

624.131.381

K.96 z

TÜRKİYE BİLİMSEL VE TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

MAG 18A

Araştırma Projesi No. 18 - A

M68B77

ZEMİN CİNSİNİN PENETRASYON MUKAVEMETİNE ETKİSİ

BİLİMSEL VE TEKNİK
TÜRKİYE
KURUMUNUN
KUTUPHANESİ

Proje Direktörü : Prof. Y. Müh. Vahit Kumbasar

Proje Yardımcısı : Dr. Müh. Ergün Toğrol

TÜRKİYE
BİLİMSEL VE TEKNİK
ARAŞTIRMA KURUMU
MÜHENDİSLİK GRUBU

İstanbul — 1966

15 Temmuz 1966

624.131.381
K 962

ZEMİN CİNSİNİN PENETRASYON NUKAVEMETE ETKİSİ

Proje Direktörü : Prof. Vahit KUMABASAR
Proje Yardımcısı : Dr.Müh. Ergün TOGROL

İstanbul 1966

14429

İÇİNDEKİLER

Tablolar	iii
Şekiller	iv
Özet	vi
I. Giriş	1
II. Deneilerin Yapılması ve Kullanılan Aletler	4
III. Dene Malzemesi	5
IV. Sıkıştırma Etkiyen Faktörler	7
V. Sıkıştırmanın Zemin Cinsine Bağlılığı	13
VI. Penetrasyon ve Kayma Direnci	19
VII. Genel Sonuçlar	24
Ek : Farklı Sıkıştırma Enerjilerinin w_{opt}/w_L Bağlılığına Etkisi	27
Referanslar	29
Şekiller	30

T A B L O L A R

1. Kullanılan zeminler	6
2. Deneý düzeni matrisinin elemanları	7
3. Sıkıştırmaya etkiyen faktörlerin bulunması için yapılan deneý sonuçları	9
4. Tablo 3 deki deneý sonuçlarının varyans analizi	10
5. Standart Proctor şartlarında hazırlanan nümünelerin sıkışma karakteristikleri	14
6. Karıřımların deneý sonuçları	15
7. 23 nümünden elde edilen verilerin istatistiksel analizi	16
8. Kayma direnci / C.B.R. eğrisi eğimleri	21
9. Proctor ve C.B.R. eğrileri tepe noktalarının karıştırılması	22
10. Enerji II ile sıkıştırılmış 8 nümünün özellikleri	28

Ş E K İ L L E R

1. Kullanılan nümunelerin Casagrande'nin A doğrusuna göre durumları
2. Optimum su muhtevası ile likit limit arasında bağlantı
3. " " " plastik " " "
4. " " " plastisite endisi " " "
5. Maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile likit limit arasında bağlantı
6. Maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile plastik limit arasında bağlantı
7. Maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile plastisite endisi arasında bağlantı
8. Kilyos 4 kilinde kayma direncinin su muhtevası ile değişimi
9. " " " CBR'ın " " " değişimi
10. Paşabahçe Kırmızı 3 kilinde kayma direncinin su muhtevası ile değişimi
11. " " " CBR'ın su muhtevası ile değişimi
12. Topser Sarı 3 kilinde kayma direncinin su muhtevası ile değişimi
13. " " " CBR'ın " " " "
14. Tütünciftlik leminde kayma direncinin " " " "
15. " " " CBR'ın " " " "
16. Kilyos 4 kilinde log (kayma direnci) " " " "
17. Paşabahçe Kırmızı 3 kilinde " " " "
18. Topser Sarı 3 " " " "
19. Tütünciftlik leminde " " " "

I. Ö Z E T

Sıkıştırılmış zeminlerin kayma ve penetrasyon direncinin kil cinsine ve kil yüzdesine bağlılığı laboratuvar deneyleri ile incelenmektedir. İlk sıkıştırılmayı karakterize eden optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığına etkiyen faktörlerin neler olduğu belirlenmekte, sonra sıkıştırma enerjisi sabit tutularak hazırlanan numunelerin optimum su muhtevası civarındaki su muhtevalarında, üç eksenli kayma direnci, C.B.R. ve iğne penetrasyon direncinin değişimleri incelenmektedir.

Deneylerde Kilyos 4, Paşabahçe kırmızı 3, Topser sarı 3 killeri kullanılmış, sonuçların gerçekleştirilmesinde daha önce yayınlanmış bulunan (Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrol 1965) Kilyos 1, Küçüksu-Ööksü 1, Paşabahçe kırmızı 1, Topser kırmızı 2, Topser sarı 1, Uskumru 1, Ümraniye 2 killere ait sonuçlar ve Tütüncüiftlik lemi ile yapılan deney sonuçlarından faydalanılmıştır. (Tablo 1,5)

Elde edilen sonuçlar şöyle özetlenebilir :

1. Zemin cinsinin, numune birim hacmine verilen sıkıştırma enerjisinin, boşluk sıvısının polaritesinin, zeminin granülometrisinin sıkıştırma karakteristiklerine etkisi bir Grek-Latin karəsi Deney Düzeni (Tablo 2) ile incelenmiş, yalnız zemin cinsi ve birim hacme verilen sıkıştırma enerjisinin istatistiksel bakımdan anlamlı etkenler olduğu bulunmuştur. (Tablo 4)

2. Tabii yağrılmış II, ve Kilyos 4, Paşabahçe kırmızı 3, Topser sarı 3, killерinin ağırlıkça % 80 + % 20, % 60 + % 40, % 40 + % 60, % 20 + % 80 lik karışımları olan 12 (Tablo 6), toplam olarak 23 numunenin sıkışma karakteristikleri ile kıyam limitleri arasında mükemmel bağlantılar bulunduğu gözlenmiştir. (Tablo 7, Şekil 2,3,4,5,6,7)

Şekil

Bu bağlantılara, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığının tahmini için bir usul olarak bakılabilir.

3. Optimum su muhtevaları civarındaki su muhtevalarında ve Standart Proctor'a eşdeğer bir enerji ile sıkıştırılarak hazırlanan nünunelerin üç eksenli kayma dirençleri artan su muhtevası ile sürekli olarak azalmış, (Şekil 8,10,12,14,16,17,18,19) Kaliforniya Taşıma Oranı ve penetrasyon iğnesine dirençler, genellikle, tepe noktası optimum su muhtevasına yakın paraleller şeklinde değişmiştir. (Şekil 9,11,13,15,21,22,23,24)

Kaliforniya Taşıma Oranı ve penetrasyon direncinin gerek çeşitli su muhtevalarındaki değerlerinin dağılımı, gerek maksimum olduğu değerinin sıkıştırma karakteristikleri ve kıyım limitlerine (yani zemindeki kilin cinsi ve yüzdesine) bağlı olduğu gösterilmiştir. (Tablo 9, Şekil 25)

Verilmiş olan sonuçlar pratik faydalar yanında, sıkıştırılmış zeminlerin dış yükler altında davranışlarında zeminin ne ölçüde etkili olduğunu göstermesi bakımından da ilgi çekici bir malıdır.

S U M M A R Y

The effect of the type and amount of clay in a compacted soil on its shear and penetration resistance is studied through laboratory experiments. Firstly, factors determining optimum moisture content and maximum dry density are examined, and then variations of triaxial compressive strength, CBR and penetration resistance for various moulding water contents near optimum are studied for each soil.

Kilyos 4, Paşabahçe kırmızı 3, Topser sarı 3 clays are used in this series of tests, however, other published data (Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrel 1965) for Kilyos 1, Küçüksu-Göksu 1, Paşabahçe kırmızı 1, Topser kırmızı 2, Topser sarı 1, Uskumru 1, Ümraniye 2 clays are considered in generalizations (Table 1, Fig 1)

General results are summarized below :

1. The effects on compaction characteristics of soil type, compaction effort, polarity of pore liquid and grain size distribution of soil are studied in a Greaco-Latin Square Design and only soil type and compaction effort were found to be statistically significant (Table 4)
2. 11 natural remoulded soil samples together with 12 samples obtained by preparing % 80 + % 20 , % 60 + % 40 , % 40 + % 60, % 20 + % 80 mixtures of Kilyos 4, Paşabahçe kırmızı 3, Topser sarı 3 clays, i.e a total of 23 samples (Table 6) are considered in determining relationships between consistency limits and compaction characteristics (Table 7, Figs 2,3,4,5,6,7) These relationships may be used for an estimate of the optimum water content and maximum dry density from plasticity data.
3. 4 in dia 8 in. high samples prepared at water contents near optimum with a compactive effort equivalent to that of standard proctor and sheared in triaxial apparatus. Shear strength decreased with increasing moulding water content

(Fig 8,10,12,14,16,17,18,19). CBR and penetration values mainly scattered around a parabolic curve similar to that of proctor and apex near to optimum water content (Figs 9,11,13,15,21,22, 23,24). It is shown that both the variation of CBR and penetration resistance at various moulding water contents and the maximum values correlates well with compaction characteristics and plasticity data (i.e type of clay present and its per cent to the whole sample) (Table 9, Figs 25)

Results are interesting not only for their practical value but also because they show the extent of the effect of soil type on various characteristics of Compacted Soils.

II. G İ R İ Ő

1. İ.T.Ü. Zemin Mekaniği Laboratuvarında 1959 dan beri yapılmakta olan sıkıştırılmış zeminlerin mühendislik özellikleri ile ilgili çalışmaların bir devamı olan bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumun'ca desteklenmiştir.

Desteğinden ötürü Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumuna müteşekkirimiz. Çalışmalarımızda bizi her zaman teşvik eden ve kıymetli yardımlarını esirgemiyen Sayın Ord.Prof.Dr. Ing.H. Peynircioğlu'na en derin teşekkürlerimizi sunarız.

Bu çalışmada anlatılan bütün deneyler İ.T.Ü.İnşaat Fakültesi Zemin Mekaniği Laboratuvarında yapılmıştır.

2. Sıkıştırılmış zeminlerin kayma ve penetrasyon direnci probleminin, toprak barajlar, yol dolmaları v.s. gibi birçok temel mühendisliği işinde öncelikle incelenmesi gerekmektedir. Problemin önemi, bu tip yapılarda boyutların gittikçe büyümesi yüzünden daha çok belirli olmaktadır.

Sıkıştırma (kompaksiyon) ile zemin boşluklarındaki bir kısım havanın çıkarılması suretiyle zemin daneciklerinin birbirlerine daha yakın olarak istiflenmesine çalışılır. Sıkışan zeminin birim hacim ağırlığının, kayma direncinin ve taşıma gücünün artması beklenir. Sıkıştırma ile zeminin geçirimsizliği azaltılır. Ayrıca, tekerrür eden yükler altında zeminin şekil değiştirmesi önlenmiş olur, hacımsal stabilite sağlanır.

"Kompaksiyon" kavramı, 1933 de R.R.Proctor tarafından ortaya atılmıştır. Bu kavram, "Su muhtevası - kuru birim hacim ağırlığı" eğrisi ile gösterilmiştir ve eğrinin belirli bir tepe noktası olduğuna işaret edilmiştir. Her sıkıştırma enerjisi için tek olan bu tepe noktasına tekabül eden su muhtevasına "optimum su muhtevası", kuru birim hacim ağırlığına "maksimum kuru birim hacim ağırlığı" diyoruz. Zemine verilen sıkıştırma enerjisinden maksimum istifade ancak, zeminin optimum su muhtevasında olması ile sağlanabilir. Öte yandan maksimum kuru birim hacim ağırlığı, verilen sıkışma enerjisinin bir ölçüsü olarak düşünülebilir.

Zeminlerin sıkışmasını optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile belirlersek bunlara etkiyen değişkenler : Sıkıştırma enerjisi, zeminin granülometrisi ve diğer fiziksel özellikleri, boşluk sıvısının polaritesi, zemin sıcaklığı, su muhtevasının zemin içinde dağılışı, karrıştırma ve sıkıştırma arasında geçen zaman olarak düşünülebilir.

Bu çalışmada, öncelikle kilin cinsinin ve miktarının sıkıştırmaya, kayma ve penetrasyon dirençlerine etkisi incelenmektedir. Belirli bir sıkıştırma enerjisi için sıkıştırma miktarının kil cinsine bağlı olduğu iddia edilmektedir.

Bu amaçla yapılan deneylerde, sıkıştırmaya etkimesi mümkün değişkenlerden zemin sıcaklığı, su muhtevası dağılışı, karrıştırma ve sıkıştırma arasında geçen zaman gibi laboratuvar şartlarında sabit tutulabilen ve olaya etkileri muhtemelen çok sınırlı olanları üzerinde durulmıyacaktır. İlk zemin cinsi, sıkıştırma enerjisi, zeminin granülometrisi, boşluk sıvısının polaritesi birlikte incelenerek bunların sıkışmaya ne derece etkili olduğu belirlenmektedir.

Araştırmada kullanılacak değişkenlerin açıklığı kavuşturulmasından, başka bir deyişle deneylerin geçerliğinin sağlanmasından sonra, kil cinsinin sıkışma özellikleri, kayma ve penetrasyon dirençlerine etkisi incelenmektedir.

Sıkıştırılmış, başka bir söyleyişle suya doygun olmayan zeminlerin kayma direncinin incelenmesi oldukça güç ve bütün değişkenlerin uygun bir presisyonla kontrol edilememesi yüzünden laboratuvar deneyleri yapılması çok dikkat isteyen bir iş tir. Bu konuda ilk yapılan çalışmalardan birinde, V.Kumbasar (1956) suya doygun olmayan zeminlerin kayma dirençlerini deneysel olarak incelemiş ve stabilize hesaplarında gerekli sınırların bulunmasında kullanılacak salim ve ekonomik laboratuvar tekniğinin ne olabileceğini araştırmıştır.

1959-1964 yılları arasında İ.T.Ü. Zemin Mekanikçi Laboratuvarında yapılmış bulunan ve İstanbul killерinin kireçle stabilizasyonu imkânlarını belirlemek amacı ile yürütölen araştırma (Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrol, 65) kirecin etkisinin

büyük ölçüde zemin cinsine bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Bir başka çalışmada (Toğrol 65) kirecin ne yolda etki ettiği incelenirken de zemin cinsinin önemi üzerinde durulmuştur.

Kaliforniya Taşıma Oranı'nın zeminlerin plastisite özelliklerinden tahmin edilmesini öngören bir metot Black (1962) tarafından tavsiye edilmiş idi. Bu metot, zeminin likit ve plastik limitleri ile tabii su muhtevyasından, hakiki kayma açısı ile emme (suction) nin bulunmasına, sonra kayma açısı ve emmedeh zeminin taşıma gücünün tahmin edilmesine ; en sonunda tahmin edilen taşıma gücünden Kaliforniya Taşıma Oranı'nın (C.B.R.) tahminine dayanmaktadır. Bir ilk yaklaşım olarak C.B.R. 'ın tahmini için abaklar da verilmiştir. Çalışmanın önemi kil cinsi ile birlikte zemin iç yapısını karakterize eden emmenin birlikte göz önüne alınmasıdır. Bununla beraber metotta kullanılan çeşitli değerlerin belirlenmesindeki yaklaşıklık vekabuller metodun uygulanmasını ve değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

Robinson ve Lewis (1958) CBR değerleri ile plaka yükleme deneyinden bulunan kırılma yükü arasında bir bağlantı ileri sürmektedir.

III. DENEYLERİN YAPILMASI VE KULLANILAN ALETLER

1. İncelenen zeminlerin kıvam limitleri, dane çapı dağılışı ve dane birim hacim ağırlıkları mutad zemin zemin mekaniği deneyleri ile bulunmuştur.
2. Sıkışma (kompaksiyon) özellikleri, Standart Proctor deneyi ile bulunmuştur. Kaliforniya Taşıma Cramı, Standart A.A.S. H.9. deneyi ile belirlenmiştir.
3. Üç eksenli nümuneleri, 4 inç. çapında 8 inç. yüksekliğinde hazırlanmış, bunun için zemin kalıba beş tabaka halinde yerleştirilmiş, her tabakaya Standart Proctor tokmağı 25 defa dövrülmüştür. Üç parçalı kalıptan çıkarılan nümune üç eksenli alete yerleştirilmiş, çevresine kılıf geçirilmiş ve 4 kg/cm² hücre basıncında çabuk olarak kesilmiştir. Maksimum deviyatör gerilmeleri değerlendirilmiştir.
4. Bütün bu deneyler ve işlemler referans kitaplarında yeteri kadar anlatılmış bulunmaktadır. (Örneğin, Lambe, 1951)

IV. DENEY MALZEMESİ

Deneylerimizde esas olarak birbirinden farklı plastisite özellikleri gösteren üç Boğaz killi kullanılmıştır. Bunlar Kilyos 4, Paşabahçe kırmızı 3, Topser Sarı 3 killeri dir. Bu killer, sırasıyla, Kilyos 1,2,3 ve Paşabahçe Kırmızı 1,2 ve Topser Sarı 1,2 killerinin geldiği ocaklardan yeniden alınmış, laboratuara getirilmiş, havada kurutulmuş, ufalanmış ve 3/16 inç.lik (4.76 mm) elekten elenmiş, çapraz karma kutusunda (rifle-box) iyice karıştırılmıştır. Böylece özellikleri üniform laboratuvar numuneleri ele geçmiştir. Bu killerin sınıflandırma özellikleri Tablo I de verilmektedir.

Tablo I de ayrıca 8 zeminin daha özellikleri sıralanmaktadır. Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3 killeri ile elde edilmiş olan sonuçların Genelleştirilmesinde bu 8 kil için elde edilmiş sonuçlardan da faydalanılmıştır. Kilyos 1, Küçüksu-Göksu 1, Paşabahçe Kırmızı 1, Topser Kırmızı 2, Topser Sarı 1, Uskumru 1, Ümraniye 2 killeriine ait ayrıntılı deney sonuçları evvelce yayınlanmıştır. (Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrol, 65)

Tablo I de sıralanmış olan bütün numuneler hepsi U İstanbul civarındaki ocak ve yataklardan temin edilmiştir. Bir tanesi (Tütünciftlik-Yarımca) hariç hepsi Boğaz killeri dir. Bununla beraber, gerek plastisite özellikleri gerekse kil cinsi bakımından oldukça farklı zeminler seçilmiş olmaktadır. (Şekil 1)

V. SIKIŖTIRMAYA ETKİYEN FAKTÖRLER

1. SıkıŖtırmaya etkiyen baŖlıca faktörlerin zemin cinsi, birim nümune hacmine verilen sıkıŖtırma enerjisi, boşluk sıvısının polaritesi, zeminin granülometrisi olabileceği Bölüm II de anlatılmıŖtır. SıkıŖtırılmıŖ zeminlerin davranıŖı üstünde ayrıntılı bir ağıklama mevcut olmasına rağmen (Lambe, 1958) çeŖitli deđiŖkenlerin ne ölçüde önemli olduğu gösterilmemiŖtir.

Deneylerimize baŖlarken bu dört deđiŖkenin her birinin önemi, bu tip probleme ilk defa uygulanan bir metod ile inelenmiŖtir. (Kumbasar, Toğrol, 1966)

Zemin cinsi, birim hacme verilen sıkıŖtırma enerjisi, boşluk sıvısının polaritesi, zeminin granülometrisi gibi dört deđiŖkenin sıkıŖma karakteristikleri (optimum su muhtevası, maksimum kuru birim hacim ağırlığı) üstündeki etkisini inceleyen mutad yol, diğer iki deđiŖkeni sabit bırakıp her deđiŖkenin çeŖitli seviyeleri için sıkıŖma karakteristiklerinin alacadığı değerleri ölçmektir. Sonra her deđiŖkenin etkisi birbiri ile karŖılaŖtırılabilir. Kompaksiyon deneyleri ağır ve zaman alıcıdır. Bu deneylerin istatistik geğerliği zedelemeyen yapılacak ekonmi çok faydalıdır. Bu amaçla, bu bölümdeki deneylerimizde bir "Grek-Latin karesi düzeni" kullanılmıŖtır.

Her deđiŖkenin üç seviyesi göz önüne alınmıŖtır.

Deney düzeni Matrisinde kolonlar ve satırlar birer deđiŖkenin seviyesini göstermektedir. Matrisin her elemanında diğer iki deđiŖkene ait üçer seviyeden ikisi temsil edilmektedir. Öyle ki, bu son iki deđiŖkenin hiç bir seviyesi aynı kolon veya aynı satırda tekrarlanmamaktadır.

Böylece elde edilen Grek-Latin karesini Ŗöyle gösterebiliriz :

	(I)	(II)	(III)
(1)	A ∞	B β	C γ
(2)	C β	A γ	B α
(3)	B γ	C α	A β

Bu karede satırlar birinci değişkenin üç seviyesini (1), (2), (3); kolonlar ikinci değişkenin üç seviyesini (I), (II), (III) göstermektedir. Üçüncü değişkenin üç seviyesi (A, B, C) ve dördüncü değişkenin üç seviyesi (∞ , β , γ) her satır ve her kolonda bir defadan fazla bulunmayacak şekilde dağıtılmıştır.

Örneğin, Deneý Düzeni Matrisinin ikinci satır ve birinci kolondaki elemanı birinci değişkenin (2), ikinci değişkenin (I), üçüncü değişkenin C, dördüncü değişkenin β seviyesinde bulunması ile yapılacak deneyi gösterir.

2. Deneýlerimizde deęişkenleri ve seviyeleri Tablo II'deki gibi seçelim ve Deneý Düzeni Matrisini tamamlayalım.

TABLO 2 - Deneý Düzeni Matrisinin Elemanları

Değişken		Seviyeler	
No.	İsmi		
1	Zemin cinsi	Topsoil (1) sarı kili Paşabahçe kırmızı kili	Kilyos kili (2)
2	Birim hacme verilen sıkıştırma enerjisi	(I) 12360 ft.lb/cu ft.	(II) 33750 ft.lb/cu ft. (III) 74250 ft.lb/cu ft.
3	Boşluk sıvısı	(A) Damıtık su	(B) Etilen glikol (C) Methanol
4	Granülometri	No.72 elek altı (∞)	No.18 elek altı (β) 3/16 elek altı (γ)

-) Sıkıştırma enerjisi (I) Standart proctor tokmağı 3 tabaka 25 vuruş
Sıkıştırma enerjisi (II) Modifiye Proctor Tokmağı 3 tabaka 25 vuruş
Sıkıştırma enerjisi (III) Modifiye Proctor Tokmağı 3 tabaka 55 vuruş

Hazırlanmış olan bu 3 x 3 mertebesindeki Deneysel Düzeni Matrisi kullanılarak sıklıkla karakteristiklerini, dört değişkene bağlı olarak nasıl değiştiğini inceleyebiliriz. Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı için iki ayrı matris kurmak mümkündür ; fakat bunun genel sonuca etkisi olmayacaktır. Deneysel sonuçları Tablo 3 de görülmektedir.

TABLO 3. SIKIŞTIRMAYA ETKİYEN FAKTÖRLERİN BULUNMASI İÇİN
YAPILAN DENEY SONUÇLARI

Zemin	Boşluk sıvısı	Sıkıştırma enerjisi	Granülometri	w_{opt} (%)	γ_k (gr/cm ³)
Topsoyl Sarı 3	Damıtık su	I	No.72 elek altı	18	1.77
"	Etilen glikol	II	No.18	"	1.86
"	Methanol	III	3/16"	"	1.85
Paşabahçe Kırmızı 3	Damıtık su	II	3/16"	"	1.96
"	Etilen glikol	III	No.72	"	1.89
"	Methanol	I	No.18	"	1.75
Kilyos 4	Damıtık su	III	No.18	"	1.59
"	Etilen glikol	I	3/16"	"	1.33
"	Methanol	II	No.72	"	1.49

Bu sonuçları değişkenler yönünden anlamlılığını bulmak için Varyans analizi yapılmıştır. Optimum su muhtevası için yapılan analiz sonuçları Tablo 4 de görölmektedir.

Tablo 4. Tablo 3 İNDEKİ DENEY SONUÇLARININ VARYANS ANALİZİ

Değişim Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F
Sıkıştırma enerjisi	208	2	104	21
Zemin cinsi	289	2	145	29
Boşluk sıvısı	81	2	41	8+
Granülometri	9	2	5	
T o p l a m	568	8		

.01 < K < .05

+ < .10

Tablo 4 den açıkca görüldüğü gibi dört değişik arasıda zemin cinsi ve birim hacme verilen sıkıştırma enerjisi en önemli olanlardır, ve optimum su muhtevasının belirlenmesinde temel etkenlerdir.

3. Sonuçlar :

İncelememizde geçerliği sağlıyabilmek için sıkıştırmaya etkileyen değişkenlerin belirlenmesi gerekliydi. Bu bölümde anlatıldığı gibi dört değişik ne ölçüde etkidiği istatistiksel olarak incelenmiştir. Dene sonuçları ve Tablo 4 ün incelenmesinden görüldüğü gibi, bu değişkenlerden ikisi, zemin cinsi ve birim hacme verilen sıkıştırma enerjisi .01 ve .05 seviyeleri arasında anlamlı bulunmuşlardır. Öte yandan boşluk sıvısı ve granülometrinin incelenen aralıkları için anlamlı olmadıkları gösterilmiştir. Ele geçen sonuç araştırmamızda son derece önemlidir. Bundan faydalanarak ilerki deneylerde, boşluk sıvısı ve granülometrinin rolü, deneysel hatalar çerçevesinde kalacakları düşünülerek göz önüne alınmalıdır. Ayrıca zeminin birim hacmine verilen sıkıştırma enerjisini sabit tutarak zemin cinsinin tesirleri incelenecektir.

VI. SIKIŞTIRMANIN ZEMİN CİNSİNE BAĞLILIGI

1. Çeşitli zeminler kullanılarak ve sıkıştırma enerjisi sabit tutularak yapılan deneylerle sıkıştırma (kompaksiyon) özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Elde edilmiş olan sonuçlar, belirli sıkıştırma enerjisi için optimum su muhtevası ve maksimum birim hacim ağırlığının bir zemin sabiti olduğunu göstermektedir. Maksimum kurum birim hacim ağırlığı tayinindeki hataların daha büyük oluşu karşısında, optimum su muhtevasının tercih edilmesi uygun olur. Bununla beraber, deney sonuçlarının değerlendirilmesinde her iki değer de kullanılmıştır.

2. Özel olarak hazırlanmış bulunan Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3 killeri ile Standart Proctor şartlarında (Lambe, 1951) sıkıştırma deneyleri yapılmış ve "kurumbirim hacim ağırlığı / su muhtevası" eğrileri çizilmiştir, optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı belirlenmiştir.

Kilyos 1, Küçüksu-Göksu 1, Paşabahçe kırmızı 1, Topser Kırmızı 2, Topser Sarı 1, Uskumru 1, Üraniye 2 killeri için, aynı sıkıştırma enerjisi altında bulunmuş olan sıkıştırma karakteristiklerinden faydalanılmıştır. (Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrol, 1965) Ayrıca, Yarınca Tütüncüftlik mevkiinden alınan ve diğer killer için olduğu gibi laboratuvarde iyice karılarak hazırlanan deney malzemesi için bulunan sıkıştırma karakteristiklerinden faydalanılmıştır.

Sonuçlar toplu halde Tablo 5 de gösterilmiştir.

TABLO 5. Standart Proctor şartlarında hazırlanan numunelerin sıkışma karakteristikleri

Zemin Cinsi	W_{op} (%)	$(\gamma_k)_{max}$ (gr/cm ³)
Kilyos 1	40.8	1.23
Kilyos 4	33.0	1.28
Küçüksu-Göksu 1	19.9	1.67
Paşabahçe Kırmızı 1	16.2	1.78
Paşabahçe Kırmızı 3	16.5	1.84
Topser Kırmızı 2	13.5	1.86
Topser Sarı 1	17.7	1.77
Topser Sarı 3	16.5	1.82
Uskumru 1	40.6	1.22
Umraniye 2	16.8	1.73
Tütünciftlik	13.5	1.91

3. Zemin cinsinin önemini gösterebilmek için yapılan bir seri deneyde Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3 killerinin ikişer ikişer karışımları hazırlanmış, **karışımların** gerek kıvam limitleri, gerek sıkışma karakteristiklerinin değişimleri bulunmuştur.

Karışımlar, ağırlıkça % 20 + % 80, % 40 + % 60, % 60 + % 40 ve % 80 + % 20 oranlarında hazırlanmış böylece 12 karışım hazırlanmıştır. Ana numunelerin de % 100 + % 0 lık karışım olduğu düşünülürse Kilyos 4 - Topser Sarı 3, Kilyos 4 - Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3 - Paşabahçe Kırmızı 3 karışımları için altışar karışımlik üçseri deney yapılmış olmaktadır. Bu deneylerin sonuçları Tablo 6 da gösterilmiştir.

Karışımların hazırlanması için, karıştırılacak numuneler etüvyde 24 saat tutulduktan sonra toplam ağırlık 3 kg kadar olacak şekilde karışım hazırlanmış ve "mixer" de yavaş yavaş su katılarak cıvık bir hamur meydana gelene kadar karıştırılmıştır. Karışım tekrar etüve konulmuş, 24 saat bekletilmiştir. Kuruyan numune ufalanmış, 3/16" elekten geçirilmiş kuru numune ayrılmış ve deneyler numuneler üstünde yapılmıştır.

TABLO 6. KAPISIMLARIN DENEY SONUÇLARI

Zemin yüzdesi (ağırlıkça)	W _{opt} (%)	(k) _{max} (gr/cm ²)	W _L (%)	W _p (%)	I _p Aktivite (%)
100	33.0	1.28	81.0	44.4	36.6
80	32.8	1.38	68.7	33.3	35.4
60	27.2	1.49	62.0	28.6	33.4
40	26.8	1.54	61.0	28.4	32.6
20	20.4	1.66	48.0	20.7	27.3
0	16.5	1.82	37.0	25.0	14.0

100	0	1.28	81.0	44.4	36.6
80	20	1.38	67.0	44.4	22.6
60	40	1.47	67.0	41.6	25.4
40	60	1.53	57.0	32.3	24.7
20	80	1.65	48.0	31.1	16.9
0	100	1.64	38.5	21.0	18.5

100	100	1.84	38.5	21.0	18.5
80	80	1.70	38.0	23.0	15.0
60	60	1.71	39.0	24.0	15.0
40	40	1.76	40.0	24.0	16.0
20	20	1.72	40.0	24.0	16.0
0	0	1.82	37.0	23.0	14.0

Deney sonuçlarının istatistiksel analizi, sonucunda zemini, bilhassa kil cinsini karakterize etmekte olan kıvam limitleri ile sıklığı karakterize eden optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı arasında anlamlı bağıntılar bulunmuştur.

İstatistiksel analizde, kıvam limitleri Tablo 1, sıklık karakteristikleri Tablo 5 de verilen 11 zemin ile, özellikleri Tablo 6 da verilen 12 karışım birlikte göz önüne alınmıştır. (Değerlere bakılırsa karışımların birlikte göz önüne alınmasının değerlendirilmesinde anlamlı bir fark görülmüştür. Ayrıca gözlemlenen sonuçlar Tablo 7 de gösterilmektedir.)

TABLO 7.2 Nümuneden elde edilen verilerin istatistiksel analizi

	W_{opt} (%)	$(\bar{X}_k)_{max}$ (gr/cm ³)	W_L (%)	W_P (%)	I_p (%)
Aralık	41-14	1.9-1.2	102-34	45-18	60-8
Ortalama	23	1.6	55	29	25
Standart Sapma	8	.2	21	8	14
W_{opt} ile korelasyon katsayısı	-	-	.98	.89	.94
$(\bar{X}_k)_{max}$ ile korelasyon katsayısı	-	-	-.96	-.87	-.86

Optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile kıyam limitleri arasında 23 nümünden elde edilen dağılımlar için en uygun doğruların denklemleri de hesaplanabilir.

y ve x ortalama değerlerden farkları göstermek üzere en uygun doğru denklemleri :

$$y = r \frac{y}{x} x \quad \text{ve} \quad x = r \frac{x}{y} y \quad (1)$$

bağıntılarından bulunursa aşağıdaki ifadeler ele geçer.

$$W_{opt} = .36 W_L \quad W_L = 2.67 W_{opt} \quad (2)$$

$$W_{opt} = .80 W_p \quad W_p = .99 W_{opt} \quad (3)$$

$$W_{opt} = .53 I_p \quad I_p = 1.67 W_{opt} \quad (4)$$

$$(\delta_k)_{\max} = -.0097 W_L \quad W_L = -104 (\delta_k)_{\max} \quad (5)$$

$$(\delta_k)_{\max} = -.021 W_p \quad W_p = -36.5 (\delta_k)_{\max} \quad (6)$$

$$(\delta_k)_{\max} = -0.15 I_p \quad I_p = 458 (\delta_k)_{\max} \quad (7)$$

Bu denklemlerde su muhtevaları yüzde olarak kuru birim hacim ağırlığı gr/cm³ olarak konulacaktır. Ayrıca bütün değerlerin ortalama değerlerden farklar olduğu göz önüne alınmalıdır.

Başlangıçtan geçen en uygun doğru ifadeleri de yazılabilir :

$$W_{opt} = 3 + .36 W_L \quad (8)$$

$$W_{opt} = .80 W_p \quad (9)$$

$$W_{opt} = 9 + .53 I_p \quad (10)$$

$$(\bar{X}_k)_{max} = 2.13 - .010 W_L \quad (11)$$

$$(\bar{X}_k)_{max} = 2.20 - .021 W_p \quad (12)$$

$$(\bar{X}_k)_{max} = 1.98 - .015 I_p \quad (13)$$

5. Çeşitli nünunelerin sıkışma karakteristlikleri ile kıvam limitleri arasındaki bağlantılar, Standart Proctor şartlarında incelenmiş ve bu değerlerin kıvam limitlerinden bulunabileceği gösterilmiştir. (Şekil 2,3,4,5,6,7) Optimum su muhtevası ve kuru birim hacim ağırlığının tahmini için, su muhtevaları yüzde, birim hacim ağırlığı gr/cm³ olarak verilmek şartı ile, aşağıdaki ifadeler kullanılabilir.

$$W_{opt} = 3 + .36 W_L \quad (8)$$

$$(\bar{X}_k)_{max} = 2.1 - .01 W_L \quad (11)$$

Sıkıştırma enerjisinin bu bağıntılara etkisi EK'de söz konusu edilmektedir.

Deney sonuçlarının incelenmesi kil cinsinin bir ölçüsü olarak kabul edilen likit limit ile optimum su muhtevası (ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı) değişimleri arasında büyük bir korelasyon göstermesi, sıkışma karakteristliklerinin kil cinsine bağlılığı hakkındaki iddiamızı doğrulayıcı niteliktedir.

VII. PENETRASYON VE KAYMA DİRENCİ

1. Sıkıştırılmış zeminlerin gerek arazide, gerek laboratuvar da ölçülen penetrasyon dirençleri, yol ve hava meydanları üst yapı kalınlıklarının seçilmesi, sıkıştırmanın kontrolü gibi hususlarda elverişli bir baz teşkil etmektedir. Penetrasyon direnci bazı teorik düşüncelerle kayma direncine bağlanabilirse de bu bölümdeki incelemede, deneysel olarak böyle bir bağlantının elde edilip edilemeyeceği araştırılmıştır.

Bu amaçla, birim hacmi verilen enerji yaklaşık olarak Standart Proctor şartlarındakinin aynı olan Standart A.A.S.H.Ş. şartlarında hazırlanan numunelerin Kaliforniya Taşıma Oranları (C.B.R) bulunmuş; ayrıca 4 inç. (10 cm) çapında 8 inç (20 cm) yüksekliğinde kalıplarda yine Standart Proctor birim enerjisi ile hazırlanmış olan numunelerde üç eksenli çabuk kesme deneyleri yapılmıştır.

Bütün C.B.R. numunelerine iğne penetrometreleri batırılmış; üç eksenli numuneleri deney başında cep penetrometresi ile kontrol edilmiştir.

2. Optimum su muhtevasından küçük ve büyük su muhtevalarında sıkıştırılan numuneler üç eksenli deney aletinde çabuk olarak kesilmiştir. Hücre hacmi 4 kg/cm² dir.

Göz önüne alınan su muhtevası aralıklarında, artan su muhtevası ile kayma direnci azalmıştır. (Şekil 8,10,12,14) Dört numune için elde edilmiş veriler logaritmik bir bağıntı çıkarılmasına elverişlidir. (Şekil 16,17,18,19)

3. Optimum su muhtevasına yakın su muhtevalarında bulunan C.B.R. değerlerinin dağılımı Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Barı 3, killeri için tepe noktası yaklaşık olarak Standart Proctor'un optimum su muhtevasında olmak üzere parabol şeklinde çıkmaktadır. (Şekil 9,11,13)

Tütünciftlik lemi için elde edilen eğride tepe noktası görülmektedir. (Şekil 15) Bu sonuçlara bakılarak genellikle optimum su muhtevası civarında Kaliforniya Taşıma Oranının bir

maksimum değeri olduğu söylenilebilir. Her üç nümune için de maksimum C.B.R. daki su muhtevası optimum su muhtevasından fazla far- ketmemektedir.

Kaliforniya Taşıma Oranı ile optimum su muhtevası arasın- daki bu yakın ilişki, optimum su muhtevasının kil cinsine bağlılığı da göz önüne alınarak, Kaliforniya Taşıma Oranının kil cinsine bağlı olduğu şekilde ifade edilebilir.

Burada, bir noktayı tekrar **belirtmek** yerinde olacaktır. Deneylerimizin başından beri nümune birim hacmine verilen sıkı- tırma enerjisi sabit tutulmuştur. Her zeminin optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlılığı Standardt Proctor şartların- da bulunmuştur. C.B.R. tayini, birim hacme verilen enerji pratik olarak Standardt Proctor'unkine eşdeğer Standardt A.A.S.H.D. şart- larında yapılmıştır. Öte yandan

Öte yandan, pratikte Standardt Proctor ve **Standardt A.A.S.H.D.** daki başka sıkıştırma standartları da vardır. Bununla beraber, birim hacme verilen enerjilerin değişmesi ile genel sonuçlarda bir de- ğişiklik olabileceği beklenemez.

Aynı su muhtevalarındaki sıkıştırılmış nümuneler için bu- lunmuş olan kayma direnci ce C.B.R. değerleri birlikte gösterile- bilir. (Şekil 20) Bu şekilde dolu çizgiler, gerek kayma direnci, gerek CBR için veriler elde edilmiş olan aralıkları göstermektedir.

Eğrilerin genel gidişi, beklenebileceği de gibi, kayma direnci arttıkça penetrasyon direncinin arttığını göstermektedir. Bununla beraber bu iki değişken arasında basit bir bağıntı seçile- memektedir.

Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Tütünciftlik, CBR / kayma direnci eğrileri iki eğimlidir. Eğrilerin alçak su muhtevalarına tekabül eden kısımda eğimleri (tg ϕ_2) birbirinden belirli dere- cede farklıdır. (Şekil 20)

TABLO 8. Kayma direnci / C.B.R. Eğrisi eğimleri

Zemin cinsi	W _L (%)	Optimum su muhtevasının Islak tarafı ϕ_1 (°)	Kuru tarafı ϕ_2 (°)
Kilyos 4	81	19°	8°
Paşabahçe Kırmızı 3	39	23	5°
Topser Sarı 3	37	-	15°
Tütünciftlik	34	24	17°

Paşabahçe Kırmızı kili bir tarafa bırakılırsa, diğer zeminlerin bu kesim eğimleri zemin yavaşlaştıkça büyümektedir. Başka bir söyleyişle, yüksek plastisiteli killerde aynı kayma direncine tekabül eden Kaliforniya Taşıma Oranı daha büyüktür. Alçak plastisiteli zeminlerde Kaliforniya Taşıma Oranı'nın küçük olması penetrasyon çubuğunun daha kolaylıkla plastik deformasyon doğurabilmesi ile açıklanabilir.

Kayma direnci / C.B.R. eğrilerinin yüksek su muhtevallarına tekabül eden kısımları doğru olarak uzatılınca başlangıçta erişebilmektedir. Topser Sarı 3 kili için bu kısmı ortaya çıkarmaya elverişli veriler bulunmamaktadır.

5. Kaliforniya Taşıma Oranının bulunması için hazırlanan numuneler deneye tabi tutulmadan önce alt yüzeylerine, temas yüzeyleri çeşitli çaplarda olan penetrometre iğneleri batırılmıştır. Alınan okumalar, gerilmeler olarak değerlendirilmiş ve sonuçlar toplu olarak verilmiştir. (Şekil 21,22,23,24)

Penetrometre iğneleri ile alınan sonuçlar, beklenebileceği gibi Kaliforniya Taşıma Oranı için bulunanlara (Şekil 9,11,13,15)

Penetrometrenin kolaylıkla düşey durumdan ayrılabilmesi, ayrıca sonucun ufak yüzeylerdeki arızî değişikliklere hassa oluşu, penetrometre ile elde edilen değerlerin yayılım genişliklerinin büyük olmasına sebep olur.

6. Bu bölümde, kayma ve penetrasyon dirençlerinin kil cinsi ile olan ilgisi üzerinde durulmuştur. Nümune birim hacmine verilen sıkıştırma enerjisi aynı olacak şekilde hazırlanan nümüneler üzerinde yapılan üç eksenli basınç deneyi, Kaliforniya Taşıma Oranı belirlenmesi ve penetrasyon deneyleri ile elde edilen veriler incelenmiştir.

Göz önüne alınan aralıkta kayma direnci, nümunenin artan hazırlanma su muhtevası ile logaritmik olarak azalmaktadır. (Şekil 16,17,18,19) Eğriler, genel görünüşleri ile suya doygun killer için çıkarılan kayma direnci / su muhtevası bağlantısını andırmaktadır.

Kaliforniya Taşıma Oranı dağılımı Proctor eğrisine benzerdir. (Şekil 9,11,13,15) Optimum su muhtevasının kil cinsine olan bağlılığı düşünülecek olursa Kaliforniya Taşıma Oranı'nın kilin plastikliğinin artması ile büyüyeceği hemen söylenebilir.

Tablo 9. Proctor ve CBR eğrileri tepe noktalarının karşılaştırılması

Kil cinsi	W _L (%)	W _{opt} (%)	Max C.B.R.	
			(%)	W _{CBR} (%)
Kilyos 4	48.1	33.0	18.2	32.5
Paşabahçe Kırmızı 3	39	16.5	16.2	15.4
Topser Sarı 3	37	16.5	14.4	15.9

Ayrıca, maksimum C.B.R. da su muhtevasının (W_{CBR}) deneysel hata içerisinde Standart Proctor'dan elde edilen optimum su muhtevasına eşit olduğu göz önüne alınırsa, VI. 8 bağlantısının kullanılabilceği görülür. C.B.R. ' in likit limit ile nasıl erttiği Şekil 25 de görülmektedir.

Benzer sonuçlar penetrasyon iğneleri ile hesaplanan penetrasyon dirençleri için de çıkarılabilir.

Wiseman ve Zeitlen (1961) C.B.R. ile penetrasyon direnci arasında mükemmel bir bağlantının var olduğunu göstermiştir. Burada elde edilen sonuçlar da aynı yöndedir.

İlgi çekici bir husus kayma ve penetrasyon dirençleri arasındaki ilişkidir. Aynı su muhtevasında hazırlanmış numunelerin üç eksenli kayma direnci ve C.B.R. değerleri arasında iki eksenli çizgisel bağlantılar gözlenmiştir. (Şekil 20) Optimum su muhtevasının ıslak tarafında kayma direnci ile C.B.R. arasında, başlangıçtan geçen çizgisel bağlantılar vardır. Kilin plastisiteliği arttıkça bu doğruların eğimleri azalmaktadır. Optimum su muhtevasının öncelikle kuru tarafındaki numunelerin kayma dirençleri ve Kaliforniya Taşıma Oranları arasında yine çizgisel bağlantılar vardır. Bu doğruların eğimleri de kilin plastisiteği arttıkça azalmaktadır. Genellikle, aynı üç eksenli kayma direncine sahip olan zeminlerde düşük plastik olanlar yüksek plastik olanlara göre daha küçük bir C.B.R. değeri vermektedir.

VIII. GENEL SONUÇLAR

Zemin cinsinin penetrasyon direncine bağlılığını incelemek için yapılan bu çalışmada, numunelerdeki kilin miktarı ve cinsi ile sıkışma (kompaksiyon) karakteristikleri, sıkışmış zeminin kayma ve penetrasyon dirençleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir.

Zemindeki kilin miktarı ve cinsinin tanımlanması, zeminin plastisite özelliklerine yani likit, plastik limitlerine ve plastisite endisine bakılarak yapılmıştır. Böylece, plastisite özellikleri farklı olan zeminlerden sıkıştırılarak elde edilen deney numunelerinde optimum su muhtevasının, maksimum kuru birim hacim ağırlığını, üç eksenli kayma direncinin, Kaliforniya Taşıma Oranı'nın, Penetrasyon iğnesine direncin değişimi gözlenmiştir.

Deneyleerde esas olarak dört zemin, numunesi (Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3, Tütün çiftlik) kullanılmış ; sonuçların genelleştirilmesinde daha önce Boğaz killeri için elde edilmiş diğer sonuçlardan da (Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrol 1965) faydalanılmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda 4 grupta incelenmektedir.

1. İlkın, sıkışma karakteristiklerinin öncelikle hangi değişkenlere bağlı olduğu belirlenmiştir. Zemin cinsi, birim numune hacmine verilen sıkıştırma enerjisi, boşluk sıvısının polaritesi, zeminin granülometrisi değiştirilmiş, bu değişkenlerden her birinin optimum su muhtevası (veya maksimum kuru birim hacim ağırlığı) üstünde anlamlı ölçüde etkili olup olmadığını araştırılmıştır. Ekonomik bir deney düzeni çerçevesinde yürütülen deneylerle incelenen değişkenlerden ikisinin (zemin cinsi ve sıkıştırma enerjisinin) etkilerinin anlamlı olduğu gösterilmiştir. (Tablo 4)

Bu sonuç, sıkışmış numunelerin özellikleri üstünde zemin cinsinin etkisini inceleyen, numune birim hacmine verilen sıkıştırma enerjisinin sabit tutulması şartı ile, diğer dış değişkenlerdeki değişimlerin deneylerin geçerliğini zedelemeyeceği şeklinde ifade edilebilir. Bu değerli sonuçtan faydalanarak deneyler birim hacme verilen sıkıştırma enerjisi sabit, (standart proctor

enerjisi) olmak üzere hazırlanan nümuneler ile yapılmıştır.

2. Sıkışma karakteristikleri (optimum su muhtevası, maksimum kuru birim hacim ağırlığı) belirlenen dört zeminden (Kilyos 4) Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3, Tütünciftlik) başka, Kilyos 1, Küçüksu-Göksu 1, Paşabahçe Kırmızı 1, Topser Kırmızı 2, Topser Sarı 1, Uskumru 1, Ümraniye 2 killerine ait mevcut verilerden faydalanılmıştır. (Tablo 5) Ayrıca, Kilyos 4, Paşabahçe Kırmızı 3, Topser Sarı 3, killерinin çeşitli yüzdelerde altışar karışımı hazırlanmış ve özellikleri belirlenmiştir. (Tablo 6)

Böylece, 23 nümünden elde edilmiş veriler arasında ilgi çekici bağlantıların varlığı ortaya konulmuştur. Kıyam limitleri ile optimum su muhtevası ve maksimum kuru birim hacim ağırlığı arasında mükemmel bağlantılar vardır. (Vl.8-13) Öyle ki, nümunelerin hep aynı bölgeden alınmış olmaları bir sakınca sayılmaz ise, bu bağlantılardan faydalanarak kıyam limitleri bilinen zeminlerin sıkışma karakteristiklerini tahmin etmek mümkün olacaktır. Vl.8-13 bağlantıları belirli bir sıkıştırma enerjisi için çıkarılmıştır. Başka sıkışma enerjileri için de benzer bağlantılar çıkarılabilecektir. (Ek)

Ayrıca, sıkışma karakteristiklerinin kıyam limitlerine bağıllığının gösterilmiş olması, bu karakteristiklerin kil cinsine bağıllığının bir ifadesidir.

3. Deneysel malzemesini teşkil eden 4 nümune, optimum su muhtevalarının iki tarafındaki çeşitli su muhtevalarında sıkıştırılarak üç eksenli kayma dirençleri, Kaliforniya Taşıma Oranları, penetrasyon iğnesine dirençleri ölçülmüştür.

Her halde, nümune birim hacmine verilen sıkıştırma enerjisi belirli sınırlar içinde sabit kalmıştır.

Üç eksenli kayma direnci artan su muhtevası ile azalmıştır. Kaliforniya Taşıma Oranı değişimi, tepe noktası optimum su muhtevasına yakın düşen bir parabol biçimindedir.

Düşük plastisiteli bir zeminde tepe noktası görülmemiştir. (Tütün çiftlik lemi)

Penetrometre iğneleri ile elde olunan penetrasyon direnci dağılımı, yine tepe noktası optimum su muhtevasına yakın, bir parabolüdür. Tütüncüftlik lemi yine bir istisnadır.

Gerek CBR gerek penetrometre direnci dağılımlarının tepe noktaları optimum su muhtevasının kuru tarafındadır.

Kaliforniya Taşıma Oranı ve penetrasyon direncinin sıkışma karakteristiklerine bu yakın bağıllığı, bu özelliklerin demak-simum kuru birim hacim ağırlığı için olduğu gibi - kıyım limitlerine bağılı olduğu sonucunu çıkarmaktadır.

Kayma direnci ve Kaliforniya Taşıma Oranının birlikte incelenmesi, aynı bir kayma direnci için düşük plastik bir zeminin daha ufak bir CBR değerine sahip olduğunu göstermektedir.

4. Laboratuvarında, üniform malzeme ile ve dikkatle kontrol edilen şartlarda yürütülen deneyler, zeminlerin sıkışma karakteristikleri : maksimum kuru birim hacim ağırlığı ve optimum su muhtevasının, ayrıca, üç eksenli kesme direnci, Kaliforniya Taşıma Oranı ve penetrometre direncinin kil cinsine yakından bağılı olduğunu göstermektedir. Öncelikle, sıkışma karakteristikleri ile kıyım limitleri arasındaki bağlantılar, kıyım limitlerinin tahmin için başarı ile kullanılabileceğini göstermektedir. Bunun tatbikatındaki önemi küçümsenemez.

Yol ve hava meydanlarında proje işlerinde pratik önemi olan CBR değerinin, -kayma direnci dışında- bağılı olduğu faktörlerin zeminin plastikiği ile değişimi de dikkate değer.

Verilmiş olan sonukların pratikte sağlayacağı faydalar yanında, sıkıştırılmış zeminlerin özelliklerinin ve dış yükler altında davranışının daha iyi anlaşılmasında kullanışlı olduğu söylenebilir.

EK

FARKLI SIKIŞMA ENERJİLERİNİN W_{opt}/W_L BAĞLANTISINA
ETKİSİ

Nümunne birim hacmine verilen enerji miktarının değişmesi, sıkışma miktarına etkiyecektir.

Standart Proctor şartlarında hazırlanmış olan şümunelerle elde edilen Vl.2-13 bağlantıları, başka sıkıştırma enerjileri için ancak yeni katsayılarla kullanılabilir.

Bir örnek olarak optimum su muhtevası ile likit limit arasındaki bağlantıya (Vl.8) sıkıştırma enerjisinin artmasının ne yolda etkiyeceğine bakalım.

$$W_{opt} = 3 + .36 W_L \quad (Vl.8)$$

bağlantısı standart Proctor şartlarında hazırlanmış 23 nümune ile elde olunmuştur.

Bu kez, Peynircioğlu, Kumbasar, Toğrol (1965) tarafından verilmiş olan farklı sıkıştırma enerjisi ile sıkıştırılmış 8 nümuneye ait sonuçları göz önüne alalım. Bu nümüneler, esas olarak Modifiye Proctor şartlarında hazırlanmış ilâve olarak her tabakaya 55 vuruş yapılmıştır.

Sıkışma ve diğer özellikleri Tablo 10 da gösterilmiştir. İki farklı enerji ile bulunmuş bağlantıların karşılaştırılması (şekil 22)

$$W_{opt} = A + B W_L$$

biçiminde bir bağlantının her sıkışma enerjisi için elde edilebileceğini A ve B katsayılarının sıkıştırma enerjisine bağlı olduğunu göstermektedir.

TABLO 10. Enerji II ile Sıkıştırılmış 8 nümünün özellikleri

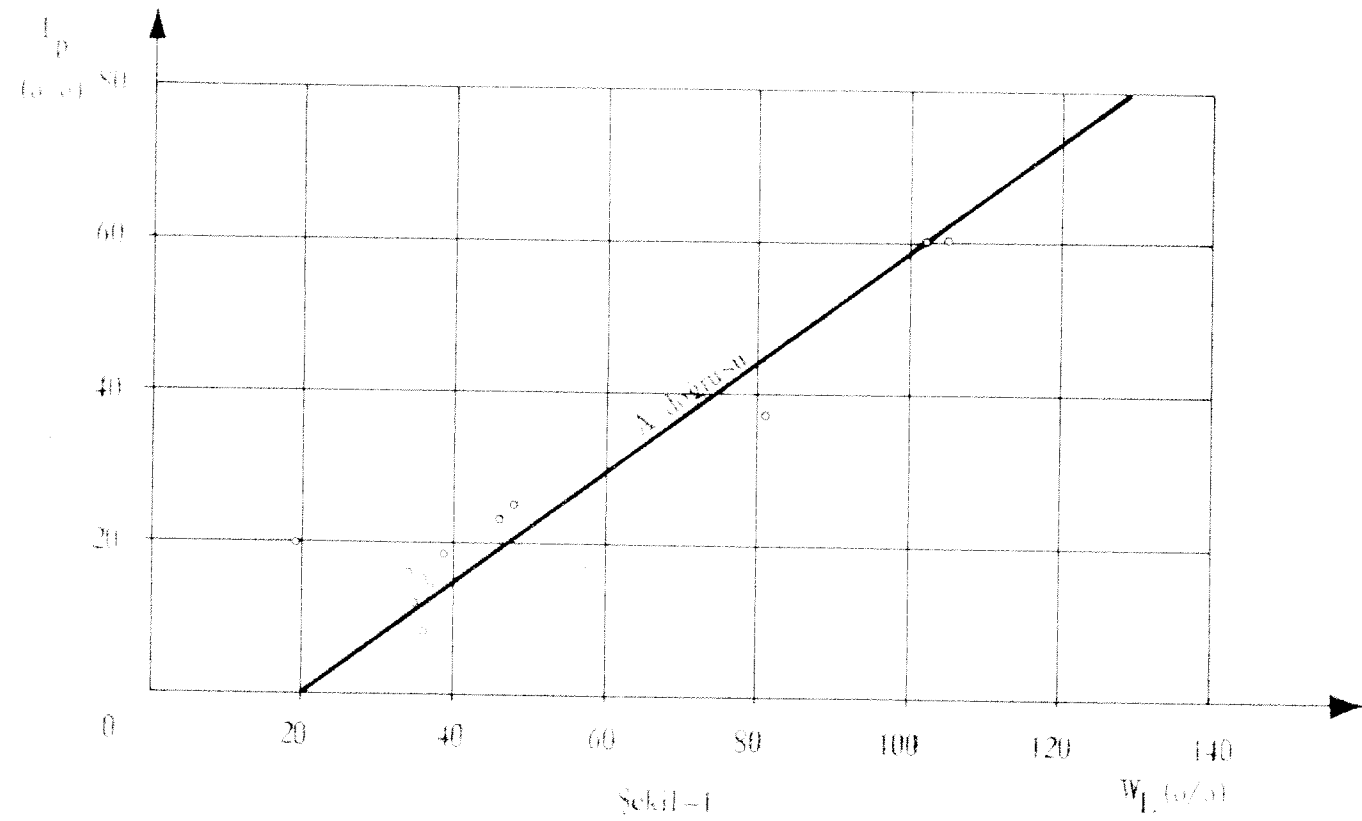
Sıkıştırma Enerjisi : II (Modifiye Proctor, her tabakaya 55 darbe vurulmak üzere)

Z e m i n	W_L (%)	W_p (%)	I_p (%)	W_s (%)	γ_s (gr/cm ³)	W_{opt}	γ_k (gr/cm ³)
Kilyos 2	104	41	63	16	2.8	25	1.4
Paşabahçe Kırmızı 2	45	20	25	-	2.7	13	2.0
Paşabahçe vadi içi 1	31	17	14	-	2.6	12	2.0
Topser Kırmızı 1	37	23	14	-	2.7	12	2.0
Topser Kırmızı 2	35	23	12	-	2.8	12	2.0
Topser Sarı 2	40	27	13	24	2.8	12	1.9
Ümraniye 1	37	20	17	-	2.7	14	1.9
Ümraniye 2	36	21	15	17	2.7	13	1.8

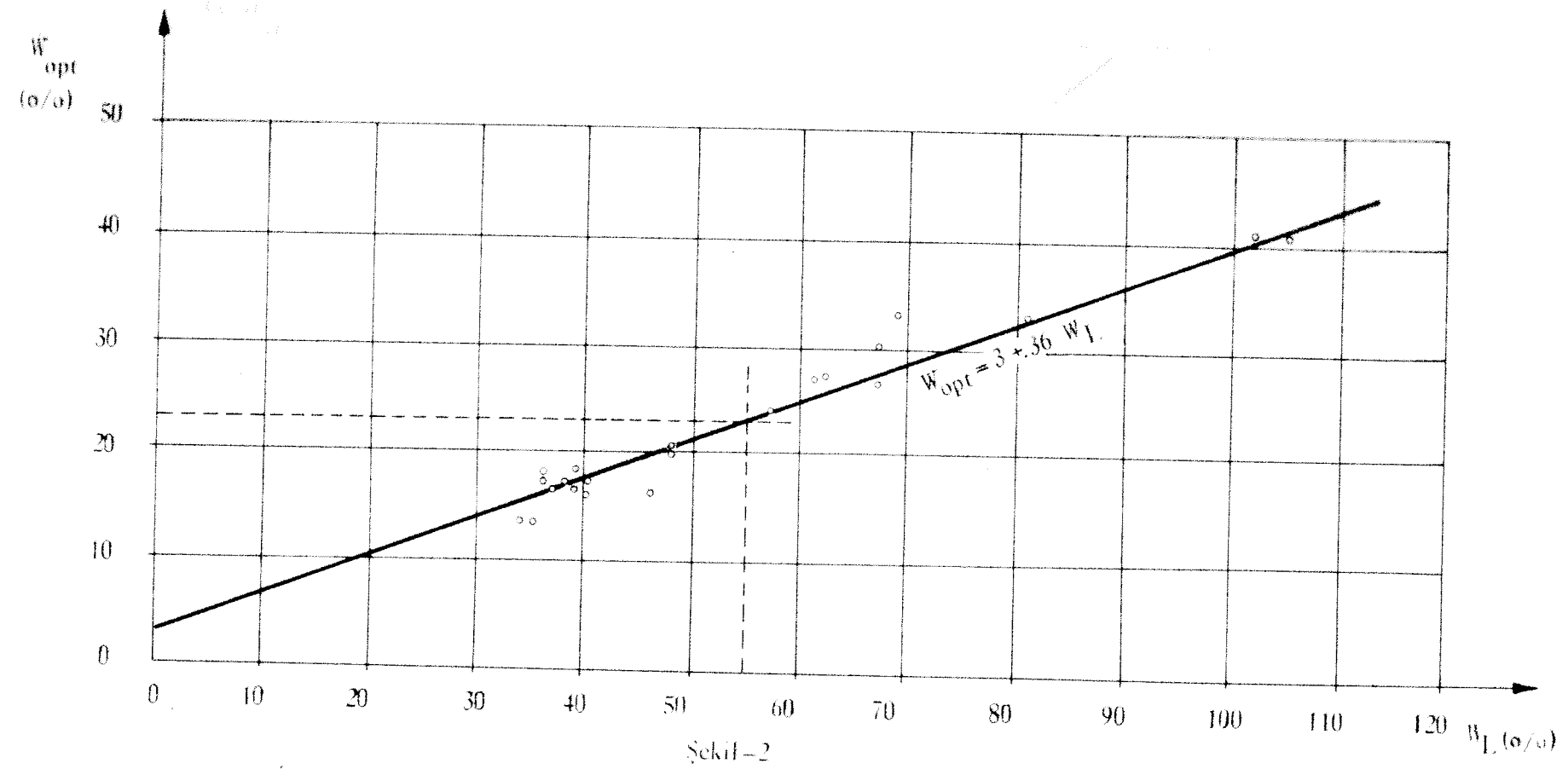
Optimum su muhtevası ile likit limit arasındaki benzer bağlantılar, optimum su muhtevası ile plastik limit ve plastisite endisi, aynı zamanda, maksimum kuru birim hacim ağırlığı ile likit ve plastik limitler ve plastisite endisi arasında da gerçekleşir.

R E F E R A N S L A R

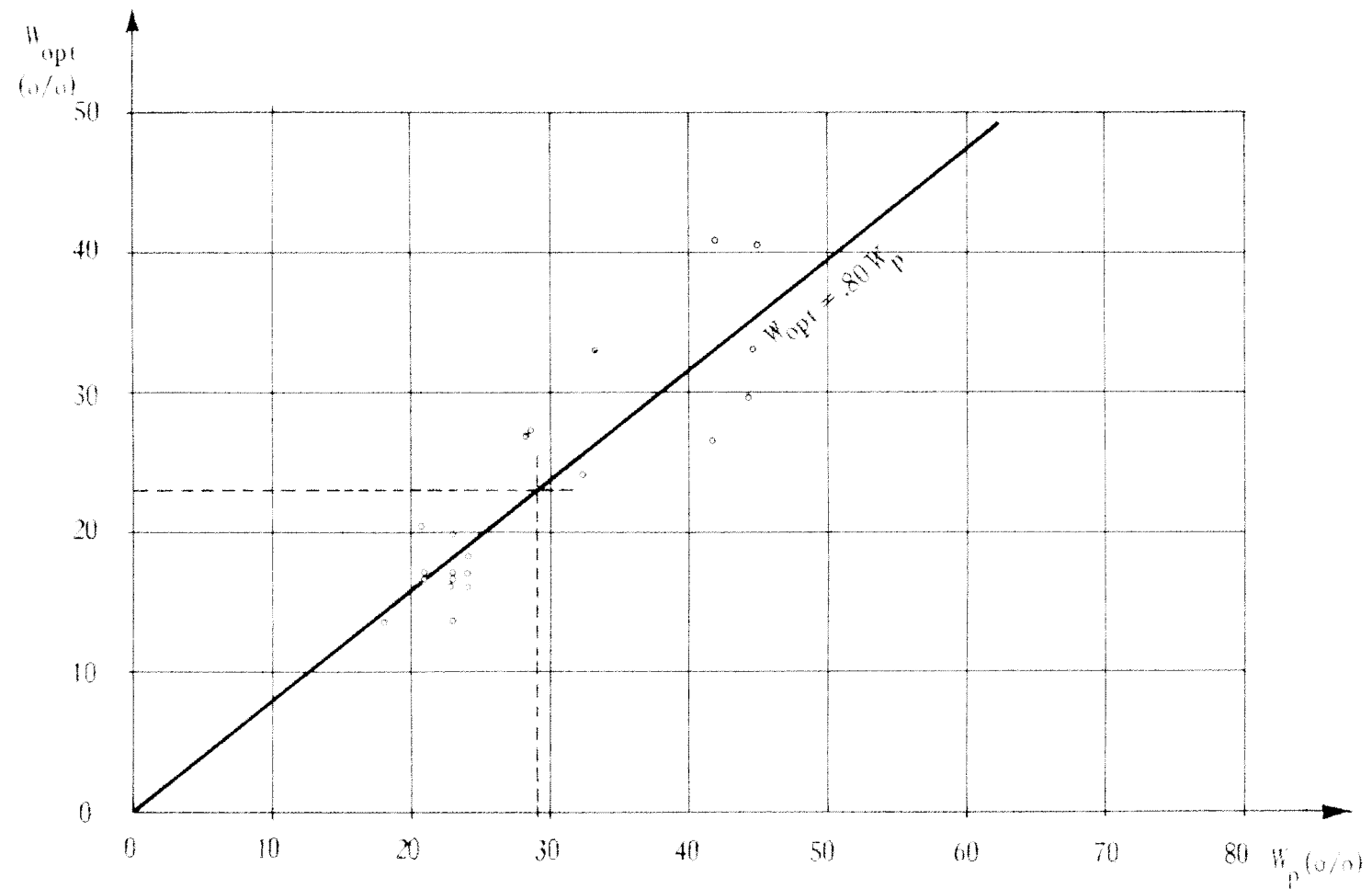
- Black, W.P.M., 1962. "A Method of Estimating the California Bearing Ratio of Cohesive Soil from Plasticity Data" Géotechnique, 12, 4, Sf. 271 - 282.
- Kumbasar, V., 1956. Suya Doygun Olmayan Zeminlerde Kayma Mukavemeti ve Boşluk Basıncı. Neşredilmemiş Doçentlik Tezi. İ.T.Ü.
- Kumbasar, V., Toğrol, E., 1966. "A Study of Factors Involved in Compaction Experiments" 'Kompaksiyena Etkiyen Faktörler Üzerine bir Çalışma) İstanbul Teknik Üniversitesi Bülteni, 19, 1
- Lambe, T.W., 1951. Soil Testing for Engineers New York : John Wiley and Sons,
- Lambe, T.W., 1958. "The Structure of Compacted Clay" ASCE Proc.
- Lambe, T.W., 1958. "The Engineering Behavior of Compacted Clay" ASCE Proc.
- Peynircioğlu, H., Kumbasar, V., Toğrol E., 1965. "Research on Soil Stabilization with Lime". İ.T.Ü. Zemin Mekanikliği Araştırma Kurumu, 2, 63 sf.
- Robinson, P.J.M., Lewis, T., 1958. "A Rapid Method of Determining In-Situ CBR Values" Géotechnique, 8, 2, Sf. 72 - 78.
- Toğrol, E., 1965. "On Soil Stabilization with Lime" (Zeminlerin Kireçle Stabilizasyonu Üzerine). İstanbul Teknik Üniversitesi Bülteni, 18, 1, Sf. 17 - 24
- Wiseman, G., Zeitlen, J.G., 1961. "A Comparison between the CBR and the Shear Strength Methods in the Design of Flexible Pavements" Proc. 5. Int. Conf. Soil Mech. Found. Engrg., II, Sf. 259 - 363.



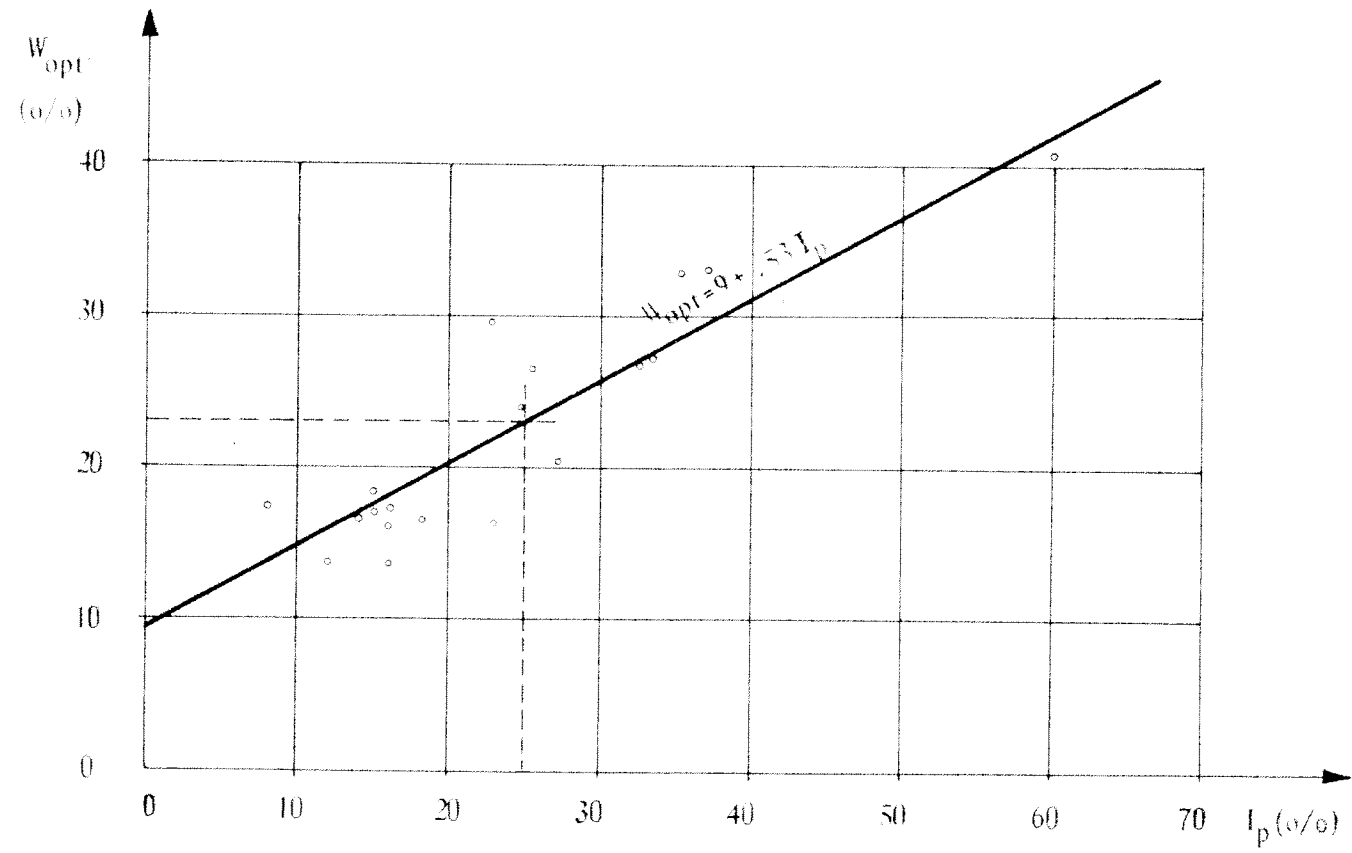
[Faint handwritten notes, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text is mostly illegible due to fading and low contrast.]



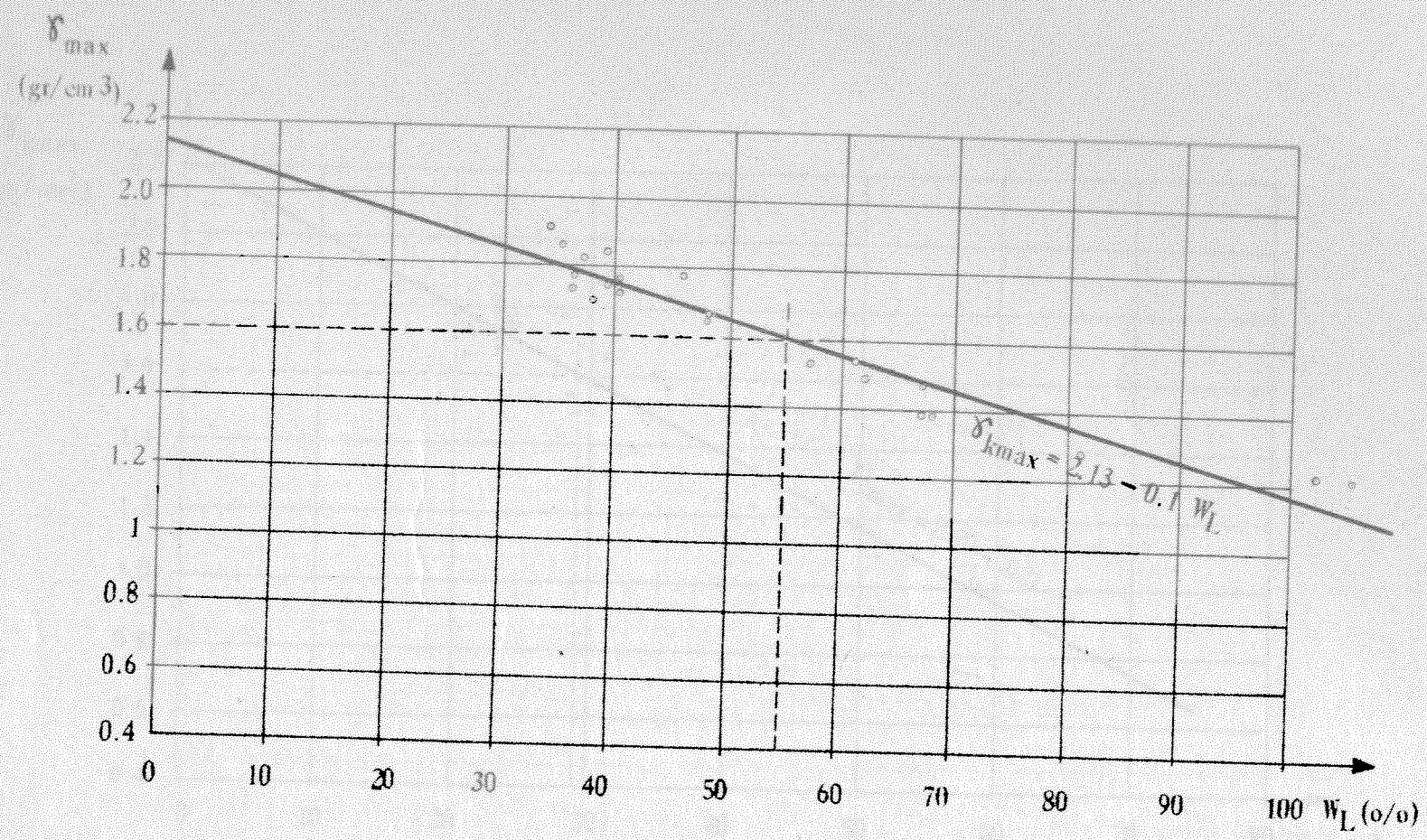
Şekil-2



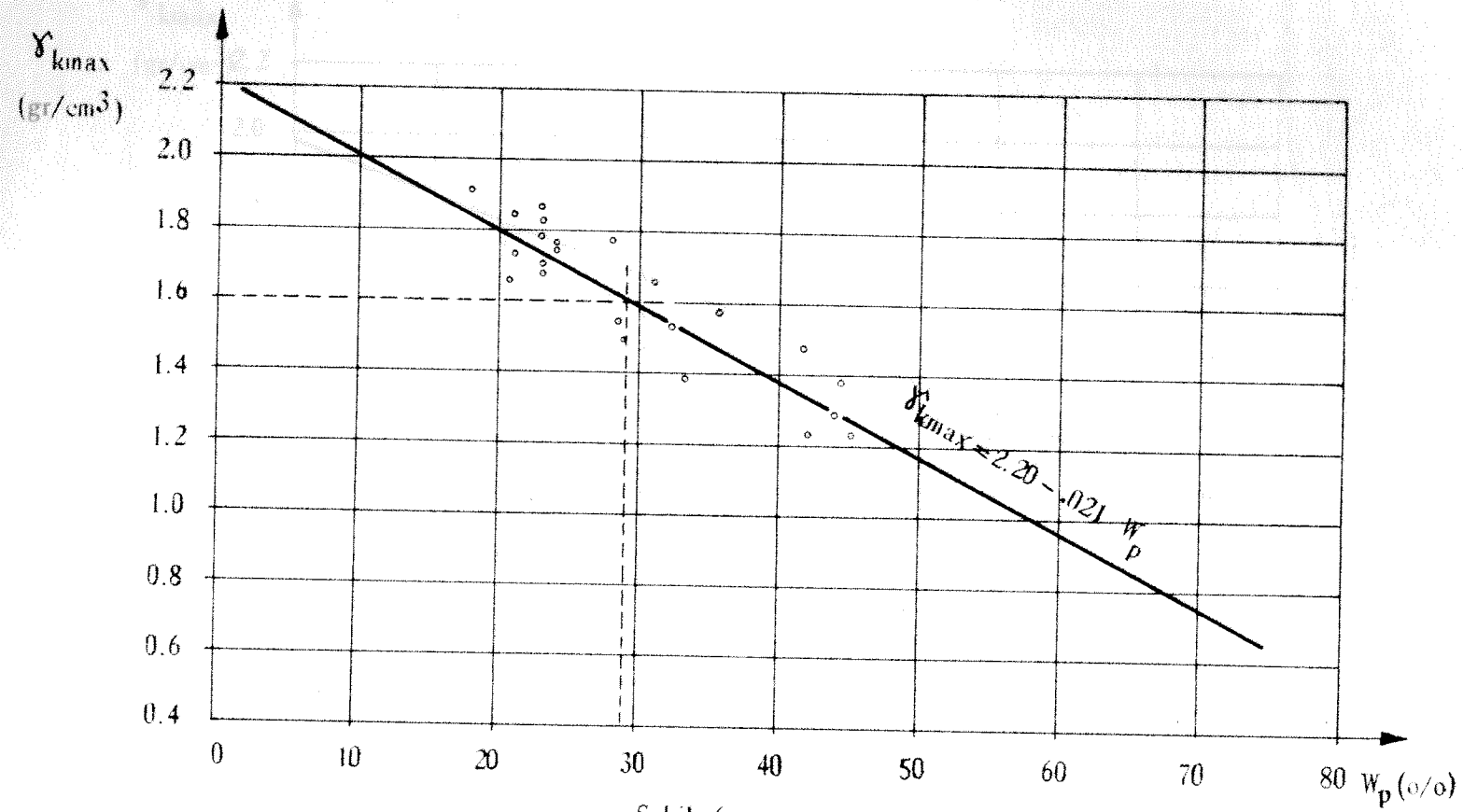
Şekil-3



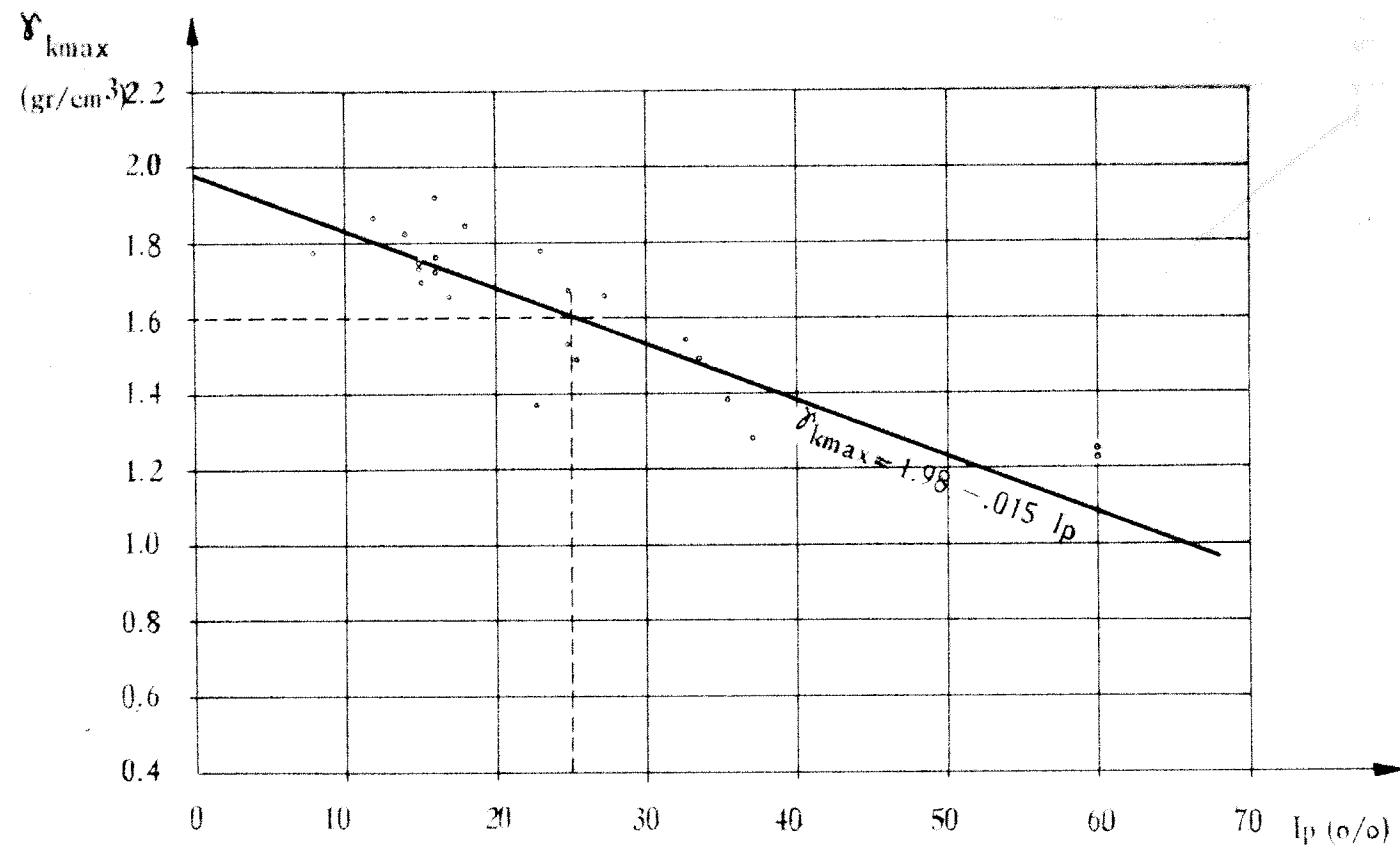
Şekil-4



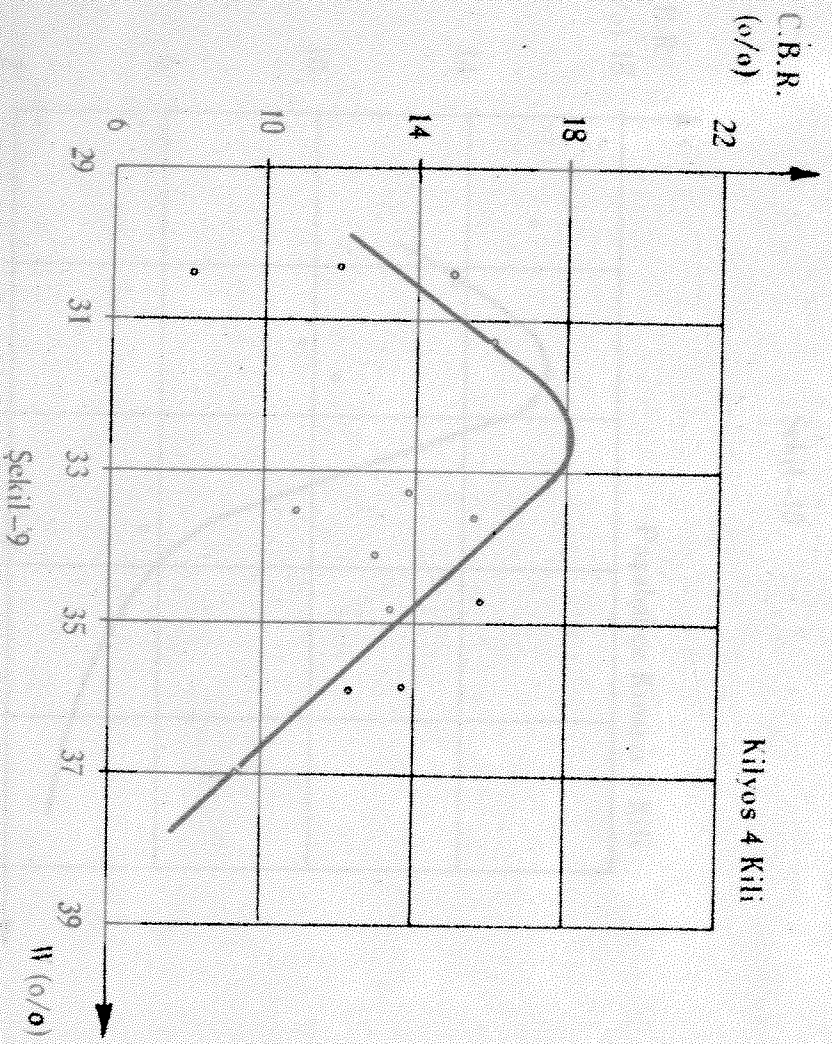
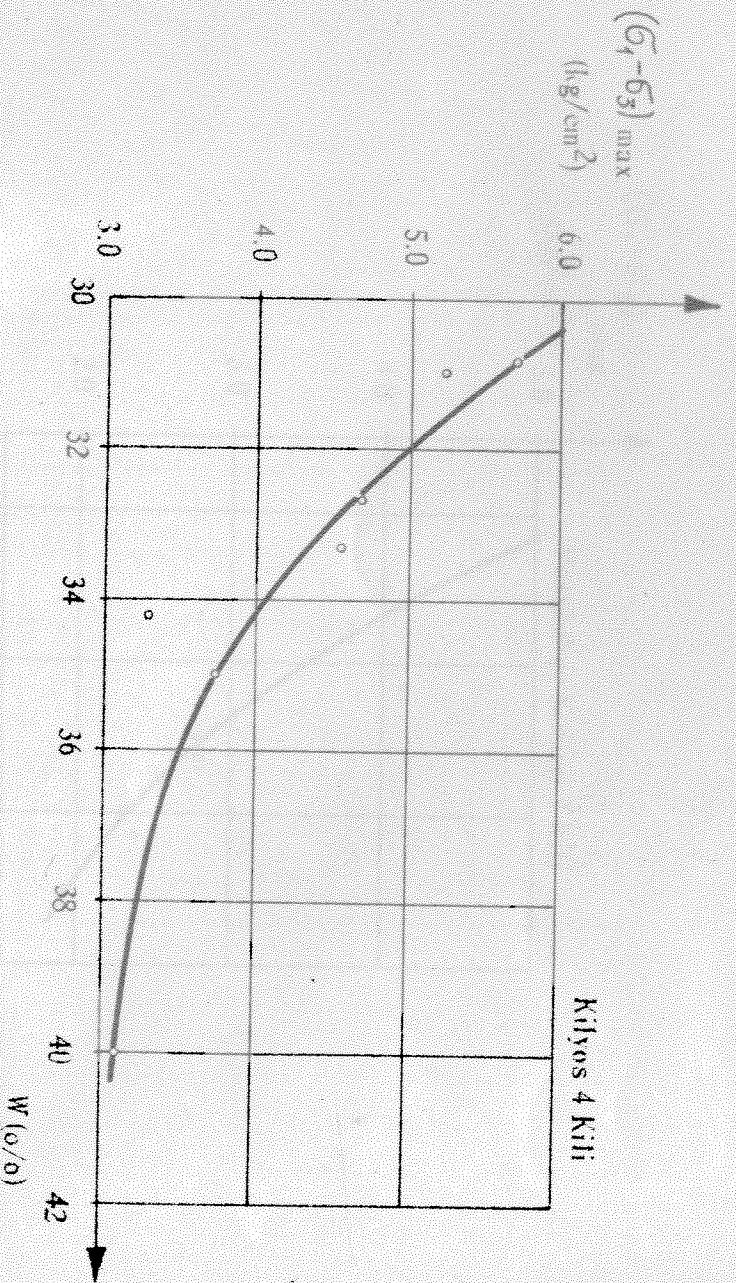
Şekil-5

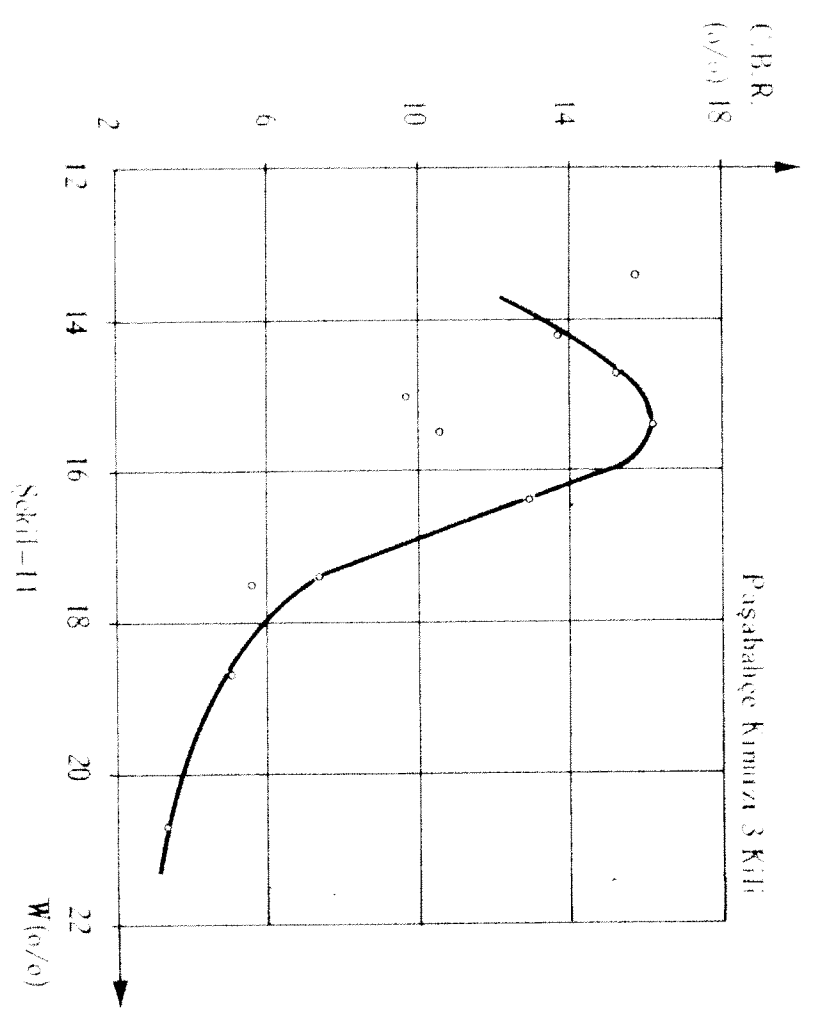
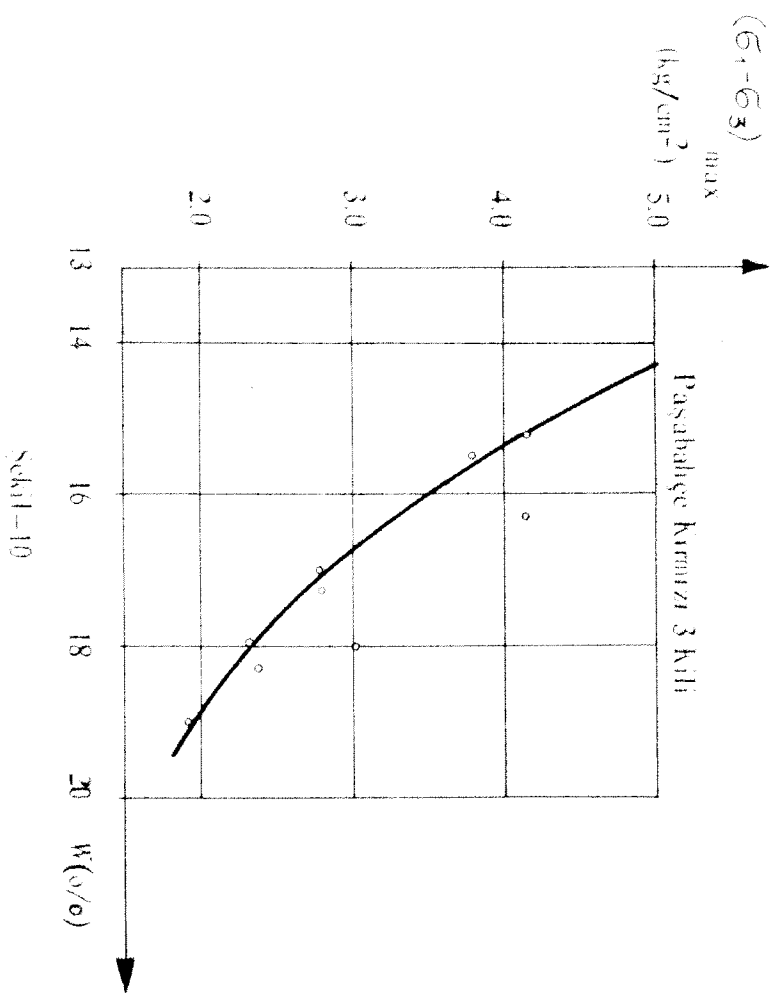


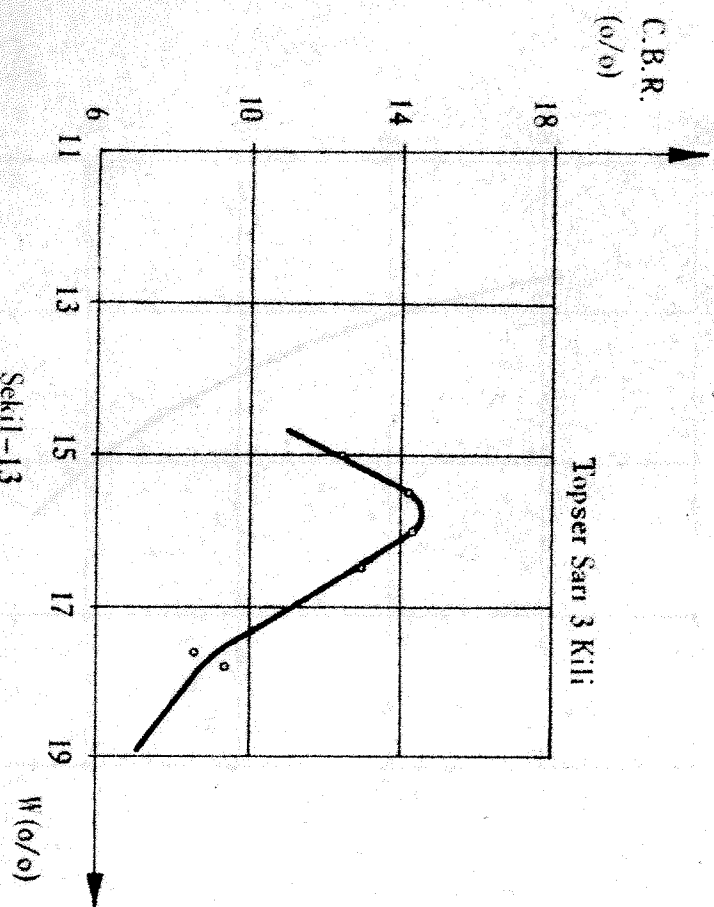
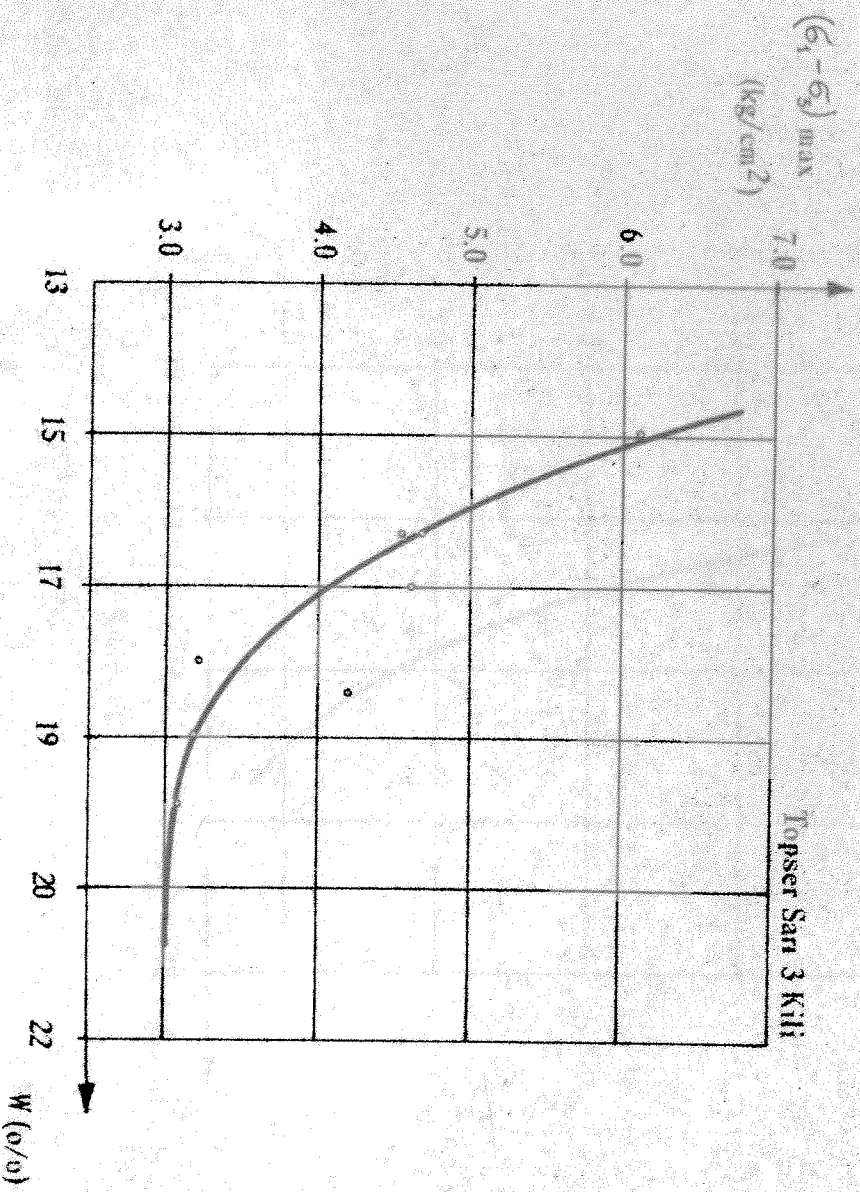
Şekil-6

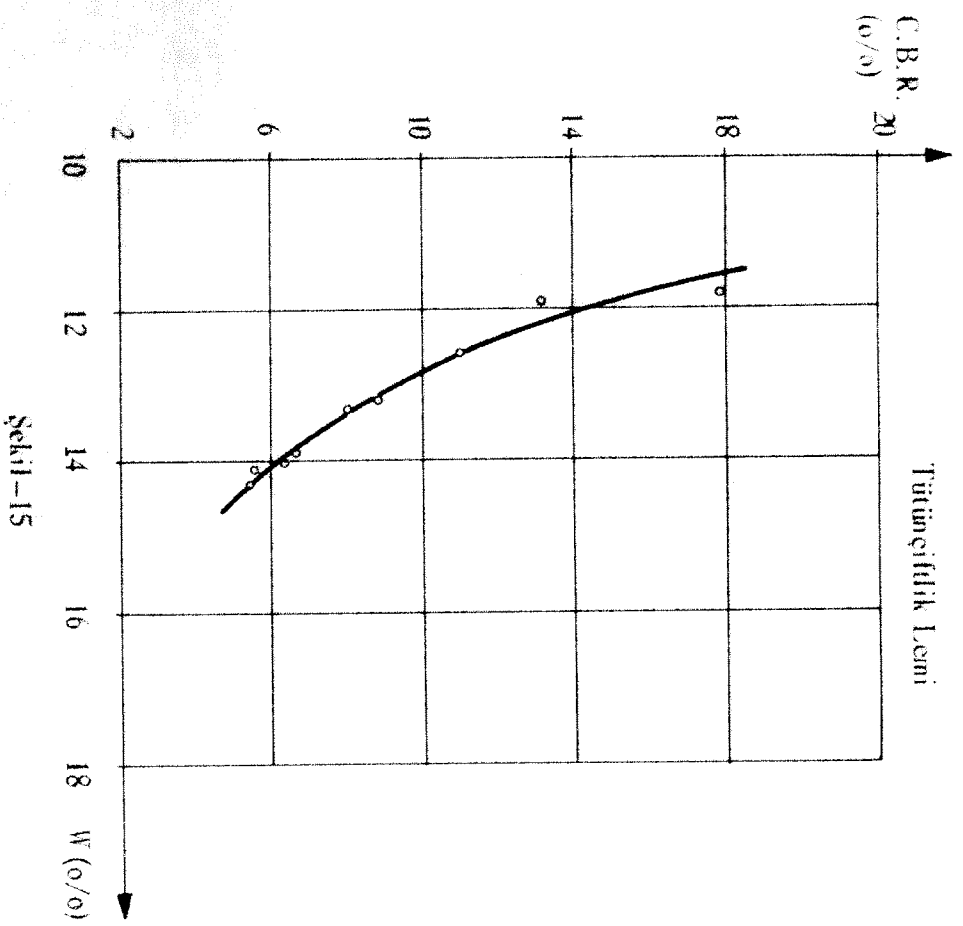
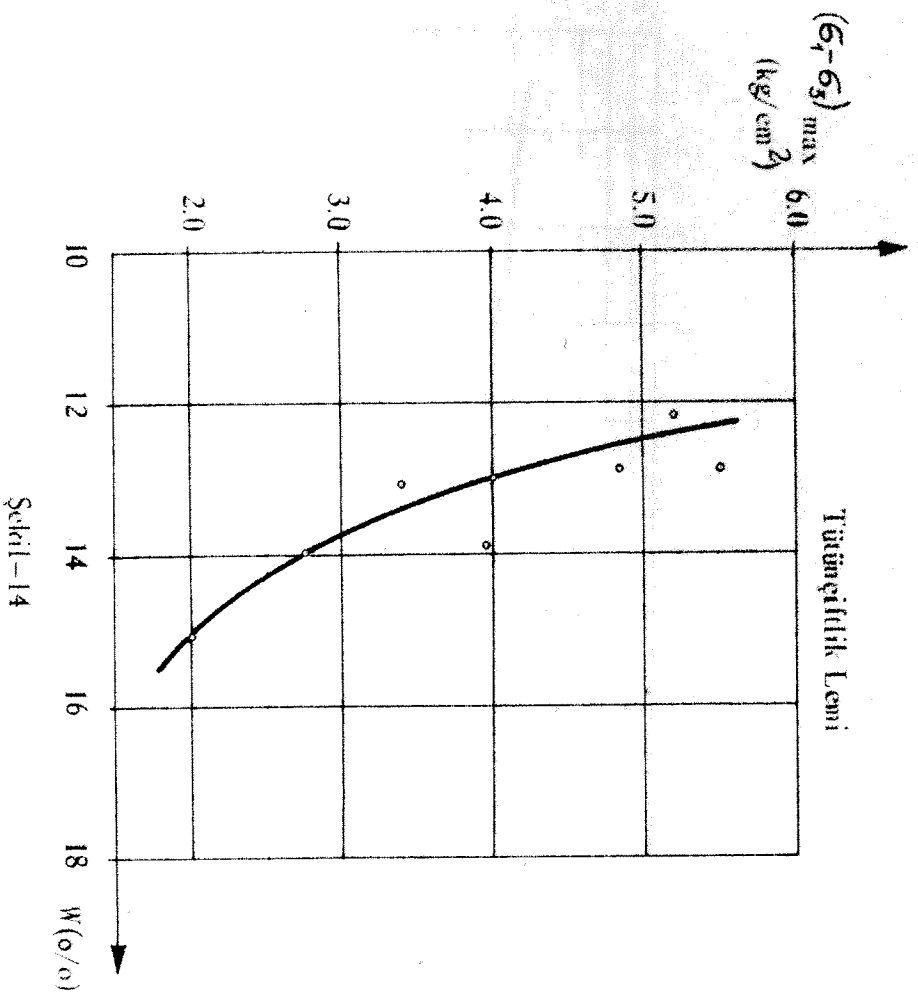


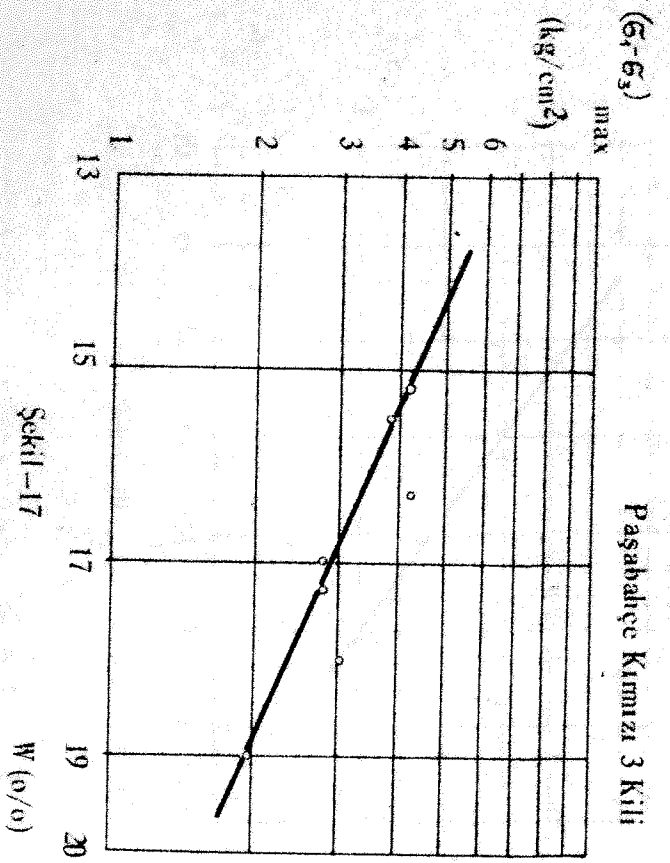
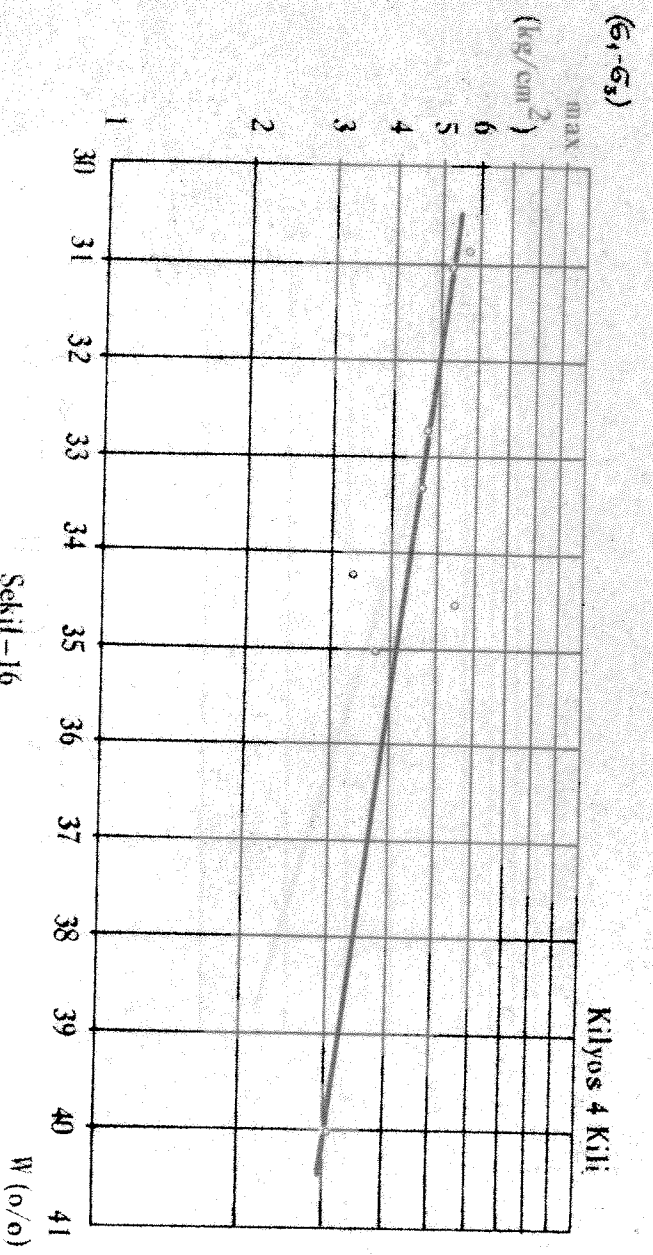
Şekil-7

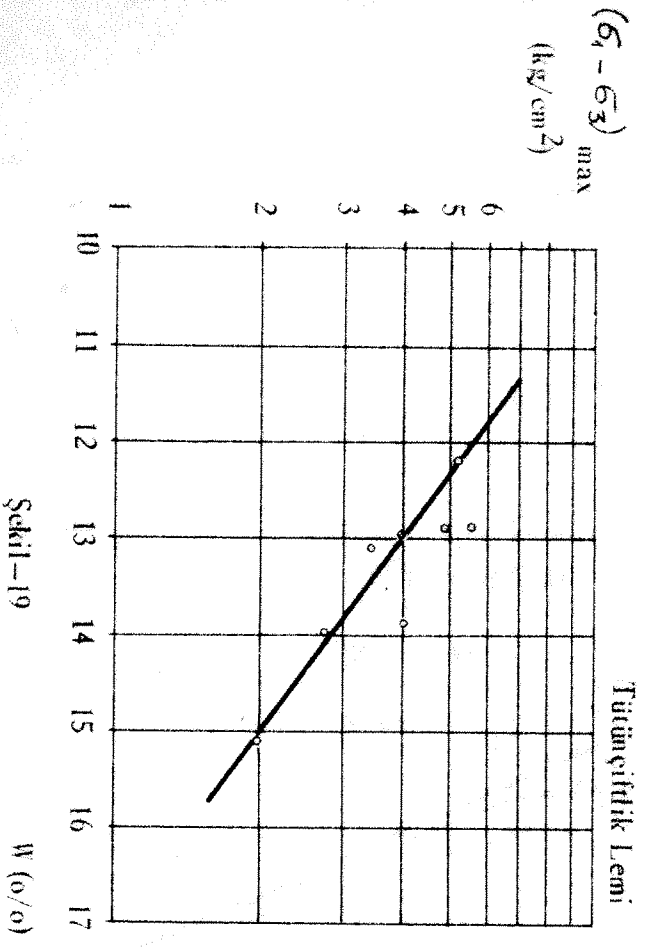
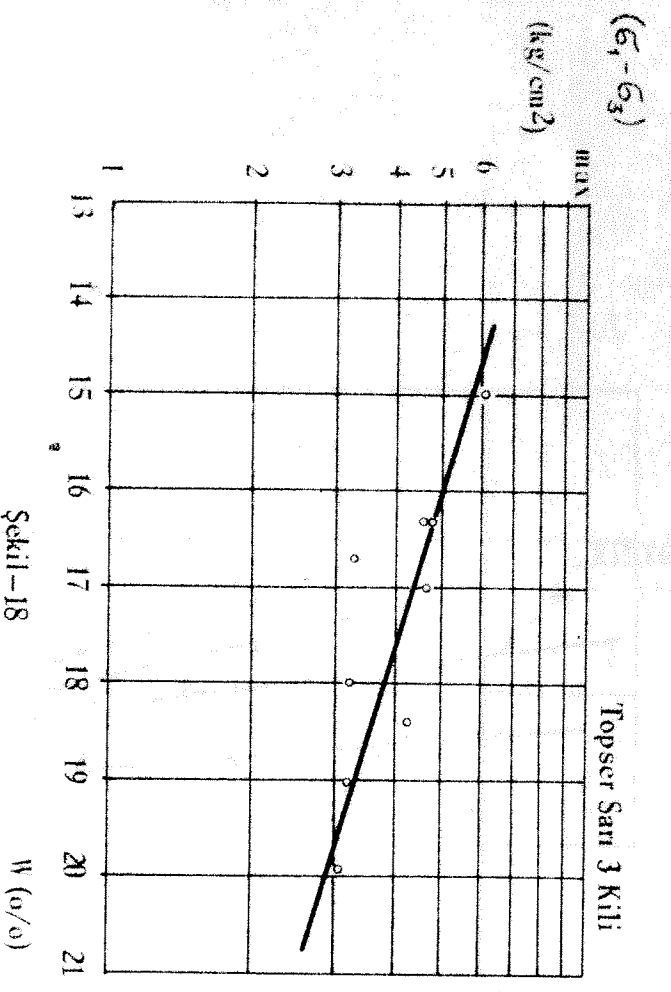


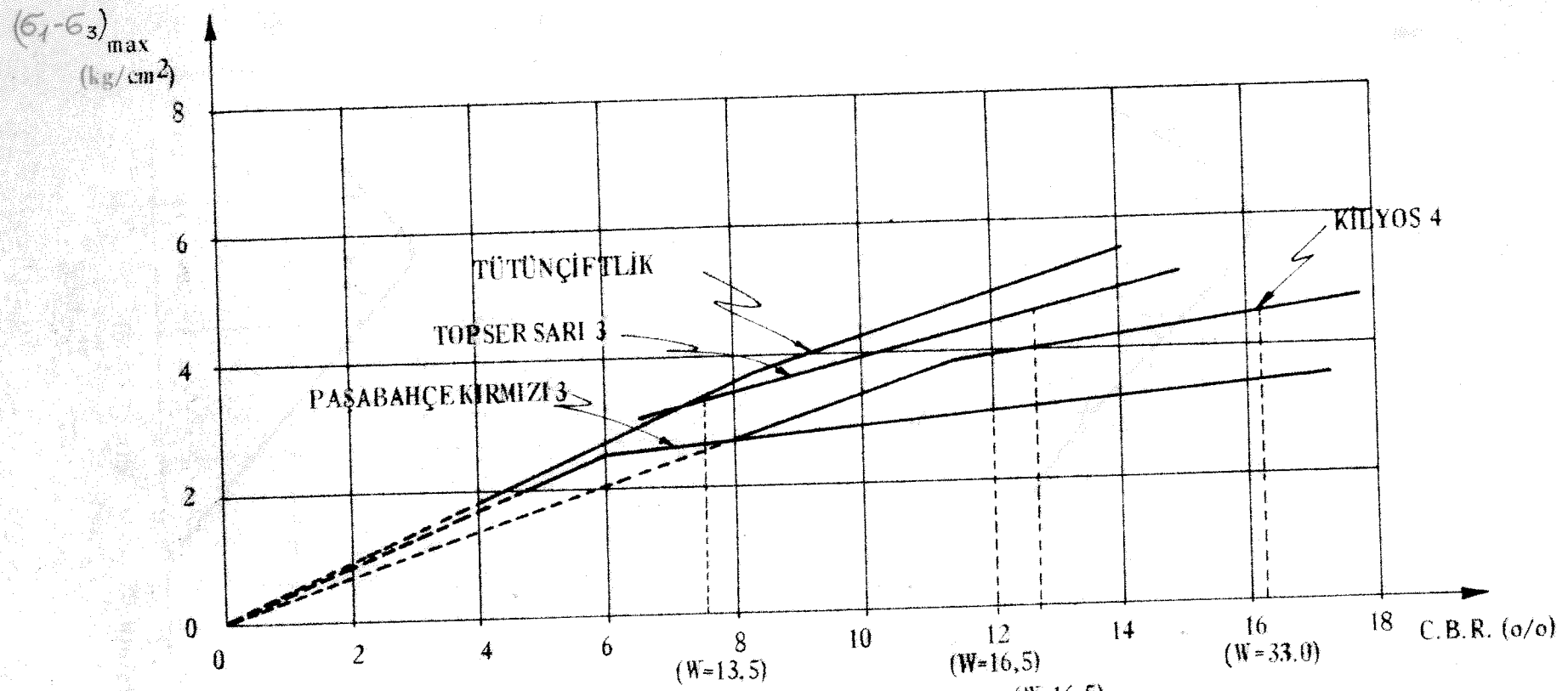




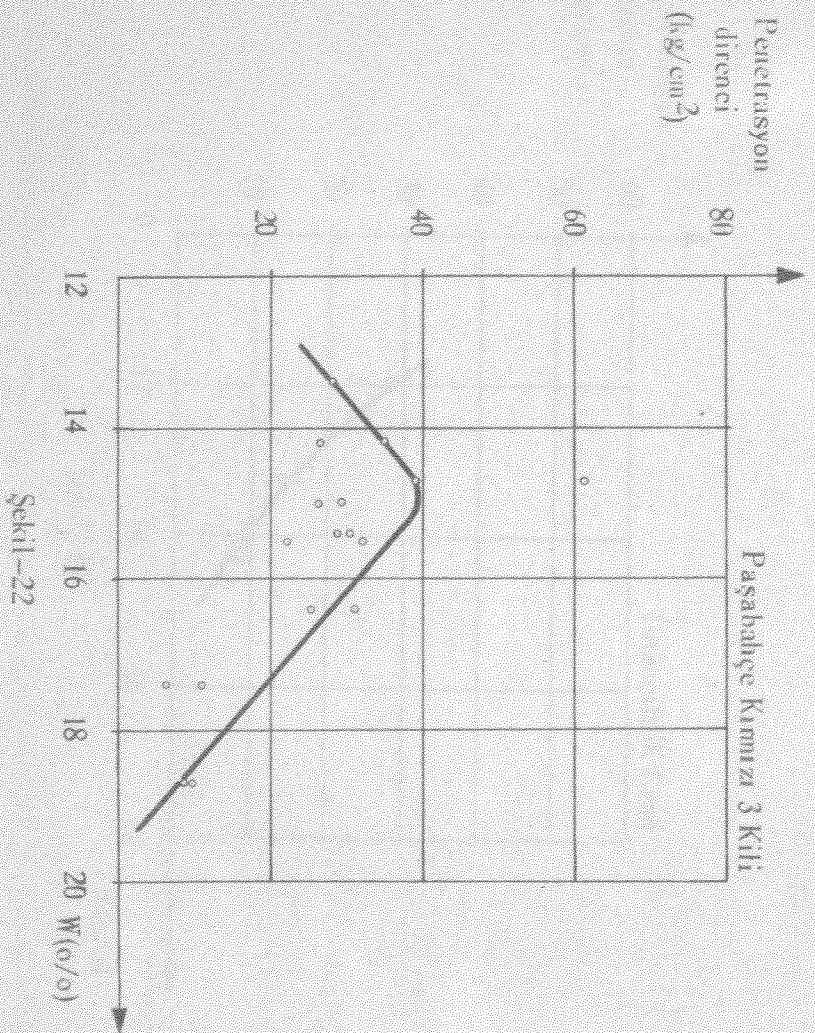
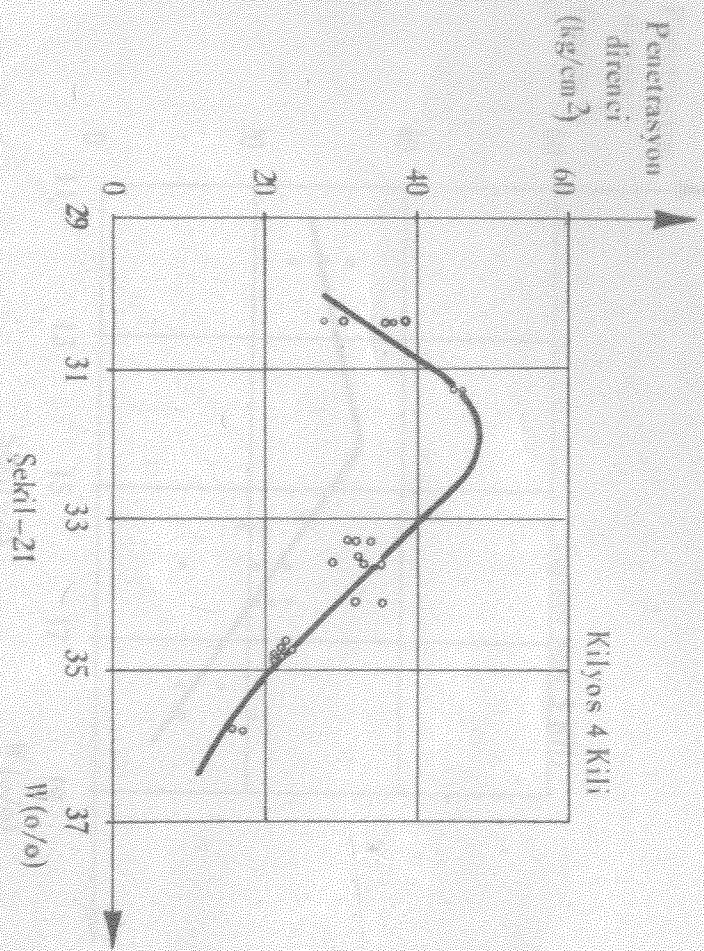


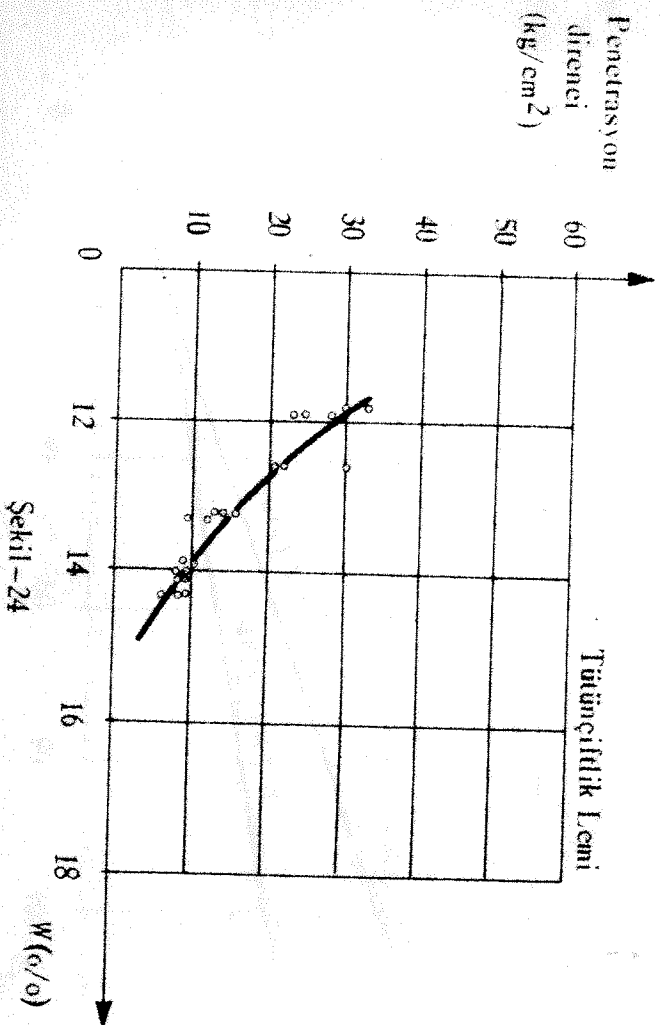
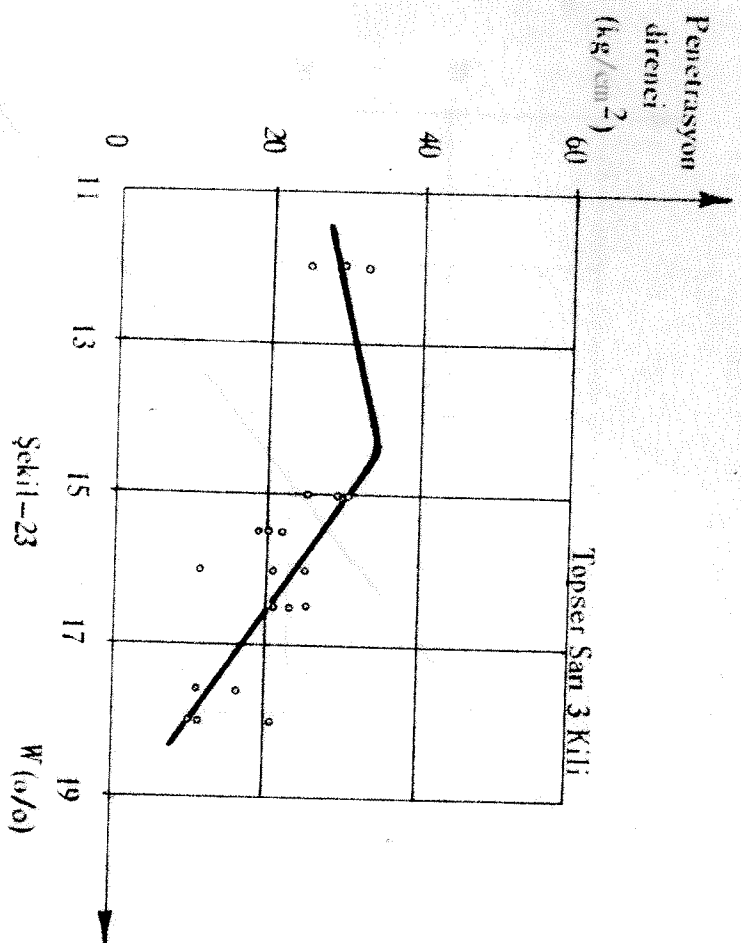


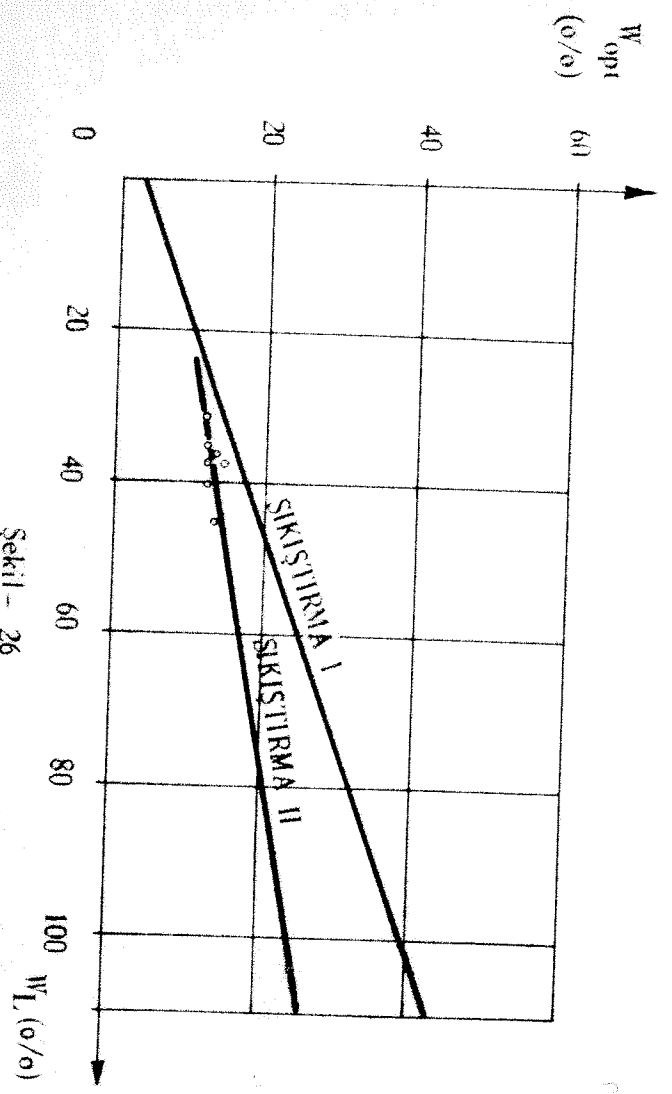
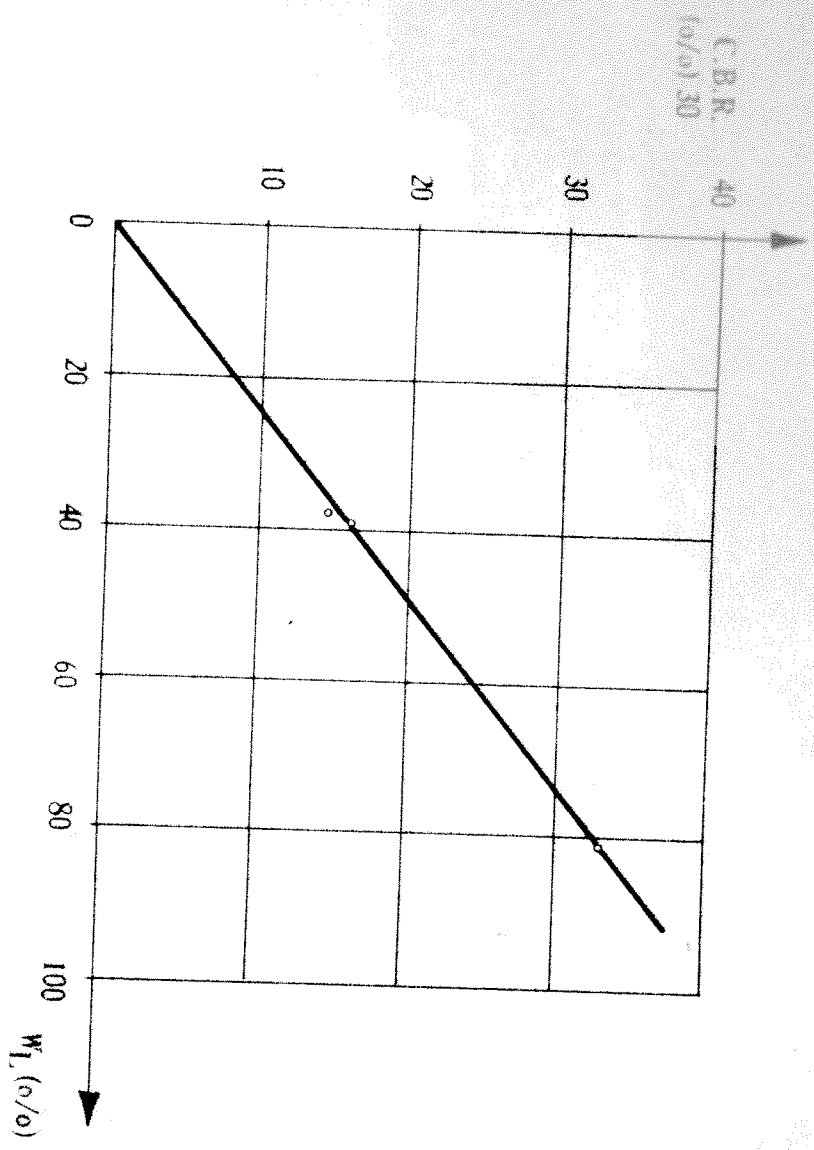


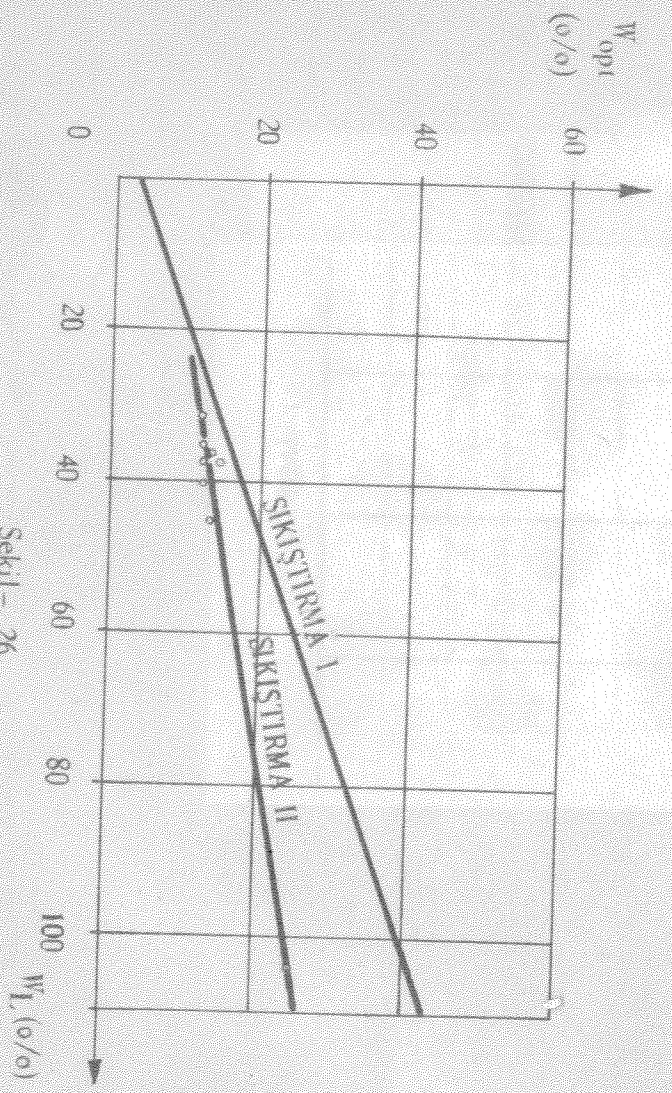
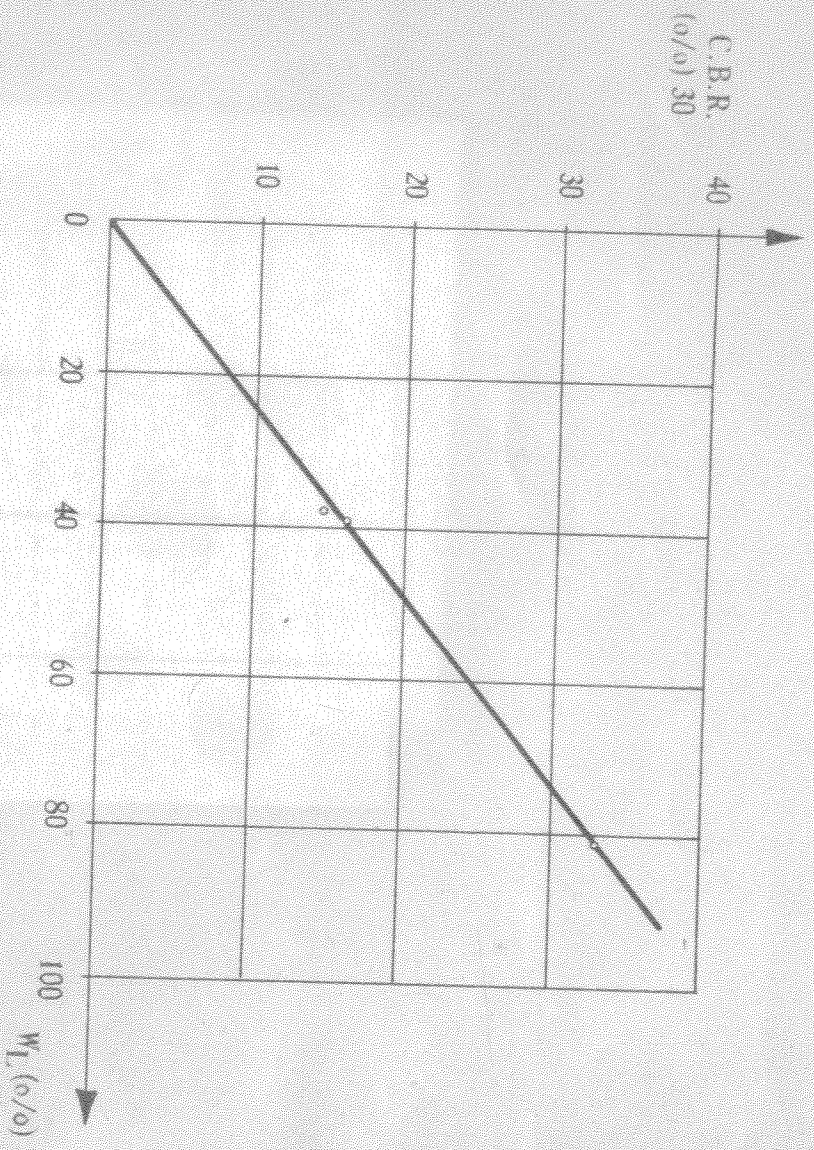


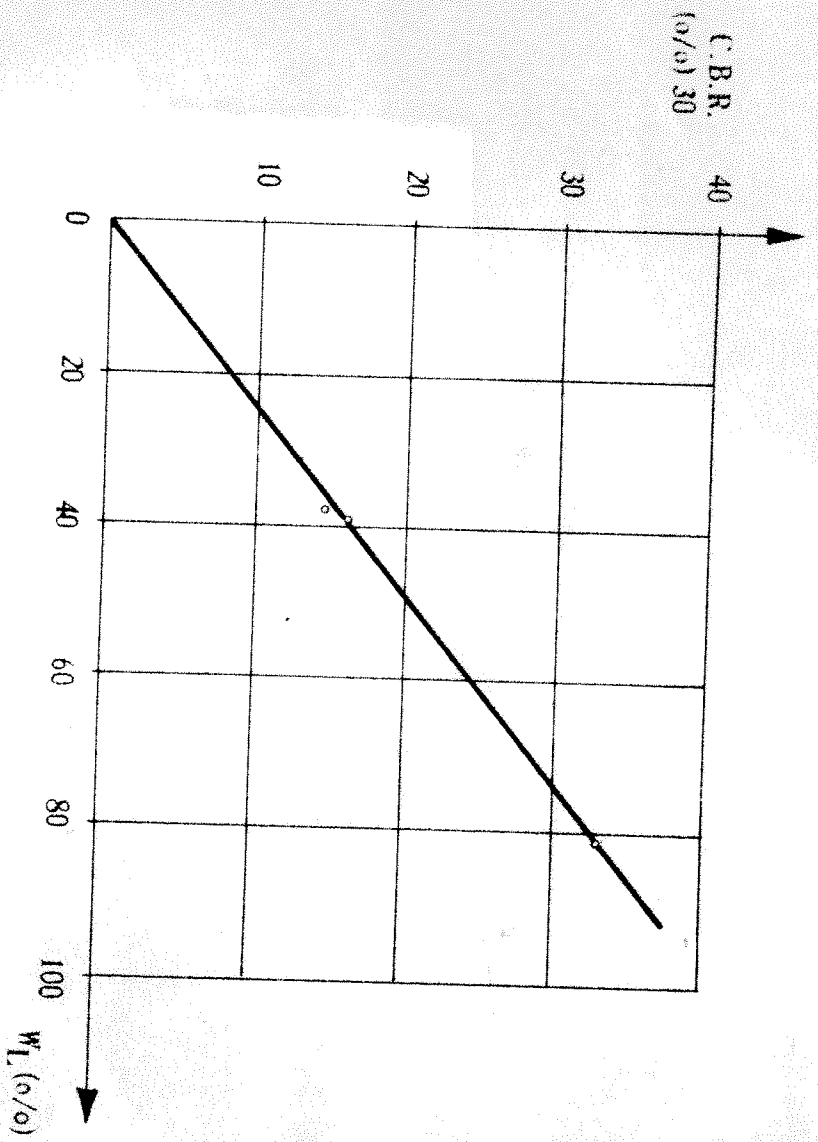
Şekil-20



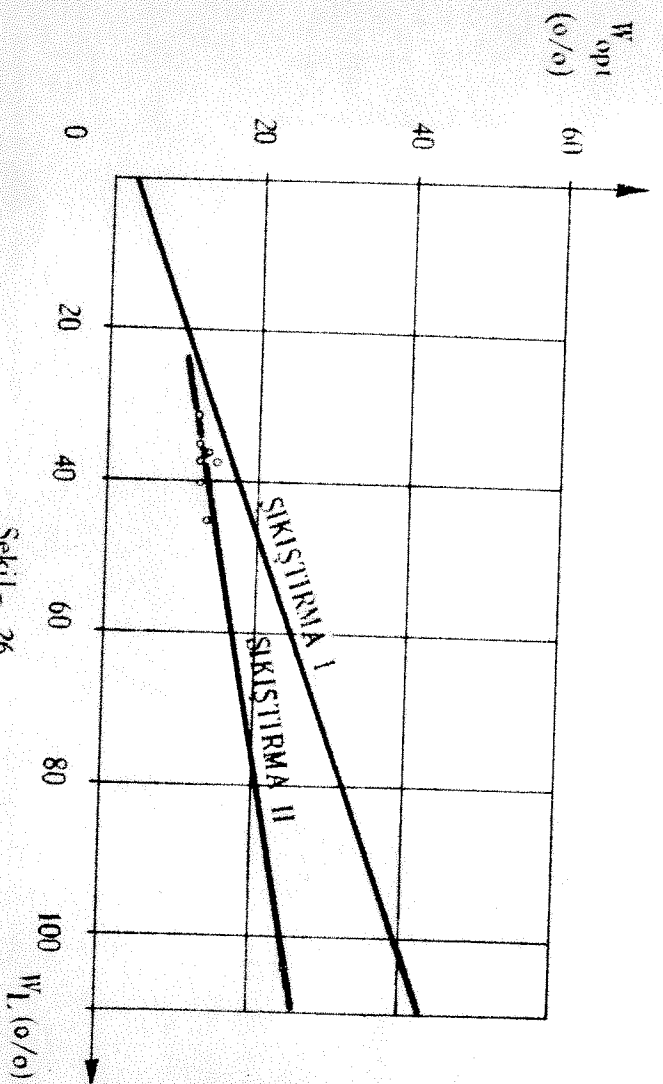








Şekil - 25



Şekil - 26