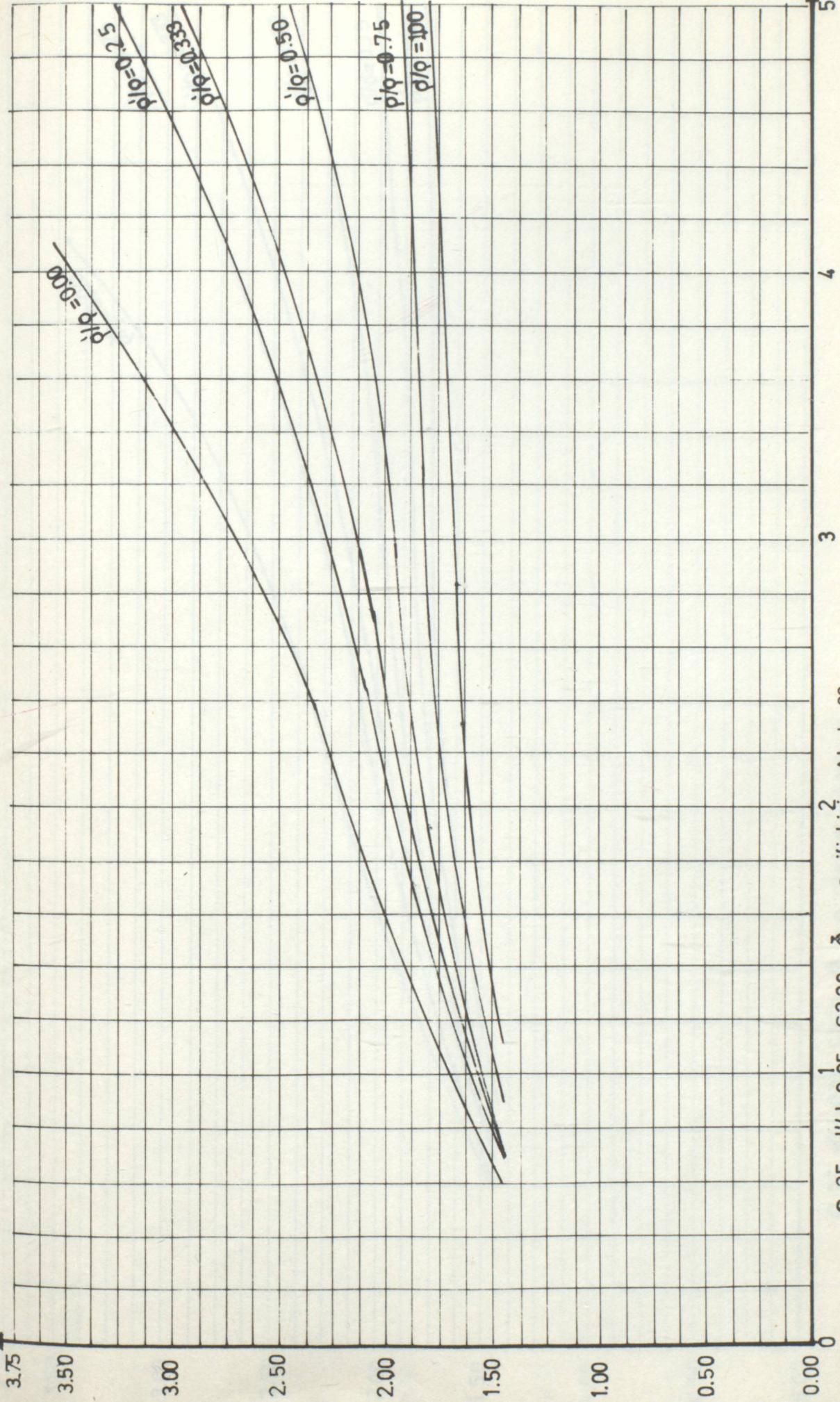
$\rho/p=1.00$

-68-

ρ/σ

C.20 $d'/d=0.10$ S.420 $\Phi_y - \rho$ ilişkisi Abak 32

1000. $\Phi_y \cdot d$



C. 25 $d'/d=0.05$ S 220 $\Phi_y - \rho$ ilişkisi - Abak 33

$1000 \cdot \Phi_y \cdot d$

3.75

3.50

3.00

2.50

2.00

1.50

1.00

0.50

0.00

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

94

95

96

97

98

99

100

101

102

103

104

105

106

107

108

109

110

111

112

113

114

115

116

117

118

119

120

121

122

123

124

125

126

127

128

129

130

131

132

133

134

135

136

137

138

139

140

141

142

143

144

145

146

147

148

149

150

151

152

153

154

155

156

157

158

159

160

161

162

163

164

165

166

167

168

169

170

171

172

173

174

175

176

177

178

179

180

181

182

183

184

185

186

187

188

189

190

191

192

193

194

195

196

197

198

199

200

201

202

203

204

205

206

207

208

209

210

211

212

213

214

215

216

217

218

219

220

221

222

223

224

225

226

227

228

229

230

231

232

233

234

235

236

237

238

239

240

241

242

243

244

245

246

247

248

249

250

251

252

253

254

255

256

257

258

259

260

261

262

263

264

265

266

267

268

269

270

271

272

273

274

275

276

277

278

279

280

281

282

283

284

285

286

287

288

289

290

291

292

293

294

295

296

297

298

299

300

301

302

303

304

305

306

307

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

321

322

323

324

325

326

327

328

329

330

331

332

333

334

335

336

337

338

339

340

341

342

343

344

345

346

347

348

349

350

351

352

353

354

355

356

357

358

359

360

361

362

363

$1000 \cdot \Phi_y \cdot d$

4.50
4.50

4.00

3.50

3.00

2.50

2.00 0

1

2

3

4

5

$d/p = 0.00$

$d/p = 0.25$

$d/p = 0.333$

$d/p = 0.50$

$d/p = 0.75$

$d/p = 1.00$

-71-

C.25 $d'/d=0.05$ S420 $\Phi_y - \rho$ ilişkisi - Abak 35

$1000 \cdot \bar{\Phi}_y \cdot d$

4.60
4.50

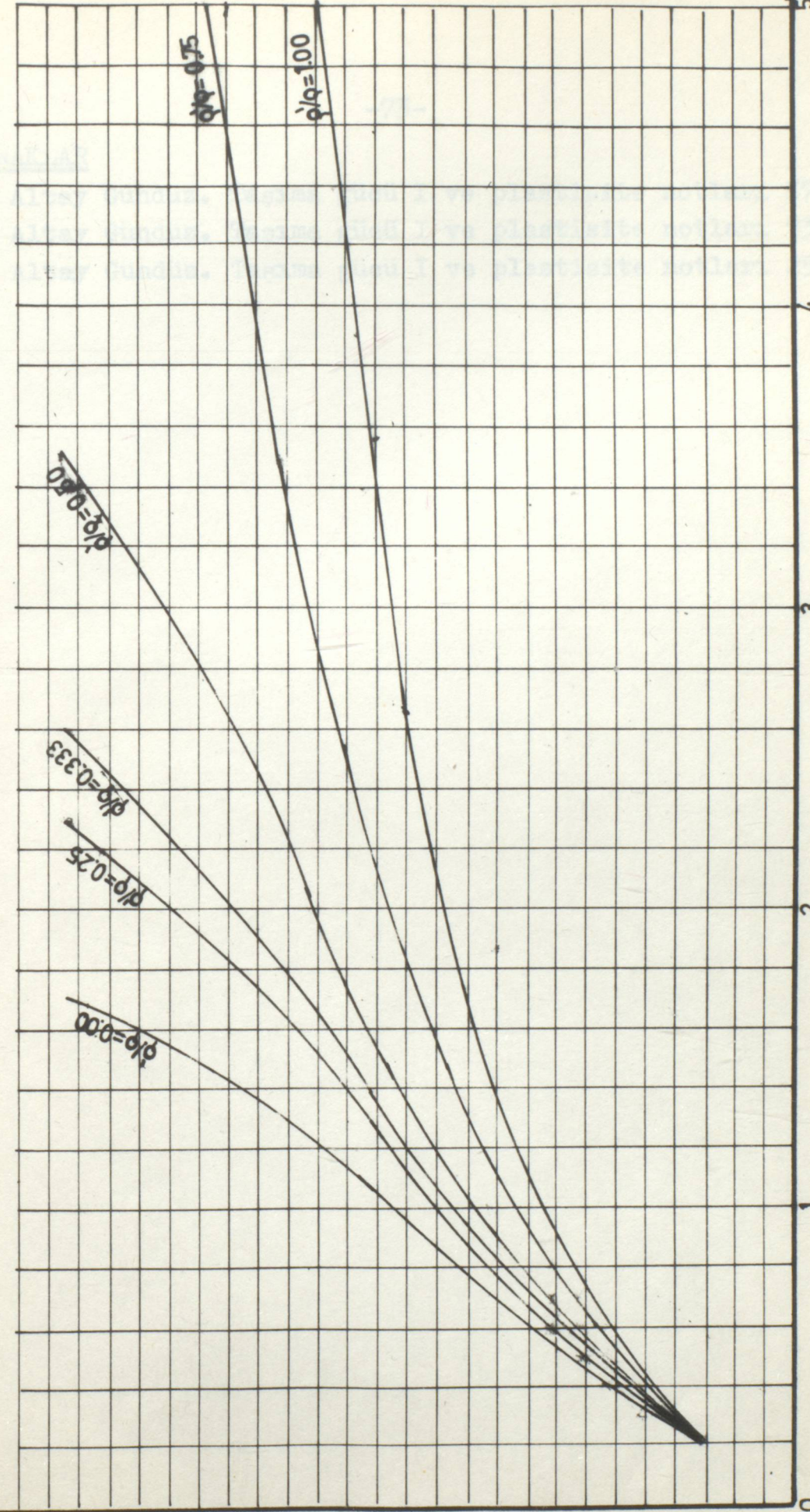
4.00

3.50

3.00

2.50

2.00



C.25 $d'/d=0.10$ S420 $\bar{\Phi}_y - \rho$ ilişkisi - Abak 36

ρ

KAYNAKLAR

- (1) Altay Gündüz. Taşıma gücü I ve plastisite notları 17 s.
- (2) Altay Gündüz. Taşıma gücü I ve plastisite notları 93 s.
- (3) Altay Gündüz. Taşıma gücü I ve plastisite notları 25 s.

