

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖÇME DURUMUNA ULAŞMAMIŞ KAZIK YÜKLEME DENEYLERİNDE
NİHAİ KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Berkay DALKILIÇ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

TEMMUZ 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÖÇME DURUMUNA ULAŞMAMIŞ KAZIK YÜKLEME DENEYLERİNDE
NİHAİ KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Berkay DALKILIÇ
(501161323)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM

TEMMUZ 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501161323 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Berkay DALKILIÇ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GÖÇME DURUMUNA ULAŞMAMIŞ KAZIK YÜKLEME DENEYLERİNDE NİHAİ KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Hüseyin YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Aykut ŞENOL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Kubilay KELEŞOĞLU
İstanbul Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Haziran 2020
Savunma Tarihi : 20 Temmuz 2020



ÖNSÖZ

Hayatım boyunca bana her türlü desteği veren ailem ve arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Tez çalışmalarımda değerli tavsiyeleri ile bana yol gösteren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Hüseyin Yıldırım'a teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans hayatım süresince çalışmalarına anlayış gösteren, teşvik eden Altyapı Temel Mühendisliği firmasına teşekkür ederim.

Haziran 2020

Berkay Dalkılıç
(İnşaat Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR	ix
SEMBOLLER	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xxv
SUMMARY	xxvii
1. GİRİŞ	1
2. TEMEL ALTI KAZIKLAR	3
2.1 Tanım ve Kullanım Amacı	3
2.2 Kazıkların Sınıflandırılması	3
2.2.1 Yapıldıkları Malzemeye Göre Kazıklar	4
2.2.2 Yüğü Zemine Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar	4
2.2.3 İmalat Yöntemlerine Göre Kazıklar	4
2.3 Fore Kazık Yapım Yöntemi	5
2.4 Kalite Kontrolü ve Tasarımın Doğrulanması	5
3. KAZIKLAR ÜZERİNDE UYGULANAN DENEYLER	7
3.1 Statik Yükleme Deneyleri	7
3.1.1 Eksenel Basınç Deneyi	7
3.1.1.1 Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi (SM)	9
3.1.1.2 Çevrimli Yükleme Deneyi (SC)	10
3.1.1.3 Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi (QM)	10
3.1.1.4 Sabit Penetrasyonlu Yükleme Deneyi (CRP)	11
3.1.2 Osterberg Hücresi	11
3.1.3 Eksenel Çekme Deneyi	13
3.1.4 Yanal Yükleme Deneyi	14
3.2 Süreklilik Deneyleri	15
3.2.1 Sismik Süreklilik Deneyi (PIT)	15
3.2.2 Vibrasyon Deneyi (TDR)	16
3.2.3 Sonik Süreklilik Deneyi (SIT)	17
3.2.4 Diğer Yöntemler	17
4. YÜKLEME DENEYLERİNİN YORUMLANMASI	19
4.1 Kazık Yükleme Deneylerini Değerlendirme Yöntemleri	21
4.1.1 Brinch Hansen %80 Yöntemi	24
4.1.2 Brinch Hansen %90 Yöntemi	26
4.1.3 Butler - Hoy Yöntemi	27
4.1.4 Cambefort - Chadeisson Yöntemi	27
4.1.5 Chin - Kondner Yöntemi	29
4.1.6 Corps of Engineers Yöntemi	30

4.1.7 Davisson Yöntemi	31
4.1.8 De Beer Yöntemi.....	33
4.1.9 Decourt Yöntemi	34
4.1.10 Fuller - Hoy Yöntemi	35
4.1.11 Hirany - Kulhawy Yöntemi.....	36
4.1.12 Housel (Creep) Yöntemi	37
4.1.13 Mazurkiewicz Yöntemi	38
4.1.14 Shen - Niu Yöntemi	39
4.1.15 Teğet (Mansur - Kaufman) Yöntemi.....	40
4.1.16 Van Der Veen Yöntemi.....	41
4.2 Güvenlik Katsayısı	42
5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	45
5.1 Deney Kazıklarının Özellikleri.....	46
5.2 Kazık Yükleme Deneyi Sonuçları	47
5.3 Hesaplanan Kazık Taşıma Kapasiteleri.....	48
5.4 Yöntemlerin Karşılaştırılması	51
5.5 İstatistiksel Analizler	52
5.6 Önerilen Güvenlik Katsayıları.....	62
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR.....	69
EKLER	73
ÖZGEÇMİŞ.....	263

KISALTMALAR

ASTM	: American Society for Testing and Materials
SM	: Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi
SC	: Çevrimli Yükleme Deneyi
QM	: Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi
CRP	: Sabit Penetrasyonlu Yükleme Deneyi
PIT	: Sismik Süreklilik Deneyi
TDR	: Vibrasyon Deneyi
SIT	: Sonik Süreklilik Deneyi



SEMBOLLER

V	: Dalganın fore kazık içerisindeki yayılma hızı
L	: Kazık boyu
Δt	: Zaman değişimi
Δf	: Frekans değişimi
γ	: Betonun birim hacim ağırlığı
A	: Kazık kesit alanı
Q	: Yük
Δ	: Oturma
Q_{ult}	: Kazık taşıma kapasitesi
C_1	: Doğrunun eğimi
C_2	: Doğrunun y eksenini kestiği değer
Δ_{ult}	: Taşıma kapasitesine karşılık gelen oturma değeri
Δe	: Kazığın elastik boy kısalması
E	: Elastisite modülü
X	: Ötelenme
D	: Kazık çapı
K	: Yük - oturma eğrisinin eğimi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : Literatürde yer alan farklı kazık taşıma kapasitesi tanımları.	21
Çizelge 5.1 : Deney kazıklarının özellikleri.	46
Çizelge 5.2 : Kazık yükleme deneyi sonuçları.	47
Çizelge 5.3 : Hesaplanan kazık taşıma kapasiteleri.	49
Çizelge 5.4 : Yöntemlerin karşılaştırılması.	51
Çizelge 5.5 : Farklı yükleme deneyleri için hesaplanan taşıma kapasitelerinin varyasyon katsayıları.	53
Çizelge 5.6 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.	56
Çizelge 5.7: Hesaplanan taşıma kapasitelerinin maksimum deney yüküne oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.	59
Çizelge 5.8 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemlerin karşılaştırılması.	62
Çizelge 5.9 : Önerilen güvenlik katsayıları.	63



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1 : Deney düzeneği planı.	8
Şekil 3.2 : Deney düzeneği boy kesiti.	9
Şekil 3.3 : Osterberg hücresi deney sistemi.	12
Şekil 3.4 : Eksenel çekme deneyi sistemleri.	14
Şekil 3.5 : Tipik yanal yükleme deneyi sistemi.	14
Şekil 4.1 : Farklı yükleme deneylerine ait yük - oturma eğrileri.	19
Şekil 4.2 : Farklı durumlar için karşılaşılabilecek yük - oturma eğrileri.	20
Şekil 4.3 : Brinch - Hansen %80 yöntemi uygulaması.	25
Şekil 4.4 : Brinch - Hansen %90 yöntemi uygulaması.	26
Şekil 4.5 : Butler - Hoy yöntemi uygulaması.	27
Şekil 4.6 : Cambefort - Chadeisson yöntemi oturma - log zaman grafiği.	28
Şekil 4.7 : Cambefort - Chadeisson yöntemi uygulaması.	28
Şekil 4.8 : Chin - Kondner yöntemi uygulaması.	29
Şekil 4.9 : Corps of Engineers yöntemi uygulaması.	31
Şekil 4.10 : Davisson yöntemi uygulaması.	32
Şekil 4.11 : De Beer yöntemi uygulaması.	33
Şekil 4.12 : Decourt yöntemi uygulaması.	34
Şekil 4.13 : Fuller - Hoy yöntemi uygulaması.	35
Şekil 4.14 : Hirany - Kulhawy yöntemi uygulaması.	36
Şekil 4.15 : Housel (Creep) yöntemi uygulaması.	37
Şekil 4.16 : Mazurkiewicz yöntemi uygulaması.	38
Şekil 4.17 : Shen - Niu yöntemi uygulaması.	39
Şekil 4.18 : Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi uygulaması.	40
Şekil 4.19 : Van Der Veen yöntemi uygulaması.	41
Şekil 5.1 : Farklı yükleme deneyleri için hesaplanan taşıma kapasitelerinin varyasyon katsayıları.	55
Şekil 5.2 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.	58
Şekil 5.3 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin maksimum deney yüküne oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.	61
Şekil A.1 : Deney No 1 yük - oturma grafiği.	74
Şekil A.2 : Deney No 2 yük - oturma grafiği.	74
Şekil A.3 : Deney No 3 yük - oturma grafiği.	75
Şekil A.4 : Deney No 4 yük - oturma grafiği.	75
Şekil A.5 : Deney No 5 yük - oturma grafiği.	76
Şekil A.6 : Deney No 6 yük - oturma grafiği.	76
Şekil A.7 : Deney No 7 yük - oturma grafiği.	77
Şekil A.8 : Deney No 8 yük - oturma grafiği.	77
Şekil A.9 : Deney No 9 yük - oturma grafiği.	78
Şekil A.10 : Deney No 10 yük - oturma grafiği.	78
Şekil A.11 : Deney No 11 yük - oturma grafiği.	79

Şekil A.12 : Deney No 12 yük - oturma grafiği.....	79
Şekil A.13 : Deney No 13 yük - oturma grafiği.....	80
Şekil A.14 : Deney No 14 yük - oturma grafiği.....	80
Şekil A.15 : Deney No 15 yük - oturma grafiği.....	81
Şekil A.16 : Deney No 16 yük - oturma grafiği.....	81
Şekil A.17 : Deney No 17 yük - oturma grafiği.....	82
Şekil A.18 : Deney No 18 yük - oturma grafiği.....	82
Şekil A.19 : Deney No 19 yük - oturma grafiği.....	83
Şekil A.20 : Deney No 20 yük - oturma grafiği.....	83
Şekil A.21 : Deney No 21 yük - oturma grafiği.....	84
Şekil A.22 : Deney No 22 yük - oturma grafiği.....	84
Şekil A.23 : Deney No 23 yük - oturma grafiği.....	85
Şekil A.24 : Deney No 24 yük - oturma grafiği.....	85
Şekil A.25 : Deney No 25 yük - oturma grafiği.....	86
Şekil B.1 : Deney No 1 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	87
Şekil B.2 : Deney No 1 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	87
Şekil B.3 : Deney No 1 Butler - Hoy yöntemi.	88
Şekil B.4 : Deney No 1 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	88
Şekil B.5 : Deney No 1 Chin - Kondner yöntemi.	89
Şekil B.6 : Deney No 1 Corps of Engineers yöntemi.	89
Şekil B.7 : Deney No 1 Davisson yöntemi.	90
Şekil B.8 : Deney No 1 De Beer yöntemi.	90
Şekil B.9 : Deney No 1 Decourt yöntemi.	91
Şekil B.10 : Deney No 1 Fuller - Hoy yöntemi.	91
Şekil B.11 : Deney No 1 Hirany - Kulhawy yöntemi.	92
Şekil B.12 : Deney No 1 Mazurkiewicz yöntemi.	92
Şekil B.13 : Deney No 1 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	93
Şekil B.14 : Deney No 1 Van Der Veen yöntemi.	93
Şekil B.15 : Deney No 2 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	94
Şekil B.16 : Deney No 2 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	94
Şekil B.17 : Deney No 2 Butler - Hoy yöntemi.	95
Şekil B.18 : Deney No 2 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	95
Şekil B.19 : Deney No 2 Chin - Kondner yöntemi.	96
Şekil B.20 : Deney No 2 Corps of Engineers yöntemi.	96
Şekil B.21 : Deney No 2 Davisson yöntemi.	97
Şekil B.22 : Deney No 2 De Beer yöntemi.	97
Şekil B.23 : Deney No 2 Decourt yöntemi.	98
Şekil B.24 : Deney No 2 Fuller - Hoy yöntemi.	98
Şekil B.25 : Deney No 2 Hirany - Kulhawy yöntemi.	99
Şekil B.26 : Deney No 2 Mazurkiewicz yöntemi.	99
Şekil B.27 : Deney No 2 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	100
Şekil B.28 : Deney No 2 Van Der Veen yöntemi.	100
Şekil B.29 : Deney No 3 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	101
Şekil B.30 : Deney No 3 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	101
Şekil B.31 : Deney No 3 Butler - Hoy yöntemi.	102
Şekil B.32 : Deney No 3 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	102
Şekil B.33 : Deney No 3 Chin - Kondner yöntemi.	103
Şekil B.34 : Deney No 3 Corps of Engineers yöntemi.	103
Şekil B.35 : Deney No 3 Davisson yöntemi.	104
Şekil B.36 : Deney No 3 De Beer yöntemi.	104

Şekil B.37 : Deney No 3 Decourt yöntemi.....	105
Şekil B.38 : Deney No 3 Fuller - Hoy yöntemi.	105
Şekil B.39 : Deney No 3 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	106
Şekil B.40 : Deney No 3 Mazurkiewicz yöntemi.	106
Şekil B.41 : Deney No 3 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	107
Şekil B.42 : Deney No 3 Van Der Veen yöntemi.....	107
Şekil B.43 : Deney No 4 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	108
Şekil B.44 : Deney No 4 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	108
Şekil B.45 : Deney No 4 Butler - Hoy yöntemi.....	109
Şekil B.46 : Deney No 4 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	109
Şekil B.47 : Deney No 4 Chin - Kondner yöntemi.....	110
Şekil B.48 : Deney No 4 Corps of Engineers yöntemi.	110
Şekil B.49 : Deney No 4 Davisson yöntemi.	111
Şekil B.50 : Deney No 4 De Beer yöntemi.....	111
Şekil B.51 : Deney No 4 Decourt yöntemi.	112
Şekil B.52 : Deney No 4 Fuller - Hoy yöntemi.	112
Şekil B.53 : Deney No 4 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	113
Şekil B.54 : Deney No 4 Mazurkiewicz yöntemi.	113
Şekil B.55 : Deney No 4 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	114
Şekil B.56 : Deney No 4 Van Der Veen yöntemi.....	114
Şekil B.57 : Deney No 5 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	115
Şekil B.58 : Deney No 5 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	115
Şekil B.59 : Deney No 5 Butler - Hoy yöntemi.....	116
Şekil B.60 : Deney No 5 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	116
Şekil B.61 : Deney No 5 Chin - Kondner yöntemi.....	117
Şekil B.62 : Deney No 5 Corps of Engineers yöntemi.	117
Şekil B.63 : Deney No 5 Davisson yöntemi.	118
Şekil B.64 : Deney No 5 De Beer yöntemi.....	118
Şekil B.65 : Deney No 5 Decourt yöntemi.	119
Şekil B.66 : Deney No 5 Fuller - Hoy yöntemi.	119
Şekil B.67 : Deney No 5 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	120
Şekil B.68 : Deney No 5 Mazurkiewicz yöntemi.	120
Şekil B.69 : Deney No 5 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	121
Şekil B.70 : Deney No 5 Van Der Veen yöntemi.....	121
Şekil B.71 : Deney No 6 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	122
Şekil B.72 : Deney No 6 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	122
Şekil B.73 : Deney No 6 Butler - Hoy yöntemi.....	123
Şekil B.74 : Deney No 6 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	123
Şekil B.75 : Deney No 6 Chin - Kondner yöntemi.....	124
Şekil B.76 : Deney No 6 Corps of Engineers yöntemi.	124
Şekil B.77 : Deney No 6 Davisson yöntemi.	125
Şekil B.78 : Deney No 6 De Beer yöntemi.....	125
Şekil B.79 : Deney No 6 Decourt yöntemi.	126
Şekil B.80 : Deney No 6 Fuller - Hoy yöntemi.	126
Şekil B.81 : Deney No 6 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	127
Şekil B.82 : Deney No 6 Mazurkiewicz yöntemi.	127
Şekil B.83 : Deney No 6 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	128
Şekil B.84 : Deney No 6 Van Der Veen yöntemi.....	128
Şekil B.85 : Deney No 7 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	129
Şekil B.86 : Deney No 7 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	129

Şekil B.87 : Deney No 7 Butler - Hoy yöntemi.....	130
Şekil B.88 : Deney No 7 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	130
Şekil B.89 : Deney No 7 Chin - Kondner yöntemi.....	131
Şekil B.90 : Deney No 7 Corps of Engineers yöntemi.	131
Şekil B.91 : Deney No 7 Davisson yöntemi.	132
Şekil B.92 : Deney No 7 De Beer yöntemi.....	132
Şekil B.93 : Deney No 7 Decourt yöntemi.	133
Şekil B.94 : Deney No 7 Fuller - Hoy yöntemi.	133
Şekil B.95 : Deney No 7 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	134
Şekil B.96 : Deney No 7 Mazurkiewicz yöntemi.	134
Şekil B.97 : Deney No 7 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	135
Şekil B.98 : Deney No 7 Van Der Veen yöntemi.	135
Şekil B.99 : Deney No 8 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	136
Şekil B.100 : Deney No 8 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	136
Şekil B.101 : Deney No 8 Butler - Hoy yöntemi.....	137
Şekil B.102 : Deney No 8 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	137
Şekil B.103 : Deney No 8 Chin - Kondner yöntemi.....	138
Şekil B.104 : Deney No 8 Corps of Engineers yöntemi.	138
Şekil B.105 : Deney No 8 Davisson yöntemi.	139
Şekil B.106 : Deney No 8 De Beer yöntemi.....	139
Şekil B.107 : Deney No 8 Decourt yöntemi.	140
Şekil B.108 : Deney No 8 Fuller - Hoy yöntemi.	140
Şekil B.109 : Deney No 8 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	141
Şekil B.110 : Deney No 8 Mazurkiewicz yöntemi.	141
Şekil B.111 : Deney No 8 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	142
Şekil B.112 : Deney No 8 Van Der Veen yöntemi.....	142
Şekil B.113 : Deney No 9 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	143
Şekil B.114 : Deney No 9 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	143
Şekil B.115 : Deney No 9 Butler - Hoy yöntemi.....	144
Şekil B.116 : Deney No 9 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	144
Şekil B.117 : Deney No 9 Chin - Kondner yöntemi.....	145
Şekil B.118 : Deney No 9 Corps of Engineers yöntemi.	145
Şekil B.119 : Deney No 9 Davisson yöntemi.	146
Şekil B.120 : Deney No 9 De Beer yöntemi.....	146
Şekil B.121 : Deney No 9 Decourt yöntemi.	147
Şekil B.122 : Deney No 9 Fuller - Hoy yöntemi.	147
Şekil B.123 : Deney No 9 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	148
Şekil B.124 : Deney No 9 Mazurkiewicz yöntemi.	148
Şekil B.125 : Deney No 9 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	149
Şekil B.126 : Deney No 9 Van Der Veen yöntemi.....	149
Şekil B.127 : Deney No 10 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	150
Şekil B.128 : Deney No 10 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	150
Şekil B.129 : Deney No 10 Butler - Hoy yöntemi.....	151
Şekil B.130 : Deney No 10 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	151
Şekil B.131 : Deney No 10 Chin - Kondner yöntemi.....	152
Şekil B.132 : Deney No 10 Corps of Engineers yöntemi.	152
Şekil B.133 : Deney No 10 Davisson yöntemi.	153
Şekil B.134 : Deney No 10 De Beer yöntemi.....	153
Şekil B.135 : Deney No 10 Decourt yöntemi.	154
Şekil B.136 : Deney No 10 Fuller - Hoy yöntemi.	154

Şekil B.137 : Deney No 10 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	155
Şekil B.138 : Deney No 10 Mazurkiewicz yöntemi.	155
Şekil B.139 : Deney No 10 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	156
Şekil B.140 : Deney No 10 Van Der Veen yöntemi.....	156
Şekil B.141 : Deney No 11 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	157
Şekil B.142 : Deney No 11 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	157
Şekil B.143 : Deney No 11 Butler - Hoy yöntemi.....	158
Şekil B.144 : Deney No 11 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	158
Şekil B.145 : Deney No 11 Chin - Kondner yöntemi.....	159
Şekil B.146 : Deney No 11 Corps of Engineers yöntemi.	159
Şekil B.147 : Deney No 11 Davisson yöntemi.	160
Şekil B.148 : Deney No 11 De Beer yöntemi.....	160
Şekil B.149 : Deney No 11 Decourt yöntemi.	161
Şekil B.150 : Deney No 11 Fuller - Hoy yöntemi.	161
Şekil B.151 : Deney No 11 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	162
Şekil B.152 : Deney No 11 Mazurkiewicz yöntemi.	162
Şekil B.153 : Deney No 11 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	163
Şekil B.154 : Deney No 11 Van Der Veen yöntemi.....	163
Şekil B.155 : Deney No 12 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	164
Şekil B.156 : Deney No 12 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	164
Şekil B.157 : Deney No 12 Butler - Hoy yöntemi.....	165
Şekil B.158 : Deney No 12 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	165
Şekil B.159 : Deney No 12 Chin - Kondner yöntemi.....	166
Şekil B.160 : Deney No 12 Corps of Engineers yöntemi.	166
Şekil B.161 : Deney No 12 Davisson yöntemi.	167
Şekil B.162 : Deney No 12 De Beer yöntemi.....	167
Şekil B.163 : Deney No 12 Decourt yöntemi.	168
Şekil B.164 : Deney No 12 Fuller - Hoy yöntemi.	168
Şekil B.165 : Deney No 12 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	169
Şekil B.166 : Deney No 12 Mazurkiewicz yöntemi.	169
Şekil B.167 : Deney No 12 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	170
Şekil B.168 : Deney No 12 Van Der Veen yöntemi.....	170
Şekil B.169 : Deney No 13 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	171
Şekil B.170 : Deney No 13 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	171
Şekil B.171 : Deney No 13 Butler - Hoy yöntemi.....	172
Şekil B.172 : Deney No 13 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	172
Şekil B.173 : Deney No 13 Chin - Kondner yöntemi.....	173
Şekil B.174 : Deney No 13 Corps of Engineers yöntemi.	173
Şekil B.175 : Deney No 13 Davisson yöntemi.	174
Şekil B.176 : Deney No 13 De Beer yöntemi.....	174
Şekil B.177 : Deney No 13 Decourt yöntemi.	175
Şekil B.178 : Deney No 13 Fuller - Hoy yöntemi.	175
Şekil B.179 : Deney No 13 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	176
Şekil B.180 : Deney No 13 Mazurkiewicz yöntemi.	176
Şekil B.181 : Deney No 13 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	177
Şekil B.182 : Deney No 13 Van Der Veen yöntemi.....	177
Şekil B.183 : Deney No 14 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	178
Şekil B.184 : Deney No 14 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	178
Şekil B.185 : Deney No 14 Butler - Hoy yöntemi.....	179
Şekil B.186 : Deney No 14 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	179

Şekil B.187 : Deney No 14 Chin - Kondner yöntemi.....	180
Şekil B.188 : Deney No 14 Corps of Engineers yöntemi.	180
Şekil B.189 : Deney No 14 Davisson yöntemi.	181
Şekil B.190 : Deney No 14 De Beer yöntemi.....	181
Şekil B.191 : Deney No 14 Decourt yöntemi.	182
Şekil B.192 : Deney No 14 Fuller - Hoy yöntemi.	182
Şekil B.193 : Deney No 14 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	183
Şekil B.194 : Deney No 14 Mazurkiewicz yöntemi.	183
Şekil B.195 : Deney No 14 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	184
Şekil B.196 : Deney No 14 Van Der Veen yöntemi.....	184
Şekil B.197 : Deney No 15 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	185
Şekil B.198 : Deney No 15 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	185
Şekil B.199 : Deney No 15 Butler - Hoy yöntemi.....	186
Şekil B.200 : Deney No 15 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	186
Şekil B.201 : Deney No 15 Chin - Kondner yöntemi.....	187
Şekil B.202 : Deney No 15 Corps of Engineers yöntemi.	187
Şekil B.203 : Deney No 15 Davisson yöntemi.	188
Şekil B.204 : Deney No 15 De Beer yöntemi.....	188
Şekil B.205 : Deney No 15 Decourt yöntemi.	189
Şekil B.206 : Deney No 15 Fuller - Hoy yöntemi.	189
Şekil B.207 : Deney No 15 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	190
Şekil B.208 : Deney No 15 Mazurkiewicz yöntemi.	190
Şekil B.209 : Deney No 15 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	191
Şekil B.210 : Deney No 15 Van Der Veen yöntemi.....	191
Şekil B.211 : Deney No 16 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	192
Şekil B.212 : Deney No 16 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	192
Şekil B.213 : Deney No 16 Butler - Hoy yöntemi.....	193
Şekil B.214 : Deney No 16 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	193
Şekil B.215 : Deney No 16 Chin - Kondner yöntemi.....	194
Şekil B.216 : Deney No 16 Corps of Engineers yöntemi.	194
Şekil B.217 : Deney No 16 Davisson yöntemi.	195
Şekil B.218 : Deney No 16 De Beer yöntemi.....	195
Şekil B.219 : Deney No 16 Decourt yöntemi.	196
Şekil B.220 : Deney No 16 Fuller - Hoy yöntemi.	196
Şekil B.221 : Deney No 16 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	197
Şekil B.222 : Deney No 16 Mazurkiewicz yöntemi.	197
Şekil B.223 : Deney No 16 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	198
Şekil B.224 : Deney No 16 Van Der Veen yöntemi.....	198
Şekil B.225 : Deney No 17 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	199
Şekil B.226 : Deney No 17 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	199
Şekil B.227 : Deney No 17 Butler - Hoy yöntemi.....	200
Şekil B.228 : Deney No 17 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	200
Şekil B.229 : Deney No 17 Chin - Kondner yöntemi.....	201
Şekil B.230 : Deney No 17 Corps of Engineers yöntemi.	201
Şekil B.231 : Deney No 17 Davisson yöntemi.	202
Şekil B.232 : Deney No 17 De Beer yöntemi.....	202
Şekil B.233 : Deney No 17 Decourt yöntemi.	203
Şekil B.234 : Deney No 17 Fuller - Hoy yöntemi.	203
Şekil B.235 : Deney No 17 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	204
Şekil B.236 : Deney No 17 Mazurkiewicz yöntemi.	204

Şekil B.237 : Deney No 17 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	205
Şekil B.238 : Deney No 17 Van Der Veen yöntemi.....	205
Şekil B.239 : Deney No 18 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	206
Şekil B.240 : Deney No 18 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	206
Şekil B.241 : Deney No 18 Butler - Hoy yöntemi.....	207
Şekil B.242 : Deney No 18 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	207
Şekil B.243 : Deney No 18 Chin - Kondner yöntemi.....	208
Şekil B.244 : Deney No 18 Corps of Engineers yöntemi.	208
Şekil B.245 : Deney No 18 Davisson yöntemi.	209
Şekil B.246 : Deney No 18 De Beer yöntemi.....	209
Şekil B.247 : Deney No 18 Decourt yöntemi.	210
Şekil B.248 : Deney No 18 Fuller - Hoy yöntemi.	210
Şekil B.249 : Deney No 18 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	211
Şekil B.250 : Deney No 18 Mazurkiewicz yöntemi.	211
Şekil B.251 : Deney No 18 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	212
Şekil B.252 : Deney No 18 Van Der Veen yöntemi.....	212
Şekil B.253 : Deney No 19 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	213
Şekil B.254 : Deney No 19 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	213
Şekil B.255 : Deney No 19 Butler - Hoy yöntemi.....	214
Şekil B.256 : Deney No 19 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	214
Şekil B.257 : Deney No 19 Chin - Kondner yöntemi.....	215
Şekil B.258 : Deney No 19 Corps of Engineers yöntemi.	215
Şekil B.259 : Deney No 19 Davisson yöntemi.	216
Şekil B.260 : Deney No 19 De Beer yöntemi.....	216
Şekil B.261 : Deney No 19 Decourt yöntemi.	217
Şekil B.262 : Deney No 19 Fuller - Hoy yöntemi.	217
Şekil B.263 : Deney No 19 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	218
Şekil B.264 : Deney No 19 Mazurkiewicz yöntemi.	218
Şekil B.265 : Deney No 19 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	219
Şekil B.266 : Deney No 19 Van Der Veen yöntemi.....	219
Şekil B.267 : Deney No 20 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	220
Şekil B.268 : Deney No 20 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	220
Şekil B.269 : Deney No 20 Butler - Hoy yöntemi.....	221
Şekil B.270 : Deney No 20 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	221
Şekil B.271 : Deney No 20 Chin - Kondner yöntemi.....	222
Şekil B.272 : Deney No 20 Corps of Engineers yöntemi.	222
Şekil B.273 : Deney No 20 Davisson yöntemi.	223
Şekil B.274 : Deney No 20 De Beer yöntemi.....	223
Şekil B.275 : Deney No 20 Decourt yöntemi.	224
Şekil B.276 : Deney No 20 Fuller - Hoy yöntemi.	224
Şekil B.277 : Deney No 20 Hirany - Kulhawy yöntemi.....	225
Şekil B.278 : Deney No 20 Mazurkiewicz yöntemi.	225
Şekil B.279 : Deney No 20 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.....	226
Şekil B.280 : Deney No 20 Van Der Veen yöntemi.....	226
Şekil B.281 : Deney No 21 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	227
Şekil B.282 : Deney No 21 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	227
Şekil B.283 : Deney No 21 Butler - Hoy yöntemi.....	228
Şekil B.284 : Deney No 21 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	228
Şekil B.285 : Deney No 21 Chin - Kondner yöntemi.....	229
Şekil B.286 : Deney No 21 Corps of Engineers yöntemi.	229

Şekil B.287 : Deney No 21 Davisson yöntemi.	230
Şekil B.288 : Deney No 21 De Beer yöntemi.	230
Şekil B.289 : Deney No 21 Decourt yöntemi.	231
Şekil B.290 : Deney No 21 Fuller - Hoy yöntemi.	231
Şekil B.291 : Deney No 21 Hirany - Kulhawı yöntemi.	232
Şekil B.292 : Deney No 21 Mazurkiewicz yöntemi.	232
Şekil B.293 : Deney No 21 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	233
Şekil B.294 : Deney No 21 Van Der Veen yöntemi.	233
Şekil B.295 : Deney No 22 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	234
Şekil B.296 : Deney No 22 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	234
Şekil B.297 : Deney No 22 Butler - Hoy yöntemi.	235
Şekil B.298 : Deney No 22 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	235
Şekil B.299 : Deney No 22 Chin - Kondner yöntemi.	236
Şekil B.300 : Deney No 22 Corps of Engineers yöntemi.	236
Şekil B.301 : Deney No 22 Davisson yöntemi.	237
Şekil B.302 : Deney No 22 De Beer yöntemi.	237
Şekil B.303 : Deney No 22 Decourt yöntemi.	238
Şekil B.304 : Deney No 22 Fuller - Hoy yöntemi.	238
Şekil B.305 : Deney No 22 Hirany - Kulhawı yöntemi.	239
Şekil B.306 : Deney No 22 Mazurkiewicz yöntemi.	239
Şekil B.307 : Deney No 22 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	240
Şekil B.308 : Deney No 22 Van Der Veen yöntemi.	240
Şekil B.309 : Deney No 23 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	241
Şekil B.310 : Deney No 23 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	241
Şekil B.311 : Deney No 23 Butler - Hoy yöntemi.	242
Şekil B.312 : Deney No 23 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	242
Şekil B.313 : Deney No 23 Chin - Kondner yöntemi.	243
Şekil B.314 : Deney No 23 Corps of Engineers yöntemi.	243
Şekil B.315 : Deney No 23 Davisson yöntemi.	244
Şekil B.316 : Deney No 23 De Beer yöntemi.	244
Şekil B.317 : Deney No 23 Decourt yöntemi.	245
Şekil B.318 : Deney No 23 Fuller - Hoy yöntemi.	245
Şekil B.319 : Deney No 23 Hirany - Kulhawı yöntemi.	246
Şekil B.320 : Deney No 23 Mazurkiewicz yöntemi.	246
Şekil B.321 : Deney No 23 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	247
Şekil B.322 : Deney No 23 Van Der Veen yöntemi.	247
Şekil B.323 : Deney No 24 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	248
Şekil B.324 : Deney No 24 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	248
Şekil B.325 : Deney No 24 Butler - Hoy yöntemi.	249
Şekil B.326 : Deney No 24 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	249
Şekil B.327 : Deney No 24 Chin - Kondner yöntemi.	250
Şekil B.328 : Deney No 24 Corps of Engineers yöntemi.	250
Şekil B.329 : Deney No 24 Davisson yöntemi.	251
Şekil B.330 : Deney No 24 De Beer yöntemi.	251
Şekil B.331 : Deney No 24 Decourt yöntemi.	252
Şekil B.332 : Deney No 24 Fuller - Hoy yöntemi.	252
Şekil B.333 : Deney No 24 Hirany - Kulhawı yöntemi.	253
Şekil B.334 : Deney No 24 Mazurkiewicz yöntemi.	253
Şekil B.335 : Deney No 24 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	254
Şekil B.336 : Deney No 24 Van Der Veen yöntemi.	254

Şekil B.337 : Deney No 25 Brinch - Hansen %80 yöntemi.	255
Şekil B.338 : Deney No 25 Brinch - Hansen %90 yöntemi.	255
Şekil B.339 : Deney No 25 Butler - Hoy yöntemi.	256
Şekil B.340 : Deney No 25 Cambefort - Chadeisson yöntemi.	256
Şekil B.341 : Deney No 25 Chin - Kondner yöntemi.	257
Şekil B.342 : Deney No 25 Corps of Engineers yöntemi.	257
Şekil B.343 : Deney No 25 Davisson yöntemi.	258
Şekil B.344 : Deney No 25 De Beer yöntemi.	258
Şekil B.345 : Deney No 25 Decourt yöntemi.	259
Şekil B.346 : Deney No 25 Fuller - Hoy yöntemi.	259
Şekil B.347 : Deney No 25 Hirany - Kulhawy yöntemi.	260
Şekil B.348 : Deney No 25 Mazurkiewicz yöntemi.	260
Şekil B.349 : Deney No 25 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.	261
Şekil B.350 : Deney No 25 Van Der Veen yöntemi.	261





GÖÇME DURUMUNA ULAŞMAMIŞ KAZIK YÜKLEME DENEYLERİNDE NİHAİ KAZIK TAŞIMA KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

ÖZET

Kazık yükleme deneyleri, nihai kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla işyeri sahasında bire bir ölçekte uygulanan güvenilir deneylerdir. Çeşitli araştırmacılar tarafından önerilen yöntemler doğrultusunda teorik olarak kazık taşıma kapasitelerinin hesaplanması mümkün olmaktadır. Ancak, temel altı kazıkların tasarımında yapılan öngörüler ve belirlenen parametreler bazı belirsizlikler içermektedir. Zeminin homojen olmayan yapısı, zemin araştırma çalışmaları esnasında gerçekleşebilecek hatalar sonucu araziden alınan numunelerin sahadaki gerçek durumu temsil etmemesi, tasarımcı tarafından yapılan kabullerin kişiden kişiye farklılık göstermesi gibi nedenlerden dolayı teorik yöntemler ile ulaşılan kazık taşıma kapasitelerinin doğrulanması gerekmektedir. Bu sebeple; tasarımdaki olası hataların düzeltilmesi, aşırı güvenli dizaynların önüne geçilerek daha ekonomik çözümler üretilmesi amacıyla kazık yükleme deneyleri ile gerçek kazık taşıma kapasitelerinin elde edilmesi büyük önem arz etmektedir.

Kazık yükleme deneylerinde, test kazığının göçme durumuna ulaşıncaya kadar yüklenmeye devam edilmesi halinde kazık taşıma kapasitesi yalnızca yük-oturma grafiği yorumlanarak bile kolaylıkla belirlenebilmektedir. Ancak; bazı deneylerde, kazığın göçmesine neden olacak büyüklükteki yükü, test kazığına aktarabilmek için gereken reaksiyon sisteminin (çekme kazıkları, test kirişleri, hidrolik krikolar vb.) kurulumu pratik olarak mümkün olmamaktadır. Bu doğrultuda; tezin konusu olan göçme durumuna ulaşmamış kazık yükleme deneylerinde nihai kazık taşıma kapasitesinin doğru şekilde belirlenmesi gerekmektedir. Aksi halde, yapımı maliyetli ve zaman alıcı bu deneyler esas amacına ulaşmamış olacaktır.

Literatür çalışması kısmında tek bir kazık taşıma kapasitesi değerine ulaşılabilmesi için 40'tan fazla farklı yöntem önerildiği anlaşılmaktadır. Bu doğrultuda; yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilerek hangi yöntemin tercih edileceği önem kazanmaktadır. Tez çalışmasında; büyük bir kısmı göçme durumuna ulaşmamış 25 farklı kazık yükleme deneyi için, farklı araştırmacılar tarafından önerilen ve dünyada genel kabul görmüş yöntemler kullanılarak kazık taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Ayrıca; göçme durumunun deney sonuçlarının yorumlanması üzerindeki etkisine de değinilmesi amacıyla, göçme yüküne kadar devam ettirilmiş bazı deneylere de yer verilmiştir. Deneylerin değerlendirilmesinde; Brinch Hansen %80, Brinch Hansen %90, Butler - Hoy, Cambefort - Chadeisson, Chin - Kondner, Corps of Engineers, Davisson, De Beer, Decourt, Fuller - Hoy, Hirany - Kulhawy, Mazurkiewicz, Teğet (Mansur - Kaufman) ve Van Der Veen olmak üzere 14 farklı yöntem kullanılmıştır.

Ulaşılan veriler ışığında; göçme durumuna kadar devam ettirilmemiş kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesinde Fuller - Hoy, Hirany - Kulhawy, Brinch Hansen %90 ve Davisson yöntemlerinin uygulanabilirliklerinin çok düşük olduğu, tez

alışmasında açıklanan diğ er yöntemlerin ise yüksek oranda başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür. Tüm deney sonuçları göz önüne alındığında; en yüksek taşıma kapasitesi değerine Decourt yöntemi ile, en düşük taşıma kapasitesine ise De Beer yöntemi ile ulaşıldığı anlaşılmıştır.

Bunun dışında; deneyler ve farklı yöntemler için çeşitli veri havuzları oluşturularak istatistiksel analizler yapılmış, standart sapmalar üzerinden varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Bu varyasyon katsayıları doğrultusunda belirsizlikler yorumlanmıştır. Buna göre farklı yöntemlerin; göçme durumuna kadar yüklemeye devam edilen deneylerde, göçme durumuna ulaşmamış deneylere kıyasla birbirine çok daha yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Yöntemlerin belirsizlikleri incelendiğinde ise genel olarak kendi arasında en tutarlı sonuçların Butler - Hoy, Mazurkiewicz ve Corps of Engineers yöntemleri ile, en kararsız sonuçların ise Brinch Hansen %80, Chin - Kondner ve Decourt yöntemleri ile elde edildiği gösterilmiştir.

Ayrıca, aynı deney verileri üzerinde farklı yöntemler uygulanarak elde edilen kazık taşıma kapasiteleri arasında %300' varan büyük mertebe farkları olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda, yöntemler karşılaştırılarak her yöntem için ayrı güvenlik katsayıları önerilmiştir. En büyük güvenlik katsayısı değerini Decourt ve Chin - Kondner yöntemleri, en küçük güvenlik katsayısı değerini ise De - Beer, Cambefoty - Chadeison ve Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemleri almıştır.

THE DETERMINATION OF ULTIMATE PILE BEARING CAPACITY ON PILE LOADING TESTS WHICH HAVE NOT REACHED THE FAILURE STATE

SUMMARY

Pile loading tests are reliable experiments which are performed on one to one scale in the workplace that represents the real soil/rock structure to determine the ultimate pile bearing capacity and confirm the assumptions and calculations made on the design state. In line with the methods which are proposed by various researchers, it can be possible to calculate the pile bearing capacities theoretically. However, the predictions and parameters which are determined in the design state of pile foundations contain some uncertainties. Pile bearing capacities which are reached by theoretical methods should be verified due to the inhomogeneous structure of the ground, the samples taken from the field that may not represent the real state as a result of errors that may occur during the soil survey studies, and the assumptions made by the designer may differ from person to person, even with the same datas, the different pile bearing capacities can be reached. For these reasons, it becomes very important to obtain real pile bearing capacities via pile loading tests in order to correct possible errors and to produce more economical solutions by preventing over designs.

In the pile loading tests, the pile bearing capacity can be easily determined even by just interpreting the load - settlement graph only in case of being continued loading of the test pile until it reaches the failure state. However, generally in loading tests on large diameter bored piles, it is practically not possible to install the system (tensile piles, reaction beams, hydraulic jacks etc.) which is required to transfer the load that is enough to cause the pile fail into the test pile. Accordingly, in pile loading tests, being the subject of the thesis, which have not reached the failure state, the ultimate pile bearing capacity must be determined correctly. Otherwise, these experiments which are costly and time consuming will not reach their main purpose.

In the literature research section, it can be seen that there are more than 40 different methods proposed by different researchers to obtain one single ultimate pile bearing capacity. But most of them are inadequate in evaluating the results because of the settlement criterions they suggest. So, it becomes very important to decide which method to use by judging their positive and negative aspects.

In this thesis study, pile bearing capacities have been calculated for the twenty-five different pile loading tests via using methods which are recommended by different researchers and generally accepted and used in the world. The majority of loading tests (20 of the 25 tests) are choosed from that have not reached the failure state. Also, five tests which have been continued until the failure load have been included for the purpose of mentioning the impact of the failure state on interpretation of the experiment results.

In the evaluation of the experiments, fourteen different methods have been used, namely Brinch Hansen %80, Brinch Hansen %90, Butler - Hoy, Cambefort - Chadeisson, Chin - Kondner, Corps of Engineers, Davisson, De Beer, Decourt, Fuller - Hoy, Hirany - Kulhawy, Mazurkiewicz, Tangent (Mansur - Kaufman) and Van Der Veen.

In the light of the datas obtained, it has been seen that the applicability of the Fuller - Hoy, Hirany - Kulhawy, Brinch Hansen %90 and Davisson methods have been very low in the evaluation of the pile loading tests which have not been continued to the failure state. The main reason of that is the settlement conditions described by these methods cannot be reached for the tests that have not reached the failure state. The other methods which have been explained in this thesis have yielded highly successful results. Considering all test results; it has been understood that the highest bearing capacity values have been reached by Decourt and Chin - Kondner methods. In these two methods, the pile bearing capacities are calculated by mathematical extrapolations and the results are very similar. The lowest bearing capacities have been reached by De Beer method.

Apart from these, statistical analyses have been done by creating various data pools for tests and different methods and variation coefficients have been calculated via standard deviations. Uncertainties have been interpreted in line with these variation coefficients. Accordingly, it has been determined that different methods have given much closer results in tests having been continued until the failure state compared to experiments which have not reached the failure state. According to this, it is recommended that the loading tests shouldn't be ended in very small settlements. The loading tests should be continued as much as the reaction system allows. By this way, as the test load approaches to the failure load, more consistent results can be obtained and the ultimate pile bearing capacities are going to be interpreted more accurately. When the uncertainties of the methods are examined, it has been shown that the most consistent results among themselves are obtained through Butler - Hoy, Mazurkiewicz and Corps of Engineers methods. The most unstable results are obtained through Brinch Hansen %80, Chin - Kondner and Decourt methods on the pile loading tests which have not been continued to the failure state.

In addition, it has been observed that there are big differences, approximately %300, in pile bearing capacities which have been obtained through different methods for the same pile loading test datas. So, it is clear that the same values of safety coefficients cannot be used for all methods. For this reason, by comparing the methods and using Fellenius' suggestions, separate factors of safety have been interpreted for each method. The maximum factor of safety is proposed for the Decourt and Chin - Kondner methods (3.00) which gives the highest bearing capacities, and the minimum factor of safety for the De - Beer, Cambefort - Chadeisson and Tangent (Mansur - Kaufman) methods (1.60) which gives the lowest bearing capacities. These safety coefficients are suggested only for the loading tests that have not reached the failure state because of it has been observed that in the experiments that have reached the failure state, different methods already give similar results.

As a result, the methods can be grouped in three different approaches: extrapolation with mathematical relations, graphical applications and determining a limit settlement value. The assumptions of the designer become very important especially for the graphical methods. For example, how to divide the y-axis (settlement axis) for

Mazurkiewicz method or the tangent drawn on uncomplete plastic part of the load - settlement graph for Tangent (Mansur - Kaufman) method have a big impact on determining the pile bearing capacity. When determining the ultimate pile bearing capacity, it is suggested that it will be a more realistic approach to use more than one method and applying the recommended safety factors for each method. After applying the recommended safety factors, the average of the results can be taken as an ultimate pile bearing capacity. Also, it should be noted that the settlements corresponding to the ultimate pile bearing capacity value is limited by the amount of settlement value allowed by the structure that is carried by the deep foundation.



1. GİRİŞ

Günümüzde; artan nüfus yoğunluğuna bağlı olarak kötü zeminlerde de inşaat faaliyetlerinin gerekli hale gelmesi, daha yüksek yapılar inşa edilmesi sonucu yapı yüklerinin artması nedenleriyle kazıklı temellerin kullanım alanı önemli ölçüde genişlemiştir. Üst yapı yüklerinin temel seviyesinden daha derindeki taşıyıcı tabakalara aktarılması, oturma problemlerinin önüne geçilmesi amacıyla temel altı kazık uygulamaları tüm dünyada yaygın olarak kullanılmaktadır.

Arazi deneyleri, laboratuvar deneyleri ve farklı araştırmacılar tarafından geliştirilen çeşitli yöntemler ışığında kazık taşıma kapasiteleri teorik olarak hesaplanabilmektedir. Ancak, tasarım aşamasında yapılan kabuller ve belirlenen parametreler bazı belirsizlikler içermektedir. Örneğin; araziden alınan numunelerin doğru şekilde alınamaması, testleri yapan kişinin tecrübe eksikliği, test aletlerinin kalibrasyonu, zeminin homojen olmayan yapısı vb. birçok durumun göz önüne alındığında belirlenen zemin parametrelerinin gerçek zemin yapısını yansıtmaması mümkündür. Ayrıca, zemin parametreleri belirlenirken tasarımcının öngörülleri ve yaptığı kabuller kişiden kişiye değişmektedir. Öyle ki, aynı test verileri ile farklı kazık taşıma kapasiteleri elde edilebilmektedir. Bu doğrultuda; elde edilen sonuçlar bazı durumlarda yetersiz, bazı durumlarda ise aşırı güvenli tarafta kalmaktadır.

Tasarımda yapılan kabullerin, tahmin edilen kazık taşıma kapasitesinin doğrulanması, varsa hesaplamalardaki yanlışların düzeltilmesi amacıyla farklı teknikler ile kazık yükleme deneyleri uygulanabilmektedir. Söz konusu deneyler; işyeri sahasında, kazıkların teşkil edileceği zemin ve kaya birimlerde gerçekleştirilmesi nedeniyle gerçek şartları yansıtan, güvenilir sonuçlar vermektedir. Kazık tasarımı, kazık yükleme deneylerinden elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapılarak işin maliyeti ve süresi azaltılabilmekte, başka bir deyişle daha ekonomik tasarımlar yapılabilmektedir.

Farklı kazık yükleme deneyi teknikleri arasında en sık uygulanan yükleme türü statik eksenel basınç deneyidir. Buna göre; deney kazığı, öngörülen yüke kadara

yüklenerek yük - oturma, yük - zaman, oturma - zaman vb. grafikler elde edilir. Söz konusu veriler ışığında kazık taşıma kapasitesi ve belirlenen yüklerde kazığın yapacağı oturma miktarı yorumlanır. Yükleme deneylerinin göçme yüküne kadar devam ettirilmesi halinde kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi kolaydır. Ancak; bazı durumlarda göçme yükünün büyüklüğü göz önüne alındığında, söz konusu yükü test kazığına uygulayabilmek için kurulacak reaksiyon sisteminin (çekme kazıkları, test kirişleri, hidrolik krikolar vb.) maliyetinin çok fazla olması nedeniyle deneyler göçme yüküne kadar devam ettirilmez. Deneyin göçme durumuna kadar devam ettirilmediği durumlarda, elde edilen veriler doğrultusunda çeşitli yöntemler kullanılarak kazık taşıma kapasitesinin doğru şekilde yorumlanması büyük önem taşır.

Bu tez çalışmasında; temel altı kazıklar ve kazıklar üzerinde uygulanan deneyler hakkında bilgi verilmiştir. Kazık yükleme deneyi teknikleri arasında en sık uygulanan, aynı zamanda bu çalışmada uygulanan deney yöntemi olan statik eksenel basınç deneyi detaylandırılmıştır. Yükleme deneyi sonuçları doğrultusunda kazık taşıma kapasitesinin hesaplanmasında kullanılan yöntemler ile ilgili literatür araştırması yapılarak geniş alanda kabul görmüş 16 farklı yöntem açıklanmıştır. Büyük çoğunluğu göçme durumuna kadar yüklenmemiş toplam 25 adet kazık yükleme deneyi üzerinde, açıklanan 14 farklı yöntem kullanılarak kazıkların taşıma kapasiteleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; yöntemlerin uygulanabilirlikleri değerlendirilmiş, istatistiksel analizler yapılarak yöntemlerin belirsizlikleri yorumlanmıştır. Ayrıca, her yöntem için ayrı güvenlik katsayıları önerilmiştir.

2. TEMEL ALTI KAZIKLAR

Bu bölümde; temel altı kazıkların tanımı, kullanım amacı ve sınıflandırılması açıklanmıştır. Tez çalışmasında incelenen 25 farklı kazık yükleme deneyinin uygulandığı kazık türü olan fore kazıkların yapım yöntemi hakkında bilgi verilmiştir. Ayrıca, kazıklarda kalite kontrolüne değinilmiştir.

2.1 Tanım ve Kullanım Amacı

Üstyapı yüklerinin taşıyıcı niteliği yeterli olmayan tabakalardan, daha derinde bulunan taşıyıcı zemin ya da kaya birimlere aktarılmasını sağlayan, genellikle dairesel kesitli yapı elemanlarıdır. Yapı temellerinin altında basınca karşı çalışmasının yanında; deniz platformları gibi temelleri su seviyesinin altında bulunan yapılarda kaldırma etkisine karşı da kullanılabilir. Ayrıca, yüksek yapılarda deprem durumunda oluşacak yanal yüklerin karşılanması amacıyla da kazıklı temeller tasarlanmaktadır.

Temel altı kazıkların kullanımı çok eski dönemlere dayanmaktadır. İsviçre’de yaklaşık 12000 yıl önceki evler, sığ göl tabanlarına çakılan ahşap kazıklar üzerine inşa edilmiştir. Roma döneminde Ren Nehri’ni geçen köprülerin ayakları aynı şekilde ahşap kazıklar ile desteklenmiştir. Ülkemizde ise zayıf zeminler üzerine inşa edilmiş Dolmabahçe Sarayı, Küçüksu Kasrı, Yeni Cami gibi birçok tarihi yapının temellerinde ahşap kazıklar kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda daha yüksek inşaatların, daha ağır yapıların yapılmasıyla betonarme ve çelik kazıkların kullanımı yaygınlaşmıştır. [1]

2.2 Kazıkların Sınıflandırılması

Kazıklar; yapıldıkları malzeme, yükü zemine aktarma mekanizması ve imalat yöntemlerine göre sınıflandırılabilir.

2.2.1 Yapıldıkları Malzemeye Göre Kazıklar

Kazıklar, yapıldıkları malzemeye göre ahşap, çelik, betonarme ve kompozit kazıklar olmak üzere dört grupta incelenebilirler.

2.2.2 Yüğü Zemine Aktarma Mekanizmasına Göre Kazıklar

Yüğü zemine aktarışı düşünüldüğünde kazıklar ikiye ayrılabilir: sürtünme kazığı ve uç kazığı.

Kazıklar imal edildikleri zemin profiline bağlı olarak, yükleri genellikle hem çevre sürtünmesi hem de uç direnci ile taşırlar. Eğer yükün büyük kısmı kazığın etrafında oluşan çevre sürtünmesi ile taşınıyorsa bu tür kazıklara sürtünme kazığı adı verilir. Çevre sürtünmesinin ihmal edilebilecek kadar küçük olduğu, yüklerin kazığın sağlam zemin ya da kaya birimlere oturan uç kısmı ile taşındığı türdeki kazıklar uç kazık olarak adlandırılır. [2]

Eksenel yük etkisi altında bir kazık zemine göre aşağı yönde hareket eder. Bu hareket yaklaşık 5 - 10 mm mertebesine ulaştığında çevre sürtünmesinin tamamının mobilize olduğu söylenebilir. Uç direncinin tamamının mobilize olabilmesi için ise kazık tabanının, fore kazıklarda çapın %30'u kadar hareket etmesi gerekir. [3]

2.2.3 İmalat Yöntemlerine Göre Kazıklar

Kazıklar, imalat yöntemlerine göre iki ayrı grupta incelenebilir: çakma kazıklar ve delme kazıklar.

Çakma kazıklar; önceden imal edilmiş, genellikle betonarme, çelik veya ahşap elemanların darbe, titreşim ya da itme etkisi ile zemine yerleştirilmesi ile yapılır. Ayrıca; alt ucu kapalı, içi boş bir çelik borunun zemine çakılıp içerisinde betonlanması veya boş bırakılması ile kazıklar işyeri sahasında da imal edilebilir. Çakma kazık uygulamalarında kazığın zemine yerleştirilmesi sırasında zemin yanlara ve aşağıya doğru itilir, zeminde delgi yapılmaz.

Delme kazıklar; zeminde açılan bir deliğin içerisine donatı kafesi indirilmesi ve betonlanması ile oluşturulan kazıklardır. Çaplarına göre mini kazık ve fore kazık olarak tanımlanabilirler. Genellikle 25 cm ve 30 cm çapındaki kazıklar mini kazık, 65 cm ve daha büyük çaplı kazıklar fore kazık olarak adlandırılır.

2.3 Fore Kazık Yapım Yöntemi

Fore kazıklar, çapları 65 cm ve daha büyük delme kazıklardır. Zeminde dairesel kesitli bir delik açıldıktan sonra içerisine donatı kafesi indirilmesi ve betonlanması ile imal edilirler.

Delgi işlemi sırasında karşılaşılan zemin/kaya özelliklerine göre auger, bage ya da karotiyer ile ilerlenir. Foraj yapılırken kendini tutamayan zeminler ile karşılaşılması durumunda, kuyu çeperinin yıkıntı yapmasını önlemek için genel olarak üç çözüm yolundan bahsedilebilir. Bunlardan ilki, foraj yapılan kuyunun su ile doldurularak yıkıntı yapan zemine karşı bir etki oluşturulmasıdır. Su doldurulması yeterli olmuyorsa bentonit solüsyonu kullanılabilir. Buna göre; bentonit belli oranda su ile karıştırılarak bir havuzda dinlendirilir ve bulamaç halini alır. Bu solüsyon kuyuya doldurulur, beton dökülürken tekrar havuza aktarılır. Diğerk alternatifi ise geçici muhafaza borusu kullanılmasıdır. Bu muhafaza boruları; kendini tutamayan zeminin derinliğı ve sıklılığına göre, baskı ve rotasyon, vibrasyonlu eki ya da hidrolik osilatör kullanılarak yerleştirilir, betonlama işleminden sonra geri çekilir.

İstenilen ap ve derinlikteki delgi tamamlandıktan sonra, hazırlanmış donatı kafesi kuyu içerisine indirilir. Donatı kafeslerinin bindirmeleri bağıteli, kaynak ya da çok ağır olması halinde klemens kullanılarak yapılır. Bu işlemi takiben kuyu içerisine tremi borusu indirilir ve kuyu dibinden yaklaşık 30 cm kaldırılarak betonlamaya başlanır. Beton, tremi borusunun içerisinden dklerek segregasyon önlenir. Betonlama işlemi boyunca tremi borusunun en az 2 metresi betonun içerisinde kalmalıdır, böylece yeraltı suyunun beton ile karışmaması sağılanır. Betonlamaya, kuyu ağızından temiz beton gelene kadar devam edilir.

Fore kazık tasarımı, imalatı ve imalat kalite kontrolleri TS EN 1536+A1’de [4] detaylı olarak açıklanmaktadır.

2.4 Kalite Kontrolü ve Tasarımın Doğırulanması

Temel altı kazıklar, yeraltında teşkil edilmesi nedeniyle, imatları tamamlandıktan sonra oluşturulan kazık kalitesi (betonun segregasyonu, kesitte süreksizlikler vb.) göz ile anlaşılamaz. Bu nedenle; gerek imalat kalitesinin denetlenmesi, gerekse tasarım aşamasında belirlenen zemin parametreleri ve ampirik eşitlikler ile tahmin edilen

nihai taşıma kapasitesinin doğrulanması amacıyla kazıklar üzerinde çeşitli deneyler yapılmalıdır.

Bu deneyler Bölüm 3'te; statik yükleme deneyleri ve süreklilik deneyleri olarak iki grup altında açıklanmıştır.



3. KAZIKLAR ÜZERİNDE UYGULANAN DENEYLER

Bu bölümde, temel altı fore kazıklar üzerinde yaygın olarak uygulanan deneyler; statik deneyler ve süreklilik deneyleri olmak üzere iki grup altında detaylı şekilde açıklanmıştır.

3.1 Statik Yükleme Deneyleri

Statik yükleme deneyleri, nihai kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi amacıyla en sık kullanılan deney yöntemidir. Test kazığı, belirlenen yükler altında belirlenen süre boyunca bekletilerek meydana gelen yer değiştirmelerin kaydedilmesiyle uygulanır. Kazığın çalışma prensibine göre basınç, çekme ya da yanıl yük etki ettirilebilir.

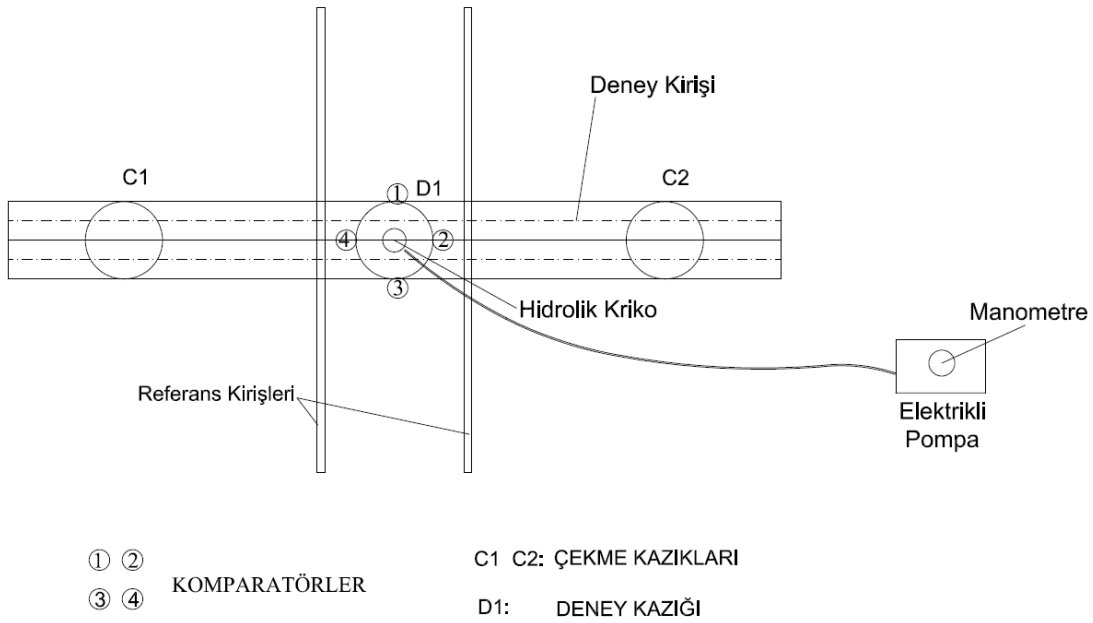
Yüklemelerin göçme durumuna kadar devam ettirilmesi, kazık taşıma kapasitenin belirlenmesini kolaylaştırır. Ancak, bazı durumlar için göçme yükü çok büyüktür ve bu yükü kazığa uygulayabilmek için gereken deney sisteminin maliyeti çok fazladır. Bu nedenle yüklemeler genellikle servis yükünün 2 katına kadar devam ettirilerek elde edilen kayıtların yorumlanması sonucu kazık taşıma kapasitelerine ulaşılır.

3.1.1 Eksenel Basınç Deneyi

Fore kazıkların nihai taşıma kapasitesi ve kazığın belirlenen yüklerde yapacağı oturmaları belirlemek amacıyla en sık başvuru olan yöntemdir. Buna göre; öncelikle deneyin uygulanacağı test kazığı ve yükün uygulanmasını sağlayacak sayıda ve derinlikte çekme kazıkları imal edilir. Çekme kazıkları, test kazığından en az 2 metre ve kazık çapının 5 katı (hangisi büyük ise) mesafede teşkil edilmelidir. Test kazığının üst kısmındaki zayıf beton kırılır ve yeni bir betonarme kazık başlığı teşkil edilir. Yükleme esnasında kazık başlığına zarar gelmesini önlemek, uygulanan yükü eşit şekilde dağıtmak amacıyla başlığın üzerine uygun kalınlıkta çelik plaka yerleştirilir. Bu plakanın üzerine ise, uygulanacak yük doğrultusunda yeterli sayıda hidrolik krikol merkezlenecek şekilde konumlandırılarak eksantrik yüklemeden kaçınılır. Birbirine dik doğrultuda test girişleri, çekme kazıklarına çelik askı kolları ile bağlanır. Yükleme deneyi sırasında oluşacak oturmaları ölçmek amacıyla kazık başlığının etrafına 4 adet 0.01 mm hassasiyetli komparatör yerleştirilir. Komparatörlerin ucu,

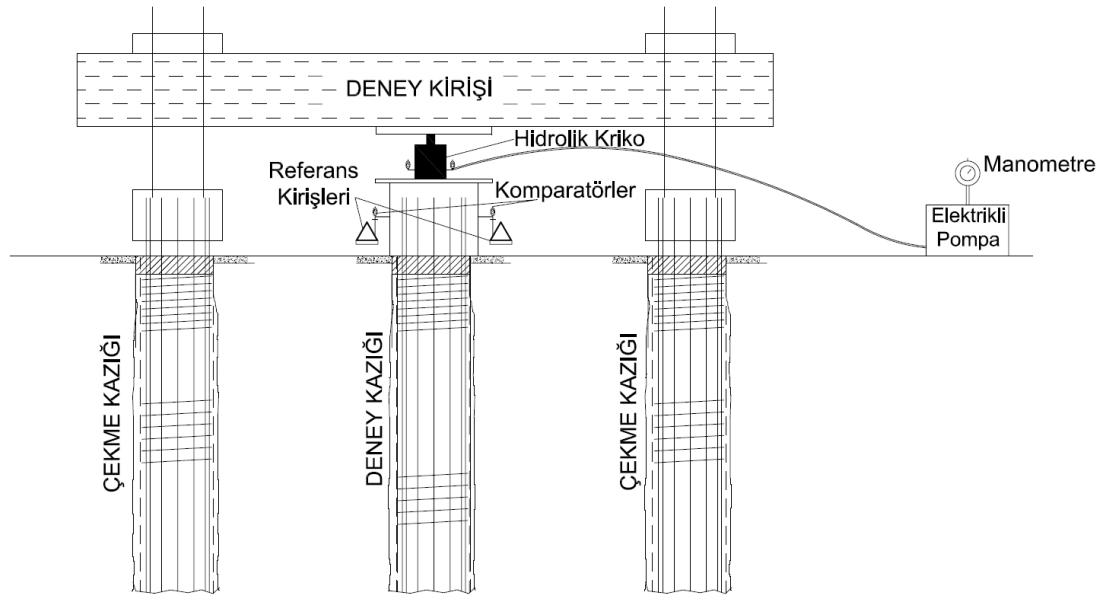
referans kirişlerine yaslanır. Referans kirişlerinin bir ucu sabit diğer ucu ise kayıcı olarak mesnetlenerek sıcaklık değişimleri sonucu oluşabilecek boy değişimine bağlı eğilmelerin önüne geçilir.

Test kazığına uygulanan yükün arttırılması ve azaltılması, hidrolik krikolar ve bu krikolara eş zamanlı kumanda eden hidrolik pompa ile gerçekleştirilir. Uygulanan basınç, hidrolik pompa üzerindeki manometreden okunarak yükleme programındaki yüke tahvil edilir. Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de örnek bir yükleme deneyi sistemi için plan ve kesit verilmiştir.



Şekil 3.1 : Deney düzeneği planı.

Test kazığına uygulanan yük ve uygulanan yük sonucu oluşan oturumların okunmasında hata yapılmaması için hidrolik kriko, hidrolik pompa ve komparatörlerin kalibrasyonlarının yapılmış olması büyük önem taşır. Ayrıca; kullanılan tüm deney kirişleri ve çekme kazığı ile kiriş bağlantı elemanları, uygulanan basınç ve çekme yüklerini güvenle karşılayabilecek ebatlarda olmalıdır.



Şekil 3.2 : Deney düzeneği boy kesiti.

Çekme kazıklı sistemlere alternatif olarak, deney yükünün az olması durumunda ölü yük ile yükleme de yapılabilir. Uygulamalarda ölü yük olarak beton blok, çelik kiriş, donatı demeti, su tankı kullanılabilmektedir.

Eksenel basınç deneyleri, yüklemenin yapıma biçimine göre ASTM D1143 / D1143M - 07'de [5] yedi grupta incelenmektedir. Bu başlıkta, içlerinde yaygın olarak uygulanan; yavaş adımlı, hızlı adımlı, çevrimli ve sabit penetrasyonlu yükleme deneyleri açıklanmıştır.

3.1.1.1 Yavaş Adımlı Yükleme Deneyi (SM)

ASTM D 1143 / D1143M - 07'de standart yükleme deneyi olarak adlandırılır. Kazık, tasarım yükünün %200'üne kadar kademeli olarak yüklenir. Yükleme; tasarım yükünün %25, %50, %75, %100, %125, %150, %175, %200'ü olacak şekilde eşit arttırmalar ile gerçekleştirilir. Her yük kademesinde, oturma hızı 0.25 mm/saat'in altına düşene kadar ancak 2 saatten fazla olmamak şartıyla beklenir. Tasarım yükünün %200'ünde ise 0.25 mm/saat oturma koşulu sağlanıyorsa 12 saatin sonunda, sağlanmıyorsa 24 saat sonunda yük yine %25'lik kademeler ile boşaltılır. Her boşaltma kademesinde 1 saat beklenir.

Her yeni yükleme/boşaltma adımının öncesinde ve sonrasında belirli aralıklarla zaman, yük ve oturma değerleri kaydedilmelidir. Her yük kademesinde, ilk yarım saat boyunca en fazla 10 dakikalık aralıklarda okumalar alınmalıdır. Deney yükünde

ise; ilk 2 saat boyunca en fazla 20 dakika, sonraki 10 saat boyunca en fazla 1 saat, sonraki 12 saat boyunca ise en fazla 2 saat arayla oturma değerleri kaydedilmelidir. Boşaltma kademelerinde en fazla 20 dakika aralıklar ile kayıtlar alınır. Sisteme uygulanan yük tamamen kaldırıldıktan 12 saat sonra son okuma alınarak deney tamamlanır.

Tasarım yükünün %200'üne ulaşılmadan göçme gerçekleşmesi durumunda; test kazığının, göçmenin olduğu yük kademesinde kazık çapının %15'i kadar oturma yapmasına izin verildikten sonra yük boşaltılmalıdır.

Deney süresinin çok uzun olmasına karşın; elde edilen yük, oturma, zaman verileri doğrultusunda değerlendirme yapmanın kolay olması ve buna bağlı olarak en yaygın uygulanan eksenel basınç deneyi türü olması avantajlarındandır.

3.1.1.2 Çevrimli Yükleme Deneyi (SC)

Yükleme ve boşaltma işlemleri yavaş adımlı yükleme deneyinde olduğu gibi tasarım yükünün %25'ine eşit kademelerde artırılır ve azaltılır. Uygulanan yük, tasarım yükünün %50'sine ulaştığında 1 saat beklenir ve aynı kademelerde 20 dakika beklenerek boşaltılır, ilk çevrim tamamlanmış olur. İkinci çevrimde tasarım yükünün %100'üne, üçüncü çevrimde %150'sine kadar yük uygulanır. Her çevrimin yükleme aşamasında, bir önceki çevrimdeki maksimum yüke ulaşınca kadar tasarım yükünün %50'sine eşit kademeler ile ve her kademedede 20 dakika beklenerek yük uygulanır. İstenilen deney yüküne ulaşıncaya kadar tasarım yükünün %50'sine eşit kademeler ile ve her kademedede 20 dakika beklenerek yük uygulanır. İstenilen deney yüküne ulaşıncaya kadar tasarım yükünün %50'sine eşit kademeler ile ve her kademedede 20 dakika beklenerek yük uygulanır. İstenilen deney yüküne ulaşıncaya kadar tasarım yükünün %50'sine eşit kademeler ile ve her kademedede 20 dakika beklenerek yük uygulanır. İstenilen deney yüküne ulaşıncaya kadar tasarım yükünün %50'sine eşit kademeler ile ve her kademedede 20 dakika beklenerek yük uygulanır. İstenilen deney yüküne ulaşıncaya kadar tasarım yükünün %50'sine eşit kademeler ile ve her kademedede 20 dakika beklenerek yük uygulanır.

Tekrarlı yüklemelerin söz konusu olduğu projelerde uygulanabilir.

3.1.1.3 Hızlı Adımlı Yükleme Deneyi (QM)

Kazık, tasarım yükünün %10-15'ine eşit kademelerde, her kademedede 2.5 dakika beklenerek yüklenir. Deney yüküne ulaşıldığında 5 dakika beklenir ve yük boşaltılır. Boşaltma işlemi 4 eşit adımda ve her adımda 5 dakika beklenerek yapılır. Her yeni yükleme adımından hemen önce ve sonra zaman, yük ve oturma değerleri kaydedilir. Deney yükünde ve boşaltma kademelerinde ise her 2.5 ve 5. dakikalarda okumalar alınmalıdır.

Deney süresi çok hızlıdır ve yaklaşık olarak drenajsız koşulu temsil eder. Elde edilen sonuçlar oturma analizleri açısından yorumlanmaya uygun değildir. Kazık kanıtlama deneylerinde kullanılması önerilir.

3.1.1.4 Sabit Penetrasyonlu Yükleme Deneyi (CRP)

Yükleme; istenilen sabit oturma hızına ulaşıncaya kadar yük arttırılarak yapılır. Oturma hızı; kohezyonlu zeminler için 0.25 - 1.25 mm/dak, granüler zeminler için 0.75 - 2.50 mm/dak olmalıdır. Bu oturma hızını sağlayan yükte; toplam oturma, kazık çapının en az %15'ine eşit olana kadar beklenir. Maksimum yükte kazığın oturmasının durması durumunda deney sonlandırılır.

Deneyin süresi olarak aynı oturma hızında yapılması önemlidir. Sabit oturma hızının sağlandığının kanıtlanması amacıyla en fazla 30 saniye aralıklar ile zaman, yük ve oturma değerleri kaydedilmelidir. İstenilen oturma hızına ulaşıldığında da uygulanan maksimum yük ve diğer verilerin kaydına devam edilmelidir. Yük tamamen kaldırıldıktan hemen sonra ve 1 saat sonrasında son kayıtlar alınarak deney sonlandırılır.

Deney, genellikle 1 saatten kısa sürer. Sürtünme kazıklarının nihai taşıma kapasitesinin belirlenmesi için uygun bir yöntemdir. Ancak, uç kazıkları için gerekli sabit oturma hızını sağlayabilecek yük ve yük aktarımını sağlayacak reaksiyon sisteminin çok büyük olması nedeniyle bu tip kazıklarda uygulanması pratik değildir.

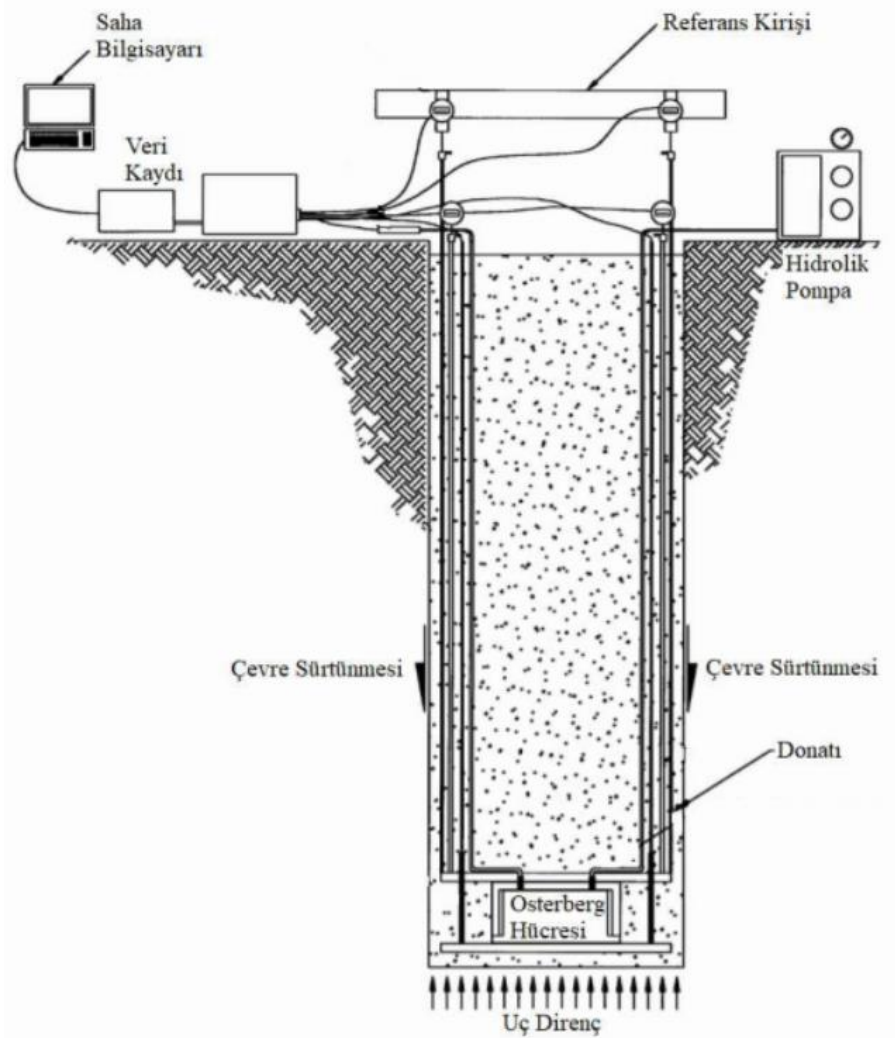
3.1.2 Osterberg Hücresi

Yüksek kapasitedeki kazık yükleme deneylerinde yükü deney kazığına aktarabilmek için çok yüksek maliyetlerde reaksiyon sistemi (çekme kazıkları, deney kırıları, hidrolik krikolar) gerekmektedir. Gerekli reaksiyon sisteminin kurulumunun mümkün/pratik olmadığı durumlarda Osterberg hücresi adı verilen bu yöntem ile reaksiyon sistemine gerek olmadan kazıklar çok yüksek tonajlarda test edilebilir. Standart eksenel basınç deneyinde kazık, başlık kırışi üzerine yerleştirilen hidrolik krikolar yardımıyla yüklenirken bu yöntemde kazık imalatı esnasında donatı kafesinin içerisine yerleştirilen bir kriko sistemi yardımıyla deney kazığının alt ucundan çift yönlü olarak yüklenir. Yükleme sonucu kazığın ve Osterberg hücresinin hareketi ile mobilize olan çevre sürtünmesi ve uç direnç, kazık içerisine farklı

derinliklerde yerleştirilmiş enstrümanlar yardımıyla ayrı ayrı ölçülebilir [6]. Şekil 3.3'te Osterberg hücresi deney sistemine ait örnek bir kesit verilmiştir.

Kazığın nihai çevre sürtünmesine veya nihai uç direncine ulaşıldığında deney tamamlanmış olur. Ölçülen çevre sürtünmesi ve uç direnç için iki ayrı yük - oturma grafiği elde edilir. İkisi için de nihai taşıma kapasitesi, standart eksenel basınç deneyinde kullanılan yöntemler ile belirlenebilir.

Deney tamamlandığında kullanılan Osterberg hücresi geri alınamaz ancak standart eksenel basınç deneylerinde aynı büyüklükteki yüklere ulaşabilmek için kurulması gereken reaksiyon sisteminin maliyeti ve zamanı göz önüne alındığında Osterberg hücresi uygulamasının daha ekonomik olduğu söylenebilir.



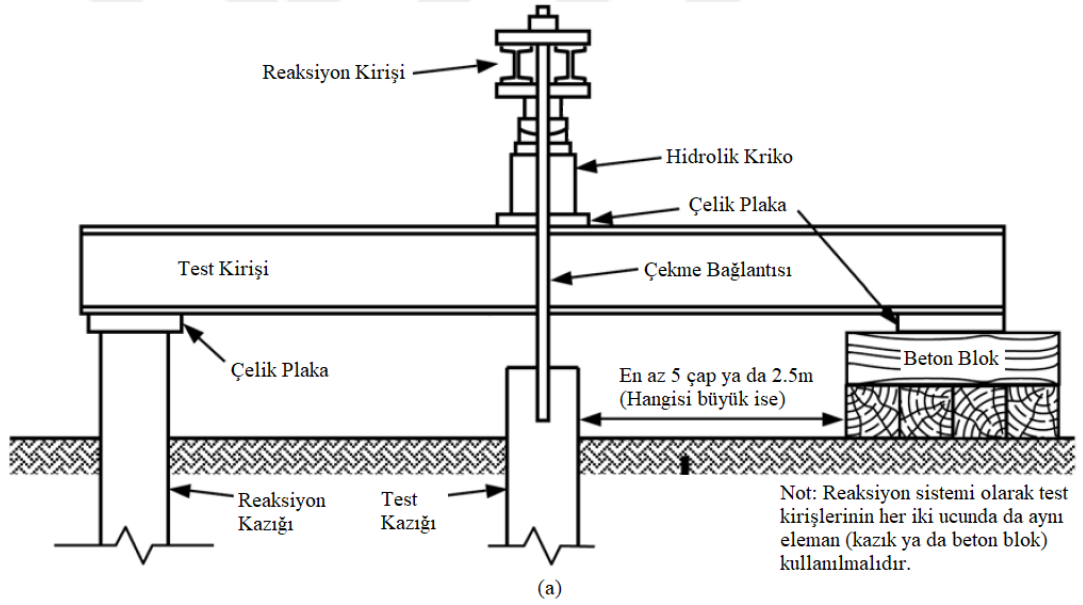
Şekil 3.3 : Osterberg hücresi deney sistemi.

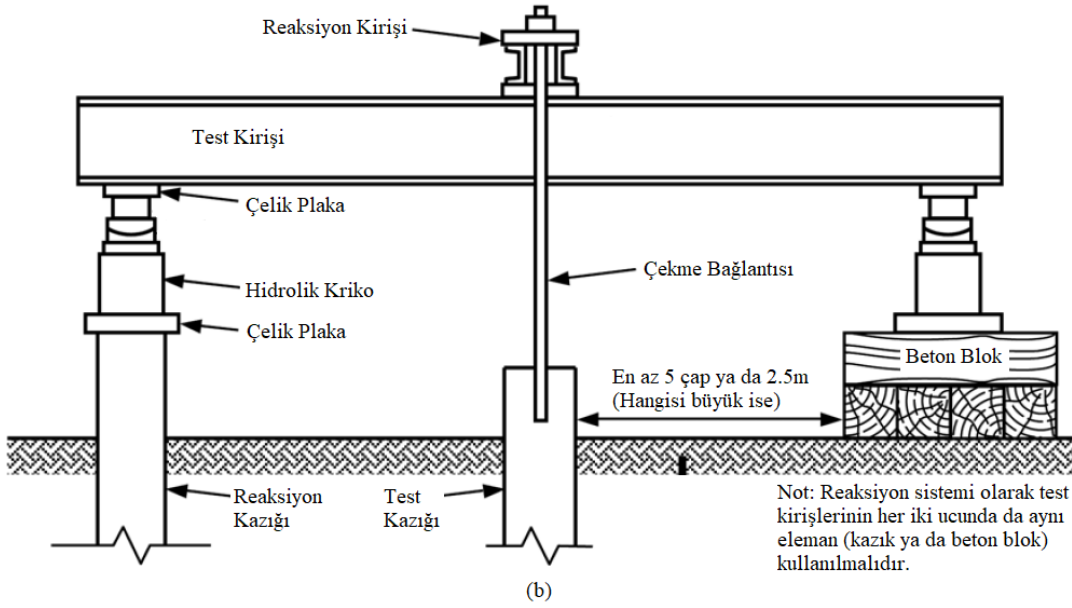
2010 yılında Amerika'nın Missouri eyaletinde yapılan 36.000 tonluk deney, literatürde şimdiye kadar yapılan en yüksek kapasiteli kazık yükleme deneyi olarak yer almaktadır [7].

3.1.3 Eksenel Çekme Deneyi

Temel altı kazıklar her zaman yalnızca basınca karşı çalışacak şekilde tasarlanmazlar. Şöyle ki; deniz platformları gibi temelleri su seviyesinin altında bulunan yapılarda suyun kaldırma kuvveti ya da baca, kule gibi yüksek yapılarda rüzgar etkisi ile oluşan devrilme momentleri sonucu çekme yüklerine karşı koyacak çalışırlar. Bu tür kazıklar üzerinde eksenel çekme deneyleri uygulanarak çekme kapasitelerini belirlenmesi mümkündür.

Kazığa gelen çekme yüklerini temsil etmek için kurulabilecek deney sistemleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.





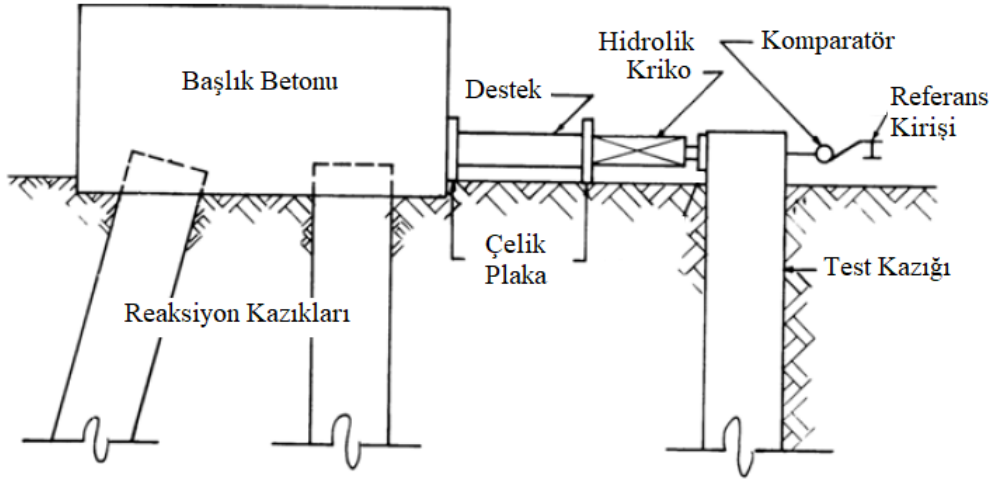
Şekil 3.4 : Eksenel çekme deneyi sistemleri.

Deney sisteminin kurulumu ve deneyin yapılaş şekli eksenel basınç deneyi ile benzer olup test kazığına çekme uygulanarak oluşan yer değiştirmelerin kaydedilmesi ile gerçekleştirilir.

Eksenel çekme deneyi yapım yöntemi ASTM D3689 / D3689M - 07’de [8] detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.1.4 Yanal Yükleme Deneyi

Liman yapılarına etkiyen dalga, gemi çarpma yükleri ya da deprem ile oluşan yanal yüklere karşı tasarlanan kazıklarda uygulanır. Kazığa gelen yanal yükleri temsil etmek için kurulabilecek tipik deney sistemi Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



Şekil 3.5 : Tipik yanal yükleme deneyi sistemi.

Reaksiyon sistemi olarak kazıklar yerine ahşap ya da beton bloklardan da destek alınabilir. Deney kazığına uygulanan yanal yükler sonucu oluşan yer değiştirmeler kaydedilir.

Yanal yükleme deneylerinin yapım yöntemi ASTM D3966 / D3966M – 07’de [9] detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.2 Süreklilik Deneyleri

Süreklilik deneyleri; betonarme kazık boyunca kesitte herhangi bir daralma, genişleme, çatlak ya da süreksizlik olup olmadığını belirlemek amacıyla uygulanan tahribatsız dinamik testlerdir. Esas amaç imalat kalitesini kontrol etmek olup nihai kazık taşıma kapasitesi hakkında fikir vermez.

Süreklilik deneyleri, ASTM D5882 - 16’da [10] detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.2.1 Sismik Süreklilik Deneyi (PIT)

Fore kazık başında yaklaşık 0.5 kg ağırlığında özel bir çekiç ile oluşturulan darbenin yine fore kazık başına yerleştirilen bir ivmeölçer ile kaydedilmesi esasına dayanır. Buna göre; açığa çıkarılmış ve temizlenmiş fore kazık başına vurulan çekiğin oluşturduğu basınç dalgaları, kesit boyunca ilerleyerek kazık ucundan veya kazık içerisindeki süreksizlikten geri yansır. Vuruş anı ile dalganın geri ulaşma anı arasında geçen süre ve yansıyan dalganın büyüklüğü kaydedilir. Deney, bir kazık için üç defa tekrarlanır. Saha bilgisayarı yardımıyla kaydedilen bu veriler, bu deney için geliştirilmiş yazılımlar kullanılarak analiz edilir.

$$V = 2L/\Delta t \quad (3.1)$$

V = Dalganın fore kazık içerisindeki yayılma hızı

L = Kazık boyu

Δt = Vuruş anı ile dalganın geri ulaşma anı arasında geçen süre

Deney sonuçları değerlendirilirken amaç kazık boyunu bulmak değildir. Kazık boyu veri olarak girilir. Beton kalitesine bağlı olarak dalga yayılma hızının yaklaşık 3750 m/s olduğu bilinmektedir. Buna göre; darbe sonucu oluşan ivme sinyali, ivmeölçerler ile algılanarak kaydedilir. Bu değer, nümerik yöntemler ile hız sinyaline çevrilir. Kazık kesiti boyunca kesit/malzeme değişikliklerinden ve kazık ucundan yansıyan

sinyaller de aynı şekilde hız sinyali olarak kaydedilir. Bu sinyal, hıza bağlı bir değişken olup geçen zamanın tam olarak bilinmesinden faydalanılarak alınan yansımaların konumu tespit edilebilir. Bunun için sinyal, derinliğe bağlı bir fonksiyona dönüştürülür. Elde edilen derinliğe bağlı hız grafiği değerlendirilerek kazık boyunca olası daralma, genişleme, kırıklar ve süreksizlikler hakkında yorum yapılabilir.

Kısa süreli ve ekonomik olması deneyin en büyük avantajıdır. Öyle ki; aynı gün içerisinde yüzlerce kazık test edilebilir.

3.2.2 Vibrasyon Deneyi (TDR)

Deneyin yapılış şekli sismik süreklilik testi ile benzedir. Fore kazık başına bir çekiç ile vurularak oluşturulan dalganın geri dönüş hızının okunması ile uygulanır. Sismik süreklilik testinden farklı olarak; vuruşun yapıldığı çekicin içerisinde, uygulanan dinamik kuvvetin büyüklüğünü ölçmek amacıyla bir yük hücresi mevcuttur. Dalganın geri dönüş hızı ise kazık başına yerleştirilen geofon vasıtasıyla okunur. Okunan bu değerler, dijital ortamda frekans-hız / kuvvet grafiklerine dönüştürülür. Grafikler yorumlanarak kazık beton kalitesi hakkında bilgi elde edinilebilir. Ayrıca;

$$L = V/2\Delta f \quad (3.2)$$

L = Kazık boyu

V = Dalganın fore kazık içerisindeki yayılma hızı

Δf = Frekans değişimi

$$N = L/\gamma \cdot V \cdot A \quad (3.3)$$

N = Ortalama V/F değeri

γ = Betonun birim hacim ağırlığı

A = Kazık kesit alanı

(3.2) ve (3.3)'de verilen denklemler kullanılarak kazık boyu ve kazık kesit alanına ulaşılabilir.

3.2.3 Sonik Süreklilik Deneyi (SIT)

Fore kazık içerisine, betonlanmadan önce, metal ya da plastik kılavuz borular (genellikle iki, tercihen üç ya da dört adet) yerleştirilir. Beton prizini aldıktan sonra bu borulardan birinin içerisine ses dalgaları gönderen verici diğerinin içerisine ise kaynaktan çıkan dalgaları kaydeden alıcı indirilir. Kazık kesiti boyunca, istenen derinliklerde ölçümler yapılarak ses dalgalarının beton içerisinde yayılma hızları kaydedilir. Teorik durumda dalgaların beton içerisinde yayılma hızı bilindiğine göre, deney sonucu elde edilen veriler teorik dalga hızı ile karşılaştırılarak kazık kesiti boyunca meydana gelmiş olabilecek süreksizlikler ve beton kalitesi kontrol edilir.

Deneyin en büyük avantajı; alıcı ve vericilerin, yerleştirilen kılavuz borular içerisinden farklı kombinasyonlarda indirilerek tüm kesitin istenilen tüm derinliklerde taranabilmesidir.

3.2.4 Diğer Yöntemler

Yukarıda açıklanan süreklilik deneyleri dışında kazıktan karot alınması da sürekliliğin test edilmesinde kullanılabilecek bir yöntemdir. Alınan karot numuneler üzerinde dayanım testleri yapılarak kazık beton kalitesi kontrol edilebilir. Ancak, her ne kadar karot delgisine kazığın ortasından başlanılsa da, özellikle derinliği fazla olan kazıklarda karot alıcının eksenden saparak kazığın dışına çıkması tam boy numune alınmasını engelleyen bir sorundur. Buna ilaveten, bu yöntemin zaman alıcı olması da diğer bir dezavantajdır.

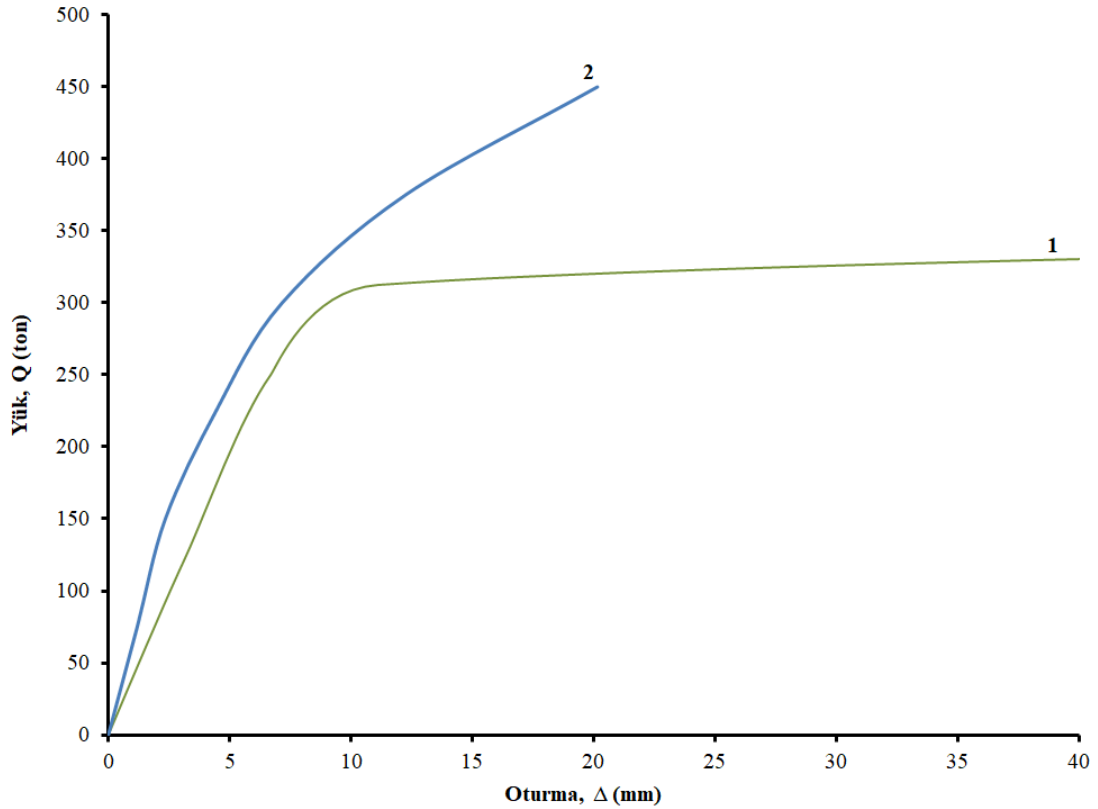
Başka bir yöntem ise kazı yapılarak kazıktaki süreksizliklerin gözlenmesidir. Bu yöntemde, kazık derinliği kadar kazı yapılmasının mümkün olmaması nedeniyle kazığın yalnızca üst kısmının kontrolü yapılabilir.

Bunların yanında, kazık yükleme deneyi sonucu kaydedilen veriler doğrultusunda oluşturulan yük - oturma grafiği yorumlanarak da kazıklardaki süreksizlikler hakkında yorum yapılabilir. Farklı durumlar için elde edilen tipik yük - oturma grafikleri Bölüm 4'te örneklendirilmiştir.



4. YÜKLEME DENEYLERİNİN YORUMLANMASI

Kazık yükleme deneylerinin yapılmasındaki esas amaç nihai kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesidir. Literatürde; sabit yük altında oturmaların artmaya devam etmesi, kazık çapının %10'u kadar toplam oturmaya neden olan yük, küçük yük artışlarında aşırı oturmalar meydana gelmesi, kalıcı oturmanın 6 mm'ye ulaşması gibi birçok kazık taşıma kapasitesi tanımı yer almaktadır [11]. Ancak bu tanımlamalar çoğu zaman kazık yükleme deneylerinin yorumlanmasında yeterli olmamaktadır. Örneğin, büyük çaplı uç kazıklarda söz konusu oturmaları sağlayacak yükün uygulanması pratik olarak mümkün değildir.

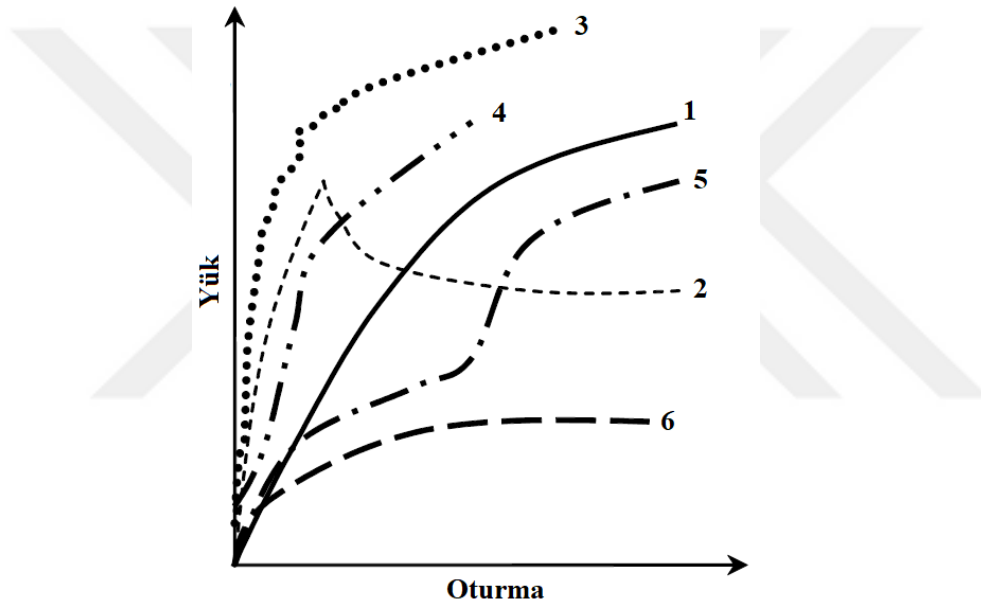


Şekil 4.1 : Farklı yükleme deneylerine ait yük - oturma eğrileri.

Şekil 4.1'de yer alan iki farklı yükleme deneyine ait yük - oturma eğrisi incelendiğinde, 1 nolu deneyin göçme durumuna kadar devam ettirildiği anlaşılmaktadır. Göçme durumuna kadar devam ettirilen deneylerde yük - oturma

eğrisi doğrultusunda kazık taşıma kapasitesini elde etmek çok kolaydır. Ancak, 2 nolu deney sonucu incelendiğinde literatürde verilen teorik tanımlara uymadığı görülmektedir. Fore kazıklar üzerinde uygulanan yükleme deneyi sonuçları genellikle 2 nolu deneye benzer olup elde edilen veriler ışığında kazık taşıma kapasitesine ulaşılabilmesi için çeşitli yorumlamalar yapılmalıdır. Yapılması maliyetli ve zaman alıcı olan kazık yükleme deneylerinin amacına ulaşması için elde edilen sonuçların doğru şekilde yorumlanması büyük önem arz etmektedir.

Yükleme deneyleri sonucunda elde edilen yük-oturma eğrisi; zemin yapısı, kazıktaki imalat kusurları gibi nedenlerden dolayı her zaman Şekilde 4.1’de gösterildiği ideal şekilde elde edilmez.



Şekil 4.2 : Farklı durumlar için karşılaşılabilecek yük - oturma eğrileri.

Şekil 4.2’de verilen farklı durumlar için karşılaşılabilecek yük-oturma eğrileri yorumlanırsa [12];

- 1: Yumuşak kil ya da gevşek zeminde ideal yük-oturma eğrisidir.
- 2: Aşırı konsolide fissürlü kil birimlerinde elastik davranış, maksimum kayma gerilmesine ulaşıldıktan sonra ani bir kapasite azalımı gözlenmektedir.
- 3: Zayıf dayanımlı boşluklu kayaya soketli tipik bir uç kazık davranışındır. Önce kazık ucunda yenilen kaya birimler sonucu meydana gelen ani oturma, daha sonra kazığın boşluksuz kaya birimlere teması ile yük-oturma eğrisinin ideal duruma geçişi görülür.

4: Zemin kabarması nedeniyle yukarı yönde hareket etmiş kazığın yük uygulanmaya devam edildikçe tekrar oturması durumu gösterilmektedir.

5: Fore kazık imalatlarındaki hatalar nedeniyle betonarme kazıkta oluşan büyük hacimli boşluğun kapanması ve kazığın yük almaya devam etmesi durumunu temsil eder.

6: Kazığın, öngörülen tasarım yüküne ulaşmadan göçmesi durumudur.

4.1 Kazık Yükleme Deneylerini Değerlendirme Yöntemleri

Kazık yükleme deney sonuçlarının yorumlanması amacıyla birçok araştırmacı tarafından çeşitli öneriler sunulmuştur. Öyle ki; tek bir kazık taşıma kapasitesi değerine ulaşılması için literatürde 40'tan fazla farklı tanımlama yer almaktadır. Bu durumda; yöntemlerin olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilerek hangi yöntemin kullanılacağına karar verilmesi önem kazanmaktadır.

Değerlendirme yöntemlerinde genel olarak yükleme deneyi sonucu elde edilen veriler doğrultusunda; matematiksel bağıntılar ile ekstrapolasyon, yük - oturma eğrisi üzerinde grafiksel uygulamalar ya da bir limit oturma değeri tanımlanması sonucu kazık taşıma kapasitesinin bulunması hedeflenir.

Literatürde yer alan farklı kazık taşıma kapasitesi tanımları Çizelge 4.1'de özetlenmiştir [13].

Çizelge 4.1 : Literatürde yer alan farklı kazık taşıma kapasitesi tanımları.

Sıra No	Öneren	Tanım
1	Polish Specs Canada	Toplam oturmanın 38 mm'ye ulaştığı yük
2	Terzaghi - Peck Hollanda Cleveland, OH Norfolk, VA	Toplam oturmanın 25 mm'ye ulaştığı yük
3	Muhs	Toplam oturmanın 20 mm'ye ulaştığı yük
4	Indian Practice	Toplam oturmanın 13 mm'ye ulaştığı yük
5	AASHTO NYS DPW LA Highway Department Magnet	Kalıcı oturmanın 6 mm'ye ulaştığı yük

Çizelge 4.1 (devam) : Literatürde yer alan farklı kazık taşıma kapasitesi tanımları.

Sıra No	Öneren	Tanım
6	Magnel	Kalıcı oturmanın 8 mm'ye ulaştığı yük
7	Boston Bethlehem Steel Milwaukee, WI	Kalıcı oturmanın 13 mm'ye ulaştığı yük
8	New York, NY Southern Building Code BOCA Canada	Kalıcı oturmanın 19 mm'ye ulaştığı yük
9	California Pittsburgh, PA	Toplam oturmanın 0.029 mm/kN'a ulaştığı yük
10	New York, NY Southern Building Code UBC BOCA Chicago, IL Hartford, CT Washington, DC Norfolk, VA Atlanta, GA	Kalıcı oturmanın 0.029 mm/kN'a ulaştığı yük
11	New Orleans, LA	Kalıcı oturmanın 0.014 mm/kN'a ulaştığı yük
12	Milwaukee, WI	Kalıcı oturmanın 0.006 mm/kN'a ulaştığı yük
13	CIRIA Bishop, ve diğ.	Toplam oturmanın kazık çapının %10'una ulaştığı yük
14	Vesic	Çakma kazıklar için toplam oturmanın kazık çapının %10'una ulaştığı yük Fore kazıklar için toplam oturmanın kazık çapının %25'ine ulaştığı yük
15	Danish Standard	Kalıcı oturmanın kazık çapının %10'una ulaştığı yük
16	Vesic	Kalıcı oturmanın kazık çapının %2'sine ulaştığı yük
17	Canadian Manuel	Toplam oturmanın $D/30$ + elastik oturmaya ulaştığı yük
18	Swedish Pile Commission	Kalıcı oturmanın 20 mm + $D/20$ 'ye ulaştığı yük
19	Davisson	Toplam oturmanın elastik oturma + 3.81 mm + $D/120$ 'ye ulaştığı yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
20	Tomlinson	Yükte artış olmadan toplam oturmanın artmaya devam ettiği yük

Çizelge 4.1 (devam) : Literatürde yer alan farklı kazık taşıma kapasitesi tanımları.

Sıra No	Öneren	Tanım
21	Los Angeles, CA UBC	Yük - toplam oturma eğrisinin oransızlaştığı yük
22	Tomlinson	Yük - kalıcı oturma eğrisinin oransızlaştığı yük
23	Chellis	Plastik eğrinin kırıldığı yük
24	Jorger	%10 yük artışının %20 - %30 toplam oturma artışına sebep olduğu yük
25	%90 Kriteri	Yükün %90'ındaki toplam oturmanın 2 katı oturmaya neden olan yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
26	%80 Kriteri	Yükün %80'indeki toplam oturmanın 4 katı oturmaya neden olan yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
27	Vesic	Toplam oturma artışı / yük artışının en büyük olduğu yük
28	Szechy	Elastik oturma artışı / kalıcı oturma artışının en büyük olduğu yük
29	Christiani - Nielsen	Kalıcı oturma / Elastik oturma oranının 1.5 olduğu yük
30	Dunham	Toplam oturmanın 0.057 mm/kN'a ulaştığı yük
31	Ohio	Toplam oturmanın 0.086 mm/kN'a ulaştığı yük
32	Fuller - Hoy	Toplam oturmanın 0.14 mm/kN'a ulaştığı yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
33	Fuller - Hoy	Kalıcı oturmanın 0.086 mm/kN'a ulaştığı yük
34	Chellis	Toplam oturma eğrisinin eğiminin elastik oturma eğrisinin eğiminin 4 katı olduğu yük
35	Mansur - Kaufman	Yük - oturma eğrisinin elastik ve plastik kısımlarından çizilen teğetlerin kesişimine karşılık gelen yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
36	Butler - Hoy	Yük - oturma eğrisinde elastik kısma çizilen teğet ile eğimi 0.14 mm/kN olan teğetin kesişimine karşılık gelen yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
37	Housel	Her yük kademesinin son 30 dakikasında oluşan oturma - yük grafiğinin eğiminin değiştiği noktaya karşılık gelen yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
38	De Beer	Her iki eksenli logaritmik olarak çizilen yük - oturma grafiğinin eğiminin değiştiği noktaya karşılık gelen yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır

Çizelge 4.1 (devam) : Literatürde yer alan farklı kazık taşıma kapasitesi tanımları.

Sıra No	Öneren	Tanım
39	Chin	Oturma / yük - oturma grafiği çizildiğinde oluşan doğrunun eğiminin tersi Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
40	Van Der Veen	Log(1-Q/Q _{ult}) - oturma grafiğinin bir doğru oluşturmasını sağlayan yük Bu bölümde detaylı olarak açıklanmıştır
41	Mazurkiewicz	Yük - oturma grafiğinde eşit aralıklara bölünen oturma değerlerinden, eğriyi kesen dikler çizilir. Eğriyi kesen noktalara karşılık gelen yük değerlerine yeni doğrular çizilir. Yük değerlerinden 45 derece açı ile çizilen doğruların sonraki doğruyu kestiği noktalar bulunur. Noktaların birleştirilmesiyle oluşan doğrunun yük eksenini kestiği değer taşıma kapasitesini verir

Bölümün devamında, dünyaca kabul görmüş ve kazık yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan 16 farklı yöntem detaylandırılarak örnekler ile açıklanmıştır.

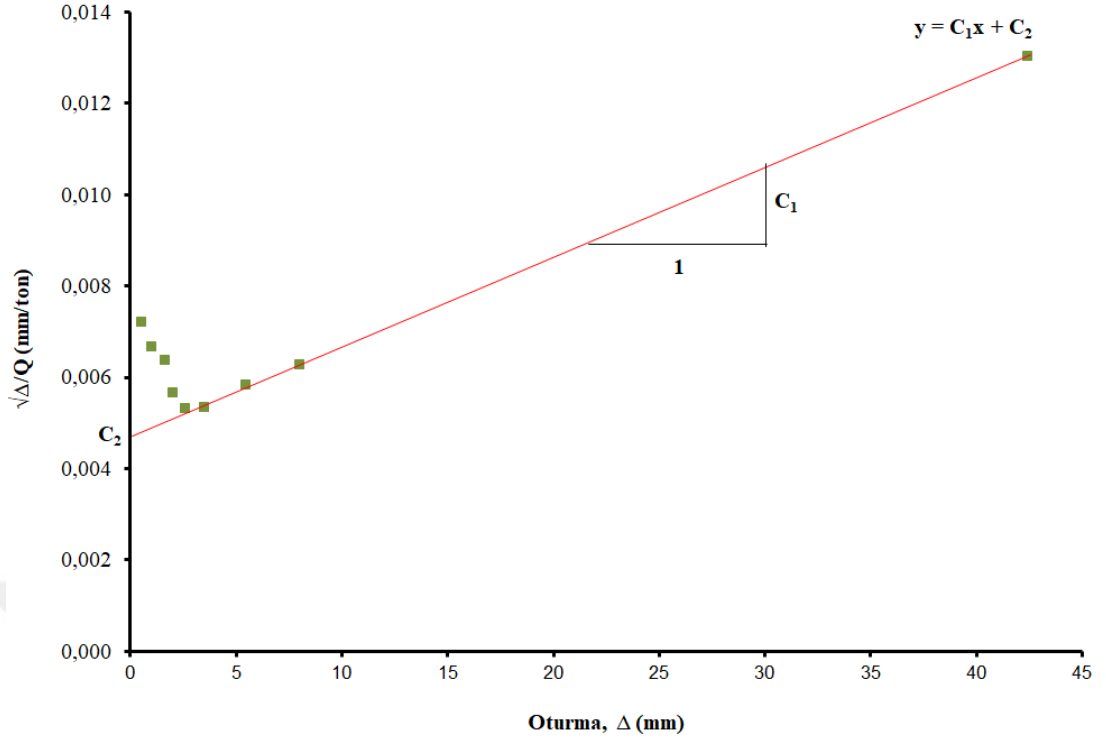
4.1.1 Brinch Hansen %80 Yöntemi

Brinch Hansen %80 yöntemine göre; her yük (Q) arttırım kademesinde kaydedilen oturma (Δ) değerinin karekökü, ilgili Q değerine bölünerek $\sqrt{\Delta/Q}$ - Δ grafiği çizdirilir. Grafiği oluşturan noktalar, belirli bir Δ değerinden sonra bir doğru üzerinde bulunur. Bu doğrunun eğimi C_1 , $\sqrt{\Delta/Q}$ eksenini kestiği değer C_2 'dir [14].

Bu değerler kullanılarak kazığın taşıma kapasitesi (4.1) ve bu yükteki oturma değeri (4.2) elde edilebilir. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.3'te verilmiştir.

$$Q_{ult} = 1/(2\sqrt{C_1 C_2}) \quad (4.1)$$

$$\Delta_{ult} = C_1/C_2 \quad (4.2)$$



Şekil 4.3 : Brinch - Hansen %80 yöntemi uygulaması.

Grafiğin doğrusal olduğu bölüm için bir ideal yük-oturma eğrisi (4.3) tanımlanmıştır.

$$\sqrt{\Delta}/Q = C_1\Delta + C_2 \quad (4.3)$$

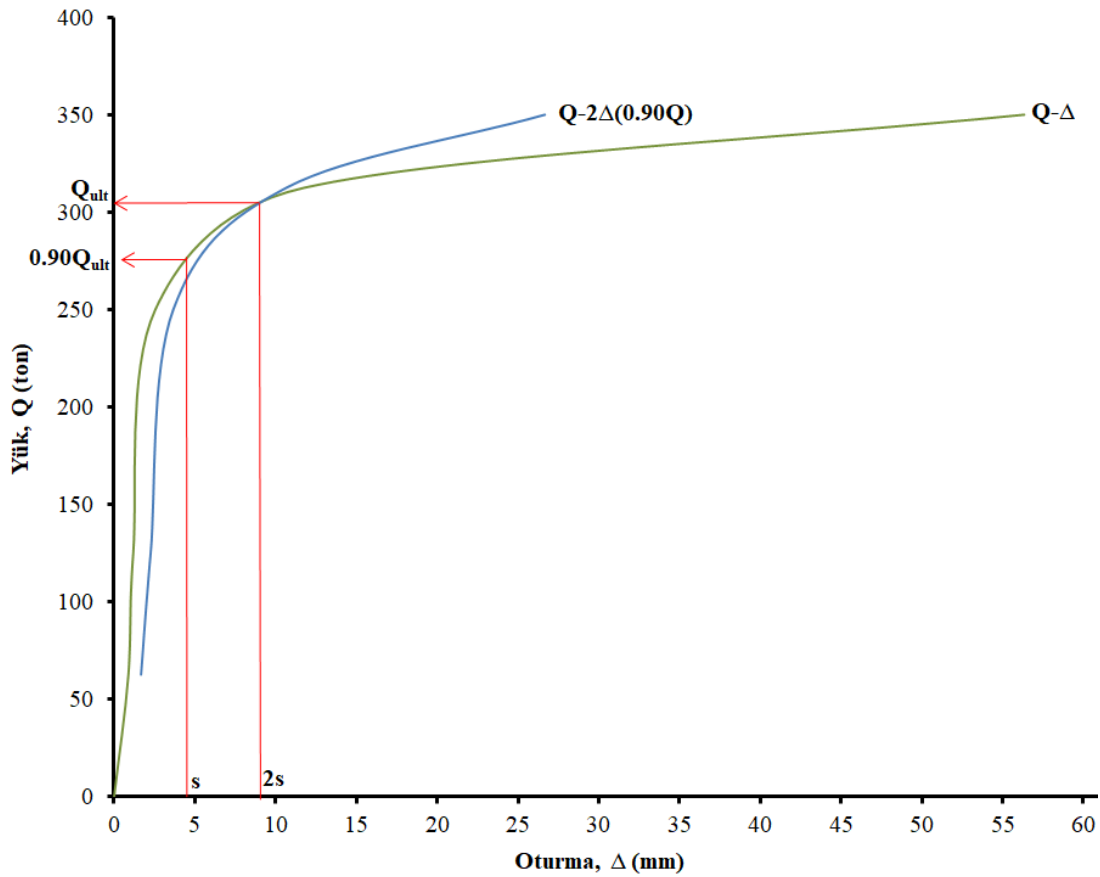
(4.1) denklemini kullanılarak bulunan kazık taşıma kapasitesinin doğruluğunun kontrol edilmesi için ideal yük-oturma eğrisi çizilir. Brinch Hansen yöntemine göre taşıma kapasitesinde meydana gelen oturma değeri, taşıma kapasitesinin %80'inde meydana gelen oturma değerinin 4 katı olmalıdır. Elde edilen göçme yükünde ve bu göçme yükünün %80'inde, yük - oturma eğrisi ve ideal eğri yakınlık göstermelidir. Aksi halde; maksimum test yükü, kazık taşıma kapasitesi olarak kabul edilir.

Bu yöntem, yük - oturma eğrisinin yaklaşık parabol olduğunu varsaymaktadır. SM ve QM yükleme deneylerinde kullanılması uygun olup SC deneylerinde kullanılması tavsiye edilmemektedir.

4.1.2 Brinch Hansen %90 Yöntemi

Brinch Hansen tarafından önerilen bir diğer yöntem ise Brinch Hansen %90 yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Buna göre; taşıma kapasitesinde meydana gelen oturma değeri, taşıma kapasitesinin %90'ında meydana gelen oturma değerinin iki katıdır [15]. Bu değer, yük - oturma grafiğinde deneme yanılma yolu ile bulunabilir.

Deneme yanılma yoluna alternatif olarak; her yük kademesi için $0.90Q$ ve ilgili $0.90Q$ değerlerinde meydana gelen oturmalar bulunur. Bu oturmaların iki katı alınarak $Q - 2\Delta(0.90Q)$ eğrisi ile $Q - \Delta$ eğrisi üst üste çizdirilir. Eğrilerin kesiştiği nokta kazık taşıma kapasite olarak elde edilir. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.4'te verilmiştir.

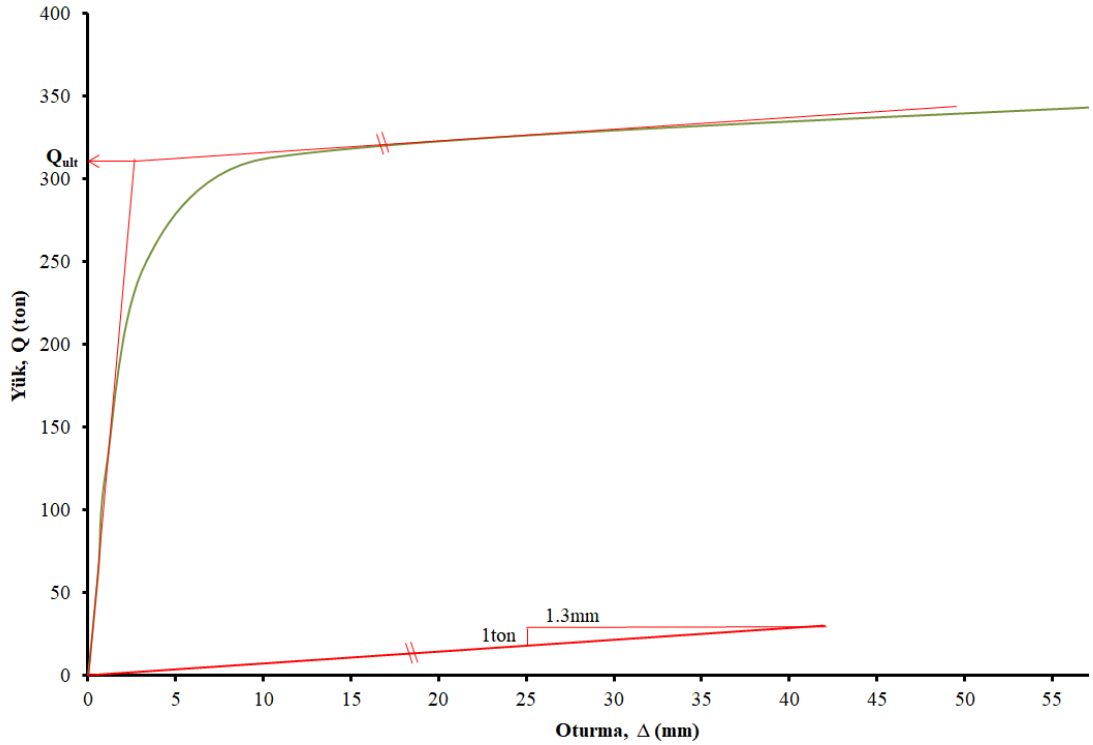


Şekil 4.4 : Brinch - Hansen %90 yöntemi uygulaması.

CRP deneylerinde kullanılması tavsiye edilmektedir. Yöntemin iyi sonuç vermesi için yük - oturma eğrisindeki plastik bölümün tam olarak oluşması gerekir. Aksi halde eğriler kesişmez ve maksimum deney yükü, kazık taşıma kapasitesi olarak belirlenir.

4.1.3 Butler - Hoy Yöntemi

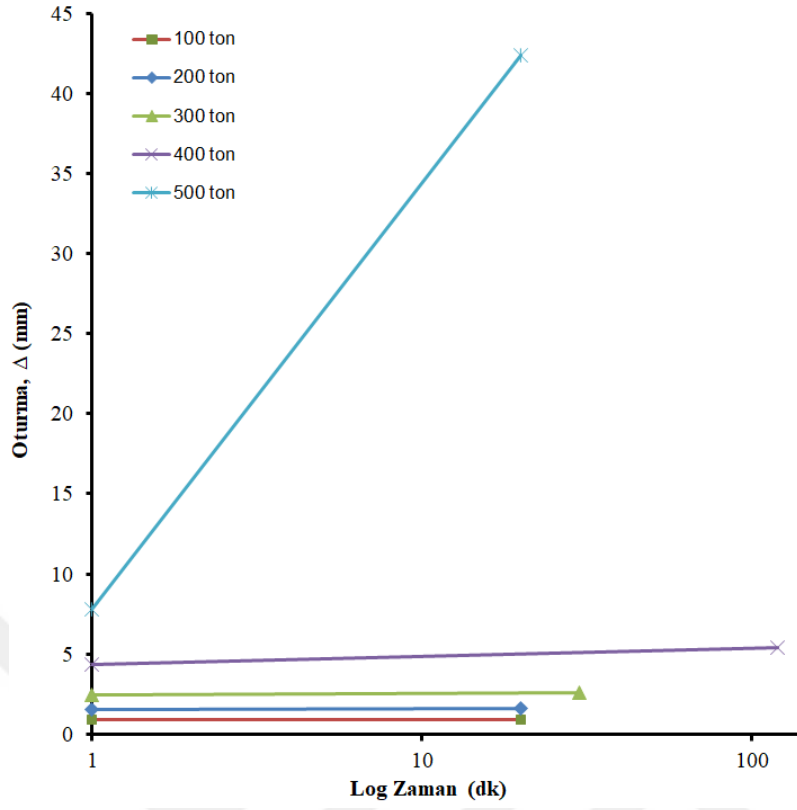
Butler ve Hoy tarafından önerilen yöntemde göre yük - oturma eğrisinin elastik (başlangıçtaki doğrusal) kısmına bir teğet çizilir. Eğrinin asimptota yaklaştığı kısmına ise 1.3 mm / ton eğim ile bir teğet çizilir. Çizilen iki teğetin kesişim noktası kazık taşıma kapasitesi olarak kabul edilir [16]. Fellenius, elastik kısma çizilen teğetin yoruma açık olması nedeniyle bunun yerine yük - oturma eğrisinde deneyin boşaltma aşamasındaki geri dönüş eğrisinin eğiminin kullanılmasını önermiştir. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.5'te verilmiştir.



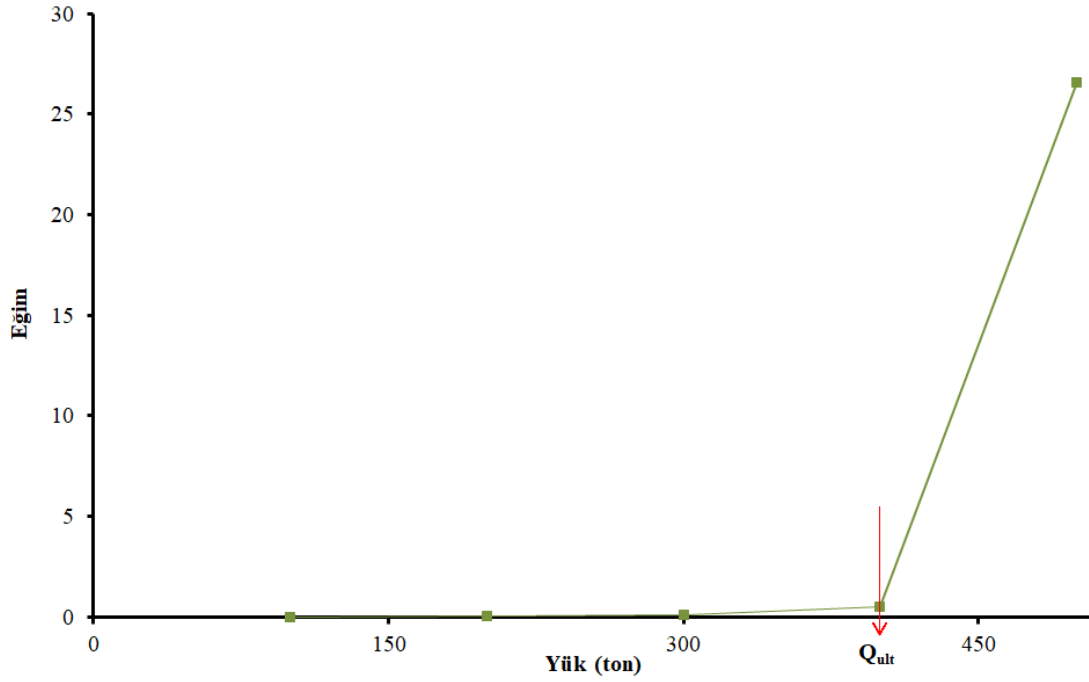
Şekil 4.5 : Butler - Hoy yöntemi uygulaması.

4.1.4 Cambefort - Chadeisson Yöntemi

Cambefort ve Chadeisson tarafından geliştirilen yöntem doğrultusunda her yük arttırım kademesi için, zaman eksenini logaritmik ölçekte olacak şekilde, oturma - zaman grafikleri çizilir (Şekil 4.6). Çizilen oturma - zaman grafikleri üzerinde zamana bağlı oturma artışını gösteren eğimler hesaplanır. Tüm yük kademeleri için hesaplanan eğimler ile bir eğim - yük grafiği oluşturulur. Bu eğim - yük grafiğinin ilk bölümü doğrusaldır, bir noktadan sonra ise doğru kırılır (Şekil 4.7). Doğrunun kırıldığı bu noktaya karşılık gelen yük, kazık taşıma kapasitesidir [17].



Şekil 4.6 : Cambefort - Chadeisson yöntemi oturma - log zaman grafiği.

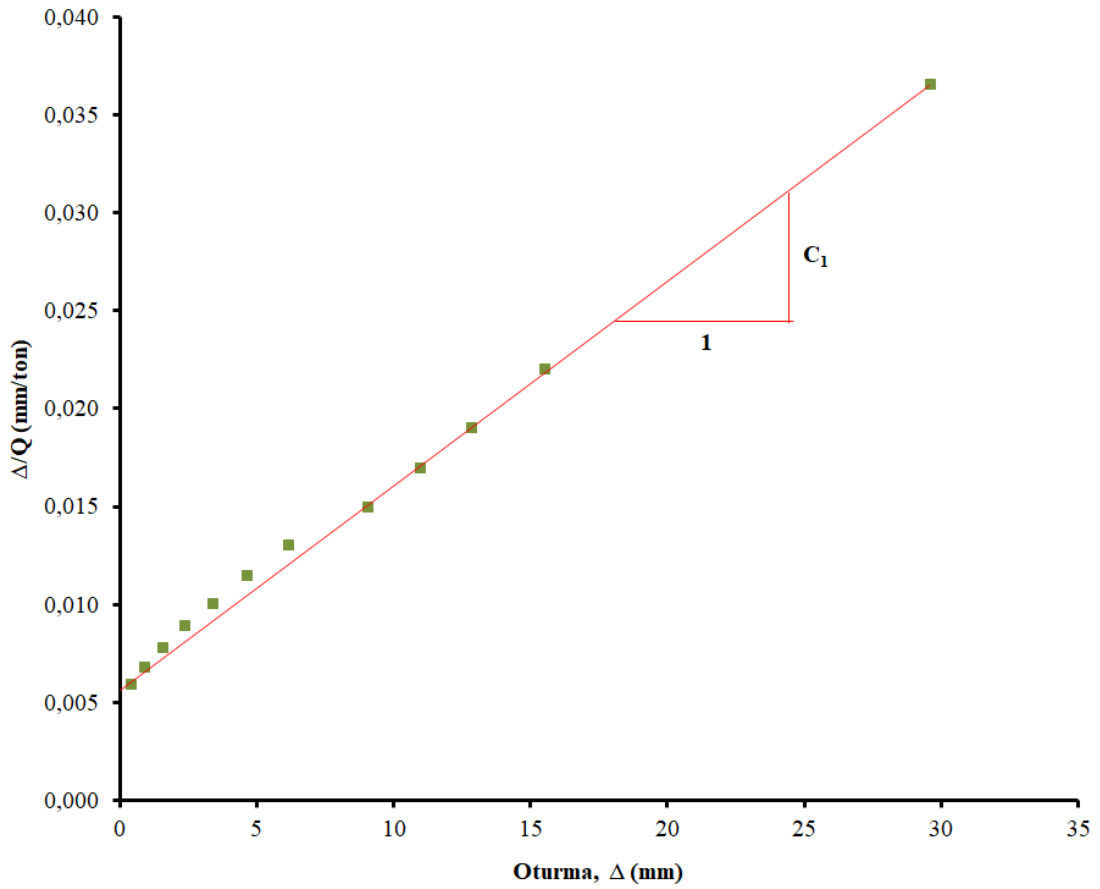


Şekil 4.7 : Cambefort - Chadeisson yöntemi uygulaması.

4.1.5 Chin - Kondner Yöntemi

Chin - Kondner yöntemine göre her yük (Q) arttırım kademesinde kaydedilen oturma (Δ) değerleri, ilgili Q değerine bölünerek $\Delta/Q - \Delta$ grafiği çizdirilir. Grafiği oluşturan noktalar, belirli bir kısımdan sonra bir doğru üzerinde bulunur. Bu doğrunun eğimi C_1 olmak üzere, eğimin tersi kazık taşıma kapasitesini verir [18]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.8’de verilmiştir.

$$Q_{ult} = 1/C_1 \quad (4.4)$$



Şekil 4.8 : Chin - Kondner yöntemi uygulaması.

Grafiğin doğrusal kısmındaki noktaların bir kısmının doğru dışına çıkması yüklemeye deneyinde bir olumsuzluk olduğuna işaret eder. Deney ile eş zamanlı olarak Chin - Kondner grafiği oluşturularak deney gidişatının kontrol edilmesi, beklenmeyen bir durum ile karşılaşıldığında müdahale fırsatı vermesi bu yöntemin avantajıdır.

Yöntemin bir diğer avantajı ise yüklemeye deneyinin tamamlanması beklenilmeden kazık taşıma kapasitesinin hesaplanabilmesidir. Genel bir yaklaşım ile; iki nokta bir doğru oluşturur ve üçüncü noktanın da bu doğru üzerinde olması doğruyu teyit eder.

Ancak, deneyin başlangıcındaki az sayıda noktanın birleştirilmesiyle oluşturulan doğrunun yanıltıcı sonuçlar verebileceği unutulmamalıdır. Bu sebeple, oturma değerleri Davisson limitini geçtikten sonra elde edilen noktalar ile çizilen grafik üzerinde değerlendirme yapılmalıdır.

Bu yöntemin doğru bir şekilde uygulanabilmesi için yük arttırım kademelerindeki zaman aralıkları sabit olmalıdır. Oturmaların elastik kısmı geçmediği, kazıkta plastik oturmaların tam olarak başlamadığı deneylerde doğru sonuçlara ulaşılamaz. Ayrıca, yük arttırım kademelerinin az olduğu deneylerde $\Delta/Q - \Delta$ grafiğini oluşturan nokta sayısının yeterli olmaması nedeniyle kullanılması uygun değildir.

Chin - Kondner yönteminin diğer yöntemlere kıyasla çok daha büyük taşıma kapasiteleri verdiği bilinmektedir. Bu nedenle; deney sonuçları tek bir yöntem ile değerlendirilmemeli, mutlaka genel kabul görmüş diğer yöntemler ile kıyaslanarak yorum yapılmalıdır.

4.1.6 Corps of Engineers Yöntemi

Corps of Engineers yöntemine göre, yükleme deneyi sonucu oluşturulan yük - oturma grafiği üzerinde üç farklı yük değeri hesaplanır. Bunlar:

Q_1 : 6.4 mm oturmaya karşılık gelen yük,

Q_2 : Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi ile bulunan noktaya karşılık gelen yük,

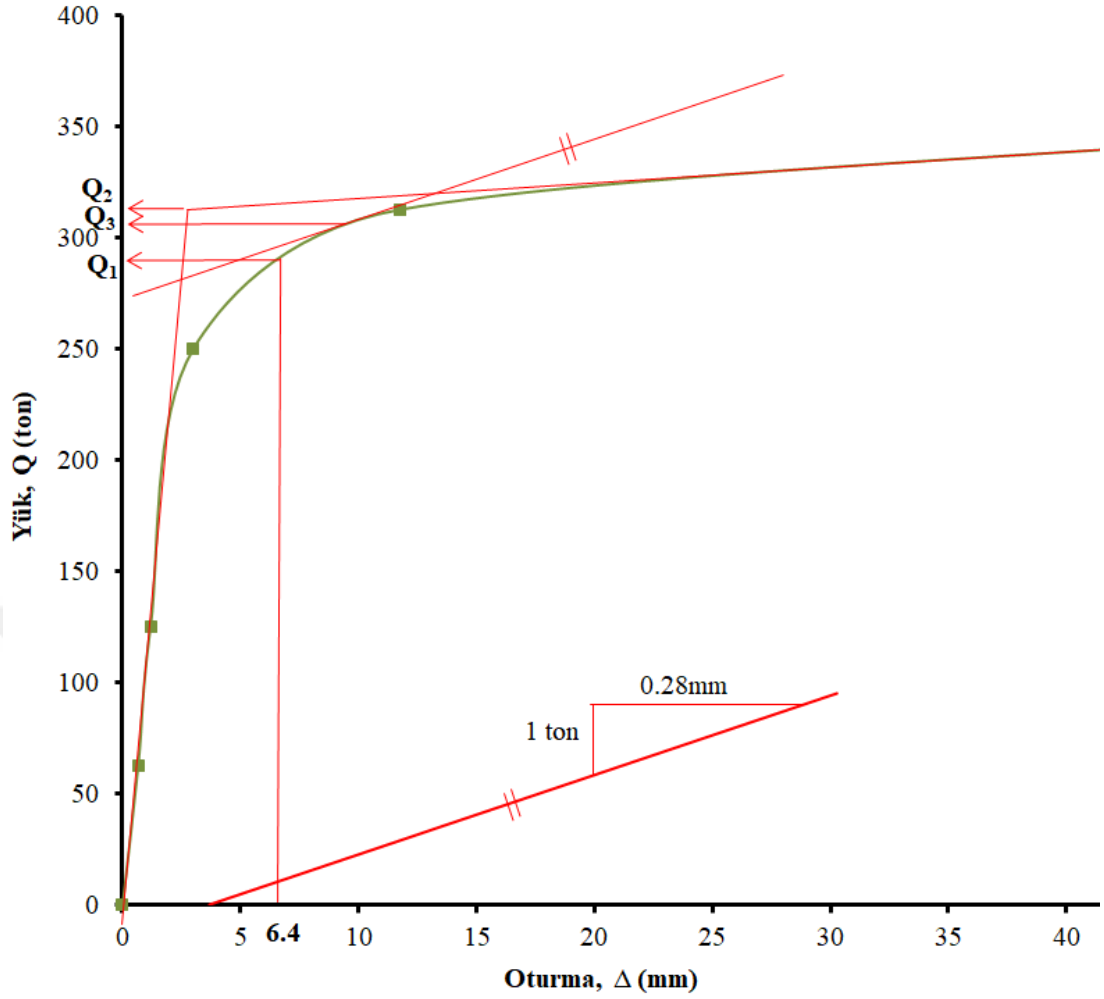
Q_3 : Yük-oturma eğrisinin asimptota yaklaştığı kısmının, eğimi 0.28 mm/ton olan doğruya teğet olduğu noktaya karşılık gelen yük değeridir.

Bu üç farklı yük değerinin ortalaması, kazık taşıma kapasitesi kabul edilir [19].

$$Q_{ult} = (Q_1 + Q_2 + Q_3) / 3 \quad (4.5)$$

Bulunan bu üç farklı yük değerinden biri, diğer iki yük değerine göre önemli farklılık gösteriyor ise ortalamaya dahil edilmeyip taşıma kapasitesi, yakın iki yük değerinin ortalaması olarak alınabilir.

Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.9 : Corps of Engineers yöntemi uygulaması.

4.1.7 Davisson Yöntemi

Davisson'a göre yükleme deneyi sonucu elde edilen yük - oturma grafiğinde kazığın elastik boy kısalmasını temsil eden bir doğru çizilir. Bu doğru, kazık çapına bağlı X değeri kadar ötelenerek Davisson limit doğrusu elde edilir. Bu doğrunun yük - oturma eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen yük değeri kazık taşıma kapasitesi olarak belirlenir [20]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.10'da verilmiştir. Buna göre;

$$\Delta_e = QL/EA \quad (4.6)$$

$$X = 3.81 + (D/120) \quad (4.7)$$

Δ_e = Kazığın elastik boy kısalması

Q = Yük

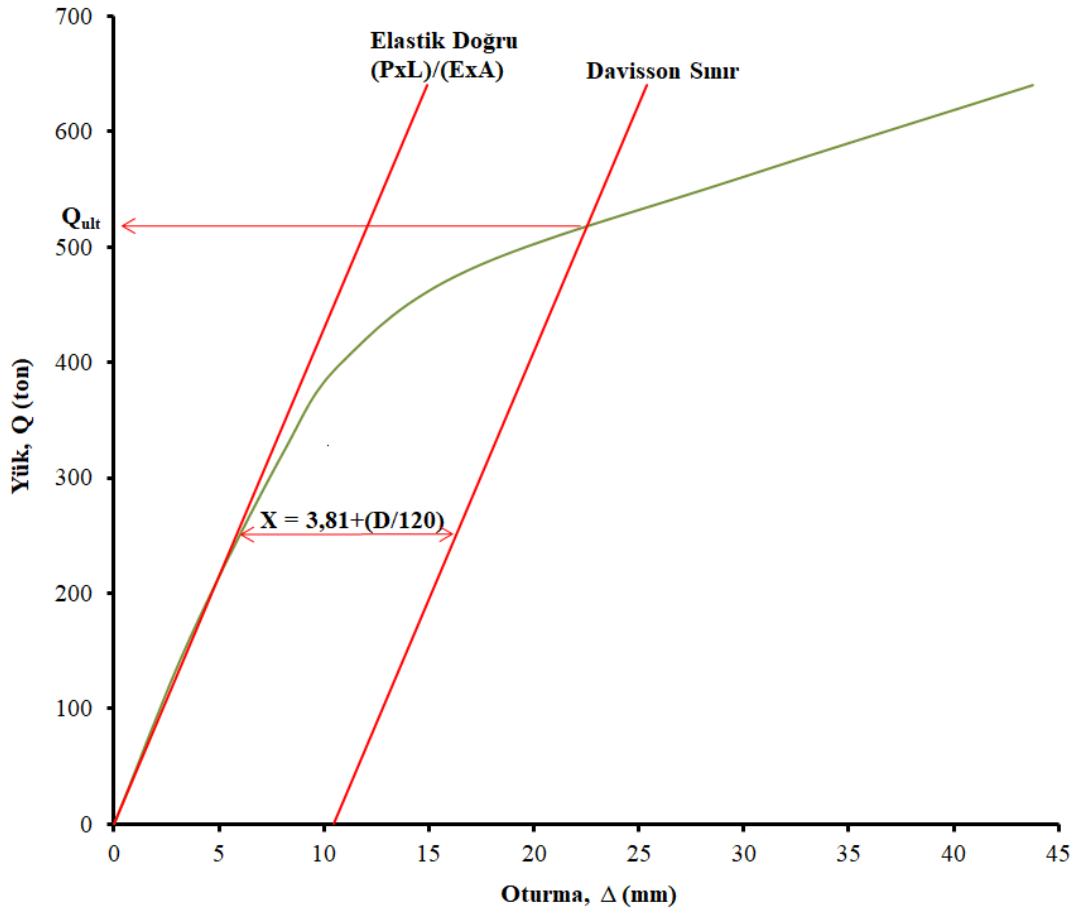
L = Kazık boyu

E = Elastisite modülü

A = Kazık enkesit alanı

X = Ötelenme

D = Kazık çapı



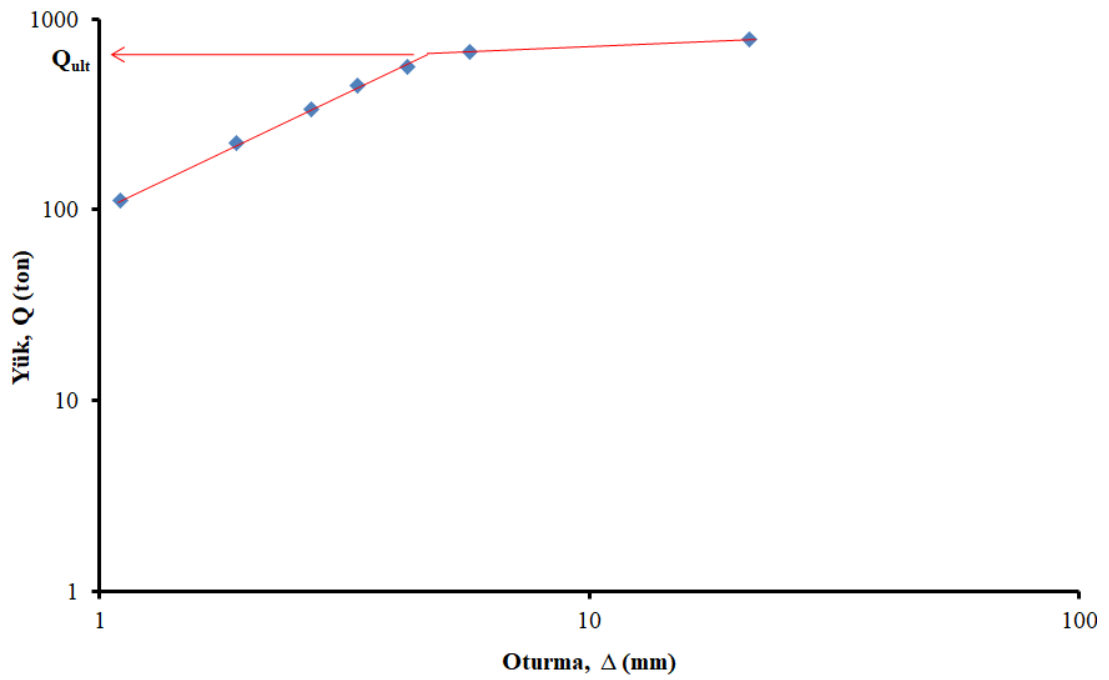
Şekil 4.10 : Davisson yöntemi uygulaması.

Davisson yöntemi esas olarak çakma kazıklar için geliştirilmiş olup diğer yöntemlere kıyasla fore kazıklarda daha düşük taşıma kapasitesi değerlerine ulaşılabilir. QM yükleme deneylerinin yorumlanmasında daha uygun olduğu varsayılmaktadır.

Bu yöntemin avantajı; kazık özelliklerini (kazık boyu, çapı, elastisite modülü) dikkate alarak Davisson sınır doğrusunun deneyden önce çizilebilmesi ve deney esnasında bu doğrultuda yorum yapabilme olanağı vermesidir. Ancak, kazık imalatında oluşabilecek kusurlardan dolayı elastisite modülünün kazığın tüm kesiti boyunca aynı olmaması değerlendirmeyi olumsuz etkileyebilmektedir.

4.1.8 De Beer Yöntemi

De Beer tarafından önerilen yöntemde yük - oturma grafiği, her iki eksen de logaritmik ölçekte olacak şekilde çizilir. Grafikteki noktaların birleştirilmesiyle eğimleri farklı iki doğru elde edilir. Bu iki doğrunun kesiştiği noktaya karşılık gelen yük, kazığın taşıma kapasitesidir [21]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : De Beer yöntemi uygulaması.

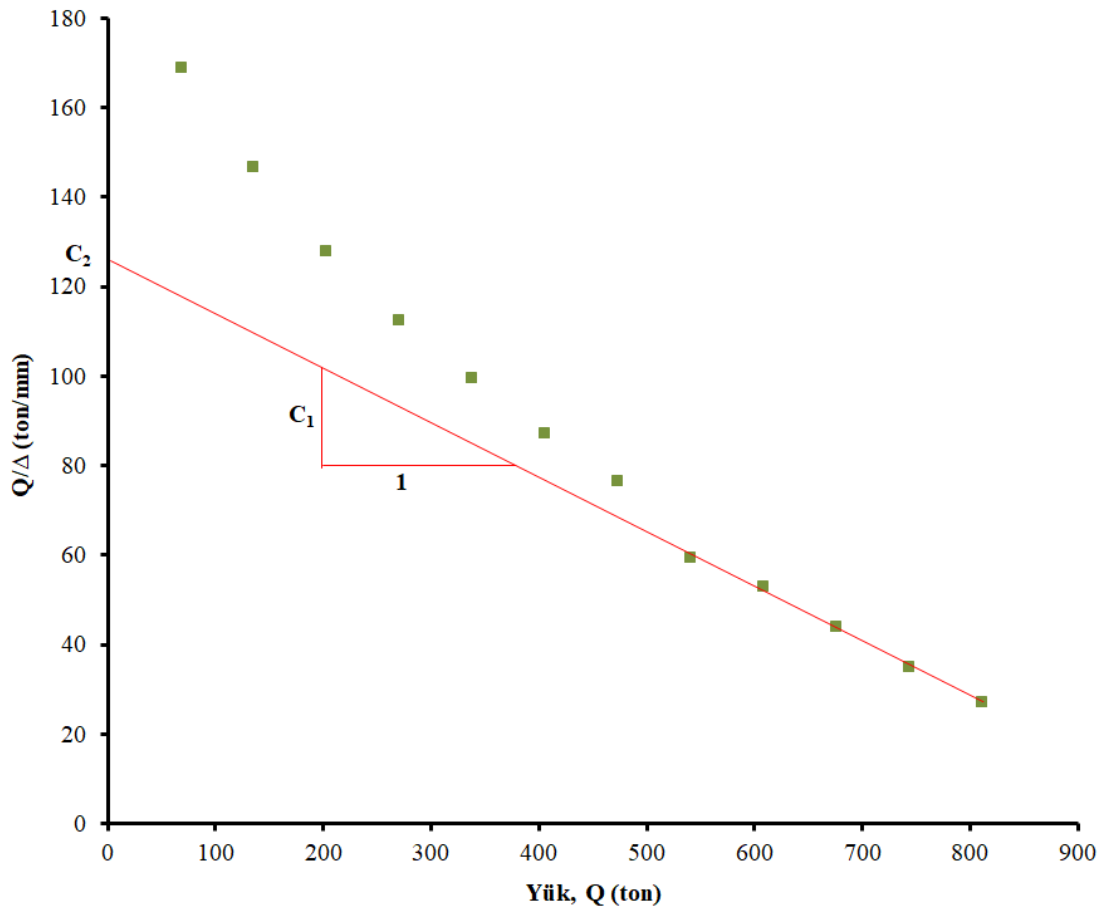
Bu yöntemin SM yükleme deneylerinde kullanılması önerilmektedir.

4.1.9 Decourt Yöntemi

Decourt yöntemi, 4.1 ve 4.5'te anlatılan Brinch-Hansen %80 ve Chin - Kondner yöntemleri ile uygulama olarak benzerlik gösterir. Buna göre; her yük (Q) arttırım kademesindeki Q değeri, karşılık gelen oturmaya (Δ) bölünerek Q/Δ - Q grafiği çizdirilir. Grafiği oluşturan noktalar, belirli bir kısımdan sonra bir doğru üzerinde bulunur. Bu doğrunun eğimi C_1 , Q/Δ eksenini kestiği değer C_2 olmak üzere;

$$Q_{ult} = C_2/C_1 \quad (4.8)$$

denklemini ile kazık taşıma kapasitesi bulunur [22]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.12'de verilmiştir.

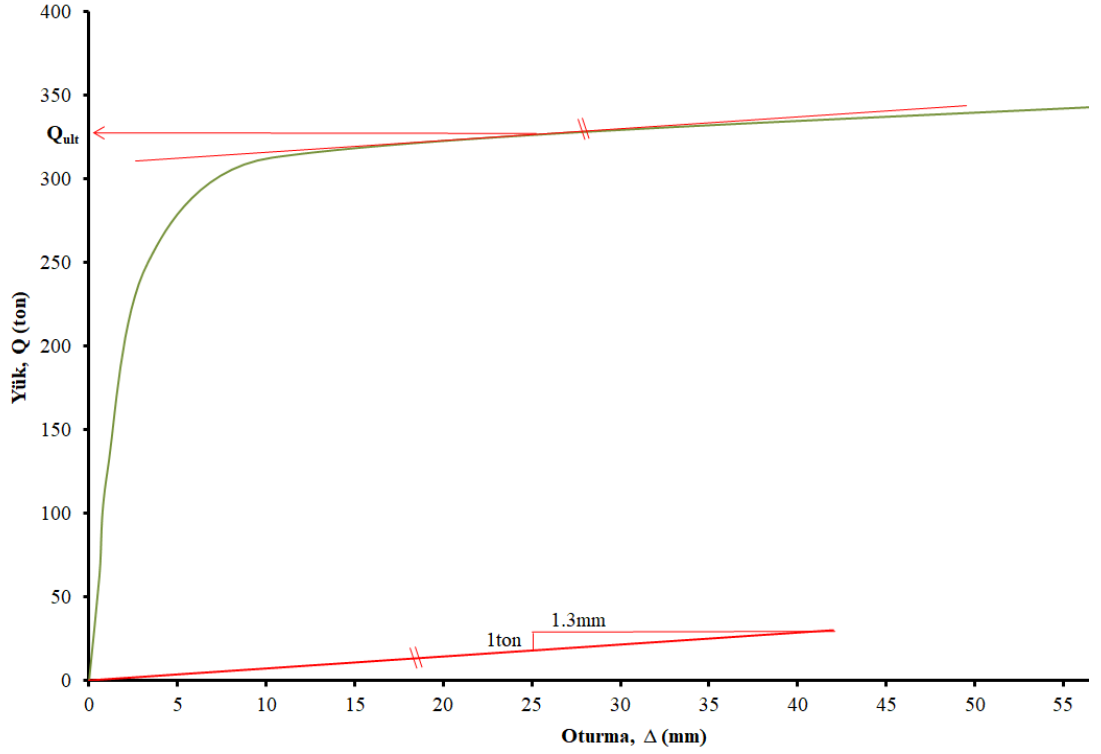


Şekil 4.12 : Decourt yöntemi uygulaması.

Decourt yöntemi ile bulunan kazık taşıma kapasitesinin Chin - Kondner yöntemi ile elde edilen değere yakın olması beklenir. Eğer iki yöntem ile bulunan taşıma kapasiteleri arasında önemli bir fark var ise hesaplamalar kontrol edilmelidir.

4.1.10 Fuller - Hoy Yöntemi

Fuller ve Hoy yöntemi, 4.3'te açıklanan Butler - Hoy yöntemi ile uygulama olarak benzerlik gösterir. Bu yöntemde göre, yük-oturma eğrisinin asimptota yaklaştığı kısmında eğimin 1.3 mm / ton olduğu noktaya karşılık gelen yük, kazığın taşıma kapasitesini verir [23]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : Fuller - Hoy yöntemi uygulaması.

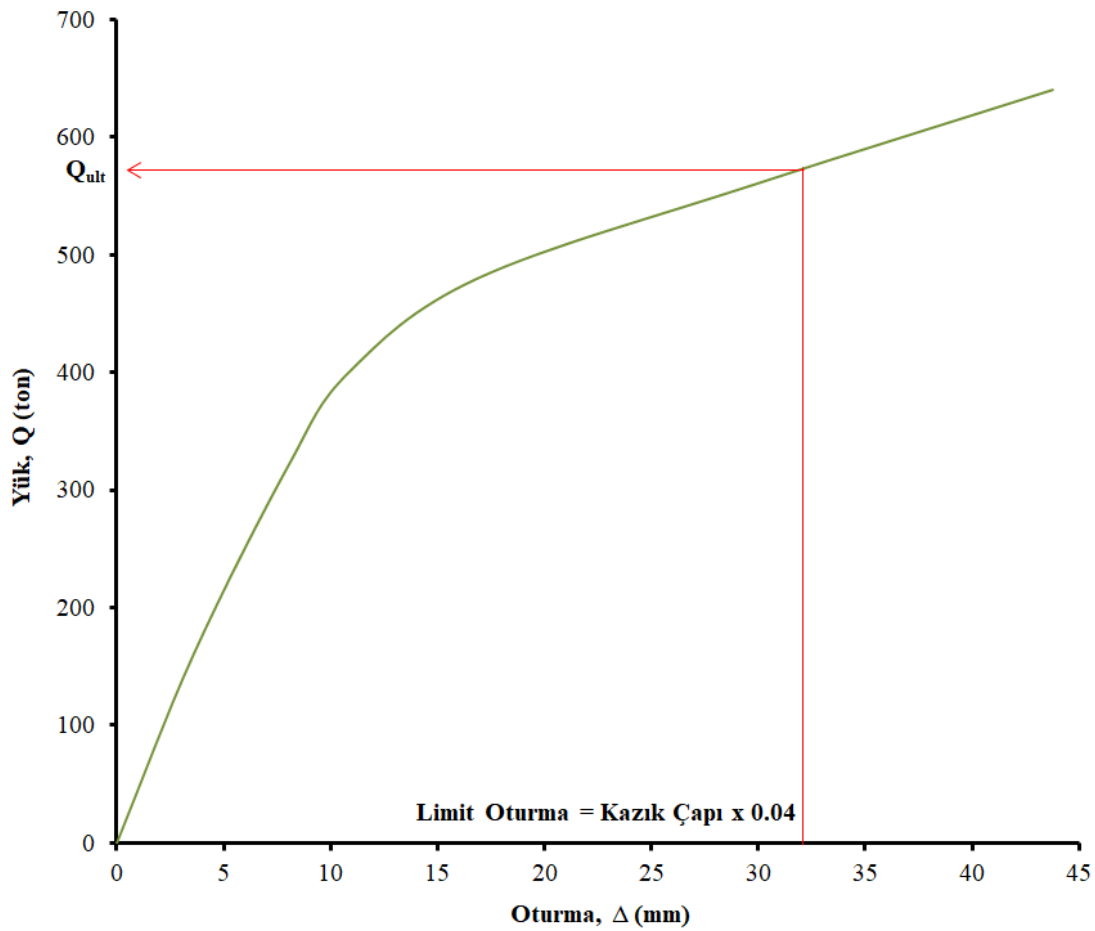
Derinliği fazla olan kazıkların yük - oturma grafiğindeki elastik kısım, kısa kazıklara kıyasla daha uzundur. Bu yöntemde kazık boyu dikkate alınmadığından dolayı özellikle uzun kazıklar için beklenenden daha düşük taşıma kapasiteleri elde edilir.

4.1.11 Hirany - Kulhawy Yöntemi

Hirany ve Kulhawy tarafından önerilen yöntemde, kazık çapının %4'ü oranındaki oturmaya karşılık gelen yükün kazık taşıma kapasitesi olduğu belirtilmiştir.

Bu yöntem; çok sayıda kazık yükleme testi sonucu elde edilen veriler doğrultusunda geliştirilmiş olsa da, özellikle büyük çaplı uç kazıklarda, kazık çapının %4'ü kadar oturma meydana gelmesi çoğu zaman beklenmez.

Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.14'te verilmiştir.

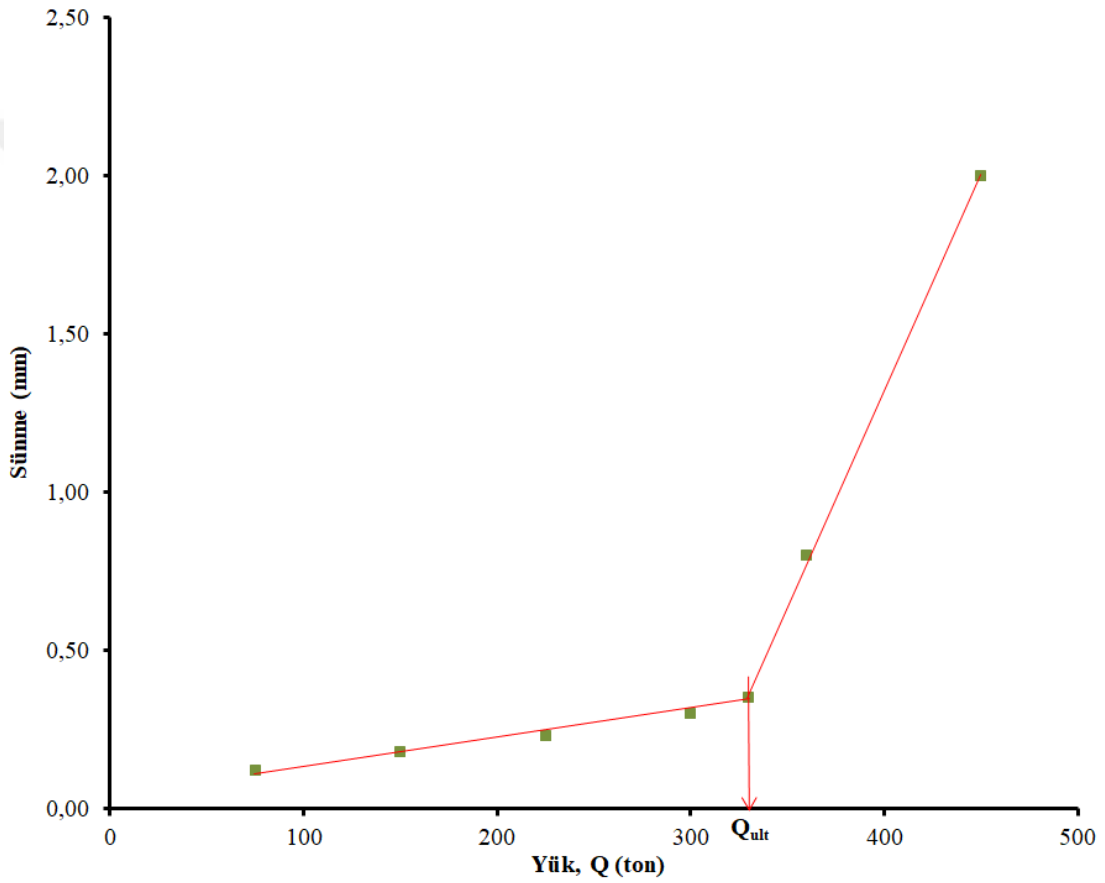


Şekil 4.14 : Hirany - Kulhawy yöntemi uygulaması.

Kazık çapına bağlı bir limit oturma değerinin tanımlandığı diğer yöntemler gibi bu yöntemin de bir başka olumsuz yanı; farklı çaptaki test kazıkları üzerinde uygulanan yükleme deneyi sonucunda elde edilen yük - oturma eğrileri birebir aynı olsa bile, çapı büyük olan kazığın taşıma kapasitesinin daha büyük bir değer olarak elde edilmesidir [24].

4.1.12 Housel (Creep) Yöntemi

Housel yöntemi, eşit zaman aralıkları ile uygulanan kazık yükleme deneyleri için geliştirilmiştir. Buna göre; her yük kademesinin sonundaki belirli sürelerde, örneğin son 30 dakikada, oluşan oturma miktarı - yük grafiği çizilir. Grafikteki noktalar birleştirildiğinde iki doğru elde edilir. Bu iki doğrunun kesişimine karşılık gelen yük, kazık taşıma kapasitesidir [25]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.15'te verilmiştir.

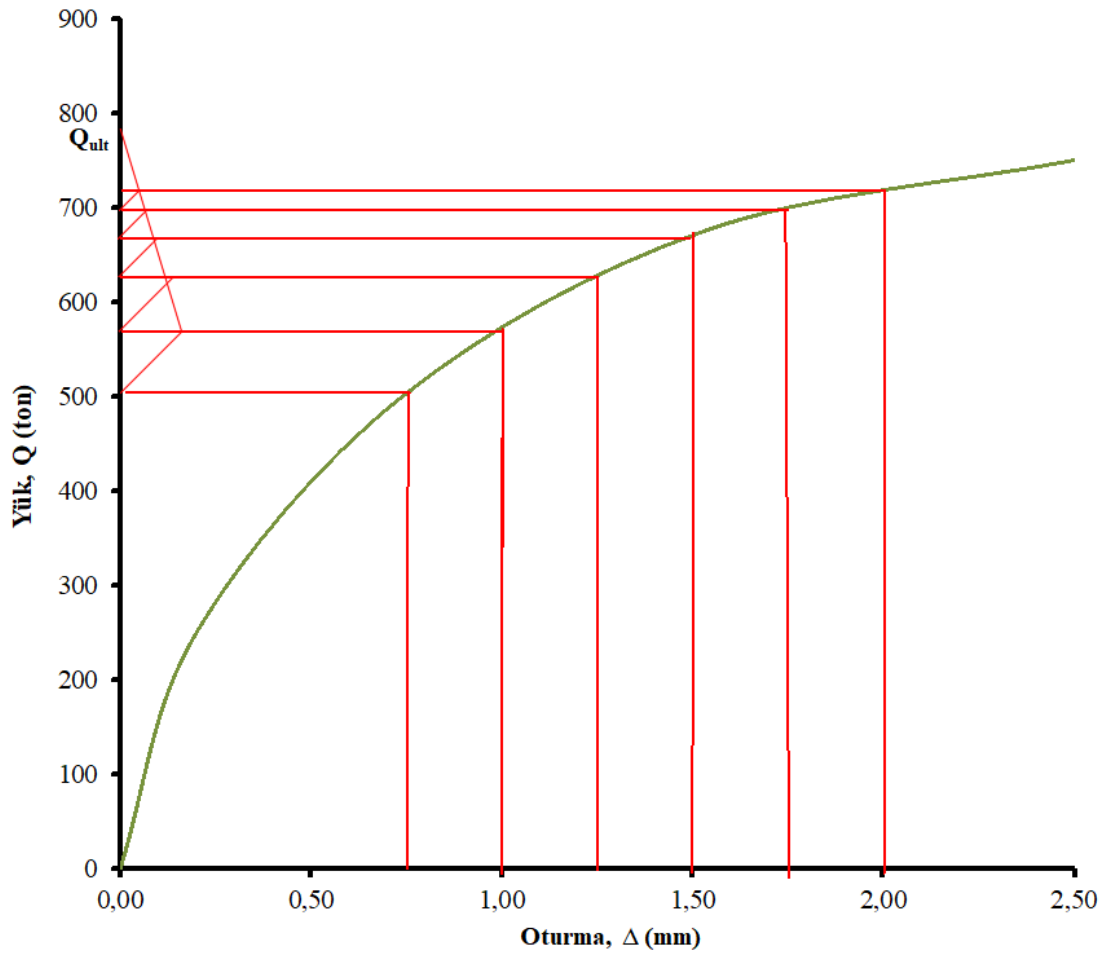


Şekil 4.15 : Housel (Creep) yöntemi uygulaması.

Bu yöntem ile yükleme deneylerinin doğru değerlendirilebilmesi için, her yük kademesindeki bekleme süreleri eşit olmalıdır.

4.1.13 Mazurkiewicz Yöntemi

Mazurkiewicz tarafından önerilen ve kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesinde yaygın olarak kullanılan bu yöntemde, yük - oturma grafiğinin oturma eksenini eşit aralıklar halinde işaretlenir. Bu oturma değerlerinden, yük - oturma eğrisini kesecek şekilde dik doğrular çizilir. Ardından, doğruların eğriyi kestiği noktaya karşılık gelen yük değerlerine yeni doğrular çizilir. Bu yük değerlerinden 45 derece açı ile çizilen doğruların sonraki doğruyu kestiği noktalar bulunur. Bulunan noktalar birleştirildiğinde yaklaşık olarak bir doğru oluşturacaktır. Bu doğrunun yük eksenini kestiği değer, taşıma kapasitesini verir [26]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.16'da verilmiştir.

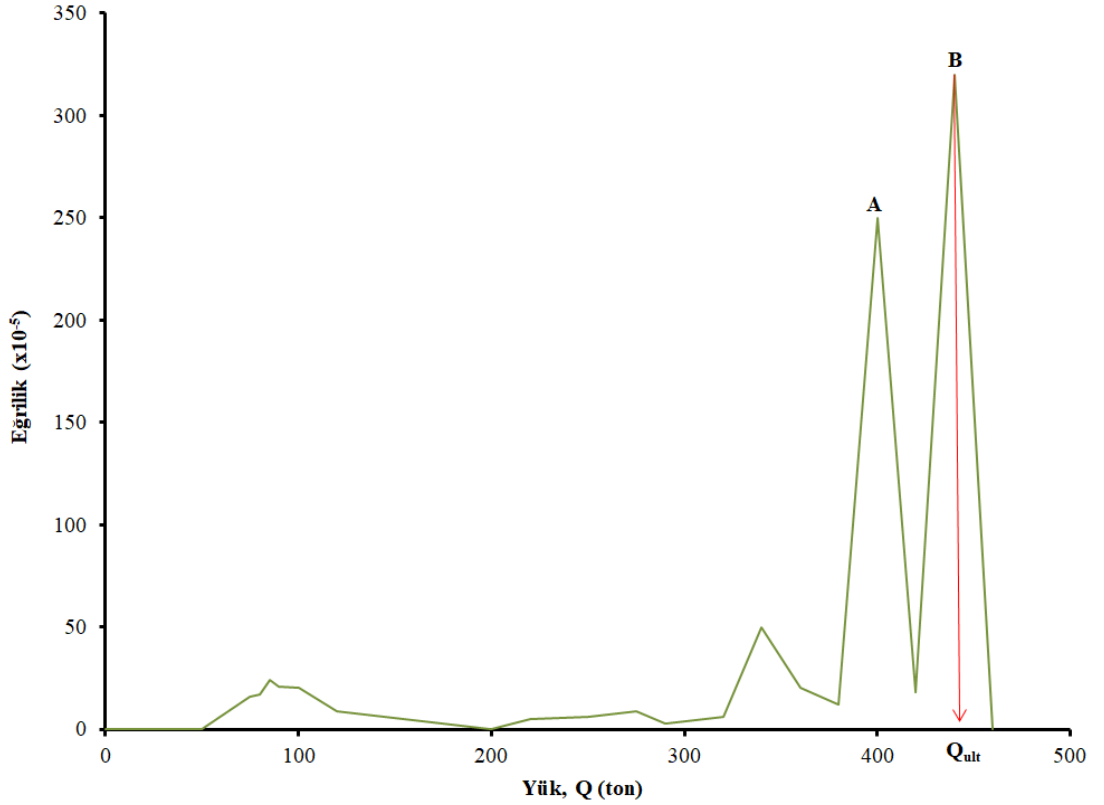


Şekil 4.16 : Mazurkiewicz yöntemi uygulaması.

Bu yöntem, yük - oturma eğrisinin parabolik olduğu kabulüne dayanmaktadır.

4.1.14 Shen - Niu Yöntemi

Shen - Niu'ya göre, yük - oturma grafiği doğrultusunda sonlu elemanlar yöntemi ile eğrilik - yük grafiği oluşturulur. Bu grafik incelendiğinde, başlangıçtaki küçük mertebedeki iniş çıkışları takiben iki adet tepe noktası gözlenir. İlk oluşan tepe noktasına (A) karşılık gelen yük, plastik oturmaların başladığı yüküdür. İkinci tepe noktasına (B) karşılık gelen yük ise kazık taşıma kapasitesi olarak tanımlanır [27]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.17'de verilmiştir.



Şekil 4.17 : Shen - Niu yöntemi uygulaması.

Yük oturma eğrisinin eğimi:

$$K = \Delta\delta/\Delta Q = (\delta_i - \delta_{i-1})/(Q_i - Q_{i-1}) \quad (4.9)$$

Yük artışına bağlı eğim artışı:

$$\Delta K = \Delta K/\Delta Q = (K_{i+1} - K_i)/(Q_{i+1} - Q_i) \quad (4.10)$$

İkinci türevi:

$$\Delta K^2 = \Delta^2 K/\Delta Q^2 = (\Delta K_{i+1} - K_i)/(Q_{i+1} - Q_i) \quad (4.11)$$

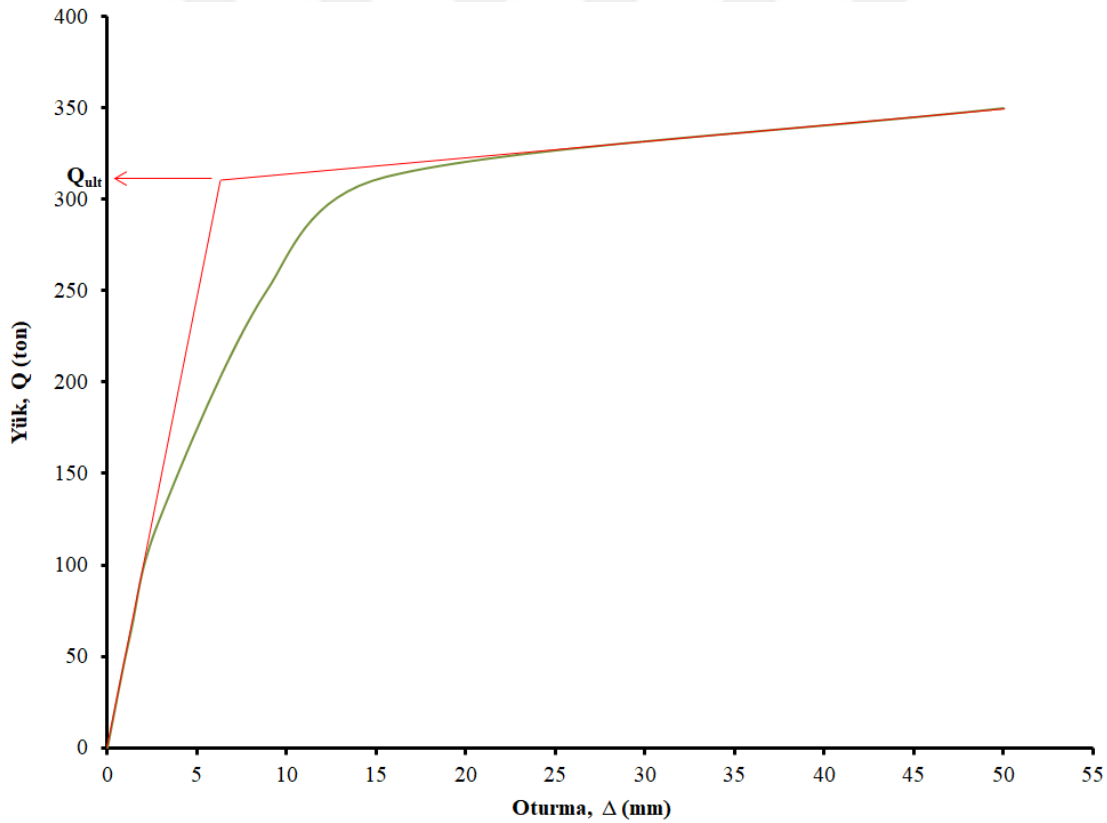
Eğrilik:

$$\Delta^2 K / (1 + K^2)^{3/2} \quad (4.12)$$

Yöntemin doğru şekilde uygulanabilmesi için yük arttırım kademelerinin eşit yapılması çok önemlidir. Yük arttırmalarındaki ufak bir düzensizlik; eğrilik - yük grafiğinde yanlış tepe noktalarının oluşmasına, bunun sonucunda da yanlış taşıma kapasitesi değerlerinin bulunmasına neden olur.

4.1.15 Teğet (Mansur - Kaufman) Yöntemi

Teğet yönteminde, yük - oturma eğrisinin elastik kısmı ve plastik oturmaların belirginleştiği kısımdan birer teğet çizilir. Bu teğetlerin kesiştiği noktaya karşılık gelen yük değeri kazık taşıma kapasitesi olarak belirlenir [28]. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.18’de verilmiştir.



Şekil 4.18 : Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi uygulaması.

Bu yöntem, yük - oturma eğrisinin asimptota yaklaştığı durumlarda iyi sonuçlar vermektedir. Henüz plastik oturmaların belirginleşmediği deney sonuçlarının değerlendirilmesinde beklenenden düşük taşıma kapasiteleri elde edilir.

Yöntemin çok basit oluşu, bir bilgisayar programına ihtiyaç olmadan deney sonuçlarını yorumlamaya imkan vermesi avantajıdır. Ancak; özellikle yük - oturma eğrisinin asimptota yaklaşmadığı durumlarda, eğrinin tam olarak oluşmamış plastik kısmına çizilecek teğetin kişisel yoruma açık olması ise yöntemin dezavantajıdır.

4.1.16 Van Der Veen Yöntemi

Van Der Veen yöntemine göre kazık taşıma kapasitesi, yük arttırım kademeleri ve bu yüklere karşılık gelen oturma değerlerine bağlı bir denklem (4.9) yardımıyla bulunur. Yöntemin uygulanması ile ilgili bir örnek Şekil 4.19’da verilmiştir.

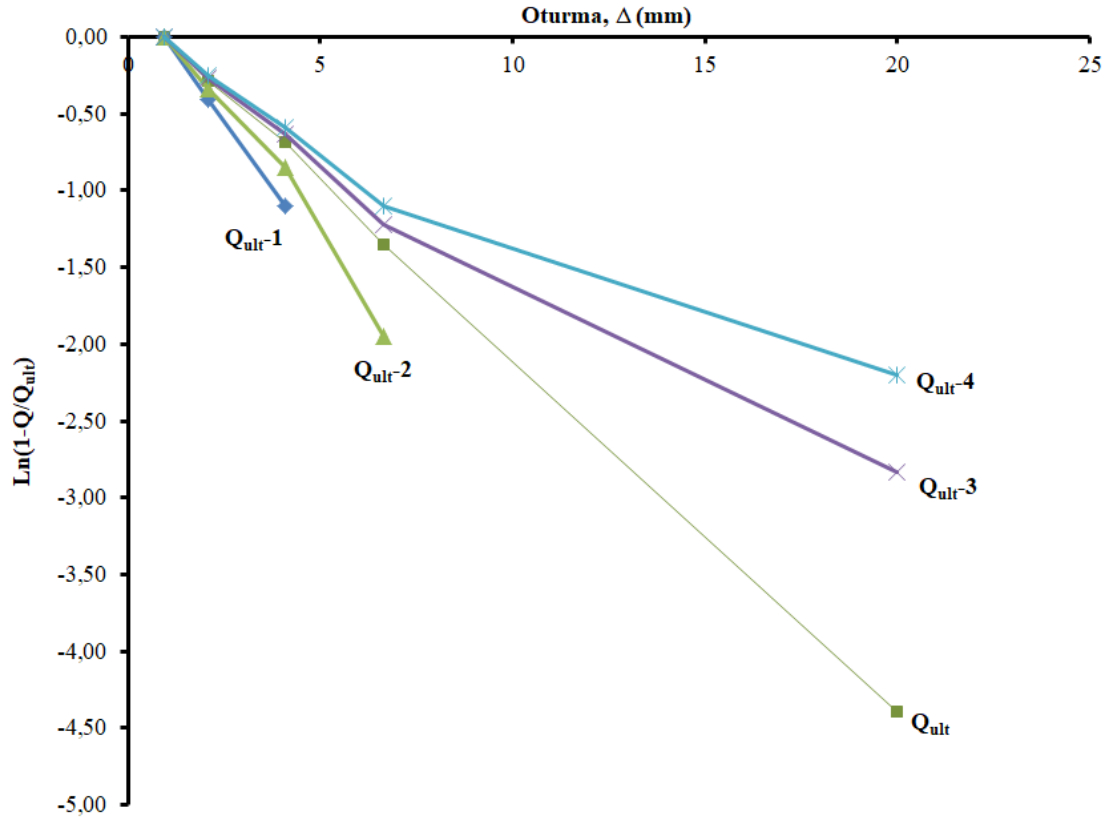
$$\ln(1 - Q/Q_{ult}) = -w\Delta \quad (4.9)$$

Q = Yük

Q_{ult} = Kazık taşıma kapasitesi

w = Yük-oturma denkleminde bağlı bir katsayı

Δ = Oturma



Şekil 4.19 : Van Der Veen yöntemi uygulaması.

Buna göre; (4.9) denklemini kullanılarak farklı Q_{ult} değerleri için $\ln(1-Q/Q_{ult}) - \Delta$ grafikleri çizdirilir. Deneme yanımlar sonucu grafiğin bir doğru halini almasını sağlayan Q_{ult} değeri, kazık taşıma kapasitesi olarak belirlenir [29].

4.2 Güvenlik Katsayısı

Açıklanan yöntemler ile kazık taşıma kapasiteleri belirlendikten sonra bu değerler bir güvenlik katsayısına bölünerek tasarıma esas nihai kazık taşıma kapasitesi belirlenmelidir. Fellenius'a göre bu güvenlik katsayısı her zaman sabit bir değer olarak düşünülmemelidir. Güvenlik katsayısı belirlenirken, kazık taşıma kapasitesine hangi yöntem kullanılarak ulaşıldığı ve yükleme deneyinin sahanın genelini ne kadar temsil ettiği önemlidir.

Kazık yükleme deneyi; tasarım aşamasının başında, henüz kazık boyları ve çapları belirlenmeden önce gerçekleştiriliyorsa güvenlik katsayısı en az 2.5 kabul edilmelidir. Eğer deney; tasarımın son aşamalarında, uygulama projesini iyi derecede temsil eden şartlarda yapılıyorsa güvenlik katsayısı 2.2 olarak alınabilir. Uygulama projesi doğrultusunda belirlenen boy ve çapta, yerinde imal edilmiş kazıklar üzerinde, tasarımı doğrulamak amacıyla uygulanan yükleme deneylerinde ise kullanılan güvenlik katsayısı genel olarak 2.0'dir. Kanıt amacıyla yapılan yükleme deneylerinde, detaylı zemin araştırması ve iyi derecede imalat kontrolü doğrultusunda bu katsayı 1.8'e kadar düşürülebilir. [30]

Ayrıca, kazık yükleme deney sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan yöntemlere göre uygulanacak güvenlik katsayıları değişkenlik göstermektedir. Örneğin; genel olarak daha yüksek taşıma kapasitesi değerlerine ulaşılan Chin - Kondner yönteminde daha büyük güvenlik katsayısı, daha düşük taşıma kapasitesi değerleri veren De Beer yönteminde ise daha küçük güvenlik katsayısı kullanılması uygun olacaktır. Bu doğrultuda; kazık taşıma kapasitesi belirlenirken, birden fazla yöntem kullanılarak elde edilen sonuçların kıyaslanması ve içlerinde en düşük değerini nihai taşıma kapasitesi olarak belirlenmesi izlenebilecek en güvenli yoldur.

Kazık taşıma kapasitesi, bu çalışmada açıklanan yöntemlerin bazılarında ekstrapolasyon yapılarak elde edilmektedir. Genel bir mühendislik kuralı olarak; eğer ekstrapolasyon ile bulunan taşıma kapasitesi, deneyde uygulanan maksimum yükten fazla ise, deneyde uygulanan maksimum yük taşıma kapasitesi olarak kullanılmalıdır.

Ek olarak; ulaşılan taşıma kapasitesinin güvenlik katsayısına bölünmesi sonucu elde edilen nihai taşıma kapasitesi değeri ne karşılık gelen oturmaların, kazıklı temel sisteminin taşıdığı üstyapının izin verdiği oturma miktarı ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.





5. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu bölümde; yurtiçi ve yurtdışındaki çeşitli projelerde gerçekleştirilmiş 25 adet kazık yükleme deneyi, 14 farklı yöntem ile değerlendirilerek kazık taşıma kapasiteleri elde edilmiştir. Farklı yöntemler ile ulaşılan sonuçlar karşılaştırılarak yöntemlerin uygulanabilirliği ve kararlılıkları yorumlanmıştır. Ayrıca; hesaplanan taşıma kapasiteleri doğrultusunda her yöntem için ayrı güvenlik katsayıları önerilmiştir.

Kazık yükleme deneyleri, statik eksenel basınç uygulanarak SM yöntemi ile genellikle 2 çevrimde gerçekleştirilmiştir. Tümü fore kazıklar üzerinde gerçekleştirilen deneylerde; ilk çevrimde tasarım yüküne kadar, ikinci çevrimde tasarım yükünün %200'üne kadar %25'lik eşit yük arttırım kademeleri ile yükleme yapılmıştır. Deney kazığındaki oturmalar, başlık kirişine yerleştirilen dört adet komparatör okumalarının ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Reaksiyon sistemi olarak, uygulanan yük doğrultusunda iki ya da dört adet çekme kazığı kullanılmıştır.

Göçme durumuna kadar yüklemeye devam edilen deneylerde, yöntemlerin genellikle birbirine çok yakın sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmanın esas konusu, göçme durumuna ulaşılmamış kazık yükleme deneylerinde kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesidir. Bu nedenle; tez çalışmasında ele alınan 25 farklı yükleme deneyinin büyük çoğunluğu (25 deneyden 20 tanesi), göçme oluşmayan deneylerden seçilmiştir. İlave olarak; deneyin göçme durumuna kadar devam ettirilmesi halinde elde edilen sonuçların kararlılığına değinilmek için göçme durumuna kadar yüklenen 5 farklı deney de çalışmaya dahil edilmiştir. Kullanılan yöntemlerin doğru şekilde yorumlanabilmesi için; seçilen deneylerde kazık imalat kalitesinin iyi derecede olması, elde edilen yük-oturma eğrilerinde anormallik gözlenmemesine dikkat edilmiştir.

Aşağıda; deney kazıklarının özellikleri, kazık yükleme deneyi sonuçları, hesaplanan kazık taşıma kapasiteleri, yöntemlerin karşılaştırılması, istatistiksel analizler ve önerilen güvenlik katsayıları açıklanmaktadır.

5.1 Deney Kazıklarının Özellikleri

Çalışmaya esas yükleme deneylerinin tamamı fore kazıklar üzerinde, 28 günlük beton dayanımı sağlandıktan sonra gerçekleştirilmiştir. Fore kazık çapları; 80 cm ile 120 cm, boyları ise 8 metre ile 37.50 metre arasında değişmektedir. Deney kazıklarına ait özellikler Çizelge 5.1’de özetlenmektedir.

Çizelge 5.1 : Deney kazıklarının özellikleri.

Deney No	Kazık Tipi	Kazık Çapı (cm)	Kazık Boyu (m)
1	Fore Kazık	100	22,50
2	Fore Kazık	80	37,50
3	Fore Kazık	100	15,00
4	Fore Kazık	80	12,50
5	Fore Kazık	80	30,00
6	Fore Kazık	100	15,00
7	Fore Kazık	80	30,00
8	Fore Kazık	100	36,00
9	Fore Kazık	80	18,00
10	Fore Kazık	80	30,00
11	Fore Kazık	80	30,00
12	Fore Kazık	120	19,00
13	Fore Kazık	100	14,00
14	Fore Kazık	120	24,00
15	Fore Kazık	100	8,00
16	Fore Kazık	120	23,70
17	Fore Kazık	100	13,20
18	Fore Kazık	100	12,00
19	Fore Kazık	100	20,00
20	Fore Kazık	100	32,00
21	Fore Kazık	80	26,00
22	Fore Kazık	80	16,00
23	Fore Kazık	100	36,00
24	Fore Kazık	100	36,00
25	Fore Kazık	80	30,00

5.2 Kazık Yükleme Deneyi Sonuçları

Yükleme deneylerinde uygulanan yükler, kaydedilen oturma değerleri ve göçme durumları Çizelge 5.2’de özetlenmiştir. Elde edilen yük-oturma eğrileri, Ekler bölümünde yer almaktadır.

Çizelge 5.2 : Kazık yükleme deneyi sonuçları.

Deney No	Deney Yüğü (ton)	Kalıcı Oturma (mm)	Elastik Oturma (mm)	Toplam Oturma (mm)	Göçme Durumu
1	1500	5,06	12,55	17,61	Yok
2	640	37,81	8,50	46,31	Yok
3	700	1,01	1,72	2,73	Yok
4	330	1,34	1,62	2,96	Yok
5	900	9,94	9,38	19,32	Yok
6	1000	3,85	2,69	6,54	Yok
7	400	9,22	10,78	20,00	Yok
8	1350	22,05	15,99	38,04	Yok
9	450	14,21	5,94	20,15	Yok
10	600	7,22	5,20	12,42	Yok
11	600	14,26	5,98	20,24	Yok
12	660	2,15	3,00	5,15	Yok
13	750	1,08	2,14	3,22	Yok
14	1800	5,41	6,52	11,93	Yok
15	750	1,08	2,14	3,22	Yok
16	750	0,37	1,79	2,16	Yok
17	305	0,62	1,76	2,38	Yok
18	259	1,26	0,91	2,17	Yok
19	720	11,65	2,24	13,89	Yok
20	810	20,97	8,65	29,62	Yok
21	500	-	-	42,40	Var
22	350	-	-	60,00	Var
23	1012	-	-	46,59	Var
24	787	-	-	22,45	Var
25	400	-	-	81,75	Var

5.3 Hesaplanan Kazık Taşıma Kapasiteleri

Gerçekleştirilen 25 adet kazık yükleme deneyi; Bölüm 4.1’de detaylı şekilde açıklanan Brinch Hansen %80, Brinch Hansen %90, Butler - Hoy, Cambefort - Chadeisson, Chin - Kondner, Corps of Engineers, Davisson, De Beer, Decourt, Fuller - Hoy, Hirany - Kulhawy, Mazurkiewicz, Teğet (Mansur - Kaufman) ve Van Der Veen yöntemleri ile değerlendirilerek her yöntem için kazık taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Hesaplamaların tamamı Microsoft Excel programı ile yapılmış olup, başka bir yazılım kullanılmamıştır.

Yöntemlerin kazık taşıma kapasitesini belirlemek doğrultusunda tarif ettiği şartlar, her deney için sağlanamamaktadır. Bu durumda; en büyük deney yükü taşıma kapasitesi olarak kabul edilmemiş, yöntem başarısız olarak değerlendirilmiştir.

Hesaplamalar için oluşturulan grafikler Ekler bölümünde paylaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.3’te özetlenmiştir. Başarısız kabul edilen yöntemler söz konusu çizelgede “-“ işareti ile belirtilmektedir.

Çizelge 5.3 : Hesaplanan kazık taşıma kapasiteleri.

Deney No	Brinch Hansen %80	Brinch Hansen %90	Butler-Hoy	Cambefort-Chadeisson	Chin-Kondner	Corps of Engineers	Davisson	De Beer	Decourt	Fuller-Hoy	Hirany-Kulhawy	Mazurkiewicz	Teğet (Mansur Kaufman)	Van Der Veen	Deney Yüğü (ton)	Ort. Taşıma Kapasitesi (ton)
1	1887	-	1495	1250	2173	1203	-	1187	2193	-	-	1545	1250	1650	1500	1583
2	778	-	617	400	787	453	500	400	784	-	559	666	440	485	640	572
3	717	-	699	600	819	670	-	600	820	-	-	668	610	400	700	660
4	465	-	329	275	699	310	-	250	705	-	-	330	270	340	330	397
5	998	-	891	600	1162	747	-	595	1152	-	-	882	700	790	900	852
6	-	-	998	700	2222	901	-	700	2360	-	-	994	720	800	1000	1155
7	423	-	390	300	476	329	382	300	467	-	-	414	290	405	400	380
8	1816	-	1334	1237	2380	1212	1240	900	2440	-	-	1377	1075	1350	1350	1487
9	828	-	442	330	636	346	392	320	627	-	-	428	320	465	450	467
10	-	-	597	450	1298	493	-	440	1310	-	-	617	480	640	600	703
11	628	-	593	525	900	493	-	500	885	-	-	592	520	605	600	624
12	1391	-	658	495	1176	610	-	480	1181	-	-	707	510	590	660	780
13	795	-	749	625	1470	686	-	500	1477	-	-	745	560	690	750	830
14	2296	-	1794	1200	2564	1506	-	1250	2588	-	-	1938	1280	1600	1800	1802
15	795	-	748	675	1030	723	-	620	1104	-	-	767	670	770	750	790
16	906	-	749	-	1333	723	-	630	1460	-	-	772	670	855	750	900
17	348	-	304	203	389	281	-	210	386	-	-	325	235	270	305	295
18	-	-	259	216	558	234	-	180	554	-	-	300	185	240	259	303
19	720	-	711	540	800	625	-	540	837	-	-	815	540	770	720	690

Çizelge 5.3 (devam) : Hesaplanan kazık taşıma kapasiteleri.

Deney No	Brinch Hansen %80	Brinch Hansen %90	Butler-Hoy	Cambefort-Chadeison	Chin-Kondner	Corps of Engineers	Davisson	De Beer	Decourt	Fuller-Hoy	Hirany-Kulhawy	Mazurkiewicz	Teğet (Mansur Kaufman)	Van Der Veen	Deney Yüğü (ton)	Ort. Taşıma Kapasitesi (ton)
20	816	810	796	743	980	670	778	640	943	-	-	792	720	813	810	792
21	523	470	472	400	526	406	440	390	527	-	471	419	405	430	500	452
22	358	318	312	250	363	291	308	250	368	325	330	325	310	286	350	314
23	1018	990	992	900	1136	956	930	900	1144	-	982	927	900	1010	1012	983
24	778	760	776	675	847	709	-	660	850	-	-	702	680	675	787	737
25	400	-	340	300	418	299	315	280	416	-	340	314	305	325	400	338

5.4 Yöntemlerin Karşılaştırılması

25 farklı kazık yükleme deneyi üzerinde 14 farklı yöntem için ayrı ayrı hesaplanan kazık taşıma kapasiteleri doğrultusunda; her yöntemin uygulanabilme yüzdesi, en yüksek ve en düşük taşıma kapasitesi verme yüzdesi ve yöntemlerin taşıma kapasitesini belirlemedeki sıralamaları kıyaslanarak Çizelge 5.4'te gösterilmiştir.

Çizelge 5.4 : Yöntemlerin karşılaştırılması.

Yöntem	Uygulanabilme Yüzdesi (%)	En Yüksek Taşıma Kapasitesi Verme Yüzdesi (%)	En Düşük Taşıma Kapasitesi Verme Yüzdesi (%)	Yöntemin Taşıma Kapasitesini Belirlemedeki Sıralaması*
Brinch Hansen %80	88	8	0	3
Brinch Hansen %90	20	0	0	-
Butler-Hoy	100	0	0	5
Cambefort-Chadeisson	96	0	32	9
Chin-Kondner	100	32	0	2
Corps of Engineers	100	0	4	7
Davisson	36	0	0	-
De Beer	100	0	84	10
Decourt	100	60	0	1
Fuller-Hoy	4	0	0	-
Hirany-Kulhawy	20	0	0	-
Mazurkiewicz	100	0	0	4
Teğet (Mansur Kaufman)	100	0	16	8
Van Der Veen	100	0	0	6

*Sıralama, en yüksek taşıma kapasitesi değerini veren yöntemden en düşük taşıma kapasitesi değerini veren yönetime göre yapılmıştır. Sıralamaya, göçme durumuna ulaşmamış yükleme deneyleri üzerinde uygulanabilme yüzdesi çok düşük olan Brinch Hansen %90, Davisson, Fuller-Hoy ve Hirany-Kulhawy yöntemleri dahil edilmemiştir.

Çizelge 5.4 incelendiğinde en düşük taşıma kapasitesi verme yüzdelerinin toplamının %100'ü geçtiği görülmektedir. Bunun nedeni, bazı deneylerde farklı yöntemler ile

elde edilen sonuçların birbirine eşit ve diğer yöntemler arasında en düşük değerler olmasıdır.

5.5 İstatistiksel Analizler

Bu bölümde; elde edilen taşıma kapasitesi değerlerinin farklı deneyler ve farklı yöntemler için belirsizlikleri, istatistiksel analizlerden yararlanılarak yorumlanmıştır. Belirsizlikler; standart sapmalar hesaplanarak varyasyon katsayıları ile ifade edilmiştir.

Çalışmada incelenen 25 farklı kazık yükleme deneyi için 14 farklı yöntem ile elde edilen kazık taşıma kapasiteleri kıyaslandığında, hesaplanan değerler arasında önemli farklılıklar olduğu anlaşılmaktadır. Öyle ki, bu farklılıklar aynı deney için yaklaşık %300 mertebelerindedir. Bu nedenle, farklı yöntemlerin kazık taşıma kapasitelerini belirlemekteki tutarlılıklarının incelenmesi gerekmektedir.

Tezin esas amacının; göçme durumuna ulaşmamış kazık yükleme deneylerinde taşıma kapasitesinin belirlenmesi olması nedeniyle, çalışmada incelenen kazık yükleme deneyleri seçilirken deneylerin büyük kısmının (25 deneyden 20 tanesinin) bu şartı sağlaması dikkate alınmıştır. İlave olarak; deneyin göçme durumuna kadar devam ettirilmesi halinde elde edilen sonuçların kararlılığına değinilmek için göçme durumuna kadar yüklenen 5 farklı deney de çalışmaya dahil edilmiştir.

Çizelge 5.5'te, gerçekleştirilen 25 farklı kazık yükleme deneyi için 14 farklı yöntem ile elde edilen taşıma kapasitesi değerlerinin varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.6'da; 14 farklı yöntem ile bulunan kazık taşıma kapasiteleri, her deney için elde edilen ortalama taşıma kapasitelerine bölünerek varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.2'de özetlenmiştir.

Çizelge 5.7'de; 14 farklı yöntem ile bulunan kazık taşıma kapasiteleri, her deney için uygulanan maksimum yüke bölünerek varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 5.3'te özetlenmiştir.

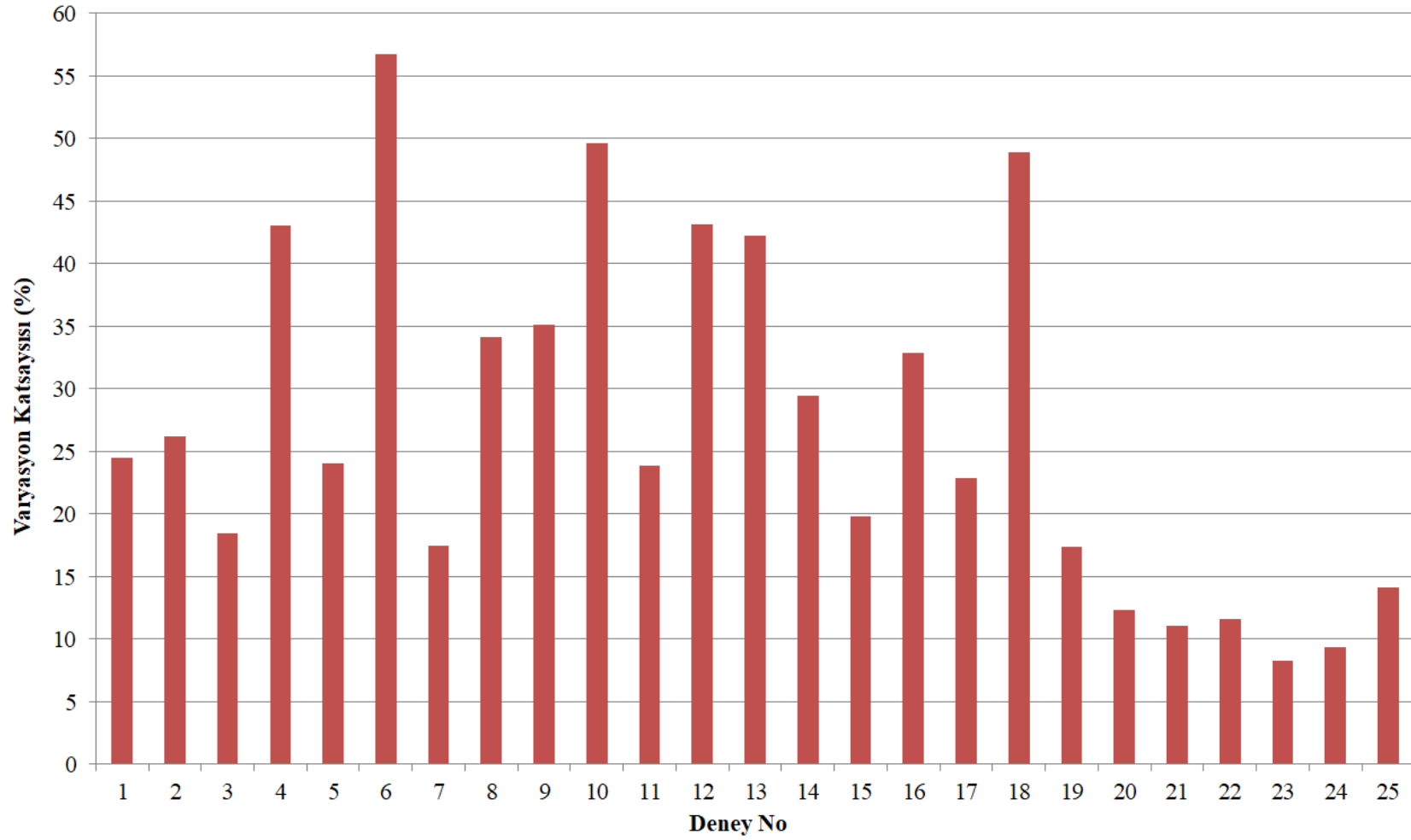
Ulaşılan sonuçlar, Bölüm 6'da detaylı olarak yorumlanmıştır.

Çizelge 5.5 : Farklı yükleme deneyleri için hesaplanan taşıma kapasitelerinin varyasyon katsayıları.

Yöntem	Deney No																								
	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
Brinch Hansen %80	1887	778	717	465	998	-	423	1816	828	-	628	1391	795	2296	795	906	348	-	720	816	523	358	1018	778	400
Brinch Hansen %90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	810	470	318	990	760	-
Butler-Hoy	1495	617	699	329	891	998	390	1334	442	597	593	658	749	1794	748	749	304	259	711	796	472	312	992	776	340
Cambefort-Chadeisson	1250	400	600	275	600	700	300	1237	330	450	525	495	625	1200	675	-	203	216	540	743	400	250	900	675	300
Chin-Kondner	2173	787	819	699	1162	2222	476	2380	636	1298	900	1176	1470	2564	1030	1333	389	558	800	980	526	363	1136	847	418
Corps of Engineers	1203	453	670	310	747	901	329	1212	346	493	493	610	686	1506	723	723	281	234	625	670	406	291	956	709	299
Davisson	-	500	-	-	-	-	382	1240	392	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	778	440	308	930	-	315
De Beer	1187	400	600	250	595	700	300	900	320	440	500	480	500	1250	620	630	210	180	540	640	390	250	900	660	280
Decourt	2193	784	820	705	1152	2360	467	2440	627	1310	885	1181	1477	2588	1104	1460	386	554	837	943	527	368	1144	850	416
Fuller-Hoy	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	325	-	-	-
Hirany-Kulhawy	-	559	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	471	330	982	-	340
Mazurkiewicz	1545	666	668	330	882	994	414	1377	428	617	592	707	745	1938	767	772	325	300	815	792	419	325	927	702	314
Teğet (Mansur Kaufman)	1250	440	610	270	700	720	290	1075	320	480	520	510	560	1280	670	670	235	185	540	720	405	310	900	680	305
Van Der Veen	1650	485	400	340	790	800	405	1350	465	640	605	590	690	1600	770	855	270	240	770	813	430	286	1010	675	325

Çizelge 5.5 (devam) : Farklı yükleme deneyleri için hesaplanan taşıma kapasitelerinin varyasyon katsayıları.

Yöntem	Deney No																								
	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
Ortalama	1583	572	660	397	852	1155	380	1487	467	703	624	780	830	1802	790	900	295	303	690	792	452	314	983	737	338
Standart Sapma	387	150	122	171	205	655	66	508	164	349	149	337	351	530	156	296	68	148	120	98	50	37	81	69	48
Varyasyon Katsayısı (%)	24	26	18	43	24	57	17	34	35	50	24	43	42	29	20	33	23	49	17	12	11	12	8	9	14



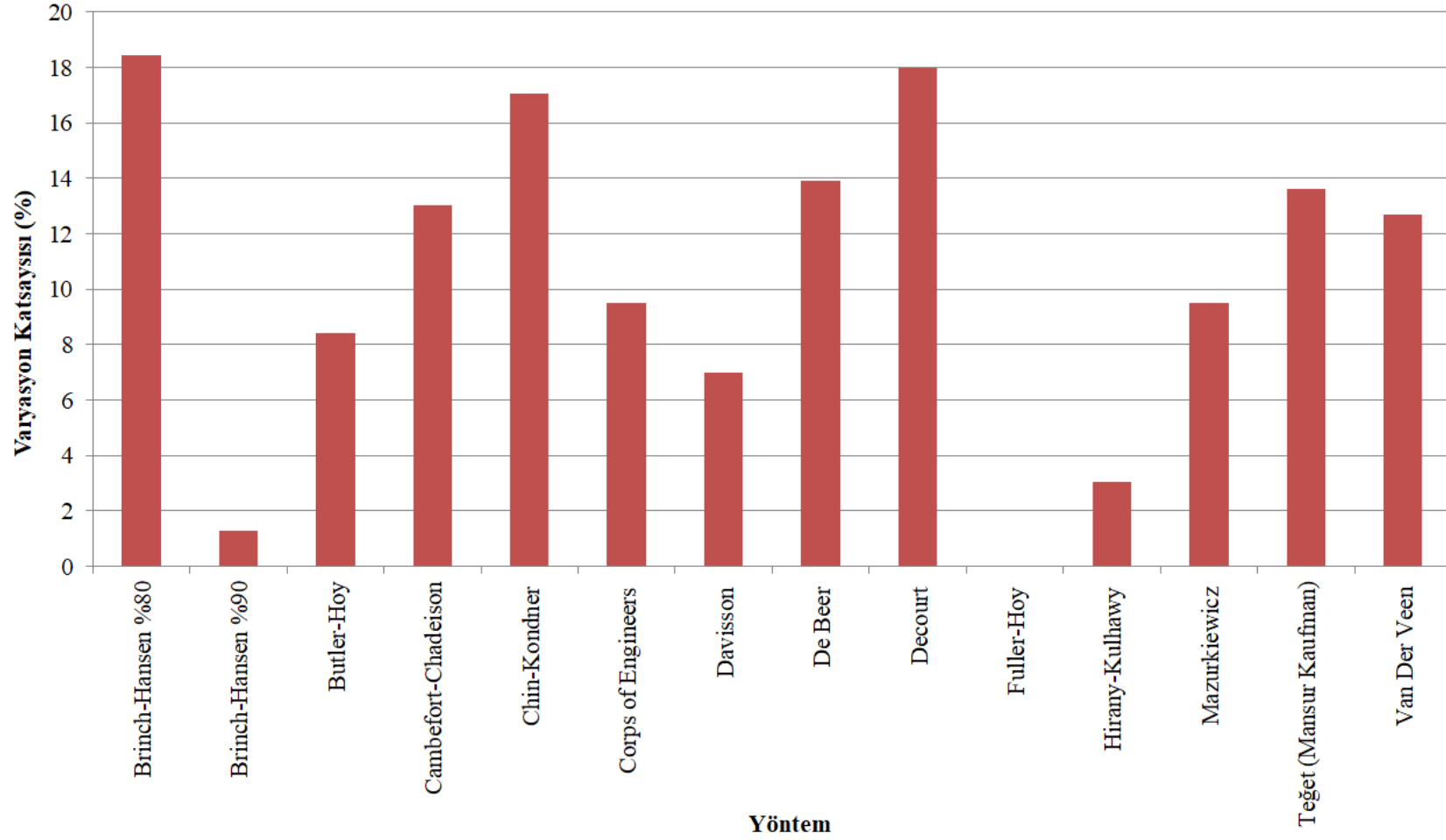
Şekil 5.1 : Farklı yükleme deneyleri için hesaplanan taşıma kapasitelerinin varyasyon katsayıları.

Çizelge 5.6 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.

Deney No	Brinch Hansen %80	Brinch Hansen %90	Butler- Hoy	Cambefort- Chadeisson	Chin- Kondner	Corps of Engineers	Davisson	De Beer	Decourt	Fuller- Hoy	Hirany- Kulhawy	Mazurkiewicz	Teğet (Mansur Kaufman)	Van Der Veen
1	1,19	-	0,94	0,79	1,37	0,76	-	0,75	1,39	-	-	0,98	0,79	1,04
2	1,36	-	1,08	0,70	1,37	0,79	0,87	0,70	1,37	-	0,98	1,16	0,77	0,85
3	1,09	-	1,06	0,91	1,24	1,01	-	0,91	1,24	-	-	1,01	0,92	0,61
4	1,17	-	0,83	0,69	1,76	0,78	-	0,63	1,77	-	-	0,83	0,68	0,86
5	1,17	-	1,05	0,70	1,36	0,88	-	0,70	1,35	-	-	1,04	0,82	0,93
6	-	-	0,86	0,61	1,92	0,78	-	0,61	2,04	-	-	0,86	0,62	0,69
7	1,11	-	1,03	0,79	1,25	0,87	1,01	0,79	1,23	-	-	1,09	0,76	1,07
8	1,22	-	0,90	0,83	1,60	0,81	0,83	0,61	1,64	-	-	0,93	0,72	0,91
9	1,77	-	0,95	0,71	1,36	0,74	0,84	0,69	1,34	-	-	0,92	0,69	1,00
10	-	-	0,85	0,64	1,85	0,70	-	0,63	1,86	-	-	0,88	0,68	0,91
11	1,01	-	0,95	0,84	1,44	0,79	-	0,80	1,42	-	-	0,95	0,83	0,97
12	1,78	-	0,84	0,63	1,51	0,78	-	0,62	1,51	-	-	0,91	0,65	0,76
13	0,96	-	0,90	0,75	1,77	0,83	-	0,60	1,78	-	-	0,90	0,67	0,83
14	1,27	-	1,00	0,67	1,42	0,84	-	0,69	1,44	-	-	1,08	0,71	0,89
15	1,01	-	0,95	0,85	1,30	0,91	-	0,78	1,40	-	-	0,97	0,85	0,97
16	1,01	-	0,83	-	1,48	0,80	-	0,70	1,62	-	-	0,86	0,74	0,95
17	1,18	-	1,03	0,69	1,32	0,95	-	0,71	1,31	-	-	1,10	0,80	0,91
18	-	-	0,86	0,71	1,84	0,77	-	0,59	1,83	-	-	0,99	0,61	0,79
19	1,04	-	1,03	0,78	1,16	0,91	-	0,78	1,21	-	-	1,18	0,78	1,12
20	1,03	1,02	1,01	0,94	1,24	0,85	0,98	0,81	1,19	-	-	1,00	0,91	1,03

Çizelge 5.6 (devam) : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.

Deney No	Brinch Hansen %80	Brinch Hansen %90	Butler- Hoy	Cambefort- Chadeison	Chin- Kondner	Corps of Engineers	Davisson	De Beer	Decourt	Fuller- Hoy	Hirany- Kulhawy	Mazurkiewicz	Teğet (Mansur Kaufman)	Van Der Veen
21	1,16	1,04	1,04	0,88	1,16	0,90	0,97	0,86	1,17	-	1,04	0,93	0,90	0,95
22	1,14	1,01	0,99	0,80	1,16	0,93	0,98	0,80	1,17	1,04	1,05	1,04	0,99	0,91
23	1,04	1,01	1,01	0,92	1,16	0,97	0,95	0,92	1,16	-	1,00	0,94	0,92	1,03
24	1,05	1,03	1,05	0,92	1,15	0,96	-	0,89	1,15	-	-	0,95	0,92	0,92
25	1,18	-	1,01	0,89	1,24	0,89	0,93	0,83	1,23	-	1,01	0,93	0,90	0,96
Ortalama	1,18	1,02	0,96	0,78	1,42	0,85	0,93	0,74	1,43	1,04	1,01	0,98	0,79	0,91
Standart Sapma	0,22	0,01	0,08	0,10	0,24	0,08	0,07	0,10	0,26	-	0,03	0,09	0,11	0,12
Varyasyon Katsayısı (%)	18	1	8	13	17	10	7	14	18	-	3	10	14	13



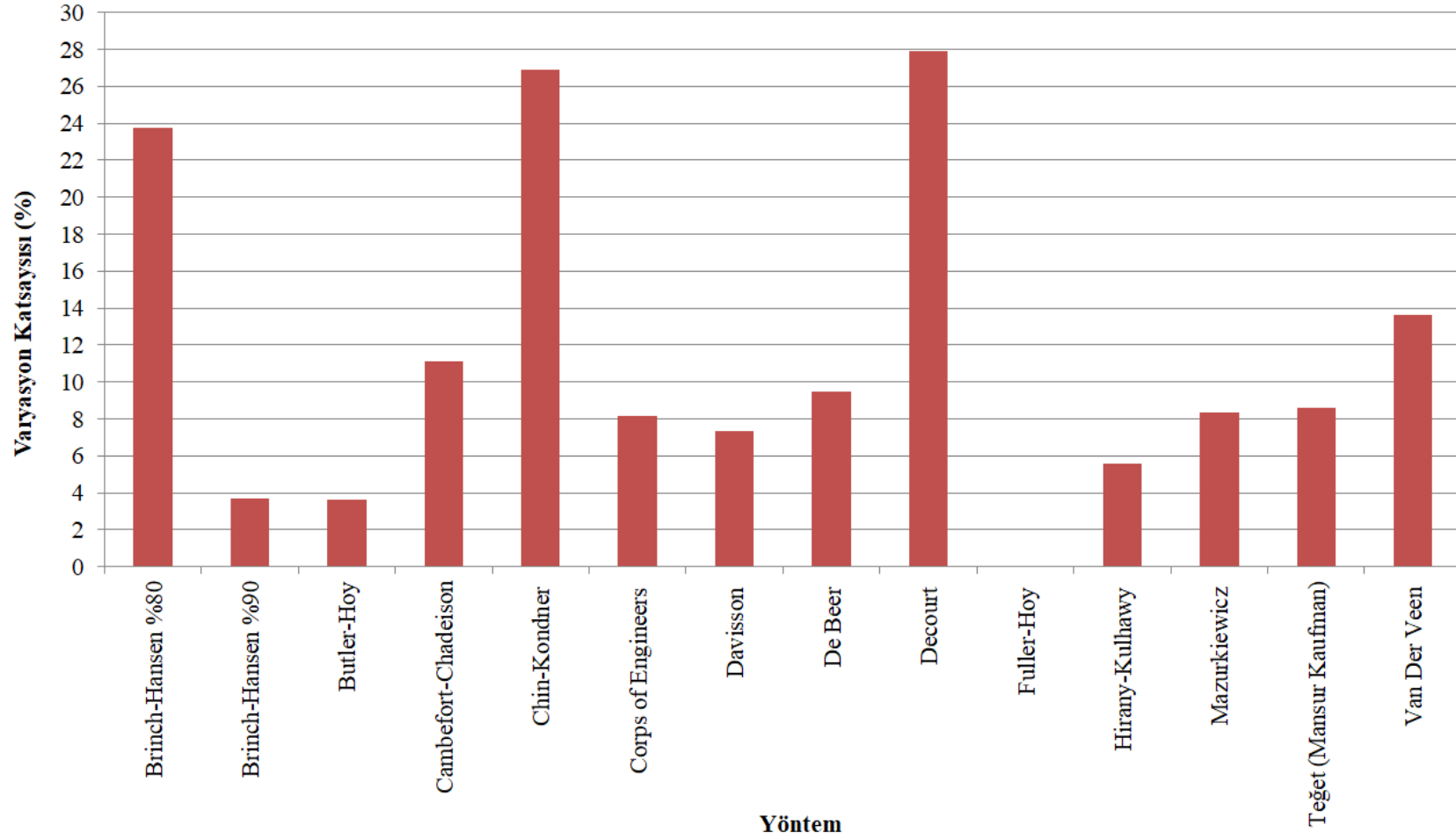
Şekil 5.2 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.

Çizelge 5.7 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin maksimum deney yüküne oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.

Deney No	Brinch Hansen %80	Brinch Hansen %90	Butler- Hoy	Cambefort- Chadeisson	Chin- Kondner	Corps of Engineers	Davisson	De Beer	Decourt	Fuller- Hoy	Hirany- Kulhawy	Mazurkiewicz	Teğet (Mansur Kaufman)	Van Der Veen
1	1,26	-	1,00	0,83	1,45	0,80	-	0,79	1,46	-	-	1,03	0,83	1,10
2	1,22	-	0,96	0,63	1,23	0,71	0,78	0,63	1,23	-	0,87	1,04	0,69	0,76
3	1,02	-	1,00	0,86	1,17	0,96	-	0,86	1,17	-	-	0,95	0,87	0,57
4	1,41	-	1,00	0,83	2,12	0,94	-	0,76	2,14	-	-	1,00	0,82	1,03
5	1,11	-	0,99	0,67	1,29	0,83	-	0,66	1,28	-	-	0,98	0,78	0,88
6	-	-	1,00	0,70	2,22	0,90	-	0,70	2,36	-	-	0,99	0,72	0,80
7	1,06	-	0,98	0,75	1,19	0,82	0,96	0,75	1,17	-	-	1,04	0,73	1,01
8	1,35	-	0,99	0,92	1,76	0,90	0,92	0,67	1,81	-	-	1,02	0,80	1,00
9	1,84	-	0,98	0,73	1,41	0,77	0,87	0,71	1,39	-	-	0,95	0,71	1,03
10	-	-	1,00	0,75	2,16	0,82	-	0,73	2,18	-	-	1,03	0,80	1,07
11	1,05	-	0,99	0,88	1,50	0,82	-	0,83	1,48	-	-	0,99	0,87	1,01
12	2,11	-	1,00	0,75	1,78	0,92	-	0,73	1,79	-	-	1,07	0,77	0,89
13	1,06	-	1,00	0,83	1,96	0,91	-	0,67	1,97	-	-	0,99	0,75	0,92
14	1,28	-	1,00	0,67	1,42	0,84	-	0,69	1,44	-	-	1,08	0,71	0,89
15	1,06	-	1,00	0,90	1,37	0,96	-	0,83	1,47	-	-	1,02	0,89	1,03
16	1,21	-	1,00	-	1,78	0,96	-	0,84	1,95	-	-	1,03	0,89	1,14
17	1,14	-	1,00	0,67	1,28	0,92	-	0,69	1,27	-	-	1,07	0,77	0,89
18	-	-	1,00	0,83	2,15	0,90	-	0,69	2,14	-	-	1,16	0,71	0,93
19	1,00	-	0,99	0,75	1,11	0,87	-	0,75	1,16	-	-	1,13	0,75	1,07
20	1,01	1,00	0,98	0,92	1,21	0,83	0,96	0,79	1,16	-	-	0,98	0,89	1,00

Çizelge 5.7 (devam) : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin maksimum deney yüküne oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.

Deney No	Brinch Hansen %80	Brinch Hansen %90	Butler-Hoy	Cambefort-Chadeison	Chin-Kondner	Corps of Engineers	Davisson	De Beer	Decourt	Fuller-Hoy	Hirany-Kulhawy	Mazurkiewicz	Teğet (Mansur Kaufman)	Van Der Veen
21	1,05	0,94	0,94	0,80	1,05	0,81	0,88	0,78	1,05	-	0,94	0,84	0,81	0,86
22	1,02	0,91	0,89	0,71	1,04	0,83	0,88	0,71	1,05	0,93	0,94	0,93	0,89	0,82
23	1,01	0,98	0,98	0,89	1,12	0,94	0,92	0,89	1,13	-	0,97	0,92	0,89	1,00
24	0,99	0,97	0,99	0,86	1,08	0,90	-	0,84	1,08	-	-	0,89	0,86	0,86
25	1,00	-	0,85	0,75	1,05	0,75	0,79	0,70	1,04	-	0,85	0,79	0,76	0,81
Ortalama	1,19	0,96	0,98	0,79	1,48	0,87	0,88	0,75	1,49	0,93	0,92	1,00	0,80	0,93
Standart Sapma	0,28	0,04	0,04	0,09	0,40	0,07	0,06	0,07	0,42	-	0,05	0,08	0,07	0,13
Varyasyon Katsayısı (%)	24	4	4	11	27	8	7	9	28	-	6	8	9	14



Şekil 5.3 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin maksimum deney yüküne oranlanması sonucu farklı yöntemler için varyasyon katsayıları.

5.6 Önerilen Güvenlik Katsayıları

Elde edilen kazık taşıma kapasitesi değerlerinin bir güvenlik katsayısını bölünerek tasarıma esas nihai taşıma kapasitelerinin hesaplanması gerektiğine Bölüm 4.2’de değinilmişti. Çizelge 5.5’te özetlenen; farklı yöntemler ile bulunan taşıma kapasitesi değerleri arasında, aynı deney için yaklaşık %300 mertebelerinde farklılıklar olduğu görülmektedir. Bu nedenle, nihai kazık taşıma kapasiteleri belirlenirken her yöntem için aynı güvenlik katsayısının kullanılamayacağı açıktır. Örneğin; Çizelge 5.6 incelendiğinde, Decourt yöntemi ile hesaplanan sonuçların ortalaması 1.43 iken, De Beer yöntemi ile bulunan sonuçların ortalaması 0.74 olmaktadır. Bu sonuçlar Çizelge 5.8’te özetlenmektedir.

Çizelge 5.8 : Hesaplanan taşıma kapasitelerinin ortalama taşıma kapasitelerine oranlanması sonucu farklı yöntemlerin karşılaştırılması.

Yöntem	Hesaplanan Taşıma Kapasitesi / Ortalama
Brinch Hansen %80	1,18
Brinch Hansen %90	1,02
Butler-Hoy	0,96
Cambefort-Chadeisson	0,78
Chin-Kondner	1,42
Corps of Engineers	0,85
Davisson	0,93
De Beer	0,74
Decourt	1,43
Fuller-Hoy	1,04
Hirany-Kulhawy	1,01
Mazurkiewicz	0,98
Teğet (Mansur - Kaufman)	0,79
Van Der Veen	0,91

Gerçek kazık taşıma kapasitesinin belirlenmesi üzerine birçok araştırmacı tarafından yorumlanan farklı yöntemler mevcuttur. Ancak, bu yöntemlerin de kendi aralarında farklılıklar gösterdiği unutulmamalıdır. Bu nedenle, önerilen güvenlik katsayıları hesaplanırken belirsizlikleri en aza indirmek için yöntemler birbirleri ile kıyaslanmalıdır. Bu doğrultuda; farklı yöntemler ile elde edilen taşıma kapasitesi

değerleri, tüm yöntemlerin ortalaması ile karşılaştırılarak, her yöntem için ayrı güvenlik katsayıları önerilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9’da özetlenmiştir.

Çizelge 5.9 : Önerilen güvenlik katsayıları.

Yöntem	Güvenlik Katsayısı
Brinch Hansen %80	2,50
Brinch Hansen %90	2,20
Butler-Hoy	2,00
Cambefort-Chadeisson	1,60
Chin-Kondner	3,00
Corps of Engineers	1,80
Davisson	2,00
De Beer	1,60
Decourt	3,00
Fuller-Hoy	2,20
Hirany-Kulhawy	2,20
Mazurkiewicz	2,00
Teğet (Mansur - Kaufman)	1,60
Van Der Veen	2,00

Söz konusu güvenlik katsayıları, göçme durumuna kadar devam ettirilmemiş kazık yükleme deneyleri için önerilmektedir. Göçme durumuna ulaşan deneylerde, yöntemlerin kendi arasında daha tutarlı sonuçlar verdiği Çizelge 5.5’te varyasyon katsayıları üzerinden gösterilmişti. Bu nedenle, kullanılacak güvenlik katsayıları belirlenirken deneyin göçme duruma ulaşp ulaşmadığının da dikkate alınması, nihai kazık taşıma kapasitelerinin belirlenmesi için daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.

Göz önüne alınması gereken bir diğer önemli husus ise, hesaplanan nihai taşıma kapasitesinin tasarımın doğrulanmasında yeterli olmadığıdır. Söz konusu yükte gerçekleşen oturmaların, kazıklı temel sisteminin taşıdığı üstyapının izin verdiği oturma miktarı ile sınırlı olduğu unutulmamalıdır.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmada; yurtiçi ve yurtdışındaki projelerde gerçekleştirilen, büyük çoğunluğu göçme durumuna ulaşmamış 25 adet statik eksenel kazık yükleme deneyinde, farklı yöntemler kullanılarak kazık taşıma kapasiteleri hesaplanmıştır. Deneylerin değerlendirilmesinde; Brinch Hansen %80, Brinch Hansen %90, Butler - Hoy, Cambefort - Chadeisson, Chin - Kondner, Corps of Engineers, Davisson, De Beer, Decourt, Fuller - Hoy, Hirany - Kulhawy, Mazurkiewicz, Teğet (Mansur - Kaufman) ve Van Der Veen olmak üzere 14 farklı yöntem kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yöntemlerin uygulanabilirliği ve kararlılıkları yorumlanmıştır. Ayrıca her yöntem için ayrı güvenlik katsayıları önerilmiştir. Buna göre, ulaşılan sonuçlar aşağıda özetlenmektedir:

1. Yöntemlerin, göçme durumuna kadar devam ettirilmemiş kazık yükleme deneylerinin değerlendirilmesi üzerine uygulanabilirlikleri incelendiğinde; Fuller-Hoy (%4), Hirany-Kulhawy (%20), Brinch Hansen %90 (%20) ve Davisson (%36) yöntemleri en düşük uygulanabilme yüzdesini vermektedir. Bu durumun esas nedeni; yöntemlerin tarif ettiği oturma şartlarının, söz konusu yüklerde sağlanamıyor olmasıdır. Çalışmada değerlendirilen diğer 10 yöntem ise, yüksek uygulanabilme yüzdesine (%88-%100) sahiptir. Göçme durumuna kadar devam ettirilmiş deneylerde ise, genel olarak Fuller - Hoy yöntemi dışında tüm yöntemler başarı ile uygulanabilmektedir.
2. 25 farklı kazık yükleme deneyi için en yüksek taşıma kapasitesi değerini; deneylerin %60'ında Decourt, deneylerin %32'sinde Chin-Kondner yöntemleri vermiştir. Söz konusu iki yöntemde, taşıma kapasitesi hesaplanırken matematiksel bağıntılar ile ekstrapolasyon uygulanmakta ve çok yakın sonuçlara ulaşılmaktadır. Ancak; ekstrapolasyon ile elde edilen taşıma kapasitesi değeri, deneyde uygulanan maksimum yükten fazla ise, deneyde uygulanan maksimum yük taşıma kapasitesi olarak kabul edilmesi önerilmektedir. En düşük taşıma kapasitesi değerine ise deneylerin %84'ünde De-Beer yöntemi ile ulaşılmıştır.

3. Çizelge 5.5'te; göçme durumuna kadar yüklenmemiş 20 adet deney (deney no 1-20) ve göçmeye kadar devam ettirilen 5 adet deney (deney no 21-25) için 14 farklı yöntem ile elde edilen taşıma kapasitelerinin standart sapmaları üzerinden varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Elde edilen varyasyon katsayıları doğrultusunda deneydeki belirsizlikler yorumlanmıştır. Buna göre; göçme durumuna ulaşmamış deneylerde varyasyon katsayılarının %12 ile %57 arasında değiştiği görülmektedir. Göçme durumuna kadar yüklemeye devam edilmiş deneylerde ise varyasyon katsayıları %8 ile %14 arasında değişmekte olup daha tutarlı sonuçlara ulaşıldığı anlaşılmaktadır. Buna göre; yükleme deneyinin çok küçük oturmalarda sonlandırılmaması, reaksiyon sisteminin (çekme kazıkları, test kirişleri, hidrolik krikolar vb.) izin verdiği limitler dahilinde göçme durumuna kadar devam ettirilmesi önerilmektedir. Bu sayede; deney yükü, göçme yüküne yaklaştıkça farklı yöntemler ile daha yakın sonuçlar alınabilecek ve deney sonucunda nihai taşıma kapasiteleri daha doğru yorumlanacaktır.
4. Çizelge 5.6'da; 14 farklı yöntem ile bulunan kazık taşıma kapasiteleri, her deney için elde edilen ortalama taşıma kapasitelerine bölünerek varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre; en yüksek varyasyon katsayılarını, %17 ile %18 arasında değişen Chin - Kondner, Brinch Hansen %80 ve Decourt yöntemleri vermiştir. En düşük varyasyon katsayılarını veren yöntemler ise %1 ile %7 arasında değişen Brinch Hansen %90, Hirany - Kulhawy ve Davisson yöntemleridir. En yüksek ortalama Decourt yöntemi ile (1.43), en düşük ortalama ise De Beer yöntemi ile (0.74) elde edilmiştir.
5. Çizelge 5.7'de; 14 farklı yöntem ile bulunan kazık taşıma kapasiteleri, her deney için uygulanan maksimum yüke bölünerek varyasyon katsayıları hesaplanmıştır. Buna göre; en yüksek varyasyon katsayılarını, %24 ile %28 arasında değişen Brinch Hansen %80, Chin - Kondner ve Decourt yöntemleri vermiştir. En düşük varyasyon katsayılarını veren yöntemler ise %4 ile %6 arasında değişen Brinch Hansen %90, Butler - Hoy ve Hirany - Kulhawy yöntemleridir. En yüksek ortalama Decourt yöntemi ile (1.49), en düşük ortalama ise De Beer yöntemi ile (0.75) elde edilmiştir.
6. Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.7 birlikte incelendiğinde, genel olarak en kararlı sonuçları Brinch Hansen %90, Butler - Hoy, Hirany - Kulhawy, Davisson,

Mazurkiewicz ve Corps of Engineers yöntemlerinin verdiği görülmektedir. Ancak; Çizelge 5.4'te özetlenen yöntemlerin uygulanabilirliği göz önüne alındığında, Brinch Hansen %90, Davisson ve Hirany - Kulhawy yöntemlerinin uygulanabilme yüzdelерinin %20 ile %36 arasında değiştiğı görülmektedir. Bu yöntemlerin daha kararlı sonuçlar vermesinin nedeni, genellikle göçme durumuna kadar yüklemeye devam edilen deneylerde başarı ile uygulanabilmeleri olarak yorumlanmaktadır.

7. Aynı deney için farklı yöntemler ile elde edilen taşıma kapasiteleri kıyaslandığında yaklaşık %300 mertebelerinde farklar olduğu görülmektedir. Bu sebeple, Çizelge 5.9'da her yöntem için ayrı güvenlik katsayıları önerilmiştir. Yöntemlerin kendi aralarında karşılaştırılması sonucu önerilen güvenlik katsayıları; Decourt ve Chin - Kondner yöntemleri için en büyük (3.00), De - Beer, Cambefort - Chadeisson ve Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemleri için en küçük (1.60) değeri almaktadır.
8. Yöntemler genel olarak incelendiğinde taşıma kapasitesi değerine; matematiksel bağıntılar ile ekstrapolasyon, yük - oturma eğrisi üzerinde grafiksel uygulamalar ya da bir limit oturma değeri tanımlanması sonucu ulaşılmaktadır. Özellikle grafiksel yöntemler kullanılırken uygulayıcının öngörüsü önem kazanmaktadır. Örneğin; Mazurkiewicz yönteminde oturma ekseninin bölünme şekli, Teğet (Mansur - Kaufman) yönteminde grafiğin asimptota yaklaşmadığı durumlar için, yük - oturma eğrisinin tam olarak oluşmamış plastik kısmına çizilen teğetin elde edilecek taşıma kapasitesine etkisi büyüktür. Bu nedenle; nihai kazık taşıma kapasitesi belirlenirken, birden fazla yöntem kullanılması, her yöntem için elde edilen sonuçların önerilen güvenlik katsayılarına bölünerek ulaşılan nihai taşıma kapasitelerinin ortalaması alınarak tasarıma esas taşıma kapasitelerinin belirlenmesi daha gerçekçi bir yaklaşım olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] **Toğrol, E., Gök, S.** (t.y.). Kazıklı Radye Temellerin Tasarımı Üzerine, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- [2] **Özkan, M.Y.** (1989). Kazıklı Temellere Genel Bir Bakış, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Semineri, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, 83 - 84.
- [3] **Yıldırım, S., Adatepe, Ş.** (2018). Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsan Yayınevi, İstanbul, 258 - 261.
- [4] **TS EN 1536+A1**, (2015). Özel Jeoteknik Uygulamalar - Delme Kazıklar (Fore Kazıklar), Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [5] **ASTM D1143 / D1143M - 07**, (2013). Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load, ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [6] **Dinç, H.**, (2010). Osterberg Hücresi İle Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 113 - 136.
- [7] **Deep Foundations Institute**, (2012). Deep Foundations The Magazine of the Deep Foundations Institute, Nov / Dec 2012, 45 - 49.
- [8] **ASTM D3689 / D3689M - 07**, (2013). Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Tensile Load, ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [9] **ASTM D3966 / D3966M - 07**, (2013). Standard Test Methods for Deep Foundations Under Lateral Load, ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [10] **ASTM D5882 - 16**, (2016). Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations, ASTM, American Society for Testing and Materials, Philadelphia.

- [11] **Tomlinson, M. J.**, (1994). *Pile Design and Construction Practice*, Fourth Edition, E & FN Spon, London, 393 - 394.
- [12] **Arioğlu, E., Yılmaz, A.O., Tunçdemir, H.** (2007). *Kayaya Gömülü Fore Kazıklar*, Evrim Yayınevi, İstanbul, 170 - 171
- [13] **Hirany, A., Kulhawy, F. H.**, (1988). *Conduct and Interpretation of Load Tests on Drilled Shaft Foundations, Volume 1: Detailed Guidelines*, Cornell University, New York, 8-2 -8-5.
- [14] **Perko, H. A.**, (2009). *Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation*, John Wiley & Sons, New Jersey, 649.
- [15] **Paikowsky, S. G., Tolosko, T. A.**, (1999). *Extrapolation of Pile Capacity from Non-Failed Load Tests*, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration, Virginia, 12.
- [16] **Cherry, J. A., Perko, H. A.**, (2013). *Deflection of Helical Piles: A Load Test Database Review*, Proceedings of 1st International Geotechnical Symposium on Helical Foundations, The International Society for Helical Foundations, Massachusetts.
- [17] **Düzceer, R.**, (2002). *Kazık Yükleme Deneyleri İle Nihai Kazık Taşıma Kapasitesinin Belirlenmesi Üzerine Bir Çalışma (Doktora Tezi)*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 34.
- [18] **Birid, K. C.**, (2017). *Evaluation of Ultimate Pile Compression Capacity from Static Pile Load Test Results*, 1st Geomeast International Congress and Exhibition, Egypt.
- [19] **US Army Corps of Engineers** (1991). *Engineering and Design, Design of Pile Foundations*, Washington, 6-7.
- [20] **Fellenius, B. H.**, (1980). *The Analysis of Results from Routine Pile Load Tests*, Ground Engineering, London, Vol. 13, No. 6, 19 - 31.
- [21] **Fellenius, B. H.**, (2001). *What Capacity Value to Choose from the Results a Static Loading Test*, Deep Foundations Institute, Fulcrum Winter 2001, 19 - 22.

- [22] **Malik, A. A., Kuwano, J., Tachibana, S., Maejima, T.,** (2016). Interpretation Of Screw Pile Load Test Data Using Extrapolation Method In Dense Sand, International Journal of Geomate, Feb. 2016, Vol. 10, No. 1 (Sl. No. 19), 1567 - 1574.
- [23] **Ng., C. W. W., Simons, N., Menzies, B.,** (2004). A Short Course in Soil - Structure Engineering of Deep Foundations Excavations and Tunnels, Thomas Telford Publishing, London, 23 - 27.
- [24] **Hirany, A., Kulhawy, F. H.,** (1988). Conduct and Interpretation of Load Tests on Drilled Shaft Foundations, Volume 1: Detailed Guidelines, Cornell University, New York, 8-12.
- [25] **Fellenius, B. H.,** (1975). The Loading of Piles and New Proof Testing Procedure, Journal of the Geotechnical Engineering Division, GT9, 861 - 862 .
- [26] **Prakash, S., Sharma, H.D.,** (1990). Pile Foundations in Engineering Practice, John Wiley & Sons, New Jersey, 650 - 651.
- [27] **Shen, B. H., Niu, D. S.,** (1991). A New Method for Determining the Yield Load of Piles, Proceedings of the 4th International Conference on Piling and Deep Foundations, Deep Foundation Institute, Stresa, April 7 - 12, Balkema Publishers, Vol. 1, 531 - 534.
- [28] **Broms, B.,** (1978). Precast Piling Practice, Stockholm, 51 - 52.
- [29] **Van der Veen, C.,** (1953). The Bearing Capacity of a Pile, Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 2, Sessions 5, 84-90.
- [30] **Fellenius, B. H.,** (2020). Basics of Foundation Design, Electronic Edition, Canada, 8-11 - 8-12.



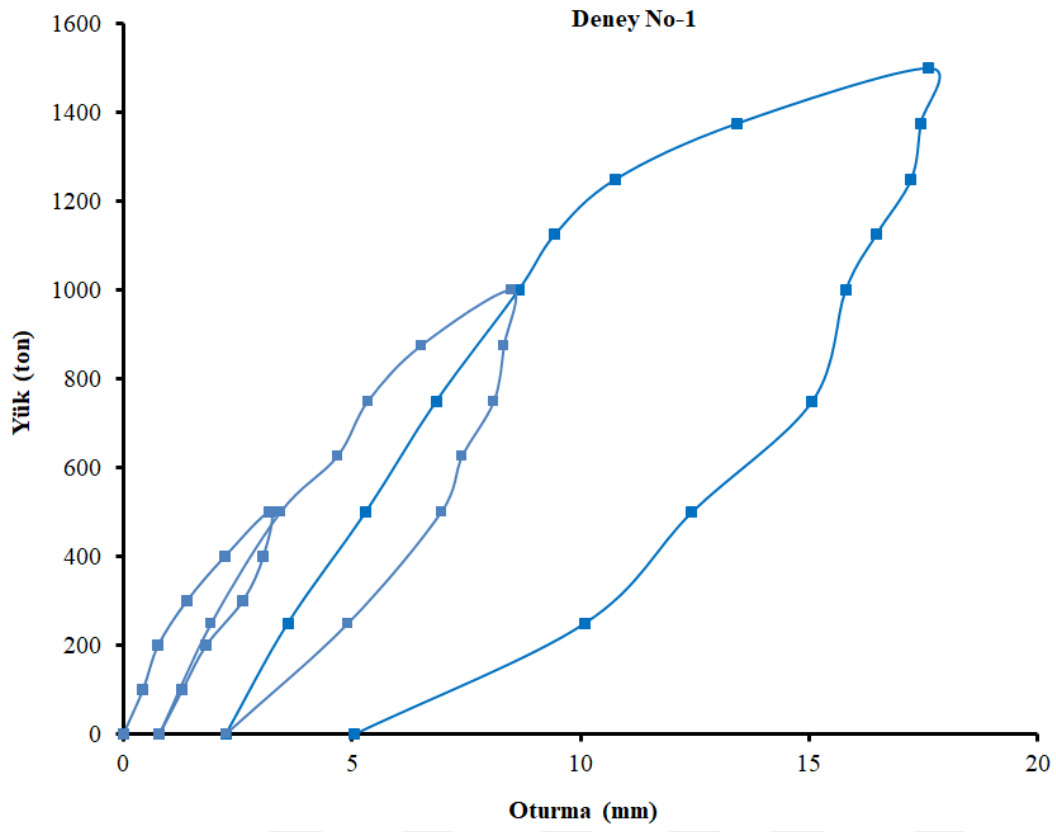
EKLER

EK A: Deney Sonucu Elde Edilen Yük - Oturma Grafikleri

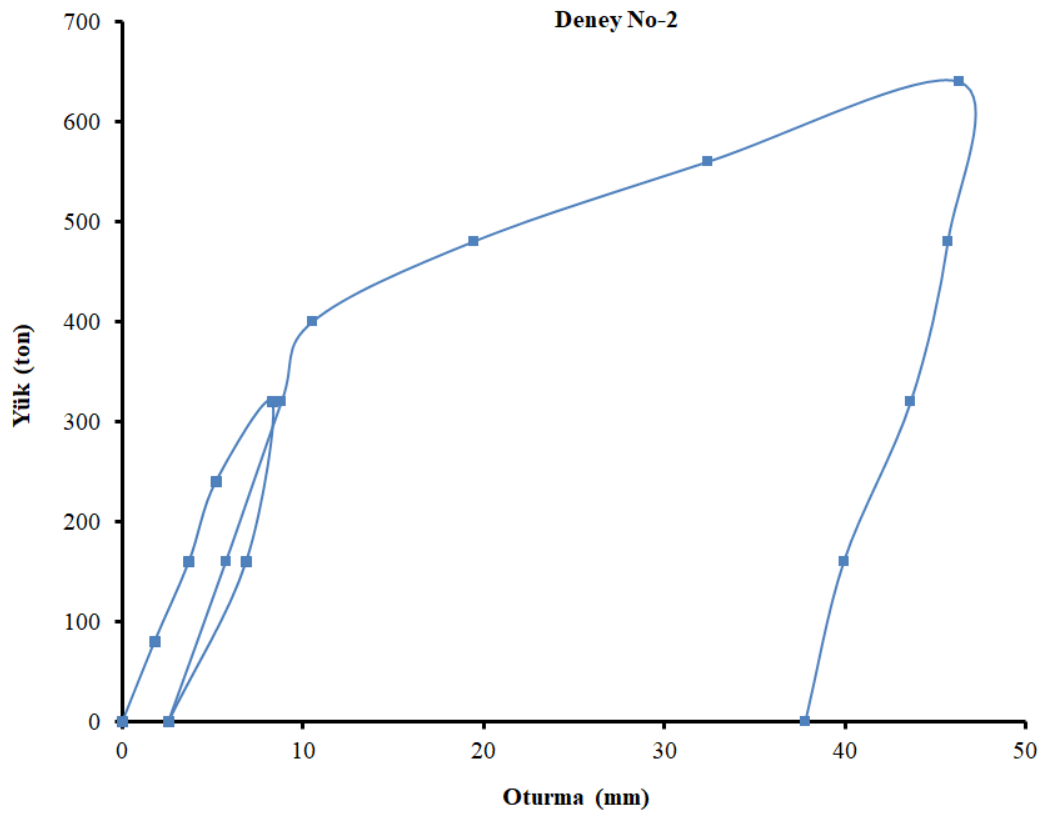
EK B: Farklı Yöntemler İle Kazık Taşıma Kapasitesi Hesaplamaları



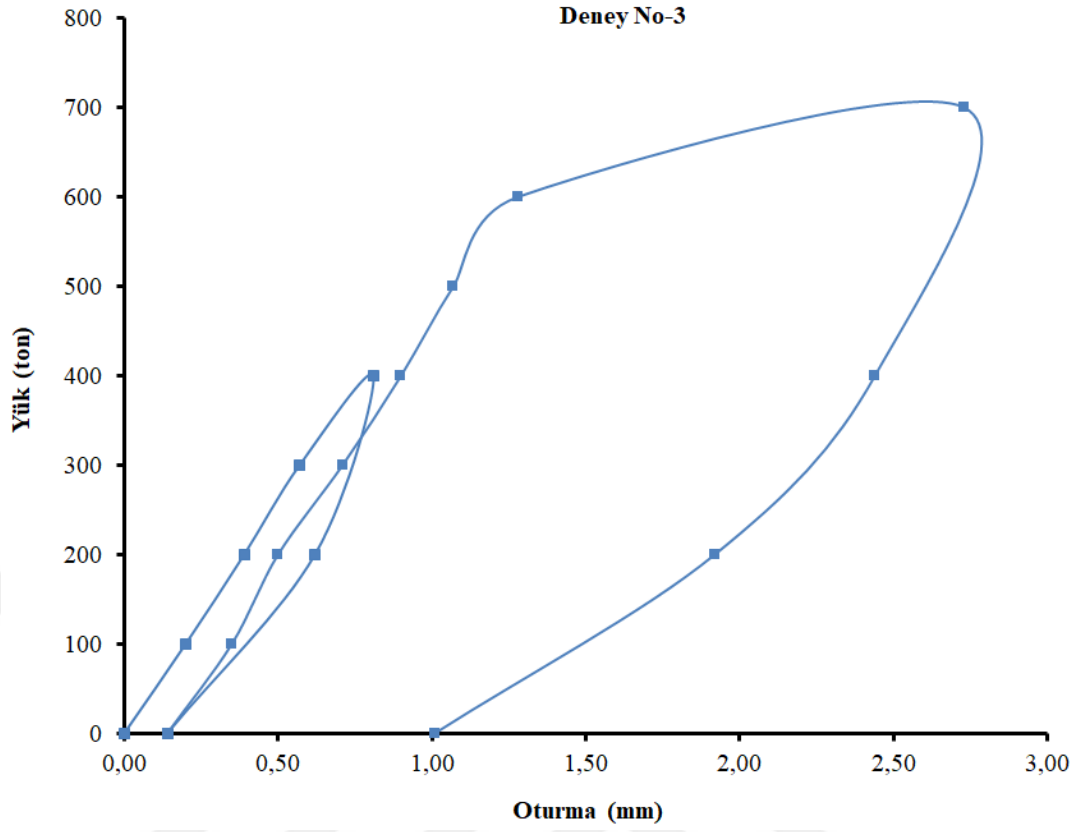
EK A



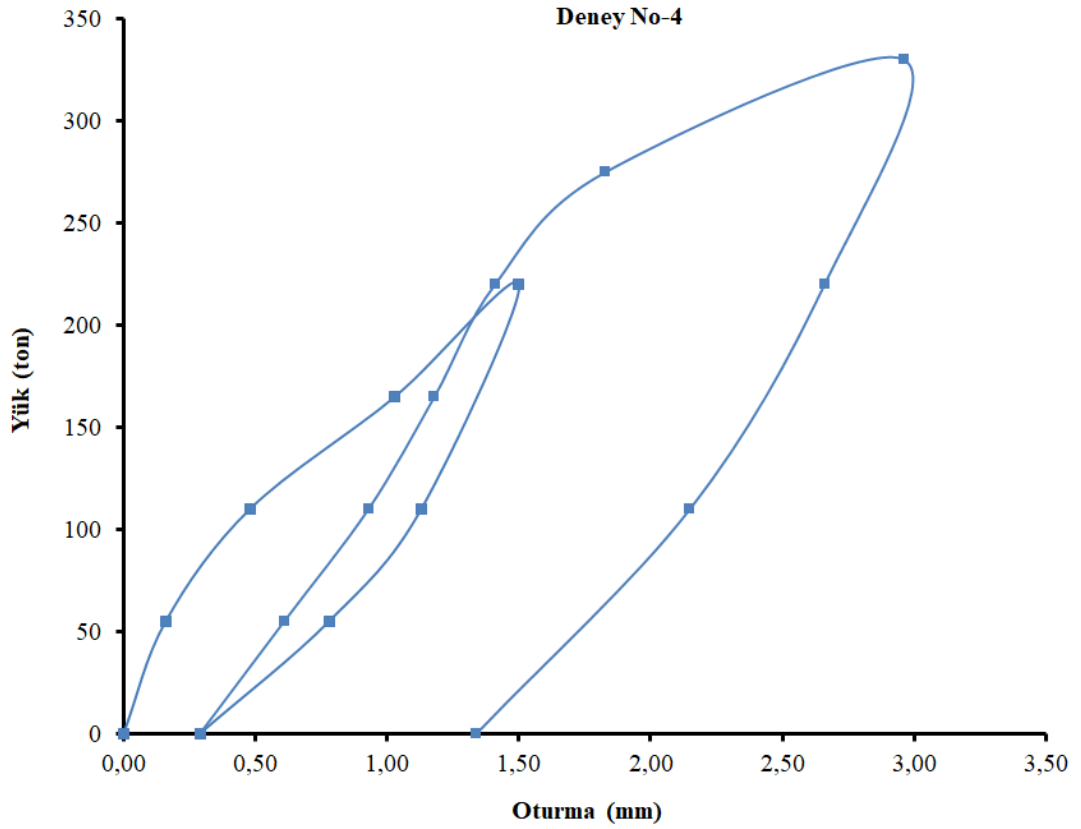
Şekil A.1 : Deney No 1 yük - oturma grafiği.



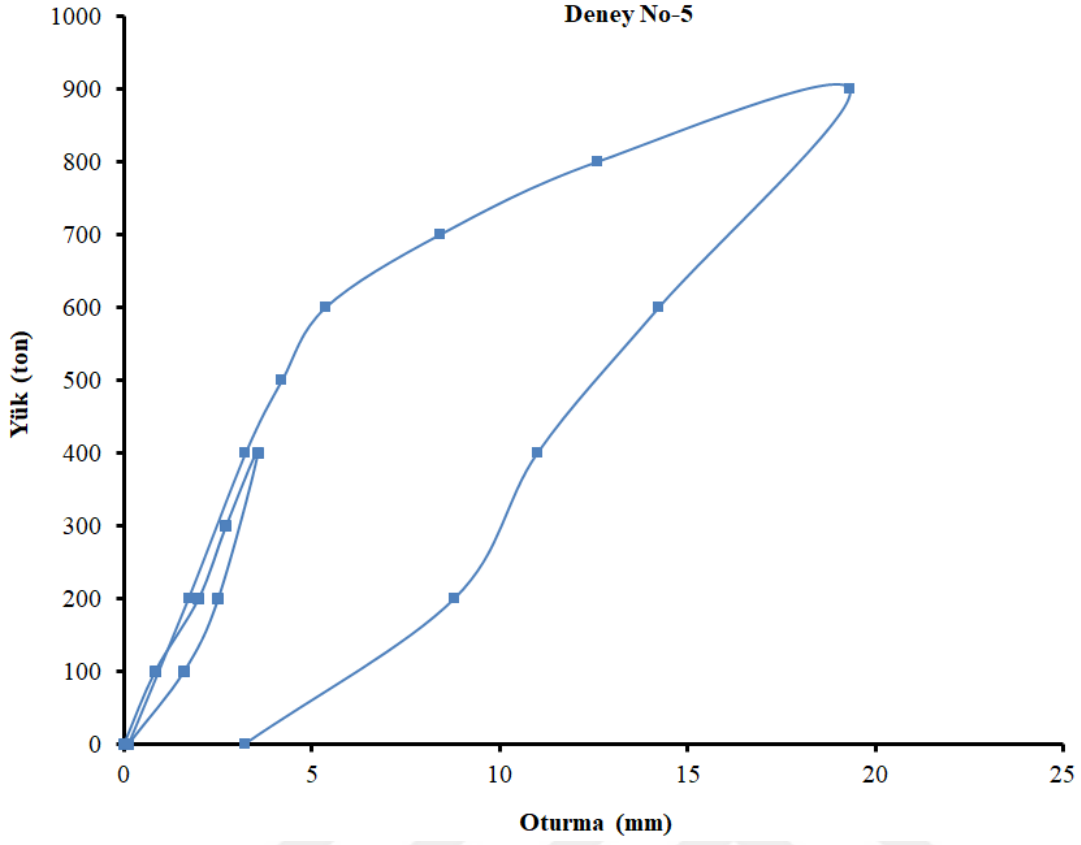
Şekil A.2 : Deney No 2 yük - oturma grafiği.



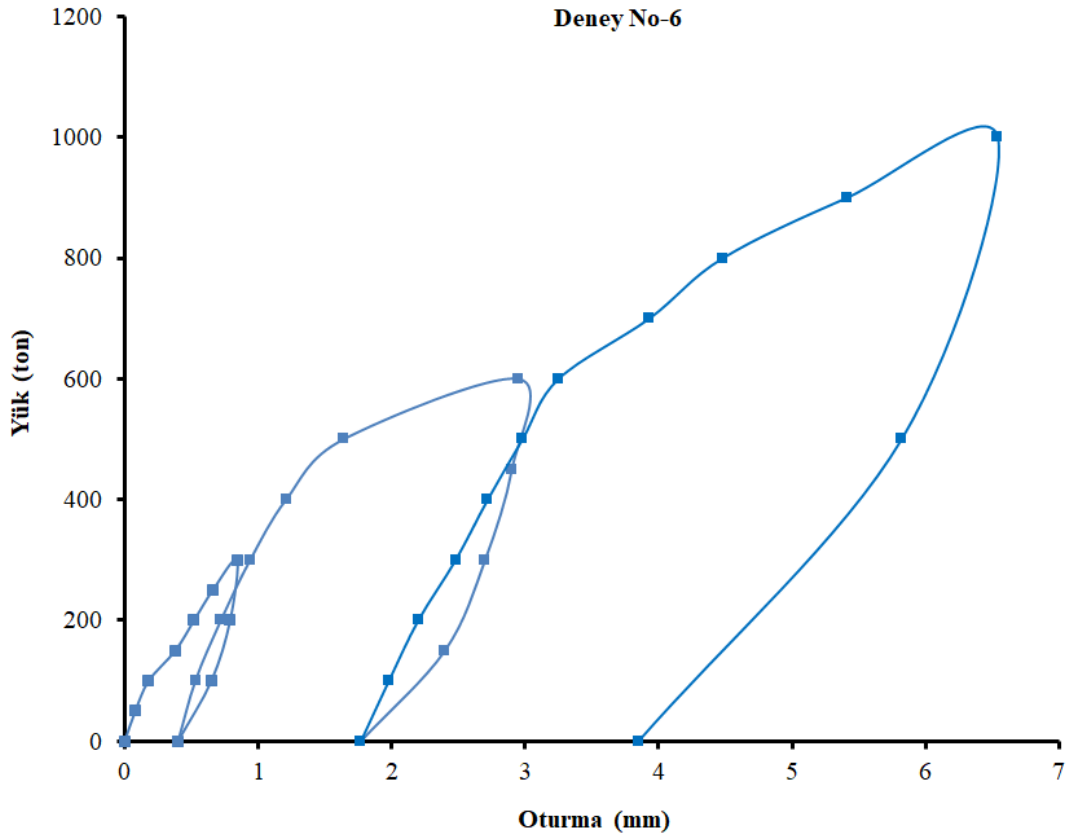
Şekil A.3 : Deney No 3 yük - oturma grafiği.



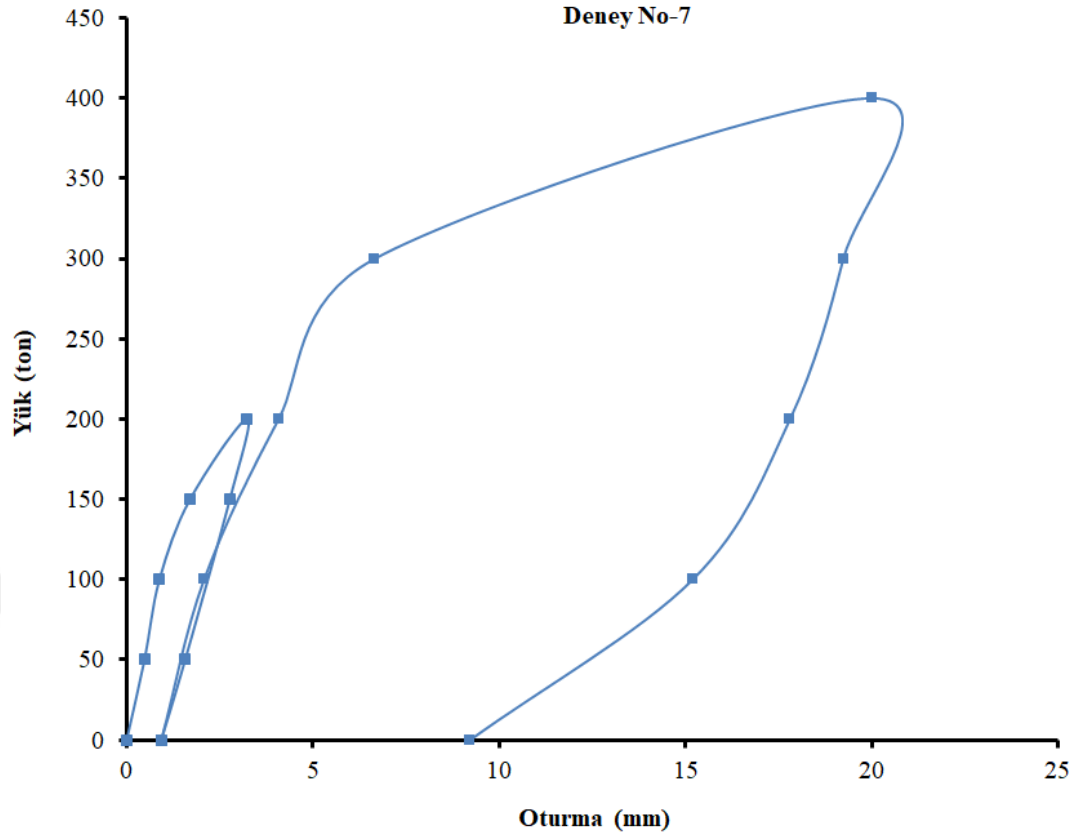
Şekil A.4 : Deney No 4 yük - oturma grafiği.



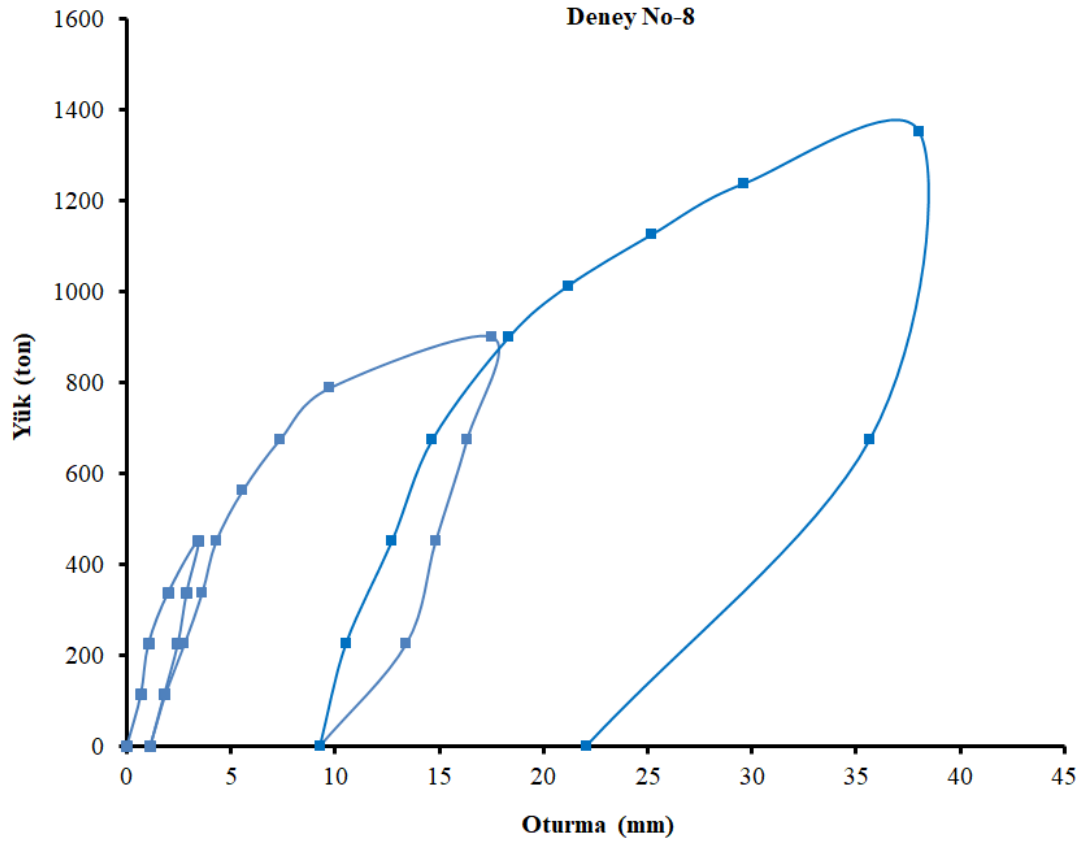
Şekil A.5 : Deney No 5 yük - oturma grafiği.



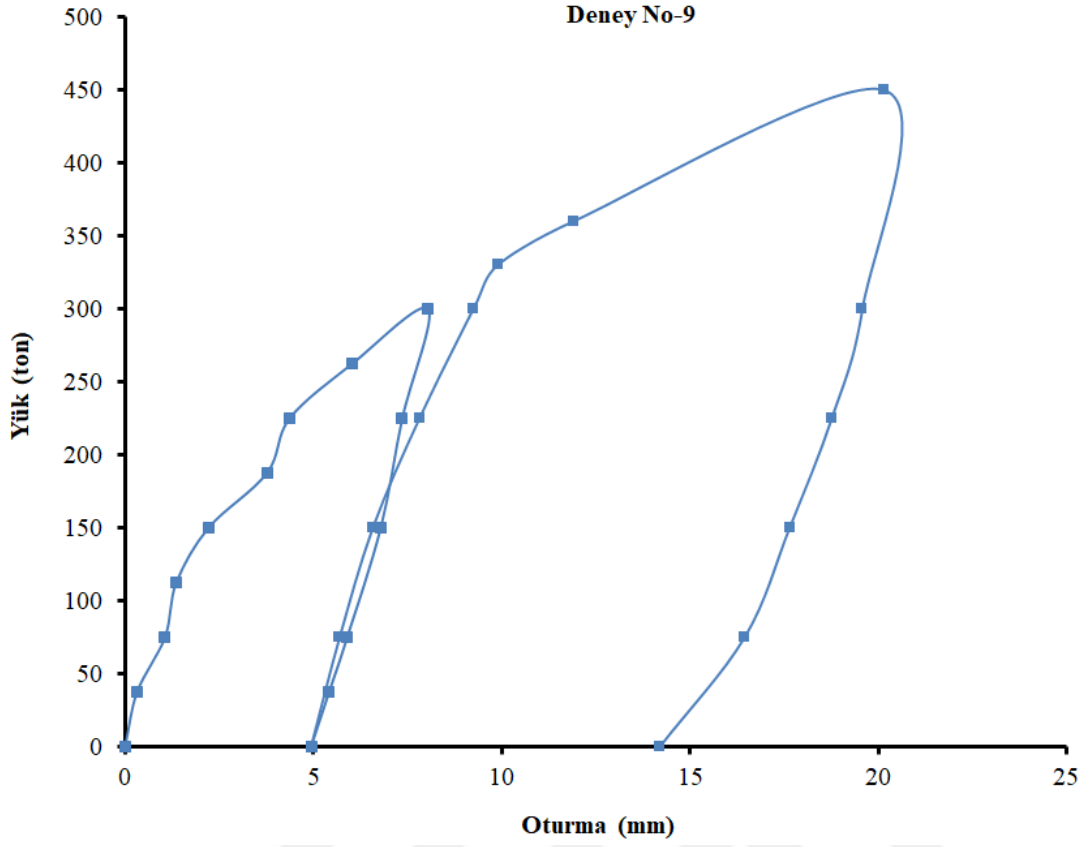
Şekil A.6 : Deney No 6 yük - oturma grafiği.



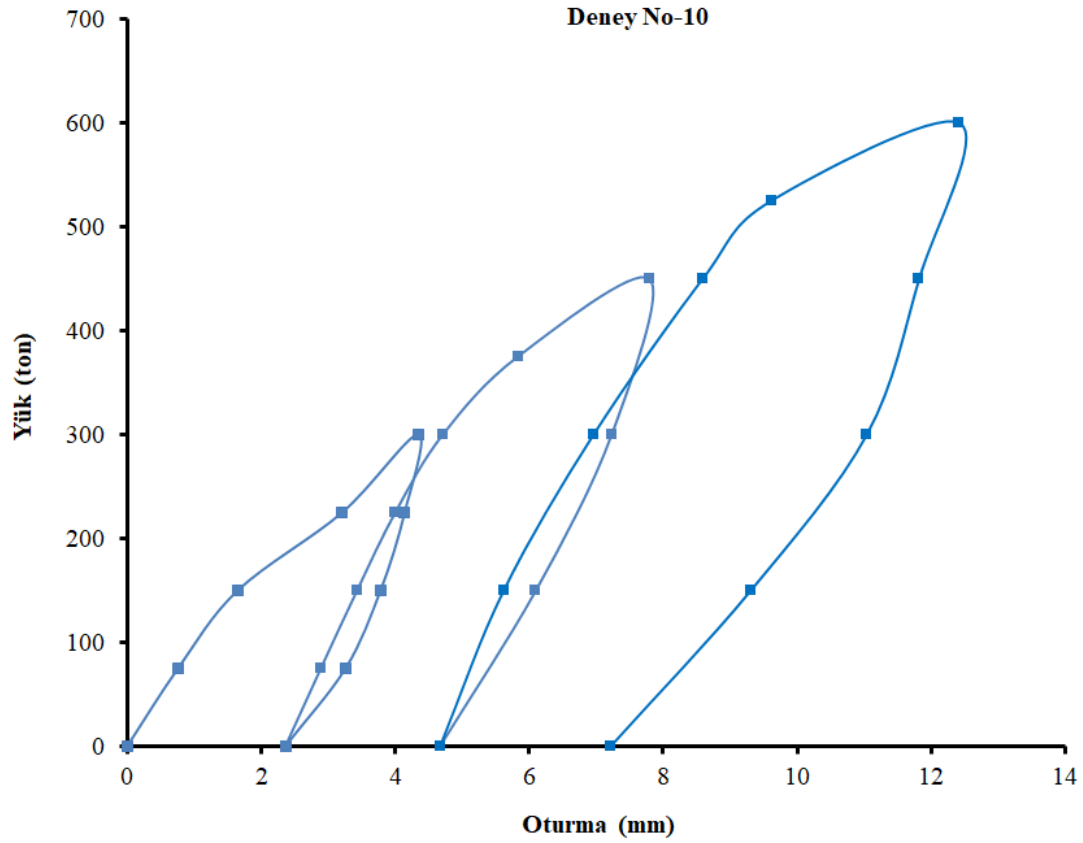
Şekil A.7 : Deney No 7 yük - oturma grafiği.



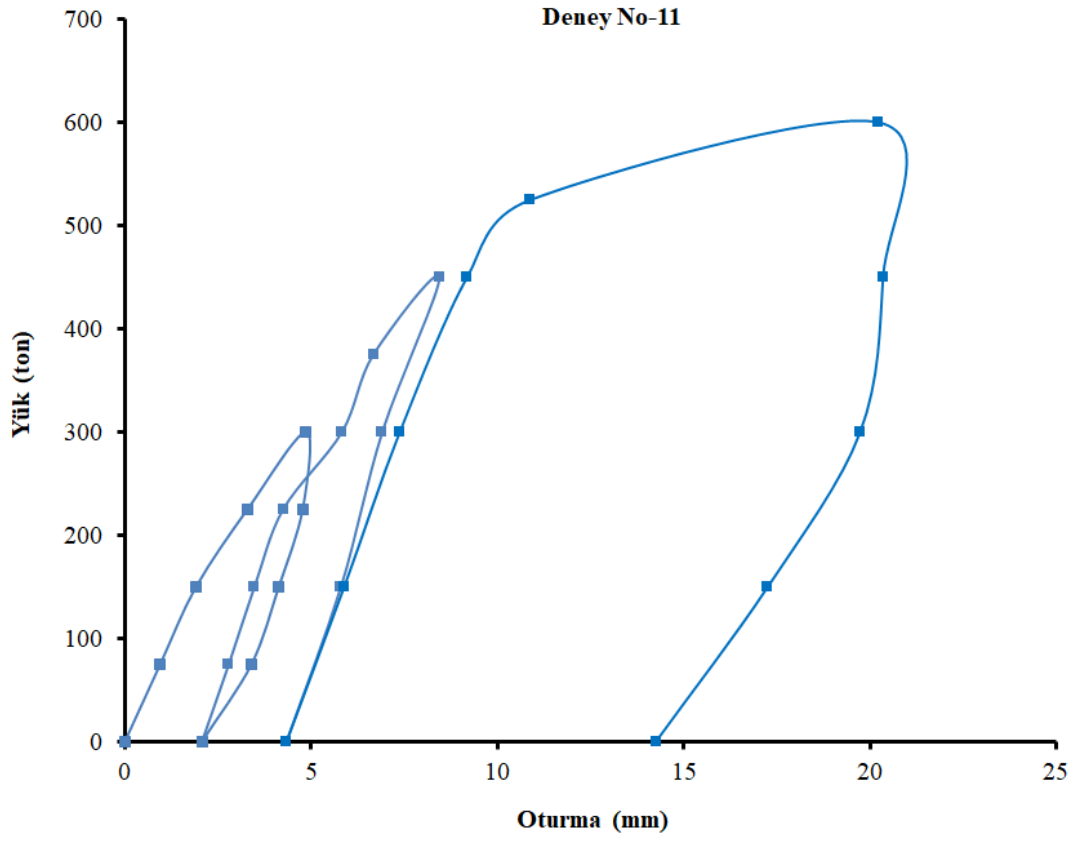
Şekil A.8 : Deney No 8 yük - oturma grafiği.



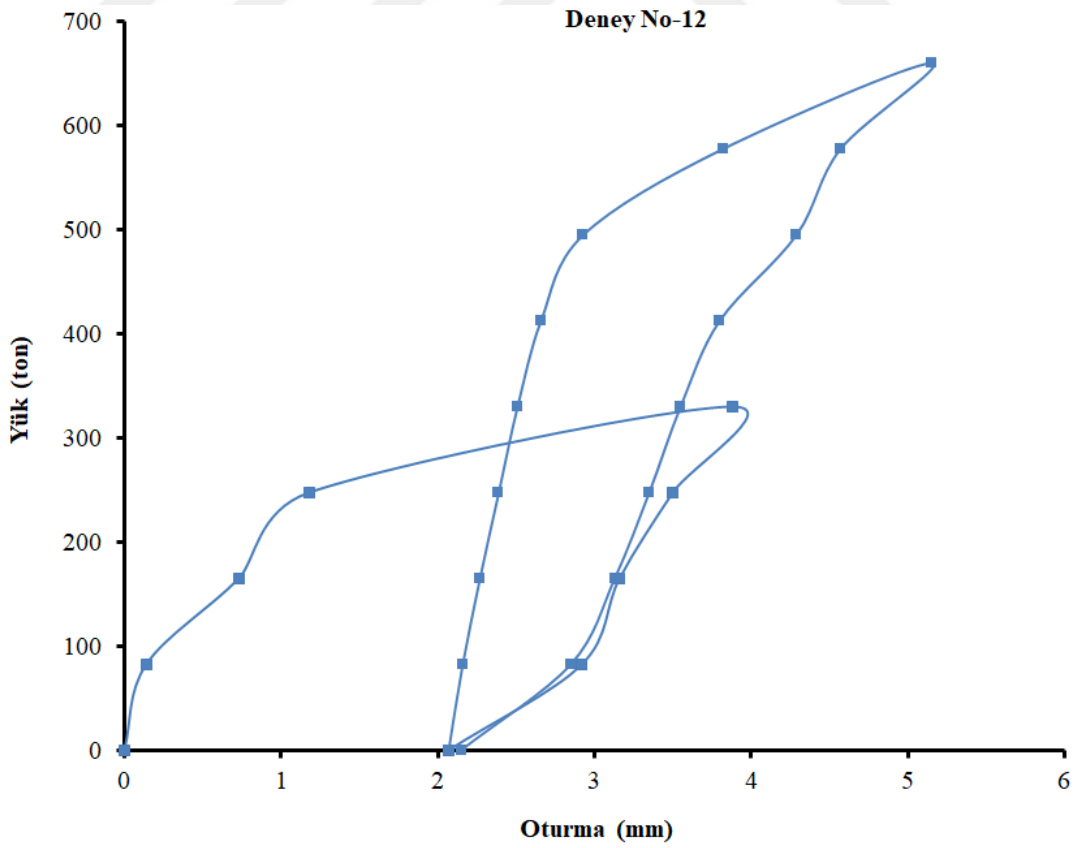
Şekil A.9 : Deney No 9 yük - oturma grafiği.



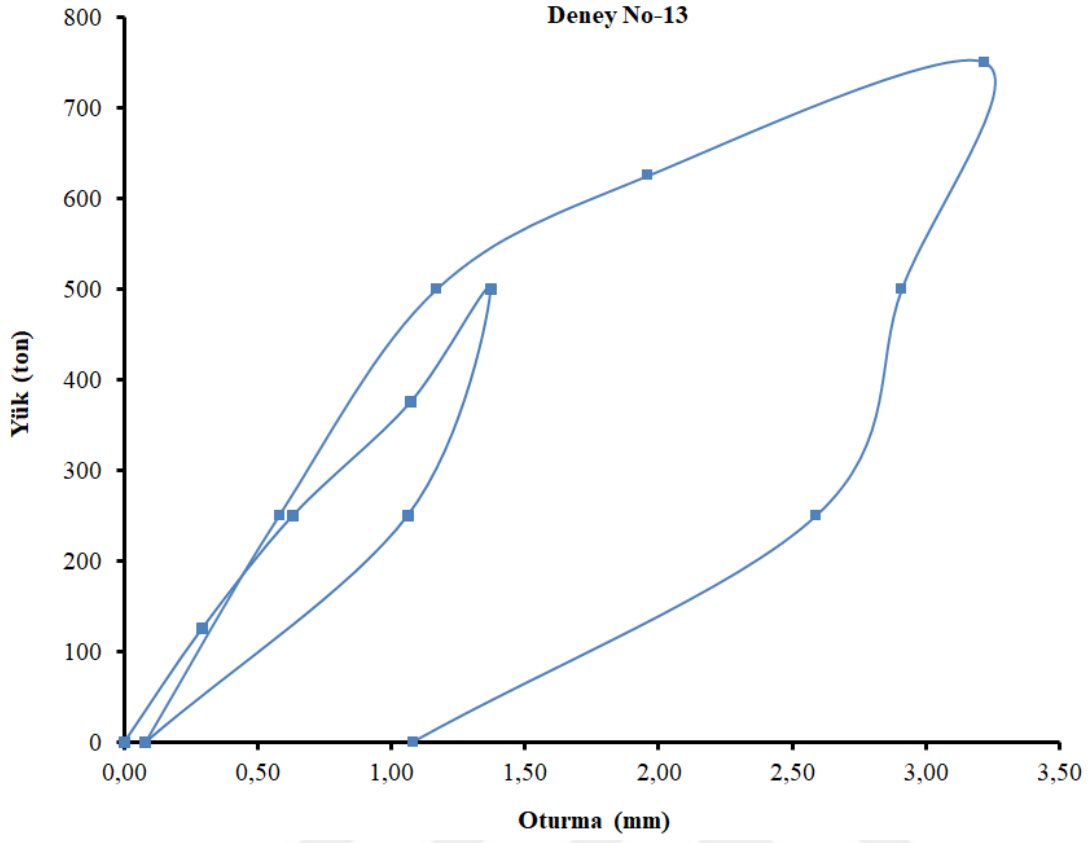
Şekil A.10 : Deney No 10 yük - oturma grafiği.



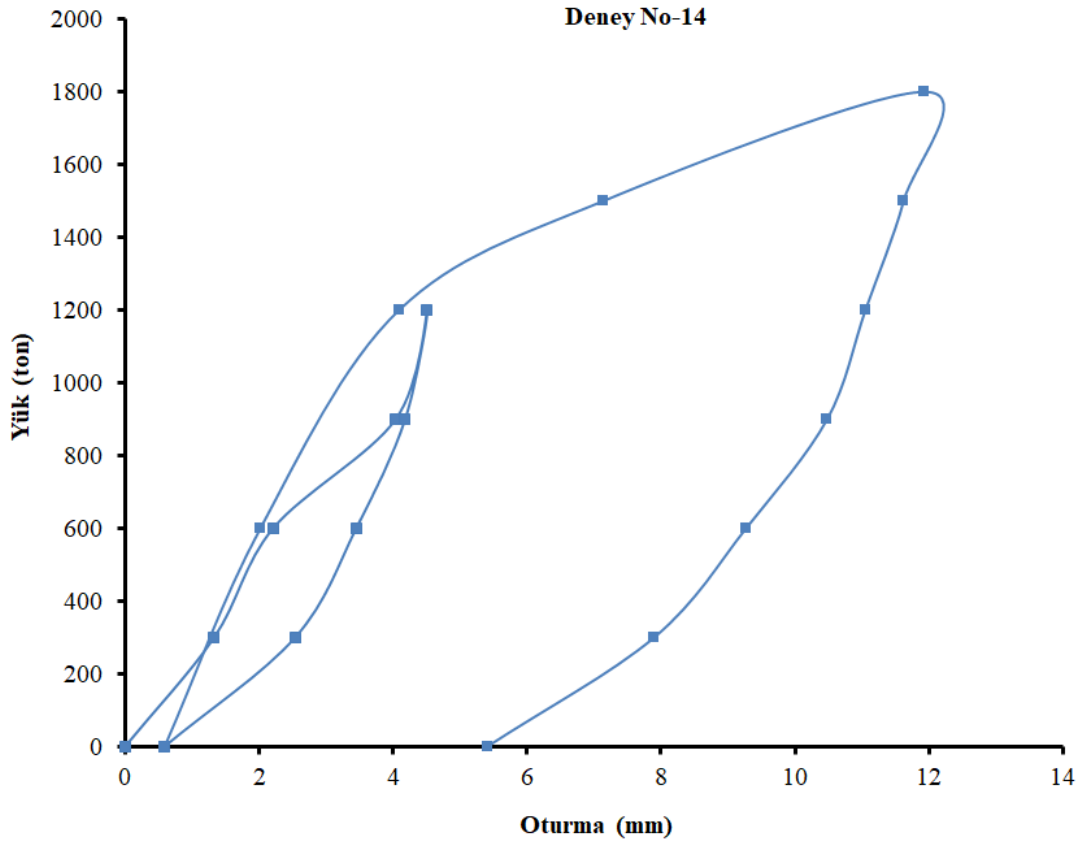
Şekil A.11 : Deney No 11 yük - oturma grafiği.



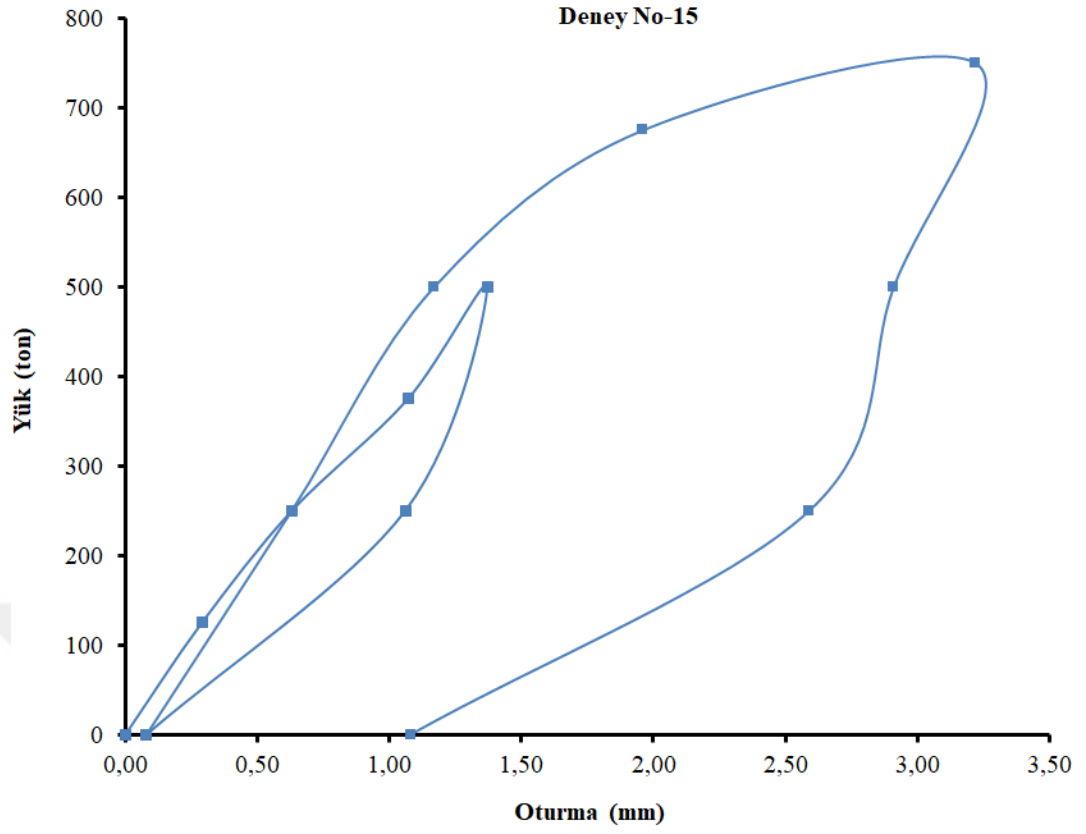
Şekil A.12 : Deney No 12 yük - oturma grafiği.



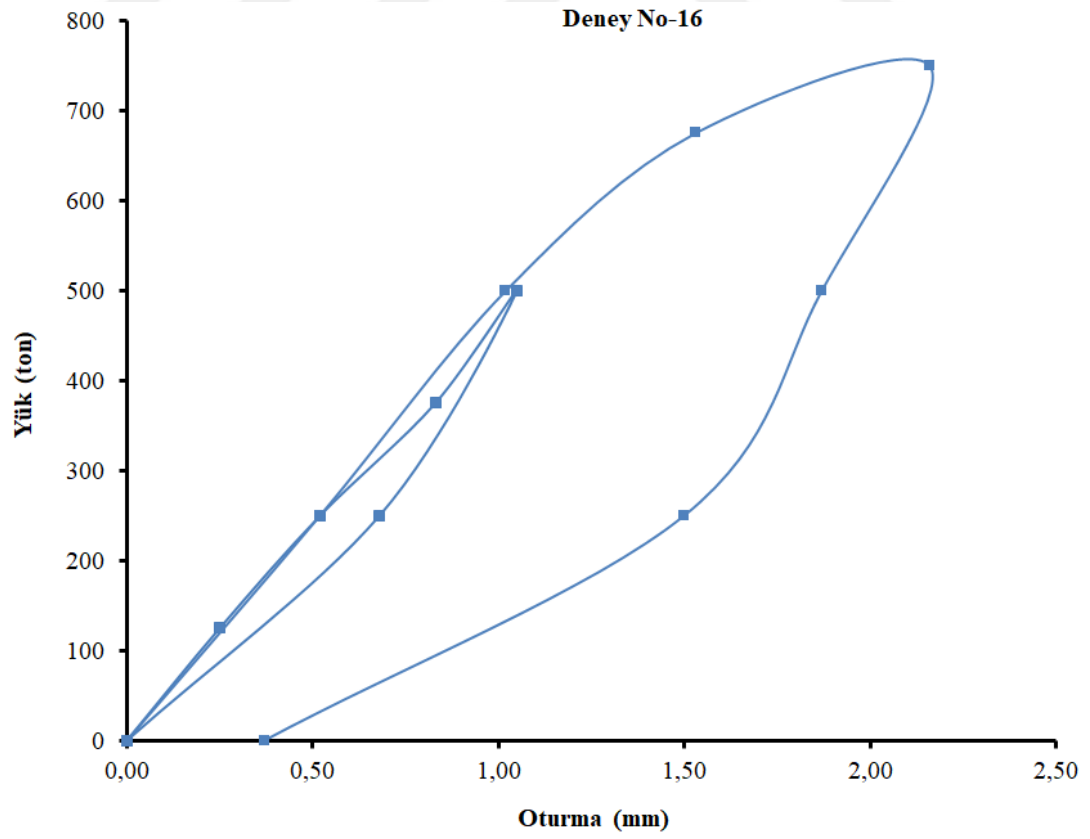
Şekil A.13 : Deney No 13 yük - oturma grafiği.



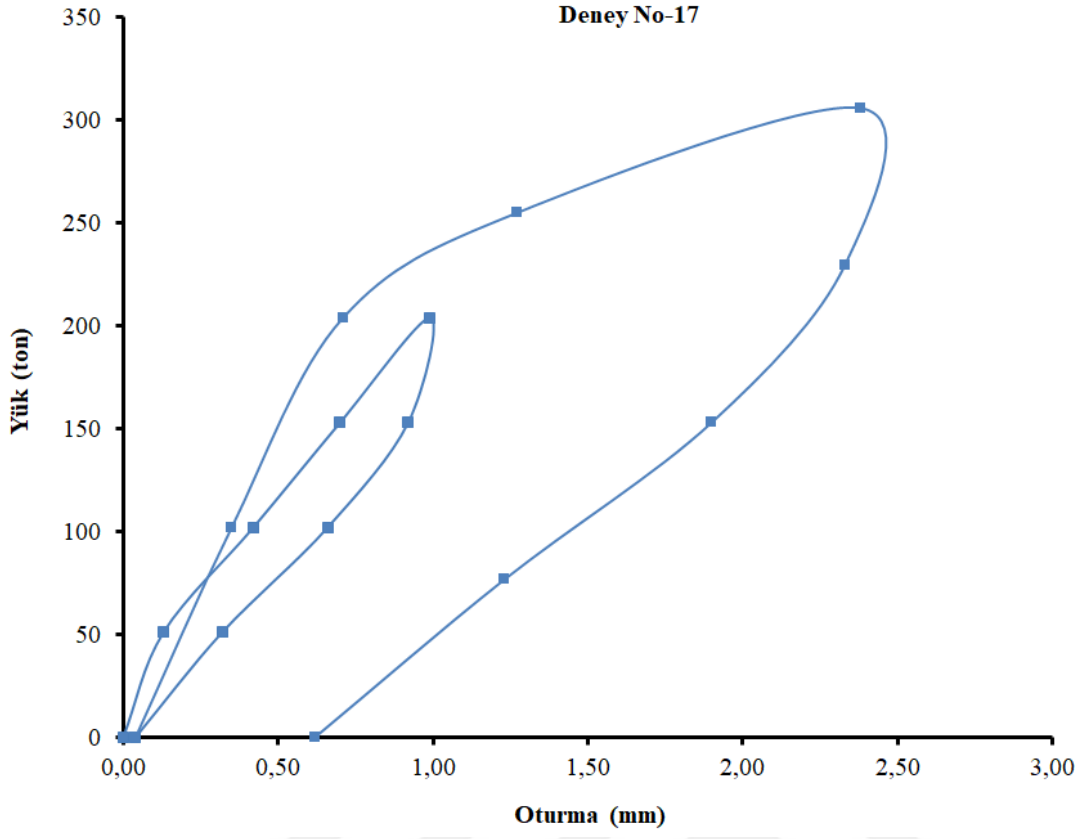
Şekil A.14 : Deney No 14 yük - oturma grafiği.



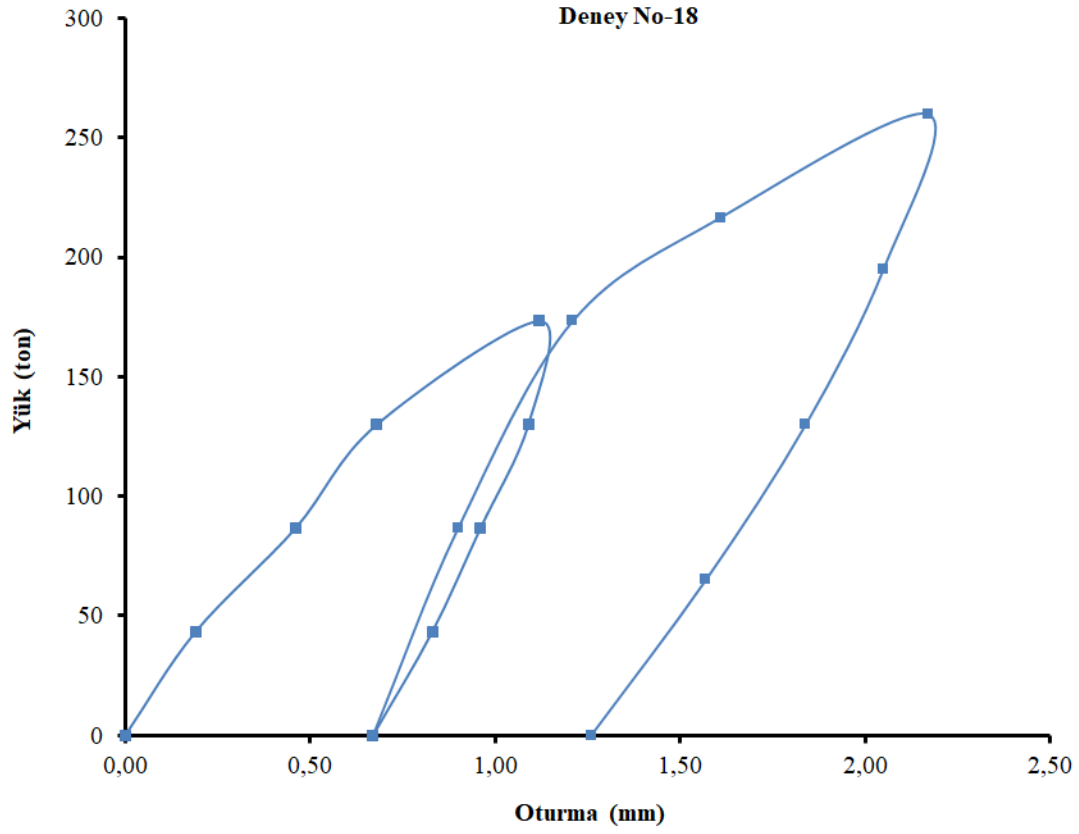
Şekil A.15 : Deney No 15 yük - oturma grafiği.



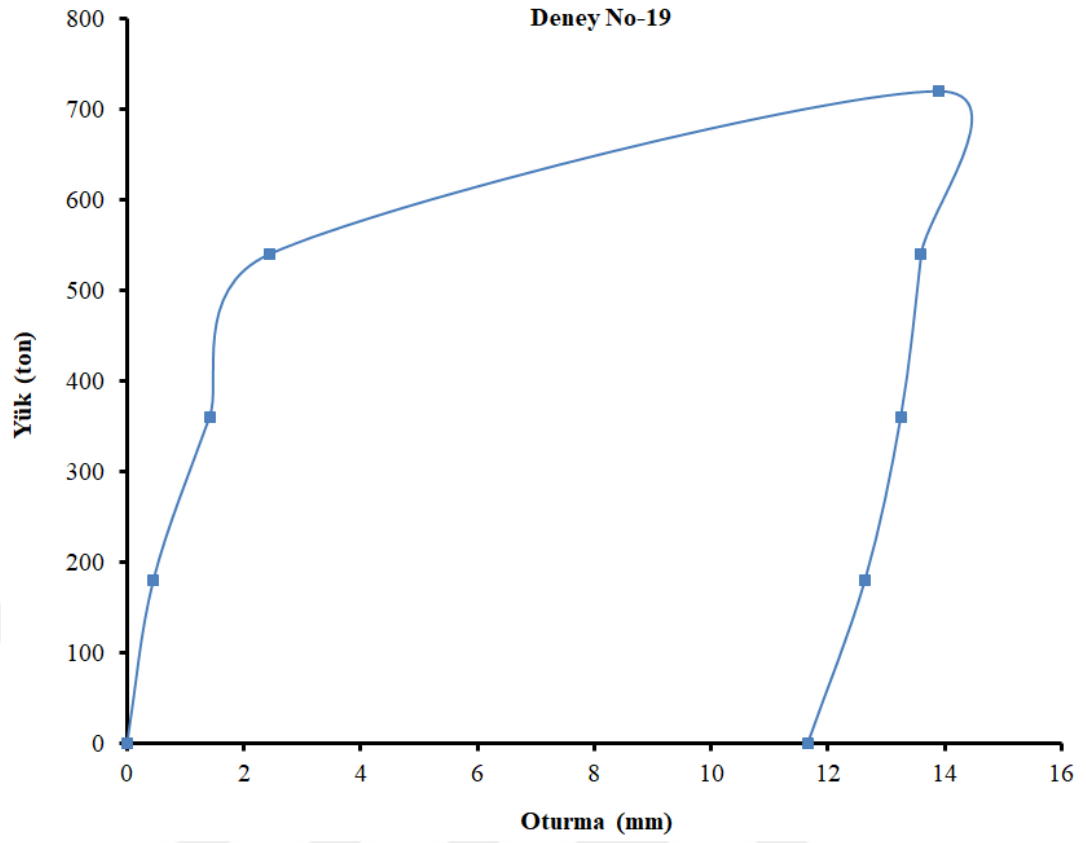
Şekil A.16 : Deney No 16 yük - oturma grafiği.



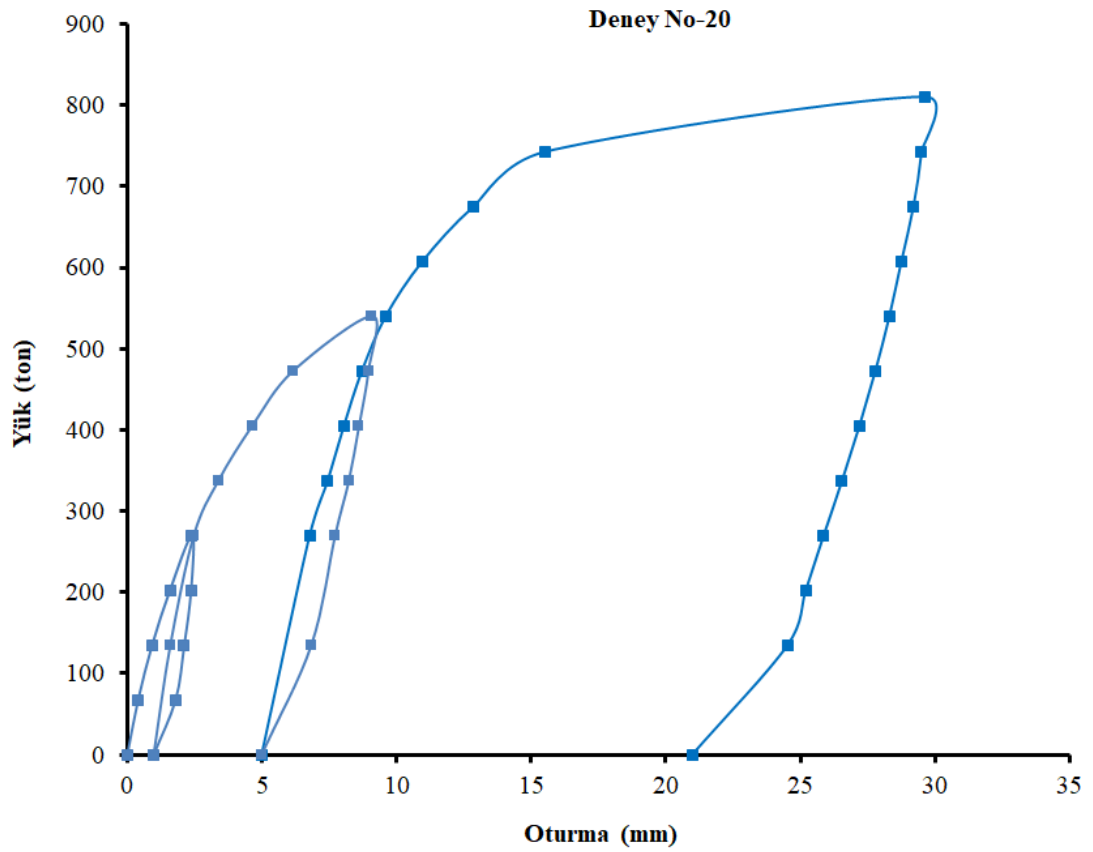
Şekil A.17 : Deney No 17 yük - oturma grafiği.



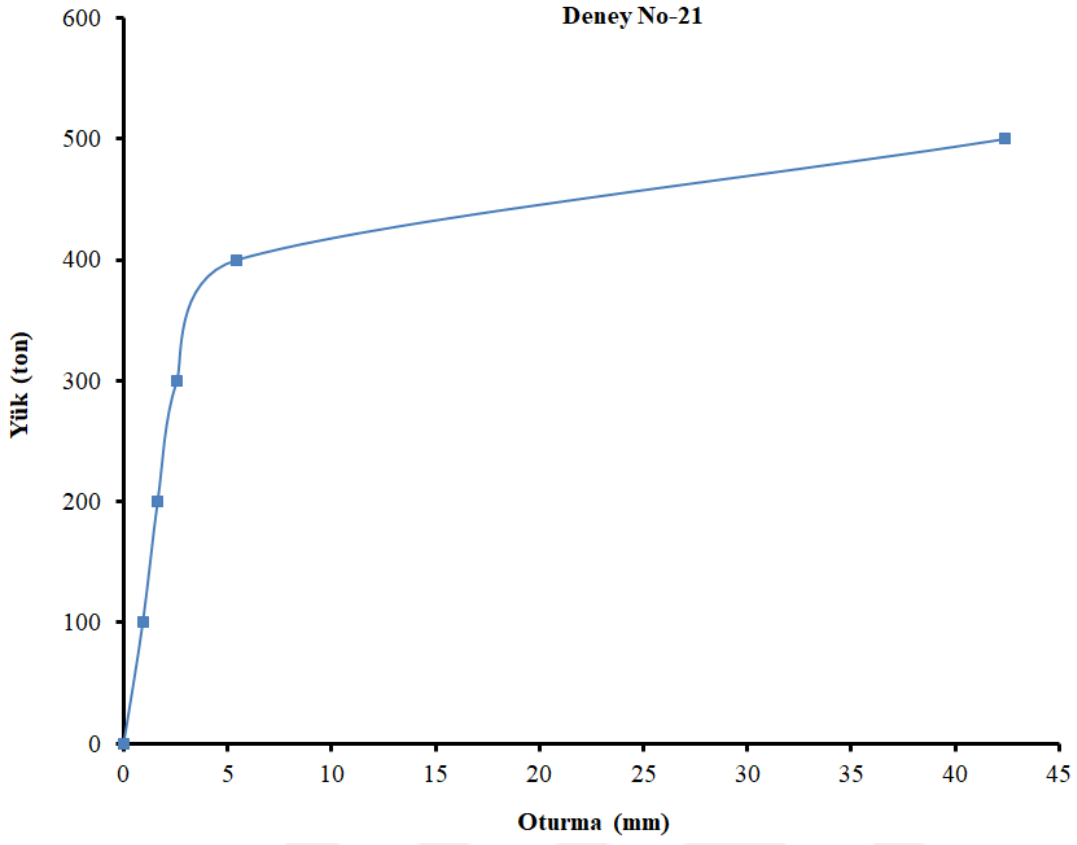
Şekil A.18 : Deney No 18 yük - oturma grafiği.



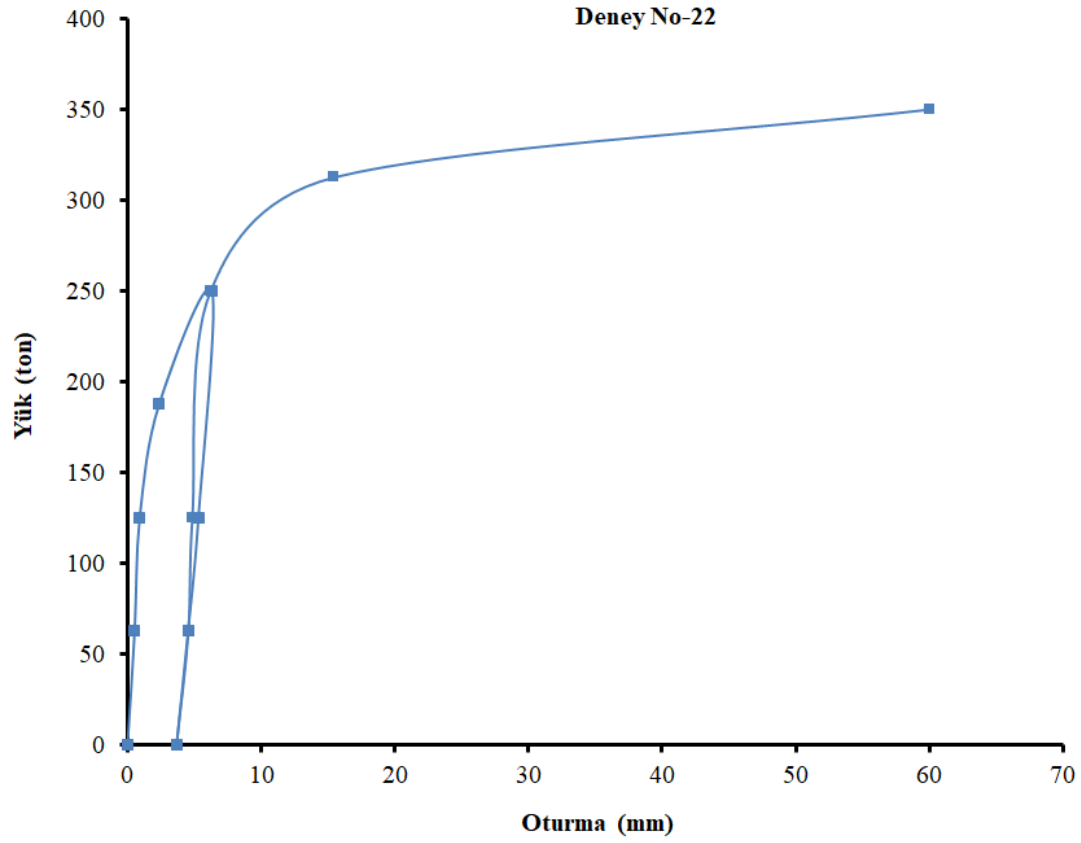
Şekil A.19 : Deney No 19 yük - oturma grafiği.



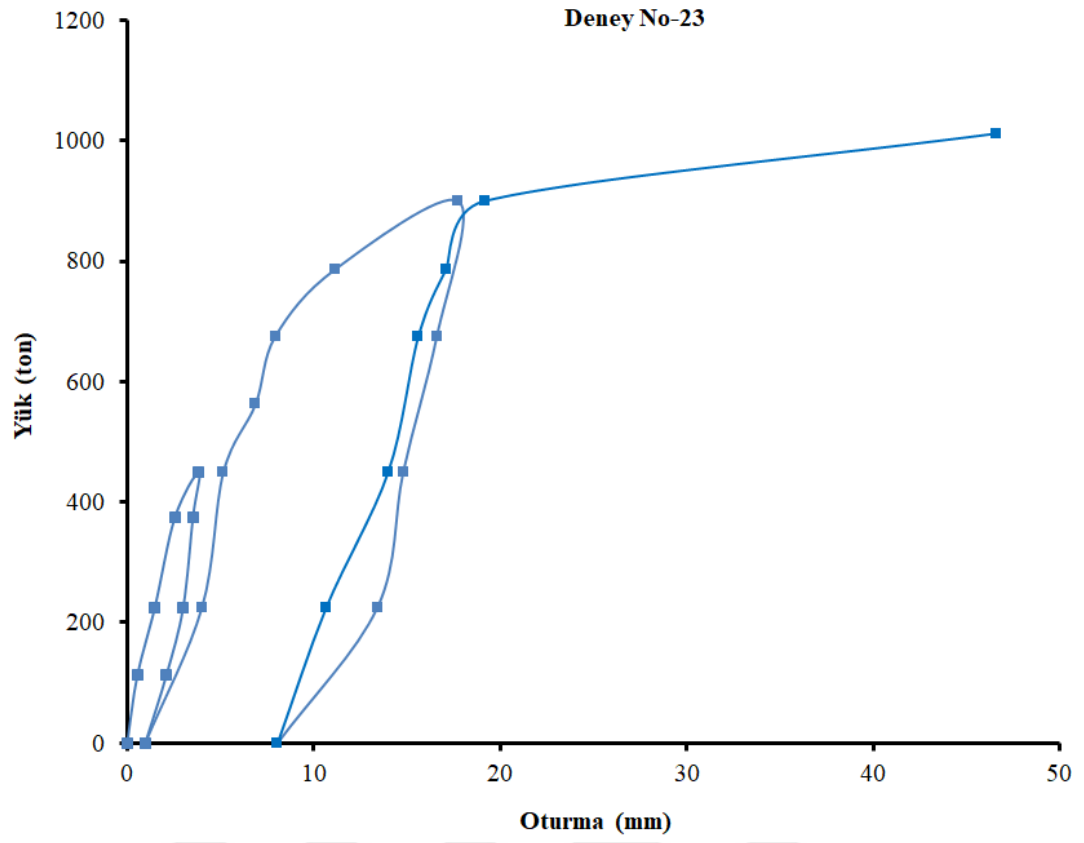
Şekil A.20 : Deney No 20 yük - oturma grafiği.



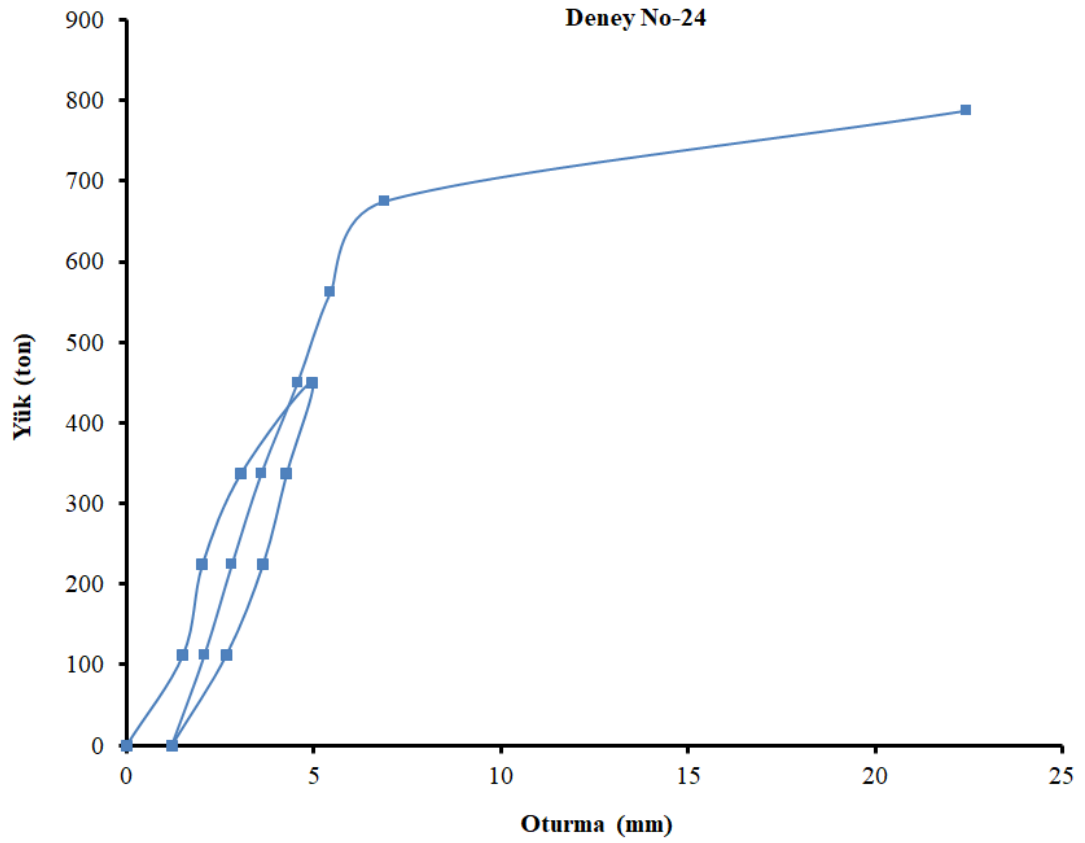
Şekil A.21 : Deney No 21 yük - oturma grafiği.



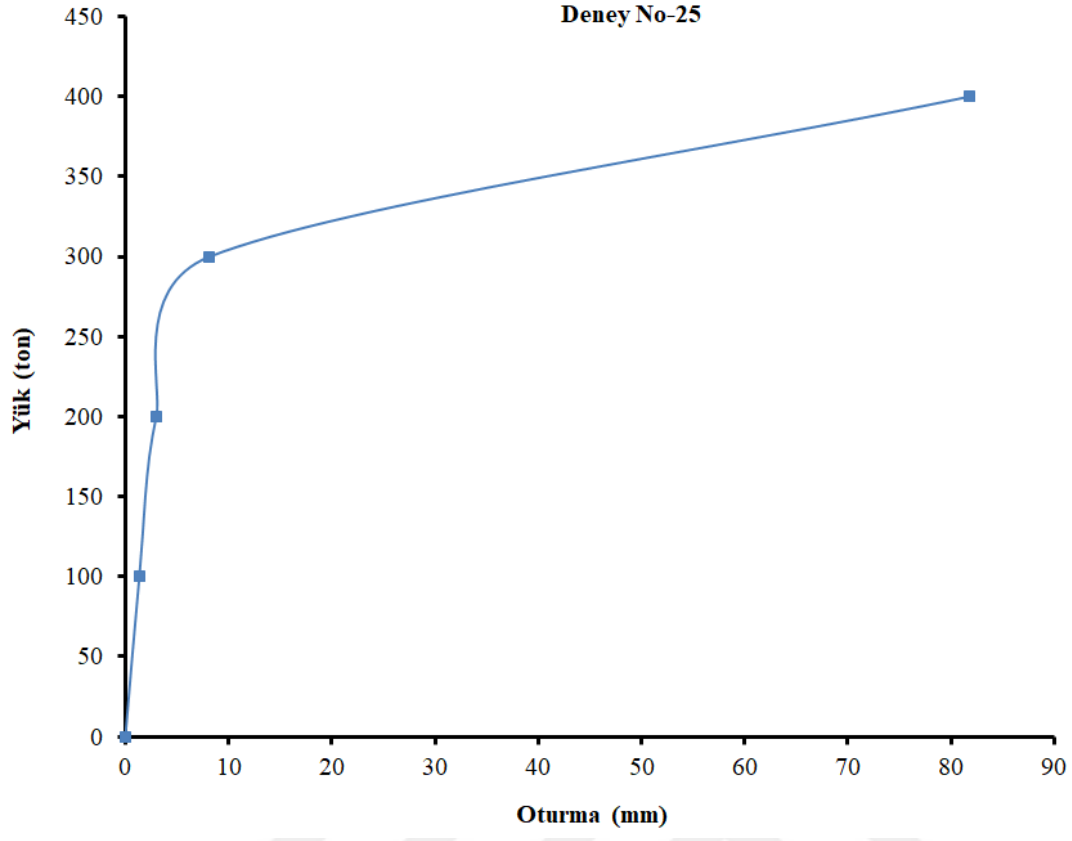
Şekil A.22 : Deney No 22 yük - oturma grafiği.



Şekil A.23 : Deney No 23 yük - oturma grafiği.

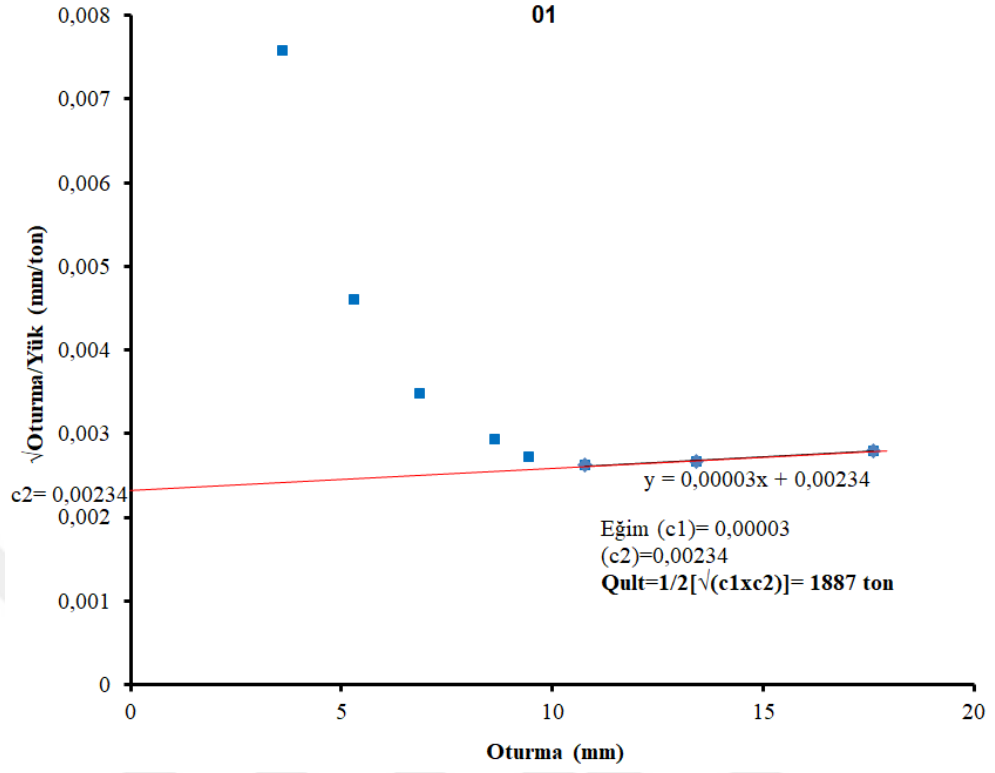


Şekil A.24 : Deney No 24 yük - oturma grafiği.

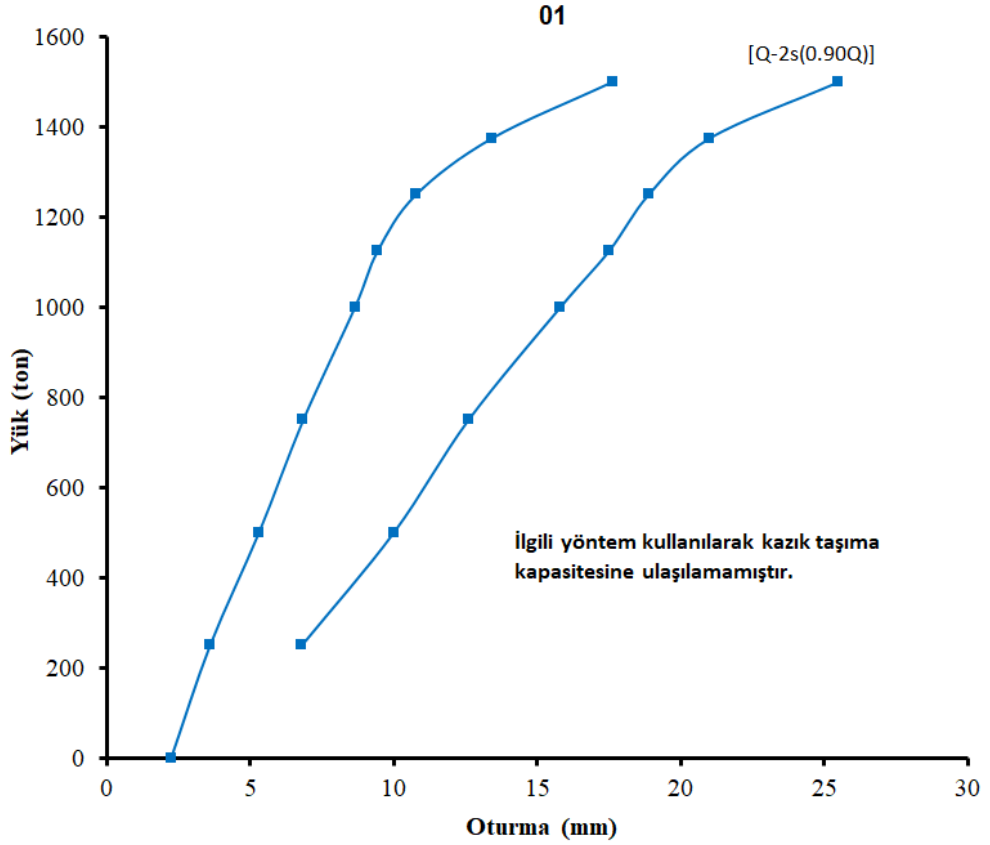


Şekil A.25 : Deney No 25 yük - oturma grafiği.

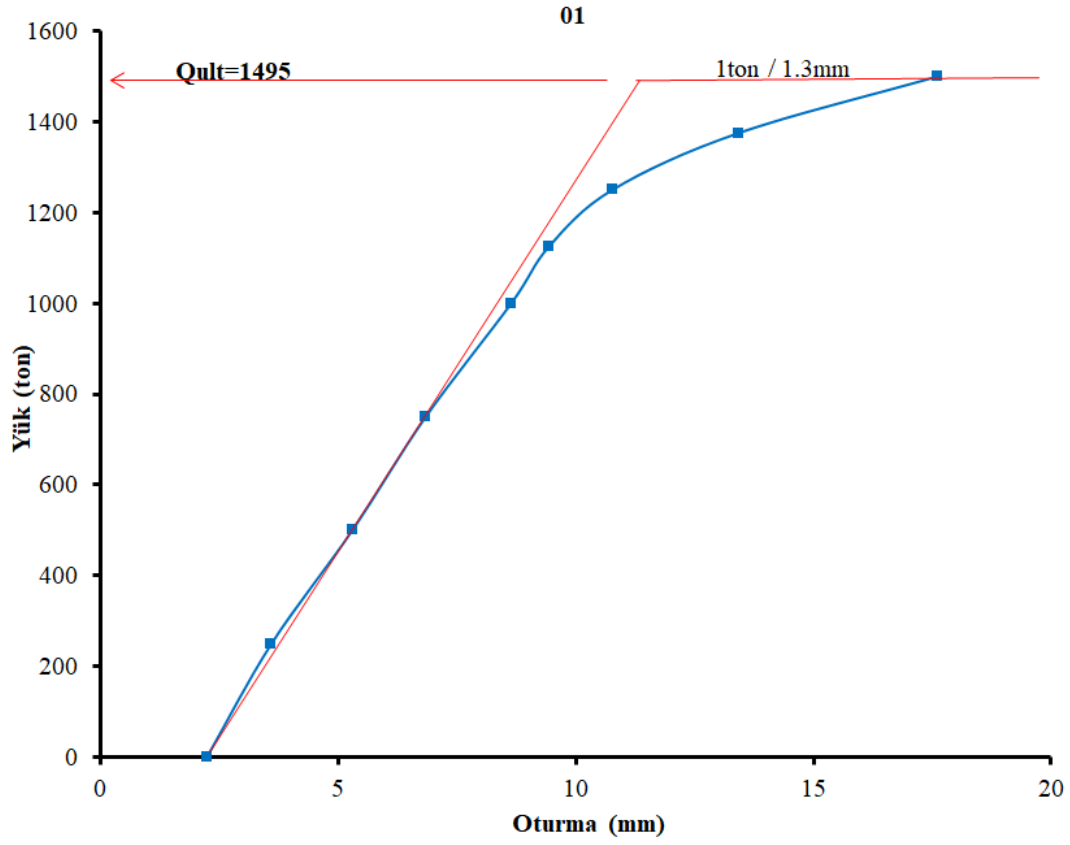
EK B



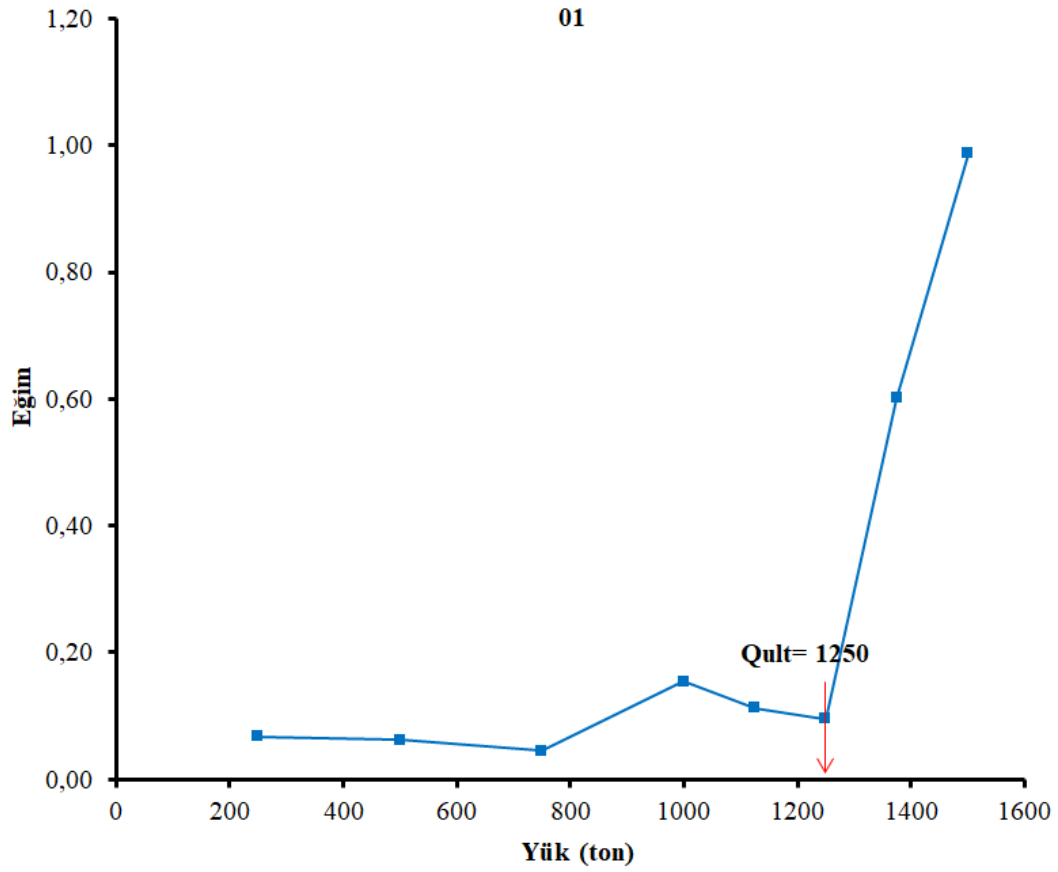
Şekil B.1 : Deney No 1 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



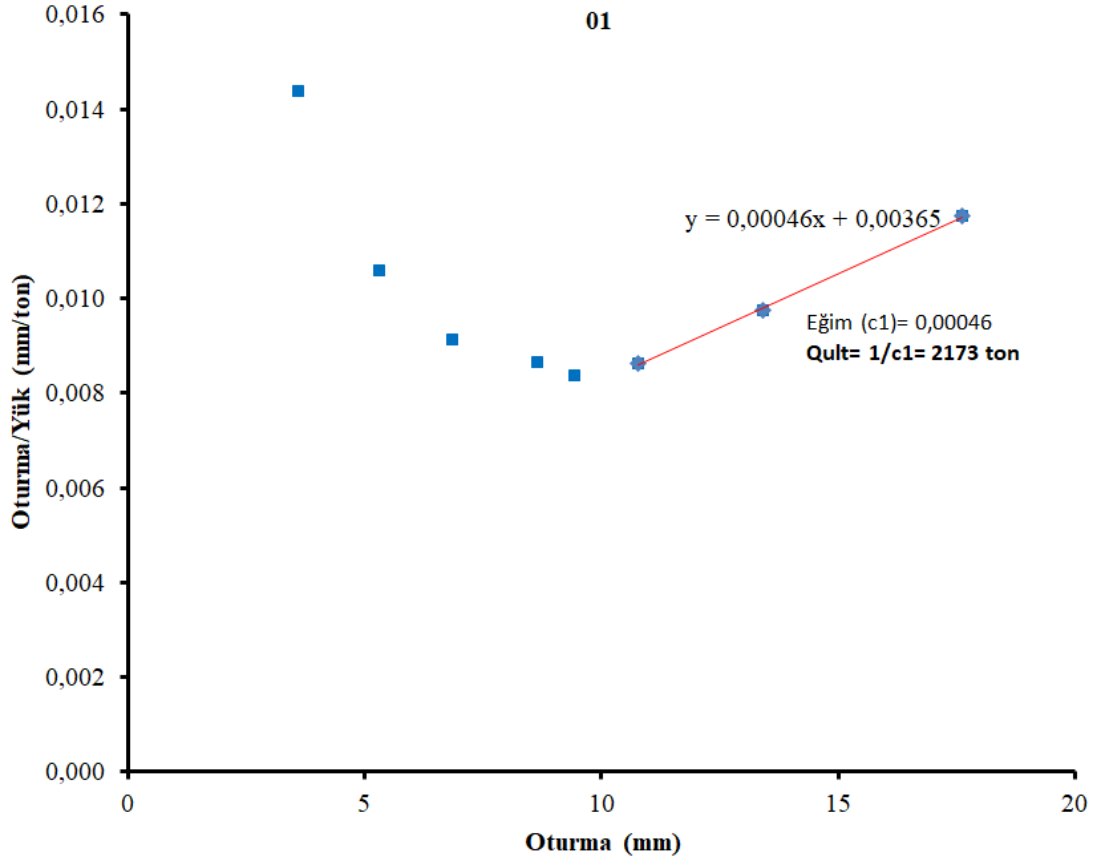
Şekil B.2 : Deney No 1 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



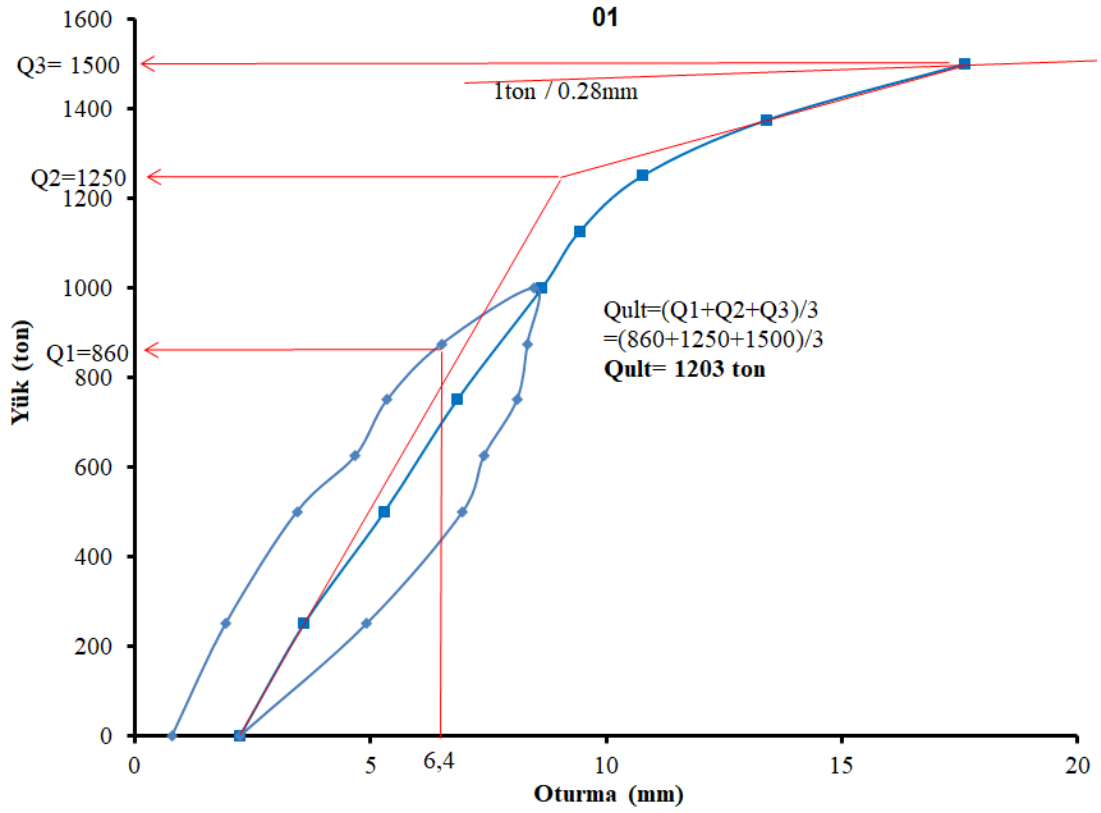
Şekil B.3 : Deney No 1 Butler - Hoy yöntemi.



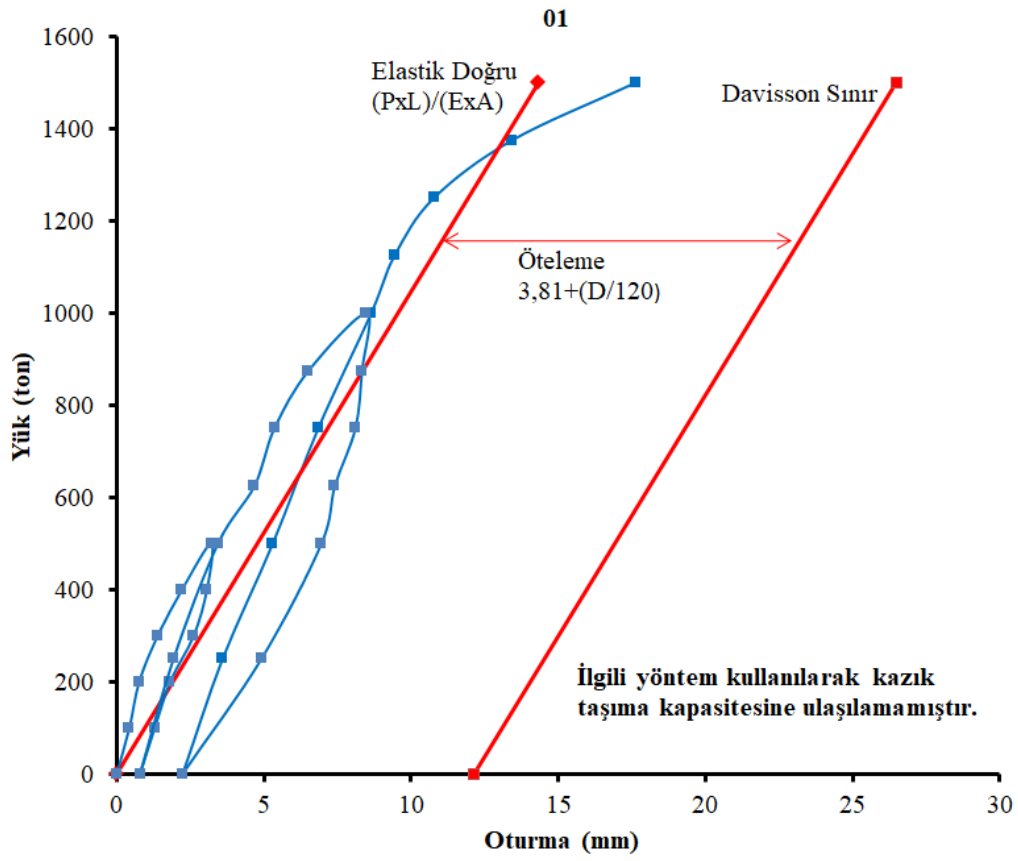
Şekil B.4 : Deney No 1 Cambeftort - Chadeisson yöntemi.



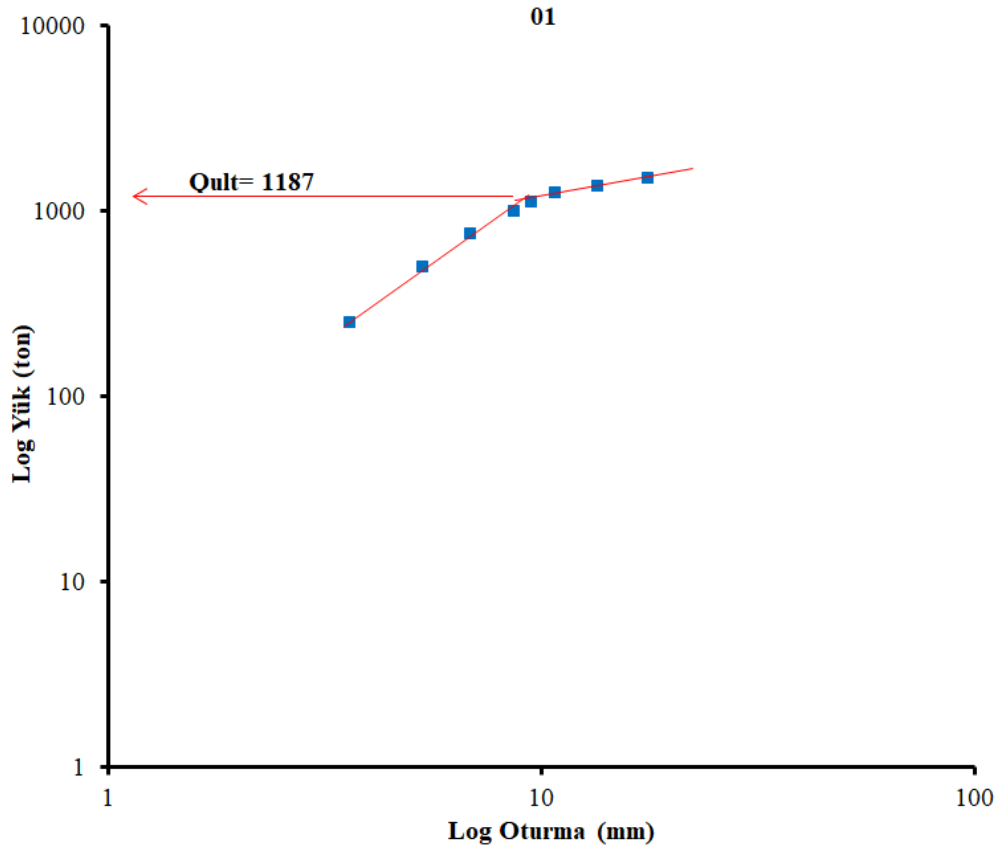
Şekil B.5 : Deney No 1 Chin - Kondner yöntemi.



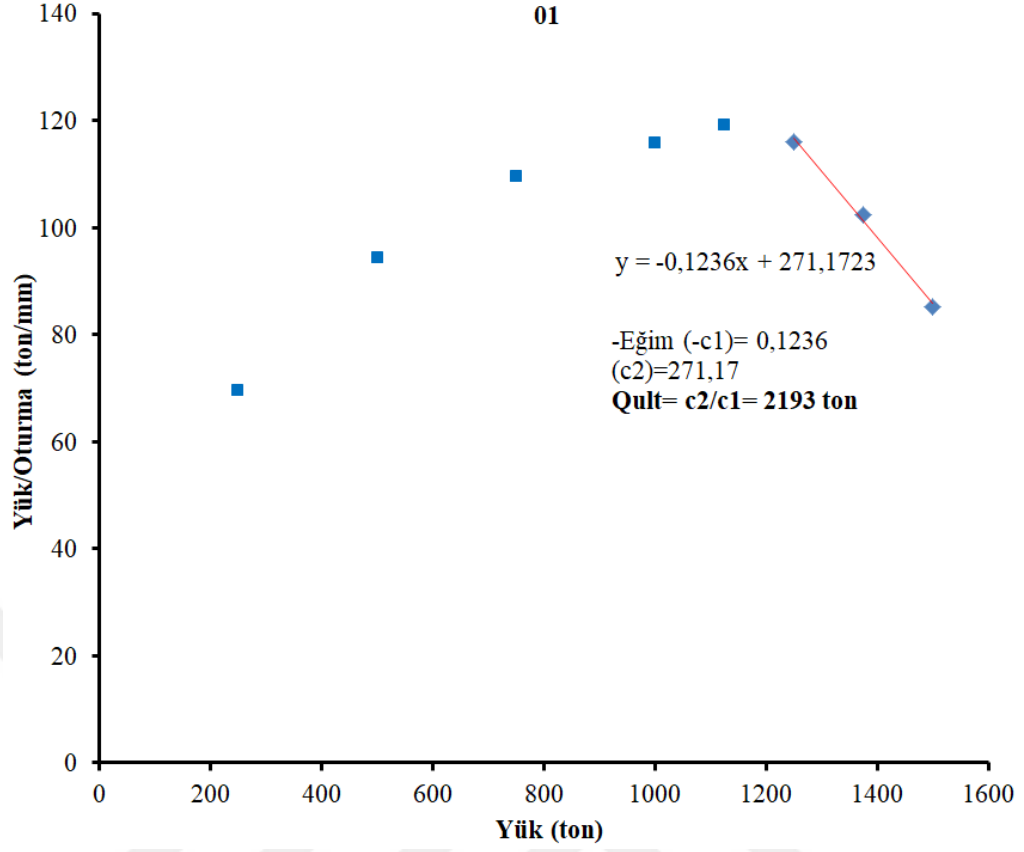
Şekil B.6 : Deney No 1 Corps of Engineers yöntemi.



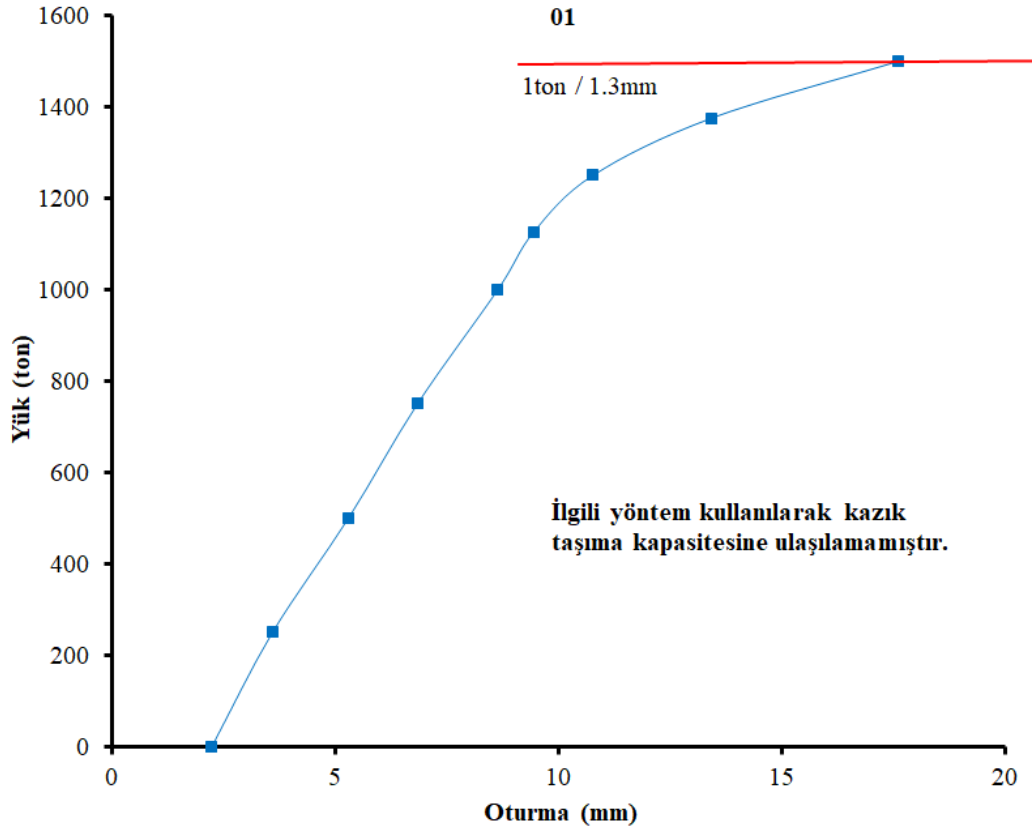
Şekil B.7 : Deney No 1 Davisson yöntemi.



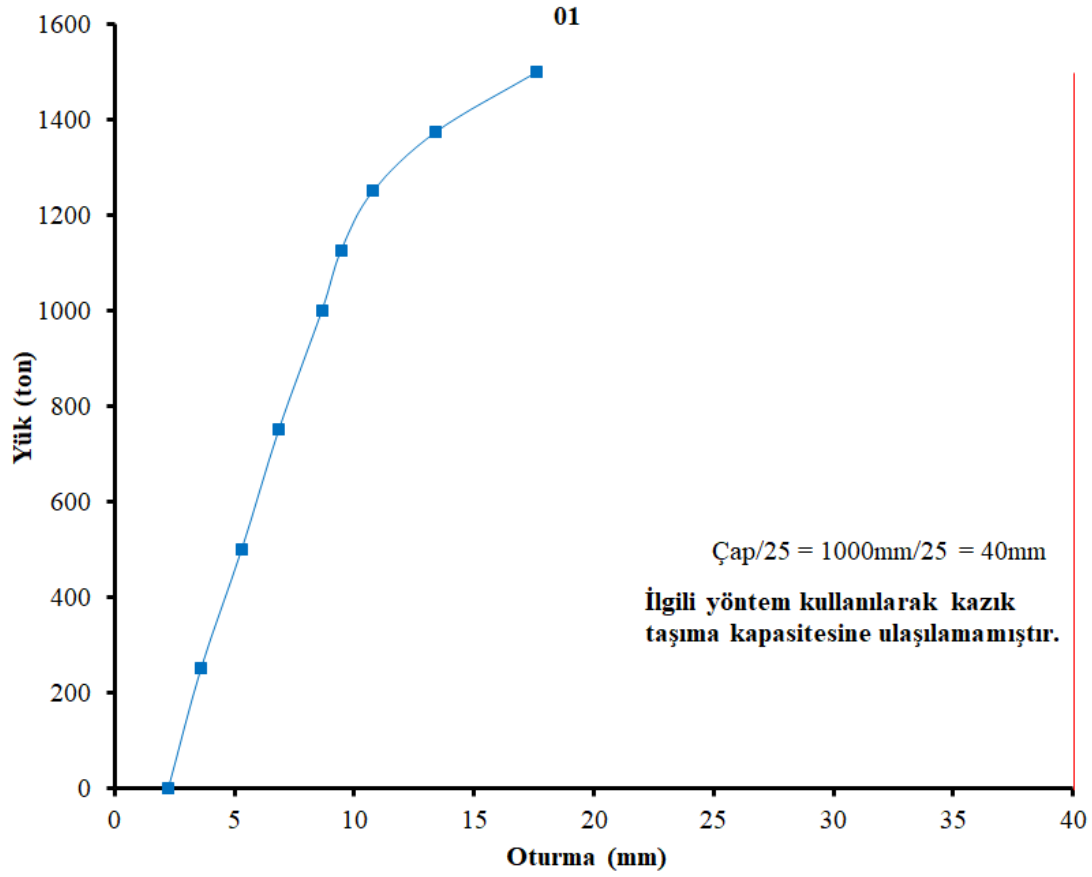
Şekil B.8 : Deney No 1 De Beer yöntemi.



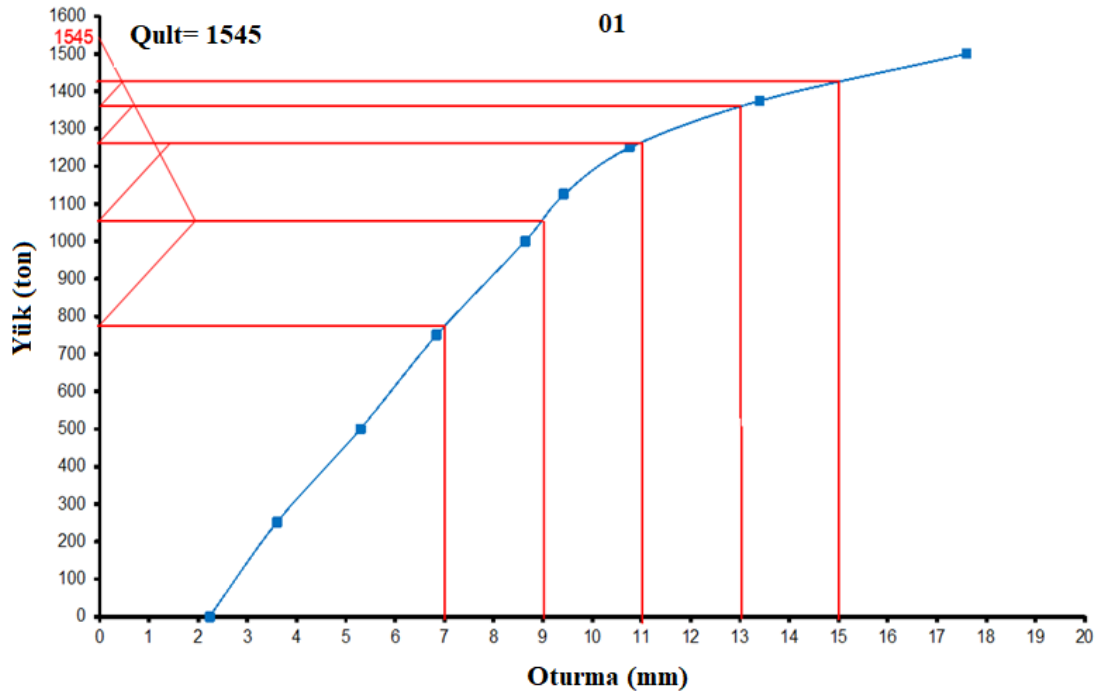
Şekil B.9 : Deney No 1 Decourt yöntemi.



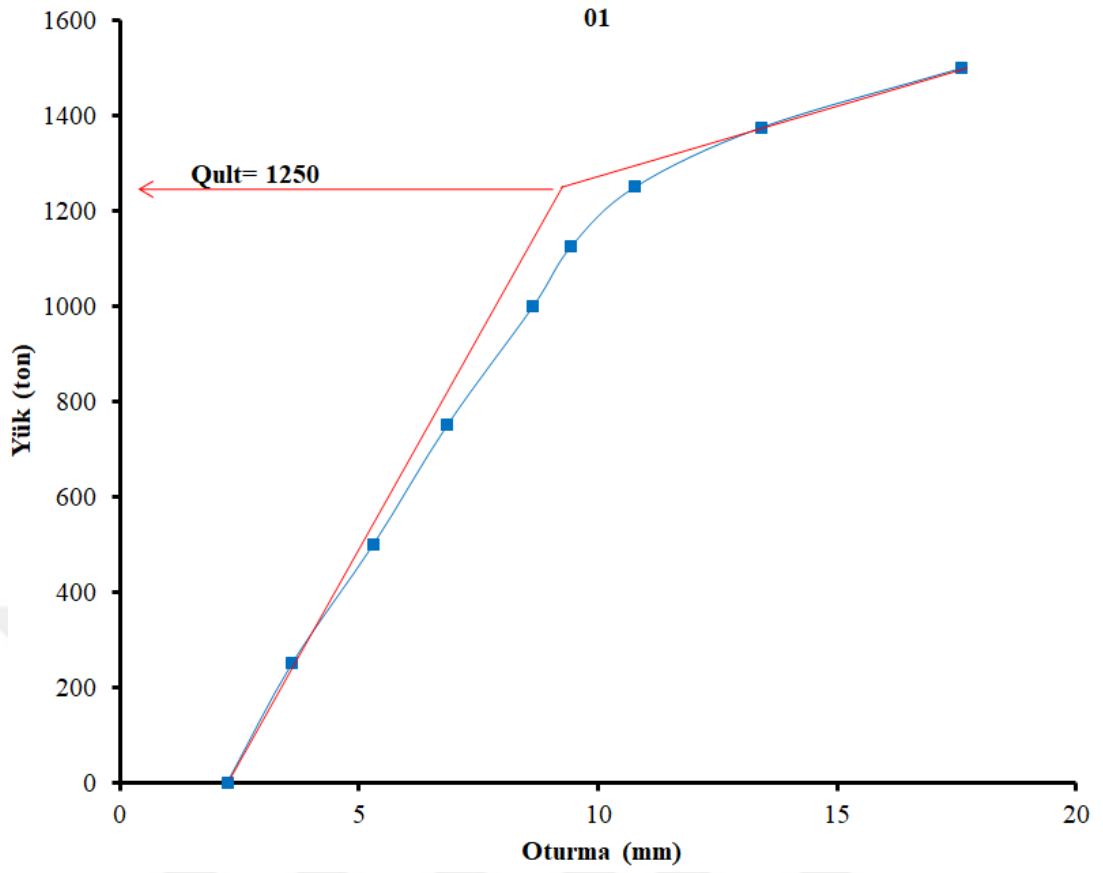
Şekil B.10 : Deney No 1 Fuller - Hoy yöntemi.



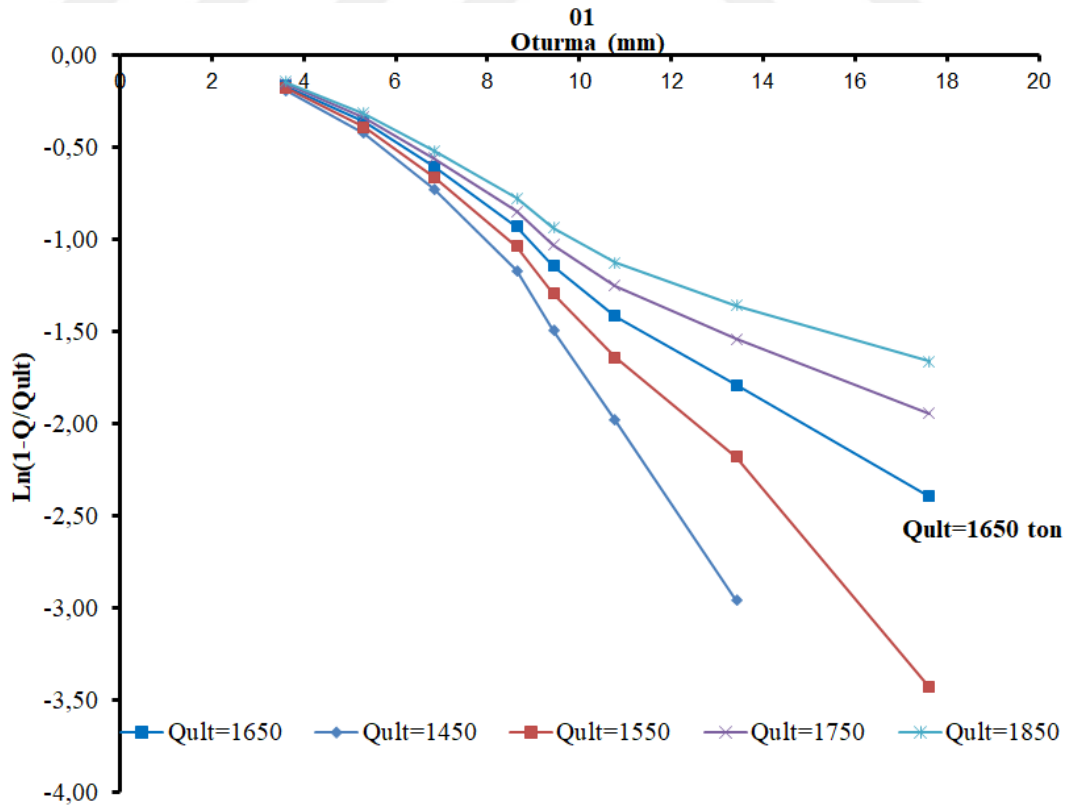
Şekil B.11 : Deney No 1 Hirany - Kulhawy yöntemi.



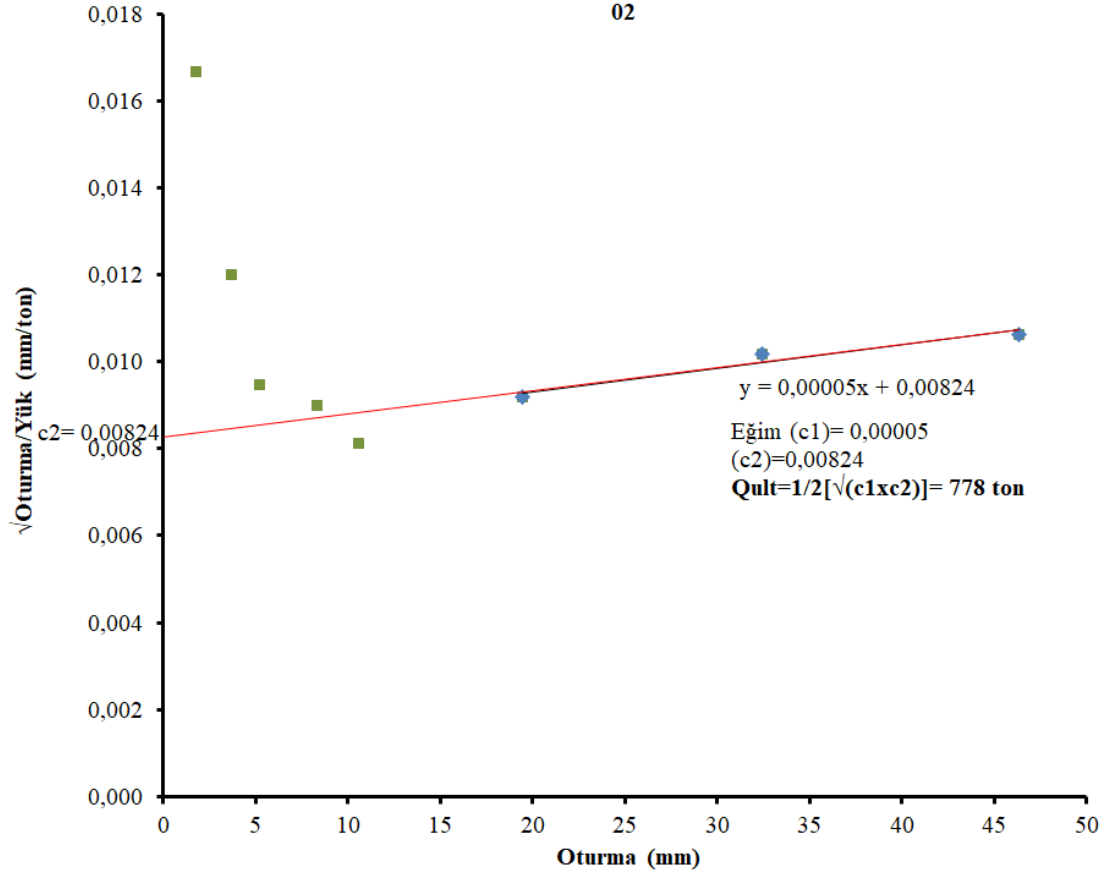
Şekil B.12 : Deney No 1 Mazurkiewicz yöntemi.



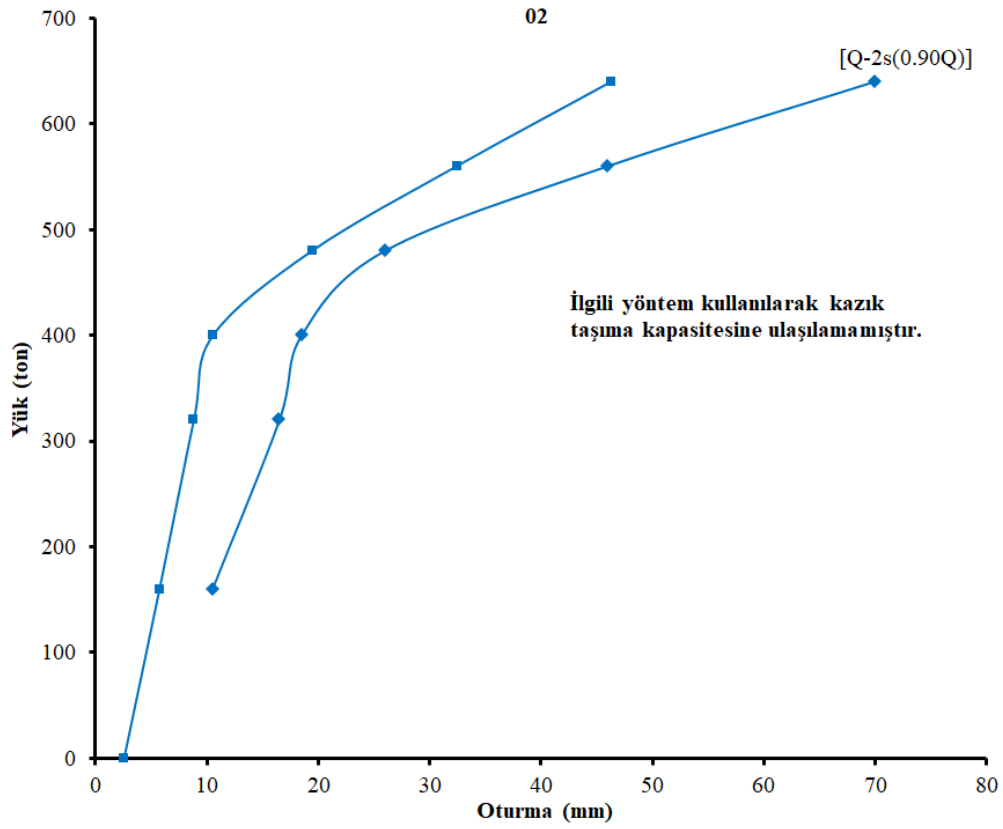
Şekil B.13 : Deney No 1 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



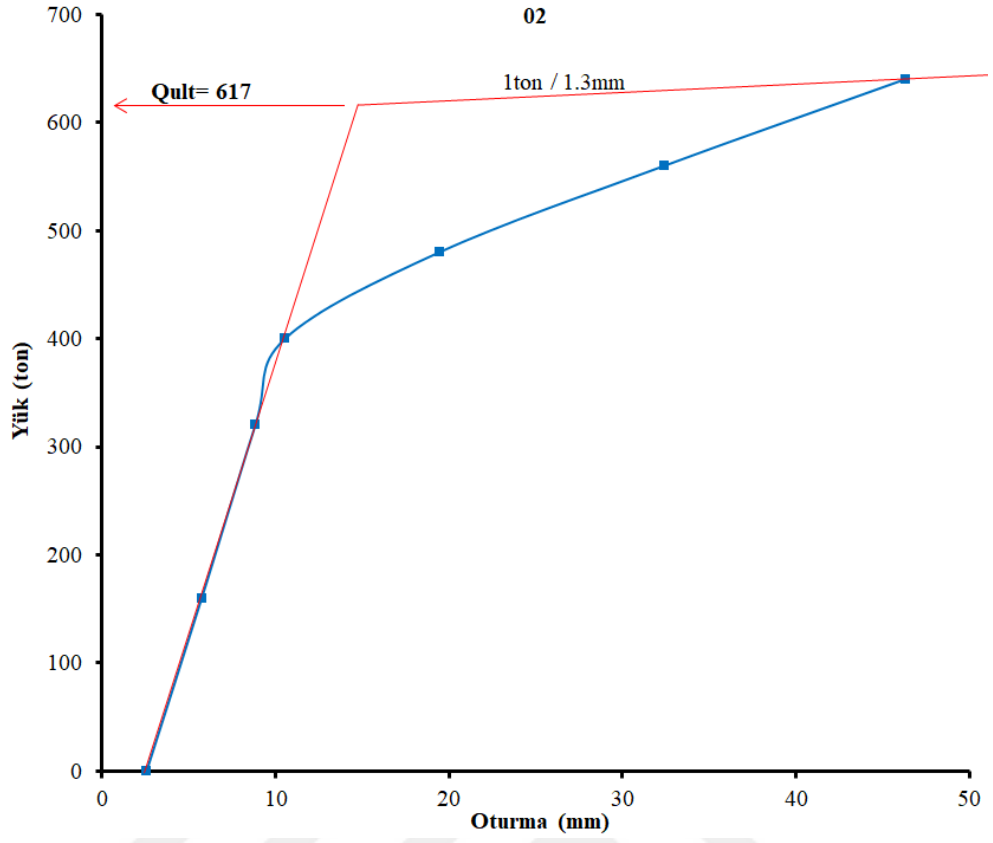
Şekil B.14 : Deney No 1 Van Der Veen yöntemi.



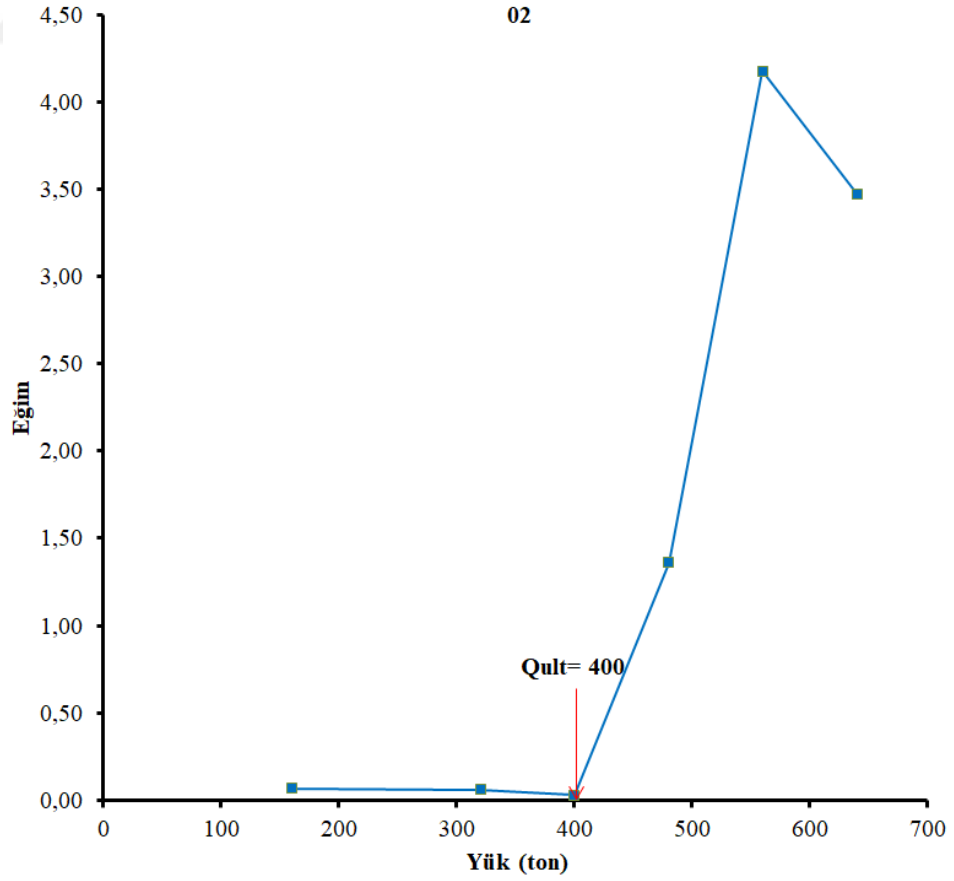
Şekil B.15 : Deney No 2 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



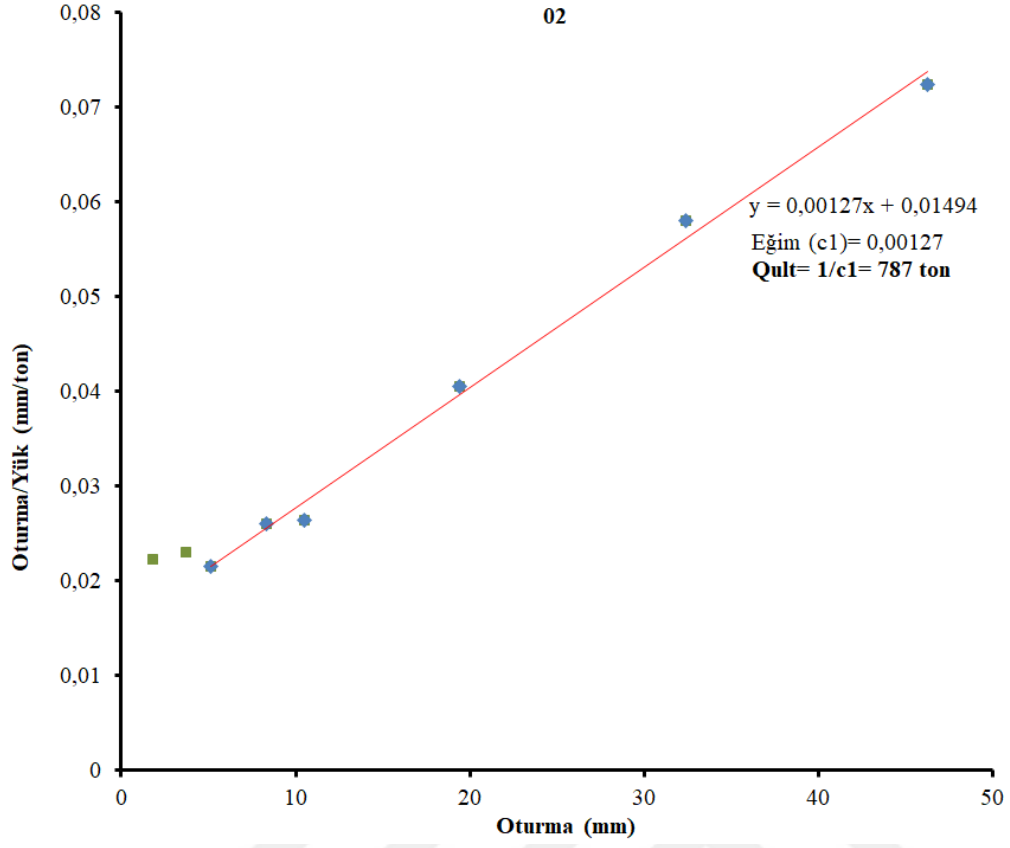
Şekil B.16 : Deney No 2 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



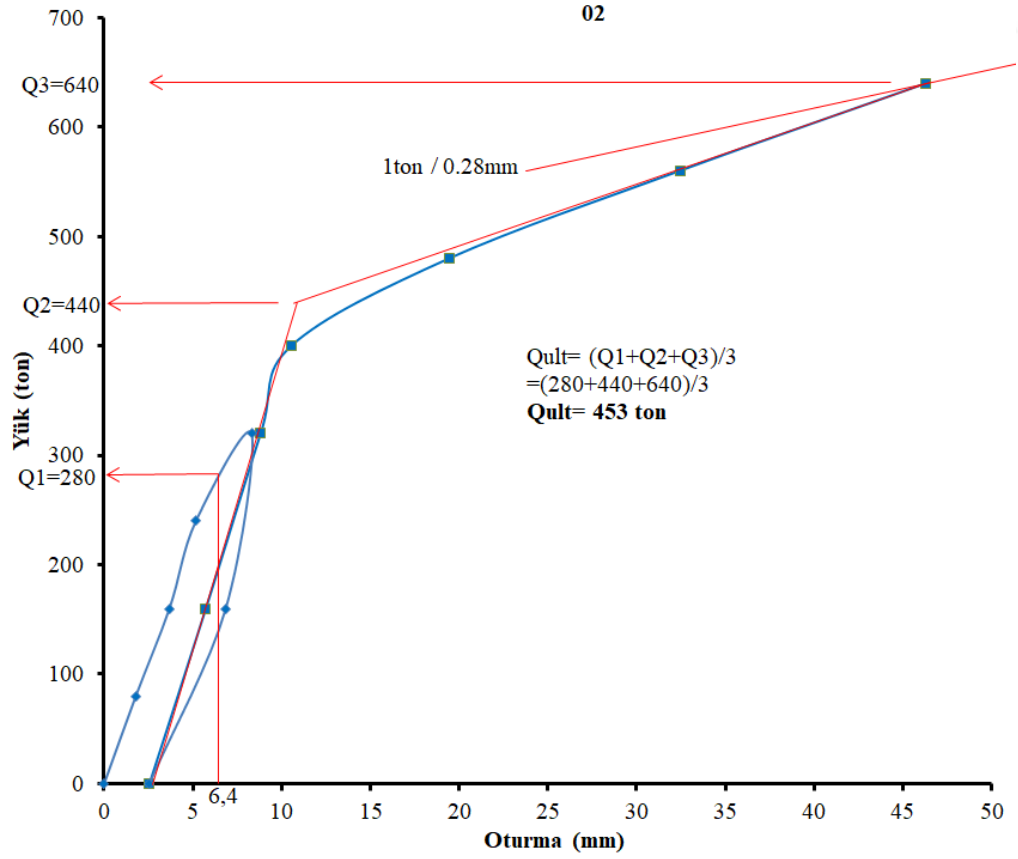
Şekil B.17 : Deney No 2 Butler - Hoy yöntemi.



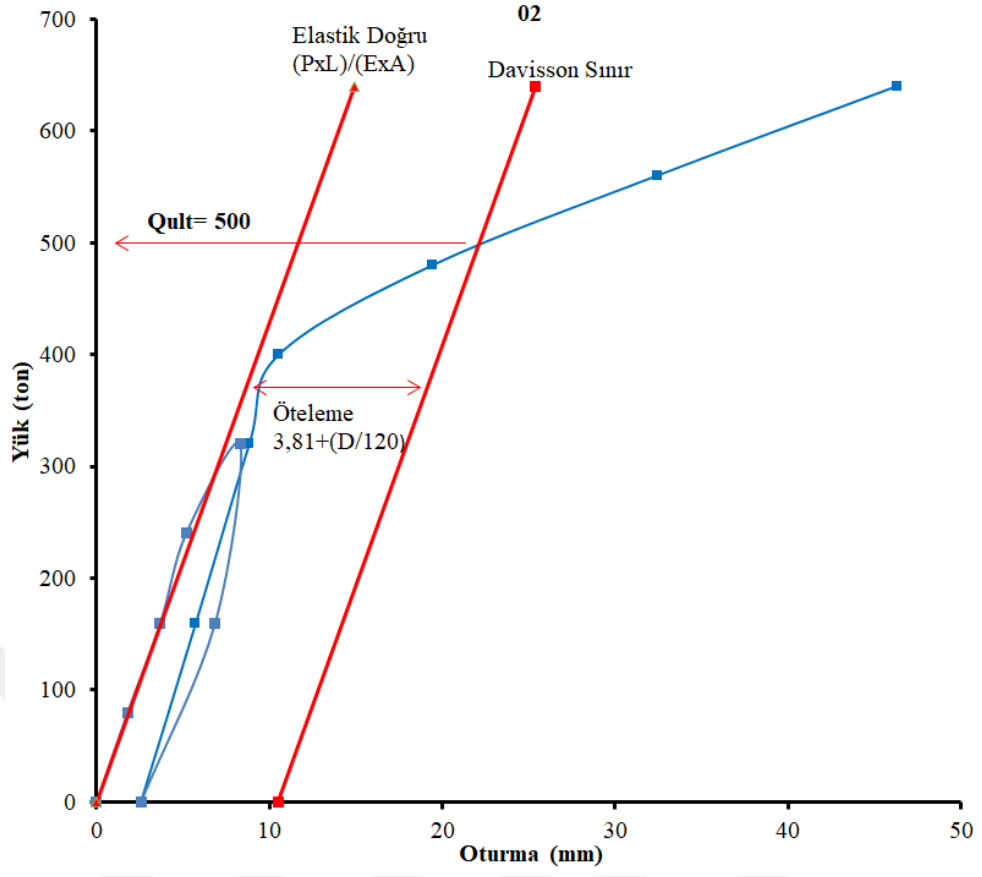
Şekil B.18 : Deney No 2 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



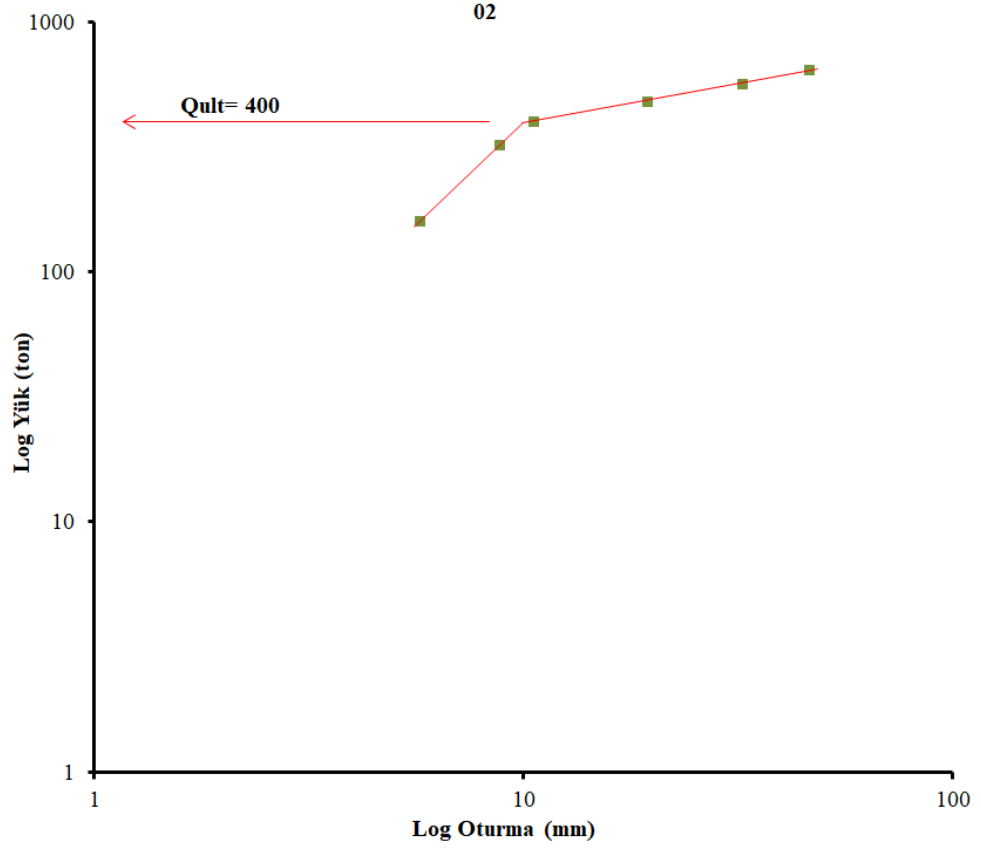
Şekil B.19 : Deney No 2 Chin - Kondner yöntemi.



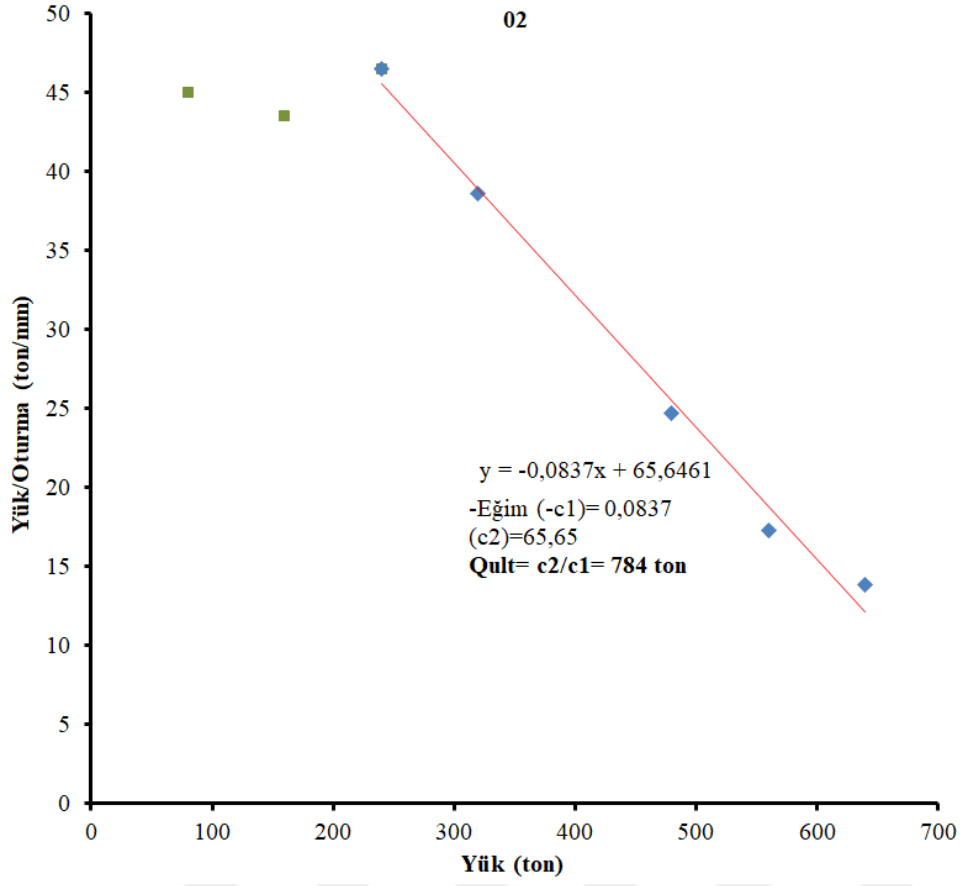
Şekil B.20 : Deney No 2 Corps of Engineers yöntemi.



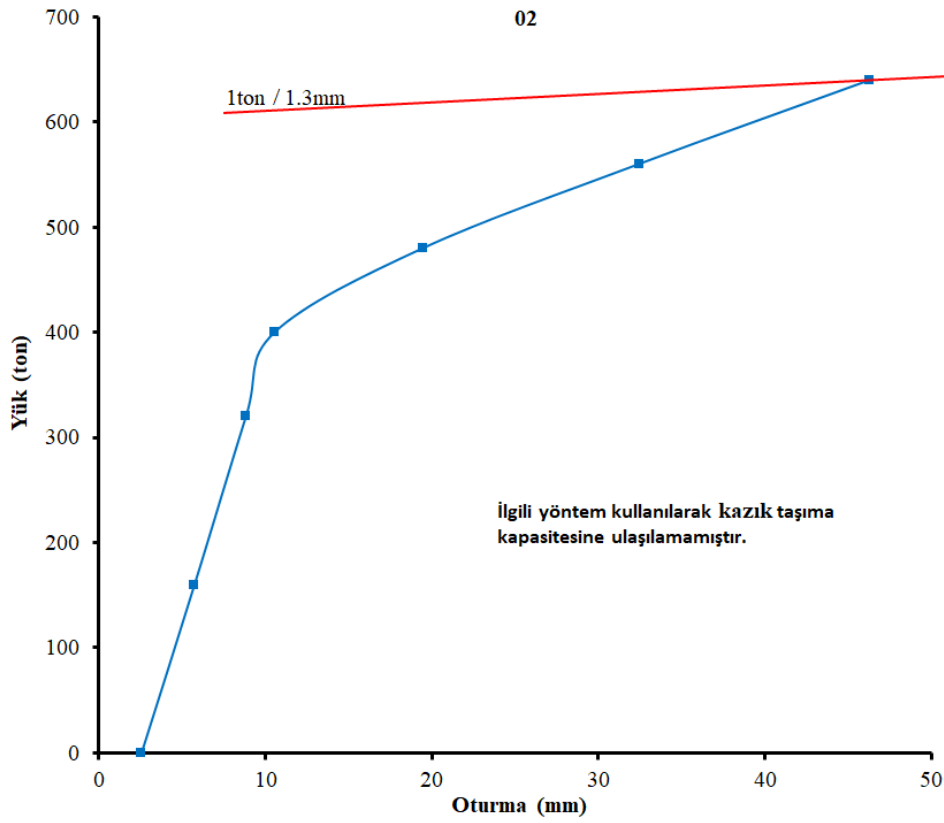
Şekil B.21 : Deney No 2 Davisson yöntemi.



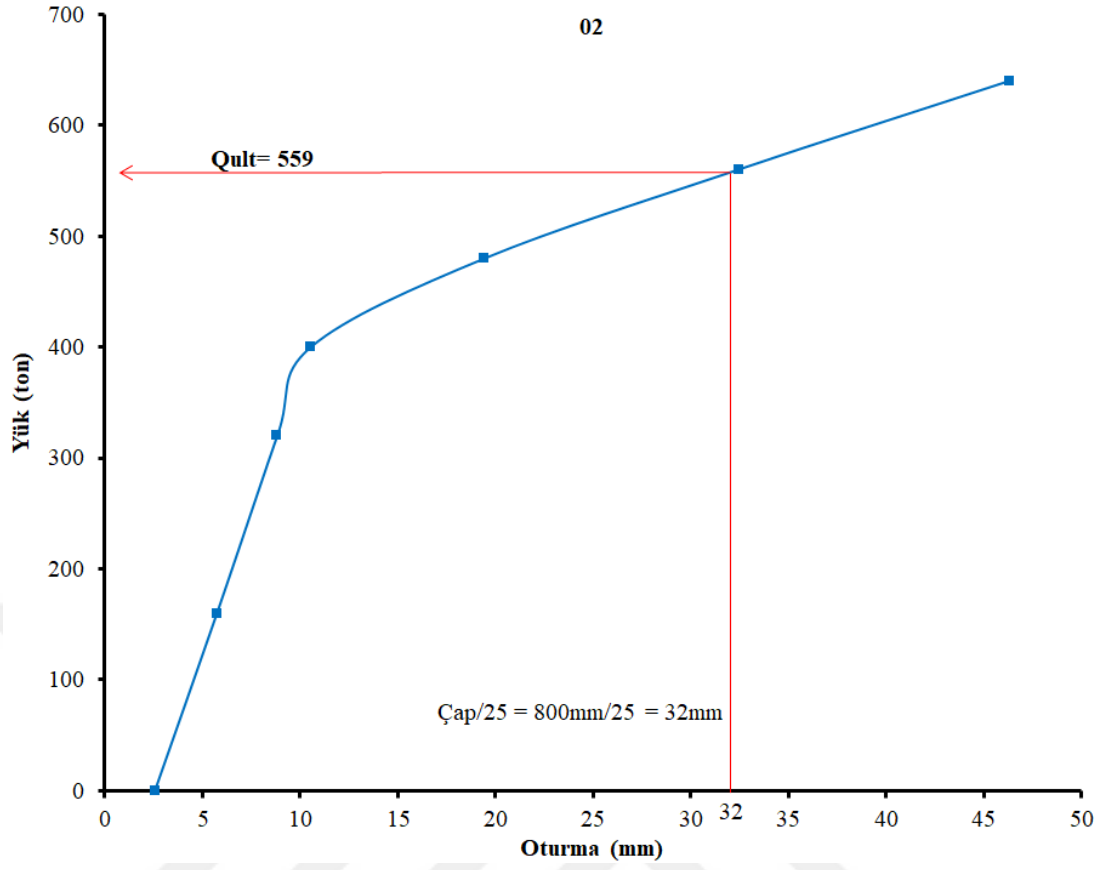
Şekil B.22 : Deney No 2 De Beer yöntemi.



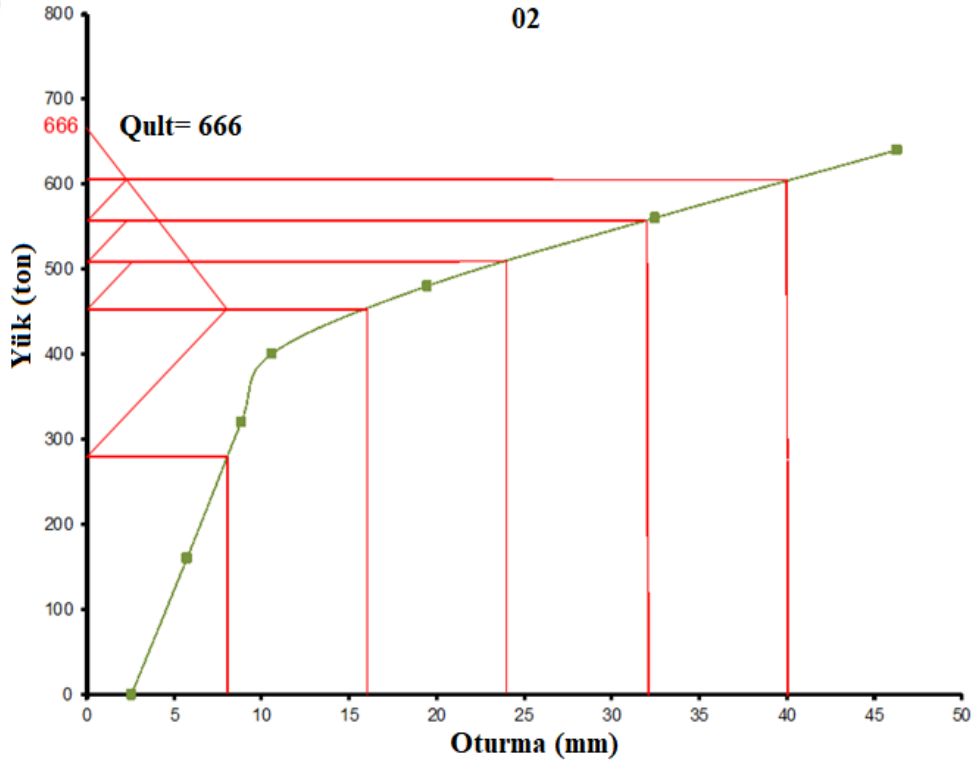
Şekil B.23 : Deney No 2 Decourt yöntemi.



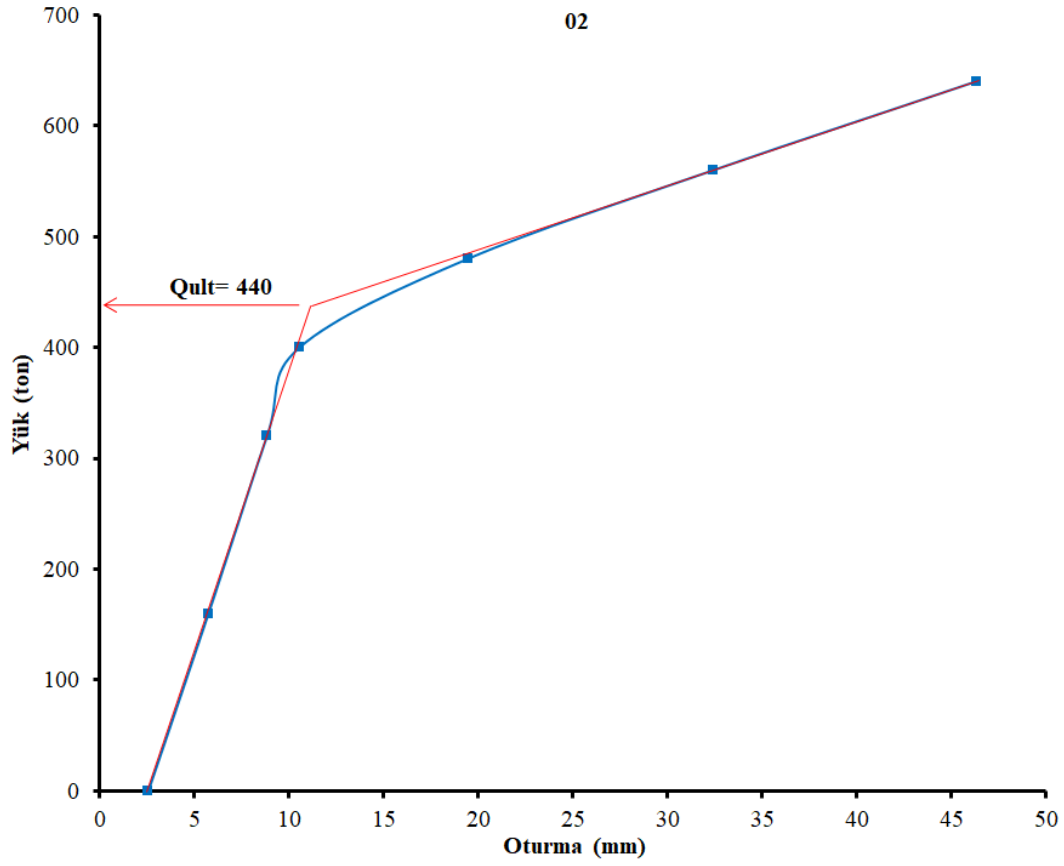
Şekil B.24 : Deney No 2 Fuller - Hoy yöntemi.



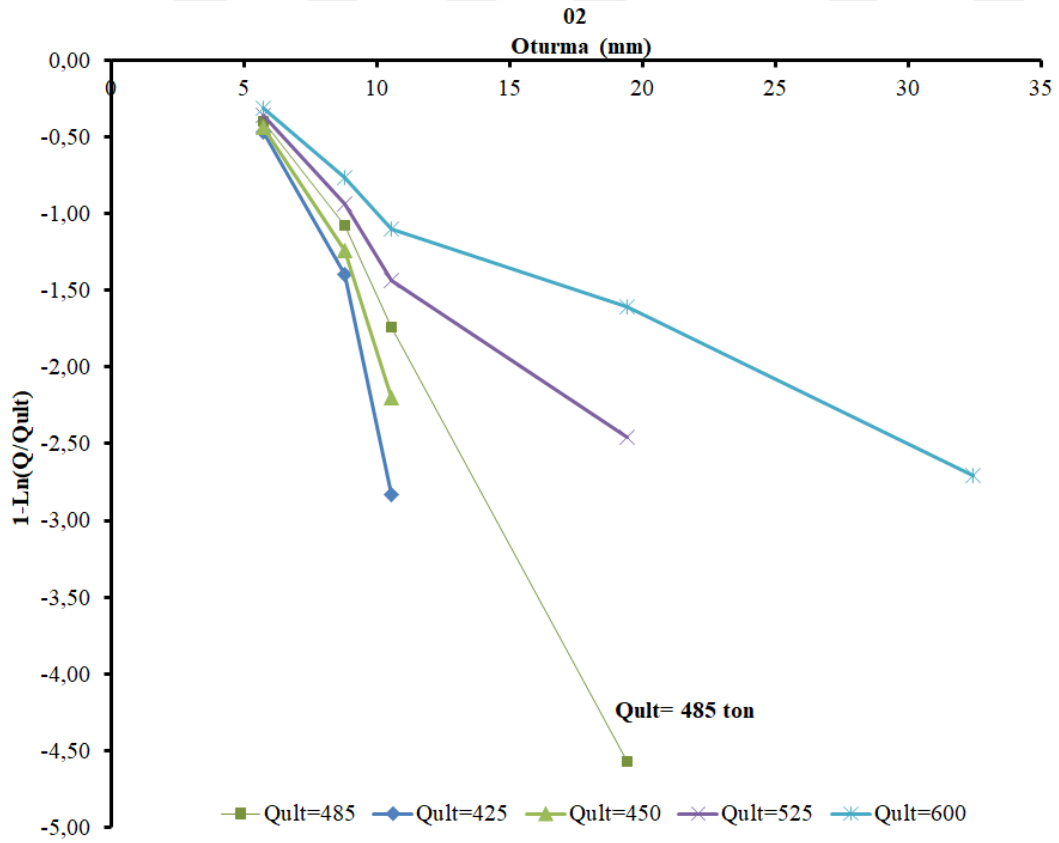
Şekil B.25 : Deney No 2 Hirany - Kulhawy yöntemi.



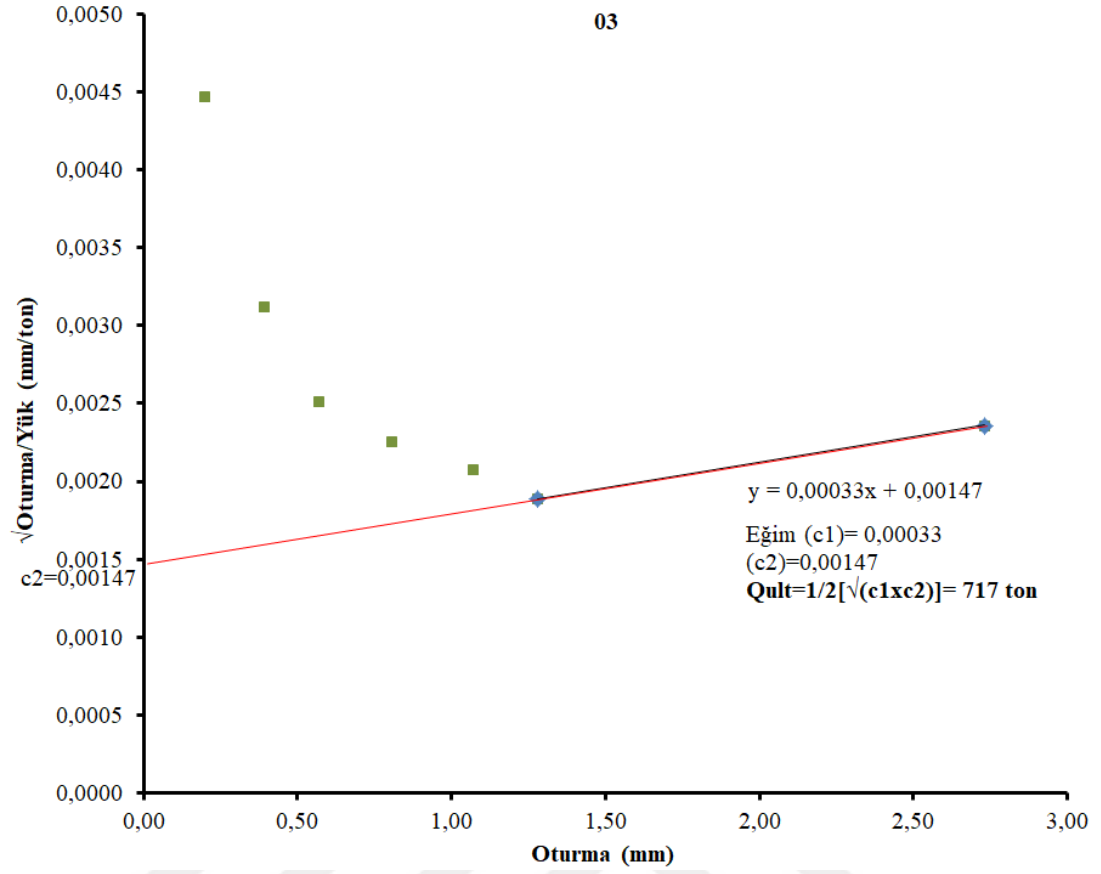
Şekil B.26 : Deney No 2 Mazurkiewicz yöntemi.



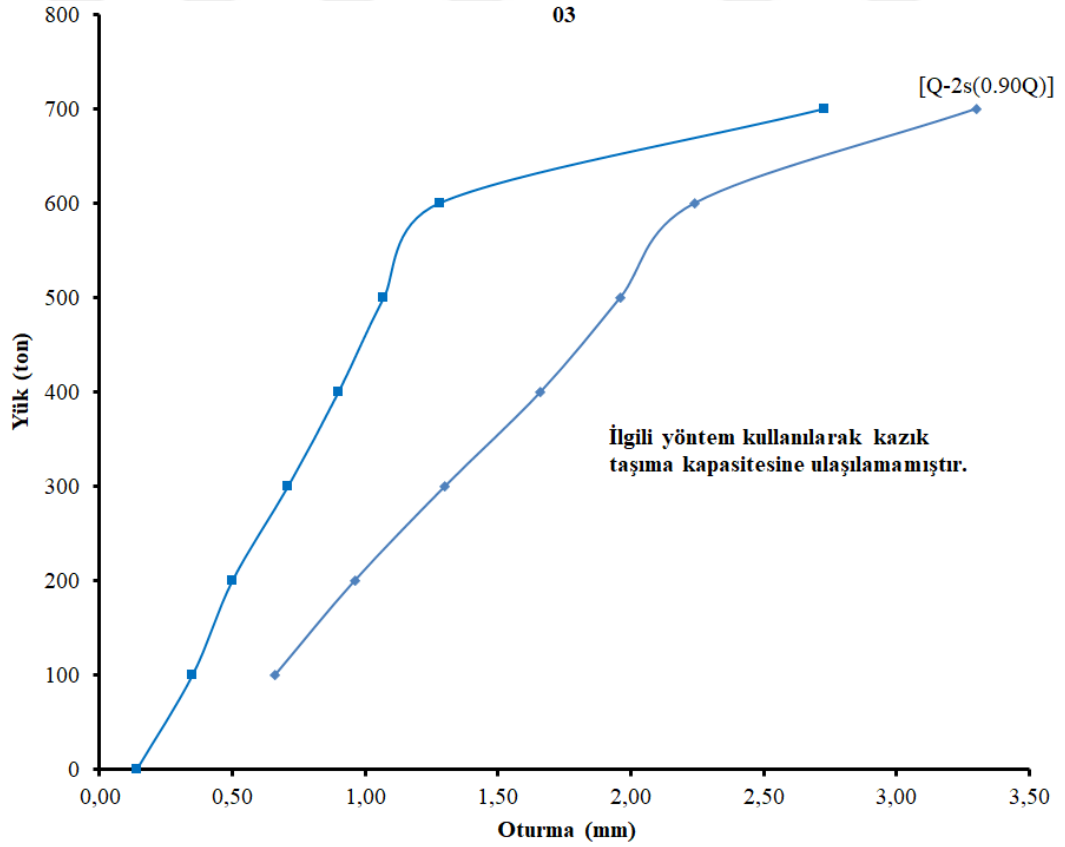
Şekil B.27 : Deney No 2 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



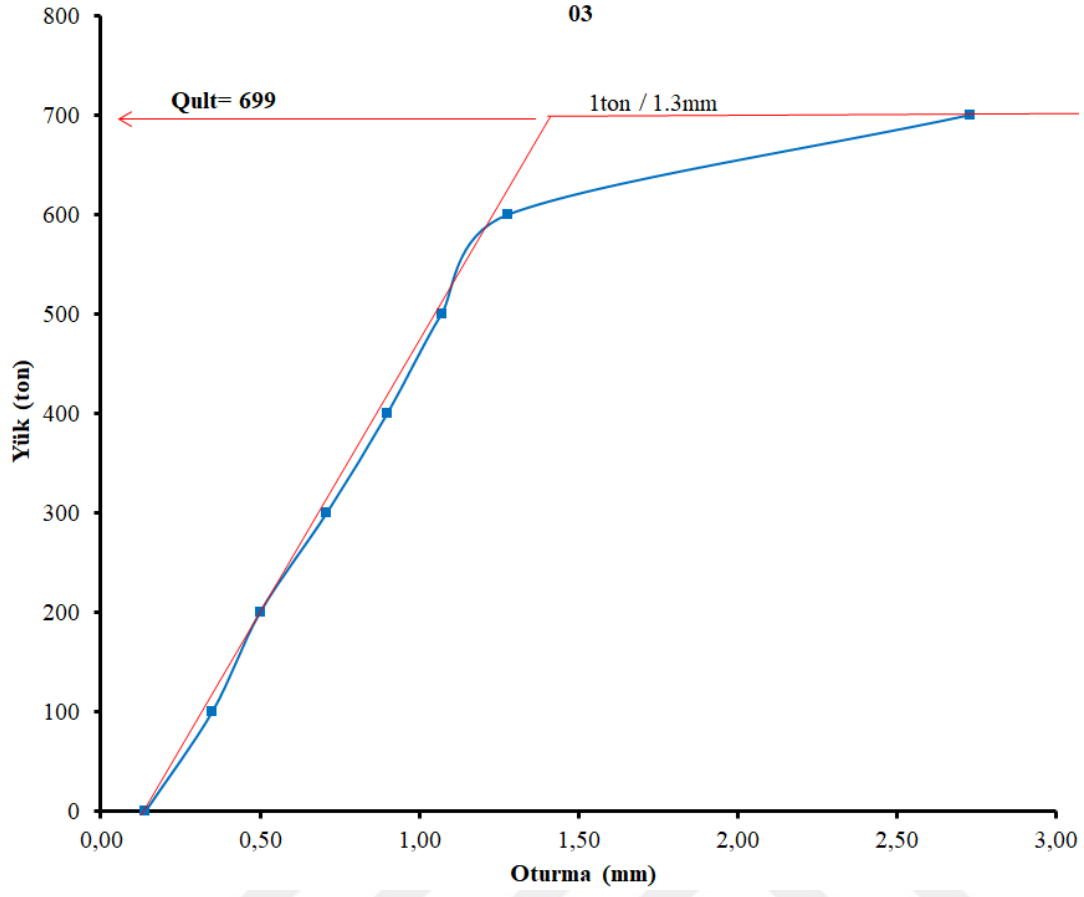
Şekil B.28 : Deney No 2 Van Der Veen yöntemi.



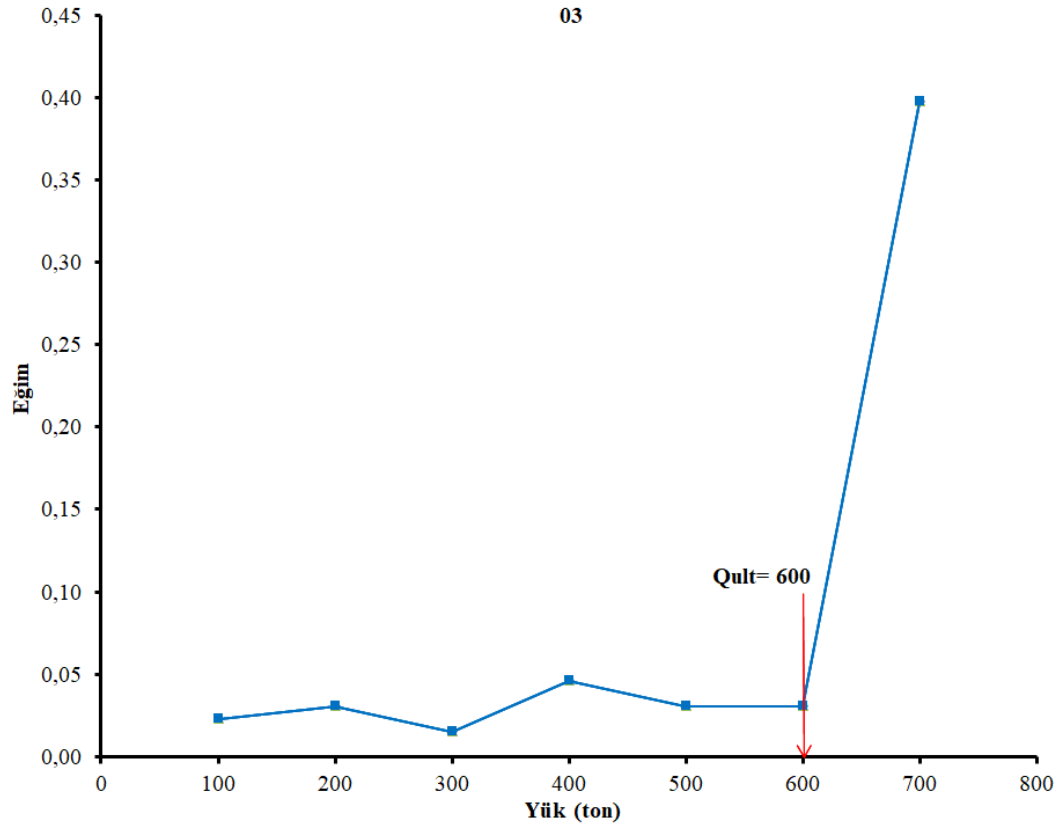
Şekil B.29 : Deney No 3 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



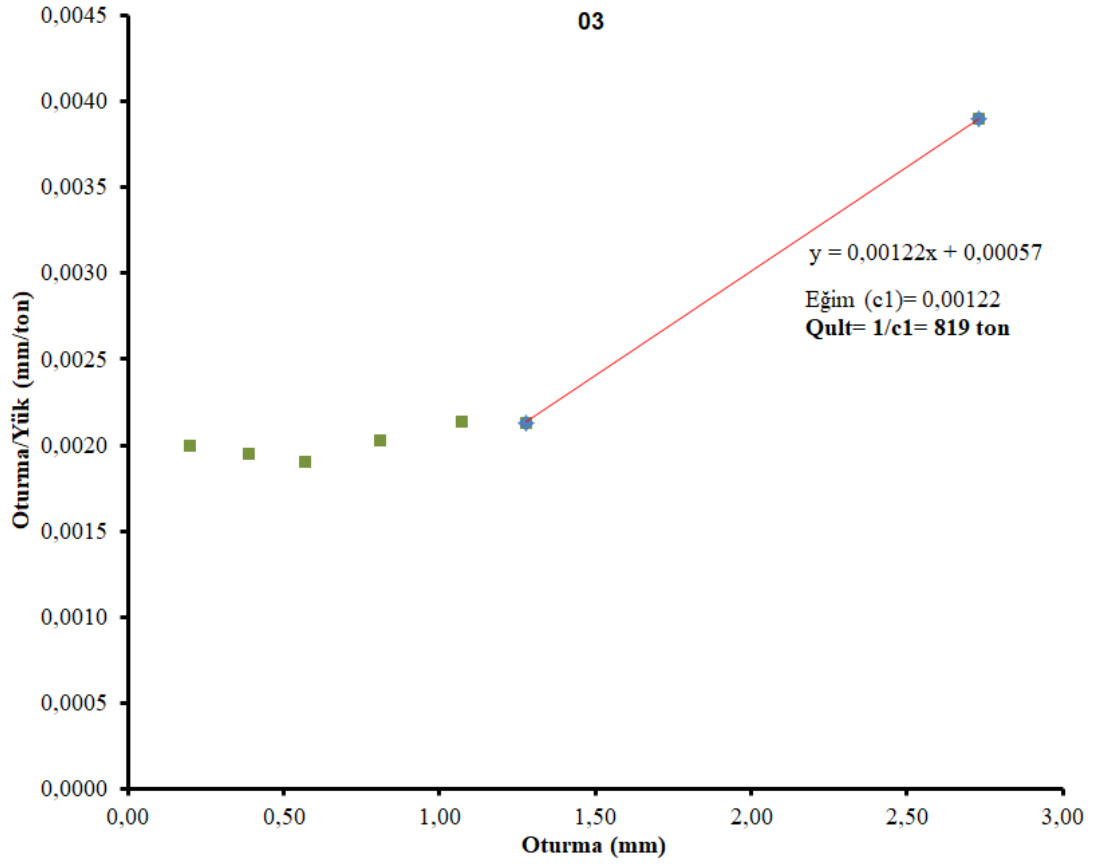
Şekil B.30 : Deney No 3 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



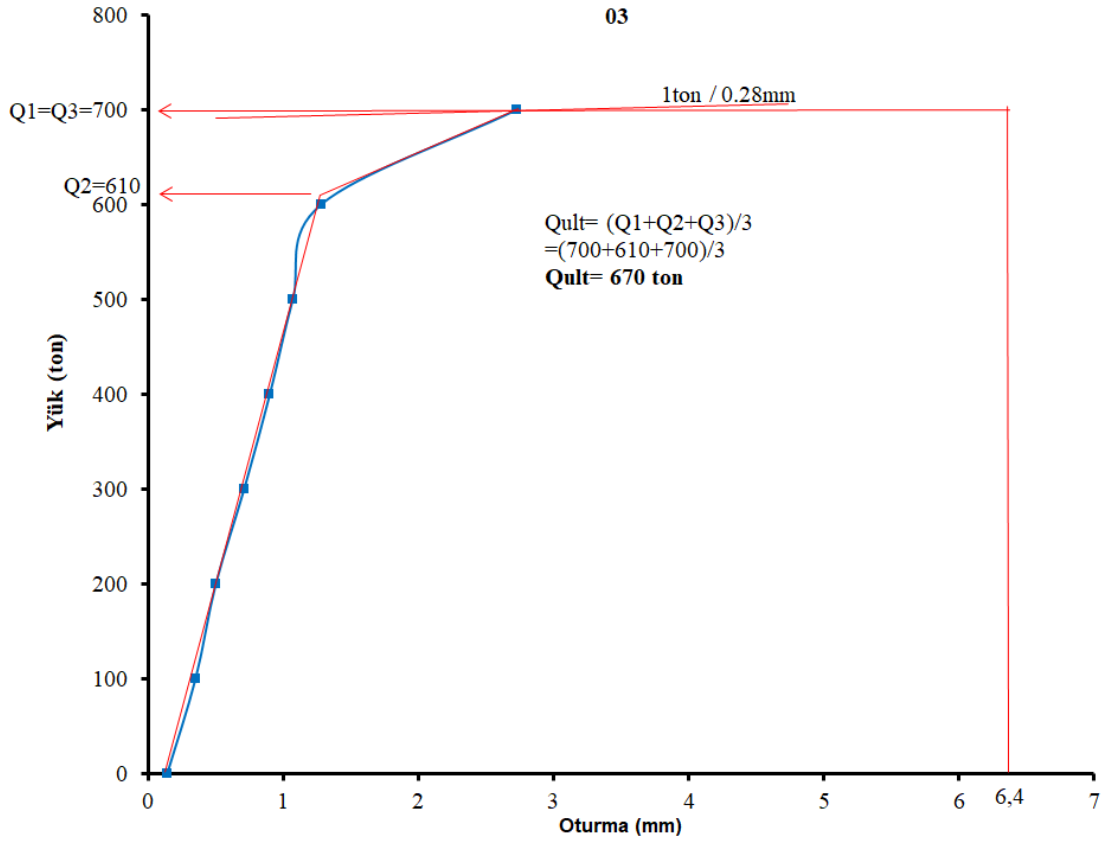
Şekil B.31 : Deney No 3 Butler - Hoy yöntemi.



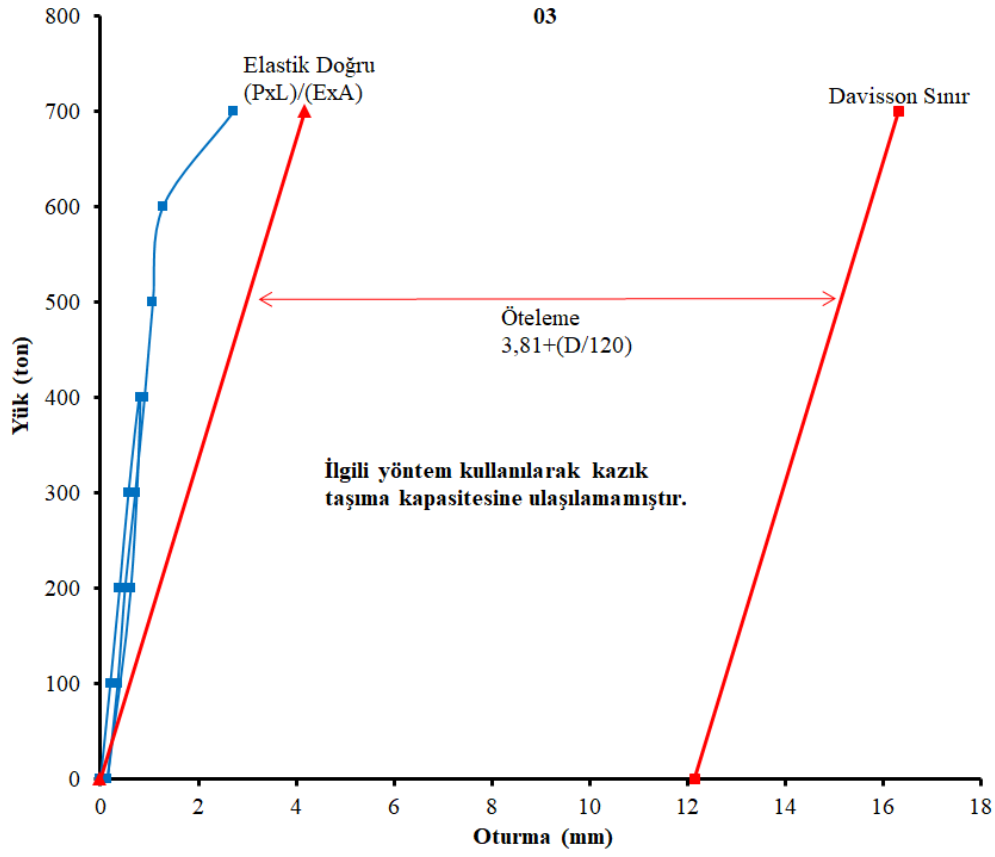
Şekil B.32 : Deney No 3 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



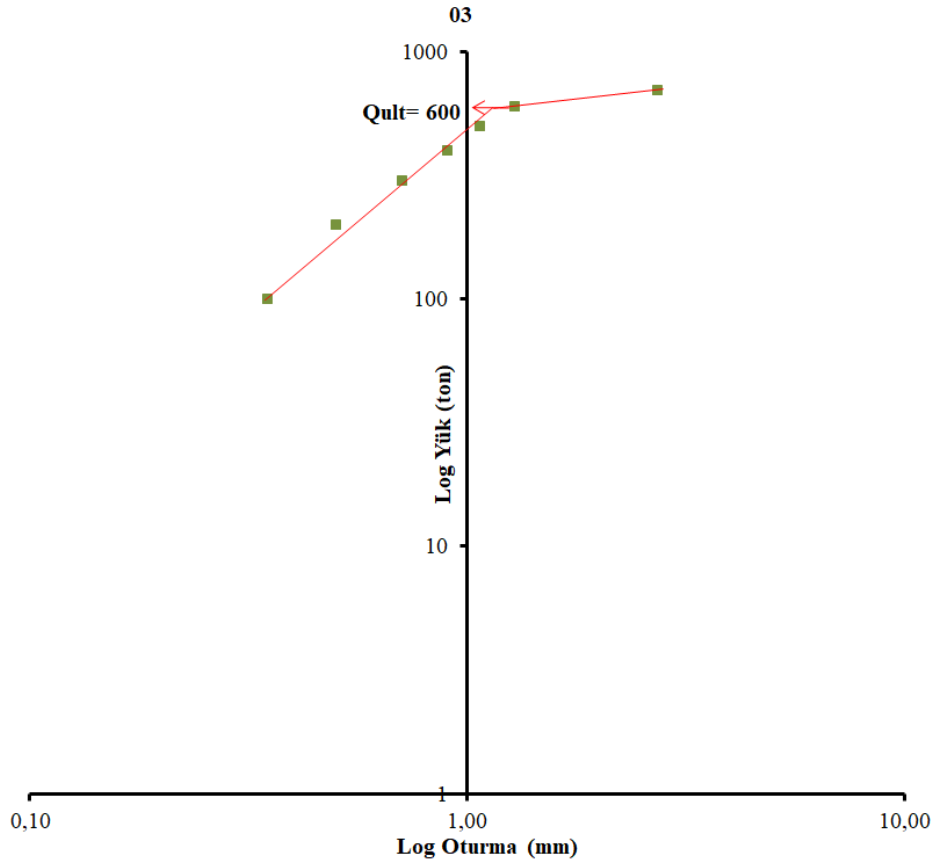
Şekil B.33 : Deney No 3 Chin - Kondner yöntemi.



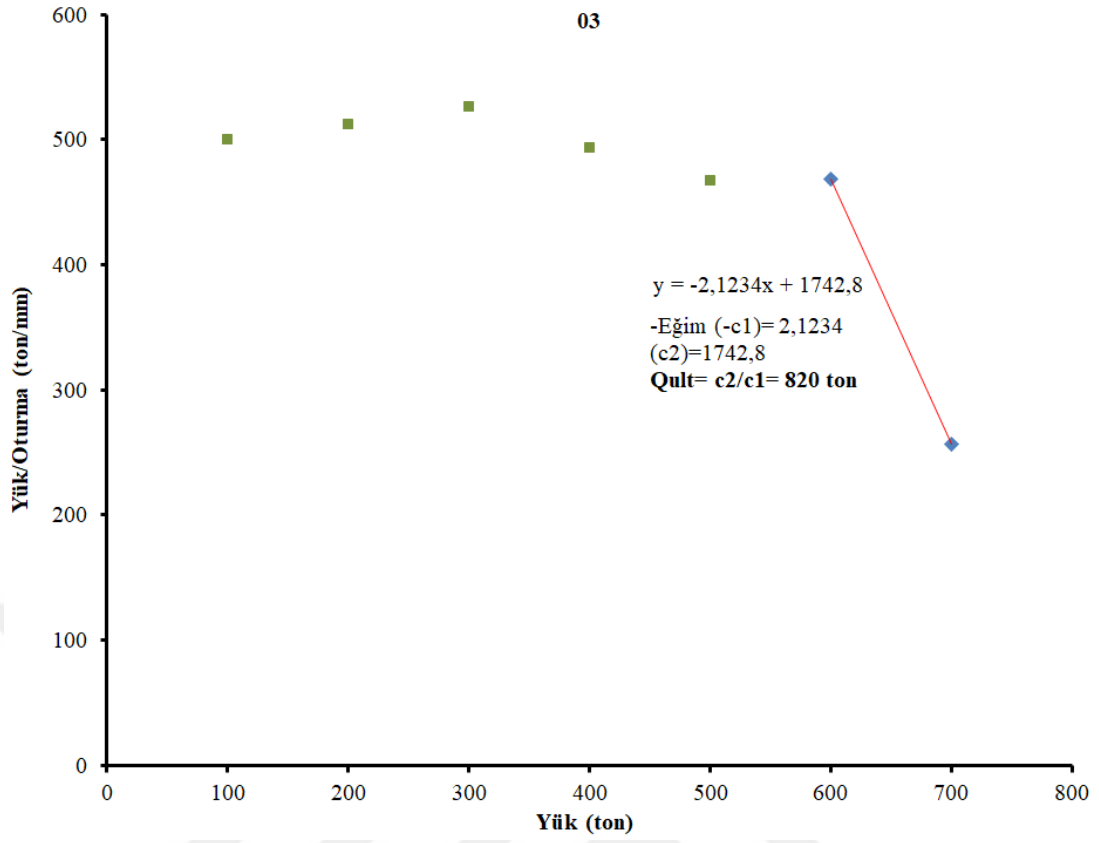
Şekil B.34 : Deney No 3 Corps of Engineers yöntemi.



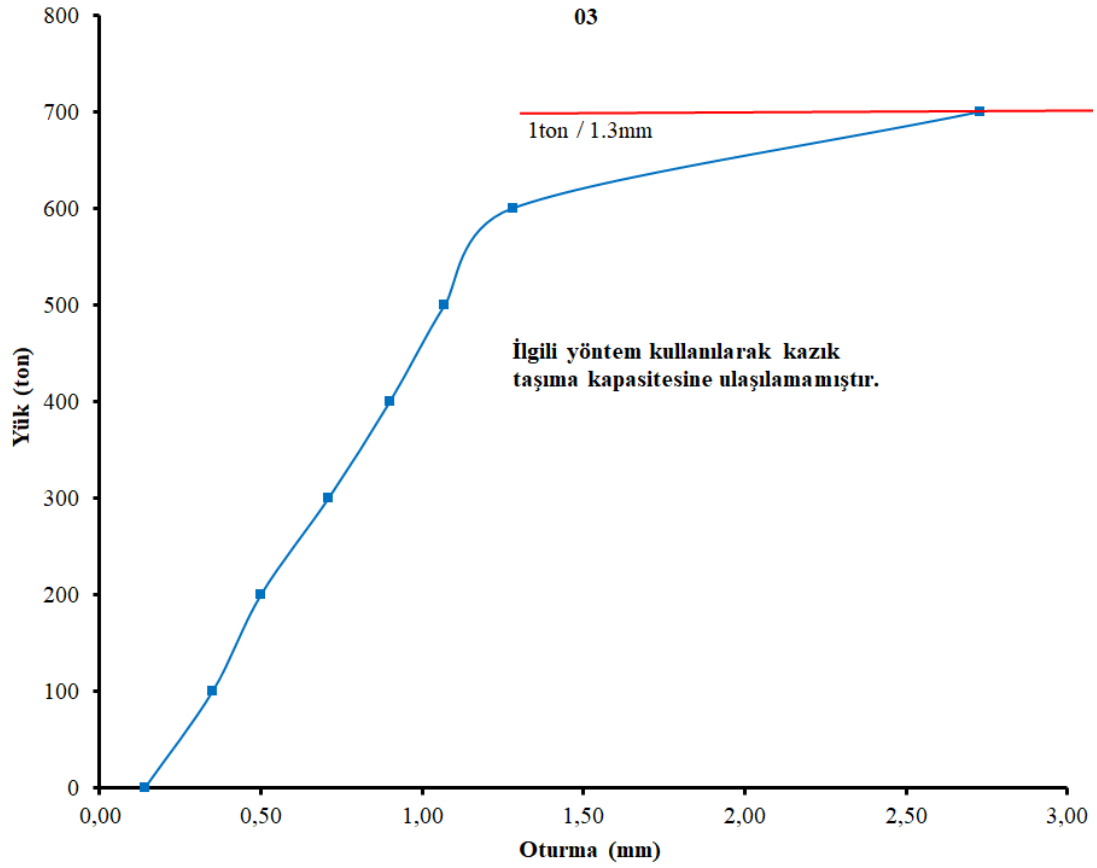
Şekil B.35 : Deney No 3 Davisson yöntemi.



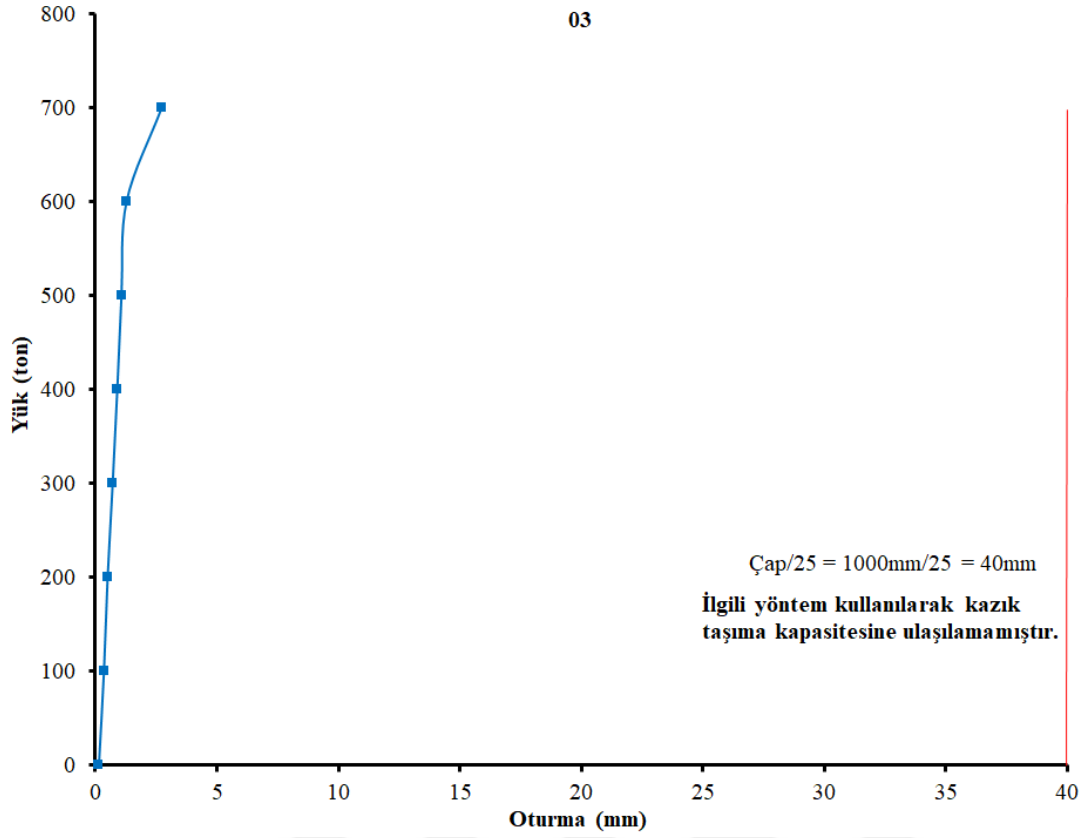
Şekil B.36 : Deney No 3 De Beer yöntemi.



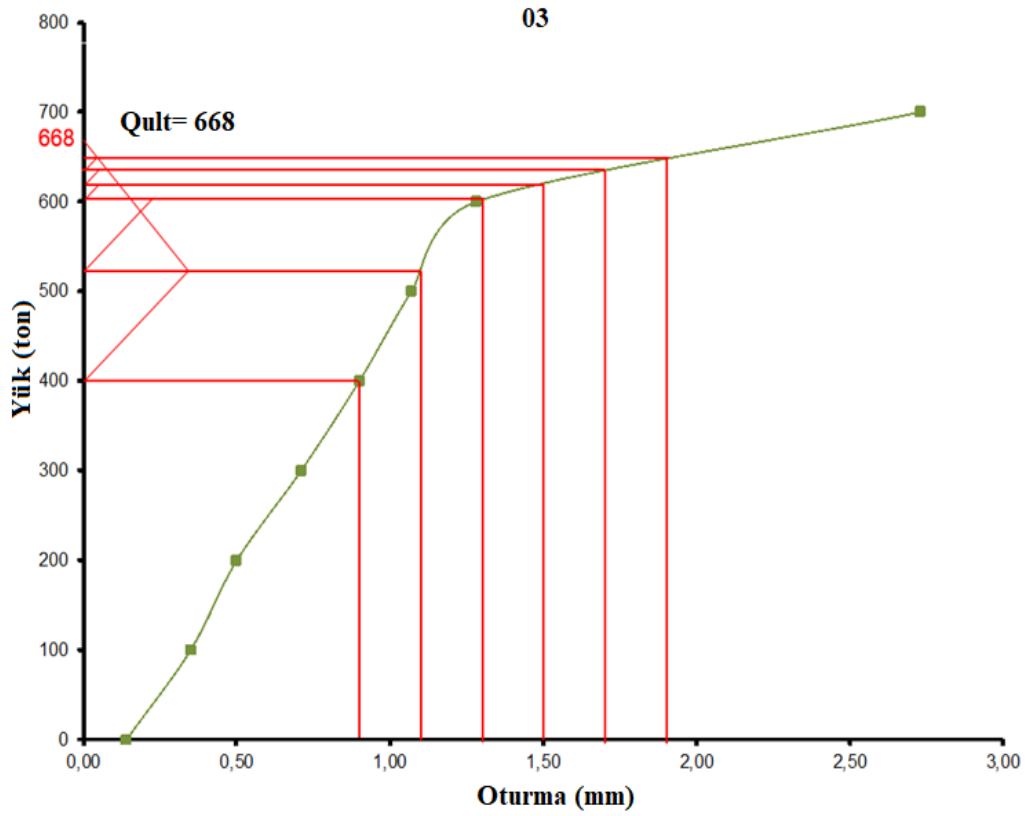
Şekil B.37 : Deney No 3 Decourt yöntemi.



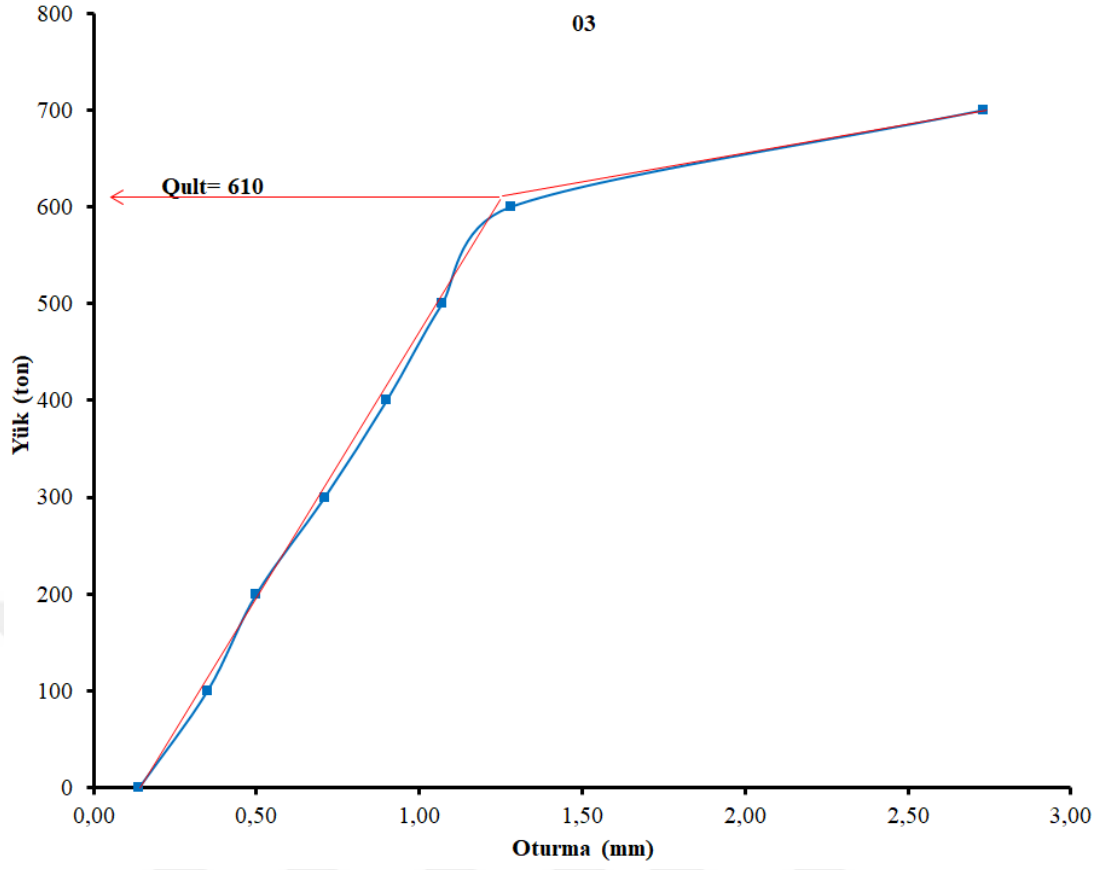
Şekil B.38 : Deney No 3 Fuller - Hoy yöntemi.



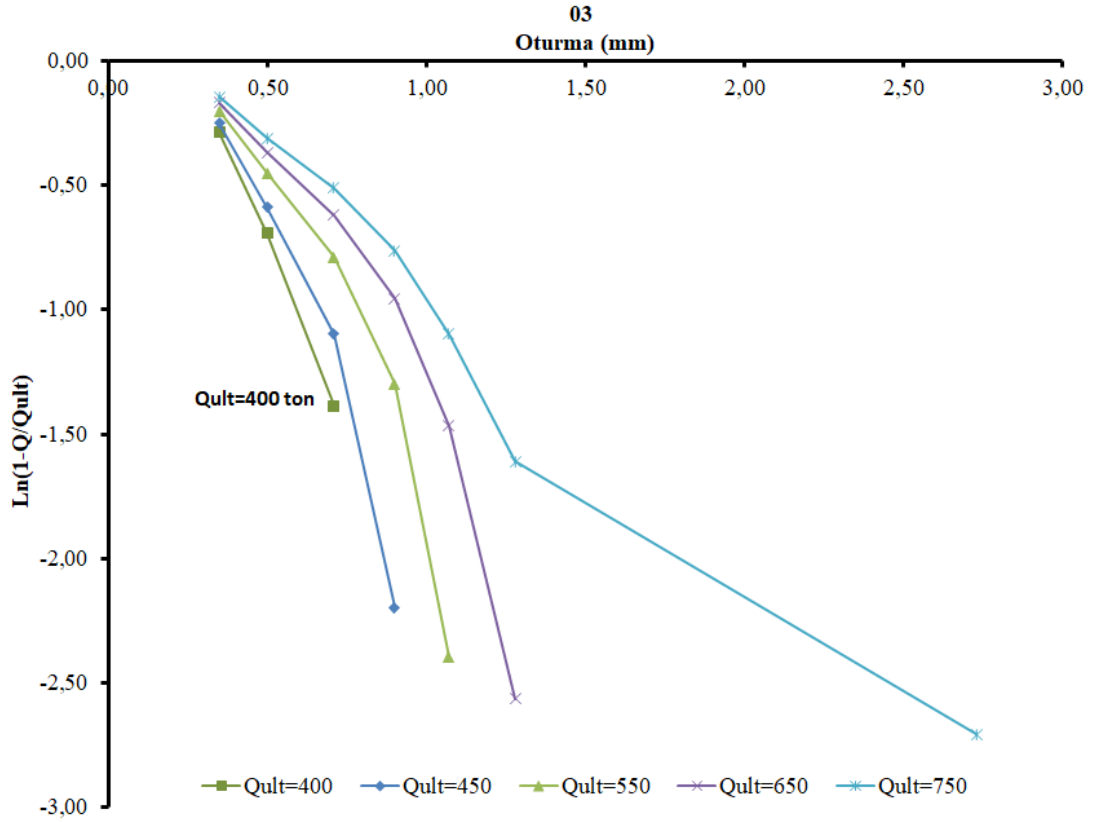
Şekil B.39 : Deney No 3 Hirany - Kulhawy yöntemi.



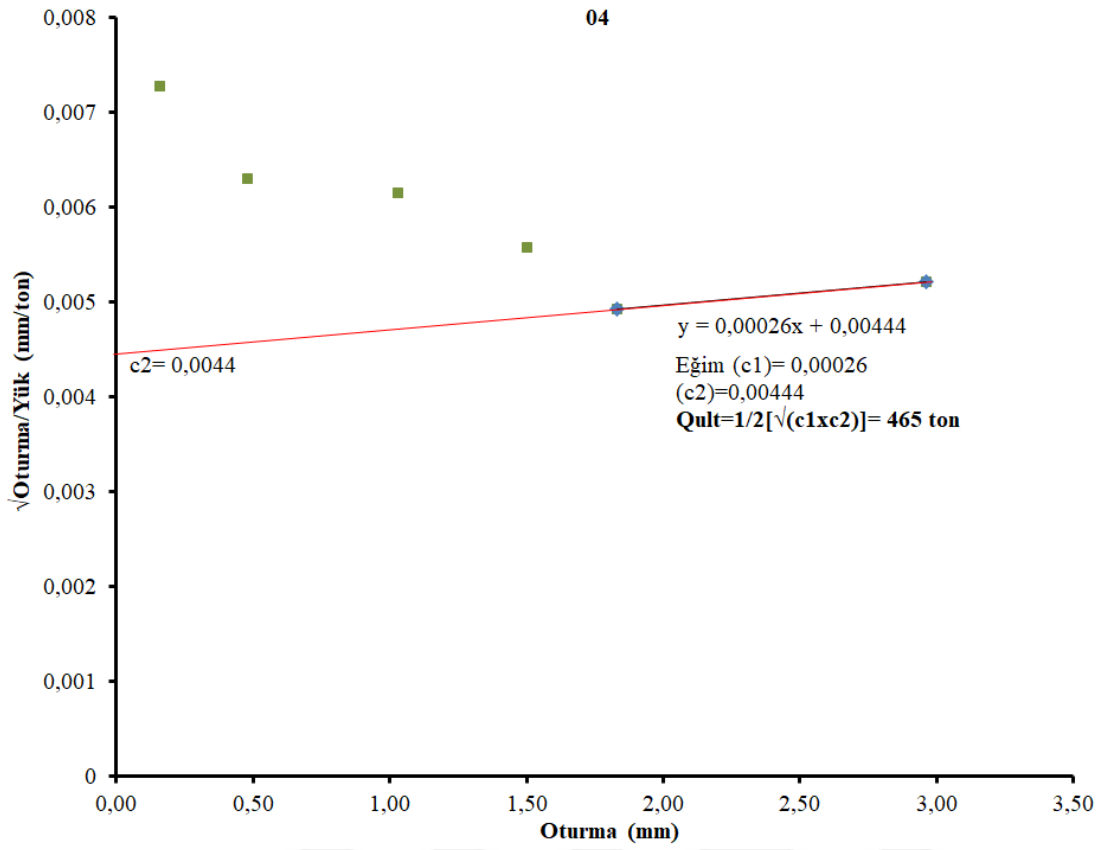
Şekil B.40 : Deney No 3 Mazurkiewicz yöntemi.



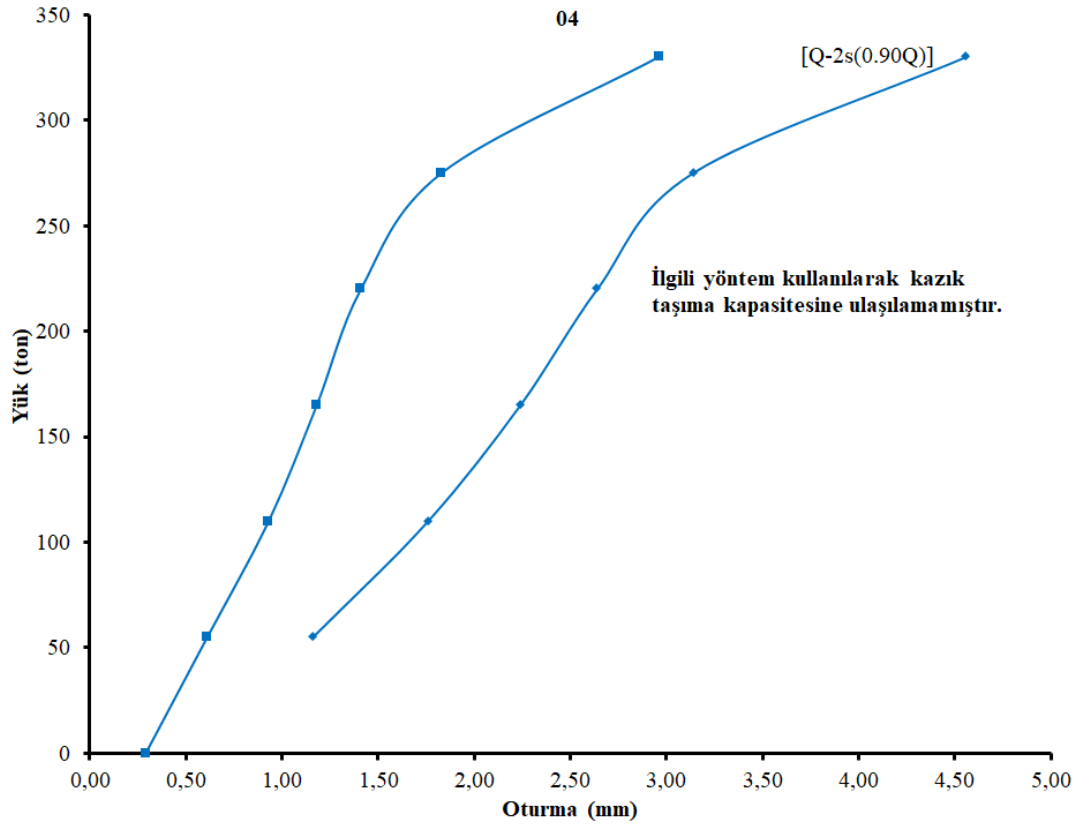
Şekil B.41 : Deney No 3 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



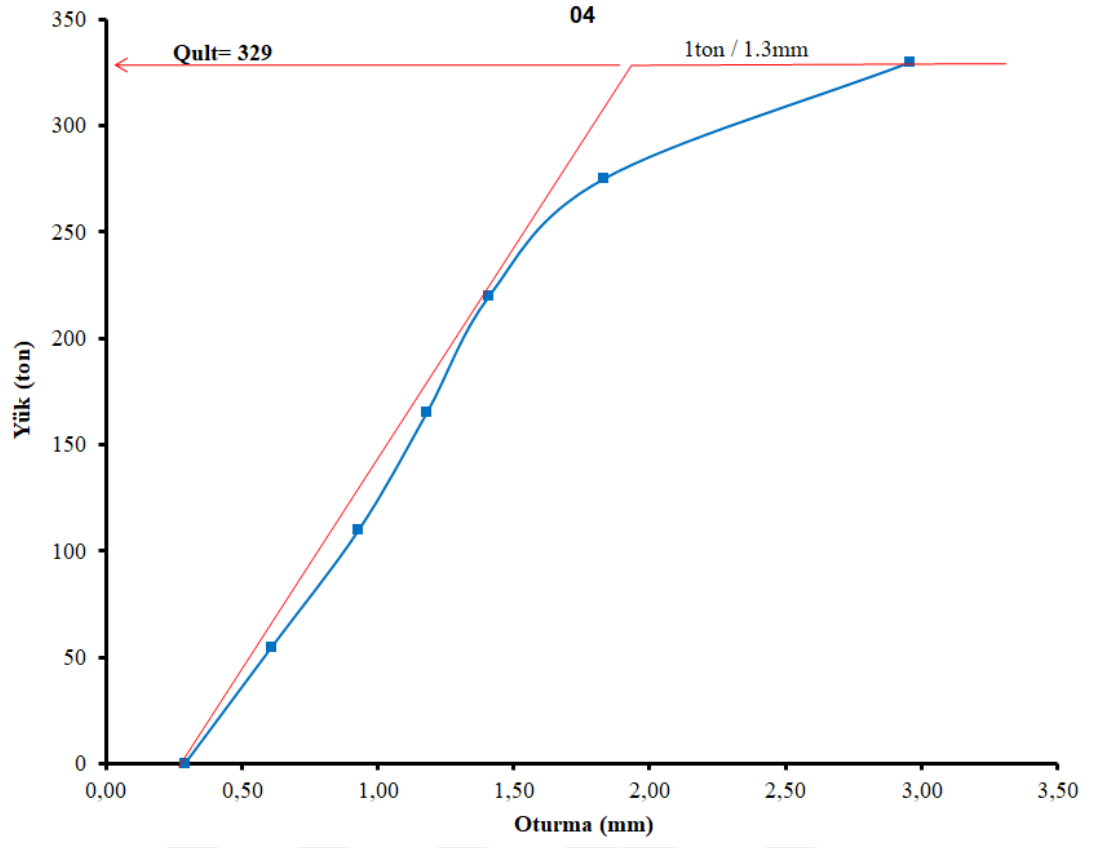
Şekil B.42 : Deney No 3 Van Der Veen yöntemi.



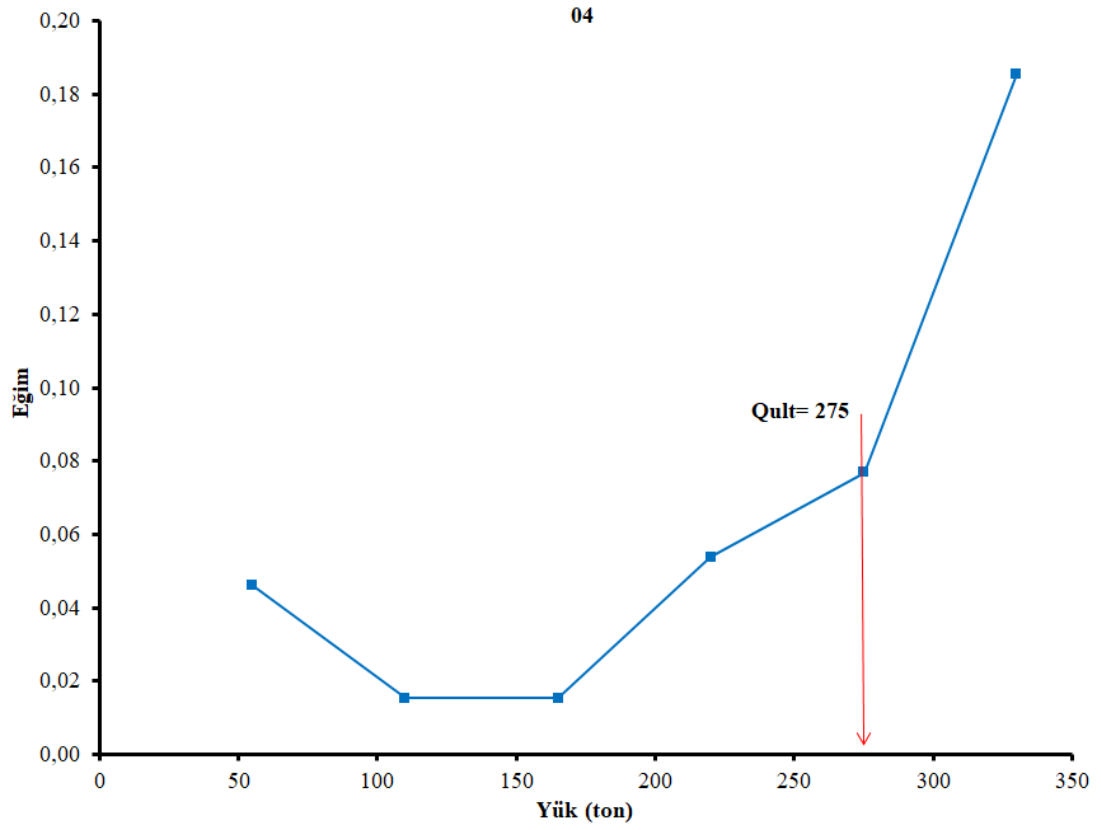
Şekil B.43 : Deney No 4 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



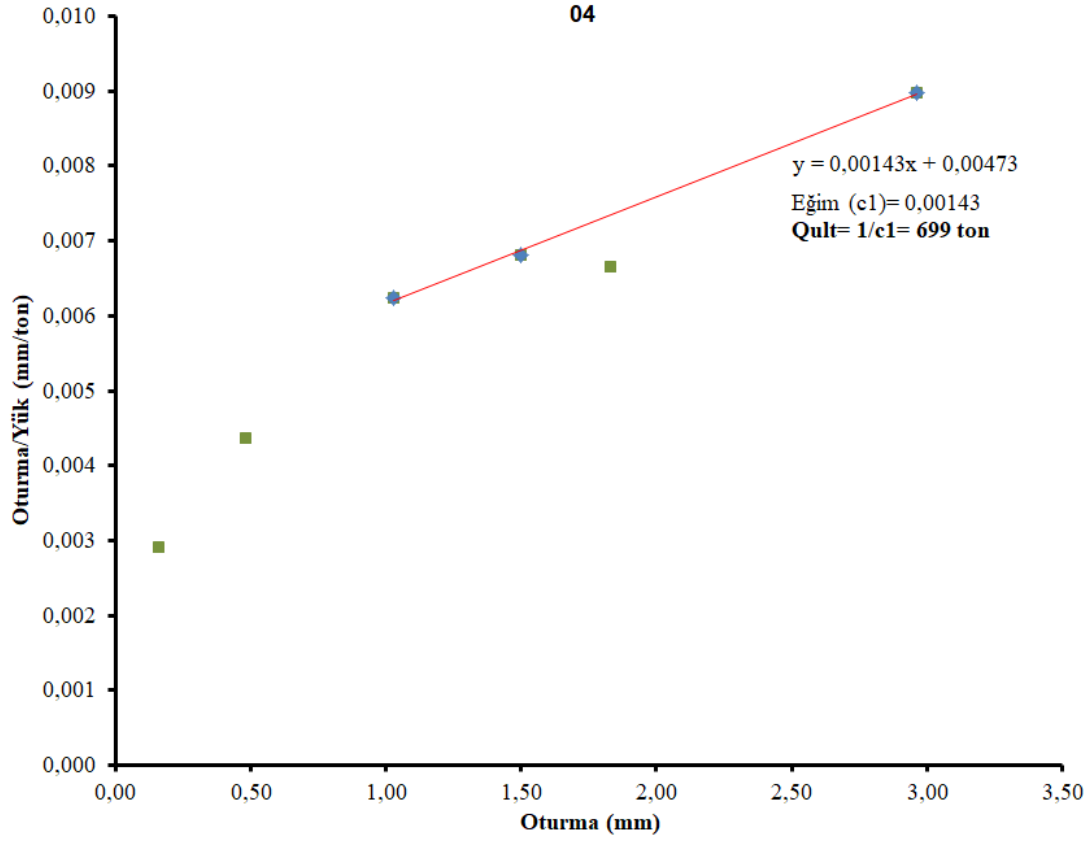
Şekil B.44 : Deney No 4 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



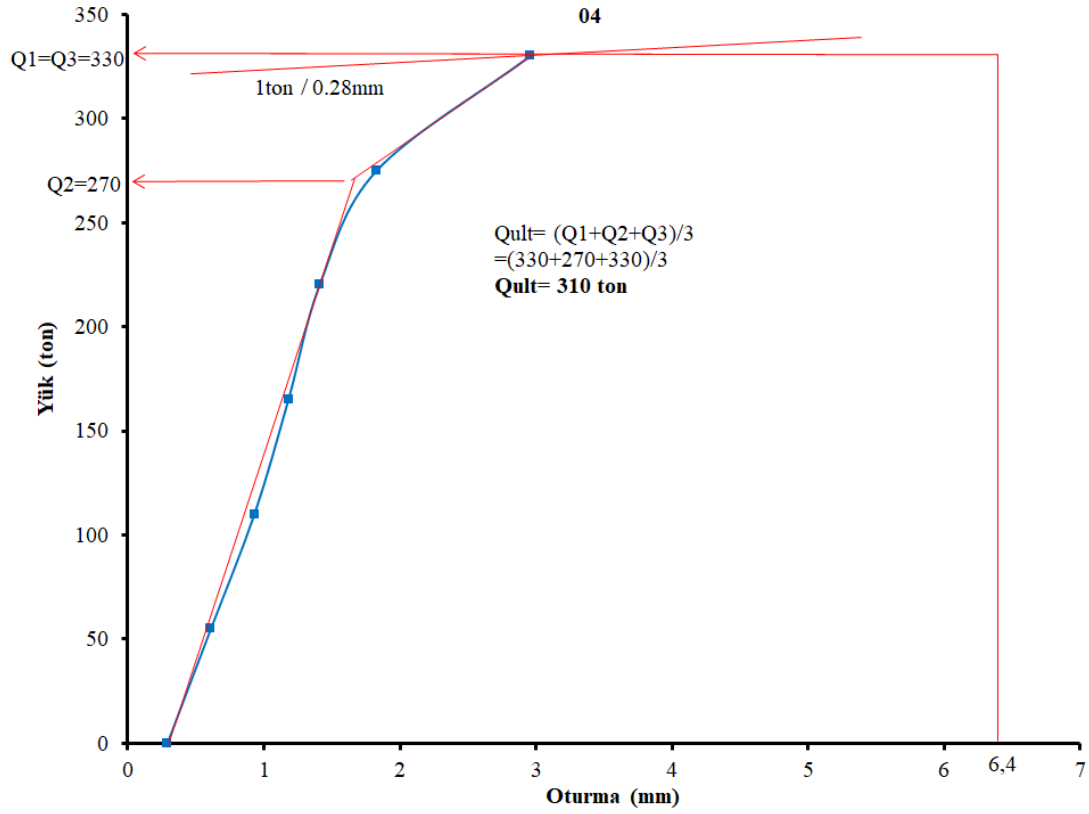
Şekil B.45 : Deney No 4 Butler - Hoy yöntemi.



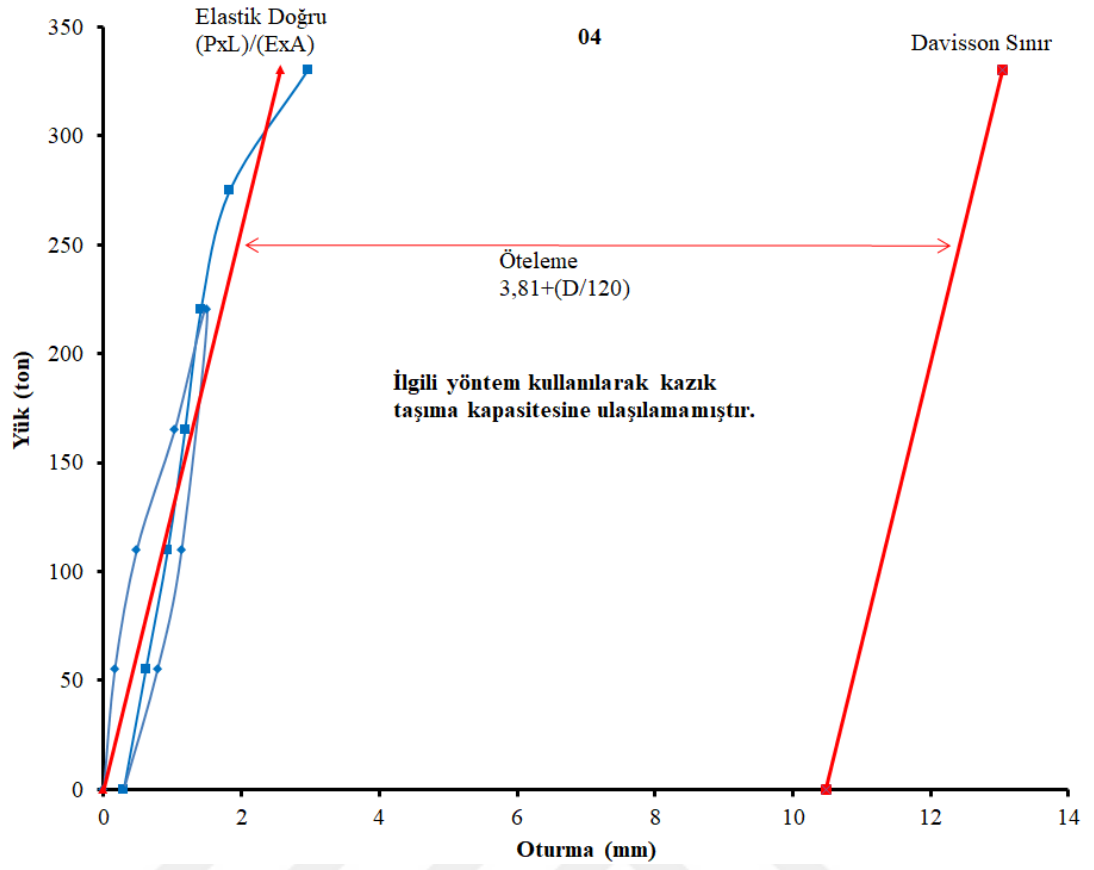
Şekil B.46 : Deney No 4 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



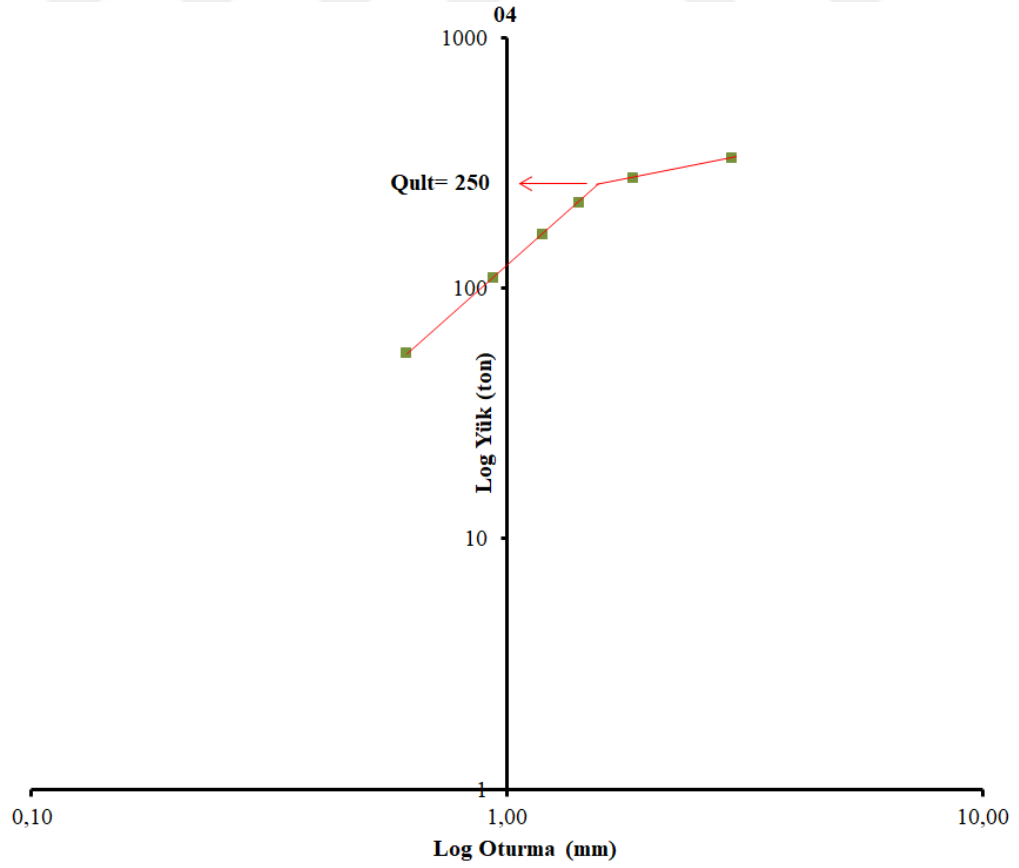
Şekil B.47 : Deney No 4 Chin - Kondner yöntemi.



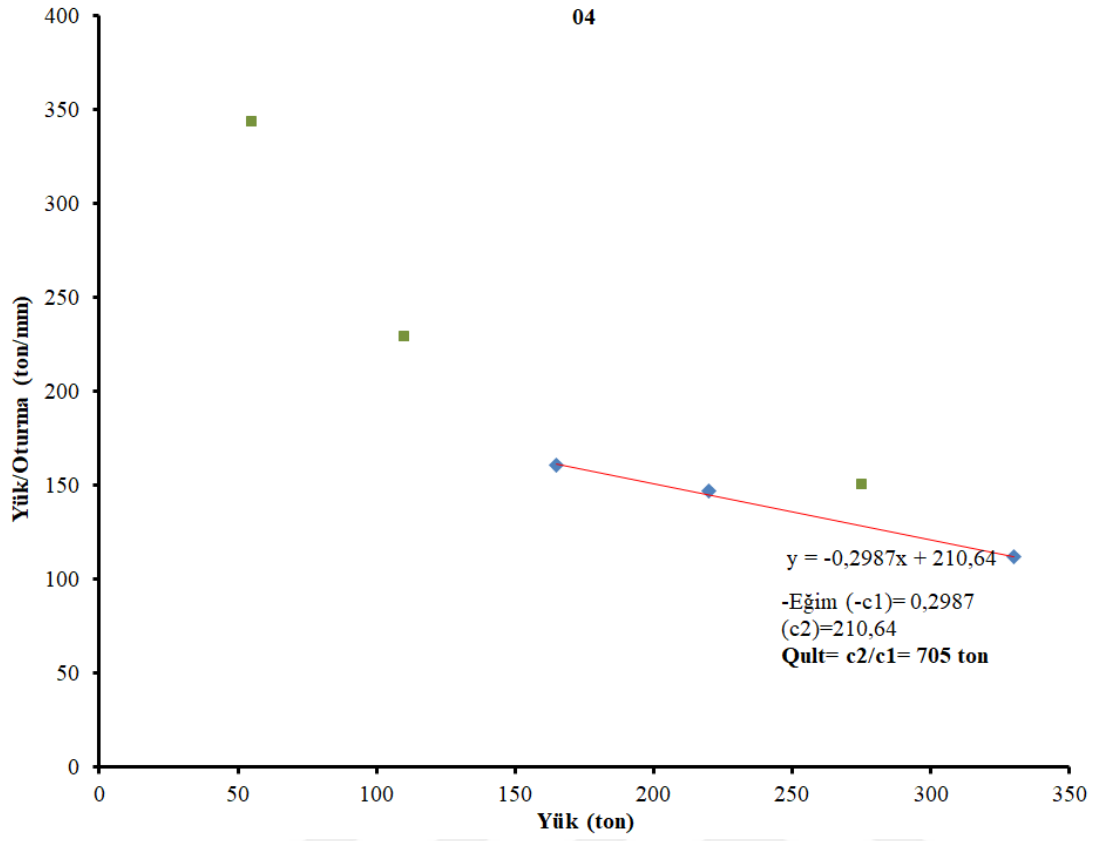
Şekil B.48 : Deney No 4 Corps of Engineers yöntemi.



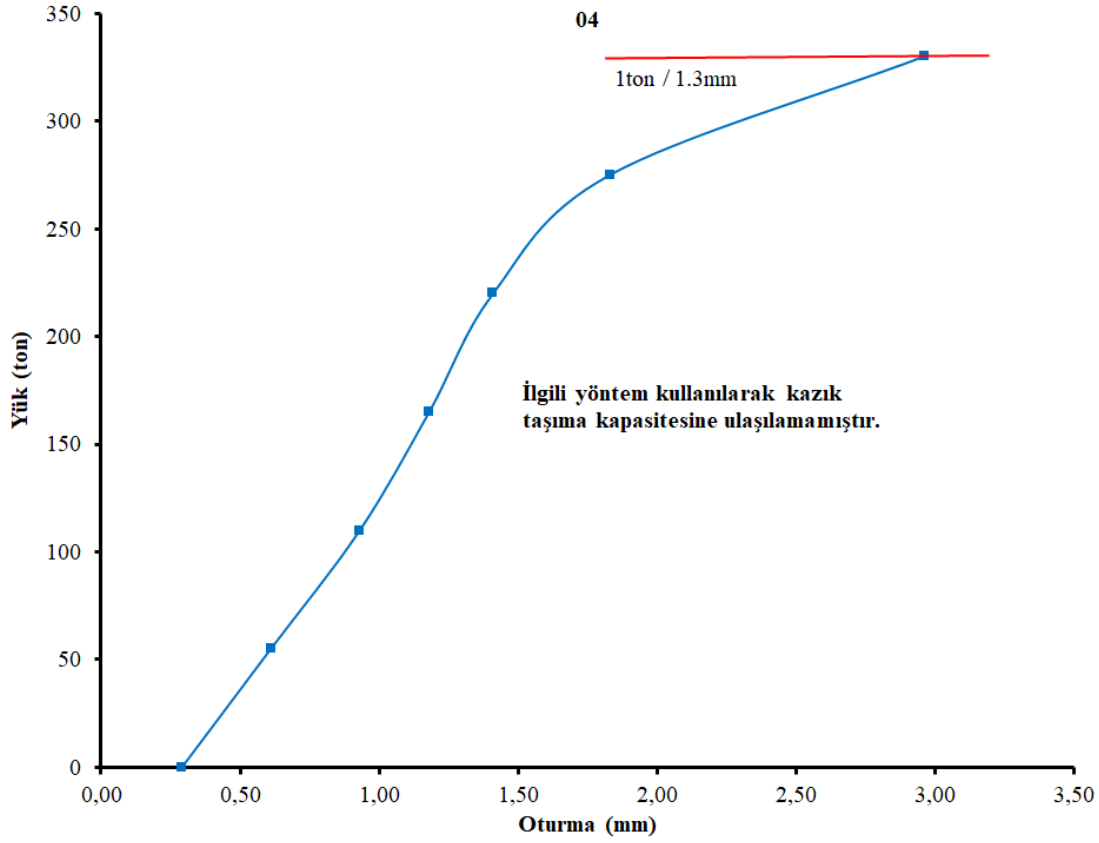
Şekil B.49 : Deney No 4 Davisson yöntemi.



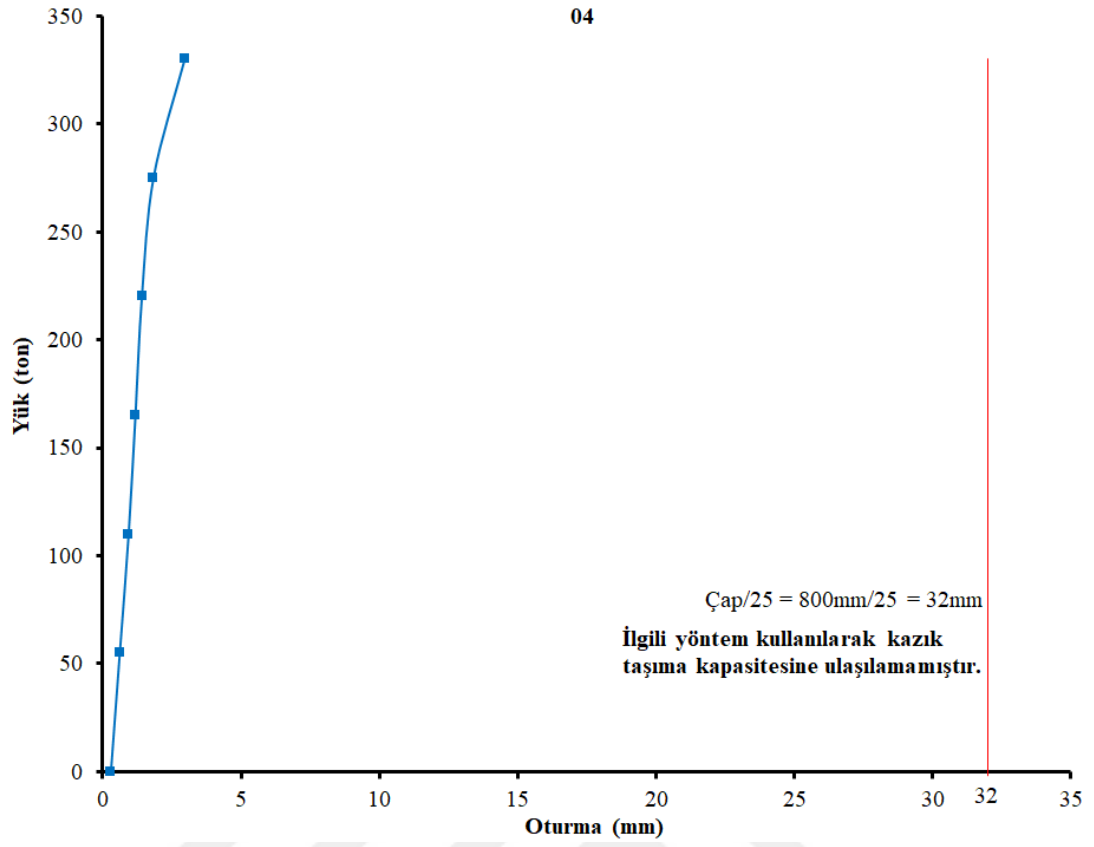
Şekil B.50 : Deney No 4 De Beer yöntemi.



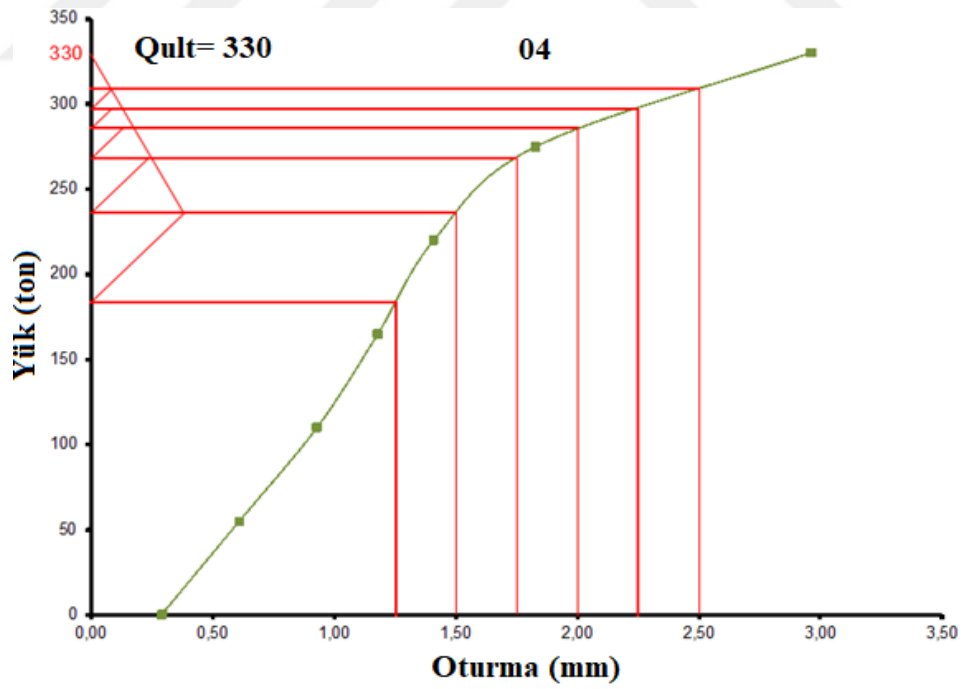
Şekil B.51 : Deney No 4 Decourt yöntemi.



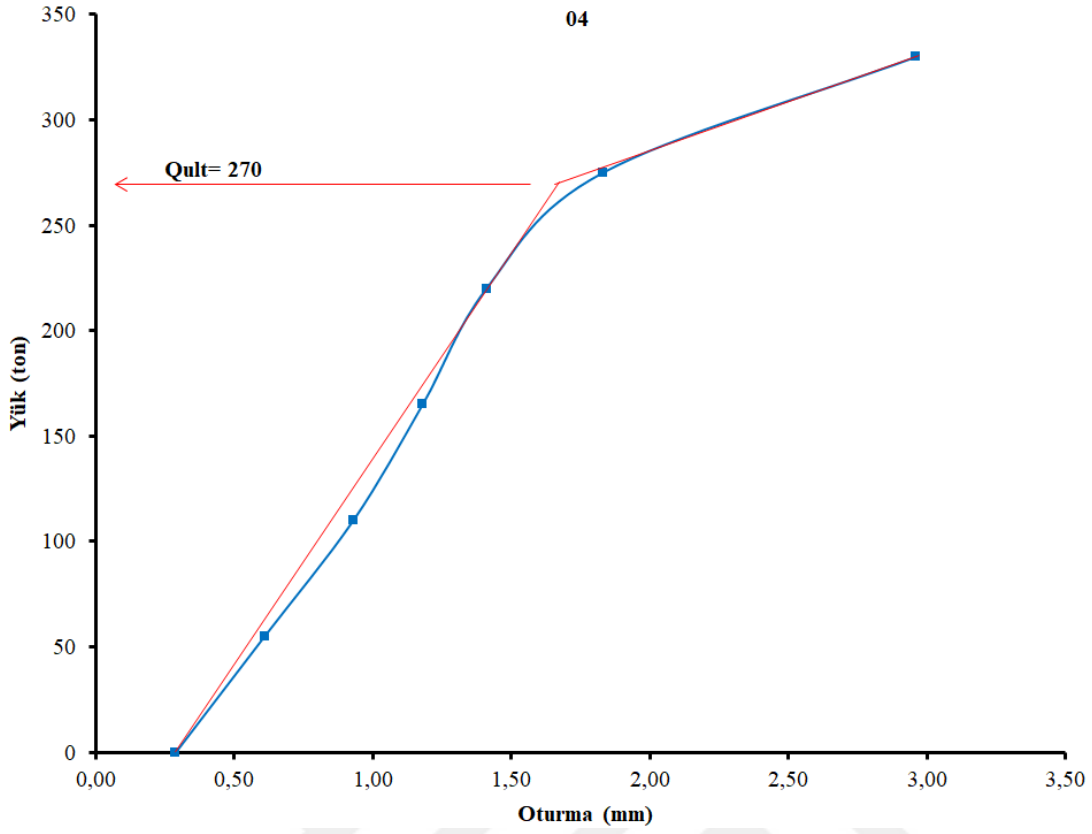
Şekil B.52 : Deney No 4 Fuller - Hoy yöntemi.



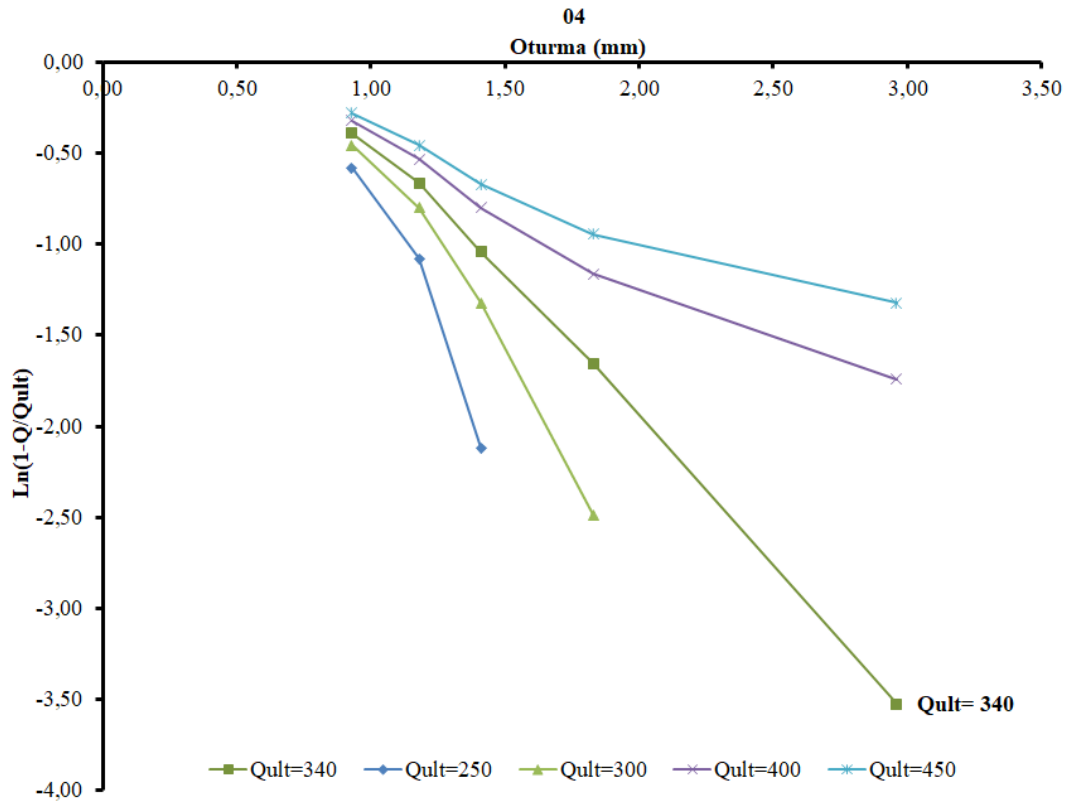
Şekil B.53 : Deney No 4 Hirany - Kulhawy yöntemi.



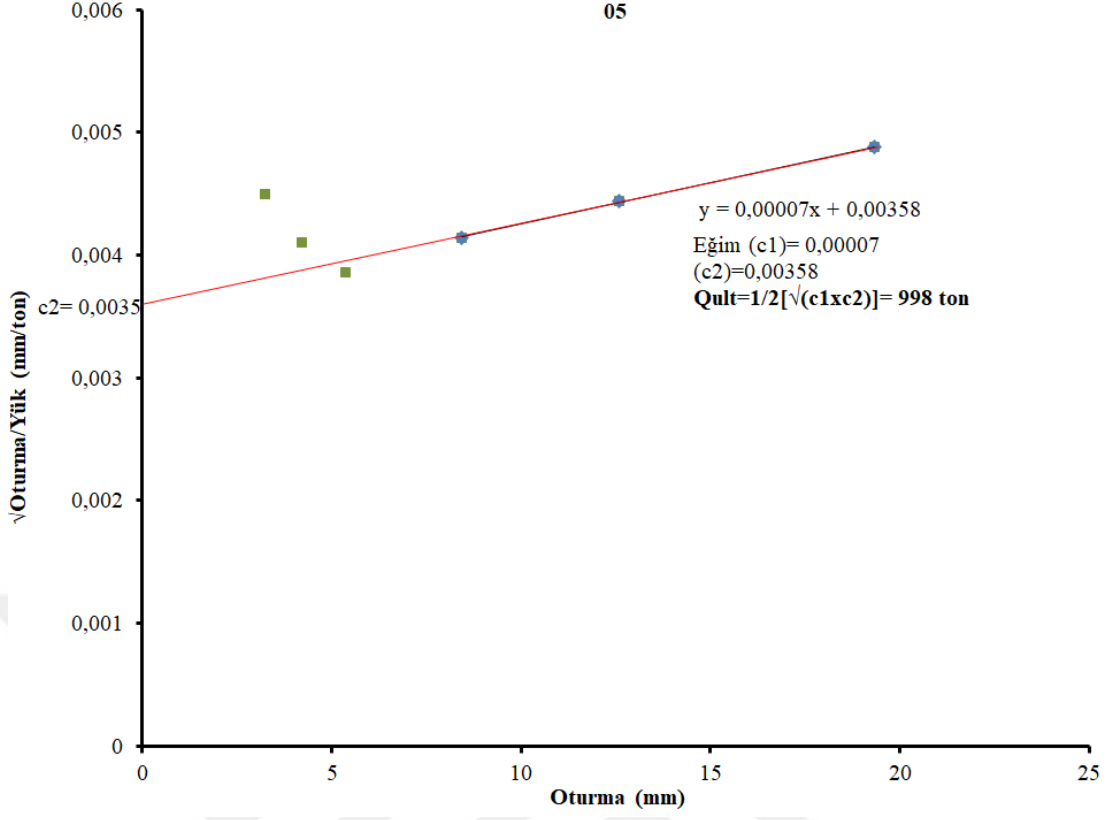
Şekil B.54 : Deney No 4 Mazurkiewicz yöntemi.



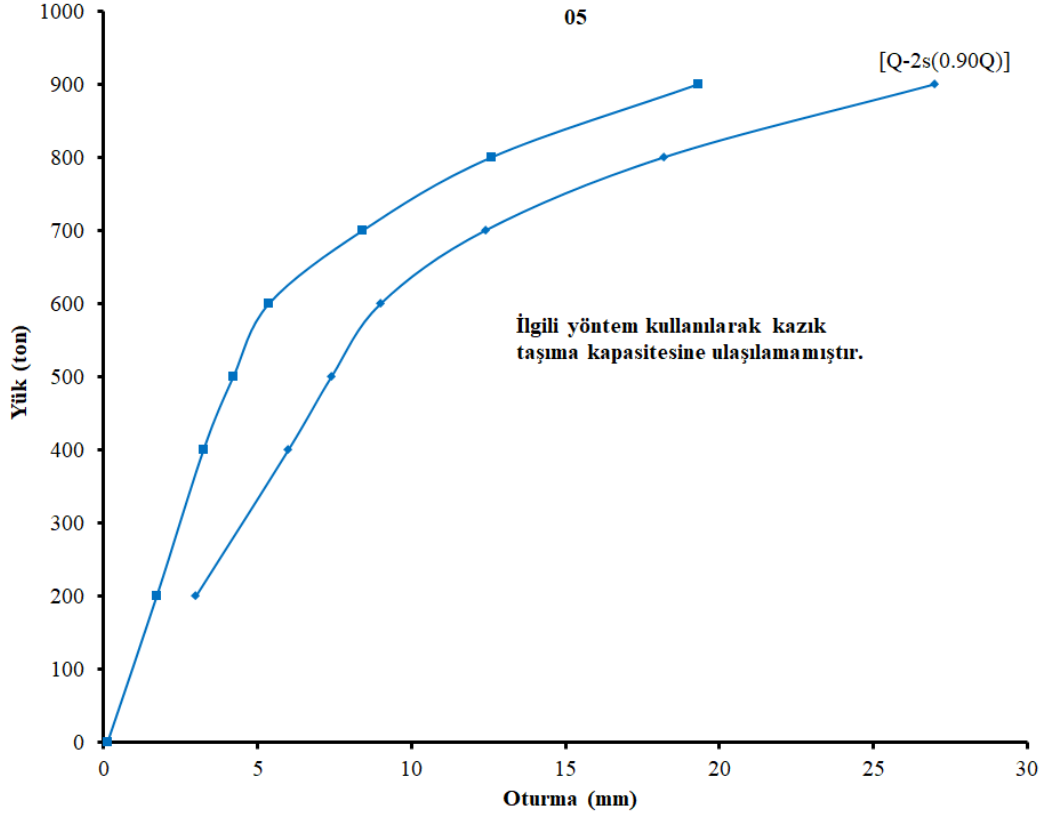
Şekil B.55 : Deney No 4 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



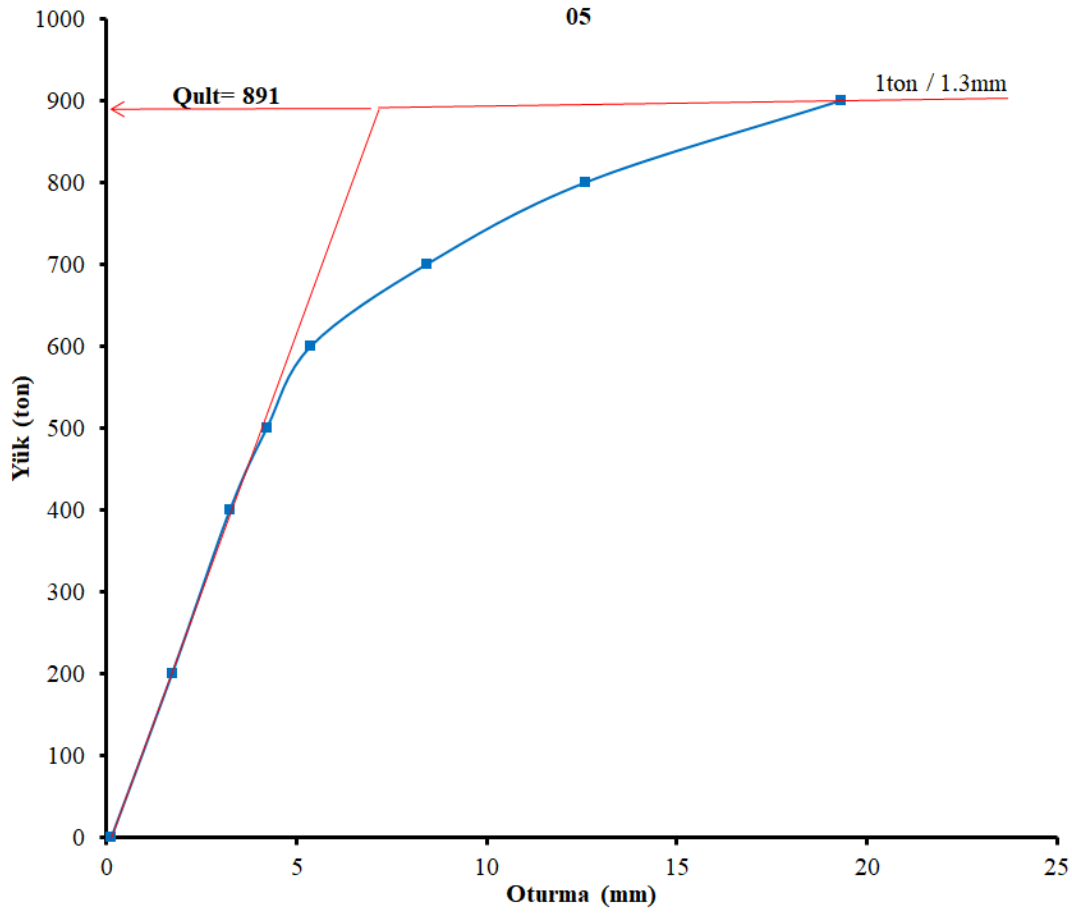
Şekil B.56 : Deney No 4 Van Der Veen yöntemi.



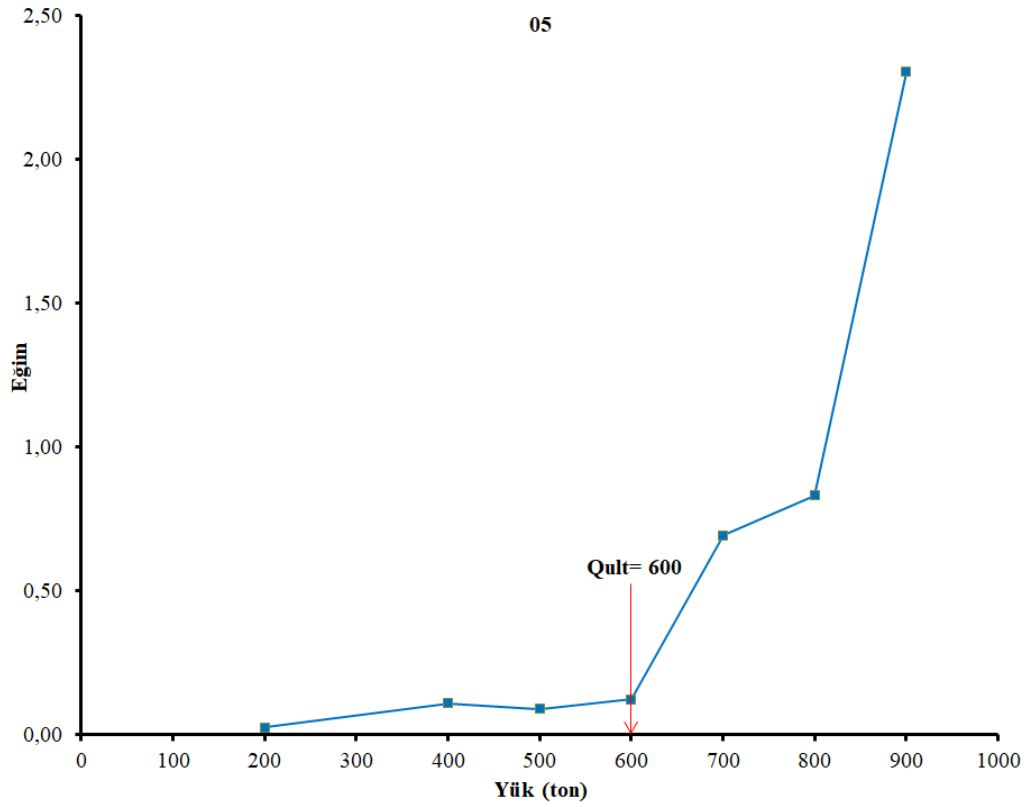
Şekil B.57 : Deney No 5 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



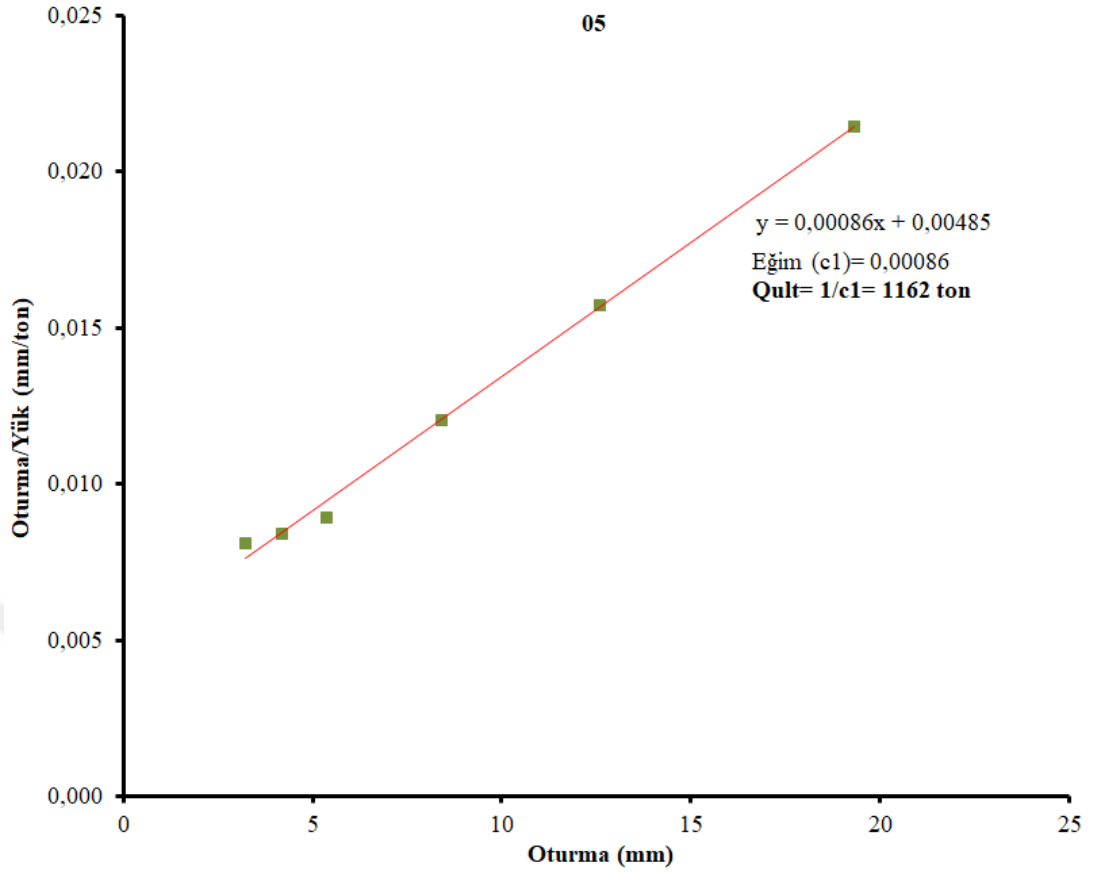
Şekil B.58 : Deney No 5 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



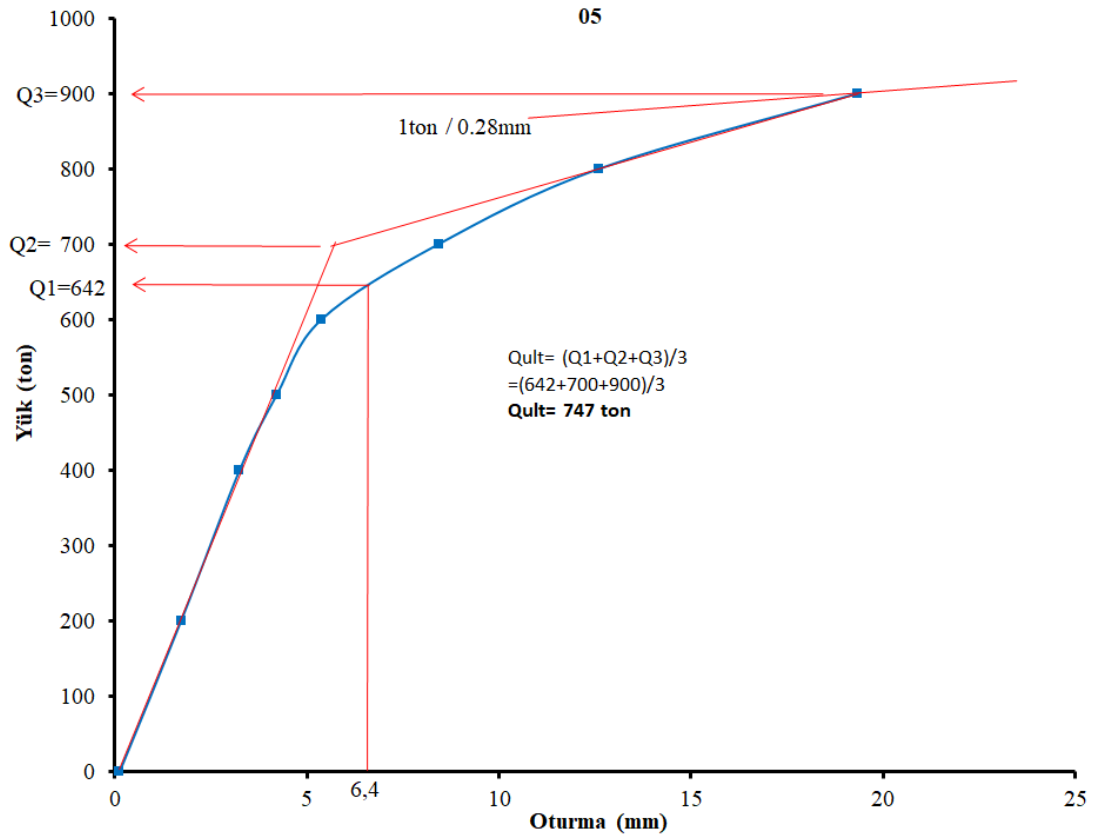
Şekil B.59 : Deney No 5 Butler - Hoy yöntemi.



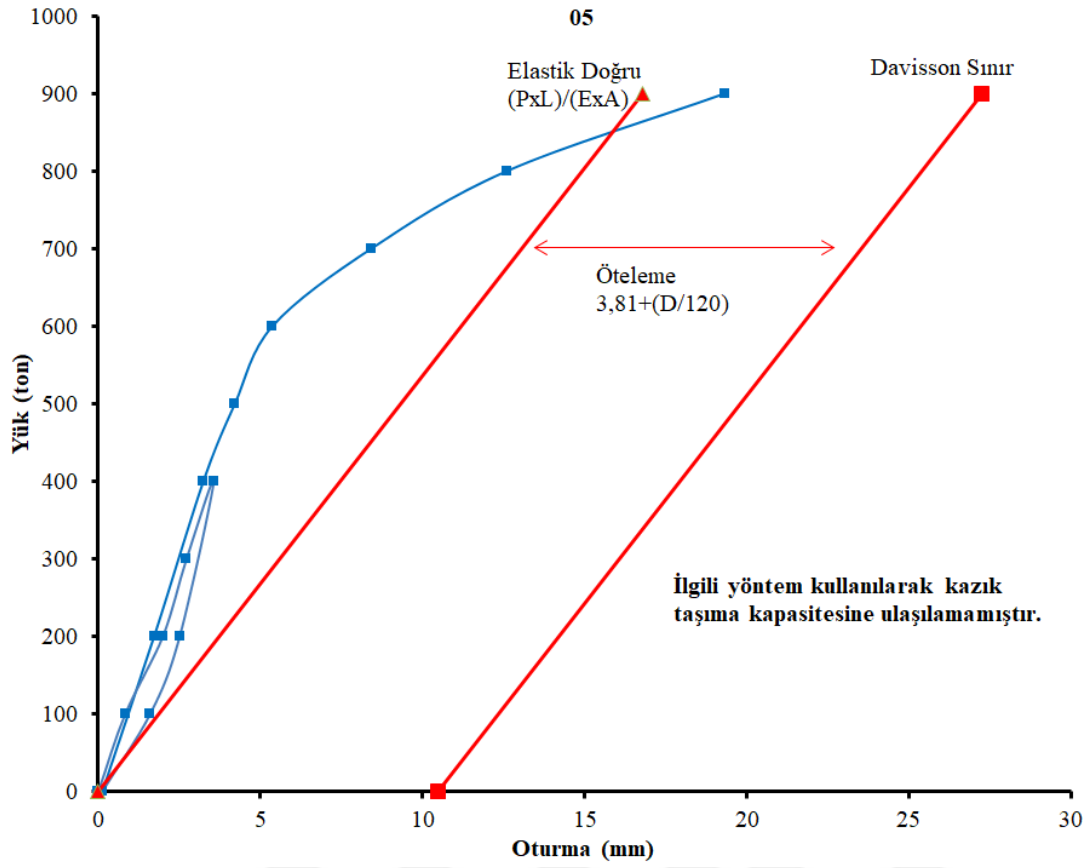
Şekil B.60 : Deney No 5 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



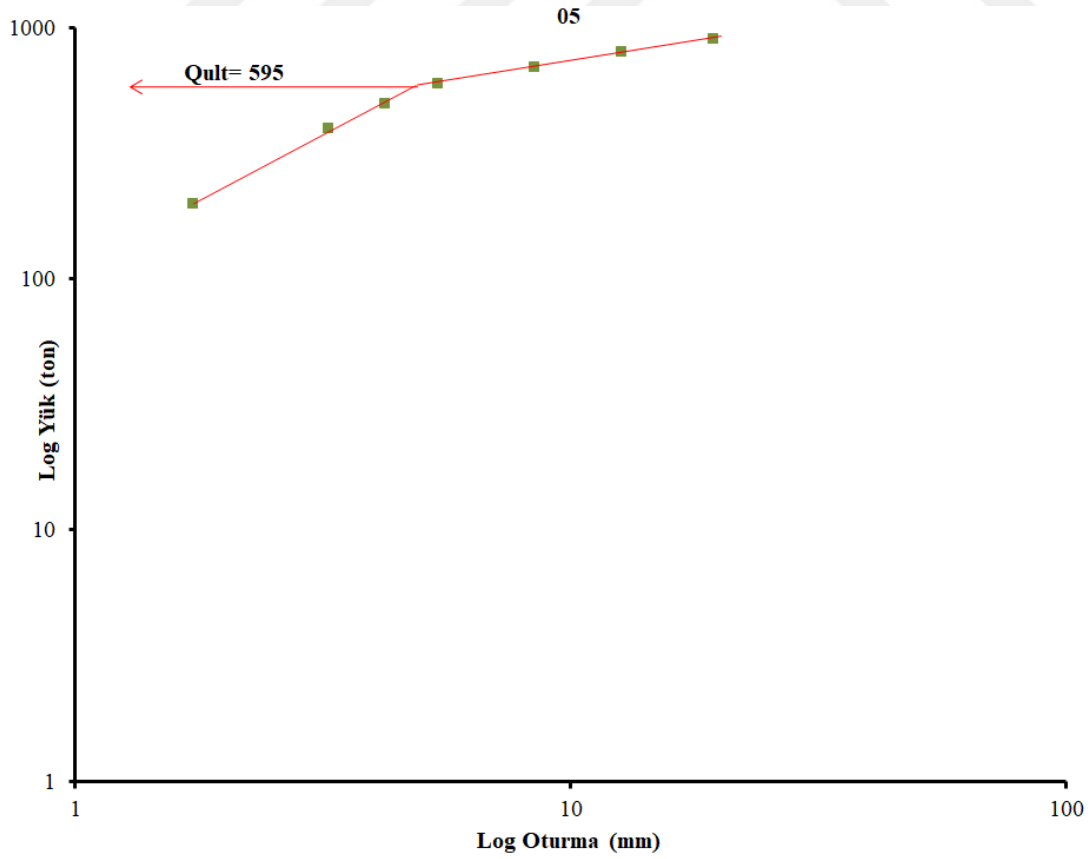
Şekil B.61 : Deney No 5 Chin - Kondner yöntemi.



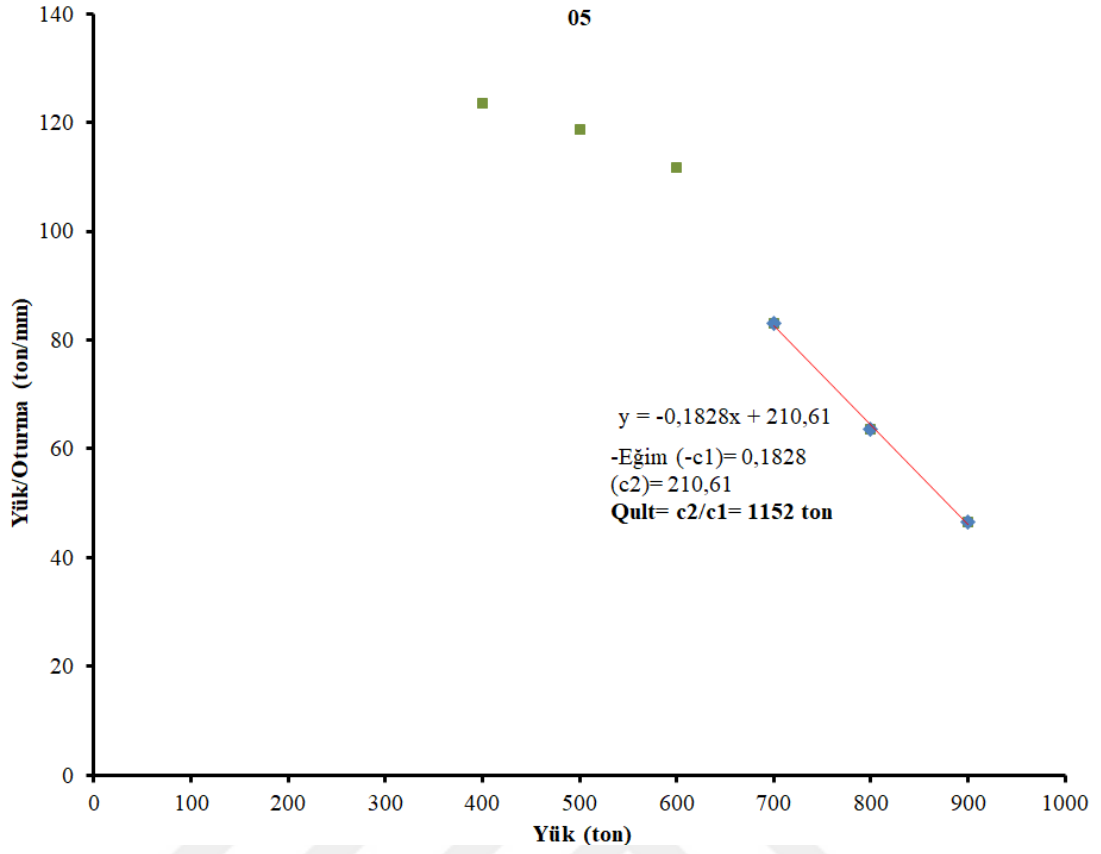
Şekil B.62 : Deney No 5 Corps of Engineers yöntemi.



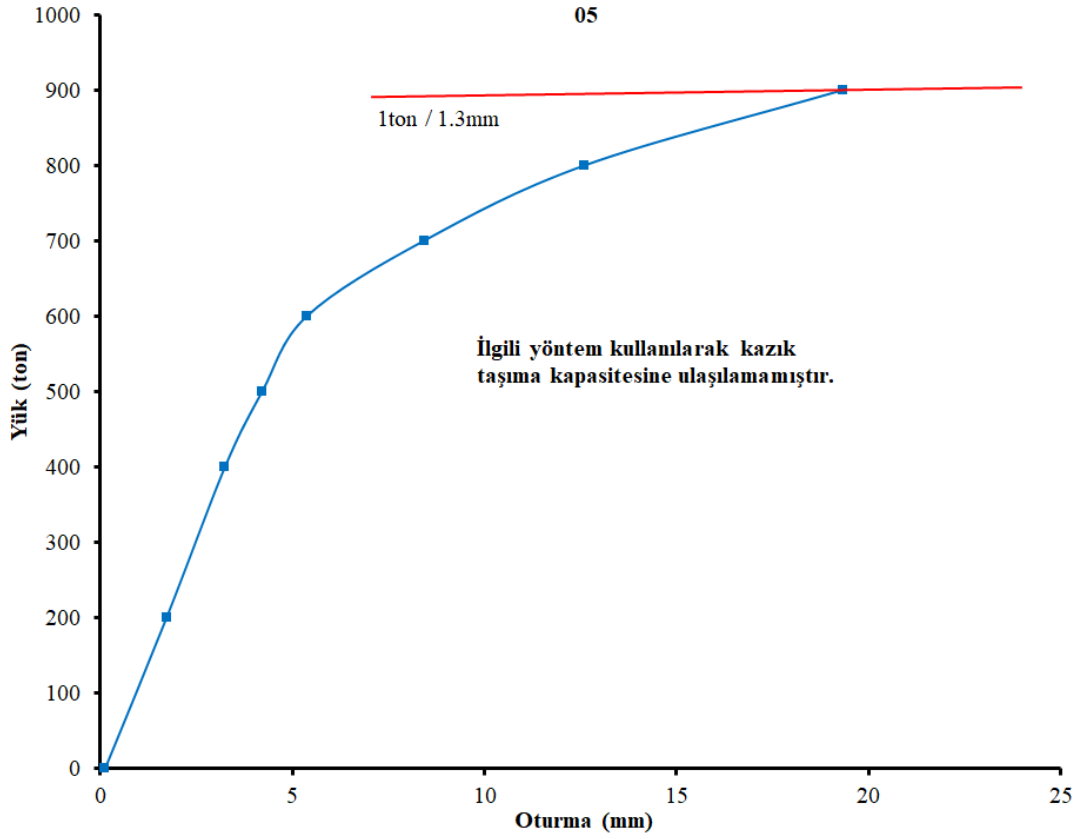
Şekil B.63 : Deney No 5 Davisson yöntemi.



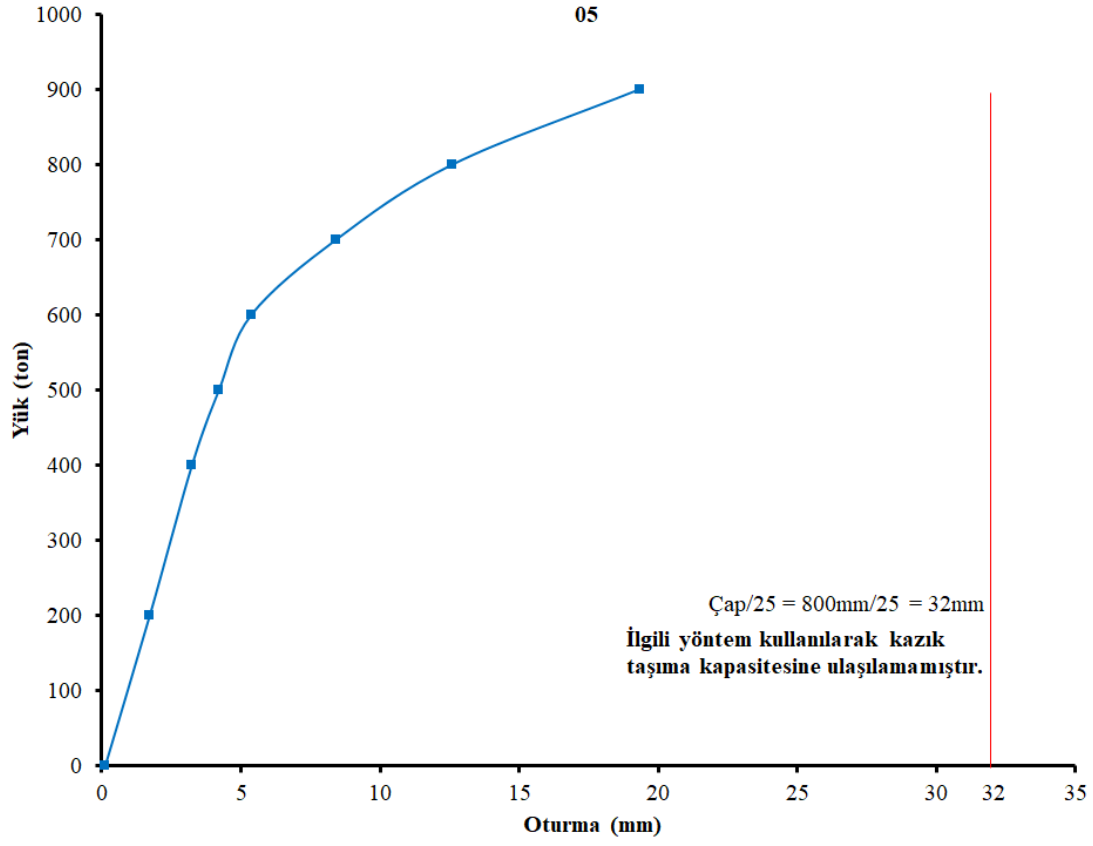
Şekil B.64 : Deney No 5 De Beer yöntemi.



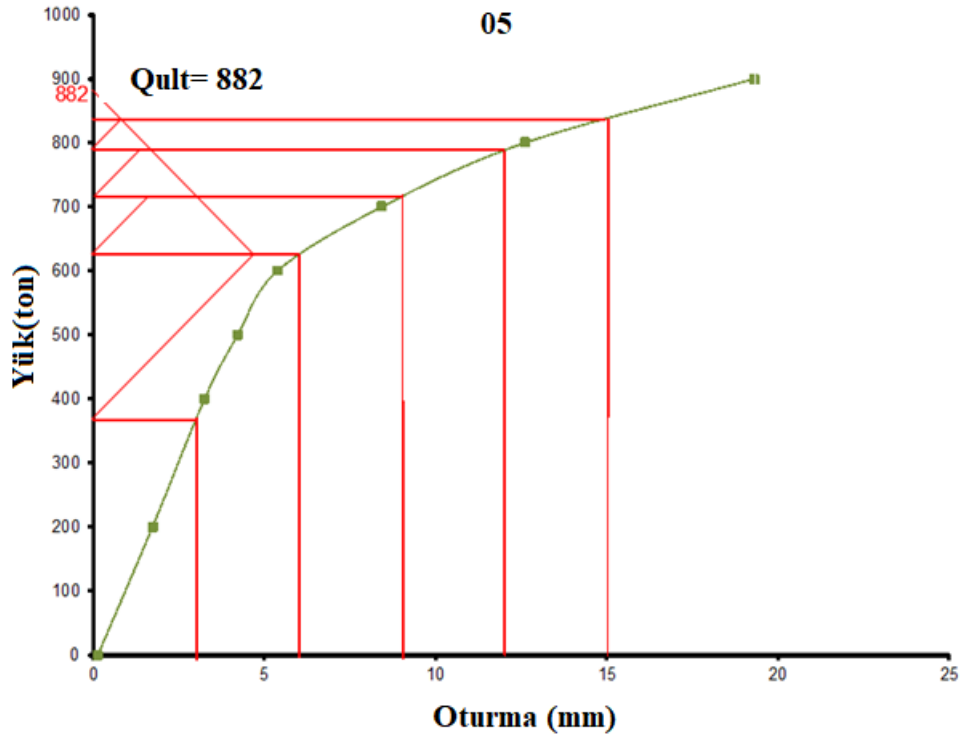
Şekil B.65 : Deney No 5 Decourt yöntemi.



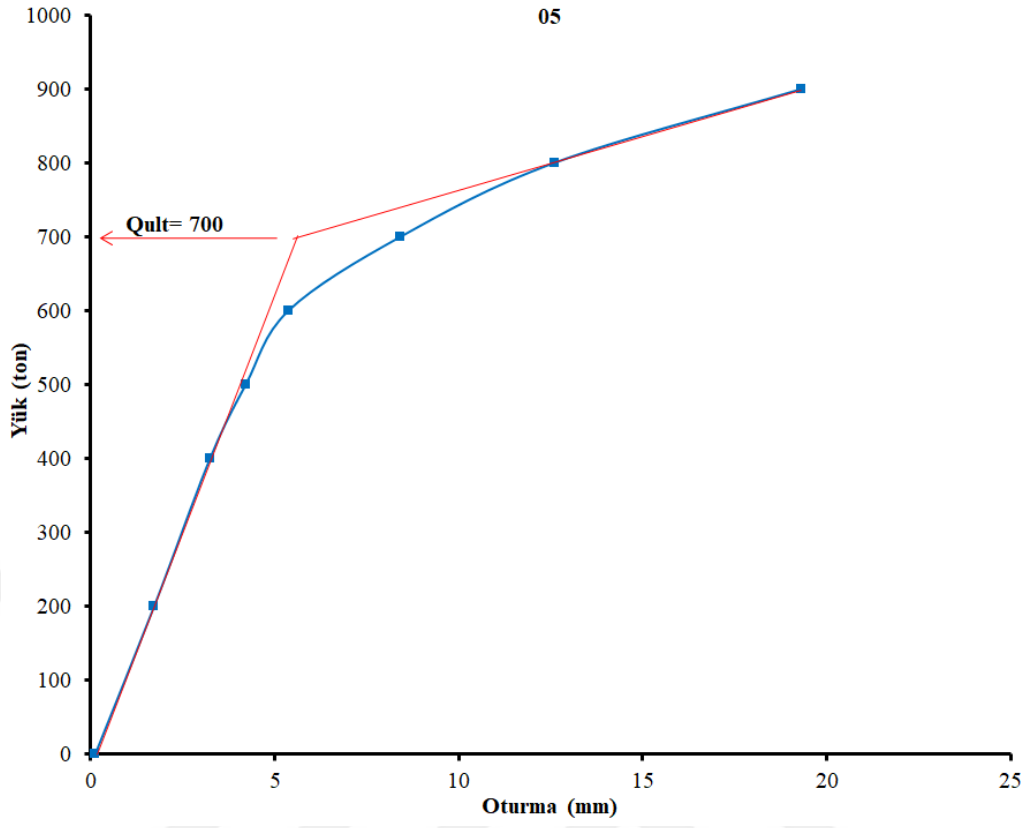
Şekil B.66 : Deney No 5 Fuller - Hoy yöntemi.



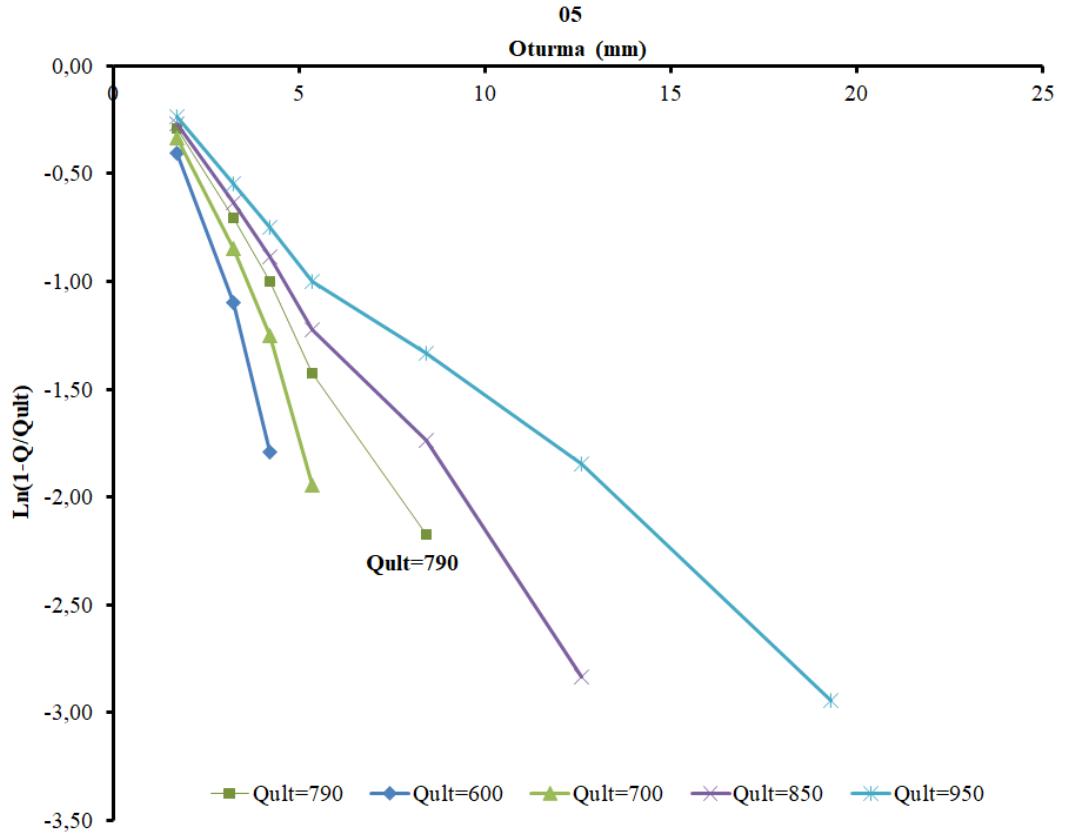
Şekil B.67 : Deney No 5 Hirany - Kulhawy yöntemi.



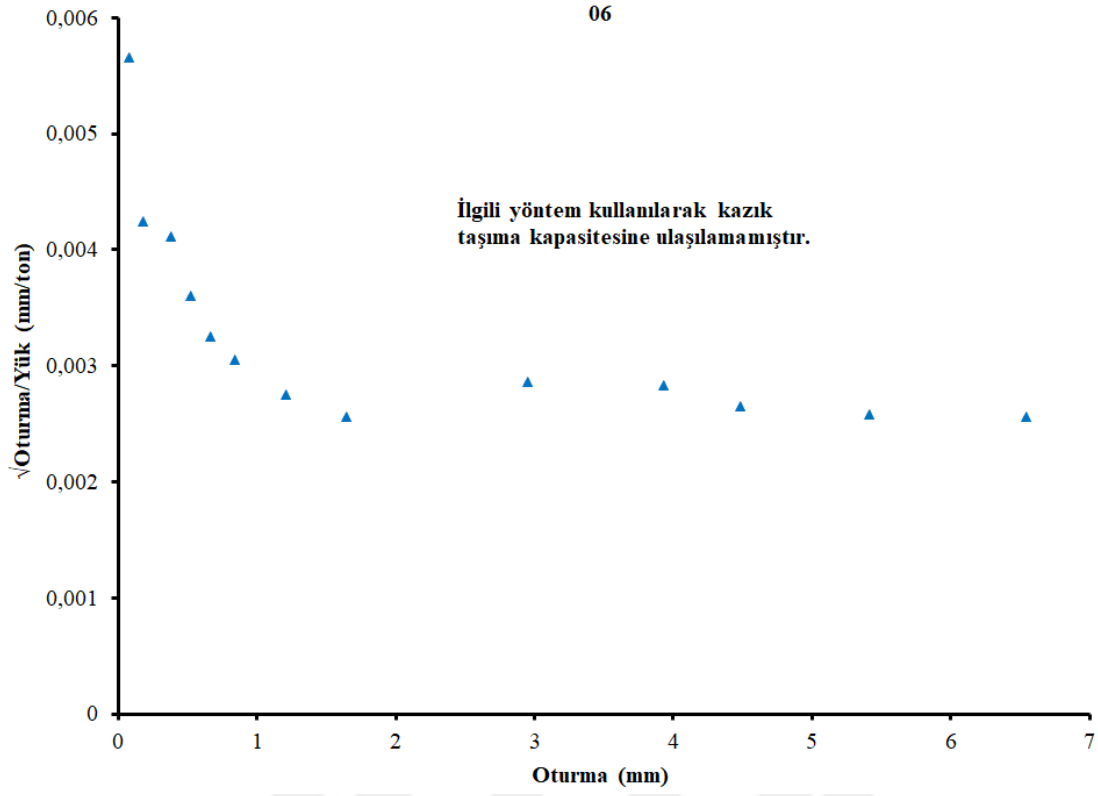
Şekil B.68 : Deney No 5 Mazurkiewicz yöntemi.



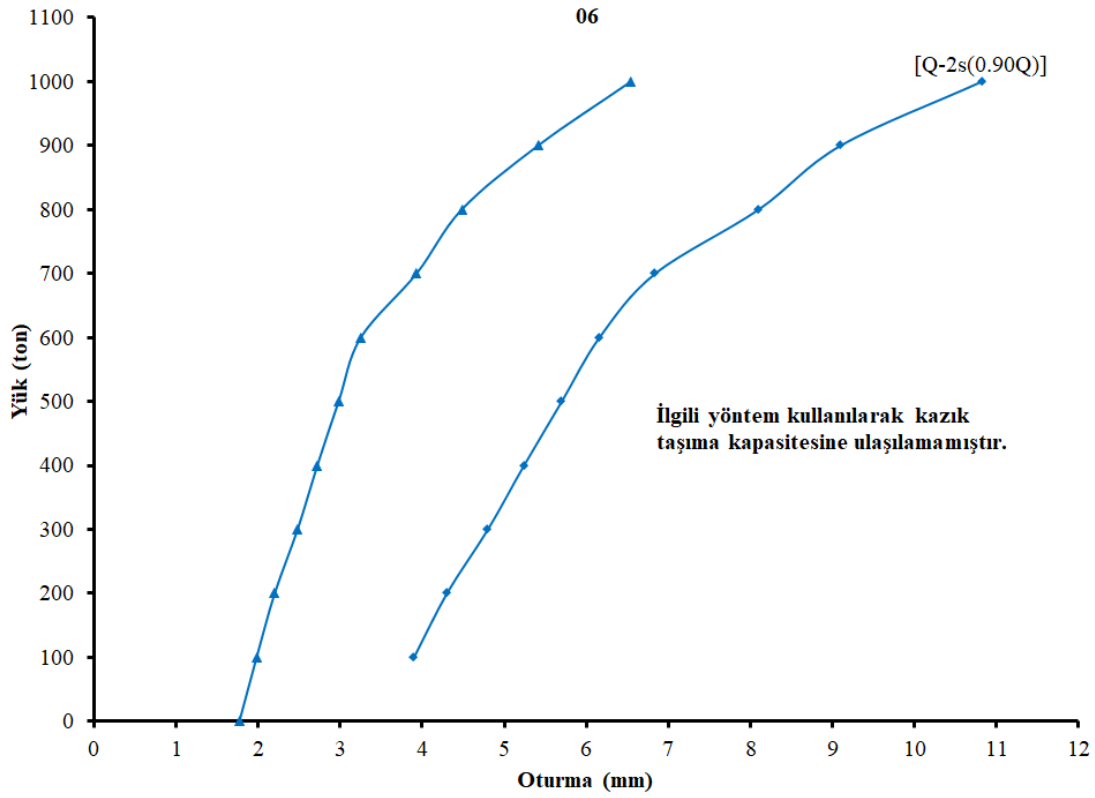
Şekil B.69 : Deney No 5 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



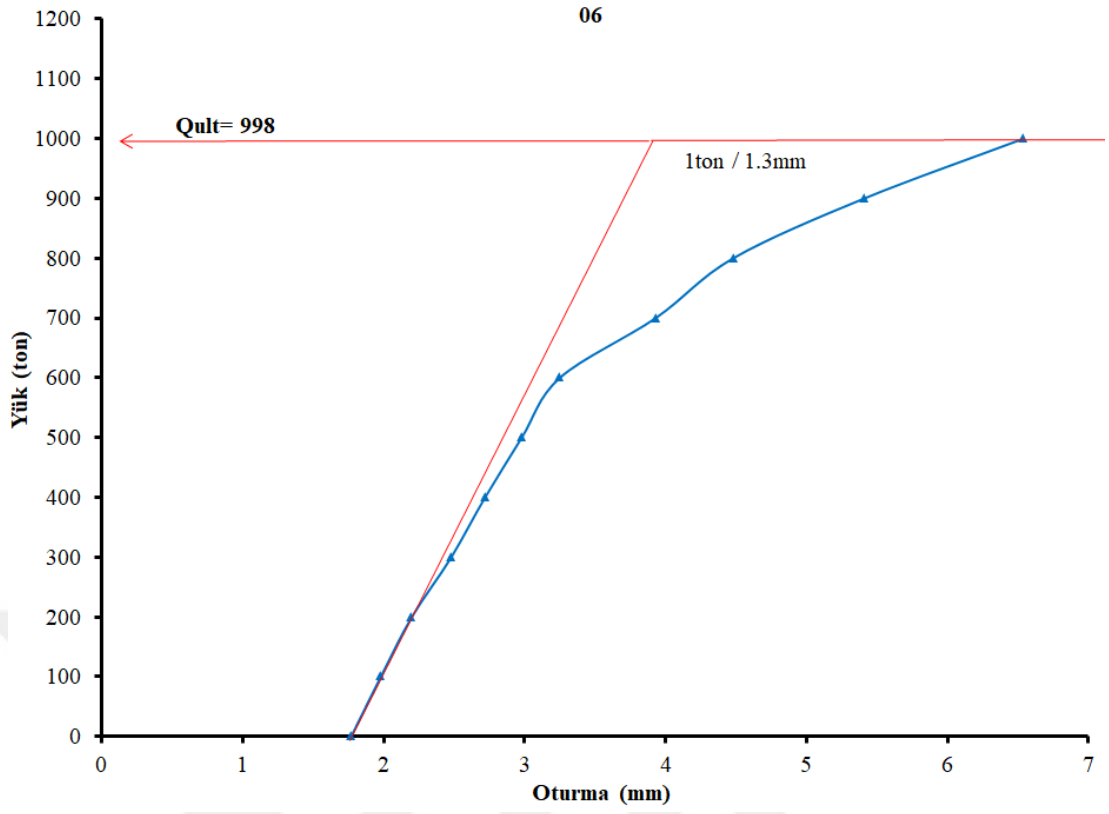
Şekil B.70 : Deney No 5 Van Der Veen yöntemi.



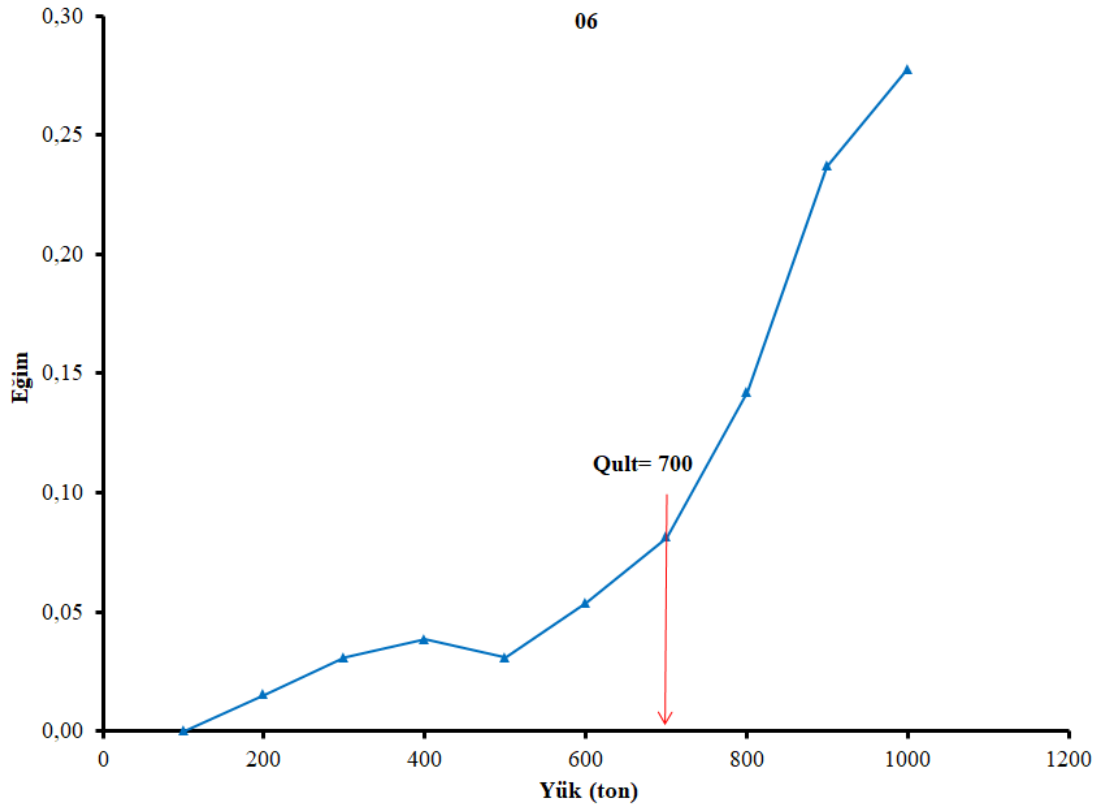
Şekil B.71 : Deney No 6 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



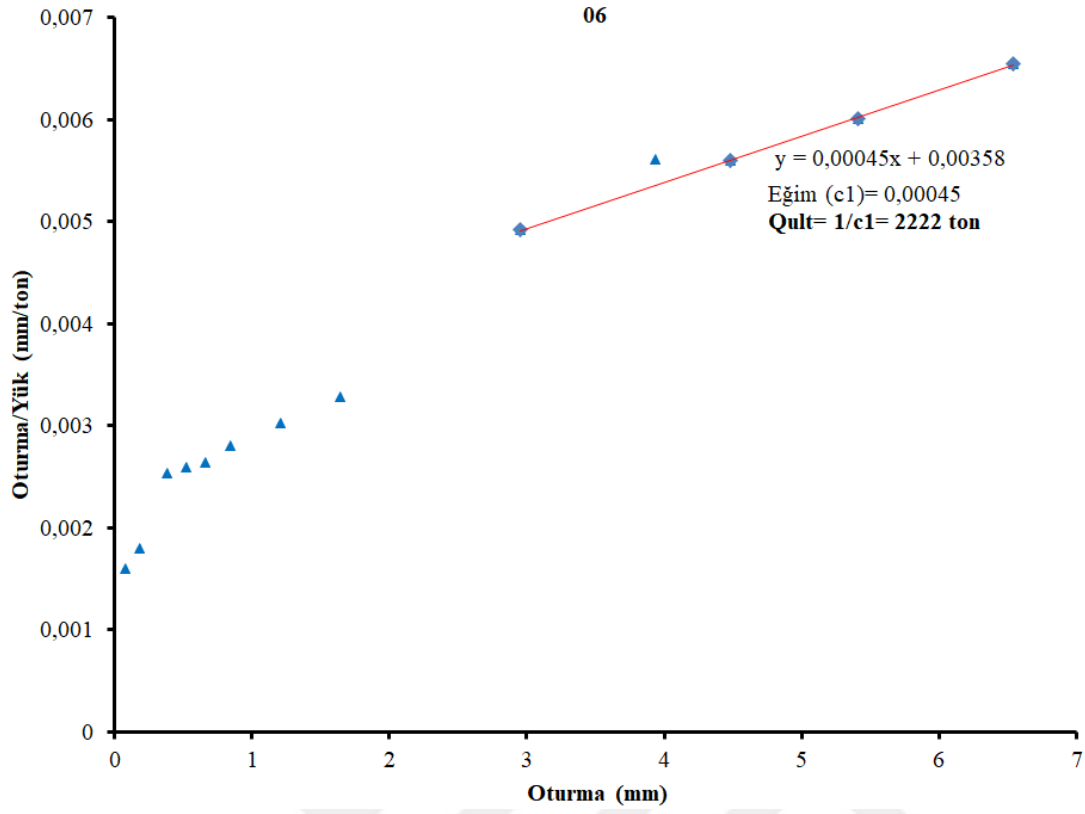
Şekil B.72 : Deney No 6 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



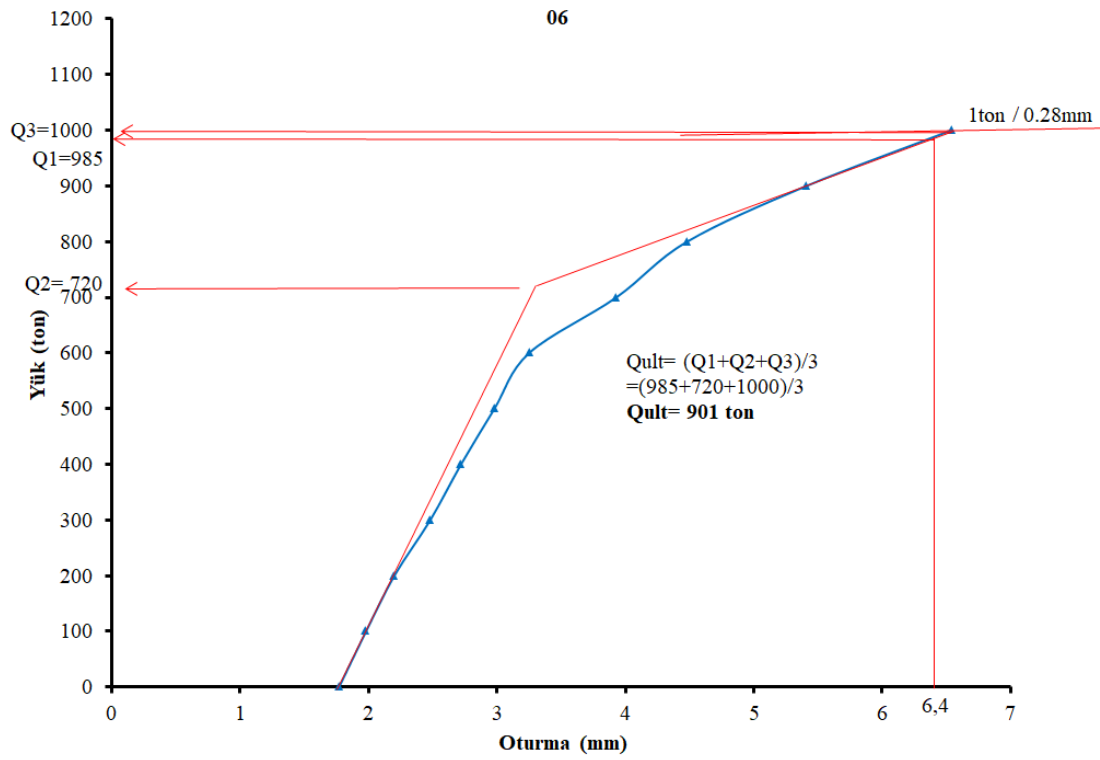
Şekil B.73 : Deney No 6 Butler - Hoy yöntemi.



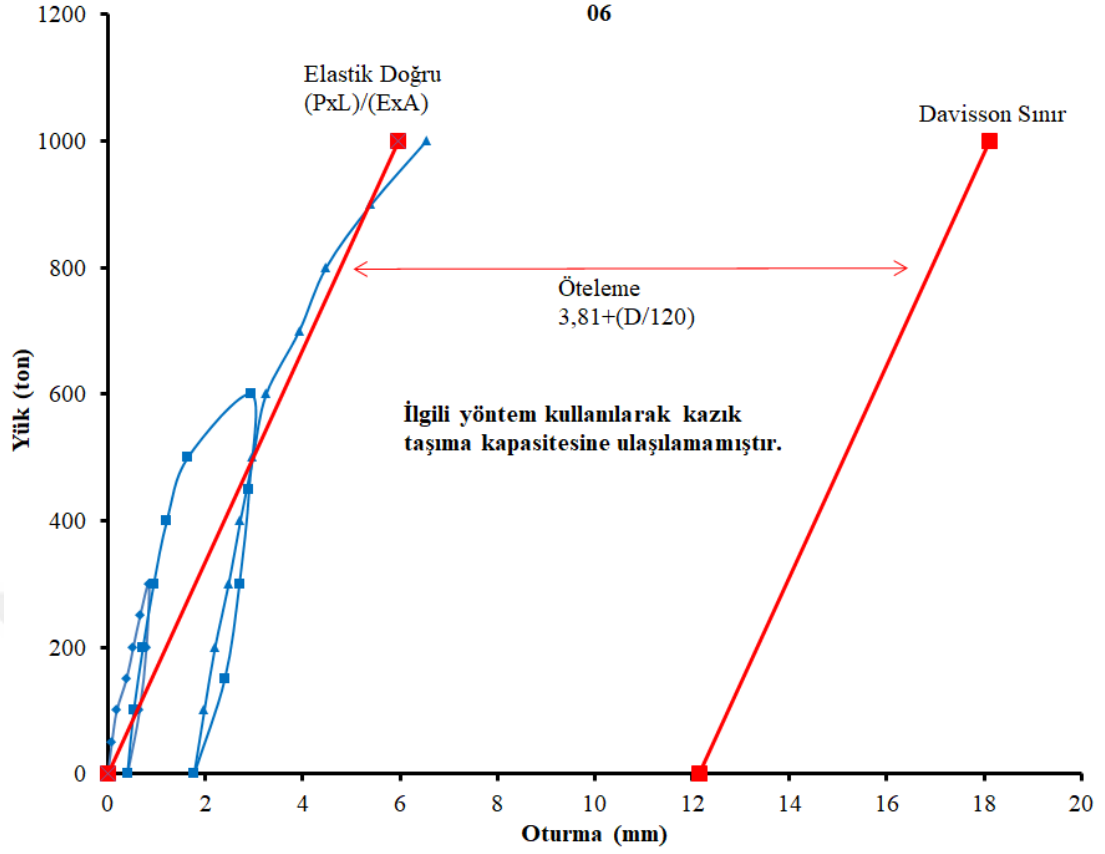
Şekil B.74 : Deney No 6 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



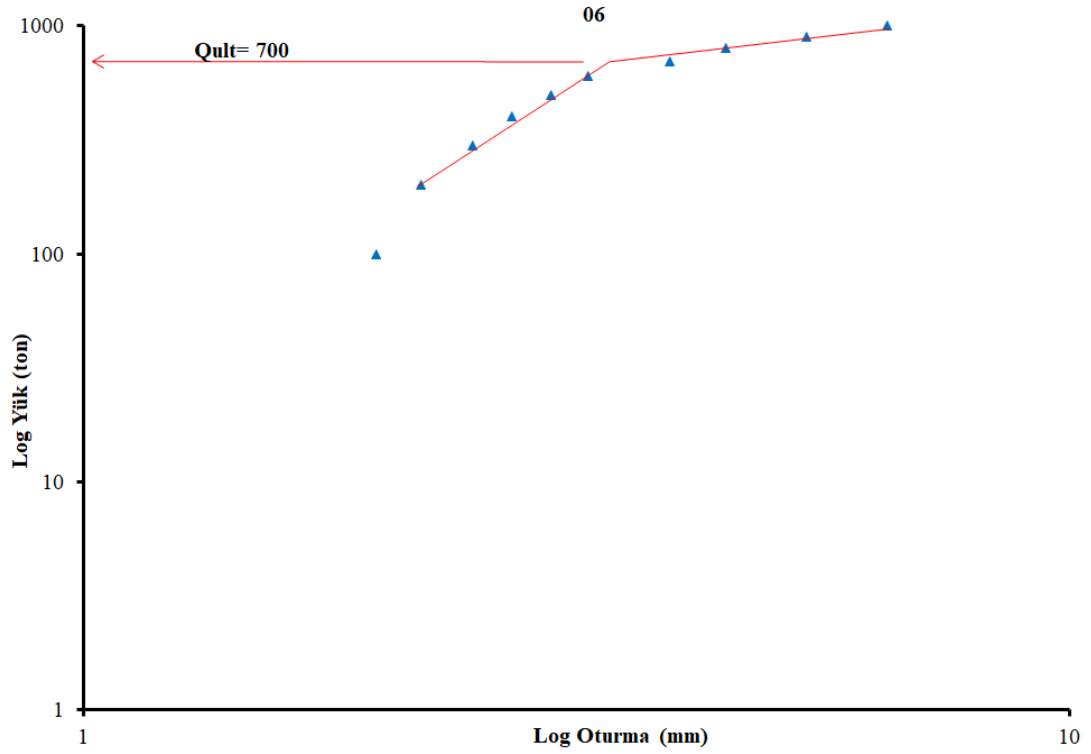
Şekil B.75 : Deney No 6 Chin - Kondner yöntemi.



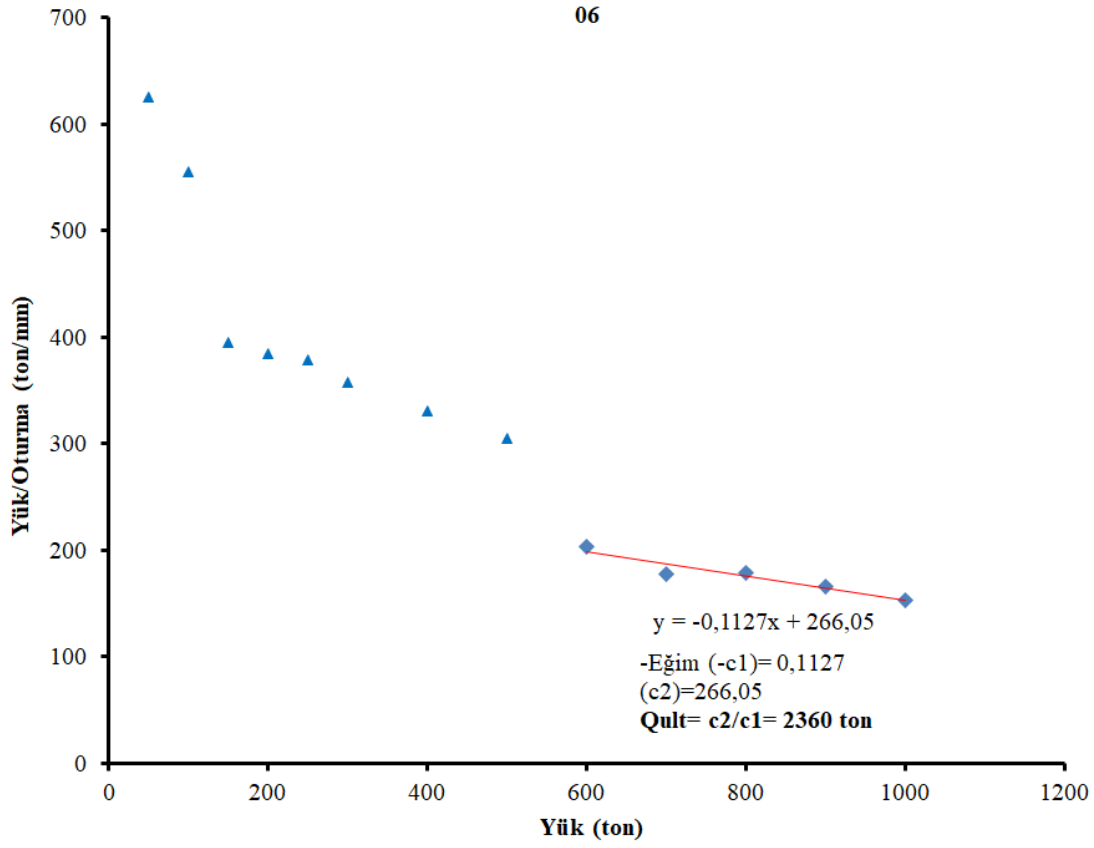
Şekil B.76 : Deney No 6 Corps of Engineers yöntemi.



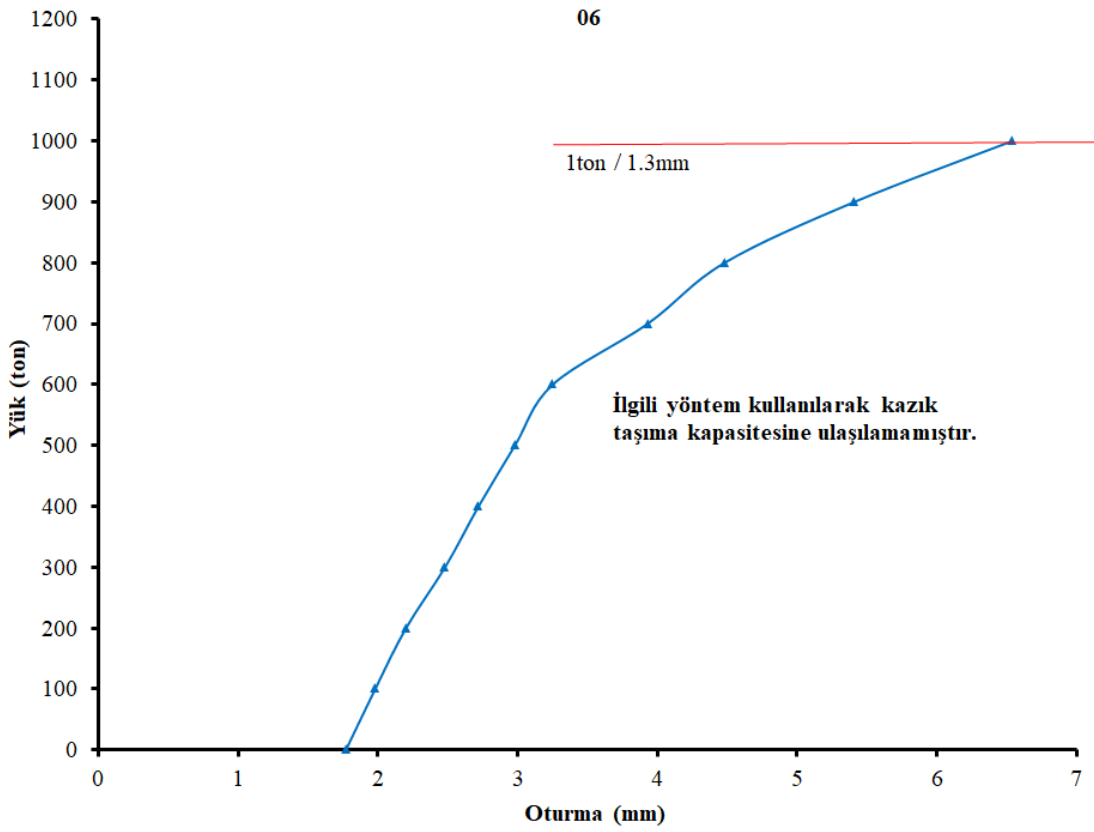
Şekil B.77 : Deney No 6 Davisson yöntemi.



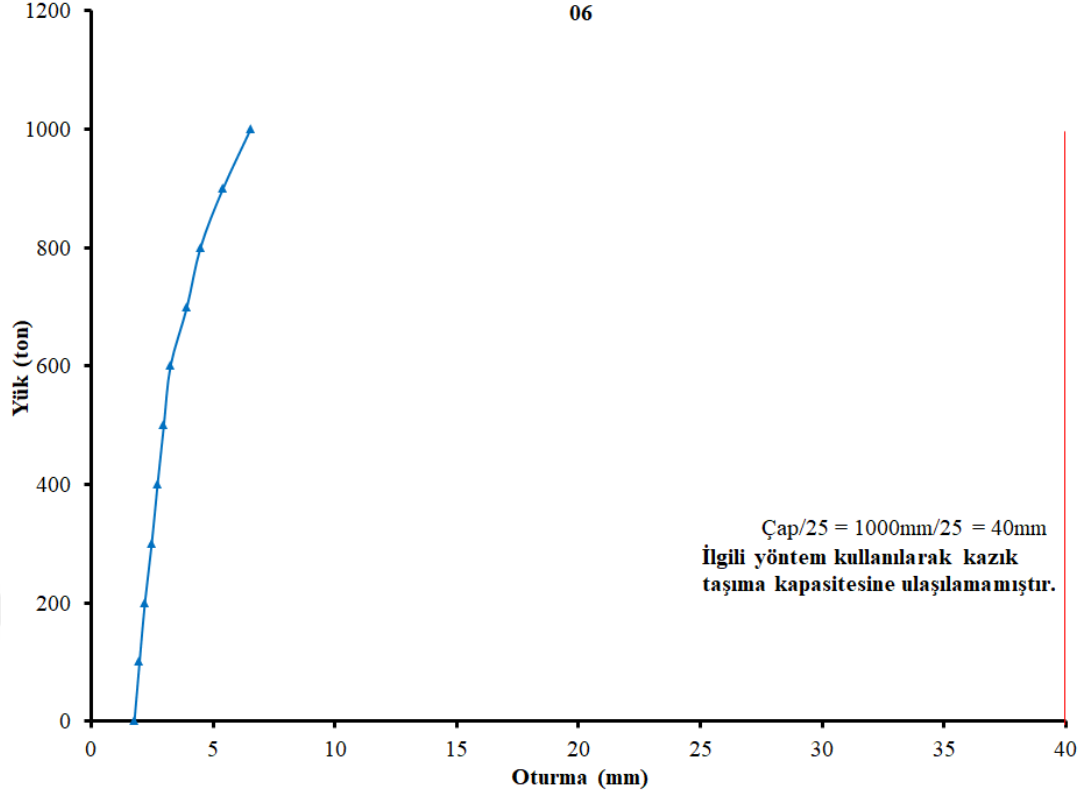
Şekil B.78 : Deney No 6 De Beer yöntemi.



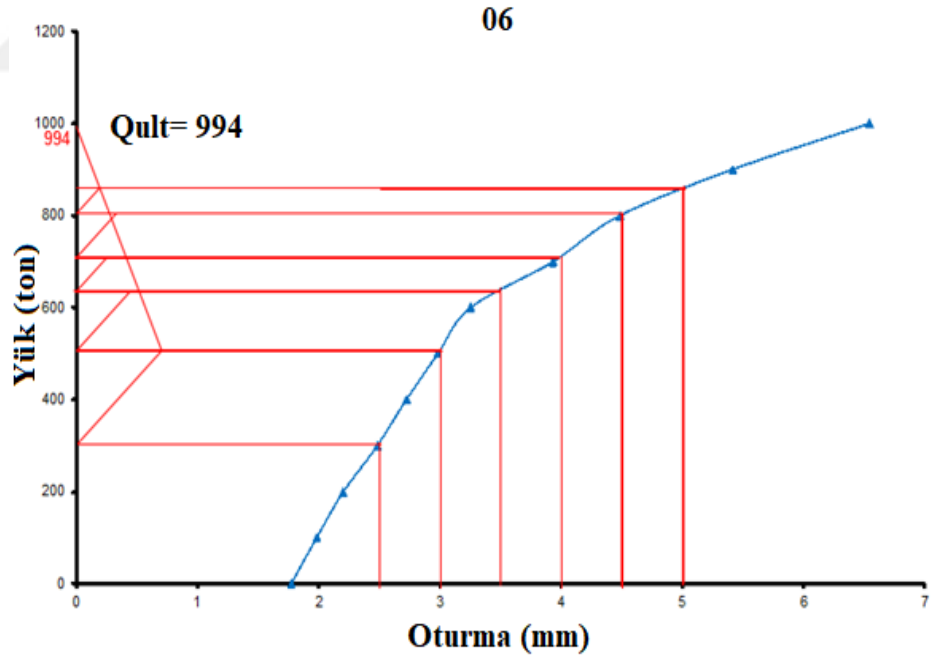
Şekil B.79 : Deney No 6 Decourt yöntemi.



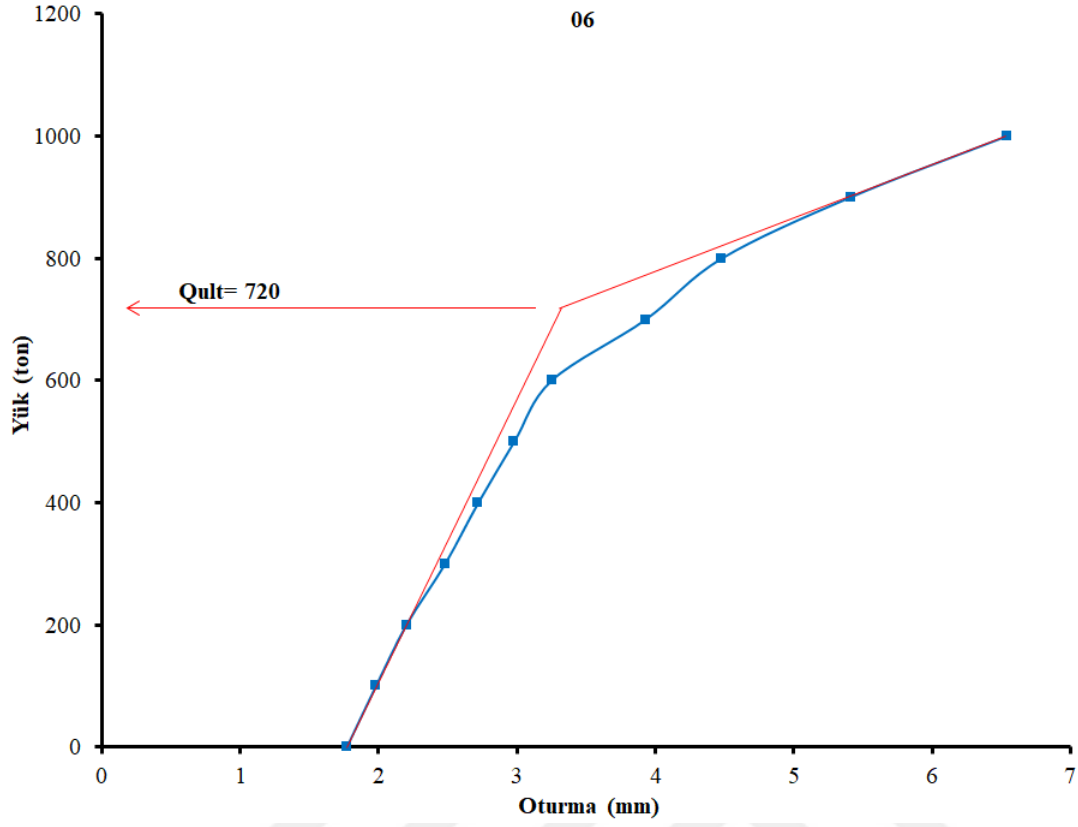
Şekil B.80 : Deney No 6 Fuller - Hoy yöntemi.



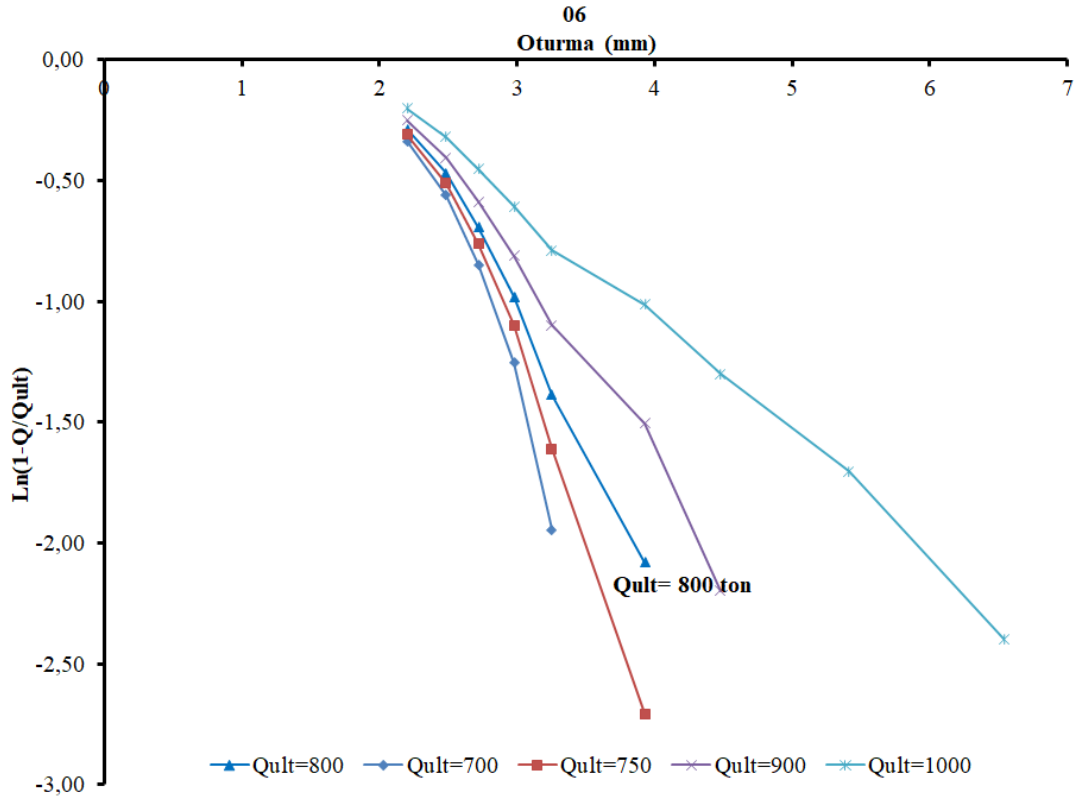
Şekil B.81 : Deney No 6 Hirany - Kulhawy yöntemi.



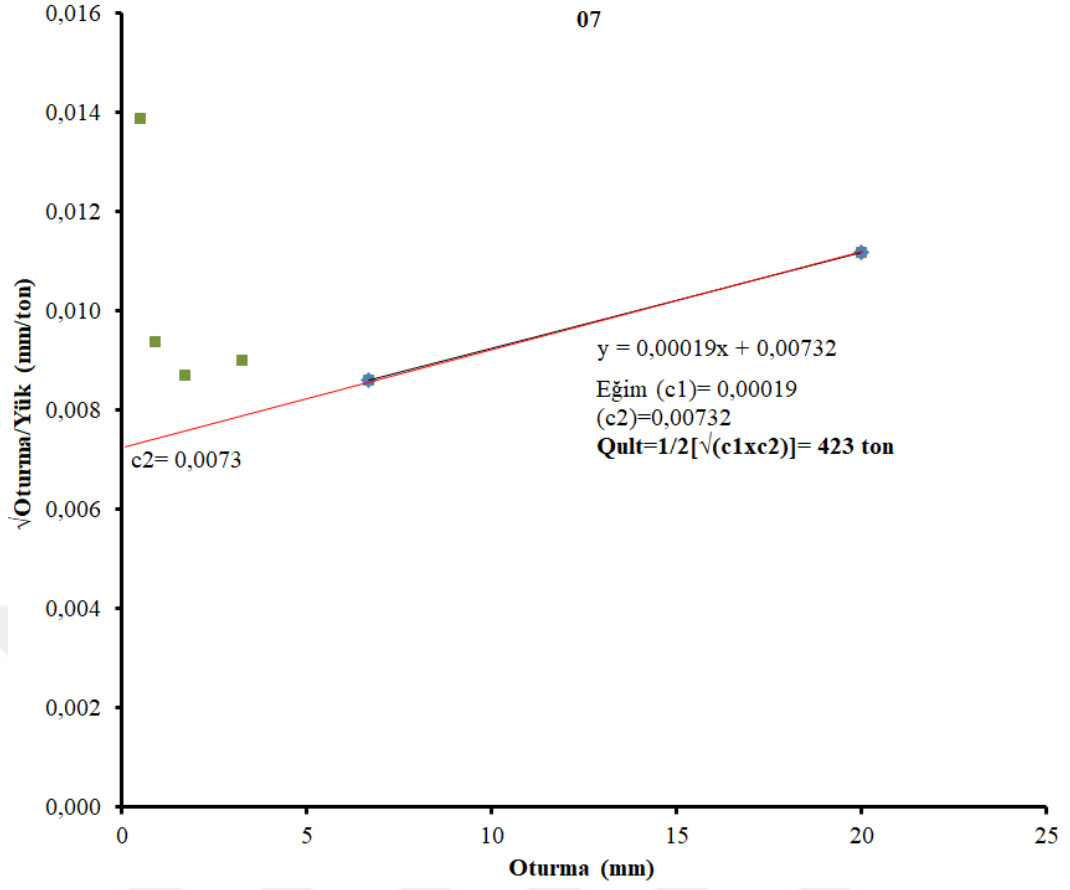
Şekil B.82 : Deney No 6 Mazurkiewicz yöntemi.



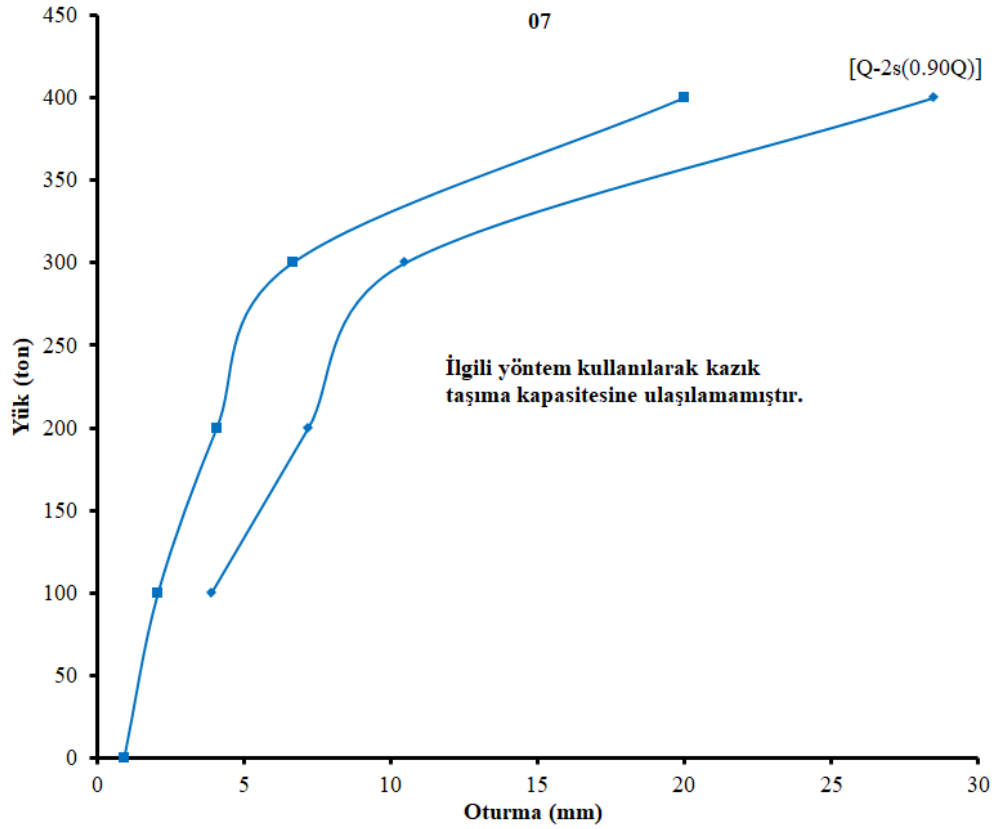
Şekil B.83 : Deney No 6 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



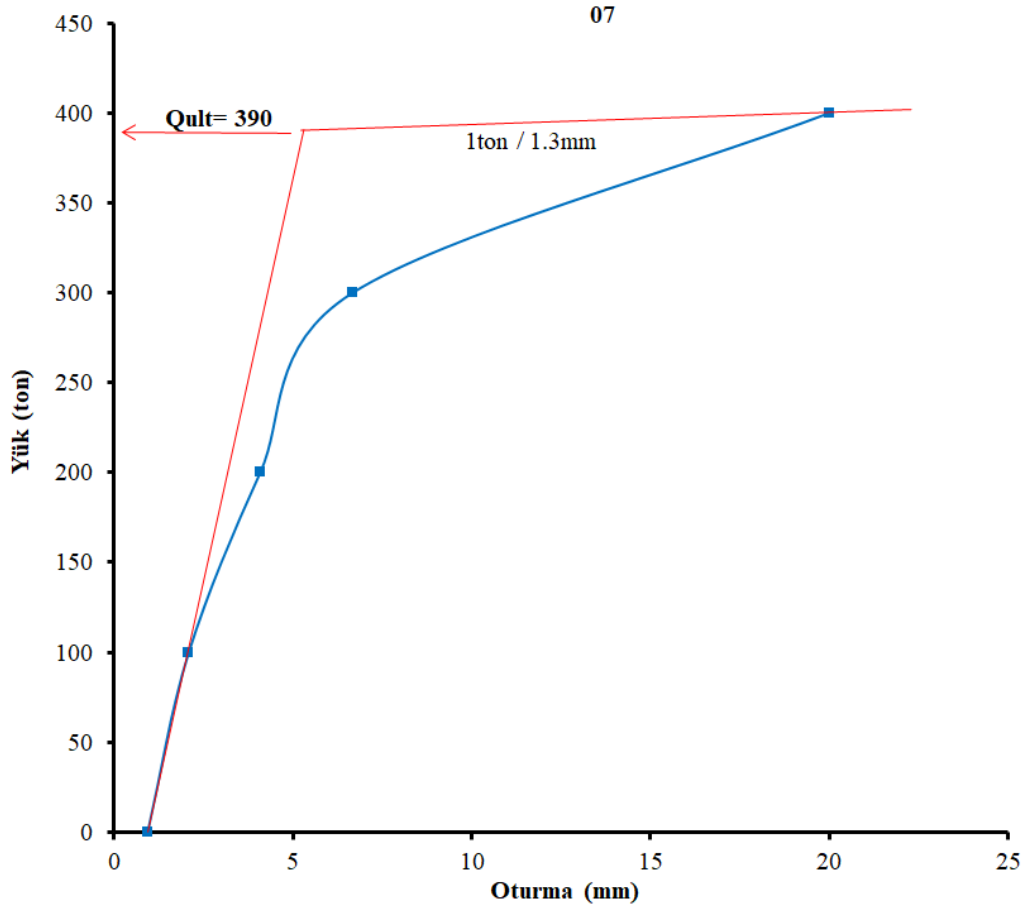
Şekil B.84 : Deney No 6 Van Der Veen yöntemi.



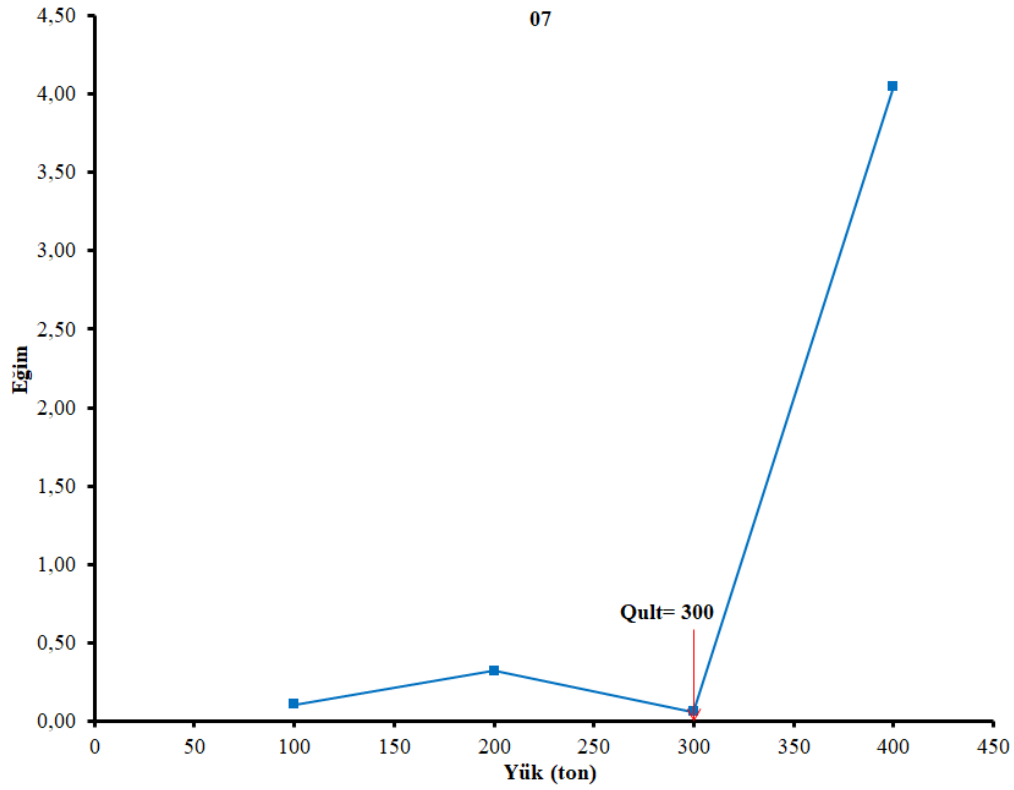
Şekil B.85 : Deney No 7 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



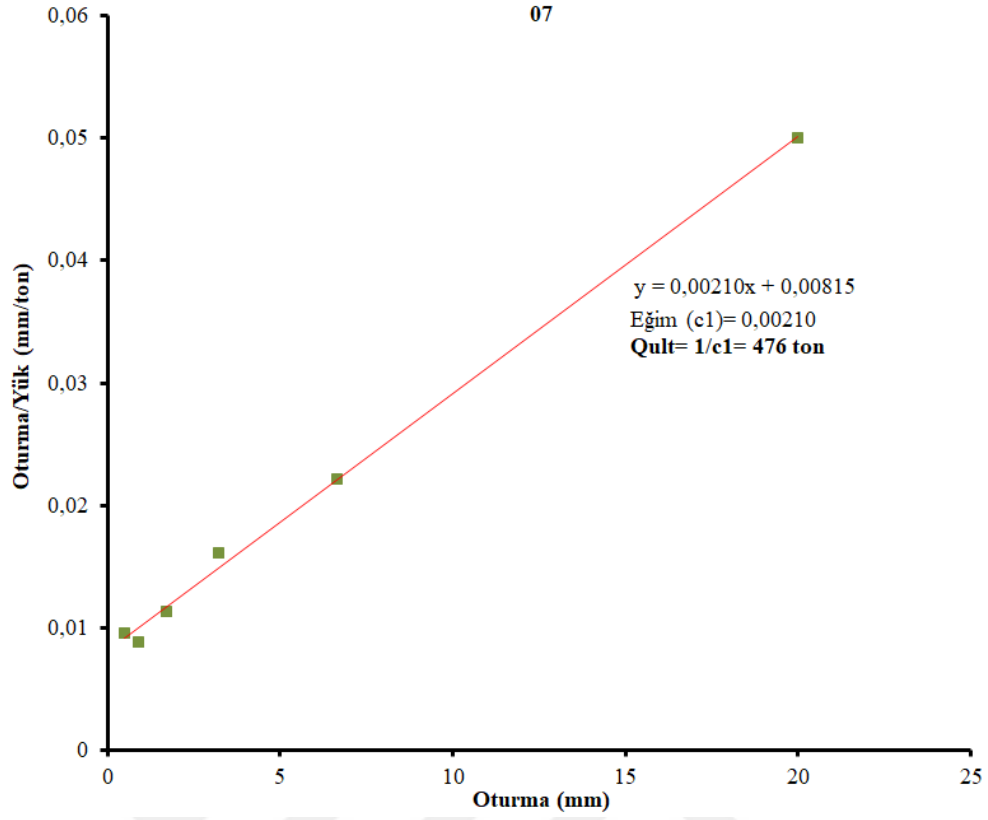
Şekil B.86 : Deney No 7 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



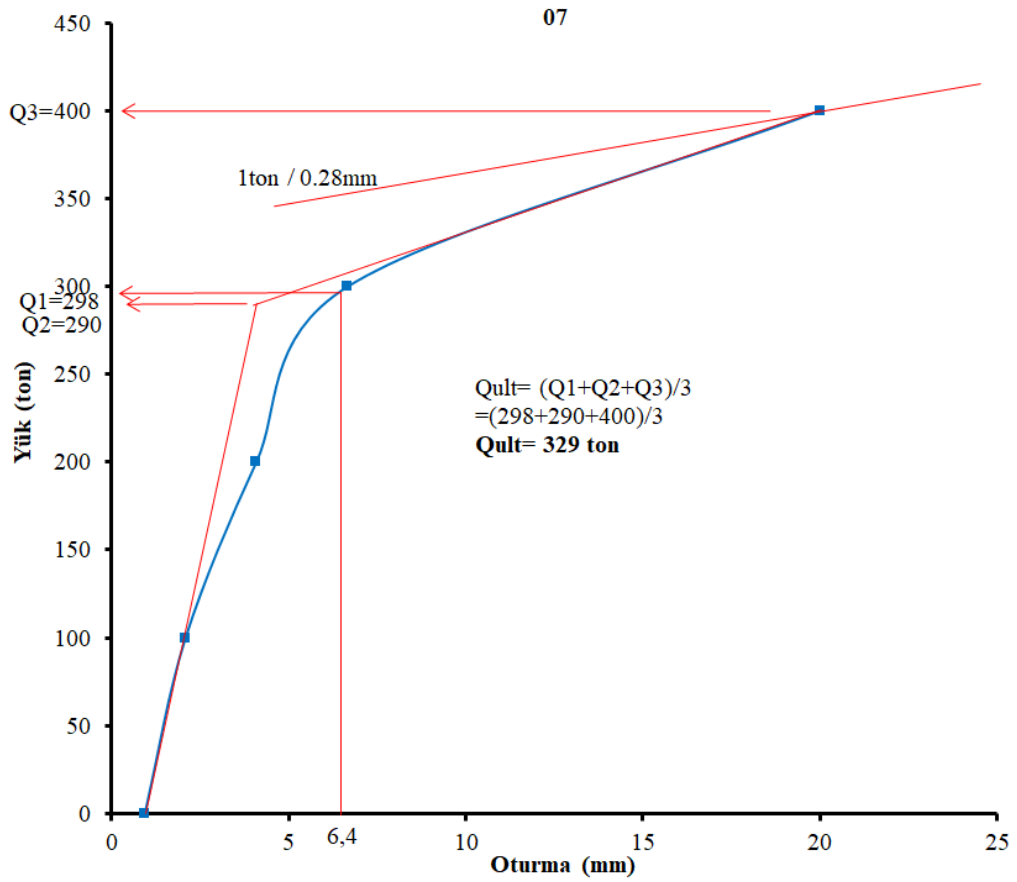
Şekil B.87 : Deney No 7 Butler - Hoy yöntemi.



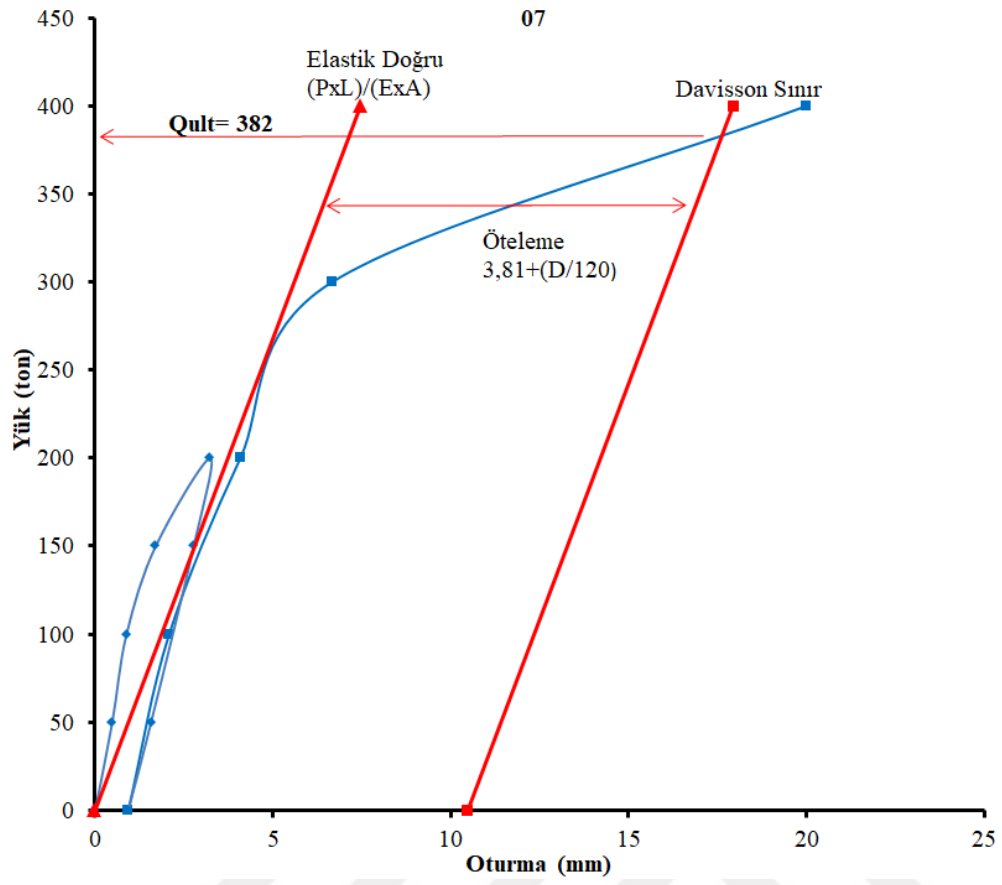
Şekil B.88 : Deney No 7 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



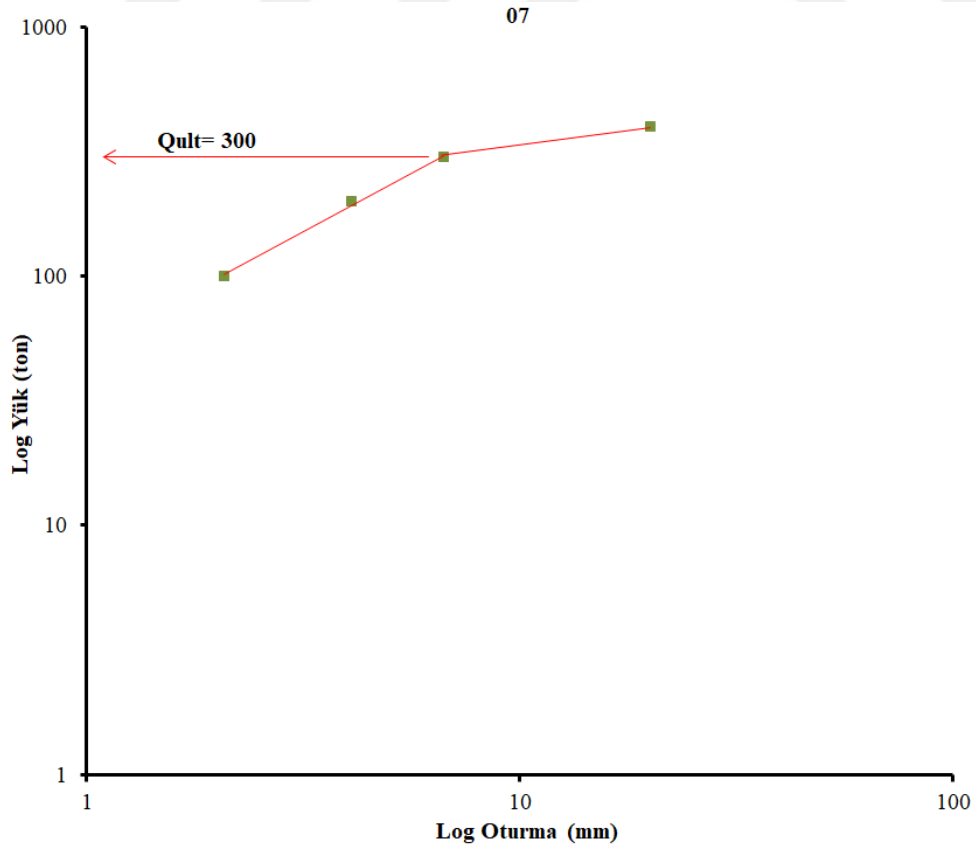
Şekil B.89 : Deney No 7 Chin - Kondner yöntemi.



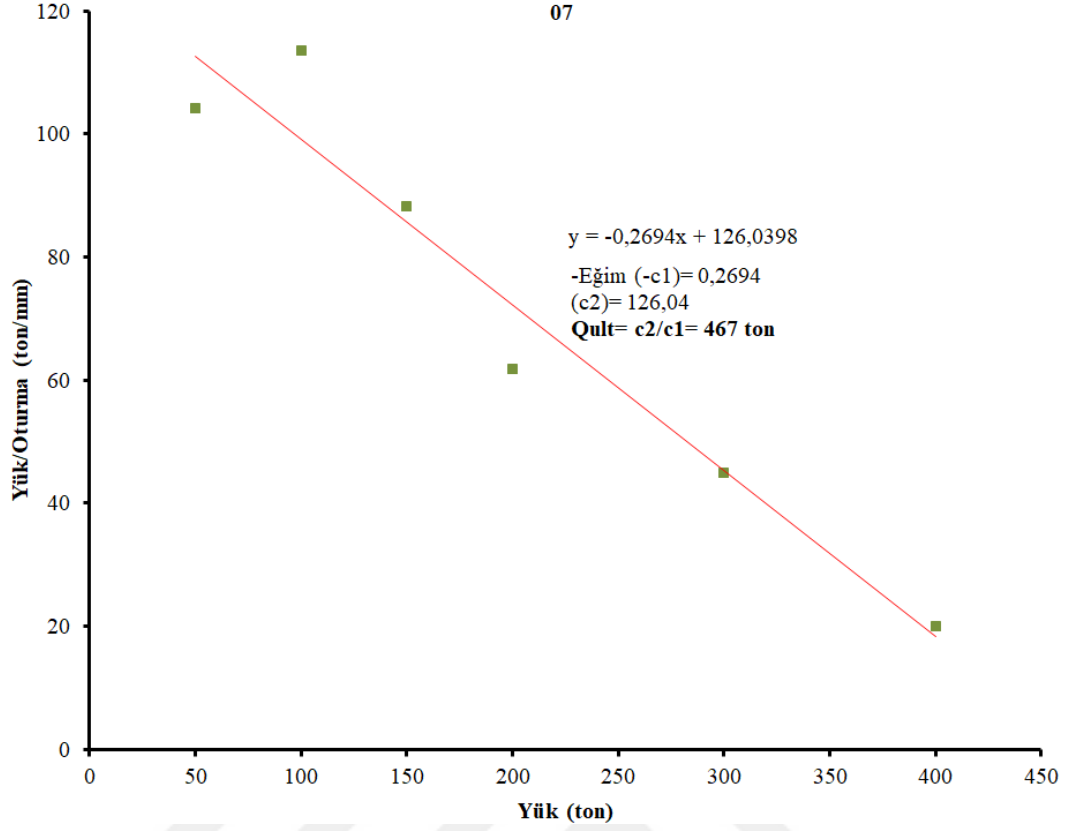
Şekil B.90 : Deney No 7 Corps of Engineers yöntemi.



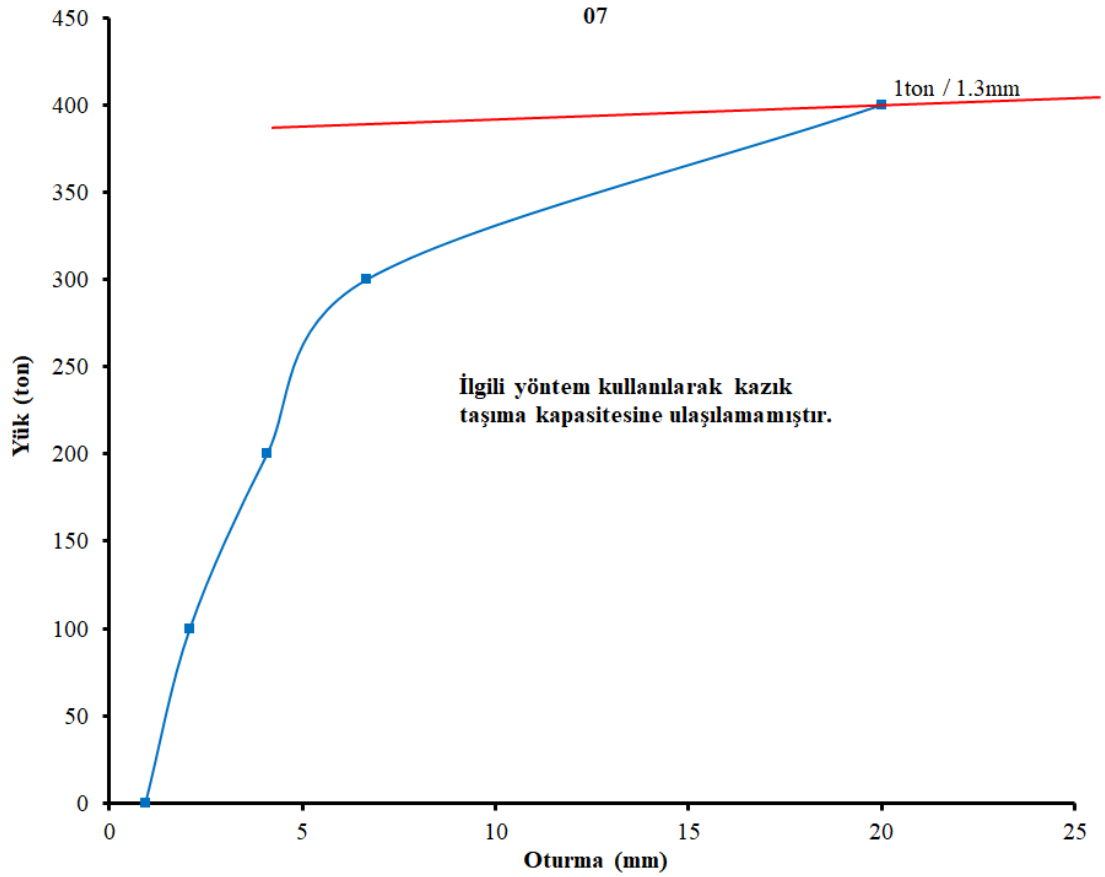
Şekil B.91 : Deney No 7 Davisson yöntemi.



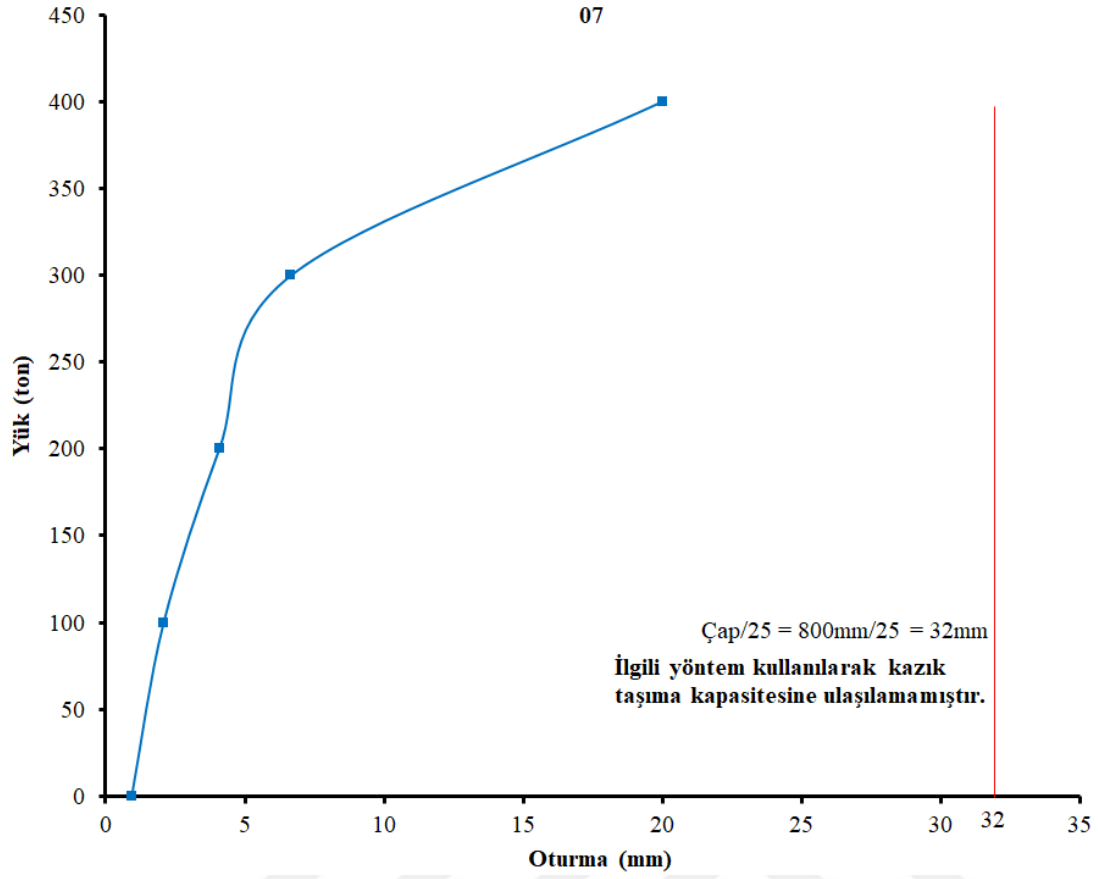
Şekil B.92 : Deney No 7 De Beer yöntemi.



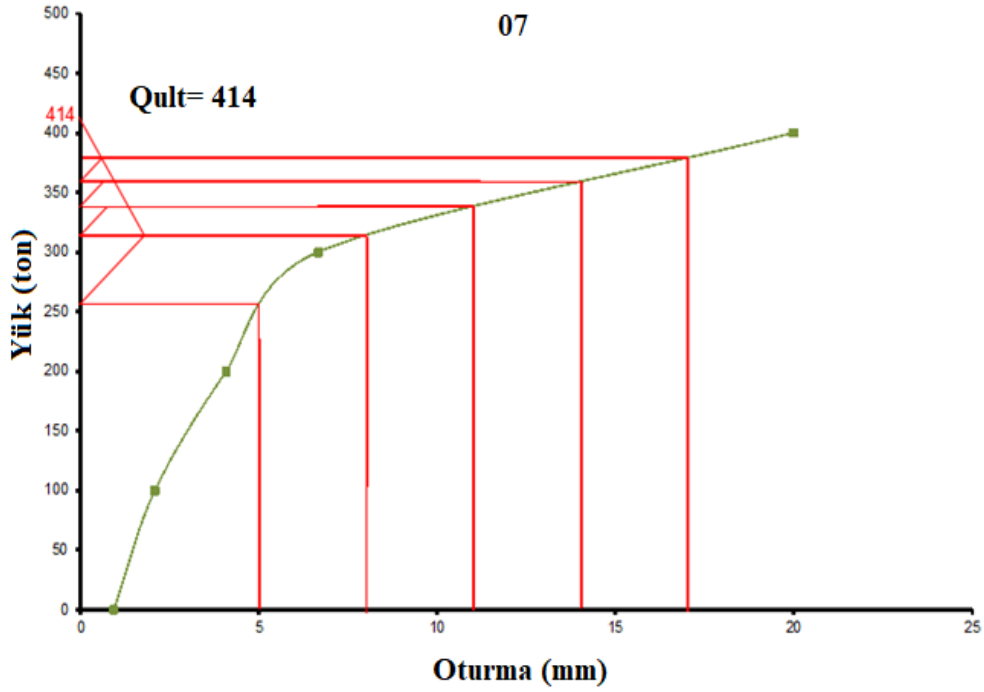
Şekil B.93 : Deney No 7 Decourt yöntemi.



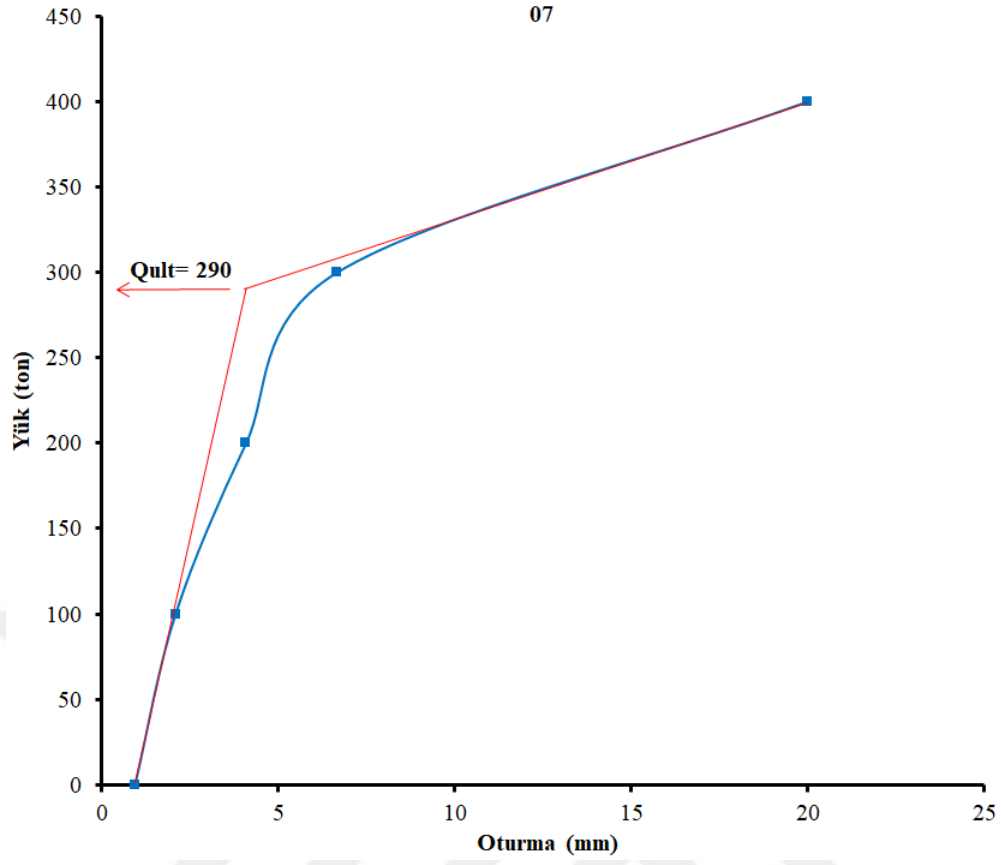
Şekil B.94 : Deney No 7 Fuller - Hoy yöntemi.



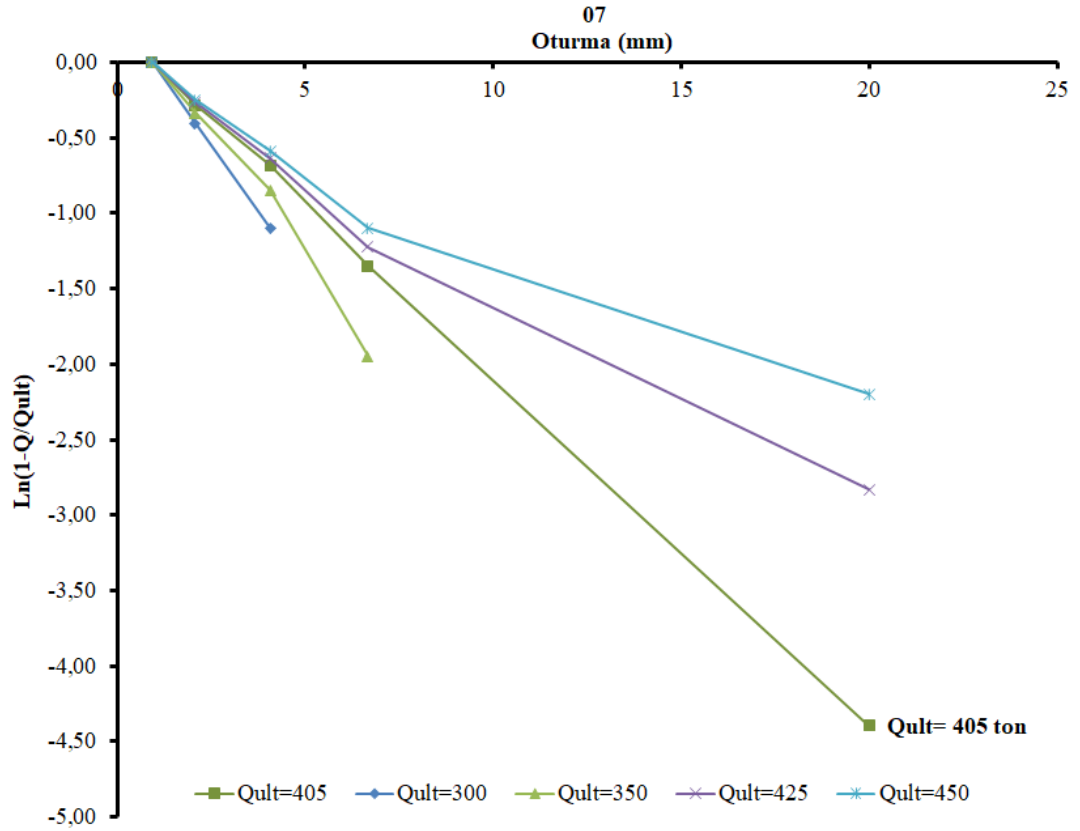
Şekil B.95 : Deney No 7 Hirany - Kulhawy yöntemi.



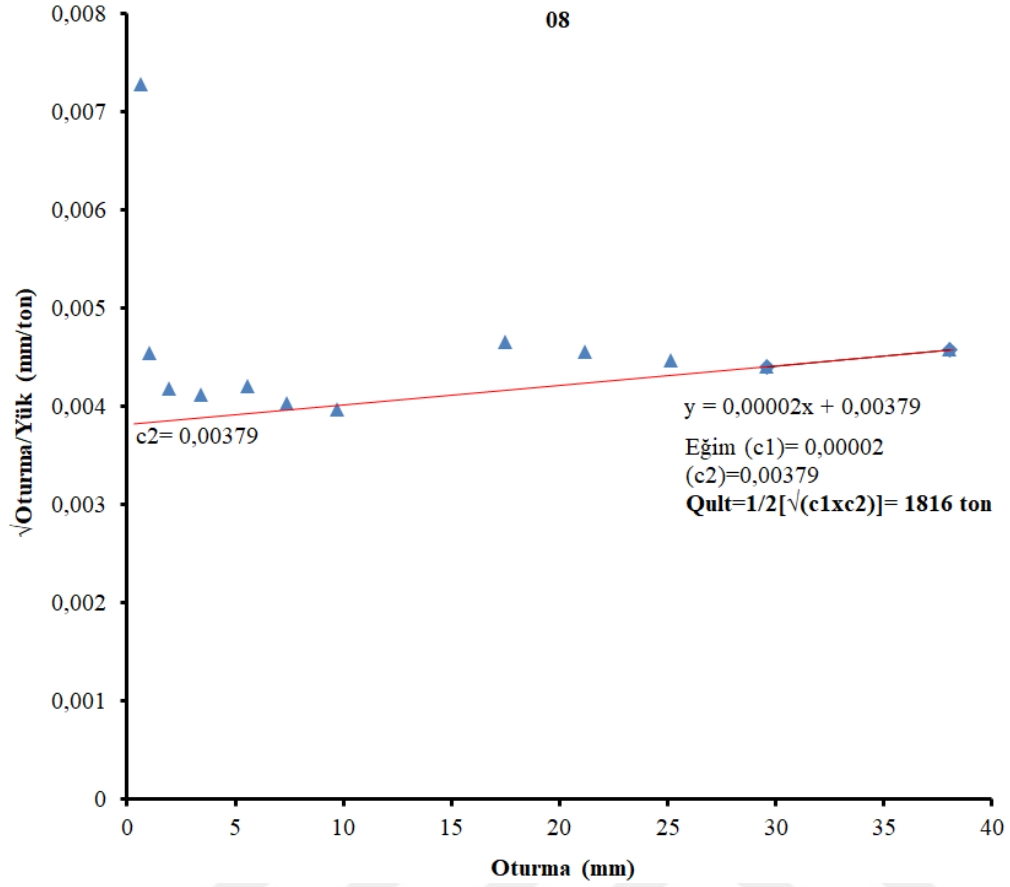
Şekil B.96 : Deney No 7 Mazurkiewicz yöntemi.



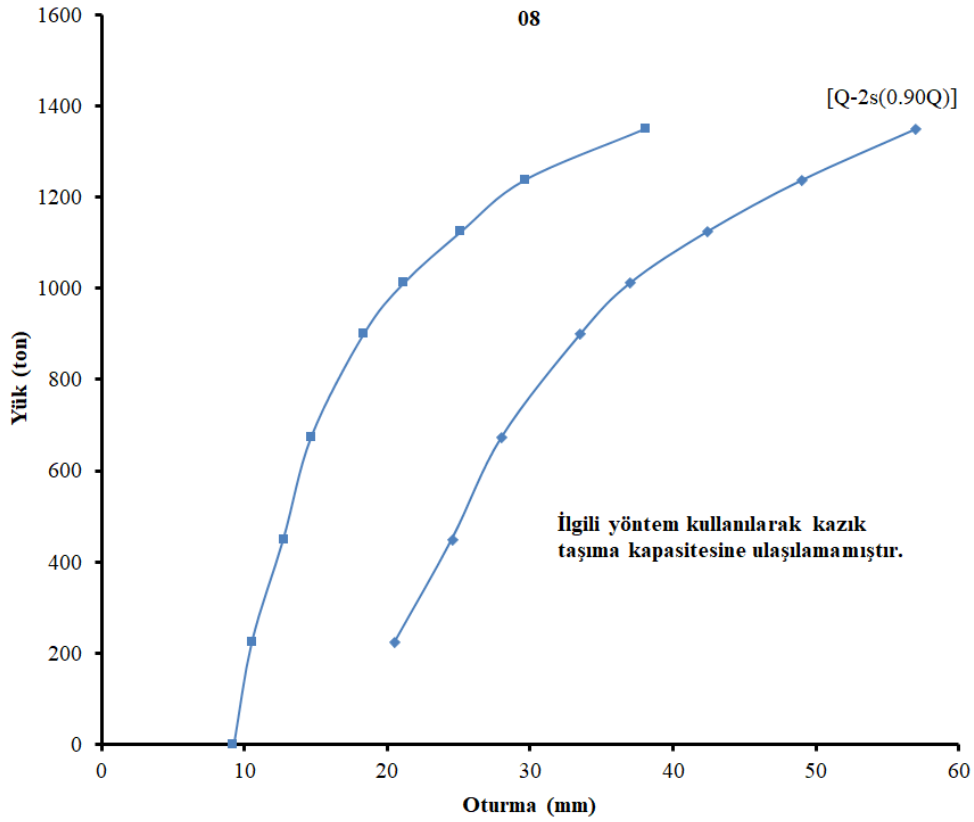
Şekil B.97 : Deney No 7 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



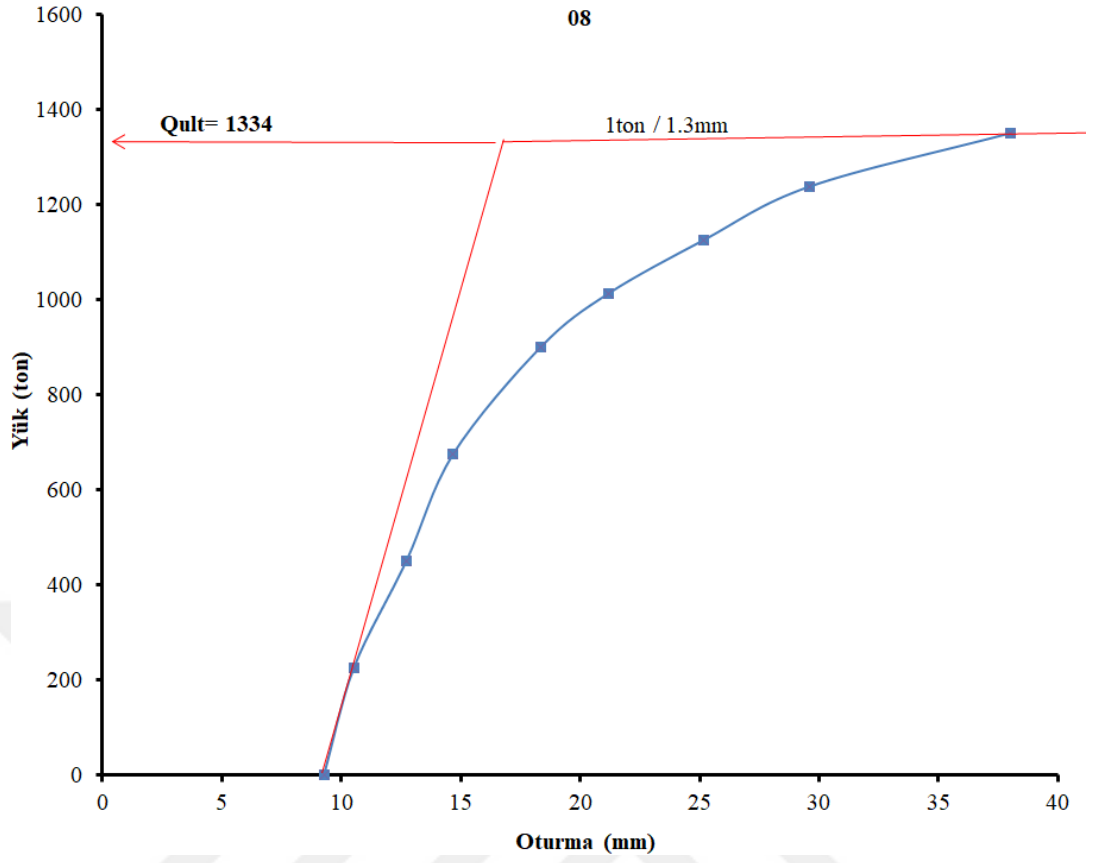
Şekil B.98 : Deney No 7 Van Der Veen yöntemi.



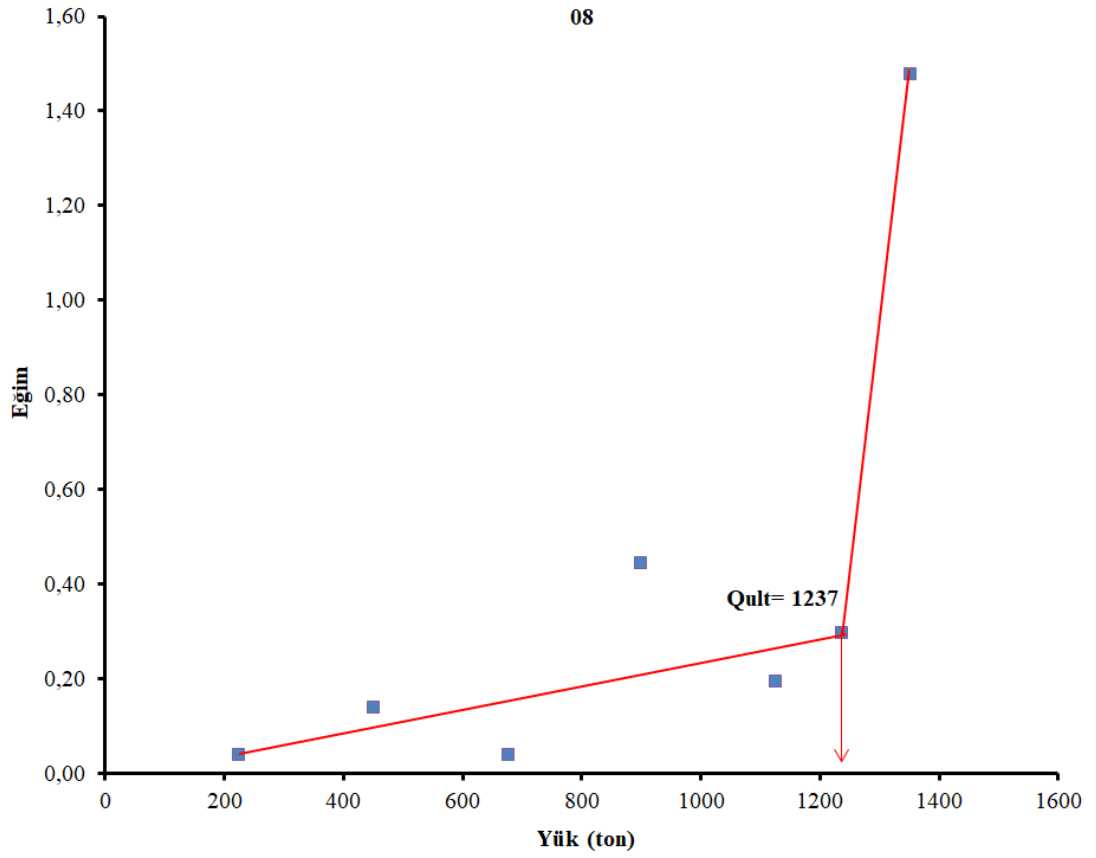
Şekil B.99 : Deney No 8 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



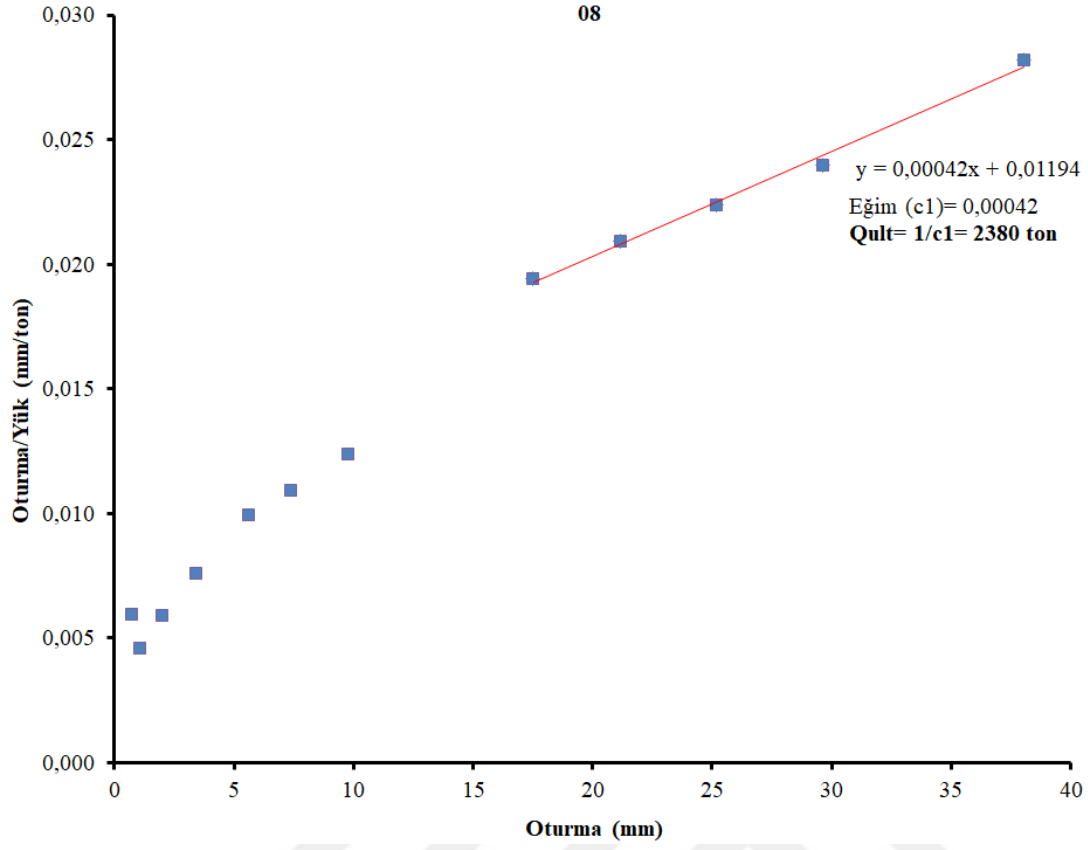
Şekil B.100 : Deney No 8 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



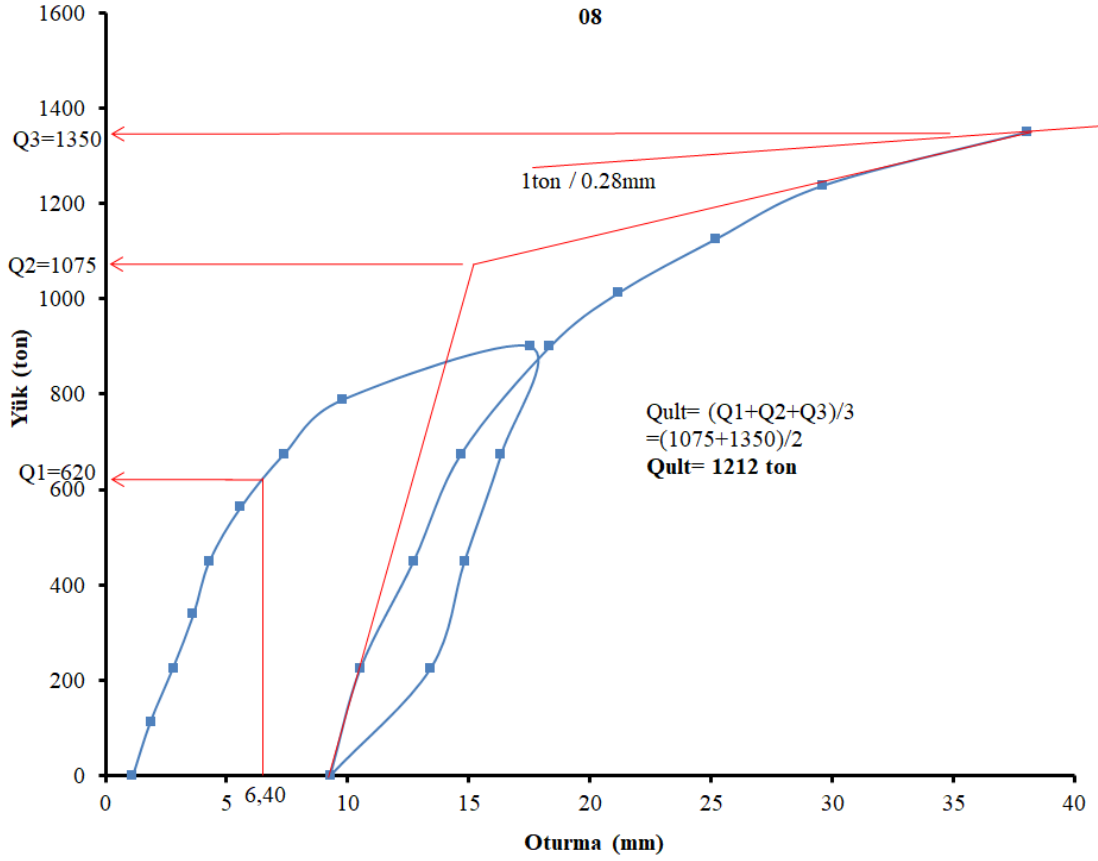
Şekil B.101 : Deney No 8 Butler - Hoy yöntemi.



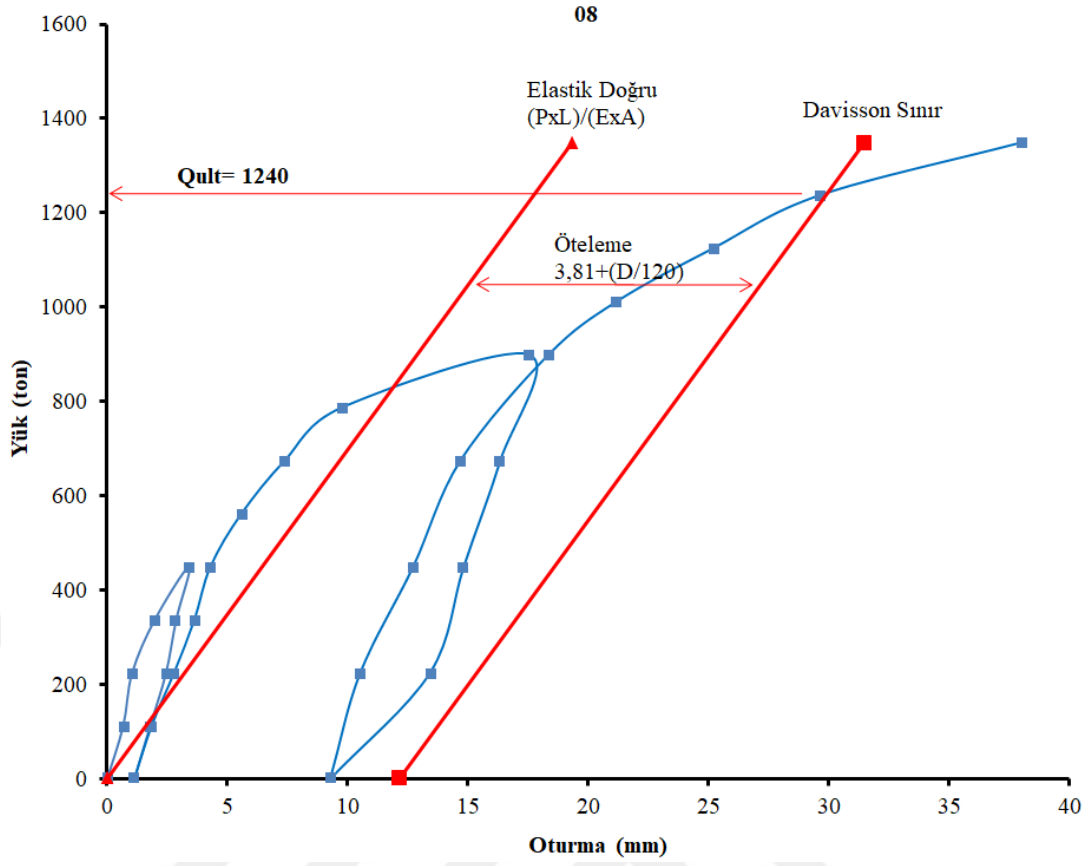
Şekil B.102 : Deney No 8 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



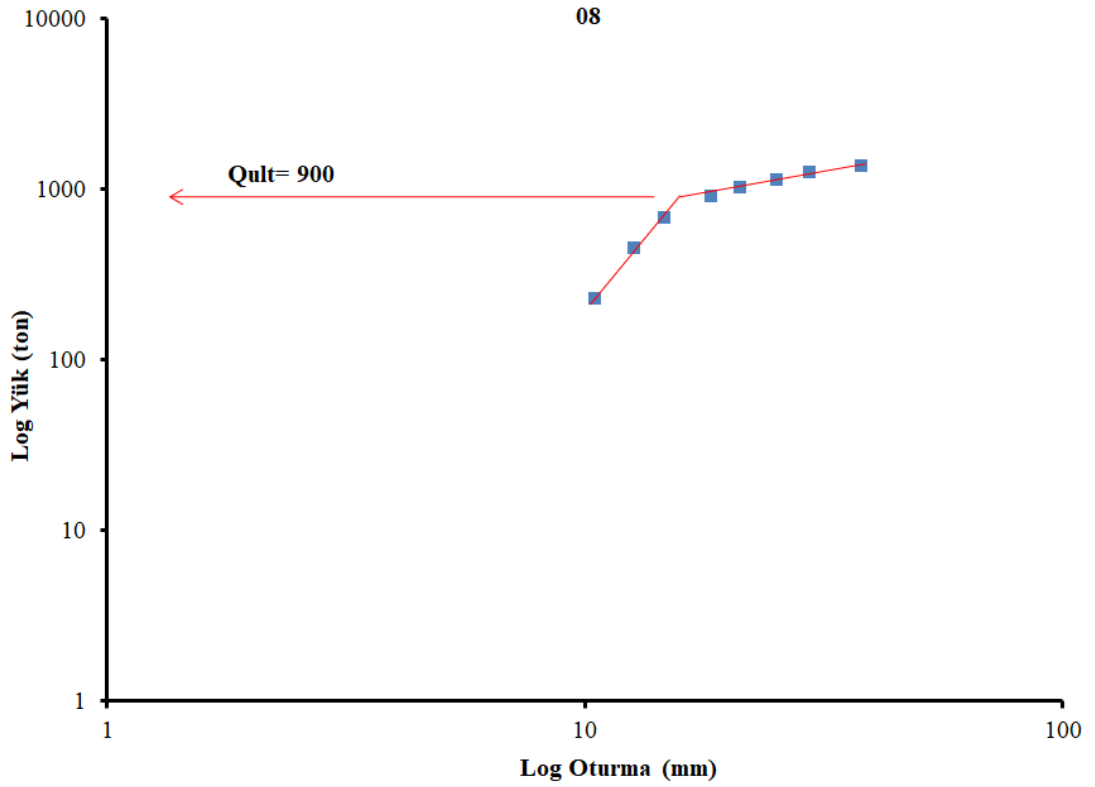
Şekil B.103 : Deney No 8 Chin - Kondner yöntemi.



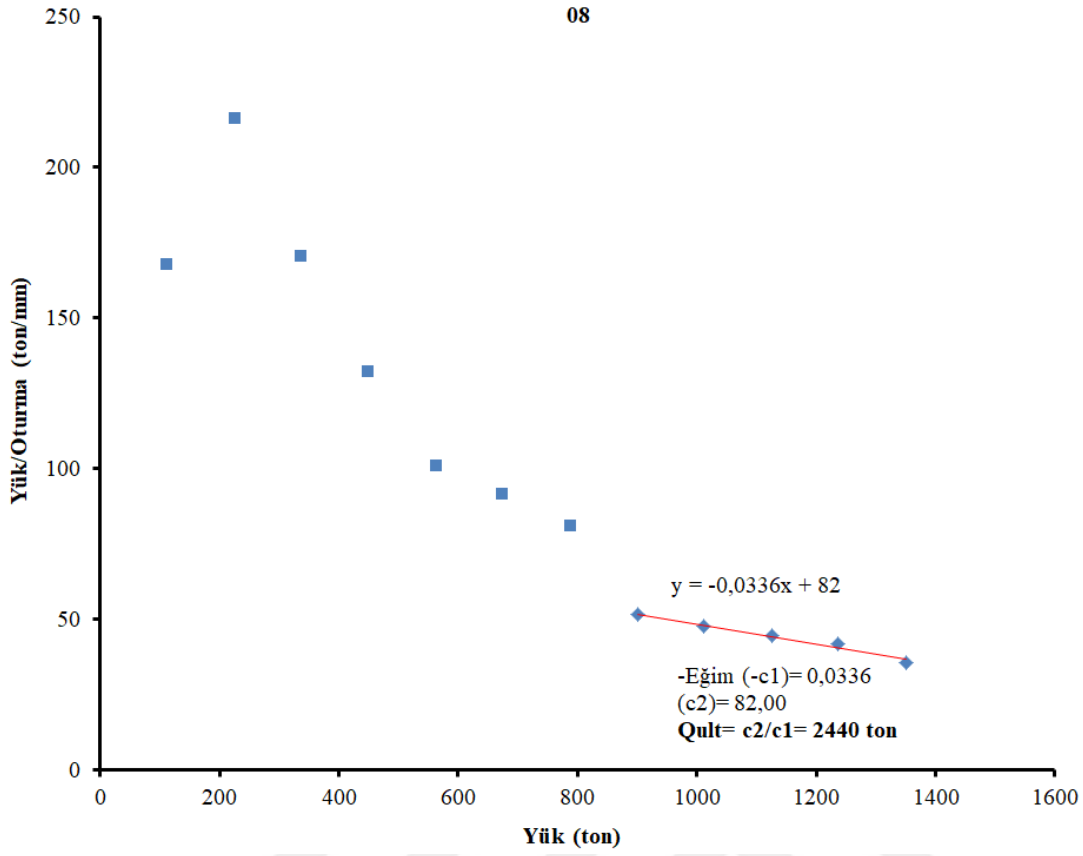
Şekil B.104 : Deney No 8 Corps of Engineers yöntemi.



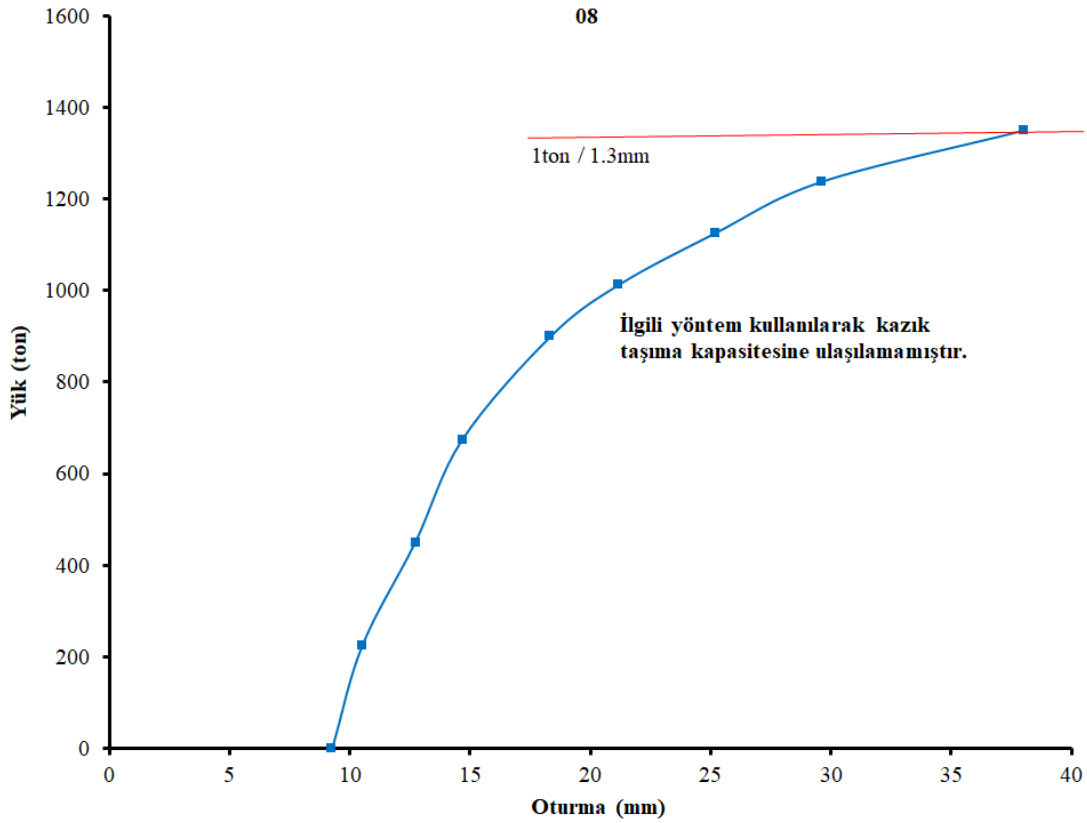
Şekil B.105 : Deney No 8 Davisson yöntemi.



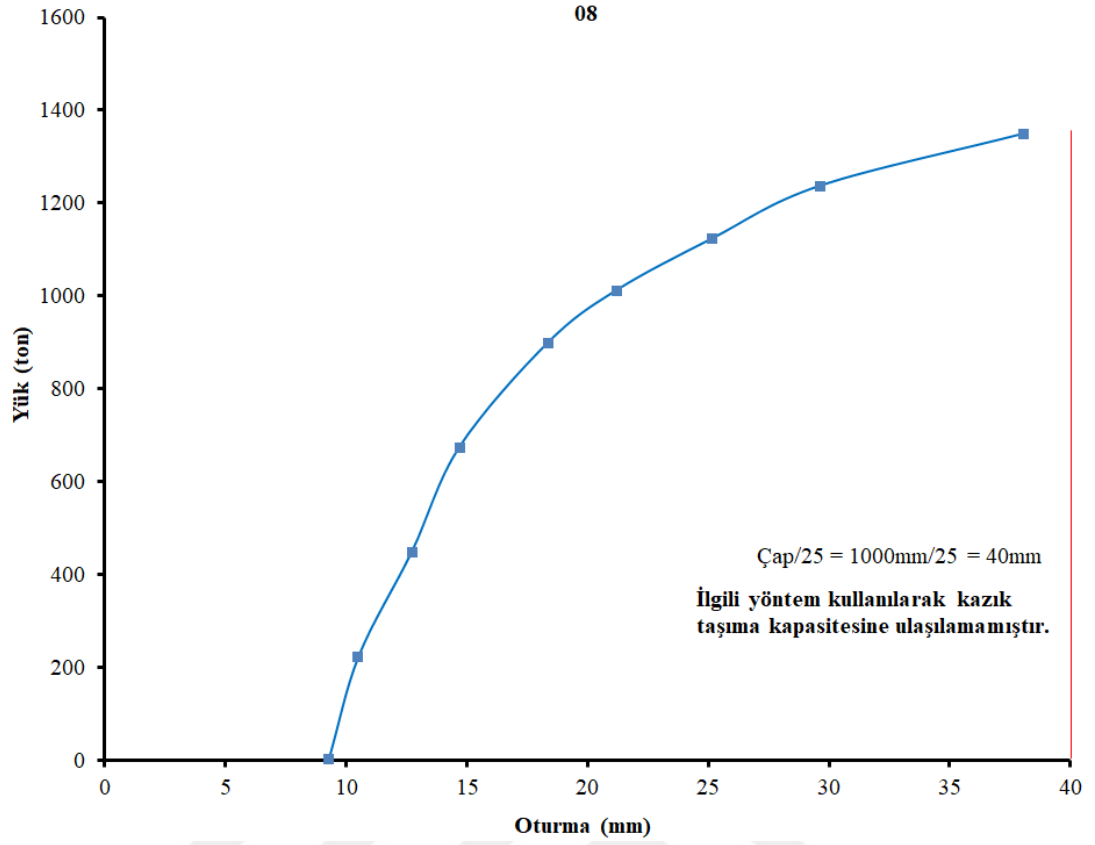
Şekil B.106 : Deney No 8 De Beer yöntemi.



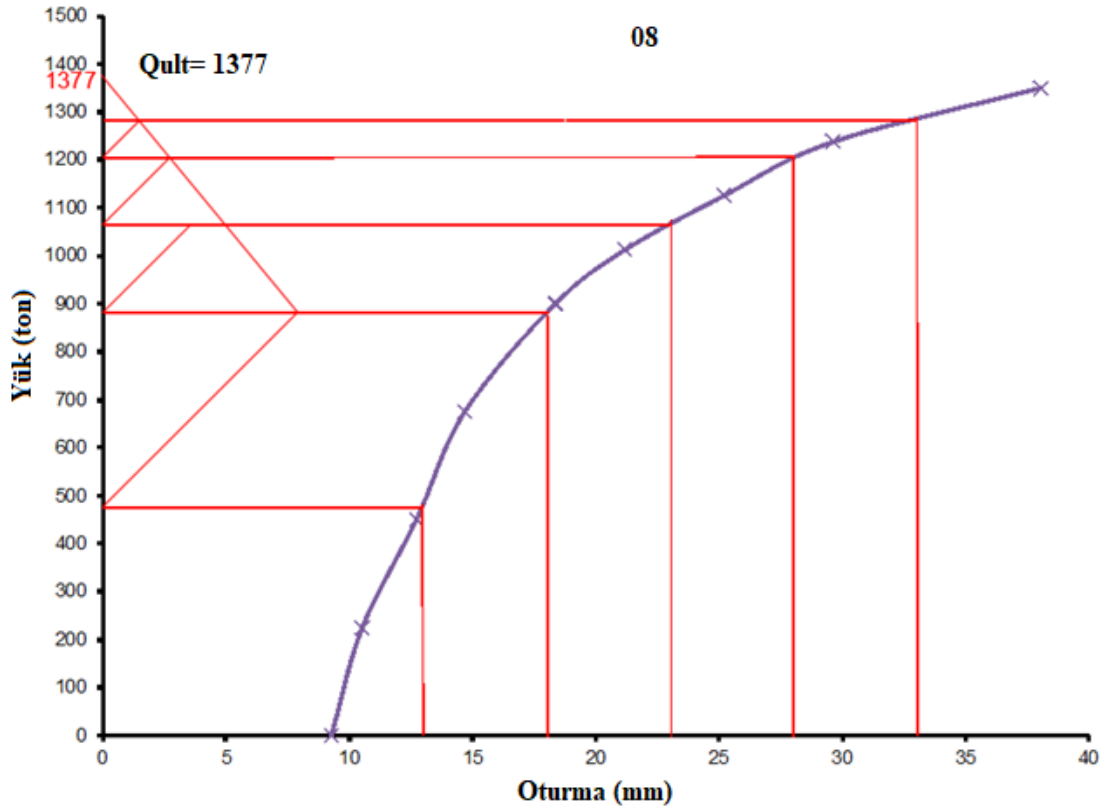
Şekil B.107 : Deney No 8 Decourt yöntemi.



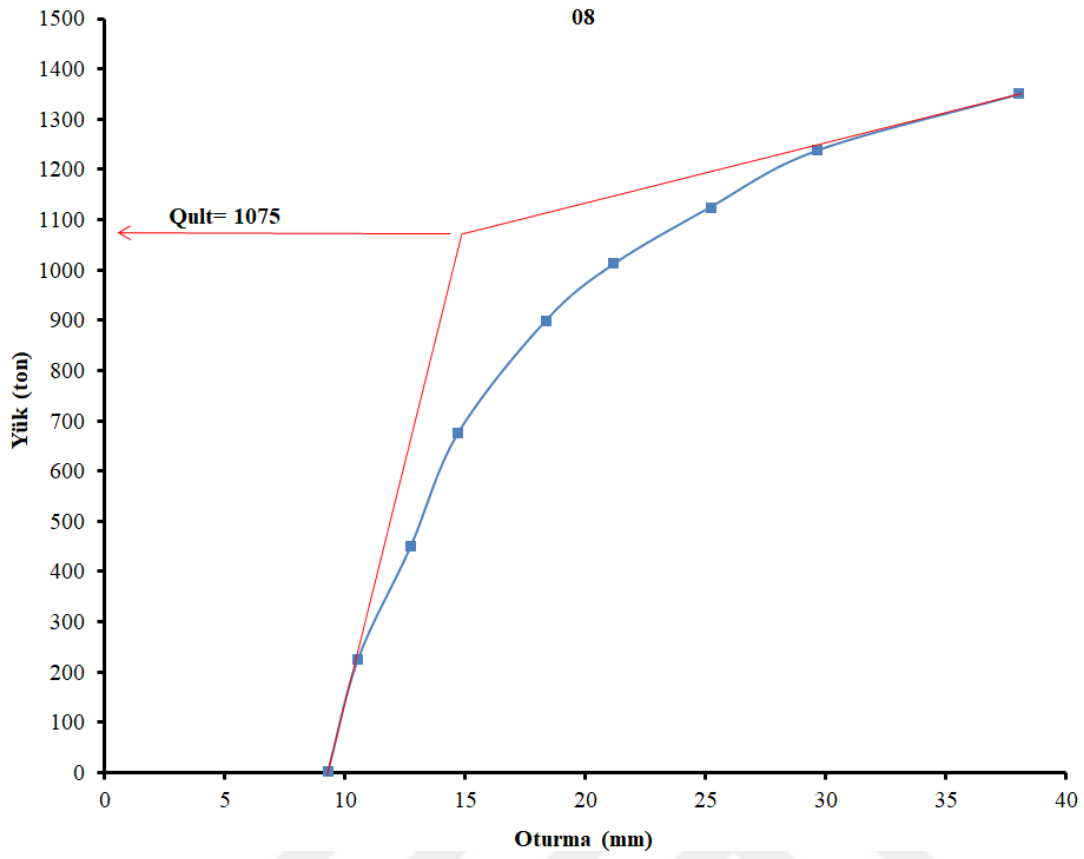
Şekil B.108 : Deney No 8 Fuller - Hoy yöntemi.



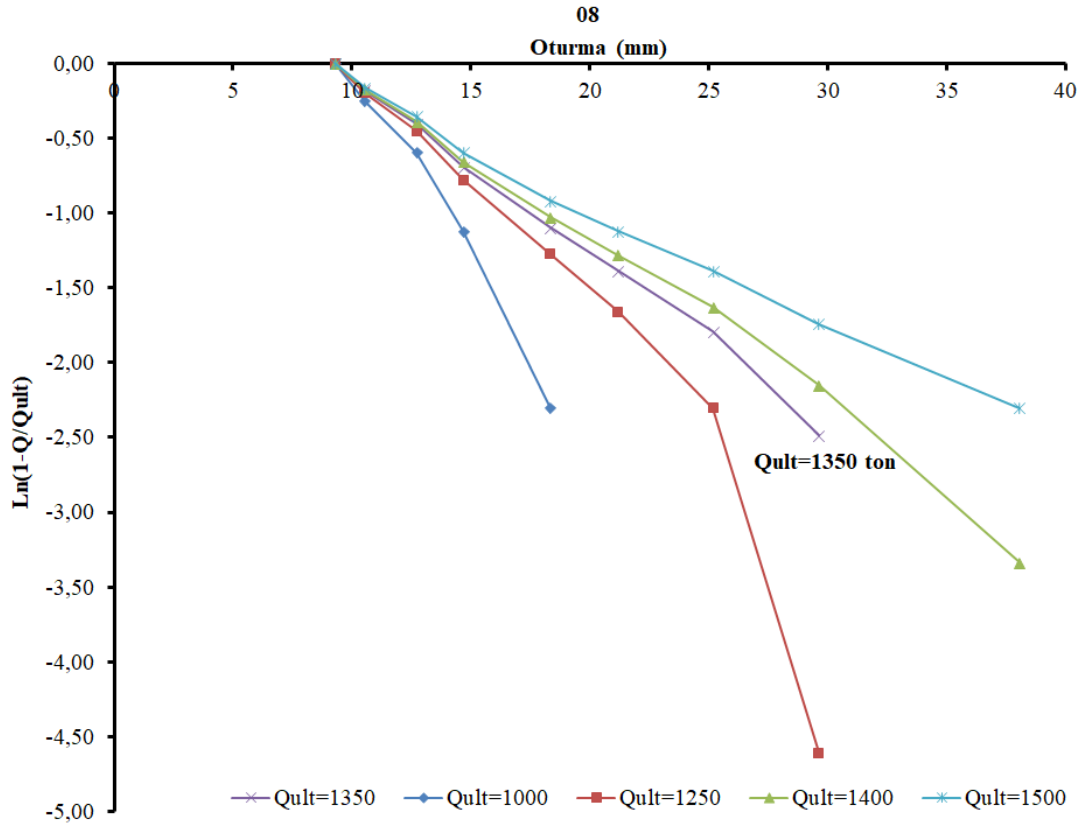
Şekil B.109 : Deney No 8 Hirany - Kulhawy yöntemi.



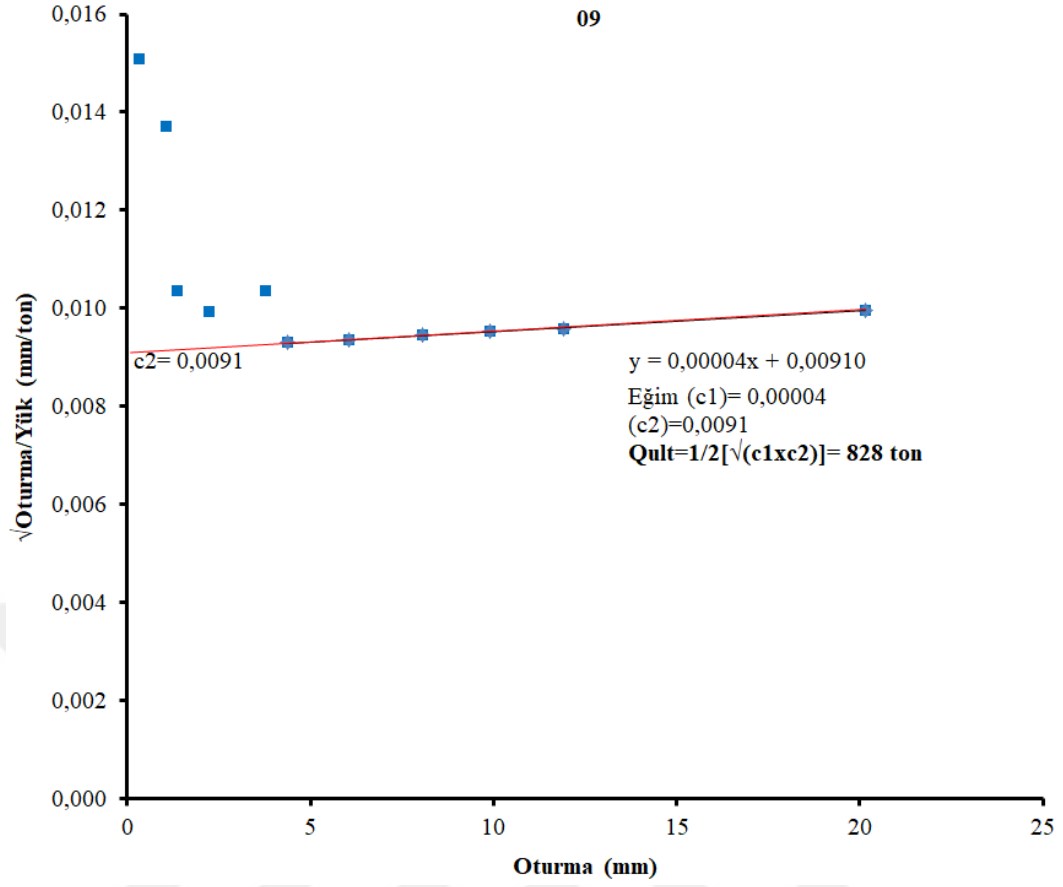
Şekil B.110 : Deney No 8 Mazurkiewicz yöntemi.



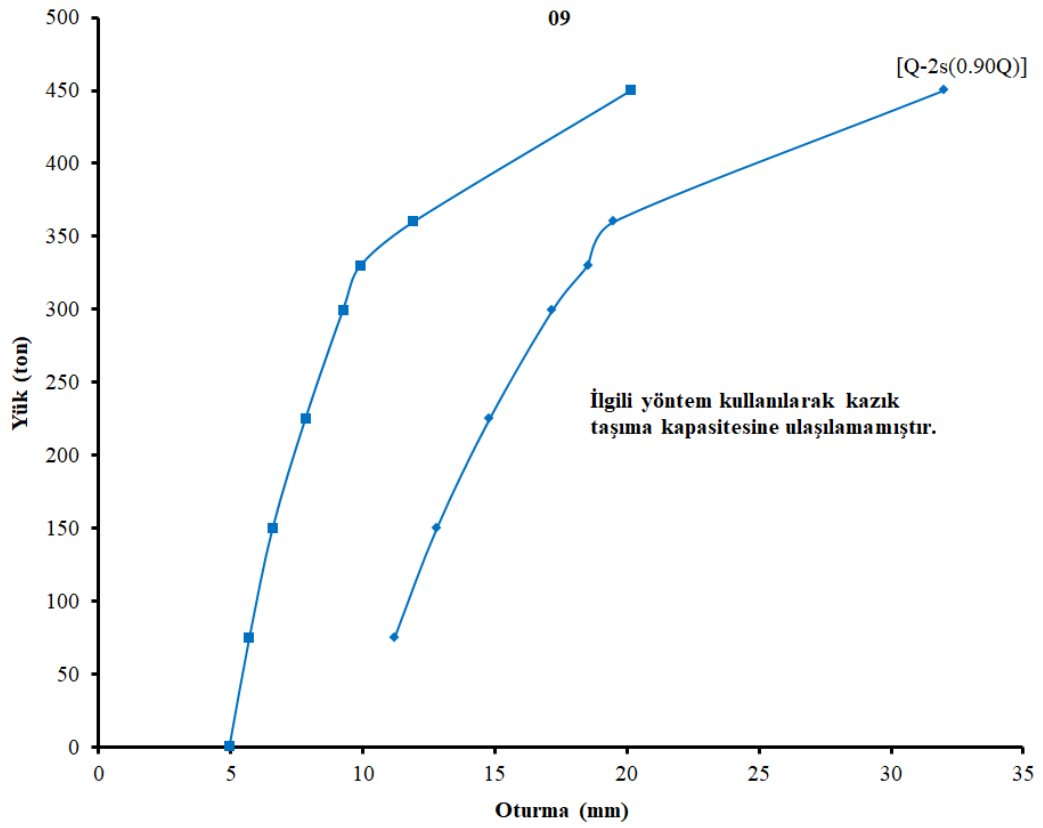
Şekil B.111 : Deney No 8 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



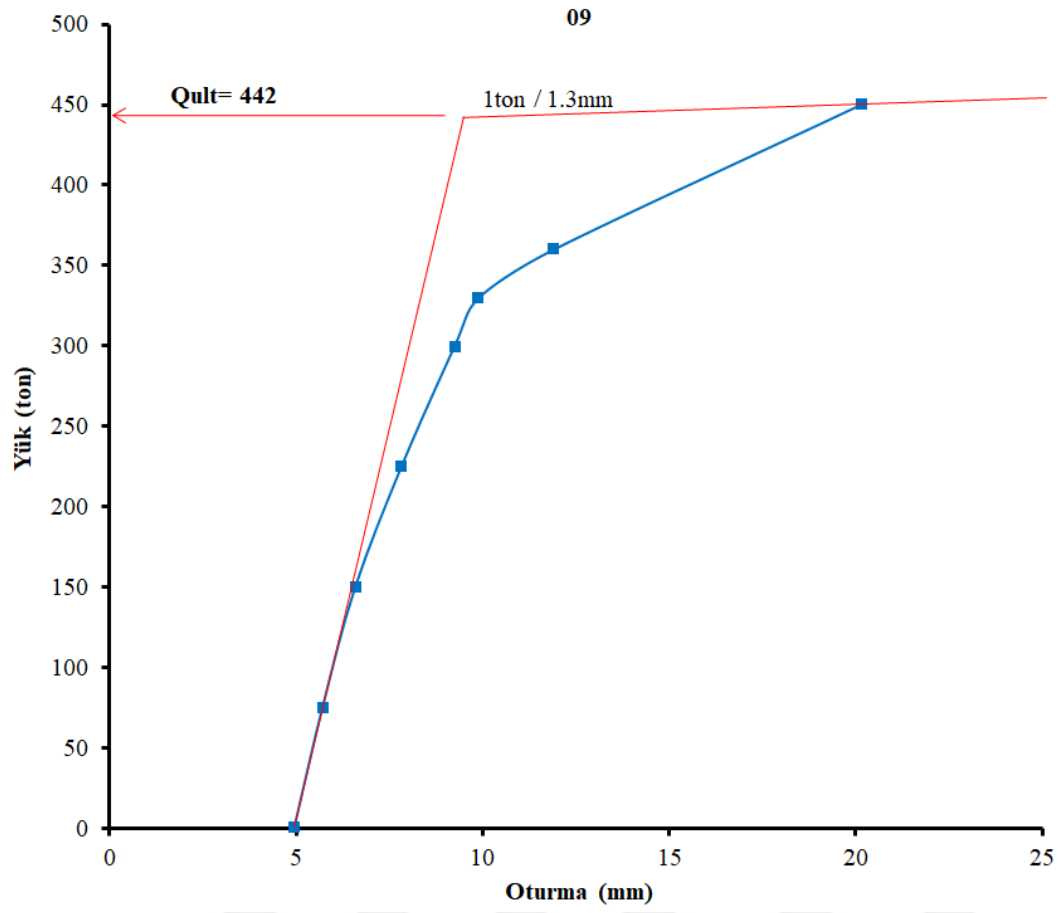
Şekil B.112 : Deney No 8 Van Der Veen yöntemi.



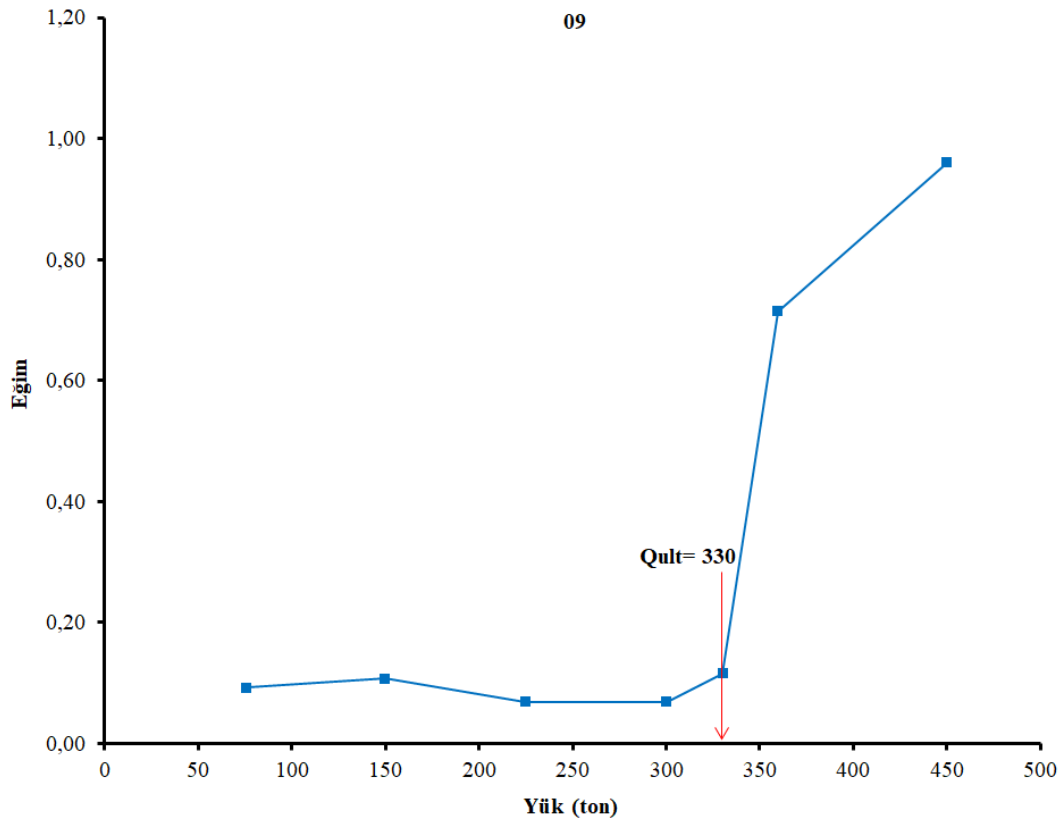
Şekil B.113 : Deney No 9 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



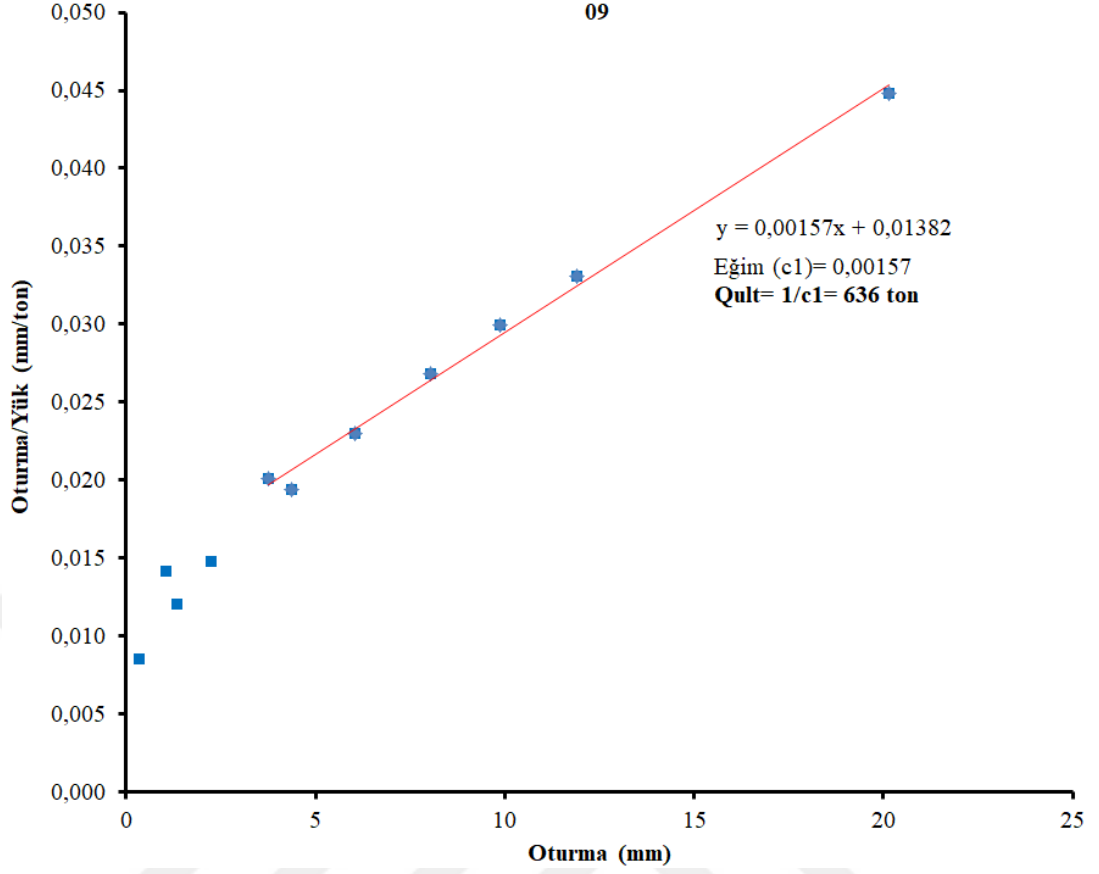
Şekil B.114 : Deney No 9 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



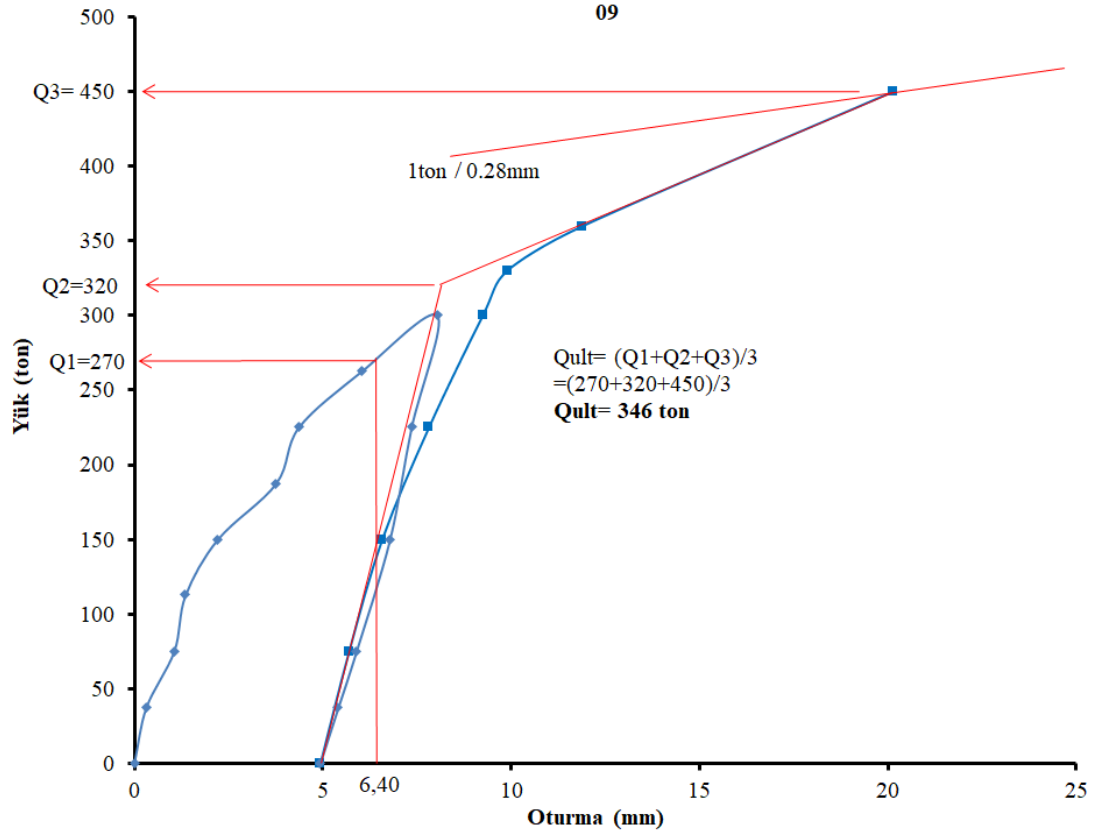
Şekil B.115 : Deney No 9 Butler - Hoy yöntemi.



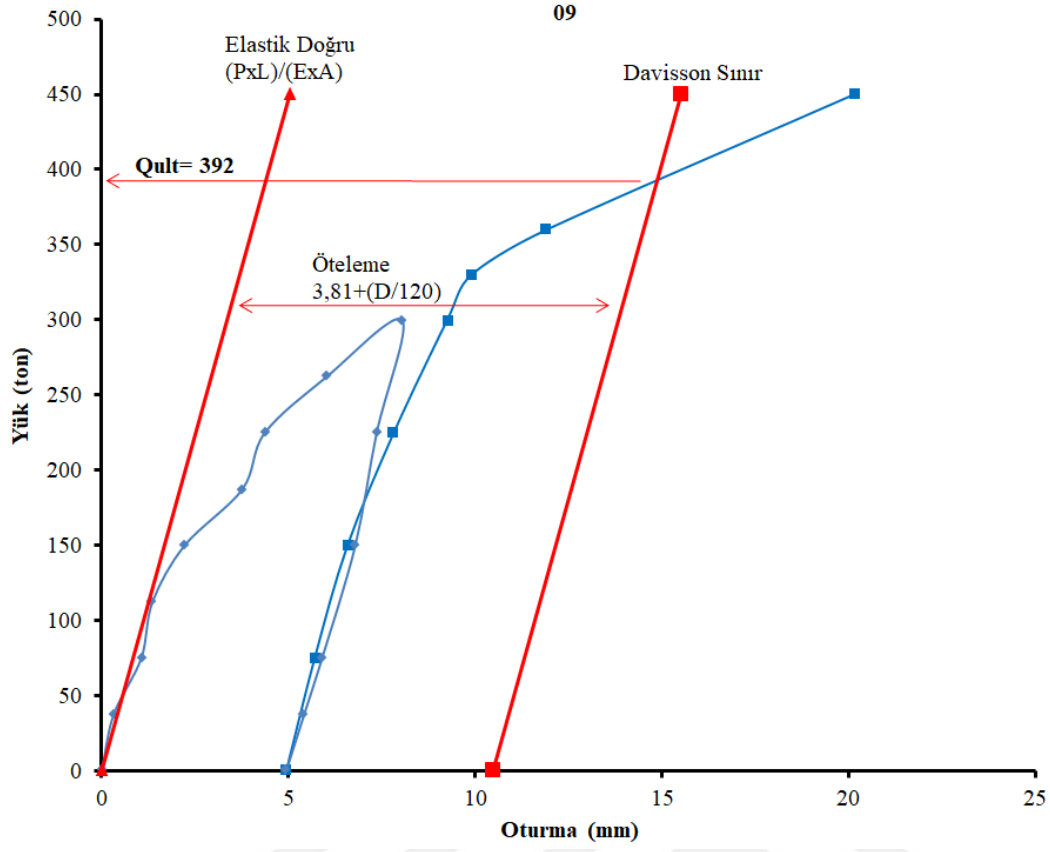
Şekil B.116 : Deney No 9 Cambeftort - Chadeisson yöntemi.



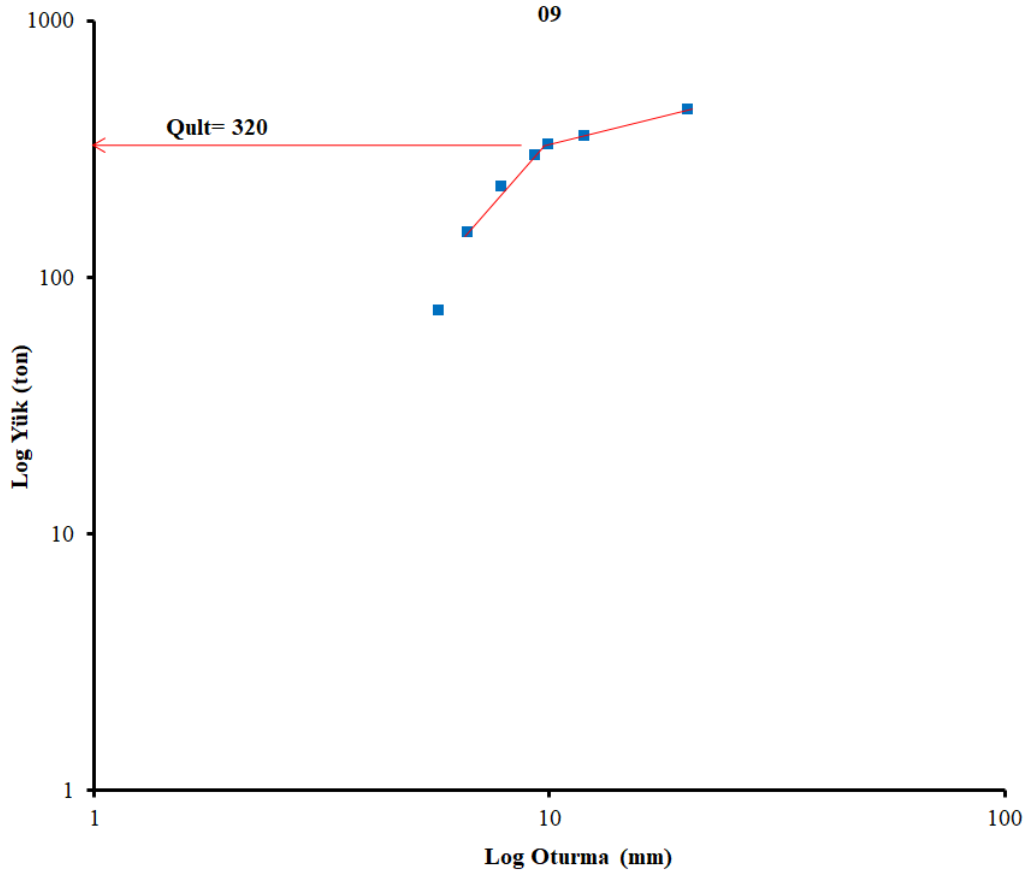
Şekil B.117 : Deney No 9 Chin - Kondner yöntemi.



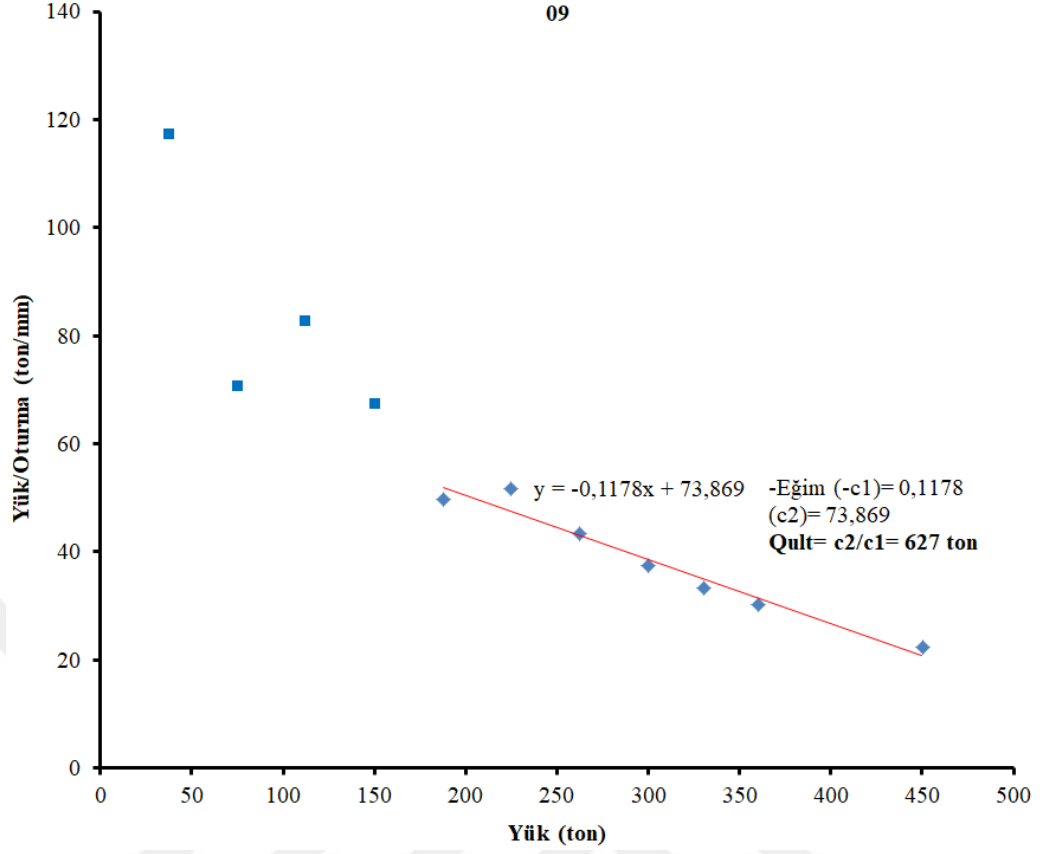
Şekil B.118 : Deney No 9 Corps of Engineers yöntemi.



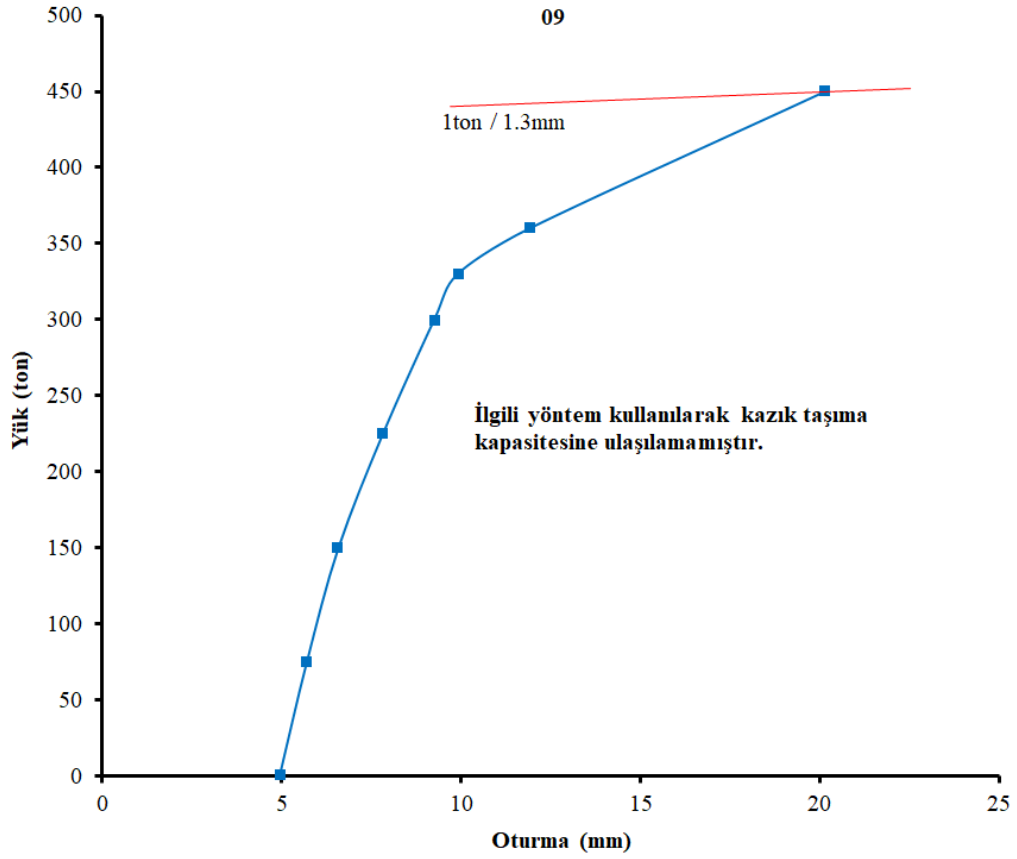
Şekil B.119 : Deney No 9 Davisson yöntemi.



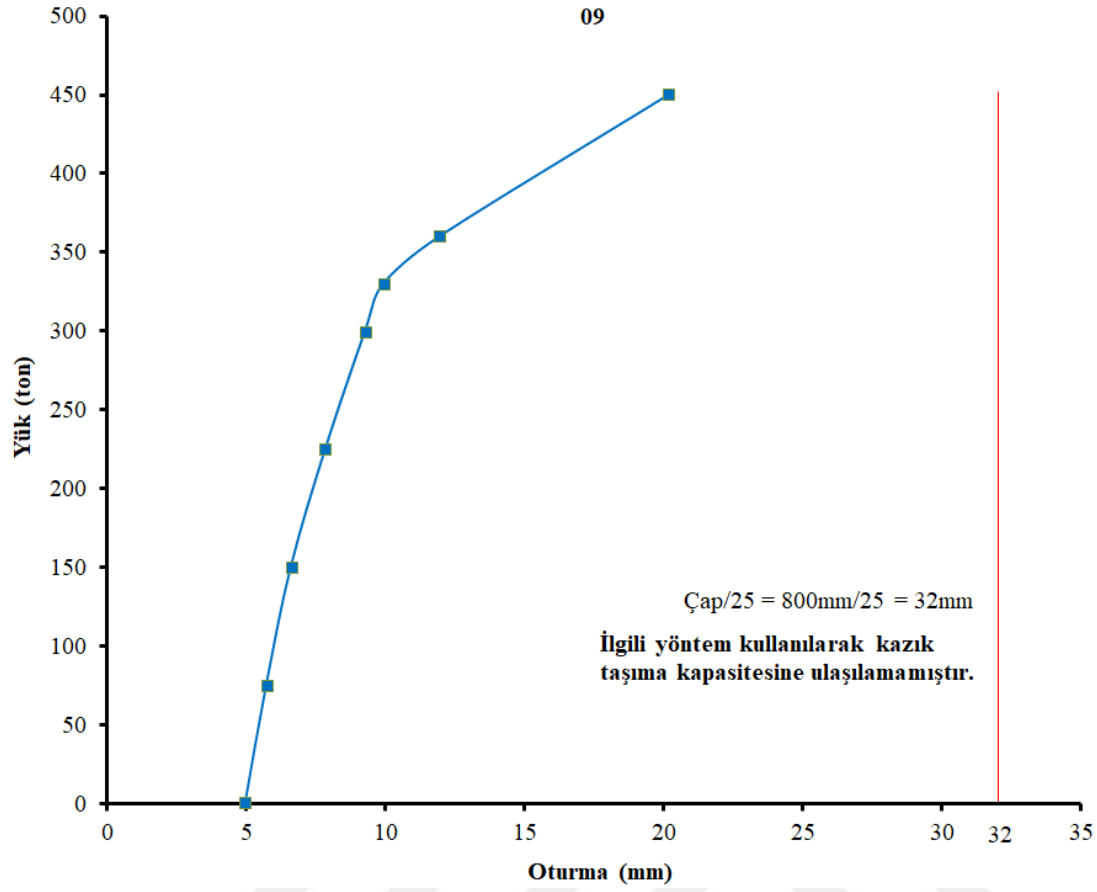
Şekil B.120 : Deney No 9 De Beer yöntemi.



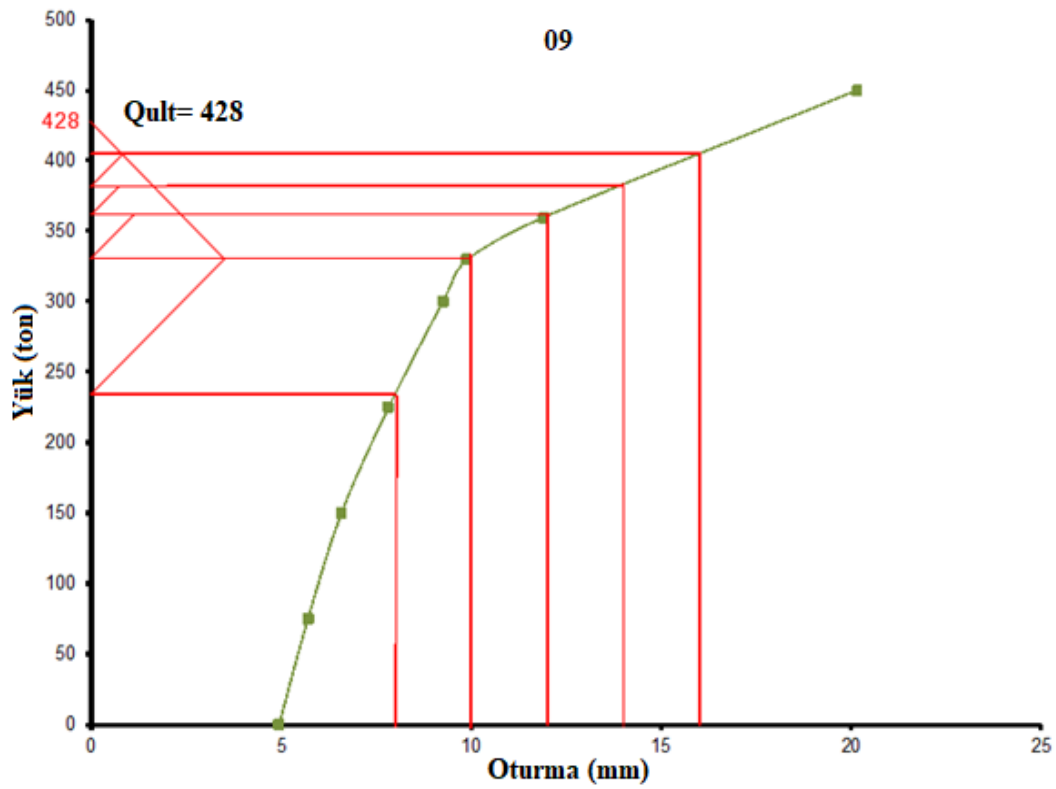
Şekil B.121 : Deney No 9 Decourt yöntemi.



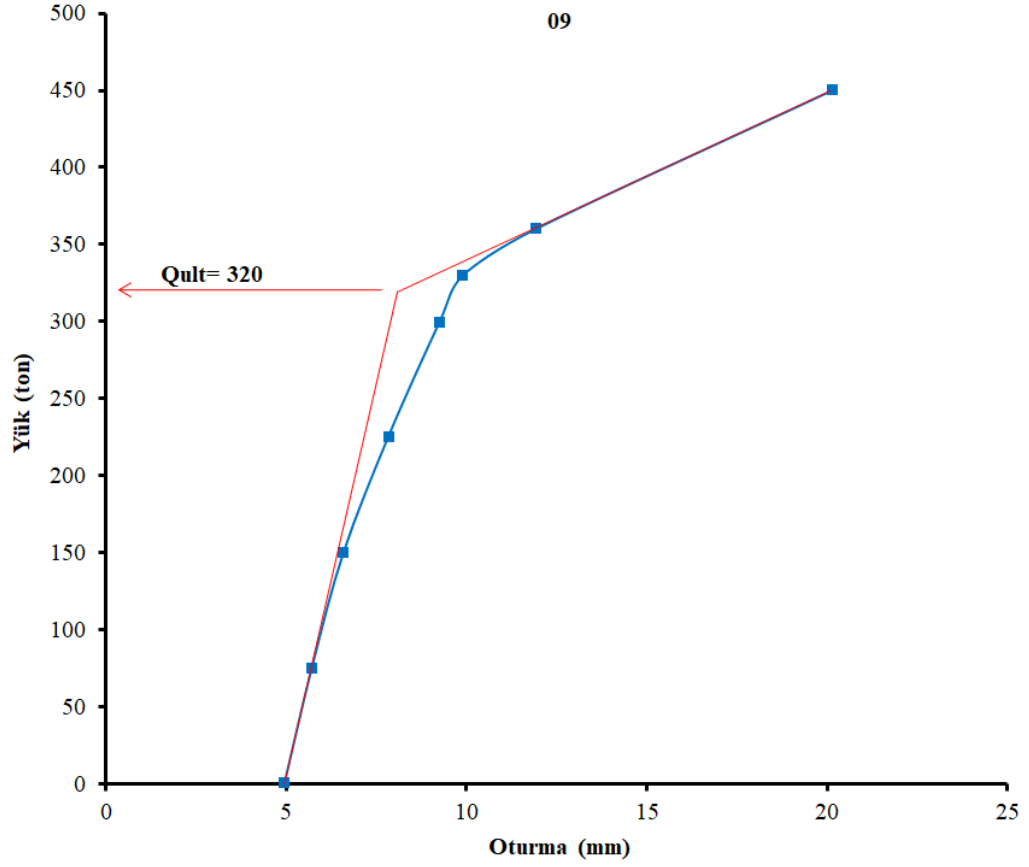
Şekil B.122 : Deney No 9 Fuller - Hoy yöntemi.



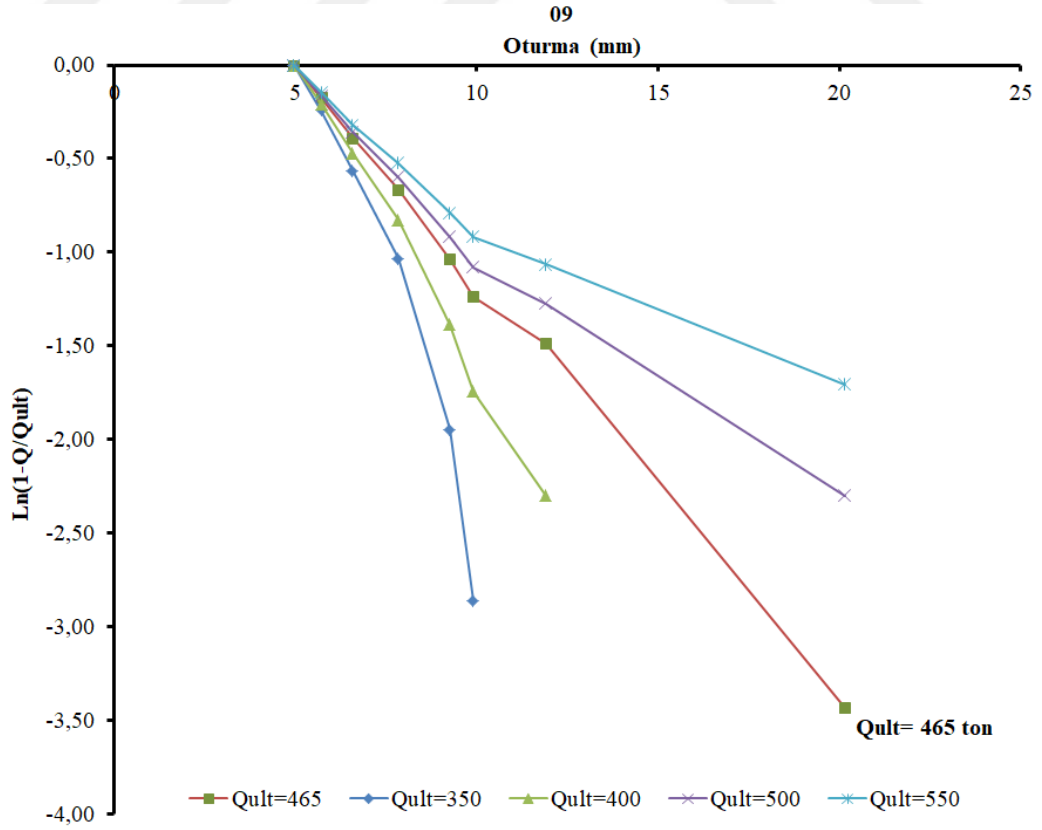
Şekil B.123 : Deney No 9 Hirany - Kulhawy yöntemi.



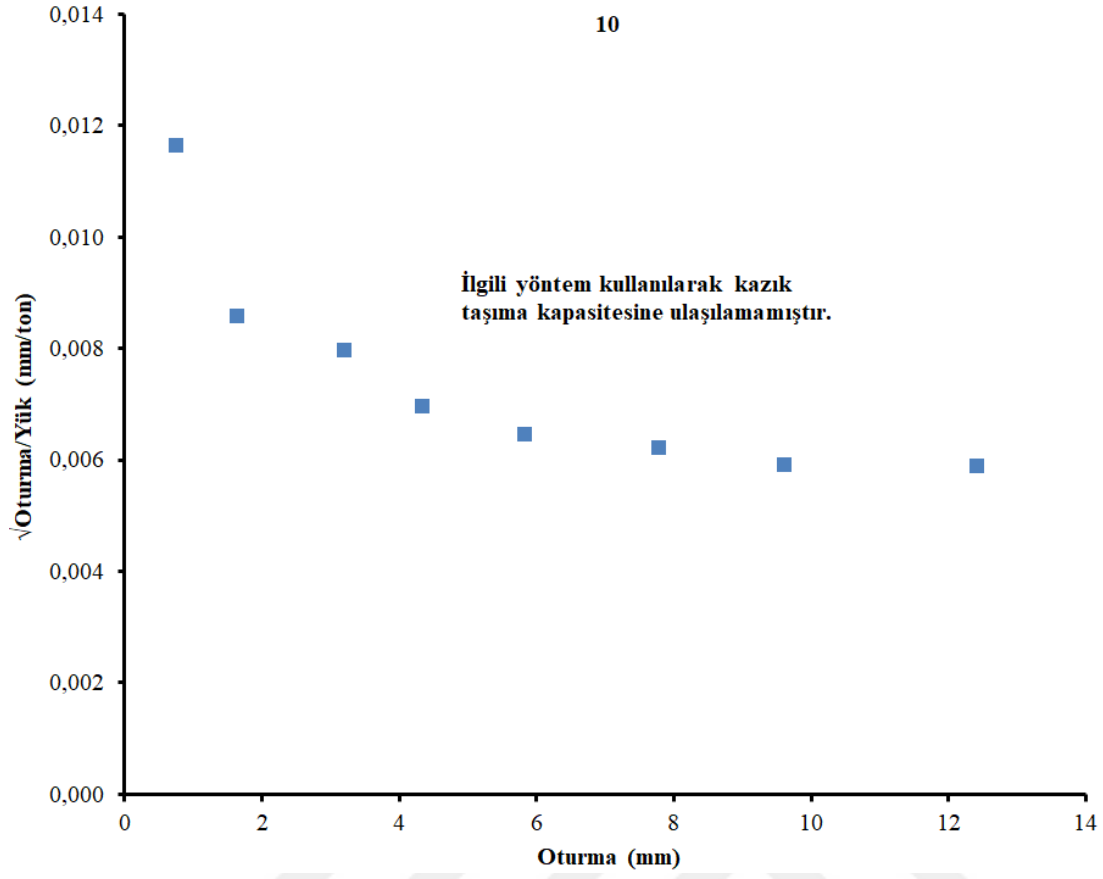
Şekil B.124 : Deney No 9 Mazurkiewicz yöntemi.



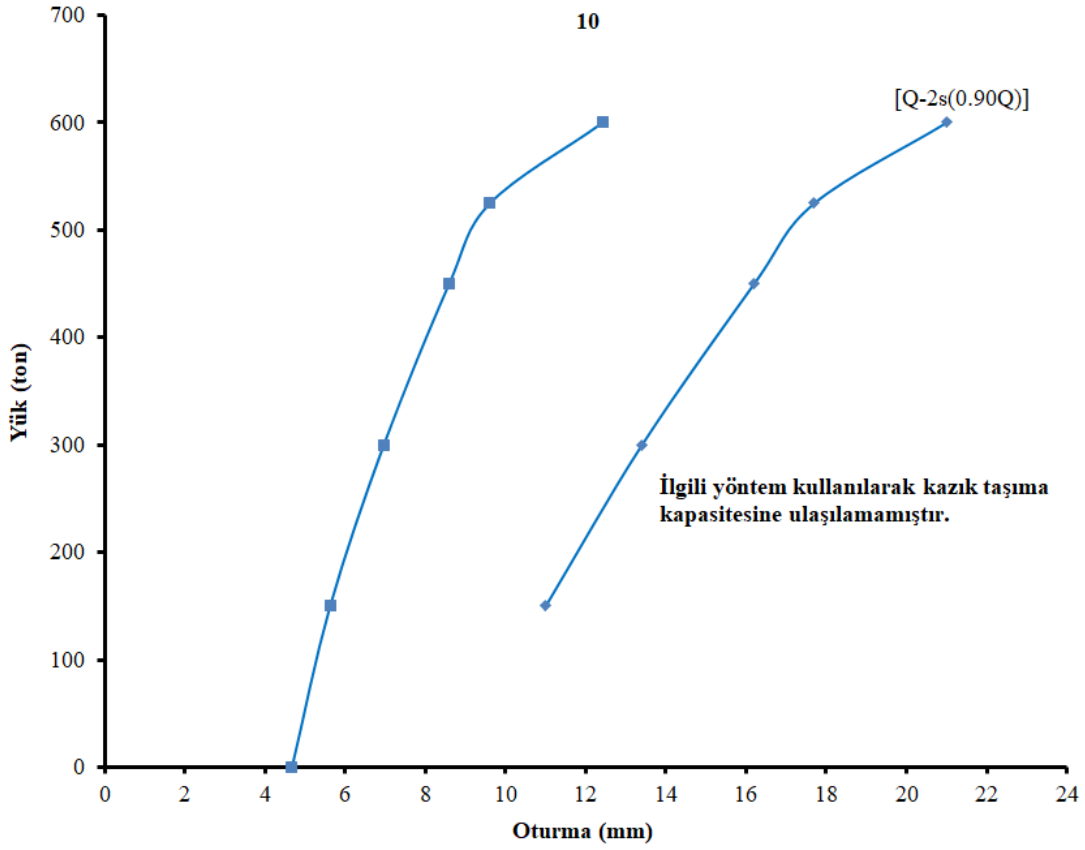
Şekil B.125 : Deney No 9 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



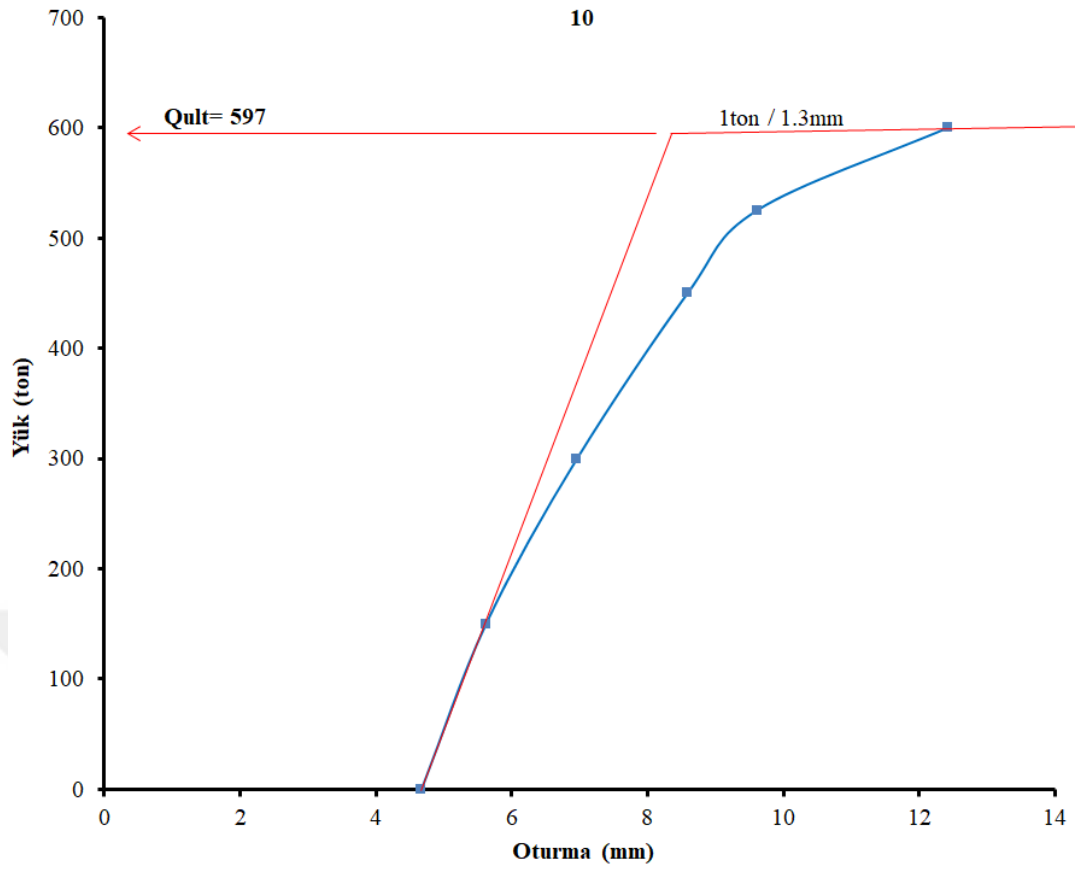
Şekil B.126 : Deney No 9 Van Der Veen yöntemi.



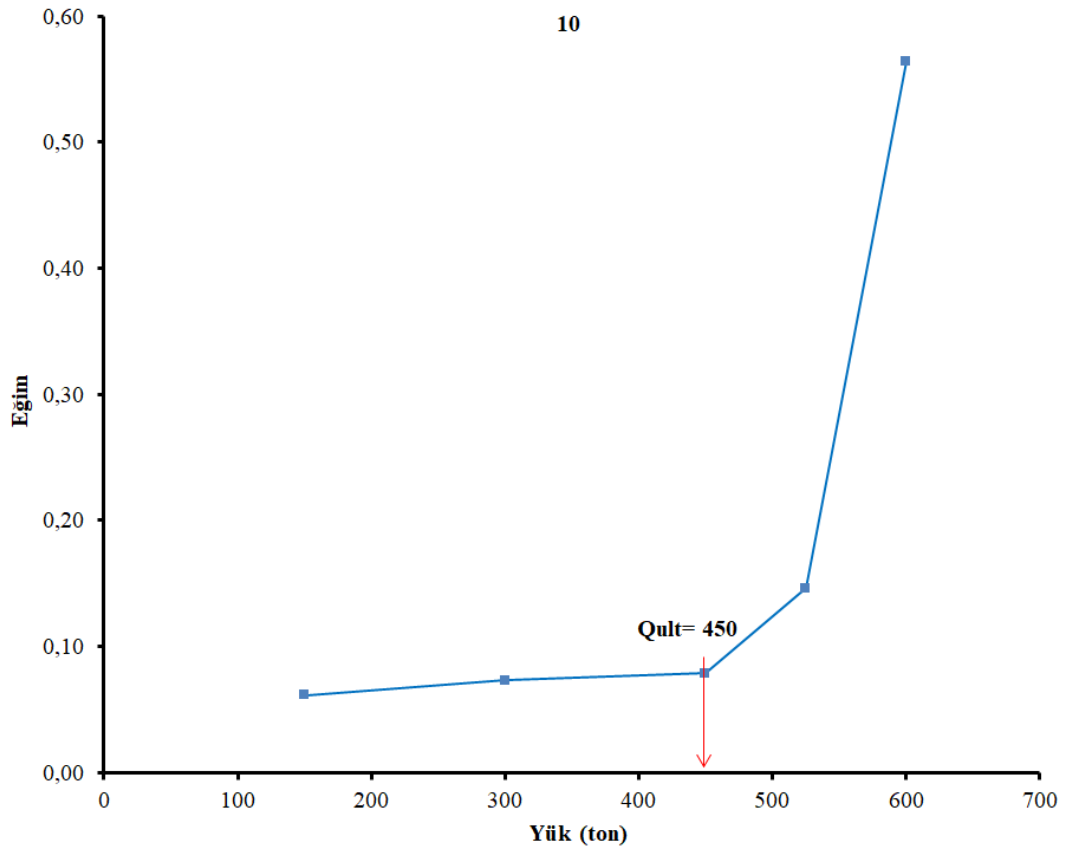
Şekil B.127 : Deney No 10 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



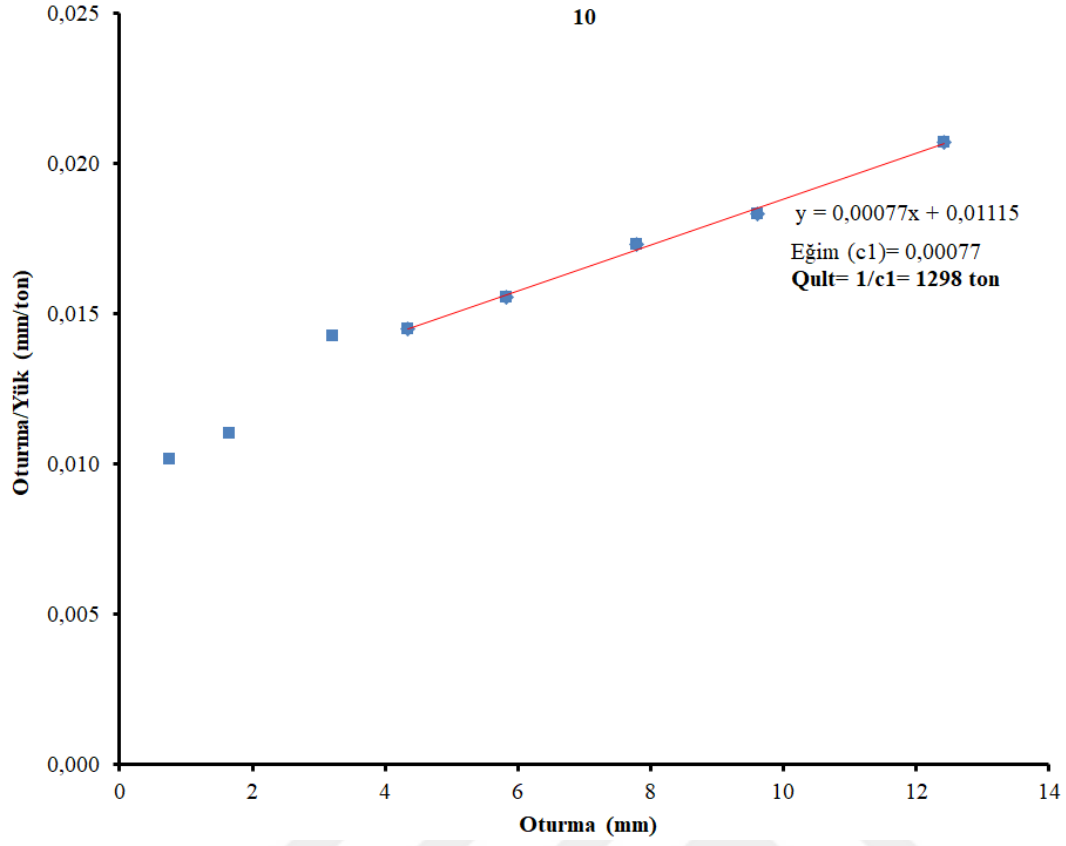
Şekil B.128 : Deney No 10 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



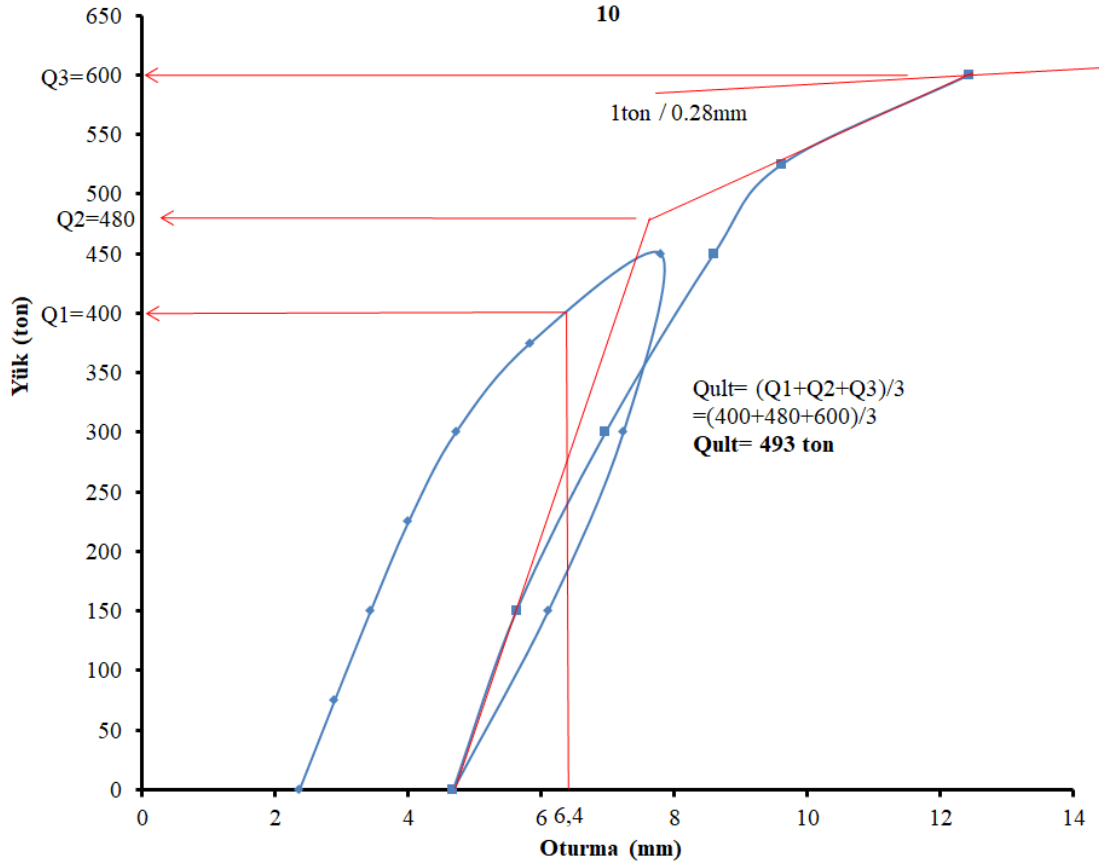
Şekil B.129 : Deney No 10 Butler - Hoy yöntemi.



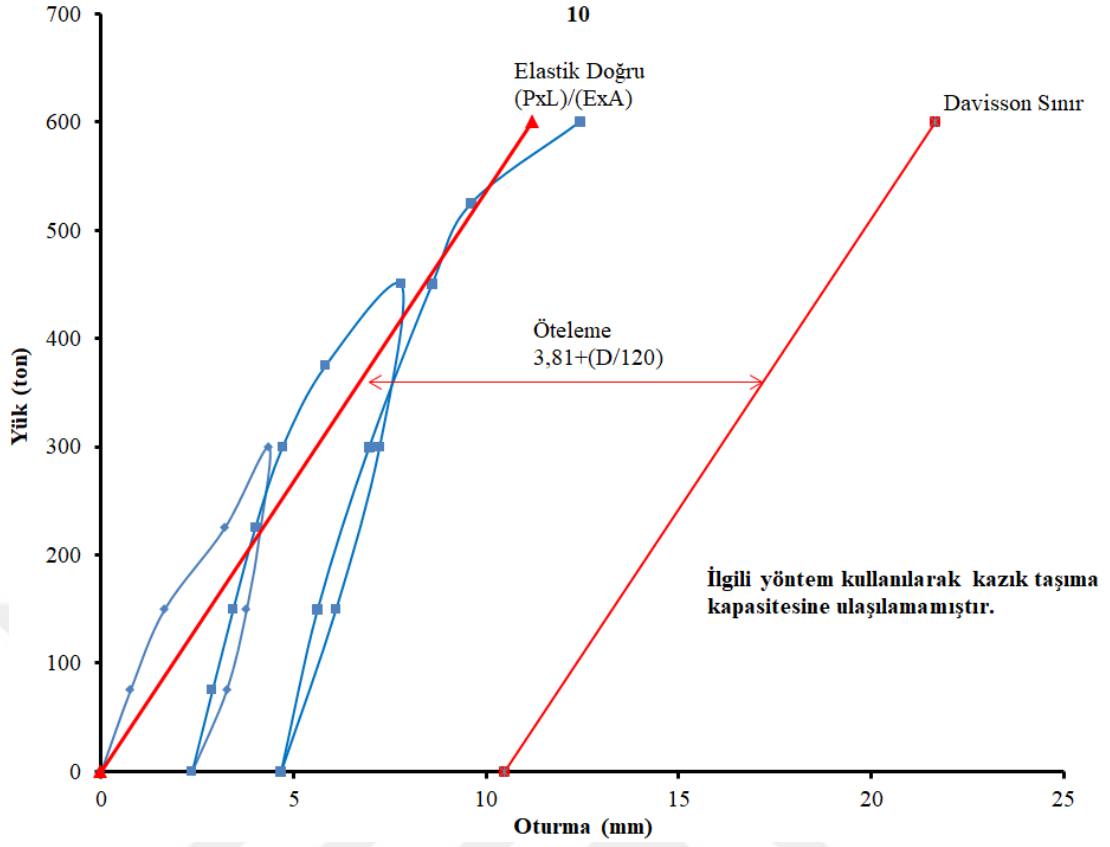
Şekil B.130 : Deney No 10 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



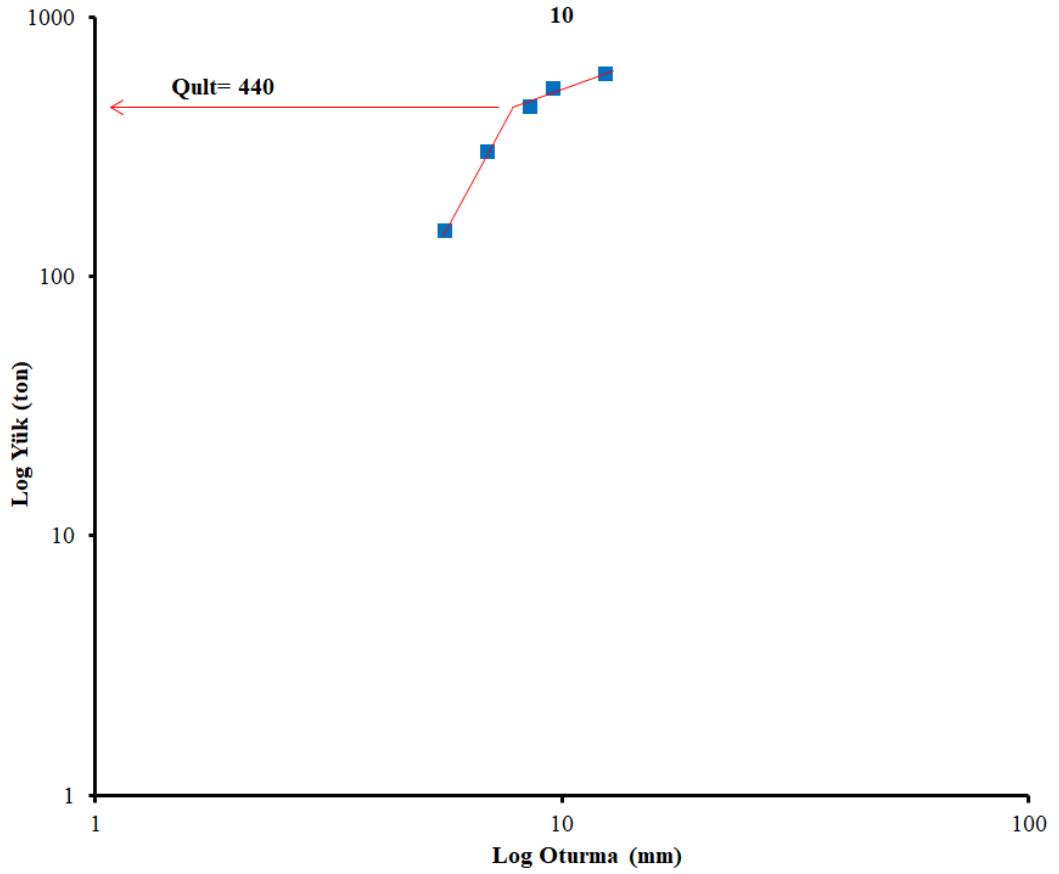
Şekil B.131 : Deney No 10 Chin - Kondner yöntemi.



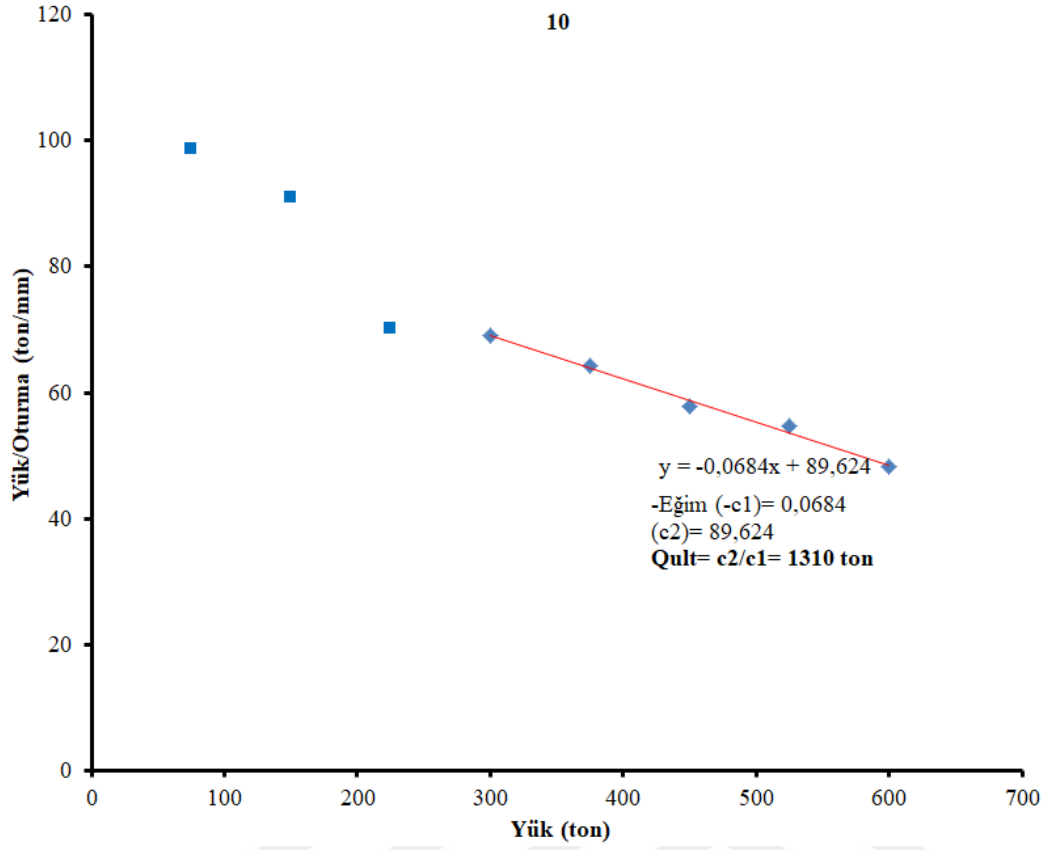
Şekil B.132 : Deney No 10 Corps of Engineers yöntemi.



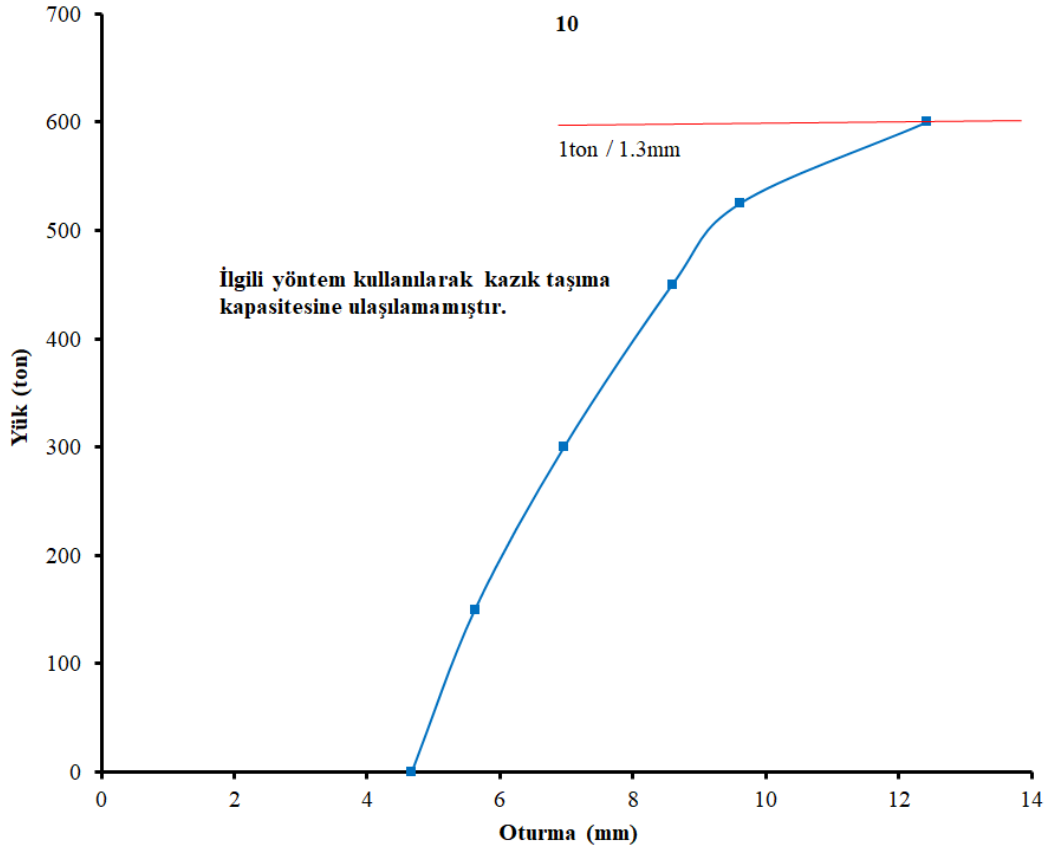
Şekil B.133 : Deney No 10 Davisson yöntemi.



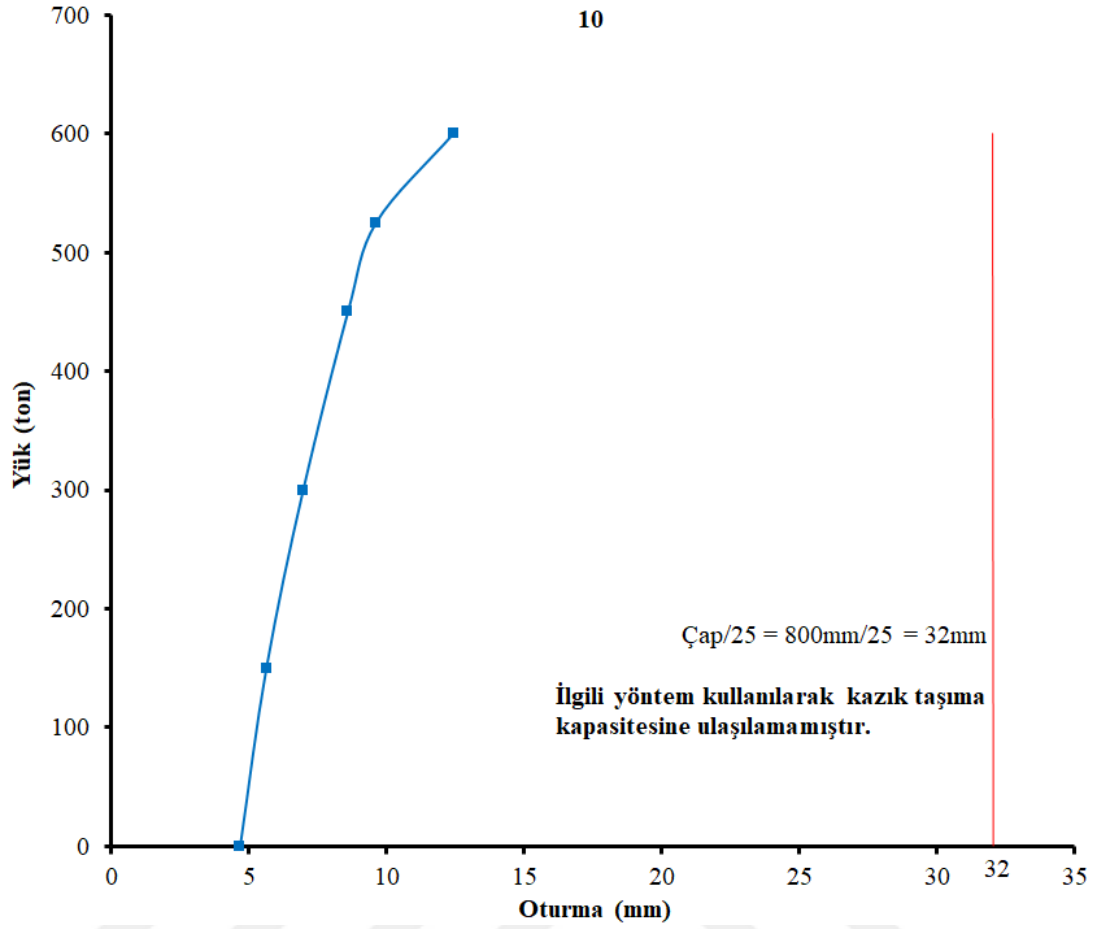
Şekil B.134 : Deney No 10 De Beer yöntemi.



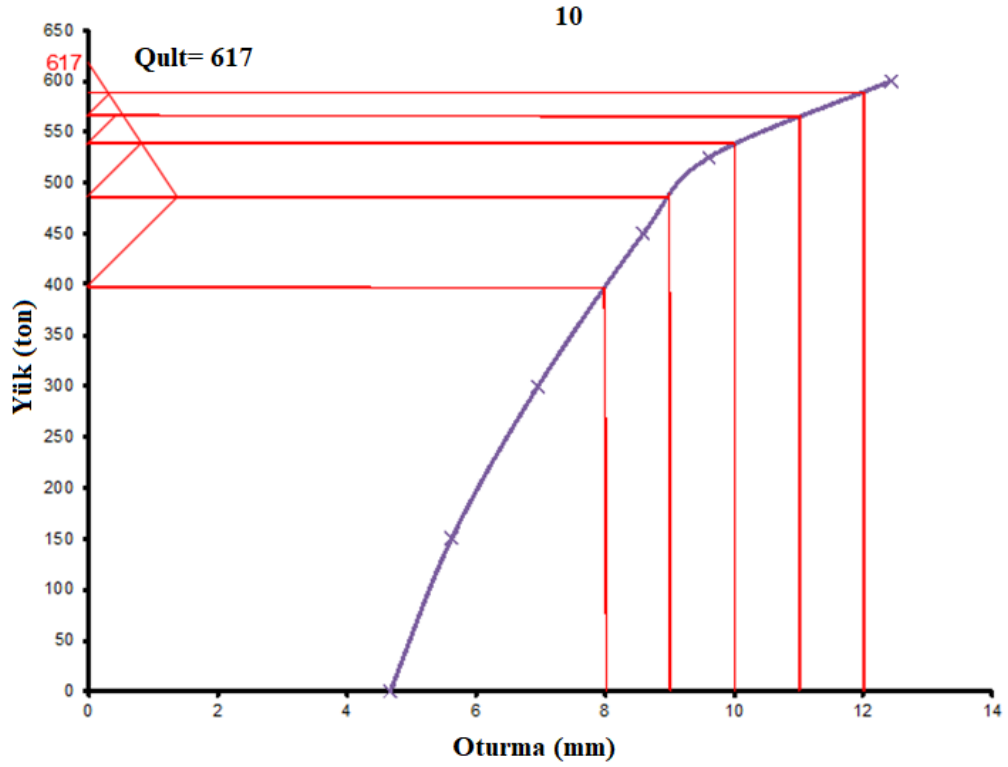
Şekil B.135 : Deney No 10 Decourt yöntemi.



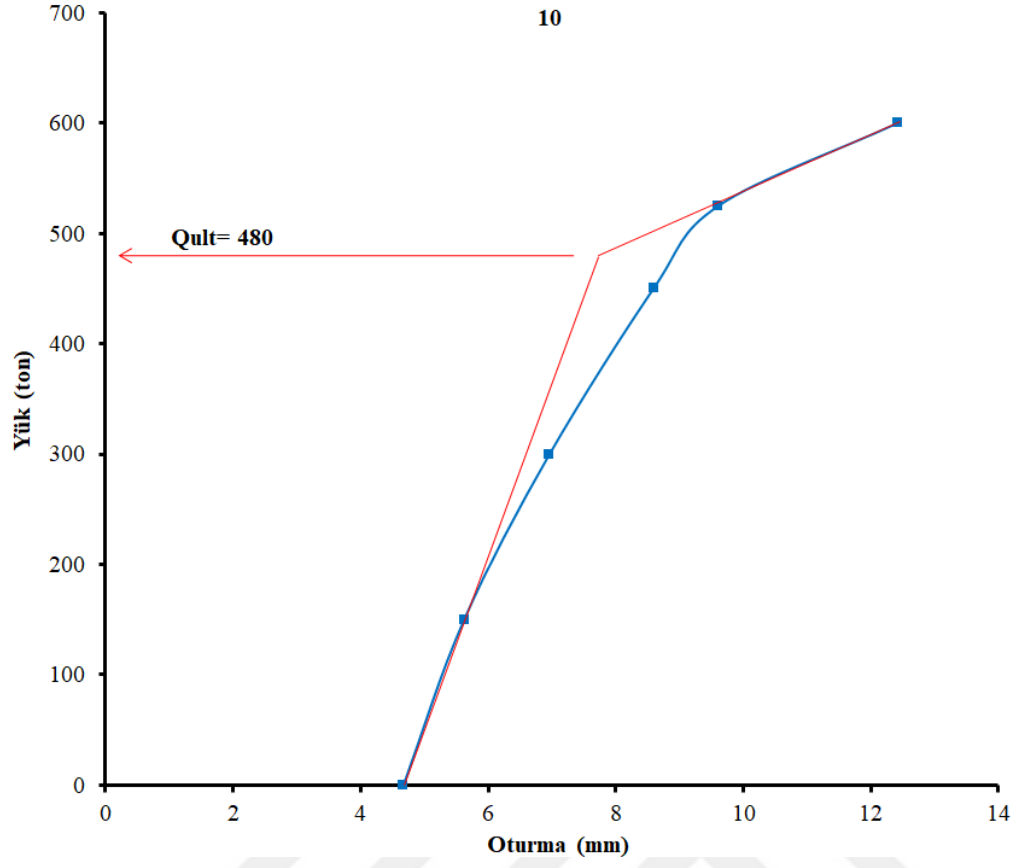
Şekil B.136 : Deney No 10 Fuller - Hoy yöntemi.



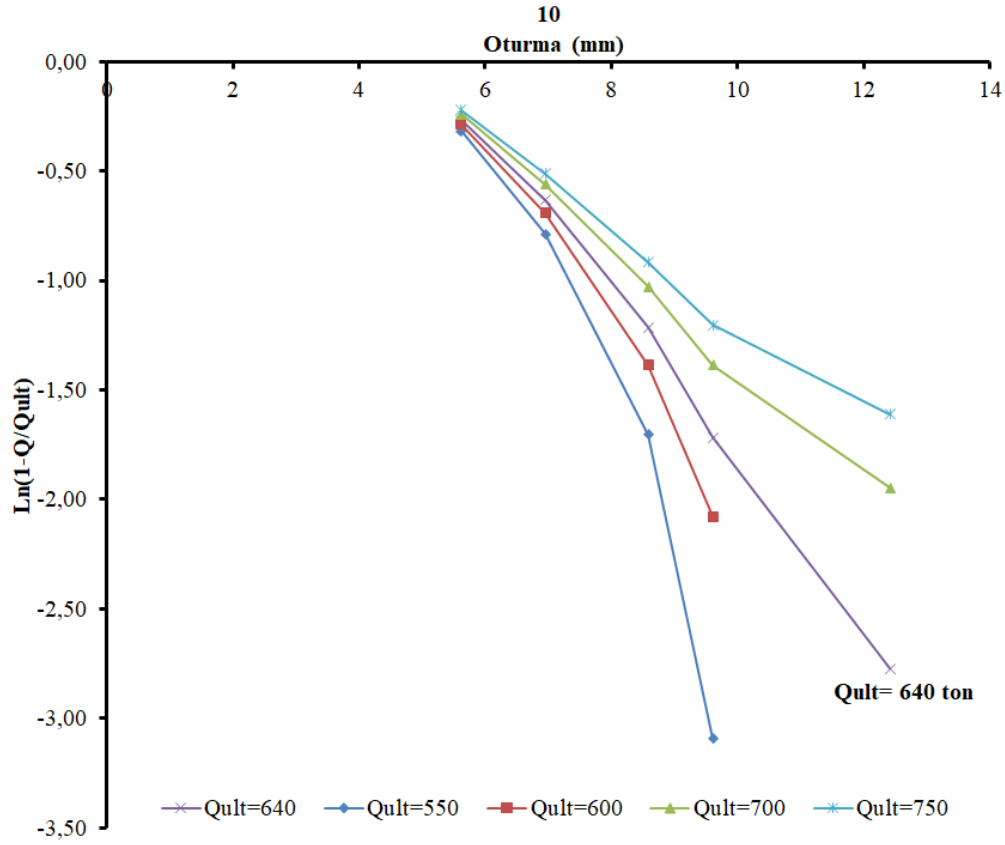
Şekil B.137 : Deney No 10 Hirany - Kulhawey yöntemi.



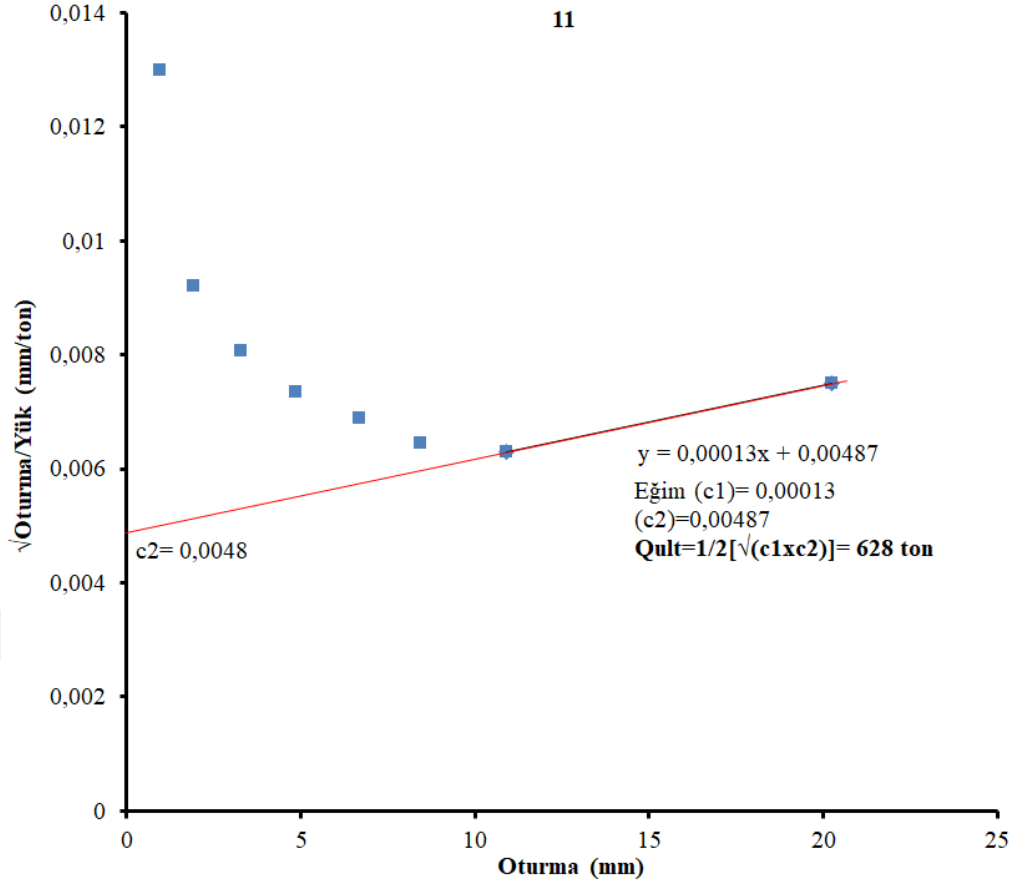
Şekil B.138 : Deney No 10 Mazurkiewicz yöntemi.



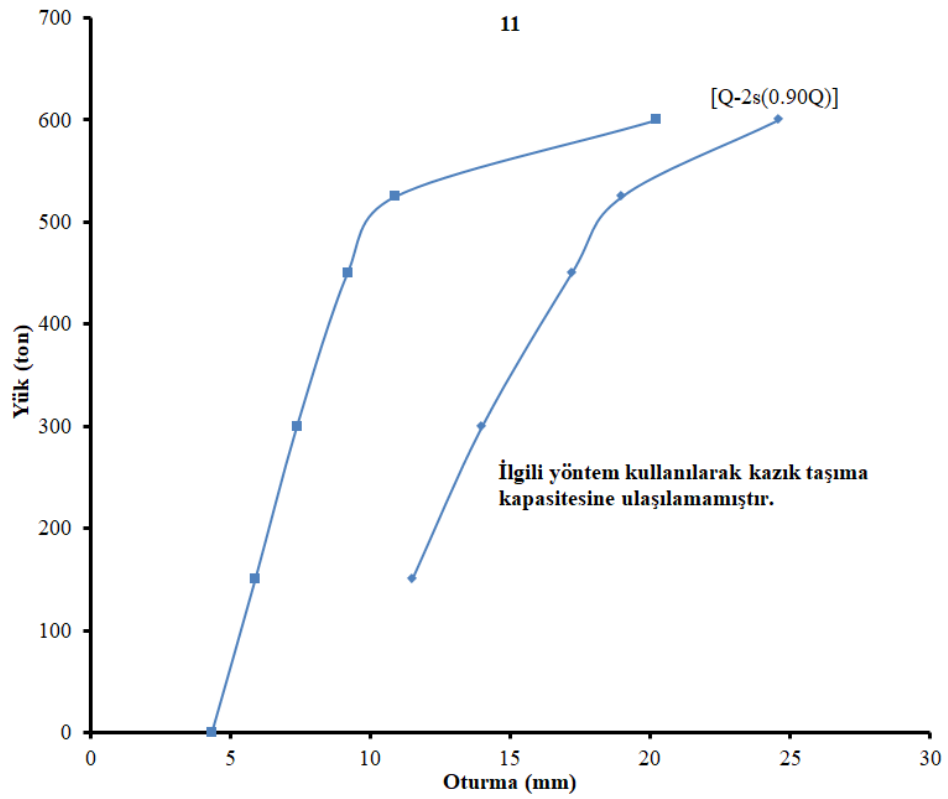
Şekil B.139 : Deney No 10 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



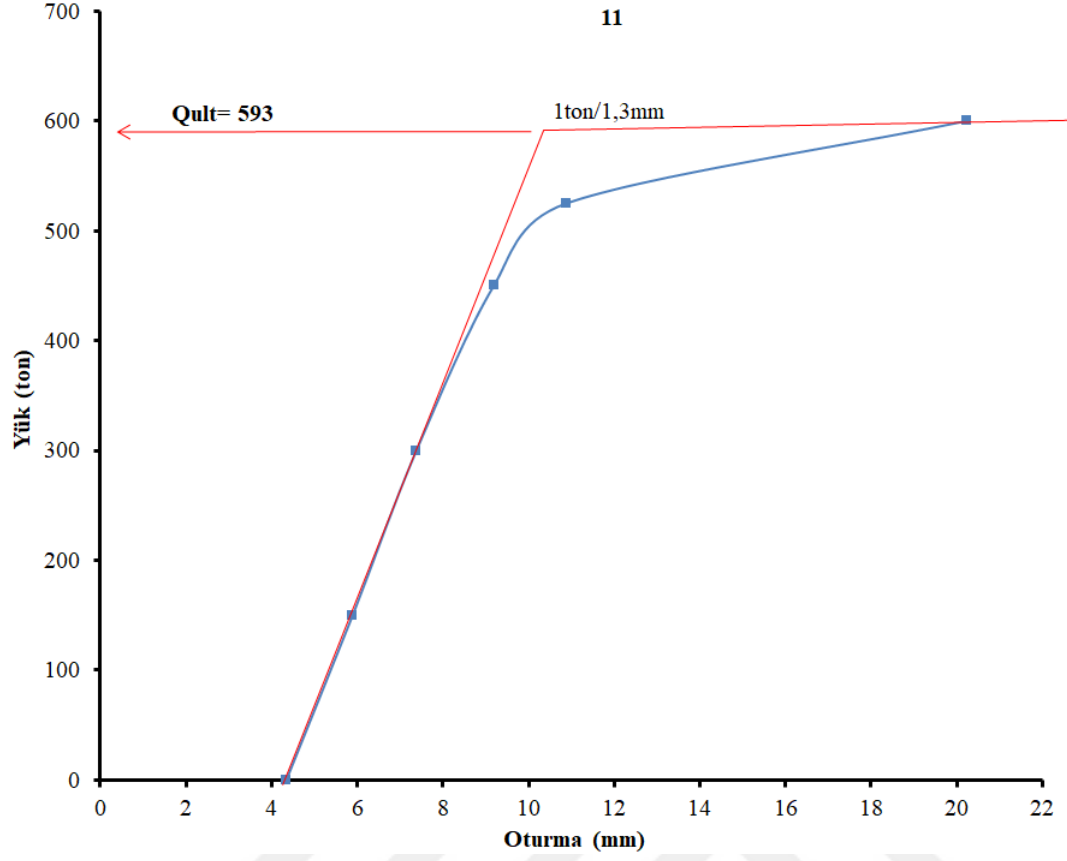
Şekil B.140 : Deney No 10 Van Der Veen yöntemi.



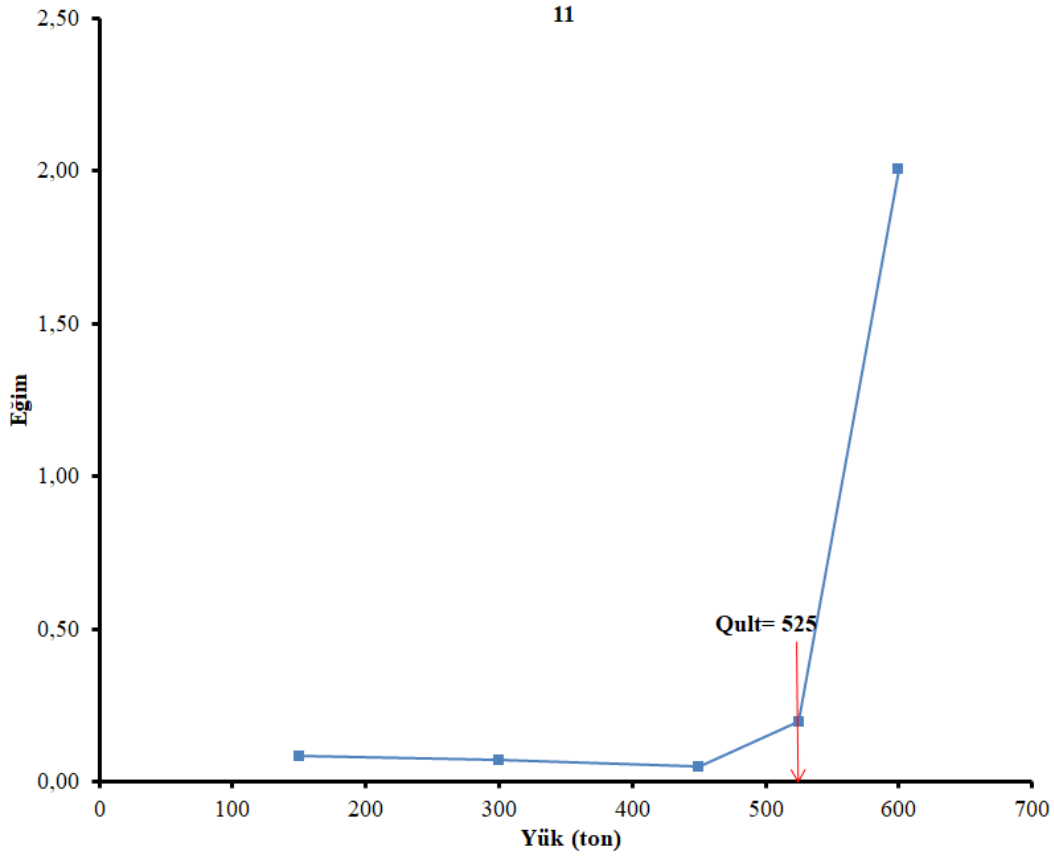
Şekil B.141 : Deney No 11 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



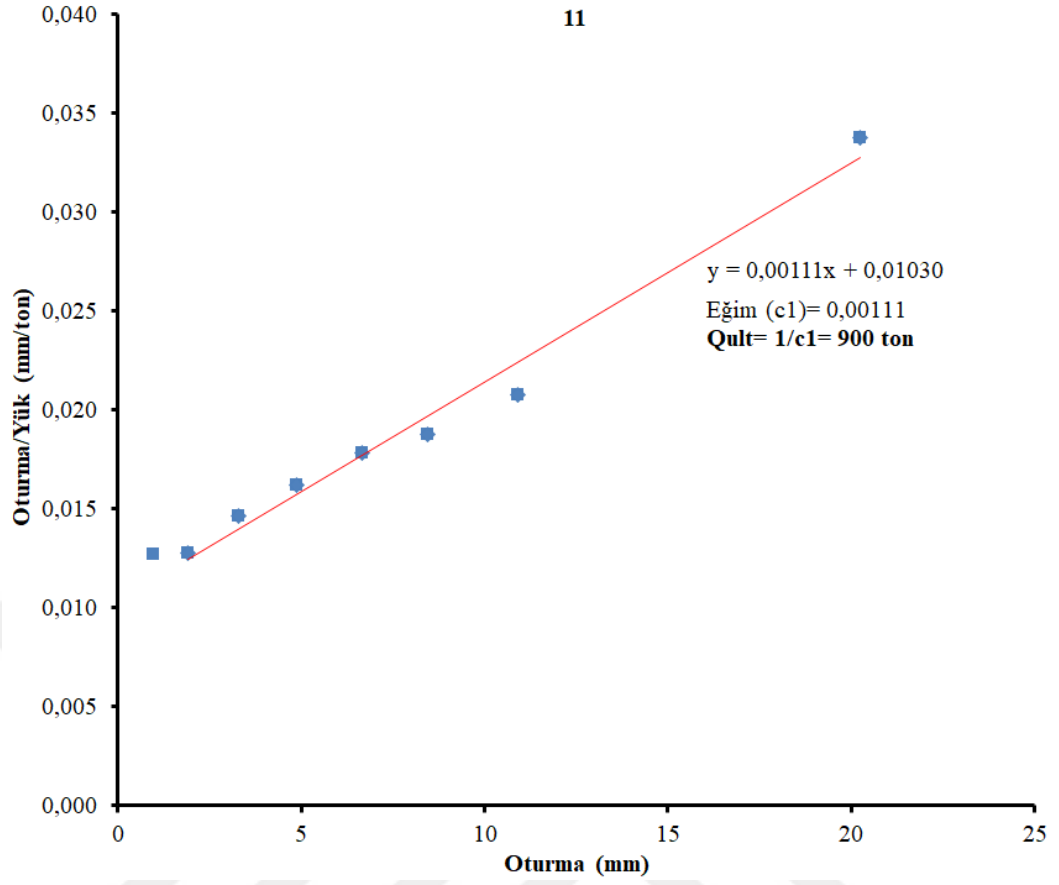
Şekil B.142 : Deney No 11 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



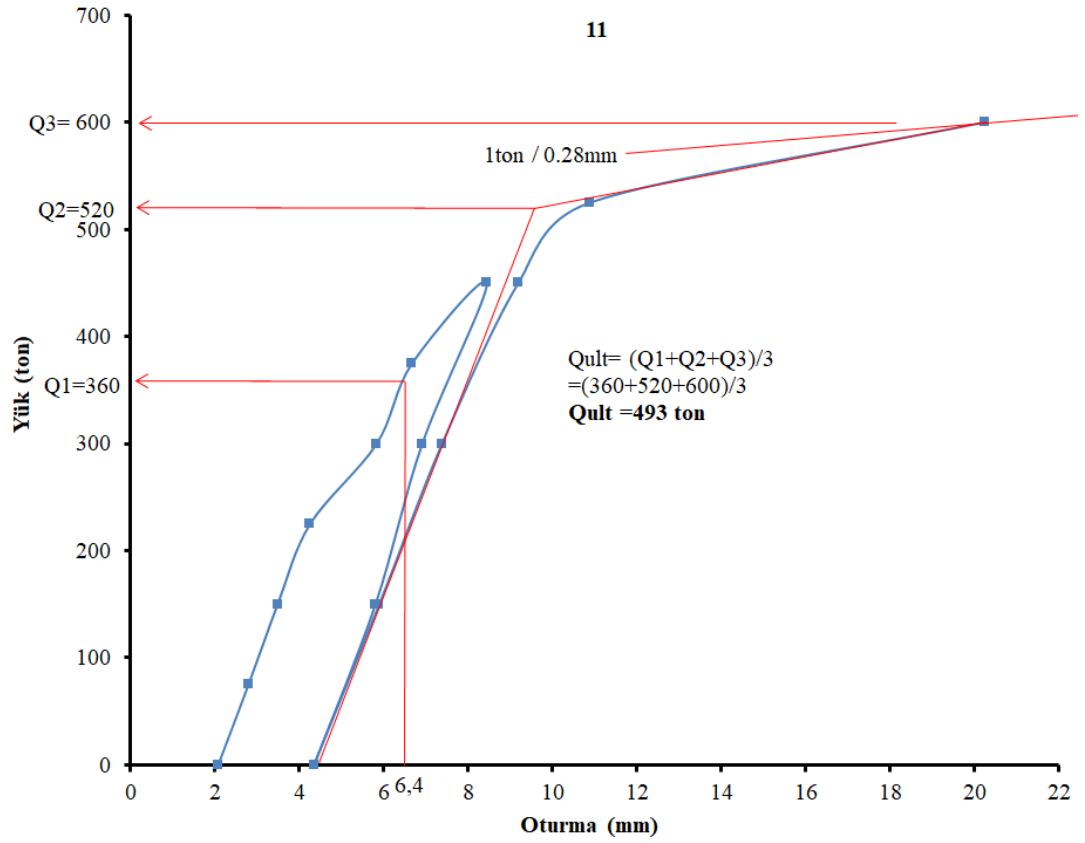
Şekil B.143 : Deney No 11 Butler - Hoy yöntemi.



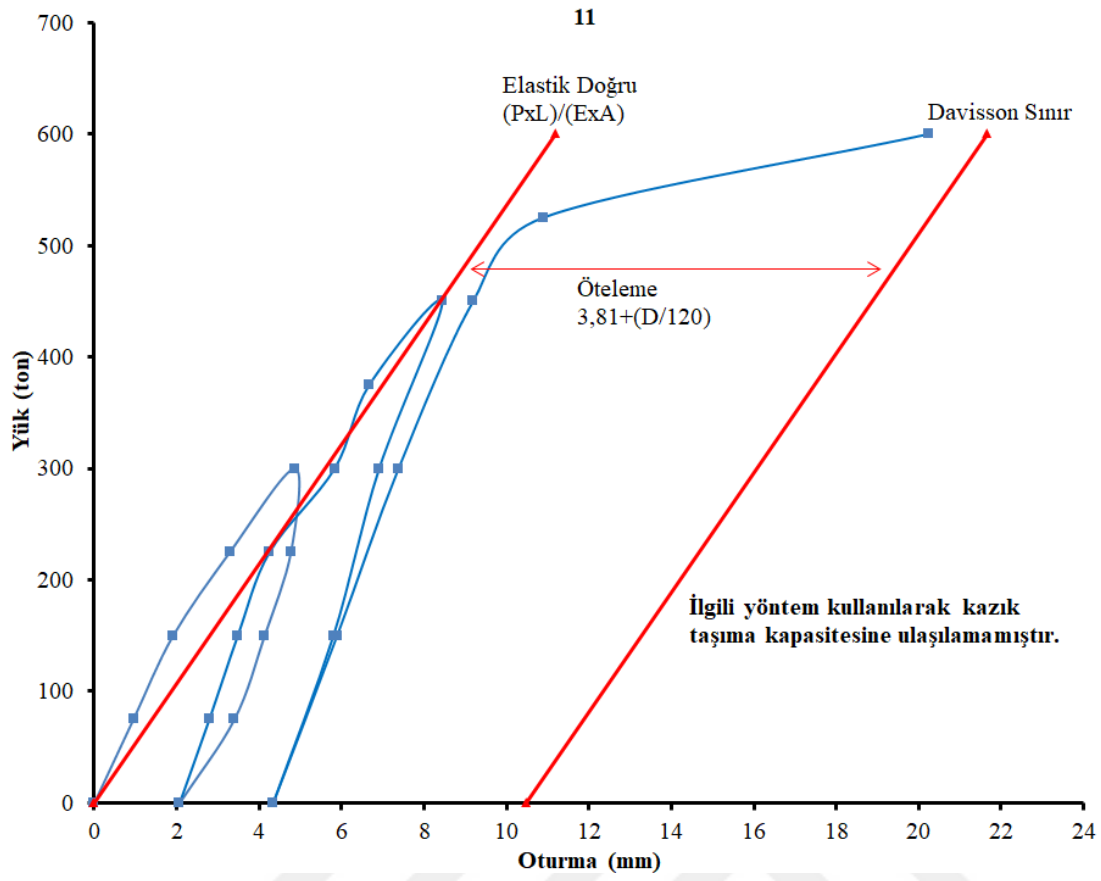
Şekil B.144 : Deney No 11 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



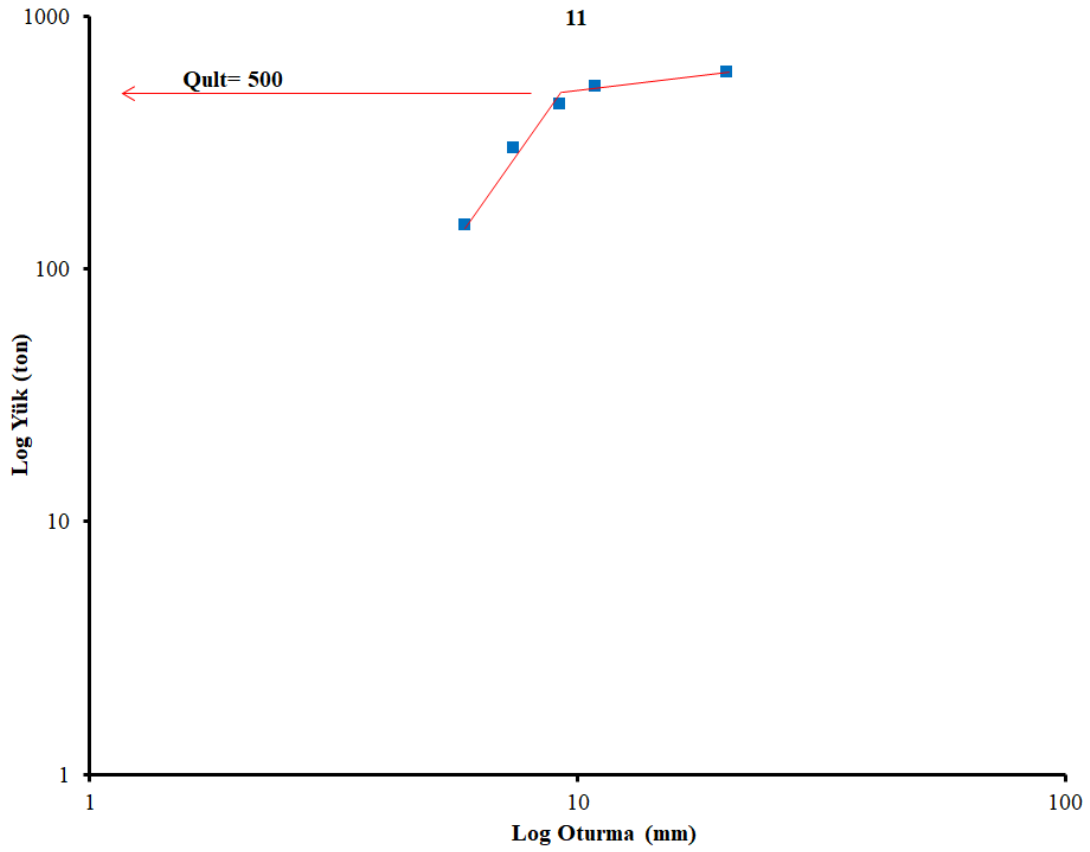
Şekil B.145 : Deney No 11 Chin - Kondner yöntemi.



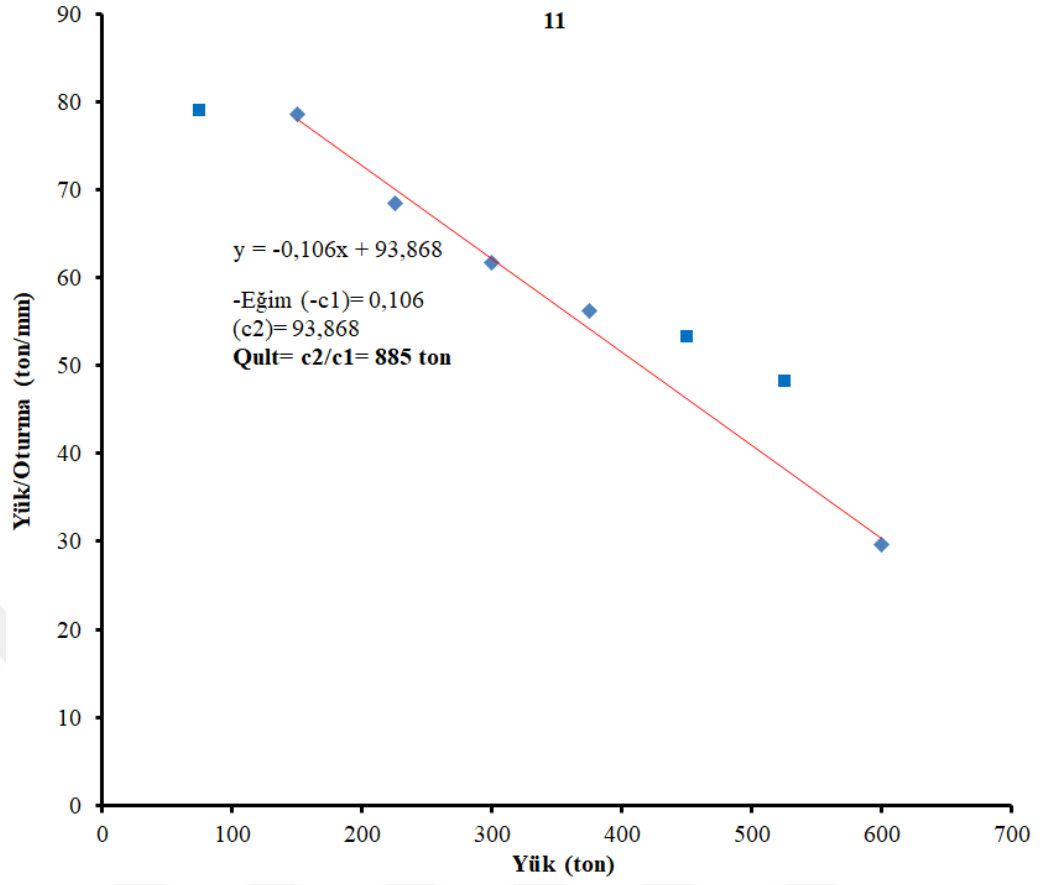
Şekil B.146 : Deney No 11 Corps of Engineers yöntemi.



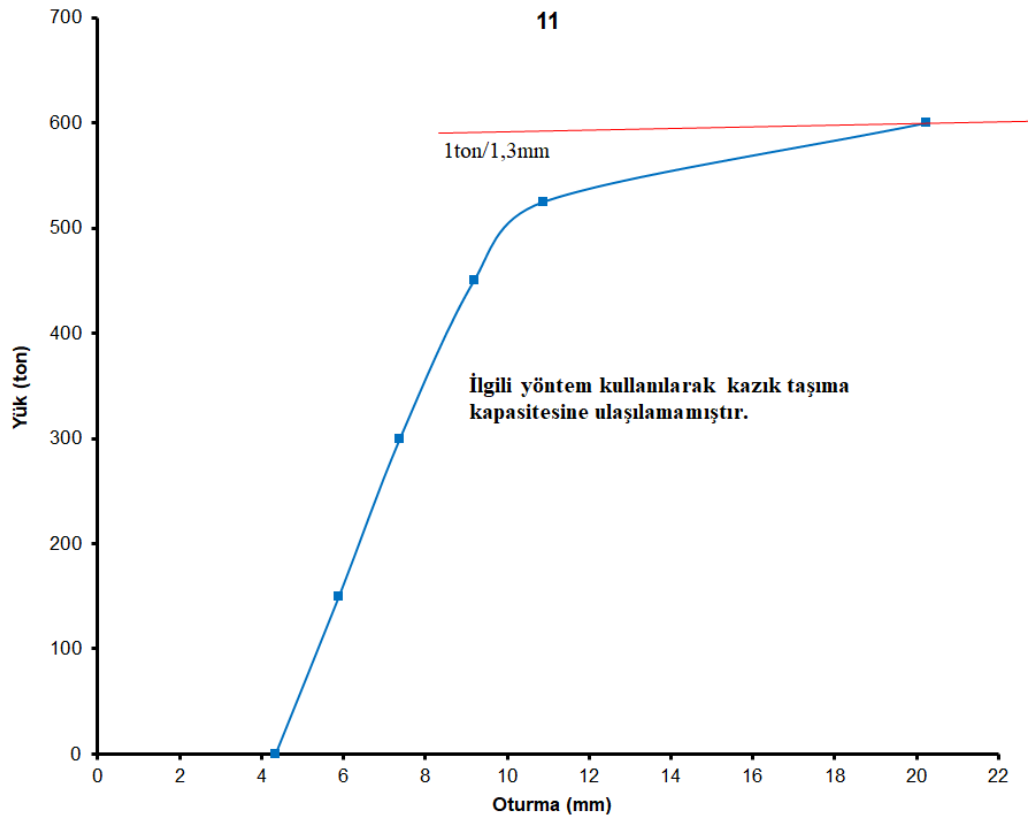
Şekil B.147 : Deney No 11 Davisson yöntemi.



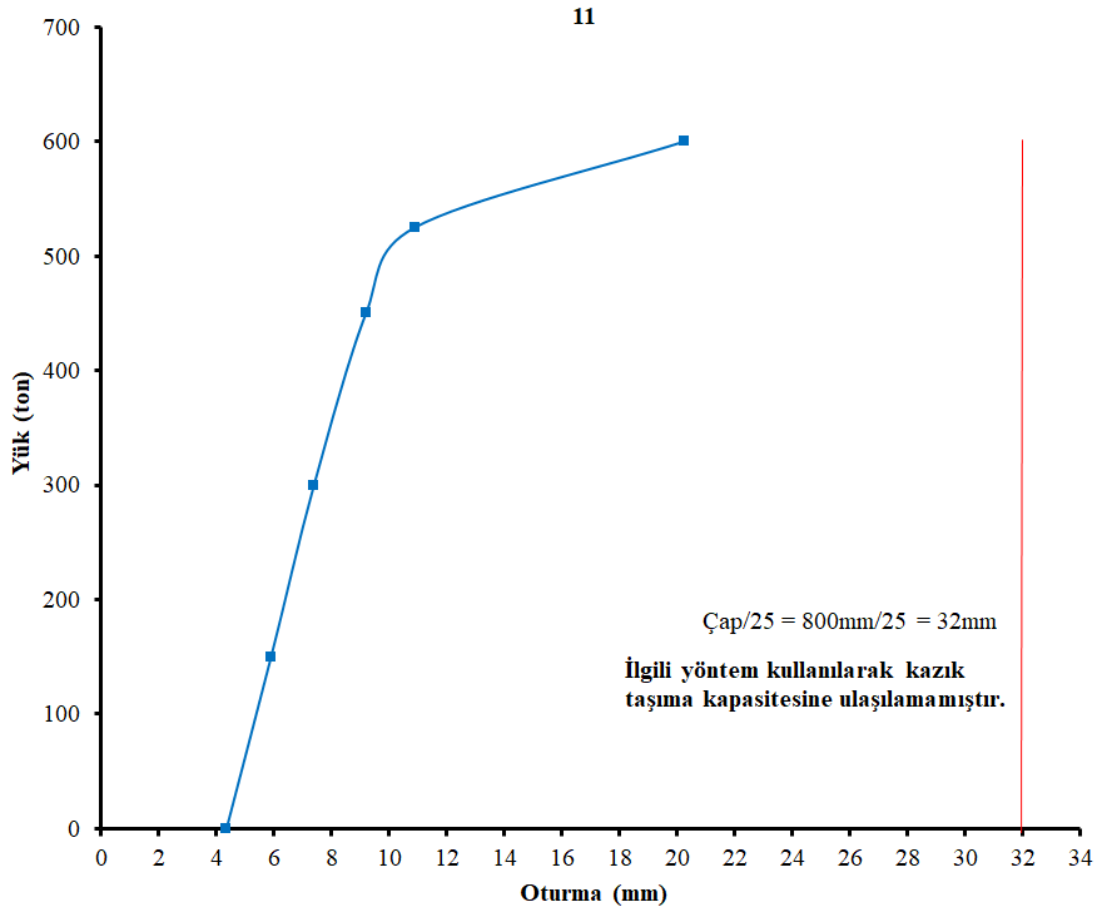
Şekil B.148 : Deney No 11 De Beer yöntemi.



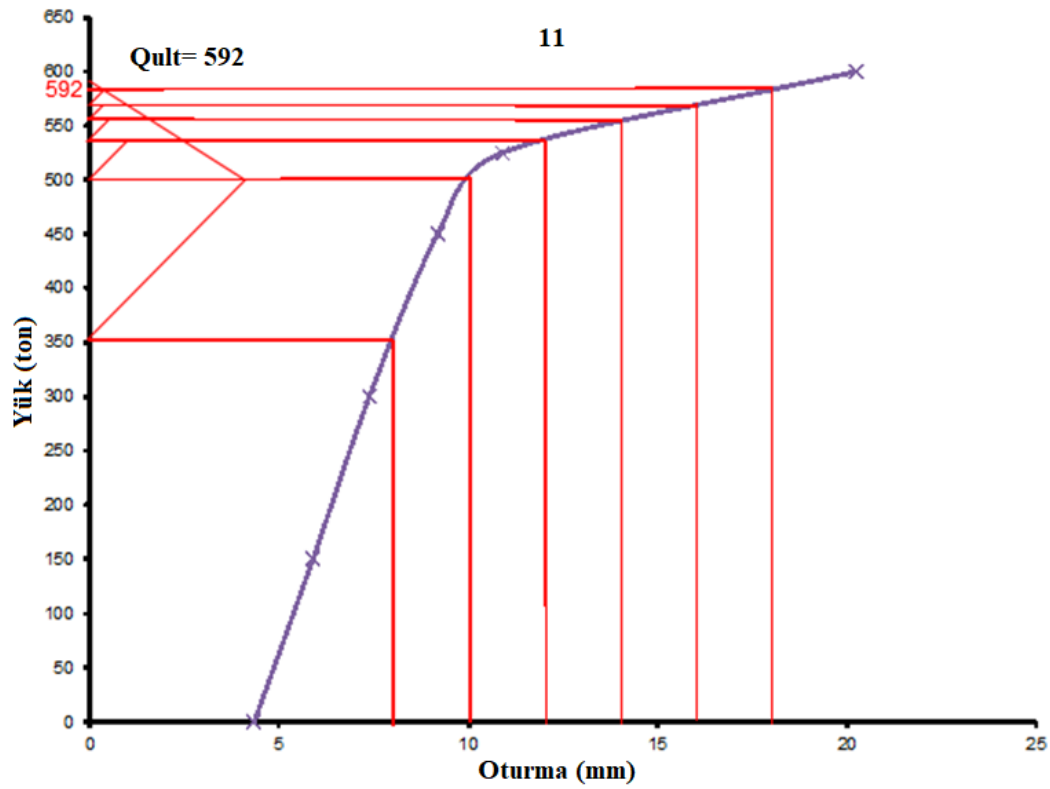
Şekil B.149 : Deney No 11 Decourt yöntemi.



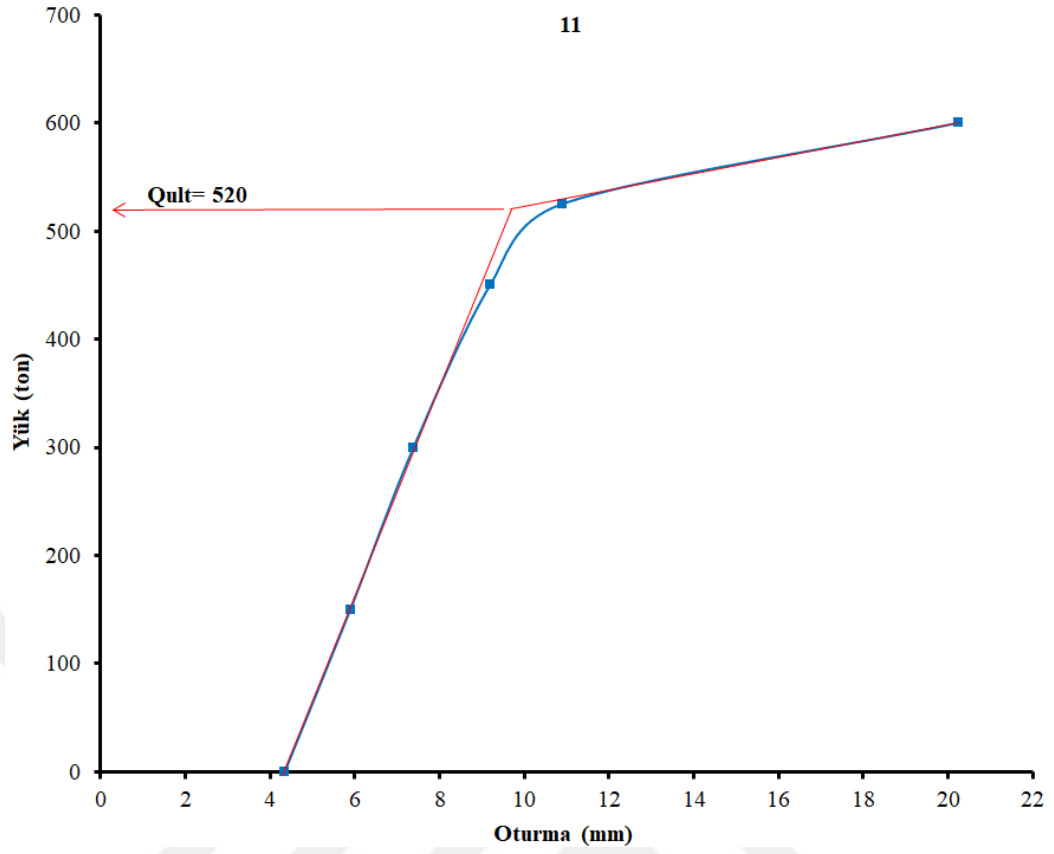
Şekil B.150 : Deney No 11 Fuller - Hoy yöntemi.



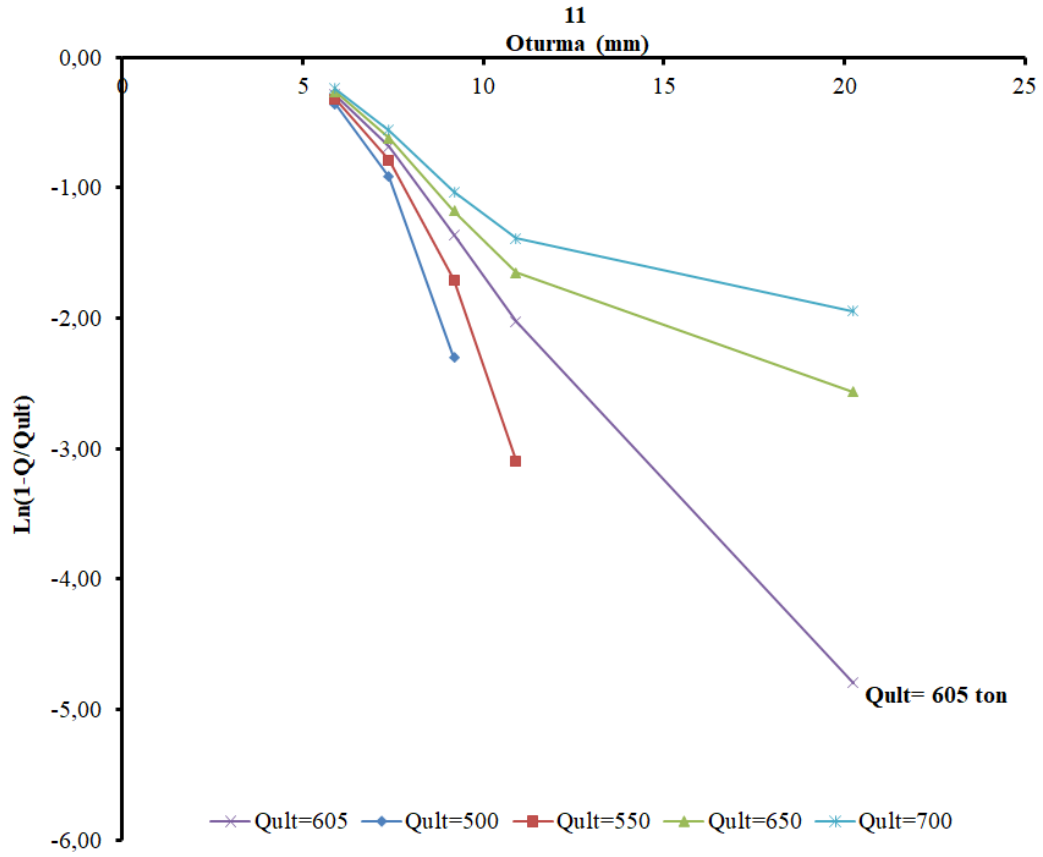
Şekil B.151 : Deney No 11 Hirany - Kulhawy yöntemi.



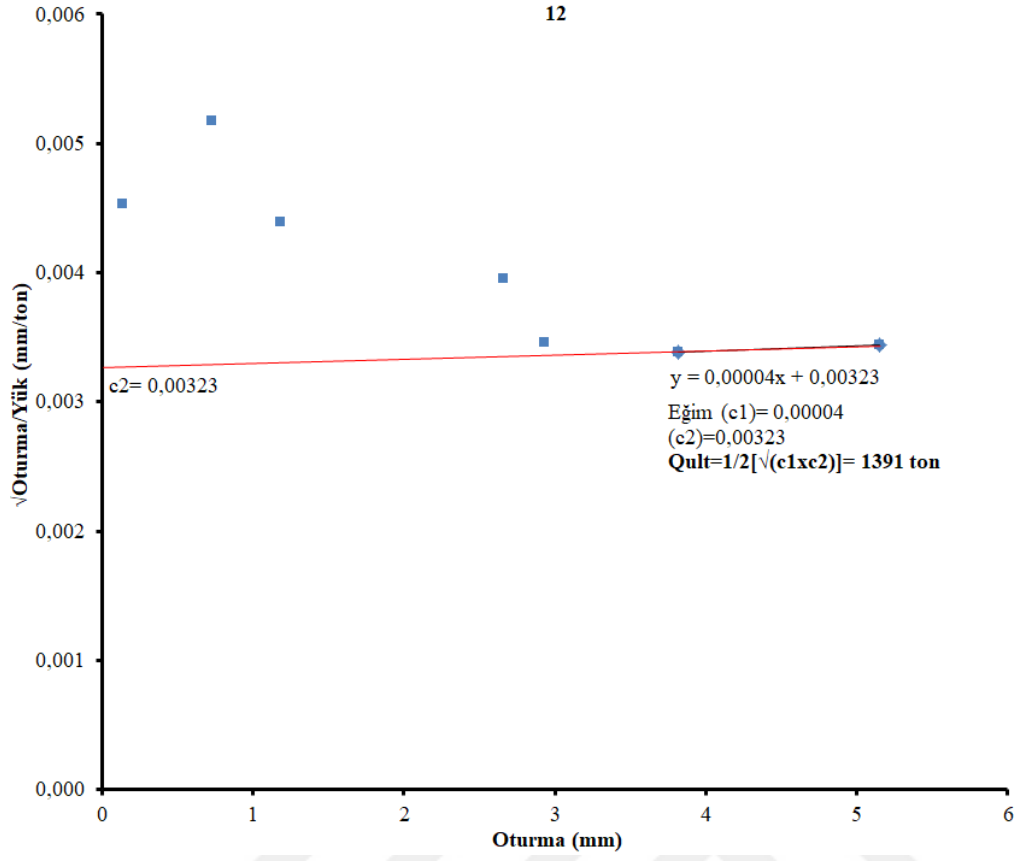
Şekil B.152 : Deney No 11 Mazurkiewicz yöntemi.



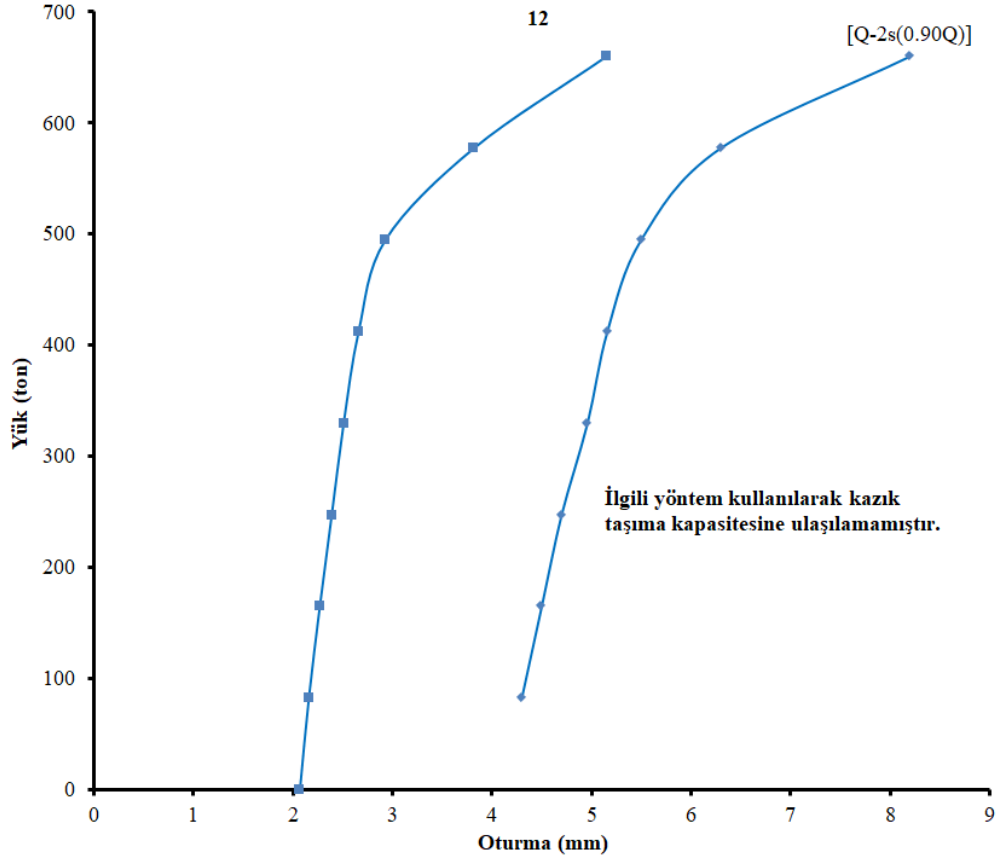
Şekil B.153 : Deney No 11 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



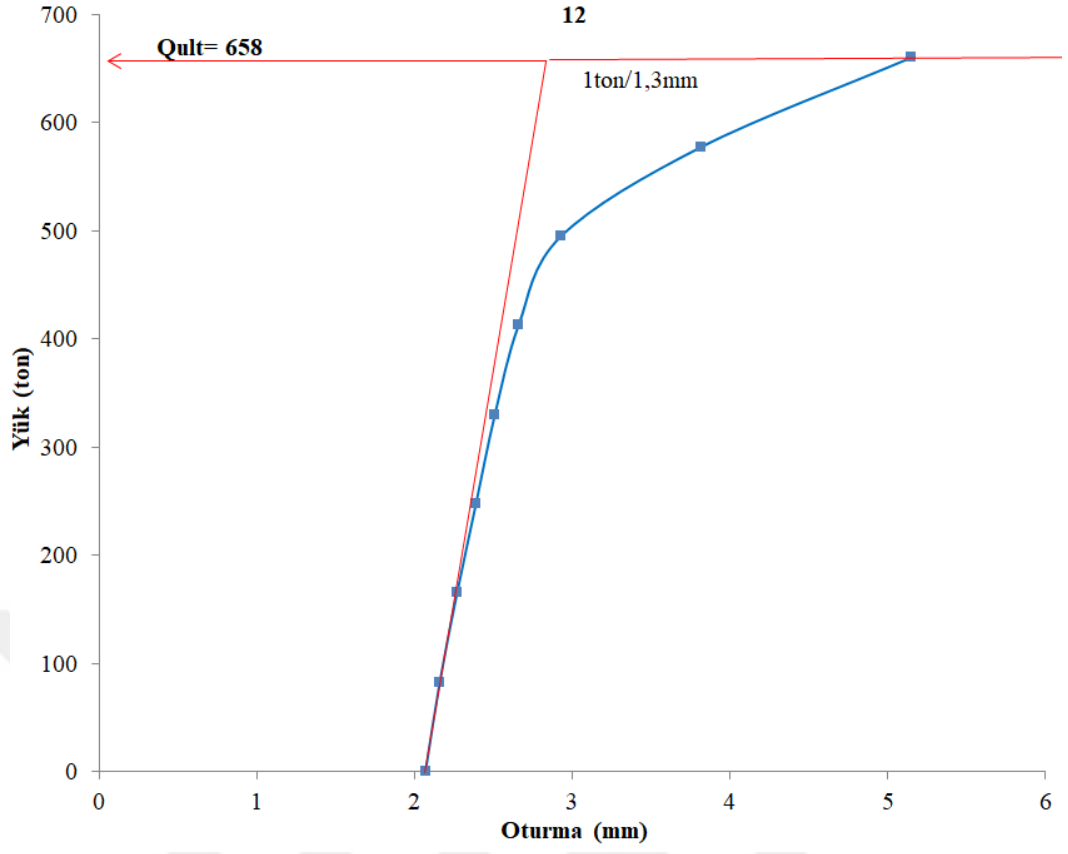
Şekil B.154 : Deney No 11 Van Der Veen yöntemi.



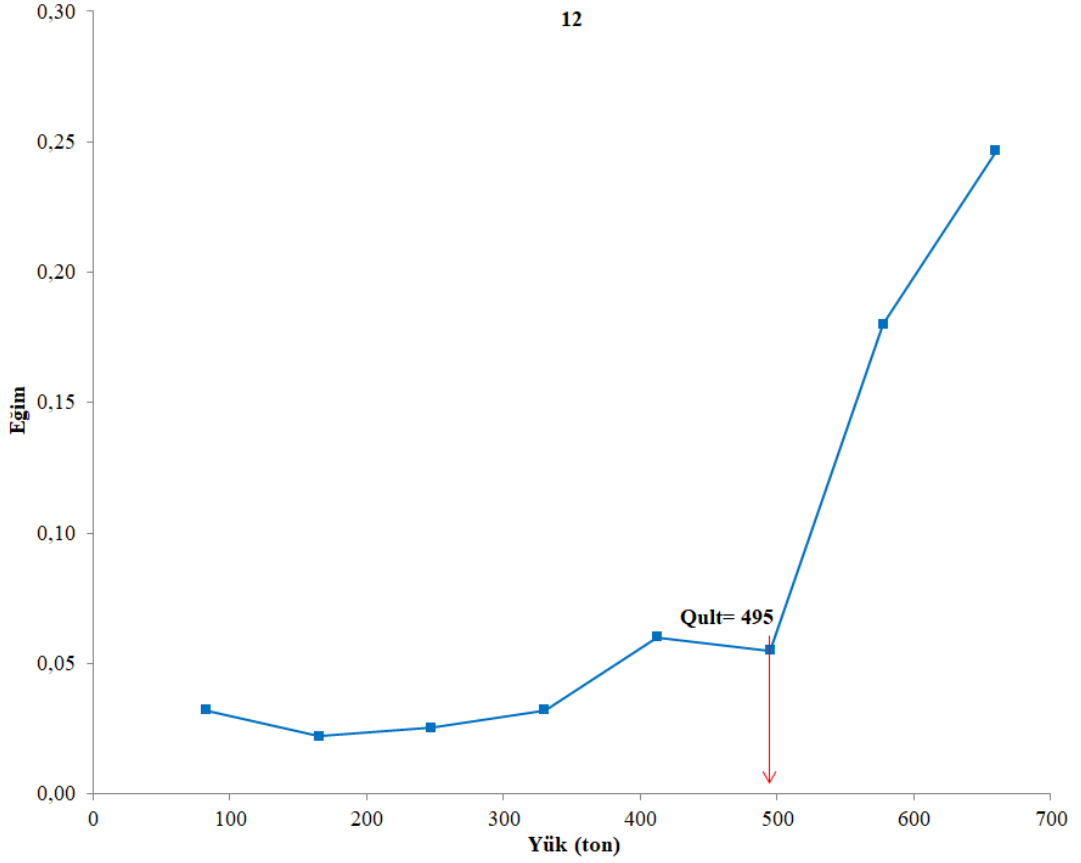
Şekil B.155 : Deney No 12 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



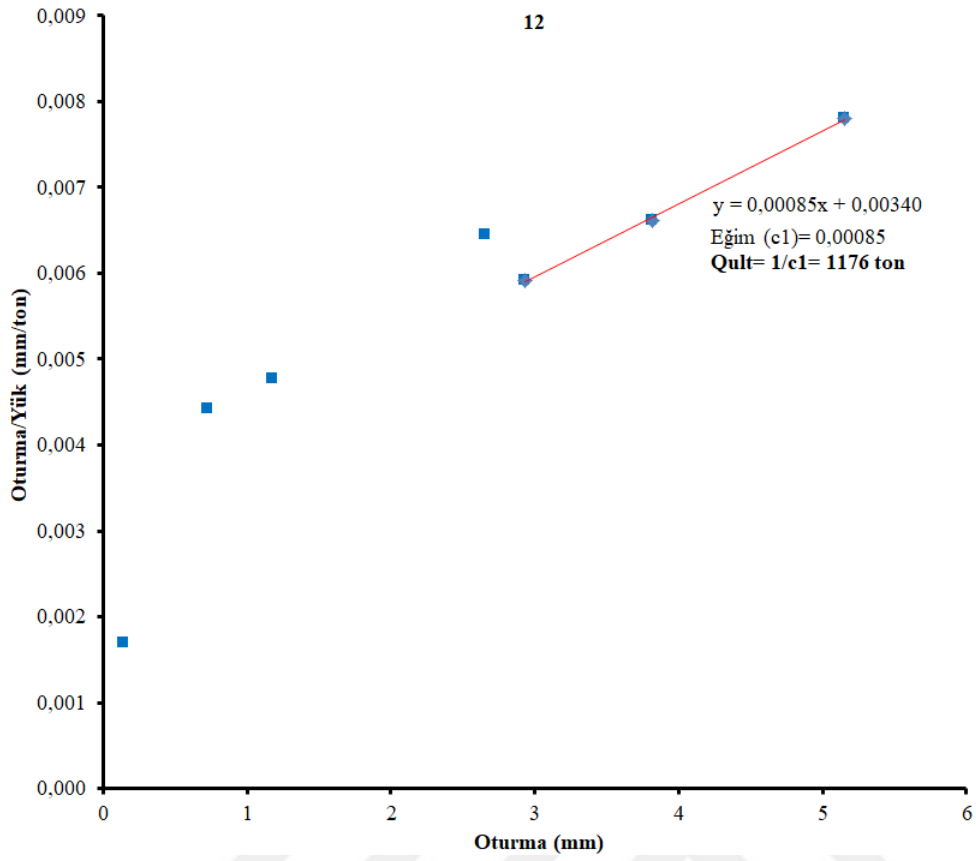
Şekil B.156 : Deney No 12 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



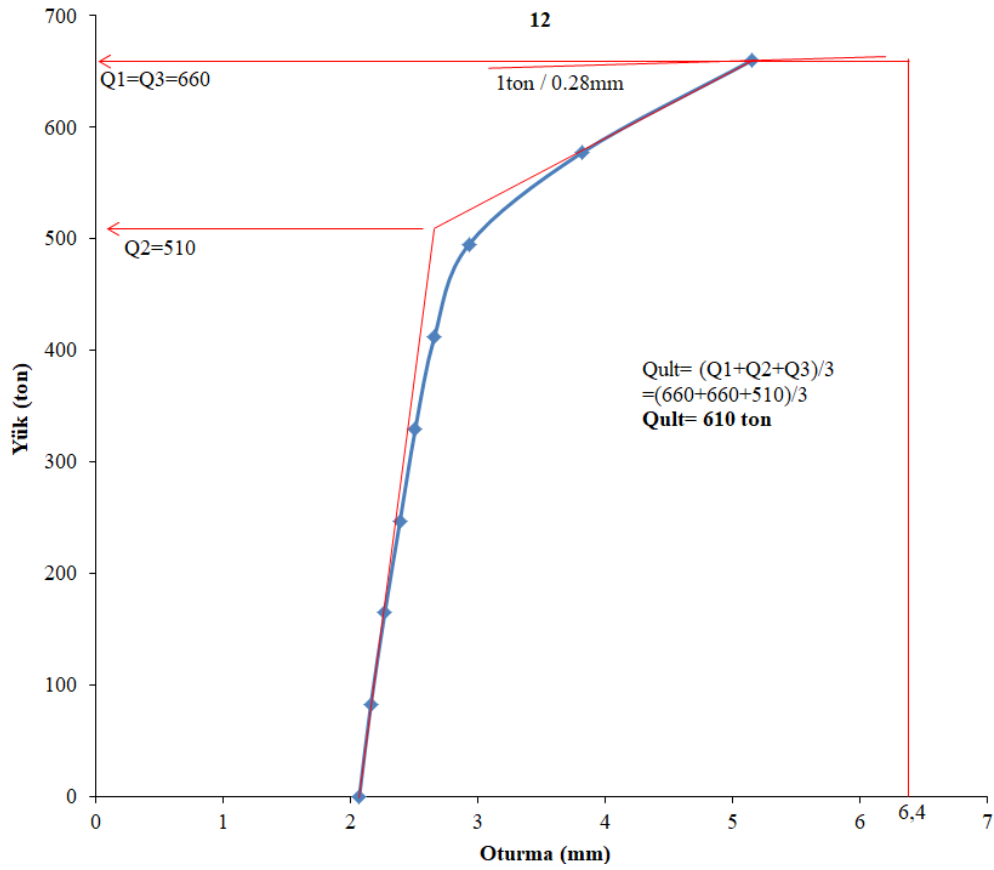
Şekil B.157 : Deney No 12 Butler - Hoy yöntemi.



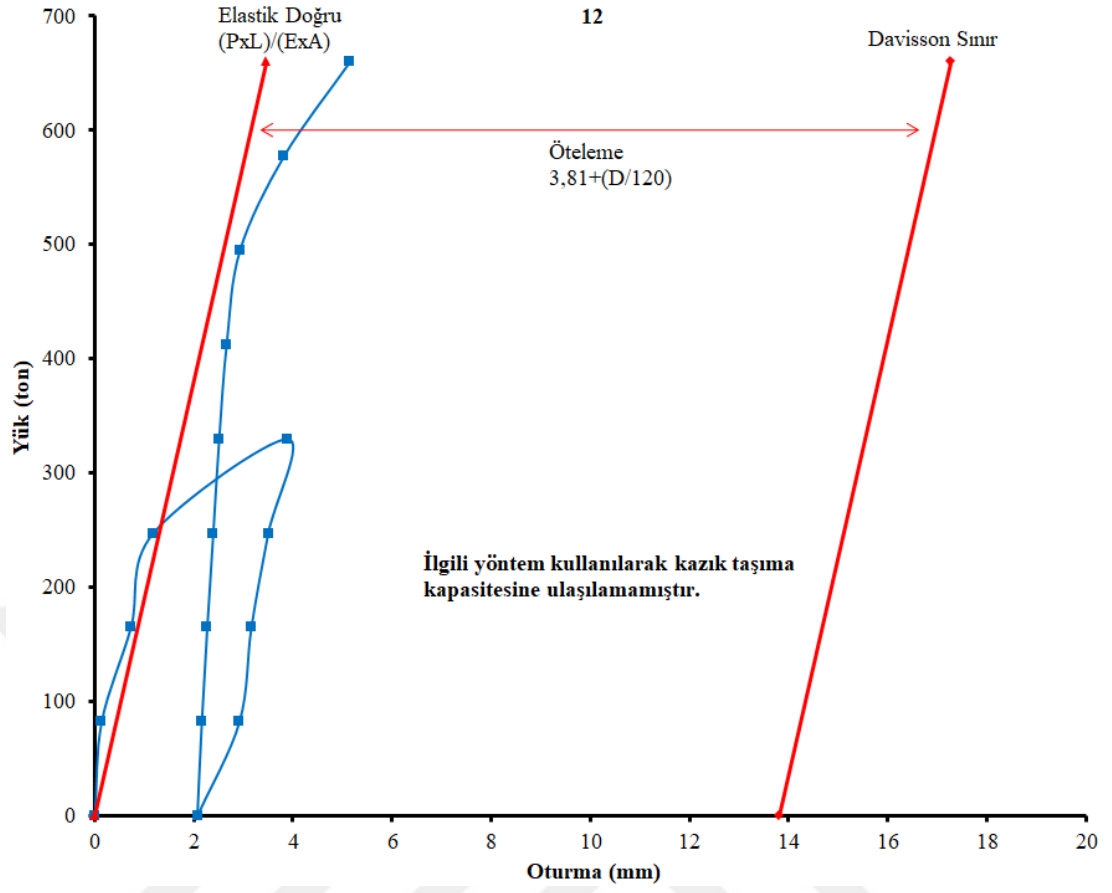
Şekil B.158 : Deney No 12 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



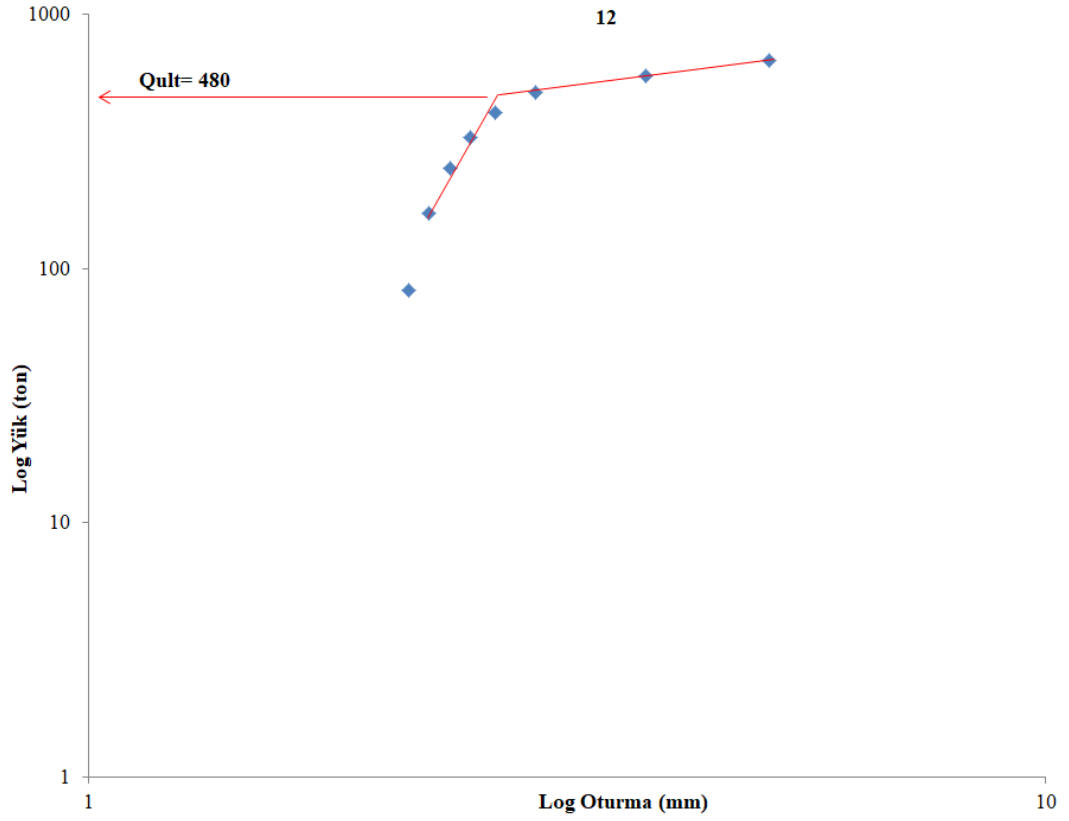
Şekil B.159 : Deney No 12 Chin - Kondner yöntemi.



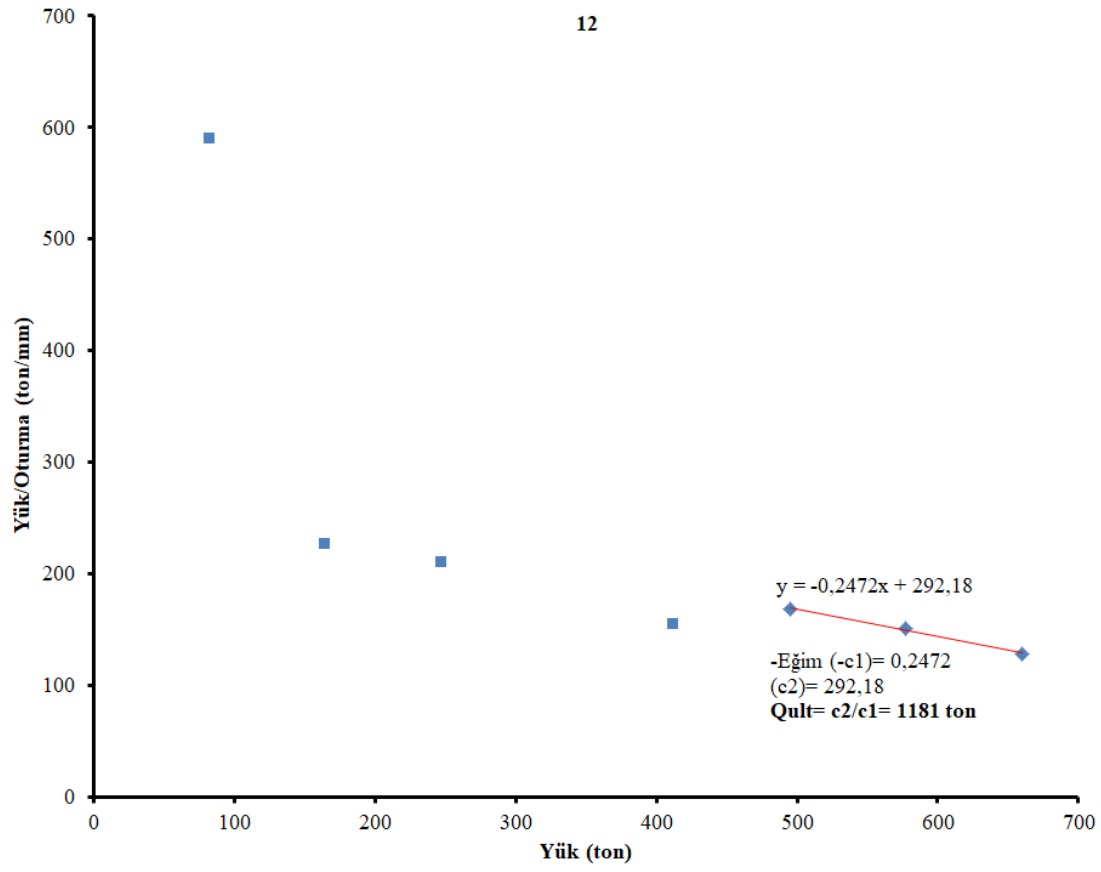
Şekil B.160 : Deney No 12 Corps of Engineers yöntemi.



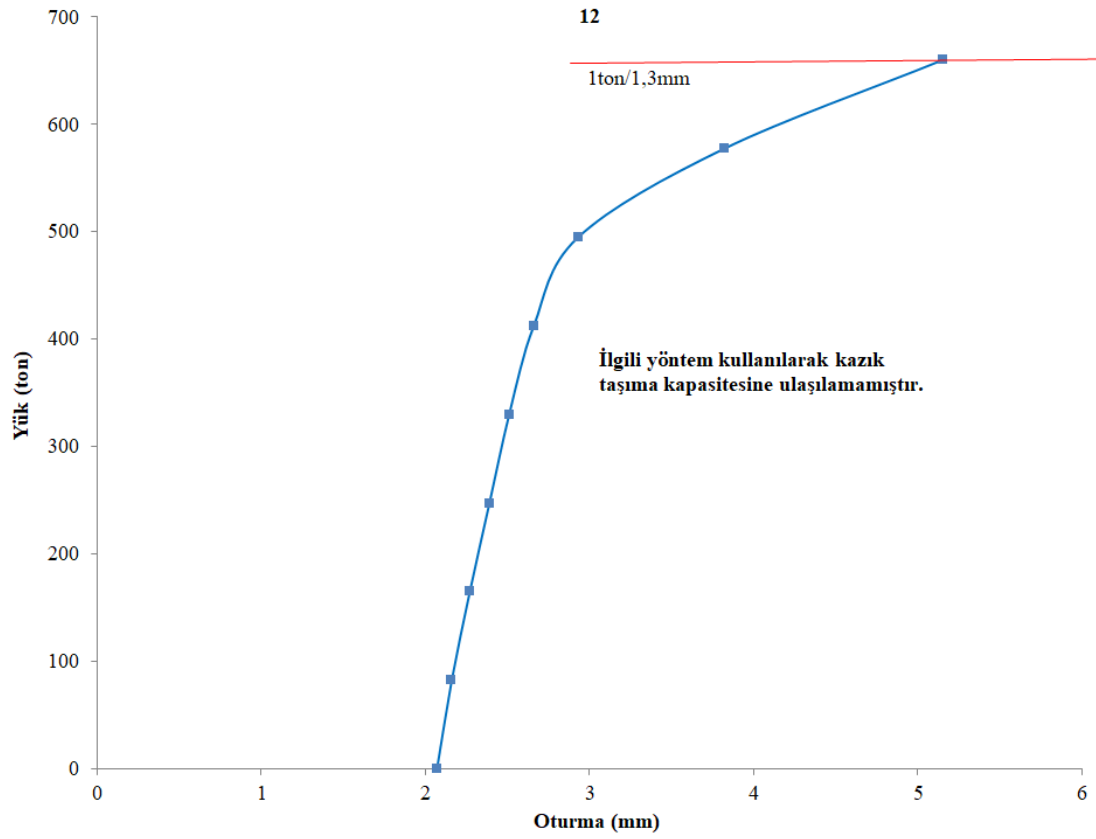
Şekil B.161 : Deney No 12 Davisson yöntemi.



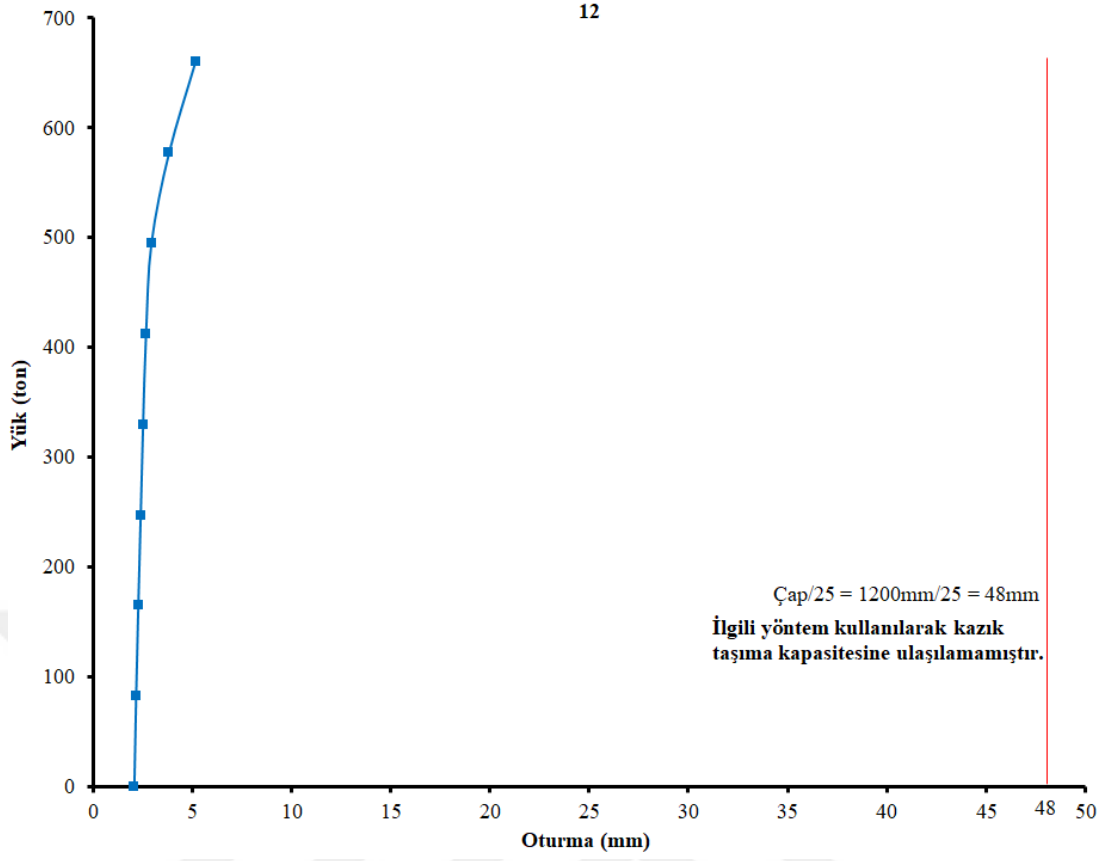
Şekil B.162 : Deney No 12 De Beer yöntemi.



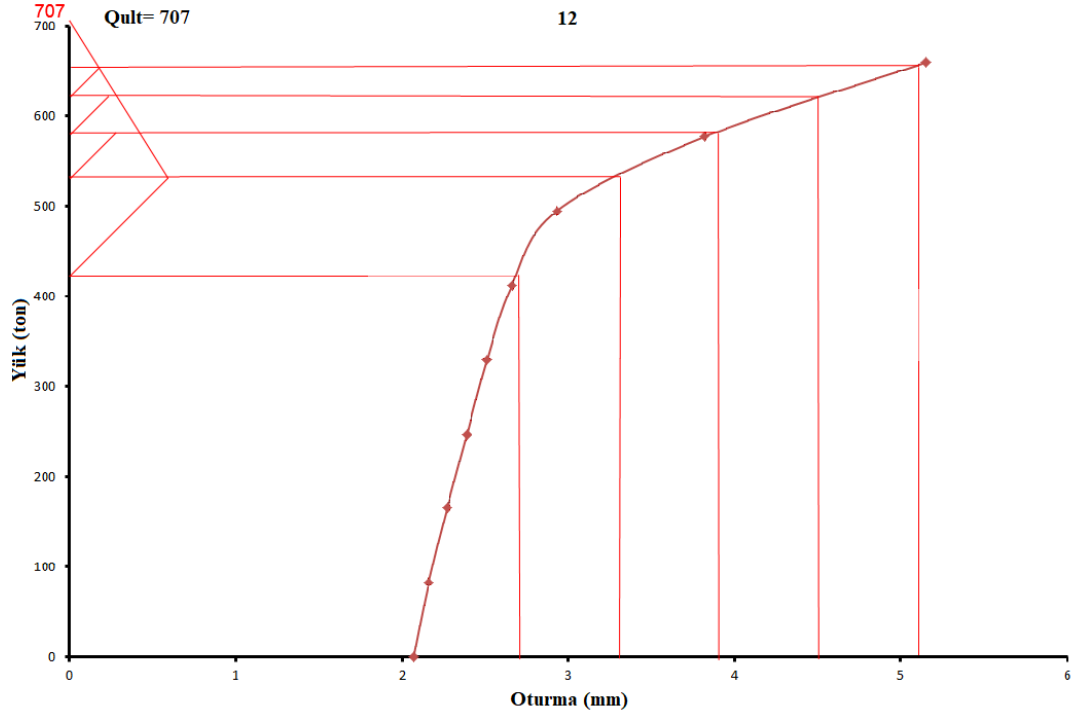
Şekil B.163 : Deney No 12 Decourt yöntemi.



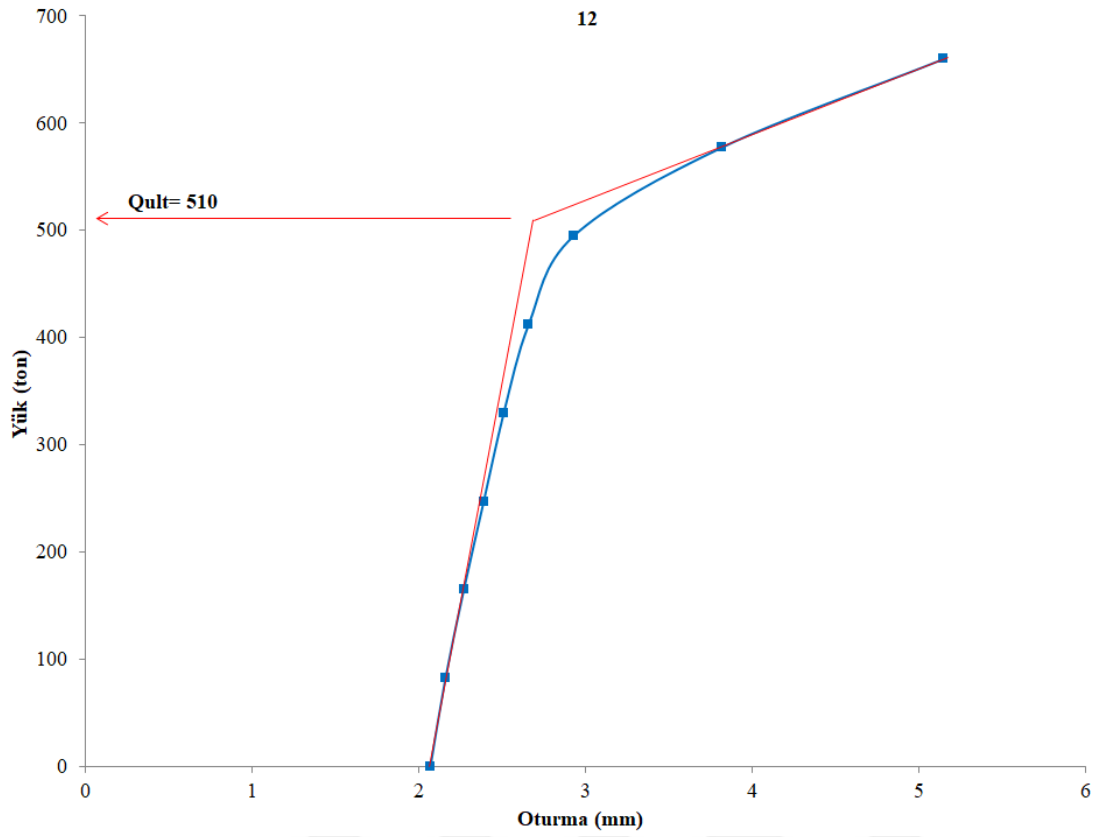
Şekil B.164 : Deney No 12 Fuller - Hoy yöntemi.



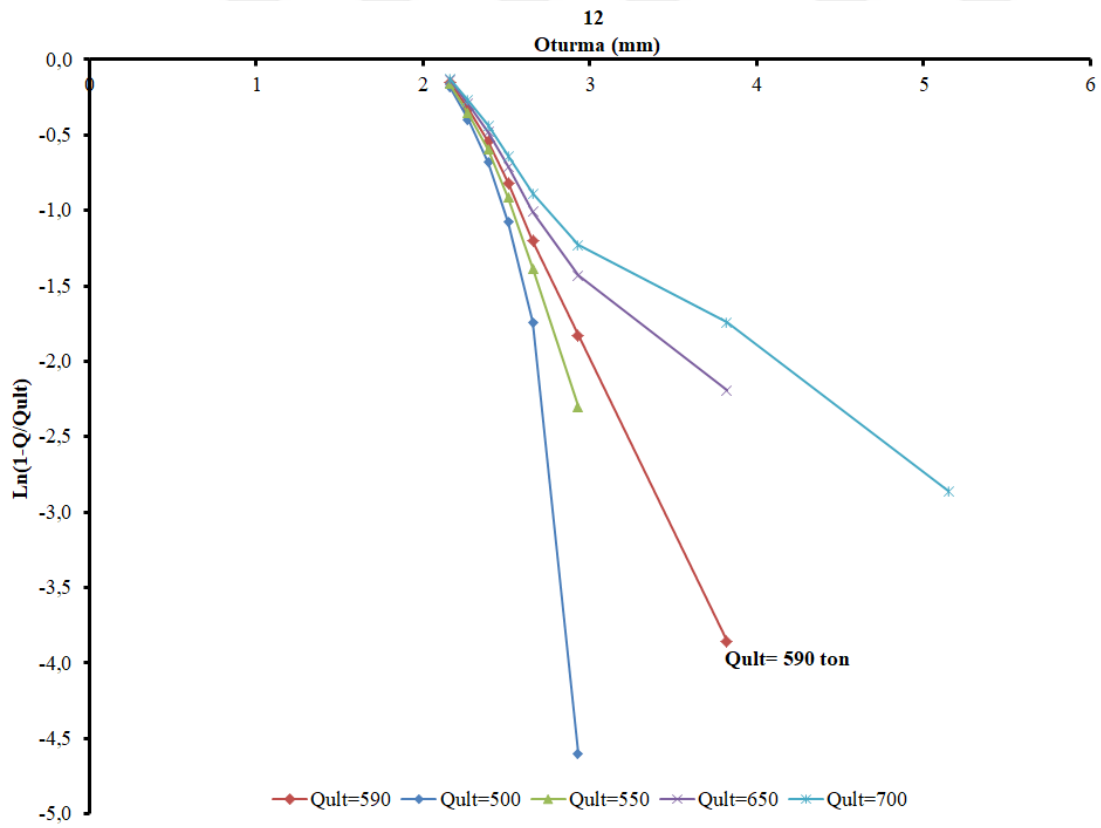
Şekil B.165 : Deney No 12 Hirany - Kulhawy yöntemi.



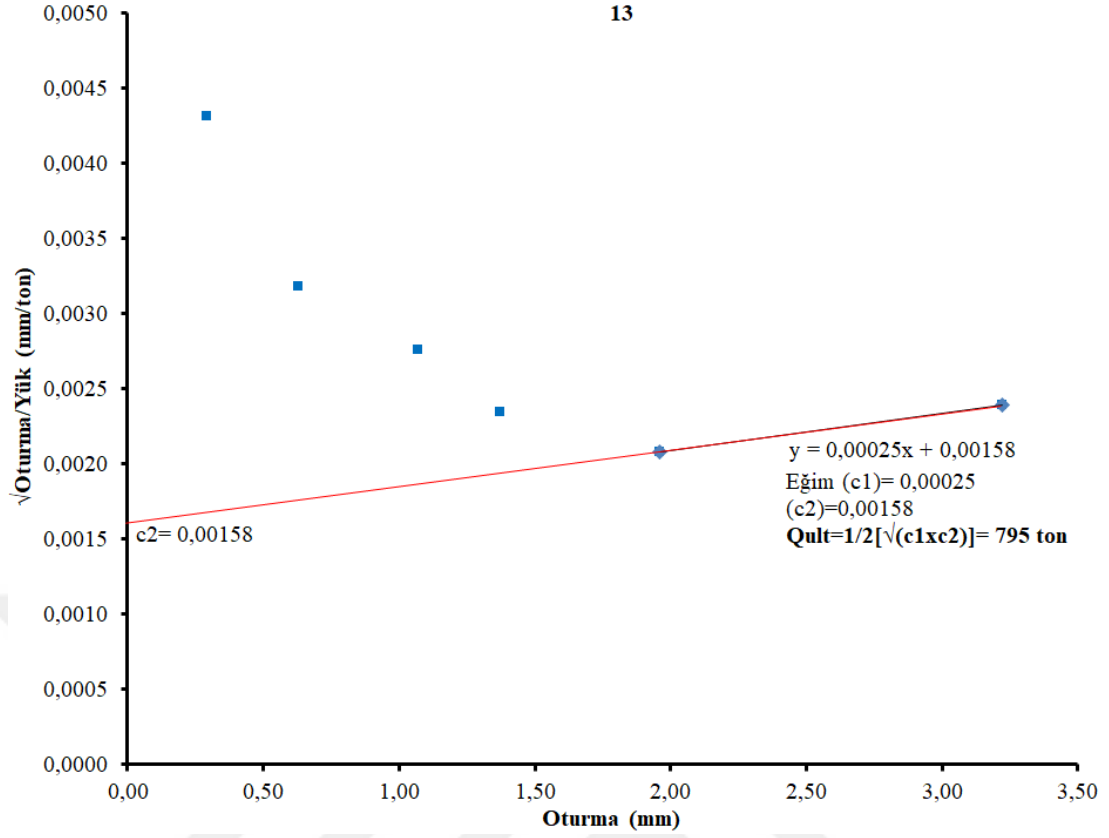
Şekil B.166 : Deney No 12 Mazurkiewicz yöntemi.



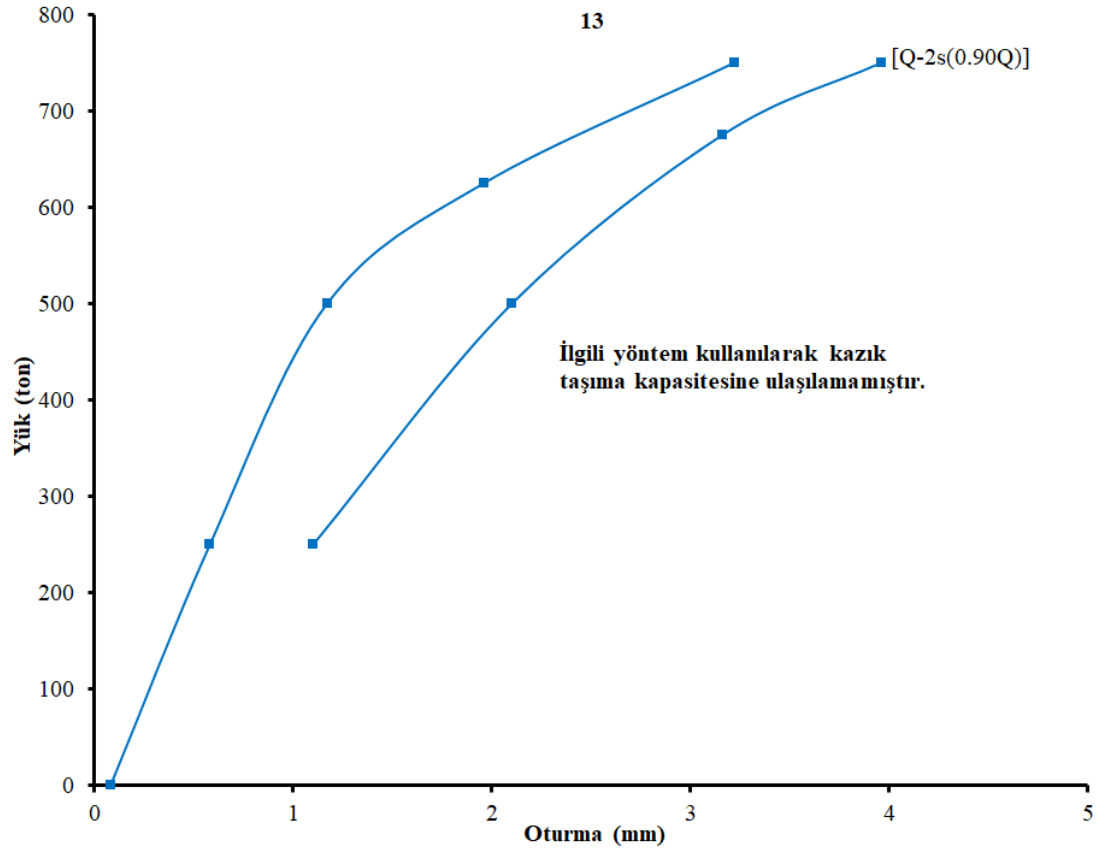
Şekil B.167 : Deney No 12 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



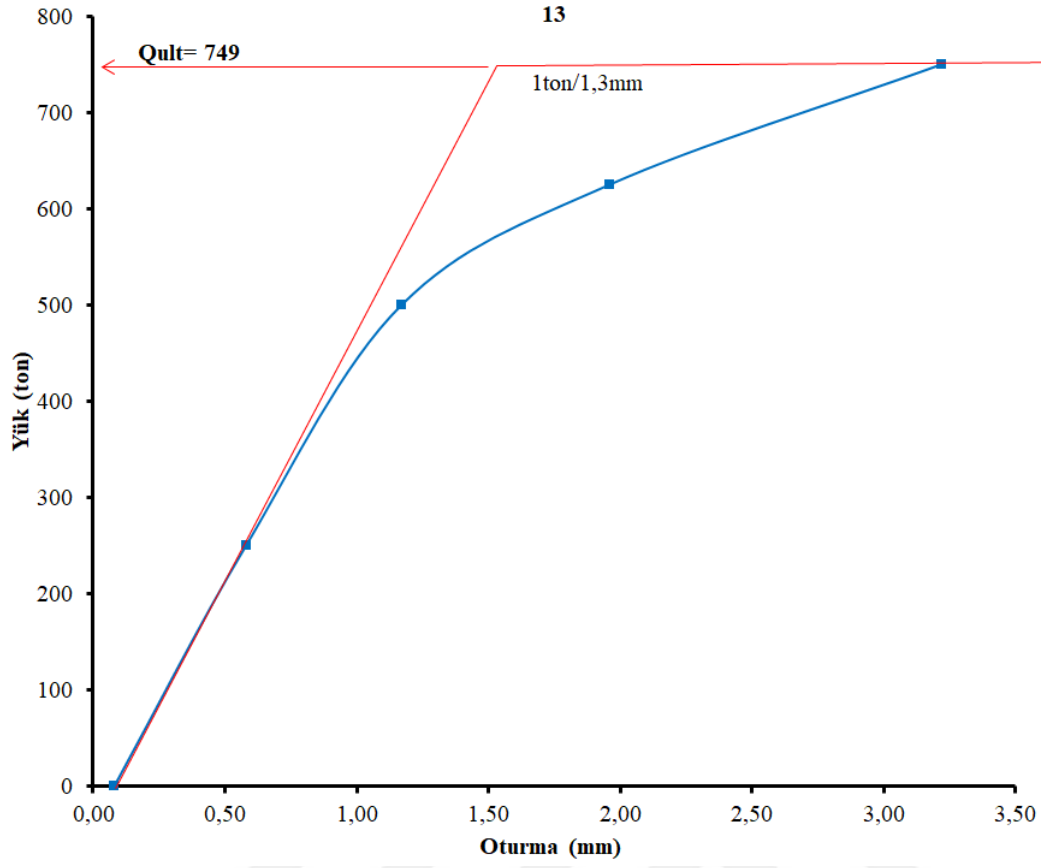
Şekil B.168 : Deney No 12 Van Der Veen yöntemi.



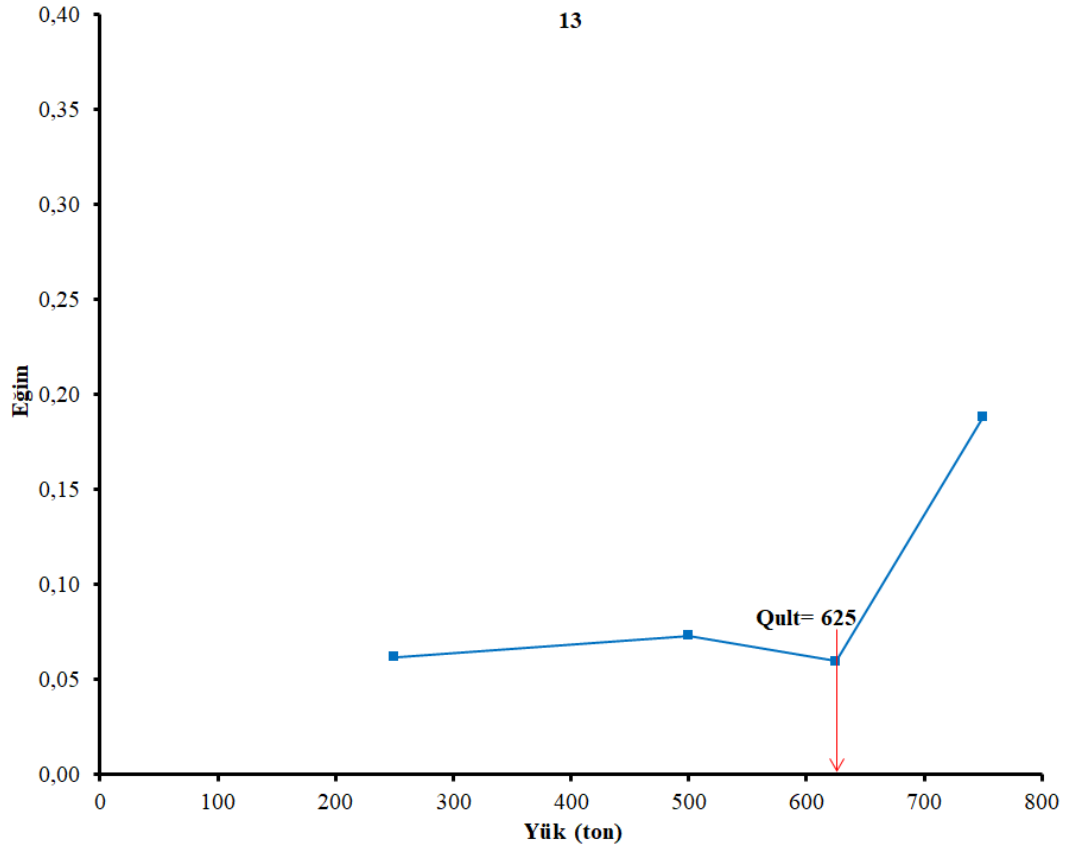
Şekil B.169 : Deney No 13 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



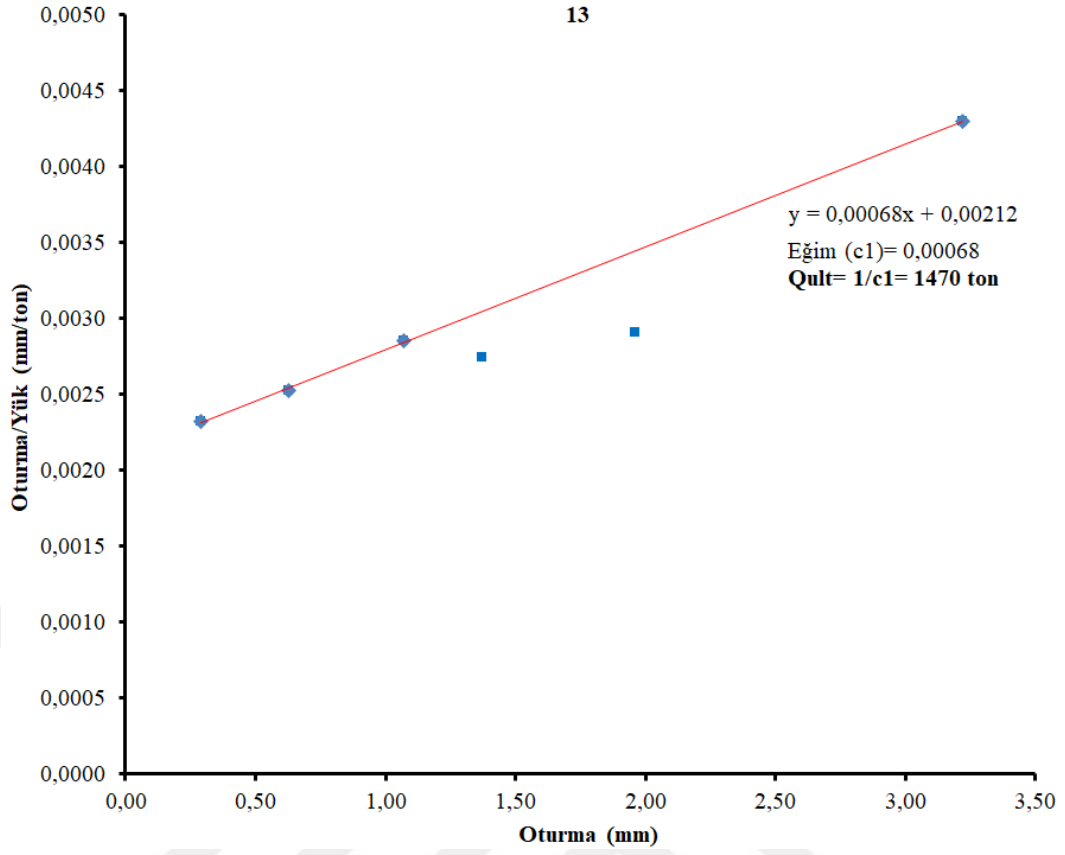
Şekil B.170 : Deney No 13 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



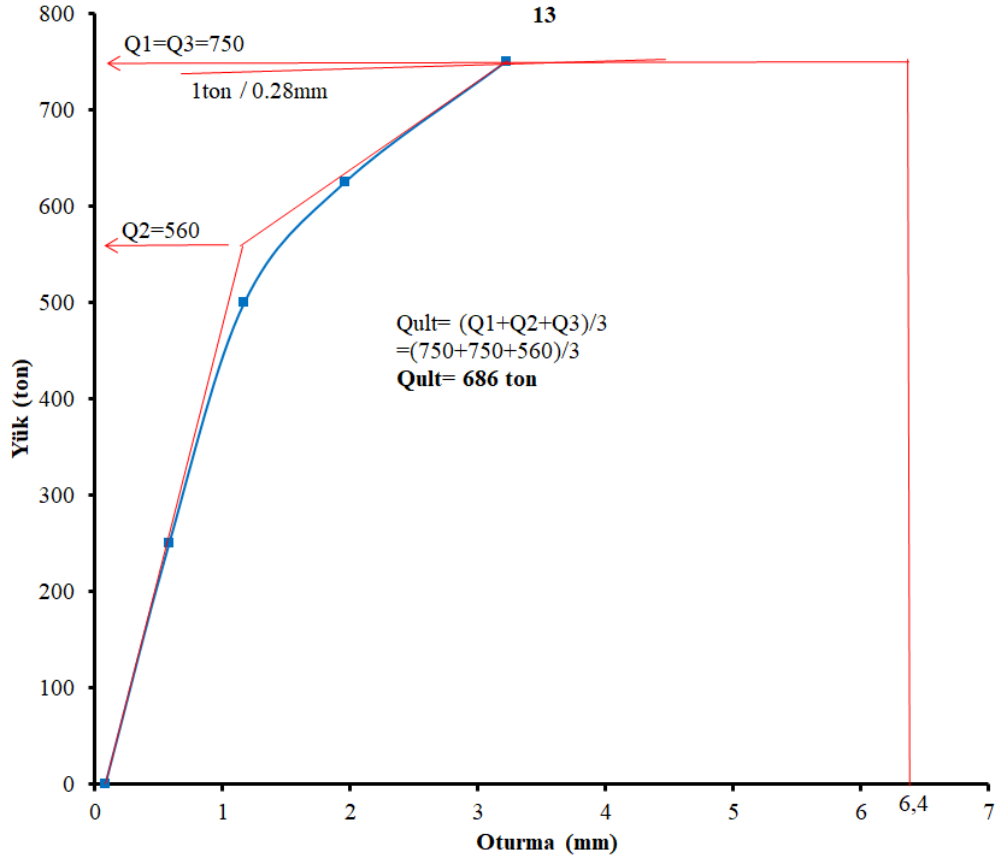
Şekil B.171 : Deney No 13 Butler - Hoy yöntemi.



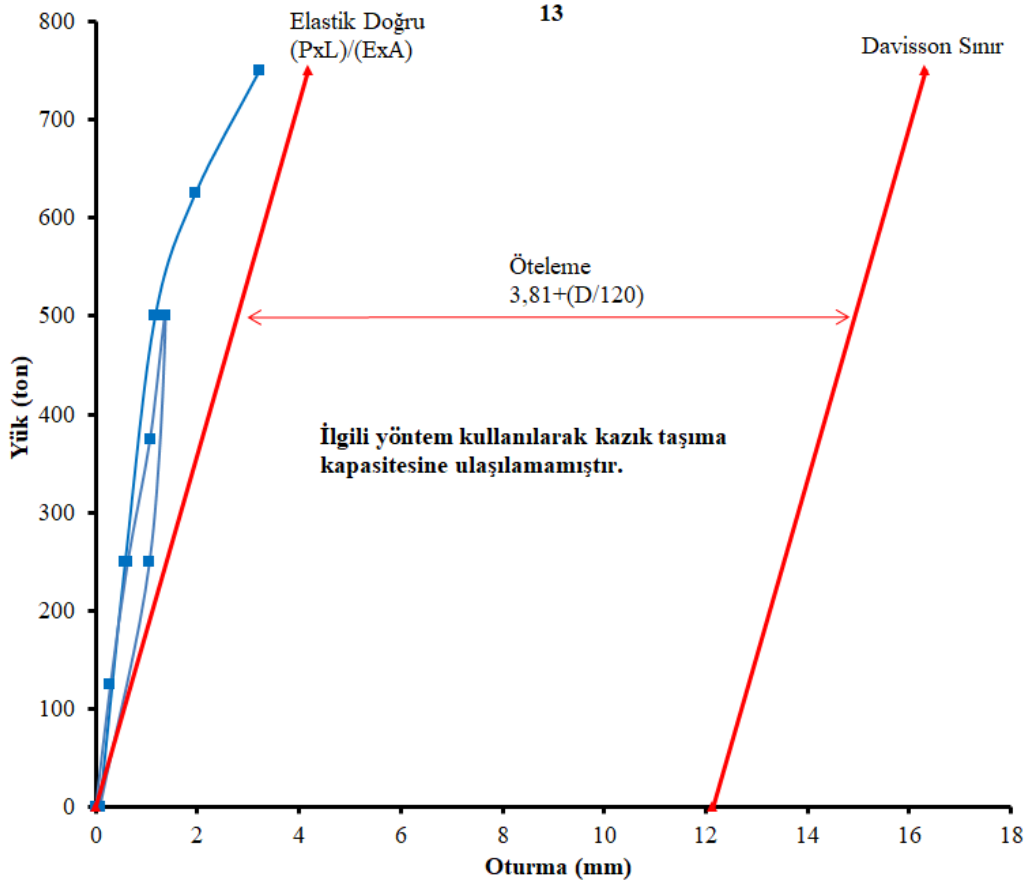
Şekil B.172 : Deney No 13 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



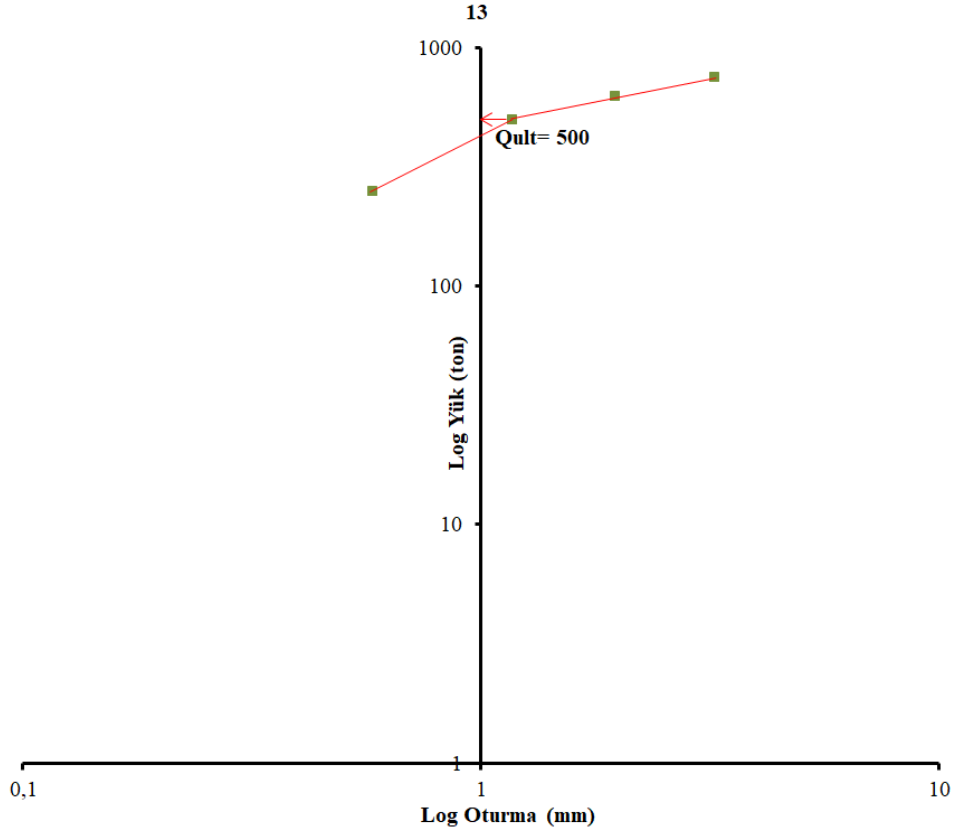
Şekil B.173 : Deney No 13 Chin - Kondner yöntemi.



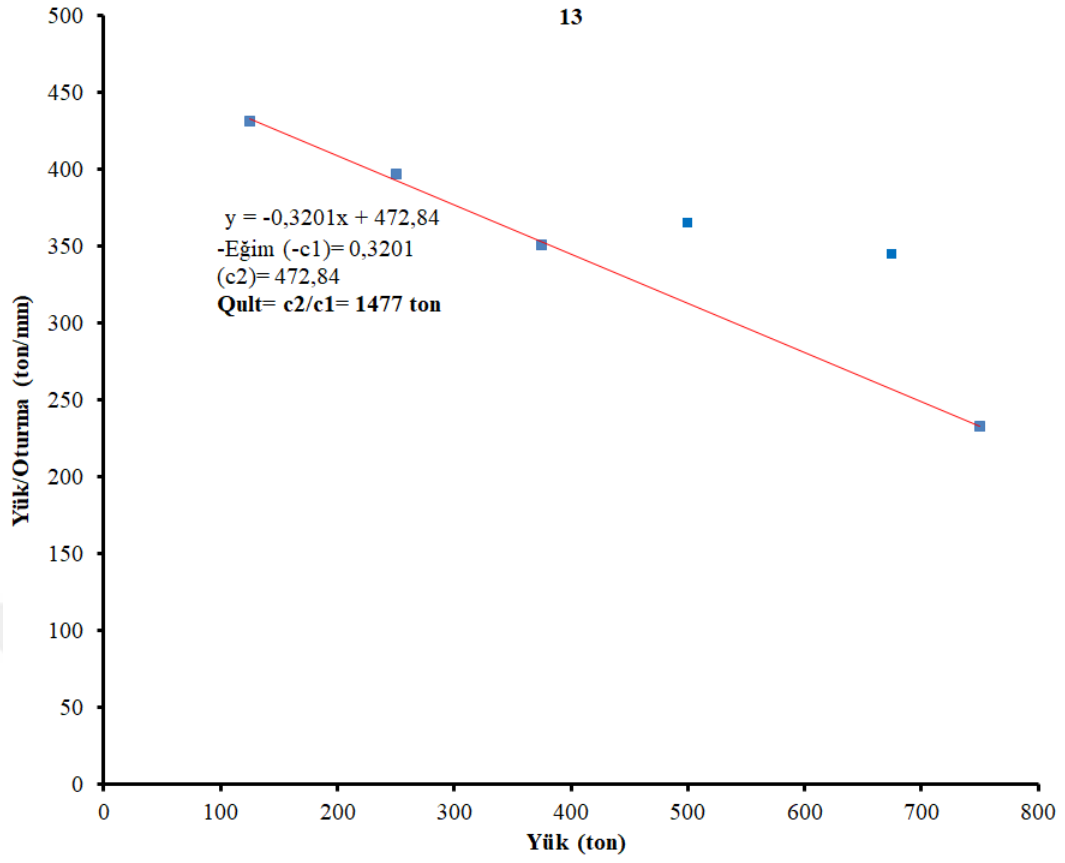
Şekil B.174 : Deney No 13 Corps of Engineers yöntemi.



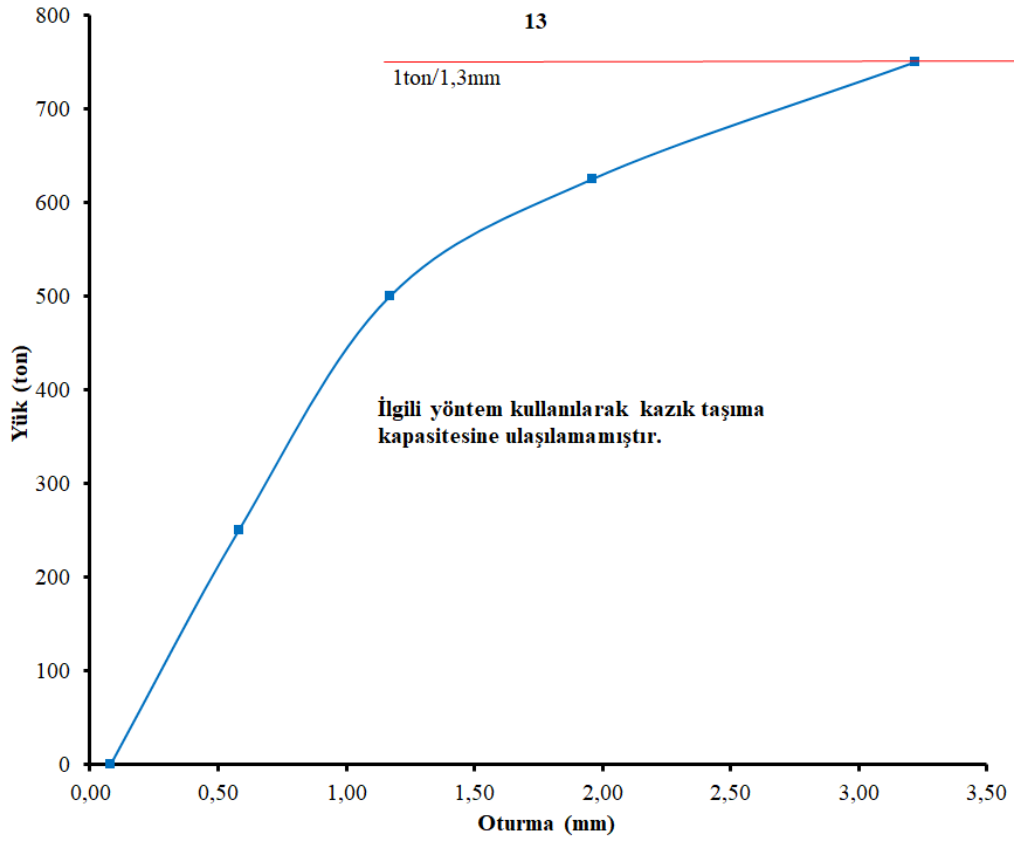
Şekil B.175 : Deney No 13 Davisson yöntemi.



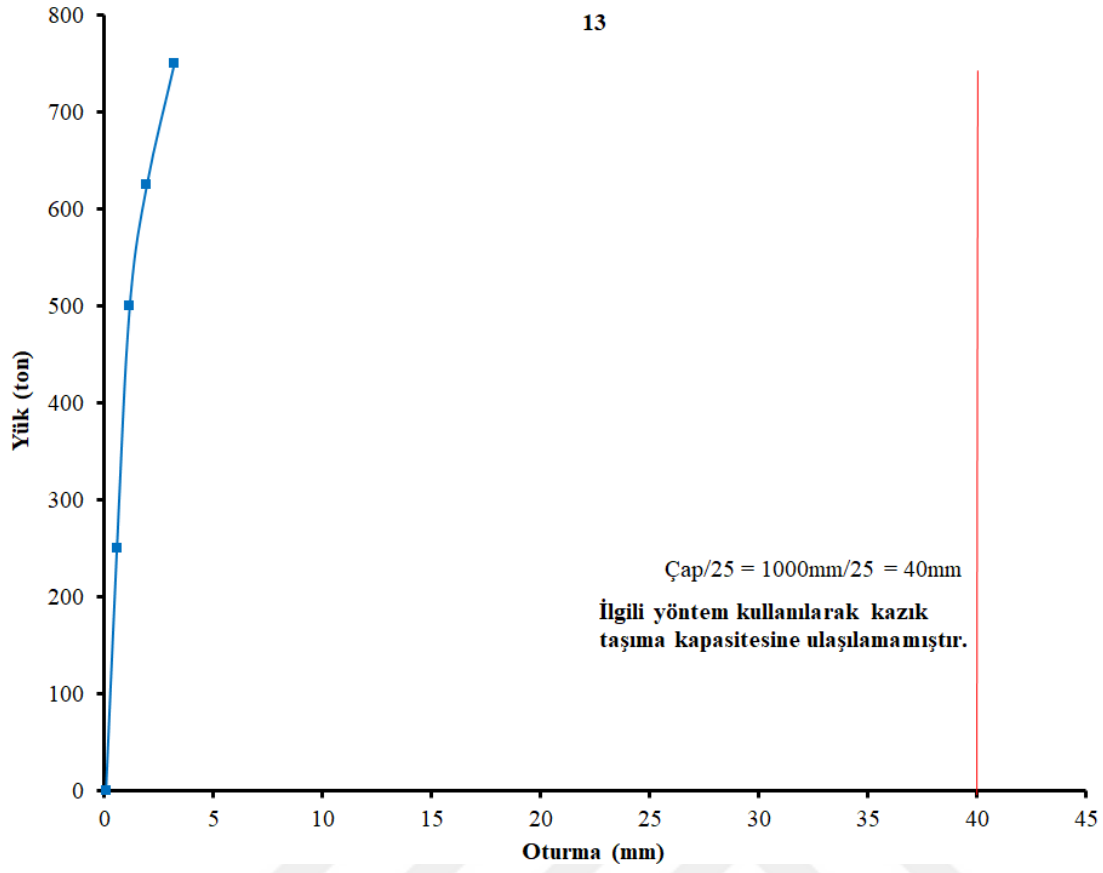
Şekil B.176 : Deney No 13 De Beer yöntemi.



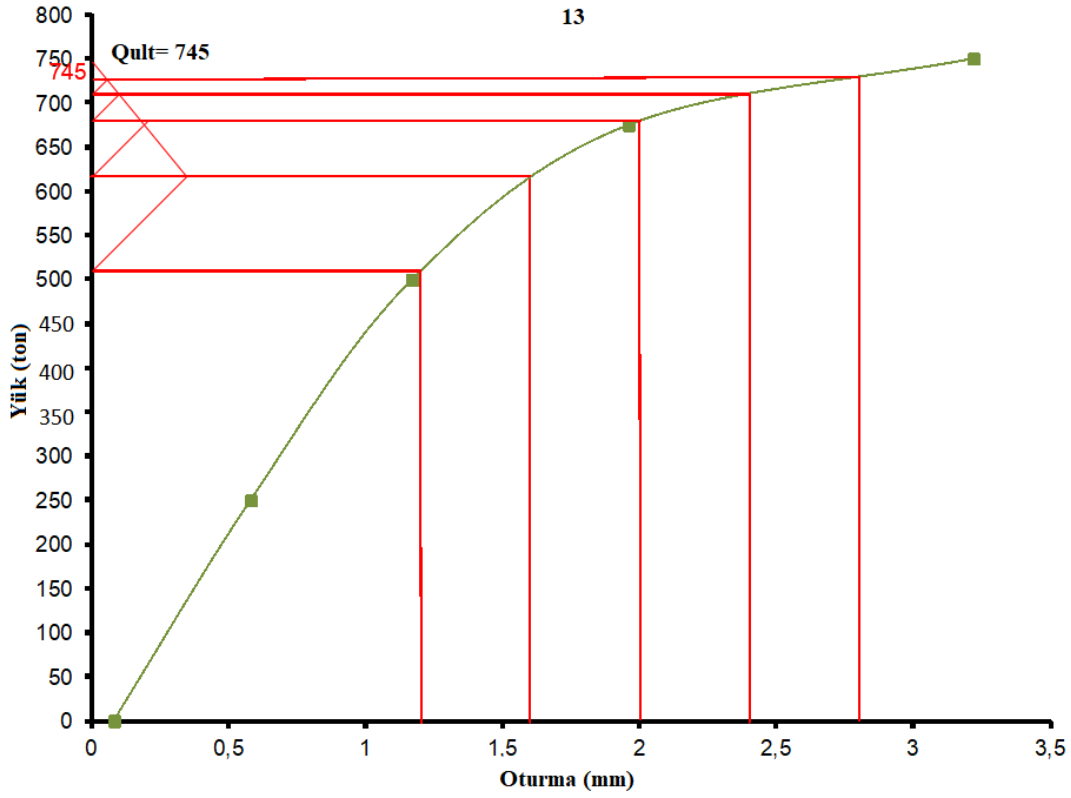
Şekil B.177 : Deney No 13 Decourt yöntemi.



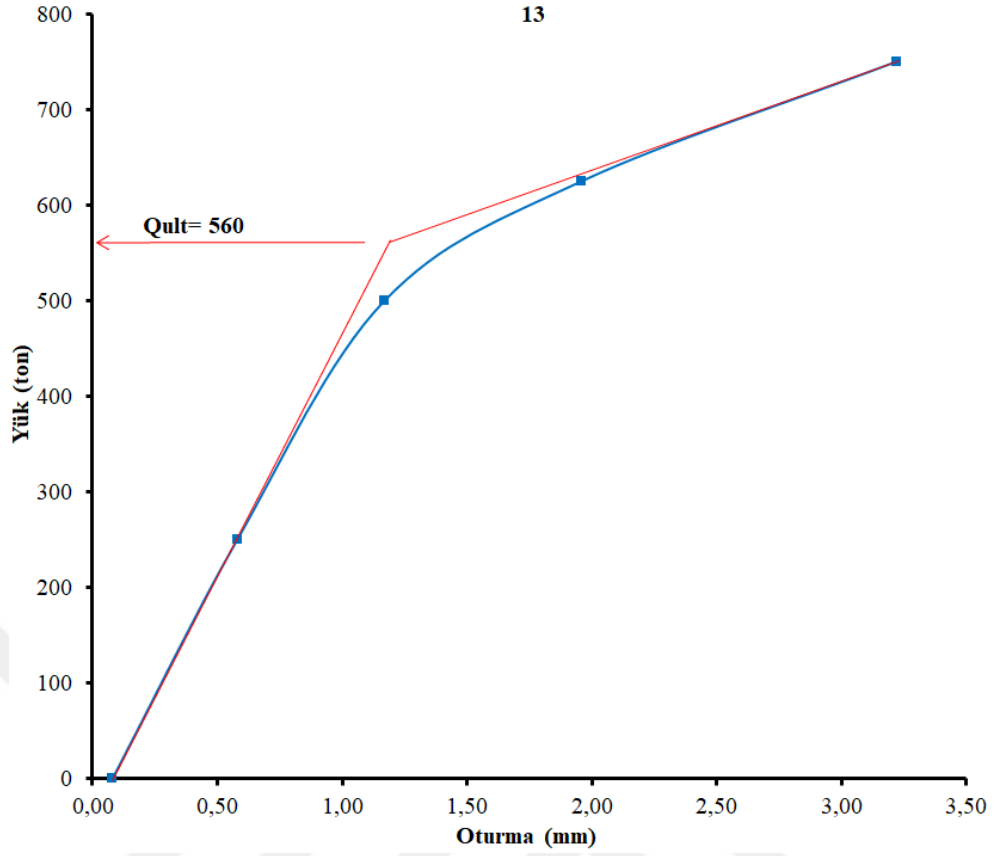
Şekil B.178 : Deney No 13 Fuller - Hoy yöntemi.



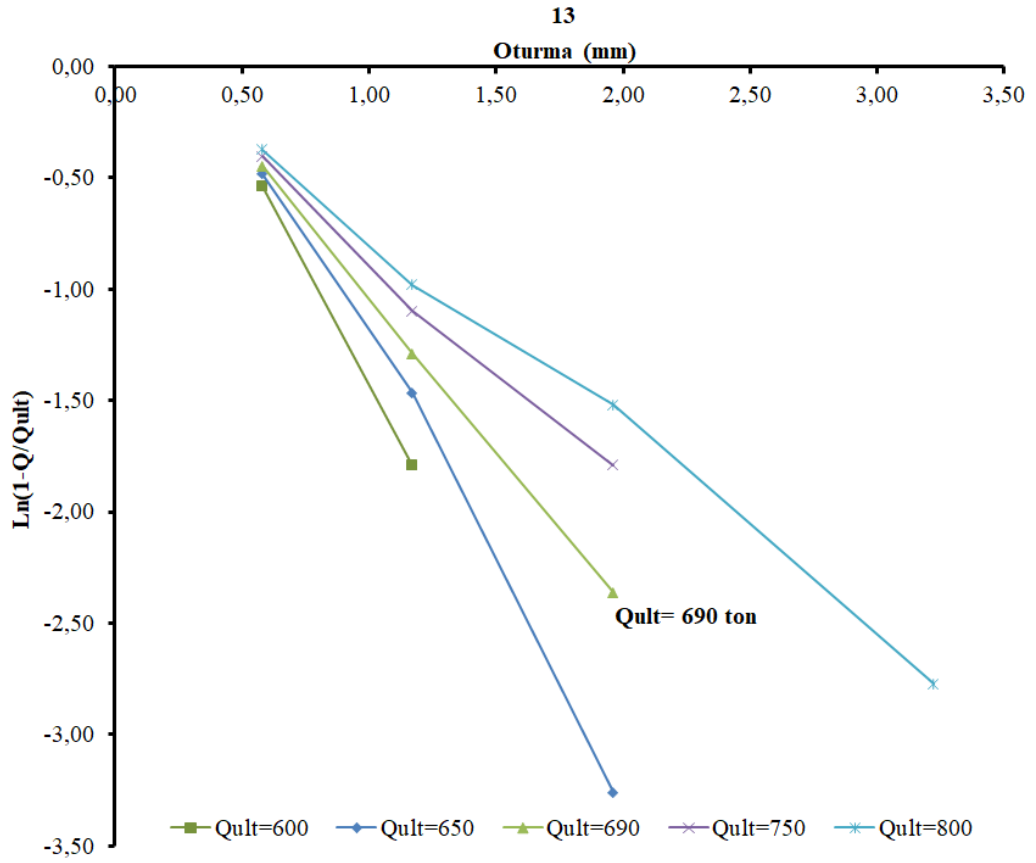
Şekil B.179 : Deney No 13 Hirany - Kulhawy yöntemi.



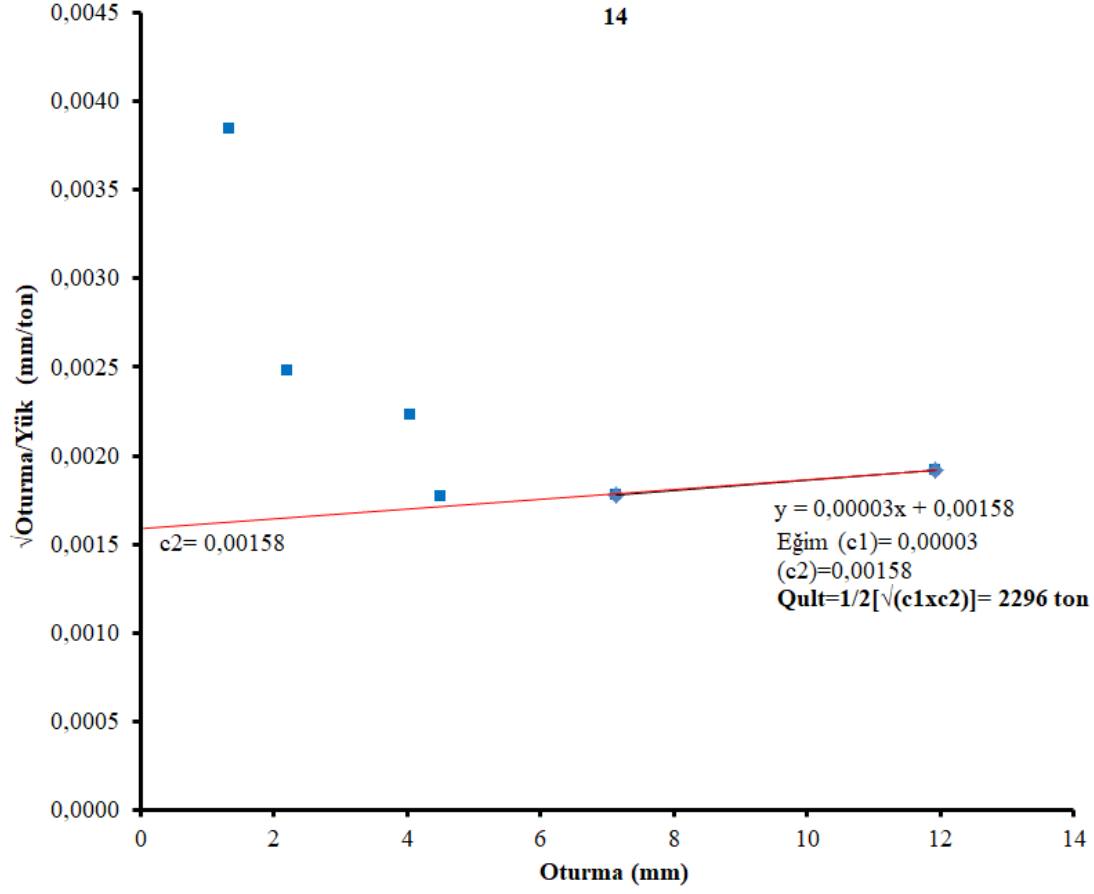
Şekil B.180 : Deney No 13 Mazurkiewicz yöntemi.



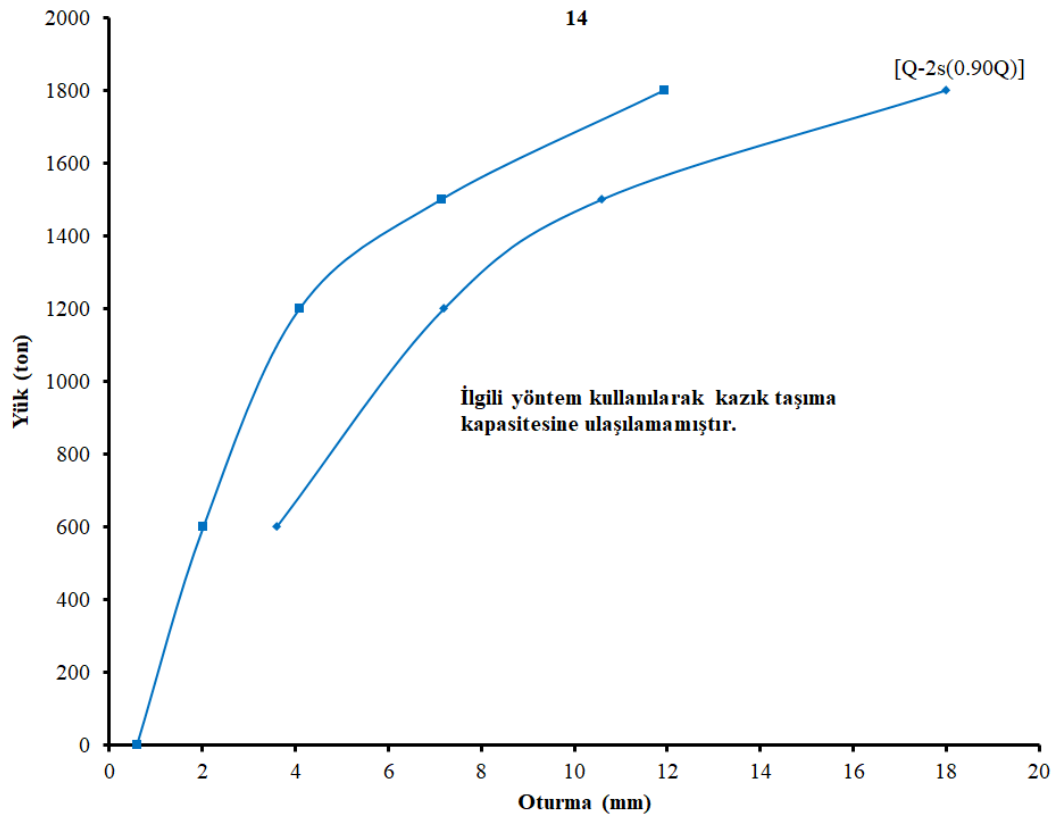
Şekil B.181 : Deney No 13 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



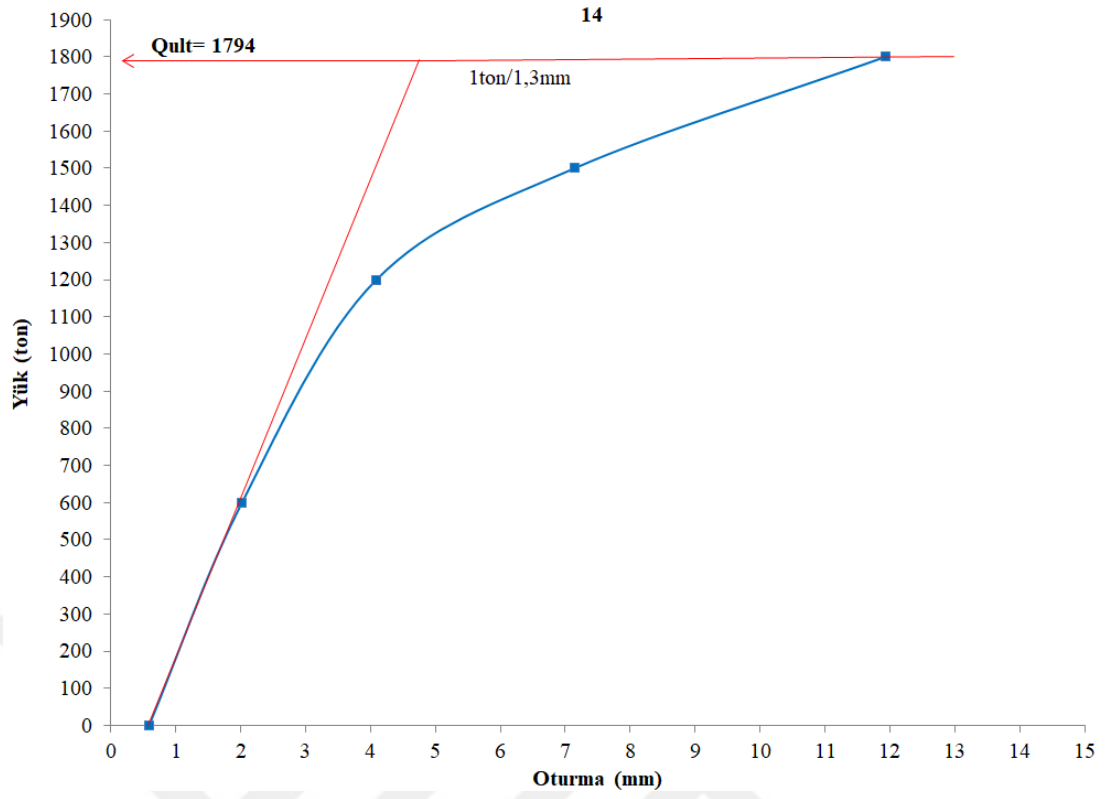
Şekil B.182 : Deney No 13 Van Der Veen yöntemi.



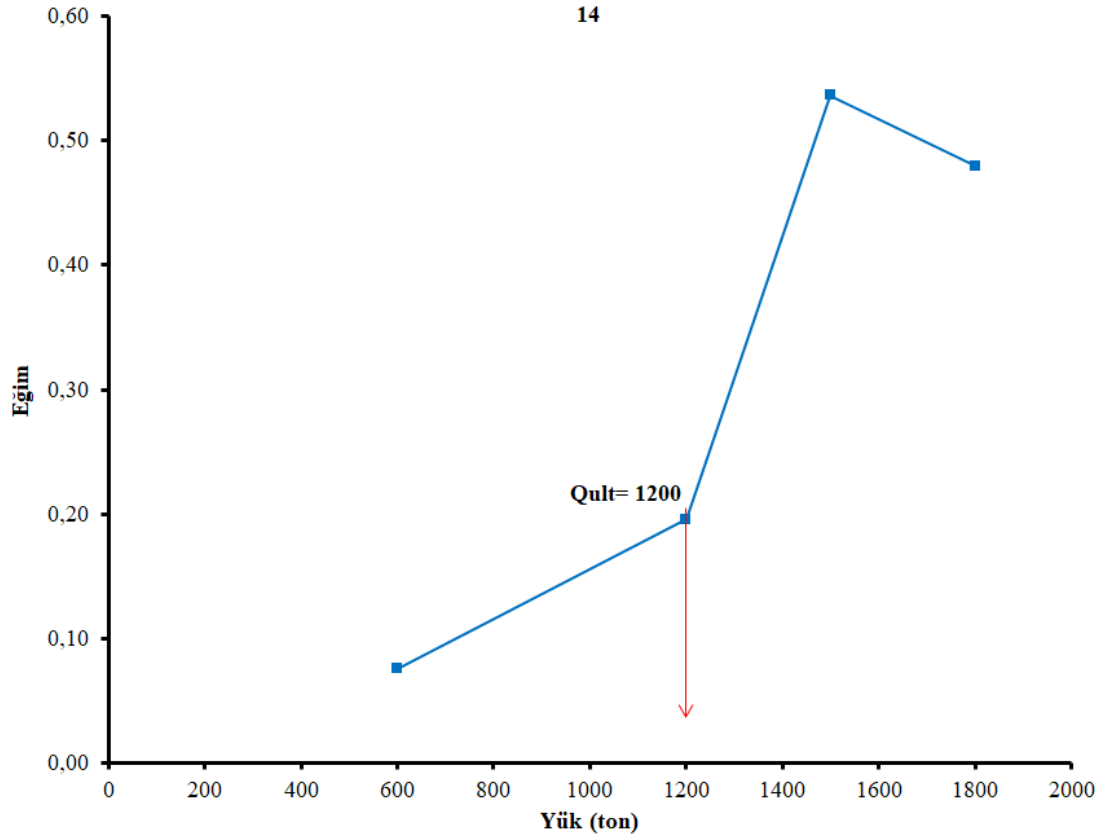
Şekil B.183 : Deney No 14 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



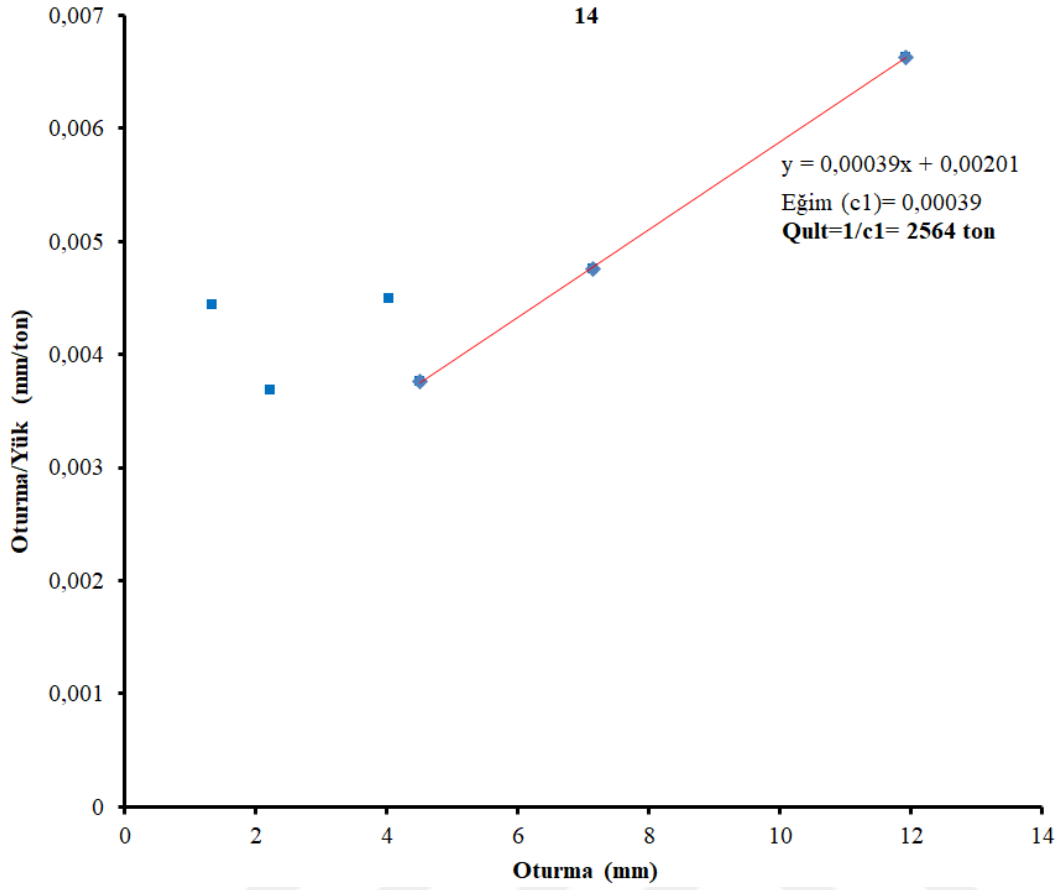
Şekil B.184 : Deney No 14 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



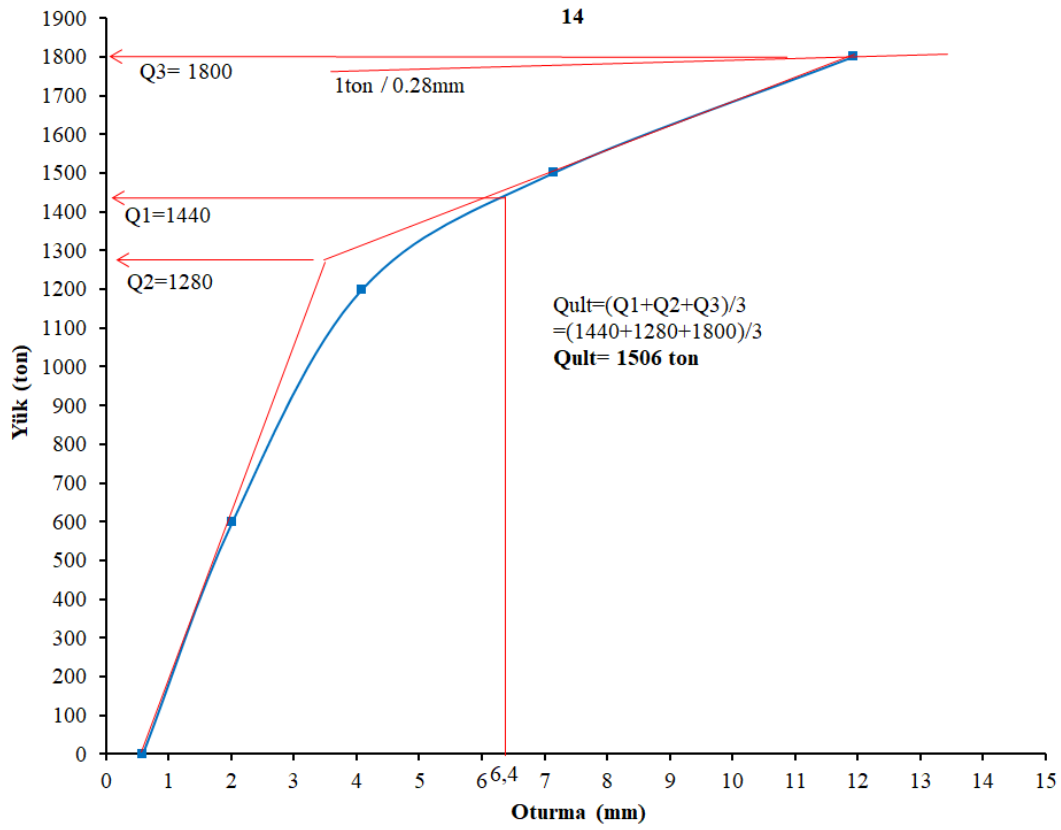
Şekil B.185 : Deney No 14 Butler - Hoy yöntemi.



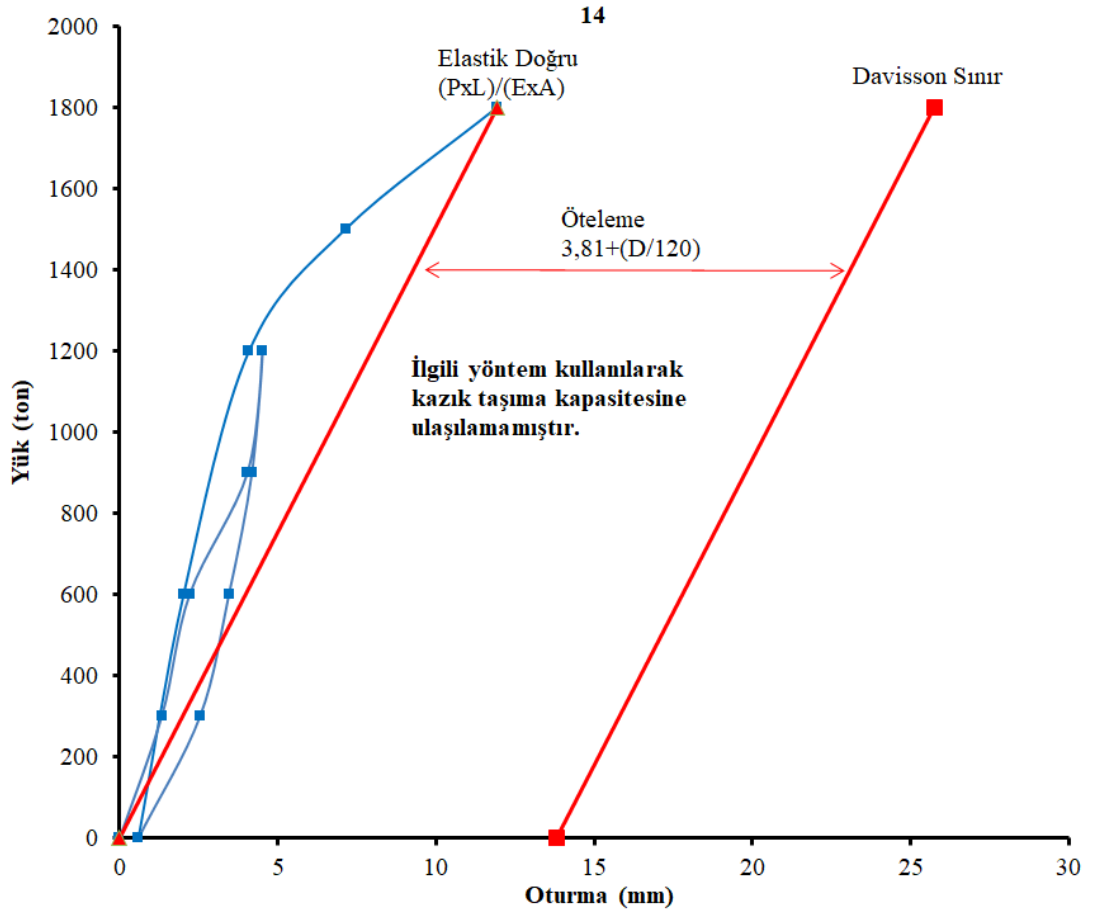
Şekil B.186 : Deney No 14 Cambeft - Chadeisson yöntemi.



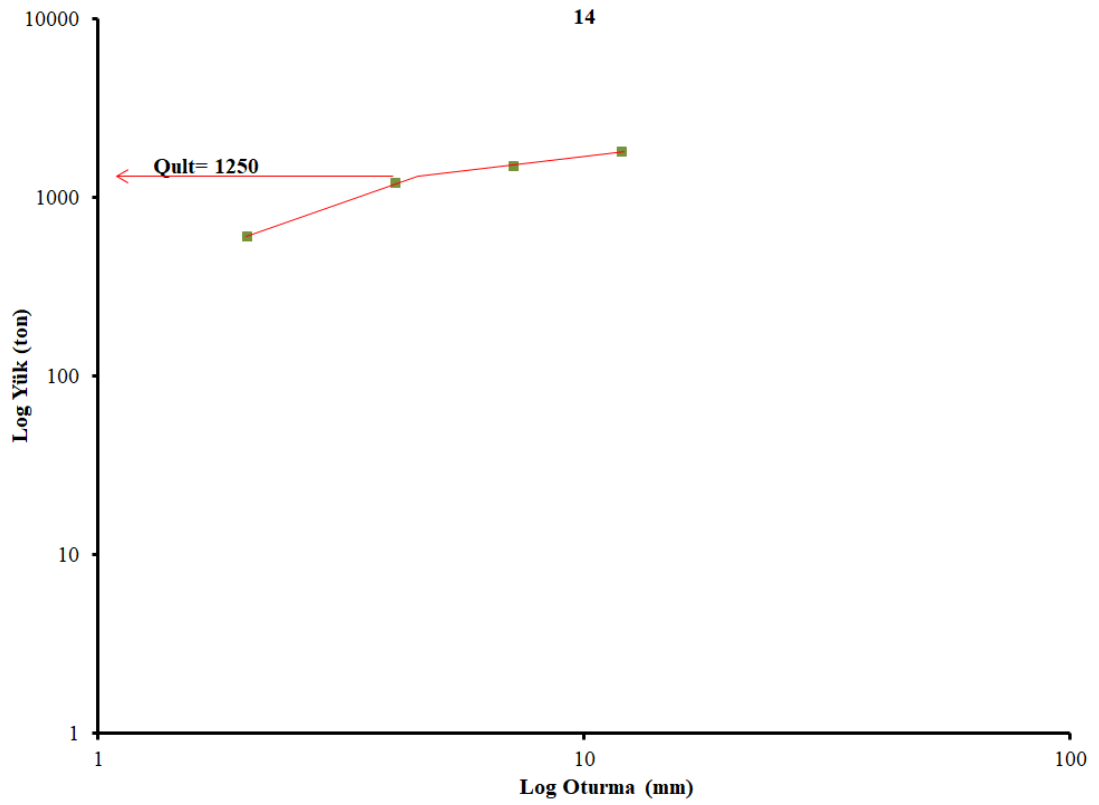
Şekil B.187 : Deney No 14 Chin - Kondner yöntemi.



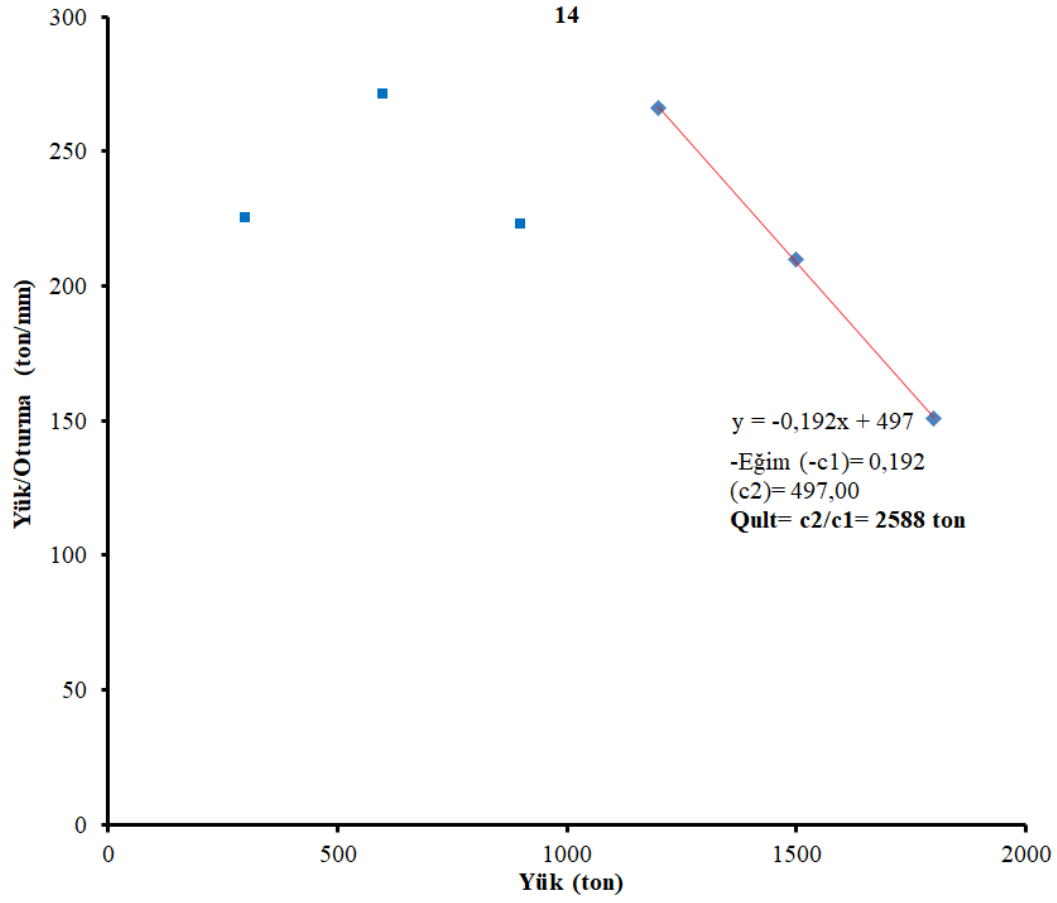
Şekil B.188 : Deney No 14 Corps of Engineers yöntemi.



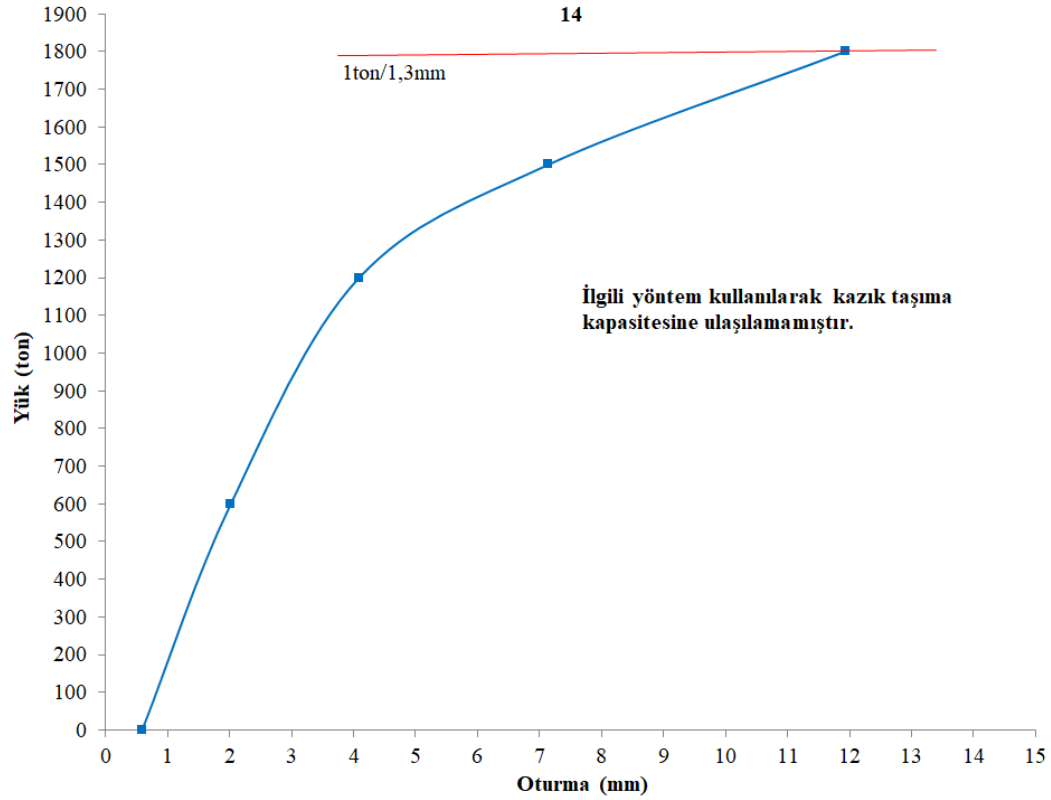
Şekil B.189 : Deney No 14 Davisson yöntemi.



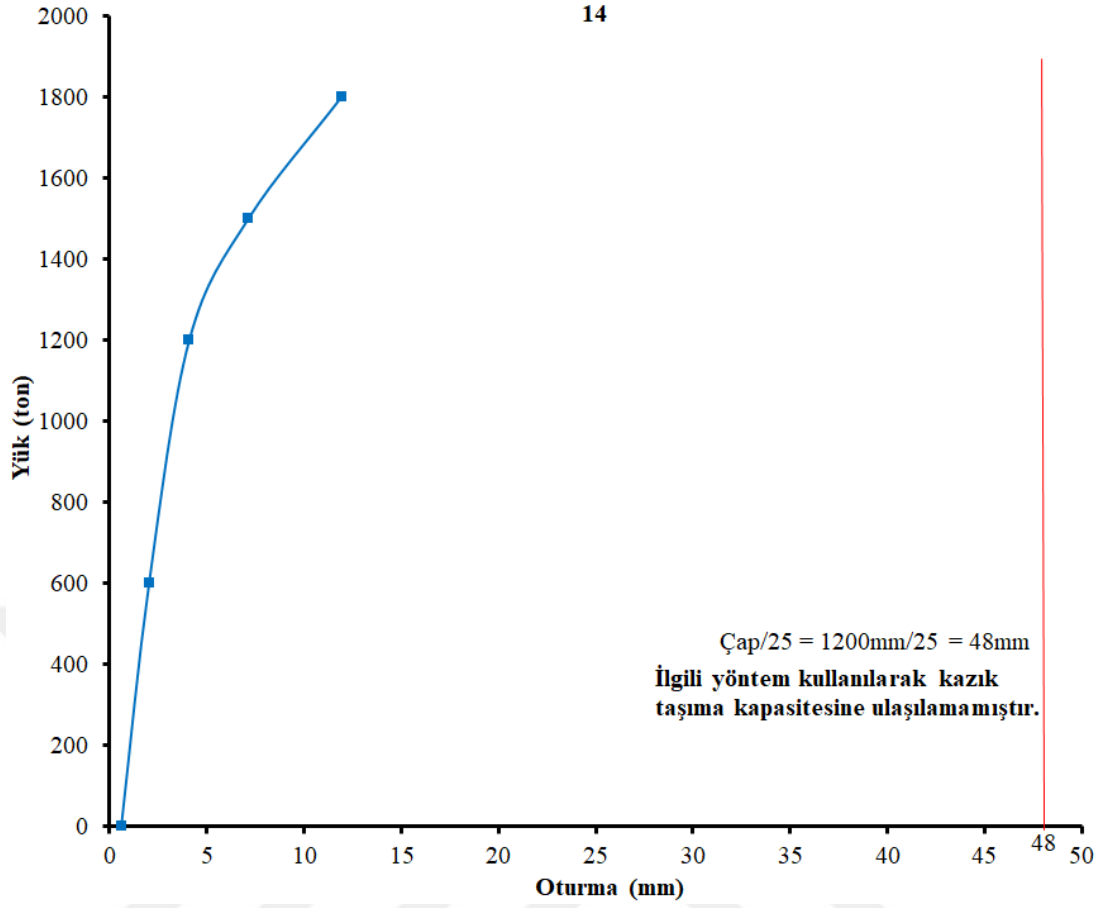
Şekil B.190 : Deney No 14 De Beer yöntemi.



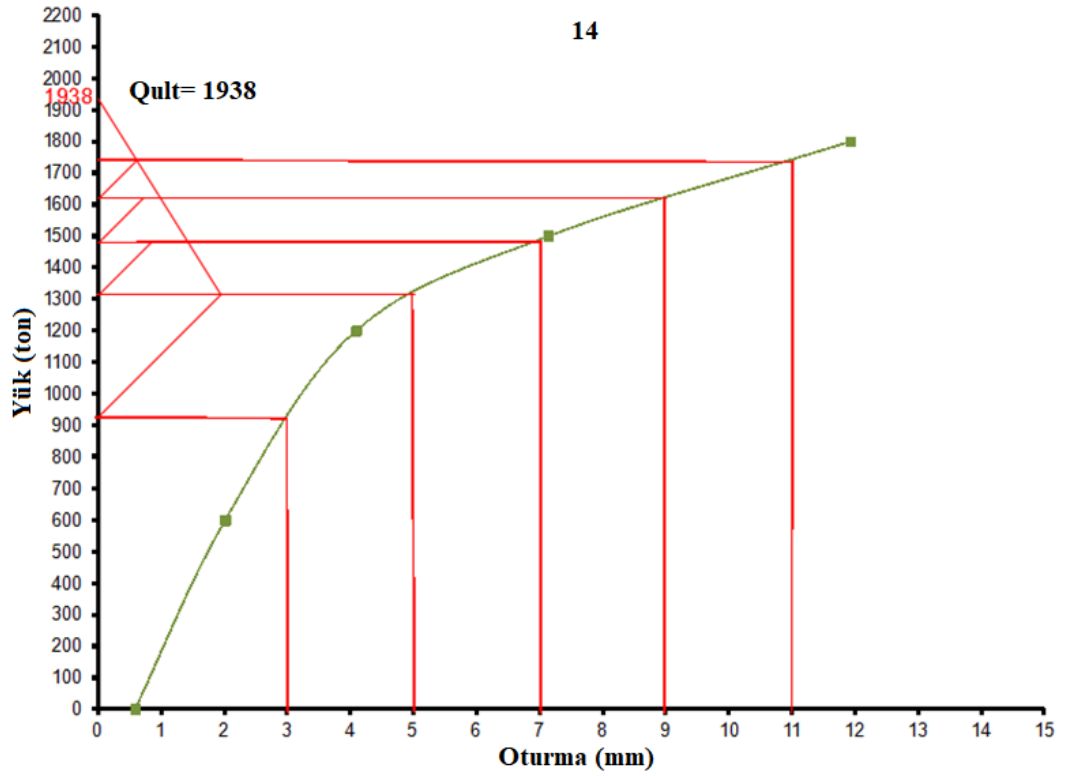
Şekil B.191 : Deney No 14 Decourt yöntemi.



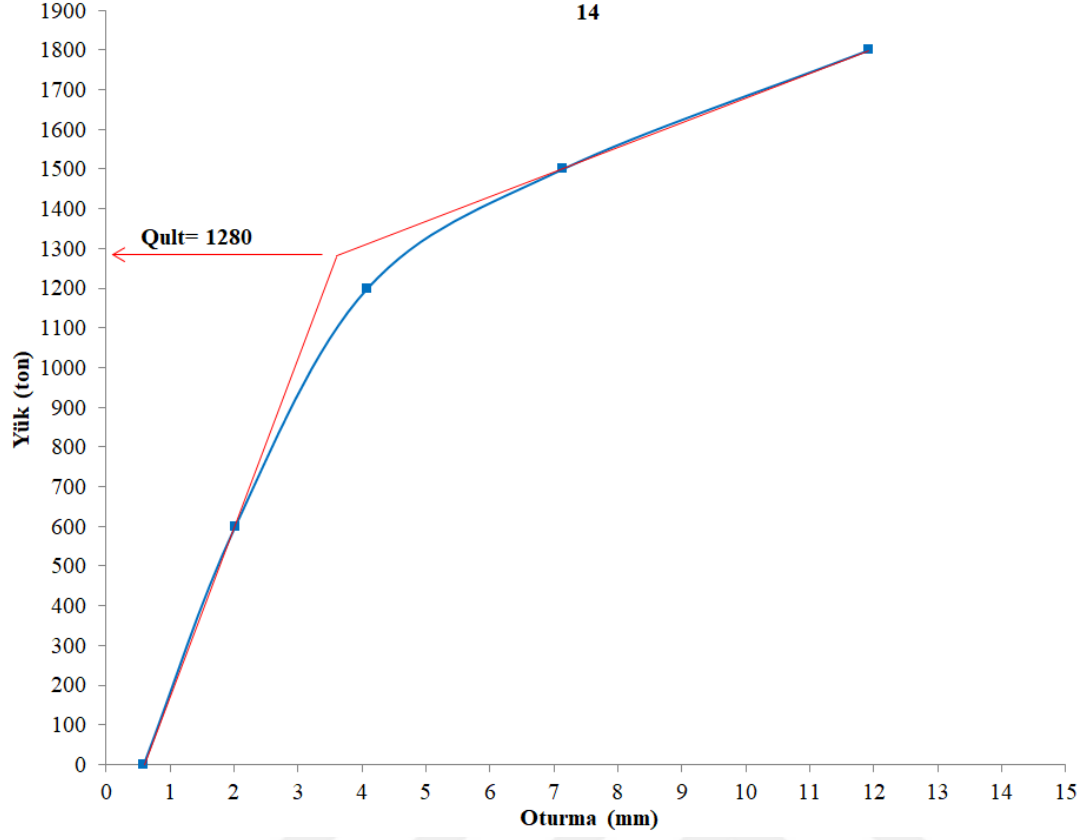
Şekil B.192 : Deney No 14 Fuller - Hoy yöntemi.



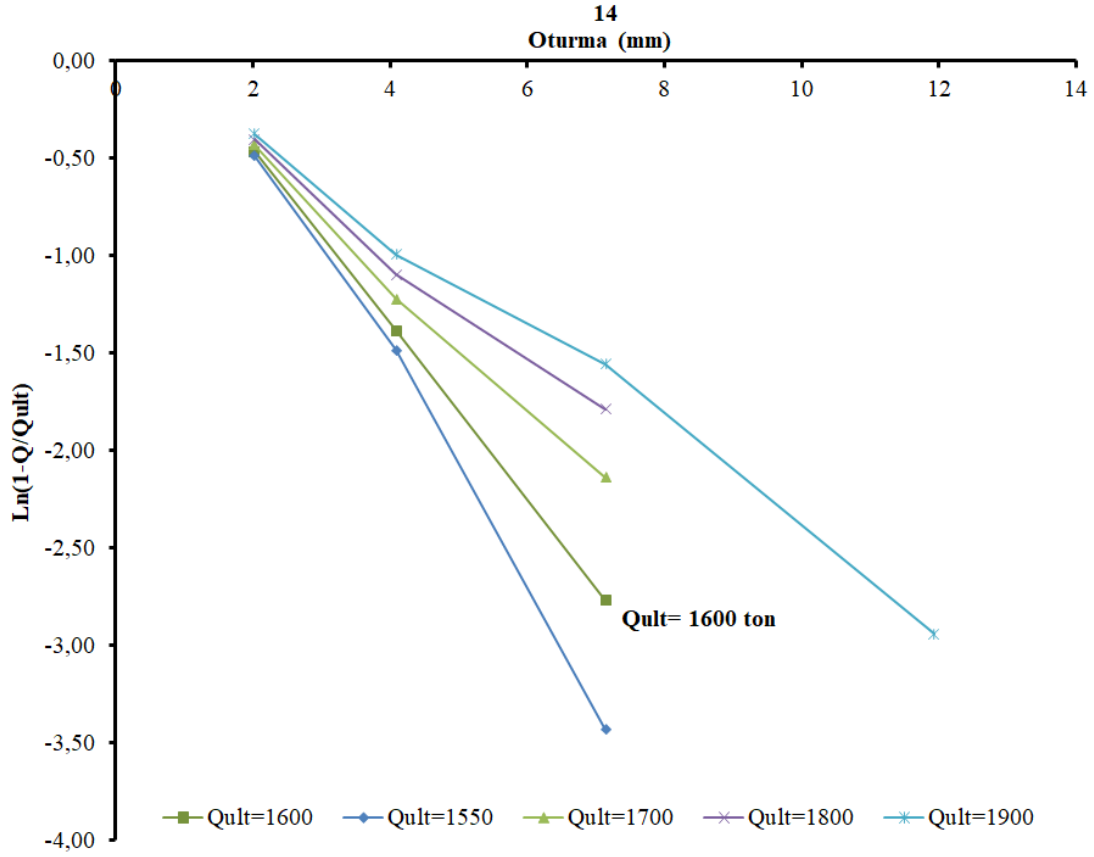
Şekil B.193 : Deney No 14 Hirany - Kulhawy yöntemi.



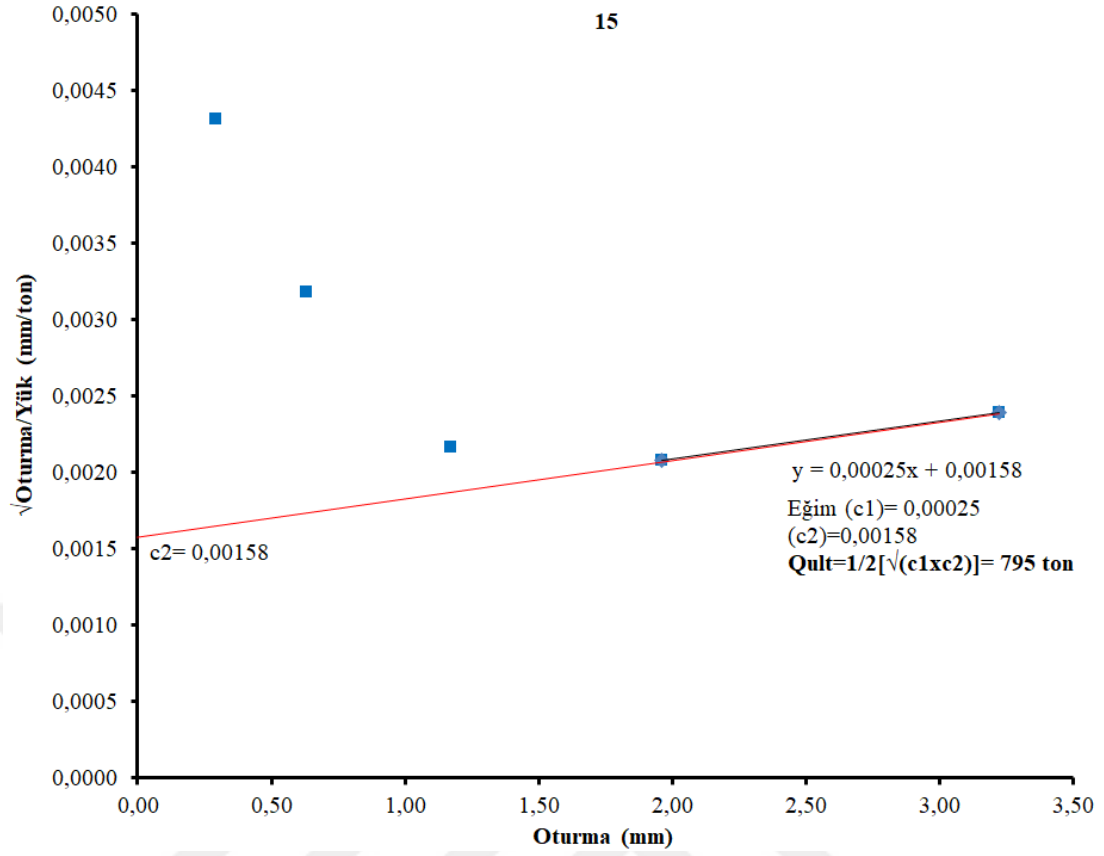
Şekil B.194 : Deney No 14 Mazurkiewicz yöntemi.



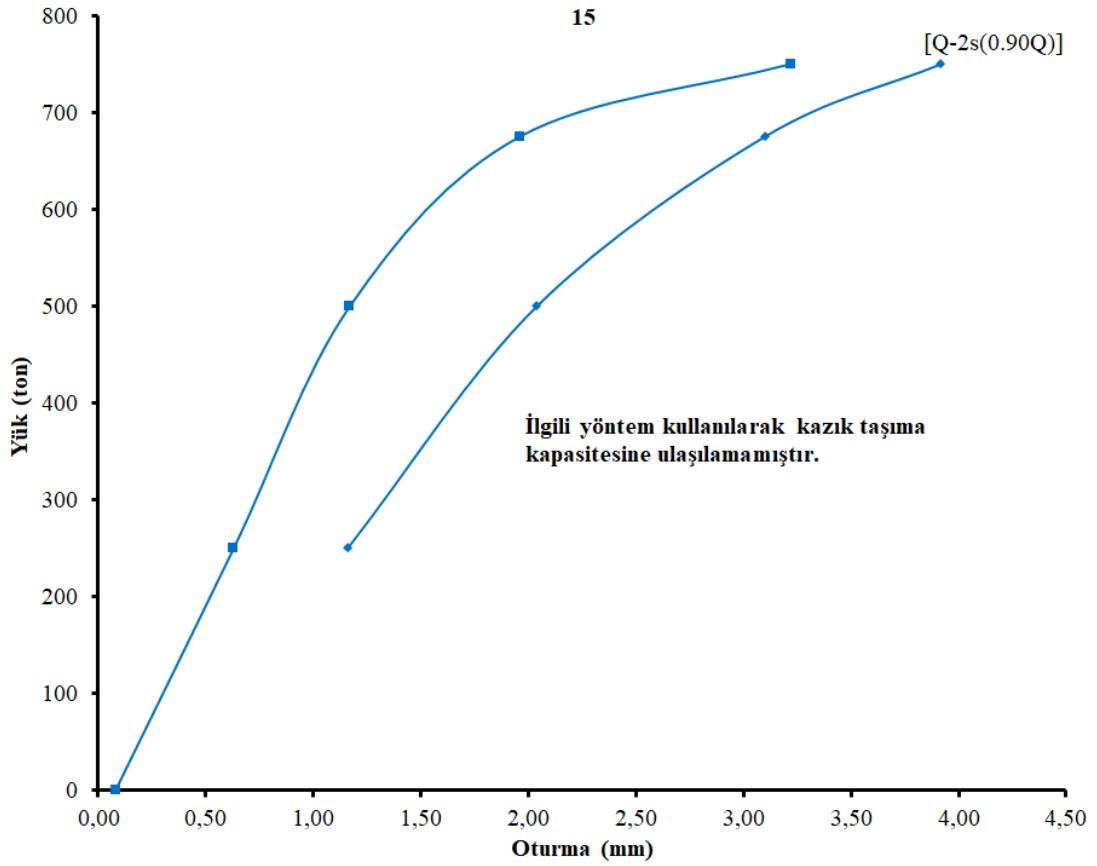
Şekil B.195 : Deney No 14 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



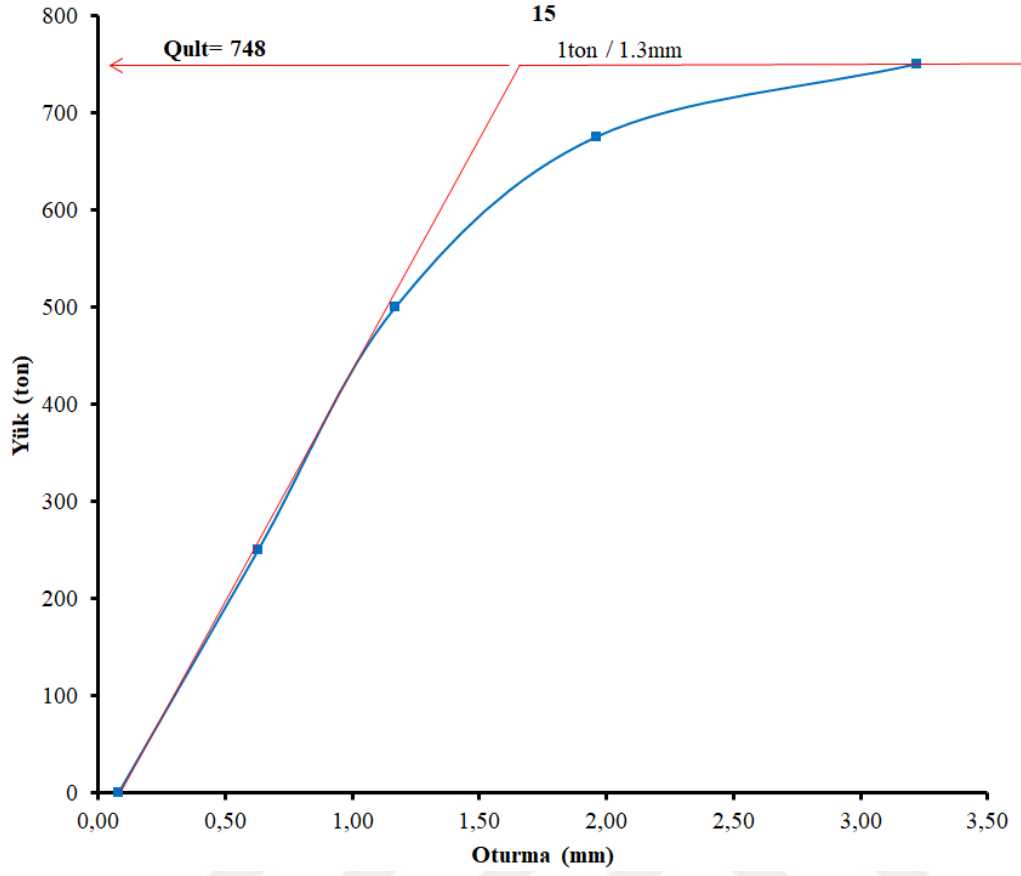
Şekil B.196 : Deney No 14 Van Der Veen yöntemi.



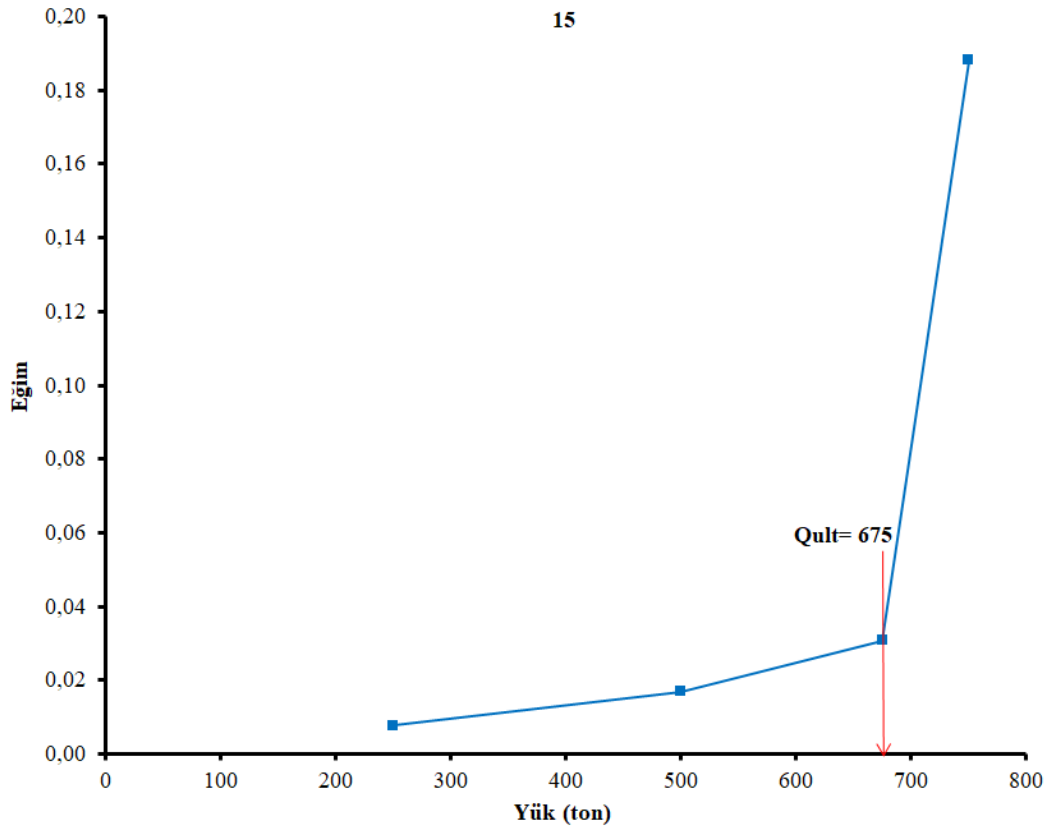
Şekil B.197 : Deney No 15 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



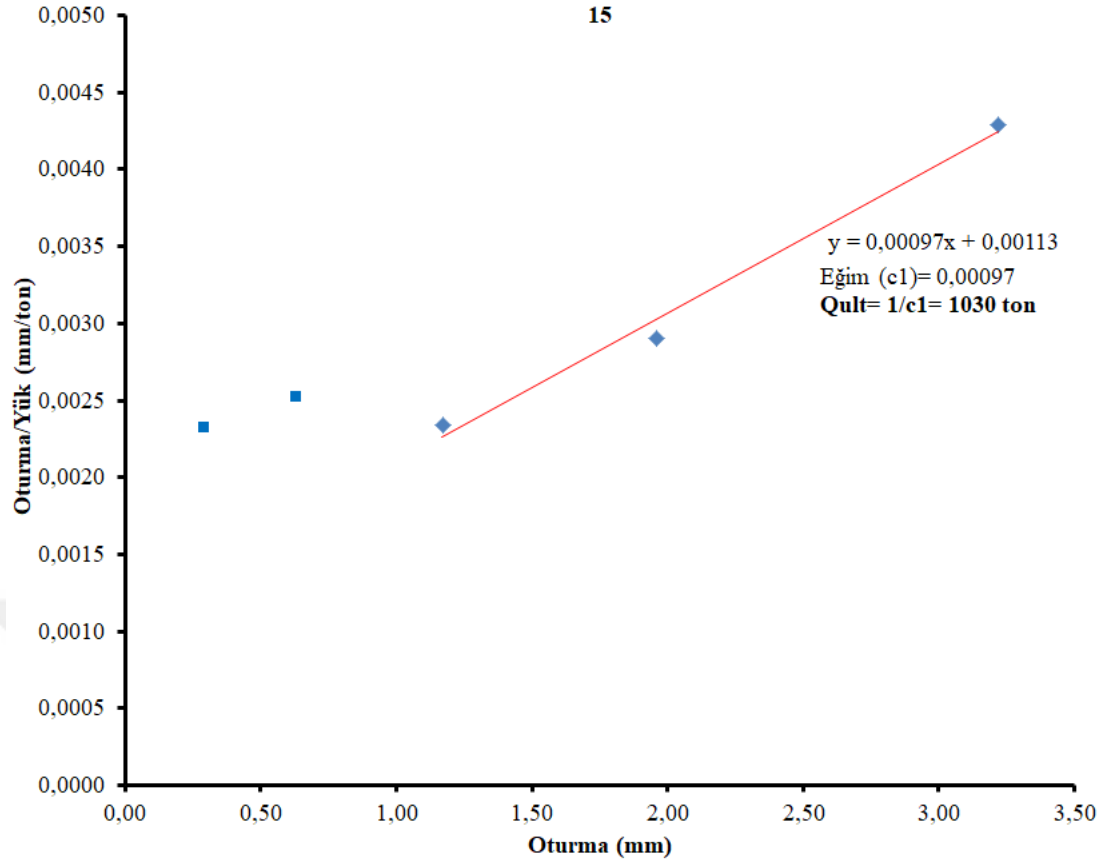
Şekil B.198 : Deney No 15 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



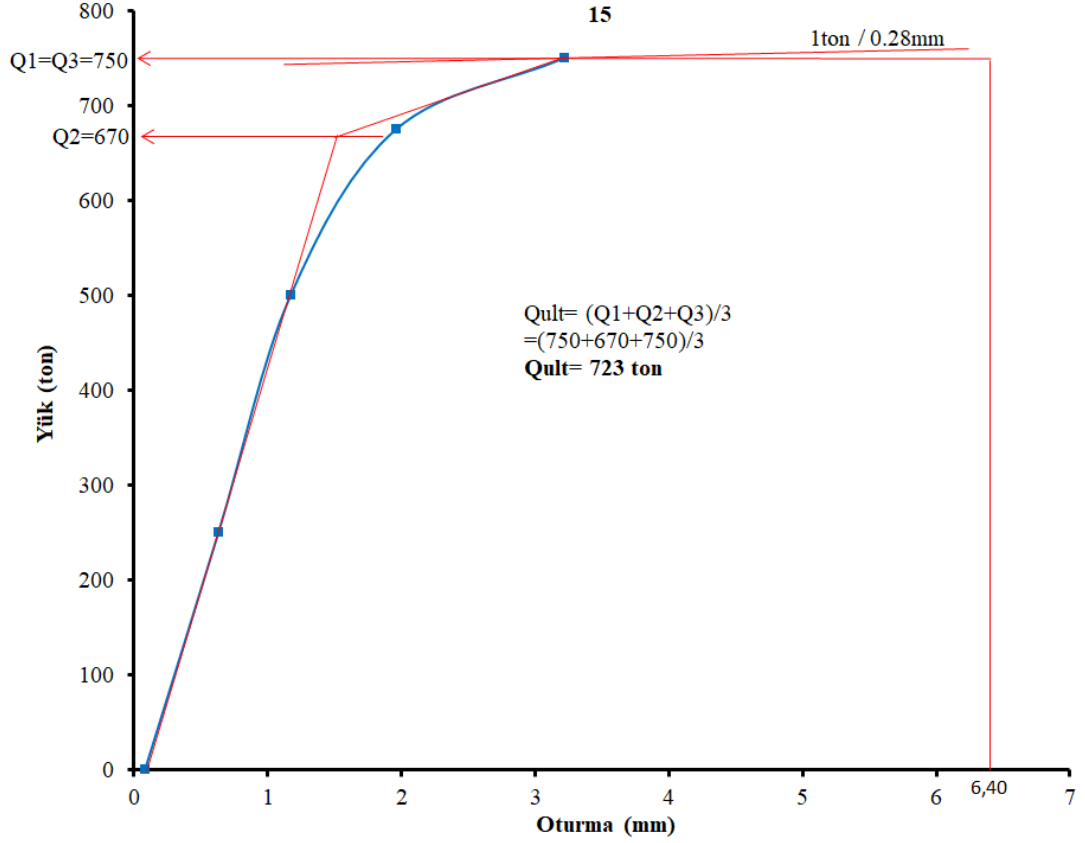
Şekil B.199 : Deney No 15 Butler - Hoy yöntemi.



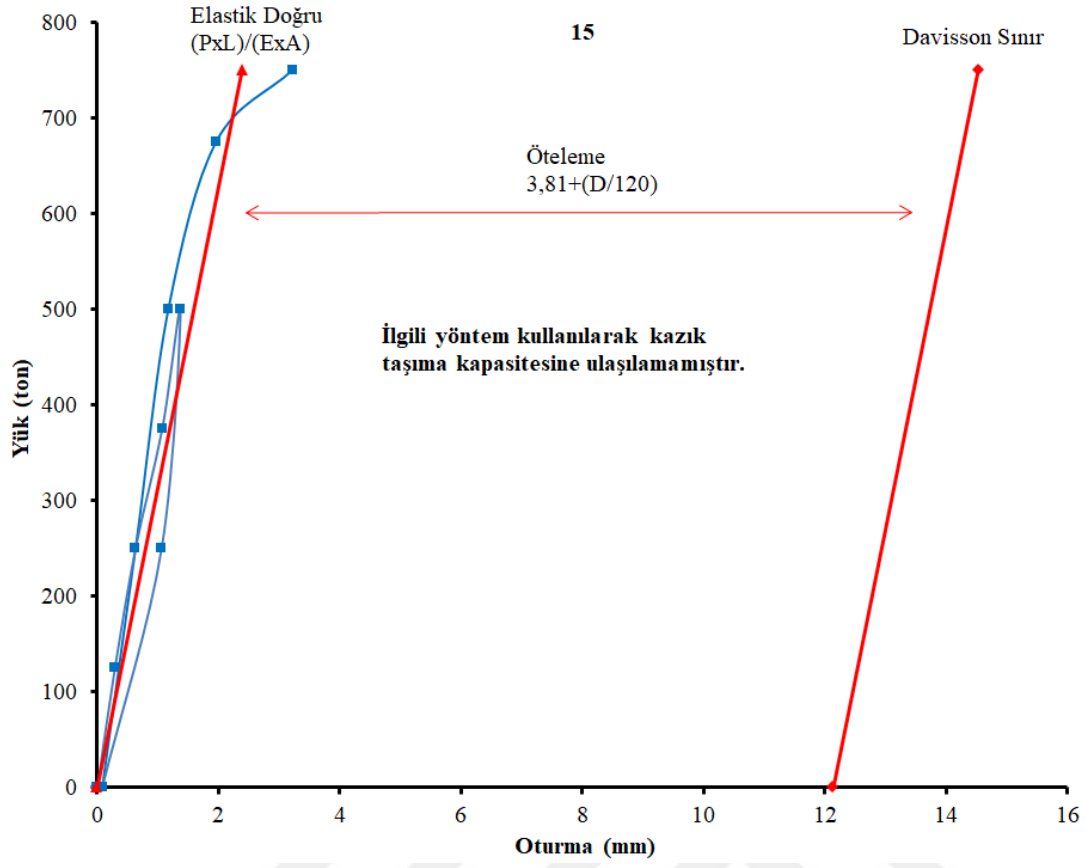
Şekil B.200 : Deney No 15 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



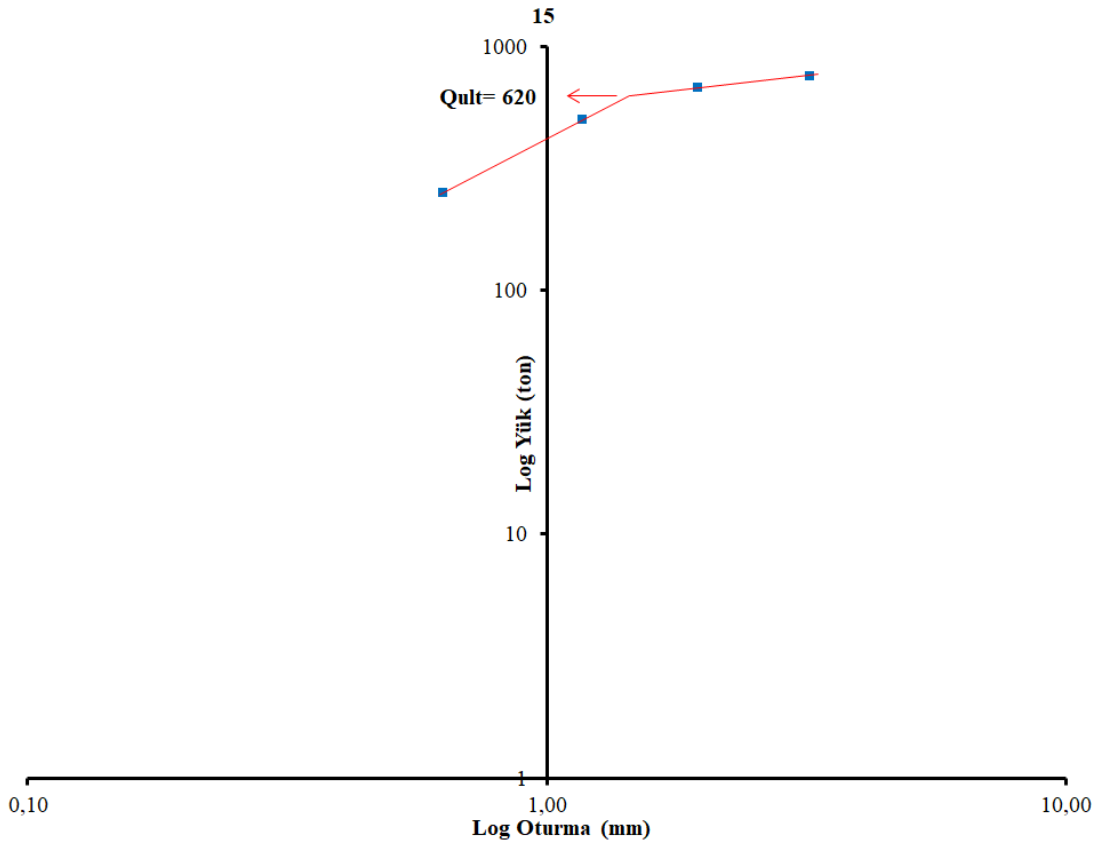
Şekil B.201 : Deney No 15 Chin - Kondner yöntemi.



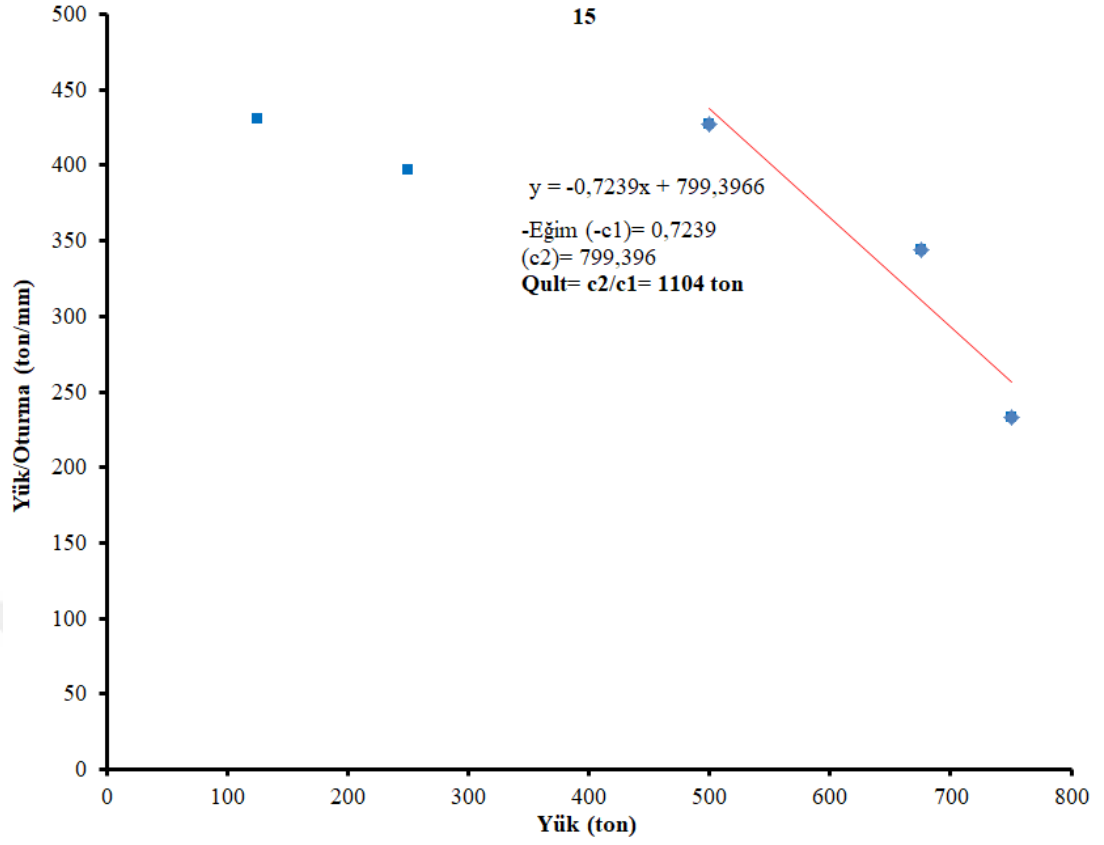
Şekil B.202 : Deney No 15 Corps of Engineers yöntemi.



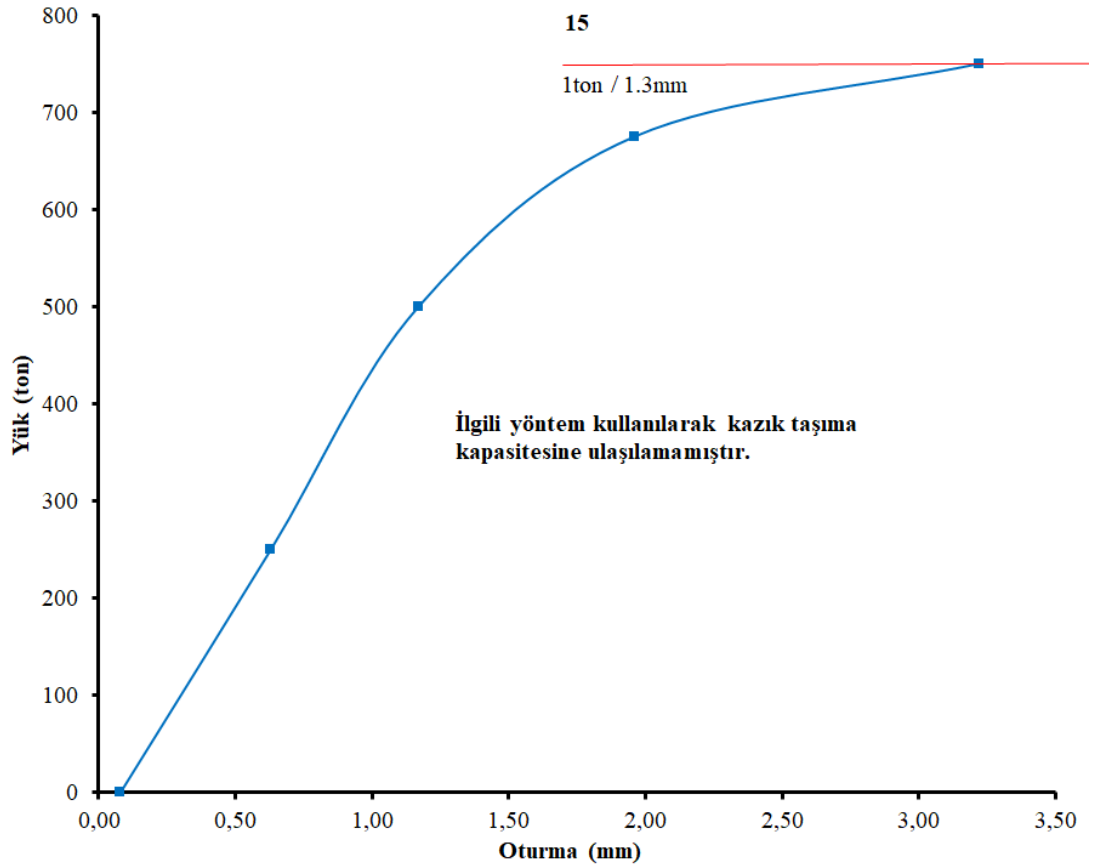
Şekil B.203 : Deney No 15 Davisson yöntemi.



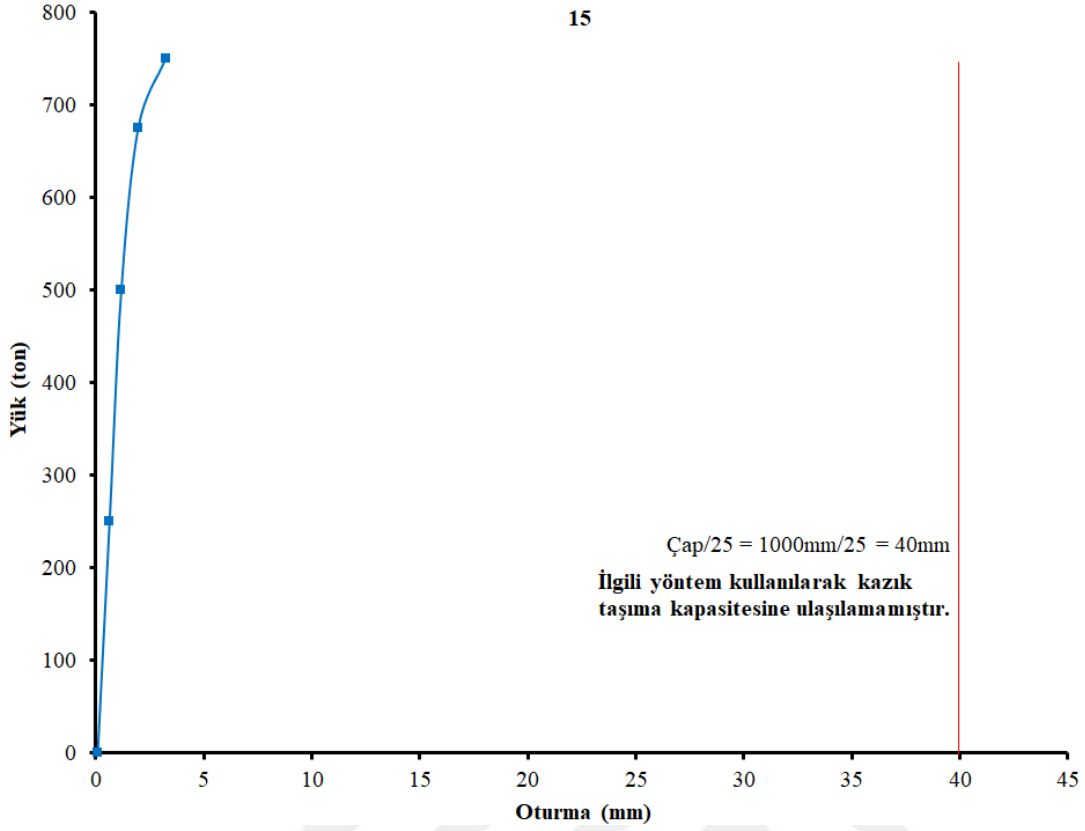
Şekil B.204 : Deney No 15 De Beer yöntemi.



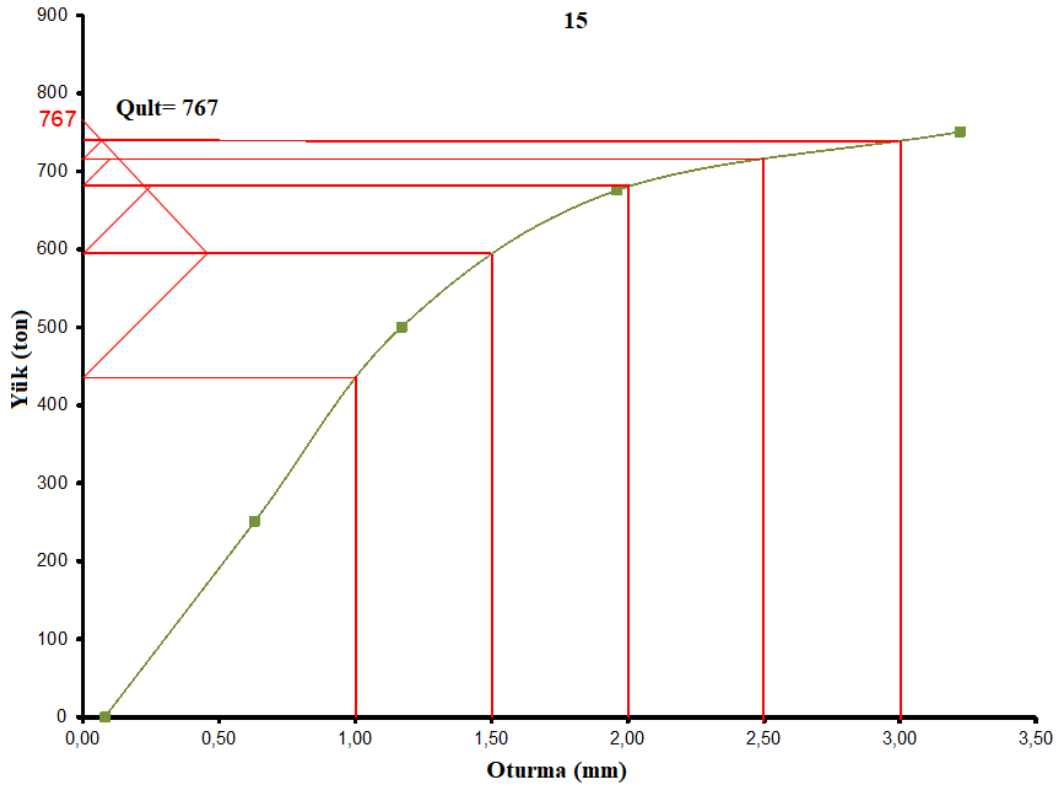
Şekil B.205 : Deney No 15 Decourt yöntemi.



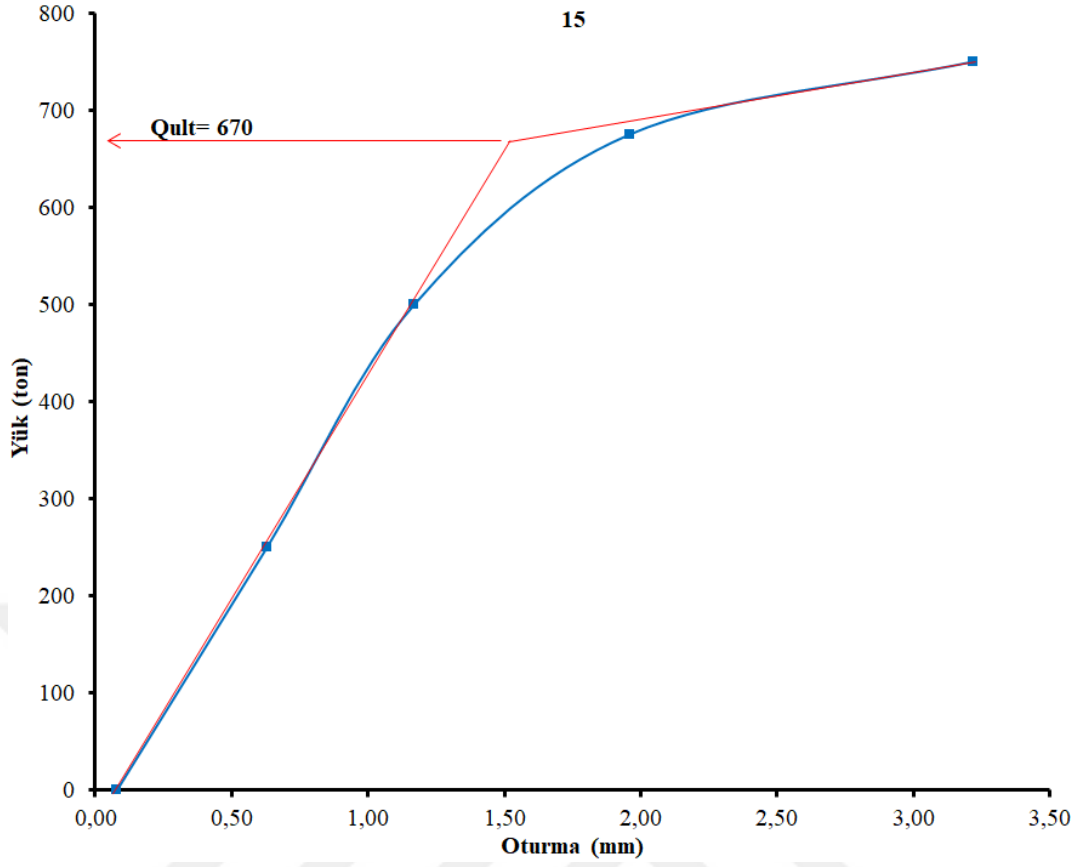
Şekil B.206 : Deney No 15 Fuller - Hoy yöntemi.



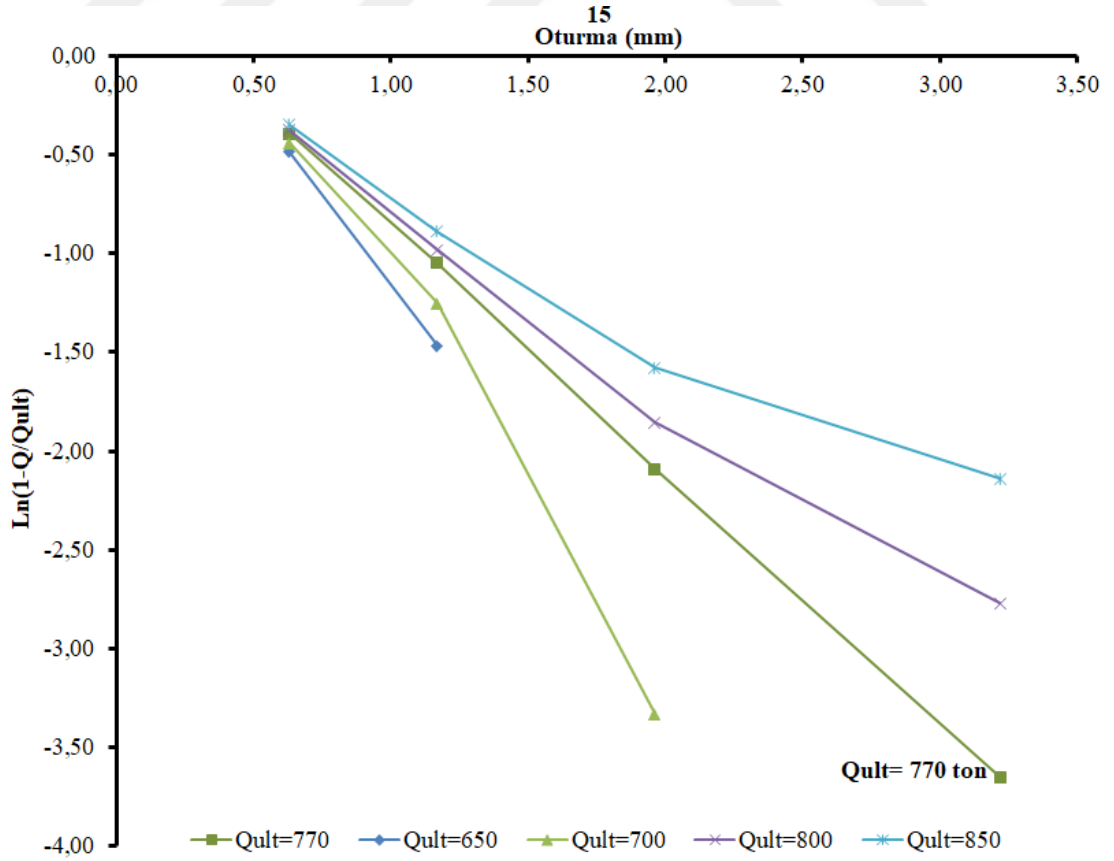
Şekil B.207 : Deney No 15 Hirany - Kulhawy yöntemi.



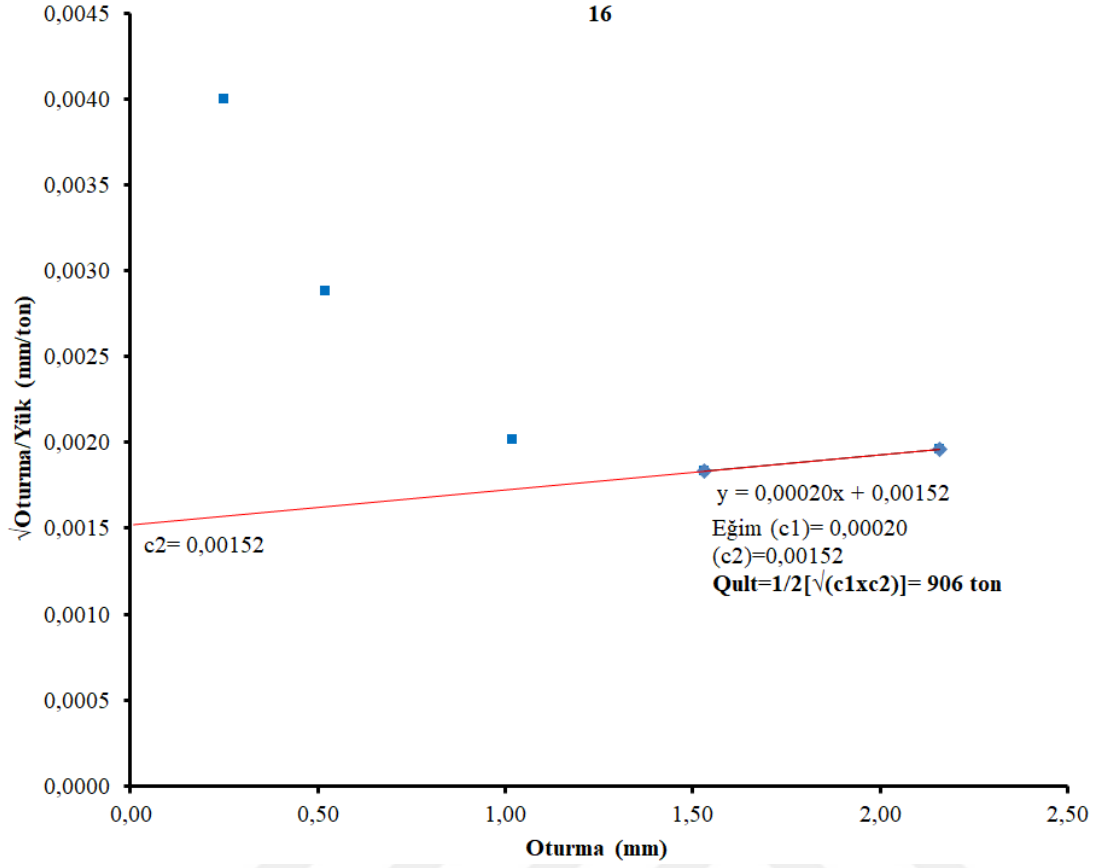
Şekil B.208 : Deney No 15 Mazurkiewicz yöntemi.



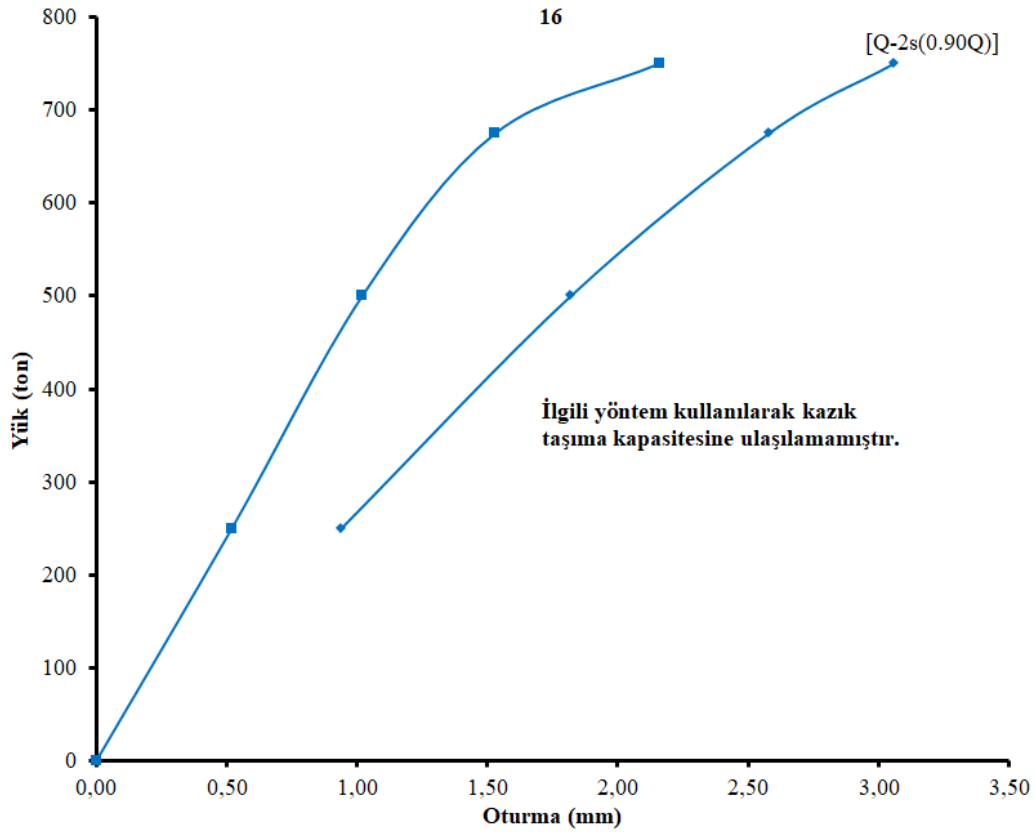
Şekil B.209 : Deney No 15 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



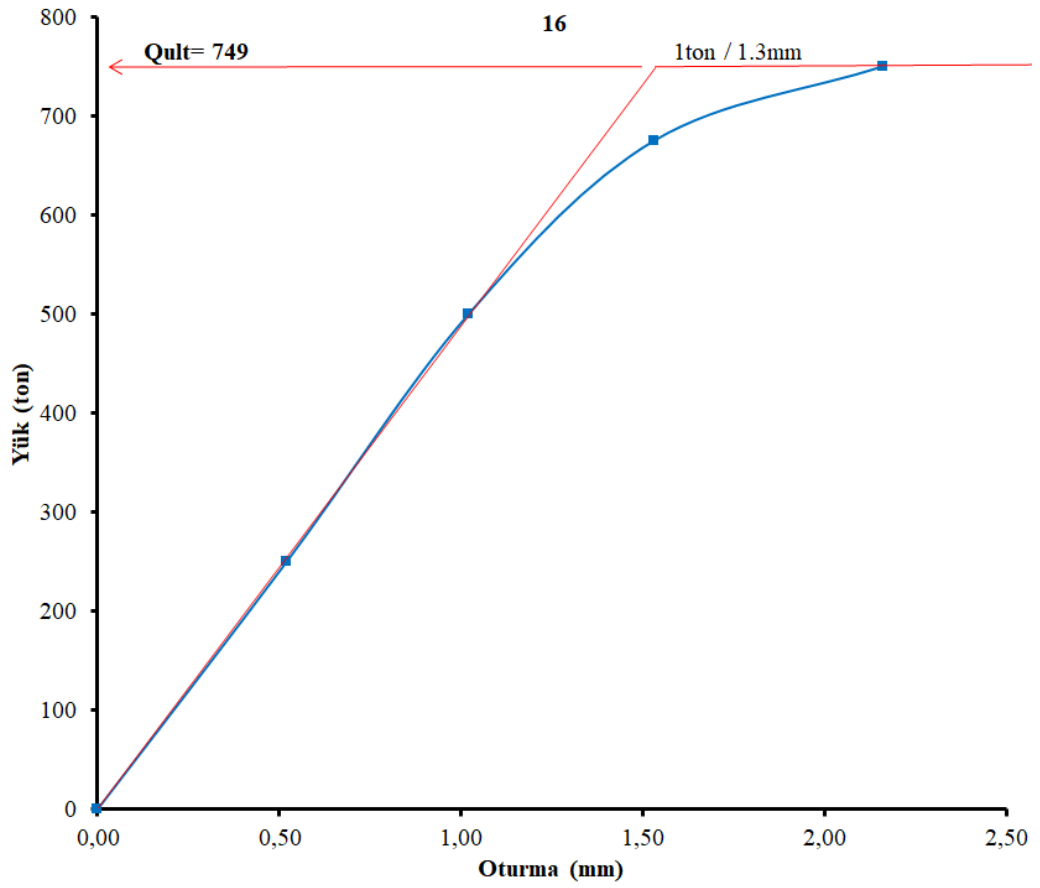
Şekil B.210 : Deney No 15 Van Der Veen yöntemi.



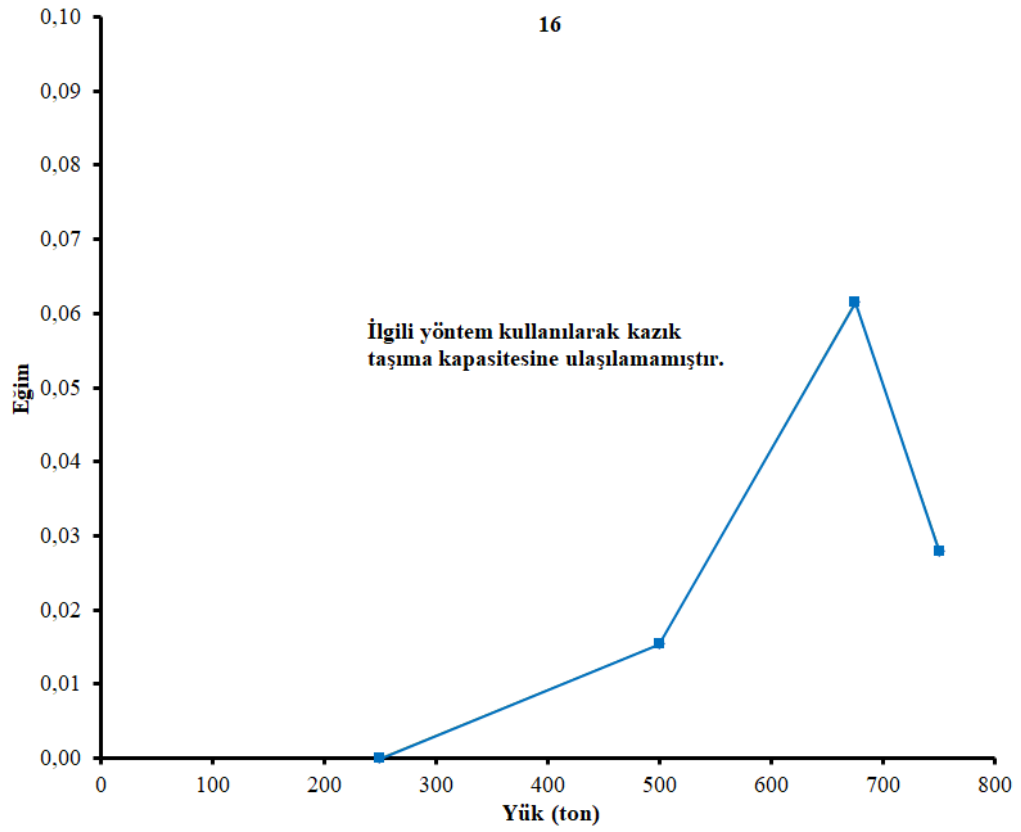
Şekil B.211 : Deney No 16 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



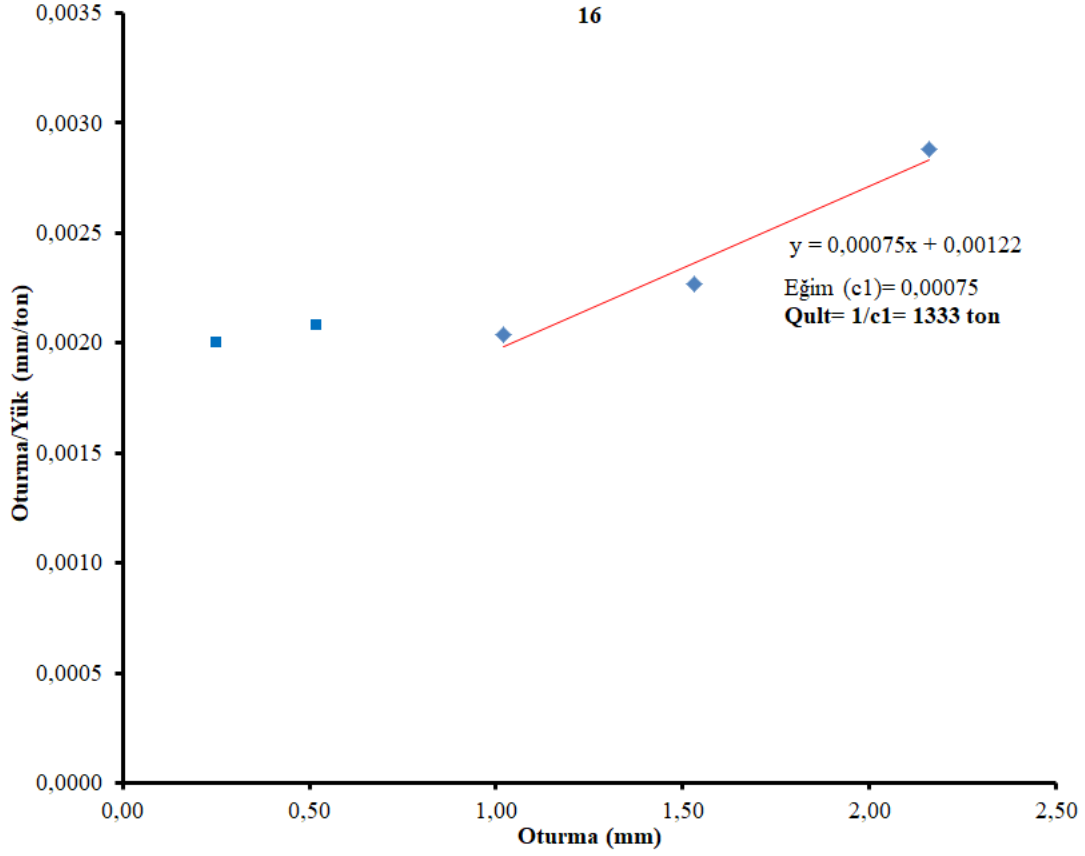
Şekil B.212 : Deney No 16 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



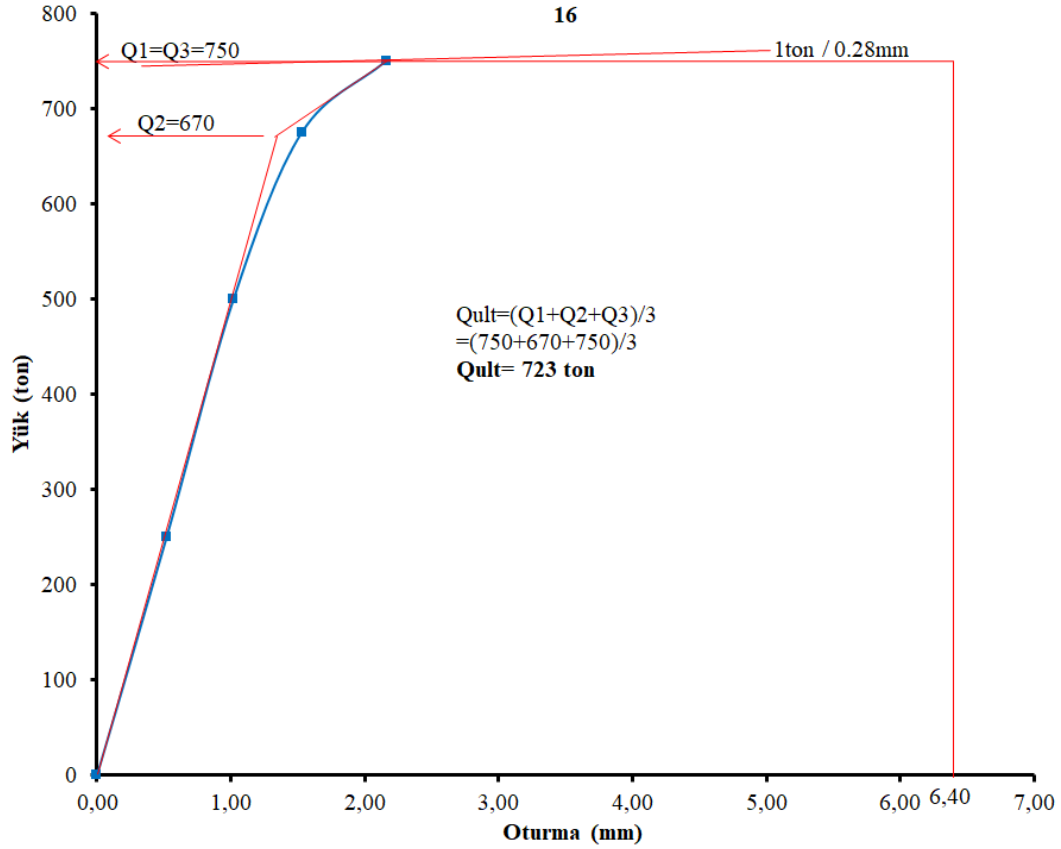
Şekil B.213 : Deney No 16 Butler - Hoy yöntemi.



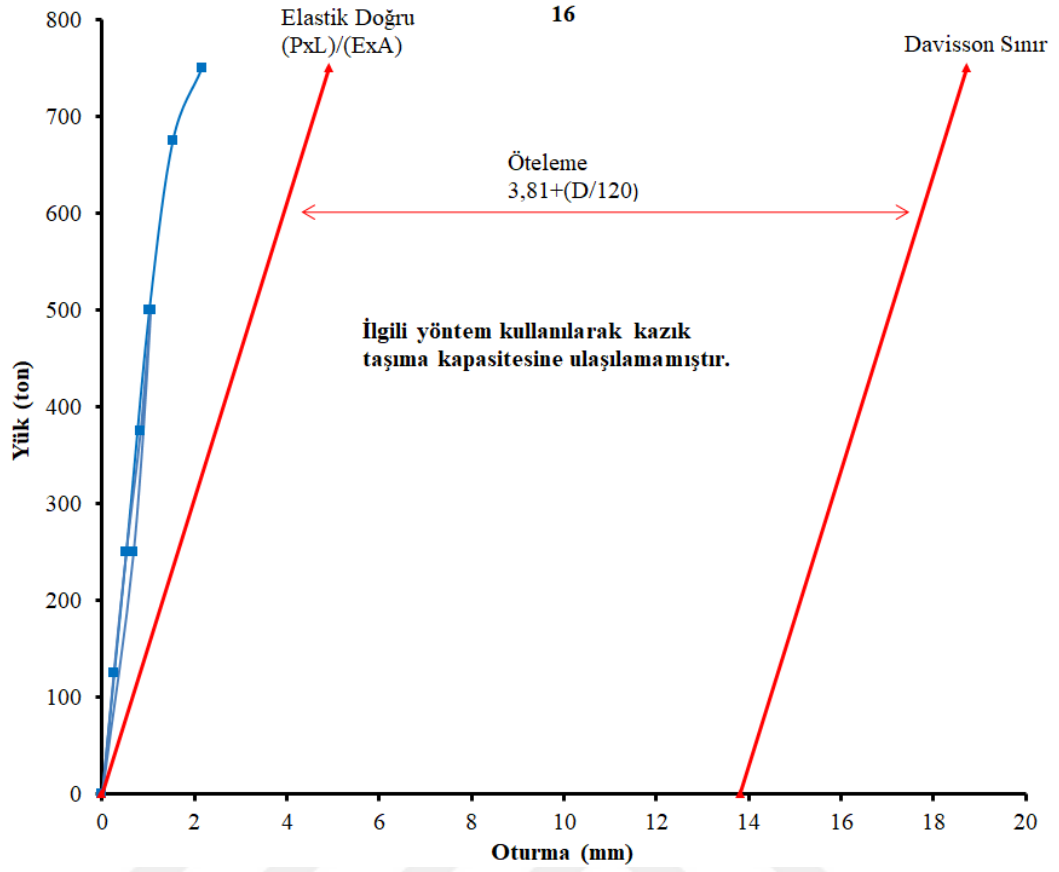
Şekil B.214 : Deney No 16 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



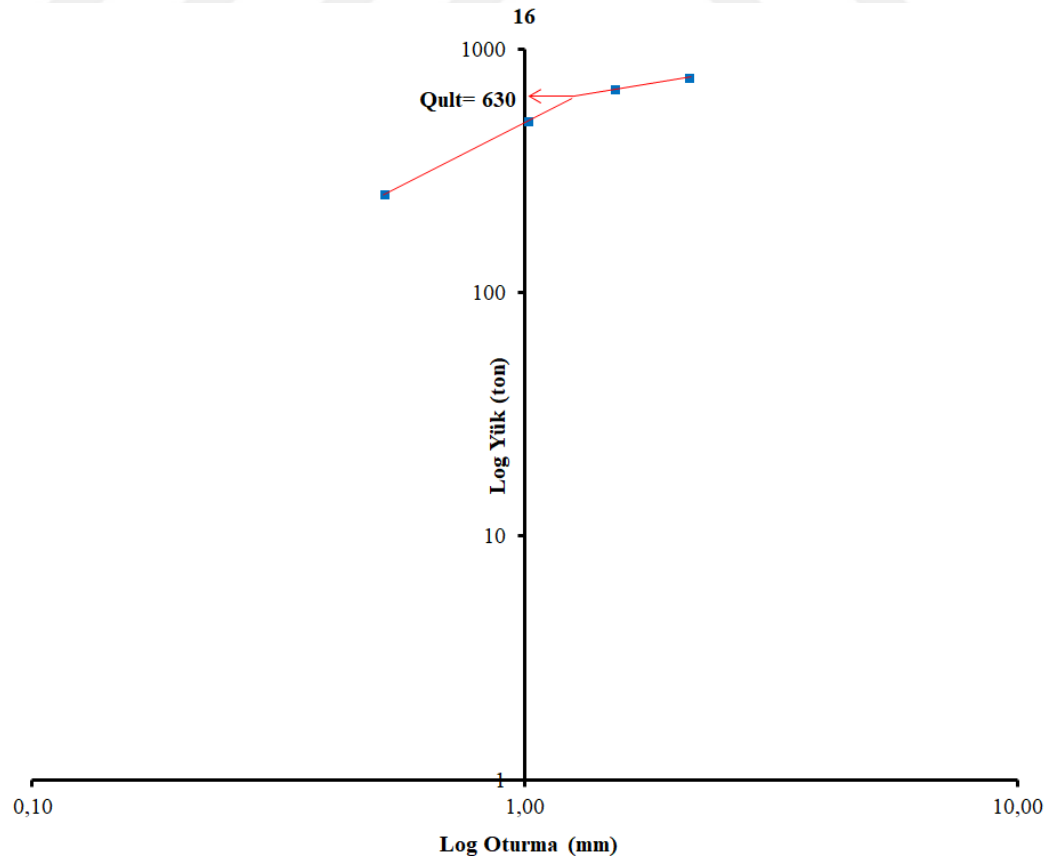
Şekil B.215 : Deney No 16 Chin - Kondner yöntemi.



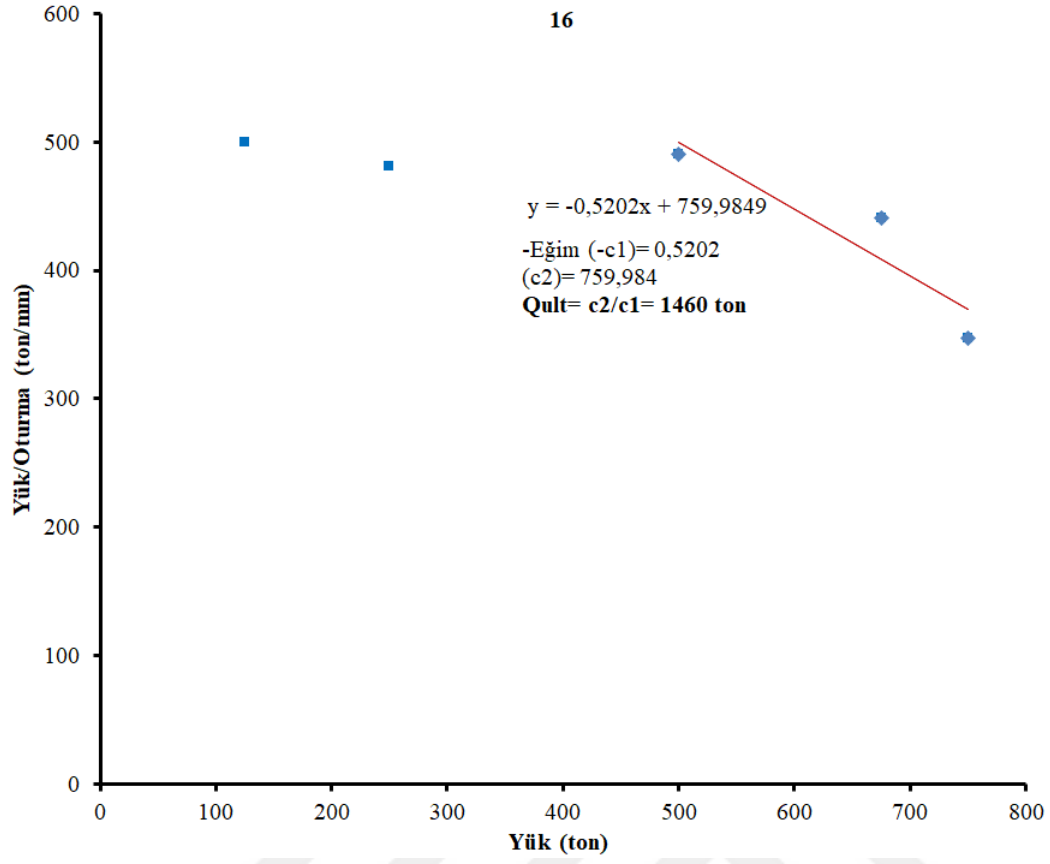
Şekil B.216 : Deney No 16 Corps of Engineers yöntemi.



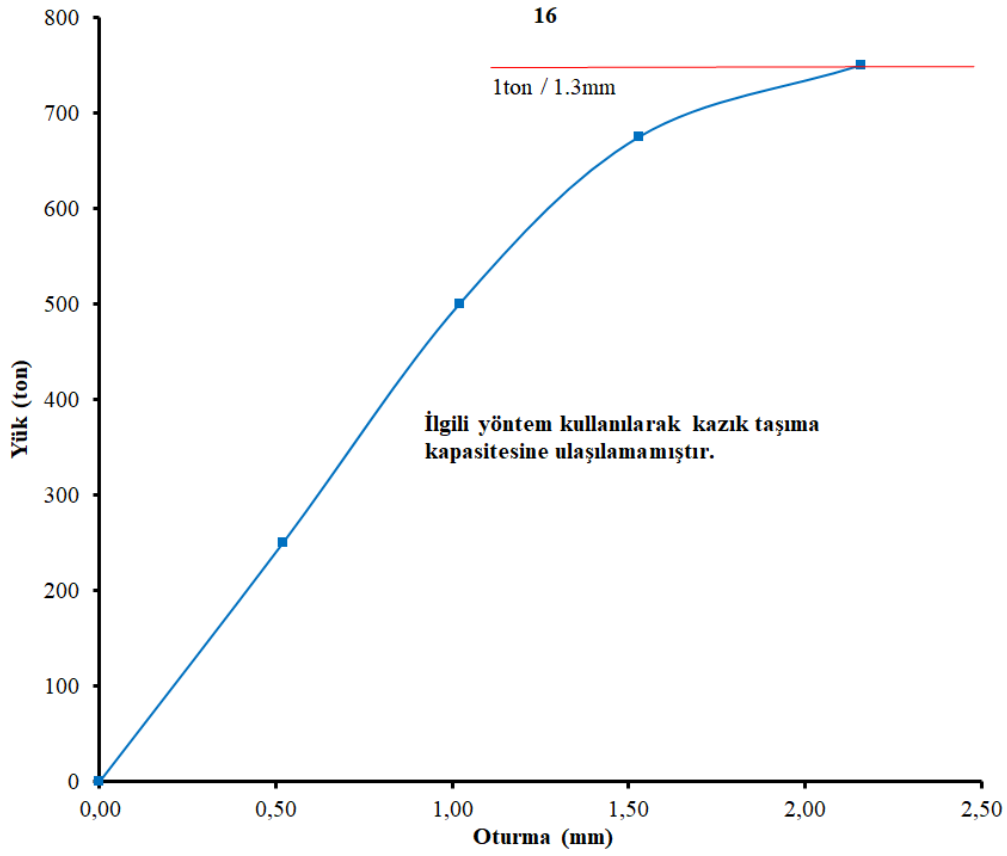
Şekil B.217 : Deney No 16 Davisson yöntemi.



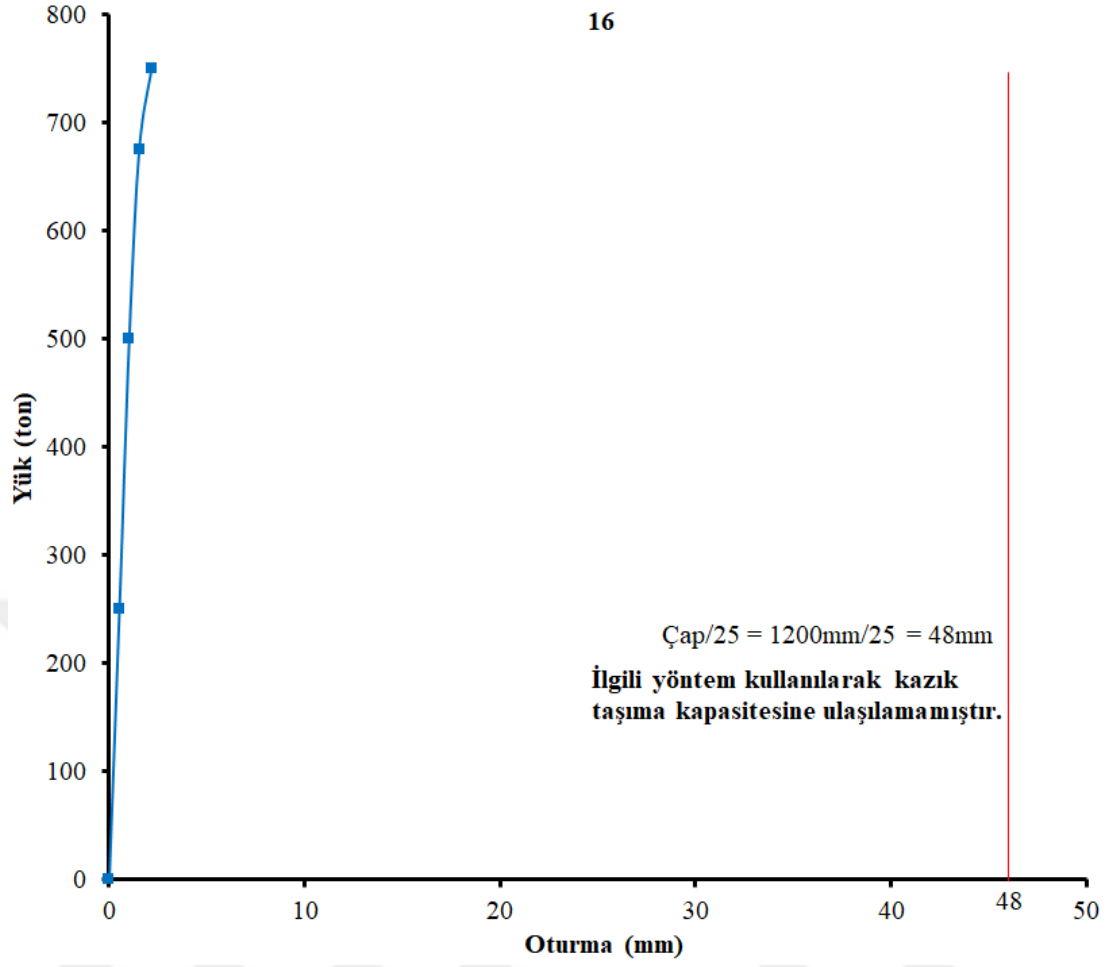
Şekil B.218 : Deney No 16 De Beer yöntemi.



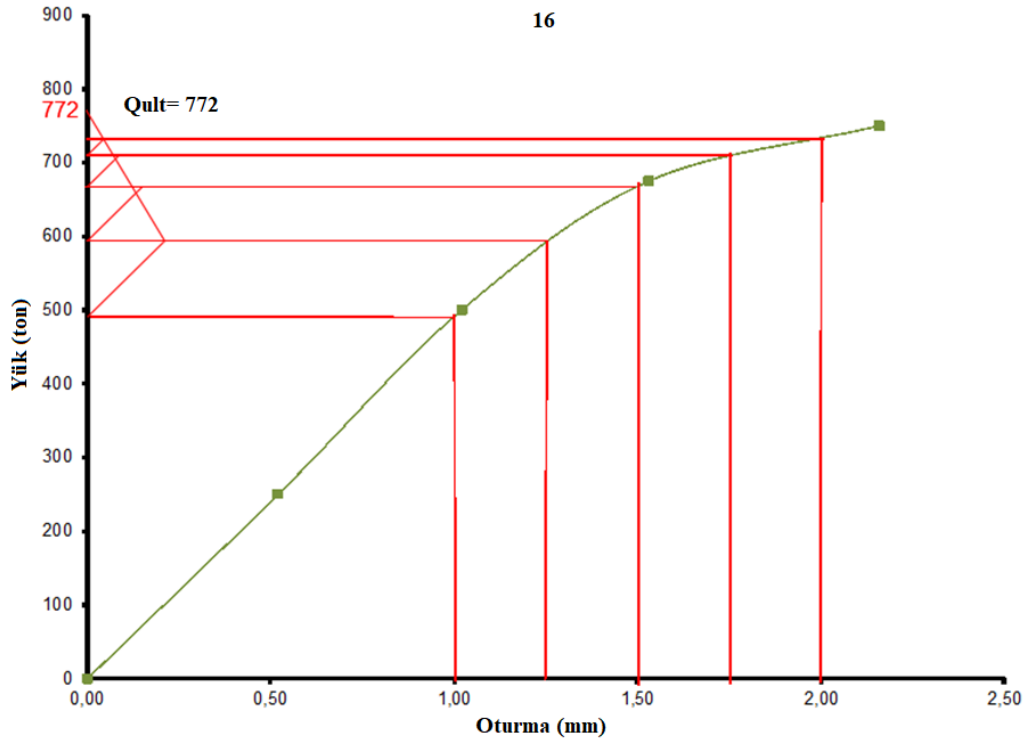
Şekil B.219 : Deney No 16 Decourt yöntemi.



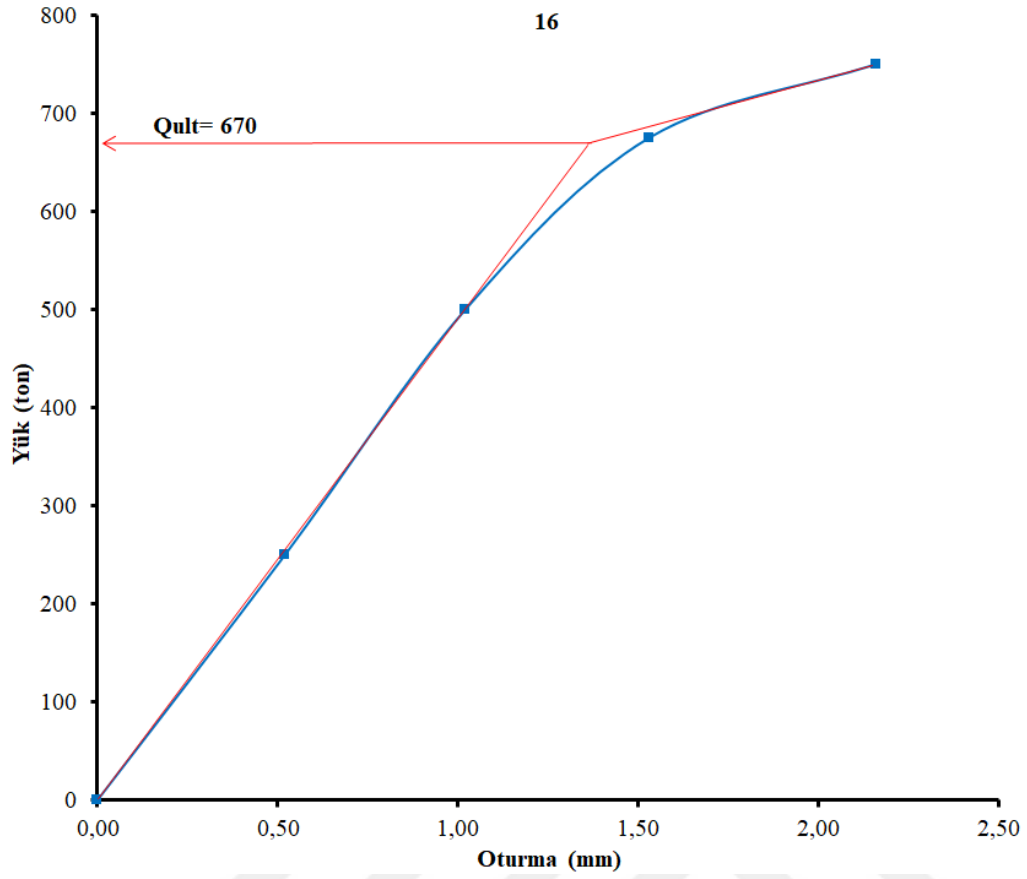
Şekil B.220 : Deney No 16 Fuller - Hoy yöntemi.



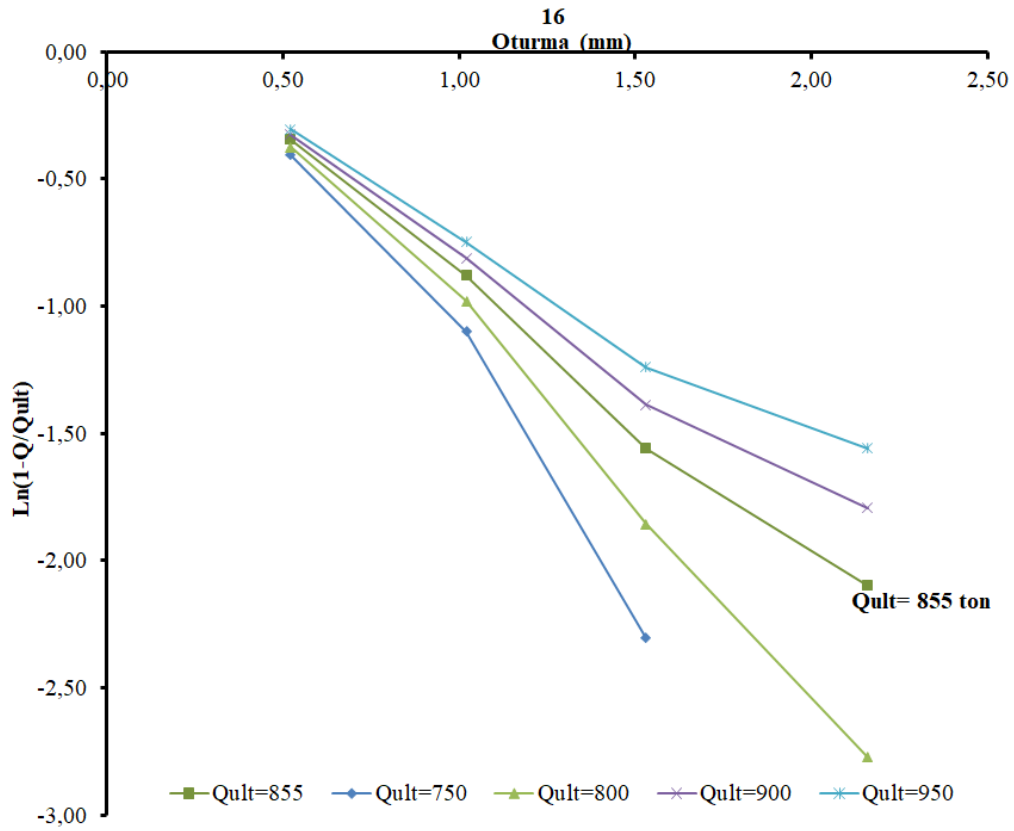
Şekil B.221 : Deney No 16 Hirany - Kulhawy yöntemi.



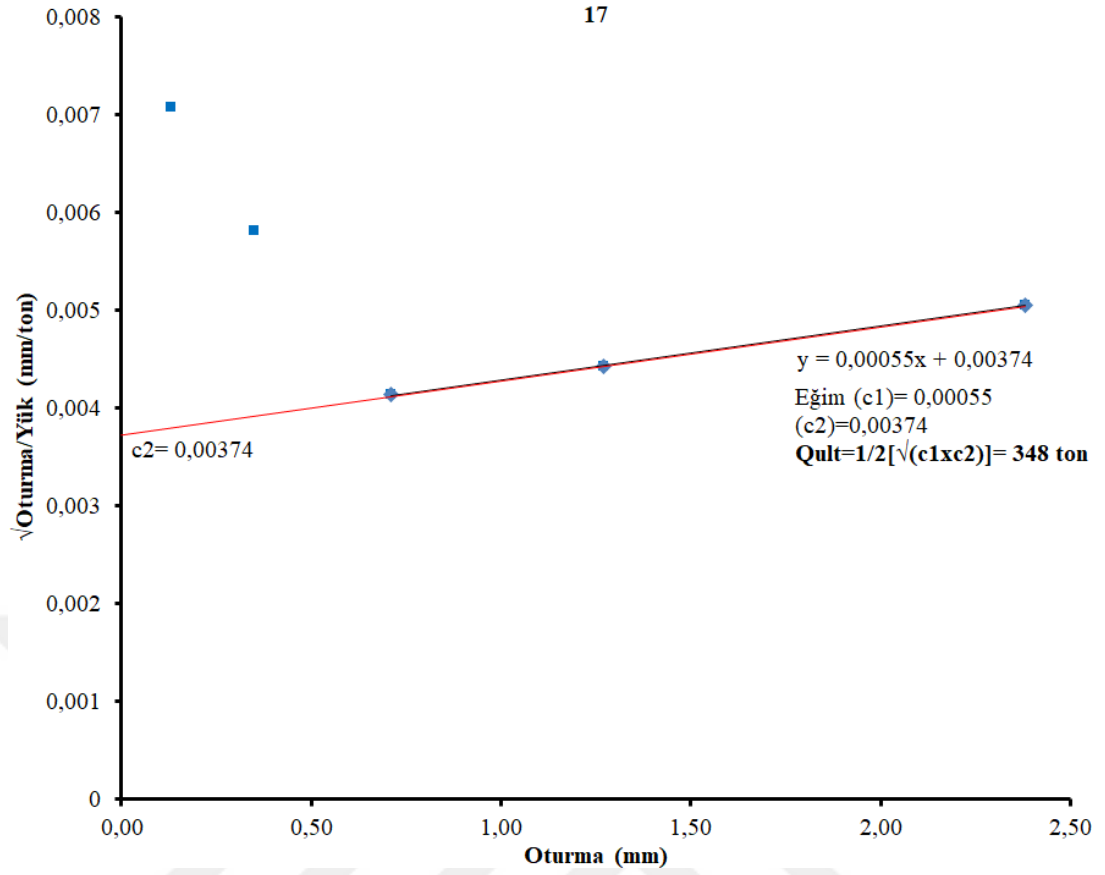
Şekil B.222 : Deney No 16 Mazurkiewicz yöntemi.



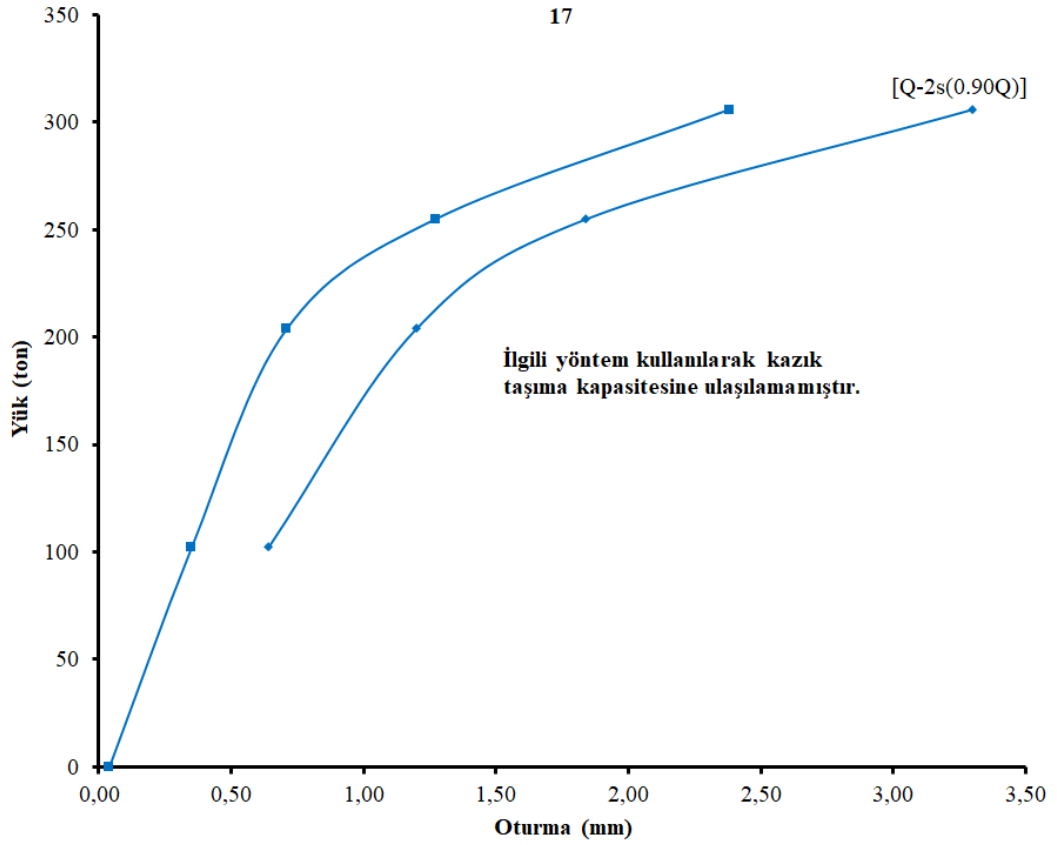
Şekil B.223 : Deney No 16 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



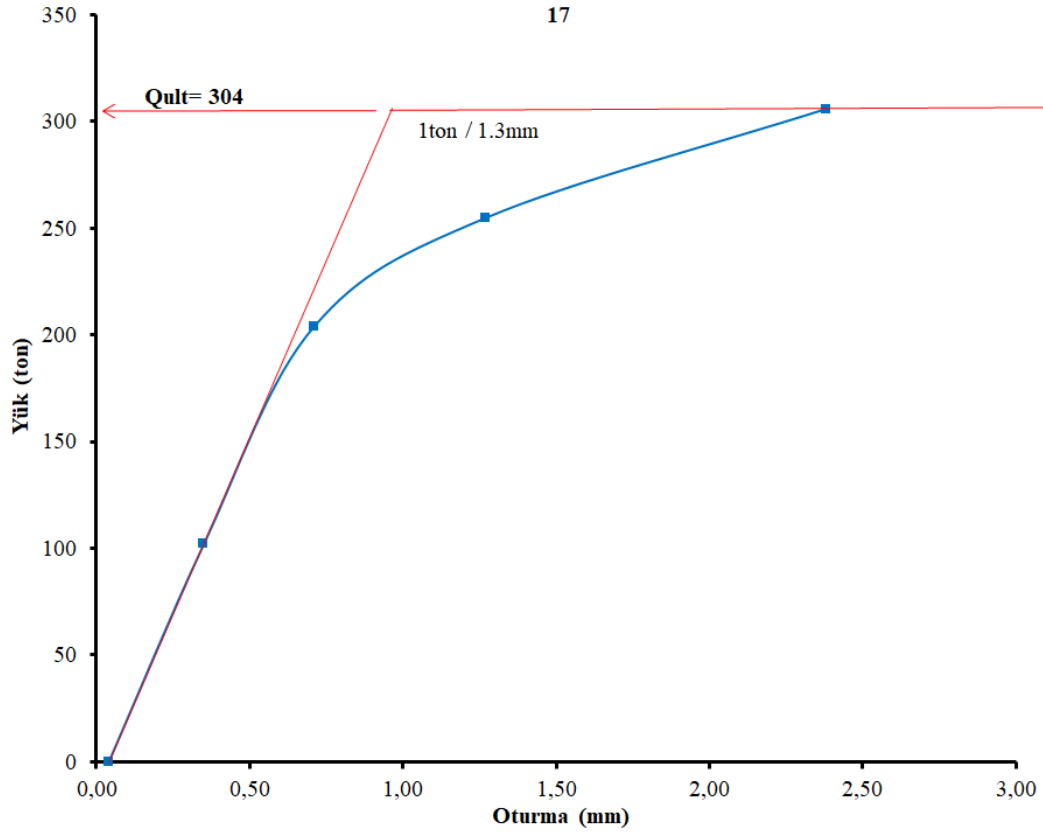
Şekil B.224 : Deney No 16 Van Der Veen yöntemi.



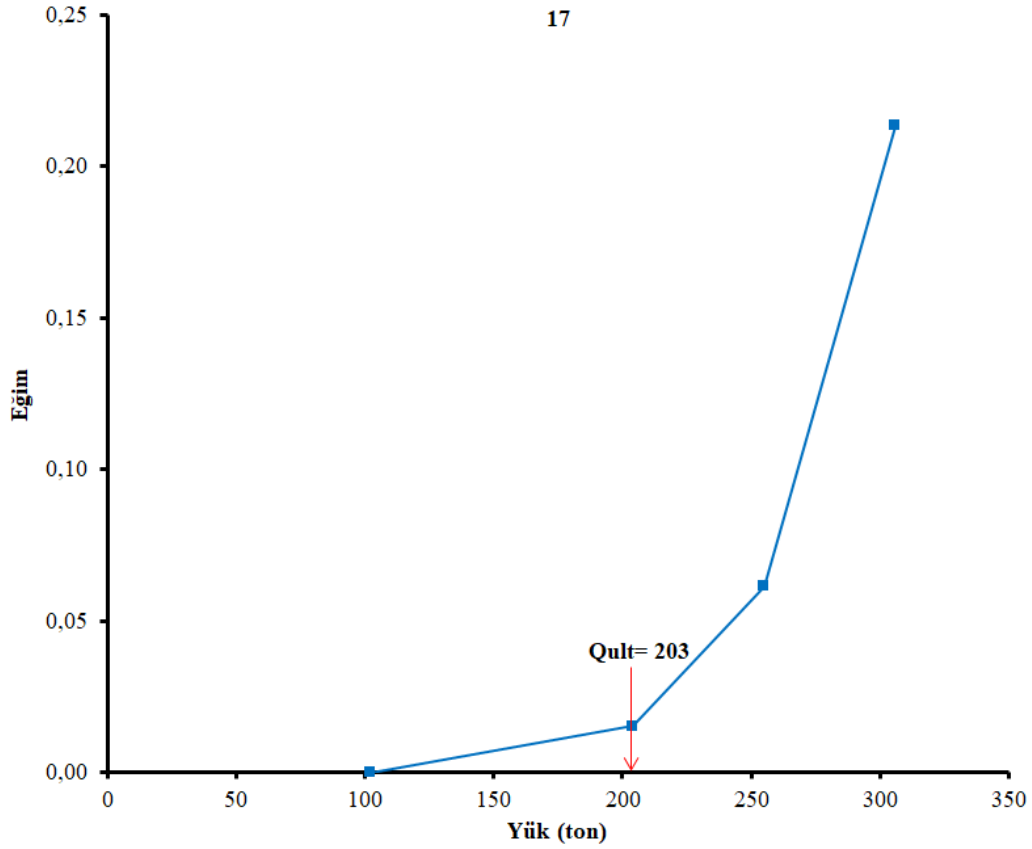
Şekil B.225 : Deney No 17 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



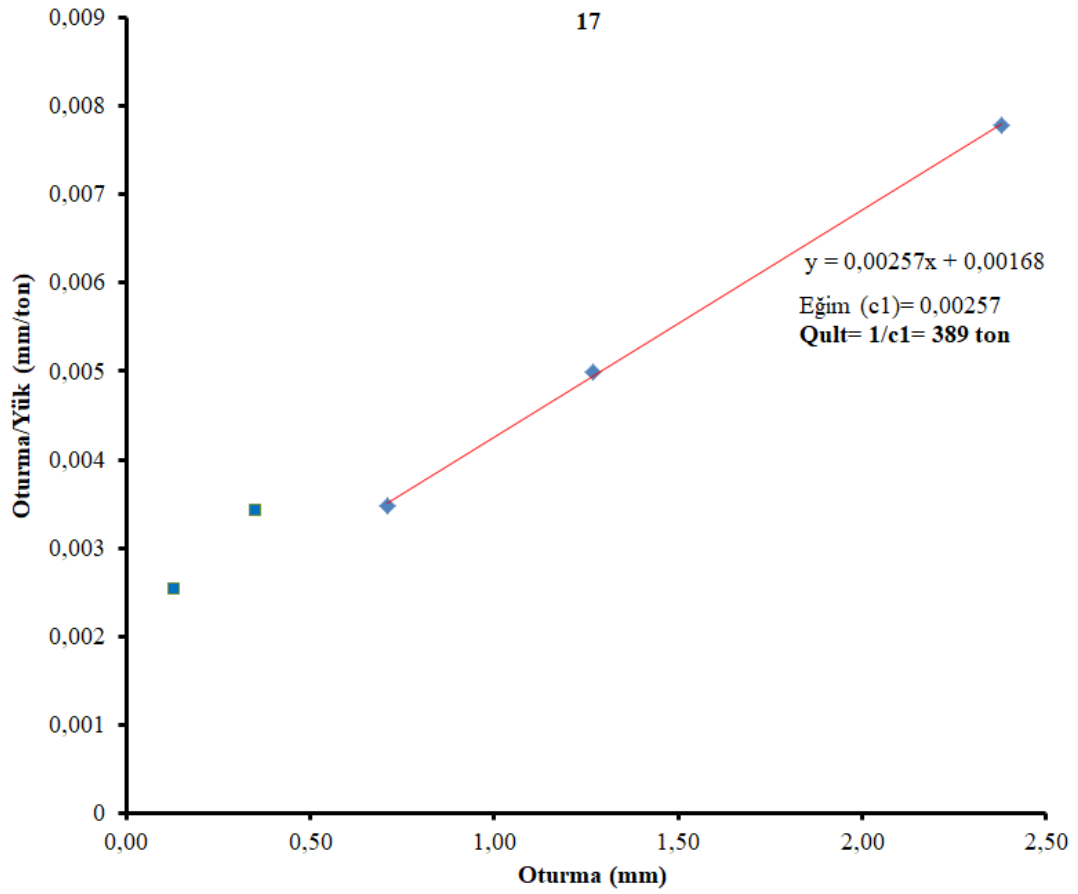
Şekil B.226 : Deney No 17 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



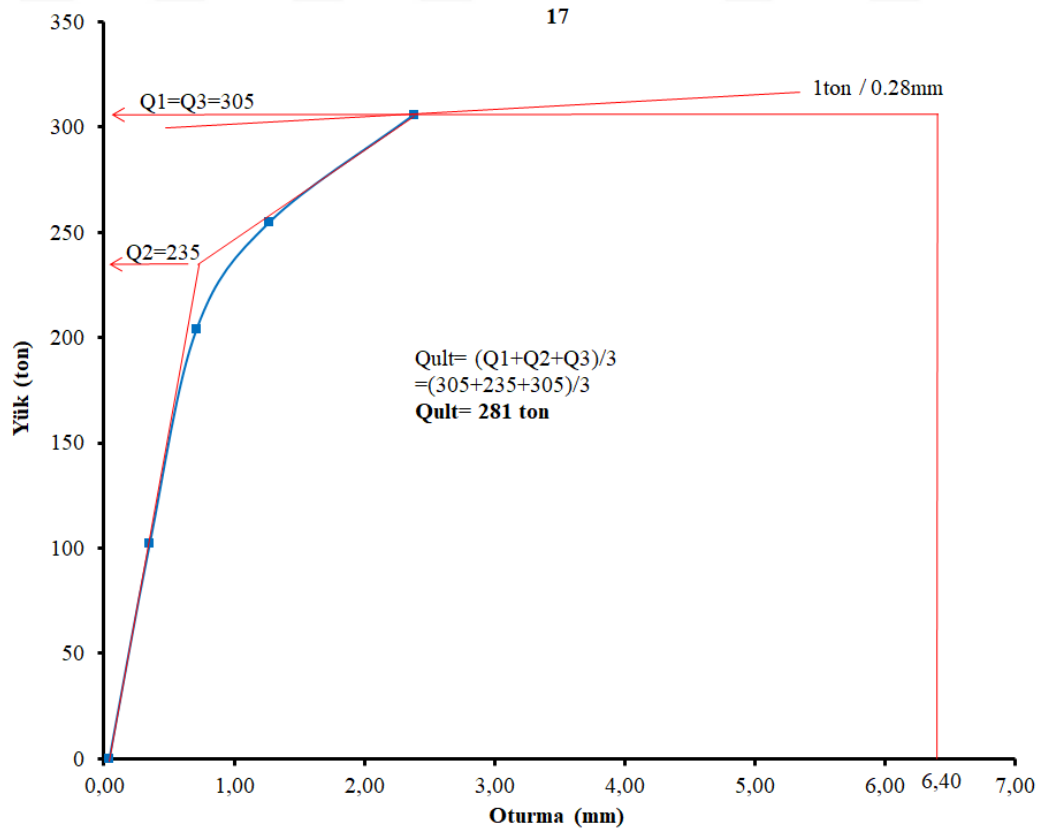
Şekil B.227 : Deney No 17 Butler - Hoy yöntemi.



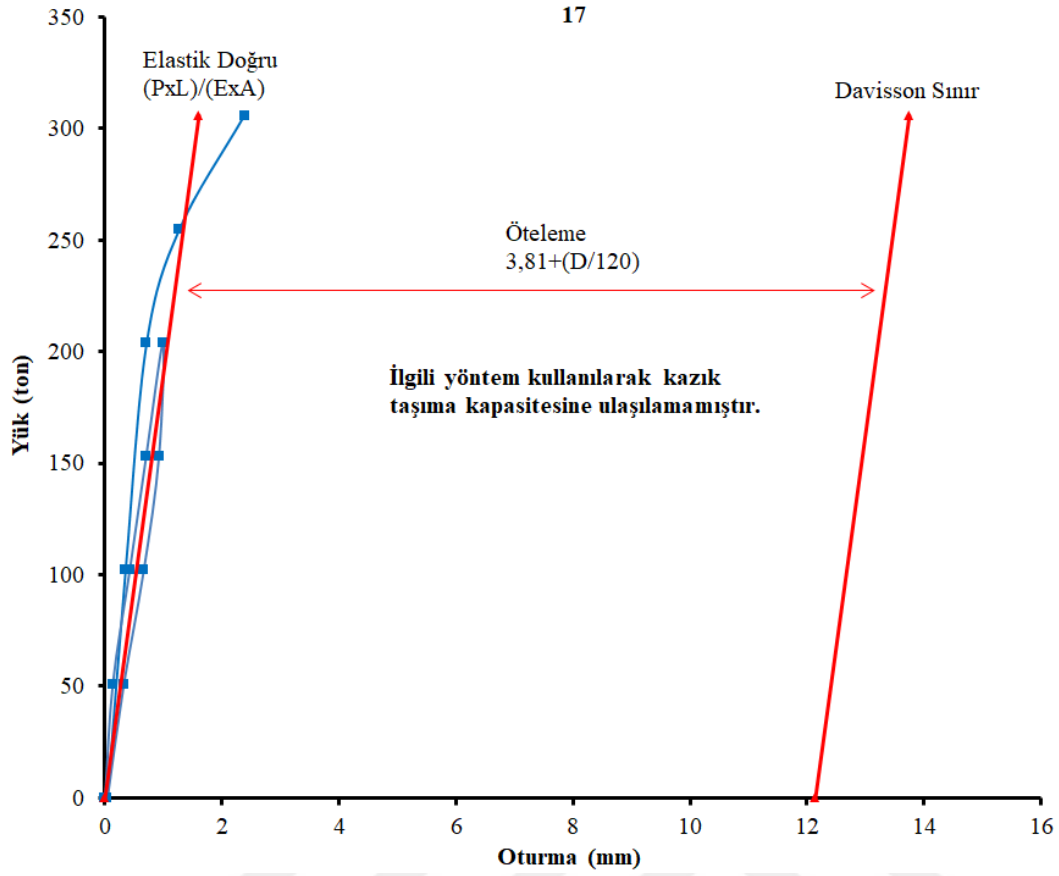
Şekil B.228 : Deney No 17 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



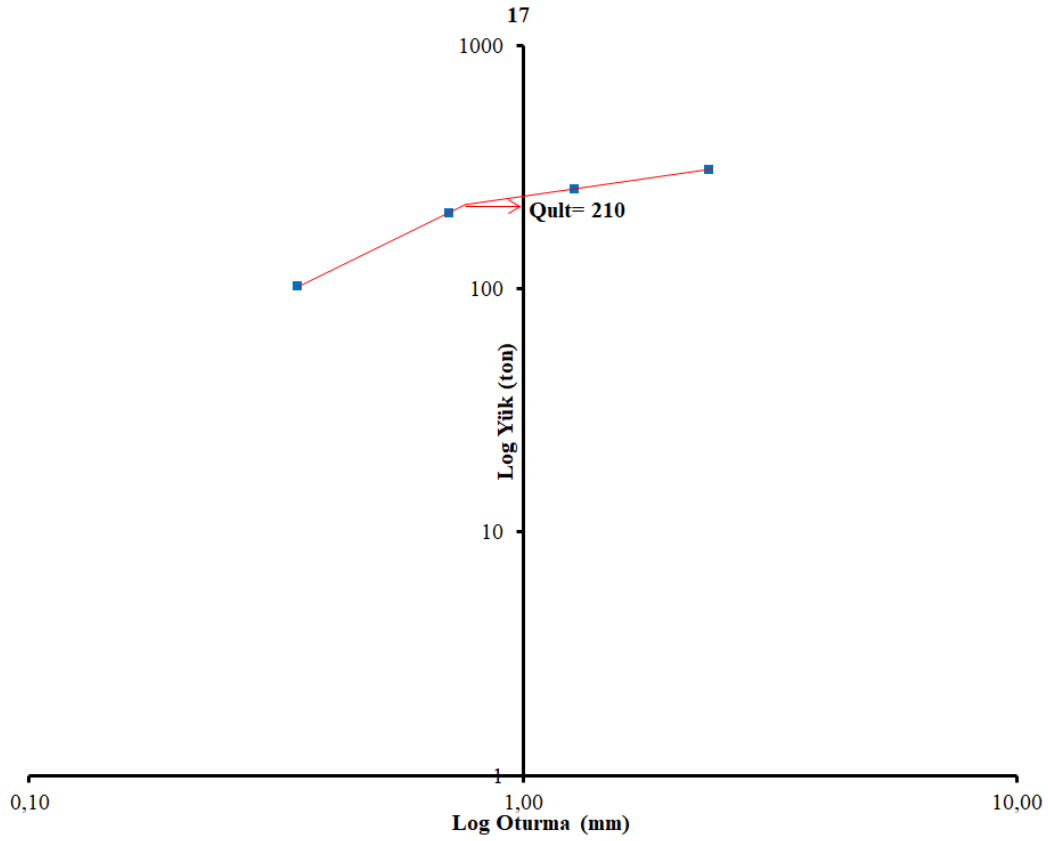
Şekil B.229 : Deney No 17 Chin - Kondner yöntemi.



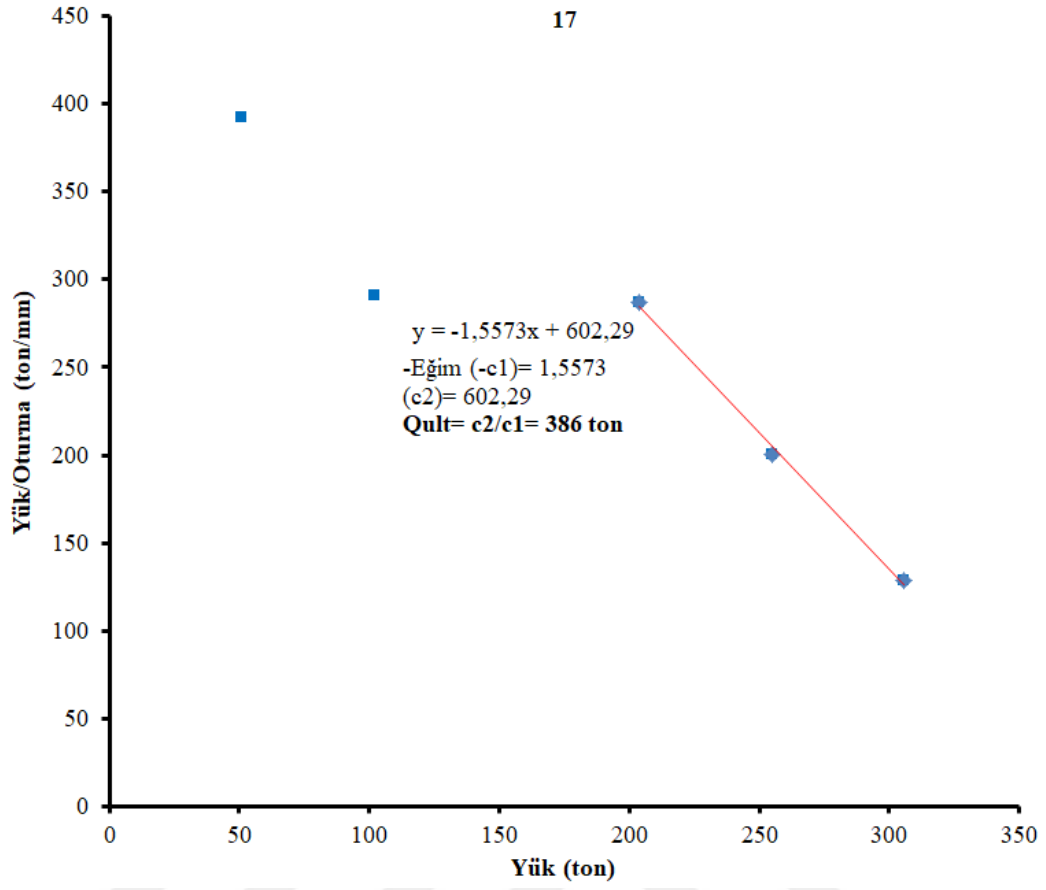
Şekil B.230 : Deney No 17 Corps of Engineers yöntemi.



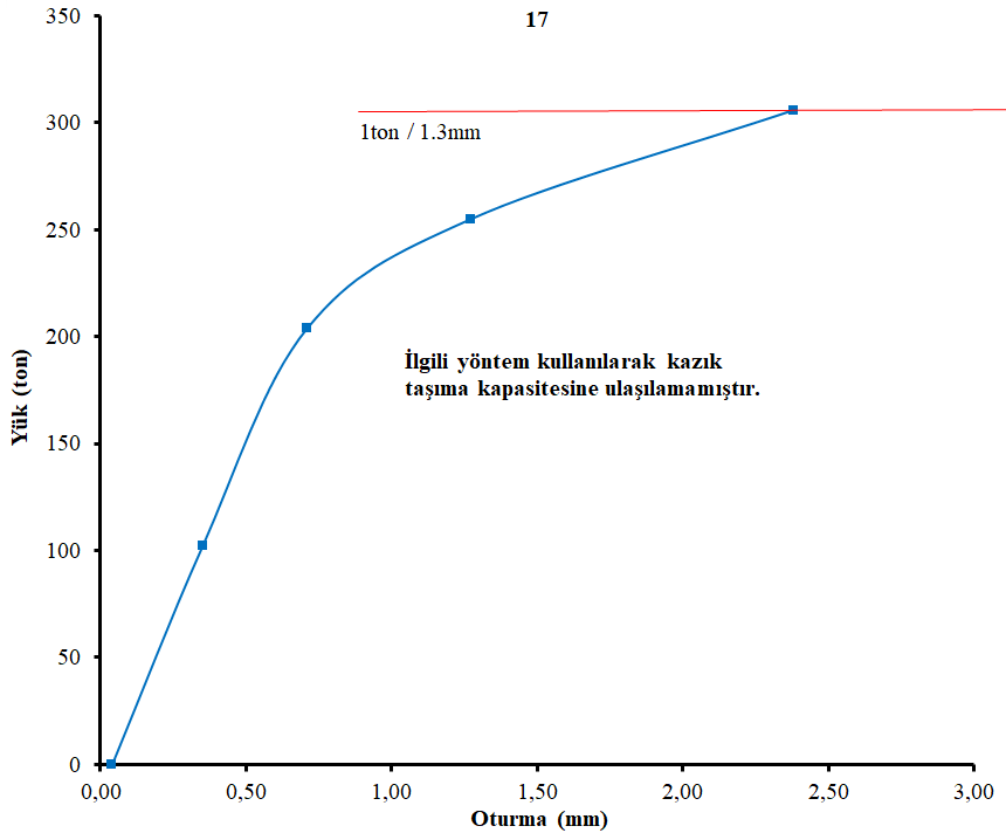
Şekil B.231 : Deney No 17 Davisson yöntemi.



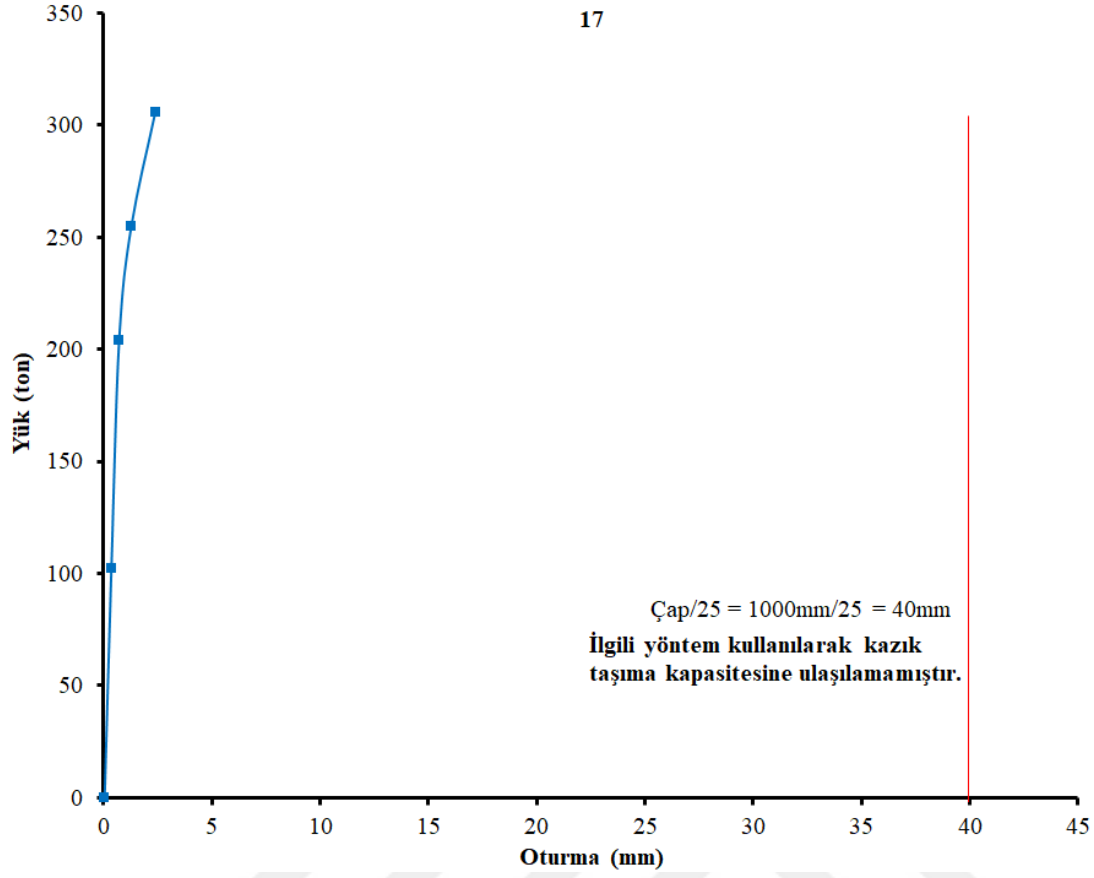
Şekil B.232 : Deney No 17 De Beer yöntemi.



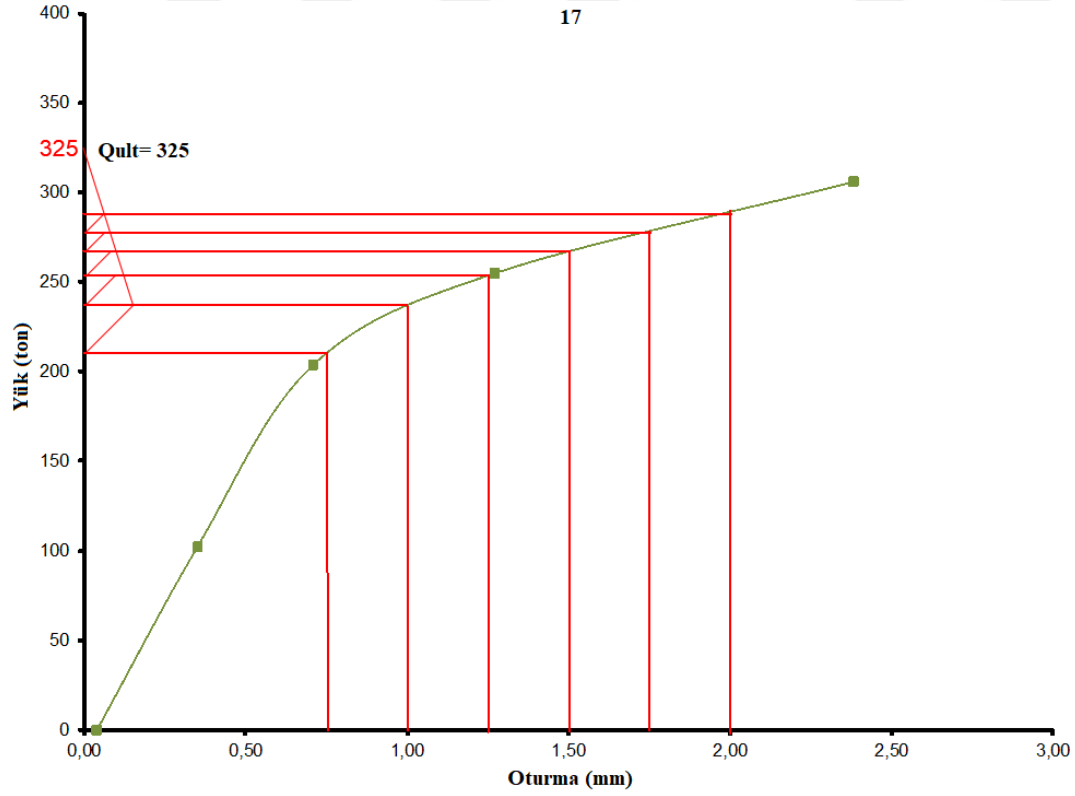
Şekil B.233 : Deney No 17 Decourt yöntemi.



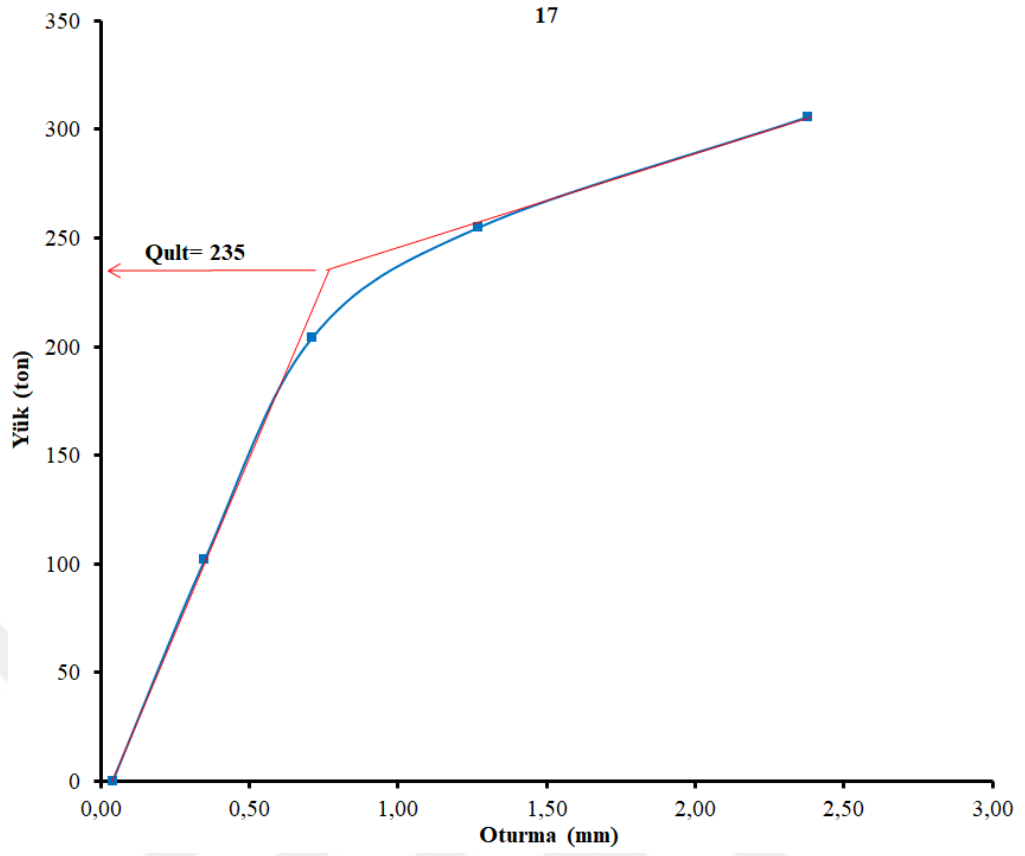
Şekil B.234 : Deney No 17 Fuller - Hoy yöntemi.



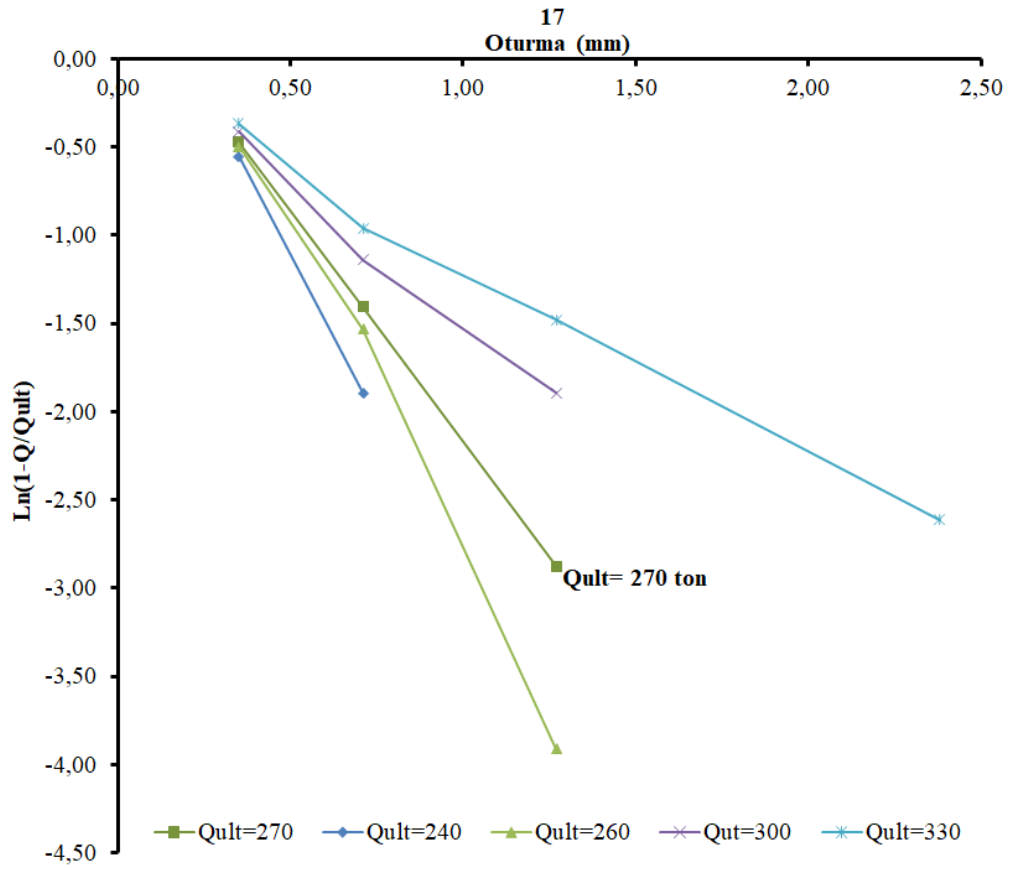
Şekil B.235 : Deney No 17 Hirany - Kulhawy yöntemi.



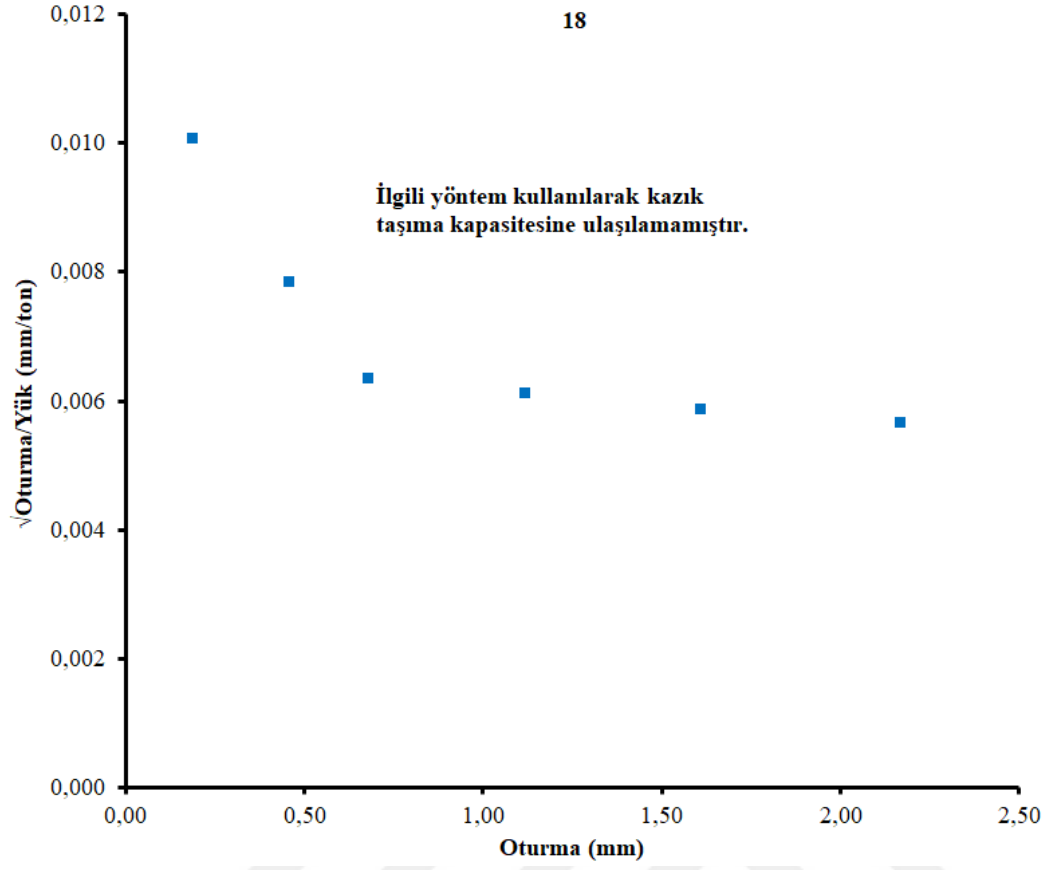
Şekil B.236 : Deney No 17 Mazurkiewicz yöntemi.



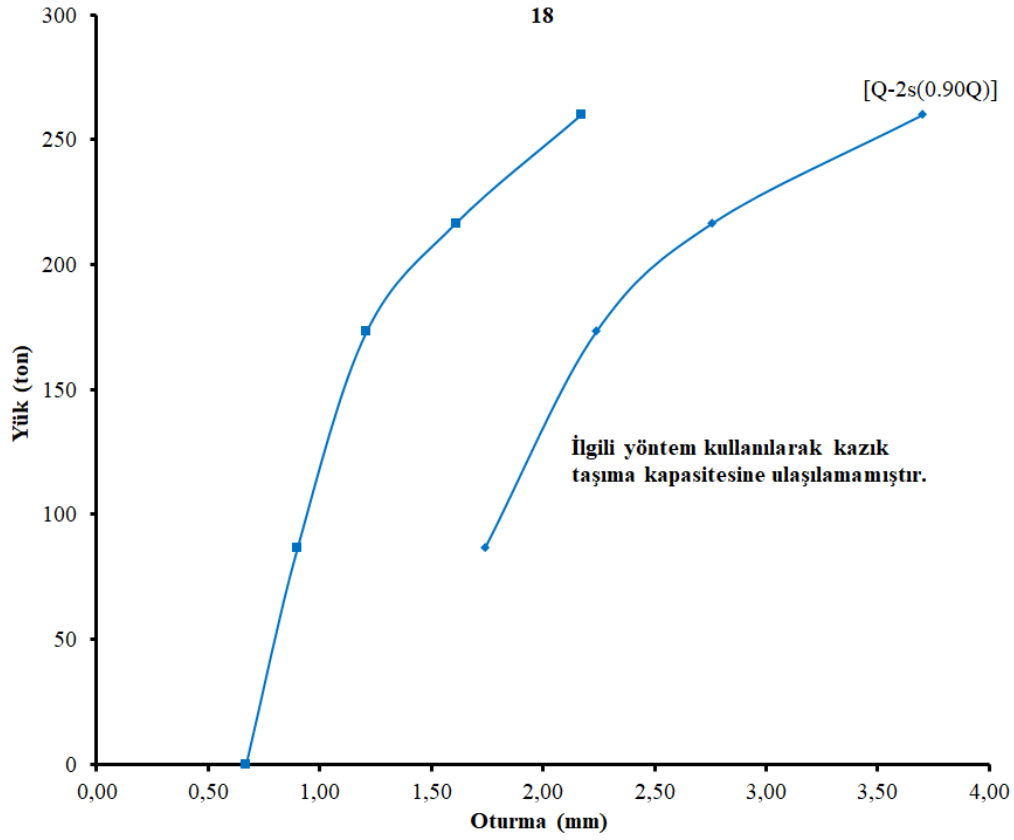
Şekil B.237 : Deney No 17 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



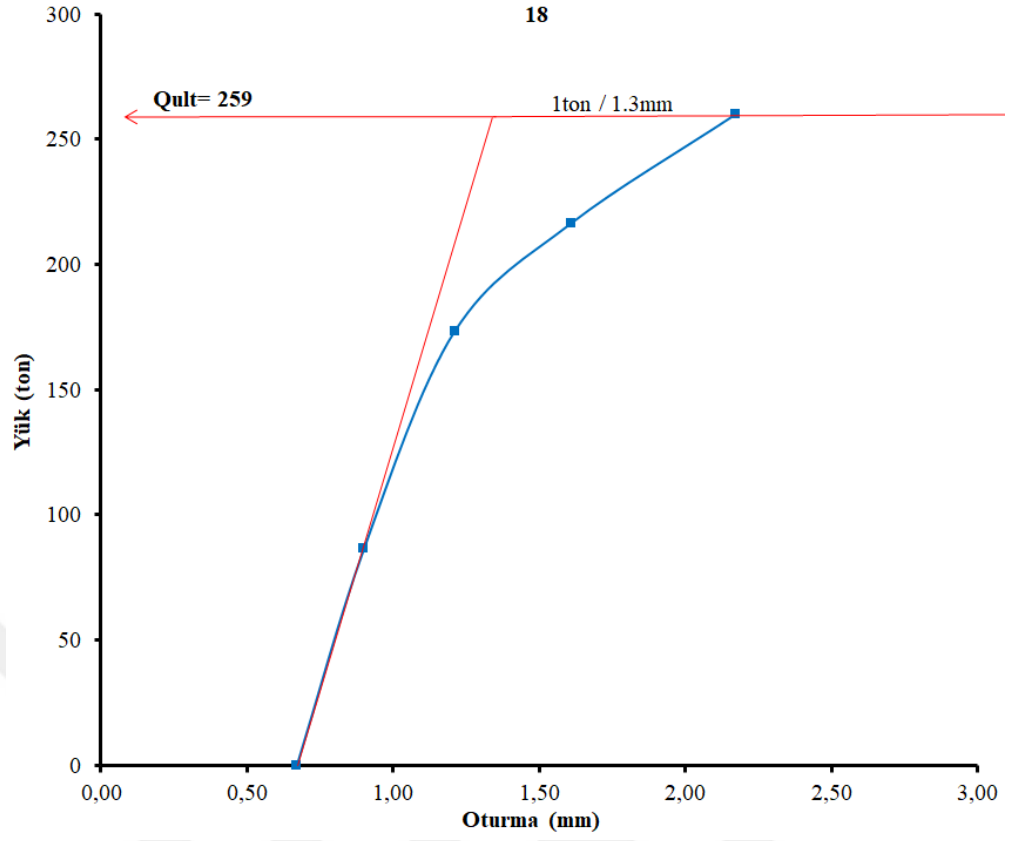
Şekil B.238 : Deney No 17 Van Der Veen yöntemi.



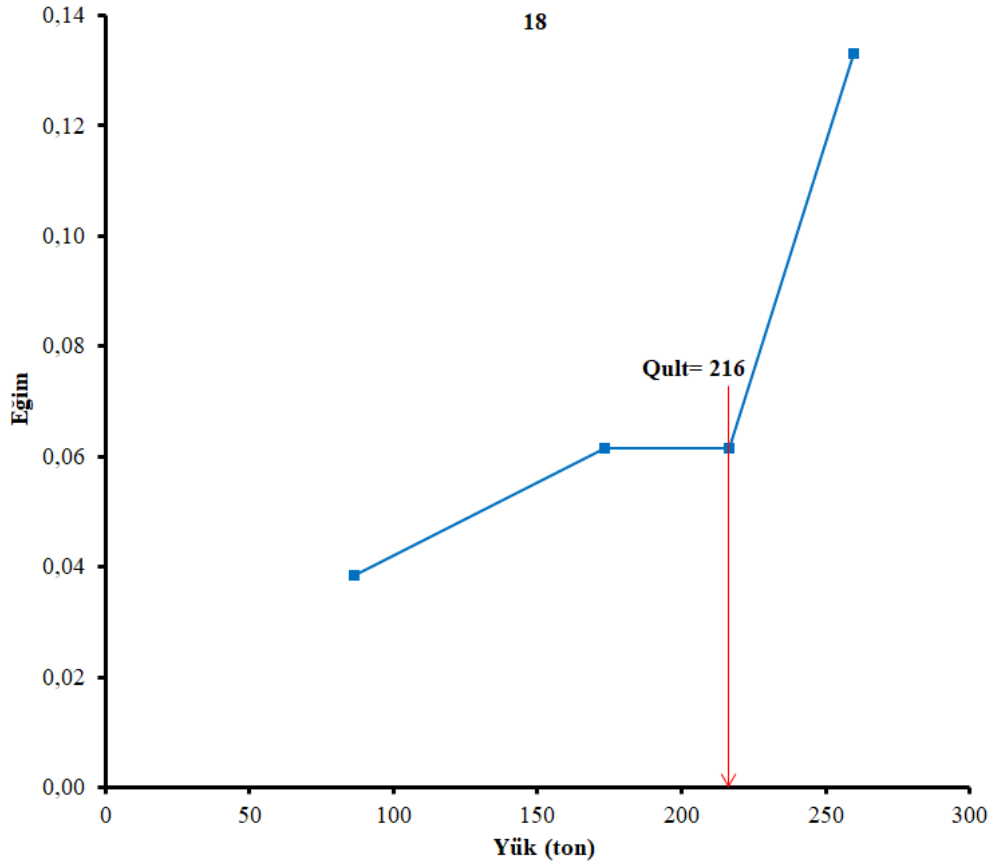
Şekil B.239 : Deney No 18 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



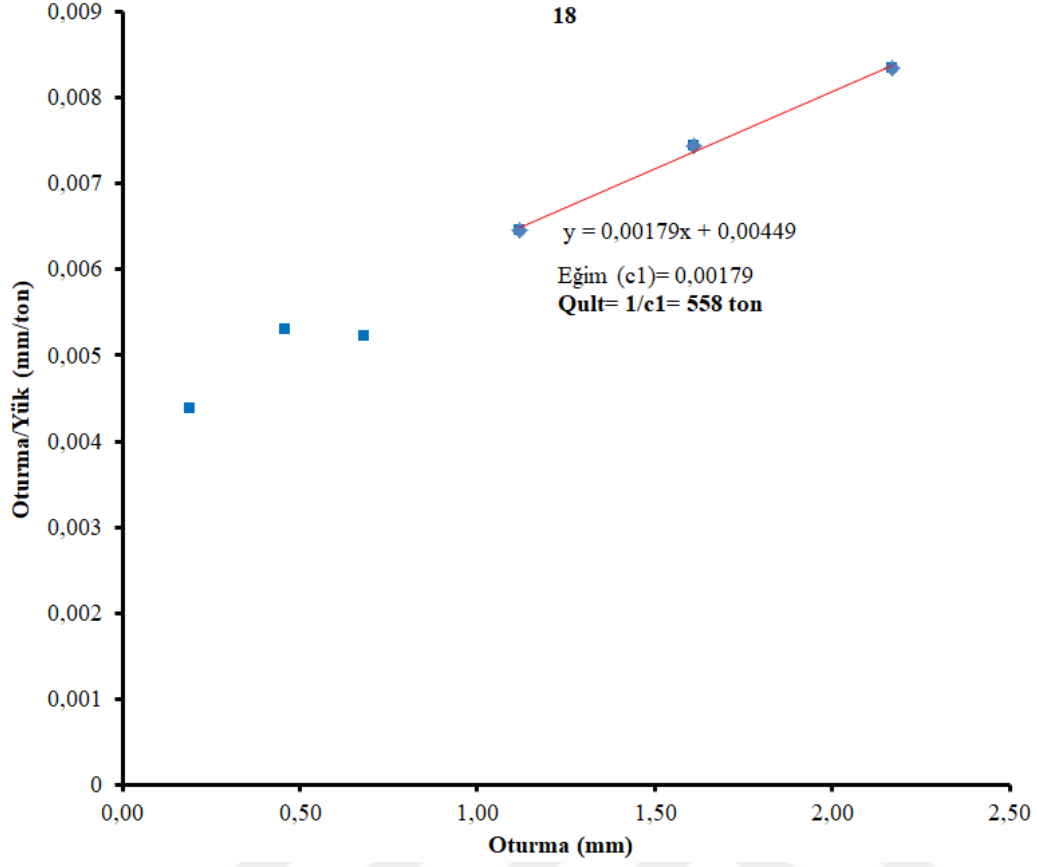
Şekil B.240 : Deney No 18 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



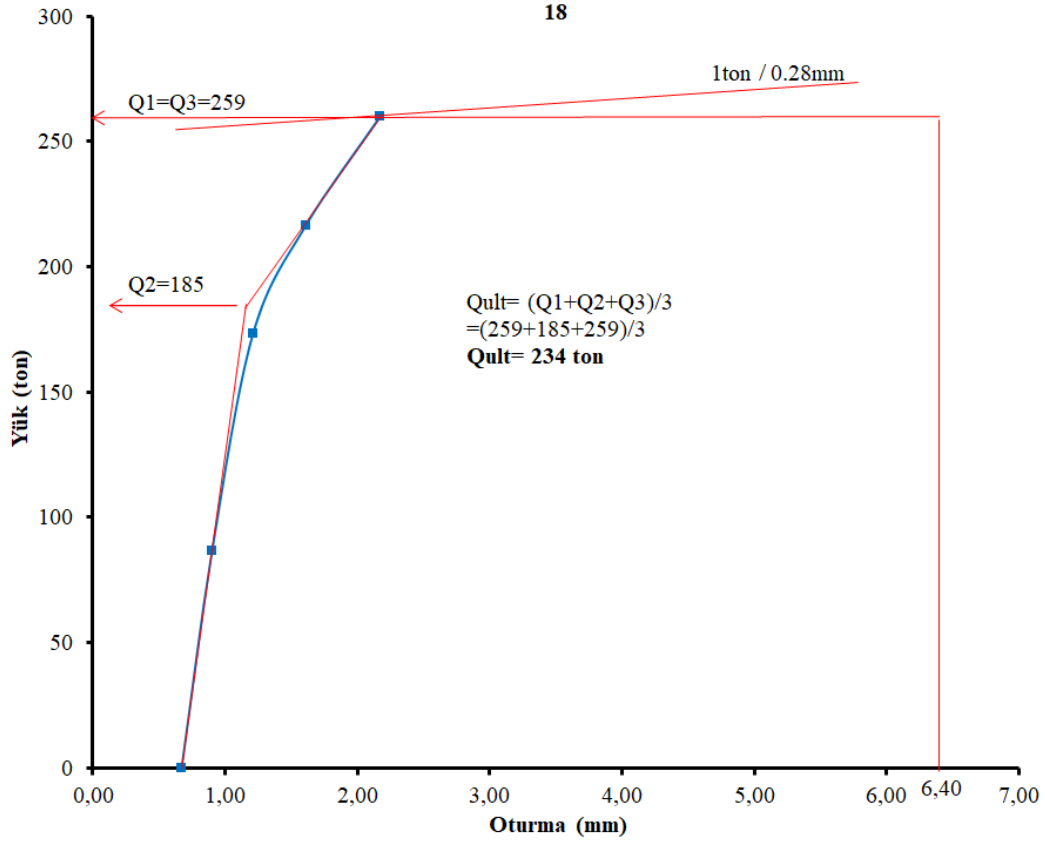
Şekil B.241 : Deney No 18 Butler - Hoy yöntemi.



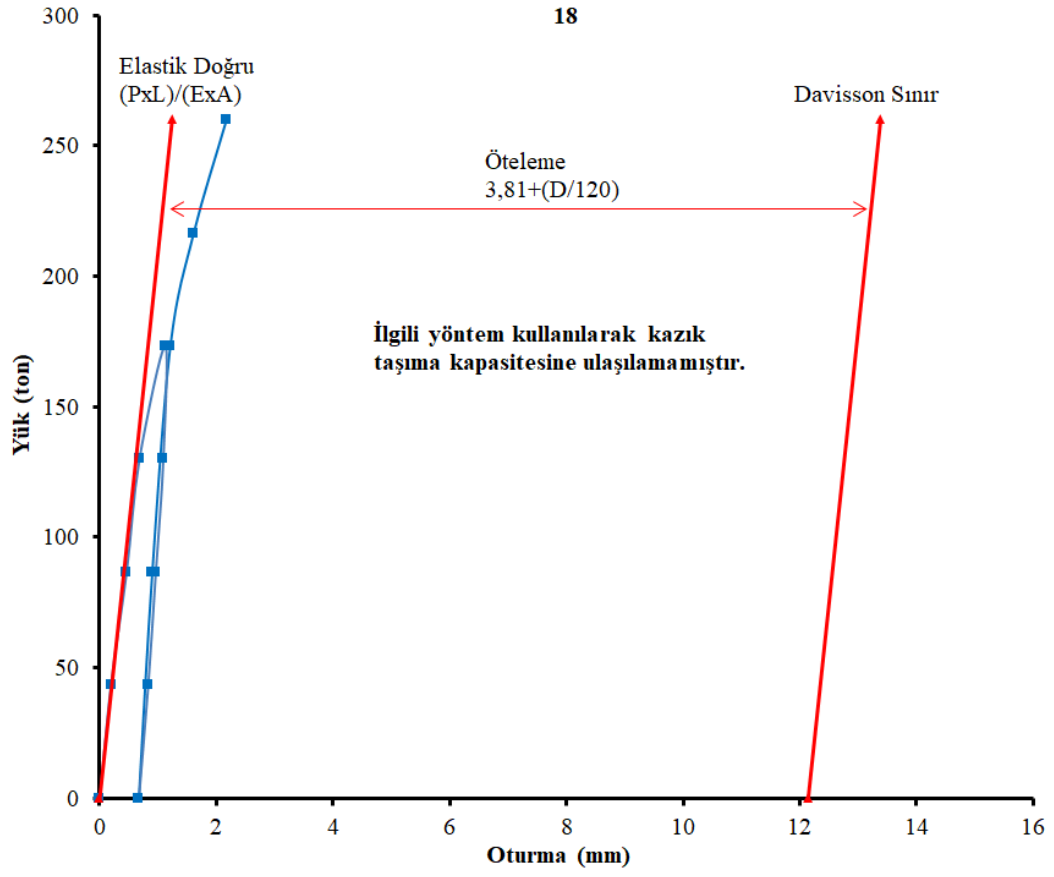
Şekil B.242 : Deney No 18 Cambeft - Chadeisson yöntemi.



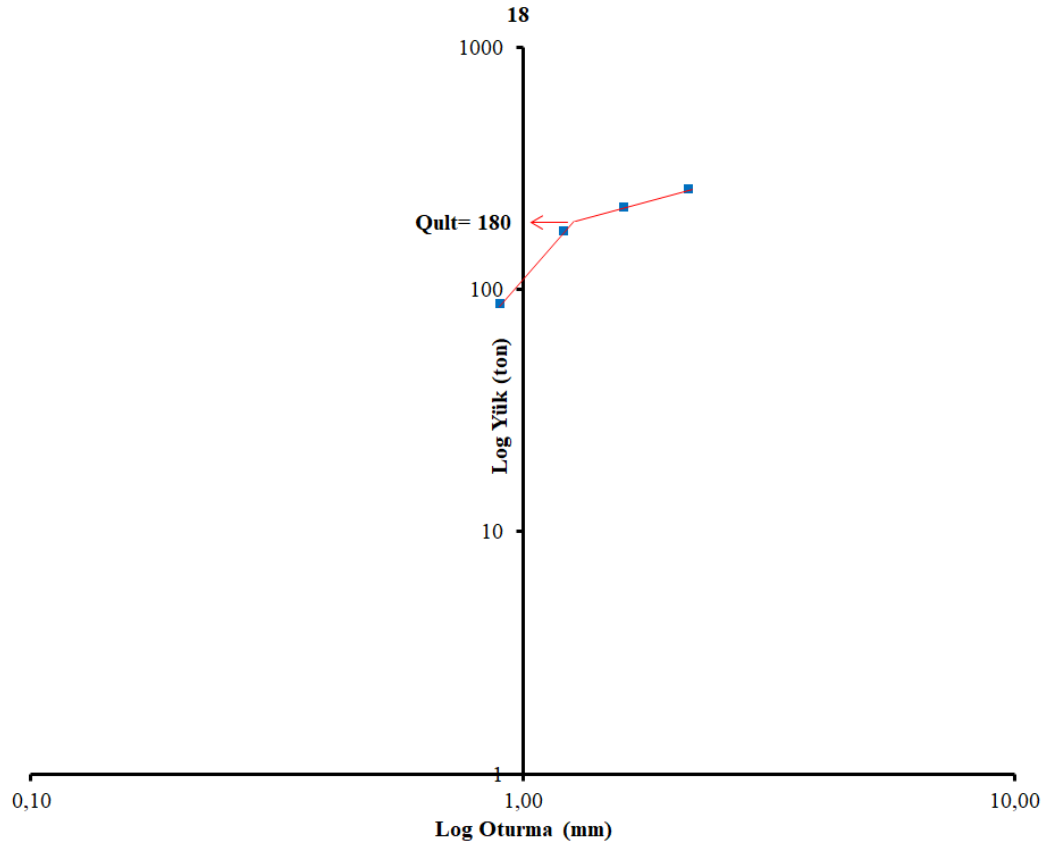
Şekil B.243 : Deney No 18 Chin - Kondner yöntemi.



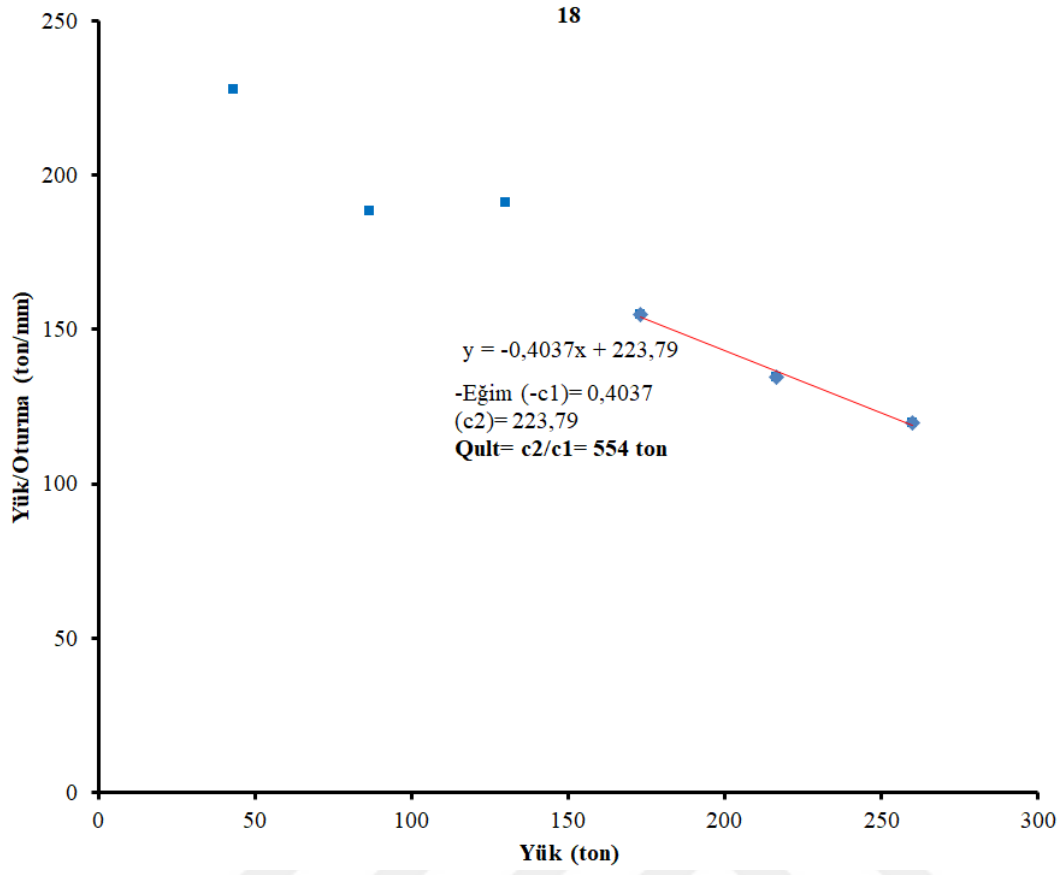
Şekil B.244 : Deney No 18 Corps of Engineers yöntemi.



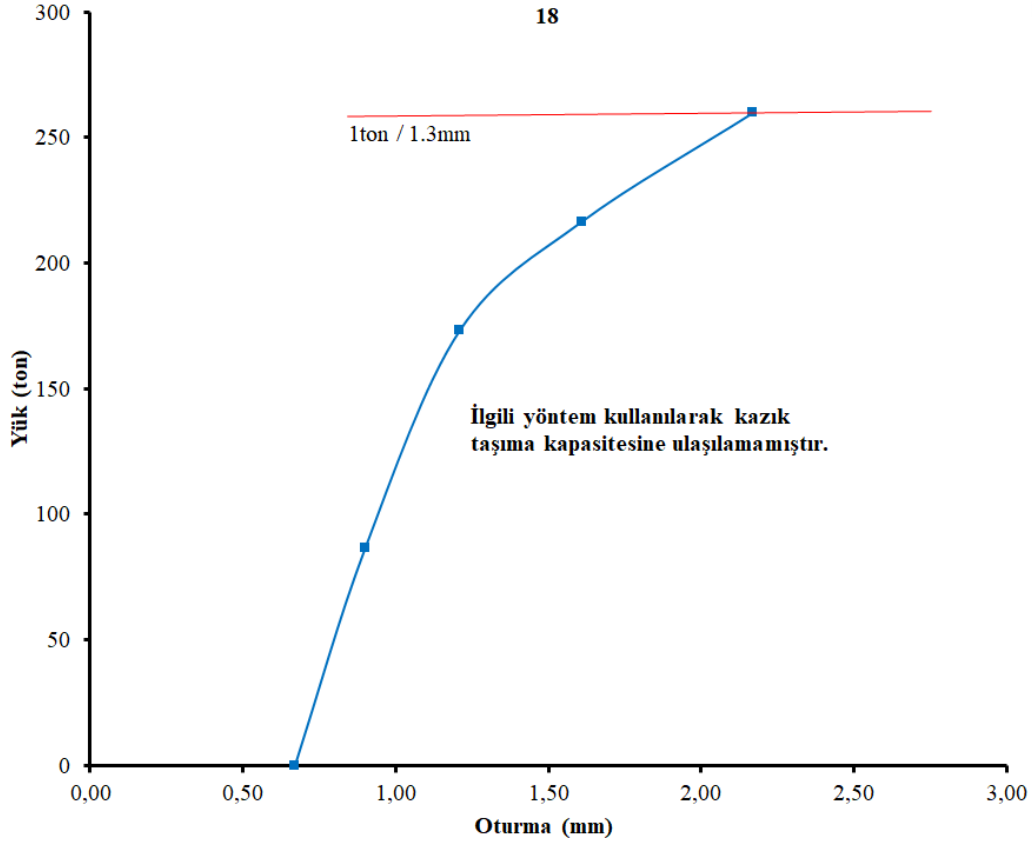
Şekil B.245 : Deney No 18 Davisson yöntemi.



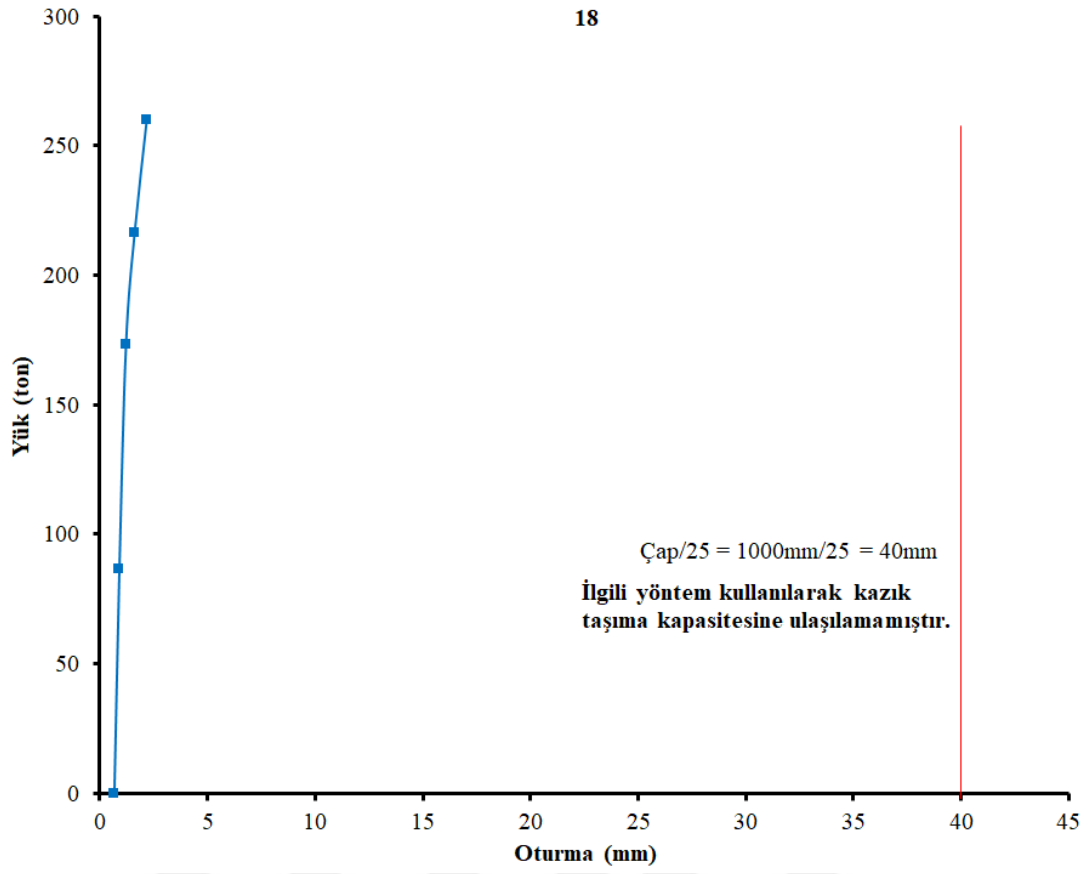
Şekil B.246 : Deney No 18 De Beer yöntemi.



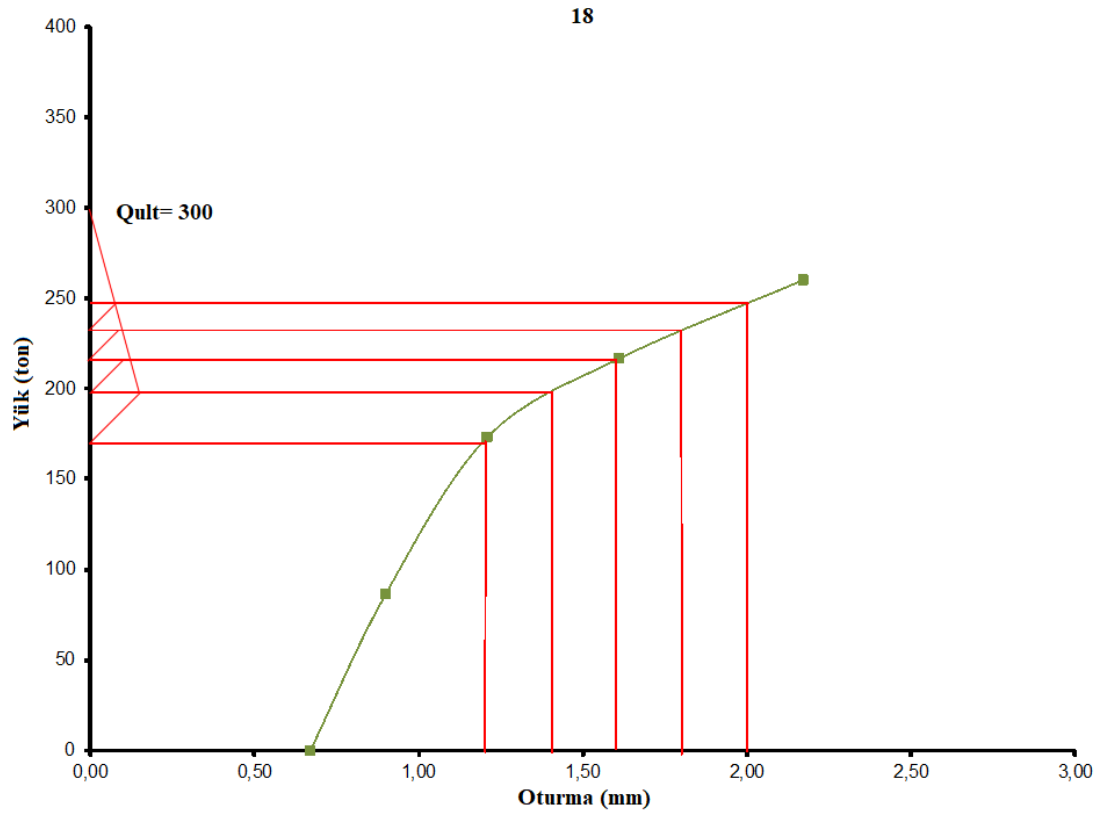
Şekil B.247 : Deney No 18 Decourt yöntemi.



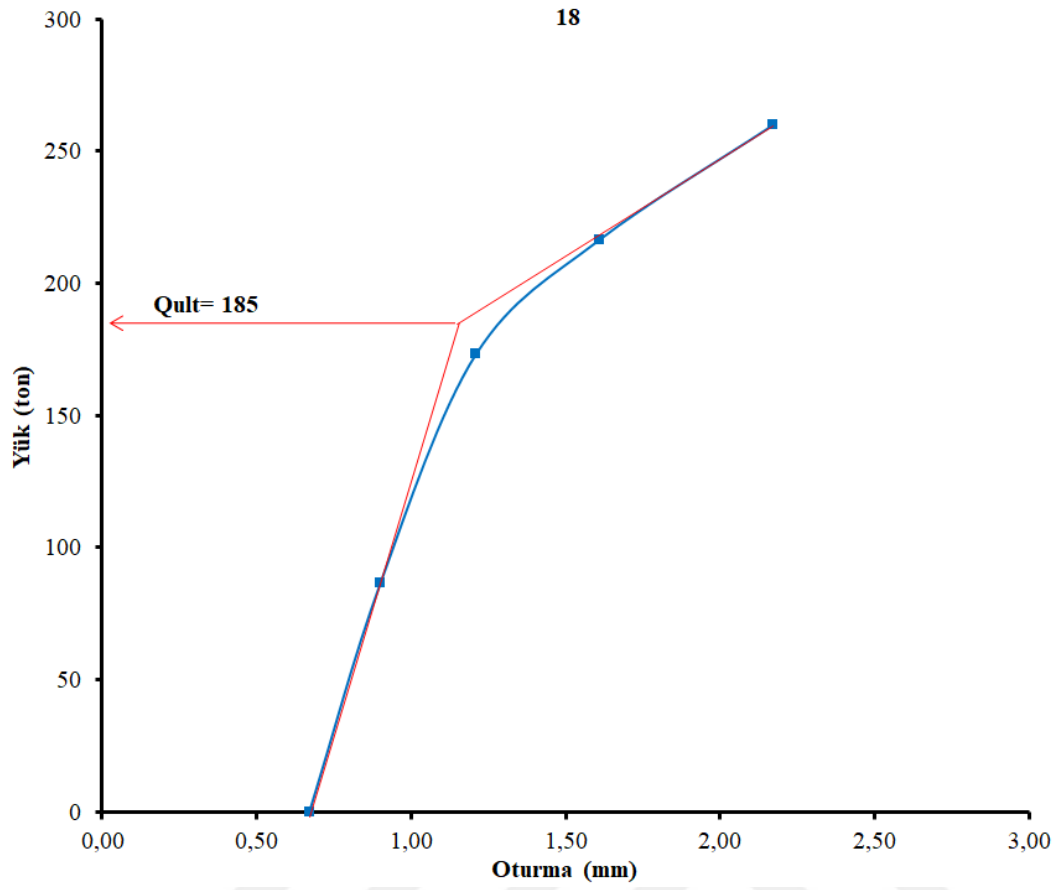
Şekil B.248 : Deney No 18 Fuller - Hoy yöntemi.



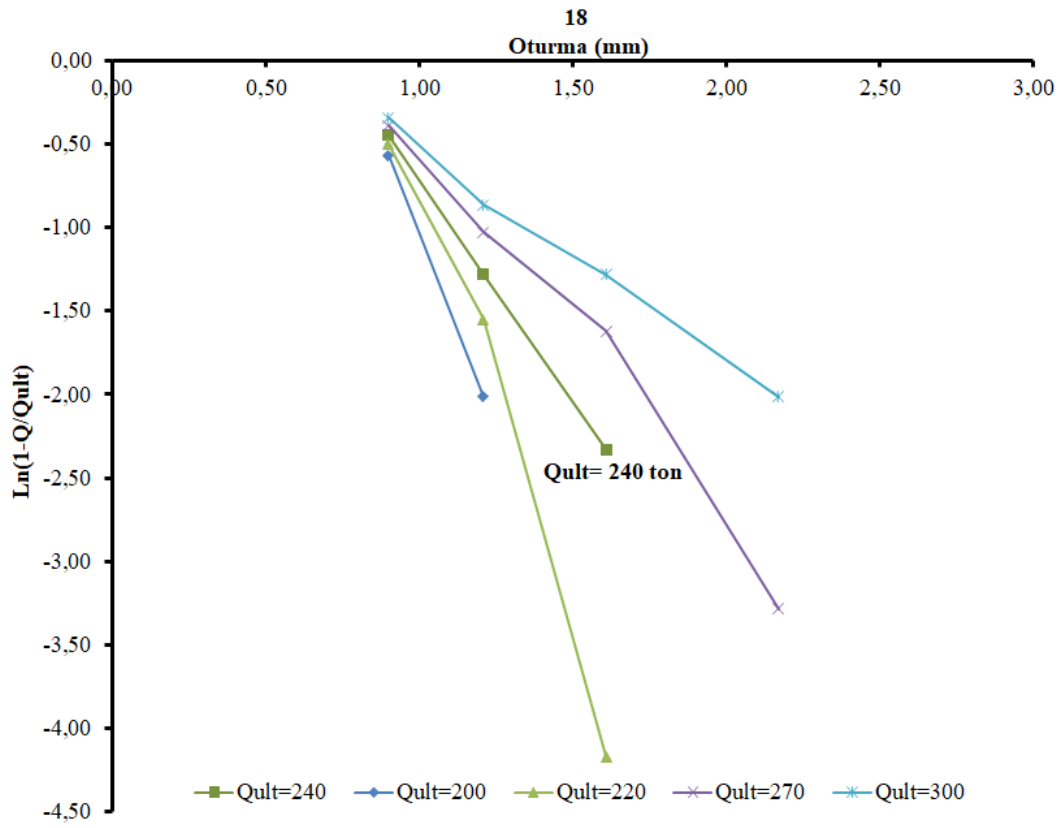
Şekil B.249 : Deney No 18 Hirany - Kulhawy yöntemi.



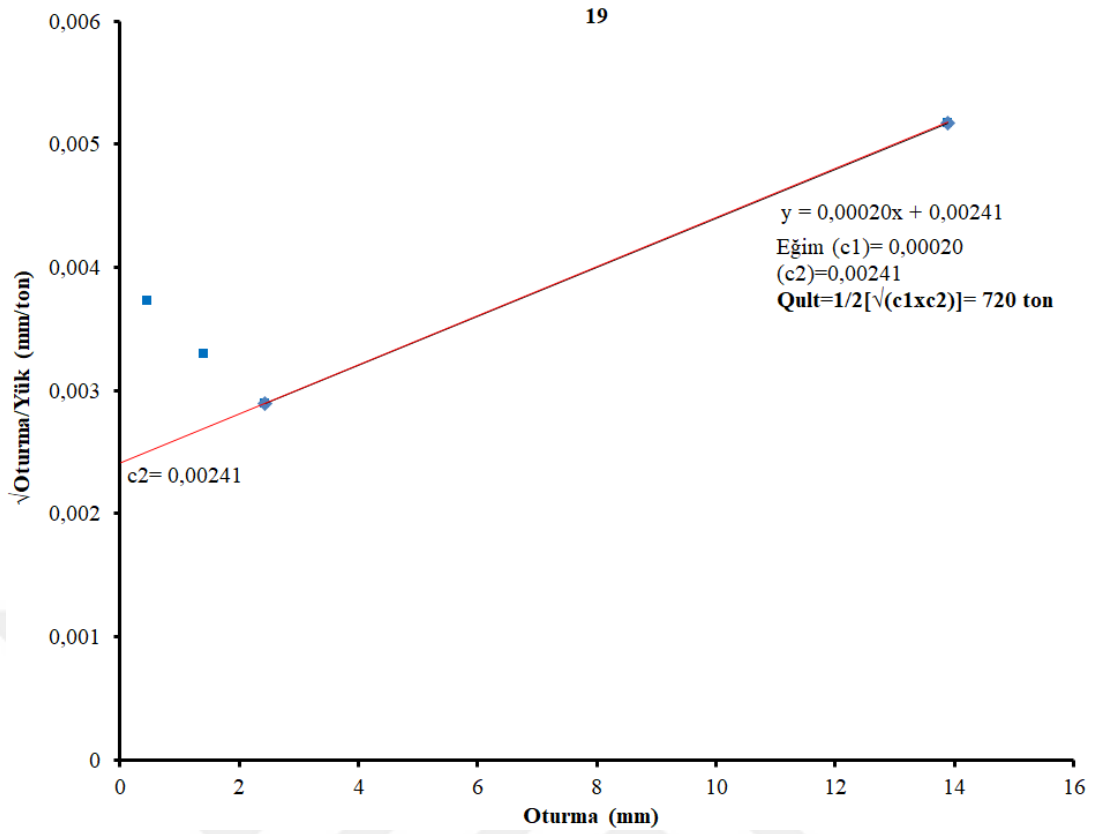
Şekil B.250 : Deney No 18 Mazurkiewicz yöntemi.



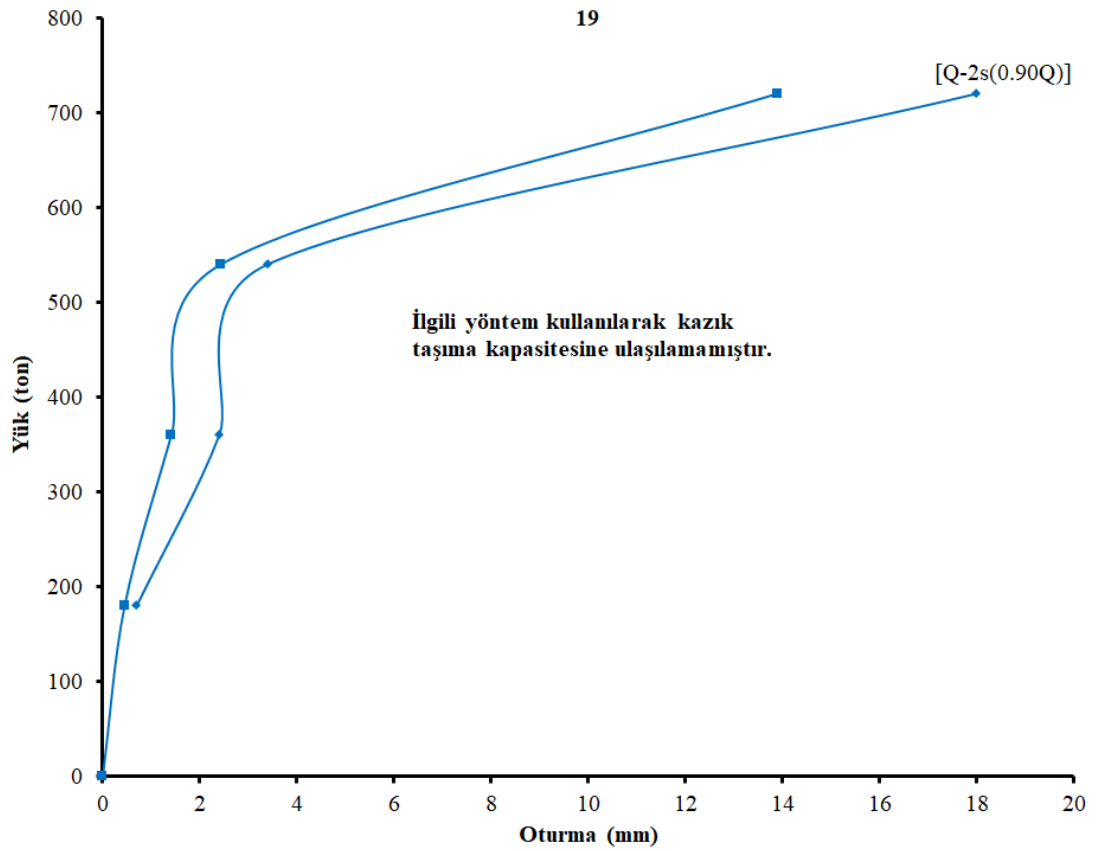
Şekil B.251 : Deney No 18 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



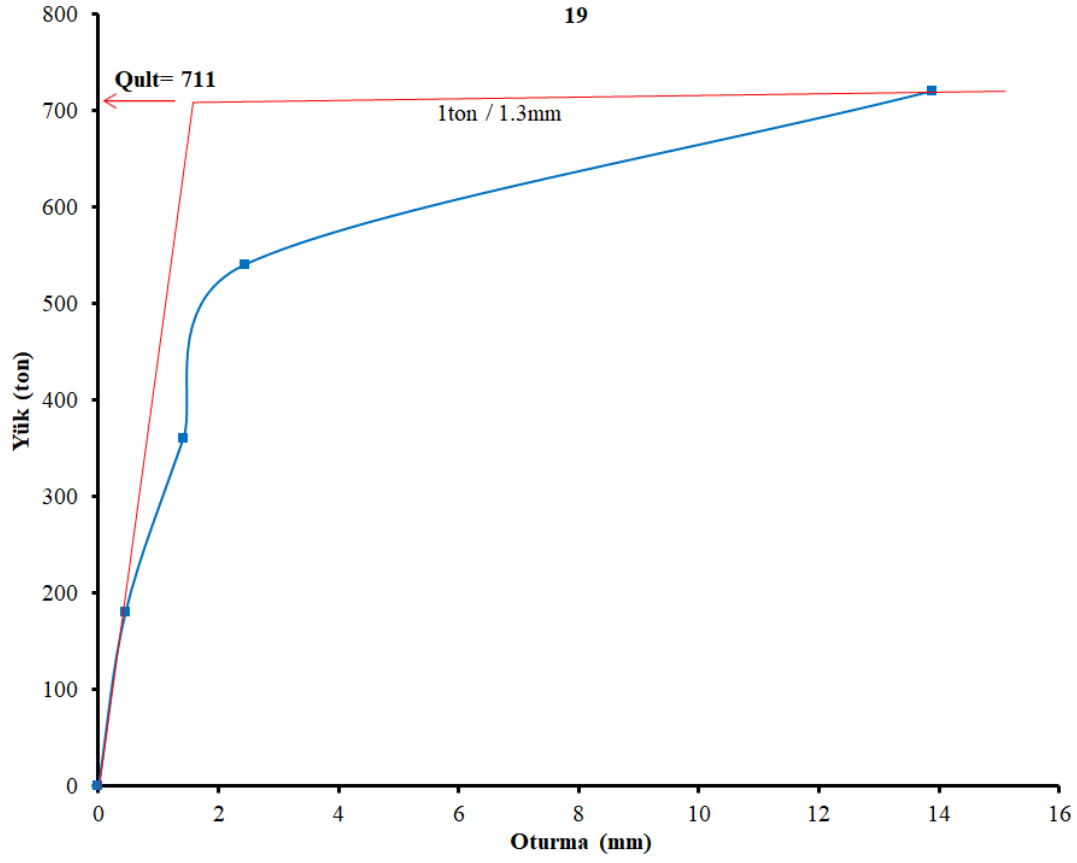
Şekil B.252 : Deney No 18 Van Der Veen yöntemi.



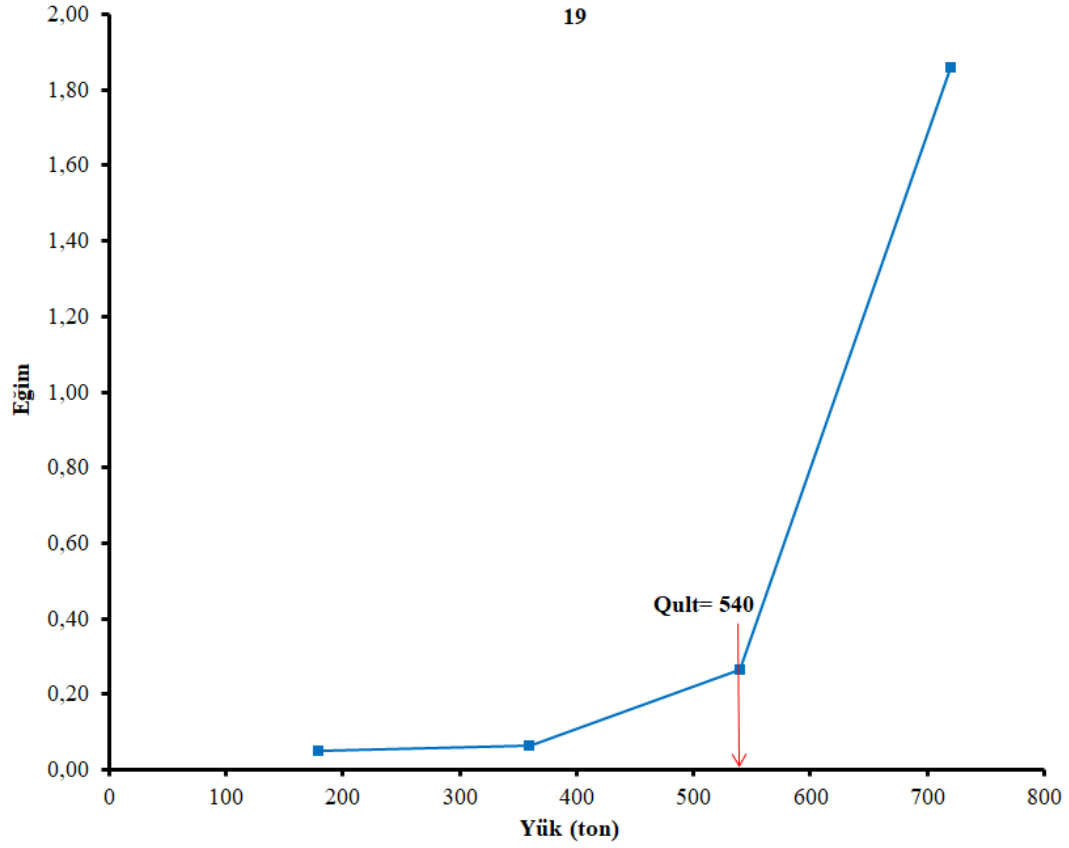
Şekil B.253 : Deney No 19 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



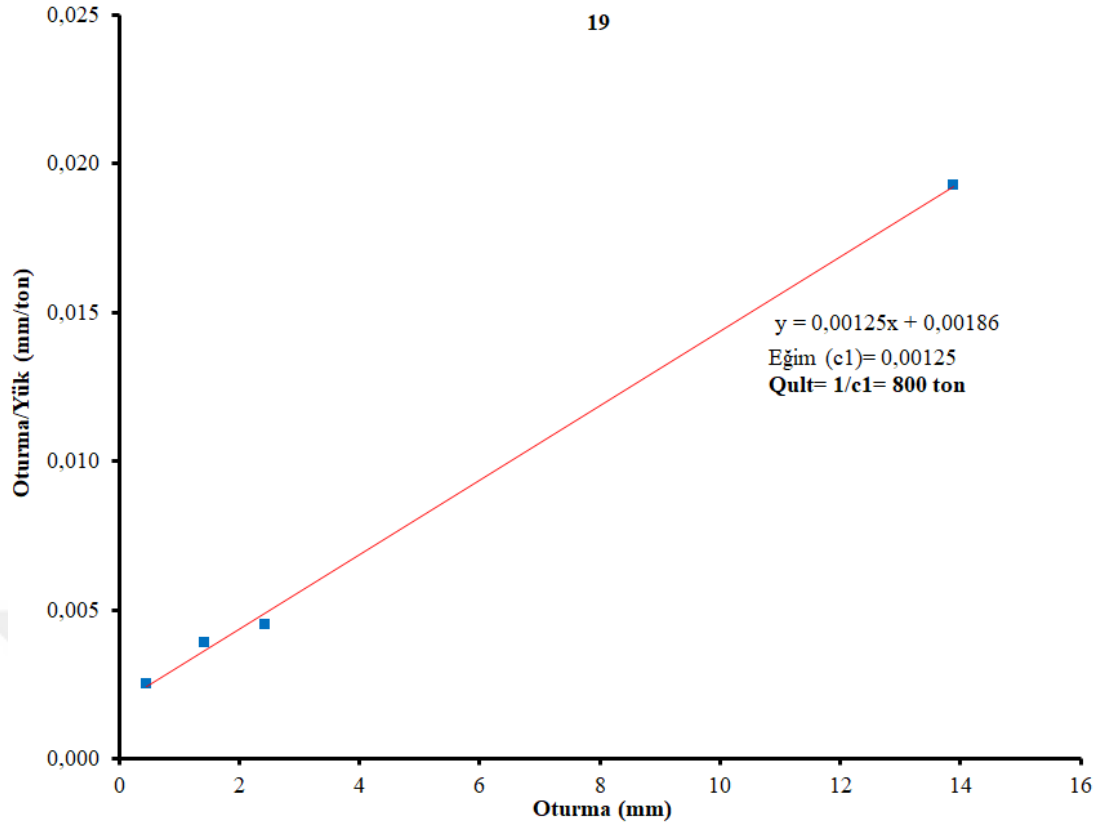
Şekil B.254 : Deney No 19 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



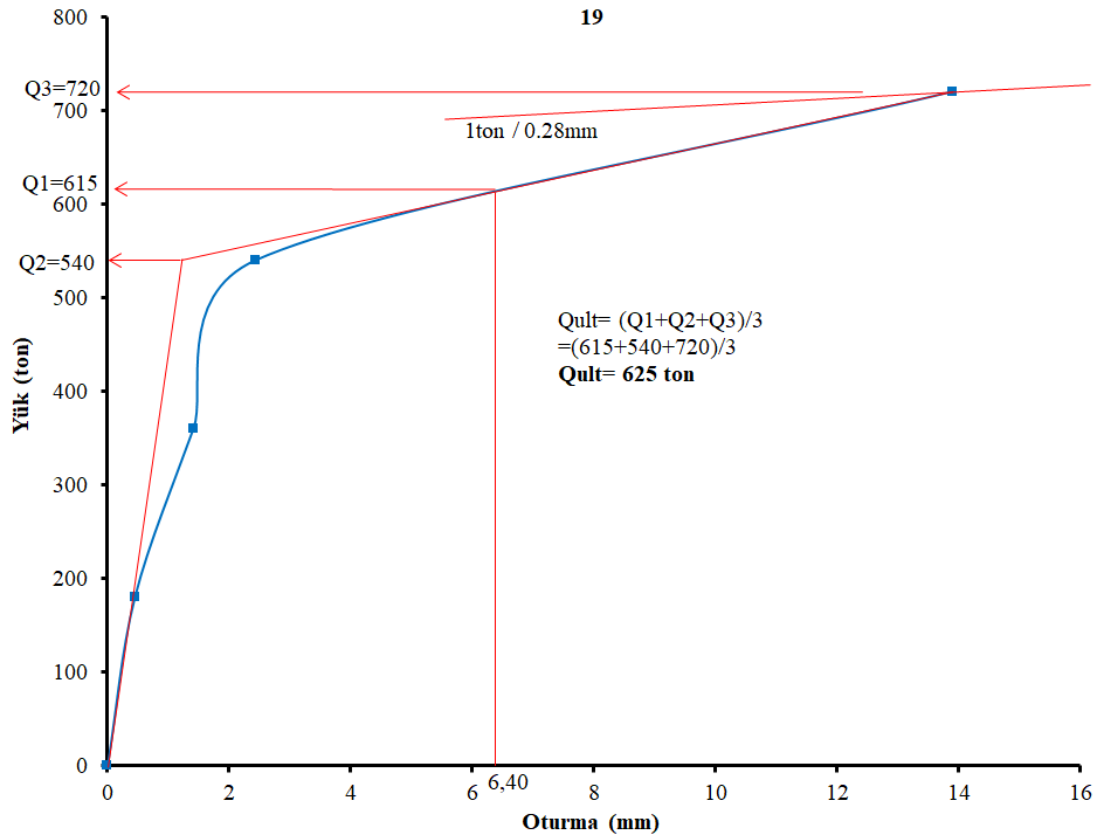
Şekil B.255 : Deney No 19 Butler - Hoy yöntemi.



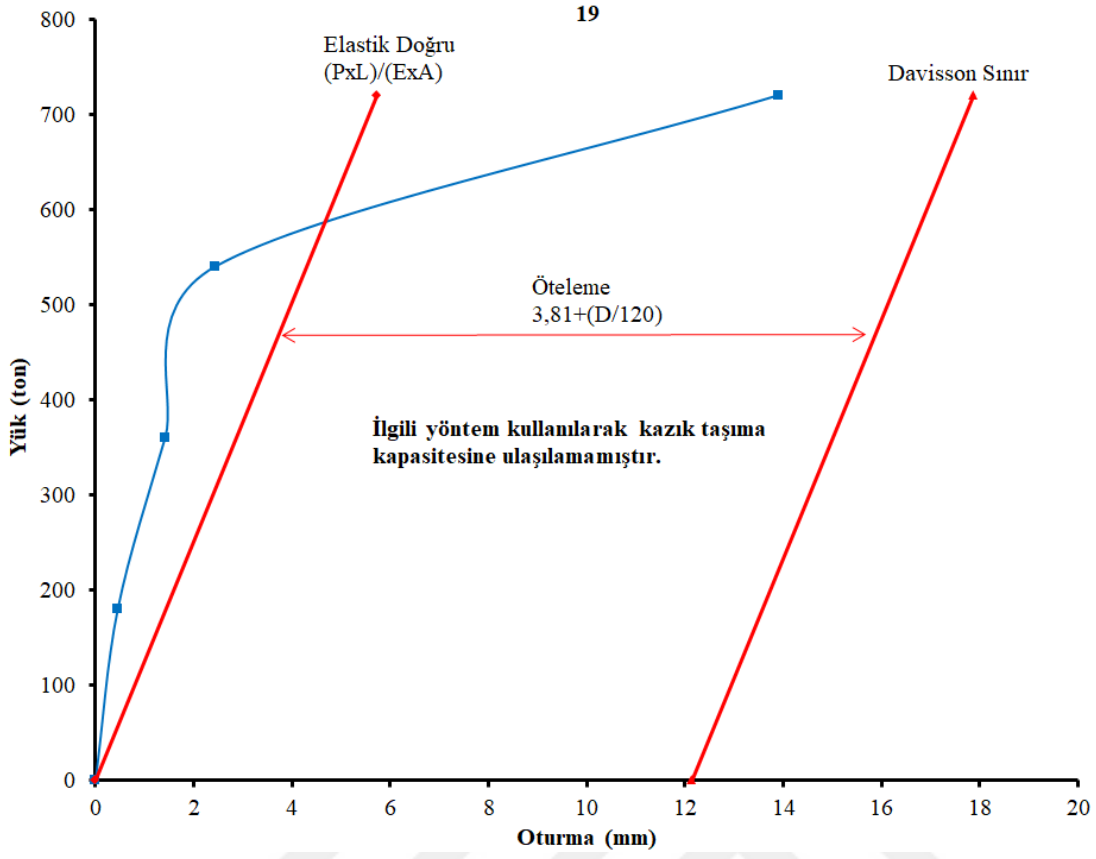
Şekil B.256 : Deney No 19 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



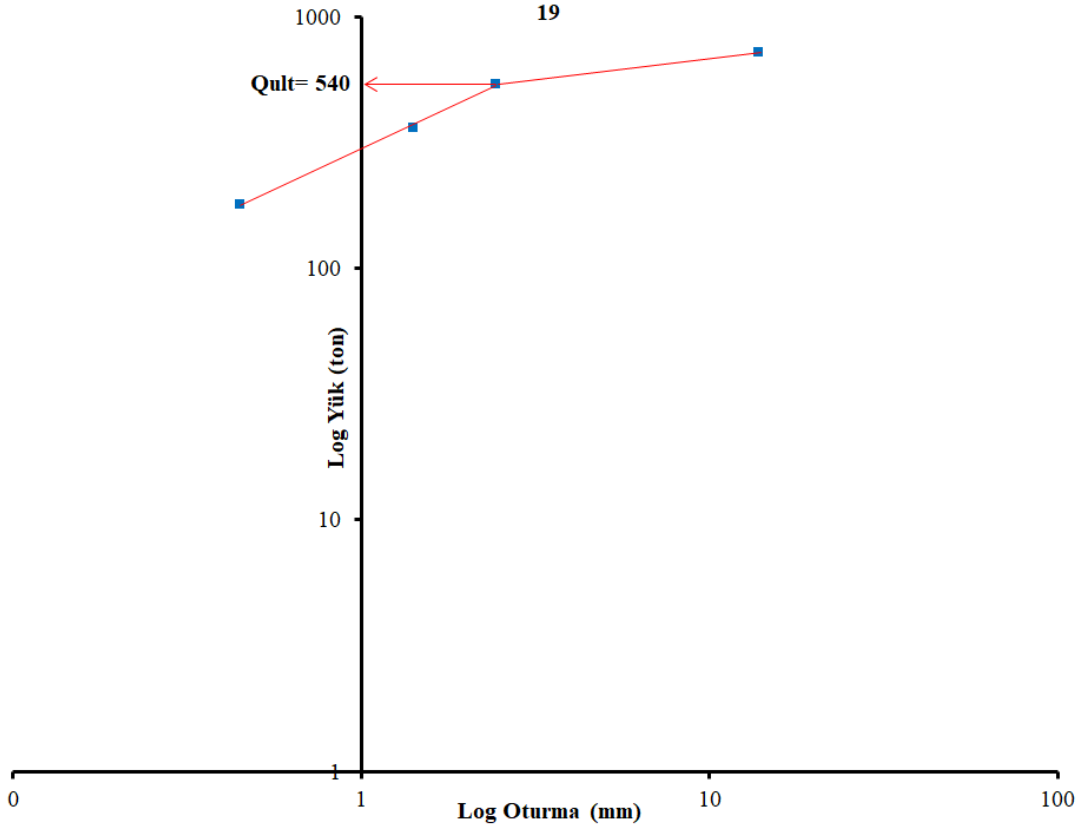
Şekil B.257 : Deney No 19 Chin - Kondner yöntemi.



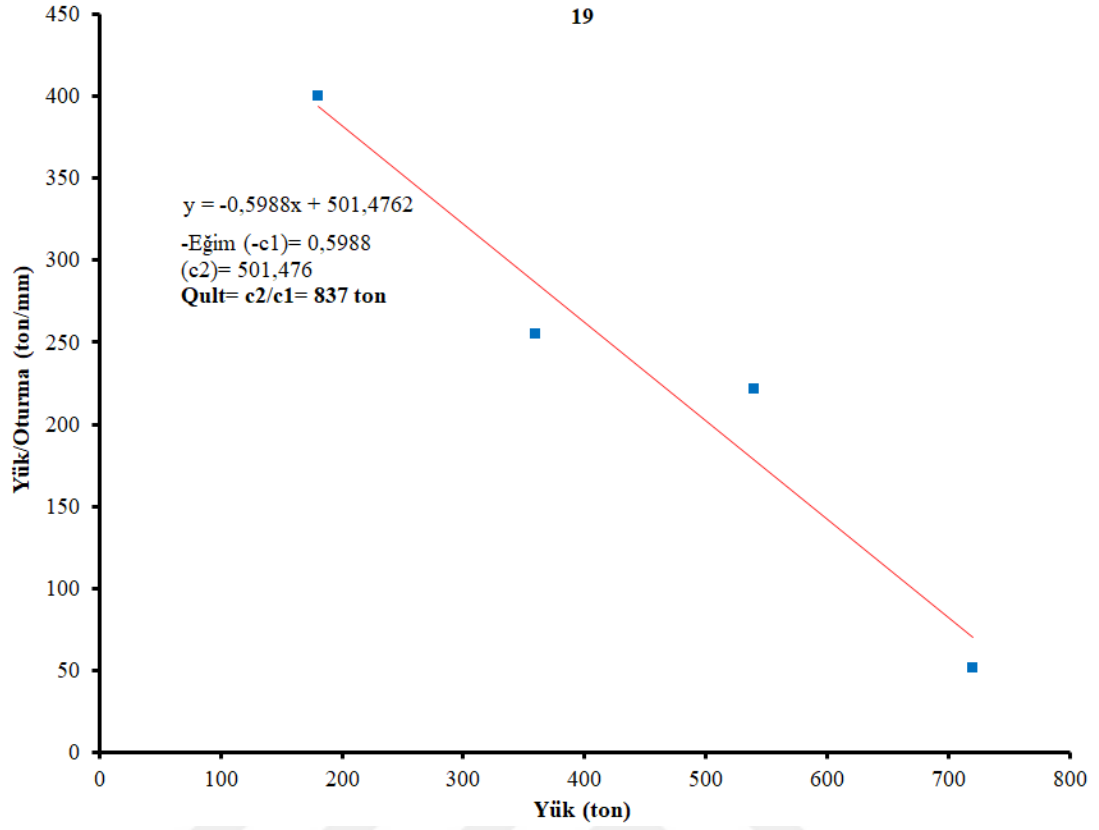
Şekil B.258 : Deney No 19 Corps of Engineers yöntemi.



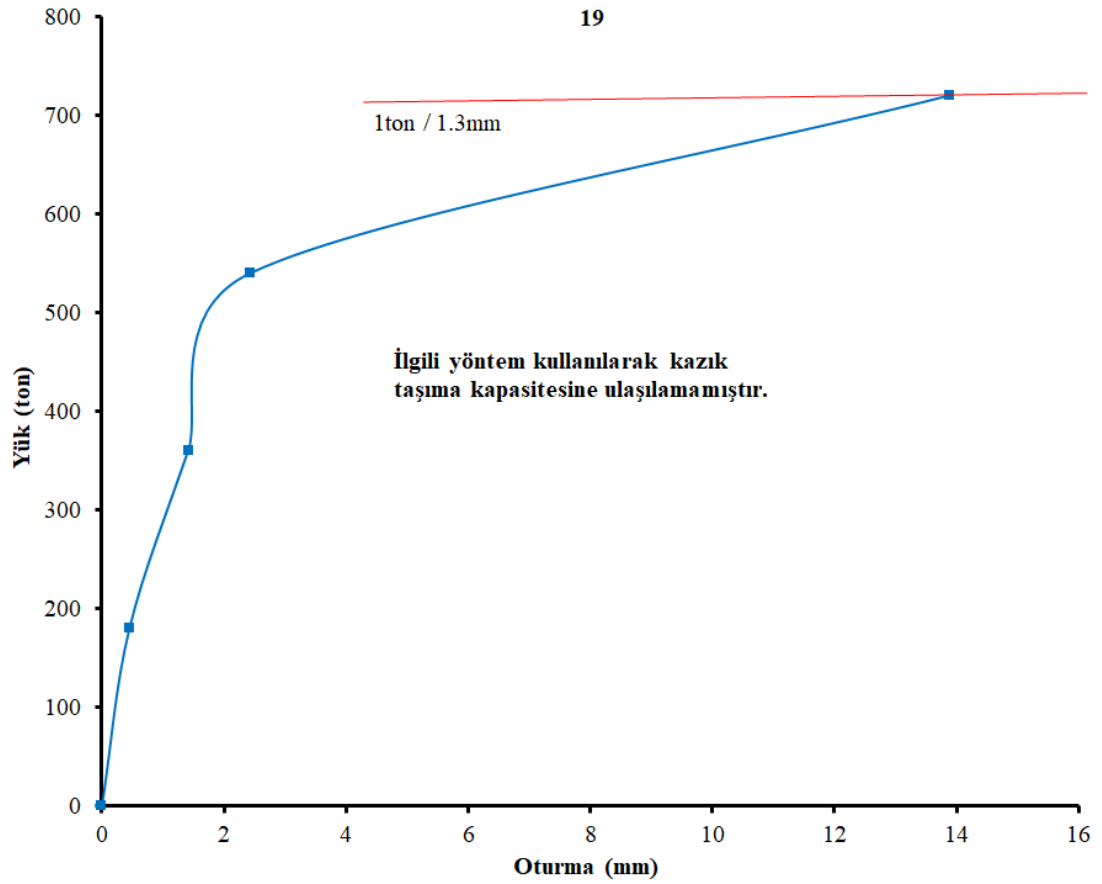
Şekil B.259 : Deney No 19 Davisson yöntemi.



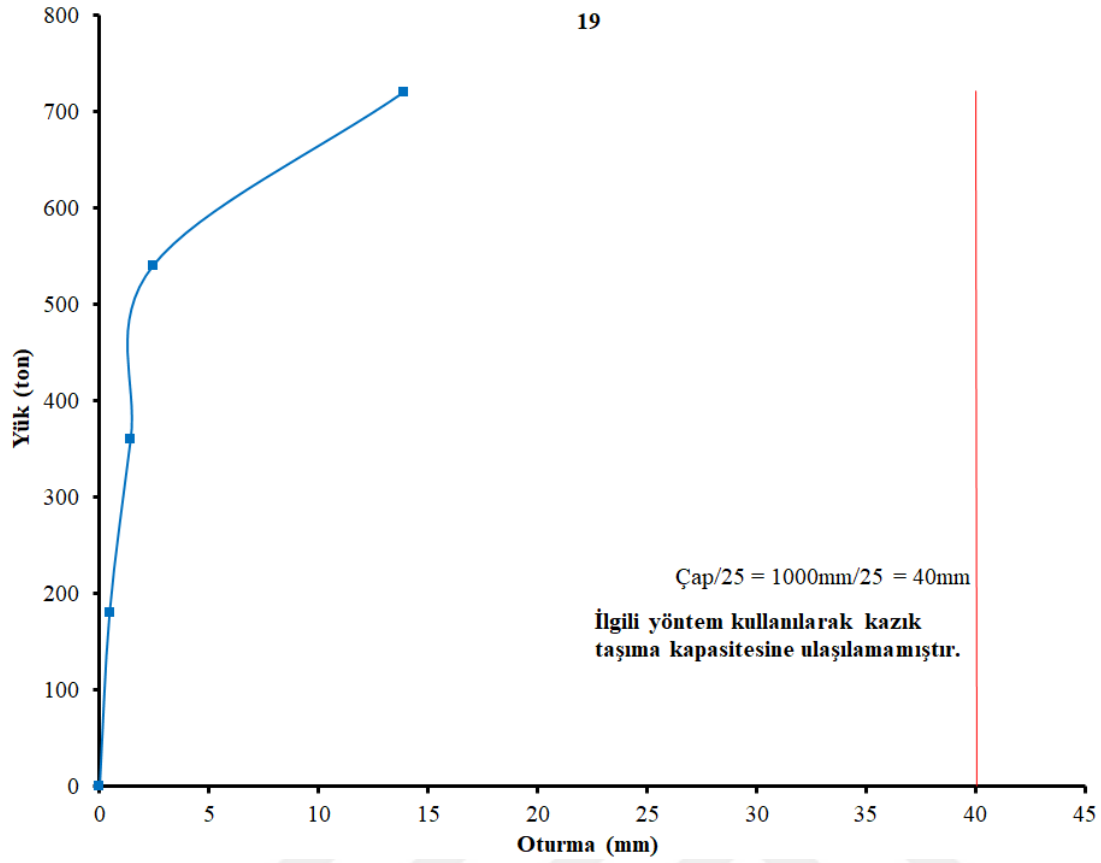
Şekil B.260 : Deney No 19 De Beer yöntemi.



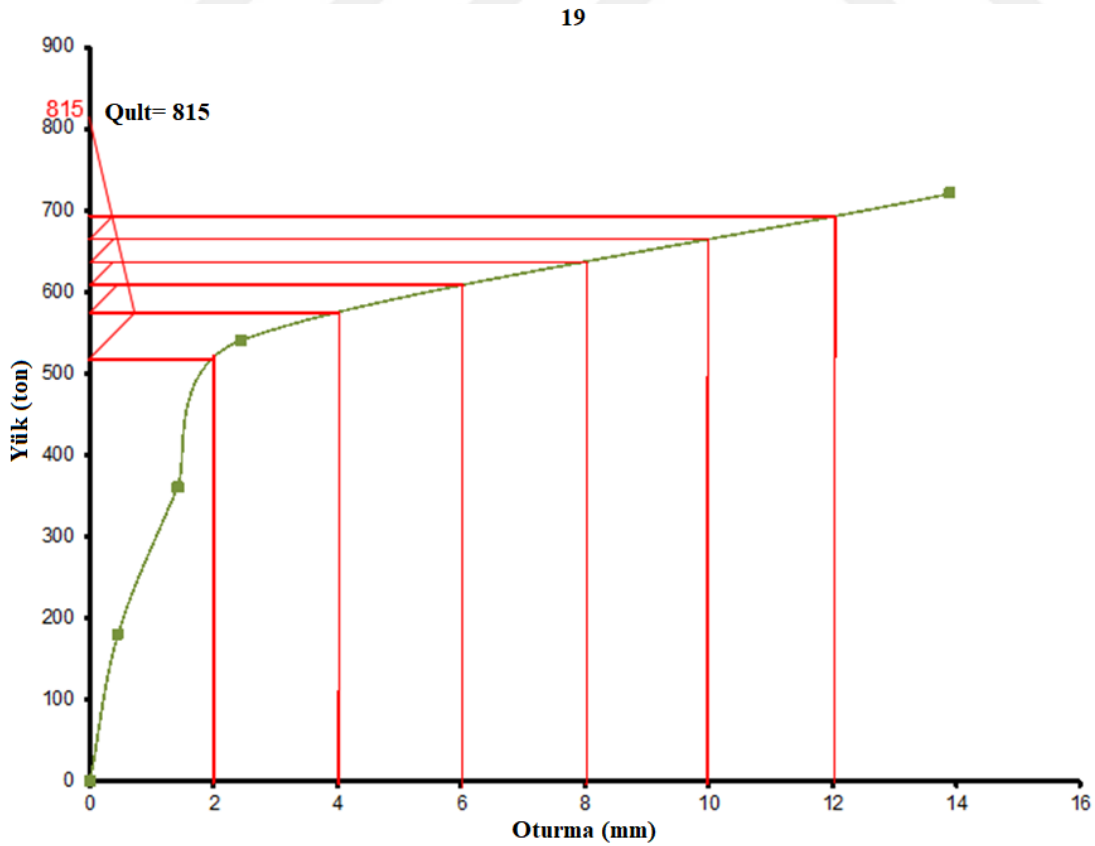
Şekil B.261 : Deney No 19 Decourt yöntemi.



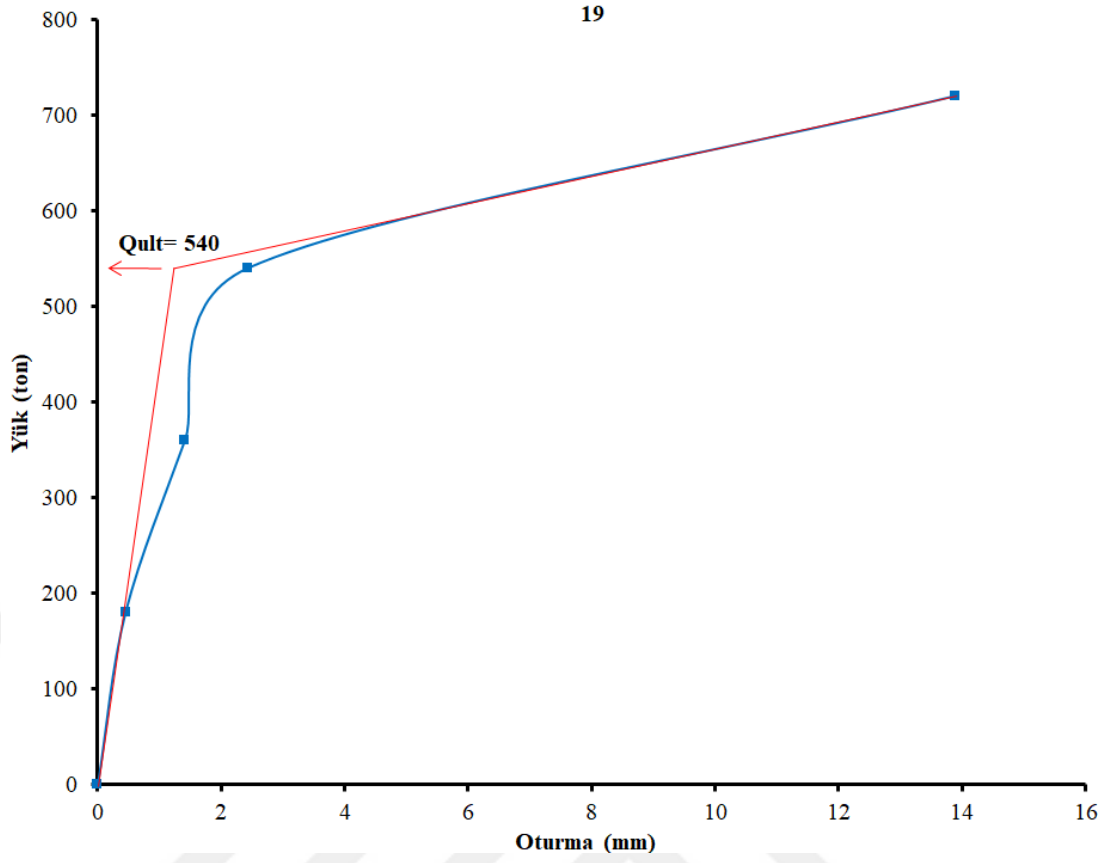
Şekil B.262 : Deney No 19 Fuller - Hoy yöntemi.



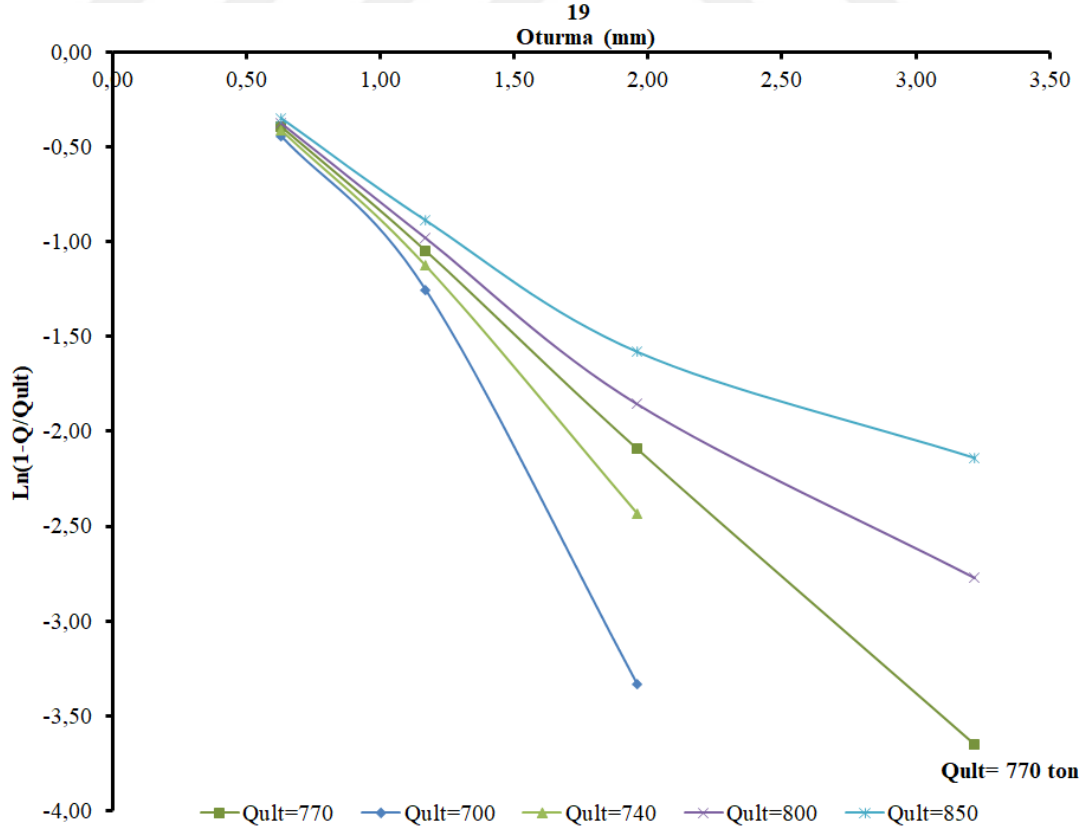
Şekil B.263 : Deney No 19 Hirany - Kulhawy yöntemi.



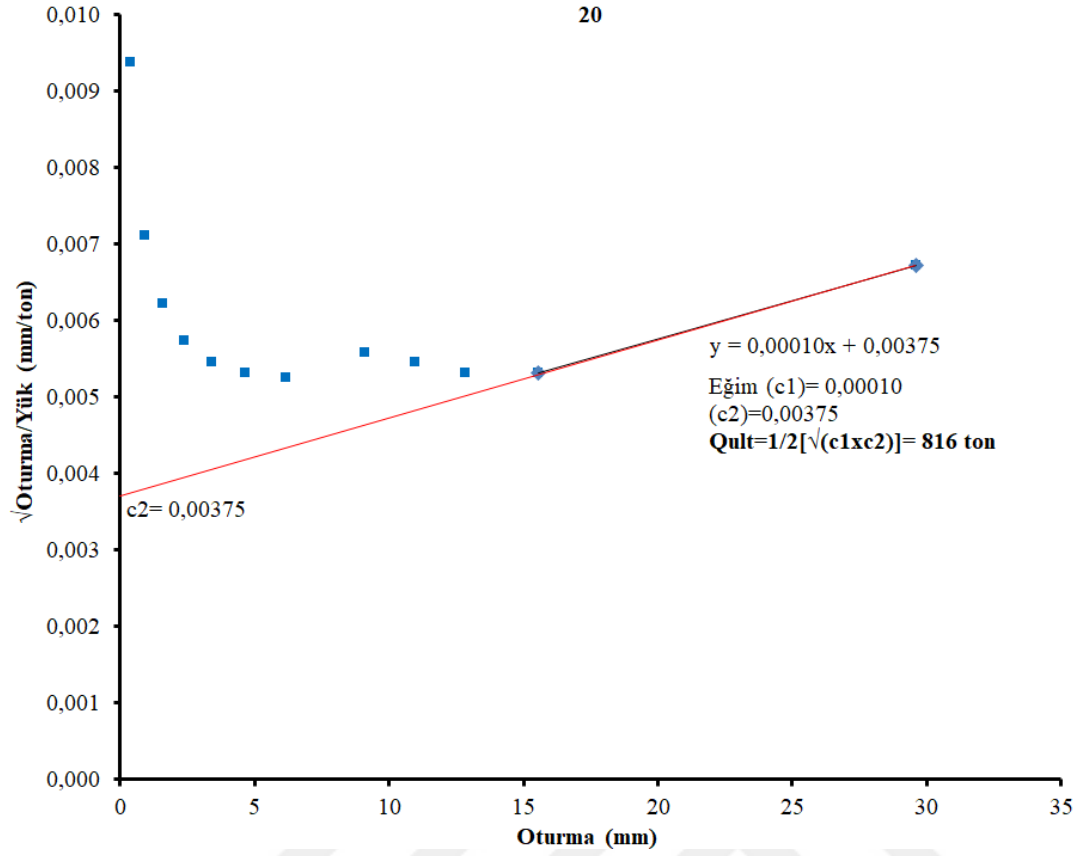
Şekil B.264 : Deney No 19 Mazurkiewicz yöntemi.



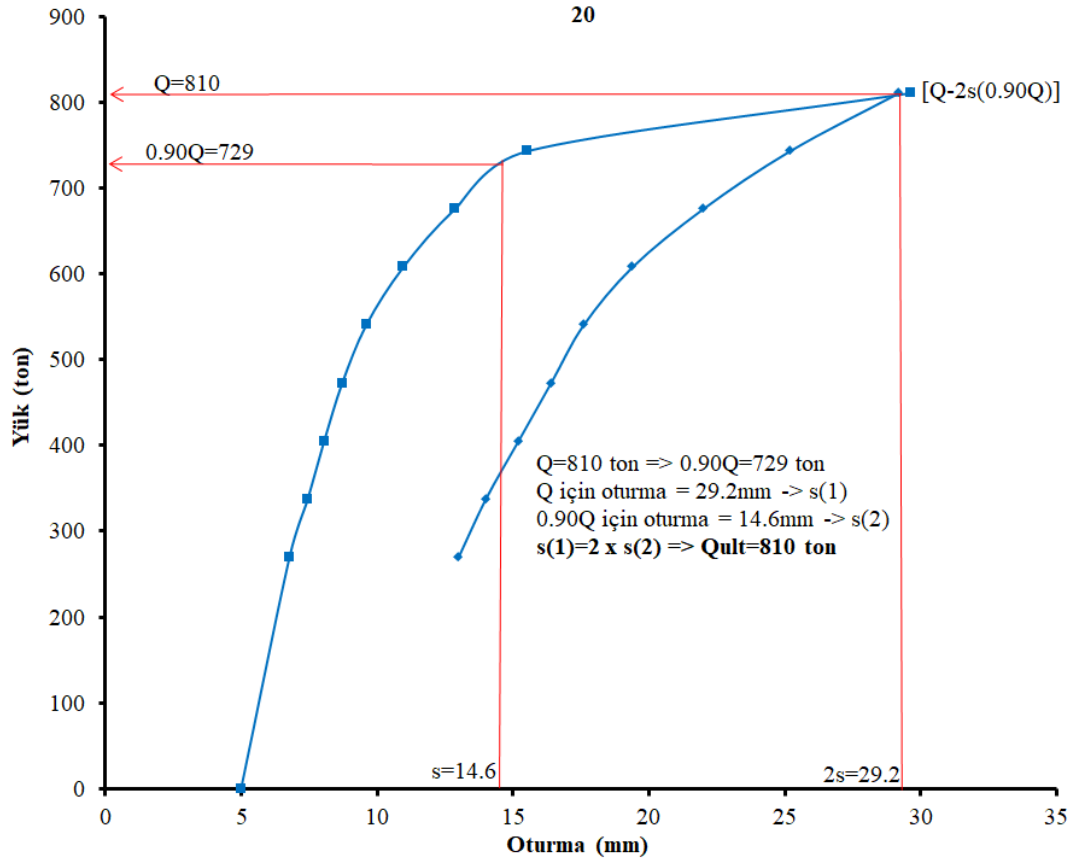
Şekil B.265 : Deney No 19 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



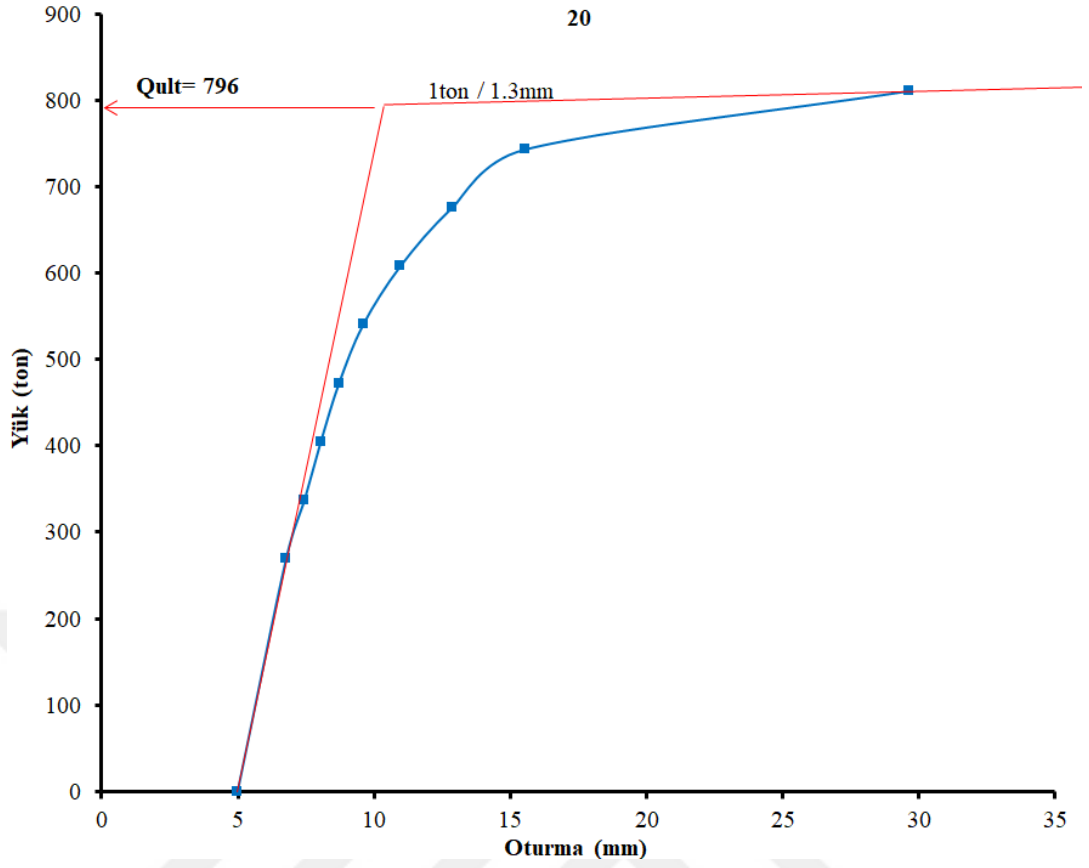
Şekil B.266 : Deney No 19 Van Der Veen yöntemi.



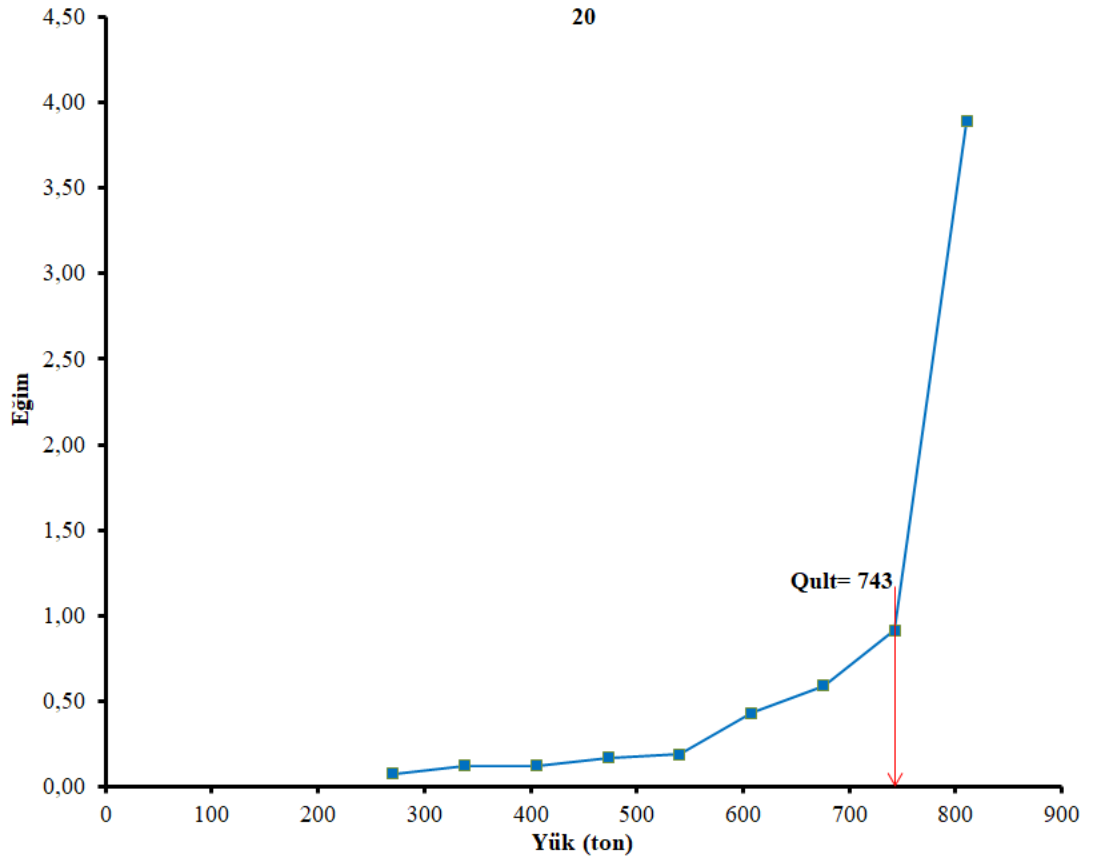
Şekil B.267 : Deney No 20 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



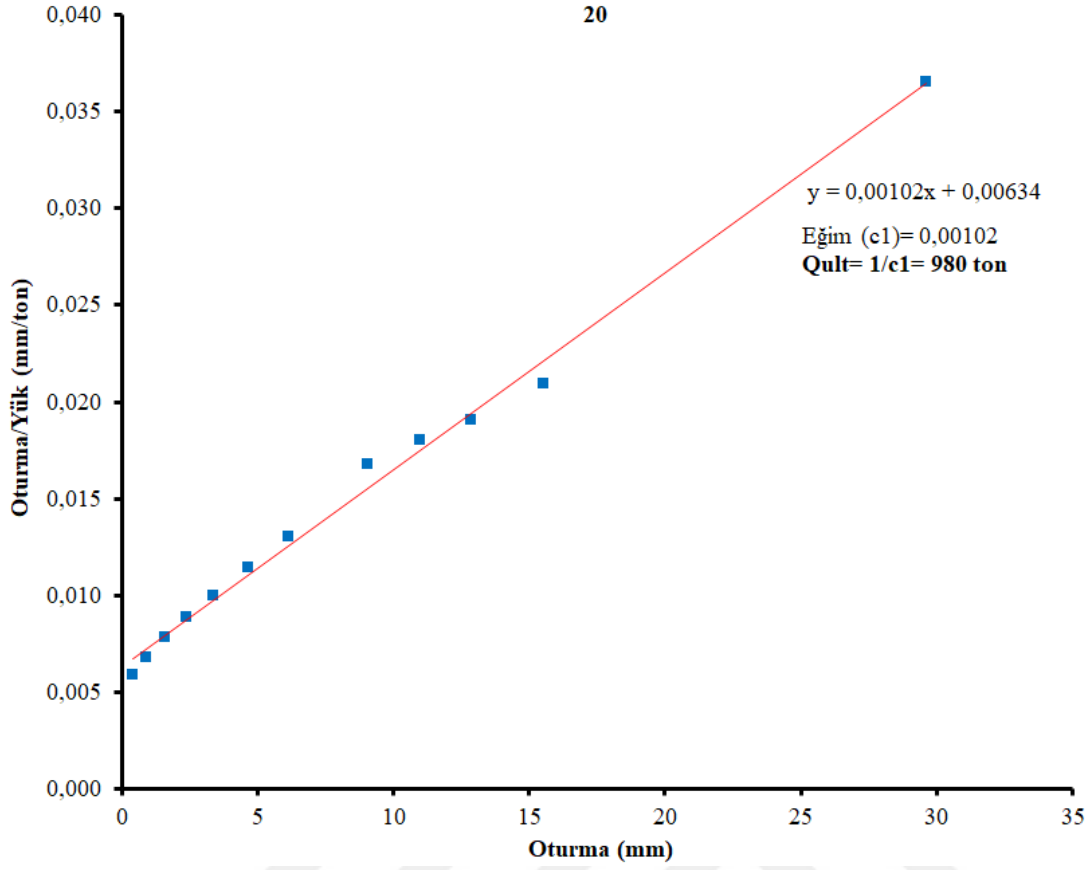
Şekil B.268 : Deney No 20 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



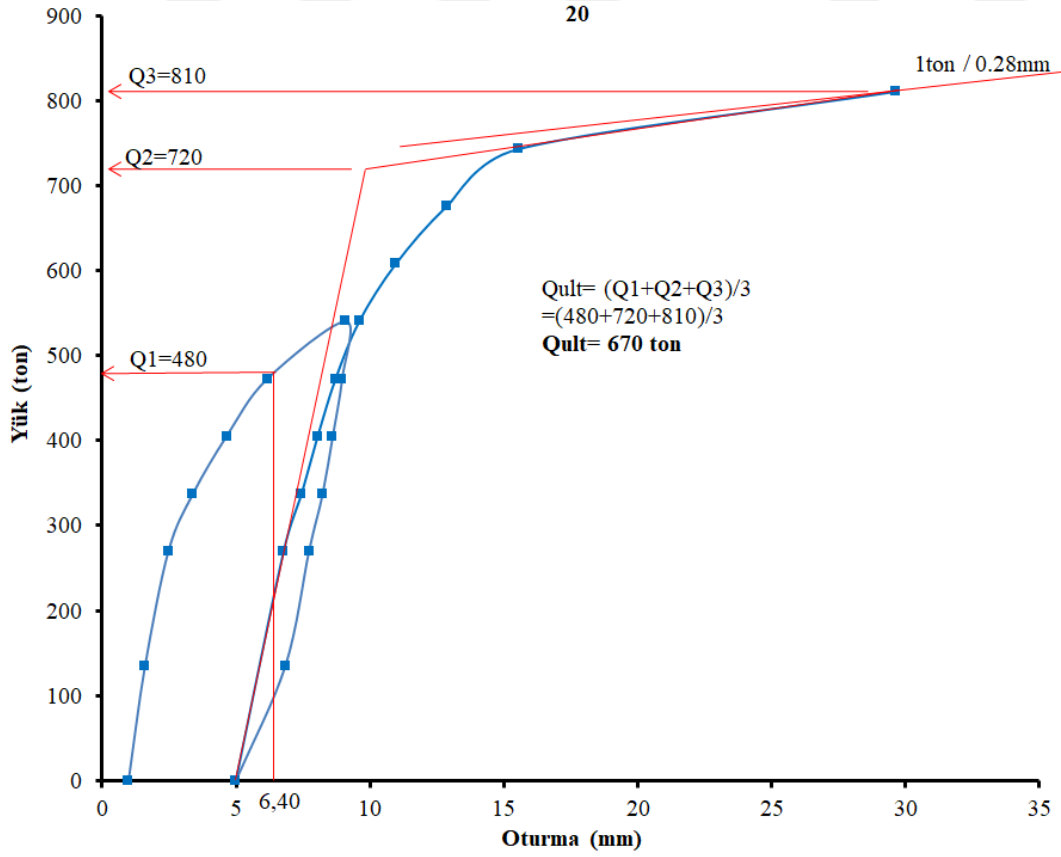
Şekil B.269 : Deney No 20 Butler - Hoy yöntemi.



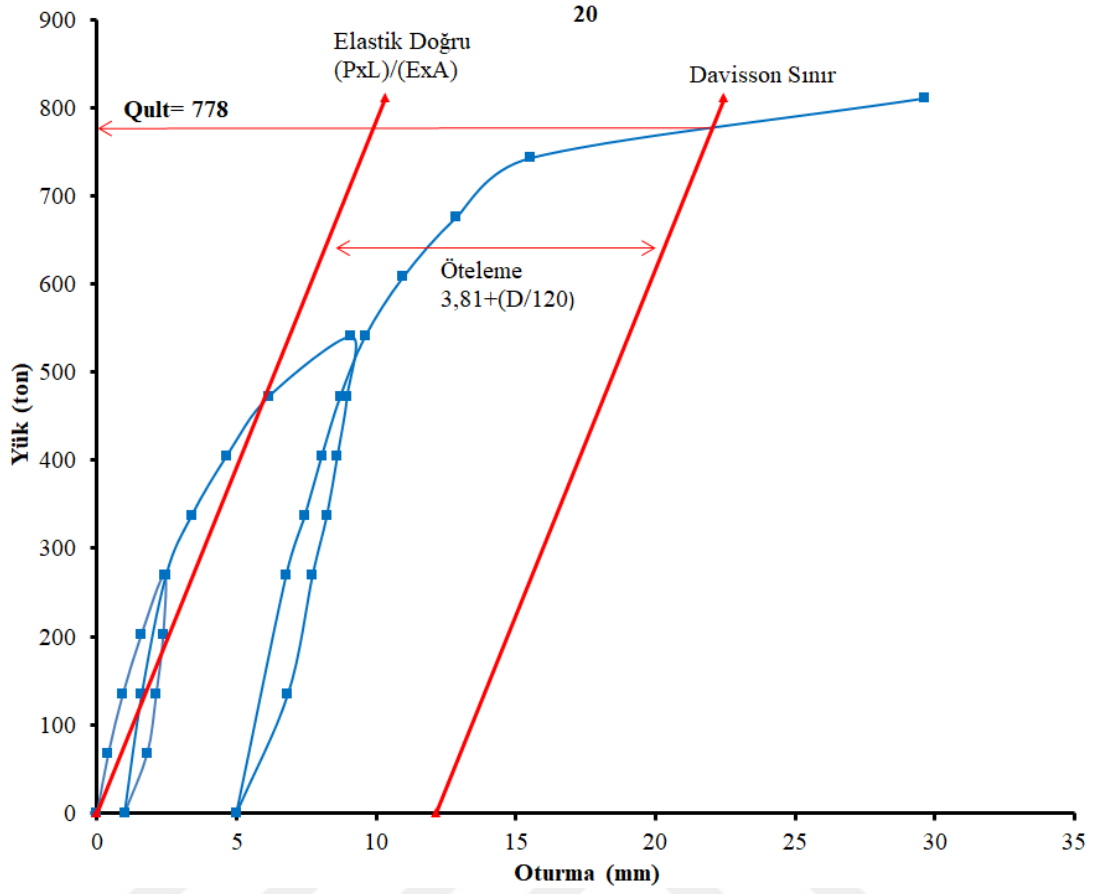
Şekil B.270 : Deney No 20 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



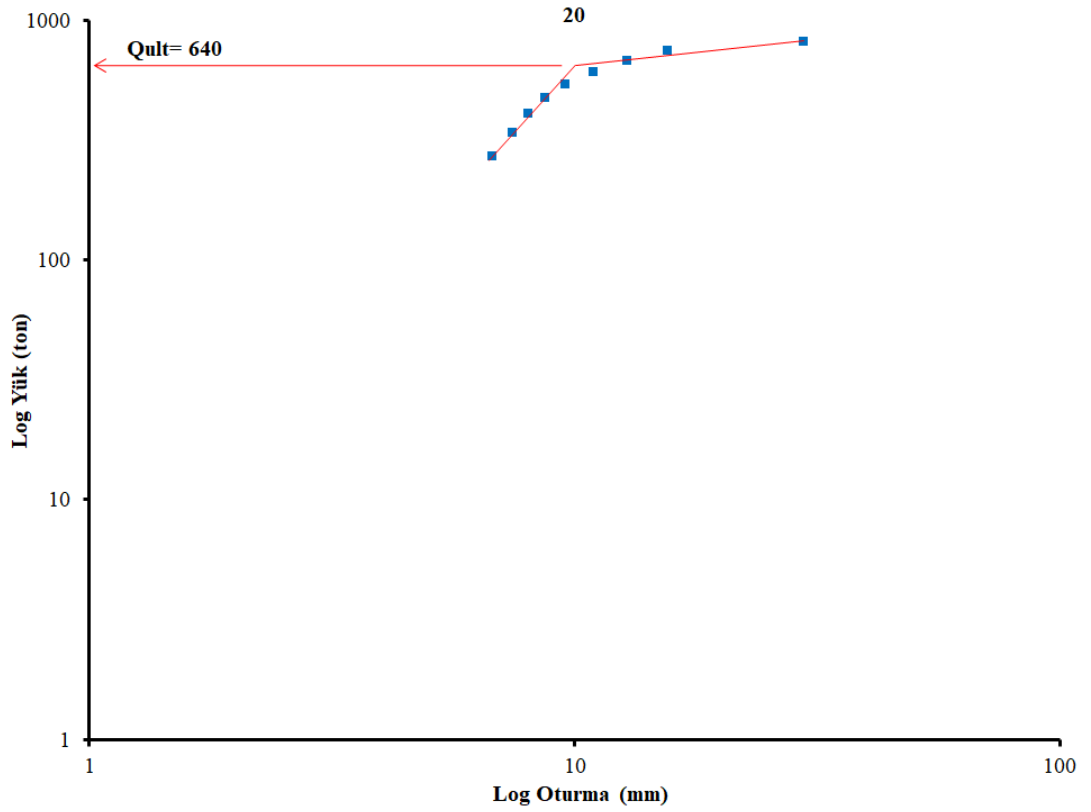
Şekil B.271 : Deney No 20 Chin - Kondner yöntemi.



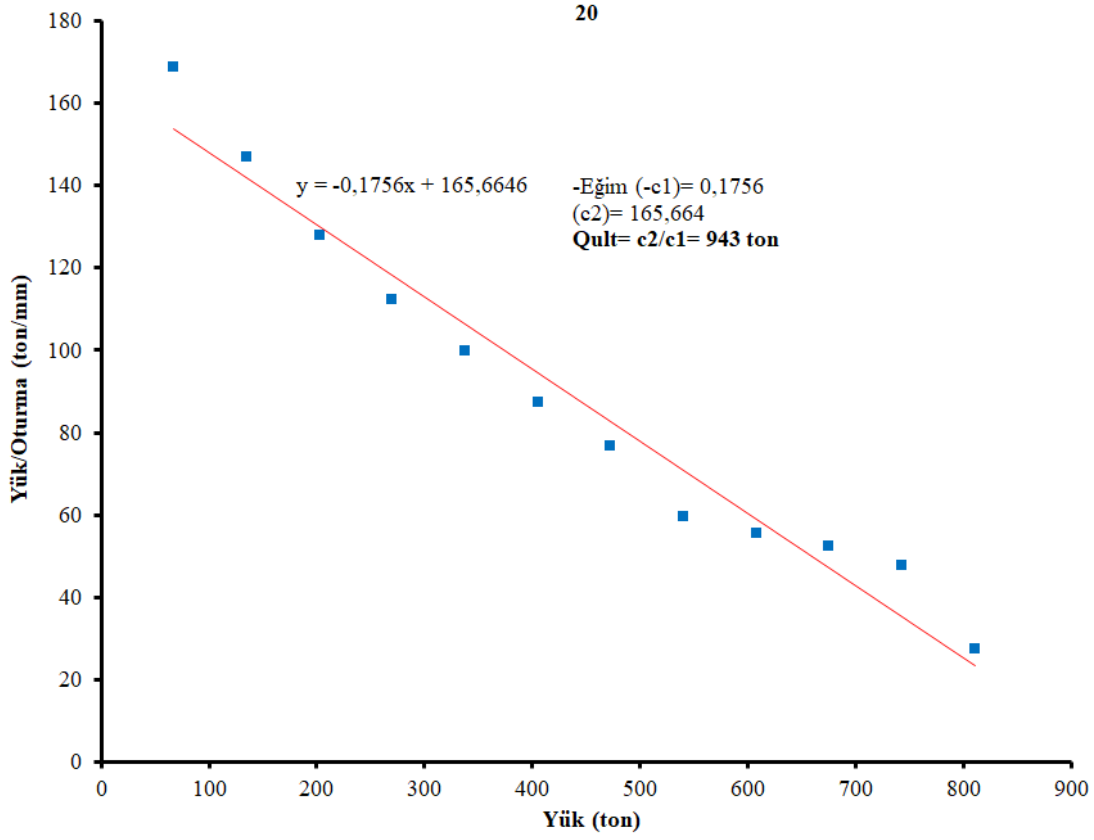
Şekil B.272 : Deney No 20 Corps of Engineers yöntemi.



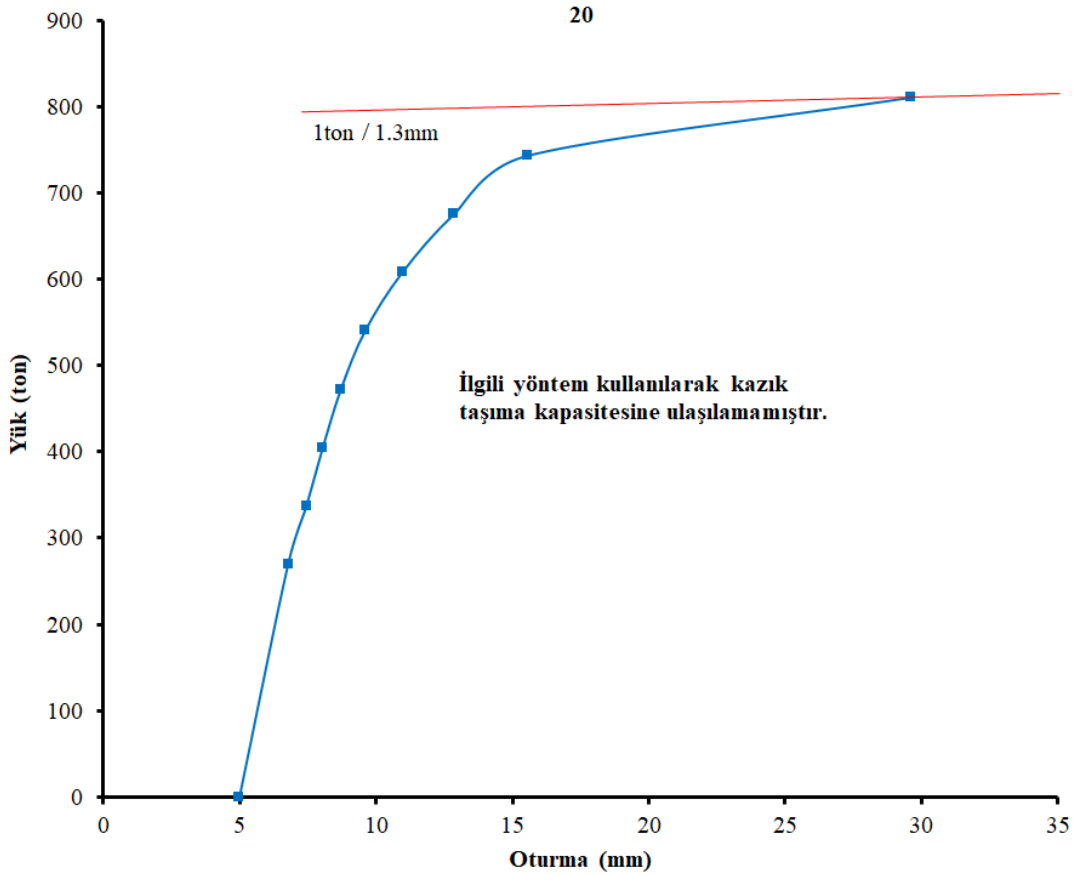
Şekil B.273 : Deney No 20 Davisson yöntemi.



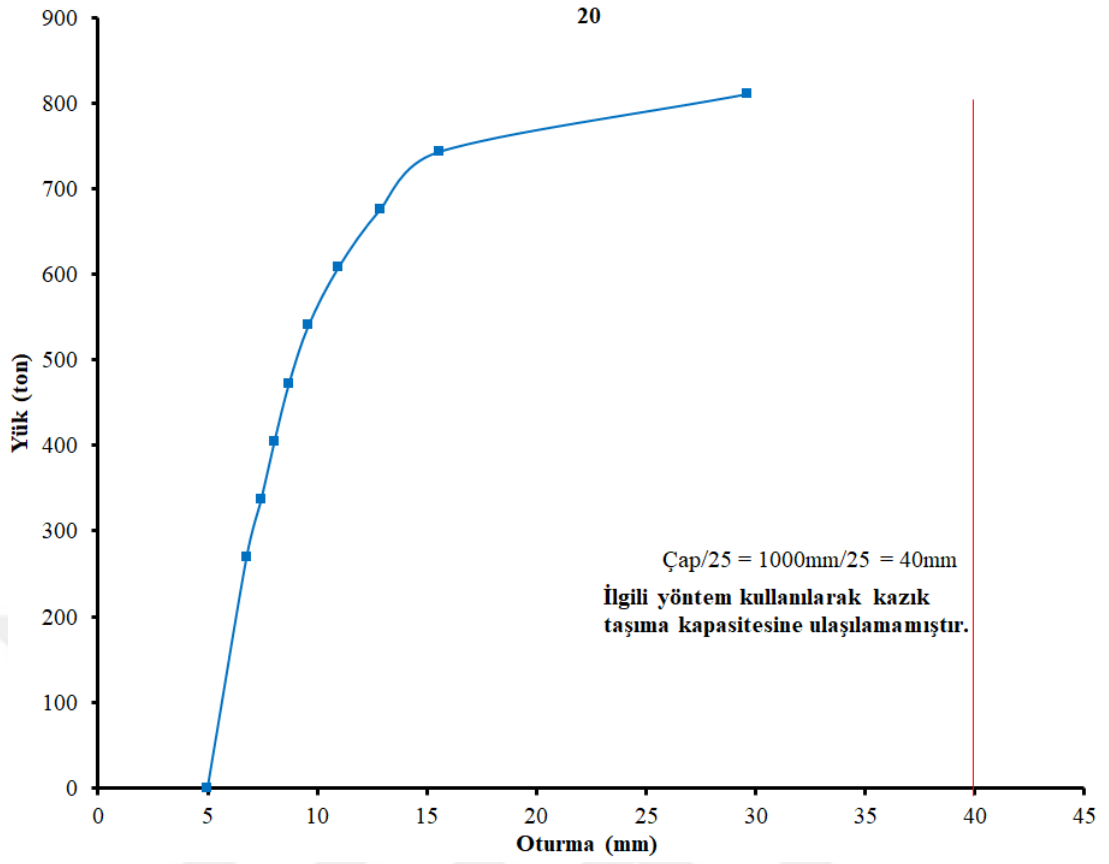
Şekil B.274 : Deney No 20 De Beer yöntemi.



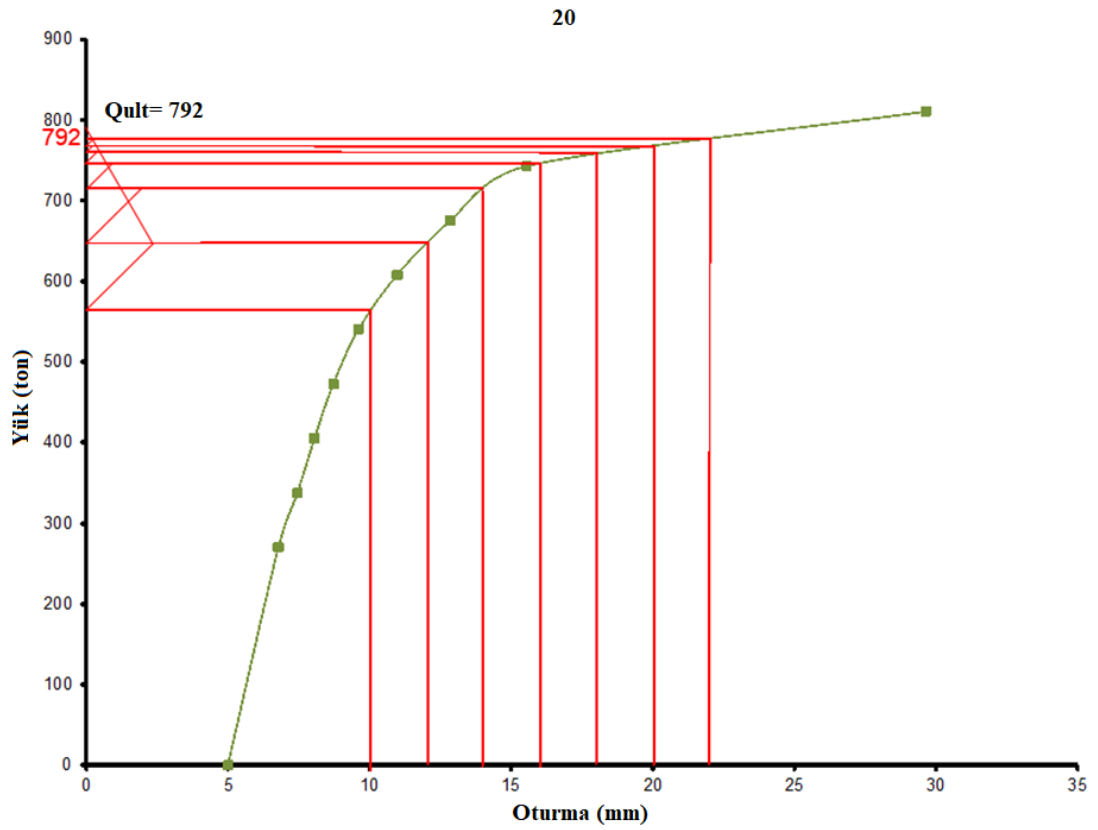
Şekil B.275 : Deney No 20 Decourt yöntemi.



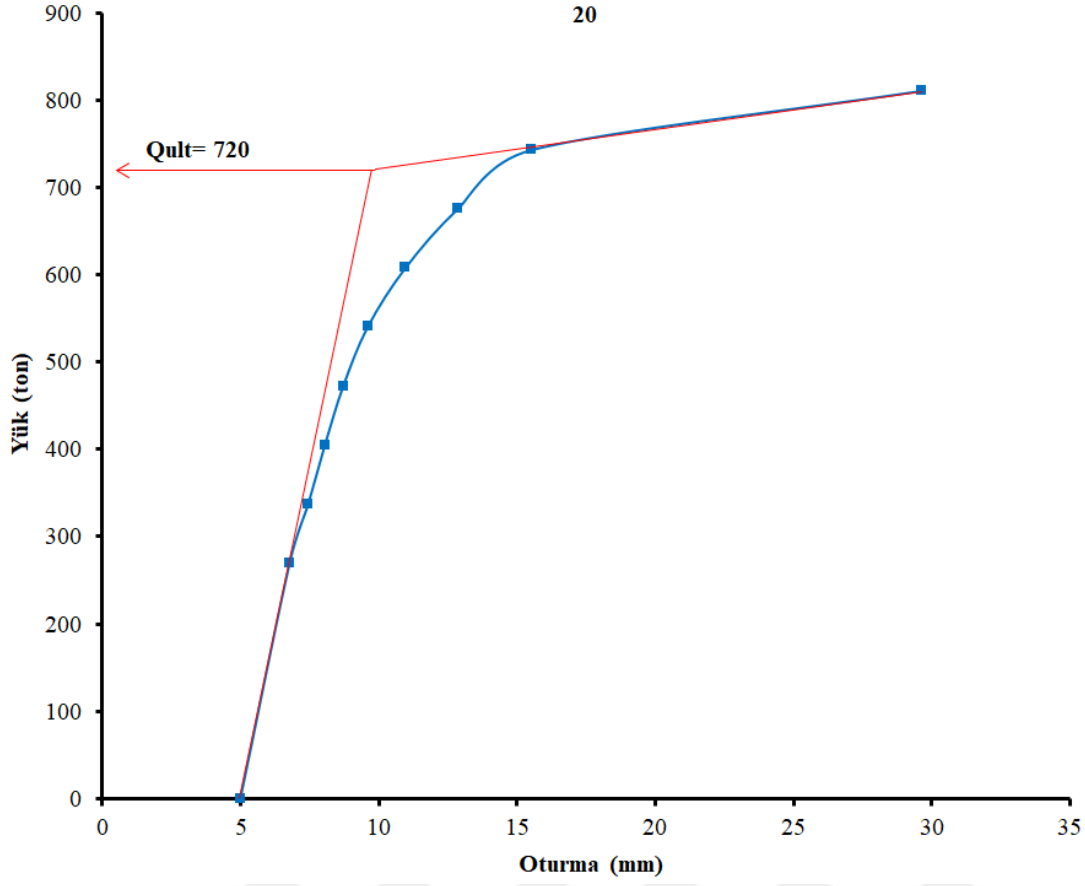
Şekil B.276 : Deney No 20 Fuller - Hoy yöntemi.



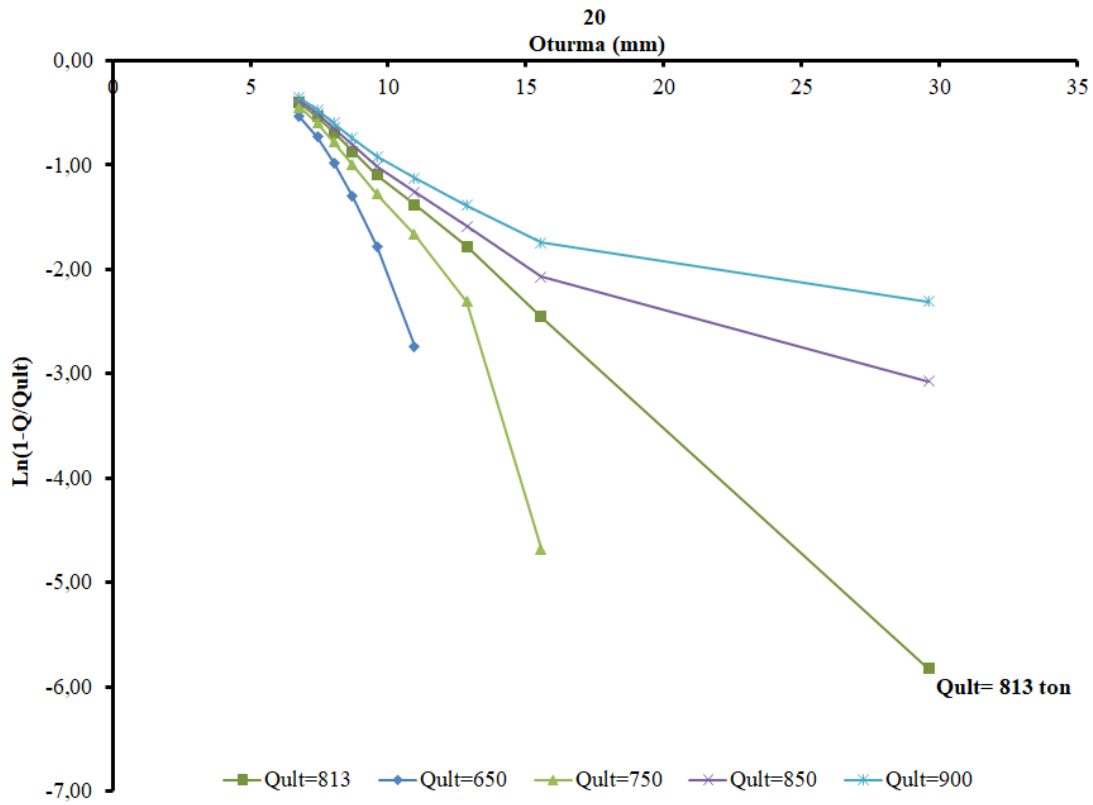
Şekil B.277 : Deney No 20 Hirany - Kulhawy yöntemi.



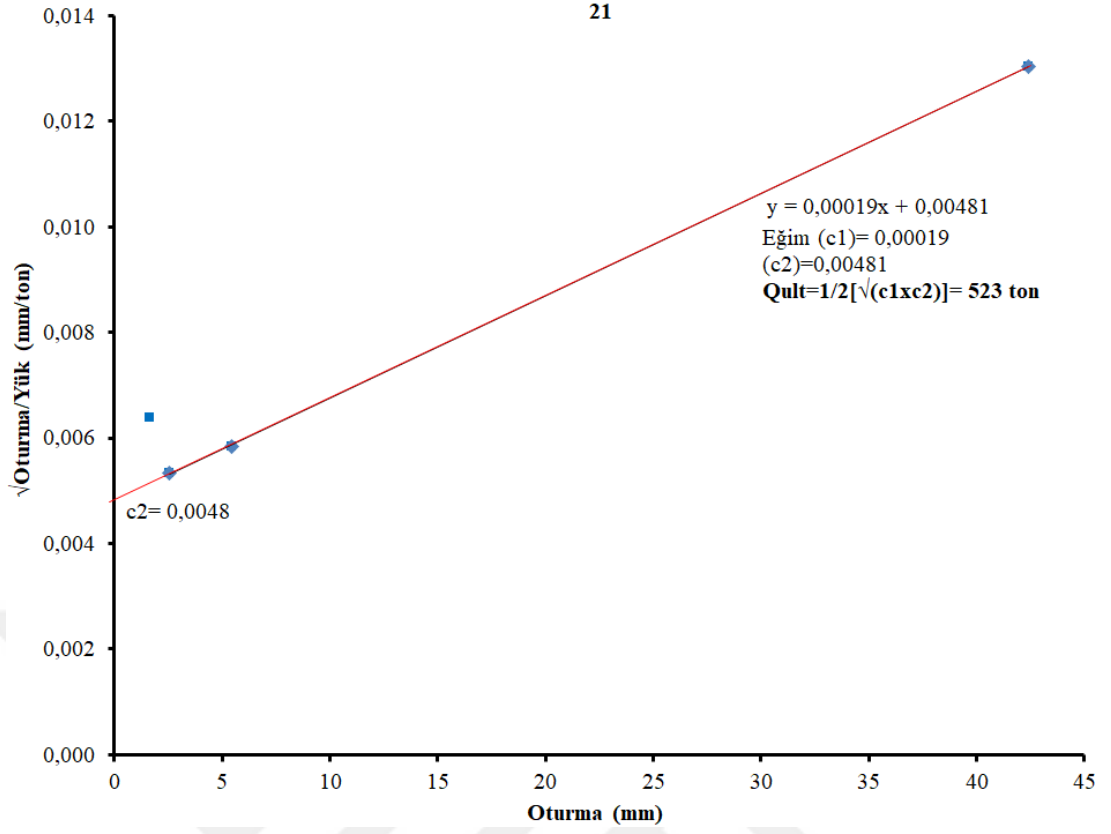
Şekil B.278 : Deney No 20 Mazurkiewicz yöntemi.



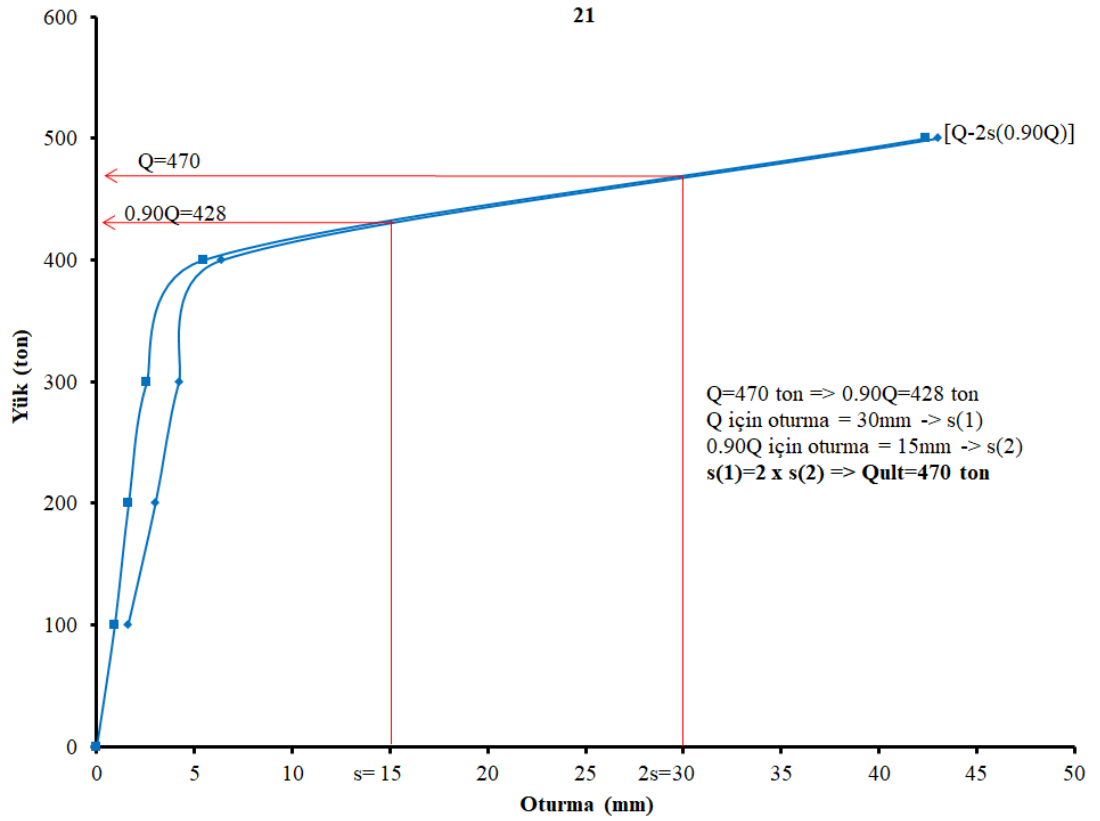
Şekil B.279 : Deney No 20 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



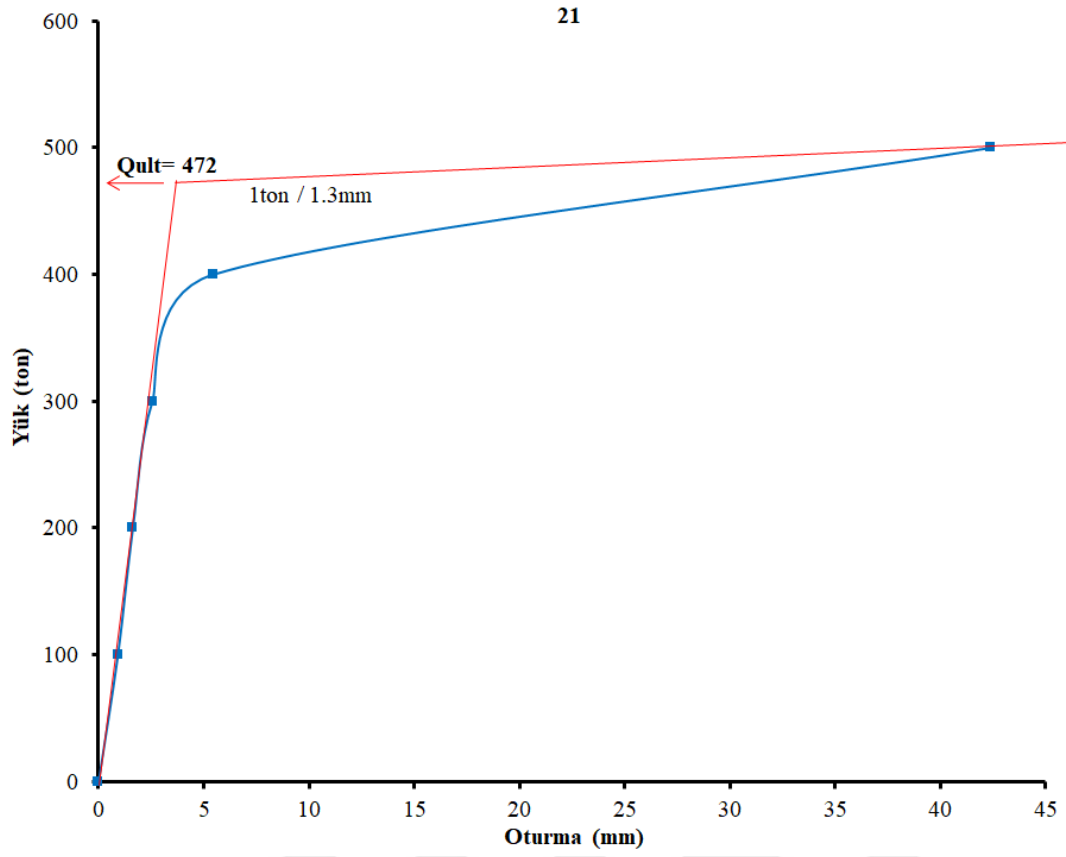
Şekil B.280 : Deney No 20 Van Der Veen yöntemi.



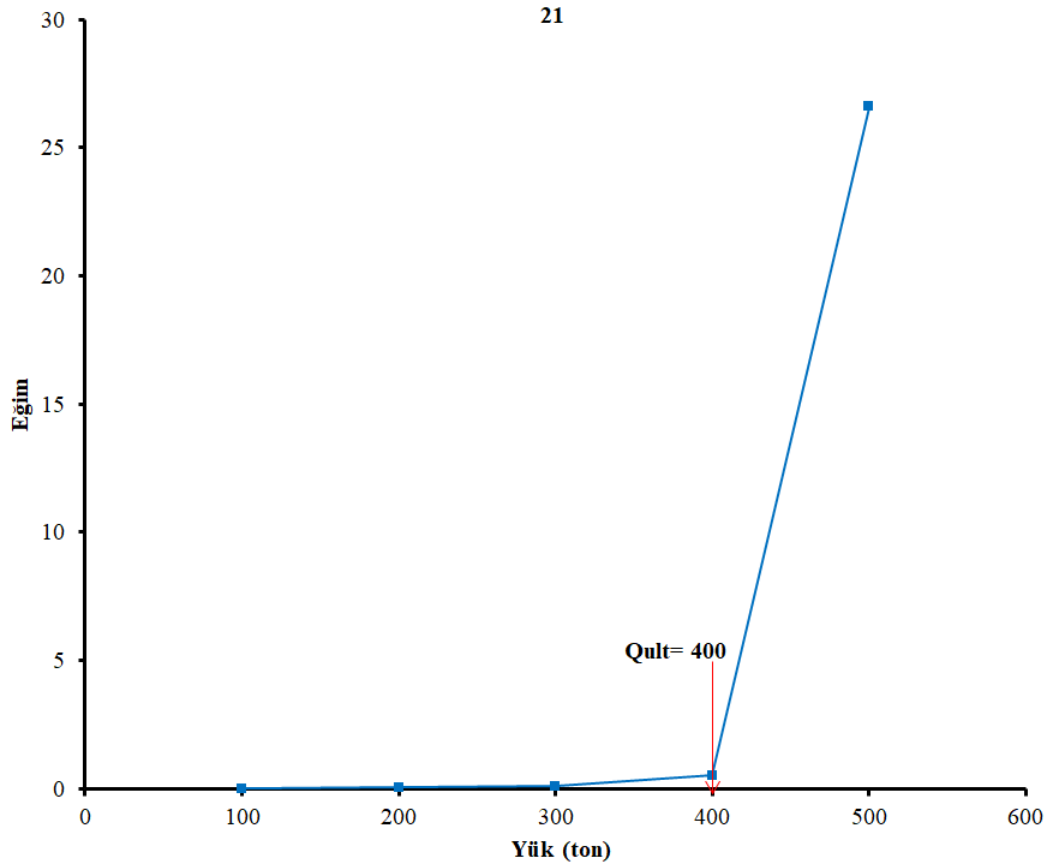
Şekil B.281 : Deney No 21 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



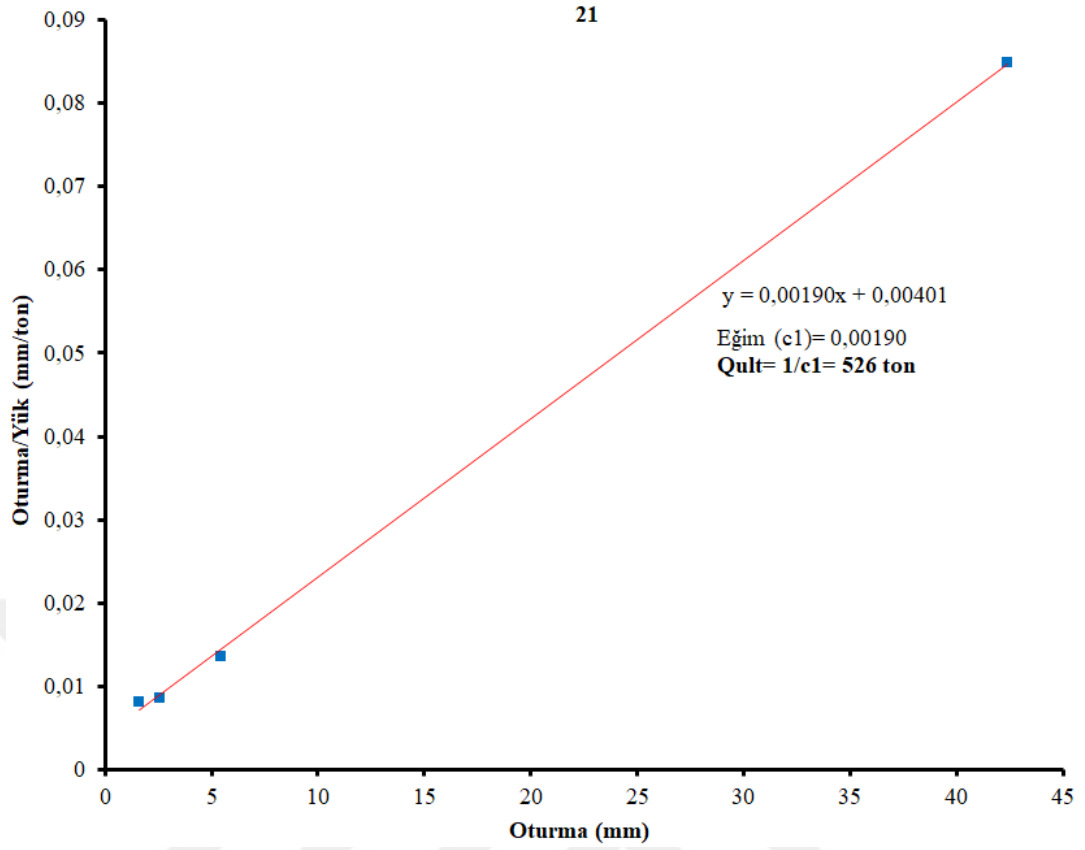
Şekil B.282 : Deney No 21 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



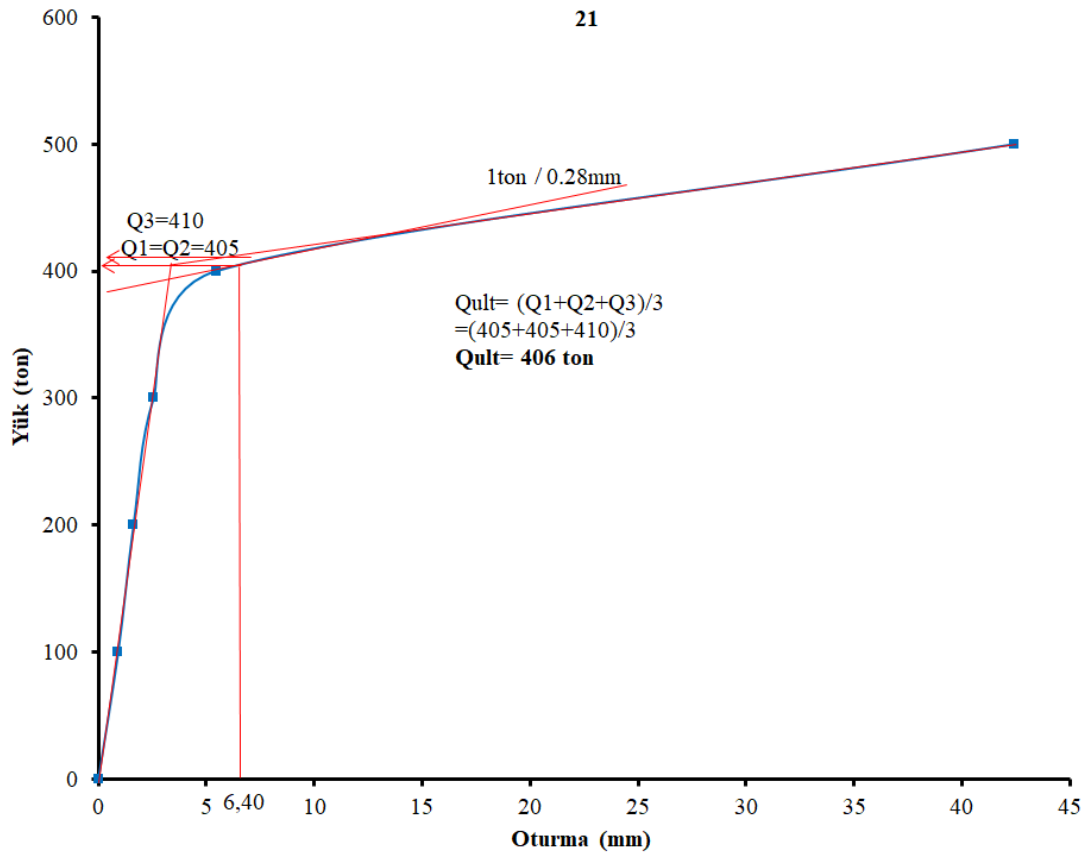
Şekil B.283 : Deney No 21 Butler - Hoy yöntemi.



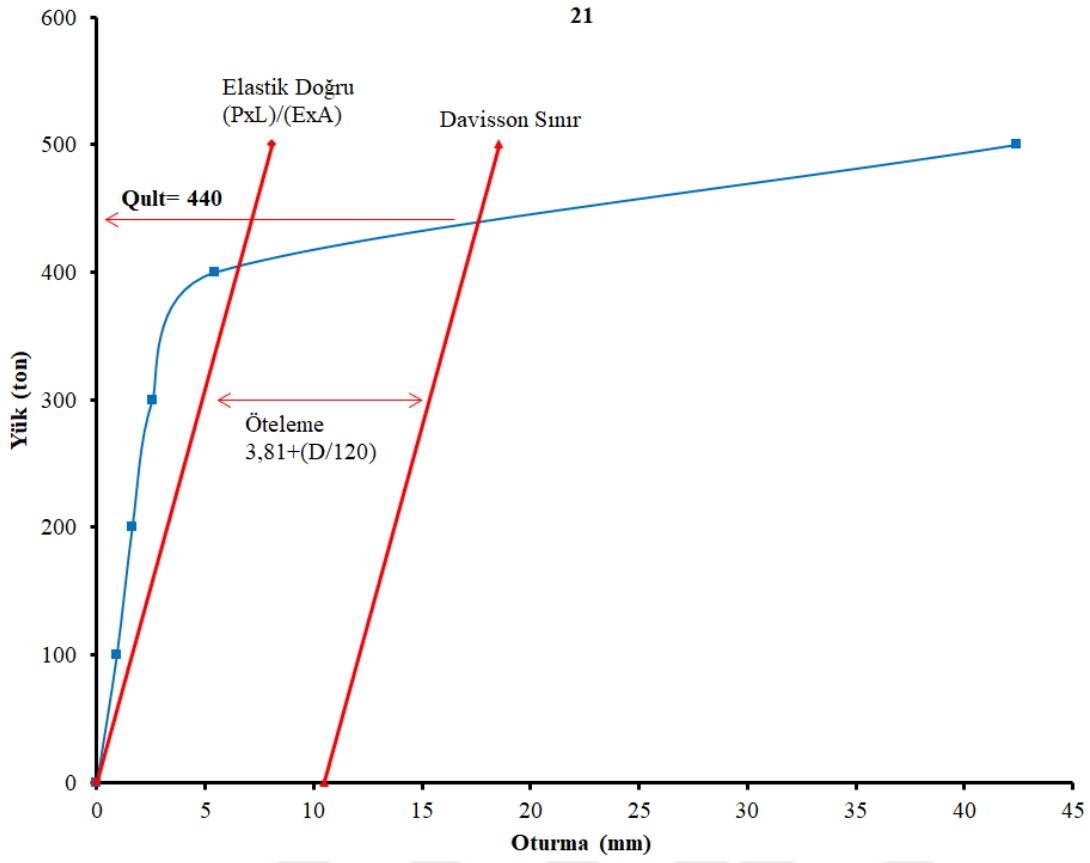
Şekil B.284 : Deney No 21 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



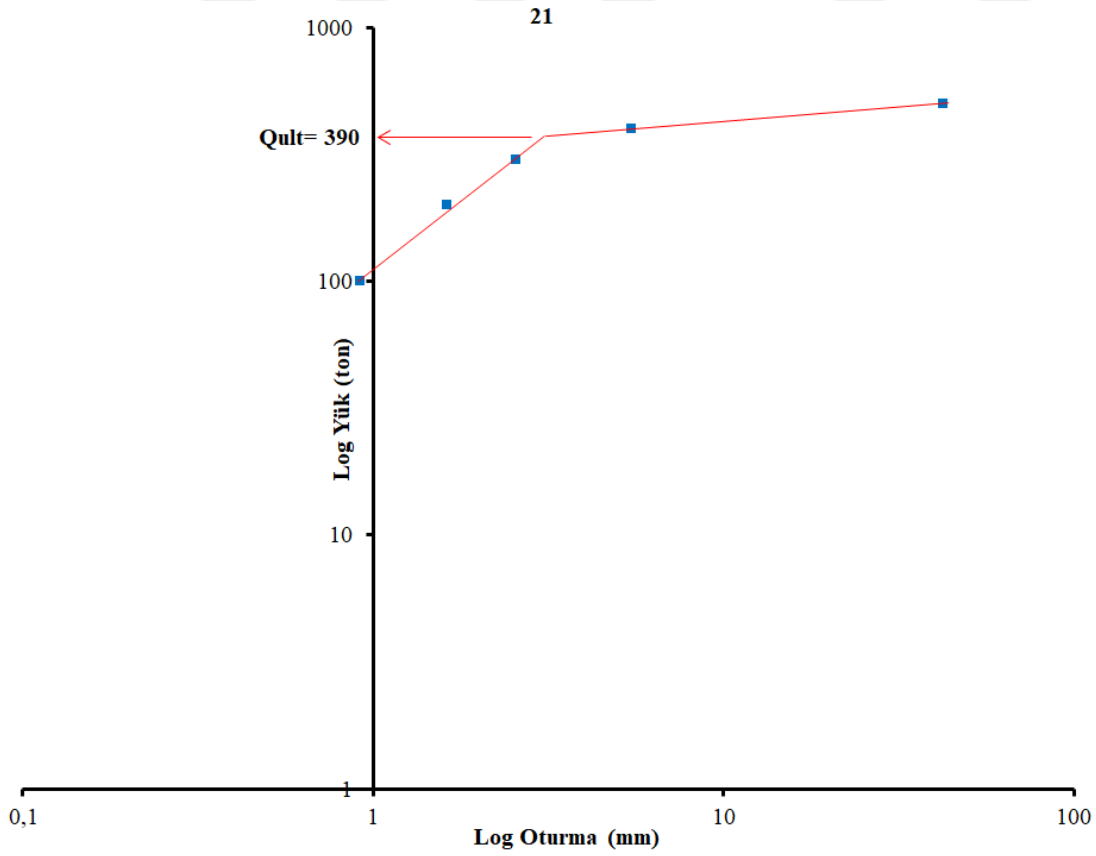
Şekil B.285 : Deney No 21 Chin - Kondner yöntemi.



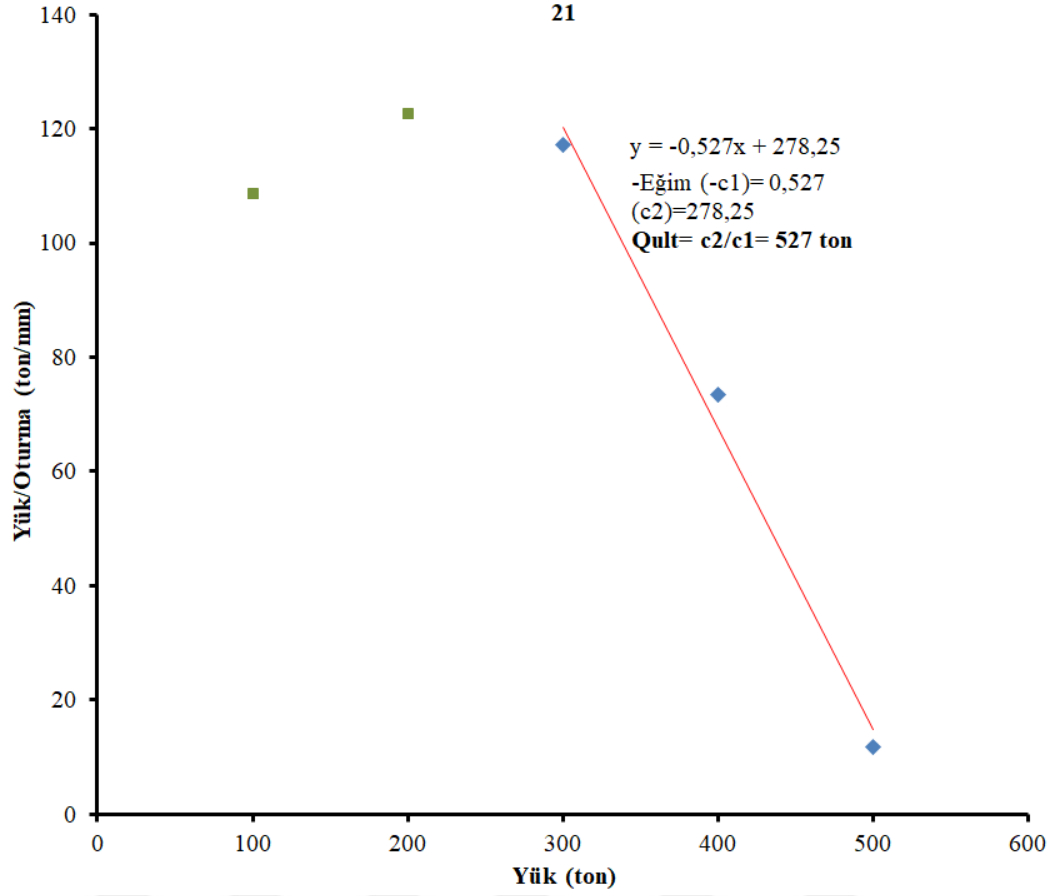
Şekil B.286 : Deney No 21 Corps of Engineers yöntemi.



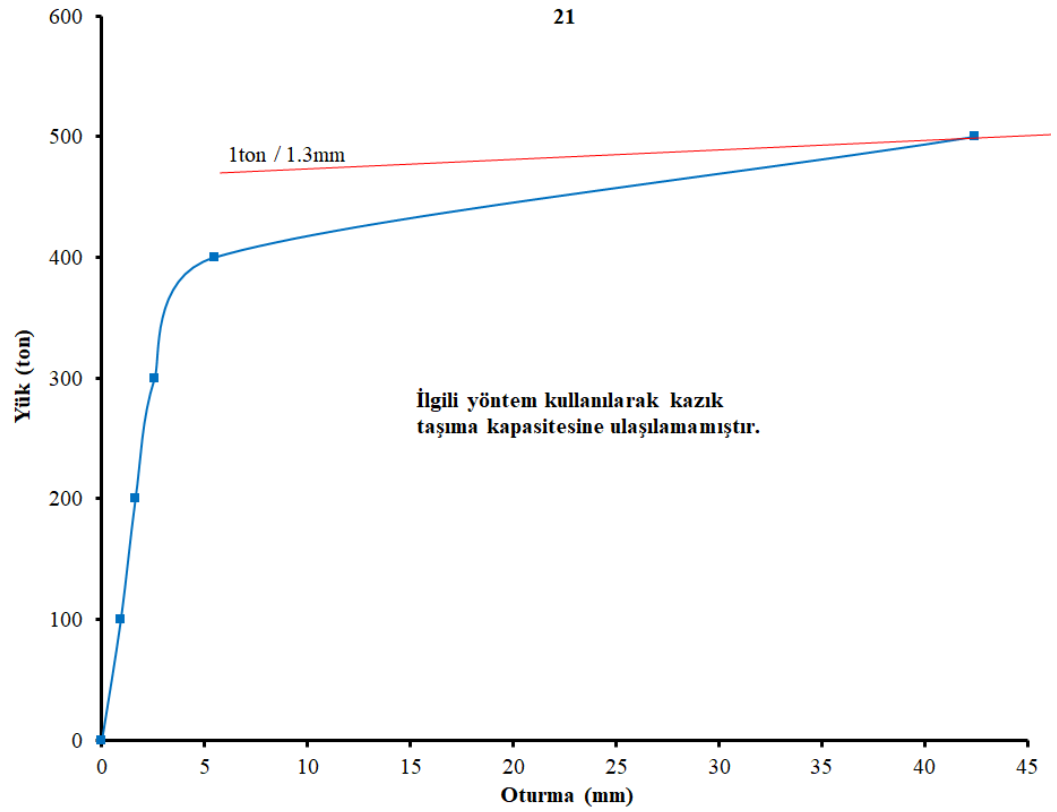
Şekil B.287 : Deney No 21 Davisson yöntemi.



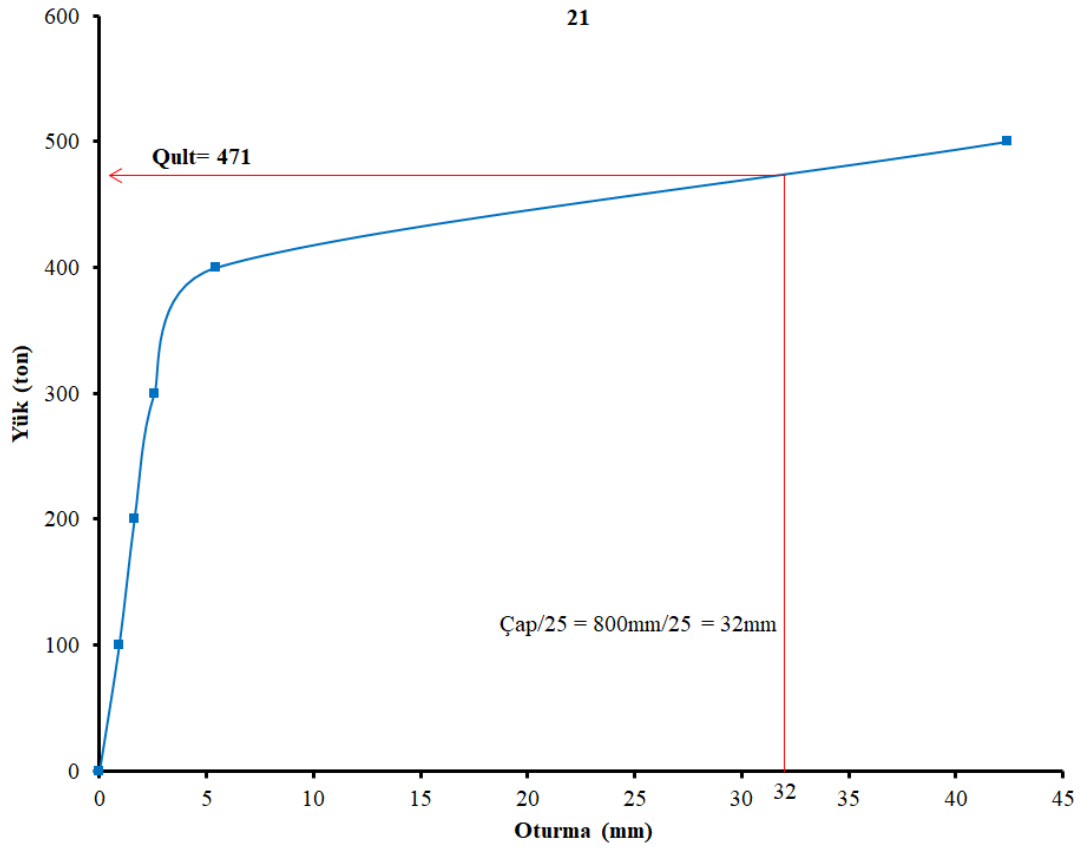
Şekil B.288 : Deney No 21 De Beer yöntemi.



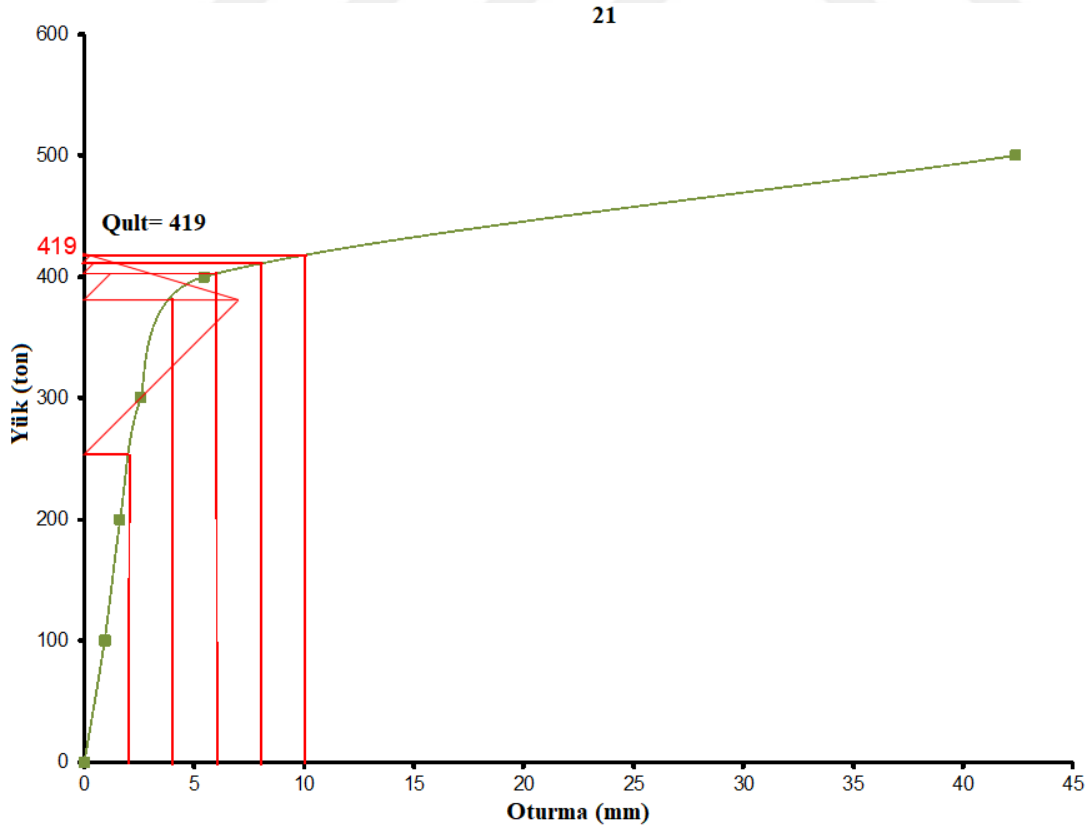
Şekil B.289 : Deney No 21 Decourt yöntemi.



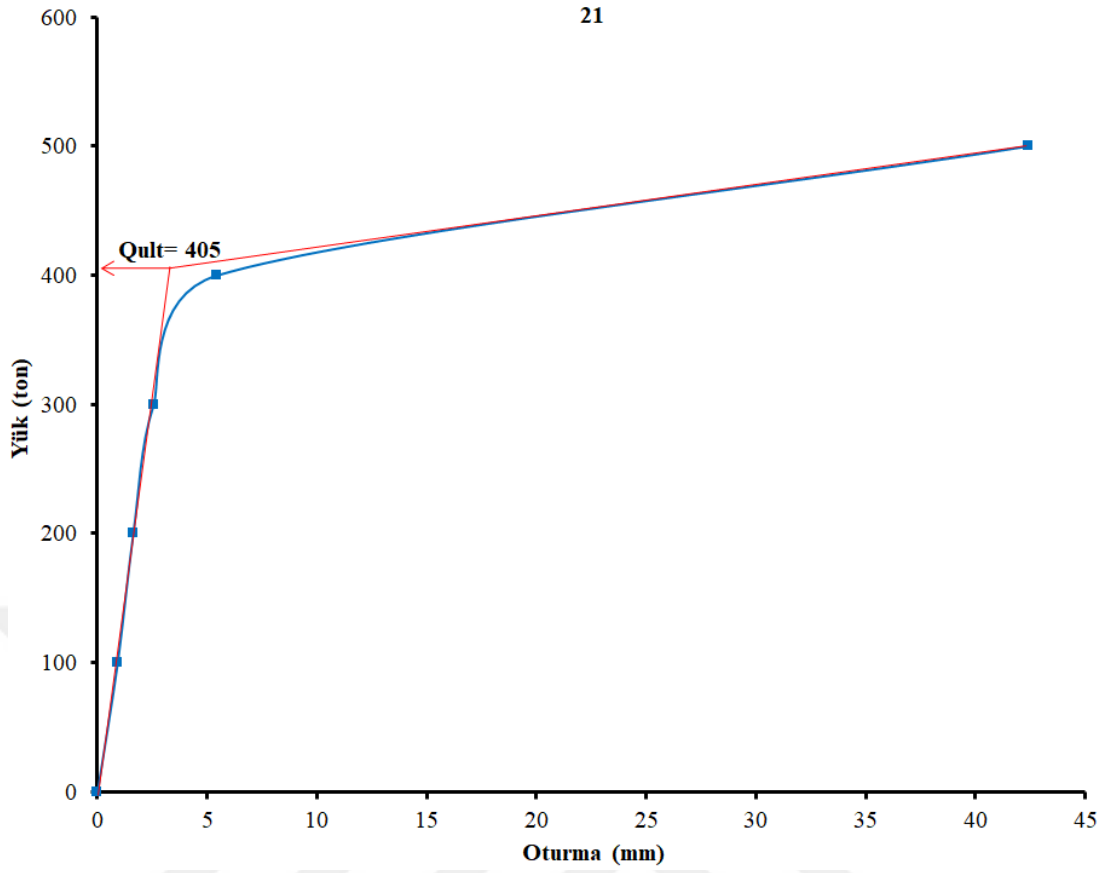
Şekil B.290 : Deney No 21 Fuller - Hoy yöntemi.



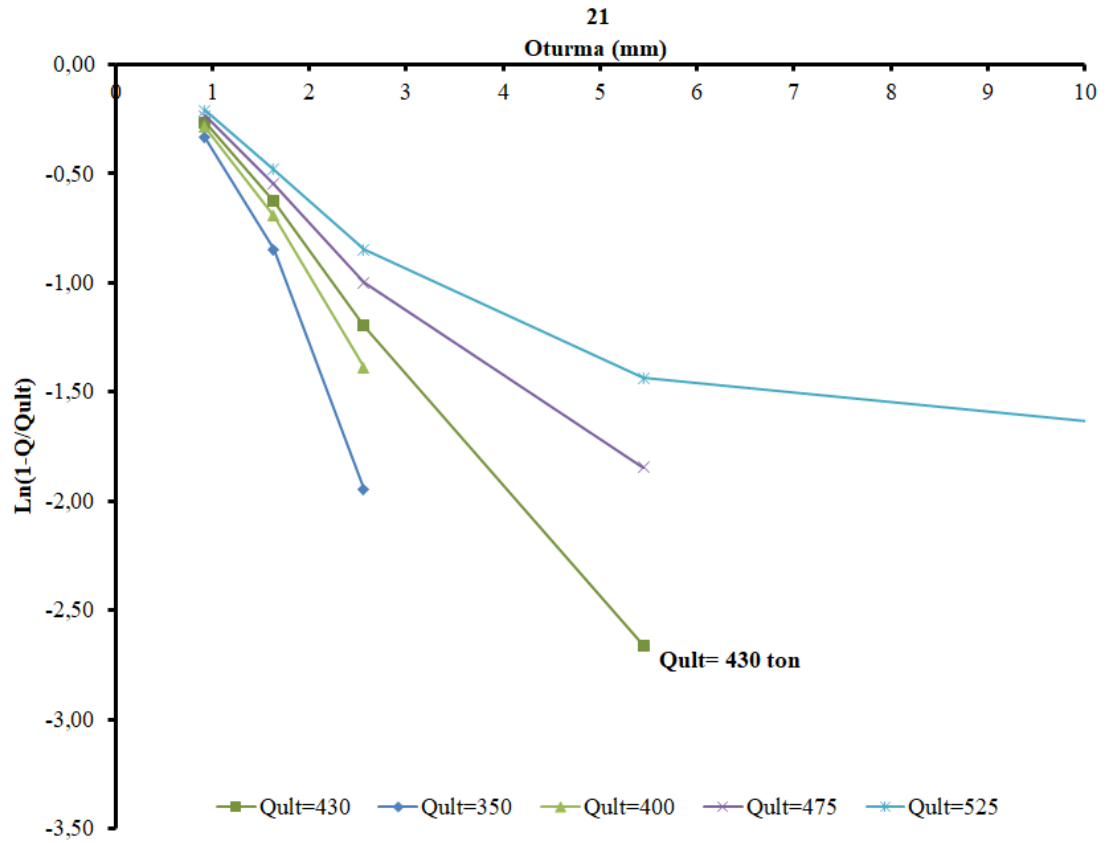
Şekil B.291 : Deney No 21 Hirany - Kulhawy yöntemi.



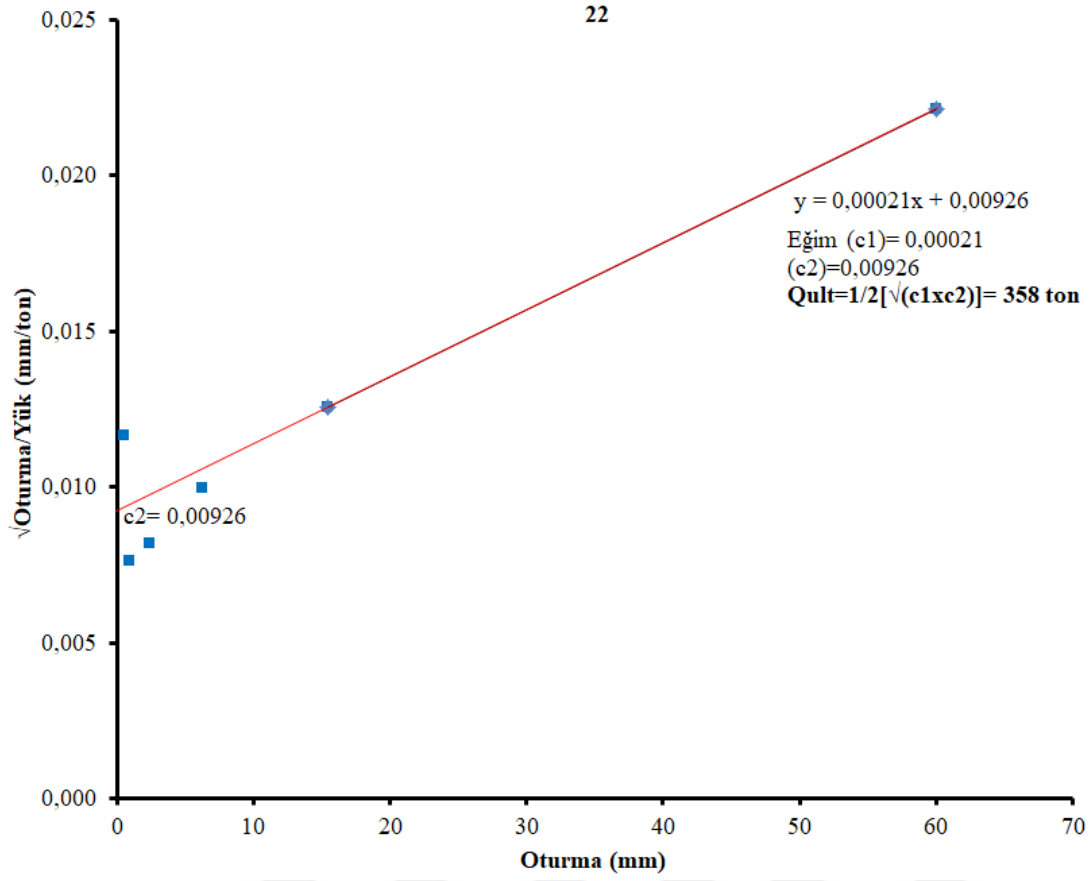
Şekil B.292 : Deney No 21 Mazurkiewicz yöntemi.



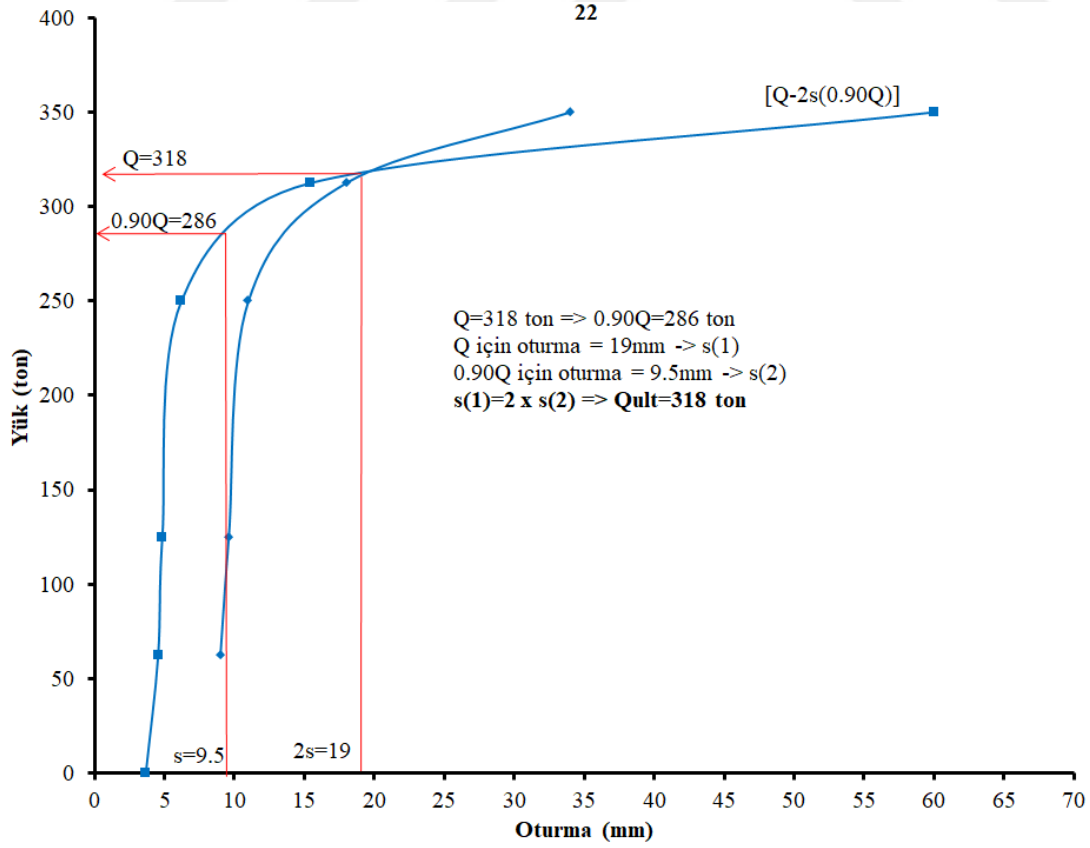
Şekil B.293 : Deney No 21 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



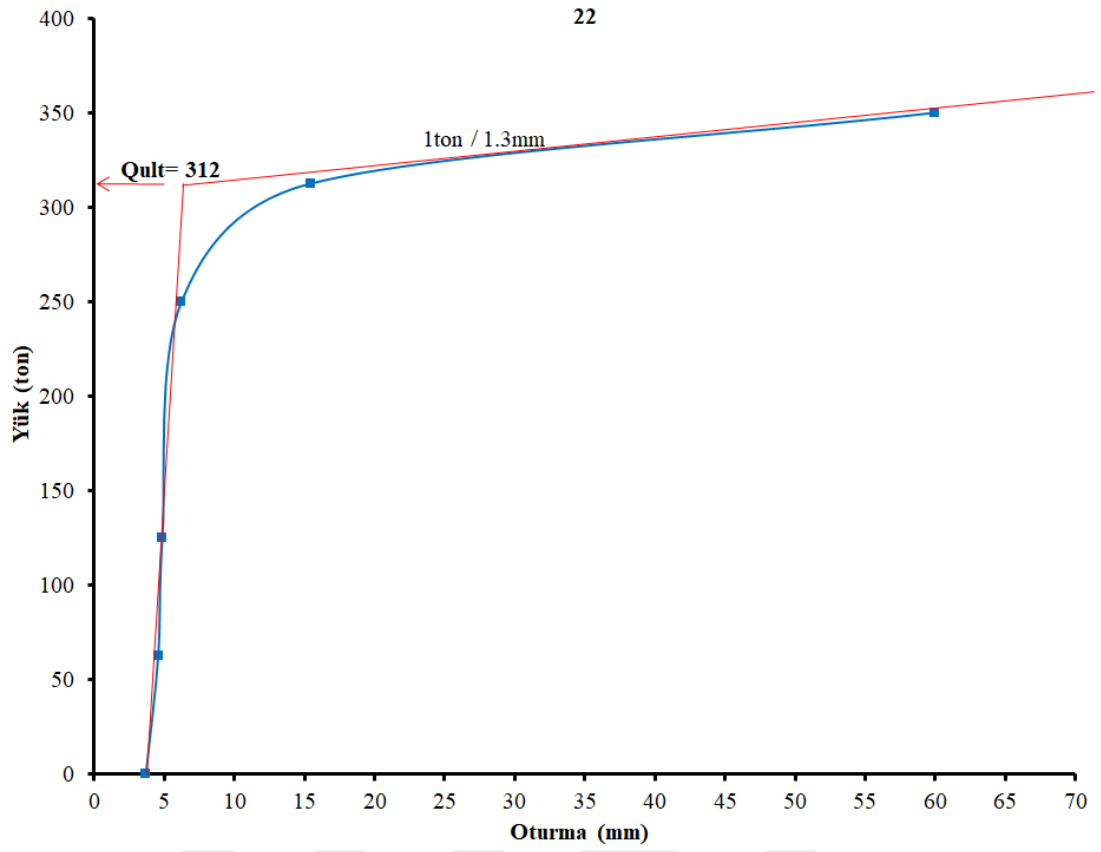
Şekil B.294 : Deney No 21 Van Der Veen yöntemi.



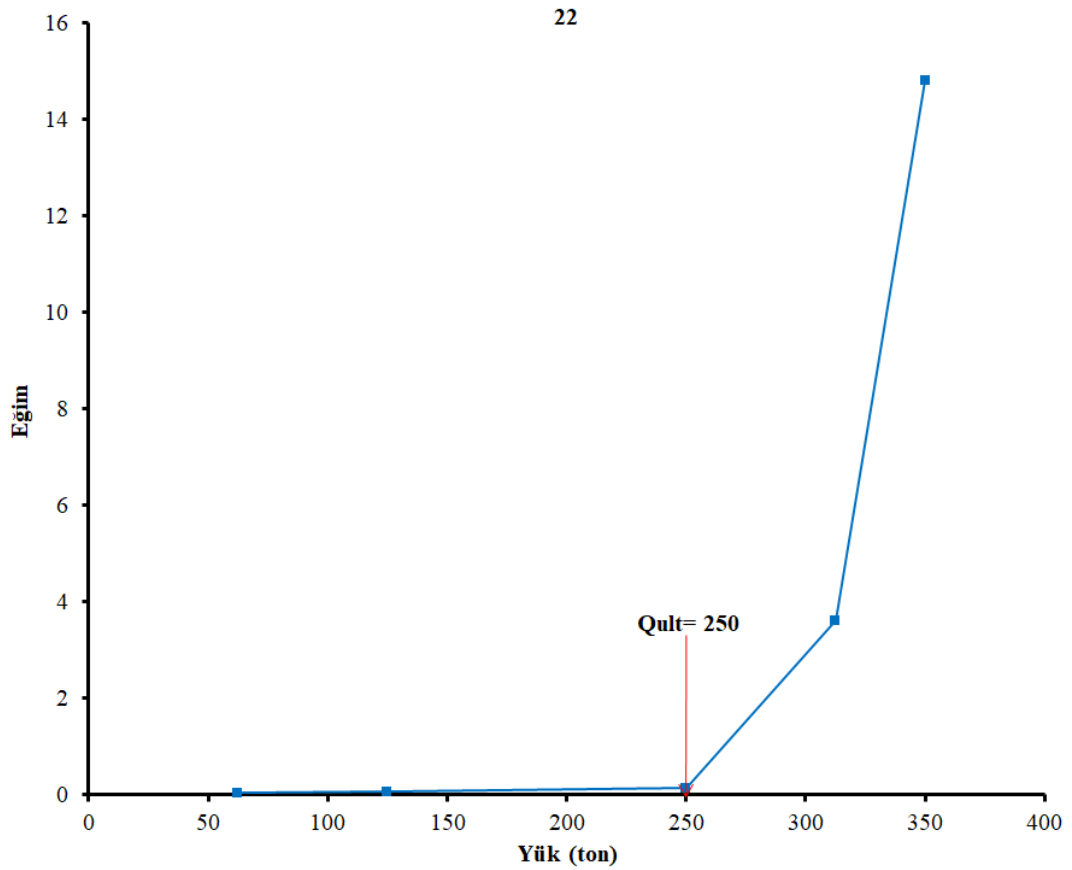
Şekil B.295 : Deney No 22 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



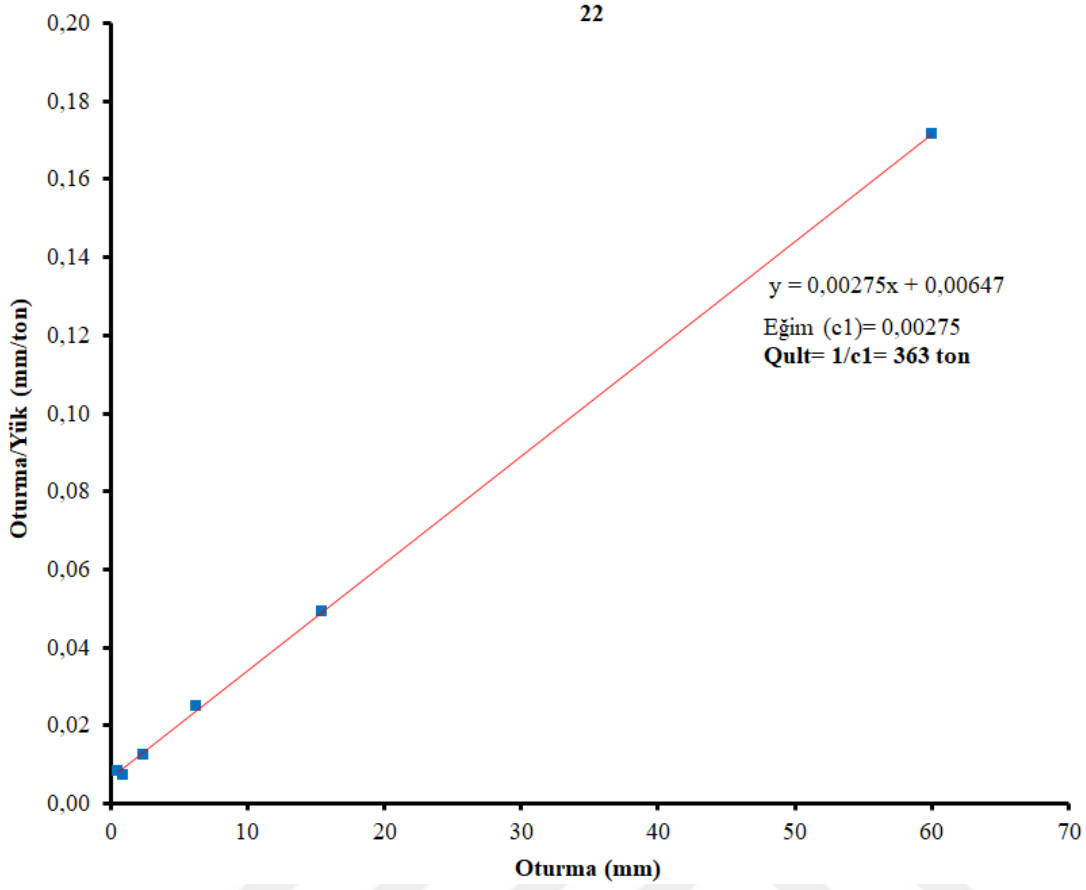
Şekil B.296 : Deney No 22 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



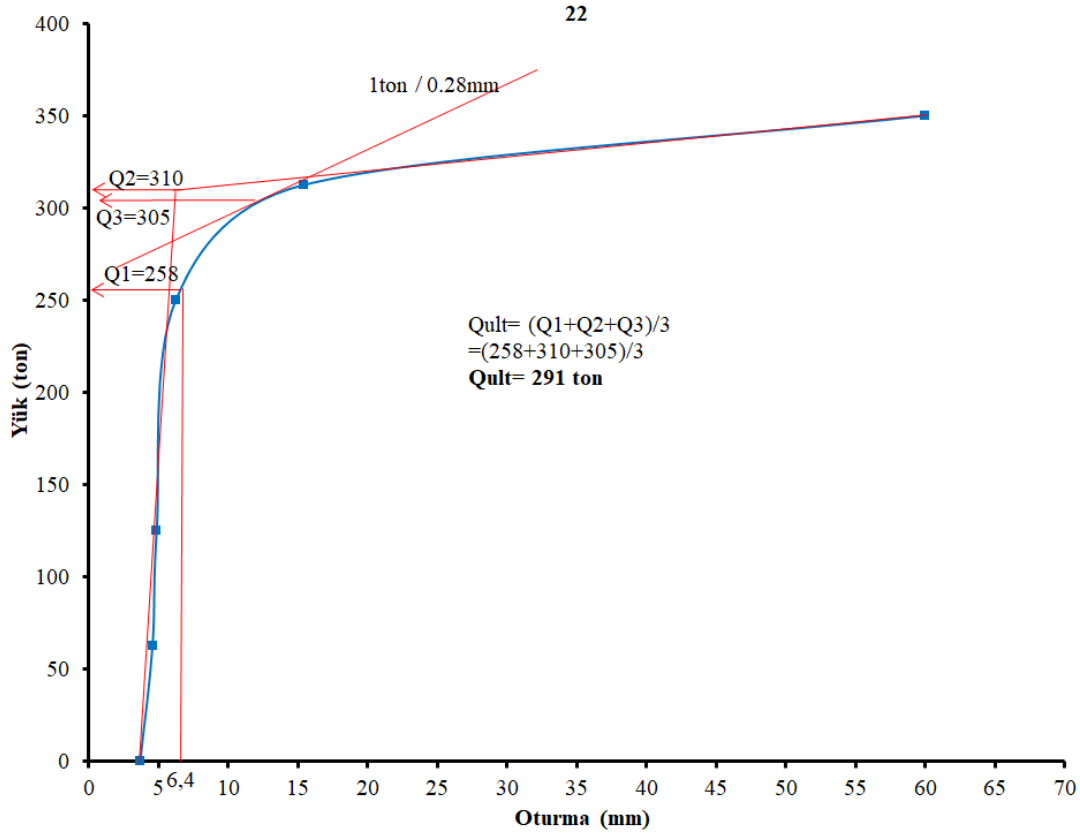
Şekil B.297 : Deney No 22 Butler - Hoy yöntemi.



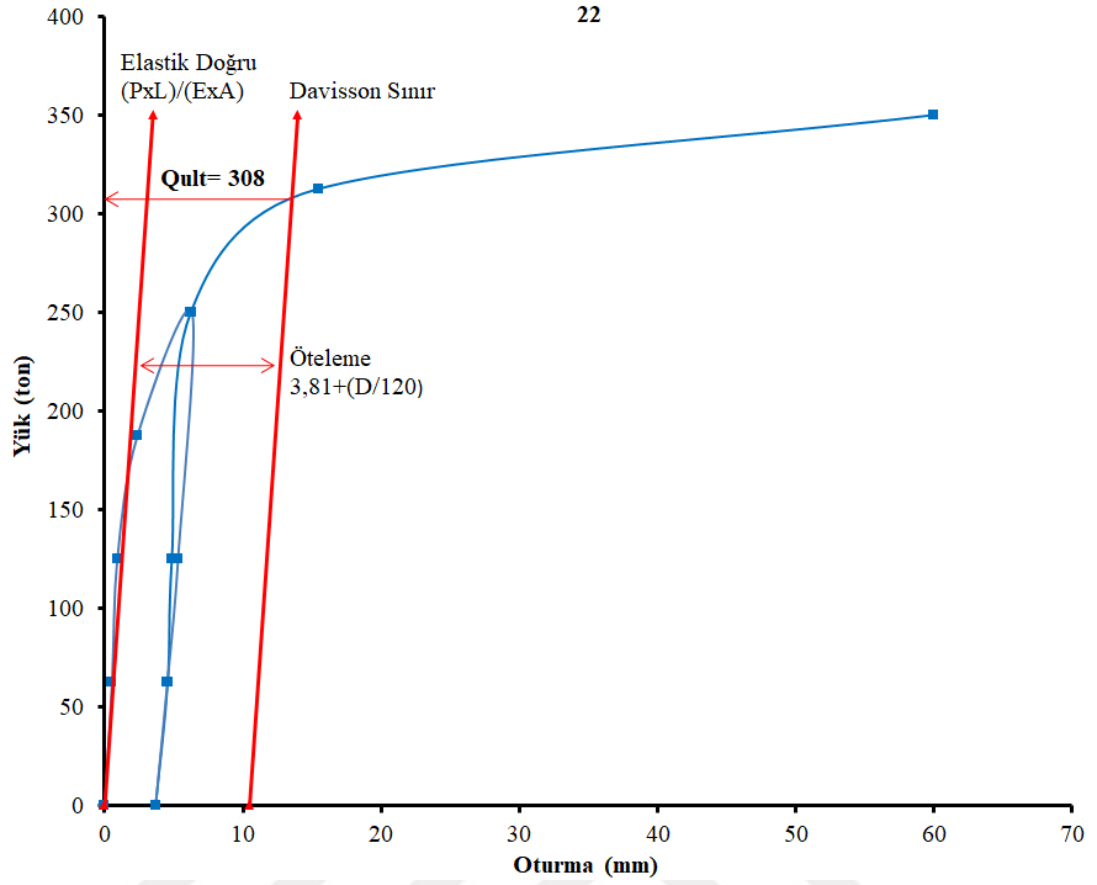
Şekil B.298 : Deney No 22 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



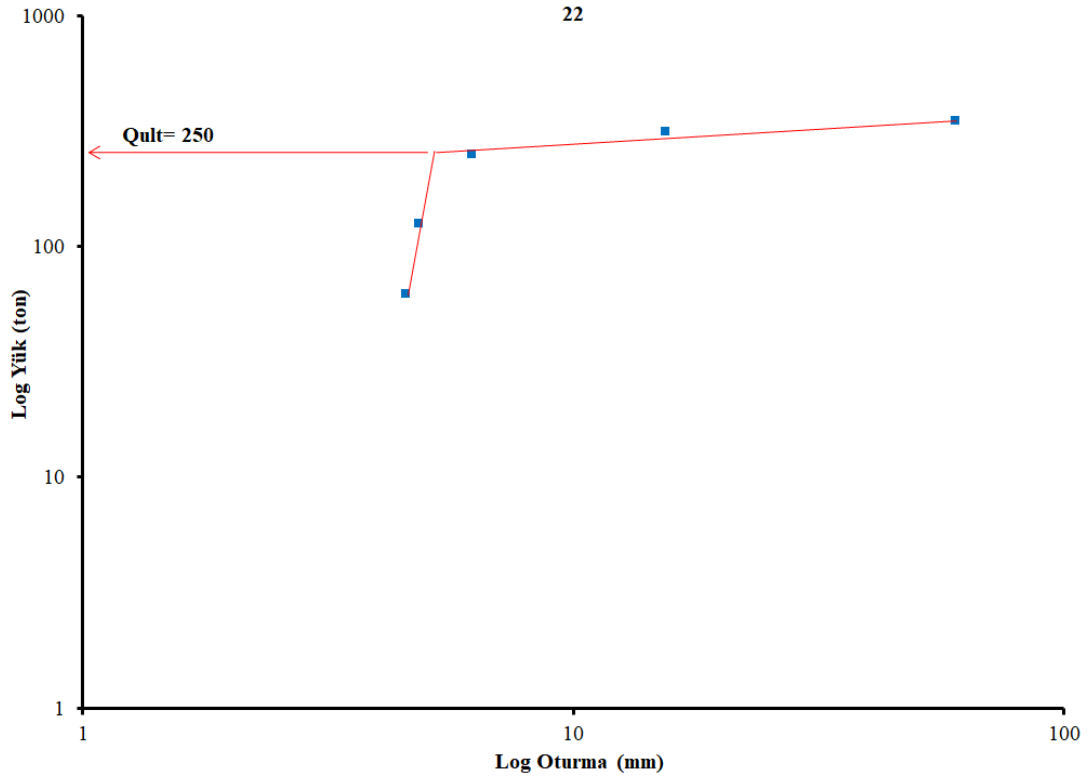
Şekil B.299 : Deney No 22 Chin - Kondner yöntemi.



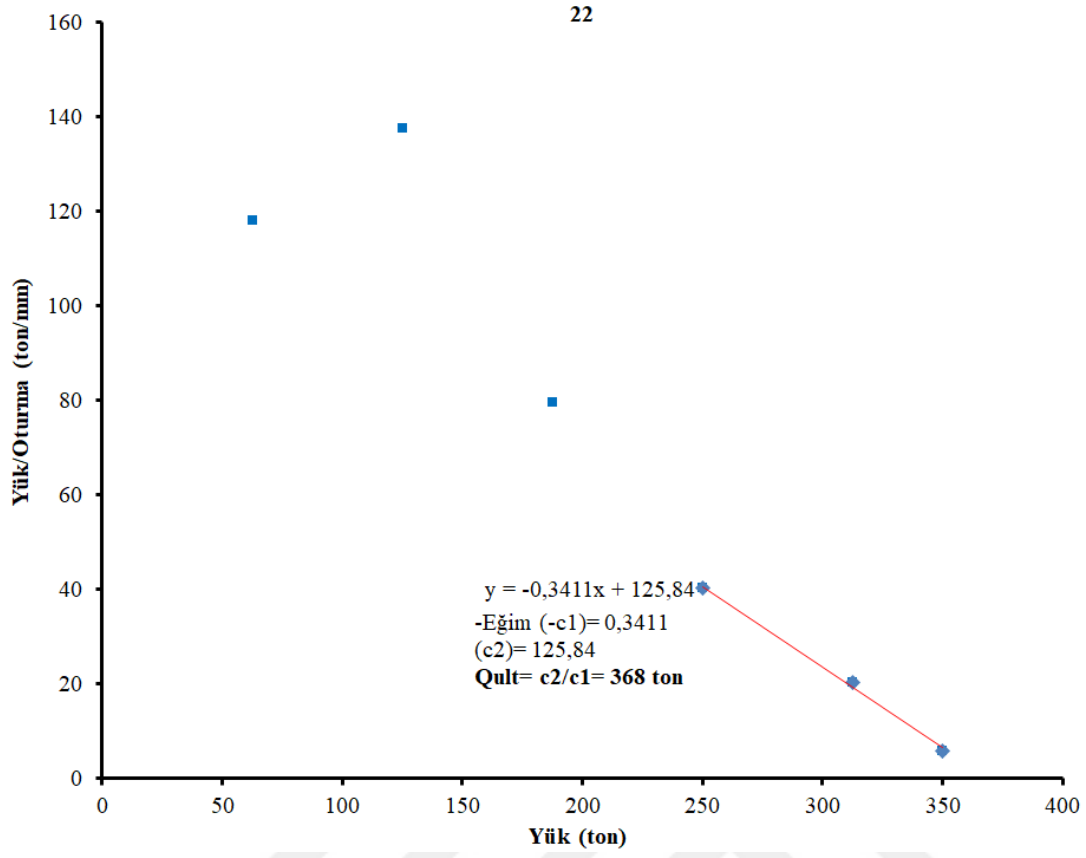
Şekil B.300 : Deney No 22 Corps of Engineers yöntemi.



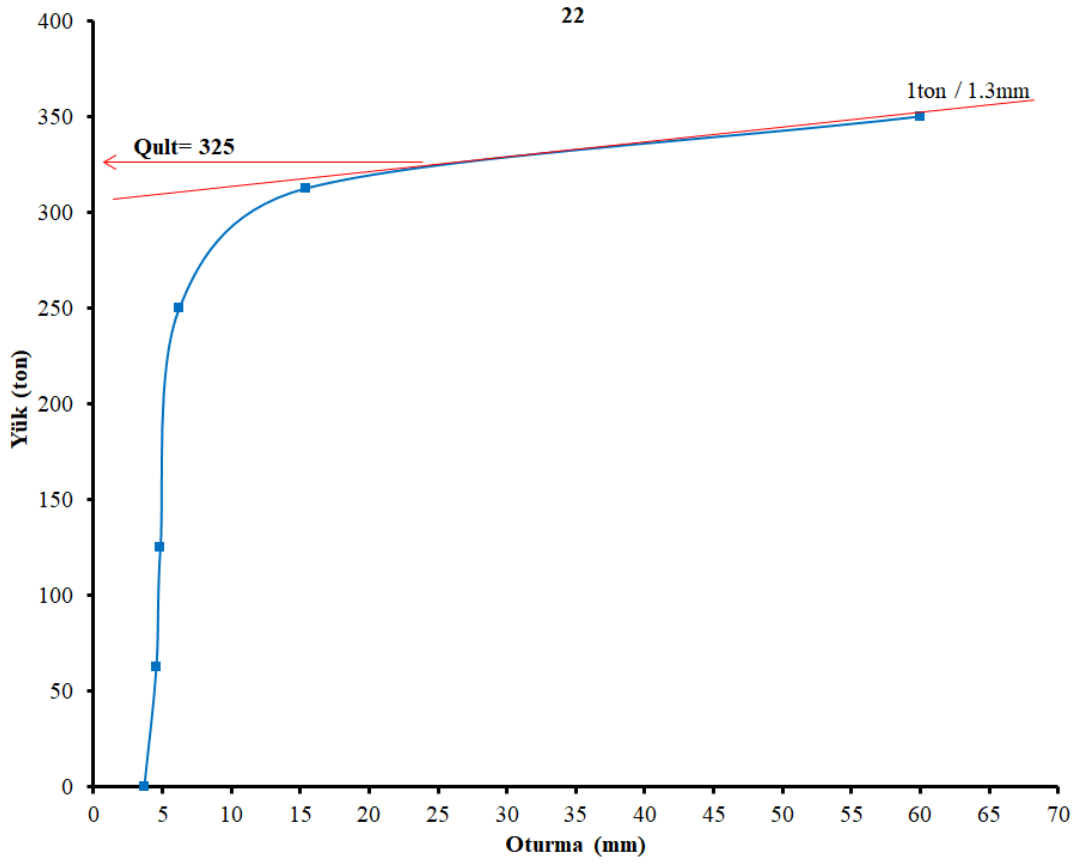
Şekil B.301 : Deney No 22 Davisson yöntemi.



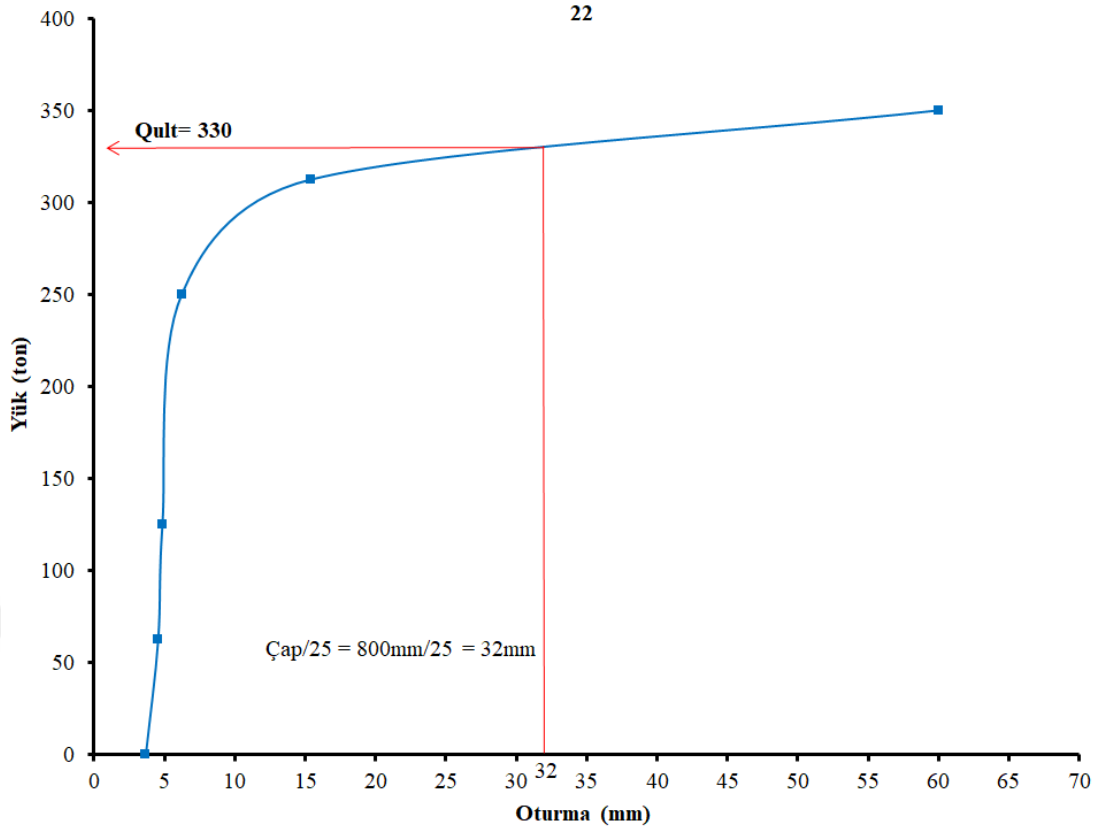
Şekil B.302 : Deney No 22 De Beer yöntemi.



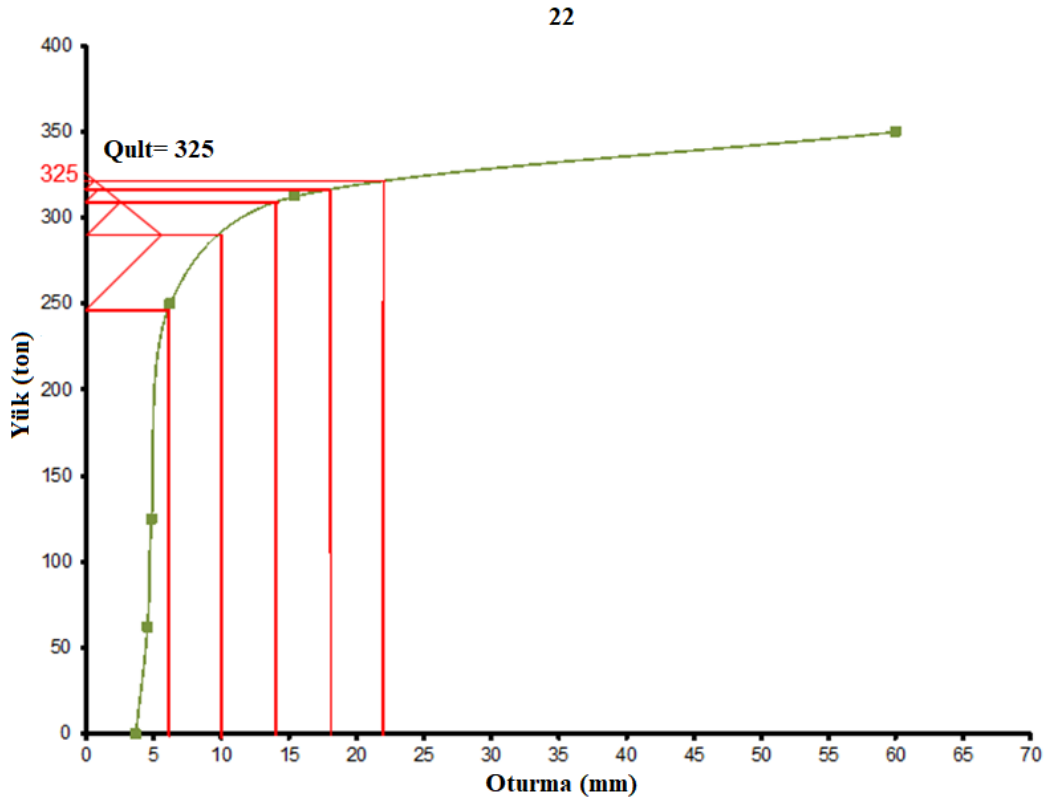
Şekil B.303 : Deney No 22 Decourt yöntemi.



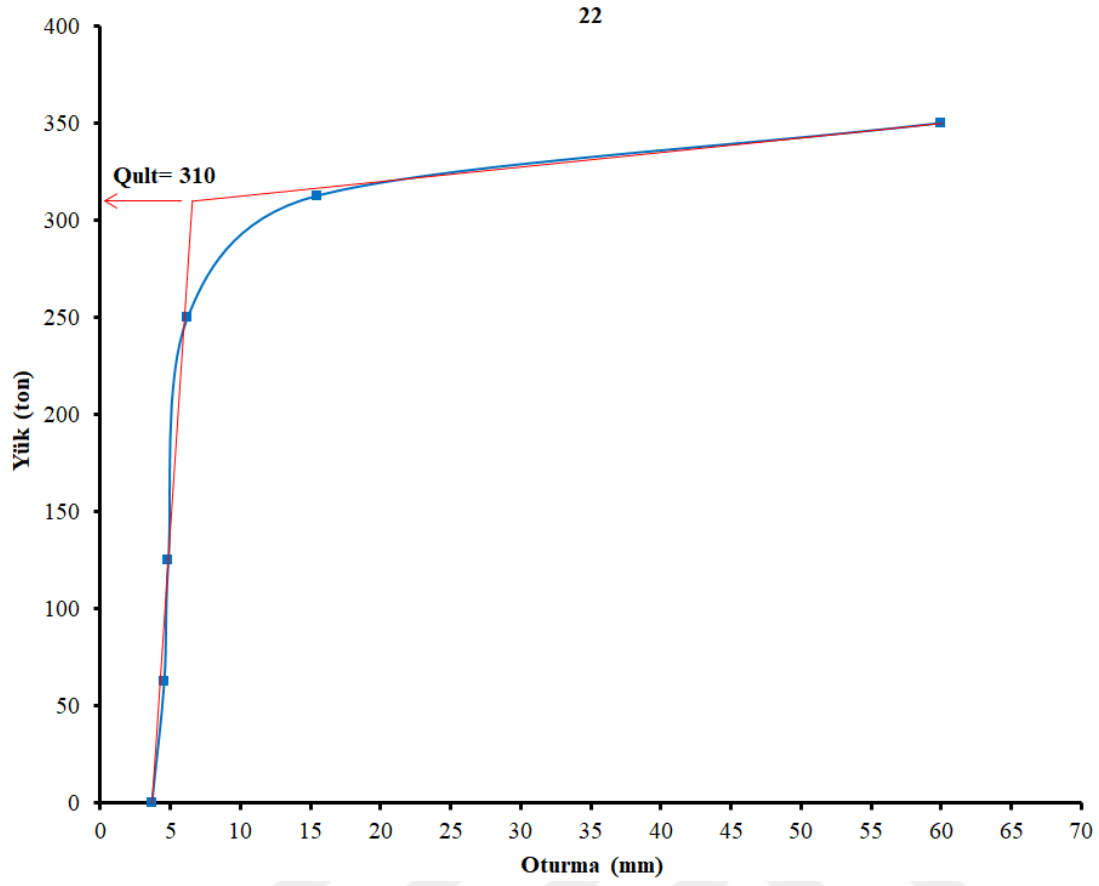
Şekil B.304 : Deney No 22 Fuller - Hoy yöntemi.



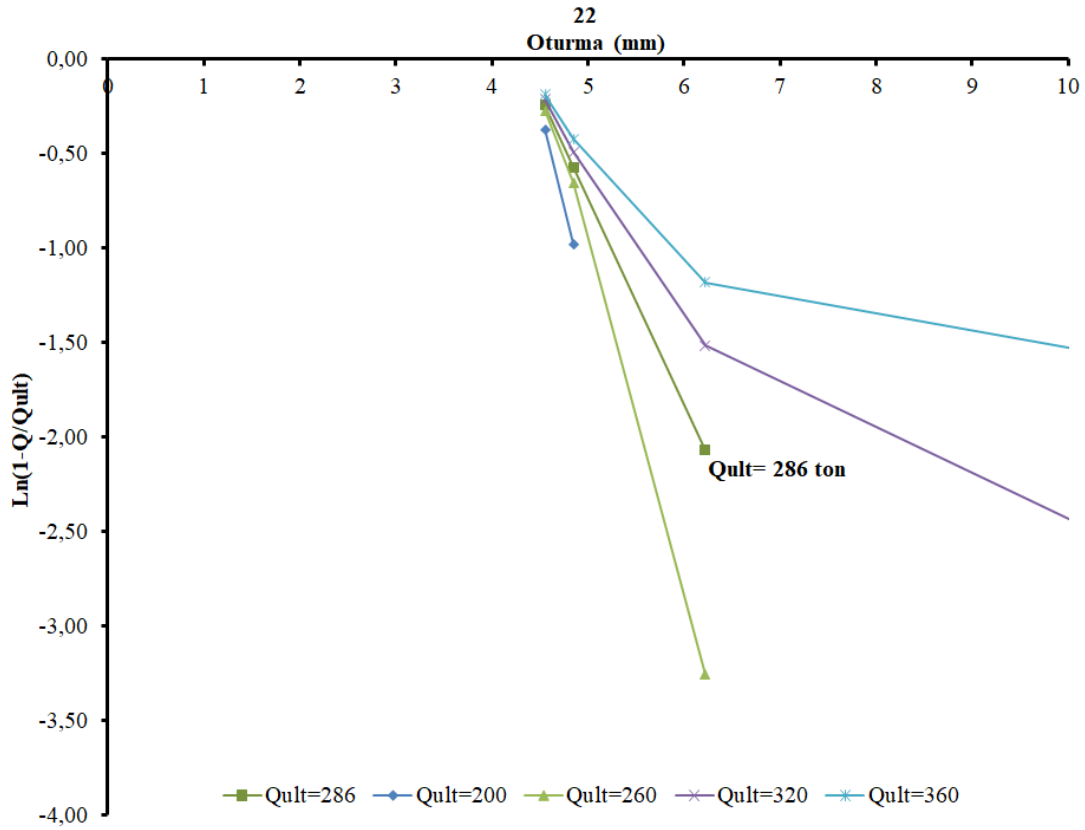
Şekil B.305 : Deney No 22 Hirany - Kulhawı yöntemi.



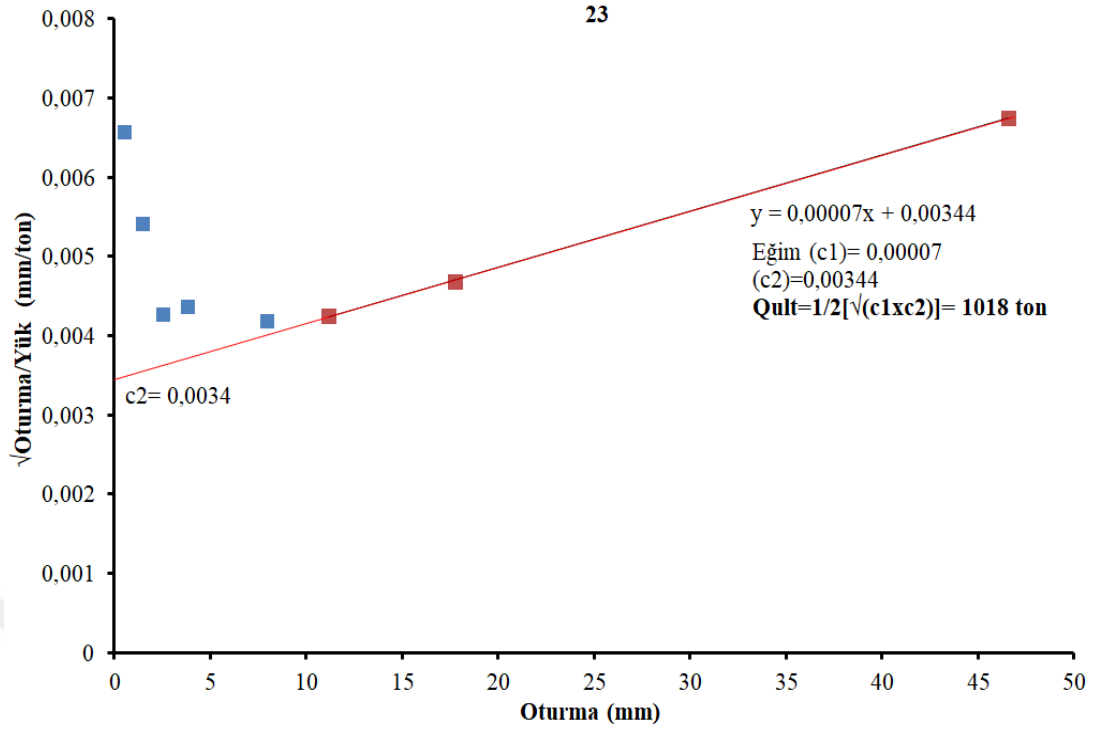
Şekil B.306 : Deney No 22 Mazurkiewicz yöntemi.



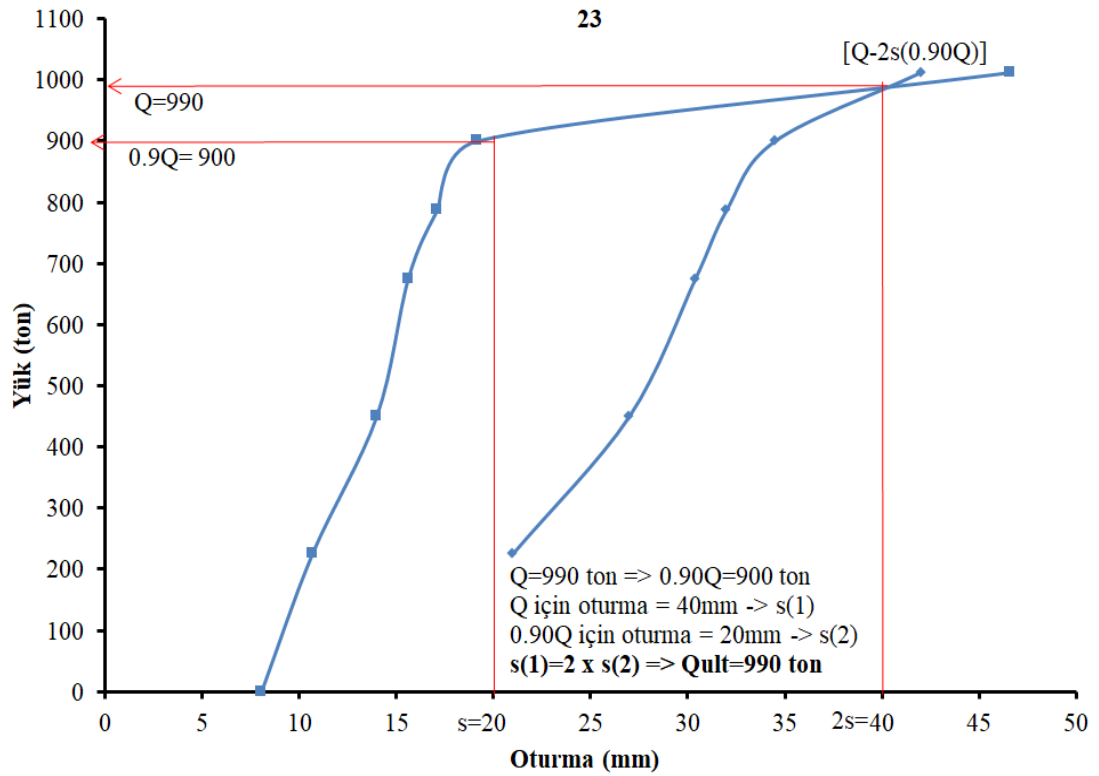
Şekil B.307 : Deney No 22 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



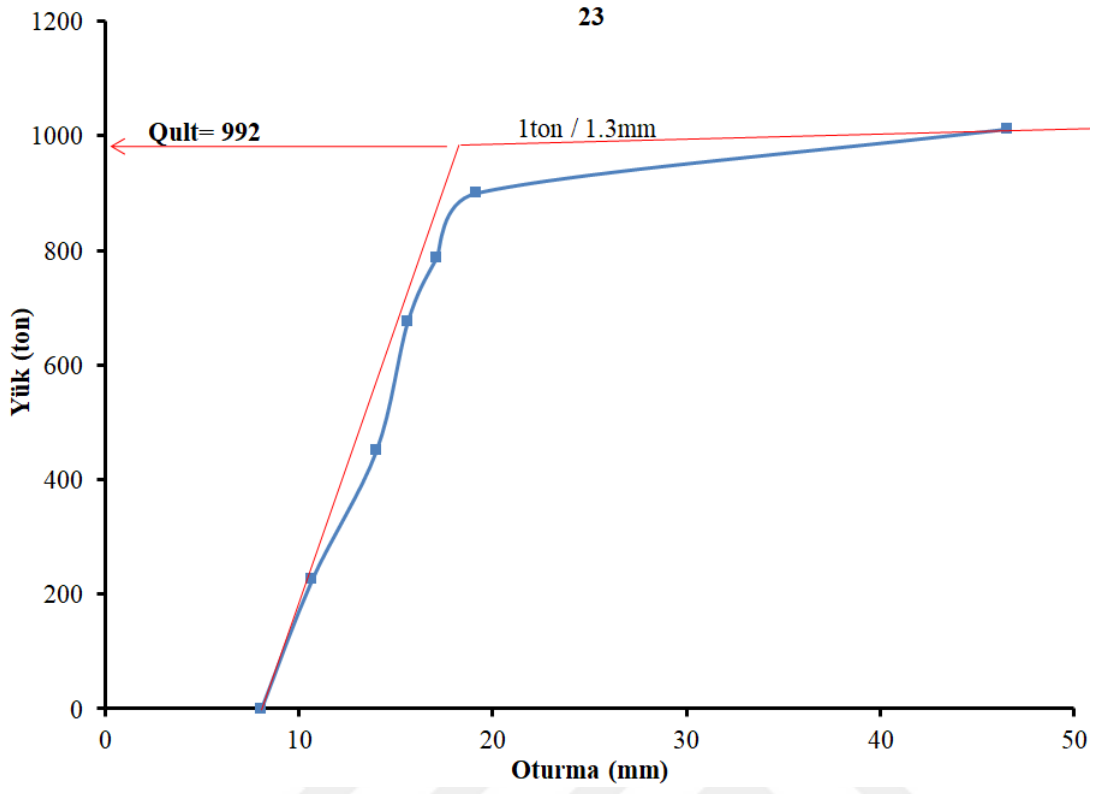
Şekil B.308 : Deney No 22 Van Der Veen yöntemi.



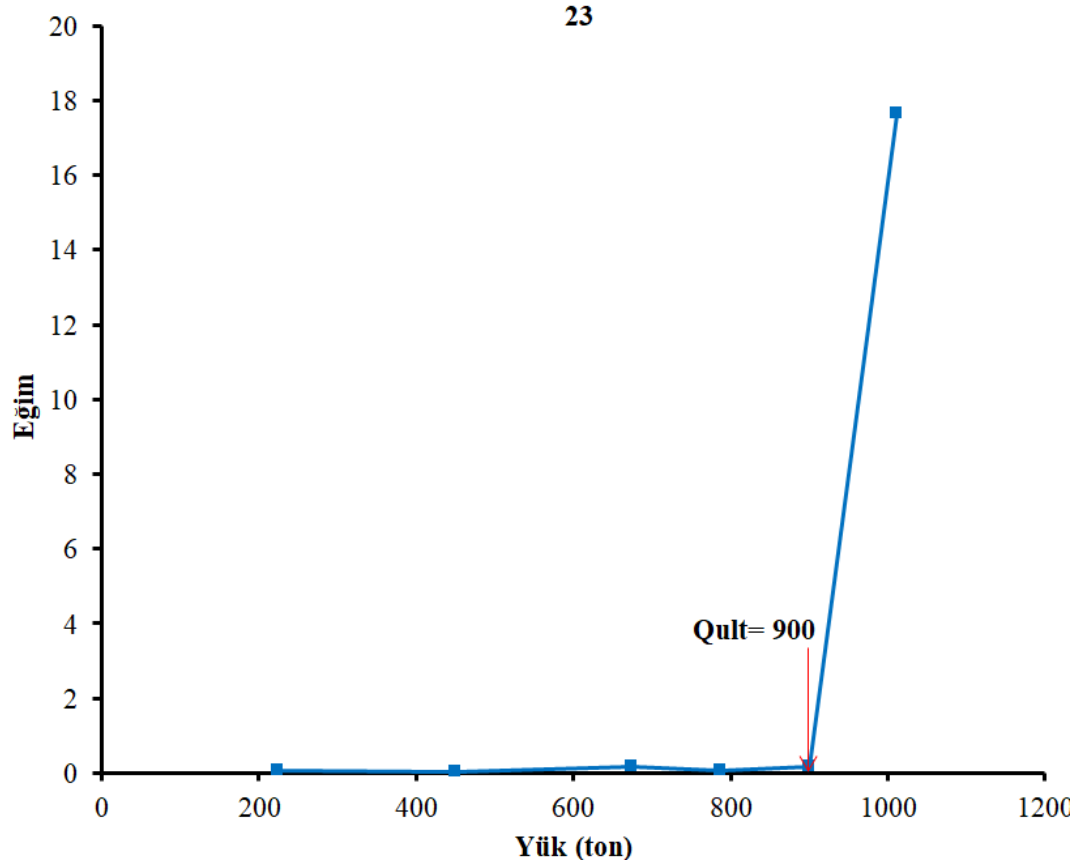
Şekil B.309 : Deney No 23 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



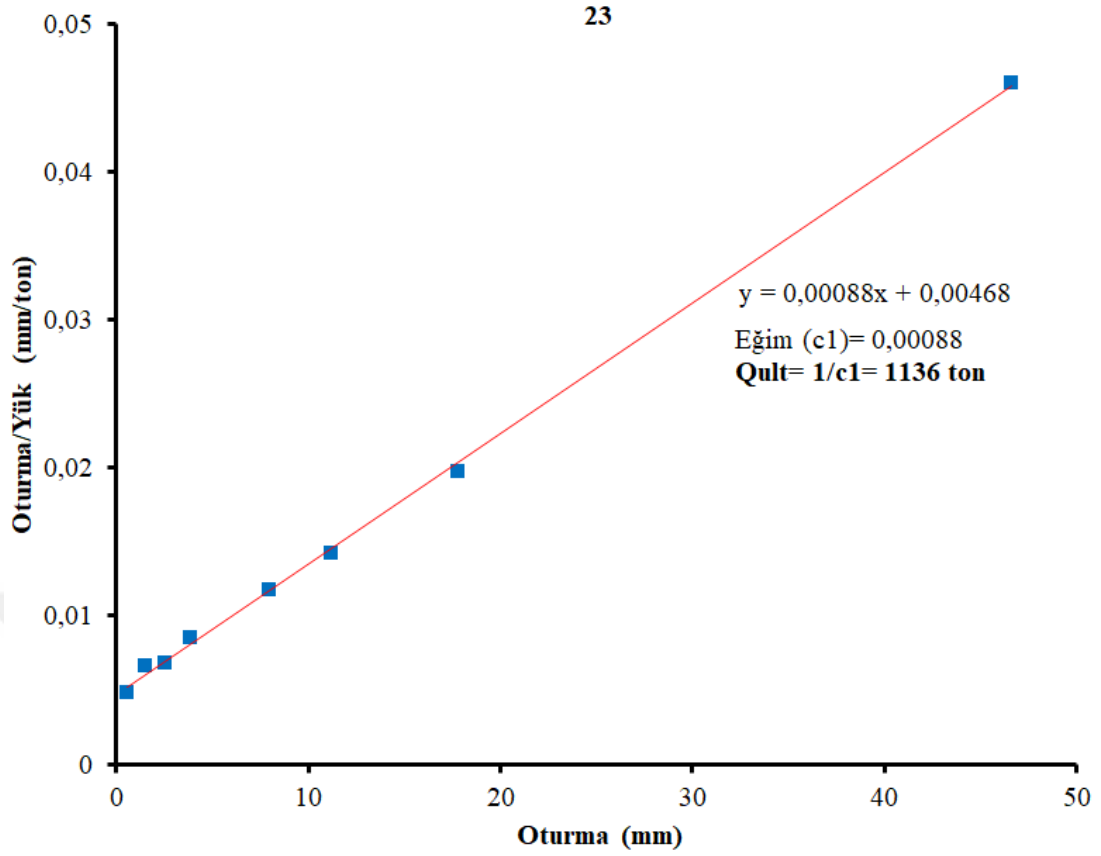
Şekil B.310 : Deney No 23 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



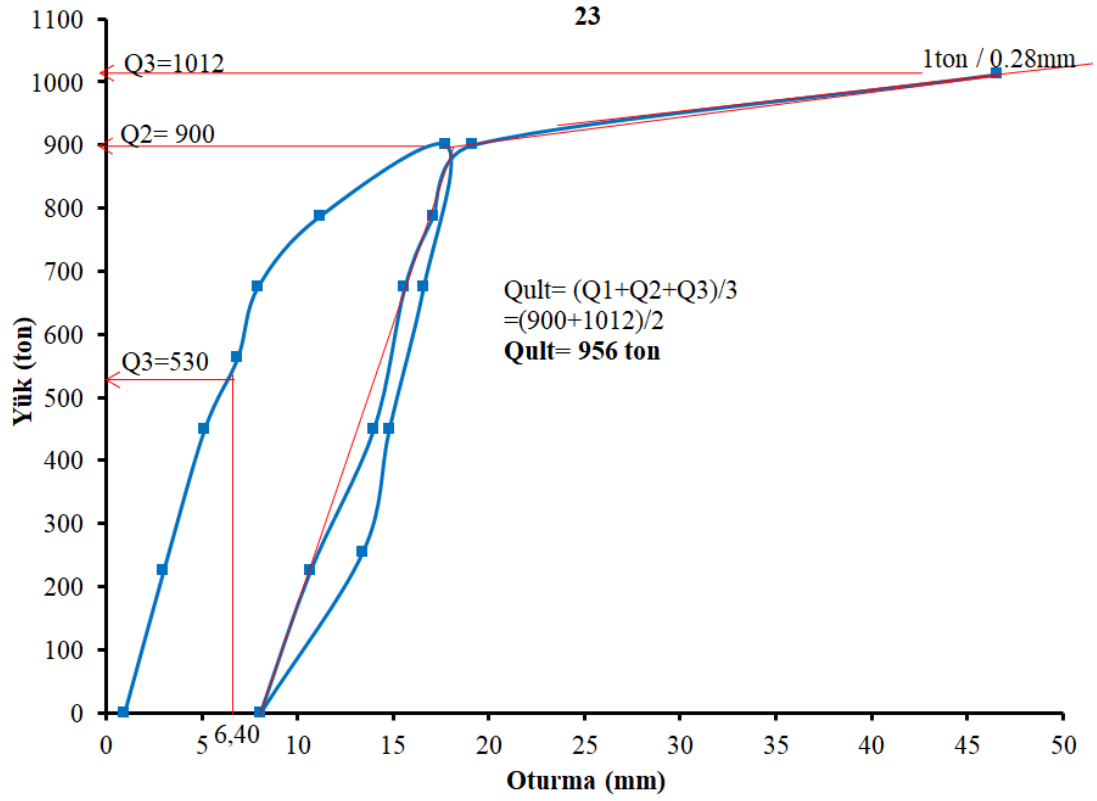
Şekil B.311 : Deney No 23 Butler - Hoy yöntemi.



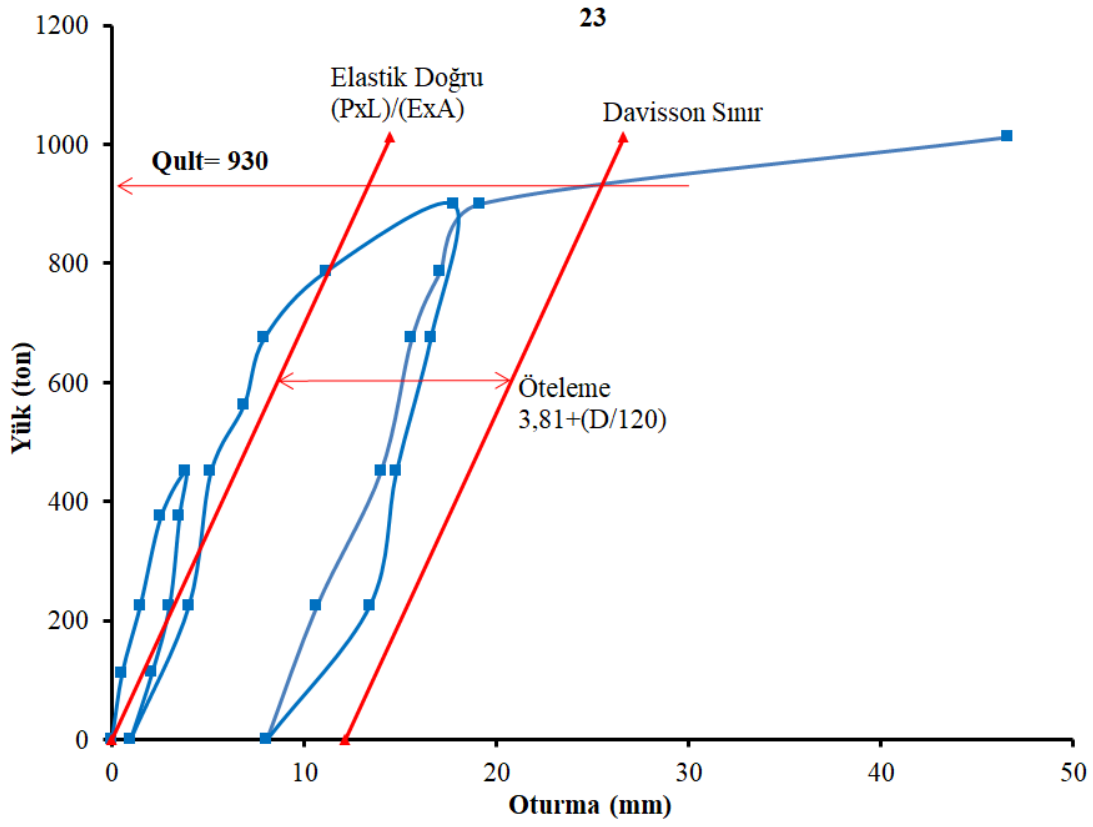
Şekil B.312 : Deney No 23 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



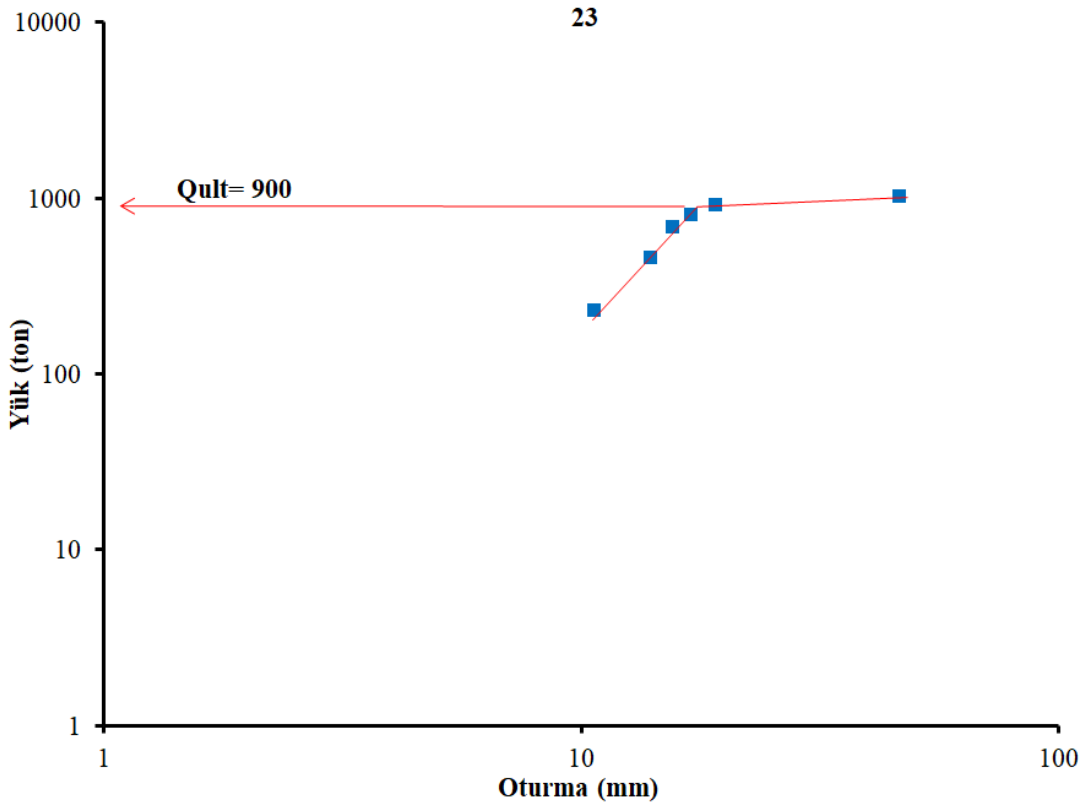
Şekil B.313 : Deney No 23 Chin - Kondner yöntemi.



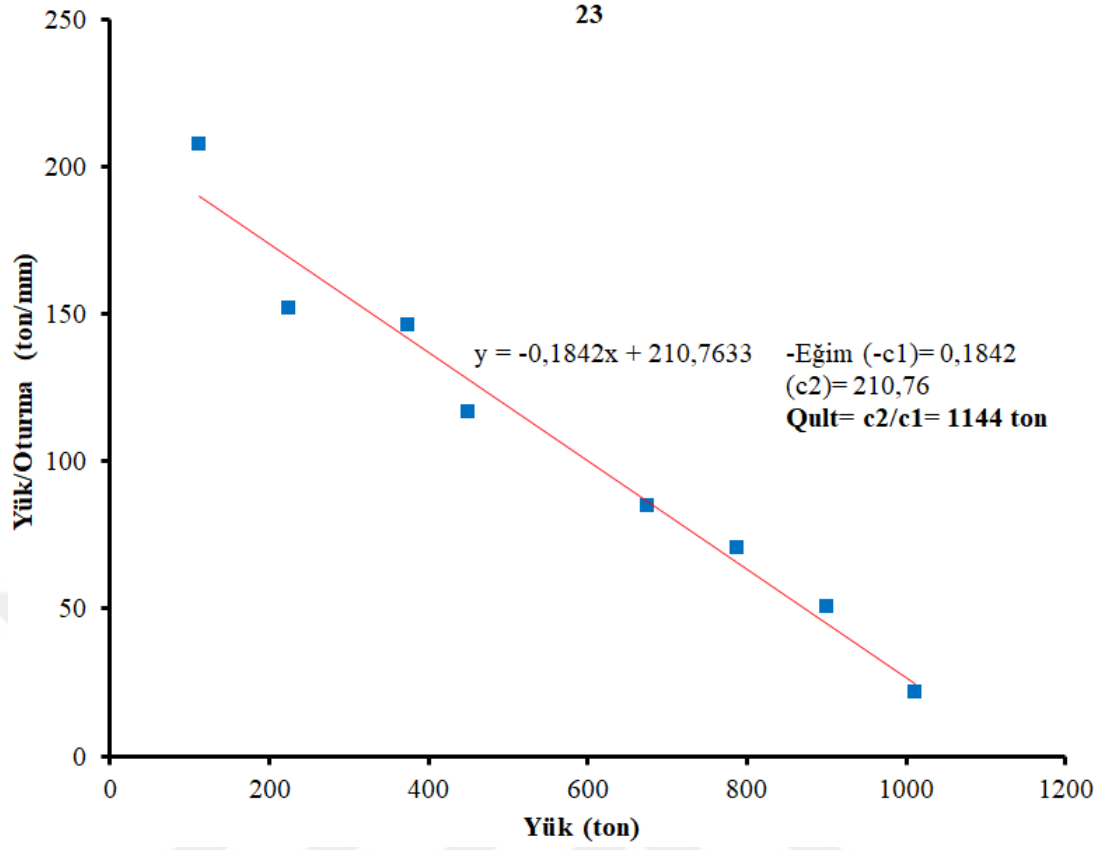
Şekil B.314 : Deney No 23 Corps of Engineers yöntemi.



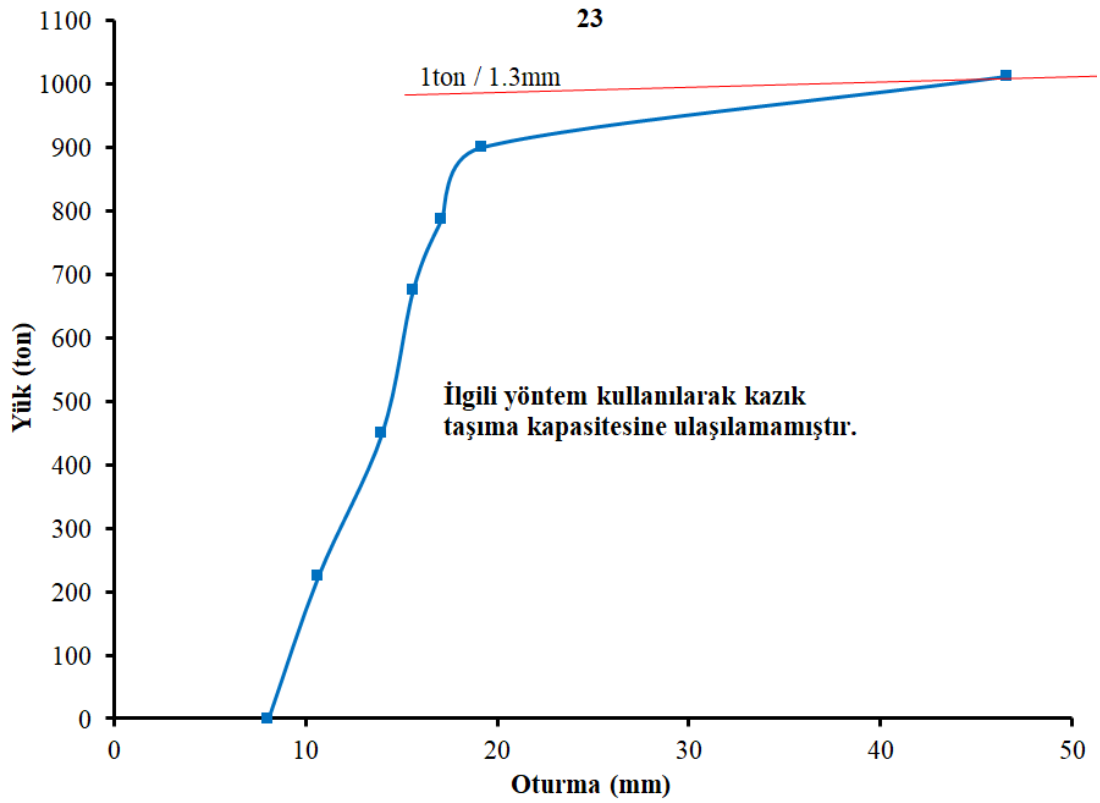
Şekil B.315 : Deney No 23 Davisson yöntemi.



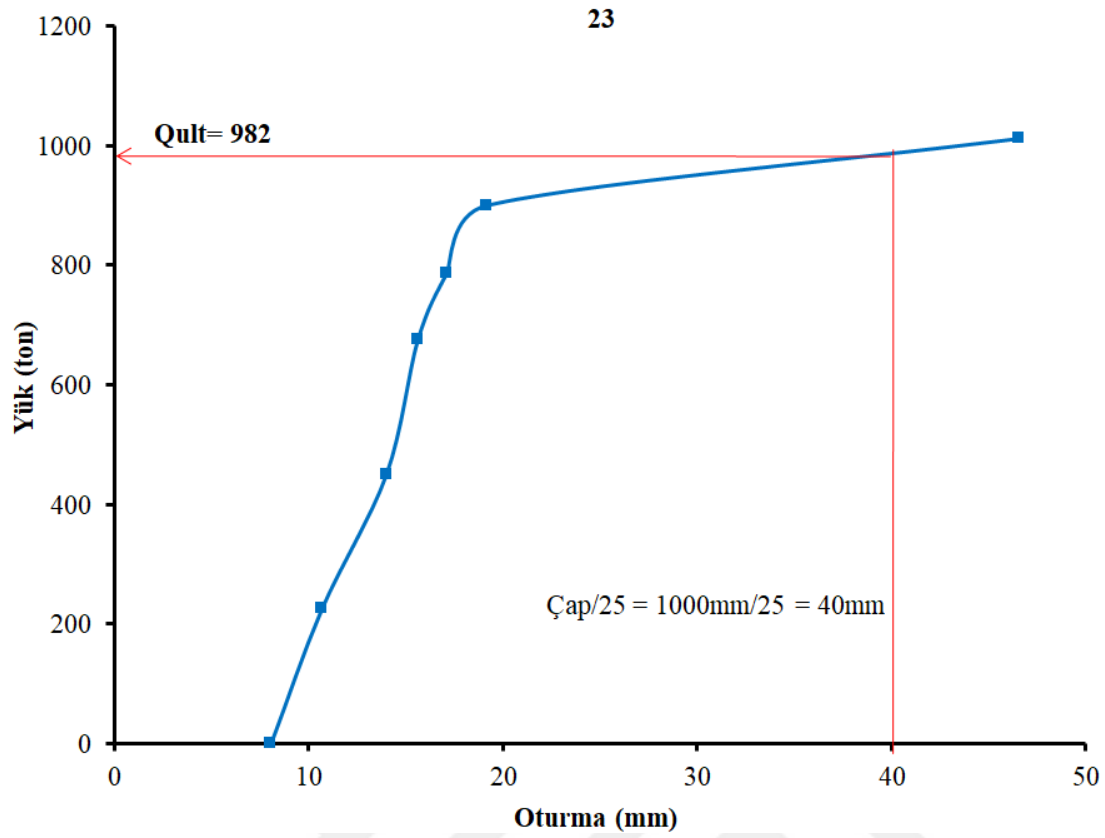
Şekil B.316 : Deney No 23 De Beer yöntemi.



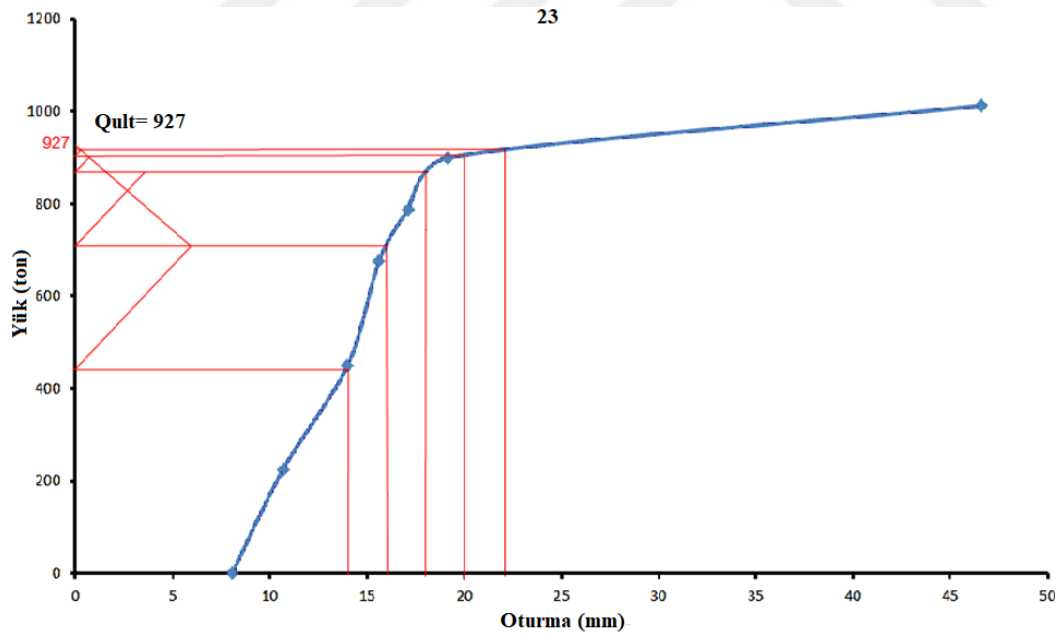
Şekil B.317 : Deney No 23 Decourt yöntemi.



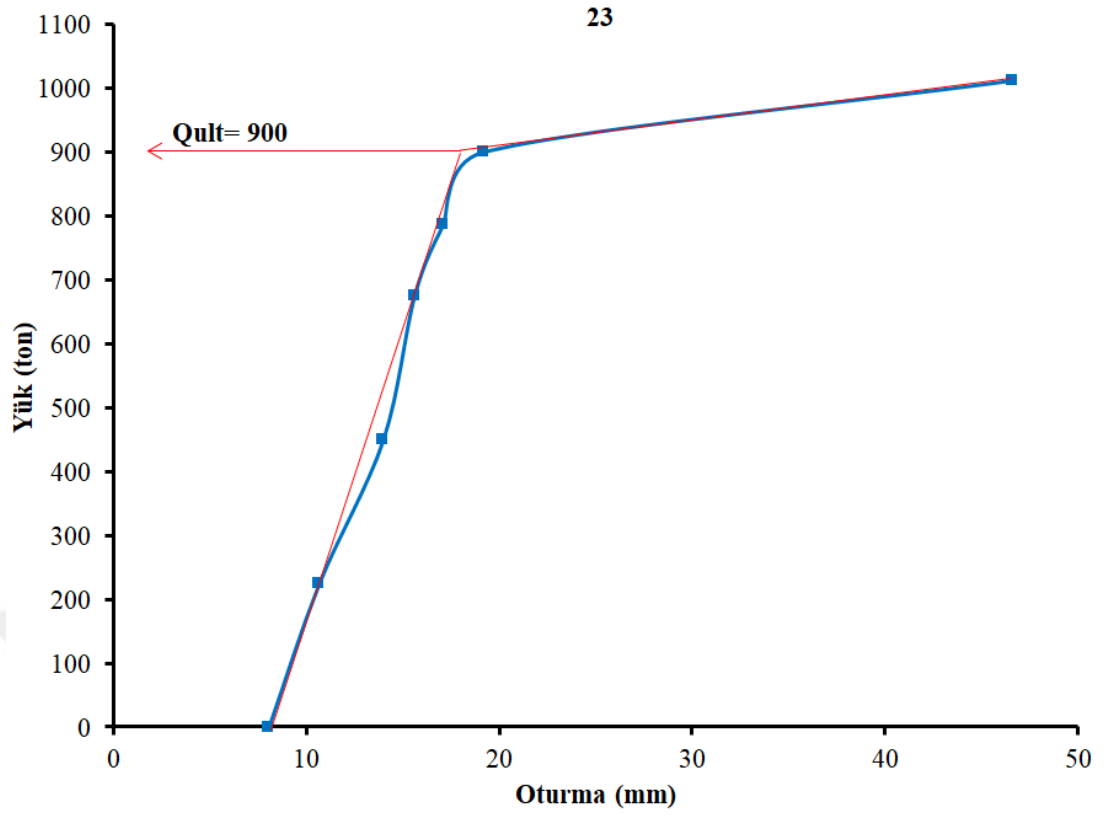
Şekil B.318 : Deney No 23 Fuller - Hoy yöntemi.



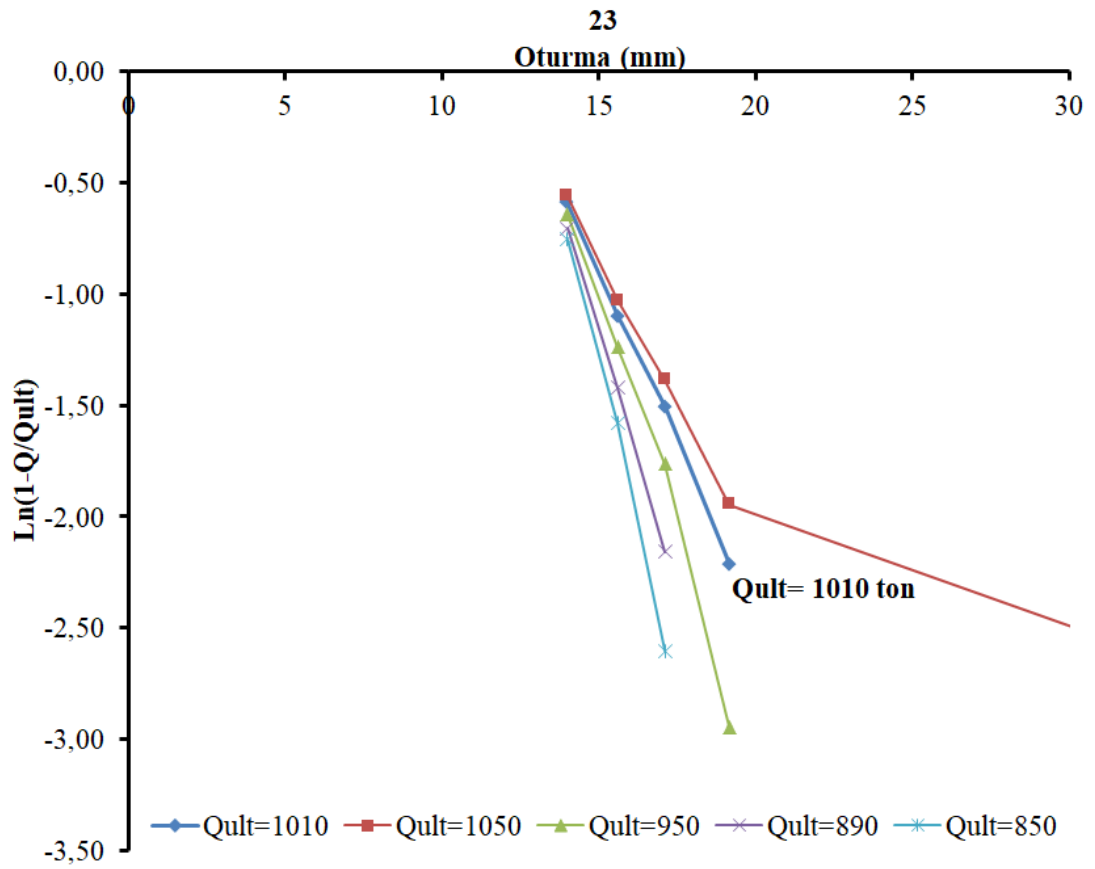
Şekil B.319 : Deney No 23 Hirany - Kulhawy yöntemi.



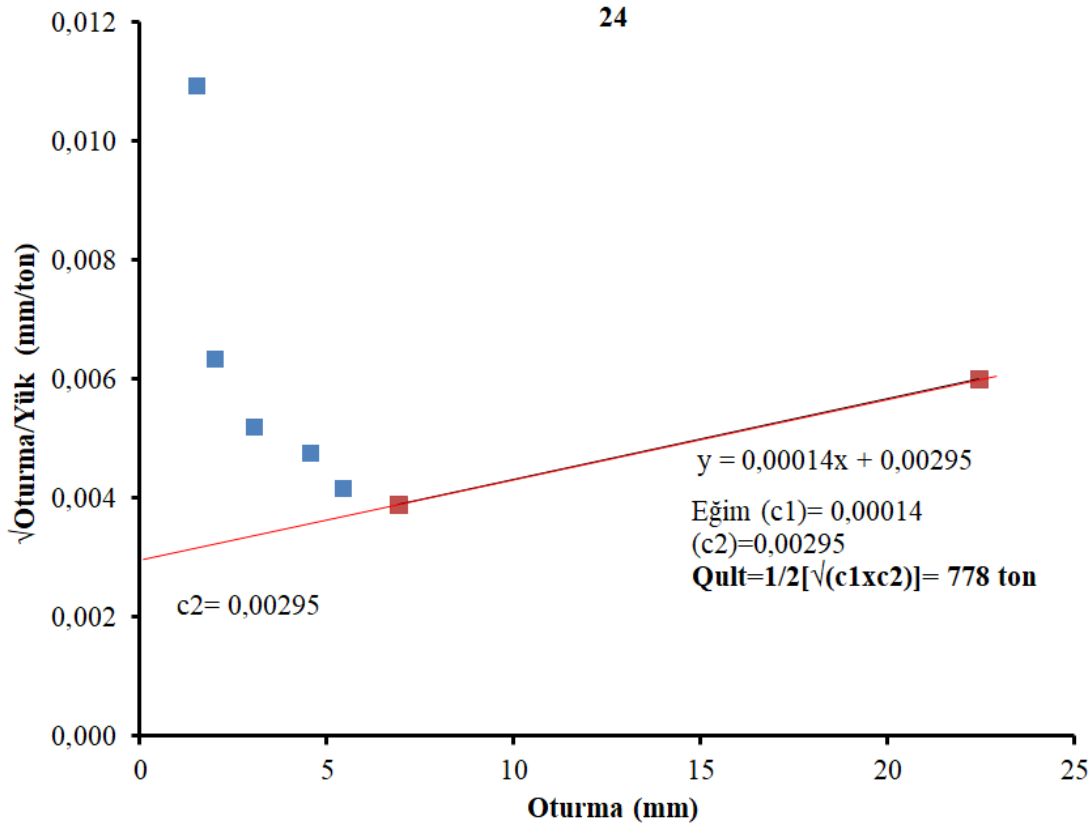
Şekil B.320 : Deney No 23 Mazurkiewicz yöntemi.



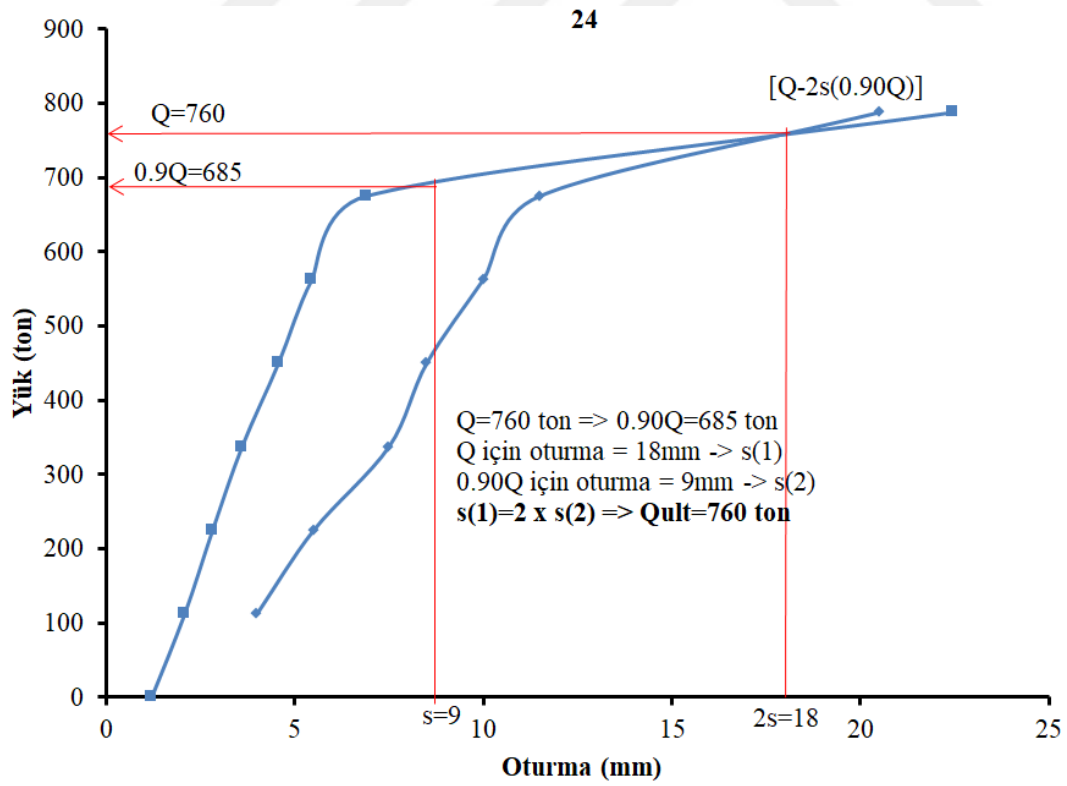
Şekil B.321 : Deney No 23 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



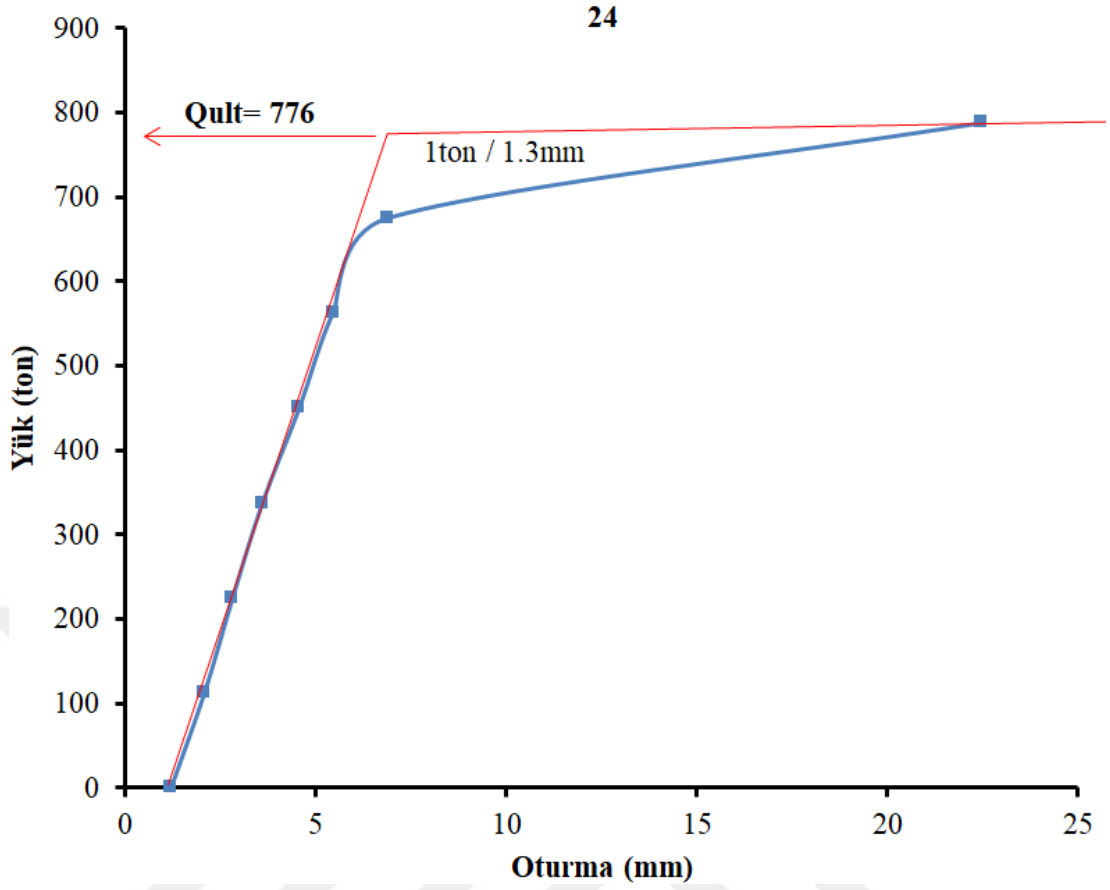
Şekil B.322 : Deney No 23 Van Der Veen yöntemi.



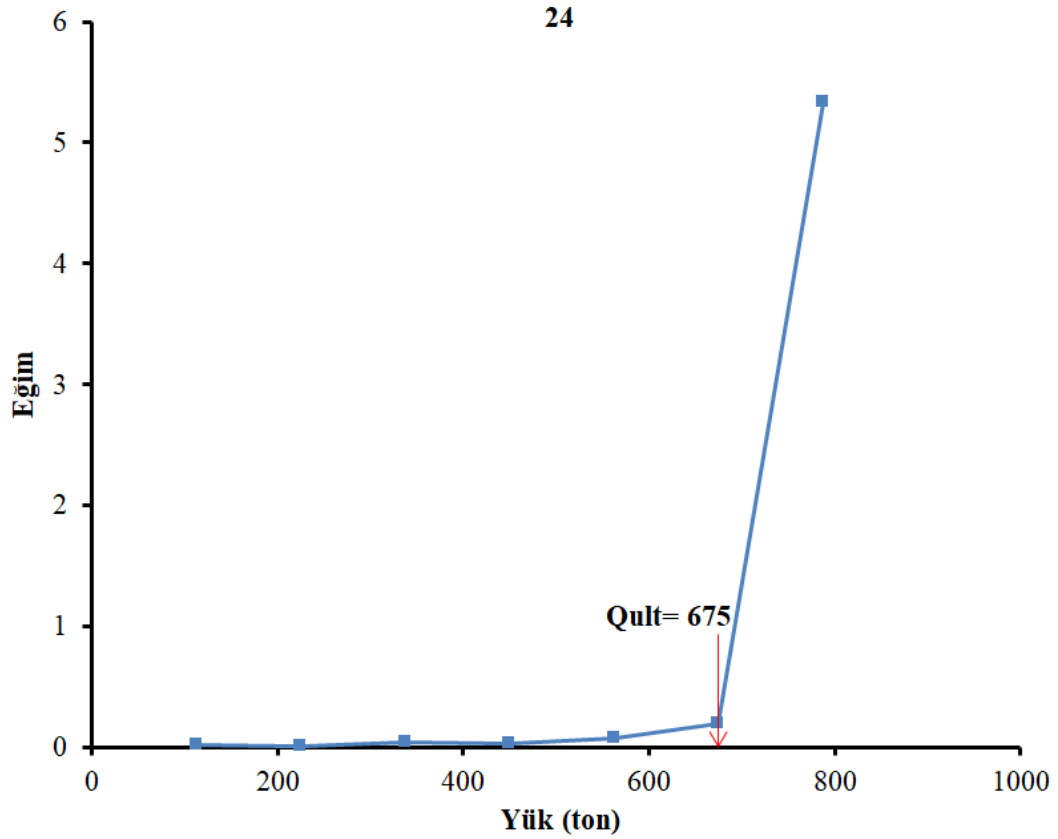
Şekil B.323 : Deney No 24 Brinch - Hansen %80 yöntemi.

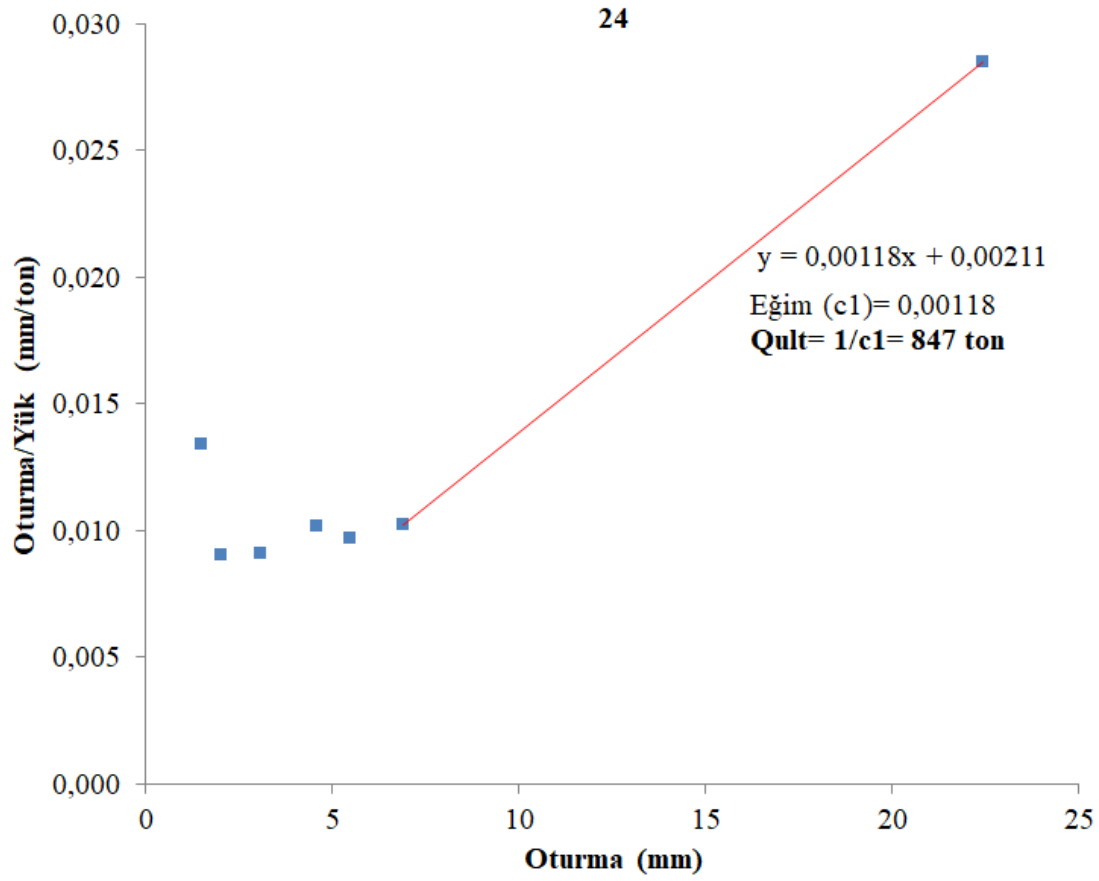


Şekil B.324 : Deney No 24 Brinch - Hansen %90 yöntemi.

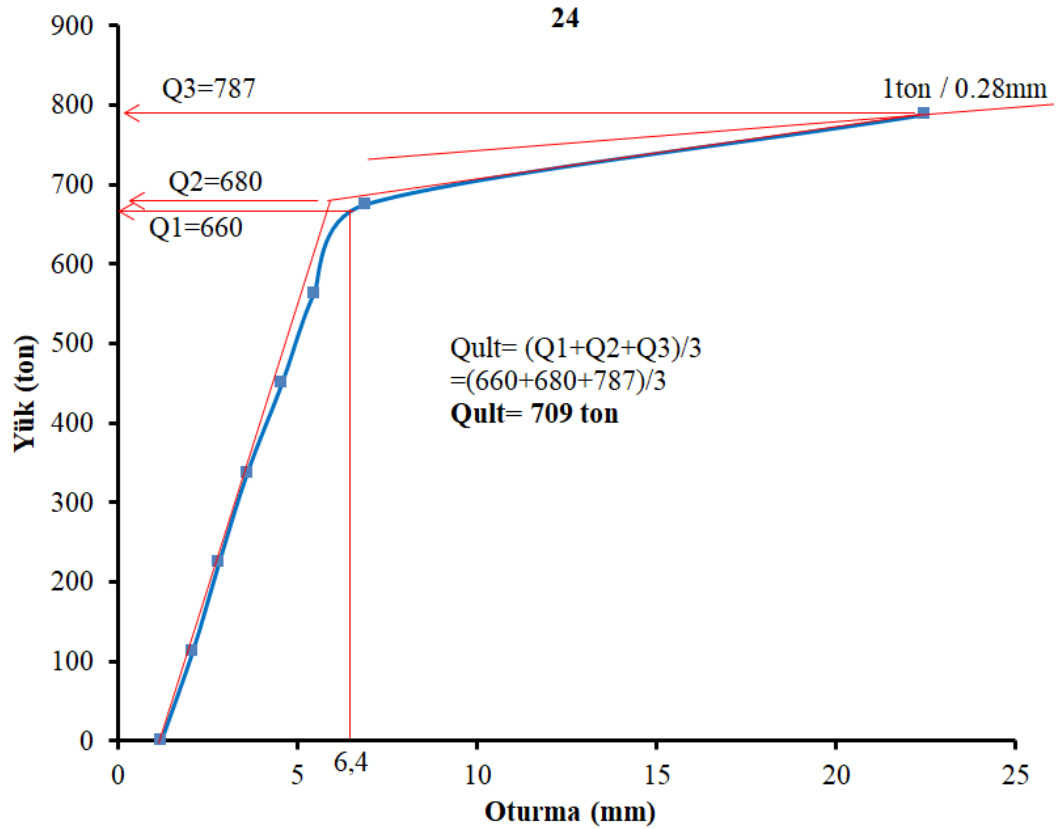


Şekil B.325 : Deney No 24 Butler - Hoy yöntemi.

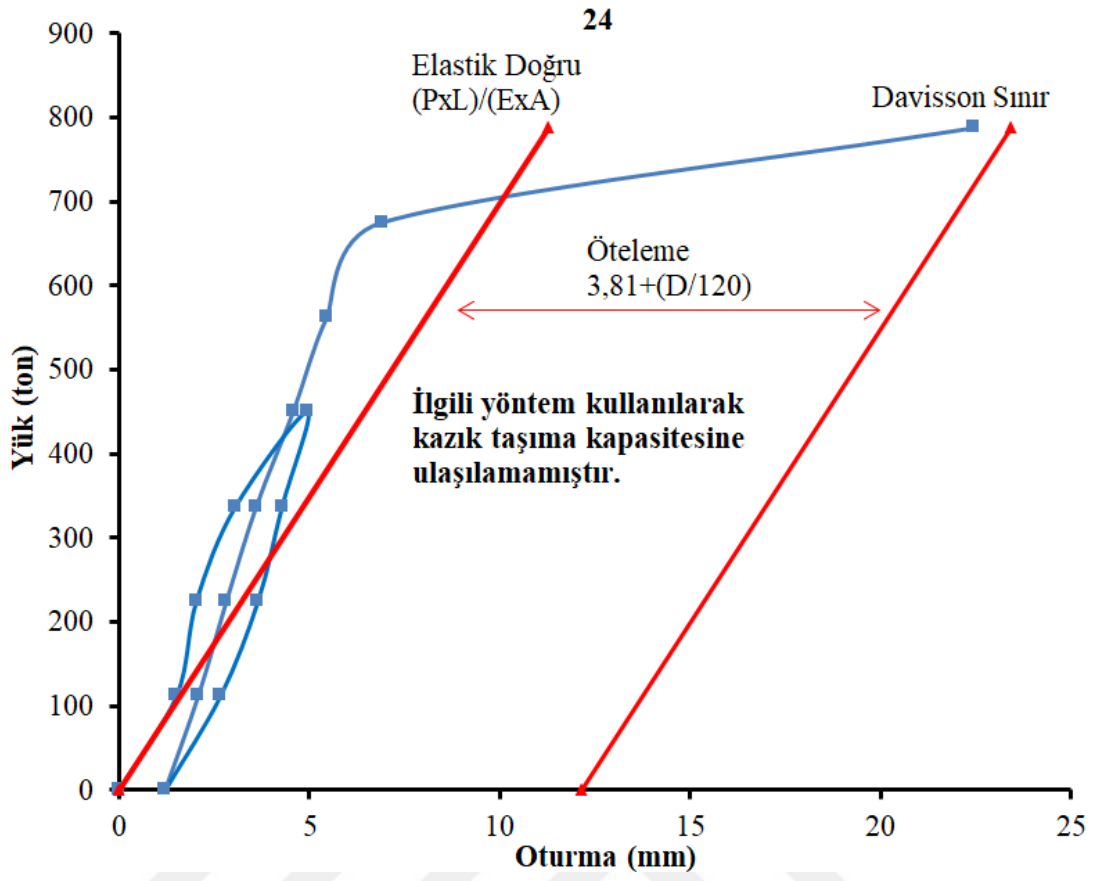




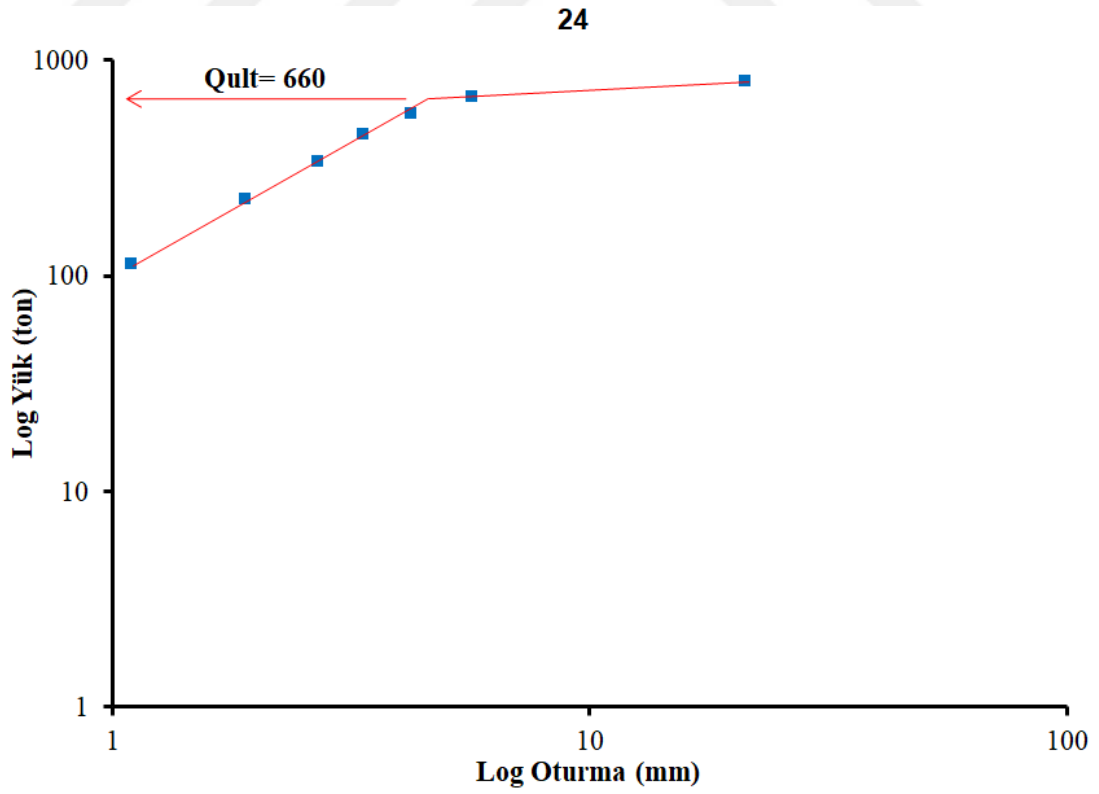
Şekil B.327 : Deney No 24 Chin - Kondner yöntemi.



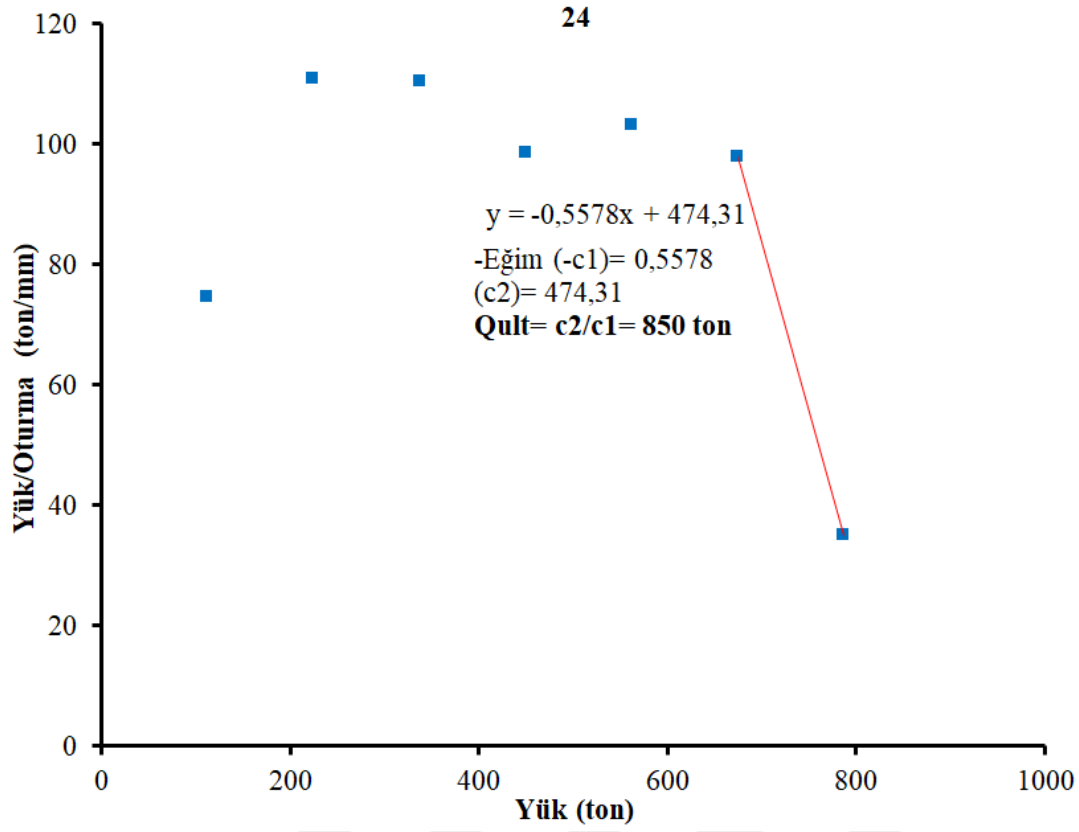
Şekil B.328 : Deney No 24 Corps of Engineers yöntemi.



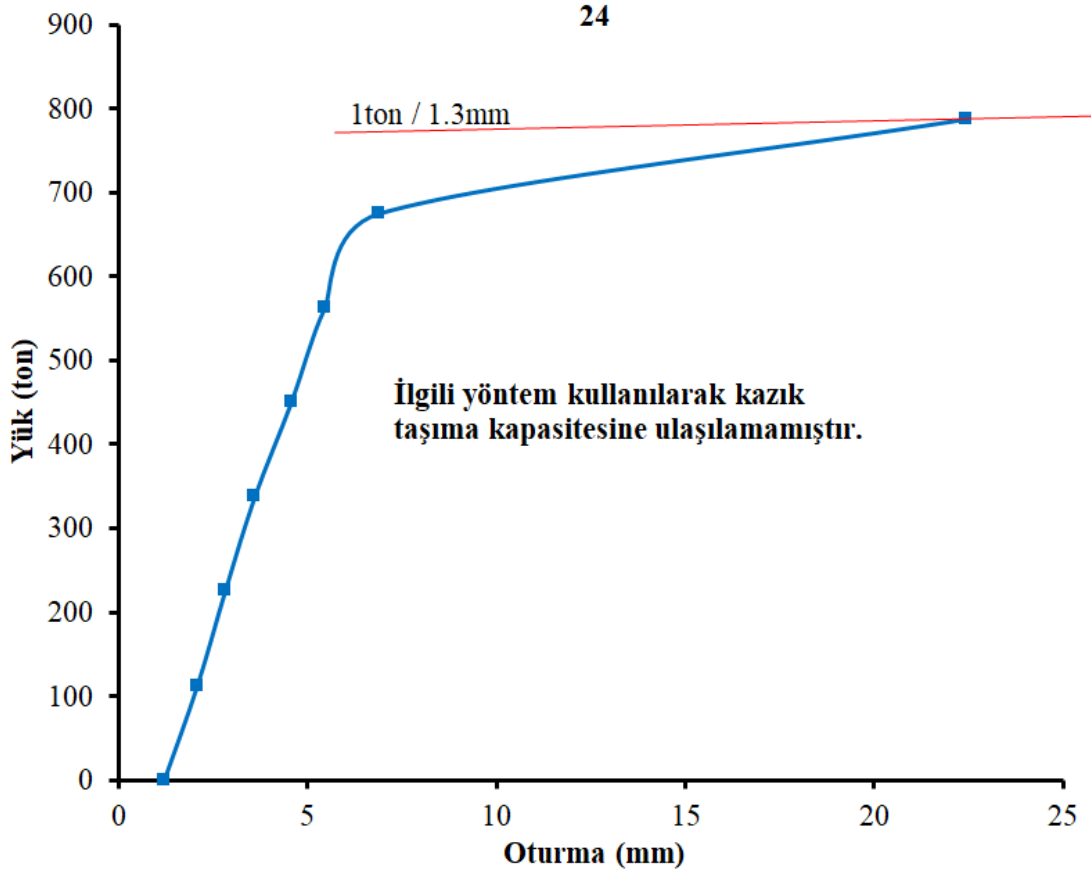
Şekil B.329 : Deney No 24 Davisson yöntemi.



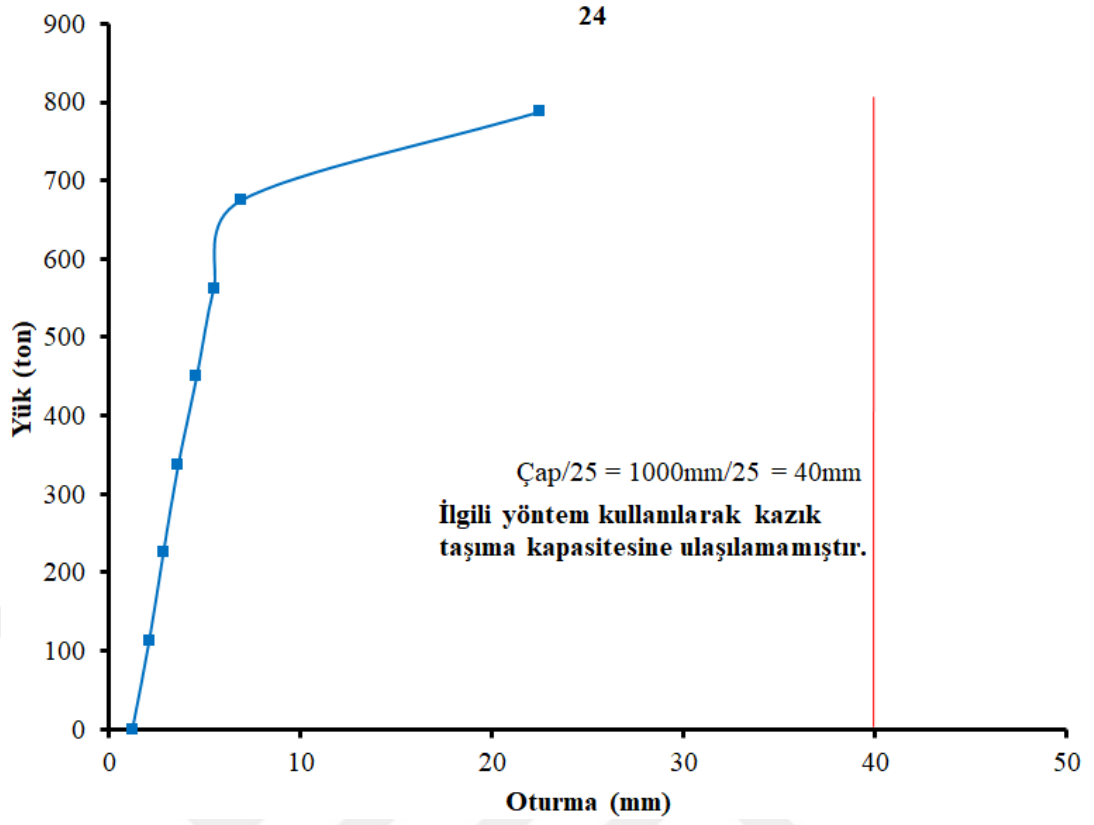
Şekil B.330 : Deney No 24 De Beer yöntemi.



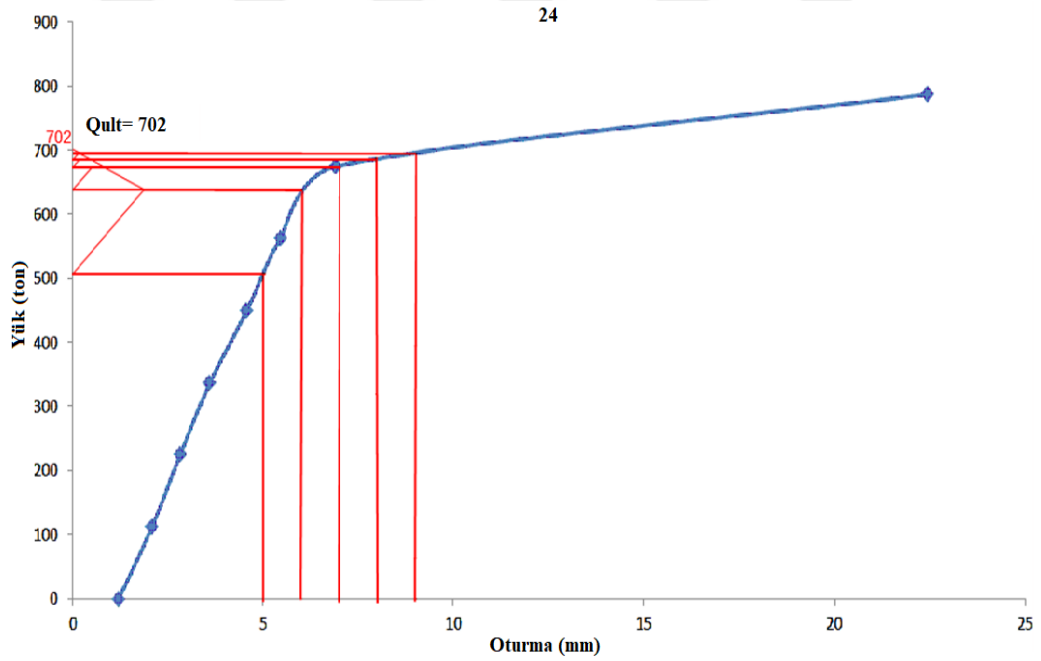
Şekil B.331 : Deney No 24 Decourt yöntemi.



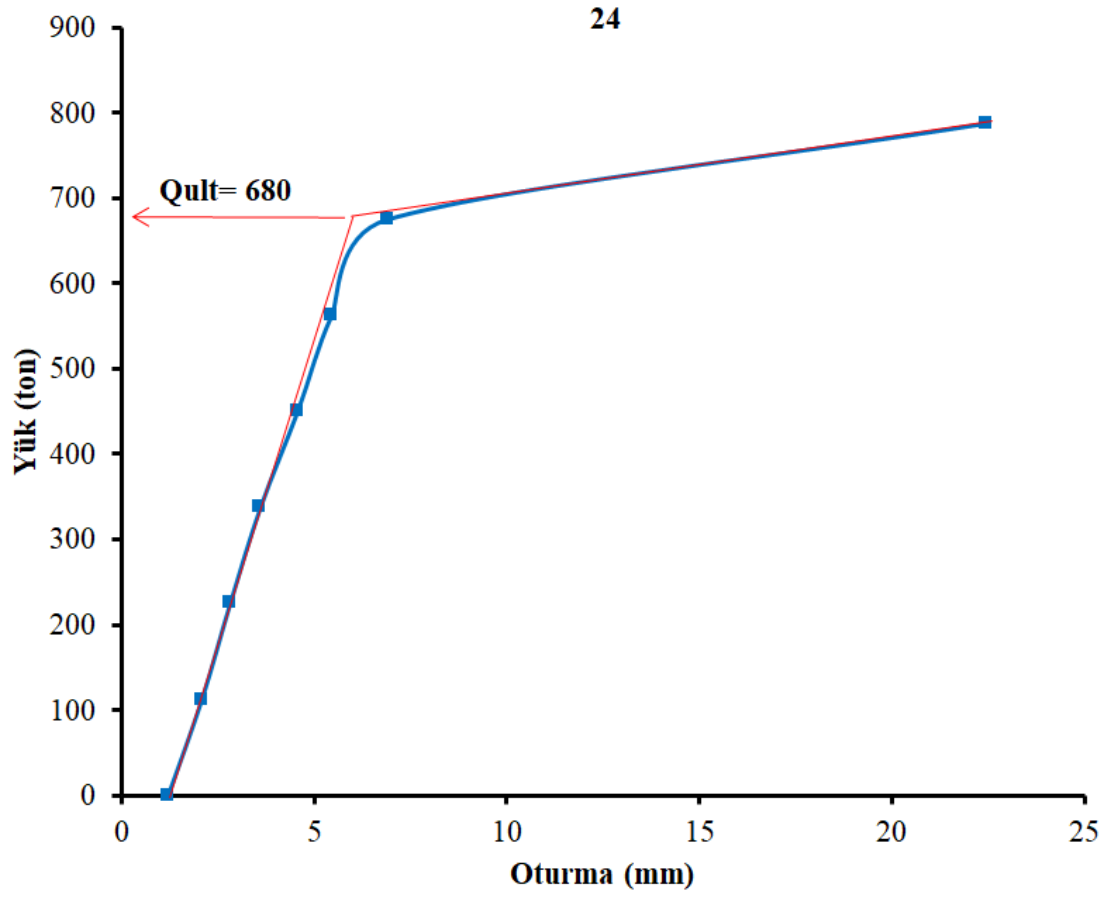
Şekil B.332 : Deney No 24 Fuller - Hoy yöntemi.



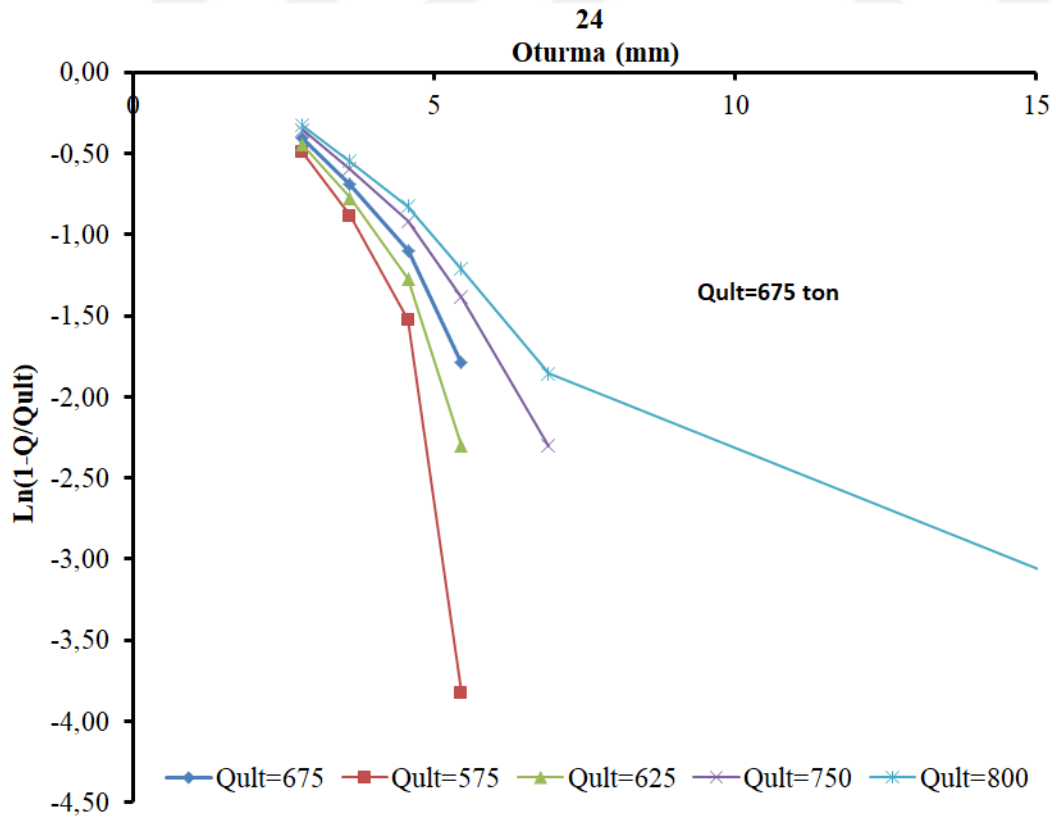
Şekil B.333 : Deney No 24 Hirany - Kulhawy yöntemi.



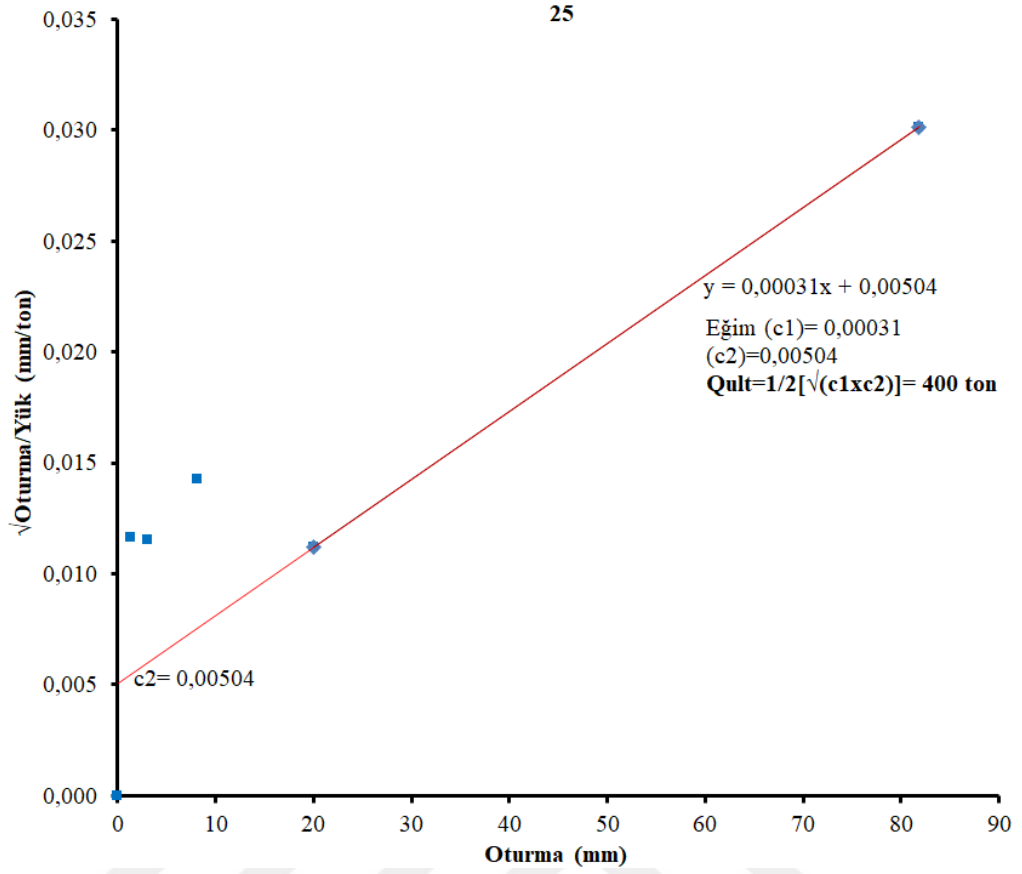
Şekil B.334 : Deney No 24 Mazurkiewicz yöntemi.



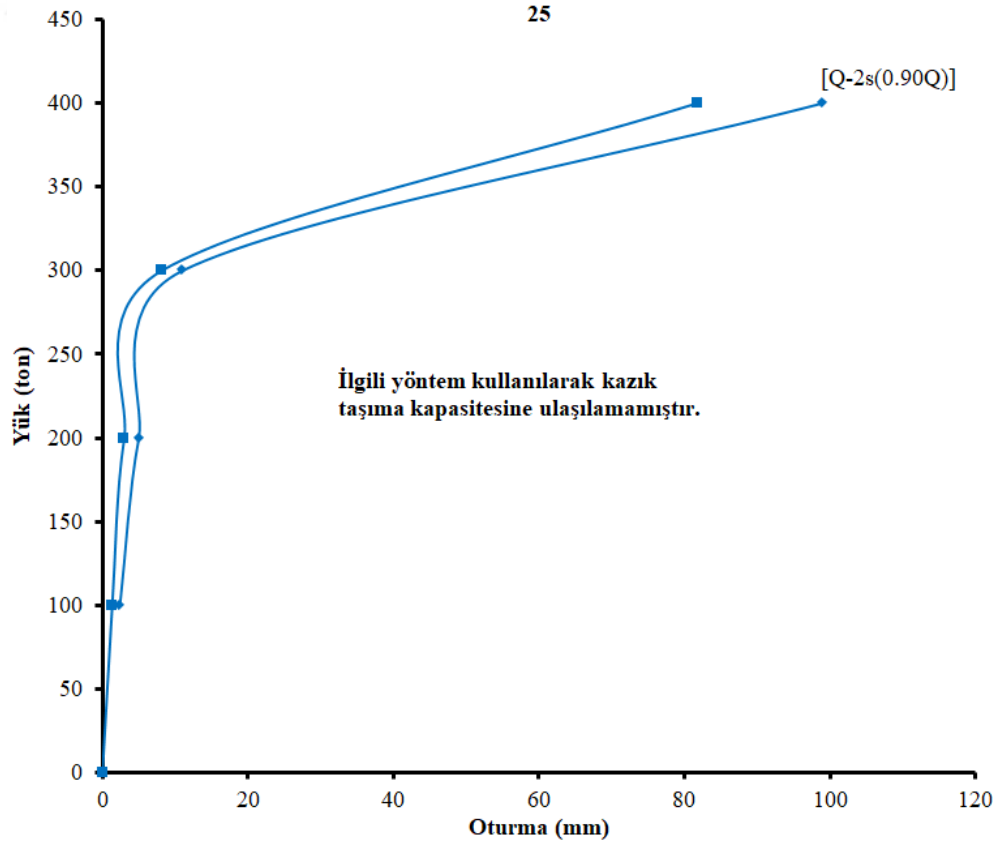
Şekil B.335 : Deney No 24 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



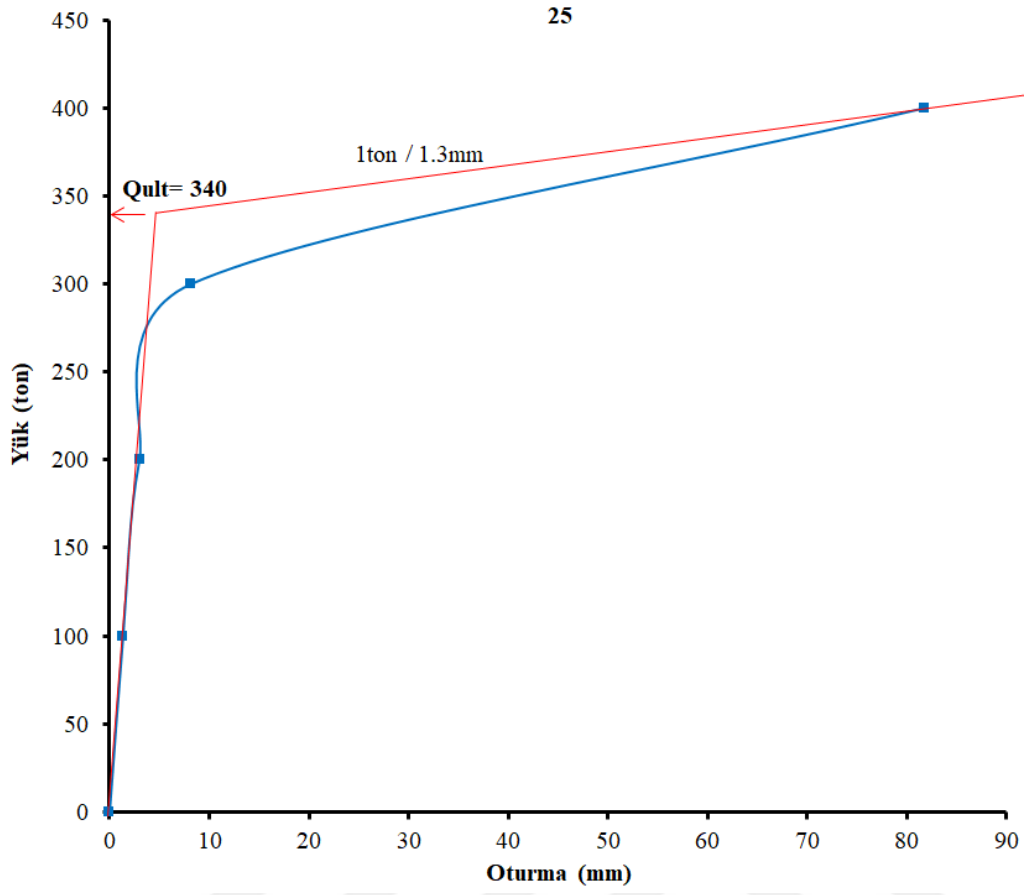
Şekil B.336 : Deney No 24 Van Der Veen yöntemi.



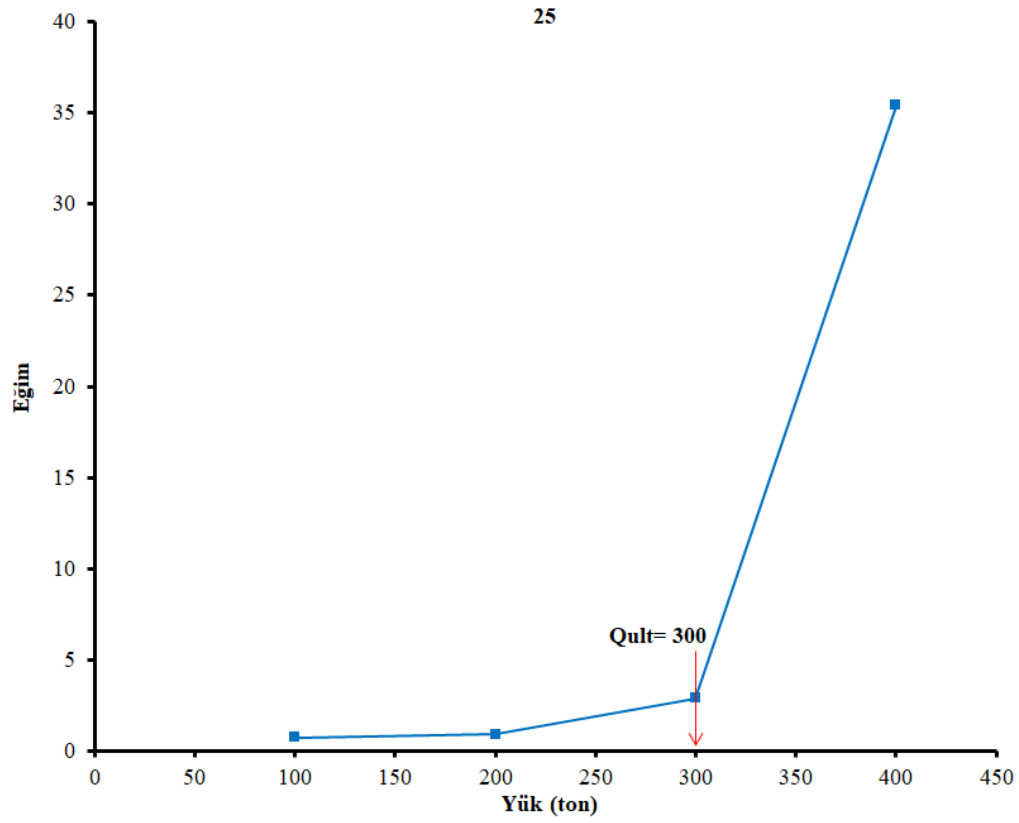
Şekil B.337 : Deney No 25 Brinch - Hansen %80 yöntemi.



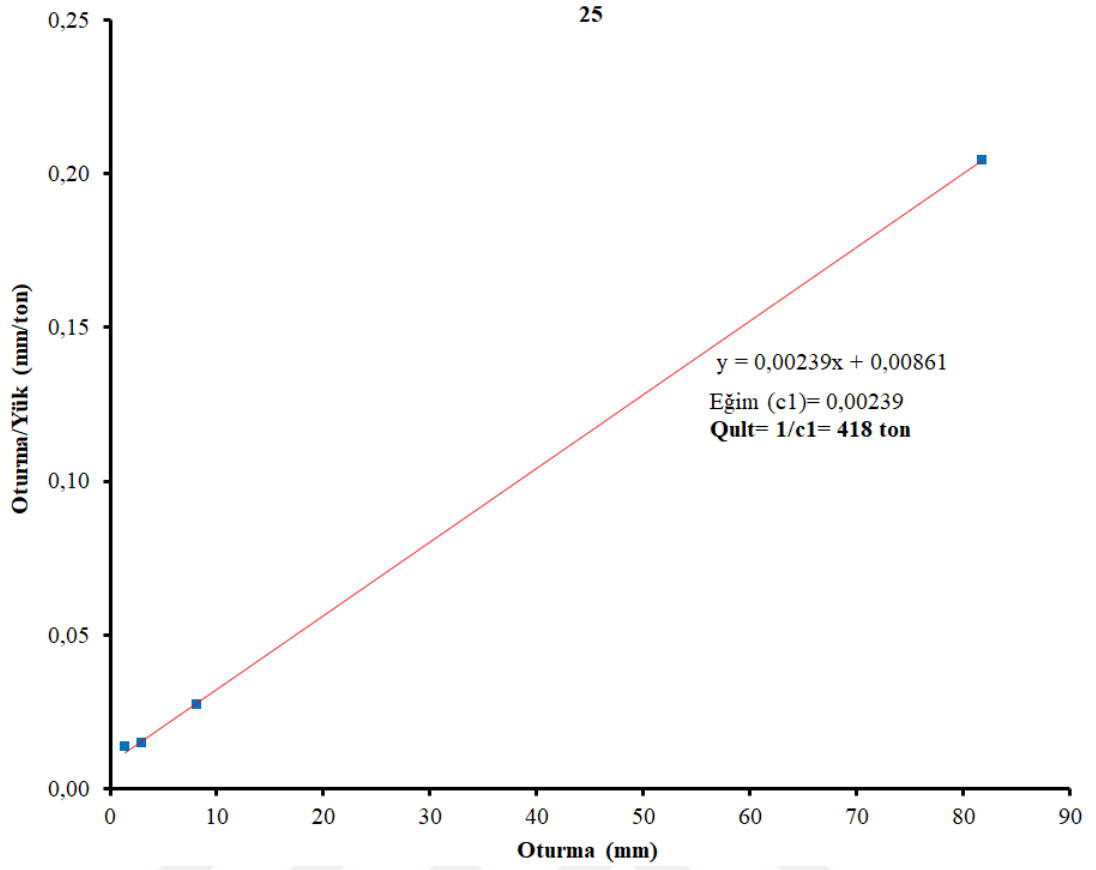
Şekil B.338 : Deney No 25 Brinch - Hansen %90 yöntemi.



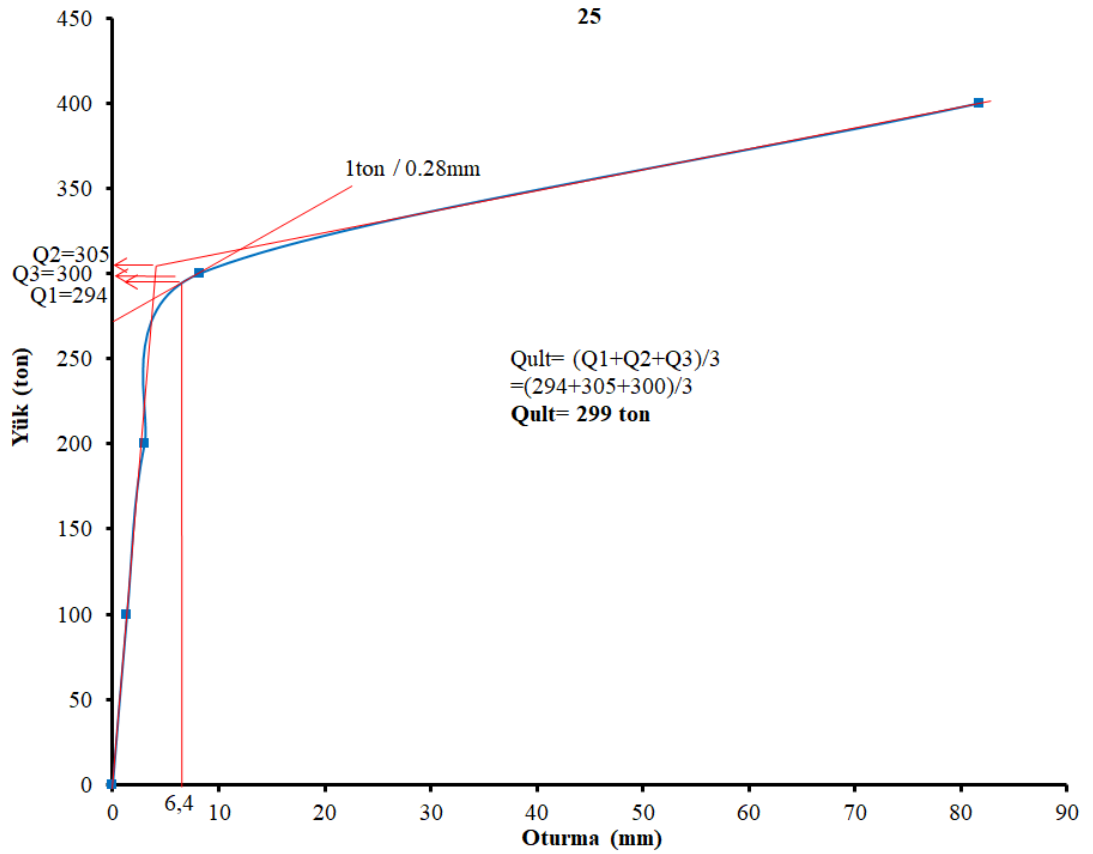
Şekil B.339 : Deney No 25 Butler - Hoy yöntemi.



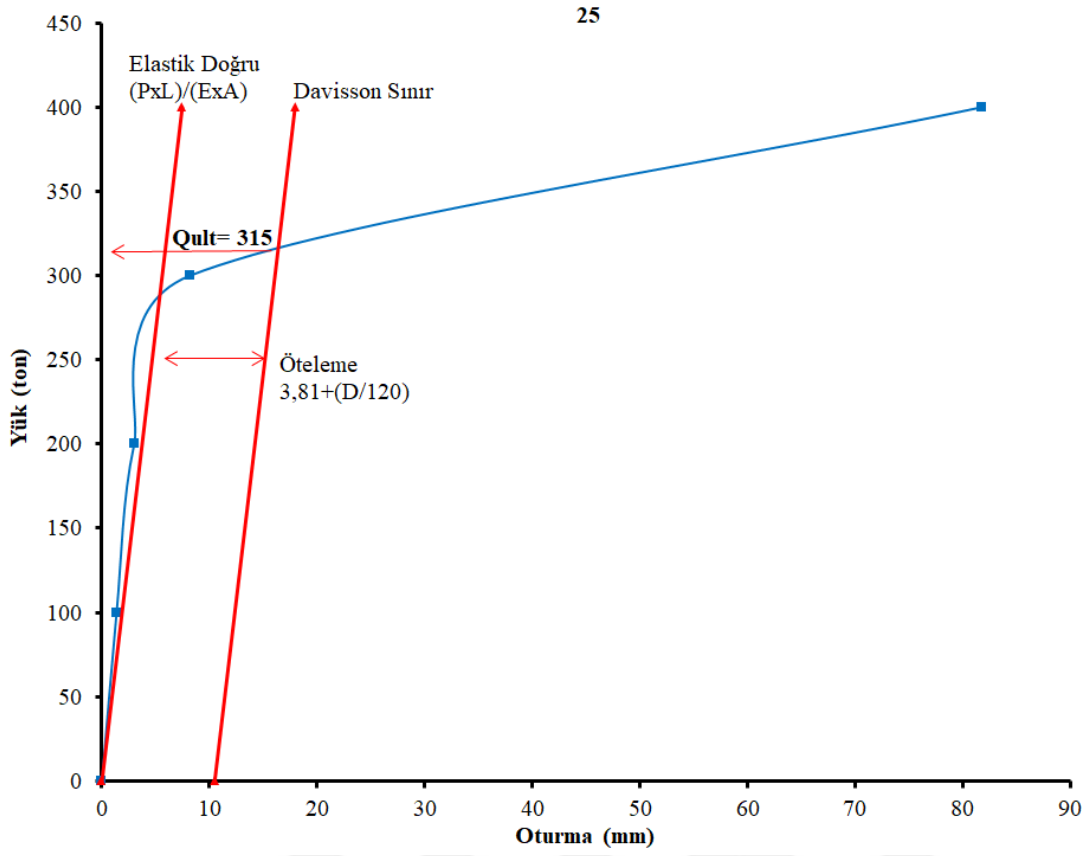
Şekil B.340 : Deney No 25 Cambefort - Chadeisson yöntemi.



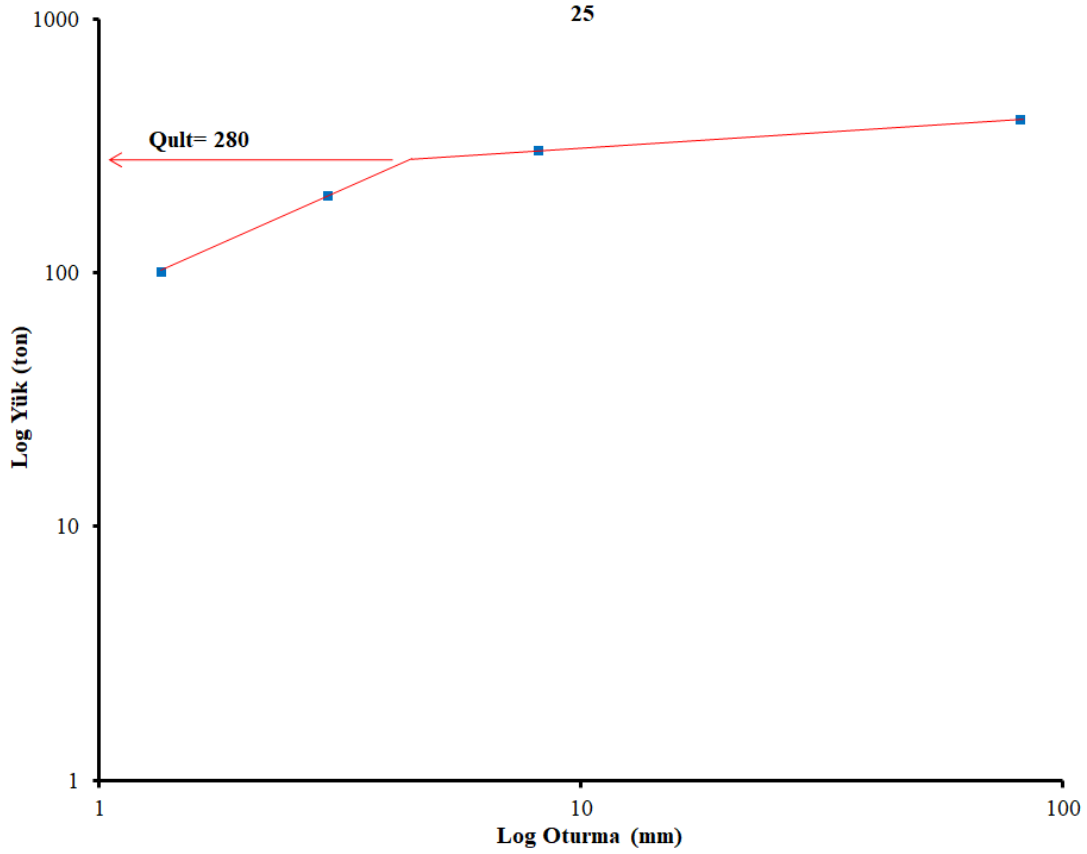
Şekil B.341 : Deney No 25 Chin - Kondner yöntemi.



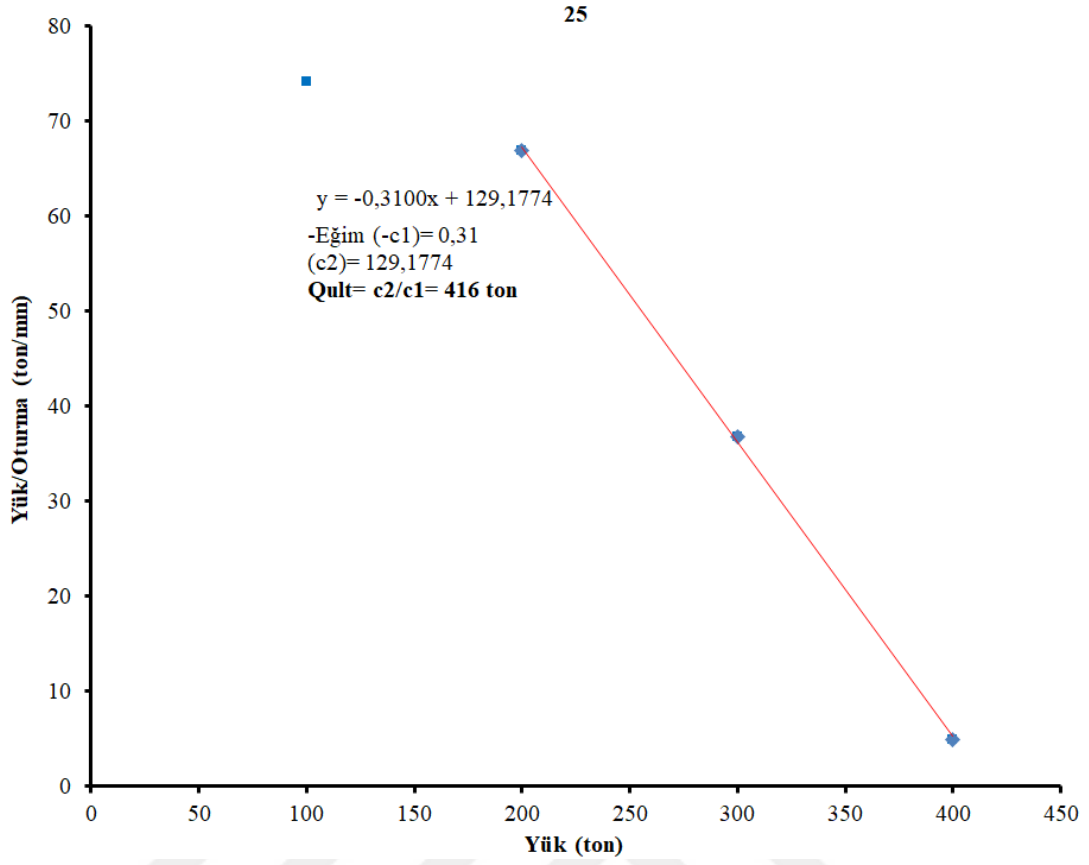
Şekil B.342 : Deney No 25 Corps of Engineers yöntemi.



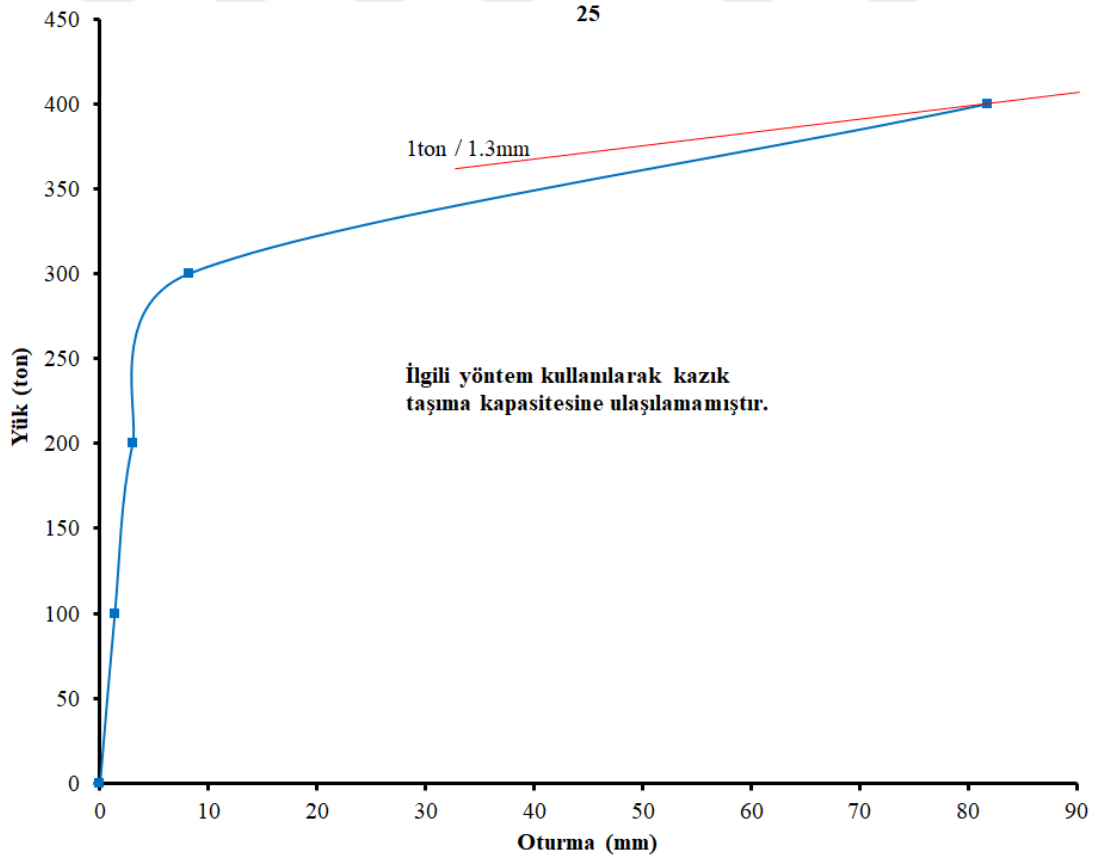
Şekil B.343 : Deney No 25 Davisson yöntemi.



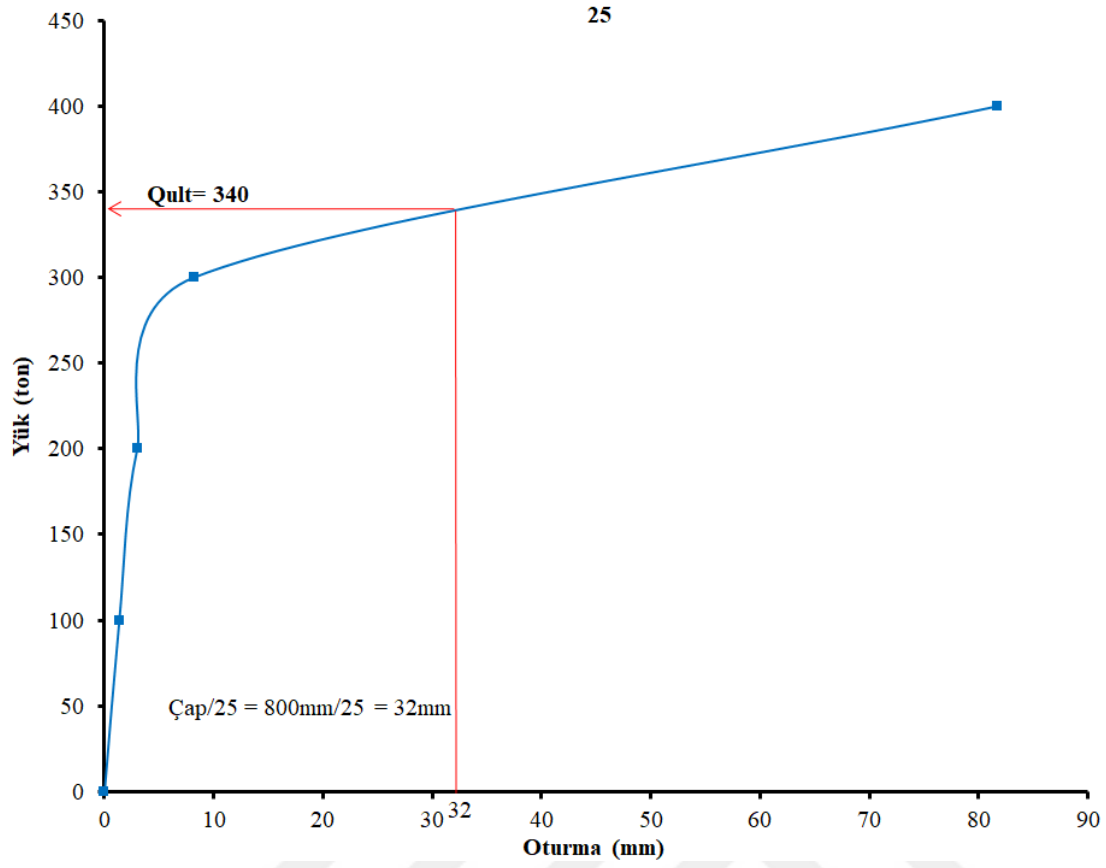
Şekil B.344 : Deney No 25 De Beer yöntemi.



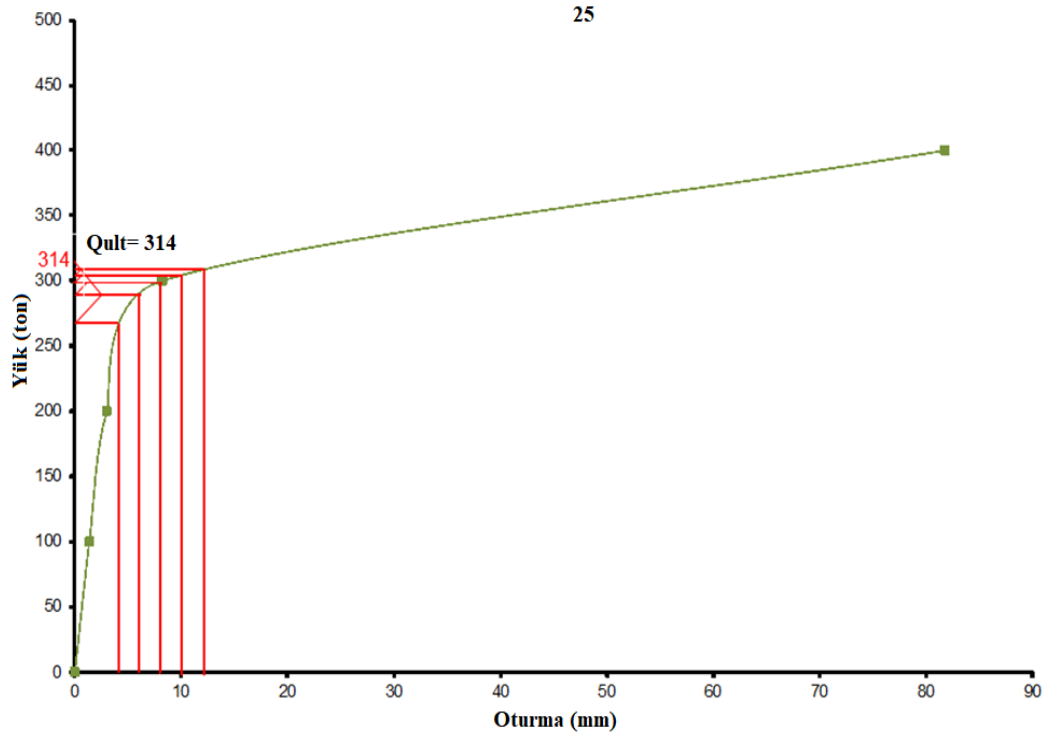
Şekil B.345 : Deney No 25 Decourt yöntemi.



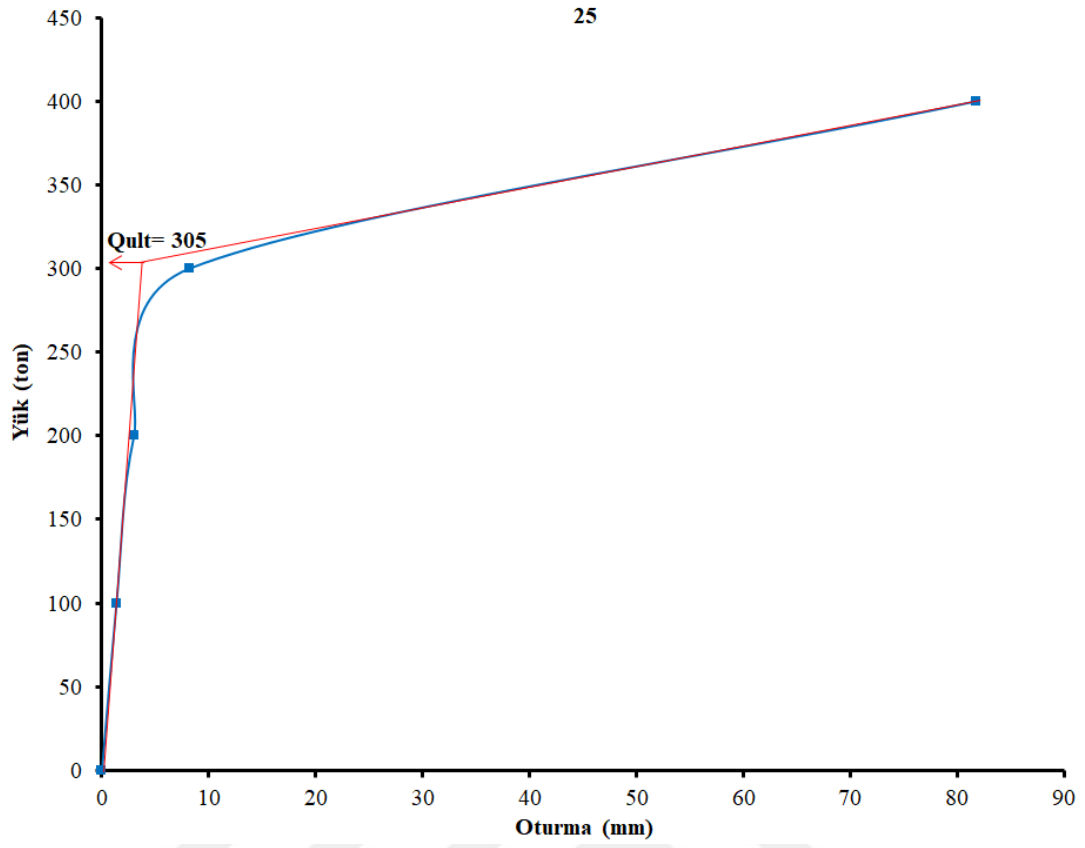
Şekil B.346 : Deney No 25 Fuller - Hoy yöntemi.



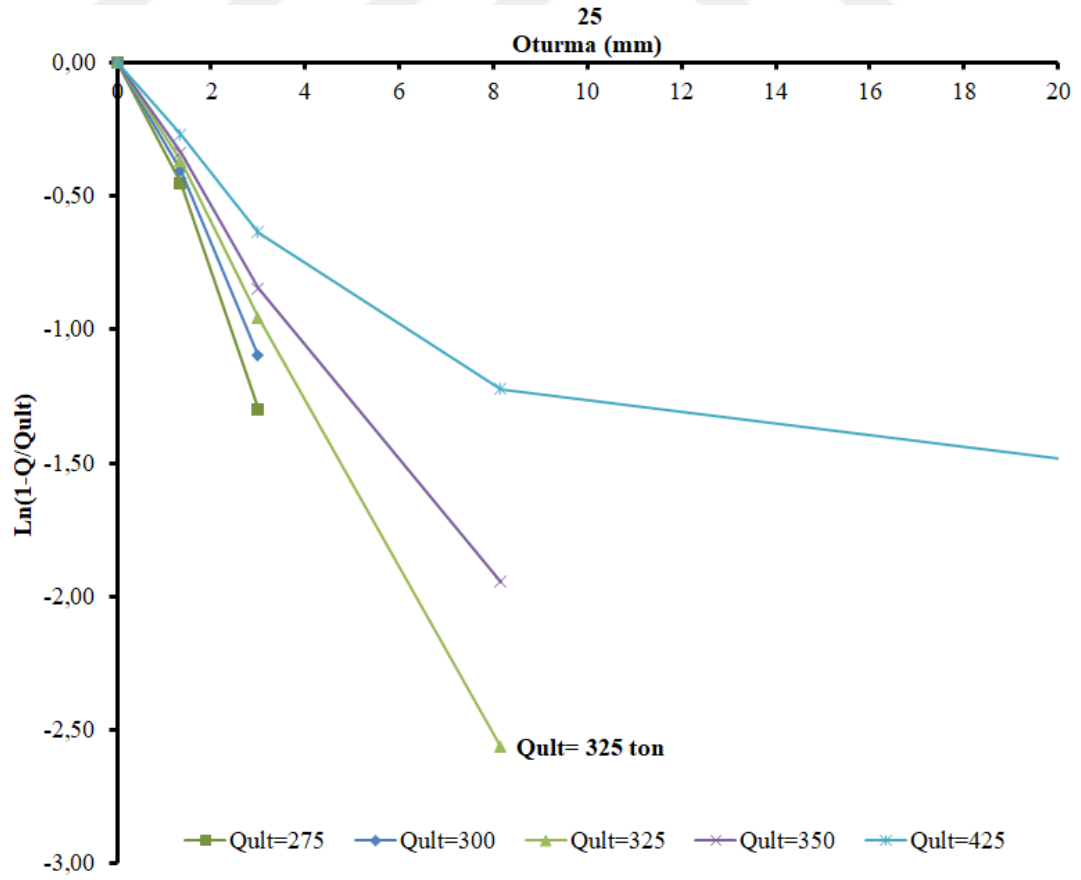
Şekil B.347 : Deney No 25 Hirany - Kulhawy yöntemi.



Şekil B.348 : Deney No 25 Mazurkiewicz yöntemi.



Şekil B.349 : Deney No 25 Teğet (Mansur - Kaufman) yöntemi.



Şekil B.350 : Deney No 25 Van Der Veen yöntemi.



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Berkay Dalkılıç

Doğum Tarihi ve Yeri : 03.09.1993

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2020, İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM:

- 2015 yılından bugüne Altyapı Temel Mühendisliği Taah. Tic. Ltd. Şti.'de inşaat mühendisliği görevine devam etmektedir.