

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

HALIÇ'TEN TARANAN ÇAMURLARIN BÜZÜLME VE
DESİKASYON PARAMETRELERİNİN DENEYSEL
OLARAK ARAŞTIRILMASI

İnş. Müh. Maysaa KHOUCKAR

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Programında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANIZASYON MERKEZİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. İ. Kutay ÖZAYDIN

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ.....	i
ÇİZELGE LİSTESİ.....	iv
ÖNSÖZ.....	v
ÖZET.....	vi
ABSTRACT.....	viii
1 GİRİŞ.....	1
2. LİTİRATÜR ARAŞIRMASI.....	8
2.1 Zeminin Büzülmesi.....	8
2.2 Zeminlerin Desikasyon Çatlakları.....	10
2.3 Büzülme Çatlakları: Derinlik, Aralık ve Yüzey Şekilleri.....	13
2.4 Zeminlerin Desikasyonunun Modellenmesi.....	15
2.5 Literatürden Özet.....	18
3 TEORİ.....	21
3.1 Giriş.....	21
3.2 Tek-Boyutlu Sıkışma Altında Konsolidasyonun ve Tek-Boyutlu Büzülme Altında Desikasyonun Modellenmesi.....	24
3.3 Desikasyon Esnasında Düşey Çatlakların Yayılmasının Modellenmesi.....	26
3.3.1 Herhangi bir derinlikte çatlama kriterinin formüle edilmesi.....	26
3.3.2 Çekme mukavemetinin tahmini.....	31
3.3.3 Çatlama fonksiyonunun formüle edilmesi.....	32
3.4 Çekme Gerilmesi Boşalmasının Modellenmesi.....	34
3.5 Üç-Boyutlu Büzülme Altında Desikasyonun Modellenmesi.....	35
3.5.1 Üç-boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemek için gereken bünyesel ilişkiler.....	43
3.5.2 Üç-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında geçerli temel denklemin formüle edilmesi.....	48
4. DENEYSEL ARAŞTIRMALAR.....	55
4.1 Giriş.....	55
4.2 Deney Araçları.....	56
4.2.1 Veyn deneyi aleti.....	56
4.2.2 Düşen koni deneyinin aleti.....	56
4.2.3 Yükleme deneyi cihazı.....	56
4.2.4 Serbest büzülme deneyi kabı.....	56
4.3 Deney Prosedürü.....	61
4.3.1 Zemin numunelerinin hazırlanması.....	61
4.3.2 Veyn deneyi.....	64
4.3.3 Düşen koni deneyi.....	64
4.3.4 Yükleme deneyi.....	64
4.3.5 Serbest büzülme deneyi.....	64

4.4	Deney Sonuçları.....	65
4.4.1	Veyn deneyinin sonuçları.....	65
4.4.1.1	Kendi halinde kurumuş numune.....	65
4.4.1.2	Rüzgarla kurutulmuş numune.....	66
4.4.1.3	Katı maddesi eklenerek kurumuş numune(fosfojibs-tüf).....	66
4.4.2	Düşen koni deneyinin sonuçları.....	69
4.4.2.1	Kendi halinde kurumuş numune.....	69
4.4.2.2	Rüzgarla kurutulmuş numune.....	69
4.4.2.3	Katı maddesi eklenerek kurumuş numune(fosfojibs-tüf).....	70
4.4.3	Yükleme deneyi.....	71
4.4.3.1	Kendi halinde kurumuş numune.....	71
4.4.3.2	Rüzgarla kurutulmuş numune.....	71
4.4.3.3	Katı maddesi eklenerek kurumuş numune(fosfojibs-tüf).....	71
4.4.4	Serbest büzülme deneyi.....	77
5.	DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	108
5.1	Giriş.....	108
5.2	Drenajsız Kayma Mukavemeti Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	108
5.2.1	Veyn deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi.....	108
5.2.2	Düşen koni deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi.....	111
5.2.3	Yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi.....	111
5.2.3.1	Kendi halinde kurumuş zemin numunesi.....	111
5.2.3.2	Fosfojibs ve tüf eklenerek kendi halinde kurumuş zemin numunesi.....	114
5.2.4	Değişik deneylerden elde olunan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması.....	114
5.3	Serbest Büzülme Deneyi Sonuçlarının Analizi.....	118
6.	ÖZET, SONUÇ VE TAVSİYELER.....	167
6.1	Özet ve Sonuç.....	167
6.2	Tavsiyeler.....	167
	KAYNAKLAR.....	173
	ÖZGEÇMİŞ.....	177

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 1.1	Desifikasyonsuz depolama alanı.....2
Şekil 1.2	Yüzey kurutmasıyla depolama alanı.....4
Şekil 1.3	Yüzey kurutması ve yeraltı-su seviyesinin düşmesiyle depolama alanı.....5
Şekil 2.1	Büzülme eğrisinin genel formu.....9
Şekil 2.2	Emme ölçümlerinin temel krokisi.....17
Şekil 3.1	Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon ve tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında toplam ve efektif gerilme izleri.....23
Şekil 3.2	Tek-boyutlu altında büzülme altında desikasyon esnasında gerilmelerin Gelişmesi.....27
Şekil 3.3	Çatlaklı ve çatlaksız zemin sütunları.....33
Şekil 3.4	Teklif edilen çatlama deneyi.....35
Şekil 3.5	Çekme gerilmesinin boşalması esnasında desikasyon çatlakların gelişmesi.....36
Şekil 3.6	Çekme gerilmesinin boşalması esnasında toplam ve efektif gerilme.....36
Şekil 3.7	Değişik düşey gerilmeler için üç-boyutlu büzülme altında desikasyon adimsal izotropik efektif gerilme izleri.....42
Şekil 3.8	K_0 durumları altında konsolidasyon ve desikasyona ve daha sonra bir adimsal izotropik efektif gerilme izi boyunca üç-boyutlu serbest büzülmeye uğramış tipik zemin elemanı.....45
Şekil 4.1	Veyn deneyi aleti.....57
Şekil 4.2	Düşen koni deneyi aleti.....58
Şekil 4.3	yükleme deneyi cihazı.....57
Şekil 4.4	Serbest büzülme deneyi.....60
Şekil 4.5	Üç-boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemek için hazırlanan zemin numune için efektif gerilme izi
Şekil 4.6	Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için w-Cu (veyn deneyi).....67
Şekil 4.7	Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için zaman-Cu (veyn deneyi).....68
Şekil 4.8	Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için w-Cu (koni deneyi).....72
Şekil 4.9	Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için zaman-Cu (koni deneyi).....73
Şekil 4.10	Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için deformasyon-gerilme (yükleme deneyi).....74
Şekil 4.11	Fosfojibs eklenerek kurumuş numune için deformasyon-gerilme (yükleme deneyi).....75
Şekil 4.12	Tüf eklenerek kurumuş numune için deformasyon-gerilme (yükleme deneyi).....76
Şekil 4.13	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 1).....88
Şekil 4.14	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 2).....89
Şekil 4.15	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 3).....90
Şekil 4.16	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 4).....91
Şekil 4.17	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 5).....92
Şekil 4.18	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 6).....93
Şekil 4.19	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 7).....94
Şekil 4.20	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 8).....95
Şekil 4.21	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 9).....96
Şekil 4.22	Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 10).....97
Şekil 4.23	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 1).....98

Şekil 4.24	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 2).....	99
Şekil 4.25	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 3).....	100
Şekil 4.26	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 4).....	101
Şekil 4.27	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 5).....	102
Şekil 4.28	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 6).....	103
Şekil 4.29	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 7).....	104
Şekil 4.30	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 8).....	105
Şekil 4.31	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 9).....	106
Şekil 4.32	Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 10).....	107
Şekil 5.1	Zemin numunesi için w-Cu (veyn deneyi).....	109
Şekil 5.2	Zemin numunesi için zaman-Cu (veyn deneyi).....	110
Şekil 5.3	Zemin numunesi için w-Cu (koni deneyi).....	112
Şekil 5.4	Zemin numunesi için zaman-Cu (koni deneyi).....	113
Şekil 5.5	Değişik zemin numuneleri için w-Cu (veyn ve koni deneyi).....	115
Şekil 5.6	Değişik zemin numuneleri için zaman-Cu (veyn ve koni deneyi).....	116
Şekil 5.7	Boşluk oranı-düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 1).....	123
Şekil 5.8	Boşluk oranı-düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 2).....	124
Şekil 5.9	Boşluk oranı-düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 3).....	125
Şekil 5.10	Boşluk oranı düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 4).....	126
Şekil 5.11	Boşluk oran düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 5).....	127
Şekil 5.12	Boşluk oranı düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 6).....	128
Şekil 5.13	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 1).....	129
Şekil 5.14	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 2).....	130
Şekil 5.15	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 3).....	131
Şekil 5.16	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 4).....	132
Şekil 5.17	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 5).....	133
Şekil 5.18	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 6).....	134
Şekil 5.19	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 7).....	135
Şekil 5.20	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 8).....	136
Şekil 5.21	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 9).....	137
Şekil 5.22	Büzülme şekil değiştirmesi-e (deney 10).....	138
Şekil 5.23	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 1).....	139
Şekil 5.24	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 2).....	140
Şekil 5.25	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 3).....	141
Şekil 5.26	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 4).....	142
Şekil 5.27	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 5).....	143
Şekil 5.28	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 6).....	144
Şekil 5.29	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 7).....	145
Şekil 5.30	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 8).....	146
Şekil 5.31	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 9).....	147
Şekil 5.32	Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 10).....	148
Şekil 4.33	Serbest büzülme deneyi için w-e (bulamaç zemin numuneleri için toplu sonuçlar).....	149
Şekil 4.34	Serbest büzülme deneyi için w-e (aşırı zemin numuneleri için toplu sonuçlar).....	150
Şekil 4.35	Bulamaç ve aşırı konsolide bütün zeminler için w-e ve suya doğgunluk Çizgisi.....	151
Şekil 4.36	Haliç ve Speswhite kili için w-e.....	152

Şekil 5.37 Haliç ve Speswhite kili için zaman-e.....	153
Şekil 5.38 Büzülme şekil değiştirmesi-e.....	154
Şekil 5.39 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (tüm deneyler).....	155
Şekil 5.40 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler.....	156
Şekil 5.41 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 1).....	157
Şekil 5.42 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 2).....	158
Şekil 5.43 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 3).....	159
Şekil 5.44 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 4).....	160
Şekil 5.45 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 5).....	161
Şekil 5.46 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 6).....	162
Şekil 5.47 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 7).....	163
Şekil 5.48 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 8).....	164
Şekil 5.49 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 9).....	165
Şekil 5.50 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 10).....	166



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 4.1 Haliç çamurunun endeks özellikleri.....	61
Çizelge 4.2 Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (veyn deneyi).....	66
Çizelge 4.3 Rüzgarla kurutulmuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (veyn deneyi).....	66
Çizelge 4.4 Üzerine fosfojibs eklenmiş kendi halinde kurumuş numunesi için kayma mukavemeti (veyn deneyi).....	69
Çizelge 4.5 Üzerine tuf eklenmiş kendi halinde kurumuş numunesi için kayma mukavemeti (veyn deneyi).....	69
Çizelge 4.6 Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi).....	70
Çizelge 4.7 Rüzgarla kurutulmuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi).....	70
Çizelge 4.8 Üzerine fosfojibs eklenmiş numune için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi).....	71
Çizelge 4.9 Üzerine tuf eklenmiş numune için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi).....	71
Çizelge 4.10 Serbest büzülme deneyinin datası (deney1).....	78
Çizelge 4.11 Serbest büzülme deneyinin datası (deney2).....	79
Çizelge 4.12 Serbest büzülme deneyinin datası (deney3).....	80
Çizelge 4.13 Serbest büzülme deneyinin datası (deney4).....	90
Çizelge 4.14 Serbest büzülme deneyinin datası (deney5).....	91
Çizelge 4.15 Serbest büzülme deneyinin datası (deney6).....	92
Çizelge 4.16 Serbest büzülme deneyinin datası (deney7).....	93
Çizelge 4.17 Serbest büzülme deneyinin datası (deney8).....	94
Çizelge 4.18 Serbest büzülme deneyinin datası (deney9).....	95
Çizelge 4.19 Serbest büzülme deneyinin datası (deney10).....	96
Çizelge 5.1 Değişik şekillerde kurumaya bırakılmış numuneler için kayma mukavemeti (veyn, koni ve yükleme deneyleri)	

ÖNSÖZ

Bu çalışmada, Haliç Islah Projesi kapsamında Haliç'ten taranan ve yaklaşık 5 km. uzaklıktaki bir çamur barajına hidrolik olarak iletilen sulu çamurların davranışını modellemek için gerekli bazı parametrelerin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır.

Çalışmalarım sırasında, bana aile ortamını sağlamaya ve ailemden uzak olduğumu fark ettirmemeye çalışan okul ailesine, nezaketle tez danışmanım olmayı kabul eden ve tezimde bana her zaman yol gösterici olan ve danışmanlığını esirgemeyen hocam Prof.Dr. I.Kutay ÖZAYDIN'a, tezimde danışmanlığıyla katkıda bulunan Prof.Dr. Tuncer B. EDİL'e, her zaman gösterdiği ilgi ile manevi destekte bulunan Prof.Dr. Sönmez YILDIRIM'a, herkese gösterdiği ilgi ile moral kaynağı olan ve bana her zaman destek veren Döç Dr. Mustafa YILDIRIM'a, ilgisinden dolayı Yar.Döç.Dr. Necat ÇETİNKAYA'ya, tezimde ve laboratuvar çalışmalarımda yardımını esirgemeyen öğretim üyesi Dr. M.Şükrü ÖZÇOBAN'a, ve Yar.Döç.Dr. Mehmet BERİLGİN'e, güzel ve zor anları birlikte paylaştığım ve aktif davranışlarıyla bana her zaman büyük katkıda bulunan arkadaşım Arş.Gör. Havva Nur KILIÇ'a, yaşadığım en zor anlarımda yanımda bulduğum ve beni büyük sabır ve ilgi ile dinleyip bana her türlü yardımda bulunan arkadaşım Arş.Gör. Serap ÇABUK TİMUR'a, yardımları ile ve bilinen sempatik ve nazik davranışları ile bana her zaman büyük moral veren Arş.Gör. Murat TONAROĞLU'na, okyanusların arkasında bile herkesten yardımını ve ilgisini esirgemeyen Arş.Gör. Cem AKGÜNER'e, yardımlarından dolayı Arş.Gör. Saadet BERİLGİN'e, laboratuvar görevlileri teknisyen Erhan EROL'a, Ali YÜKSEL'e ve emeği geçen herkese içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Limanlardan, akarsu ve göl yataklarından taranan sulu çamurların karada depolanması durumunda uzun süreli konsolidasyon veya desikasyon davranışının incelenmesi zemin mekaniğinin önemli güncel araştırma konuları arasında yer almaktadır. Bu çalışmada, Haliç Islah Projesi kapsamında Haliç'ten taranan ve yaklaşık 5 km. uzaklıktaki bir çamur barajına hidrolik olarak iletilen sulu çamurların davranışını modellemek için gerekli bazı parametrelerin deneysel olarak araştırılması amaçlanmıştır. Çamur depolama sahalarının tasarımı, ıslahı ve rekreatif düzenlemeleri için konsolidasyon davranışının incelenmesi yanında, yüzeyinde kabuk oluşması ve mukavemet kazanımının da modellenmesi gerekmektedir.

Haliç'ten taranan sulu çamurdan alınan örnekler farklı koşullarda kurutularak büzülme ve desikasyon özellikleri deneysel olarak araştırılmış, ayrıca kurutulmuş bu örneklerin drenajsız kayma mukavemeti değişik deneysel yöntemler ile belirlenilmeye çalışılmıştır. Sulu çamur örnekleri laboratuvar koşullarında kendi halinde, rüzgar etkisi altında ve yüzeyleri fosfojibs ve tüf tozu ile kaplanarak kurumaya bırakılmıştır. Drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için veyn, düşen koni ve yükleme deneyleri uygulanmıştır. Kurumaya bağlı su muhtevası azalması ile arttığı saptanan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin, kendi halinde kuruyan numunelerde noktasal olarak ve derinlikle fazla değişiklik göstermediği belirlenmiş, bu koşullarda numunelerin yüzeylerinde oldukça uniform fakat fazla sert olmayan bir kabuk oluştuğu gözlenmiştir. Rüzgarla kurutulan numunede ise sert fakat heterojen bir kabuk oluştuğu gözlenmiştir. Bulamaç numunelerin yüzeylerine fosfojibs ve tüf serpilmesinin buharlaşmayı engellediği ve kabuk oluşumunu yavaşlattığı belirlenmiştir. Uygulanan deney yöntemleri ile belirlenen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin veyn ve koni deneyleri için birbirine oldukça yakın olduğu, bunun yanında, yükleme deneylerinden dolayı olarak belirlenen değerlerin daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu durumda noktasal olarak belirlenen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin taşıma gücünü kontrol eden ortalama bir değeri temsil etmediği sonucuna varılmıştır.

Haliç sulu çamur örnekleri üzerinde yapılan serbest büzülme deneylerinden büzülme boşluk oranının 1.33 olduğu ve ön yüklemeye maruz kalıp kalmamasından fazla etkilenmediği saptanmıştır. Bulamaç ve aşırı konsolide zemin numunelerinin büzülme esnasında genelde izotropik büzülme şekil değiştirmesi gösterdiği gözlenmiştir. Serbest düşey ve yanal şekil değiştirme oranlarını tanımlamakta kullanılan α - fonksiyonu'nun boşluk oranı ile değişimi deneysel olarak belirlenmiş ve serbest şekil değiştirmelerin izotropik olduğunu varsayan küçük şekil değiştirme teorisine dayanan bir modelden hesaplanan değerler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak ve hesapla belirlenen değerler arasında bulamaç numuneler için oldukça iyi bir uyum olduğu, aşırı konsolide numuneler için ise elde olunan değerlerin birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir.

Bu çalışmanın sonucunda, Haliç'ten taranan sulu çamurun depolandığı alandaki yumuşak zemin çökellerinin uzun süreli davranışının incelenmesi için gerçekleştirilmesi yararlı görülen ilave çalışmalar hakkında tavsiye ve öneriler geliştirilmiştir.

ABSTRACT

Investigation of long term consolidation and desiccation behavior of soil slurries dredged from harbors, rivers and lakes is one of the major research topics in soil mechanics. In this study, the experimental investigation of some parameters needed to model the behavior of sea bottom sediments dredged from the Golden Horn and pumped via a pipeline to a confined land disposal site, as part of the Golden Horn Rehabilitation Project, is aimed. In the design and planning of disposal sites for dredged materials, and for the stabilization and capping for recreative purposes of such sites, in addition to investigation of consolidation behavior of dredged slurries, the modelling of surface crust formation and shear strength gain with time is known to be very important.

The dredged slurry samples from Golden Horn are left for drying under variable conditions and their shrinkage and desiccation behavior are experimentally investigated. In addition, the undrained shear strength of the dried samples are investigated with different experimental techniques. Slurry samples are left for drying under laboratory conditions and also under the influence of wind action generated by a ventilator. Also, the surface of some of the samples are covered with phosphogips and tuff powder prior to drying under laboratory conditions. Laboratory vane, falling cone and loading tests are employed to determine the undrained shear strength of dried samples. The undrained shear strength values, which are determined to increase with decrease in water content due to evaporation, are observed not to vary much from point to point or with depth for samples left for drying under laboratory conditions, and it is observed that in such prepared samples a rather homogeneous but not very stiff surface crust has formed. On the other hand, when the samples were dried under wind action, a stiff but nonhomogeneous surface crust is observed to be formed. The spraying of phosphogips or tuff powder inhibited the evaporation and surface crust formation, and led to very low values of undrained shear strength. Amongst the different types of tests used to determine the undrained shear strength, vane and falling cone tests are observed to give rather comparable results, whereas the values obtained indirectly from the loading tests turned out to be much lower. It is concluded that, undrained shear strength values determined locally does not seem the

give a representative average value valid for assessing the bearing capacity of samples under investigation.

From the free shrinkage tests performed on samples dredged from Golden Horn sea bottom sediments, the shrinkage limit void ratio is determined to be 1.33 on the average, and it is not affected very much from whether the sample is preloaded or not. It is observed that, both slurry and preloaded samples generally have undergone isotropic shrinkage. The α -function which is utilized to characterize the ratio of free vertical and lateral strains and its variation with the void ratio is experimentally determined and compared with the values calculated from a relationship based on the assumption that free shrinkage strains are isotropic and small strain theory is valid. For the slurry samples, a rather good agreement is observed between experimental and calculated values, but for overconsolidated samples the results are observed to be far from being in agreement with each other.

As a result of this study, some recommendations are developed for future research regarding the investigation of long term behavior of dredged Golden Horn sea bottom sediments at the disposal site.

BÖLÜM I

GİRİŞ

Madencilik ve liman tarama işlemlerinde çok ince likit ile yarı likit karışımlar şeklinde önemli miktarda yumuşak atık zemin bulamaçları ortaya çıkmaktadır. İstanbul'da hızlı nüfus artışı, şehirleşme ve sanayinin yoğun olduğu Haliç bölgesinde atık suların arıtılmadan akarsulara ve denizlere verilmesi, son elli yılda Haliç'te ciddi sağlık, estetik ve kirlenme sorunlarına yol açmış ve Haliç Islah Projesi kapsamında dipsel çamurların taranmasına karar verilmiştir. Kapsamlı laboratuvar ve arazi incelemelerinden sonra geoteknik ve çevre kirlilikleri meydana getirilmeden Haliç çamurundan beş milyon metre küp tortu taranmıştır. Taranmış çamurlar 5 Km mesafedeki eski taşocakları alanlarına boru hatları ile hidrolik olarak nakledilmiş ve orada oluşturulan bir çamur barajında depolanmıştır. ABD'nin su yollarından da, yılda, yaklaşık dört yüz milyon metre küp tortu taranmaktadır (Poindexter vd., 1988). Bu yumuşak atıklar (veya yumuşak zeminler), yüksek su muhtevası, yüksek kompresibilite, düşük permeabilite, ve düşük mukavemet özellikleri ile nitelendirilmektedir. Depolanmış taranmış sulu çamurların çökmesi ince danelerin sedimentasyonu ve tortu tabakalarının kendi ağırlığı altında konsolidasyonu şeklinde iki fazda meydana gelmektedir (Pane, 1985). Yumuşak atıkların densifikasyonu ya yerleştirme anında veya sonradan, (1) depolama alanının kapasitesini artırmak, (2) depolama alanı stabilize etmek, (3) dolgu kapasitesi bitmiş sahaların rekreatif düzenlemeleri için gerekmektedir. Çeşitli densifikasyon teknikleri (John vd., 1977; Mitchell, 1988) tarafından rapor edilmiştir.

Depolama alanının boyutları ve atıkların miktar ve özelliklerine bağlı olarak sedimentasyon fazı bir kaç gün ile bir kaç hafta sürerken, kendi ağırlığı altında konsolidasyon fazı uzun yıllar sürmektedir (Liu, 1990).

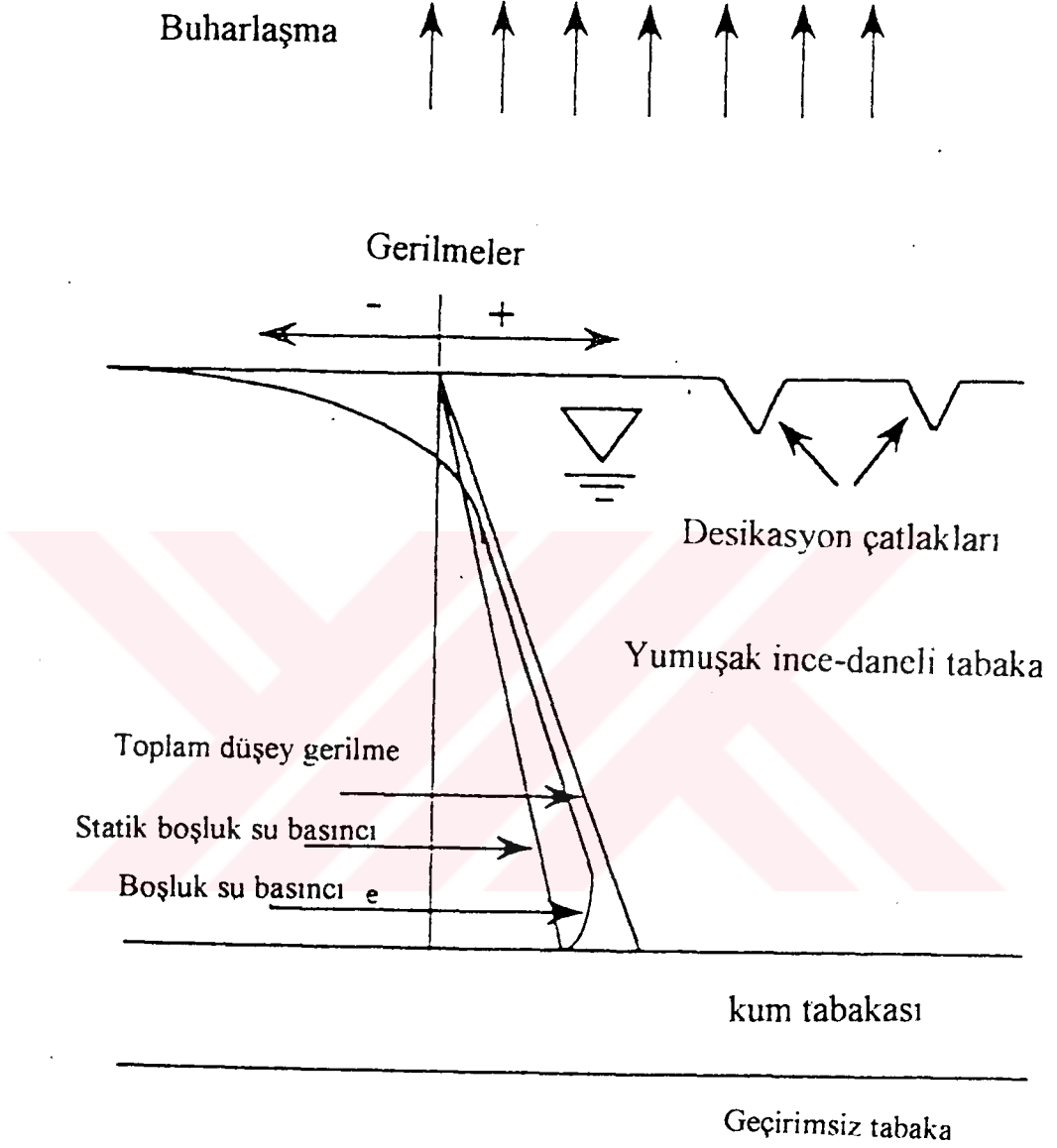
Yumuşak atıkların bulamaç halinde yerleştirme anında ve densifikasyondan önce depolama alanının geometrisi Şekil 1.1'de gösterilmektedir. Yeraltı su seviyesi başlangıçta yüzeyde olmaktadır. Zemin, bir yumuşak ince daneli atık tabaka ve kumlu alt drenaj tabakasından oluşmaktadır. Yerleştirme anında, Şekil 1.1'de gösterildiği gibi herhangi bir derinlikte düşey gerilmeler boşluk suyu basıncına eşit olmaktadır. Bundan dolayı, herhangi bir derinlikte başlangıçtaki efektif gerilmeler sifira eşit olmaktadır. Kendi ağırlığı altındaki konsolidasyon,

boşluk suyu basıncı ve statik boşluk suyu basıncı arasındaki farktan dolayı başlamaktadır. Sonuç olarak, serbest su zemin tabakasından yüzeye ve drenaj tabakasına sızmaya başlamaktadır. Buharlaşma hızı, kendi ağırlığı altındaki konsolidasyondan dolayı meydana gelen yüzeydeki Darcy su hızını aştığı zaman zeminin desikasyonu başlamakta ve yeraltı su seviyesi kademeli olarak düşmektedir. Yüzeyin kurumasından dolayı desikasyonun devam etmesi ile beraber, yüzey oturması artmakta ve Şekil 1.2’de gösterildiği gibi, çatlaklar kuru yüzey kabuğu oluşturmaya başlayarak aşağıya doğru yayılmaktadırlar. Oluşan kabuğun kalınlığı zamanla artmakta ve nihai kalınlık iklim durumu ve son yeraltı su seviyesinin durumuna bağlı olmaktadır. Blight’a (1988) göre, yüzey kuruması depolanmış atıkların boşluk oranını azaltmakta ve depolama havuzlarının kapasitesini artırmaktadır. McNeilan ve Skagss (1988) Los Angeles’te bir hidrolik dolgu alanı ile ilgili gözlemlerini şöyle ifade etmektedirler: yerleştirme anında başlangıç kalınlığı yaklaşık 12 m olan dolgunun en yumuşak alanında 1.8 m yüzey oturması gözlenmiştir, ve 1.5 m genişliğinde ve 1.8 m derinlikte ortogonal desikasyon çatlaklar meydana geldiği gözlenmiştir. Mitchell’a (1988) göre yüzey kuruması çok uzun sürmekte ve onun etkisi zemin tabakasının üst kısmı ile sınırlı kalmaktadır.

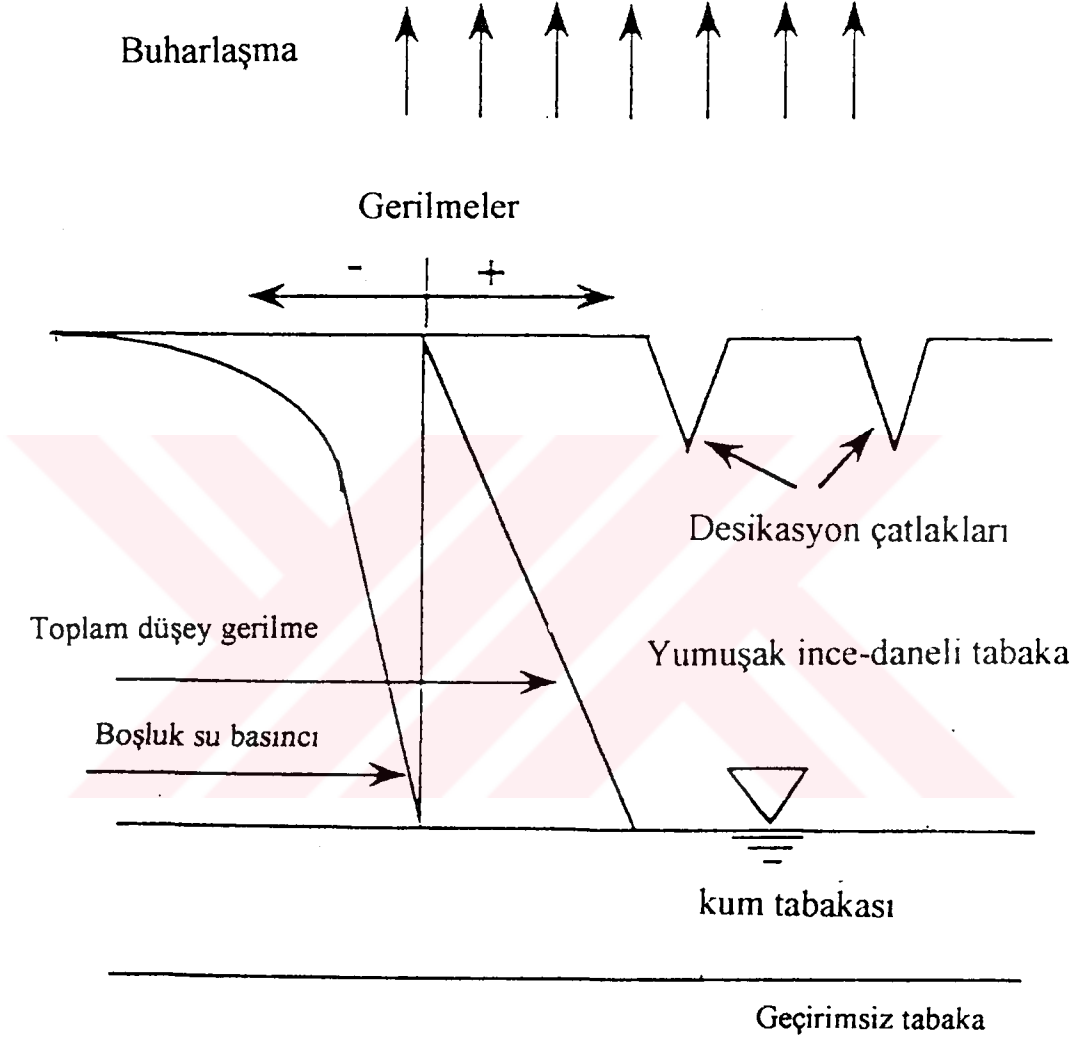
Yumuşak atıklar yerleştirilmeden önce yerleştirilen alt-drenaj tabakası zemin tabakasının suyunu alarak konsolidasyon ve desikasyonu hızlandırmakta ve depolama alanın daha sonraki arazi kullanımına uygun hale getirmek için stabilize etmektedir. Bir büyük depolama alanında yeraltı su seviyesinin düşürülmesi için, alt-drenaj tabakalarından suyu uzaklaştırılabilmek amacıyla toplayıcı borular sağlanmalıdır (Johnson vd., 1977). Şekil 1.3’te gösterildiği gibi, efektif gerilmelerin artması, yeraltı su seviyesinin alt drenaj tabakasının yüzeyine doğru düşmesiyle ilerlemektedir.

Kendi ağırlığı altında konsolidasyon, yeraltı su seviyesinin düşmesi ve yüzey kurumasından dolayı, başlangıçtaki boşluk suyu basıncı azalmaktadır. Bu üç işlemten dolayı, herhangi bir zemin elemanının davranışını incelemek için, bu çalışmada aşağıdaki terimler kabul edilmektedir:

- Boşluk suyu basıncı pozitif olduğunda, herhangi bir zemin elemanının davranışı " tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon "olarak nitelendirilmektedir.



“Őekil 1.2”. Yūzey kurutmasıyla depolama alanı (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)



“Şekil 1.3”. Yüzey kurutması ve yeraltı-su seviyesinin düşmesiyle depolama alanı
(Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

- Herhangi bir derinlikte boşluk suyu basıncı negatif olduğunda ve o derinlikteki düşey çatlaklar ilerlememiş ise, zemin davranışı "tek-boyutlu büzülme altında desikasyon" olarak nitelendirilmektedir.
- Herhangi bir derinlikte boşluk suyu basıncı negatif olduğunda ve o derinlikte düşey çatlaklar ilerlemiş ise, zemin davranışı "üç-boyutlu büzülme altında desikasyon" olarak nitelendirilmektedir.

•

Konsolidasyon ve desikasyona uğrayan yumuşak zemin depolama alanlarının analizinde:

(1) değişik zamanlarda düşey oturmaların, (2) değişik zamanlarda çatlakların hacmi ve derinliklerinin, (3) değişik zamanlarda kayma mukavemetinin dağılımının tahmini gerekmektedir. Bölüm II'de detaylı olarak sunulacak olan, literatür incelenmelerinden, desikasyona uğrayan yumuşak zemin depolama alanlarının analizi çalışmalarının sonuçlarının aşağıdaki şekilde özetlenebileceği anlaşılmaktadır.

- Desikasyonun analizi için literatürde mevcut olan modeller ampirik veya yarı-ampirik olmaktadır. Örneğin, Gareth vd. (1992) yüzey kurumasından dolayı sedimantasyon ve konsolidasyonun tek-boyutlu modelini sunmuşlardır. Bu model, zemin tabakasının üniform su muhtevası dağılımına sahip olması gibi bir varsayımdan dolayı özel ve yarı-ampirik olmaktadır.
- Üç-boyutlu büzülme altında desikasyon için az sayıda ve basit bazı modeller (Bronswijk, 1985) sunulmuştur. Bu modeller, sadece küçük deformasyonların meydana geldiği ve düşey gerilmelerin etkisinin ihmal edilebileceği nispeten sert zeminlerde uygulanabilmektedir. Yalnız, bu tür modellerin yumuşak zeminlerin üç boyutlu büzülmelerine uygulanmaları mümkün olmamaktadır, zira bu durumda büyük deformasyonlar meydana gelmekte ve düşey gerilmelerin etkisi önemli olmaktadır.
- Desikasyon çatlakları üzerindeki çalışmaların bir çoğu çatlak niteliğine bağlı olup, tek-boyutlu büzülme altında desikasyondan üç-boyutlu büzülme altında desikasyona geçmek için desikasyon çatlakları analizleri ile uyumlu modeller bulunmamaktadır.
- Literatürde, yumuşak zeminlerin desikasyonu esnasındaki bünyesel ilişkiler açıklanmamaktadır.

Bu araştırmada, daha 6nceki araştırmaların bulguları ışığında, desikasyon işlemi esnasındaki zeminlerin davranışını tahmin edebilmek için Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından Speswhite Porselen Kili üzerinde yapılan çalışmalara dayanarak geliştirilmiş bir teoriden yararlanarak, Haliç'ten taranmış sulu çamurun depolama alanındaki davranışını incelemek amaçlanmıştır.

Bu tezin içeriği ř6yle düzenlenmektedir. B6lm II, zemin büzülmesinin modellenmesi ve zeminin desikasyon çatlakları üzerindeki 6nceki çalışmaların incelenmesini içermektedir. B6lm III'te yumuşak zeminlerin desikasyonunu modellemek için 6nerilen teori açıklanmaktadır.

Deneysel alışmalar ve sonuçları B6lm IV'de sunulmaktadır. B6lm V'te, deneysel sonuçların değerlendirilmesi ve Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından Speswhite Porselen Kili üzerinde yapılmış deney sonuçları ile karşılaştırılması yapılmaktadır. B6lm VI'de, 6zet, sonuç, ve tavsiyeler verilmektedir.

BÖLÜM II

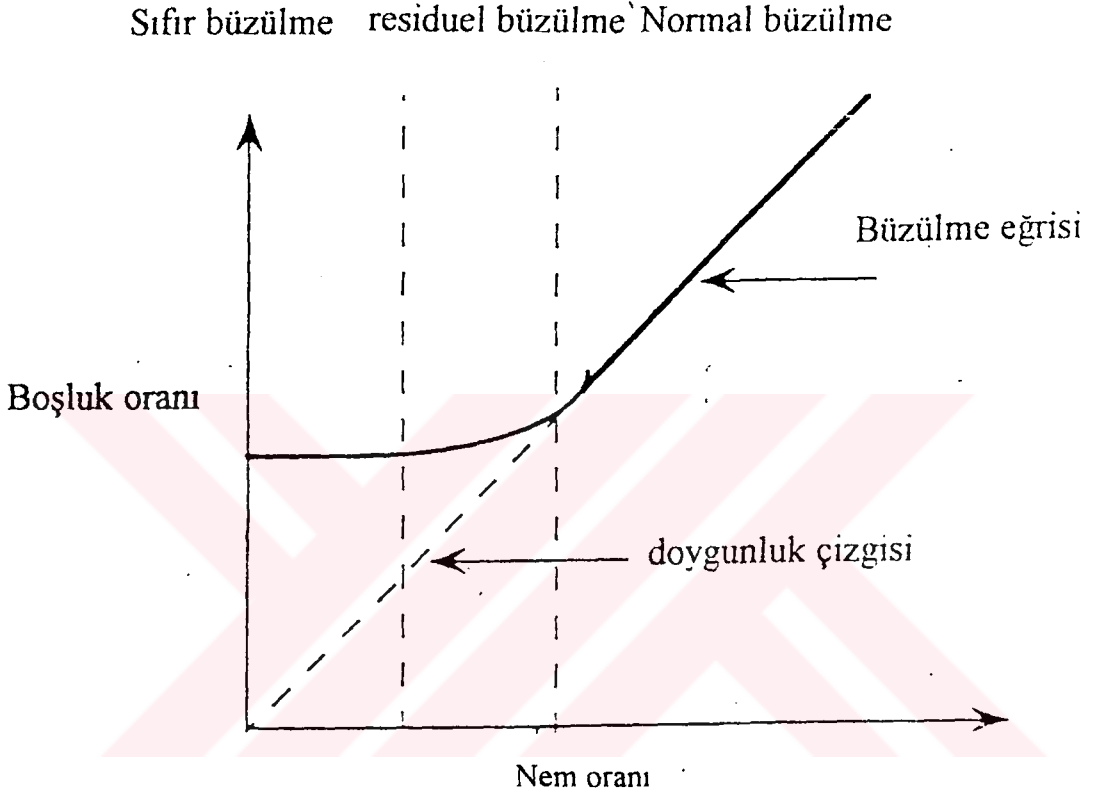
LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1 Zeminin Büzülmesi

Killi zeminler, kendilerini kaolinit, illit, veya montmorilonit gibi kil minerallerin bulunmasıyla diğer zeminlerden ayırtmaktadırlar. Kil daneleri kil kristallerinin parçalanması sonucu oluşan ince plakalardan meydana gelmektedir. Bu plakaların etrafı su ile sarılı bulunmaktadır. Desikasyona kadar, kuruma sonucu plakalar birbirine yaklaşmaktadır. Bu işlem zemin agregasının büzülmesine neden olmaktadır.

Zeminin büzülmesi ile su muhtevası arasındaki ilişki Bronswijk (1988) tarafından "büzülme eğrisi" ile açıklanmaktadır. Büzülme eğrisinin genel formu Şekil 2.1'de gösterilmekte, nem oranı su hacminin dane hacmine oranına, ve aynı şekilde gösterilen doygunluk eğrisi boyunca boşluk oranı nem oranına eşit olmaktadır. Zeminden çıkan su ile beraber meydana gelen zemin büzülmesi üç faza ayrılmakta, bu fazlar normal, residuel, ve sıfır büzülme olmaktadır (Bronswijk, 1988). Normal büzülme, kaybolan su hacmi zemin hacmindeki değişikliğine eşit olduğunda meydana gelmektedir. Residuel büzülme, zemin hacminin azalması desikasyondan dolayı kaybolan su hacminden daha az olduğunda meydana gelmektedir. Sıfır büzülmede, desikasyondan dolayı zemin herhangi bir hacim değişikliği göstermemekte, rijit olarak davranmaktadır. Genel olarak, yüksek su muhtevsındaki zemin nem oranının geniş bir aralığında normal büzülme göstermekle beraber, düşük kil muhtevsındaki zemin daha fazla reziduel büzülme göstermektedir (Bronswijk, 1988). McGarry ve Malafant (1987) büzülme eğrisini açıklamak için, literatürde mevcut olan modeller ile ilgili bir ayrıntılı karşılaştırma rapor etmişlerdir.

Literatürde mevcut olan gözlemler belirli su muhtevasına kadar tek-boyutlu büzülme üç-boyutlu büzülmenin izlediğini önermektedir, yani, eşit düşey ve yanal büzülme şekil değiştirmeleri meydana gelmektedir. Fox (1964) normal büzülmenin nem oranının geniş aralığında devam ettiğini ifade etmiştir. Residuel büzülme daha düşük nem oranında (zemine giren hava yaklaşık 1000 kPa emme ile) başlamıştır. Daha yüksek su muhtevsında, yüzde



“Şekil 2.1” Büzülme eğrisinin genel formu (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

46 su muhtevasına kadar, tek-boyutlu düşey büzülme yi üniform üç-boyutlu büzülmenin izlediğini ifade etmiştir.

Kuruma sonucu büzülme miktarı, kil minerallerin tip ve yüzdesi, zemin dokusunun sıralanması, başlangıç su muhtevası, ve etkiyen basınç gibi faktörlere bağlanmaktadır (Mitchell, 1976). Zeminin plastisitesi artıka büzülme miktarı artmaktadır. Kil minerallerinin kaolinit, illit, ve montmorilonit yönünde artması ile beraber zemin büzülmesi artmaktadır. Aynı başlangıç su muhtevasında dağınık yapıya sahip kil topaklanmış yapıya sahip olan kilden daha fazla büzülme göstermektedir.

2.2. Zeminlerin Desikasyon Çatlakları

Kuruma çatlaklarının çekme gerilmelerinin zeminin çekme mukavemetini aşması sonucu meydana geldiğini kabul etmek mantıklı olmaktadır. Bu çekme gerilmeleri zemin büzülmesinden dolayı ortaya çıkmaktadır. Kurutulan zeminin mukavemet karakteristikleri ile ilgili olarak zemin biliminde ve zemin literatüründe az miktarda bilgi bulunmaktadır. Zeminlerin desikasyonu esnasındaki çekme mukavemeti ve çekme gerilmeleri ile deformasyonların oluşması üzerinde literatürdeki bulguların özeti bu bölümde açıklanmaktadır.

Desikasyon esnasındaki çekme mukavemeti ve kohezyon, zemin bilimi araştırmacıları tarafından zemin emmesine bağlanmıştır. Örneğin, desikasyona uğramış zeminlerin danelerinin, negatif boşluk suyu basıncı ve hava-su iç yüzeyleri boyunca yüzey çekme kuvvetleri ile bir arada tutulması, Fisher ve Haines tarafından yapılan çalışmanın temel düşüncesini oluşturmaktadır (Snyder ve Miller, 1985). Kemper vd. (1984) desikasyona uğrayan doygun olmayan zeminlerde kohezyon oluşması için iki mekanizma önermektedir: emme ve çekme mekanizması. Desikasyonun erken aşamalarında, kohezyon su emmesine bağlanmış, ve desikasyonun son aşamasında, killi zeminlerde oluşan artık kohezyon, zemin daneleri arasındaki çekici kuvvetlere atfedilmiştir

Nearing vd. (1988), serbest basınç mukavemeti ve çekme mukavemeti üzerinde emmenin etkisini araştırmışlardır. 64 kPa'daki emmeye karşı gelen serbest basınç mukavemeti, 4 kPa'daki değere karşı gelenden beş katı kadar büyük olmaktadır. Çekme mukavemeti ve

emme arasında bir doğrusal ilişki önerilmiştir. Farrel vd. (1967) deneysel sonuçlara göre çekme mukavemetinin su muhtevasının artmasıyla beraber üssel bir şekilde azaldığını önermektedir. Ayrıca, Williams vd. (1992), Johannasen'in (1914) çekme mukavemetinin nem muhtevasının azalmasıyla üssel olarak arttığını bulduğunu rapor etmişlerdir. Çatlak derinliği için Lau ve Fredlund (1991) tarafından önerilen analizlerde, çekme mukavemeti serbest basınç mukavemetine bağlanmıştır.

Çekme mukavemeti ve sıkıştırılmış zeminlerin göçme anındaki şekil değiştirmelerinin doğrudan ölçümleri (Krishanya vd., 1974; Ajaz ve Parry, 1975; Hjeland vd., 1980) taraflarından yapılmıştır. Bu ölçümler direkt çekme, ve indirekt (Brazilian) çekme mukavemeti deneyleri kullanılarak yapılmıştır. Numuneler optimum su muhtevasında hazırlanmışlardır. Deney sonuçları; göçme anındaki çekme şekil değiştirmelerinin (maksimum çekme gerilmesinde belirlenir) yoğrulma su muhtevasının artmasıyla birlikte arttığını ve yüksek plastisiteli zeminlerin düşük plastisiteli zeminlerden daha esnek olduğunu göstermektedir. Ajaz vd. (1975) direkt ve indirekt çekme mukavemeti deneylerinin uygulanmasıyla beraber çekme mukavemetinin deney tipi ve yükleme oranlarıyla değiştiği sonucuna varmışlardır.

Zeminin herhangi bir noktasında emme değişikliklerine bağlı olan net şekil değiştirmeler iki kısımdan oluşmaktadır (Zoukaghe, 1985). Birinci kısım sadece emme değişikliğinden kaynaklanmakta ve “serbest şekil değiştirme” olarak tanımlanmaktadır. İkinci kısım ise toplam gerilme değişikliklerine bağlanmakta ve “mekanik şekil değiştirme” olarak tanımlanmaktadır. İzotropik ve lineer elastik malzemeler için, x-yönünde net yatay şekil değiştirme, ϵ_{xx} , şu şekilde verilmektedir:

$$\epsilon_{xx} = -\beta u + \frac{1}{E} (\sigma_{xx} - \mu (\sigma_{zz} + \sigma_{yy})) \quad \text{“2.1”}$$

σ_{zz} , σ_{xx} , ve σ_{yy} sırasıyla z, x, ve y yönünde toplam gerilmeler, E ve μ sırasıyla drenajlı elastik Young modülü ve Poisson oranı; u emme; ve β sıkışma katsayısı olmaktadır.

(2.2) eşitliğinin sağındaki birinci terim serbest şekil değiştirmeleri, ve ikinci terim mekanik şekil değiştirmeleri göstermektedir. Efektif gerilme prensibinin kullanılmasıyla, x-yönündeki net şekil değiştirmeler efektif gerilmeye şöyle bağlanmaktadır:

$$\varepsilon_{xx} = \frac{1}{E} (\sigma'_{xx} - \mu(\sigma'_{zz} + \sigma'_{yy})) \quad \text{"2.2"}$$

σ'_{zz} , σ'_{xx} ve σ'_{yy} sırasıyla z, x, ve y yönünde efektif gerilme değerleri. "2.1" ve "2.2"

eşitliklerini varsaymakla $\beta = \frac{1-2\mu}{E}$ olarak ifade edilmektedir. Serbest büzülme deneyi

durumunda, zemin numunesi herhangi bir sınırlama tabii olmadan kurutmaya bırakılırsa, net şekil değiştirmeler serbest şekil değiştirmelerine eşit olmaktadır. Sürtünmeli büzülme deneyi durumunda, bir yüzeyi sınırlanmış zemin numunesinin kurumasiyla beraber, mekanik çekme şekil değiştirmeleri oluşmakta ve bu şekil değiştirmeler çekme şekil değiştirmeler veya toplam yanal gerilmeler çekme mukavemetine ulaştığında, çatlaklar ortaya çıkmaktadırlar.

Corte ve Hgashi (1964) tarafından yapılmış öncü çalışmalar zeminin desikasyon çatlaklarının incelemesinde en değerli kaynak olmaktadır. Cort ve Higashi (1964) serbest büzülme ve sürtünmeli büzülme deneyleri yapmışlardır. Ayrıca, değişik su muhtevastaki elastik Young modülünü de tahmin etmişlerdir. Sürtünmeli büzülme deneylerinde bu deneysel sonuçlar çatlak başladığında toplam yanal çekme gerilmeleri tahmininde şu şekilde kullanılmaktadır: çatlak başladığında çatlama gerilmesi (yani, göçme anında toplam yanal gerilme), zemin numunesinin hareketi taban sürtünmesiyle sınırlamamakla beraber meydana gelen serbest yanal şekil değiştirmeler, çatlama su muhtevastında tahmin edilen elastik Young modülü ile çarpılmakla elde edilmektedir. Bu serbest yanal gerilmeler serbest büzülme deneyi sonuçlarından tahmin edilmektedir. Cort ve Higashi (1964) göçme anında yanal toplam çekme gerilmelerin desikasyon oranının artmasıyla arttığını bulmuşlardır. Desikasyon oranı zamana göre boşluk oranının türevi olarak tanımlanmaktadır.

Briones ve Uehara (1977) Griffith'in gevrek kırılma teorisini kullanarak beraber zeminin desikasyon çatlamasını incelemişlerdir.

Sıkıştırılmış zeminlerin desikasyon çatlamaşı Kleppe (1981) tarafından incelenmiştir. Arazideki kil kaplamanın yanal sınır koşullarını modelleyebilmek için, zemin numunesi düşey uçlu kenetlerle sınırlanmaktadır (Şekil 3.4d). Lau (1987) taban sürtünmesiyle yanal sınırlamaları sağlayan sürtünmeli büzülme deneyleri yapmıştır. Deneysel çalışmalarında çoğu zeminlerin çatlama anındaki hacimsel şekil değiştirmelerinin %7 civarında ve çatlama anındaki emme basıncının 10 kPa'dan az olduğunu saptanmıştır.

Lau (1987) zemin-çimento karışımları üzerindeki çalışmalarını ve çatlama büzülmeleri ile ilgili gözlemlerini özetlemiştir. Kil yüzdesinin artmasıyla çatlakların yoğunluğunun arttığını ve buharlaşma oranının artmasının büyük çatlamalara neden olduğunu ifade etmiştir.

2.3 Büzülme Çatlakları: Derinlik, Aralık ve Yüzey Şekilleri

Büzülme çatlakları derinlik, aralık, ve yüzey şekilleri karakteristikleri ile nitelendirilmektedirler. Bu karakteristiklerin ayrıntılı ölçümleri jeologlar ve zemin bilim adamları tarafından araştırılmıştır.

Lachenbruch (1961-1962) don bölgesinde büzülme çatlaklarının ilerlemesi araştırmış ve çatlak derinliği ve çatlak aralığı için çözüm vermiş, ve büzülme-çatlak poligonunun tiplerini belirlemiştir. Griffith'in gevrek kırılma teorisinin düzeltilmiş tanımlamasına dayanarak, Lachenbruch çatlak derinliği için tahminli çözüm öne sürmüştür. Düzlemsel değiştirme problemindeki uzun çatlak için, Lachenbruch, çatlak çevresindeki gerilme dağılımı için çatlamaadan sonra çatlak duvarındaki gerilme boşalmasından dolayı, lineer elastisite teorisine dayanarak yaklaşık bir çözüm geliştirmiştir. Bu çözüm, gerilme boşalması bölgesinin genişliğine bağlanmasıyla çatlak aralığının tahmininde kullanılmıştır. Lachenbruch (1961) ortamın gevrek olduğu don bölgesinde çatlağın derinlik ve alanı için mantıklı nümerik sonuçlara varmasına rağmen, zeminin plastisitesinden dolayı, teorisinin, zeminin desikasyon çatlakları için sadece niteleyici olarak kabul edilmesini önermiştir. Ayrıca, Lachenbruch (1962) zeminde oluşan poligon şeklindeki çatlak dağılımları için çatlak aralığının zeminin homojen olmamasına ve zayıf bölgelerin dağılımına bağlı olduğunu ifade etmiştir. Üstelik, Lachenbruch (1961) yağmurdan sonra oluşan hızlı desikasyonda, yüzeysel çekme

gerilmelerini boşaltan sıg, kapalı-alanlı çatlakların ilerlediğini ifade etmiştir. Daha derin çatlaklar, daha geniş alanlı olmakta ve mevsimsel desikasyon göstermektedir

Lachenbruch (1962) çatlakların iç kesit açlarına dayanarak, don bölgesinde iki değişik türde (ortgonal ve ortogonal olmayan) büzülme-çatlak poligonları tanımlamıştır:

- Ortogonal sistemde, çatlaklar birbirine göre dikey olması çatlaklardan birinin diğerlerinden daha önce oluştuğunu göstermektedir. Önce düşük mukavemet veya yüksek gerilme konsantrasyonlarının olduğu yerde çatlaklar oluşmakta, gerilmelerin kademeli olarak gelişmesiyle homojen olmayan veya plastik ortamların karakteristikleri oluşmaktadır. Bu tür çatlaklar birincil çatlaklar olarak düşünülmektedir. Maksimum gerilme boşalmasının birincil çatlaklara paralel düzlemlerde meydana gelmesinden dolayı, ikincil çatlaklar, birincil çatlaklara dikey yönde olan maksimum çekmeye dikey yönde yayılmaktadır. Bu durumda poligonların boyutları, çekme gerilmesinin büyüklüğü ve tek çatlakların gerilme boşalma bölgesinin şekline bağlı olmaktadır.
- Ortogonal olmayan sistemde çatlakların iç kesiti normalde 120 derecelik açı oluşturan üç çatlama elemanından oluşmaktadır. Bu iç kesitin elemanları aynı zamanda yayılmaktadırlar. Çatlakların yayılma hızı uygulanan çekme ve çatlak uzunluğu ile artmakta, gevrek malzemelerde yüksek ve plastik malzemelerde düşük olmaktadır.

Cort ve Higashi (1964) zemin çatlamaı üzerinde en mükemmel deneysel çalışmalardan birini gerçekleştirmişlerdir. Zemin numuneleri 60×84×7 cm ve 87×122×15 cm kutularda hazırlanmıştır. Zemin numunelerinde çatlaklar oluşuncaya kadar kutu duvarlarının etkisini önleyebilmek için boyutlar genellikle yeterince büyük tutulmaktadır. Bu deneysel sonuçlar şöyle özetlenmektedir:

- Zemin numunesi ince olduğunda, çatlaklar birbirleri ile yaklaşık 120 derecelik altıgen oluşturarak yayılmıştır. Zemin numunesinin kalınlığı daha fazla olduğunda, ileri veya geriye doğru lineer olarak birincil çatlaklar yayılmıştır. Sonra, ikincil çatlaklar yayılarak birincil çatlakların arasında iç kesit açılarla köprüler yapmıştır.

- Çatlamadan sonra oluşan poligonların boyutu zemin numunesinin kalınlığının artmasıyla artmaktadır.
- Poligonun kenar sayısı zemin numunesinin derinliğinin azalmasıyla artmaktadır.
- Zemin çatlaması üzerinde kutuların inşasında kullanılan malzemenin etkisi de incelenmiştir. Bir cam kutudaki zeminin adhezyonu ahşap kutudakinden daha fazla, ve ahşap kutusundaki poligonların boyutları cam kutusunda bulunanlardan daha büyük olmaktadır.

Lau (1987) tarafından gerçekleştirilen deneysel programın sonucu Cort ve Higashi (1987) tarafından verilen deneysel sonuçlarla uyumlu olmuş ve ayrıca Lachenbruch(1962) tarafından plastik ortamlarda çatlakların ilerlemesi ile ilgili önerilen teorik tahminlerle de uyumlu oldukları gözlenmiştir. Lau (1987) çatlakların hiksogonal şekiller oluşturduğu şeklinde sıkça tekrarlanan ifadelerin gözlemlerle doğrulanmadığını belirtmiştir.

Lau (1987) ve Lau ve Fredlund (1991) zeminlerde çatlak derinliğinin tahmininde kullanılan iki matematiksel ifadeyi elde etmek için bir mukavemet kriteri kullanmışlardır. Birincisi elastik denge analizlerinden, ikincisi ise plastik denge analizlerinden yararlanmışlardır.

Elastik denge analizlerinde, çatlama bir hacim değişikliği problemi olarak düşünülmüştür. Plastik denge analizlerinde, çatlama bir kayma mukavemeti problemi olarak düşünülmüştür. Plastik denge analizleri ile tahmin edilen çatlak derinliğinin elastik denge analizlerinde tahmin edilen derinliğin hemen hemen iki katı olduğu bulunmuştur. Desikasyon çatlakları zemin hacminin azalması sonucu meydana geldiklerine göre, elastik denge analizleri çatlak derinliği tahmini için daha uygun bulunmuştur.

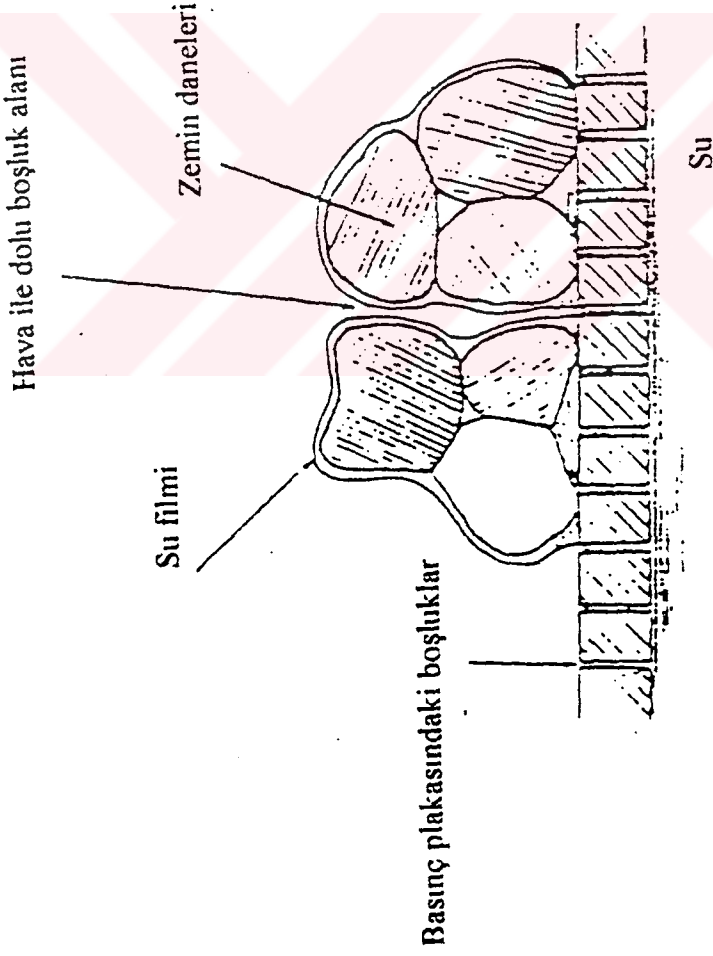
2.4 Zeminlerin Desikasyonunun Modellenmesi

Zeminin tek-boyutlu büzülme altında desikasyon için, bilim adamları tarafından geçerli temel denklem geliştirilmiş ve sıkışabilir zeminlerde sızma veya kuruma probleminin modellenmesinde kullanılmıştır (Giraldez, 1976). Bu geçerli temel denklem, zemin doygun kaldığı müddetçe sonlu konsolidasyon teorisi için (3.1 eşitliği ile ifade edilmiş) Gibson vd.(1967) tarafından elde edilen denkleme benzerdir. Gareth vd. (1992) tarafından

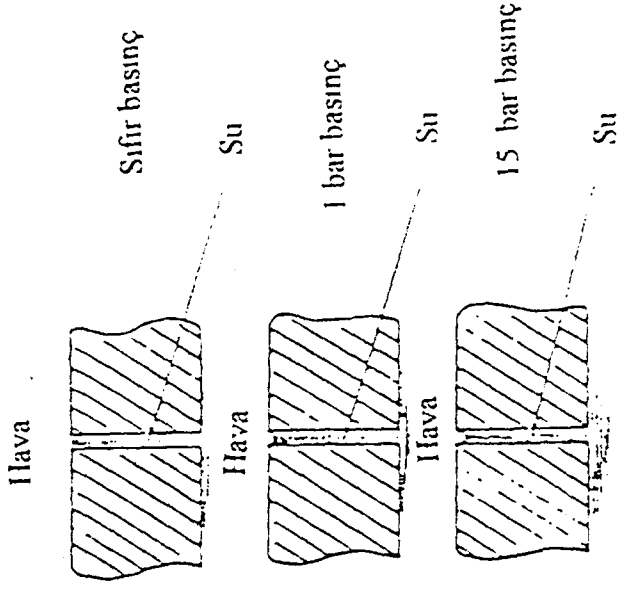
yüksek kil muhtevalı zeminlerin yüzey kurumasından dolayı sedimantasyon ve desikasyonu tek-boyutlu bir model ile tanımlanmıştır. Çeşitli varsayımlar içermesinden dolayı bu modelde kullanılan analizler yarı-ampirik ve özgül koşullarda geçerli olmaktadır, örneğin, zemin tabakasının üniform bir su muhtevası dağılımına sahip olduğu varsayılmaktadır WES modeli de (Cargill, 1985) ampirik temele dayanmakta ve sınırlı sayıda arazi koşullarında kullanılabilir.

Bir çok araştırmacı, üç-boyutlu büzülme altında desikasyonun modellenmesinde toplam gerilmeleri ihmal etmişlerdir. Miller(1975) çatlama zemin sütunlarının genellikle yanal yönde toplam yanal gerilmelerden serbest olduklarını önermiştir. Bronsijk (1988) su dengesi, çatlama, ve killi zeminlerin çökmeleri için bir model önermiştir. Bu modelde, her zaman kademesi esnasında, zemin tabakasının her derinliğinde nem muhtevasının değişikliği difüzyon denkleminde hesaplanmıştır. Her derinlikte nem muhtevası değişikliği belirlendikten sonra, büzülme eğrisinden ona karşı gelen boşluk oranı belirlenmiştir. Sonra, her derinlik için çökme ve çatlakların alanını tanımlamak için, tek-boyutlu büzülme altındaki desikasyon için üç'ten, üç-boyutlu desikasyon için bir'e kadar değişen bir faktör kullanılmıştır.

Jing (1989) değişik emme alanlarında ve durumlarında emme ölçümünde kullanılan deney tekniklerini özetlemiştir. Emme-su muhtevası ilişkilerini elde edebilmek için üç yaygın deney tekniği kullanılmıştır, bunlar basınç plakası, emme plakası ve basınç membranı olmaktadır. Basınç plakası tekniğinin esası, doymuş bir seramik plakası içinden hava geçmesine hiç izin vermeden korunabilen basınç değişikliğine dayanmaktadır. Şekil 2.2'de bu deneyin emme ölçümleri prensiplerinin krokisi gösterilmektedir. Bu teknikte, doymuş seramik plakası üzerine yerleştirilen zemin numunesi yüzeyine bir basınç regülatörü vasıtasıyla pozitif hava basıncı uygulanmıştır. Verilen herhangi hava basıncı için, zemin içindeki ince su tabakasının efektif eğilmesi basınç plakasındaki eşit oluncaya kadar, zemin suyu zemin danelerinin çevresinde basınç plakası içinden akmaktadır. Denge durumlarına ulaşıldığında, su akması durmaktadır. Hava basıncı arttığında, zemin suyunun akması, yeni denge durumuna ulaşmaya kadar yeniden başlamakta ve devam etmektedir. Her denge durumunda, zemin numunesi serbest su yüzeyi vasıtasıyla denge durumuna getirilmektedir. Bundan dolayı, hava



(a) Basınç plakası



(b) Basınç seramik plakasının içindeki Bir boşlukta hava-su içyüzeyinin eğrilme çapısının basınçla değişmesi

“Şekil 2.2” Emme ölçümlerinin temel krokisi (Jing, 1989)

basıncı ve boşluk suyu basıncının toplamı (yer çekimi katkısı ihmal edilerek) sıfır olmakta, bu nedenle zemin numunesindeki emme, uygulanan hava basıncına eşit olmaktadır. Çeşitli denge durumlarında su muhtevası ve emmenin ölçülmesiyle, emme-su muhtevası ilişkileri elde edilebilmektedir.

Emme plakası tekniği basınç plakası tekniğine eşdeğerdir. Emme plakası atmosferik basınçta tutulurken, plakanın tabanıyla temasta bulunan su vakum regülatörü vasıtasıyla çekmede tutulmaktadır. Basınç membran tekniğinde, seramik plakası yerine, 1500 kPa diferansiyel basınca kadar havanın girmesine mukavemet gösteren yeterince küçük boşluklara sahip bir selüloz membran kullanılmaktadır.

Fredlund (1961) Regina Kili için tüm kuruma aralığı için zemin emmesinin belirlemesini içeren bir test programı gerçekleştirilmiştir. Üç-boyutlu büzölmeye uğramış numunelerde emme deneyleri sonuçları ile karşılaştırma yapmış, tek-boyutlu sıkışmaya uğramış numunelerde konvansiyonel konsolidasyon deneyi uygulamıştır. Fredlund'un sonuçlarından bazıları şöyle özetlenmektedir:

- Doygun zeminlerde, doygunluk derecesi %100'e yakın kaldığı sürece emme ve tek boyutlu konsolidasyon deneyleri için bakir sıkışma hızı aynıdır.
- Emme deneyindeki sıkışma hızı tek-boyutlu konsolidasyon deneyinin sıkışma hızından daha az olmaktadır. Eşit permeablite katsayısı varsayarak, her iki deneyde konsolidasyon katsayısını ölçerek bu sonuçlar elde edilmiştir.

2.5 Literatürden Özet

Literatürden elde edilen sonuç şöyle özetlenmektedir:

1. Kil muhtevası arttıkça, desikasyon esnasında zeminin doygun kaldığı nem muhtevası aralığı artmaktadır.
2. Genellikle tek-boyutlu büzölmeyi takip eden üniform üç-boyutlu büzölme rapor edilmektedir.
3. Kil mineralleri kaolinit, illit, ve montmorillonit yönünde değiştiğinde büzölme artmaktadır.

4. Desikasyon çatlaması zemin büzülmesi sonucu meydana gelmektedir.
5. Su muhtevası azaldığında ve desikasyon hızı arttığında, çekme mukavemeti artmaktadır. Bilinen deneysel sonuçlar, çekme mukavemeti ve su muhtevası arasında üssel ilişki önermektedir. Çekme mukavemeti serbest basınç mukavemetine bağlanmaktadır.
6. Yeni deneysel çalışmalar zeminlerin desikasyon çatlamasını araŐtırırken ilk çatlakların oluşması ile birlikte oluşan hacimsel Şekil değiştirmelerin ve emmenin belirlenmesini amaçlanmaktadır.
7. Çeşitli araŐtırmacılar, zeminlerin desikasyon çatlamaları problemleriyle ilgili olarak çatlak yayılması ve durması için enerji kriterlerini kullanan kırılma mekaniğinin yeterli olmadığı sonucuna varmışlardır. Lau ve Fredund (1991) atlak derinliğinin tahmininde mukavemet kriterini kullanmıŐlar ve çatlak derinliğinin tahmininde elastik denge analizinin plastik denge analizinden daha uygun olduğu sonucuna varmışlardır, zira desikasyon çatlakları zemin hacminin azalması sonucu meydana gelmektedir.
8. Çatlak derinliğinin artması ve taban sürtünmesinin azalmasıyla birlikte çatlak aralığı artmaktadır. Çatlak aralığı büyük oranda zeminin homojen olmamasına ve zayıf zonların dağılımına bağlı olmaktadır.
9. Doğada, zeminlerde genellikle kesiiŐen ortogonal çatlaklar gözlenmektedirler.
10. Yüksek buharlaşma oranı sığ ve sık çatlamalara yol açmaktadır.
11. Desikasyon esnasında zemin doygun kaldığı müddetçe, tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasındaki geçerli temel denklem tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon esnasındaki geçerli temel denkleme benzemektedir.
12. Yumuşak zeminlerin desikasyon analizleri ile ilgili literatürde mevcut modeller ampirik olmaktadır. Üç-boyutlu büzülme altında desikasyonun analiz modelleri çok basitleŐtirilmekte, ve sadece küçük deformasyonların meydana geldiği ve düşey gerilmelerin etkisinin ihmal edilebildiği sert zeminlere uygulanabilmektedirler.
13. Tek-boyutlu büzülmeden üç-boyutlu bzlmeye geçmek için çatlama analizlerini birleŐtirilen bir modele ihtiyaç duyulmaktadır.
14. Desikasyon esnasında yumuşak zeminlerin sıkıŐabilirlik ve permeabilite fonksiyonları ile ilgili hiç bir model bulunmamaktadır.

15. Emme su muhtevası ilişkilerini hesaplamak için değişik emme deneyi türleri kullanılmaktadır, fakat, desikasyon esnasına sıkışabilen zeminlerin permeabilite ölçümleri için, literatürde deney teknikleri bulunmamaktadır.



BÖLÜM III

TEORİ

3.1 GİRİŞ

Bu bölümde, yumuşak zeminlerin tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyonunun modellenmesi ile ilgili bilgiler özetlendikten sonra desikasyonun modellenmesi için geliştirilmiş bir teori sunulmaktadır. Desikasyonu modellemek için geliştirilen teorinin üç temel varsayımı aşağıda sıralanmaktadır:

- Yumuşak zeminler desikasyon esnasında kurutulmuş zeminlerin büzülme boşluk oranına gelinceye kadar doygun kalmaktadırlar. Ondan sonra kurutulmuş zeminler rijit olur, ve davranışları bu teoride incelenmemektedir.
- Desikasyon işlemi üniform çatlak derinliği ve alanıyla sonuçlanmaktadır.
- Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon esnasındaki düşey deformasyon ve üç-boyutlu büzülme altındaki desikasyon esnasındaki düşey ve yanal deformasyonlar tek-boyutlu su akımından meydana gelmektedir.

Birinci varsayım deneysel olarak elde edilen büzülme eğrisi ile incelenebilmektedir. Bu varsayım Haliç çamuru için mantıklı bulunmaktadır. Literatür incelenmesinde geçtiği gibi, desikasyon esnasında doygunluk aralığı kil türüne bağlı olmaktadır. Yüksek plastisiteli killer nem muhtevasının geniş bir aralığı içinde doygun kalmaktadır. Bundan dolayı, bu varsayımın yüksek plastisiteli killer için geçerli olması beklenmektedir.

Zemin çatlaklarının derinlik ve alanının üniform olmadığı literatürde geçmektedir. Lachenbruch (1962) çatlak alanının, kusurların ve homojen olmamanın bir fonksiyonu olduğunu öngörmüştür. Deneysel çalışmalarda homojenliğin sağlanamaması büyük sayıda data gerektirmektedir. Genellikle, yumuşak zemin tabakaları homojen varsayılarak değişik yerlerdeki desikasyon çatlaklarının aynı anda başlayıp yayıldıkları düşünülmektedir.

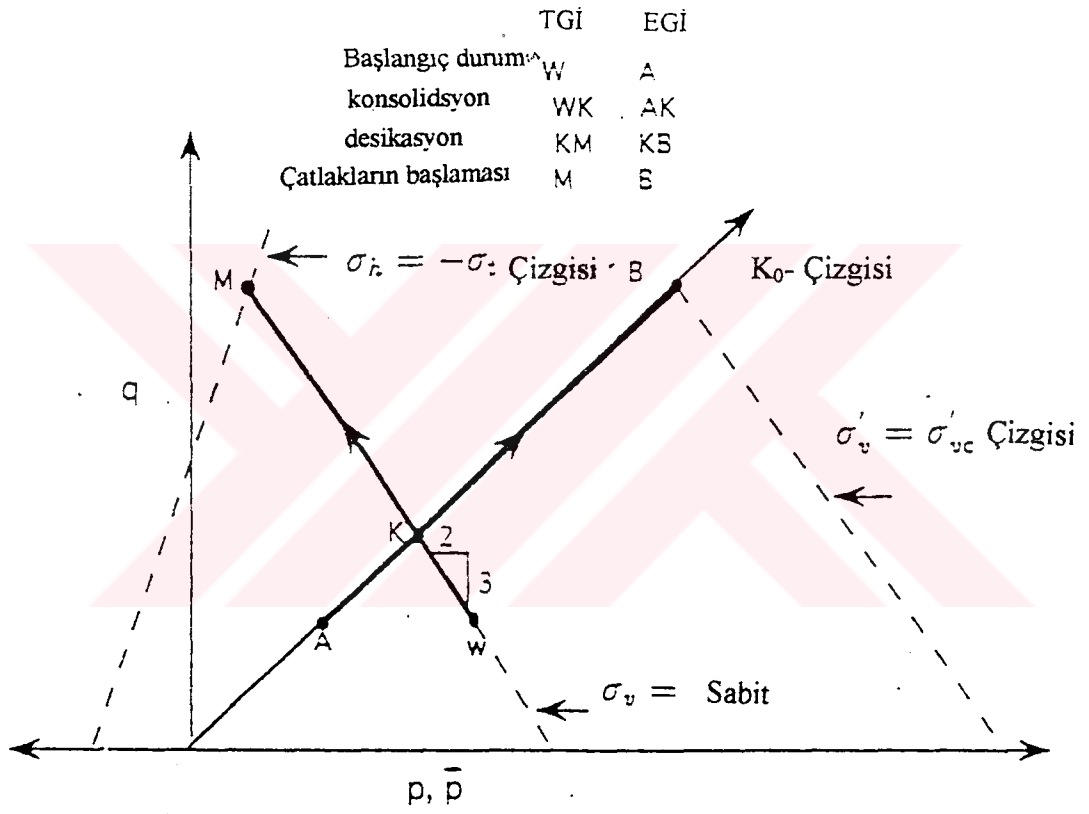
Üçüncü varsayım ise üç-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında mantıklı kabul edilebilir zira, buharlaşma yüzeyi güneş enerjisi ve rüzgardan etkilenir ve bu faktörlerin her

ikisi de yüzeydeki zemini, gölgede kalan ve rüzgardan korunan çatlakların yanlarından daha fazla etkilemektedir. Lau (1987) ve Picornel'e (1985) göre, 0.6 metreden daha derinde olan çatlak yüzeylerinde buharlaşma tamamen olmamaktadır. Bundan dolayı, burada incelenen teoride üç-boyutlu büzülme altındaki desikasyon esnasında su akımının yönünün düşey olduğu varsayılarak idealleştirilmektedir. Aynı idealleştirme, üç-boyutlu büzülme için sadece düşey yöndeki su akımına atfederek Bronswijk tarafından (1988) kullanılmıştır.

Geliştirilmiş desikasyon teorisi birbirini takip eden beş fazı içermektedir: tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon; tek-boyutlu büzülme altında desikasyon; desikasyonun düşey çatlaklarının yayılmasının modellenmesi; çekme gerilmesi boşalmasının modellenmesi; ve üç-boyutlu büzülme altında desikasyonun modellenmesi olmaktadır. Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon ve tek-boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemek için konsolidasyon teorisinde Gibson vd. (1967) tarafından önerilmiş temel denklemin geçerli olduğu kabul edilmektedir. Tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında, herhangi bir derinlikte çatlakların başlamasının tahmini için mukavemet kriteri tayin edilmektedir. Çatlamadan sonra, toplam yanal çekme gerilmeleri boşalması tanımlanmakta ve üç-boyutlu büzülme altında desikasyon için bir model sunulmaktadır. Desikasyon ve konsolidasyon olayları ile ilgili geçerli temel denklemin bir genel formu yazılmakta, bu form aşağıdaki özelliklere sahip olmaktadır:

- Uzayda koordinat sisteminin sabitleştirilmemesi yumuşak zeminlerin üç-boyutlu büzülmelerinde beklenen büyük deformasyon problemlerinin analizine daha fazla uygun olmaktadır.
- Bu denklemde düşey gerilmelerin lineer olmadıklarını dikkate alınmaktadır.

Aşağıda 3.2, 3.3, ve 3.4 paragraflarında açıklanan analizler sabit düşey gerilmeler için ve 3.5 paragrafındaki analizler ise değişken düşey gerilmeler için geliştirilmiştir.



Şekil 3.1: Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon ve tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında toplam ve efektif gerilme izleri (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

3.2 Tek-Boyutlu Sıkışma Altında Konsolidasyonun ve Tek-Boyutlu Büzülme Altında Desikasyonun Modellenmesi

Belirli bir derinlikte bir zemin elemanı için, konsolidasyon ve desikasyon esnasında çatlama kadar toplam ve efektif gerilme izleri Şekil 3.1 gösterilmektedir. Başlangıçtaki boşluk suyu basıncı grafik üzerindeki toplam gerilme durumu W ve efektif gerilme durumu A arasındaki mesafe olmaktadır. Konsolidasyon ve desikasyondan dolayı bu boşluk suyu basıncı azalmaktadır. Çatlakların başlamasından önce, herhangi zemin elemanı için net yanal şekil değiştirme (yani, efektif gerilmelerin değişmesinden dolayı meydana gelen şekil değiştirme) sıfır kalmakta, ve böylece konsolidasyon ve desikasyon esnasında efektif gerilme izi (EGİ) sükunetteki yanal toprak basıncı katsayısı K_0 altında meydana gelmektedir. Boşluk suyu basıncının düşmesinden dolayı yanal toplam gerilmeler düşmekte ve böylece, toplam gerilme izi (TGI) Şekil 3.1'de gösterildiği gibi $-3/2$ eğimle ilerlemektedir. Lamb ve Whitman (1969) boşluk suyu basıncı seviyesinin düşmesini Şekil 3.1'de gösterilenlere benzer bir şekilde EGİ ve TGI ile ifade etmiştir.

TGI (WK) ve EGİ (AK) boyunca, boşluk suyu basıncı pozitif kalmakta ve böylece tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon meydana gelmektedir. TGI (KM) ve EGİ (KB) boyunca, boşluk suyu basıncı negatif kalmakta ve böylece tek-boyutlu büzülme altında desikasyon meydana gelmektedir. Literatür incelenmesinde daha önce ifade edildiği gibi, Gibson vd. (1967) tarafından önerilen temel denklem tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon ve tek-boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemektedir. Bu denklem Lagrangin koordinatları, a , ile şöyle ifade edilmektedir:

$$-\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \left[\frac{d}{de} \left(\frac{k}{1+e} \right) \right] \frac{\partial e}{\partial a} - \frac{\partial}{\partial a} \left[\frac{k}{\gamma_w} \frac{1+e_0}{(1+e)} \frac{d\sigma'_v}{de} \frac{\partial e}{\partial a} \right] = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.1)$$

Burada, t zaman; γ_w ve γ_s sırasıyla suyun ve katı danelerin birim hacim ağırlığı; e boşluk oranı; k permeabilite katsayısı; ve σ'_v düşey efektif gerilme olmaktadır:

$$\sigma'_v = \sigma_v - u \quad (3.2)$$

Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon esnasında yumuşak zeminlerin kompresibilitesi için Liu ve Znidarcic (1991) tarafından aşağıdaki bağıntı önerilmiştir:

$$e = A (\sigma'_v + Z)^B \quad (3.3)$$

A, B, ve Z ampirik katsayılarıdır. Bu kompresibilite ilişkisinin formu çoğu konvansiyonel logaritmik modellerin temel eksiklerini ortadan kaldırmaktadır(Lui, 1990). Şöyle ki, boşluk oranı sıfıra eşit efektif gerilme için iyi tariflenmektedir, ve gerilmenin işaretini göz önüne almamak suretiyle, boşluk oranı hiç negatif olmamaktadır.

Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon esnasındaki permeabiliteyi modellemek için Smogy (1979) tarafından önerilen aşağıdaki bağıntıda

$$K = C e^D \quad (3.4)$$

C, D ampirik katsayılar olmaktadır. Bu lineer olmayan form permeabiliteyi modellemek için önerilen diğer fonksiyonlardan daha esnek olmaktadır.

Literatür incelemelerinde geçtiği gibi, desikasyon esnasında yumuşak zeminin kompresibilite ve permeabilite ilişkileri ile ilgili olarak önerilmiş modeller bulunmaktadır.

Desikasyonu modellemek için konsolidasyonun modellenmesinde kullanılan kompresibilite ve permeabilite bağıntılarının farklı ampirik katsayılarla adapte edilebileceğini öne sürülmektedir:

$$e = A_1 (\sigma'_v + Z_1)^{B_1} \quad (3.5)$$

$$K = C_1 e^{D_1} \quad (3.6)$$

3.3..Desikasyon Esnasında Düşey Çatlakların Yayılmasının Modellenmesi

Bu kısımda desikasyon esnasında düşey çatlakların yayılması ile ilgili bir model sunulmaktadır. Bu model üç kısımdan oluşmaktadır: herhangi bir derinlikte çatlama kriterinin formüle edilmesi, çekme mukavemetinin tahmini ve çatlama fonksiyonunun tahmini olmaktadır. Üçüncü kısım çatlama fonksiyonunu hesaplamak amacıyla kullanılabilen bir deney tekniği önerisi içermektedir.

3.3.1..Herhangi bir derinlikte çatlama kriterinin formüle edilmesi

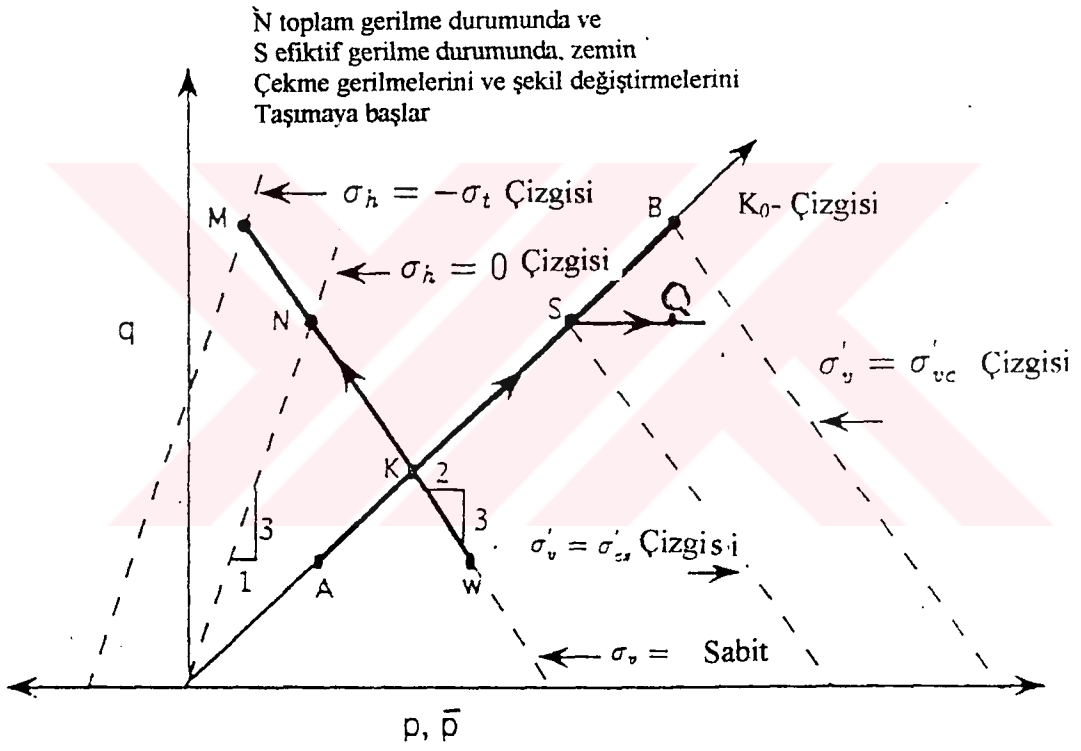
Çatlakların düşey kesitinin modellenmesinde, herhangi bir derinlikte çatlak başlaması için iki kriter belirlenmektedir. Birincisi limit, bir kriter olarak, sıfır çekme mukavemetine sahip bir zeminde çatlak başlamasını tahmin etmektedir. İkincisi ise, daha genel bir kriter olarak, belirli bir çekme mukavemetine sahip zeminde çatlamanın başlamasını tahmin etmektedir.

Yumuşak zeminlerde desikasyonun ilk aşamalarında çatlak açılmamaktadır. Bunun nedeni yumuşak zeminlerin üstteki tabakaların yükünü taşımak için yeterince kayma mukavemetine sahip olmamasıdır. Herhangi bir çatlak ilerlediği zaman, zemin akıp onu kapatarak net yanal şekil değiştirmenin sıfıra eşit kalmasını sağlamaktadır. Herhangi bir derinlikte bir çatlak ilerlemesi için, zemin kendi ağırlığı altında göçmeye izin vermeden durma kabiliyetine sahip olmalıdır. Çatlama Kriteri I şöyle taslanabilir: herhangi bir derinlikte bir çatlak durumunun başlaması için, desikasyondan dolayı ilerleyen emme çatlak başına çekme uygulamakta, çatlamanın başlaması için bu çekme gerilmesi, zeminin çatlak tepesine etkileyen düşey gerilmelerden dolayı K_0 durumları altındaki yanal sıkışma gerilmelerini aşmalıdır. Bu durum şöyle ifade edilir:

$$-u = K_0 \sigma'_v = K_0(\sigma_v - u) \quad (3.7)$$

Konsolidasyon ve desikasyon esnasında çatlama kadar zemin davranışı Şekil 3.2 'de gösterilmektedir. Çatlama Kriteri I, toplam yanal gerilmeler sıfıra düştüğünde EĞİ (S) durumu ve TGİ (N) durumu ile, karşılanmaktadır:

$$\sigma_h = K_0 \sigma'_v + u = 0 \quad (3.8)$$



Şekil 3.2: Tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında çekme gerilmelerin gelişmesi (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

Belirli bir düşey gerilme için, u_{cs} , σ'_{cs} , ve e_{cs} sırasıyla Çatlama Kriteri I karşılandığında boşluk suyu basıncı, düşey efektif gerilme, ve boşluk oranı olmaktadır. (3.7) eşitliğini geçerli varsayarak, u_{cs} şöyle ifade edilebilir:

$$u_{cs} = \frac{K_0 \sigma_v}{K_0 - 1} \quad (3.9)$$

Bu denklem yatay gerilmeyi sıfıra eşitlemek ya da düşey gerilme etkisini yok etmek için gereken emmeyi tarif etmektedir. (3.9) eşitliğinin yardımıyla uygun düşey efektif gerilme şöyle ifade edilebilmekte:

$$\sigma'_{cs} = \sigma_v - u_{cs} = \frac{-\sigma_v}{k_0 - 1} \quad (3.10)$$

ve uygun boşluk oranı şöyle hesaplanabilmektedir:

$$e_{cs} = A_1 (\sigma'_{cs} + Z_1)^{B_1} \quad (3.11)$$

Herhangi bir derinlikte belirli bir düşey gerilme değeri için Çatlama Kriteri I'in sağlandığı noktada emme seviyesi o derinlikte $-u_{cs}$ değerine ulaşmaktadır. Bu noktada zemin sadece sıfır çekme mukavemetine sahip ise çatlama başlar. Bununla beraber, çekme mukavemetine sahip olmadığı halde, desikasyon ile emme $-u_{cs}$ ' değerinden daha büyük olduğunda, zemin etkiyen yanal toplam gerilmeleri taşıyabilmektedir. Çatlama Kriteri I karşılandıktan sonra meydana gelen fazla emme şöyle ifade edilmektedir:

$$-u_t = -u + u_{cs} \quad (3.12)$$

2.2 Bölümünde geçtiği gibi, yumuşak zeminlerin desikasyonu esnasında iki tür şekil değiştirme meydana gelmektedir: serbest şekil değiştirme ve mekanik şekil değiştirme, ikisinin toplamı da net şekil değiştirme olmaktadır. Serbest şekil değiştirme boşluk suyu basıncı, mekanik şekil değiştirme toplam gerilmeler, ve net şekil değiştirme ise, efektif

gerilme değişikliğinden meydana gelmektedirler. Serbest yanal şekil değiştirme, mekanik yanal şekil değiştirme ve net yanal şekil değiştirme $e = e_{cs}$ olduğu yerden itibaren karşlanır ve geçerli boşluk oranına kadar sırasıyla, $\epsilon_{fl}(e, e_{cs})$, $\epsilon_{ml}(e, e_{cs})$, $\epsilon_{nl}(e, e_{cs})$, ile ifade edilmektedirler, şöyle ki:

$$\epsilon_{nl}(e, e_{cs}) = \epsilon_{fl}(e, e_{cs}) + \epsilon_{ml}(e, e_{cs}) \quad (3.13)$$

Bu şekil değiştirme tarifine göre, K_0 durumunda net yanal şekil değiştirme sıfıra eşit olduğu için

$$\begin{aligned} \epsilon_{fl}(e, e_{cs}) = \epsilon_{ml}(e, e_{cs}) = 0 \\ \text{ve, } \epsilon_{ml}(e, e_{cs}) = - \epsilon_{fl}(e, e_{cs}) \end{aligned} \quad (3.14)$$

olmaktadır.

Bu denklemin, desikasyona uğrayan herhangi bir zemin elemanı için Çatlama Kriteri I karşılandıktan sonra doğru olduğu kabul edilmektedir. Kriter I karşılandıktan hemen sonra, EGI (SB) ve TGI (NM) izlenmektedir. EGI (SB) değişikliği, emme $-u_t$ ve yanal toplam gerilmelerdeki σ_h değişiklerine atfedilmektedir. Emme $-u_t$ değişikliğinin katkısı, sadece EGI (SQ) izotropik olarak gösterilmektedir. Bu gerilme izi boyunca serbest yanal sıkışma şekil değiştirmesi meydana gelmektedir. (3.13) ve (3.14) eşitliklerini dikkate alarak, mekanik yanal çekme şekil değiştirmenin, yanal sıkışma şekil değiştirme etkilerini yok etmek için meydana gelmesi gerekmektedir. Başka bir ifade ile, yanal mekanik çekme şekil değiştirme, zemin kütlesinin sürekliliğini veya (3.14) eşitliğine göre K_0 durumları altında çatlama kadar sıfır net yanal şekil değiştirmesini korumak için gerekmektedir. Toplam yanal çekme gerilmelerin ilerlemesi Şekil (3.2)'de gösterilmektedir. Yanal mekanik çekme şekil değiştirmesinin, Çatlama Kriteri I karşılandıktan sonra, sadece toplam yanal çekme gerilmeleri değişmesinden dolayı meydana gelmesi hiç bir değer taşımamakta, zira e_{cs} değerinin tahmininde, toplam yanal basınç gerilmeleri dikkate alınmaktadır.

Çatlama Kriteri II şöyle tasarlanmaktadır: zeminin herhangi bir derinliğinde, ilerleyen yanal toplam çekme gerilmeleri çekme mukavemetine ulaştığında veya ilerleyen mekanik yanal

çekme şekil değiştirmesi göçme anındaki çekme şekil değiştirmesine ulaştığında çatlak başlamaktadır. Bu kriter şöyle ifade edilebilir:

$$-\sigma_h = \sigma_t \quad (3.15)$$

veya

$$\varepsilon_{ml}(e_{vc}, e_{cs}) = \varepsilon_t \quad (3.16)$$

Burada, σ_t ve ε_t , sırasıyla, göçme anındaki çekme mukavemeti ve çekme şekil değiştirmesi, σ_h ve $\varepsilon_{ml}(e_{vc}, e_{cs})$ çatlama başladığında toplam yanal gerilme ve yanal mekanik şekil değiştirme, e_{vc} çatlama boşluk oranı olmaktadır. Şekil 3.2 gösterildiği gibi, Çatlama Kriteri II TGİ (M) ve EGİ (B)de sağlanmaktadır. σ'_{vc} ve $-u_{vc}$ sırasıyla, çatlama kriteri sağlandığı anındaki düşey efektif gerilme ve emme olarak tanımlanmakta, ve bu durumdaki boşluk oranı:

$$e_{vc} = A_1 (\sigma'_{vc} + Z_1)^{B_1} \quad (3.17)$$

eşitliğinden hesaplanabilmektedir.

İlerleyen toplam yanal gerilme (çatlamaya kadar) düşey efektif gerilmeye göre şöyle ifade edilmektedir:

$$\sigma_h = \sigma_v + (K_0 - 1) \sigma'_v \quad (3.18)$$

(3.5) eşitliği göz önüne alınarak, yanal toplam çekme gerilmesi ile boşluk oranı arasındaki ilişki aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilmektedir.

$$\sigma_h = \sigma_v + (K_0 - 1) \left(\left(\frac{e}{A} \right)^{\frac{1}{B_1}} - Z_1 \right) \quad (3.19)$$

(3.14) eşitliğinden yararlanarak, desikasyon esnasında K_0 durumları altında yanal mekanik çekme şekil değiştirmesi serbest yanal şekil değiştirmesine eşit olmaktadır. Serbest yanal

şekil değiştirme ϵ_{11} (e. e_{cs}). deneysel olarak serbest büzülme deneyleri sonucu ve 3.5.1 kısmında açıklanacak analizlerin yardımıyla elde edilmektedir.

3.3.2 Çekme mukavemetinin tahmini

Lau (1987) tarafından çekme mukavemetinin serbest basınç mukavemeti ile ilişkilendirilebileceği ifade edilmiştir. Benzer bir şekilde serbest basınç mukavemetinin yarısı olan drenajsız kayma mukavemeti ile çekme mukavemeti arasında bir ilişki kurulabileceği kabul edilmektedir. Speswhite Porselen Kili için drenajsız kayma mukavemeti, S_u , ve boşluk oranı arasındaki ilişki için Znidarcic vd. (1992) tarafından aşağıdaki bağıntı:

$$e = 1.945 - 0.435 \log S_u \quad (3.20)$$

önerilmiştir.

Diğer yumuşak zeminleri kapsamak için, bu bağıntı

$$e = T_1 - T_2 \log S_u \quad (3.21)$$

şeklinde genelleştirilebilir, T_1 ve T_2 ampirik katsayıları deneysel olarak belirlenmektedirler. Çekme mukavemeti ile drenajsız kayma mukavemeti arasındaki ilişki ise

$$\sigma_t = F S_u \quad (3.22)$$

bağıntısı ile ifade edilebilmekte, bir malzeme özelliği olan F katsayısı deneysel olarak belirlenmektedir. (3.21) ve (3.22) eşitlikleri yardımıyla, çekme mukavemeti, boşluk oranının bir fonksiyonu olarak

$$\sigma_t = F 10^{\frac{T_1 - e}{T_2}} \quad (3.23)$$

şeklinde ifade edilebilmektedir.

Bu denklem çekme mukavemeti ve boşluk oranı arasında üssel bir ilişkinin varlığını ileri sürmektedir. Bu tür başka ilişkiler de literatürde bulunmaktadır. (Williams vd., 1992, Farrel vd., 1967).

3.3.3 Çatlama fonksiyonunun formüle edilmesi

“3.15” eşitliğinde ifade edildiği gibi yanal çekme gerilmeleri çekme mukavemetine ulaştığında, veya boşluk oranı yeterince azalıp çatlama boşluk oranına ulaştığı zaman, herhangi bir derinlikte çatlama başlamakta, böylece $e = e_{vc}$ olmaktadır. (3.19) ve (3.23) eşitliklerin sonuçlarını (3.15) eşitliğinde yerine koyarak çatlama durumu için

$$-\sigma_v - (K_0 - 1) \left(\left(\frac{e_{vc}}{A_1} \right)^{1. B_1} - Z_1 \right) = F10^{\frac{T_1 - e_{vc}}{T_2}} \quad (3.24)$$

veya:

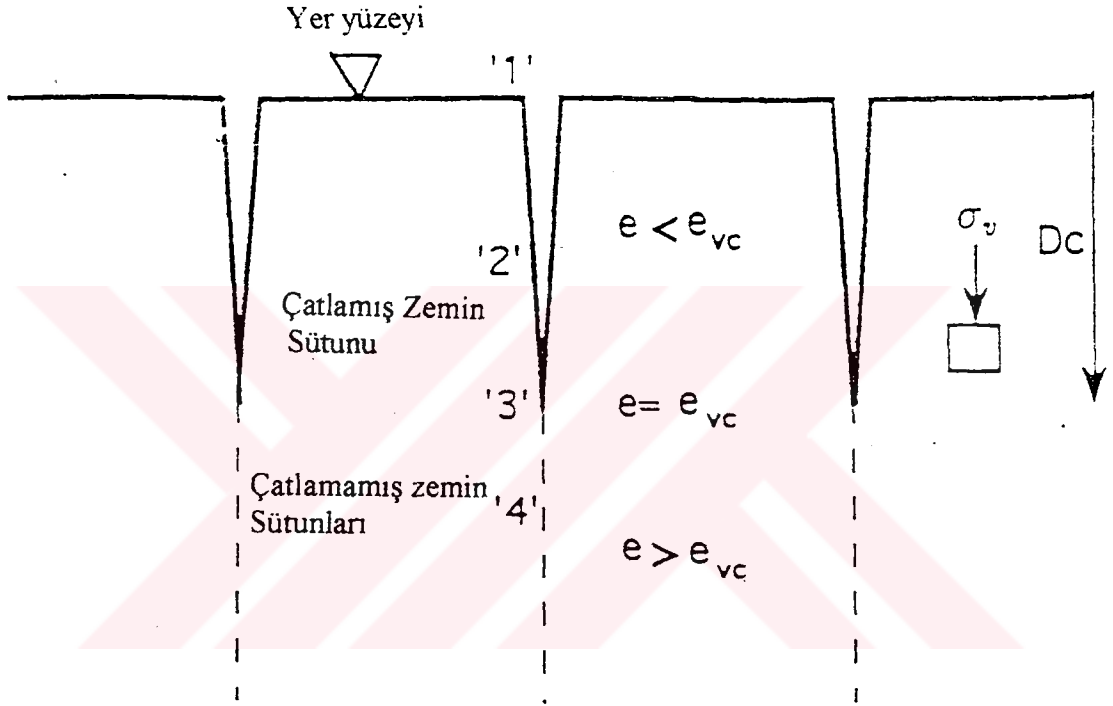
$$-\sigma_v = (K_0 - 1) \left(\left(\frac{e_{vc}}{A_1} \right)^{1. B_1} - Z_1 \right) + F10^{\frac{T_1 - e_{vc}}{T_2}} \quad (3.25)$$

eşitlikleri elde edilebilir. (3.25) eşitliği çatlama fonksiyonunu tanımlamaktadır. Bu fonksiyon daha genel bir formla

$$e_{vc} = g(\sigma_v) \quad (3.26)$$

şeklinde ifade edilmekte, g fonksiyonu çatlama boşluk oranını düşey gerilmeye bağlamaktadır.

(3.26) eşitliği, Şekil 3.3'te gösterilen zemin sütununun derinliği boyunca e_{vc} dağılımı hesabında kullanılmaktadır. Belirli bir boşluk oranı (e) dağılımı ile, aynı zemin sütununun derinliği boyunca, çatlaklar $e = e_{vc}$ olduğu derinlikte yayılmaya başlayacaktır. Bu derinlik çatlamış ve çatlamamış sütunlar arasındaki boylamsal sınırı tanımlamaktadır. Böylece $e < e_{vc}$ çatlamış zemin sütunları ve $e > e_{vc}$ çatlamamış zemin sütunları Şekil 3.3'de gösterilmektedir. Çatlama fonksiyonu (g) daha önce anlatıldığı gibi, ya çekme mukavemetinin drenajsız kayma mukavemeti cinsinden ifade edilebileceği varsayılarak veya desikasyon deneylerinden hesaplanmaktadır. Deneylerde arazi durumundakine benzer numuneler hazırlanıp kurutma işlemi ile çatlamaya izin verilmektedir.



Şekil 3.3: Çatlaklı ve çatlaksız zemin sütunları (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

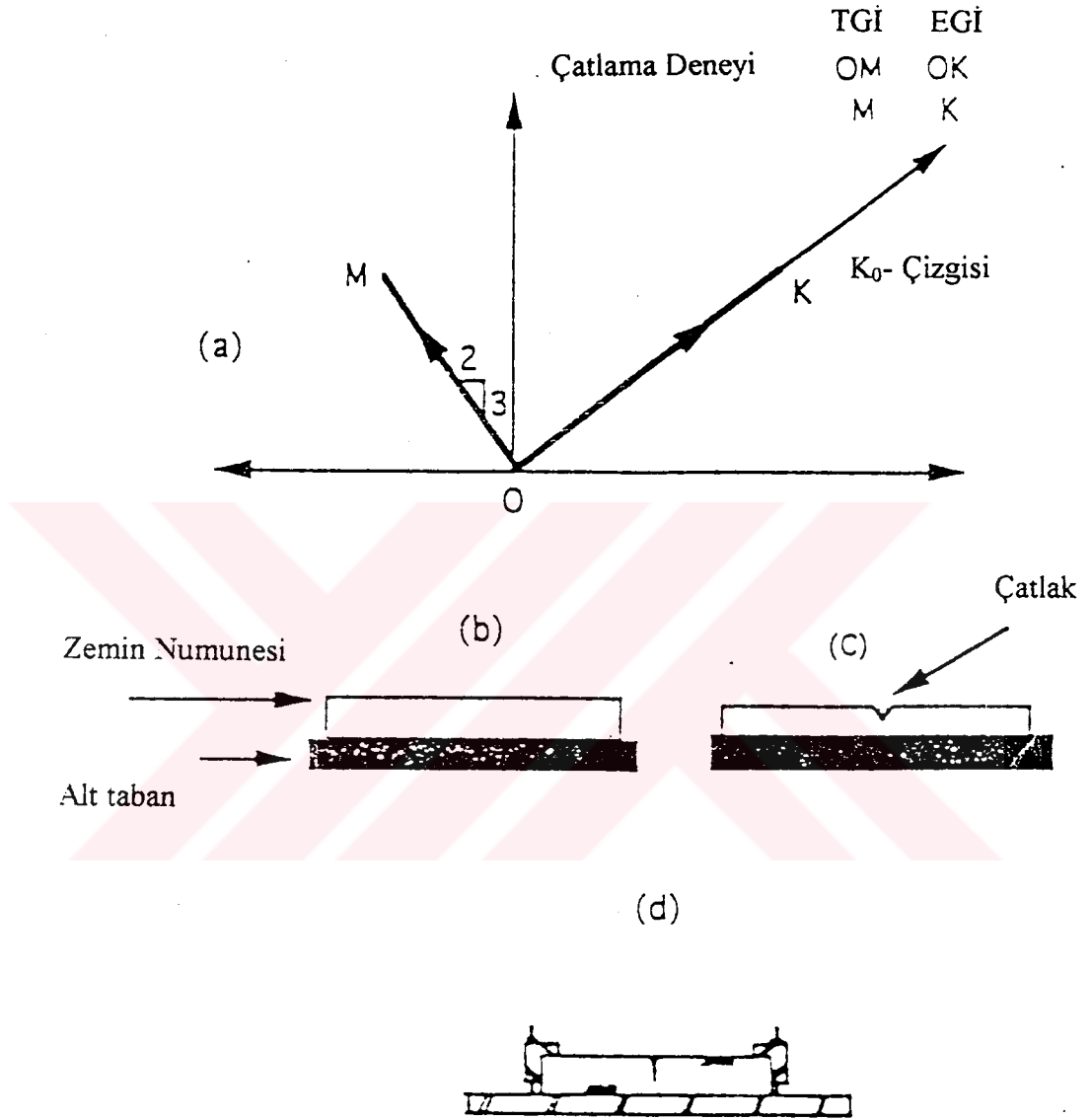
Boşluk oranı e_{cs} , zeminin yanal toplam çekme gerilmelerini taşımaya başladığı andaki boşluk oranı olduğuna göre, düşey gerilmeye bağlı olmakla birlikte, çatlama fonksiyonu σ_v yerine e_{cs} cinsinden şöyle ifade edilmektedir:

$$e_{vc} = g_1 (e_{cs}) \quad (3.27)$$

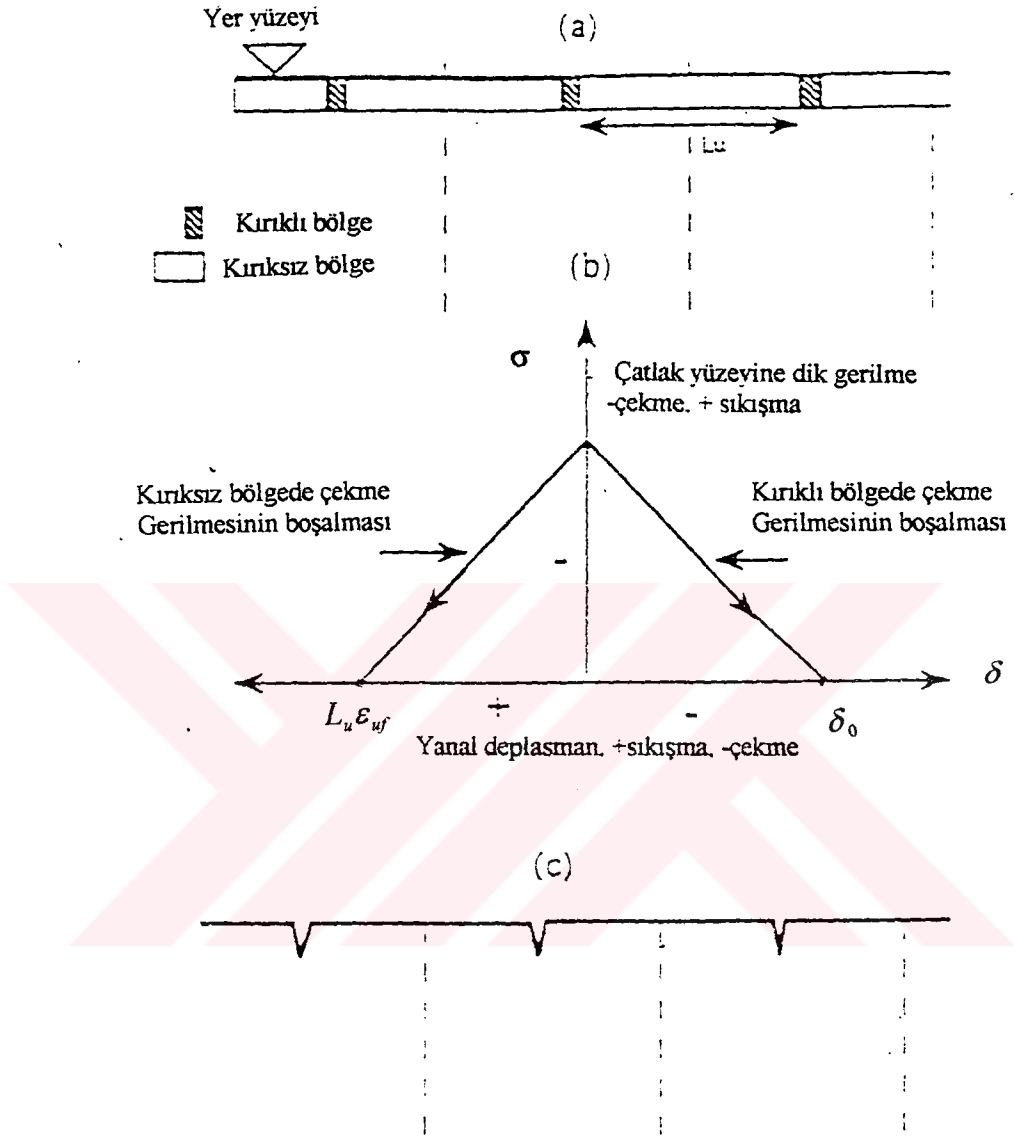
g_1 , çatlama boşluk oranı fonksiyonu, e_{cs} , zeminin çekme gerilmelerini taşımaya başladığı andaki boşluk oranını göstermektedir. g_1 fonksiyonunu belirlemek için önerilen çatlama deneyinde, e_{cs} başlangıç boşluk oranında aşırı konsolide bir zemin numunesi hazırlanmalıdır. Şekil 3.4a'da gösterilen bu deneyde, numune için başlangıç efektif gerilme ve toplam gerilme (O) noktasındadırlar. Hazırlanan numune, Şekil 3.4b'de gösterildiği gibi yerine yerleştirilmekte, arazideki durum ile benzeşimin sağlanabilmesi için, net yanal gerilme değerinin sıfıra eşit olduğu noktalarda, numune yanal yönde örneğin ile Şekil 3.4d'de gösterildiği gibi uçlu kenetler ile tutulmaktadır. Üst yüzeyi sınırlanmış numune yüzey kurutması ile desikasyona uğradığına göre, Şekil 3.4 a'de gösterildiği gibi EGİ (K_o) durumu altında (OK) boyunca ilerlemektedir. EGİ (OK) Şekil 3.2'de gösterilen EGİ (SB)ye benzer, şu şartla ki, (O) ve (S)'de efektif gerilme durumunda aynı boşluk oranı (e_{cs}) değerleri olmalıdır. Çatlamanın ilk belirtisi ile birlikte Şekil 3.4c'de gösterildiği gibi (e_{vc}) çatlama boşluk oranına eşit olan boşluk oranı belirlenmelidir. Bu şekilde değişik boşluk oranlardaki (e_{cs}) aşırı konsolide zemin numuneleri için, g_1 fonksiyonu hesaplanabilmektedir.

3.4 Çekme Gerilmesi Boşalmasının Modellenmesi

Toplam yanal çekme gerilmeleri çekme mukavemetine ulaştığı anda çekme gerilmeleri boşalması başlamaktadır. Desikasyon çatlama problemi homojen şartlar varsayılmasına rağmen, bu tür varsayımların, özellikle toplam yanal çekme gerilmesi çekme mukavemetine ulaştığı an, geçerli kalmaları pek muhtemel olmamaktadır. Bu durumda, zeminin zayıf noktalarında çok ince kalınlıkta kırıklı bir bölge ilerlemekte ve kırıklı bölgenin dışında kalan zeminin toplam yanal çekme gerilmelerini elastik olarak taşıyamaması beklenmektedir. Kırıklı ve kıriksiz bölgeler Şekil 3.5a'da gösterilmektedir. Kırıklı bölgenin zemin sütunu, Şekil 3.5c'de gösterildiği gibi, çatlama üzere olan sütun çevresinde ilerlemektedir. İki komşu zemin sütunu arasındaki mesafe L_c ve kıriksiz bölgenin eni L_u olarak tarif edilir ise,



Şekil 3.4: Teklif edilen çatlama deneyi (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)



Şekil 3.5: Çekme gerilmesinin boşalması esnasında desikaasyon çatlaklarının gelişmesi (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

kırıklı bölgenin eni $L_c - L_u$ olmaktadır. Çatlakların başlamasından sonra, EGI'indeki kırıklı ve kırksız bölgede değişikliklerin nedenleri aşağıda açıklanmaktadır.

- Çatlakların yüzeyine dikey olan, $-\sigma'_h$ toplam yanal çekme gerilmeleri azalması veya çekme gerilmesi boşalması olmaktadır. Bu gerilmeler sıfıra düştüğü an, çatlak açılmakta ve çatlamış zemin sütunları Şekil 3.5c'de gösterildiği gibi tamamen ayrılmaktadır. İdealleştirilmiş durum için, Şekil 3.5a'da gösterildiği gibi, zemin sütununun çevresinde çatlakların aynı anda ilerlemesi meydana gelmekte, ve bu ilerleme çatlama esnasında zeminde aynı anda yanal toplam gerilmeleri boşalmasına neden olmaktadır. Kırıklı ve kırksız bölgede bütün toplam yanal çekme gerilmelerin üniform olarak azaldığı varsayılmakla birlikte, çatlama esnasında yanal mekanik kayma mukavemeti gerilmeleri meydana gelmemektedir. Bu varsayım, çatlama uğramış ve uğramamış zemin sütunlarındaki yanal ve düşey düzlemlerin asal düzlemler olduklarını belirlemektedir. Önceki varsayımla beraber toplam yanal çekme gerilmelerinin azalması Şekil 3.6'da TGI (MN) ile ifade edilmektedir.

- Çatlakların başlamasından sonra emmedeki değişiklik ($-u_{cr}$) şöyle ifade edilmektedir:

$$-u_{cr} = -u + u_{vc} \quad (3.28)$$

Efektif gerilme izi üzerindeki etkisi Şekil 3.6'da EGI (BU) ile ifade edilmektedir. Çekme gerilmesi boşalması esnasında $-u_{cr}$ emme değerinde herhangi bir değişiklik olmayacağı varsayılmaktadır. Çatlak hızlı bir şekilde açılıyorsa ve desikasyon esnasında boşluk suyu basıncının zamanla değişimi küçük ise, böyle bir varsayımın mantıklı olacağı düşünülmektedir. Önceki varsayımla beraber, çekme gerilmesi boşalması esnasında efektif gerilme izi, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi MN toplam gerilme izine paralel olan. BV'yi izlemektedir. V efektif gerilme durumuna ve N toplam gerilme durumuna ulaşıldığı zaman çatlaklar tamamen açılmaktadır. Kırıklı ve kırksız bölgede yanal toplam çekme gerilmelerinin üniform bir şekilde azaldıklarını varsayarak, toplam yanal gerilme durumu N ile belirlendiği gibi, çatlaklı zemin sütununda çatlağın açılmasından sonra toplam yanal gerilmelerin kaybolduğunu ifade etmektedir. Miller (1975) çatlamış zemin sütununda yatay yönde toplam yanal gerilmelerin serbest olduğunu ve yanal kayma gerilmelerinin sadece

çatlamış zemin sütunu dibinde ilerleyeceğini ileri sürmüştür. Corte ve Higashi (1964) deneysel sonuçlara ve bu çalışmaya dayanarak, çatlaklar yüksek bir su muhtevasında başlıyor ise, çatlamış zemin sütununun dibinde yanal kayma gerilmelerinin önemsiz olmasının, ve düşük su muhtevasında başlıyor ise çatlaklı zemin sütununun dibinde yoğunlaşmasının beklenebileceğini söylemektedirler.

Toplam yanal çekme gerilmelerin azalmasına bağlı olarak deformasyonları tanımlamak için genellikle iki tip bünyesel ilişkiler kullanılmaktadır: birincisi kırıklı bölge için, ikincisi ise kırıksız bölge için olmaktadır. Kırıklı bölgede, bir çekme deplasmanı olan çatlağın kırıklı bölgenin içinde açılmasını için σ_h 'a bağlı olarak basitleştirmek için Şekil 3.5b'de (sağ taraftaki eğri) gösterildiği gibi lineer bir ilişki düşünülmektedir. Toplam yanal çekme gerilmeleri sıfıra düştüğünde $(\delta)_0$ çatlama açılması olarak tanımlanmaktadır. Kırıksız bölgede, toplam yanal çekme gerilmeleri elastik olarak yüklenmiş sıkıştırılmış elastik şekil değiştirme meydana getirmektedir. Çekme gerilmesi boşalması başladığı andan itibaren çatlaksız bölgede ϵ_u sıkıştırılmış yanal elastik mekanik şekil değiştirme olarak tanımlamakta, ve toplam yanal çekme gerilmelerin sıfıra düşmesinden sonra (ϵ_{uf}) bu şekil değiştirmelerdeki toplam değişiklik olarak tanımlanmaktadır. Çekme gerilmesi boşalması esnasında kırıksız bölgede yanal sıkışma elastik boy değişimi $L_u \epsilon_u$, Şekil 3.5b'de gösterildiği gibi (sol taraftaki eğri) yanal çekme gerilmeleri azalması ile birlikte lineer olarak azalmaktadır. Kırıksız bölgedeki bütün yanal toplam gerilmelerin sıfıra düşmesinden dolayı o bölgede yanal sıkışma boy değişimi $L_u \epsilon_{uf}$ olmaktadır.

Kırıklı ve kırıksız bölgede, yani iki komşu zemin sütununun merkezleri arasında, bütün toplam yanal çekme gerilmelerinin sıfıra düşmesinden dolayı oluşan net yanal deplasman değişikliği (δ_n) şöyle ifade edilmektedir:

$$\delta_n = L_u \epsilon_{uf} - \delta_0 \quad (3.29)$$

δ_n sıfır olduğuna göre:

$$\delta_0 = L_u \varepsilon_{uf} \quad (3.30)$$

ve böylece

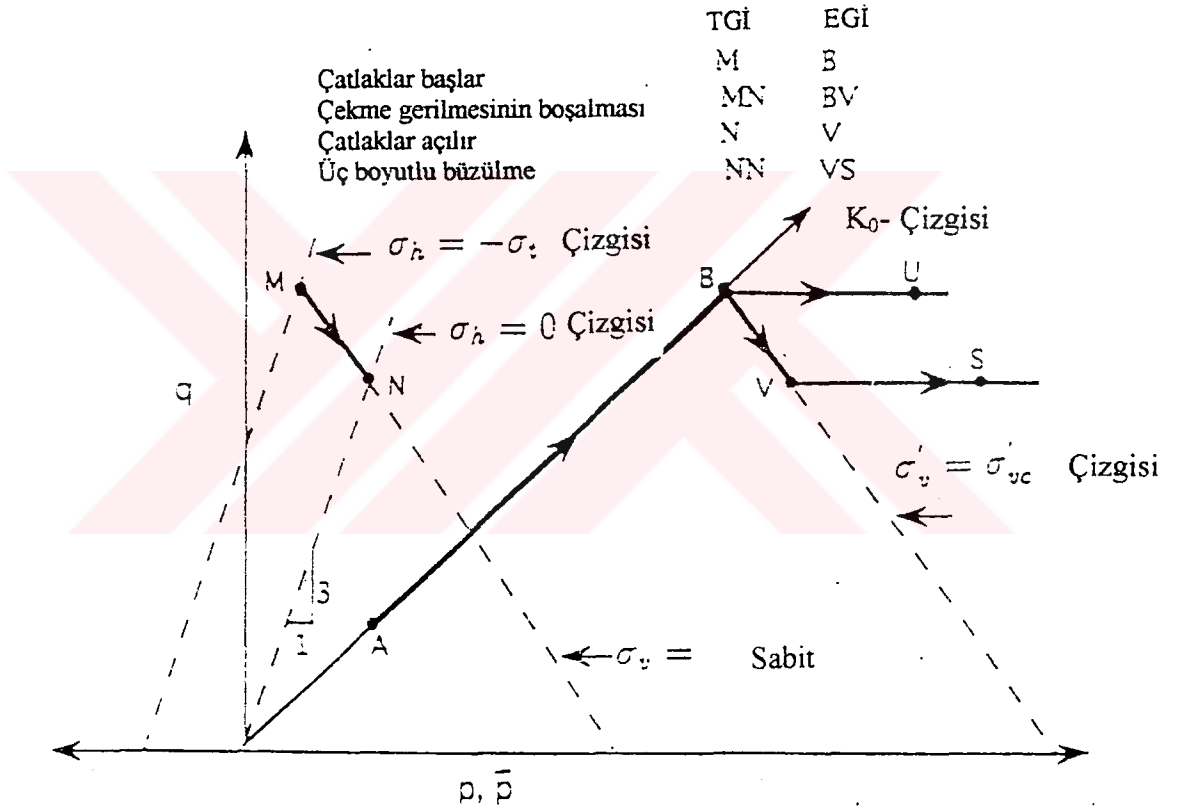
$$L_u = \frac{\delta_0}{\varepsilon_{uf}} \quad (3.31)$$

olmaktadır.

Kırıklı bölgenin kalınlığı çok küçük olmasından dolayı, L_u 'nun çatlak alanına yaklaşık olarak eşit olacağı düşünülmektedir. Yer yüzeyi yakınında ilerleyen desikasyon çatlakları için, (3.31) eşitliği ile hesaplanan bir çatlak alanına sahip çatlakların kendilerini çatlak uçları ile düzenledikleri önerilmektedir. Bu eşitlik, δ_0 'ın artmasıyla çatlak alanının arttığını belirtmektedir. Kırılma mukavemetinin bir ölçüsü olan δ_0 değeri, gevrek malzemeler için küçük, plastik malzemeler için büyük olmakta, ve dolayısıyla δ_0 zeminin plastisitesinin artmasıyla artmaktadır. Zeminlerin su muhtevasının artmasıyla beraber daha plastik davranış göstermelerinden dolayı, δ_0 'nun çatlama boşluk oranının (e_{vc}) artmasıyla birlikte artması beklenmektedir. Bütün bu geçen tartışmadan, zemin tabakasının yüzeyindeki çatlama boşluk oranının artmasıyla birlikte çatlak alanının arttığı sonucu çıkarılabilmektedir. Küçük ölçekli deneylerin sonuçlarına dayanarak Corte ve Higashi (1964) tarafından benzer değerlendirmeler ileri sürülmüştür.

3.5 Üç-Boyutlu Büzülme Altında Desikasyonun Modellenmesi

Çatlağın açılmasından sonra, Şekil 3.6'da gösterildiği gibi TGİ (N) durumunda kaldığında, ve EGİ (VS) ile gösterildiğinde, sabit bir düşey gerilme için üç-boyutlu büzülme sadece emmedeki değişime atfedilmektedir. Toplam yanal çekme gerilmelerinin boşalmasından dolayı EGİ (BV) boyunca meydana gelen hacimsel değişikliğin katkısının ihmal edilmesi önerilmektedir, zira: (1) yumuşak zeminlerdeki desikasyon çatlağının, çekme mukavemetinin küçük olduğu nispeten yüksek su muhtevalı bölgede ilerleyip yayılması beklenmektedir, (2) EGİ (BV) boyunca hacimsel değişiklik elastik olmaktadır, zira bu değişiklik kırıksız bölgede yanal toplam gerilme yüklemesi olmadan meydana gelmektedir, ve (3) EGİ (BV) boyunca hacimsel değişiklikler, EGİ (BV) boyunca emmedeki değişimden kaynaklanan hacimsel şekil değiştirme ile karşılaştırıldığında çok küçük olabilmektedir.

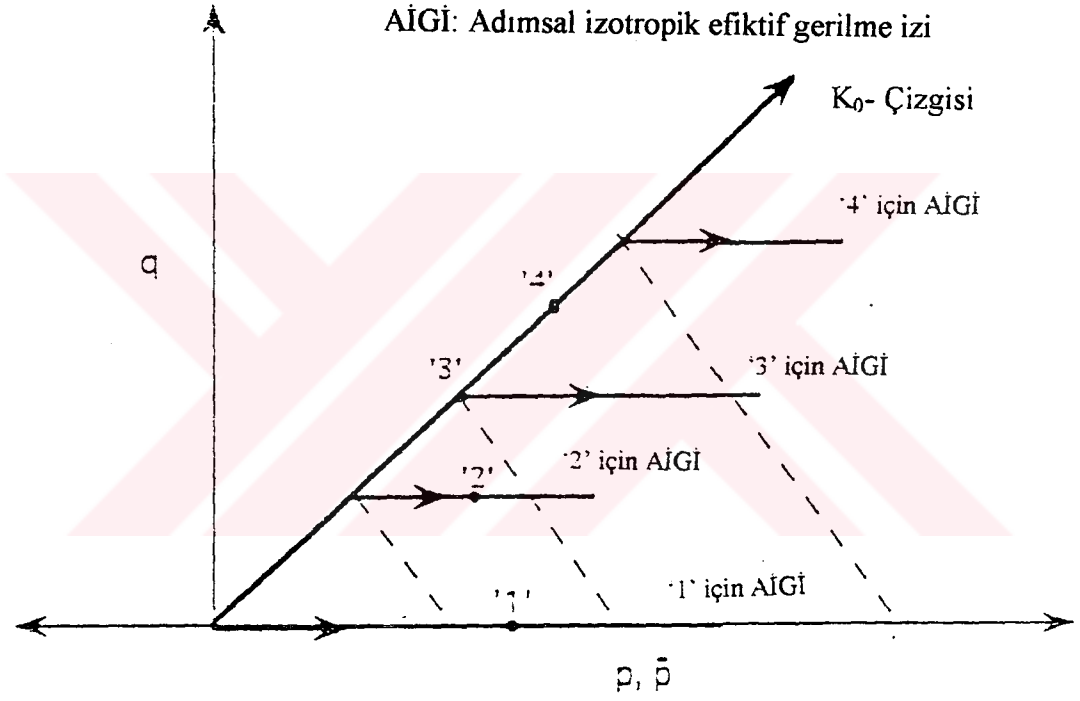


Şekil 3.6: Çekme gerilmesinin boşalması esnasında toplam ve efektif gerilme (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

EGİ (BV) boyunca hacimsal değişikliği ihmal etmek ile beraber, EGİ (VS) boyunca üç-boyutlu büzülme, EGİ (BU) boyunca büzülme değerine eşit olmaktadır. Adımsal izotropik efektif gerilme izi (Şekil 3.7) BU boyunca üç-boyutlu büzülme davranışı “üç-boyutlu serbest büzülme” olarak tanımlanmaktadır. Değişik düşey gerilmeler altında zemin elemanları için önceden sunulmuş açıklamayı genişleterek, K_0 durumları altındaki konsolidasyon ve çatlamaya kadar desikasyon ve sonra Şekil 3.7'de gösterildiği gibi değişik adımsal izotropik efektif gerilme izleri boyunca üç-boyutlu büzülme devam etmektedir. Üç-boyutlu büzülme altındaki desikasyon esnasında, düşey gerilmeler değişmekte ve böylece kırıklı zemin sütunu içinde bir zemin elemanı için efektif gerilme durumu adımsal izotropik efektif gerilme izinden, yeni bir düşey gerilme ile tanımlanan başka bir efektif gerilme izine geçebilmektedir. Bundan dolayı, Şekil 3.3'de gösterilen zemin sütununda herhangi bir derinlikteki zemin elemanı için efektif gerilme durumu, ya çatlaksız zemin bölgesinde K_0 durumunda, zemin elemanı için veya çatlaklı zemin sütunundaki zemin elemanı için adımsal izotropik efektif gerilme izi ile tanımlanabilmektedir.

Örneğin, Şekil 3.3'de gösterilen '1', '2', '3', ve '4' zemin elemanları için efektif gerilme durumu Şekil 3.7'de ayrıntılarıyla gösterilmektedir. Bu elemanlar üzerine etkileyen düşey gerilmelere dayanarak, bu dört eleman için, σ'_{vc} değerleri “3.25” ve “3.5” eşitlikleri kullanılarak hesaplanabilmektedir. Kesintili çizgilerin p eksenine ile kesiştiği noktalar bütün elemanlar için çatlama düşey efektif gerilmelerini (σ'_{vc}) vermektedirler. '1' ve '2' zemin elemanları için, $\sigma'_v > \sigma'_{vc}$ olmakta ve o elemanların efektif gerilme durumları düşey gerilmelere bağlı olduğu gibi geçerli efektif düşey gerilmelere de bağlı olmakta, '3' zemin elemanı için, $\sigma'_v = \sigma'_{vc}$, ve bu elemanlar çatlaklı ve çatlaksız zemin sütunları arasındaki yatay sınır üzerinde bulunmakta, '4' zemin elemanı için ise, $\sigma'_v < \sigma'_{vc}$ ve bu eleman K_0 durumu altında bulunmaktadır.

Üç-boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemek için gereken bünyesel ilişkiler ve geçerli temel denklem aşağıda açıklanmaktadır.



Şekil 3.7: Değişik düşey gerilmeler için üç-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında adımsal izotropik efektif gerilme izleri

3.5.1 Üç-boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemek için gereken bünyesel ilişkiler

Zemin bilimi araştırmacıları düşey ve yanal gerilmelerin etkisini ihmal ederek üç-boyutlu büzülme emme değişimine atfetmektedirler (Fox, 1964; Bronswijk, 1988). Fakat, üç-boyutlu büzülme esnasında desikasyona uğramış yumuşak zeminlerin kompresibilitesinde, düşey gerilmelerin önemli rol oynadıkları göz önüne alınmalıdır. Değişik adımsal efektif gerilme izleri boyunca düşey gerilme, ve çatlaklar başladıktan sonra emme değişimlerine katılması gereken düşey efektif gerilmedeki değişiklik, σ'_{cr} , şöyle ifade edilmektedir:

$$\sigma'_{cr} = \sigma'_v - \sigma'_{vc} \quad (3.32)$$

Üç-boyutlu desikasyon altında kompresibilite fonksiyonunu modellemek için bir genişletilmiş kuvvet fonksiyonu önerilmektedir.

$$e = A_2 (\sigma'_{cr} + Z_2)^{B_2} \quad (3.33)$$

Z_2 şöyle ifade edilmektedir:

$$Z_2 = \left(\frac{e_{vc}}{A_2} \right)^{1/B_2} \quad (3.34)$$

Herhangi zemin için A_2 ve B_2 ampirik parametreleri deneysel olarak belirlenmelidirler.

“3.32” ve “3.33” eşitliklerinden:

$$\sigma'_v = \sigma'_{vc} + \left(\frac{e}{A_2} \right)^{1/B_2} - Z_2 \quad (3.35)$$

ve (3.5) (3.34) eşitlikleri göz önüne alınarak

$$\sigma'_v = \left(\frac{e_{vc}}{A_1} \right)^{1/B_1} - Z_1 + \left(\frac{e}{A_2} \right)^{1/B_2} - \left(\frac{e_{vc}}{A_2} \right)^{1/B_2} \quad (3.36)$$

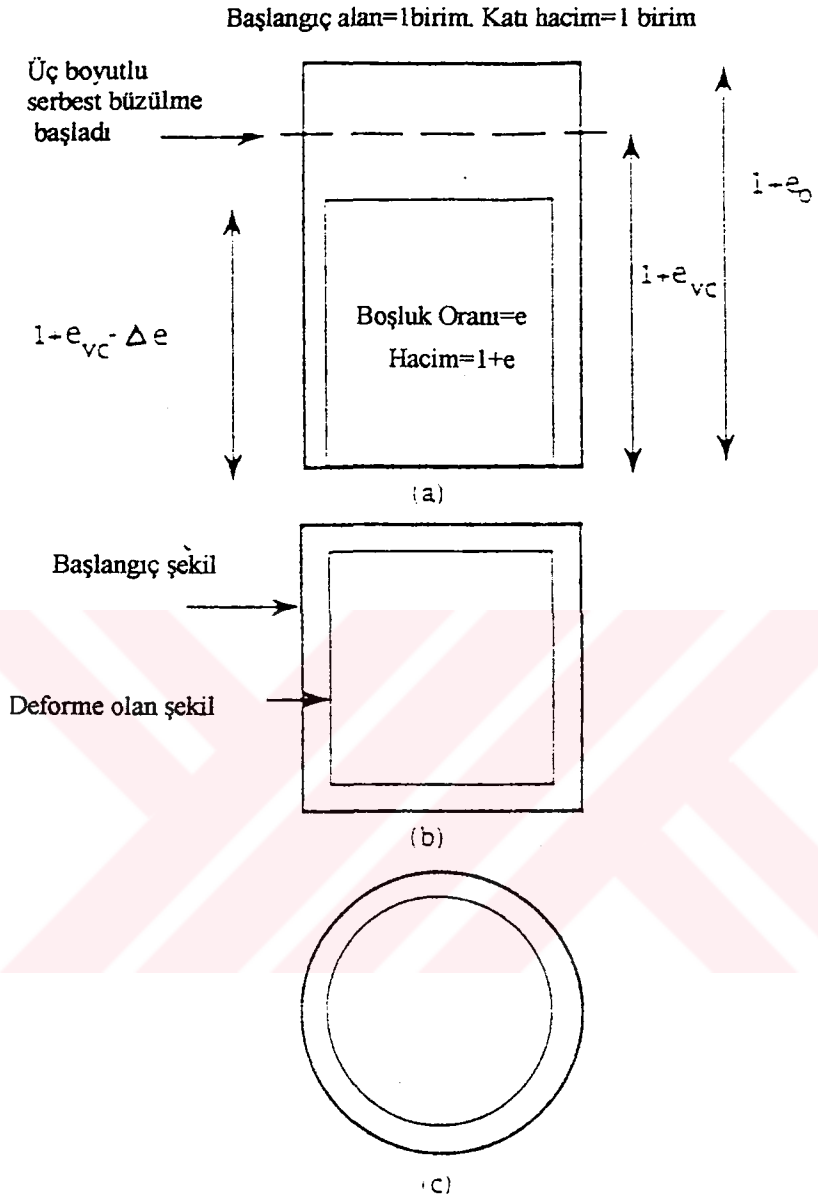
ifadesi elde edilebilir.

Düşey efektif gerilmeleri e ve e_{vc} değerlerine bağlayan kompresibilite fonksiyonunun bu formu ((3.33) eşitliğinde verilenden daha pratik olmaktadır.

Üç-boyutlu büzülme tabi olan zemin yapısı tek- boyutlu büzülme tabi olandan farklı olabilmektedir. Sürekli tek-boyutlu olarak sıkıştırılmış zemin daneleri sıralanma gösterirken, zeminin üç- boyutlu büzülme altında desikasyona uğramasına izin verilmesi floküle bir yapının oluşmasına yol açmaktadır. Aynı boşluk oranındaki iki zemin için floküle bir yapıya sahip olanın permeabilitesi daha yüksek olmaktadır (Lamb ve Whitman, 1969). Deneysel çalışmalarda, üç- boyutlu büzülme hesabında permeabilite fonksiyonunun gözönüne önüne alınmamasından dolayı, tek-boyutlu sıkışmayı modellemek için kullanılan ve (3.4) eşitliğinde ifade edilen permeabilite fonksiyonu, üç-boyutlu büzülme altındaki desikasyonu modellemek için de geçerli kabul edilmektedir.

(3.33) ve (3.36) eşitliklerinde ifade edilen kompresibilite ilişkilerinde üç-boyutlu büzülme esnasında ortak düşey ve yanal gerilmeler dikkate alınmaktadır. Üç- boyutlu büzülme başladığı andaki $e = e_{vc}$ boşluk oranından itibaren, aşağıda açıklanmakta olan analizler yardımıyla, adımsal izotropik efektif gerilme izi boyunca $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu serbest düşey ve yatay deformasyonların oranları dikkate alınarak kullanılmaktadır.

Şekil 3.8a'da, konsolidasyon ve desikasyondan dolayı düşey oturmalara, daha sonra çatlamaya kadar, üç-boyutlu serbest büzülme uğramış tipik bir yumuşak kil elemanı gösterilmektedir. Başlangıçta, bu eleman birim dane hacmine ve e_0 boşluk oranına sahip olmaktadır. Bu elemanın başlangıç alanı birim alan olmakta, böylece başlangıç hacmi ve yüksekliği $(1+ e_0)$ olmaktadır. Konsolidasyon ve çatlamaya kadar desikasyondan dolayı meydana gelen düşey oturmalar, bu elemanın başlangıçtaki boşluk oranını, çatlama boşluk oranına (e_{vc}) ve $(1+ e_{vc})$ hacim ve yüksekliğe kadar düşürmektedir. Şekil 3.8a'da gösterildiği gibi, e_{vc} 'de serbest üç-boyutlu büzülme başlamakta ve hacim değişimleri sadece normal düşey ve yanal şekil değiştirmelerden kaynaklanmaktadır (yani kayma şekil değiştirmesi bulunmamaktadır). Çatlama boşluk oranına ulaştıktan sonra, boşluk oranındaki değişiklik numune yüksekliğindeki değişiklik (Δe_v) ve zemin elemanın alanındaki azalmadan (Δe_1) meydana gelmektedir:



Şekil 3.8: K_0 durumları altında konsolidasyon ve desikasyona ve daha sonra bir adımsal izotropik Efektif gerilme izi boyunca üç-boyutlu serbest büzülme uğramış tipik zemin elemanı (Abu Hajle ve Znidarcic, 1993)

$$\Delta e = \Delta e_v + \Delta e_f \quad (3.37)$$

Şekil 3.8a'da gösterildiği gibi, herhangi bir boşluk oranı (e) için zemin elemanının yüksekliği $(1+e_{vc} - \Delta e_v)$ olmaktadır. Adımsal efektif gerilme izi boyunca boşluk oranı değişimini ifade eden

$\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu ise aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır:

$$\alpha = \frac{1 + e_{vc} - \Delta e_v}{1 + e} \quad (3.38)$$

Bundan dolayı, zemin elemanının yüksekliği boşluk oranı cinsinden $\alpha(1+e)$ ile tariflenmektedir. Zemin elemanının alanı

$$A_c(e, e_{vc}) = \frac{1 + e}{\alpha(1 + e)} = \frac{1}{\alpha} \quad (3.39)$$

şeklinde, çatlakların özgül alanı (birim alan için çatlak alanı) ise

$$S_c(e, e_{vc}) = 1 - \frac{1}{\alpha} \quad (3.40)$$

şeklde ifade edilmektedir.

Şekil 3.8b'de gösterilen, başlangıçta birim alana sahip kare yüzeyli zemin elemanı, birim en ve uzunluğa sahip olup, deformasyona uğramış eleman ise $\sqrt{\frac{1}{\alpha}}$ en ve uzunluğuna sahip olmaktadır. Şekil 3.8c'de gösterilen zemin elemanı, başlangıçta birim alanlı daire yüzeyine ve $\sqrt{\frac{4}{\pi}}$ çapına sahip olmakta, deformasyona uğramış zemin elemanı ise $\sqrt{\frac{4}{\alpha\pi}}$ çapına sahip olmaktadır. Her iki durumda, yanal serbest şekil değiştirme $\epsilon_{fl}(e, e_{vc})$ ve düşey serbest şekil değiştirme, $\epsilon_{fr}(e, e_{vc})$ sırasıyla

$$\epsilon_{fl}(e, e_{vc}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \quad (3.41)$$

ve

$$\epsilon_{fr}(e, e_{vc}) = \frac{1 - \alpha(1 + e)}{1 + e_{vc}} \quad (3.42)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Bu şekil değiştirme tanımlamalarına göre, $\varepsilon_{\parallel}(e_{vc}, e_{vc}) = \varepsilon_{fv}(e_{vc}, e_{vc}) = 0$ olmaktadır.

Serbest büzülme deneyi durumunda, bilinen serbest düşey şekil değiştirme ile, $\alpha(e, e_{vc})$ şöyle belirlenmektedir:

$$\alpha(e, e_{vc}) = \frac{(1 + e_{vc})(1 - \varepsilon_{fv})}{(1 + e)} \quad (3.43)$$

Serbest şekil değiştirmeleri izotropik varsayarak, ve küçük şekil değiştirmeler için $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonunun tahmini şöyle olmaktadır:

$$\alpha(e, e_{vc}) = \frac{1 + e_{vc} - 1/3(e_{vc} - e)}{1 + e} \quad (3.44)$$

Fakat, serbest üç- boyutlu büzülme esnasında, büyük deformasyon ve izotropik olmayan şekil değiştirmeler meydana geldiğinde bu tahmin zayıflamaktadır. Yumuşak zeminlerin üç- boyutlu büzülmesi esnasında büyük deformasyonlar ve muhtemelen izotrop olmayan davranış meydana gelmesinden dolayı, bu fonksiyonun deneysel olarak belirlenmesi tavsiye edilmektedir.

(3.3.1) paragrafında Çatlama Kriteri I karşılandıktan sonra, $-\varepsilon_{ml}(e, e_{cs})$ gelişmiş mekanik yanal çekme şekil değiştirmelerinin $\varepsilon_{\parallel}(e, e_{cs})$ serbest yanal şekil değiştirmelerine eşit olduğu önerilmekte, bu serbest şekil değiştirmeler $e = e_{cs}$ için yanal üç- boyutlu serbest büzülme izin verildiğinde gelişmektedirler. Bundan dolayı, $\alpha(e, e_{cs})$ fonksiyonunu tahmin ederek, $-\varepsilon_{ml}(e, e_{cs})$ şöyle hesap edilebilmektedir:

$$-\varepsilon_{ml}(e, e_{cs}) = \varepsilon_{\parallel}(e, e_{cs}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \quad (3.45)$$

(3.16) eşitliğini göz önüne alarak, ε_{\parallel} göçme anındaki çekme şekil değiştirmeleri, $\alpha(e, e_{cs})$ fonksiyonu yardımıyla şöyle hesaplanmaktadır:

$$\varepsilon_t = -\varepsilon_{ml}(e_{vc}, e_{cs}) = \varepsilon_{fl}(e_{vc}, e_{cs}) = 1 - \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \quad (3.46)$$

Sürtünmeli büzülme deneyinde, e_{vc} , çatlamanın ilk başladığı andaki boşluk oranı olmaktadır. e_{cs} değeri ve $\alpha(e, e_{cs})$ fonksiyonunun serbest büzülme testi sonuçlarından belirlenmesine dikkat edilmelidir.

3.5.2 Üç-boyutlu büzülme altındaki desikasyon esnasında geçerli temel denklemin formüle edilmesi

Üç-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında geçerli temel denklemin çıkarılmasında dört ana denklem kullanılmaktadır. Bu dört denklem: katı ve sıvı fazların süreklilik denklemleri; akım denklemi; ve toplam gerilmeler terimi ile denge denklemi olmaktadır.

Üç-boyutlu akım denklemini yazabilmek için, zemin iskeletinin nispi hızı ve boşluk suyu akımı ile artık boşluk suyu basıncı eğimi arasındaki ilişki için Darcy kanununun geçerli olduğu varsayılarak (Gibson vd., 1967)

$$n(v_w - v_s) = \frac{-k}{\gamma_w} \nabla u_e \quad (3.47)$$

veya

$$q = \frac{-k}{\gamma_w} \nabla u_e \quad (3.48)$$

bağıntısı yazılabilmektedir Burada, $v_w(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ ve $v_s(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$, sırasıyla, Eulerian koordinatlarında sıvı ve katı fazların hız vektörleri olup, $q(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$, Eulerian koordinatlarında sıvı ve katı fazlar arasındaki nispi hız olmaktadır. ∇ şöyle ifade edilir:

$$\nabla = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \xi_1} \\ \frac{\partial}{\partial \xi_2} \\ \frac{\partial}{\partial \xi_3} \end{pmatrix} \quad (3.49)$$

u_e artık boşluk suyu basıncı olmaktadır:

$$u_e = u - u_s \quad (3.50)$$

u ve u_s , sırasıyla, toplam ve hidrostatik boşluk su basıncı, ∇u_e artık boşluk su basıncının eğimi ise

$$\nabla u_e = \nabla u + \gamma_w e_3 \quad (3.51)$$

olmaktadır.

Yer çekiminin ters yönü pozitif yön olup, e_3 düşey yönde ortho normal taban olmaktadır.

Paragraf 3.1'de açıklanan üçüncü varsayımı göz önüne alarak

$$q = \begin{Bmatrix} 0 \\ 0 \\ q_3 \end{Bmatrix} \quad (3.52)$$

q_1 ve q_2 sıfır değeri almakta, v_{s1} ve v_{s2} , yanal yönde katı dane fazının hızları, sırasıyla, $v_{\omega 1}$ ve $v_{\omega 2}$, yanal yönde su fazı hızlarına eşit olmakta, ve böylece üç-boyutlu büzülme esnasında v_{s1} , v_{s2} , $v_{\omega 1}$ ve $v_{\omega 2}$ değerleri sıfır olmamaktadır.

(3.48) eşitliğinden dane yapısı üzerindeki sürüklenme kuvvetinin katı ve sıvı fazlar arasındaki nispi hıza dayandığı açık olarak görülmektedir. Bu gerçek küçük şekil değiştirmeler için konsolidasyon teorisinde geçerli temel denklemin formülasyonunda sıvı ve katı fazların karışımında süreklilik denklemin göz önüne alan Gibson vd. (1967) tarafından saptanmıştır. Bizim durumumuzda, sıvı fazın süreklilik denklemi şöyle ifade edilmektedir.

$$\nabla \cdot (\rho_w n v_w) + \frac{\partial \rho_w n}{\partial t} = 0. \quad (3.53)$$

ve katı fazın denklemi ise

$$\nabla \cdot (\rho_s (1 - n) v_s) + \frac{\partial \rho_s (1 - n)}{\partial t} = 0. \quad (3.54)$$

şeklinde olmaktadır. ρ_w ve ρ_s , sırasıyla, su ve katı fazın kütle yoğunluğu; ve n porozite olmaktadır. Pratikte, su ve katı fazların sıkışmadığı varsayılmakta, böylece ρ_w ve ρ_s sabitleri sırasıyla, “3.53” ve “3.54” eşitliklerinde türev dışına alınmaktadır.

Kütle büyüklüğünün korumasını destekleyen karışım teorisi, (3.53) ve (3.54) eşitlikleri birleştirilerek uygulanmaktadır

$$\frac{\partial q_3}{\partial \xi_3} + \nabla \cdot \mathbf{V}_s = 0. \quad (3.55)$$

q_1 ve q_2 'nin sıfır oldukları dikkate alınmalıdır. Kısmi türevler açılarak (3.54) eşitliği

$$(1-n)\nabla \cdot \mathbf{V}_s - \mathbf{V}_s \cdot \nabla n - \frac{\partial n}{\partial t} = 0. \quad (3.56)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

Porozitenin malzeme türevi aşağıdaki şekilde ifade edilerek

$$\frac{Dn}{Dt} = \mathbf{V}_s \cdot (\nabla n) + \frac{\partial n}{\partial t} \quad (3.57)$$

(3.56) ve (3.57) eşitliklerinin geçerliliği varsayılarak, (3.55) eşitliği şöyle yazılmaktadır :

$$(1-n)\frac{\partial q_3}{\partial \xi} + \frac{Dn}{Dt} = 0. \quad (3.58)$$

Lagrangin koordinatları, a_3 , ve düşey yönde Eulerian koordinatları arasındaki ilişki şöyle verilmektedir:

$$\frac{\partial a_3}{\partial \xi_3} = \frac{1-e_0}{\alpha(1-e)} \quad (3.59)$$

$n = \frac{e}{1+e}$ olduğundan dolayı

$$\frac{Dn}{Dt} = \frac{1}{(1+e)^2} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.60)$$

n'nin malzeme türevinin Lagrangin türevine eşit olduğu dikkate alınmaktadır. (3.59) ve (3.60) eşitliklerini göz önüne alarak (3.58) eşitliği şöyle olmaktadır:

$$\frac{\partial q_3}{\partial a_3} + \frac{\alpha}{1+e_0} \frac{\partial e}{\partial t} = 0. \quad (3.61)$$

(3.48) eşitliğini göz önüne alarak ve (3.51) ve (3.59) eşitliklerinin yardımıyla, düşey yönde ve Lagrangin koordinatlarında akım denklemi elde edilmektedir:

$$q_3 = \frac{-k}{\gamma_w} \frac{1+e_0}{\alpha(1+e)} \frac{\partial e}{\partial a_3} - k \quad (3.62)$$

Boşluk suyu basıncı, u

$$u = \sigma_v - \sigma'_v \quad (3.63)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

$$\frac{\partial u}{\partial a_3} = \frac{\partial \sigma_v}{\partial a_3} - \frac{\partial \sigma'_v}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial a_3} - \frac{\partial \sigma'_v}{\partial e_{ve}} \frac{de_{ve}}{d\sigma_v} \frac{\partial \sigma_v}{\partial a_3} \quad (3.64)$$

ifadesi elde edilmektedir.

$$P(e, e_{ve}) = \frac{\partial \sigma'_v}{\partial e_{ve}} \frac{de_{ve}}{d\sigma_v} \quad (3.65)$$

şeklinde bir fonksiyon tanımlanmakta. e ve e_{ve}'nin herhangi değerleri için, (3.36)

eşitliğinden $\frac{\partial \sigma'_v}{\partial e_{ve}}$ ve (3.26) eşitliğinden $\frac{\partial \sigma'_v}{\partial e}$ belirlenmektedirler

Eulerian koordinatlarında düşey yönde denge eşitliği

$$\frac{\partial \sigma_v}{\partial \xi_3} = -\frac{e\gamma_\omega + \gamma_s}{1+e} \quad (3.66)$$

olmakta, ve “3.59” eşitliğini gözönüne alarak, Lagrangin koordinatlarında “3.66” eşitliği şöyle ifade edilmektedir:

$$\frac{\partial \sigma_v}{\partial a_3} = -\frac{(e\gamma_\omega + \gamma_s)\alpha}{1+e_0} \quad (3.67)$$

(3.64), (3.65) ve (3.67) eşitliklerin sonuçları (3.62) eşitliğine yerleştirilerek

$$q_3 = -k + \frac{k}{\gamma_\omega} \frac{(e\gamma_\omega + \gamma_s)}{1+e} (1-P) + \frac{k}{\gamma_\omega} \left[\frac{1+e_0}{\alpha(1+e)} \frac{\partial \sigma'_v}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial a_3} \right] \quad (3.68)$$

ifadesi elde edilmekte, q_3 'ün ilk iki teriminin eğimi şöyle verilmektedir

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial a_3} \left[-k + \frac{k}{\gamma_\omega} \frac{(e\gamma_\omega + \gamma_s)}{1+e} (1-P) \right] &= \left[\frac{\partial}{\partial e} \left(-k + \frac{k}{\gamma_\omega} \frac{(e\gamma_\omega + \gamma_s)}{1+e} (1-P) \right) \right] \frac{\partial e}{\partial a_3} + \\ &\left[\frac{\partial}{\partial e_{vc}} \left(-k + \frac{k}{\gamma_\omega} \frac{(e\gamma_\omega + \gamma_s)}{1+e} (1-P) \right) \right] \frac{\partial e_{vc}}{\partial \sigma_v} \frac{\partial \sigma_v}{\partial a_3} \end{aligned} \quad (3.69)$$

$$C_r(e, e_{vc}) = - \left[\frac{\partial}{\partial e_{vc}} \left(-k + \frac{k}{\gamma_\omega} \frac{(e\gamma_\omega + \gamma_s)}{1+e} (1-P) \right) \right] \frac{\partial e_{vc}}{\partial \sigma_v} \frac{\partial \sigma_v}{\partial a_3} \quad (3.70)$$

şeklinde bir fonksiyon tanımlanarak, (3.68) eşitliğini (3.61) eşitliğinde yerleştirip ve (3.69) ve (3.70) eşitliklerinin sonuçlarını göz önüne alarak, üç-boyutlu büzülme altında desikasyonu kontrol eden doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem şöyle elde edilmektedir:

$\frac{\partial \sigma'_v}{\partial e_{vc}}$ sıfıra yaklaşık olmakta, (3.36) eşitliği göz önüne alınarak

$$\frac{\partial \sigma'_v}{\partial e_{vc}} = \frac{1}{A_1 B_1} \left(\frac{e_{vc}}{A_1} \right)^{1/B_1 - 1} - \frac{1}{A_2 B_2} \left(\frac{e_{vc}}{A_2} \right)^{1/B_2 - 1} \approx 0 \quad (3.76)$$

ve bu nedenle, P ve C fonksiyonları kaybolmakta ve üç-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında geçerli temel denklem aşağıdaki şekli almaktadır.

$$-\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) \left[\frac{d}{de} \left(\frac{k}{1+e} \right) \right] \frac{\partial e}{\partial a_3} - \frac{\partial}{\partial a_3} \left[\frac{k}{\gamma_w} \frac{1+e_0}{\alpha(1+e)} \frac{d\sigma'_v}{de} \frac{\partial e}{\partial a_3} \right] = \frac{\alpha}{1+e_0} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.77)$$

Geçerli temel denklemin son basitleştirilmesinin teorisinin esas varsayımları arasında olmadığına dikkat edilmelidir. Herhangi bir yumuşak zemin için önceki deneysel sonuçlar bu basitleştirmenin doğru olmadığını öngörüyor ise, (3.71) eşitliğinin kapsamlı formu bir nümerik düzen haline getirilmektedir.

$$C_r + \left[\frac{\partial}{\partial e} \left(k - \frac{k (\gamma_\omega + \gamma_s)(1-P)}{\gamma_\omega (1+e)} \right) \right] \frac{\partial e}{\partial a_3} - \frac{\partial}{\partial a_3} \left[\frac{k}{\gamma_\omega} \frac{1+e_0}{\alpha(1+e_0)} \frac{\partial \sigma'_v}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial a_3} \right] = \frac{\alpha}{1+e_0} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.71)$$

Çatlaklı zemin kolonlarında üç-boyutlu büzülme altında desikasyonu modelleyen (3.71) eşitliği, çatlaksız zemin kolonlarında aşağıdaki durumları kapsayarak tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon ve tek-boyutlu büzülme altında desikasyonu da modelleyebilmektedir:

- Tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon ve tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında, $\alpha(e, e_{vc})=1$ olmaktadır
- Tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında $A_2 = A_1$ ve $B_2 = B_1$ (ve tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon esnasında $A_2 = A$, $B_2 = B$, $C_1 = C$, ve $D_1 = D$). Bu durumda “3.36” eşitliğinde ifade edilen kompresibilite ilişkisi otomatikman tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasındaki kompresibilite ilişkisine dönüştürülmektedir.

$$\sigma'_v = \left(\frac{e}{A_1} \right)^{1/B_1} - Z_1 \quad (3.72)$$

böylece

$$\frac{\partial \sigma'_v}{\partial e_{vc}} = 0 \quad (3.73)$$

ve

$$\frac{\partial \sigma'_v}{\partial e} = \frac{d\sigma'_v}{de} \quad (3.74)$$

olmakta, ve böylece P ve C fonksiyonları kaybolmaktadırlar.

Herhangi bir derinlikte önceki iki durumu uygulayarak, $e < e_{vc}$ olması durumunda (3.71) eşitliği otomatikman Gibson vd. (1967) tarafından elde edilen denkleme dönüşmektedir.

$$-\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_\omega} - 1 \right) \left[\frac{d}{de} \left(\frac{k}{1+e} \right) \right] \frac{\partial e}{\partial a_3} - \frac{\partial}{\partial a_3} \left[\frac{k}{\gamma_\omega} \frac{1+e_0}{1+e} \frac{d\sigma'_v}{de} \frac{\partial e}{\partial a_3} \right] = \frac{1}{1+e_0} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.75)$$

Yukarıdaki açıklamalardan (3.71) eşitliği geçerli temel denklemin genel formu olmakta, bu denklem çatlaksız zemin kolonlarında meydana gelen konsolidasyon ve desikasyon olaylarının her ikisini de modellemektedir.

BÖLÜM IV

DENEYSEL ARAŞTIRMALAR

4.1 GİRİŞ

Bu bölümde Haliç'ten taranmış çamurlar üzerinde yapılmış deneysel çalışmalar ve sonuçları sunulmaktadır. Taranmış çamurlar üzerinde, kendi halinde kurumuş, rüzgarla kurutulmuş ve fosfojibs ve tuf gibi katı malzemeler ekleyerek kurumuş üç şekilde deneyler yapılmıştır. Deneysel programı; veyn deneyi, düşen koni deneyi, yükleme deneyi ve serbest büzülme deneyinden oluşmaktadır. Bu şekilde kurumuş çamurların üzerinde oluşan kabuğun büzülme ve mukavemet özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu deneylerin her biri için, kullanılan deney araçları, deney prosedürü, ve deney sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Haliç'ten taranmış ve kurutulmuş çamurun drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için, yumuşak killerde güvenilir sonuçlar veren laboratuvar veyn deneyi yapılmıştır. Bu deneyde, yüzeyde, ortada ve tabanda olmak üzere üç farklı derinlikte veyn deneyi yapılmıştır. Veyn deneyinde, zemin içine batırılan ve dönmeye zorlanmakta olan bir kanatlı kesici kullanılmakta, zeminin direncinin aşılmasına karşılık gelen burulma momenti bulunmakta ve zeminin kayma mukavemeti hesaplanabilmektedir. Bu deneyin sonuçlarından yararlanılarak daha önce 3.3.2'de geçtiği gibi serbest basınç mukavemetinin yarısı olan kayma mukavemeti ile çekme mukavemeti arasındaki ilişkiden yararlanarak çekme mukavemeti tahmin edilmektedir.

Düşen koni deneyinde, standart boyutlarda ve ağırlıklarda metal bir koninin kendi ağırlığı altında zemine batması sağlanmakta, zeminin drenajsız kayma mukavemeti koninin ağırlığı ile doğru ve koninin zemin içine batma miktarının karesi ile ters orantılı olarak hesaplanmaktadır.

Yükleme deneyinde, zemin numunesi sabit bir hızla göçmeye kadar yüklenmekte, yükleme sonucu meydana gelen deformasyon ve gerilmeler belirlenmektedir.

Bu çalışmada serbest büzülme deneyi, büzülme eğrisini (boşluk oranı- su muhtevası) belirlemek ve üç- boyutlu büzülme altında serbest düşey ve yanal Şekil değiştirmelerinin oranını nitelendiren $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonunu hesaplamak için yapılmıştır.

4.2 Deney Araçları

Deneyisel araştırmalarda kullanılan veyn deneyi, düşen koni deneyi, plaka yükleme deneyi ve serbest büzülme deneyi araçları aşağıda sunulmaktadır:

4.2.1 Veyn deneyi aleti

Veyn deneyi aletinde, farklı kalibrasyon katsayılarına sahip dört yay ve (25,4×12,7) cm., standart boyutlarda kanatlı kesici kullanılmaktadır. Veyn deneyi aleti Şekil 4.1'de gösterilmektedir

4.2.2 Düşen koni deneyinin aleti

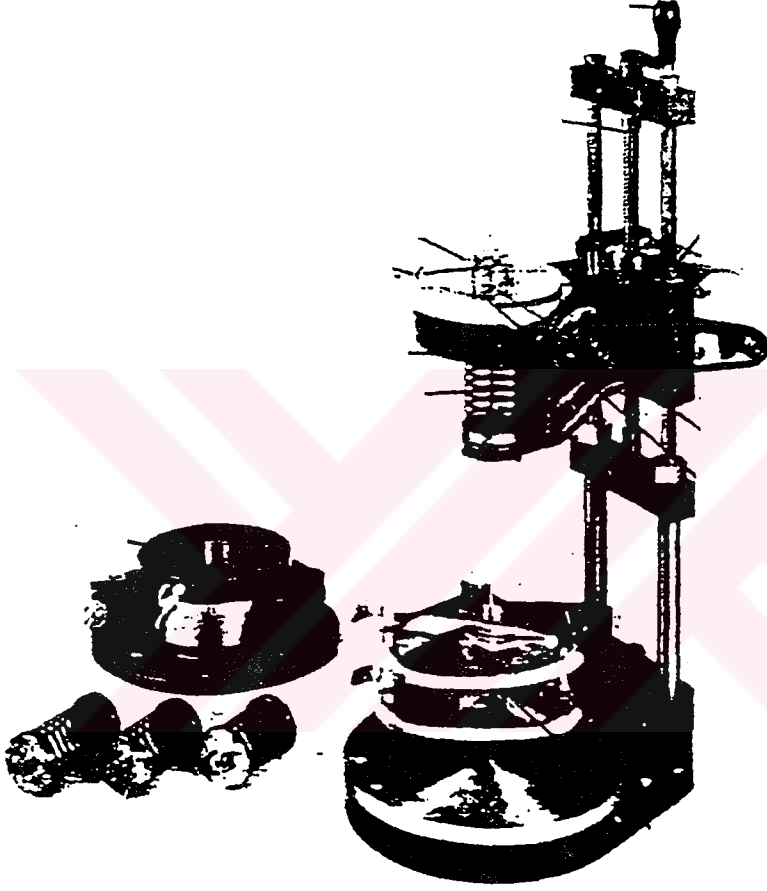
Düşen koni deneyinde, (80)gr, (180) gr ve (230)gr ağırlığında üç farklı metal koni kullanılmaktadır. Koninin zemin içine batma miktarı, ölçer bir saat ile alınan okuma değeri aletin kalibrasyon katsayısı ile düzeltilmekte ve drenajsız kayma mukavemeti elde edilebilmektedir. Düşen koni deneyinin aleti Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

4.2.3..Yükleme deneyi cihazı

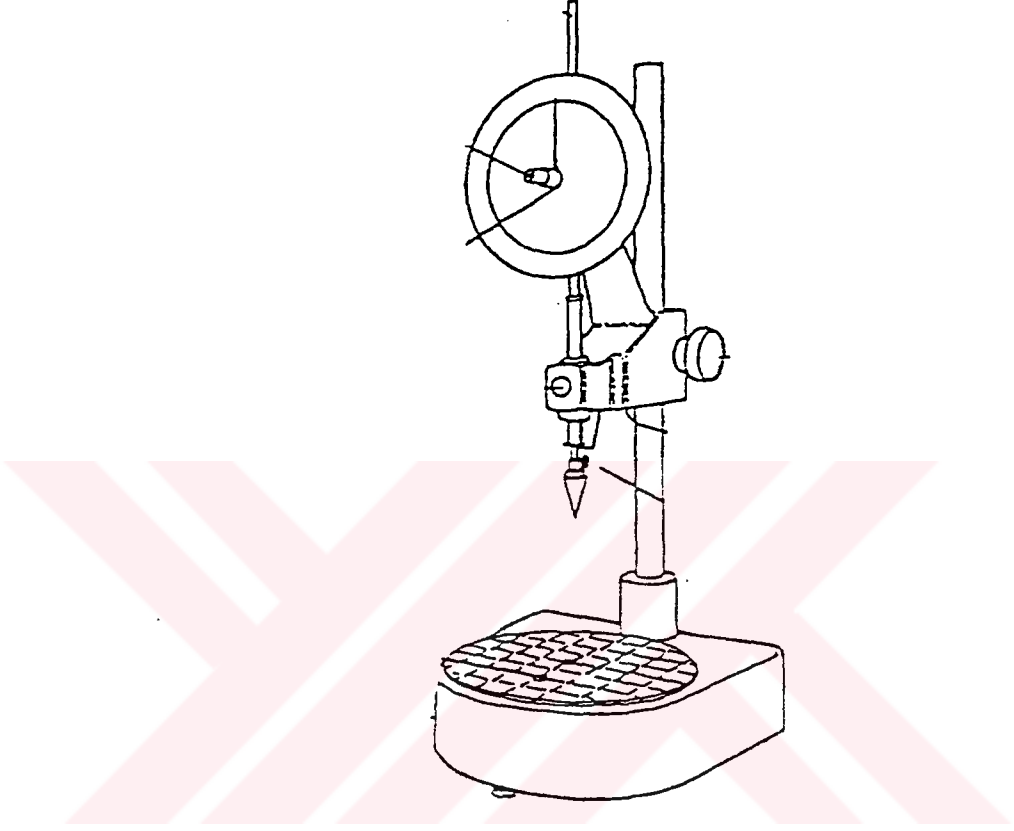
Plaka yükleme deneyinde, zemin numunesi üzerine 5 cm çapında metal bir temel yerleştirilmekte, üzerine metal bir Őaft vasıtasıyla önceden belirlenmiş sabit bir hızla yk uygulanmaktadır. Plaka yükleme deneyinin aleti Şekil 4.3'te gösterilmektedir.

4.2.3 Serbest büzülme deneyi kabı

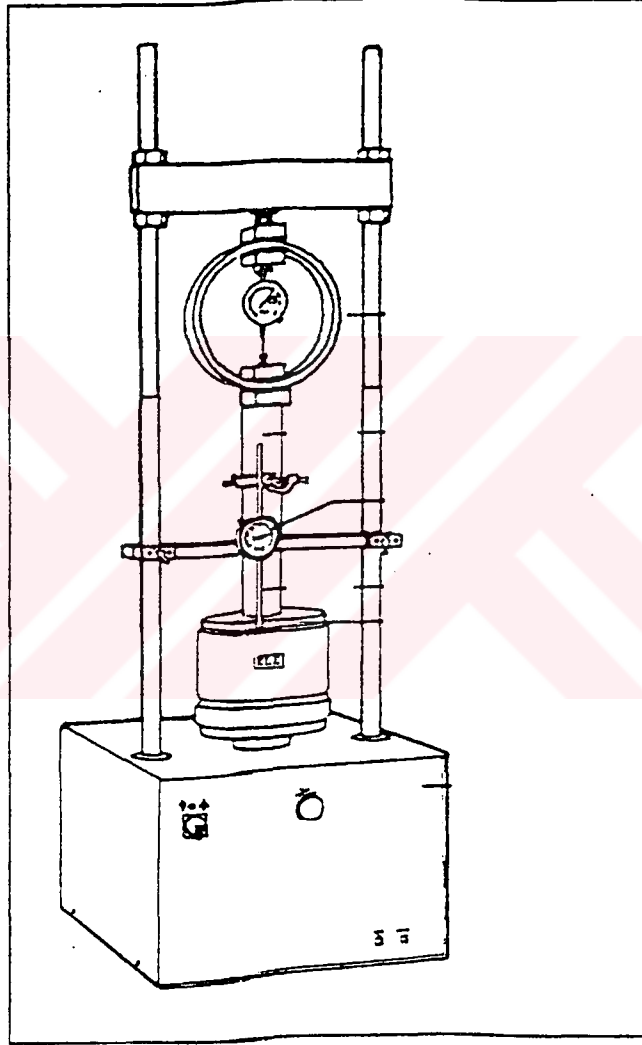
Serbest büzülme deneyini yapmak için kullanılan kap bir taban plakası ve bir pleksiglas silindirden oluşmaktadır. Zemin numunesinin kuru kütlesi deney sonunda etüvde 24 saat bırakıldıktan sonra belirlenir, ve zemin numunesinin hacmini belirlemek için bir ölçer saat ile ve bir pergel kullanılmıştır. Numune silindiri 3 mm et kalınlığı, 4.7 cm yükseklik, ve 10 cm çapında bir Şeffaf tp olmaktadır. Serbest büzülme deneyi için tasarlanan ekipman Şekil 4.4'te Őematik olarak gösterilmektedir.



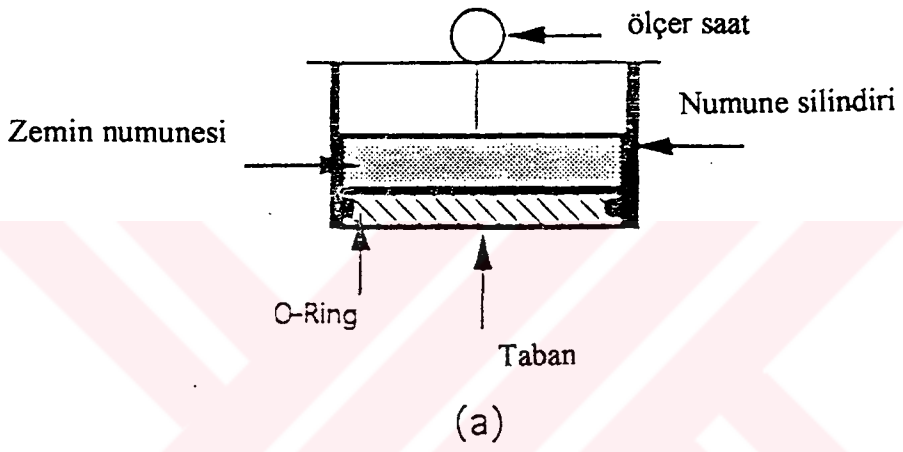
“Şekil 4,1” Veyn deneyi aleti



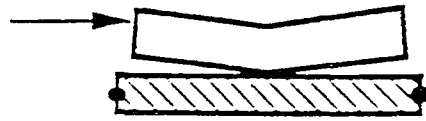
“Şekil 4,2” Düşen koni deneyi aleti



“Şekil 4,3” Yükleme deneyi cihazı



Deney sonunda zemin numunesi



“Şekil 4,4” Serbest büzülme deneyi

4.3 Deney Prosedürü

Bu kısımda, deneylerin değişik tipleri için, zemin ile ilgili açıklama, numune hazırlaması, ve deney prosedürü sunulmaktadır.

4.3.1 Zemin numunelerinin hazırlama ve tanımlaması

Yapılan bütün deneylerde, kullanılan Haliç çamurunun endeks özellikleri “Çizelge 4.1”de sunulmaktadır.

“Çizelge 4.1” Haliç çamurunun endeks özellikleri

Zemin	Haliç çamurun (siltli kil)
Özgül ağırlık, G_s	2,66
Likit Limit, W_l	%56
Plastik limit, W_p	%36

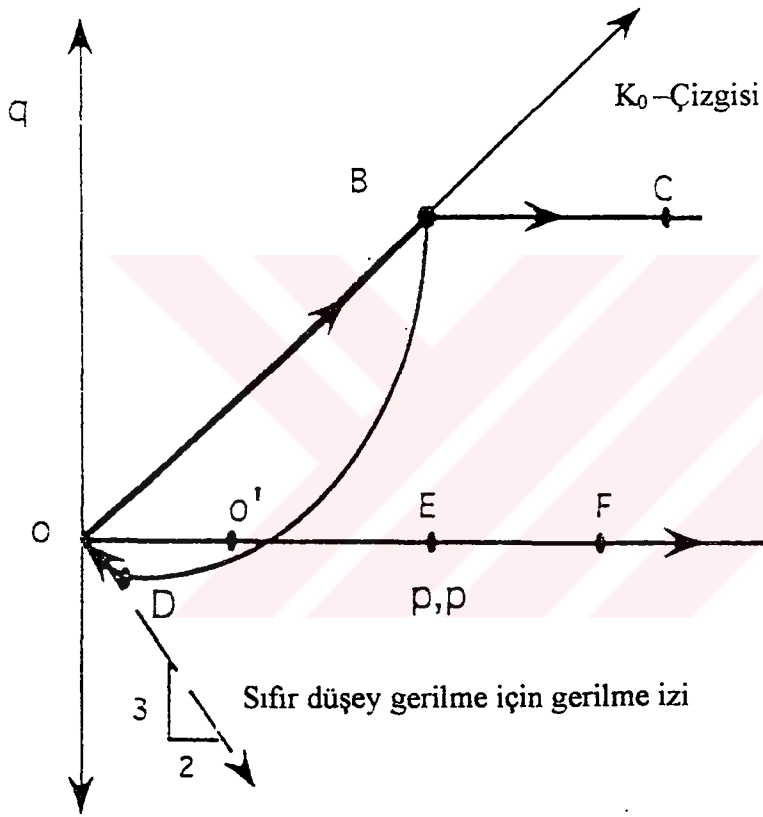
Veyn deneyi, düşen koni deneyi ve yükleme deneyinde kullanılan zemin numunesi Haliçten taranmış çamurdan $\omega_0 = \% 300$ su muhtevasında hazırlanmıştır Zemin bulamacı bir hafta sedimantasyona bırakıldıktan sonra yüzey suyu alınmıştır. Zemin numunesi birinci deneyde kendi halinde kurumaya bırakılmış, ikinci deneyde rüzgar ile kurutulmuş, üçüncü deneyde ise yüzeyin yarısına tuf diğer yarısına da fosfojibs tozu serpilerek kendi halinde kurumaya bırakılmıştır.

Serbest büzülme deneyleri için iki tür zemin numunesi hazırlanmıştır. Haliç çamurundan 200 NO'lu elekten geçirilen malzemeye havası alınmış su eklenip mikserle homojen olarak karıştırılmıştır. Bulamaç zemin numuneleri $e = 3.53$ bir başlangıç boşluk oranı ile hazırlanmış ve tamamen suya doygun varsayılmıştır. Bu başlangıç boşluk oranı sıfır efektif gerilmeye karşı gelen boşluk oranı olarak göz önüne alınmaktadır. Başlangıç su muhtevası, (ω_0) , ve ona uyan başlangıç boşluk oranını, e_0 belirlemek için bulamaç zeminden küçük miktarda numune olarak hazırlanmıştır.

Sedimentasyonla hazırlanan numunelere ek olarak, bir seri numune ise önyüklemeye maruz bırakılmıştır. Önyükleme uygulanan numuneler konsolidasyon deneyi aletinde hazırlanmıştır. Zemin bulamacı, huni vasıtasıyla belirli yükseklikte, H_0 , şeffaf kap içine boşaltılmıştır. Numunenin yüzeyine filtre kağıdı yerleştirilmiş ve numune kabına su doldurulmuştur. Yükleme için bulamaç zemin yüzeyinin üzerine yükleme üst başlığı yerleştirilmiş, yükleme şaftı başlık üzerine indirilmiş ve aynı zamanda yükleme askısı üzerine belirli bir yük kademeli olarak eklenmiştir. Numune, uygulanan her yük altında, genellikle 24 saat için, konsolide olmaya bırakılmıştır. Deformasyon ölçeri herhangi bir deformasyon göstermeyinceye kadar beklenmiş ve bu numunenin tamamen konsolide olduğu anlamına gelmiştir. Numunenin nihai yüksekliği, (H_{ef}), ölçer saat ile belirlenmiş ve konsolidasyon sonundaki ortalama boşluk oranı (e_{ef}), hesaplamak için kullanılmaktadır. Serbest drenaj şartları altında numunenin bütünüyle şişmesine izin vermek için, yükleme askısına eklenmiş yük yavaş ve kademeli olarak kaldırılmıştır. Yükleme askısı üzerindeki ağırlık ve yükleme pistonu kaldırıldıktan sonra, numune silindiri çıkartılmış ve serbest şişmeye izin vermek için, bir müddet numune yüzeyinde su tutulmuştur. Düşey gerilmelerin sıfıra düşmesinden sonra yanıl şekil değiştirmelerin meydana gelmesi için, numune silindiri çıkarılmıştır. Sonunda, numune yüzeyinde toplanan suyun drenajı sağlanıp numune üzerindeki filtre kağıdı kaldırılmıştır.

Bulamaç zeminden hazırlanan aşırı konsolide zemin numunesine uyan efektif gerilme izi Şekil 4.5'te gösterildiği gibi OBDO boyunca olmaktadır. Bulamaç için başlangıç efektif gerilme durumu O'da olmaktadır. Konsolidasyondan dolayı, efektif gerilme izi (EGİ) OB boyunca K_0 çizgisini izler, ve boşluk oranı, e_{ef} , olan yerde B efektif gerilme durumunda olmaktadır. Düşey gerilmelerin sıfıra düşmesinden sonra, (EGİ) B durumundan D durumuna hareket etmektedir. Numune silindirinin çıkarılması ve yanıl toplam gerilmenin sıfıra düşmesi sonucu (EGİ) D durumundan O durumuna hareket etmektedir.

Bu çalışmada hazırlanan aşırı konsolide zemin numunesi için, yükleme askısı üzerindeki yüklerin kaldırılmasının hızlıca olduğu dikkate alındığında, (EGİ) BD boyunca tam drenaj şartlarına izin verilmemekte, yalnız ideal durumlarda, (EGİ) BD boyunca yeterli zaman sağlanmaktadır. Bundan dolayı, aşırı konsolide numune için muhtemelen başlangıç efektif gerileme O ve E arasında olmakta, örneğin O', zira numunede negatif boşluk su basıncı



“Şekil 4,5” Üç boyutlu büzülme altında desikasyonu modellemek için hazırlanan zemin numunesi için efektif gerilme izi

kalmaktadır. E efektif gerilme durumuna karşı gelen ve B efektif gerilmedeki boşluk oranına eşit olan e_{cf} boşluk oranı olmaktadır.

4.3.2 Veyn deneyi

Deney aletinin açılı tablasında ibre herhangi bir değere sabitlenir ve bu değer ilk okuma olarak kaydedilir. Kanadın en alt noktasından itibaren kanat yüksekliğinin iki katı kadar zemin içine batırılmaktadır. Batırma işleminden sonra deney aletinin kolu 10 derece/saniyelik sabit bir hızla çevrilmeye başlanır, çevirme sırasında kalibre edilmiş elastik bir yayla zemine burulma momenti etkimektedir. Açılı tablasındaki iki ibre birbirinden ayrılınca, bu zeminin artık kayma direncinin aşıldığını gösterir, deney kesilir ve ibrenin kaldığı noktadaki değeri son okuma olarak kaydedilir.

4.3.3. Düşen koni deneyi

Koni, dikkatlice zemin yüzeyine sadece ucu dokunacak şekilde indirilir. Kap yana hareket ettirildiği zaman yüzey çizilmemelidir. Penetrasyonu ölçmek için aletin düğmesine kronometre ile aynı anda basılarak 5 saniye boyunca batması sağlanır. 5 saniye sonra koninin battığı seviyede kalması için düğme bırakılır, ibrenin düştüğü yer okunur ve penetrasyon olarak kaydedilir.

4.3.4. Yükleme deneyi

Kaptaki zemin numunesi alettaki yerine yerleştirildikten sonra metal silindir numunenin ortasına bir yüzeysel temel olarak yerleştirilmektedir. Yükleme şaftı temel yüzeyine dokunacak şekilde indirilip, 0,3 mm/dek hızla ayarlandıktan sonra, deformasyon ölçer saatinin her 10 okumasına karşı gelen yükleme değeri yükleme ölçer saatinden kaydedilmektedir.

4.3.4 Serbest büzülme deneyi

Zemin numuneleri numune kabına yerleştirilmeden önce iki adım atılmıştır: ilk önce numune silindirinin duvarlarının iç yüzeyleri ve dibi ince yağ tabakası ile kaplanmış, sonra, sıfır yükseklik ölçer saat okuması belirlendiği yerde ölçer saat yerleştirilmiştir. Bu deney için bulamaç ve aşırı konsolide numuneler hazırlanmıştır.

Bu numuneler laboratuarda kurumaya bırakılmış ve zemin hacmi ve kütlesinin sürekli ölçümleri kaydedilmiştir. Zemin numunesinin ortalama hacmi, V , değişik zamanlarda zemin numunesinin yükseklik ve çap ortalamaları ölçümleri ile belirlenmiştir. Numunenin yüksekliği Şekil 4.4'te gösterildiği gibi numune deformasyon göstermeden önce saat minesi ile ölçülmüştür. Numunenin deformasyonundan sonra, numune yüksekliği numune çevresinde ve merkezinde ölçülen değerlerin ortalama değeri olarak hesaplanmıştır. Numune çevresindeki yükseklik pergel vasıtasıyla ve merkez çevresinde saat minesi ile ölçülmüştür. Numunenin çapı pergel ile ölçülmüştür.

Zemin numunesi çok az hacimsel değişiklik gösterdiği zaman deney durdurulmuştur. Sonra zemin numunesi etüvde 24 saat kurumaya bırakılmış ve kuru kütle ve hacim (M_s ve V_s) değerleri belirlenmiştir. V ve M değerleri değişik zamanlarda su muhtevası ve boşluk oranı hesaplarında kullanılmıştır.

4.4 Deney Sonuçları

4.4.1 Veyn deneyinin sonuçları

4.4.1.1 Kendi halinde kurumuş numune

Zemin numunesinin hazırlanması ve laboratuvar koşullarında kurumaya bırakılmasından 66, 73 ve 91 gün geçtikten sonra veyn deneyi yüzeyde, ortada ve tabanda olmak üzere üç değişik yerde yapılmıştır. Değişik üç zamana karşı gelen su muhtevası ve drenajsız kayma mukavemeti Çizelge 4.2'da sunulmaktadır. Su muhtevası- drenajsız kayma mukavemeti ve zaman- kayma mukavemeti değişimlerini gösteren eğriler (Şekil 4.6) ve (4.7)'de gösterilmektedir.

Boşluk oranı ile ortalama drenajsız kayma mukavemeti arasında (3.20) eşitliği kullanılarak aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$e = 2,27 - 0,79 C_u \quad (4.1)$$

çekme mukavemeti ise (3.22) eşitliğinden drenajsız kayma mukavemetini belirli bir oranı olarak tahmin edilebilmektedir.

“Çizelge 4.2” Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (veyn deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Deney noktası	Cu (kPa)
66	% 94,0	12,0	Yüzeyde	2.93
			Ortada	2.74
			Tabanda	2.83
73	%78.7	10,5	Yüzeyde	10,00
			Ortada	9.50
			Tabanda	8.03
90	%71.8	8,2	Yüzeyde	28,00
			Ortada	25.50
			Tabanda	24.40

4.4.1.2 Rüzgarla kurumuş numune

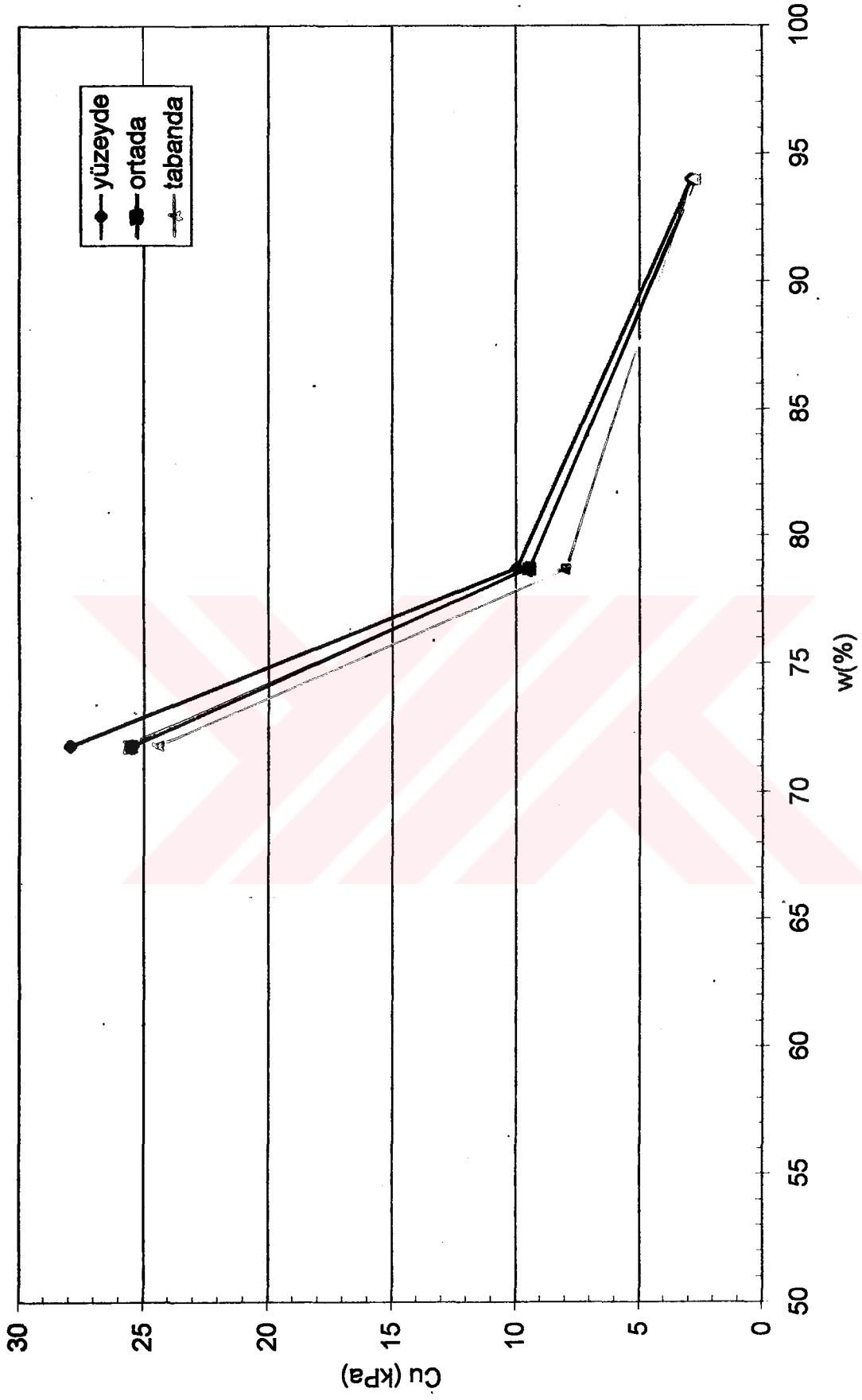
Zemin numunesi hazırlandıktan sonra bir vantilator yardımı ile yaratılan rüzgar etkisi altında kurumaya bırakılmış ve 66 gün geçtikten sonra veyn deneyi yüzeyde, ortada ve tabanda olmak üzere üç değişik yerde yapılmıştır. O zamana karşı gelen su muhtevası ve drenajsız kayma mukavemeti “Çizelge 4.3” sunulmaktadır:

“Çizelge 4.3” Rüzgarla kurumuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (veyn deneyi)

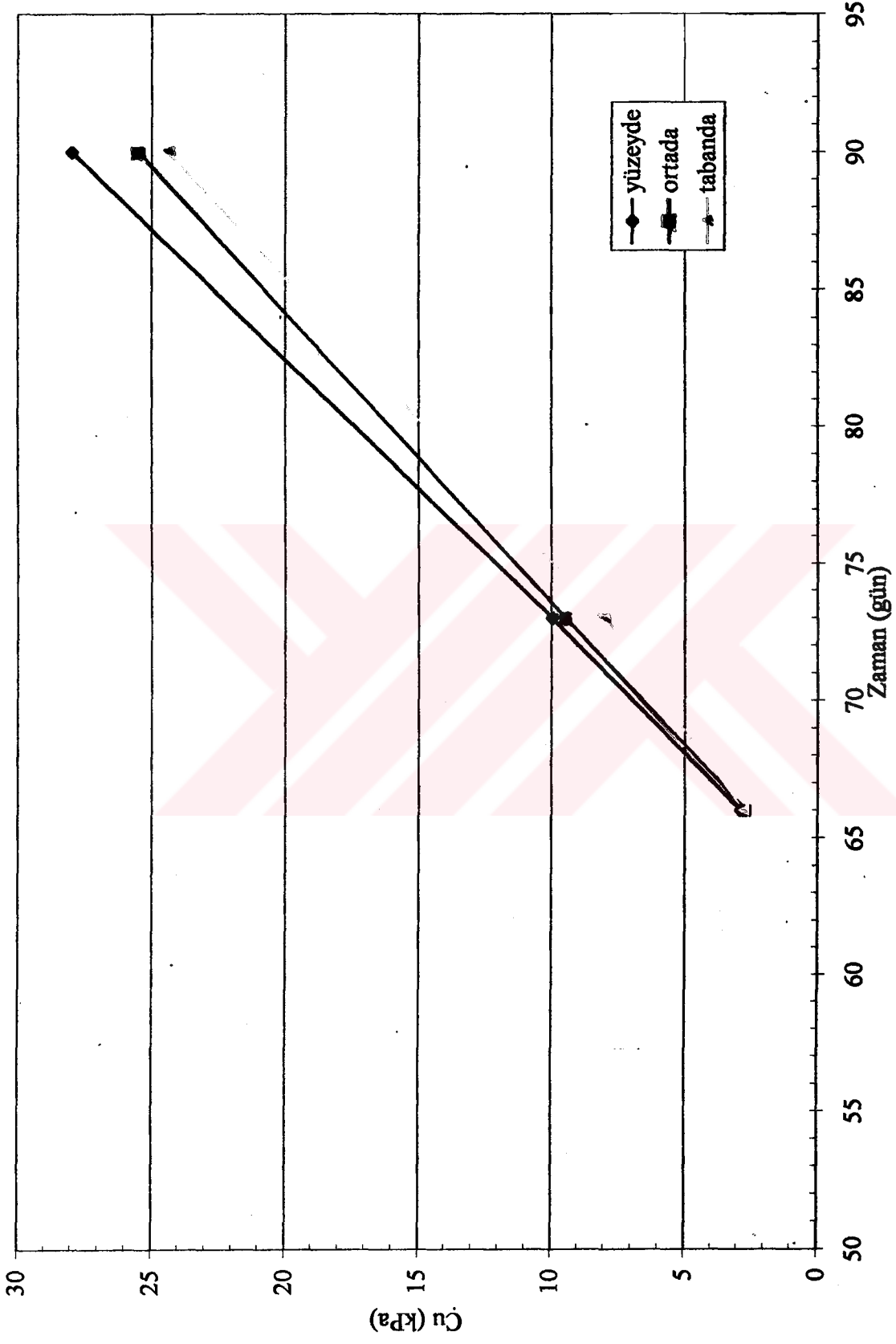
Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Deney noktası	Cu (kPa)
66	46.5	2,9	Yüzeyde	103.05
			Ortada	66.52
			Tabanda	79.5

4.4.1.1 Katı maddesi eklenerek kurumuş numune (fosfojibs-tüf)

Aynı zemin numunesi üzerine yüzeyin bir yarısına toz halinde fosfojibs öbür yarısına da tüf serpidikten sonra kendi halinde kurumaya bırakılmıştır. 52 gün sonra yüzeyde ve tabanda yapılmış deney sonuçları “Çizelge 4.4” ve “Çizelge 4.5” te sunulmaktadır.



Şekil 4.6 Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için w-Cu (veyn deneyi)



Şekil 4.7 Kendi halinde kurumuş numune için zaman-Cu (veyn deneyi)

“Çizelge 4.4” Üzerine fosfojibs eklenmiş ve kendi halinde kurumuş numune için kayma mukavemeti (veyn deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Deney noktası	Cu (kPa)
52	87,0	4,5	Yüzeyde	2,62
			Tabanda	2,11

“Çizelge 4.5” Üzerine tuf eklenmiş ve kendi halinde kurumuş numune için kayma mukavemeti (veyn deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Derinlik (cm)	Cu (kPa)
52	87,0	4,5	Yüzeyde	2,11
			Tabanda	2,11

4.4.2 Düşen koni deneyinin sonuçları

4.4.2.1 Kendi halinde kurumuş numune

Düşen koni deneyinde (80) gr, (180) gr ve (230) gr ağırlığında koniler için üç değişik okumalar alınmıştır. Bu deneyin sonuçları “Çizelge 4.6” sunulmaktadır. Su muhtevası- drenajsız kayma mukavemetini ve zaman- kayma mukavemetini gösteren eğriler (Şekil 4.8) ve (4.9)’de gösterilmektedir.

4.4.2.2 Rüzgarla kurumuş numune

Rüzgarla kurutulmuş numune için düşen koni deneyi sonuçları “Çizelge 4.7”de sunulmaktadır.

“Çizelge 4.6” Kendi halinde kurumuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Ağırlık (gr)	Cu (kPa)
66	% 94,0	12,0	80	2,90
			180	0,65
			230	0,73
73	%78.7	10,5	80	13,60
			180	8,40
			230	5,70
90	%71.8	8,2	80	12,40
			180	13,20
			230	11,00

“Çizelge 4.7” Rüzgarla kurumuş zemin numunesi için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Ağırlık (cm)	Cu (kPa)
66	46.5	2,9	80	122
			180	86
			230	82

4.4.2.3 Katı madde ekleyerek kurumuş numune (fosfojibs-tüf)

Yüeyinin yarısına toz halinde fosfojibs öbür yarısına tüf serpildikten sonra kurumaya bırakılan numuneler üzerinde düşen koni deneyi uygulanmıştır. Bu deneyin sonuçları “Çizelge 4.8” “Çizelge 4.9”da sunulmaktadır.

“Çizelge 4.8” Üzerine fosfojibs eklenmiş numune için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Ağırlık (cm)	Cu (kPa)
52	87	4,5	80	1,44
			180	2,00
			230	1,47

“Çizelge 4.9” Üzerine tüf eklenmiş numune için kayma mukavemeti (düşen koni deneyi)

Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Ağırlık (cm)	Cu (kPa)
52	78	4,5	80	1,24
			180	1,68
			230	1,11

4.4.3 Yükleme deneyi

4.4.3.1 Kendi halinde kurumuş numune

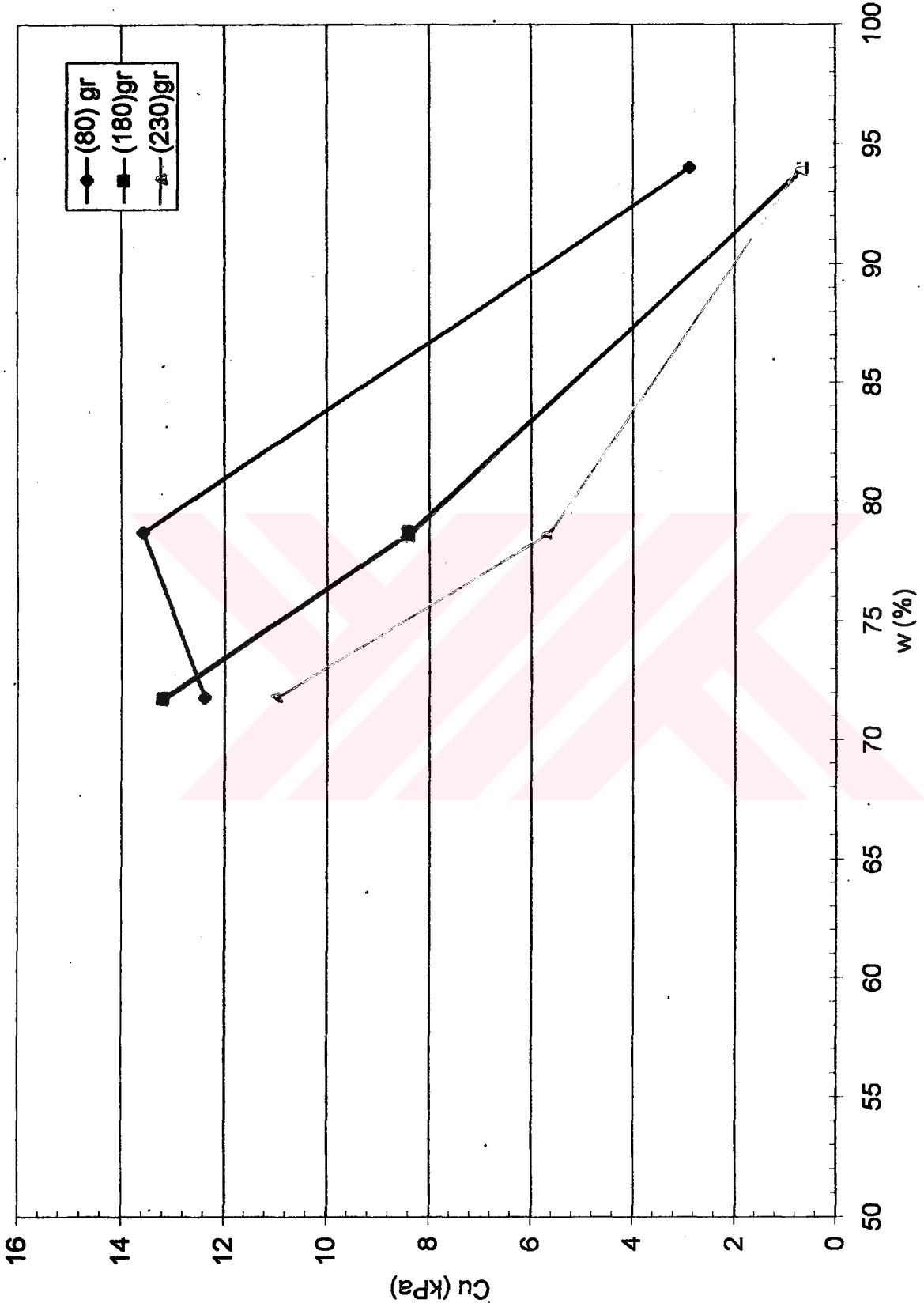
Zemin numunesi %71,8 su muhtevasında yükleme deneyine tabi tutulmuştur. Zemin numunesi 1,1 mm deformasyon ve 32,33 kPa gerilme değerinde göçmeye ulaşmıştır. Deformasyon-gerilme eğrileri Şekil 4.10’da gösterilmektedir

4.4.3.2 Rüzgarla kurumuş numune

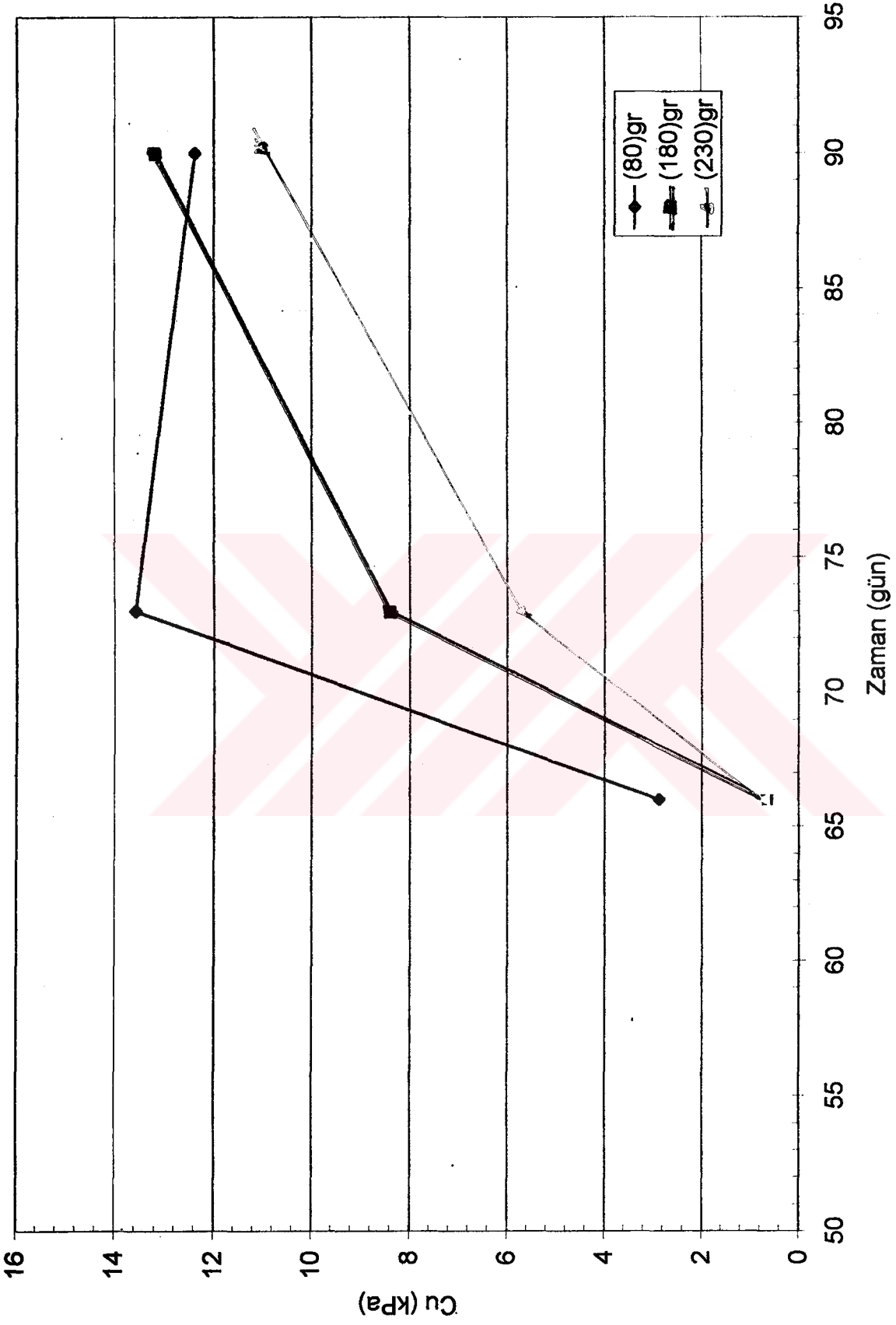
Rüzgarla kurumuş numune çok sert olduğundan dolayı yükleme deneyine tabi tutulamadı.

4.4.3.3 Katı madde ekleyerek kurumuş numune (fosfojibs-tüf)

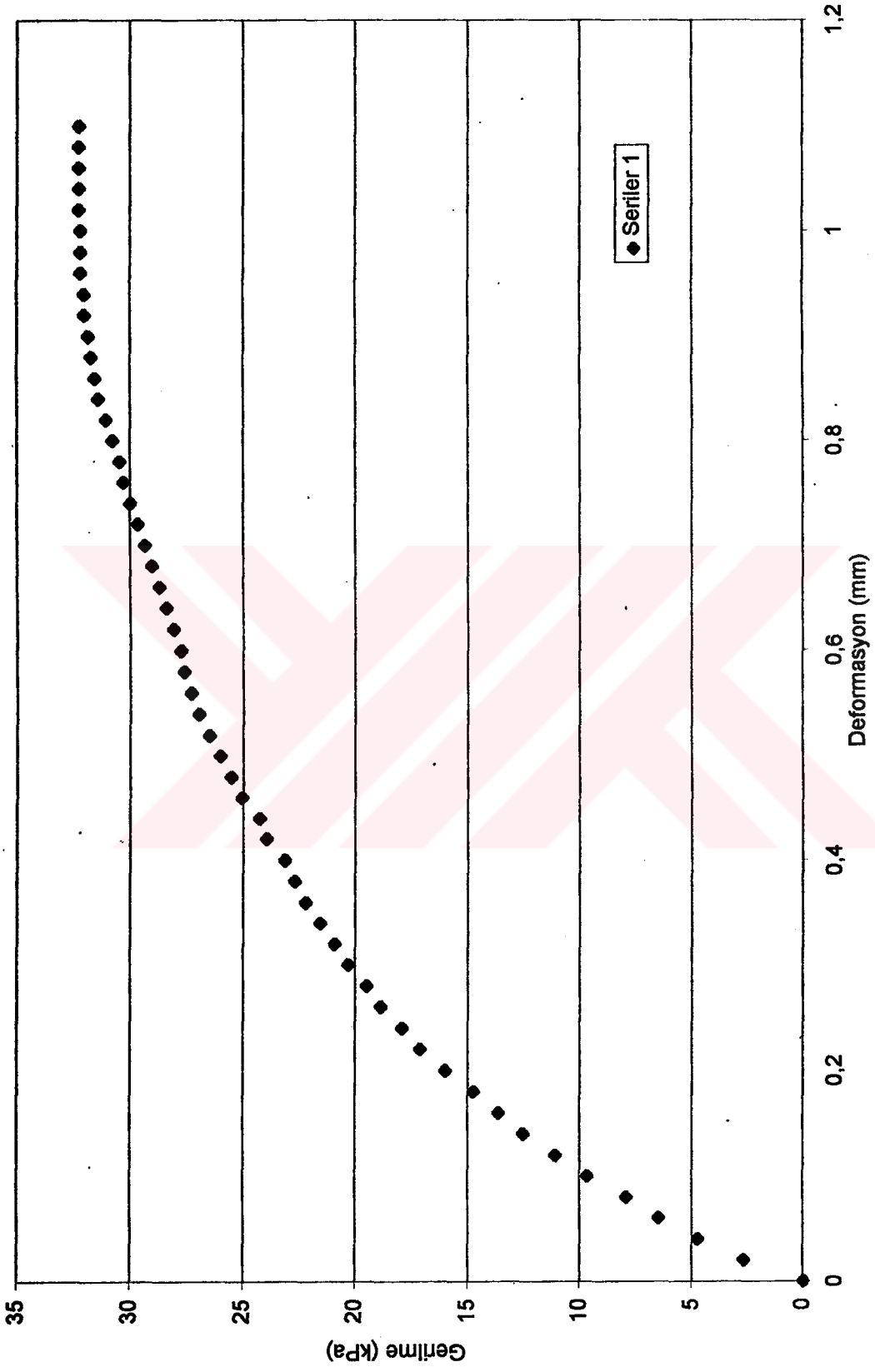
Zemin numunesi %87 su muhtevasında yükleme deneyine tabi tutuldu ve her iki malzeme için 0,92 mm deformasyon ve 17,37 kPa gerilme değerinde göçmeye ulaşmıştır. Deformasyon-gerilme eğrileri Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’ gösterilmektedir



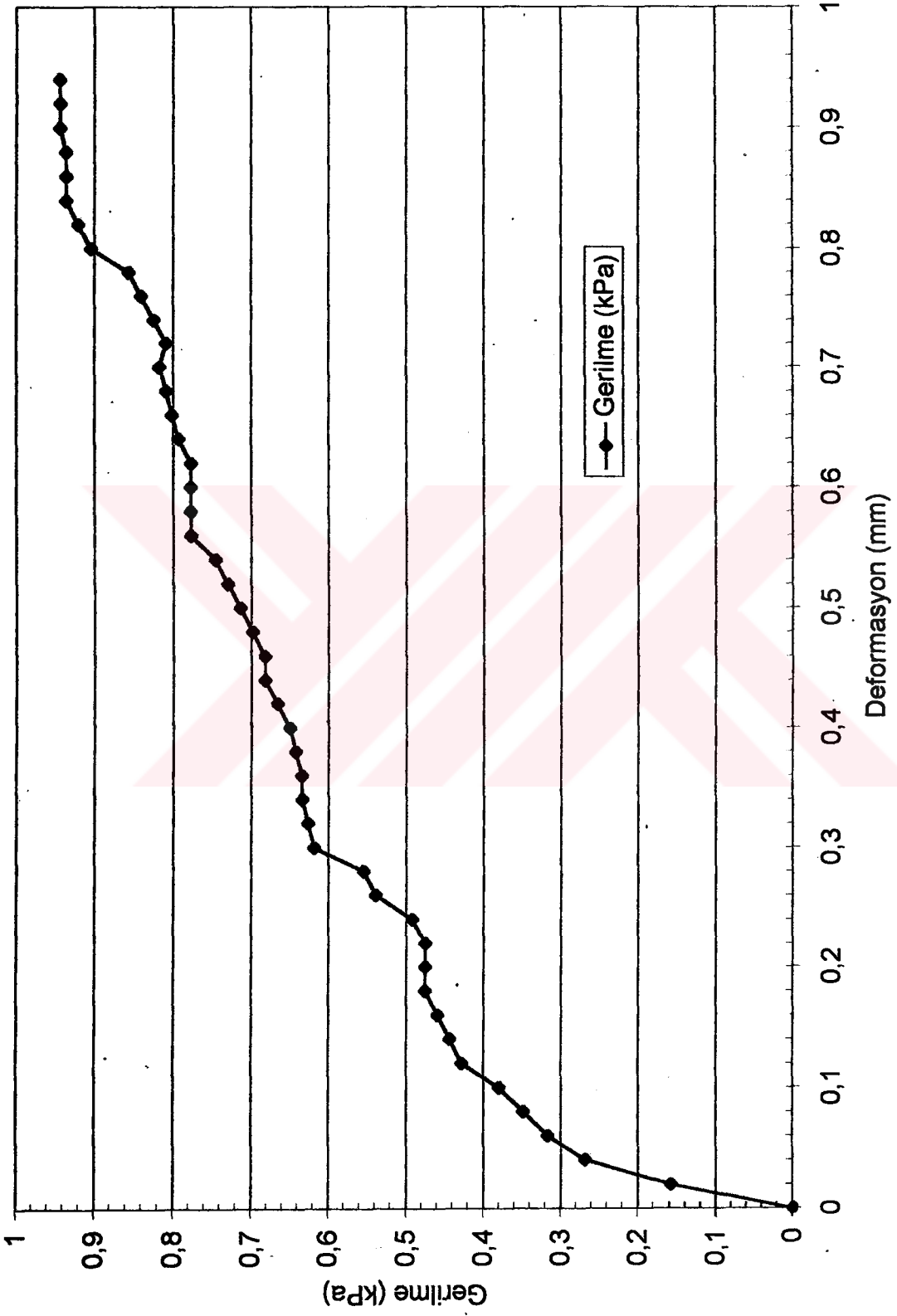
Şekil 4.8 Kendi halinde kurumuş numune için w-Cu (koni deneyi)



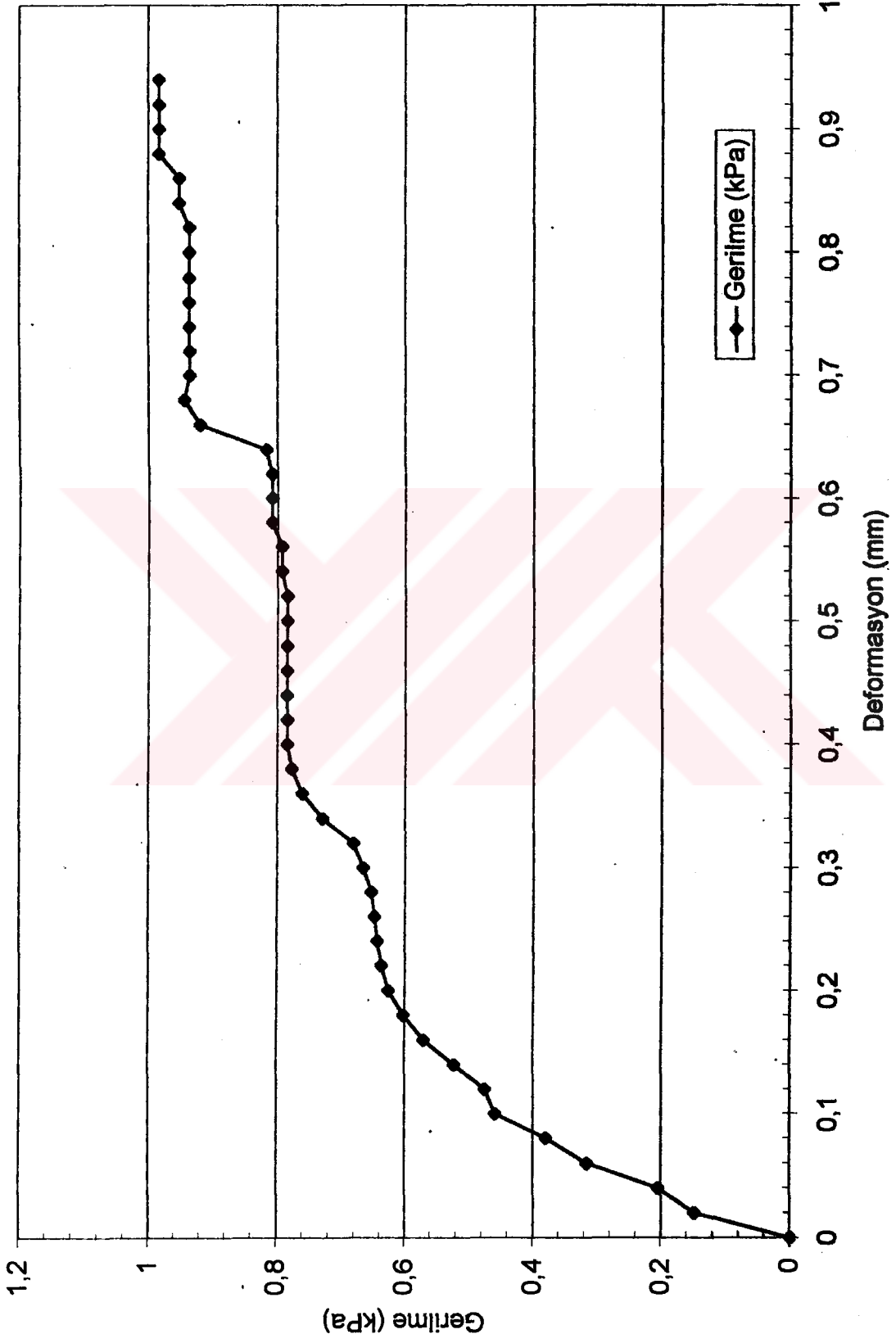
Şekil 4.9 Kendi halinde kurumuş numune için zaman-Cu (koni deneyi)



Şekil 4.10 Kendi halinde kurumuş numune için deformasyon-gerilme (yükleme deneyi)



Şekil 4.11 Fosfojibs eklenecek kurumuş numune için deformasyon-gerilme (yükleme deneyi)



Şekil 4.12 Tuf eklenerek kurumuş numune için deformasyon-gerilme (yükleme deneyi)

4.4.4 Serbest büzülme deneyi

Toplam on adet serbest büzülme deneyi yapılmıştır. Bu deneylerin altı tanesinde bulamaç ve dördünde aşırı konsolide numuneler kullanılmıştır. Bu deneyler için deney datası ve deney sonuçları izelge 4.10'dan izelge 4.19'a sırasıyla özetlenmiştir. Deney datası zemin numunesinin tipi, katı zemin danelerinin kütlesi, başlangıçtaki su muhtevası, başlangıçtaki yükseklik, ve uygulanan düşey gerilmeleri kapsamaktadır. Bu izelgelarda değişik zamanlardaki su muhtevası, yükseklik, çap, ve boşluk oranı değerleri verilmekte, son sıradaki değerler etüvde kurutulmuş zemin için olmaktadır. Aşırı konsolide zemin numuneleri için, başlangıçtaki boşluk oranı e_0 sıfır zamana karşı gelmektedir. Bulamaç numuneler için su muhtevası-boşluk oranı değişimini gösteren eğriler Şekil 4.13- Şekil 4,18'de nyklenmiş zemin numuneleri için ise Şekil 4,19- Şekil 4,22'de gösterilmiştir. Deney uygulanan numunelerin kuruma hızları ise Şekil 4,23- Şekil 4,32'de verilen su muhtevası-zaman eğrilerinde gösterilmiştir

Zemin numunesi kurudukça büzülmekte, ancak yeterince katı olduğunda büzülme üniform olmamakta ve Şekil 4.4b'de gösterildiği gibi eğrilmektedir.

Serbest büzülme deneyinde, bulamaç zemin ve aşırı konsolide numunelerin EGI'i Şekil 4.5'te gösterildiği gibi OF boyunca olmaktadır (veya aşırı konsolide numuneler için O' F). Serbest büzülme deneyinde aşırı konsolide numuneler kullanıldığında elde edilen sonuçların nyklenmeden etkilenmemesinden dolayı, e_i başlangıç boşluk oranında, (EGI) OF (veya O' F) boyunca düşey ve yanal deformasyonların oranı, çatlama boşluk oranının e_i 'ye eşit olduğu adımsal izotropik efektif gerilme izi boyunca düşey ve yanal deformasyonların oranına eşit olmaktadır. Bundan dolayı, aşırı konsolide zemin numuneleri kullandığında, serbest büzülme deneyi sonuçlarının analizlerinde, $e_{vc} = e_i$ varsayılmıştır.

“Çizelge 4.10” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 1 (bulamaç zemin numunesi)
 ($M_s = 84,8$ gr, $\omega_0 = \%138$, $\sigma_v = 0$)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık (cm)	Çap (cm)	Boşluk Oranı
0	138,0	1,90	10,00	3,67
19,25	115,0	1,67	10,00	3,10
43,25	97,5	1,49	10,00	2,66
66,25	83,7	1,37	10,00	2,37
90,75	69,0	1,26	9,67	1,89
99,50	56,0	1,22	9,34	1,62
120,25	43,3	1,19	9,09	1,36
140,00	25,0	1,17	8,99	1,33
-	0,0	1,17	8,98	1,32

“Çizelge 4.11” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 2 (bulamaç zemin numunesi)
 ($M_s = 82,0$ gr, $\omega_0 = \%134$, $\sigma_v = 0$)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık(cm)	Çap (cm)	Boşluk Oranı
0	134,0	1,80	10,00	3,58
15	119,0	1,65	10,00	3,20
32	105,0	1,41	10,00	2,58
45,5	92,1	1,34	10,00	2,41
54,5	83,0	1,30	6,76	2,09
69,0	69,1	1,25	9,32	1,76
78,5	59,6	1,24	9,14	1,63
93,0	44,4	1,23	8,96	1,51
101,5	53,3	1,22	8,91	1,46
117,0	20,0	1,21	8,84	1,41
-	0	1,21	8,81	1,39

“Çizelge 4.12” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 3 (bulamaç zemin numunesi)
 ($M_s = 82,5$ gr, $\omega_0 = \%134$, $\sigma_v = 0$)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık(cm)	Çap (cm)	Boşluk Oranı
0	134,0	1,80	10,00	3,55
25	110,0	1,58	10,00	3,00
44,5	93,7	1,39	10,00	2,51
53,5	84,4	1,30	10,00	2,29
68,0	75,0	1,28	9,61	2,00
78,0	60,1	1,25	9,12	1,63
92,0	47,1	1,22	8,93	1,46
101,5	37,8	1,20	8,89	1,40
117	24,5	1,18	8,84	1,33
-	0	1,18	8,80	1,31

“Çizelge 4.13” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 4 (bulamaç zemin numunesi)
 ($M_s = 81,9$ gr, $\omega_0 = \%135$, $\sigma_v = 0$)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık(cm)	Çap (cm)	Boşluk Oranı
0	135,0	1,80	10,00	3,59
20	117,0	1,69	10,00	3,30
45,0	107,0	1,60	10,00	3,08
52,0	79,8	1,30	10,00	2,32
70,0	66,4	1,27	9,49	1,82
78,0	61,4	1,23	9,34	1,74
92,5	49,0	1,21	9,02	1,51
100,0	45,4	1,19	8,82	1,36
116,0	30,9	1,18	8,79	1,35
123,0	28,0	1,17	8,78	1,30
-	0	1,17	8,76	1,29

“Çizelge 4.14”, Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 5 (bulamaç zemin numunesi)
 ($M_s = 82,3$ gr, $\omega_0 = \%143$, $\sigma_v = 0$)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık(cm)	Çap (cm)	Boşluk Oranı
0	143,0	1,90	10,00	3,81
47,0	112,1	1,65	10,00	3,18
54,5	104,4	1,59	10,00	3,03
70,0	95,9	1,48	10,00	2,75
77,5	91,0	1,43	10,00	2,62
94,5	83,5	1,32	10,00	2,34
119,5	69,3	1,28	9,76	2,08
131,5	55,0	1,26	9,13	1,66
141,5	43,6	1,23	9,05	1,55
156,5	27,8	1,19	9,01	1,44
-	0	1,19	8,98	1,43

“Çizelge 4.15” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 6 (bulamaç zemin numunesi)
 ($M_s = 81,3$ gr, $\omega_0 = \%133$, $\sigma_v = 0$)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık(cm)	Çap (cm)	Boşlu Oranı
0	133,0	1,80	10,00	3,62
5	115,0	1,57	10,00	3,05
10,5	100,0	1,37	10,00	2,51
24,5	87,3	1,28	9,59	2,02
34,0	74,3	1,24	9,24	1,72
48,5	66,5	1,21	8,97	1,50
57,5	49,0	1,19	8,89	1,41
65,5	40,0	1,18	8,87	1,38
75	25,0	1,17	8,86	1,36
-	0,0	1,17	8,85	1,35

“Çizelge 4.16” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 7 (aşırı konsolide zemin numunesi)
 ($M_s = 98,0$ gr, $\omega_0 = \%134$, $H_0 = 2,11$ cm, $\sigma_v = 9,16$ kPa)

Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık (cm)	Çap (cm)	Boşlu Oranı
0	69,0	1,49	10	2,23
8,0	53,0	1,27	9,75	1,62
21,5	23,3	1,25	9,74	1,57
30,0	14,2	1,23	9,71	1,51
45,5	8,0	1,23	9,71	1,51
-	0	1,23	9,71	1,51

“Çizelge 4.17” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 8 (aşırı konsolide zemin numunesi)
 ($M_s = 95,0$ gr, $\omega_0 = \%135,0$, $H_0 = 2,11$ cm, $\sigma_v = 9,16$ kPa)

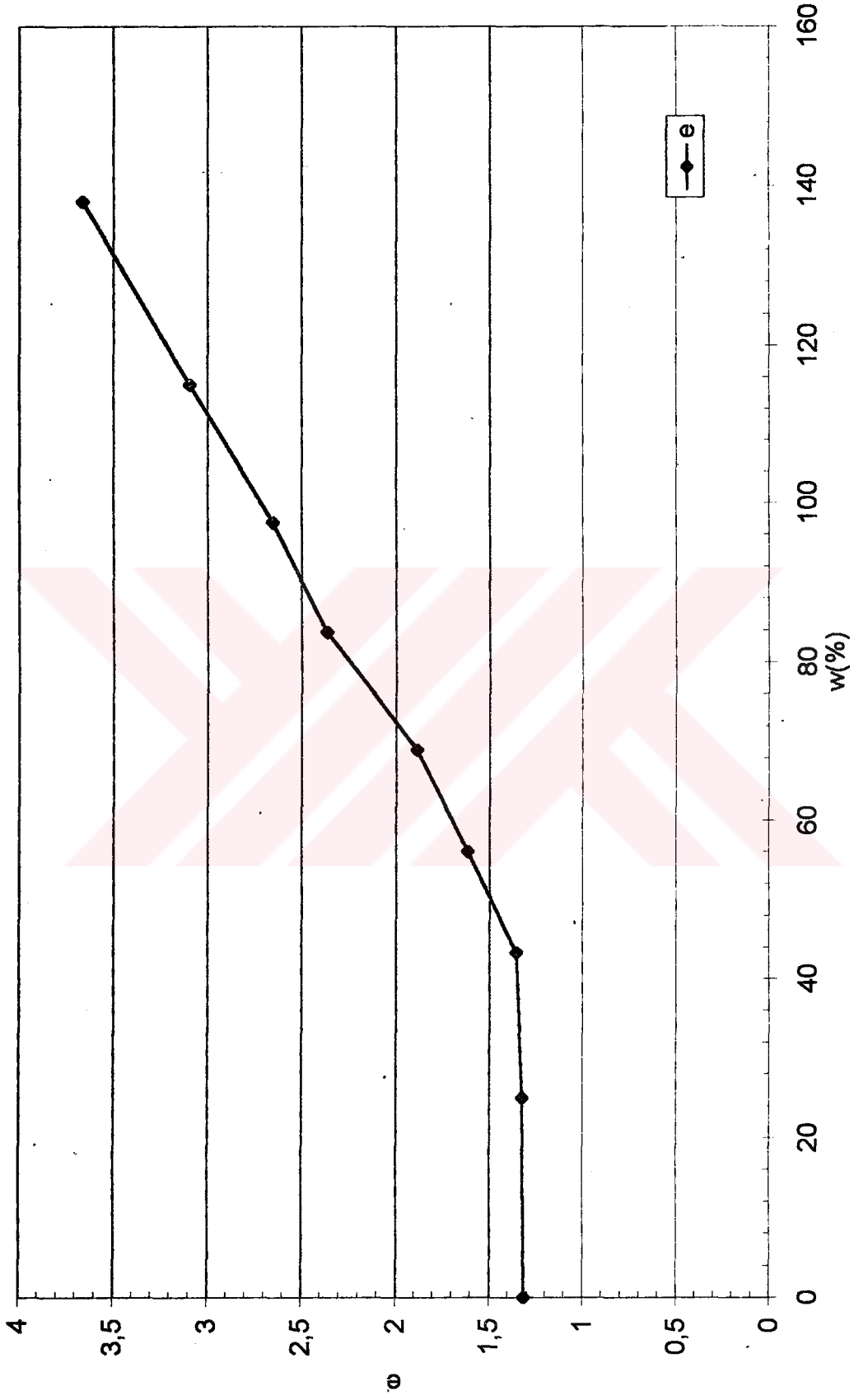
Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık (cm)	Çap (cm)	Boşlu Oranı
0	70,0	1,36	10	2,00
	61,6	1,30	9,82	1,87
22,0	24,1	1,20	9,75	1,52
31,5	13,8	1,18	9,66	1,49
46,0	7,4	1,18	9,68	1,44
-	0	1,18	9,68	1,44

“Çizelge 4.18” Serbest büzülme deneyinin datası
 deney 9 (aşırı konsolide zemin numunesi)
 ($M_s = 97,0$ gr, $\omega_0 = \%137,0$, $H_0 = 2,11$ cm, $\sigma_v = 9,16$ kPa)

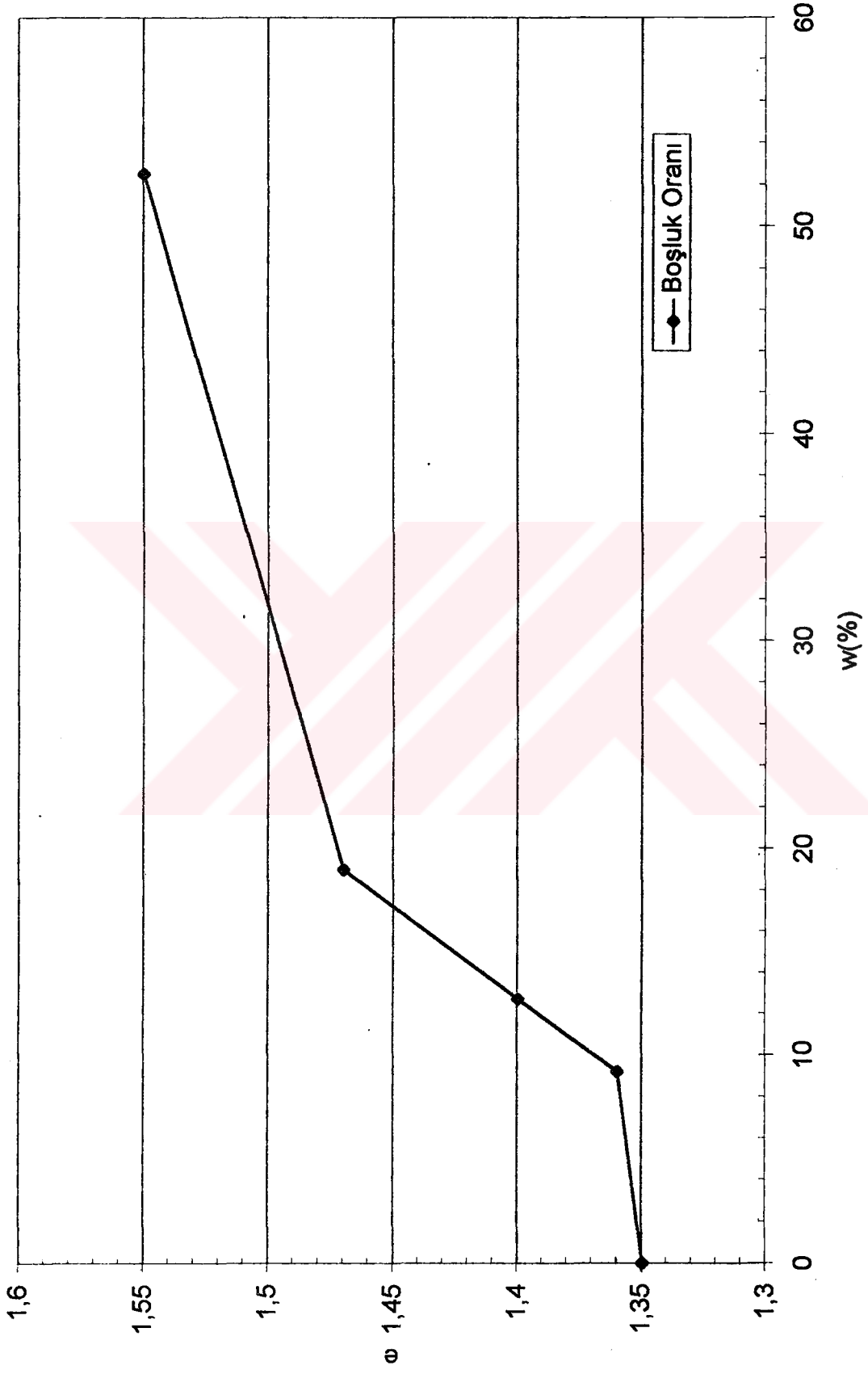
Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık (cm)	Çap (cm)	Boşlu Oranı
0	70,5	1,62	10	2,46
4,0	70,0	1,52	9,89	2,20
14,0	52,0	1,38	9,73	1,80
22,0	33,6	1,28	9,61	1,52
32,0	12,8	1,24	9,55	1,41
46,5	7,8	1,23	9,51	1,38
57,0	7,2	1,23	9,50	1,37
-	0	1,23	9,50	1,37

“Çizelge 4.19” Serbest büzülme deneyinin datası
deney 10 (aşırı konsolide zemin numunesi)
($M_s = 159,1$ gr, $\omega_0 = \%135,0$, $H_0 = 3,87$ cm, $\sigma_v = 27,5$ kPa)

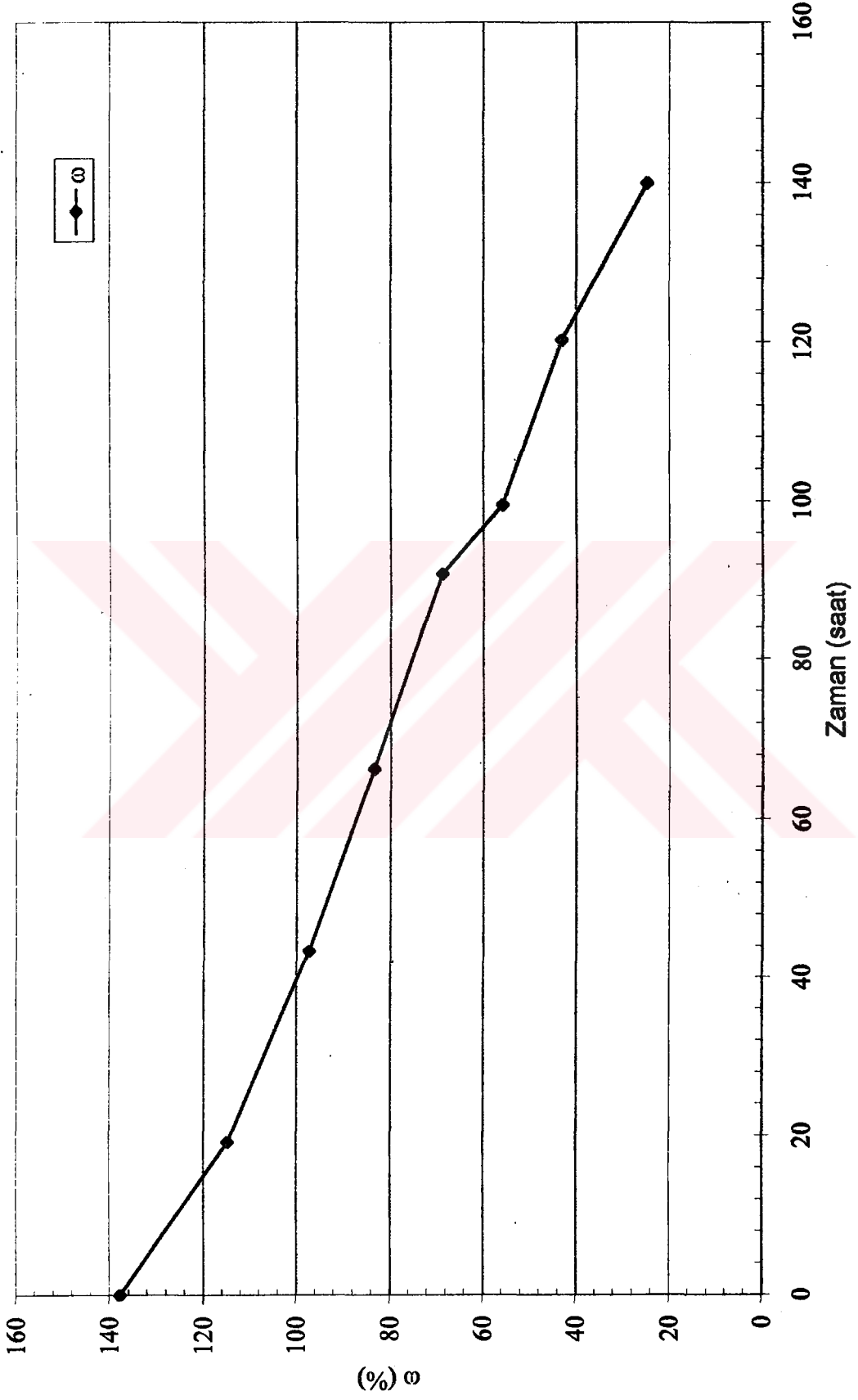
Zaman (Saat)	Su Muhtevası (%)	Kalınlık (cm)	Çap (cm)	Boşlu Oranı
0	52,5	1,94	10	1,55
23,5	19,0	1,95	9,83	1,47
33,0	12,7	1,90	9,81	1,4
49,0	9,2	1,88	9,78	1,36
--	0	1,88	9,76	1,35



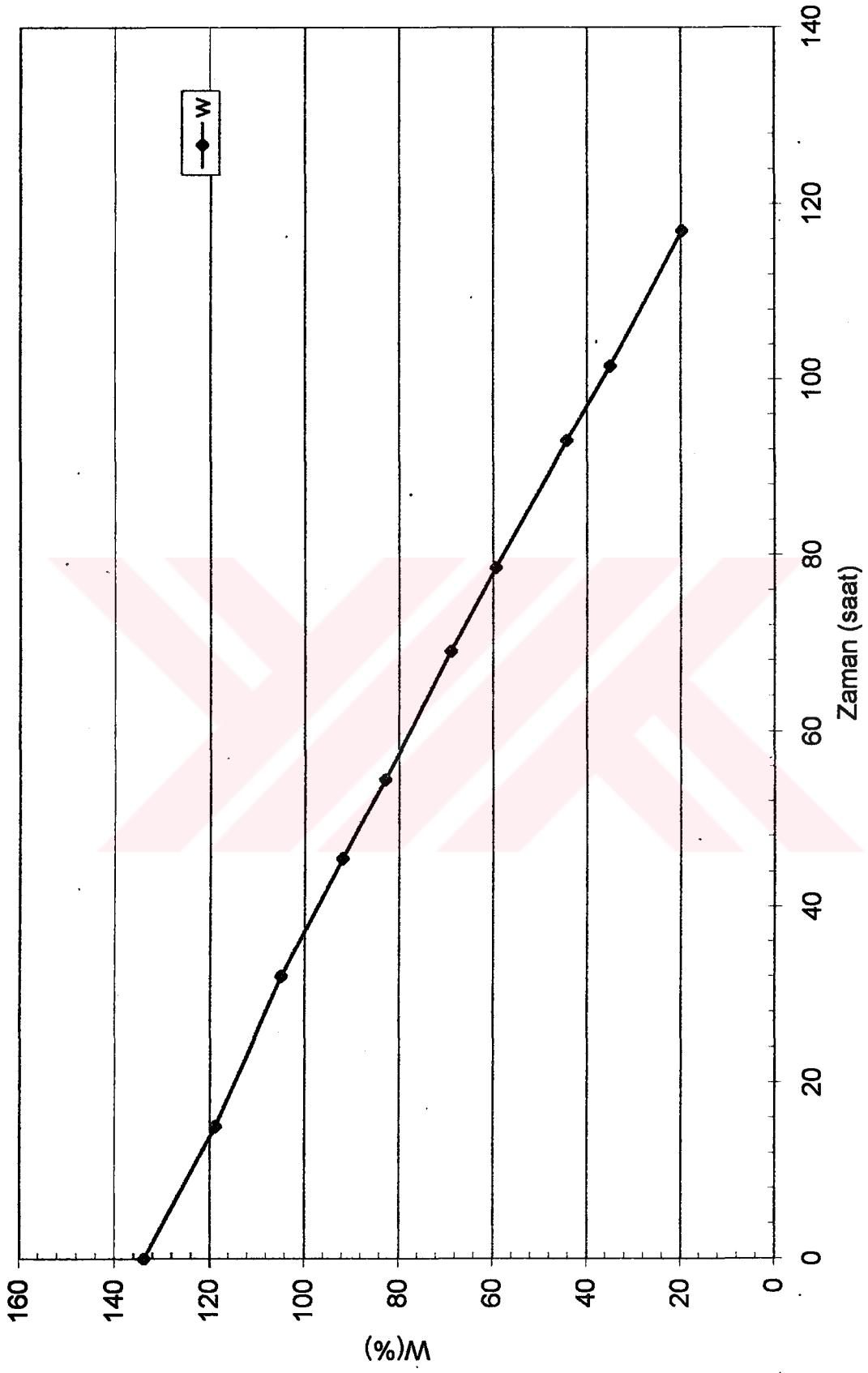
Şekil 4.13 Serbest büzülme deneyi için w-e (deney 1)



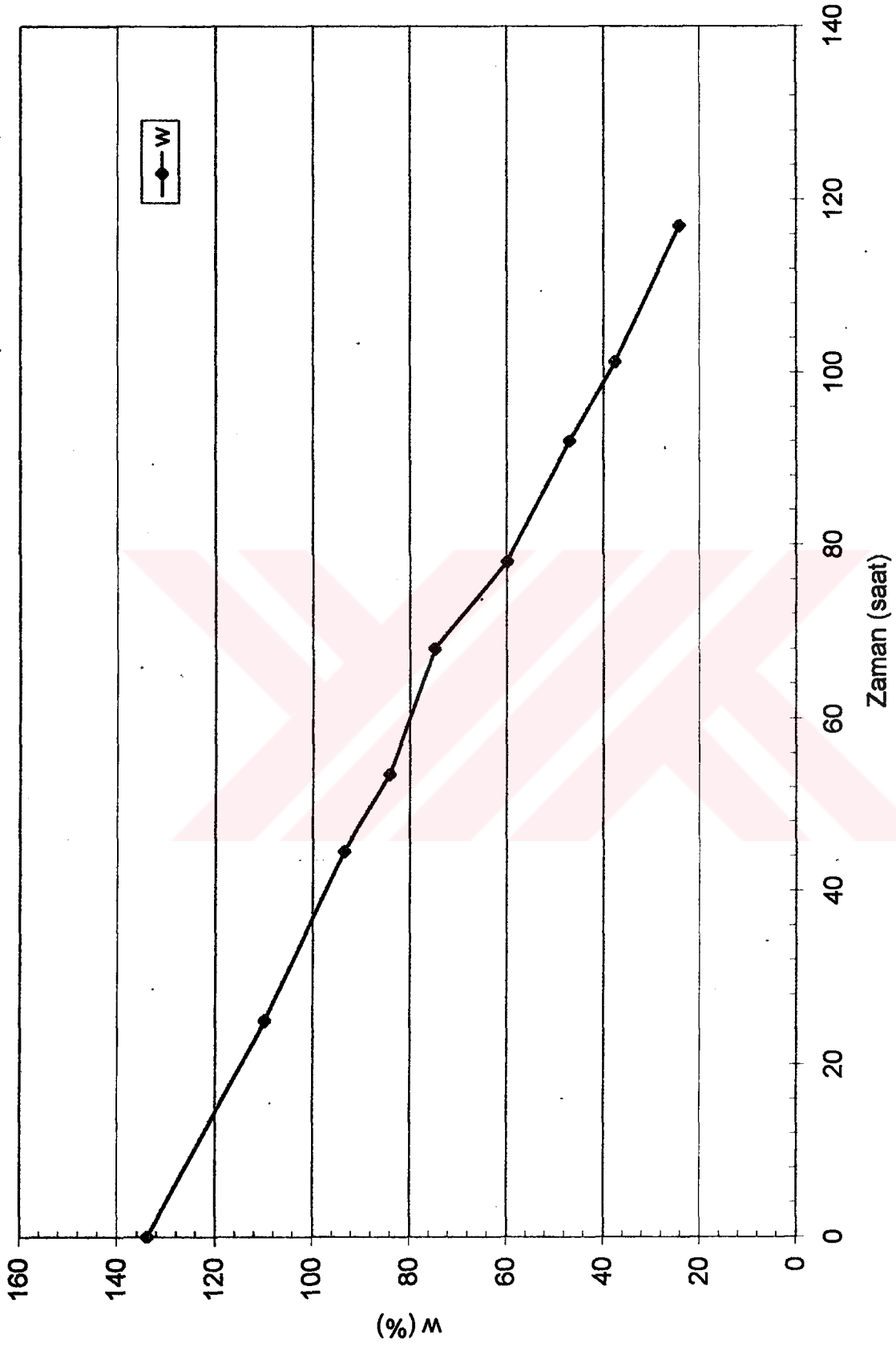
Şekil 4.22 Serbest büzülme deneyi için $w-e$ (deney 10)



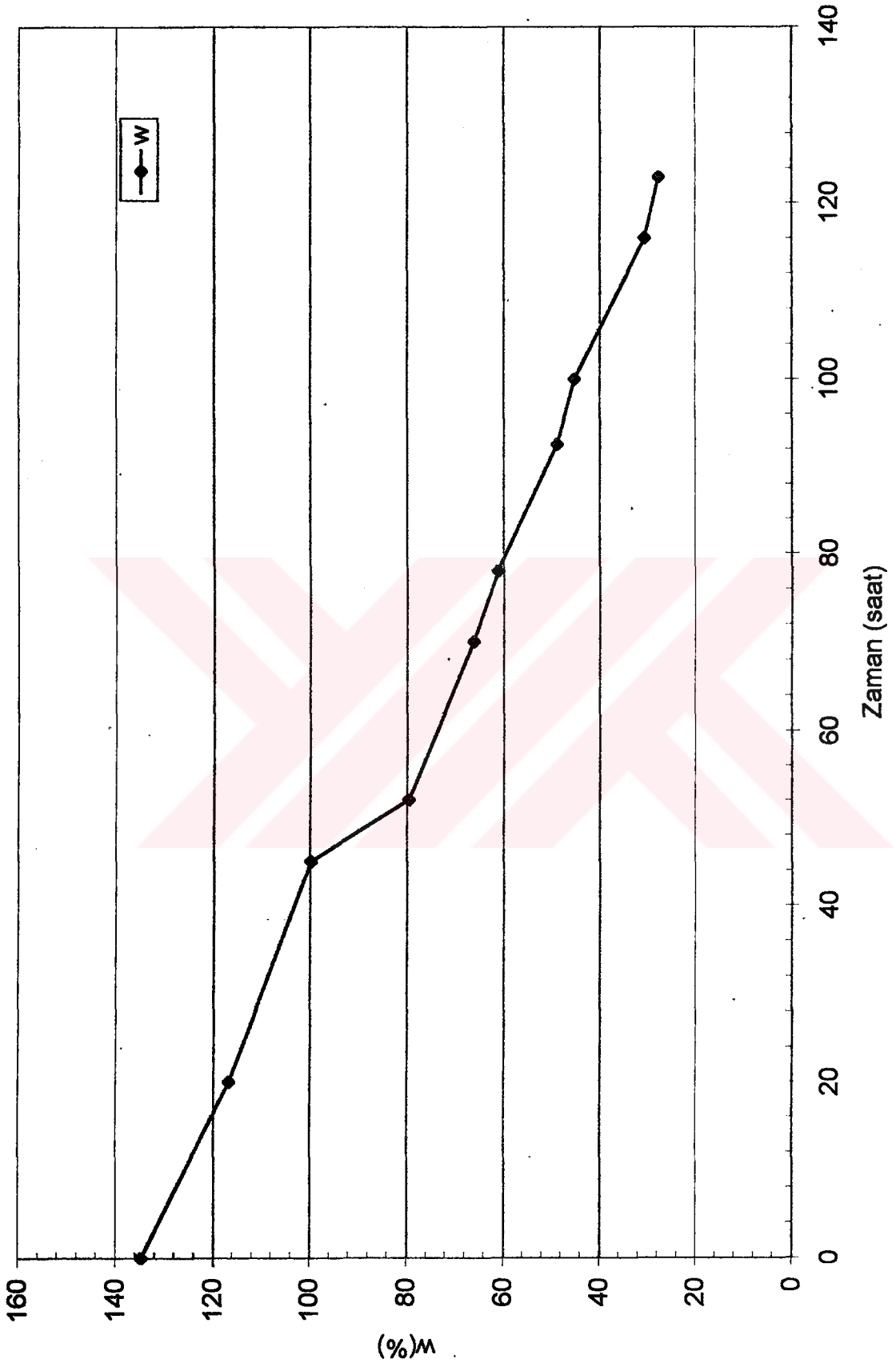
Şekil 4.23 Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 1)



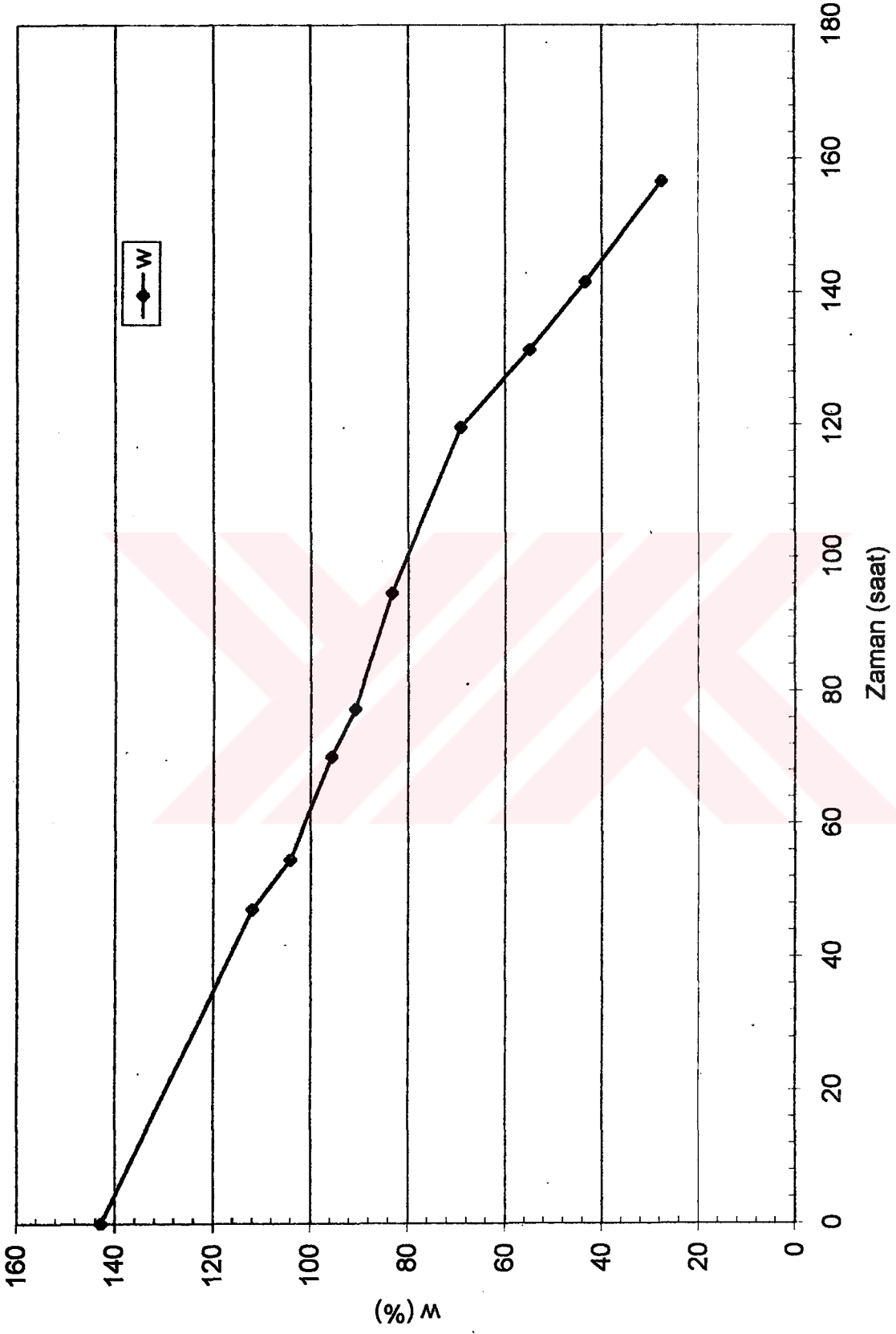
Şekil 4.24 Serbest bütüleme deneyi için zaman-w (deney 2)



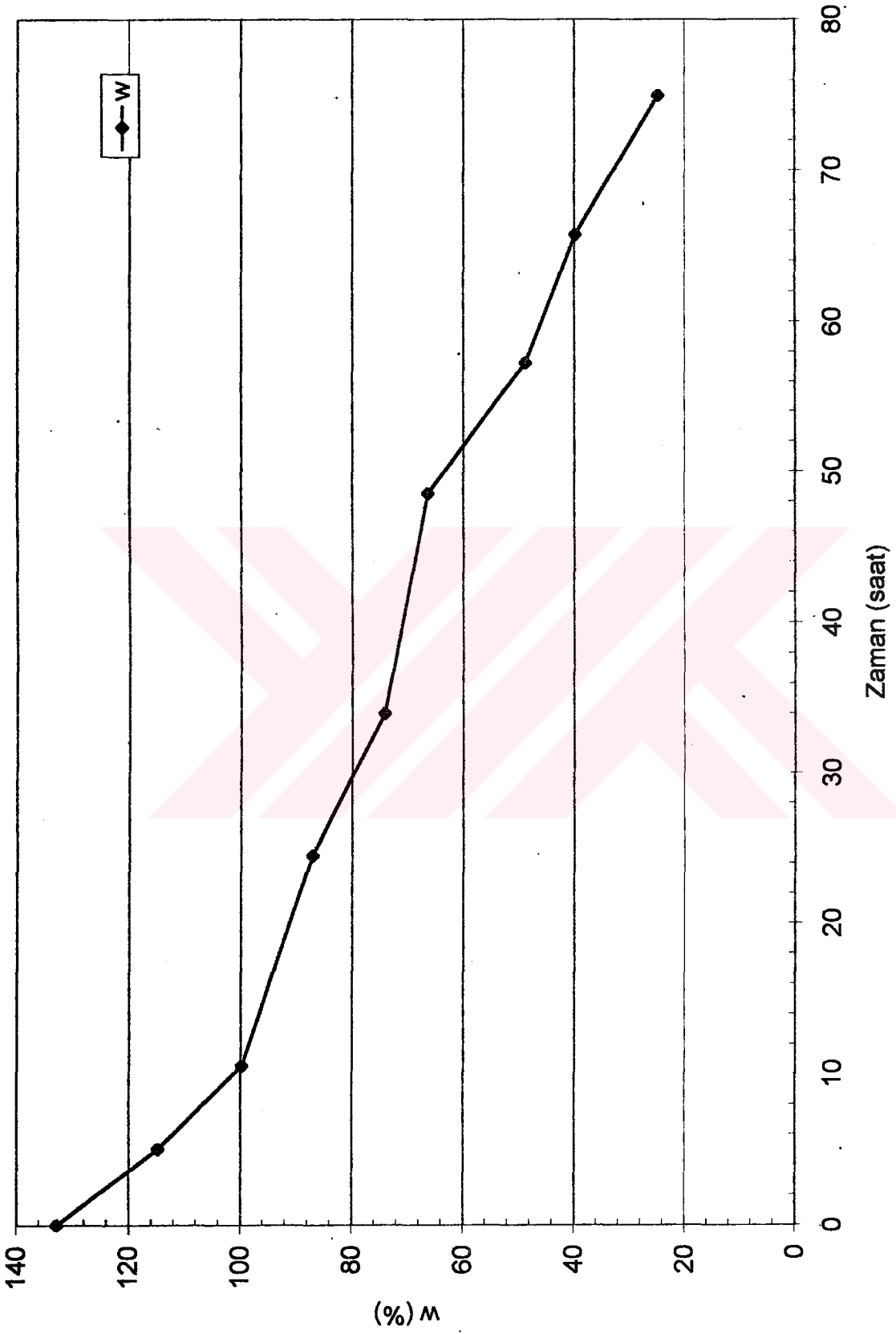
Şekil 4.25 Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 3)



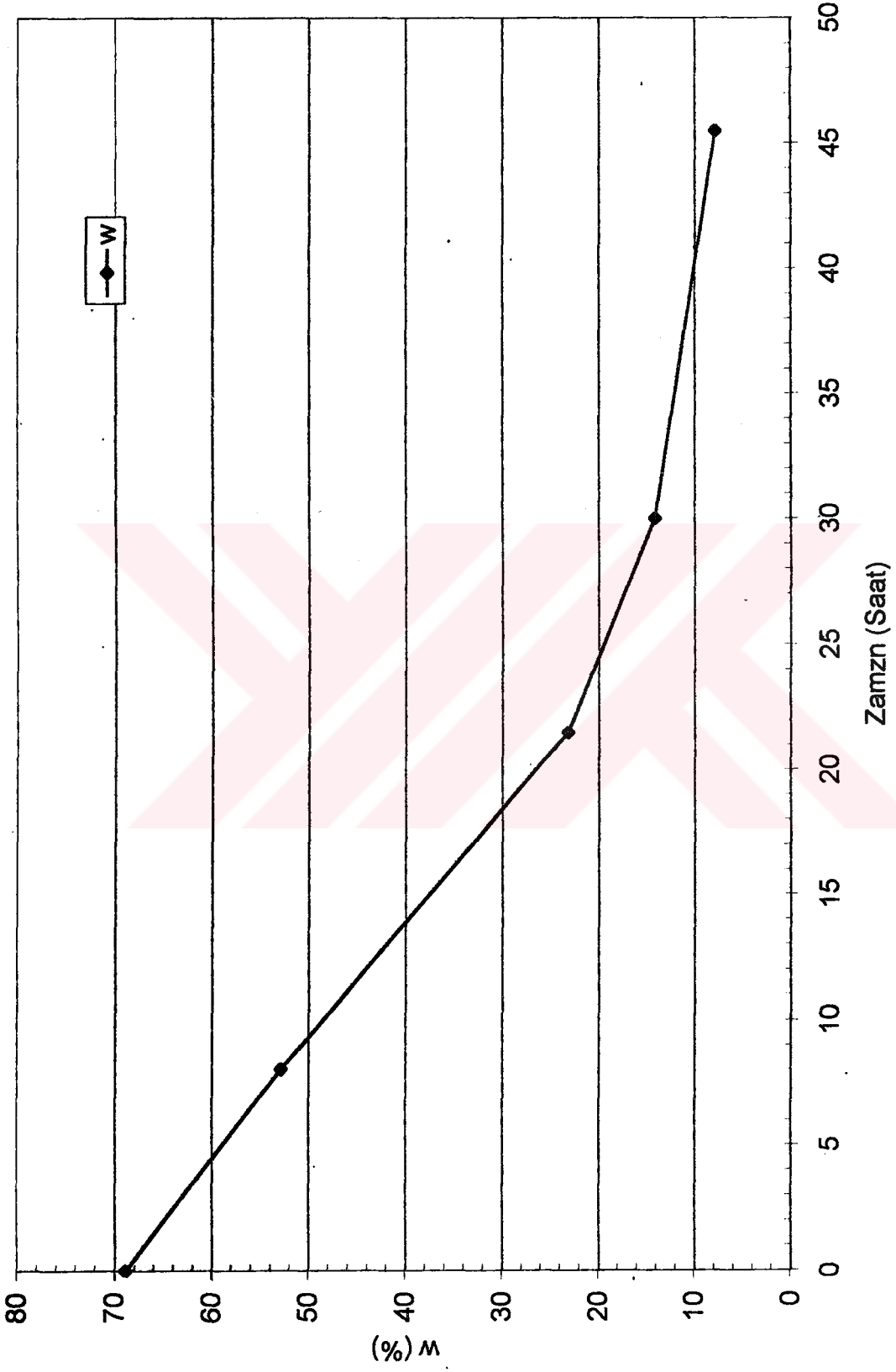
Şekil 4.26 Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 4)



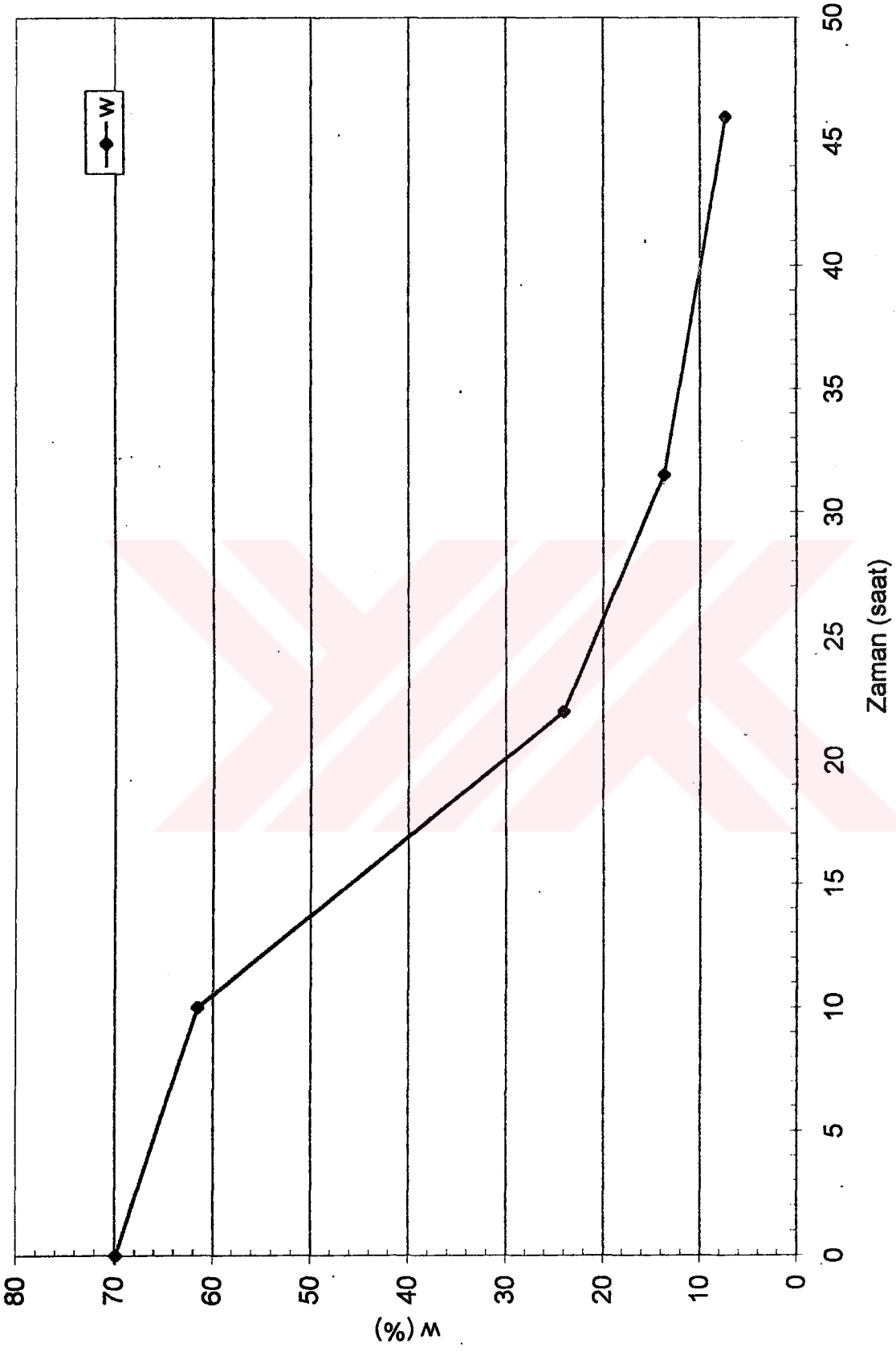
Şekil 4.27 Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 5)



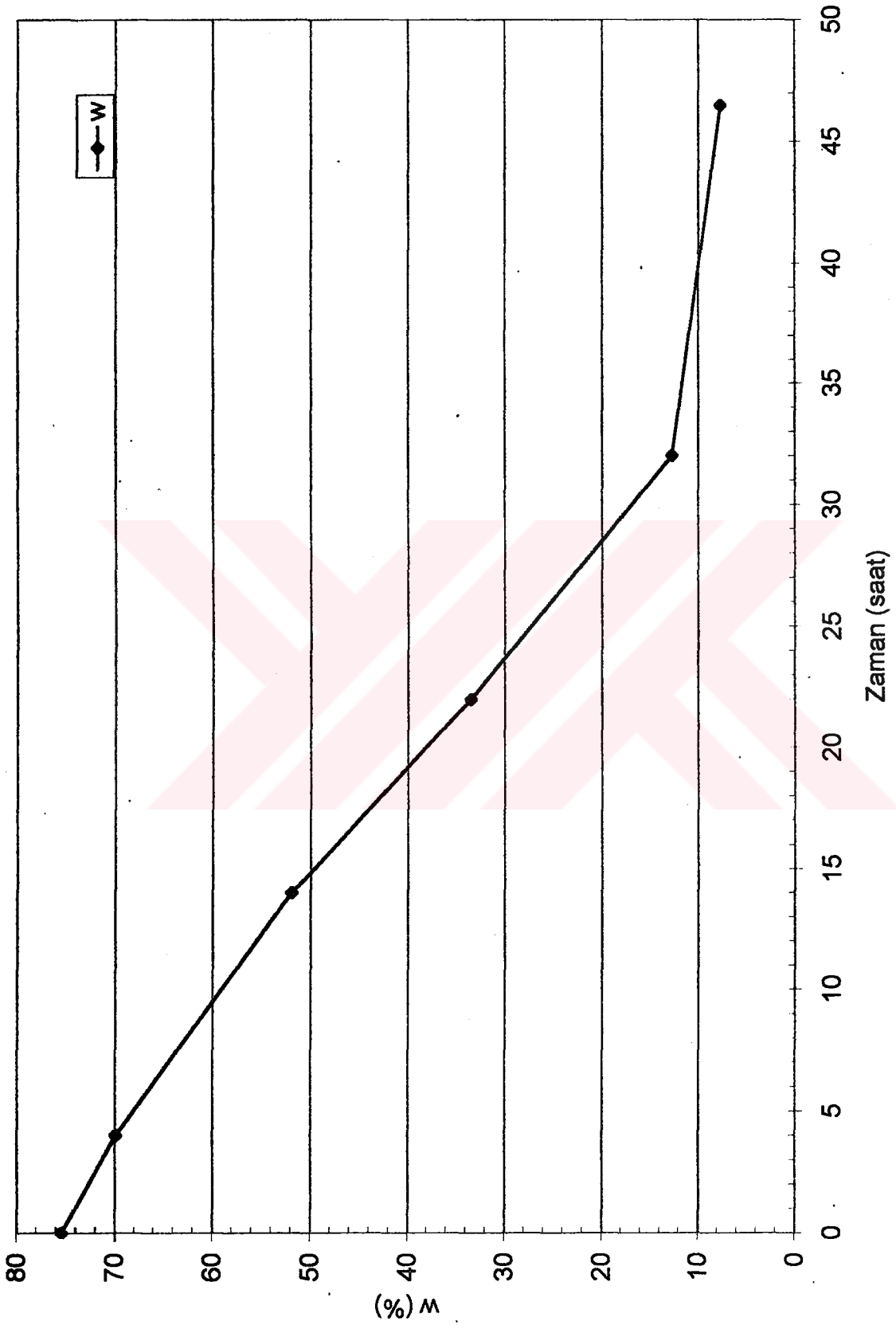
Şekil 4.28 Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 6)



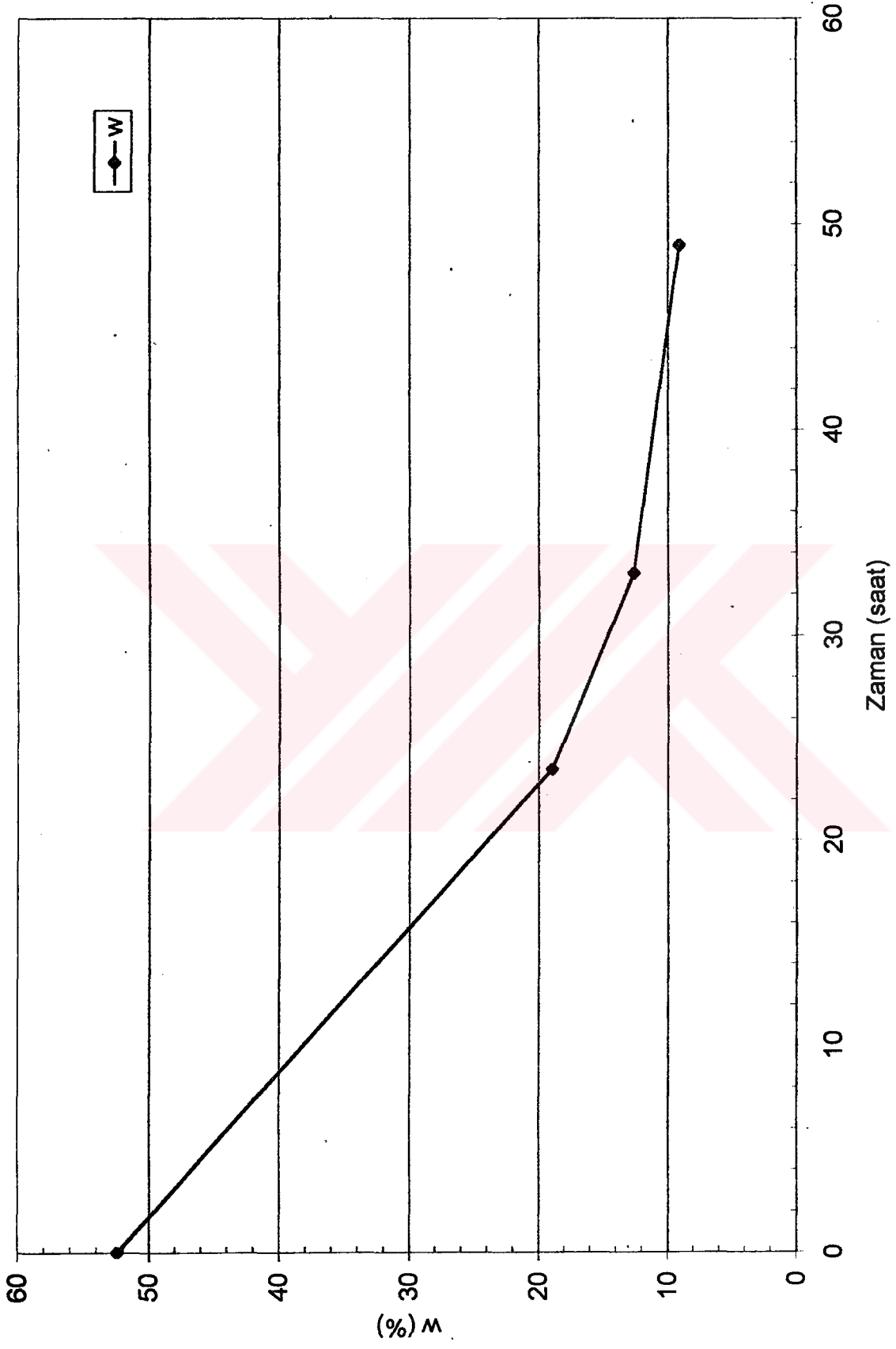
Şekil 4.29 Serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 7)



Şekil 4.30 serbest büzülme deneyi için zaman-e (deney 8)



Şekil 4.31 Serbest büzülme deneyi için zaman-w (deney 9)



Şekil 4.32 Serbest büzülme deneyi için zaman-w (deney 10)

BÖLÜM V

DENEYSE SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1 Giriş

Bu bölüm, bölüm IV'te sunulan Haliç çamuru üzerinde yapılmış deneysel sonuçların değerlendirilmesi ve bu sonuçların Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından Speswhite porselen kili üzerinde yapılmış deney sonuçları ile karşılaştırılmasını içermektedir.

Haliç'ten taranmış ve değişik şekillerde kurumaya bırakılmış zemin numuneleri üzerinde yapılmış veyn, düşen koni ve yükleme deneylerinin her biri için sonuçların değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Haliç'ten taranmış çamur üzerinde yapılmış serbest büzülme deneyinin sonuçları Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından Speswhite porselen kili üzerinde yapılmış serbest büzülme deneyinin sonuçları ile karşılaştırılmaktadır.

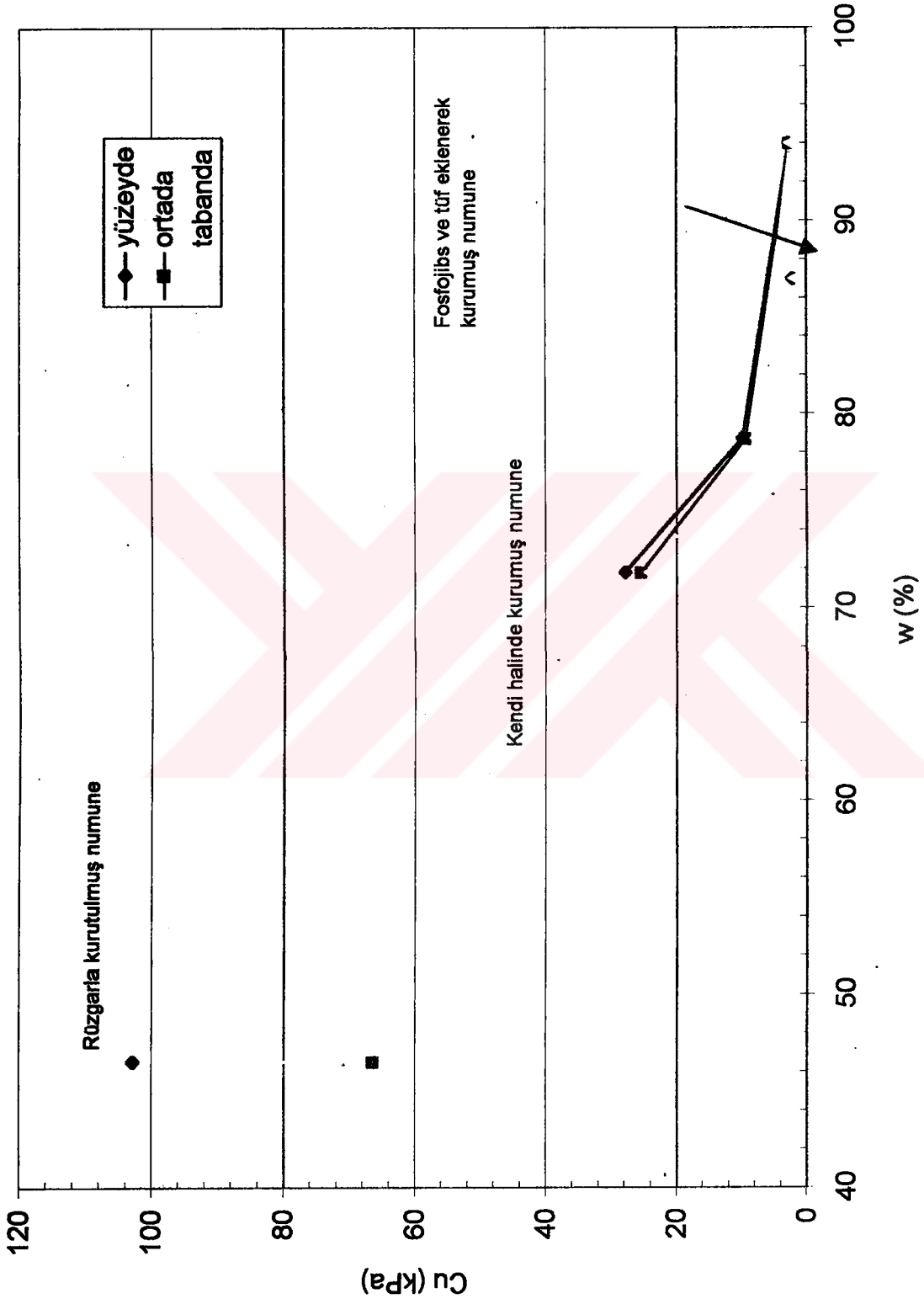
5.2 Drenajsız Kayma Mukavemeti Deney sonuçlarının Değerlendirilmesi

Bu deneysel çalışmada farklı şekillerde hazırlanan numuneler üzerinde üç değişik tipte deneyler yapılarak Haliç çamurundan hazırlanan kurutulmuş zeminlerin drenajsız kayma mukavemeti belirlenmeye çalışılmıştır.

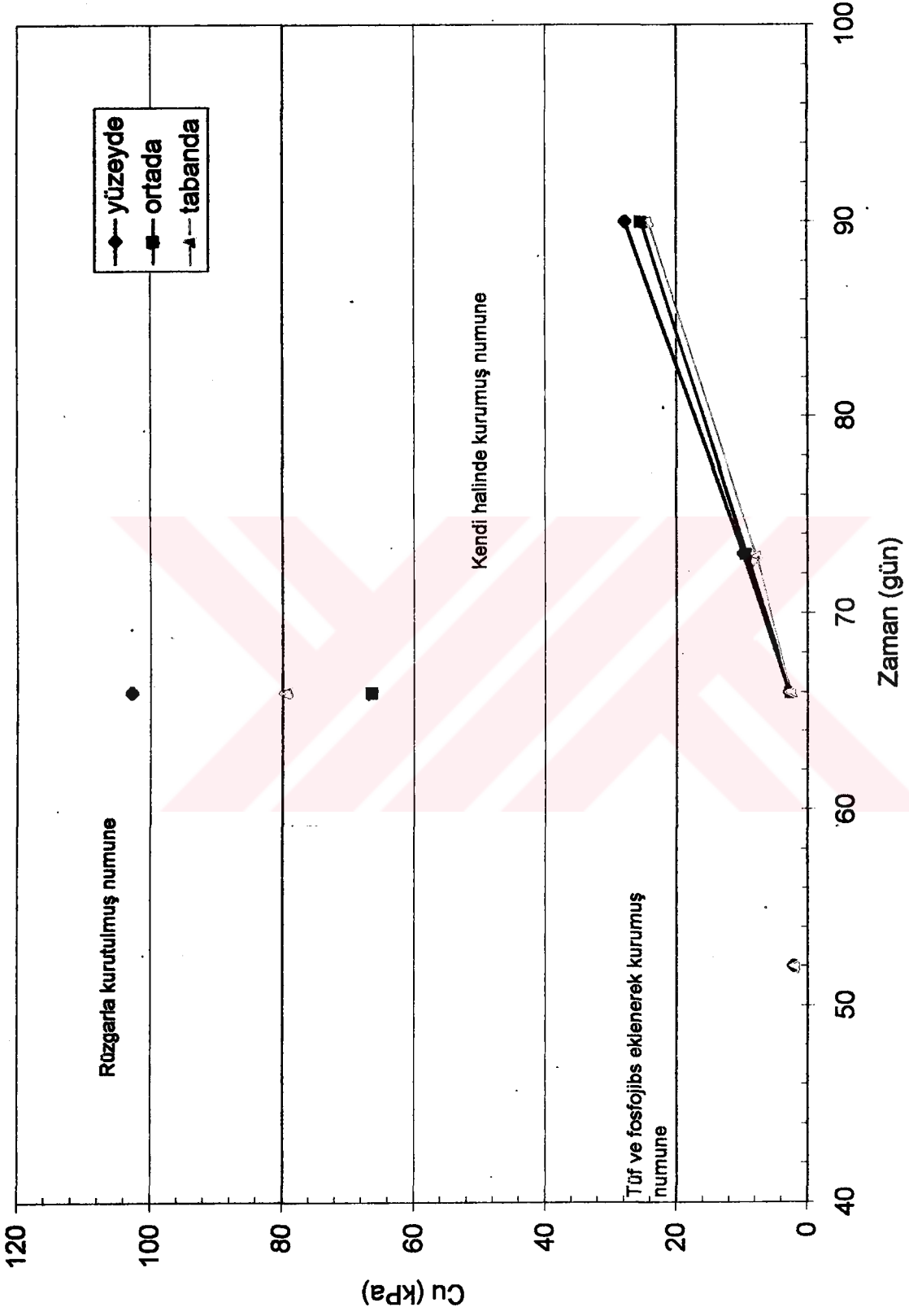
5.2.1 Veyn deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Kendi halinde kurumu, rüzgarla kurutulmuş ve fosfojibs ve tuf eklenerek kendi halinde kurumuş zemin numuneleri üzerine yapılmış veyn deneyi sonuçları Çizelge 4.2'den Çizelge 4.5'e kadar sunulmuştur.

Değişik şekillerde kurumaya bırakılmış zeminler için su muhtevası-drenajsız kayma mukavemeti ve zaman -drenajsız kayma mukavemetinin eğrileri Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de sırasıyla gösterilmektedir. Bu iki şekilden kendi halinde kurumuş numune ve rüzgarla kurutulmuş numunenin hazırlanmasından 66 gün geçtikten sonra, rüzgarla kurutulmuş



Şekil 5.1 Zeminin Değişik numuneleri için w - c_u (veyn deneyi)



Şekil 5.2 Değişik zemin numuneleri için zaman-cu (veyn deneyi)

numunenin daha fazla su kaybına maruz kaldığı ve özellikle yüzeyde daha fazla kayma direncine sahip olduğu gözlenmiştir. Fosfojibs ve tuf ile yüzeyin kaplanması, buharlaşmayı engelleyerek daha az su kaybına neden olmuş ve bu numunenin daha az kayma direncine sahip olduğu gözlenmiştir.

5.2.2 Düşen koni deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Veyn deneyinde olduğu gibi değişik şekillerde kurumaya bırakılmış zemin numuneleri aynı su muhtevası ve zaman şartlarında koni deneyine tabi tutulmuştur. Çizelge 4.6'dan Çizelge 4.9'a kadar sunulan deney sonuçlarından yararlanarak hazırlanan Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'te değişik zemin numuneleri için su muhtevası-drenajsız kayma mukavemeti ve zaman-drenajsız kayma mukavemeti eğrileri sırasıyla gösterilmektedir. Rüzgarla kurutulmuş zemin numunesinin diğer zeminlere göre aynı süre içinde daha fazla su kaybına maruz kalıp ve özellikle yüzeyde daha fazla kayma direncine sahip olduğu tekrar ispatlanmıştır.

5.2.3 Yükleme deneyi sonuçlarının değerlendirilmesi

Kendi halinde kurumuş ve yüzeyine fosfojibs ve tuf serpilerek kendi halinde kurumuş zemin numuneleri üzerlerine yüzeysel dairesel temel olarak düşünülen bir silindir yerleştirilerek göçmeye kadar yüklenmiştir. Killi bir zeminin drenajsız olarak yüklenmesi durumunda zemin yüzüne yerleştirilen bir dairesel temel için taşıma gücü Skempton tarafından

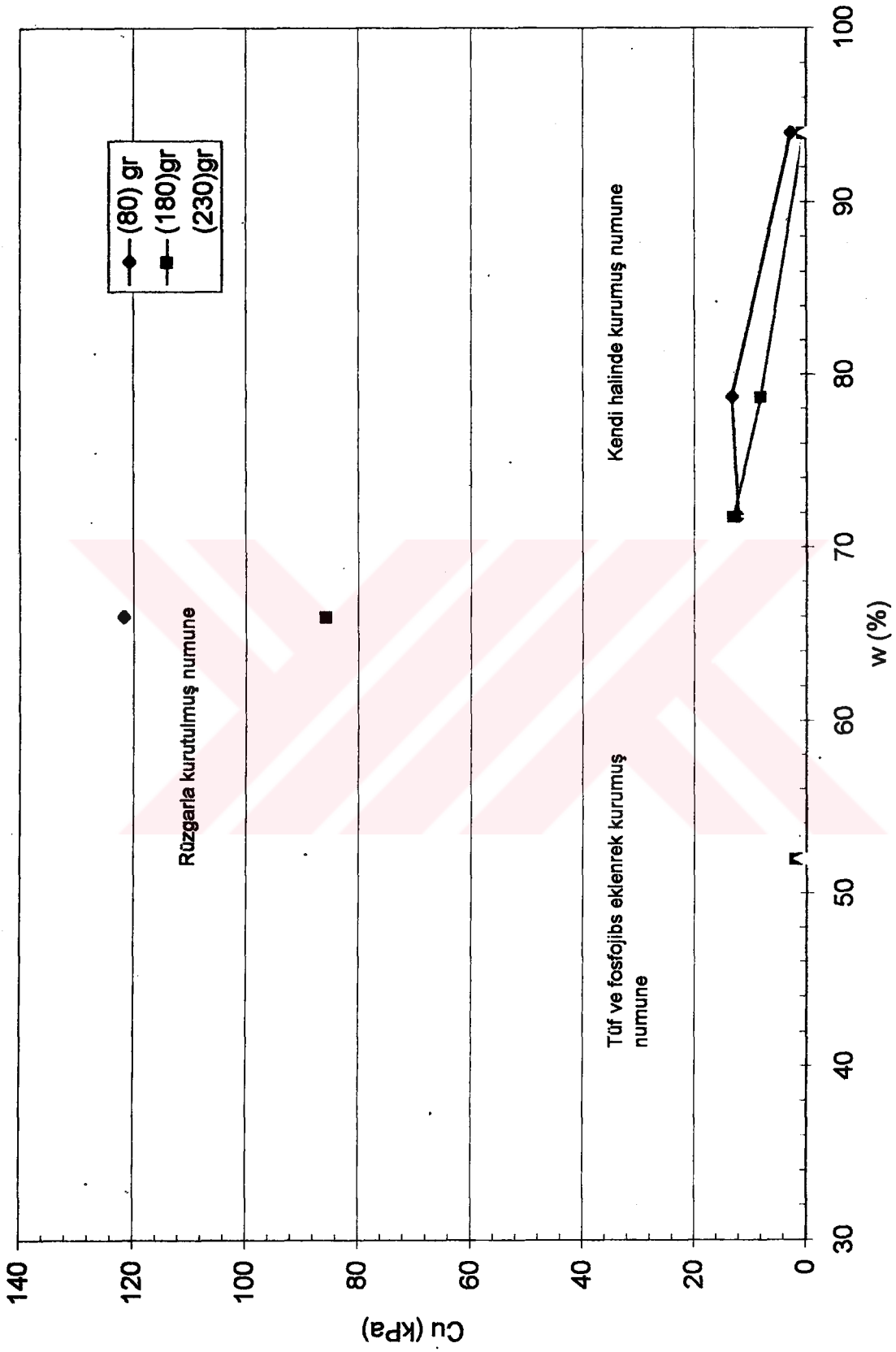
$$q_u = 6.14C_u \quad (5.1)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

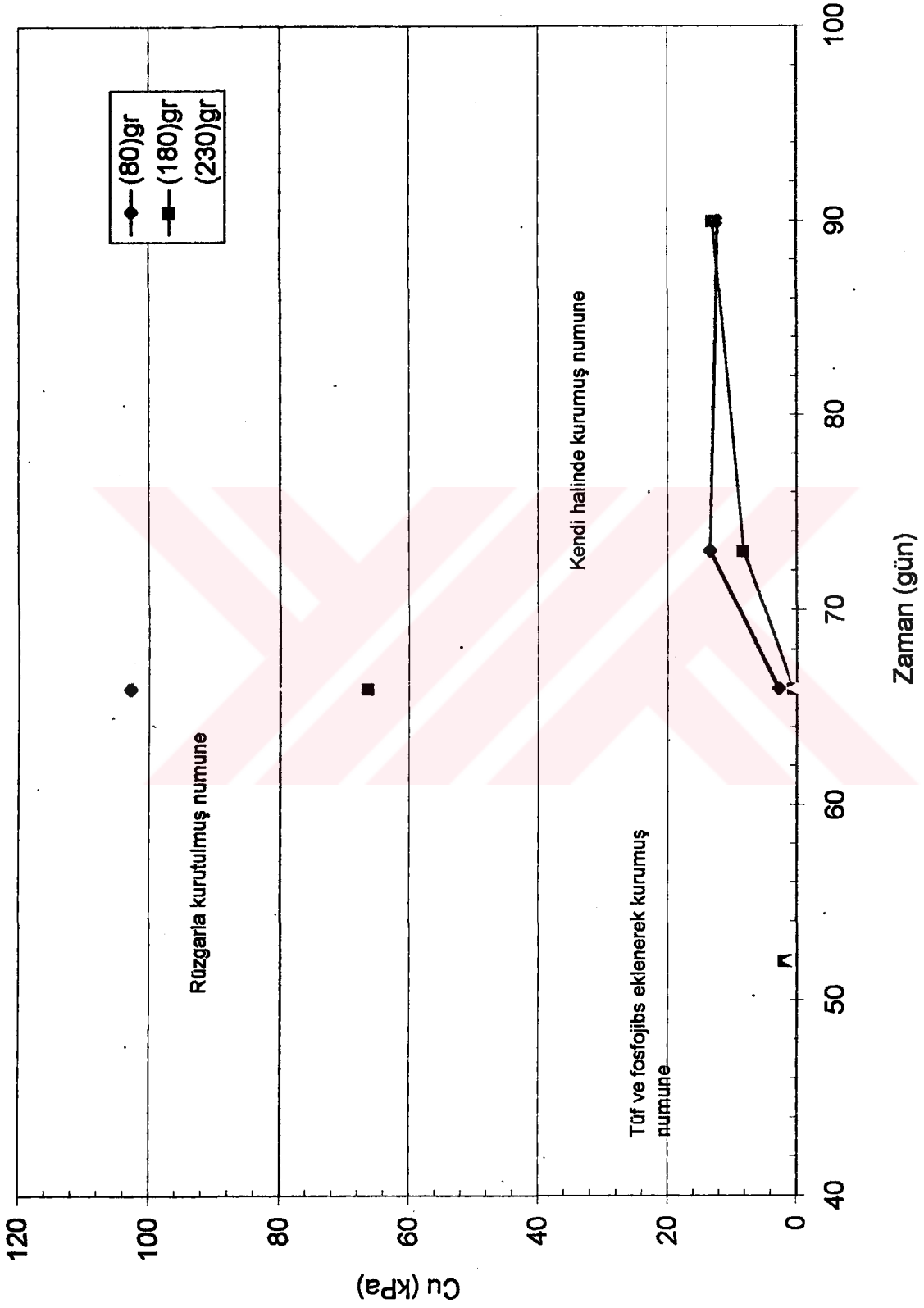
Bu bağıntıdan yararlanarak temel taşıma gücünden zeminin drenajsız kayma mukavemeti hesaplanabilmektedir.

5.2.3.1 Kendi halinde kurumuş zemin numunesi

Yükleme deneyine tabi tutulan 77 gün kendi halinde kurumuş zemin numunesi 1.1 mm düşey deplasman ve 32.32 kPa gerilme değerinde göçmeye ulaşmıştır. Bu durumda, temel zeminin ortalama drenajsız kayma mukavemeti 5.26 kPa olarak hesaplanabilir.



Şekil 5.3 Zeminin değişik numuneleri için w-cu (koni deneyi)



Şekil 5.4 Zeminin değişik numuneleri için zaman-cu (koni deneyi)

5.2.3.2. Fosfojibs ve tf eklenerek kendi halinde kurumuş zemin numunesi

Yükleme deneyine tabi tutulan fosfojibs ve tf eklenerek 52 gün kendi halinde kurumuş zemin numunesi 0.92 mm düşey deplasman ve 0.94 kPa gerilme değerinde göçmeye ulaşmıştır. Bu şekilde hazırlanan drenajsız kayma mukavemeti $C_u = 0.15$ kPa olarak hesaplanabilir.

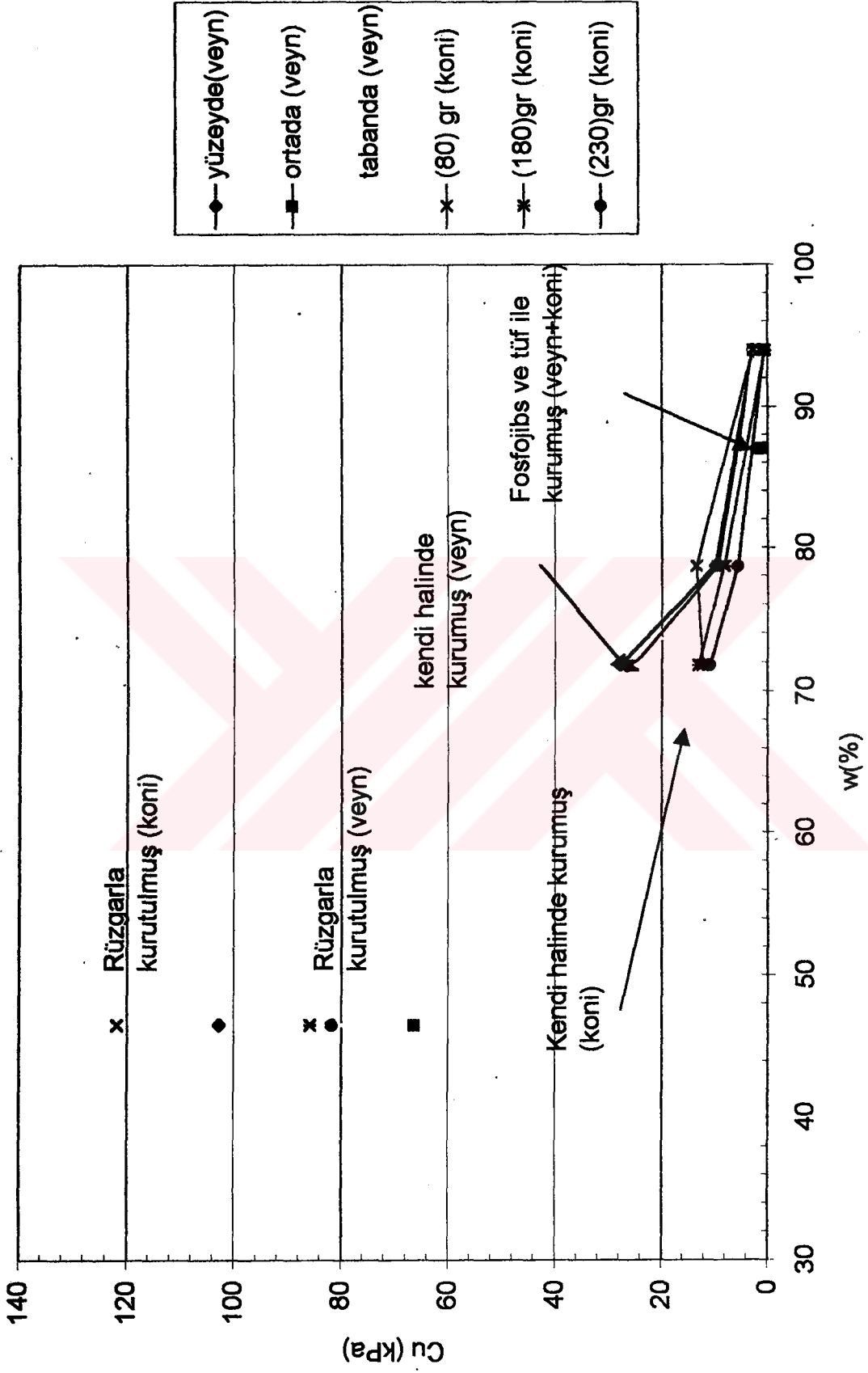
5.2.4. Değişik deneylerden elde olunan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin Karşılaştırılması

Kendi halinde kurumuş, rüzgarla kurutulmuş ve fosfojibs ve tf eklenerek kendi halinde kurumuş zemin numuneleri üzerine yapılmış veyn ve koni deneylerinin sonuçları su muhtevası-drenajsız kayma mukavemeti ve zaman -drenajsız kayma mukavemeti eğrileri olarak Şekil 5.5 ve Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Veyn, koni ve yükleme deneyinden elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri ise toplu olarak Çizelge 5.1'de verilmektedir.

Kendi halinde kurumuş numunelerde homojen olarak kurumasından dolayı değişik deney noktalarında yapılan deney sonuçlarından elde edilen drenajsız kayma mukavemeti büyük fark göstermediği gözlenmiştir. Benzer koşullarda hazırlanmış numunelerde düşen koni deneyi ile saptanan drenajsız kayma mukavemeti daha düşük olduğu belirlenmiştir. Koni deneyi zemin yüzünde yapılmasına rağmen, yüzeyde tamamen kurumuş homojen bir kabuk oluşmadığı söylenebilir.

Rüzgarla kurutulmuş numunelerde ise, koni deneyinde elde edilen drenajsız kayma mukavemeti veyn deneyinden çok daha büyük olmakta, bu numunelerin yüzeyinde tamamen kuruma sonucu daha sert bir kabuk oluştuğu anlaşılmaktadır.

Fosfojibs ve tf eklenerek kendi halinde kurumuş zemin numunesi üzerine yapılan iki deney sonuçları arasında hiğbir fark gözlenmemekte, bu numunelerde veyn ve koni deneyi ile ölçülen drenajsız kayma mukavemeti kendi halinde veya rüzgarla örneklere göre çok daha küçük olduğu gözlenmektedir. Bu sonuçlardan zemin yüzeyinin bu katkı maddeler ile kaplanmasının buharlaşmayı ve kabuk oluşumunu yavaşlattığı anlaşılmaktadır. Kendi halinde kurumuş ve fosfojibs ve tf eklenerek kurutulmuş örnekler üzerine yapılan yükleme deneylerinde çok düşük taşıma gçleri elde edilmiştir. Diğer deneylerden noktasal



Şekil 5.5 Değişik zemin numuneleri için w-cu (veyn ve koni deneyi)

Çizelge "5.1" Değişik şekillerde kurumaya bırakılmış numuneler için kayma mukavemeti (veyn, koni ve yükleme deneyleri)

Kuruma şekli	Zaman (Gün)	Su muhtevası (%)	H (cm)	Veyn deneyi		Koni deneyi		Yükleme cu (kPa)
				Deney noktası	cu (kPa)	Ağırlık (gr)	cu (kPa)	
Kendi halinde	66	% 94,0	12,0	Yüzeyde	2,93	80	2,90	5.26 (77 gün)
				Ortada	2,74	180	0,65	
				Tabanda	2,83	230	0,73	
	73	%78.7	10,5	Yüzeyde	10,00	80	13,6	
				Ortada	9,50	180	8,40	
				Tabanda	8,03	230	5,70	
	90	%71.8	8,2	Yüzeyde	28,00	80	12,4	
				Ortada	25,50	180	13,2	
				Tabanda	24,40	230	11,00	
Rüzgarla	66	46.5	2,9	Yüzeyde	103,0	80	122	
				Ortada	5	180	86	
				Tabanda	66,52	230	82	
Fosfojibs ile kaplanmış	52	87,0	4,5	Yüzeyde	79,5	80	1,44	
				Tabanda	2,62	180	2,00	
					2,11	80	1,47	
Tüf ile kaplanmış	52	87,0	4,5	Yüzeyde		80	1,24	
				Tabanda	2,11	180	1,68	
					2,11	230	1,11	

olarak elde olunan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin temel altındaki zeminin ortalama kayma mukavemetini temsil etmediği sonucuna varılabilir. Bunun kuruma sonucu homojen olmayan ve zayıf zonlar içeren bir yüzey tabakası oluşması nedeninden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.3. Serbest Büzülme Deneyi Sonuçlarının Analizi

Haliç'ten taranmış çamurların büzülme eğrisi ve $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu Çizelge 4.2'den Çizelge 4.11'e kadar sunulan deney sonuçlarından hesaplanmaktadır. Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından Speswhite porselen kilinden alınmış üç numune üzerinde, (bulamaç numune ve iki değişik düşey gerilme altında ön yükleme uygulanmış numuneler) üzerinde yapılan serbest büzülme deneyleri sonuçları ile karşılaştırılma yapılmaya çalışılacaktır.

$\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu, 3.43 eşitliğini kullanarak $\varepsilon_{fv}(e, e_{vc})$ terimi ile

$$\alpha(e, e_{vc}) = \frac{(1 + e_{vc})(1 - \varepsilon_{fv}(e, e_{vc}))}{1 + e} \quad (5.2)$$

ile ifade edilmektedir.

Burada, $\varepsilon_{fv}(e, e_{vc})$ terimi e boşluk oranına karşı gelen düşey büzülme şekil değiştirmesi olmakta ve üç-boyutlu büzülmenin e_{vc} boşluk oranında başladığını ifade etmektedir. Üç-boyutlu büzülme başladıktan sonra düşey serbest büzülme şekil değiştirme, $\varepsilon_{fv}(e, e_{vc})$, ve yanal serbest büzülme şekil değiştirme $\varepsilon_{fl}(e, e_{vc})$ aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\varepsilon_{fv} = \frac{H_{oc} - H}{H_{oc}} \quad (5.3)$$

$$\varepsilon_{fl} = \frac{D_{oc} - D}{D_{oc}} \quad (5.4)$$

Burada, H_{oc} ve D_{oc} üç-boyutlu büzülme başladığı an, sırasıyla numunenin yüksekliği ve çapı, H ve D ise üç-boyutlu büzülme esnasında numunenin yüksekliği ve çapı olmaktadır.

Bütün serbest büzülme deneyleri için D_{oc} 'nin değeri başlangıçtaki çap olmaktadır. Aşırı konsolide zemin numuneleri için e_{vc} ve H_{oc} değerleri üç-boyutlu büzülme başladığı andaki boşluk oranı ve yükseklik olmaktadır. Bulamaç zemin numuneleri için ise e_{vc} ve H_{oc} değerleri şöyle hesaplanmaktadır: herhangi bir deney için H_{oc} yerine başlangıçtaki yükseklik H_0 değeri kullanılarak hesaplanan düşey ve yanal şekil değiştirmelerin boşluk oranı (e) ile değişimleri Şekil 5.7'den Şekil 5.12'ye kadar gösterilmektedir. Her deney için şekillerde gösterildiği gibi yanal şekil değiştirme eğrisinin uzantısının e eksenine ile kesiştiği nokta e_{vc} değerini vermektedir. Ayrıca üç-boyutlu büzülme başlamadan önce ve sonraki, düşey şekil değiştirme eğrilerinin kesişme noktası, üç-boyutlu büzülme başladığı an düşey şekil değiştirme ve dolayısıyla H_{oc} değerinin tahmininde kullanılmaktadır. Şekillerde, genelde $e_{vc} = 2.2$ ve $H_{oc} = 1.33$ cm civarında değerler elde edildiği gözlenmektedir.

Düşey ve yanal serbest büzülme şekil değiştirmesi ve boşluk oranı arasındaki ilişki Şekil 5.13'ten Şekil 5.22'ye kadar gösterilmektedir. Üç-boyutlu büzülme deneyleri için belirlenen $\epsilon_{fv}(e, e_{vc})$ değerleri $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu hesabında kullanılmaktadır. Boşluk oranı $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrileri Şekil 5.23'ten Şekil 5.32'ye kadar gösterilmektedir.

Şekil 5.33 ve Şekil 5.34 ve sırasıyla, bulamaç zemin numuneleri ve aşırı konsolide zemin numuneleri için su muhtevası-boşluk oranı eğrileri toplu olarak gösterilmektedir. Şekil 5.35'te ise bütün deney sonuçları $e = w.G_s$ eşitliği ile ifade edilen suya doygunluk eğrisi ile birlikte gösterilmektedir.

Deneysel sonuçlardan Haliç çamurunun geniş bir su muhtevası aralığında normal büzülme gösterdiği gözlenmiştir. Büzülme limiti boşluk oranı 1.29 ile 1.43 arasında değişmekte, sonuçlardan genelde büzülme limiti boşluk oranı 1.33 civarında bulunmakta ve ona karşı gelen su muhtevası %50 civarında olmaktadır. Bulamaç ve aşırı konsolide zemin numunelerinin aynı boşluk oranı civarında büzülme ulaşmaları, büzülme limiti boşluk oranının numunenin önyüklemeye maruz kalıp kalmamasından fazla etkilenmediğini gösterilmektedir. Bu sonuçlar Haliç çamuru için rezidüel büzülme limiti su muhtevası aralığının önemsiz olduğunu ifade etmektedir. Bundan dolayı desikasyona kadar Haliç çamurunun davranışının sadece iki aşama ile modellenebileceği anlaşılmaktadır.

- Zemin numunesi başlangıçtaki su muhtevsından doygun kaldığı 1.33 büzülme limiti boşluk oranına karşı gelen su muhtevasına kadar normal büzülme göstermektedir.
- Büzülme limiti boşluk oranından desikasyon işleminin sonuna kadar sıfır büzülme göstermektedir.

Şekil 5.35'te gösterilen Haliç çamuru için büzülme eğrisi bu iki aşamadan oluşmaktadır.

Haliç çamurundan hazırlana bulamaç ve aşırı konsolide numuneler üzerine yapılan bazı deneyler ve Speswhite kilinden alınmış üç numune üzerinde (F1, F2 ve F3) yapılan serbest büzülme deneyleri için su muhtevası-boşluk oranı ve zaman-boşluk oranı eğrileri Şekil 5.36 ve Şekil 5.37'de gösterilmektedir. Speswhite kilinin geniş bir su muhtevası aralığında normal büzülme gösterdiği Şekil 5.36'dan gözlenmiştir. Büzülme limiti boşluk oranının 0.93 ile 0.95 arasında değiştiği ve karşı gelen su muhtevasının %36 değerinde olduğu, üç boyutlu büzülmenin $e_{vc} = 2.85$ boşluk oranında başladığı Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından ifade edilmiştir. Haliç çamurundan elde edilen sonuçların gösterdiği gibi, bulamaç ve aşırı konsolide zemin numunelerinin aynı boşluk oranı aralığında büzülmeye ulaşmaları, büzülme limiti boşluk oranının numunenin önyüklemeye maruz kalıp kalmamasından etkilenmediğini göstermektedir.

Haliç çamurunun büzülme şekil değiştirmesi davranışı Şekil 5.13'ten Şekil 5.22'ye kadar gösterilen deneysel eğrilerde gözlenmektedir. Bulamaç zemin numuneleri için (Şekil 5.13-Şekil 5.18) serbest büzülme deneylerine yaklaşık $e=2.2$ ile $e=2$ boşluk oranları arasında düşey ve yanal şekil değiştirmelerin birbirine yakın oldukları dikkati çekmekte, boşluk oranının daha düşük değerlerinde ise genellikle yanal şekil değiştirmeler düşey şekil değiştirmelerini aşmakta ve su muhtevası azaldıkça aradaki fark artmaktadır. Aşırı konsolide zemin numuneleri ise (Şekil 5.19-Şekil 5 22) düşey yönde daha fazla şekil değiştirme göstermektedir.

Haliç çamuru üzerine yapılan bazı deneyler ve Speswhite kilinin üzerinde (F1, F2 ve F3) yapılan serbest büzülme deneyleri için büzülme şekil değiştirmesi-boşluk oranı eğrileri Şekil 5.38'de gösterilmektedir. Speswhite Porselen kilinin deneylerinde üç-boyutlu büzülme başladığı andaki boşluk oranından $e = 1.4$ boşluk oranına kadar birbirine yakın düşey ve yal

şekil değiştirmeleri meydana geldiği gözlenirken, daha düşük değerlerde düşey şekil değiştirmeler yanal şekil değiştirmeleri aşmakta ve su muhtevası azaldıkça aradaki fark artmaktadır.

Üç-boyutlu büzölme esnasında büyük deformasyona uğrayan ve çapraz izotropik davranış gösteren zeminler için $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu düşey ve yanal şekil değiştirme oranlarını nitelendirmektedir. Boşlun oranı- $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrileri Şekil 5.23'ten Şekil 5.2'ye kadar gösterilmektedir. Bulamaç ve aşırı konsolide tüm numuneler için boşluk oranı-- $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrileri ise toplu olarak Şekil 5.39'da gösterilmektedir. Şekil 5.39'dan tüm numuneler için Boşlun oranı- $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrilerinin yaklaşık olarak birbirine paralel olduğu ve belirli bir aralık içinde kaldığı gözlenmektedir.

Haliç çamuru üzerine yapılan bazı deneyler ve Speswhite kili üzerinde yapılan (F1, F2 ve F3) deneylerden elde edilen boşluk oranı- $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrileri Şekil 5.40'ta gösterilmektedir. Boşluk oranı- $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrilerinin paralel çizgiler halinde olduğu gözlenmektedir.

Serbest şekil değiştirmelerin izotropik olduğunu varsayan küçük şekil değiştirme teorisine göre $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu aşağıdaki Şekilde ifade edilmektedir

$$\alpha(e, e_{vc}) = \frac{1 + e_{vc} - 1/3(e_{vc} - e)}{1 + e} \quad (5.5)$$

Bu eşitlikten tahmin edilen $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu değerleri ile deney sonuçlarından hesaplanan $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu değerleri Şekil 5.41'den Şekil 5.50'ye kadar gösterilmektedir. Bulamaç zemin numuneleri için (Şekil 5.41-Şekil 5.46) tahmini değerler ve deney sonuçları birbirine yaklaşık sonuçlar göstermektedir. Aşırı konsolide numunelerde (Şekil 5.47-Şekil 5.50) ise birbirinden uzak sonuçlar elde edildiği gözlenmektedir.

Speswhite kili deney sonuçlarından elde edilen boşluk oranı- $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrileri paralel çizgiler halinde Şekil 5.40'ta gösterilmektedir. $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonunu tahmin edebilmek için serbest şekil değiştirmeleri izotropik varsayan küçük şekil değiştirme teorisinden yararlanarak elde edilen eğrilerde Şekil 5.40'ta gösterilmektedir. Tahmin edilen değerler ve deneylerden elde edilen değerler arasında bulamaç zemin numunesi için uyum sağlanmamakta, aşırı konsolide numuneler için ise büyük uyum olduğu gözlenmektedir.

Speswhite kili için $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonunun tahminini amaçlayan bir genel model önerilmiştir. İkinci dereceden bir fonksiyon kullanılarak elde edilen modelde boşluk oranı $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu şöyle ifade edilmektedir

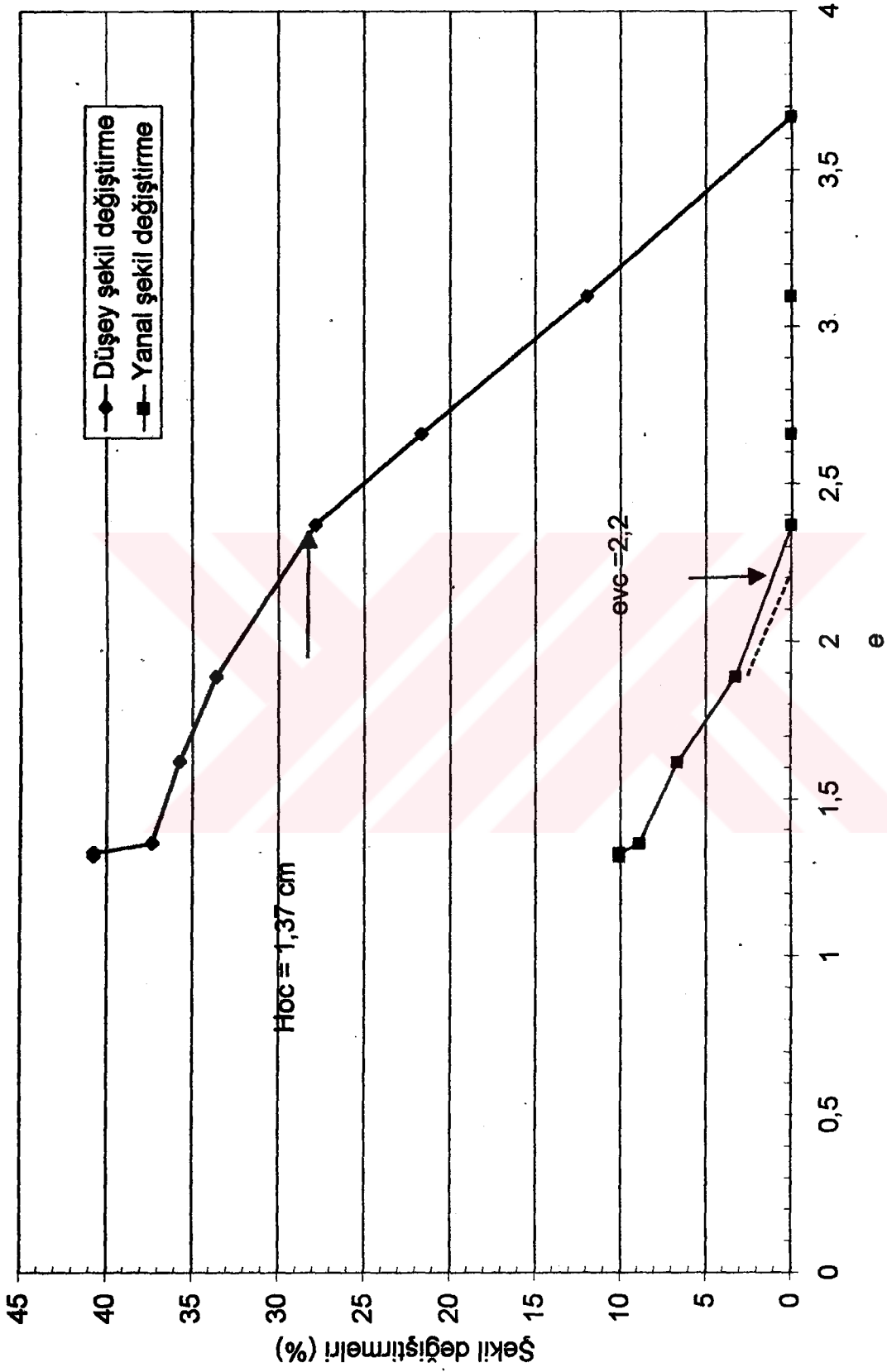
$$\alpha(e, 2.85) = 1.925 - 0.491e + 0.059e^2 \quad (5.6)$$

Üç-boyutlu büzülme başladığı andaki boşluk oranı $e_{vc}=2,85$ olmaktadır. Bu eşitlikle $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonunu hesaplamak için bir genel form şöyle ifade edilmektedir

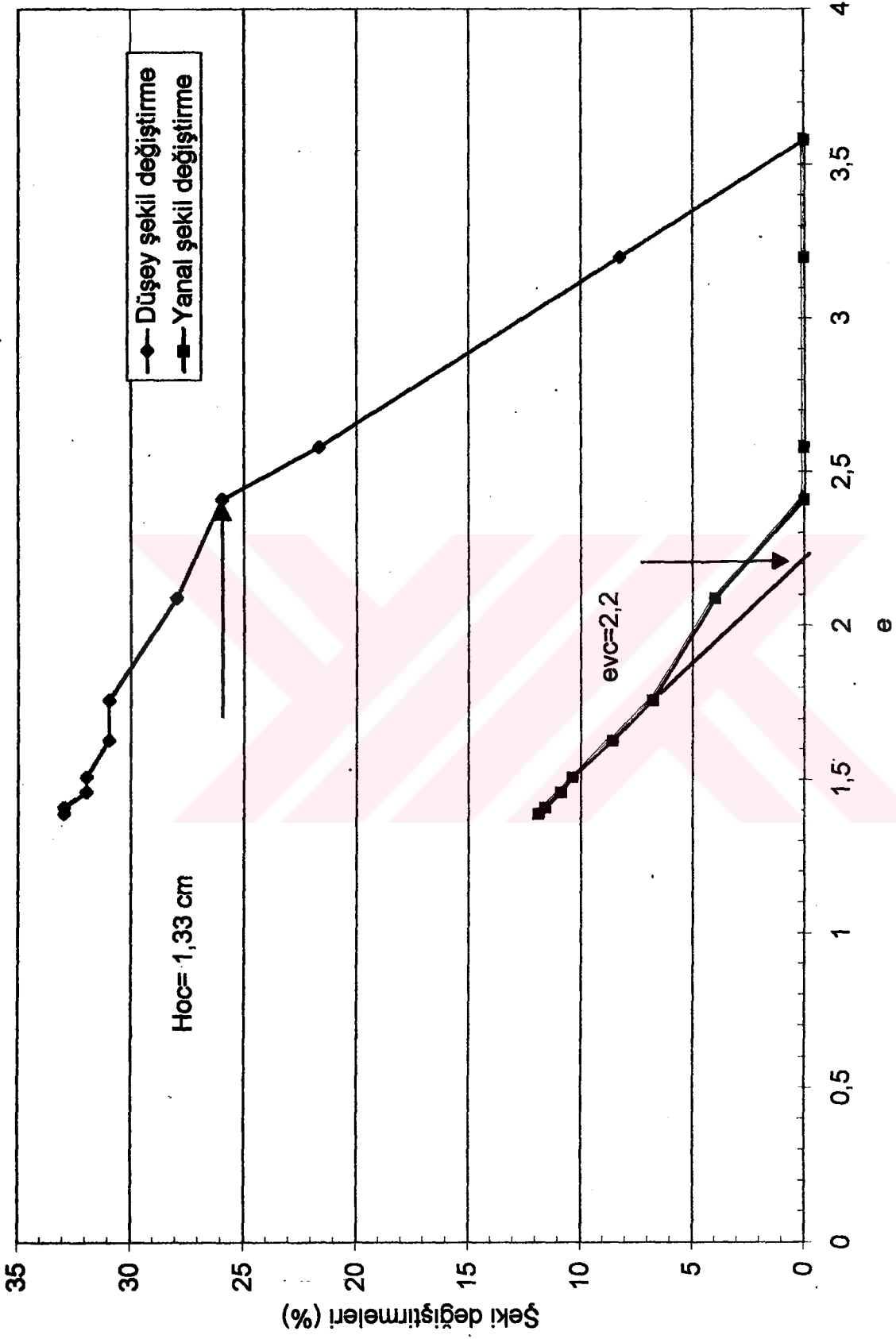
$$\alpha(e, e_{vc}) = \alpha(e, 2.85) + 1 - \alpha(e_{vc}, 2.85) \quad (5.7)$$

$\alpha(e_{vc}, 2.85)$ değeri 5.6 eşitliğinden hesaplanmaktadır.

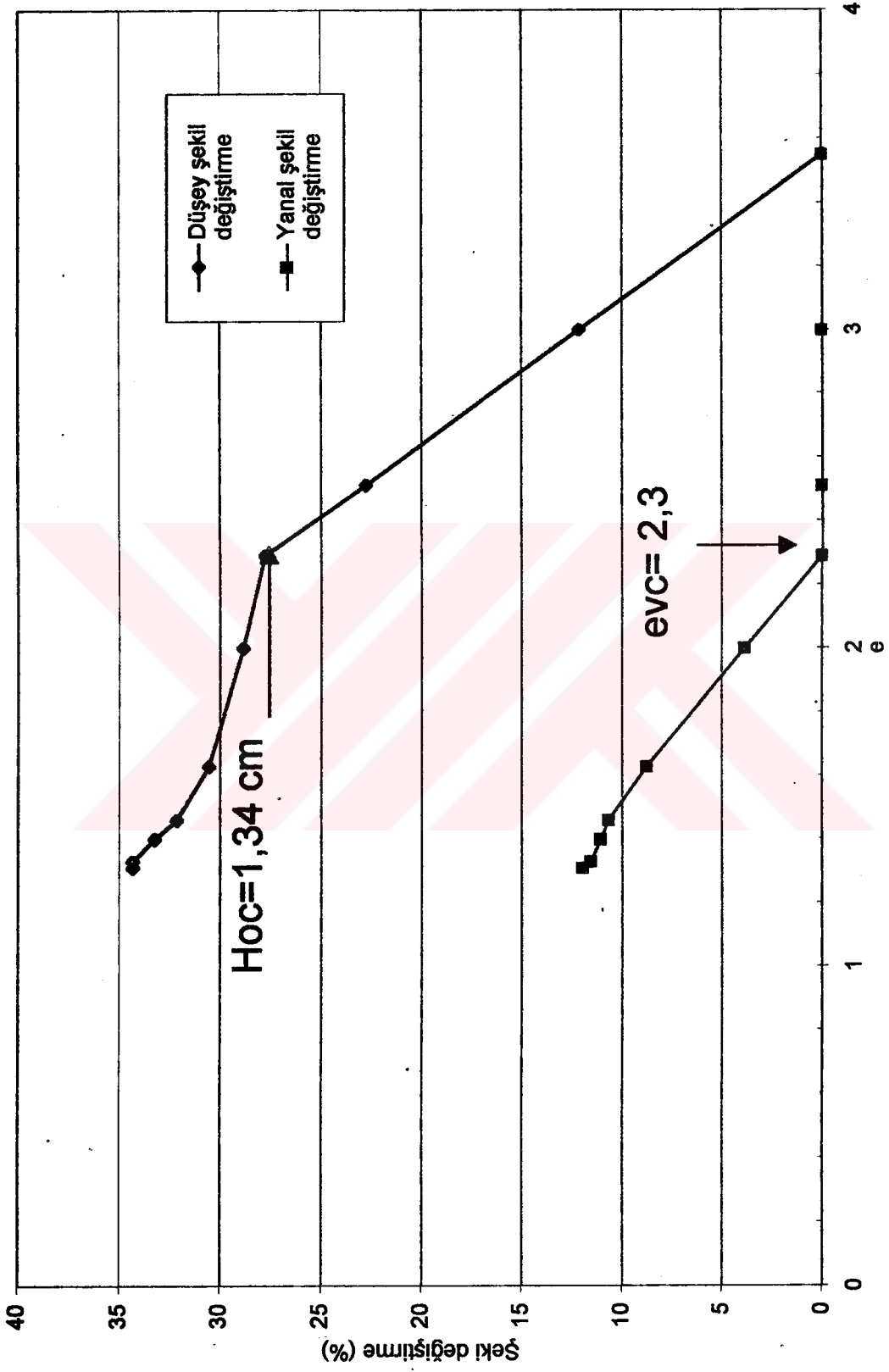
Bu tahmine göre elde edilen boşluk oranı $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonu eğrileri ile Şekil 5.40'ta gösterilen deneysel değerler arasında büyük uyum gözleendiği ifade edilmektedir (Abu Hacle ve Znidarcic, 1993).



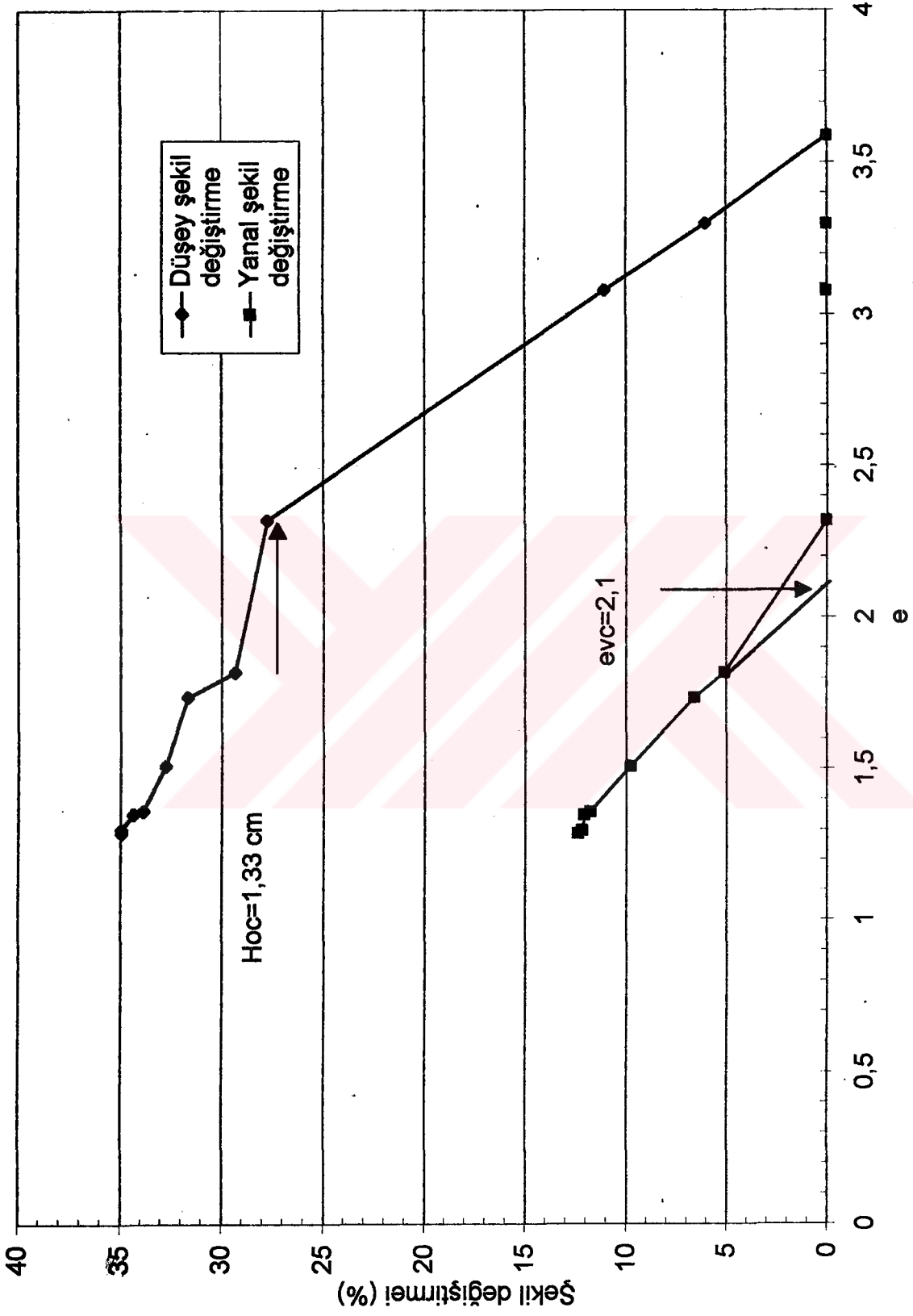
Şekil 5.7 Boşluk oranı-düsey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 1)



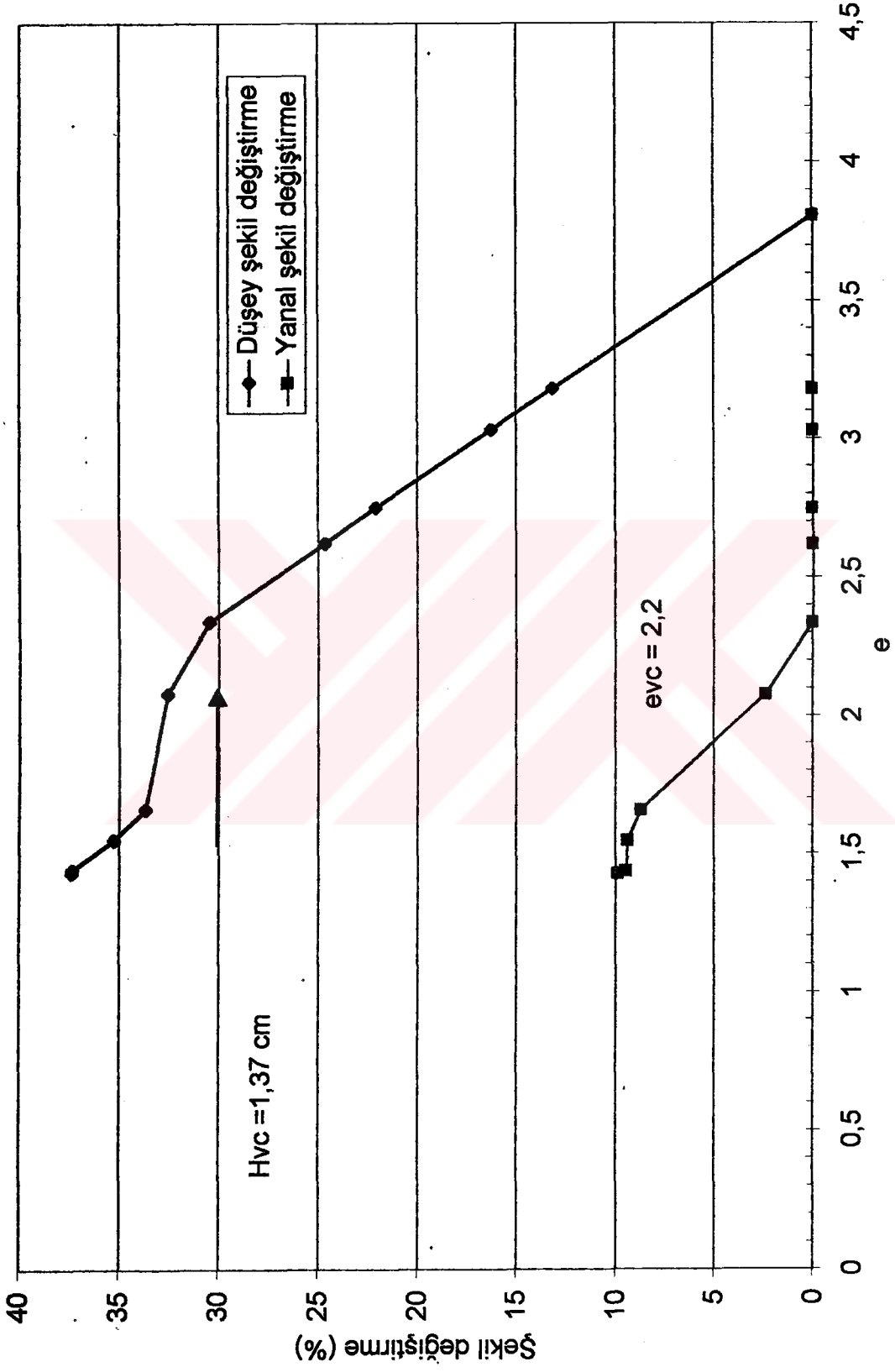
Şekil 5.8 Boşluk oranı- düsey ve yanal şekil değişimleri (deney 2)



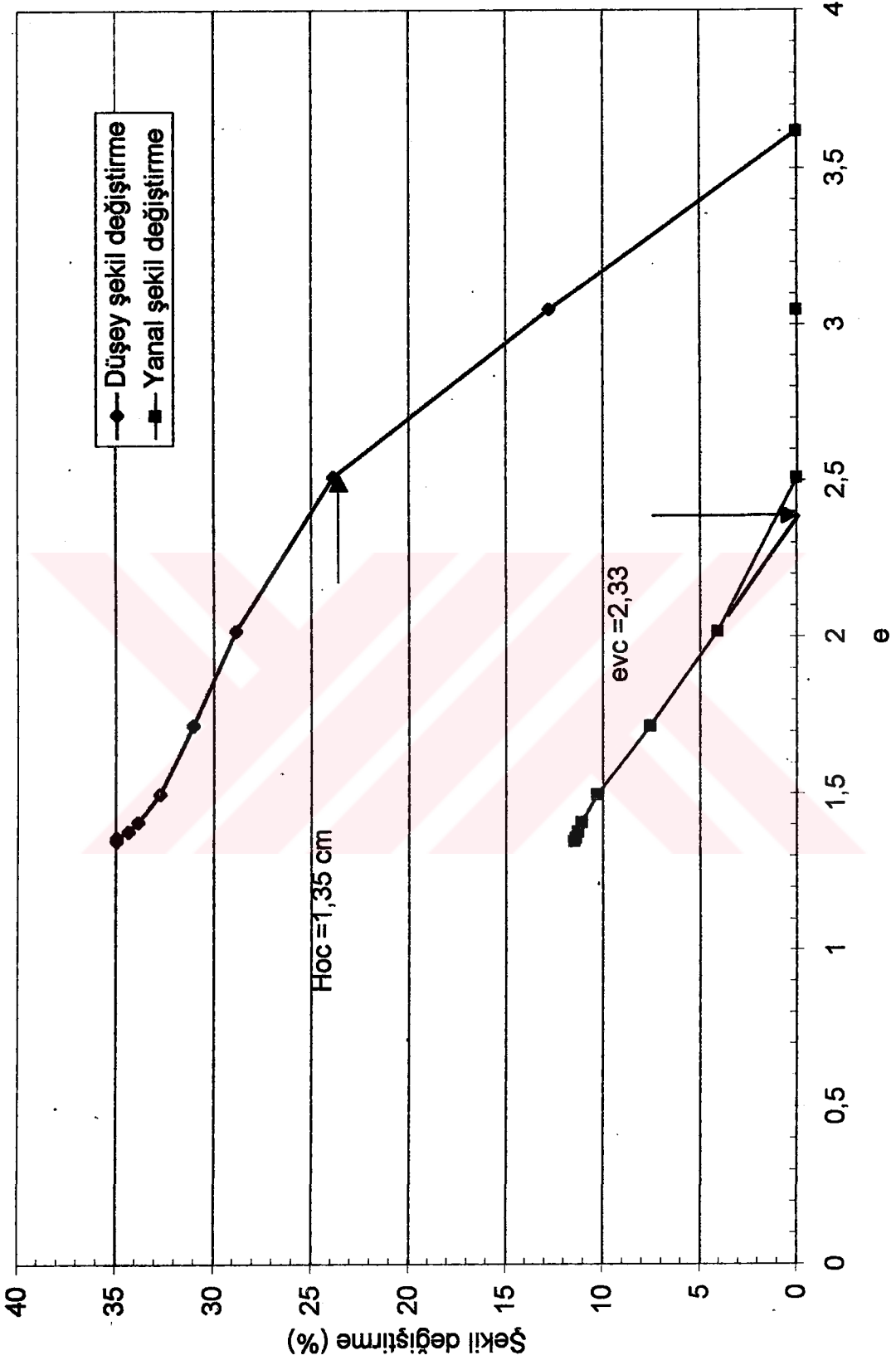
Şekil 5.9 Boşluk oranı-düşey ve yanal şekil değişimleri (deney 3)



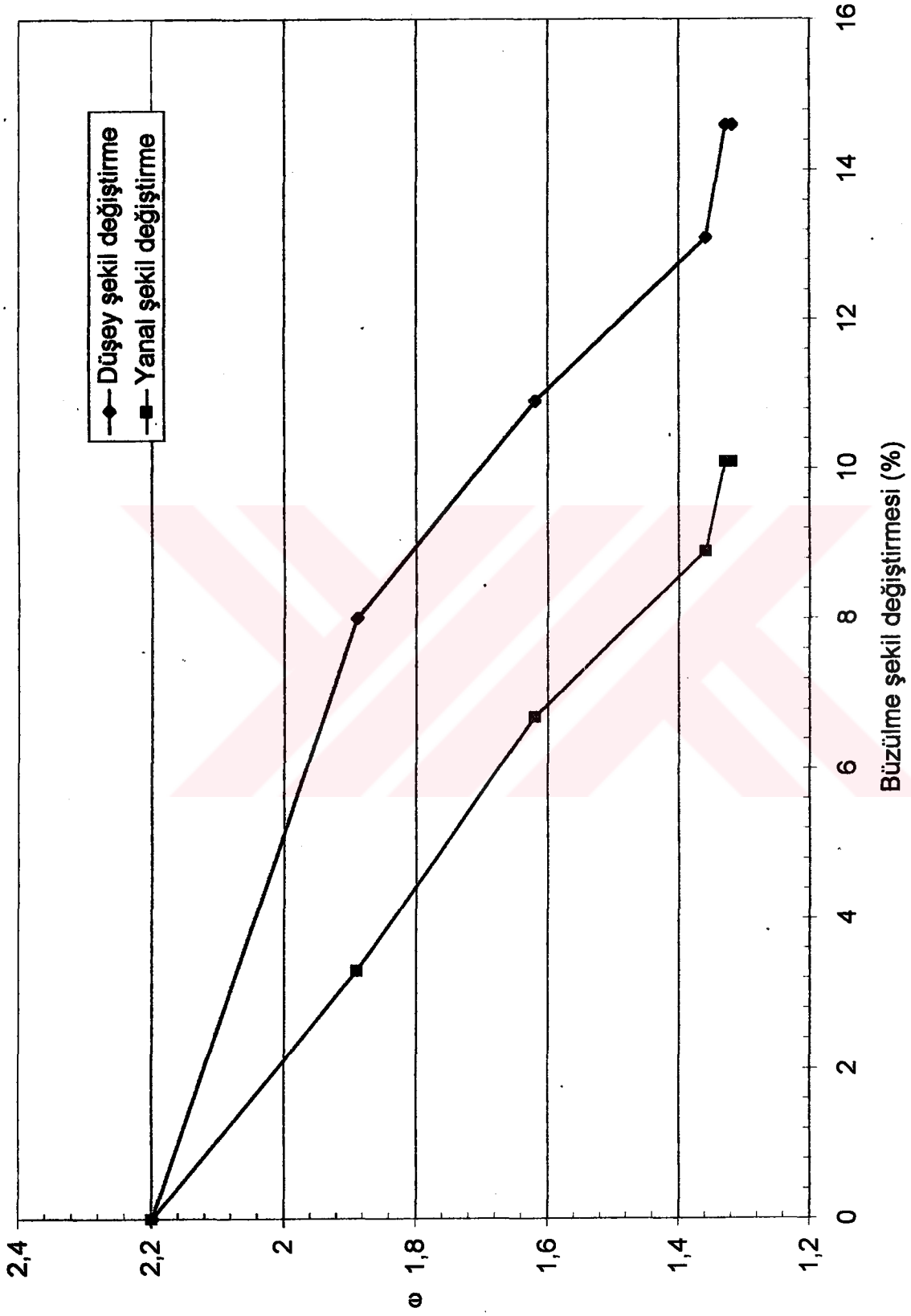
Şekil 5.10 Boşluk oranı-düşey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 4)



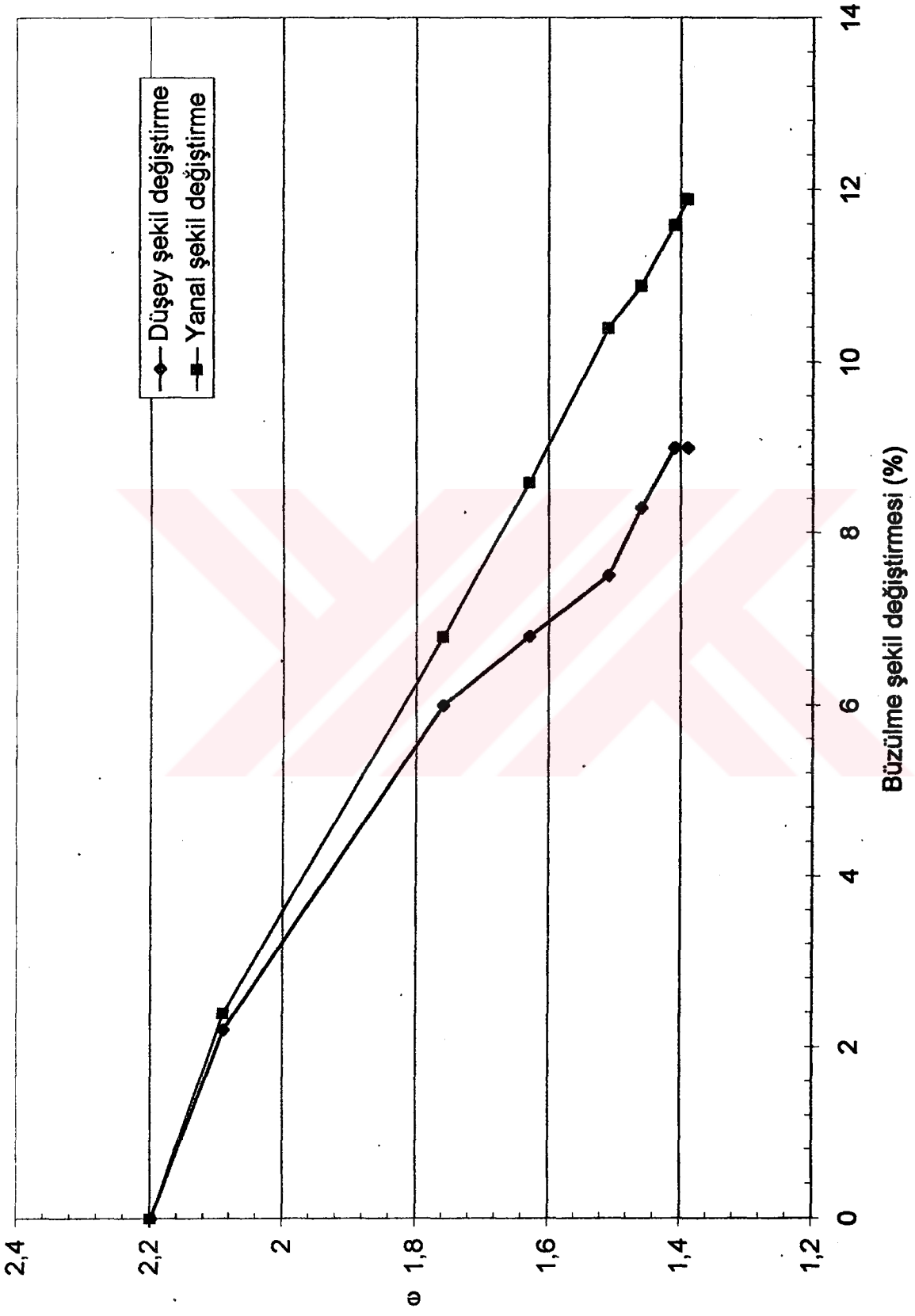
Şekil 5.11 Boşluk oranı-düsey ve yanal şekil değiştirmeler (deney 5)



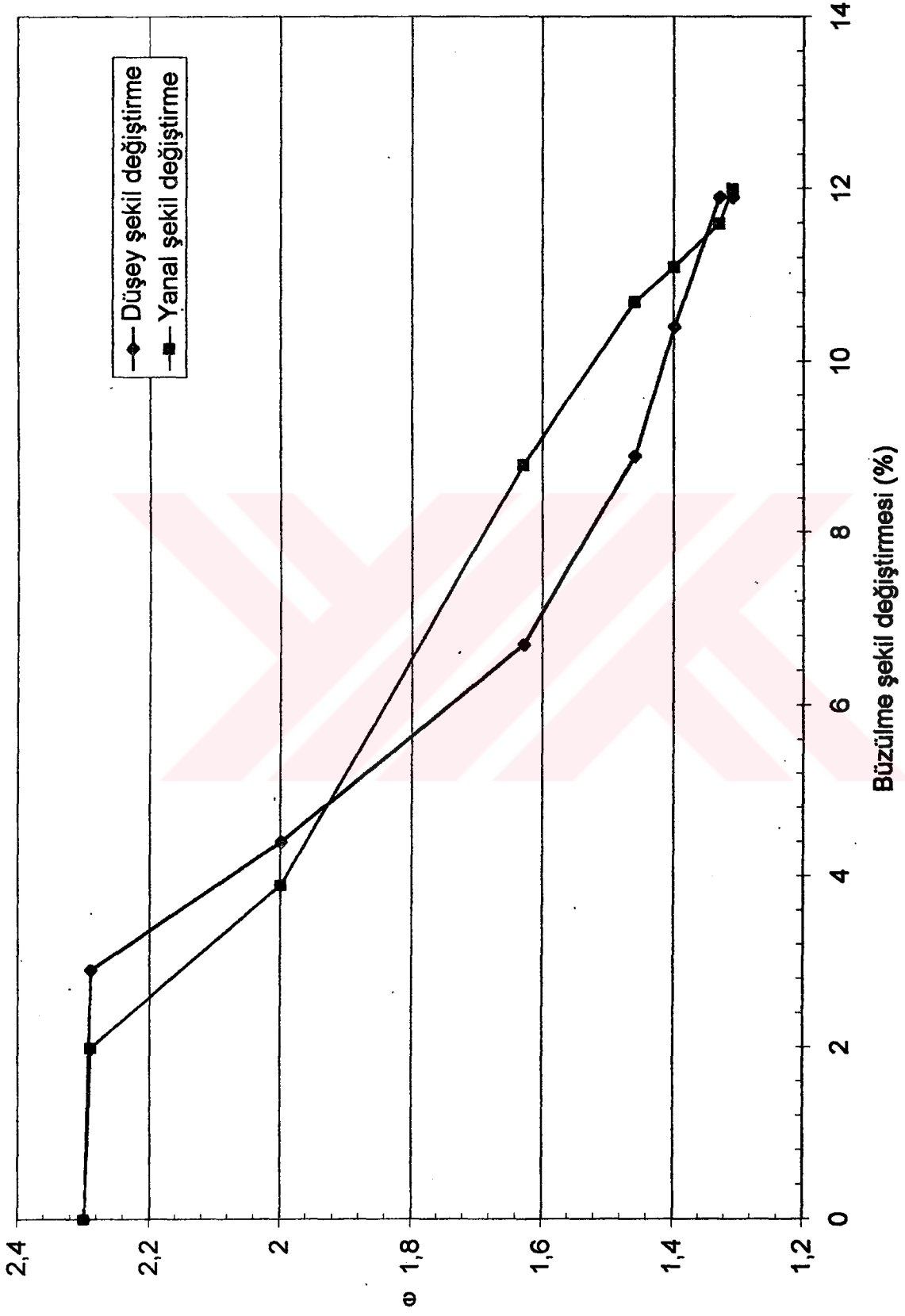
Şekil 5.12 Boşluk oranı-düsey ve yanal şekil değişimleri (deney 6)



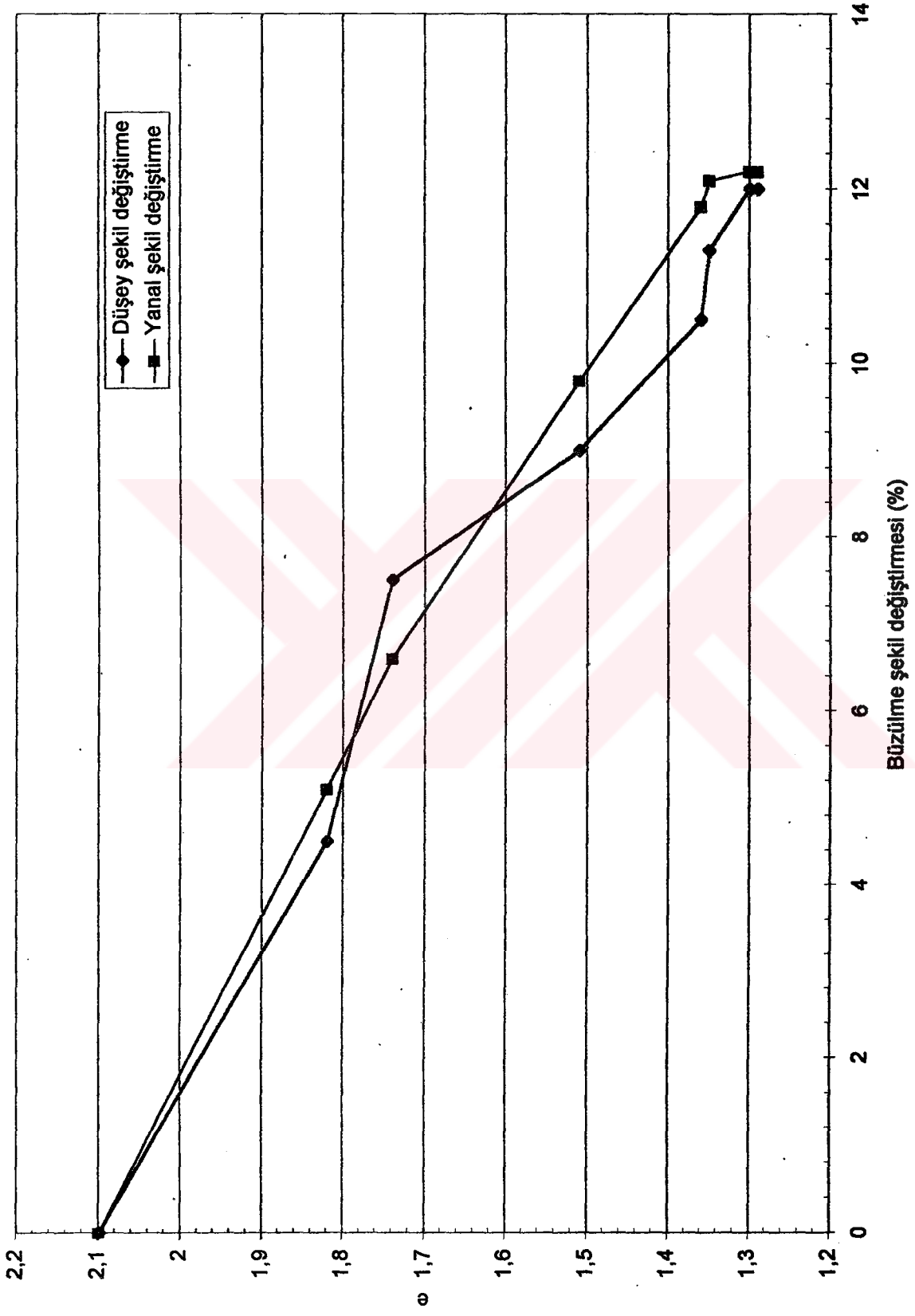
Şekil 5.13 Büzülme şekil değıştirmesi-e (deney 1)



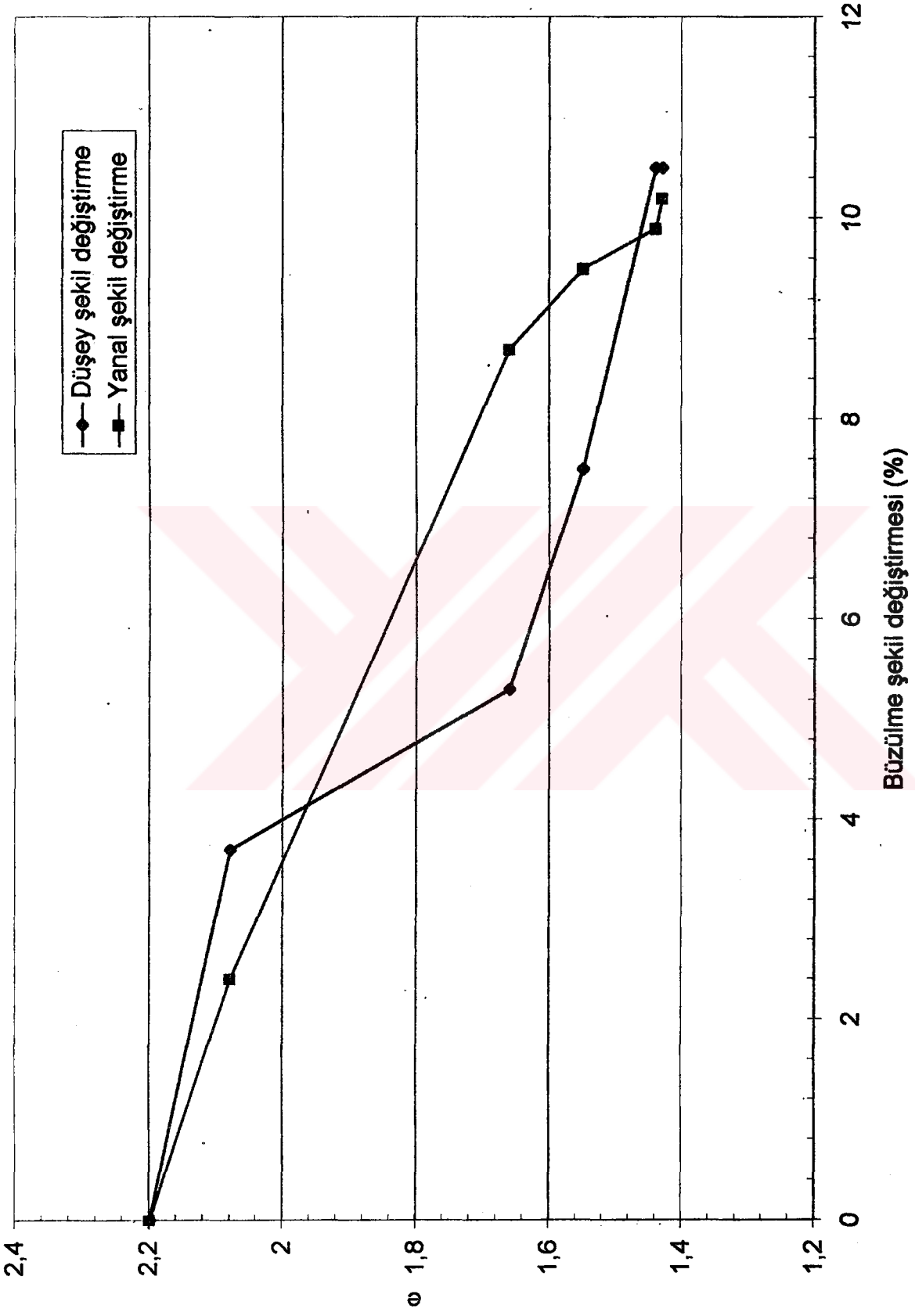
Şekil 5.14 büzülme şekil değişirmesi-e (deney 2)



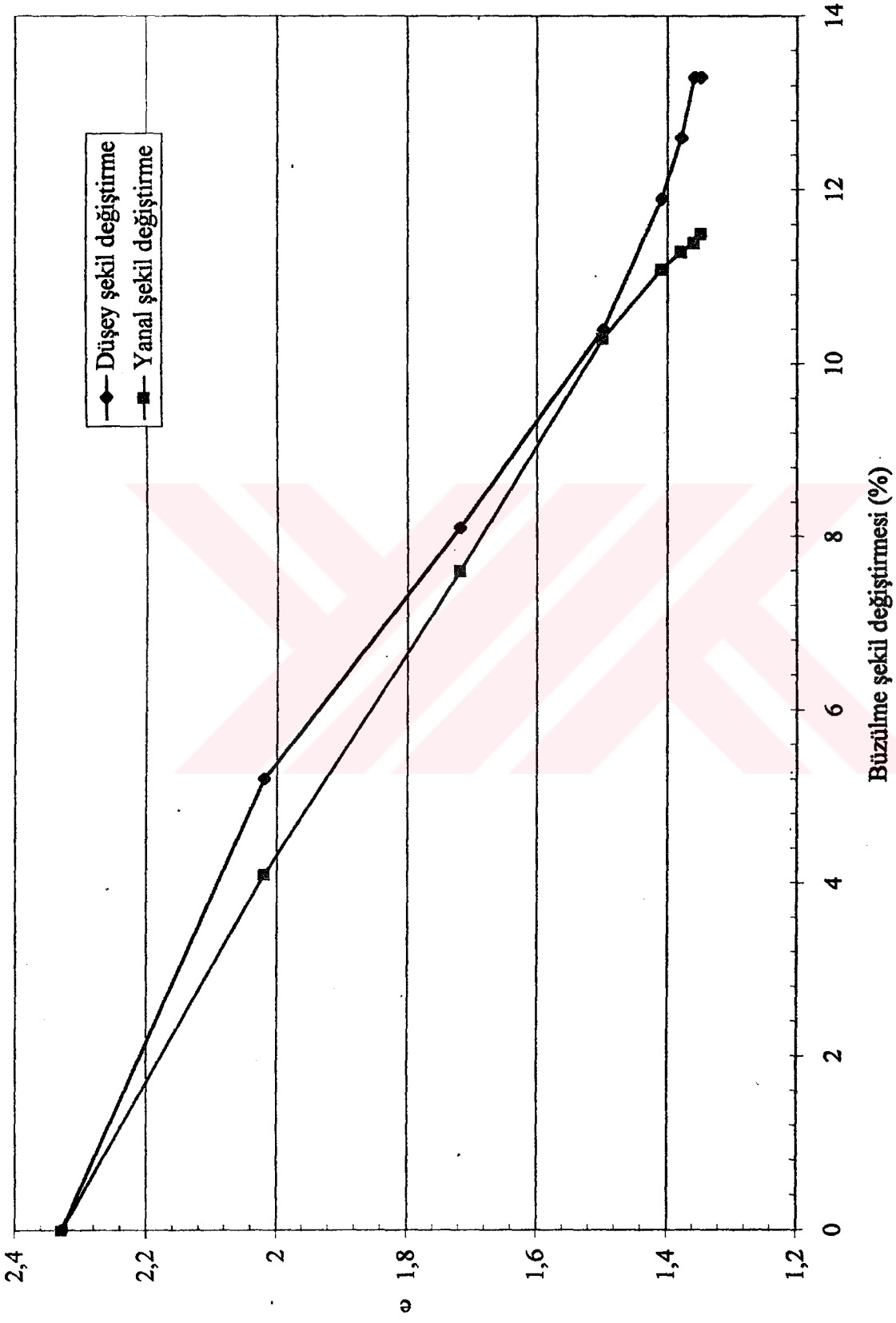
Şekil 5.15 Büzülme şekil değişimlerine (deney 3)



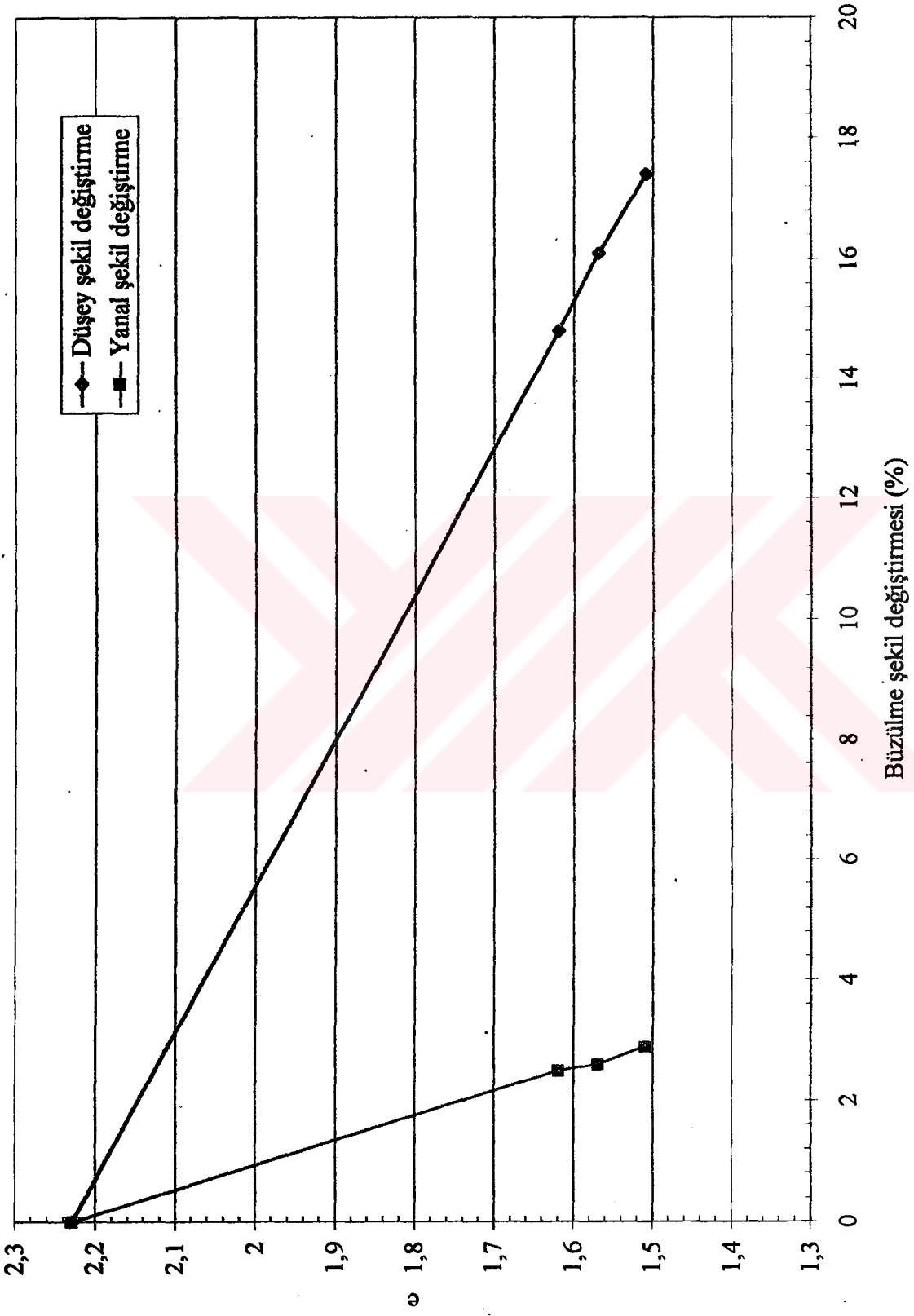
Şekil 5.16 Büzülme şekil değişime-e (deney 4)



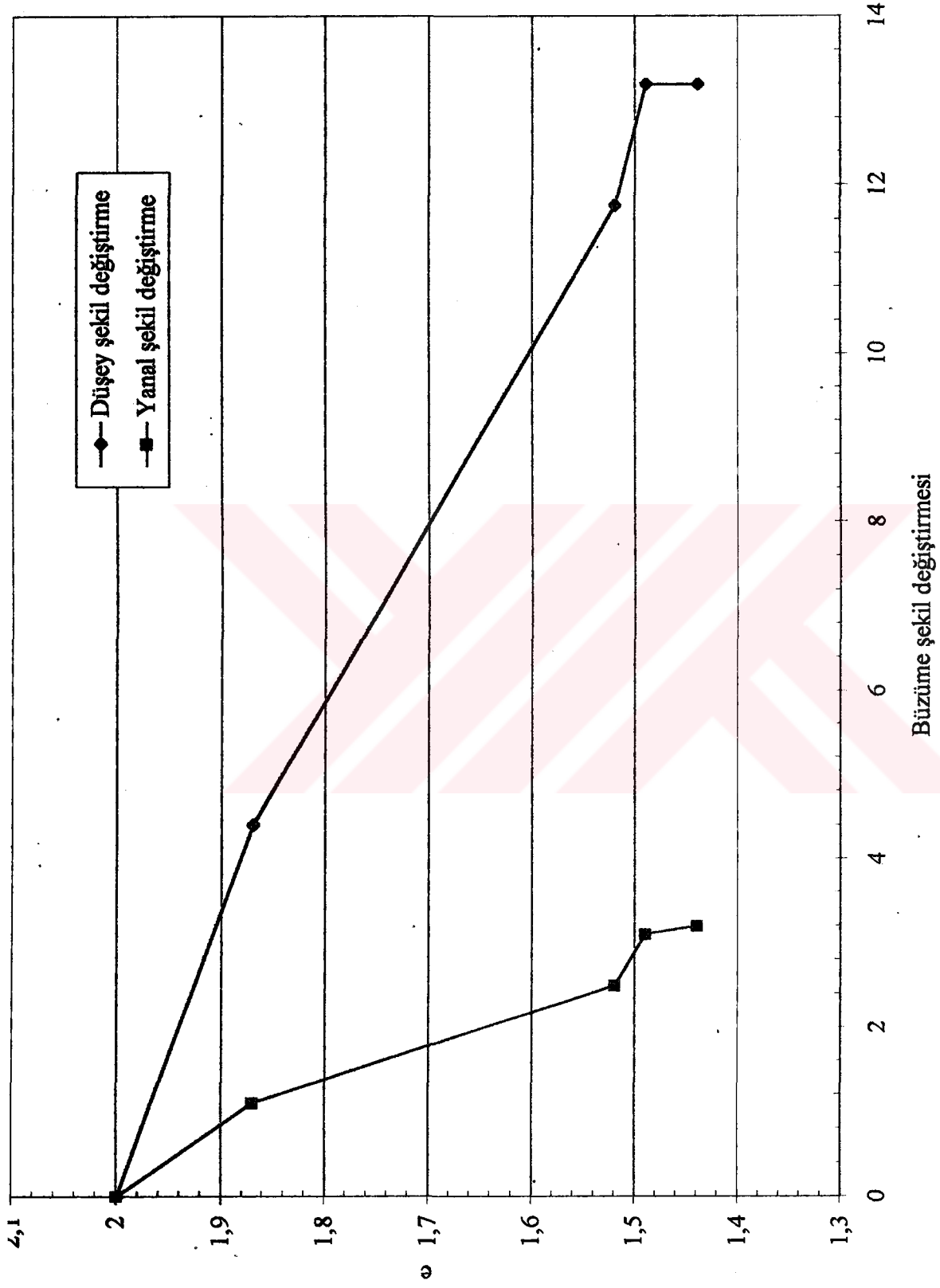
Şekil 5.17 Büzülme şekil değişimlerine (deney 5)



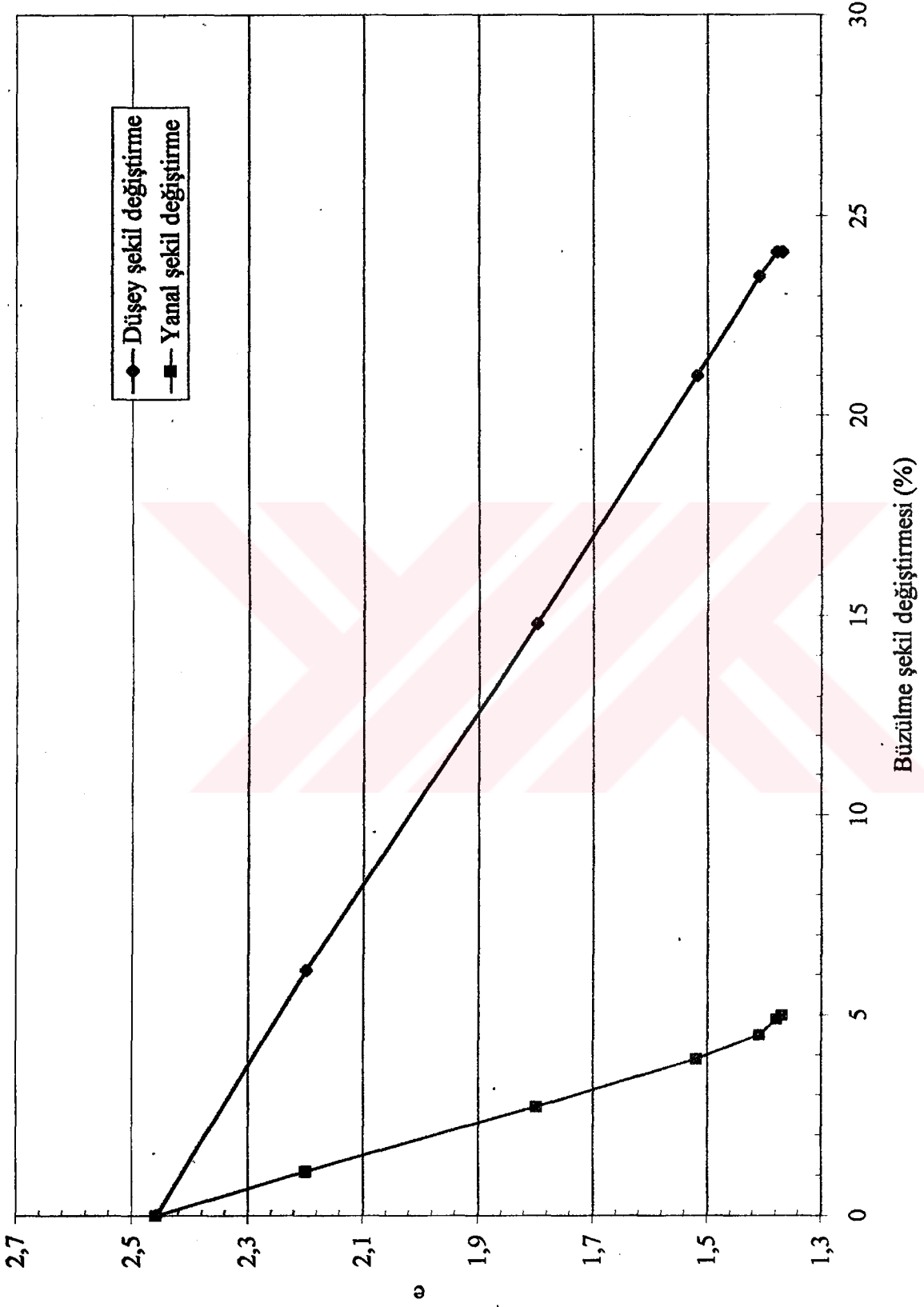
Şekil 5.18 Büzülme şekil değıştirmesi-e (deney 6)



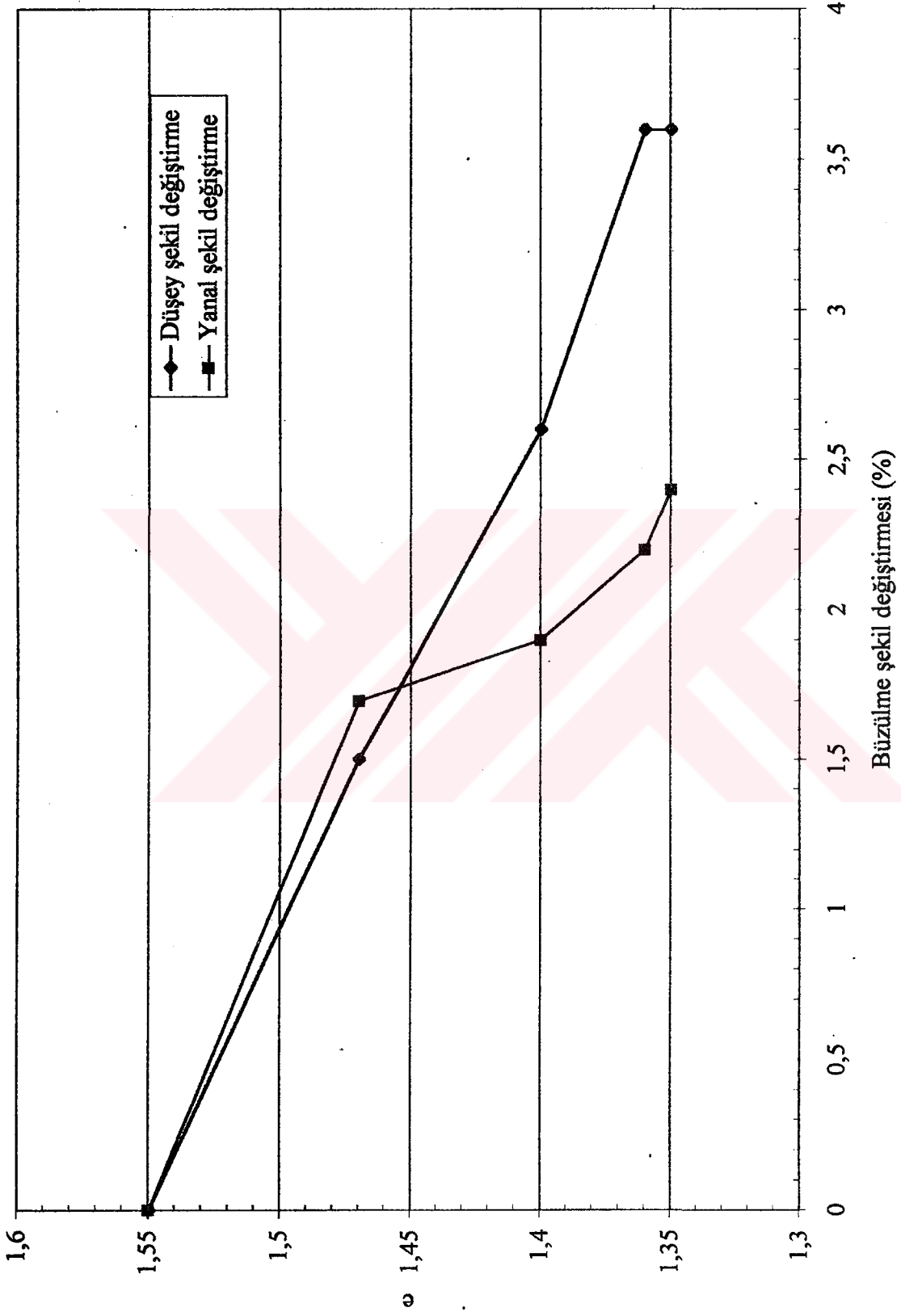
Şekil 5.19 Büzülme şekil değişimleri-e (deney 7)



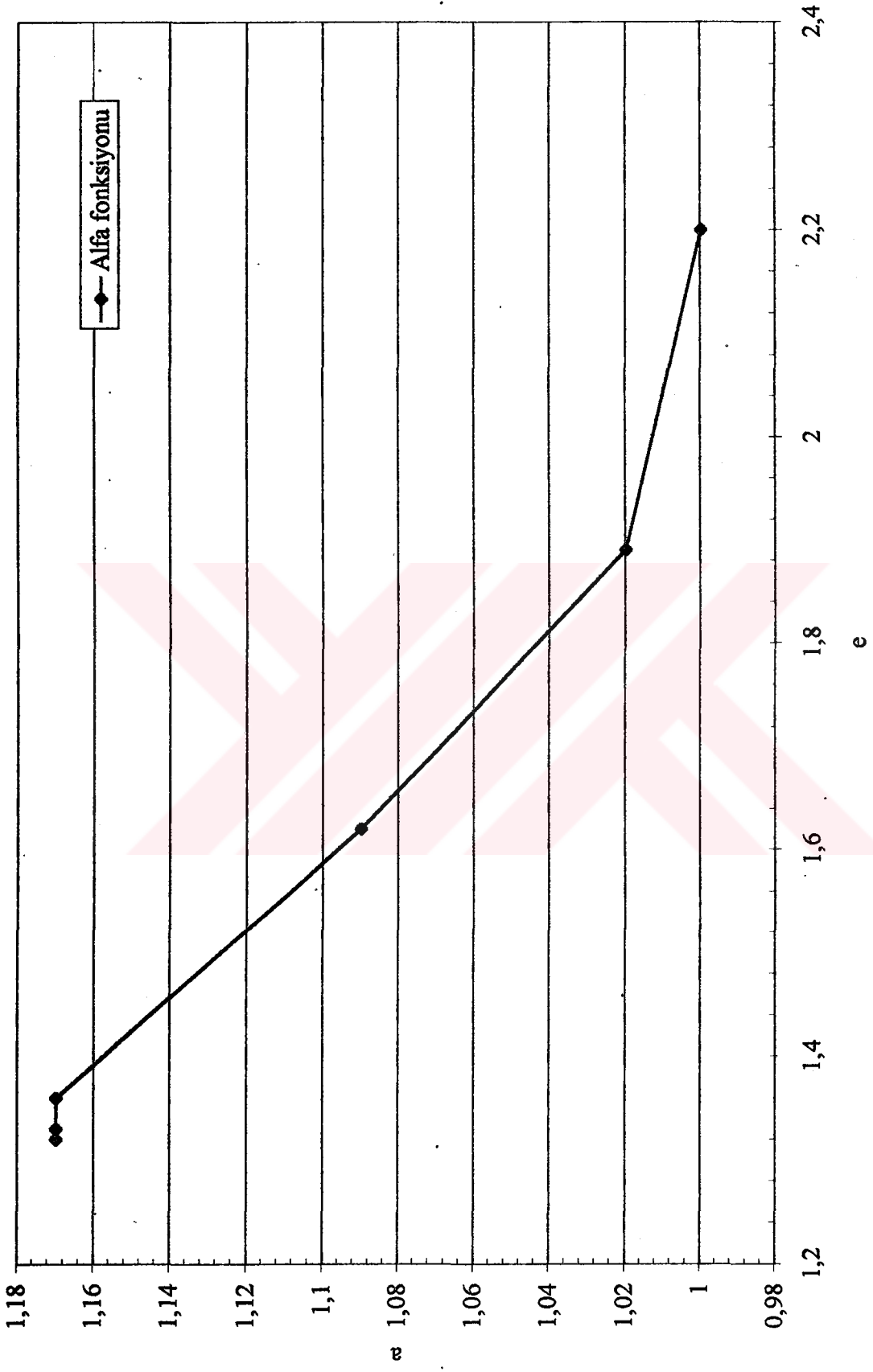
Şekil 5.20 Büzüme şekil değıştirmesi-e (deney 8)



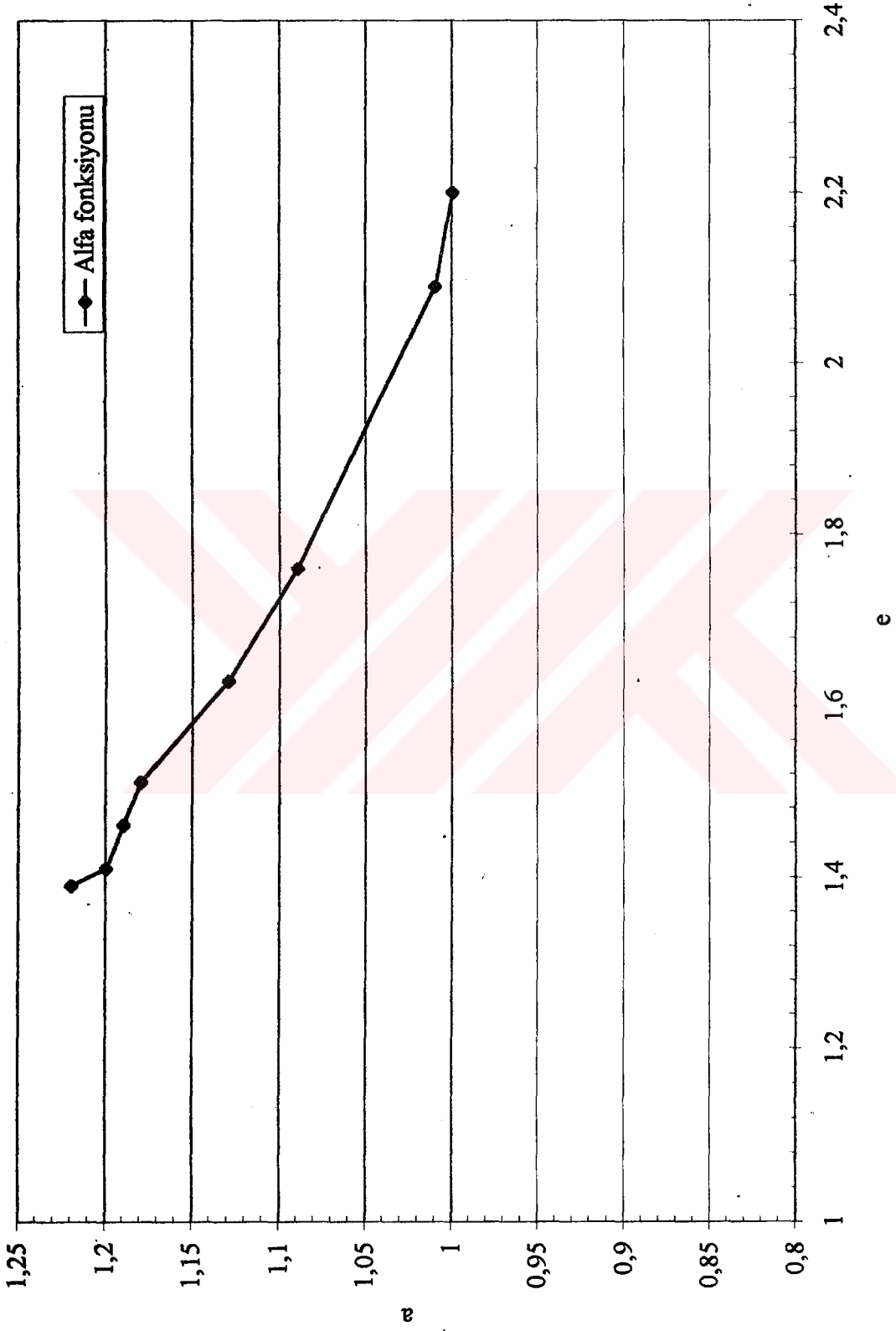
Şekil 5.21 Büzülme şekil değişirmesi-e (deney 9)



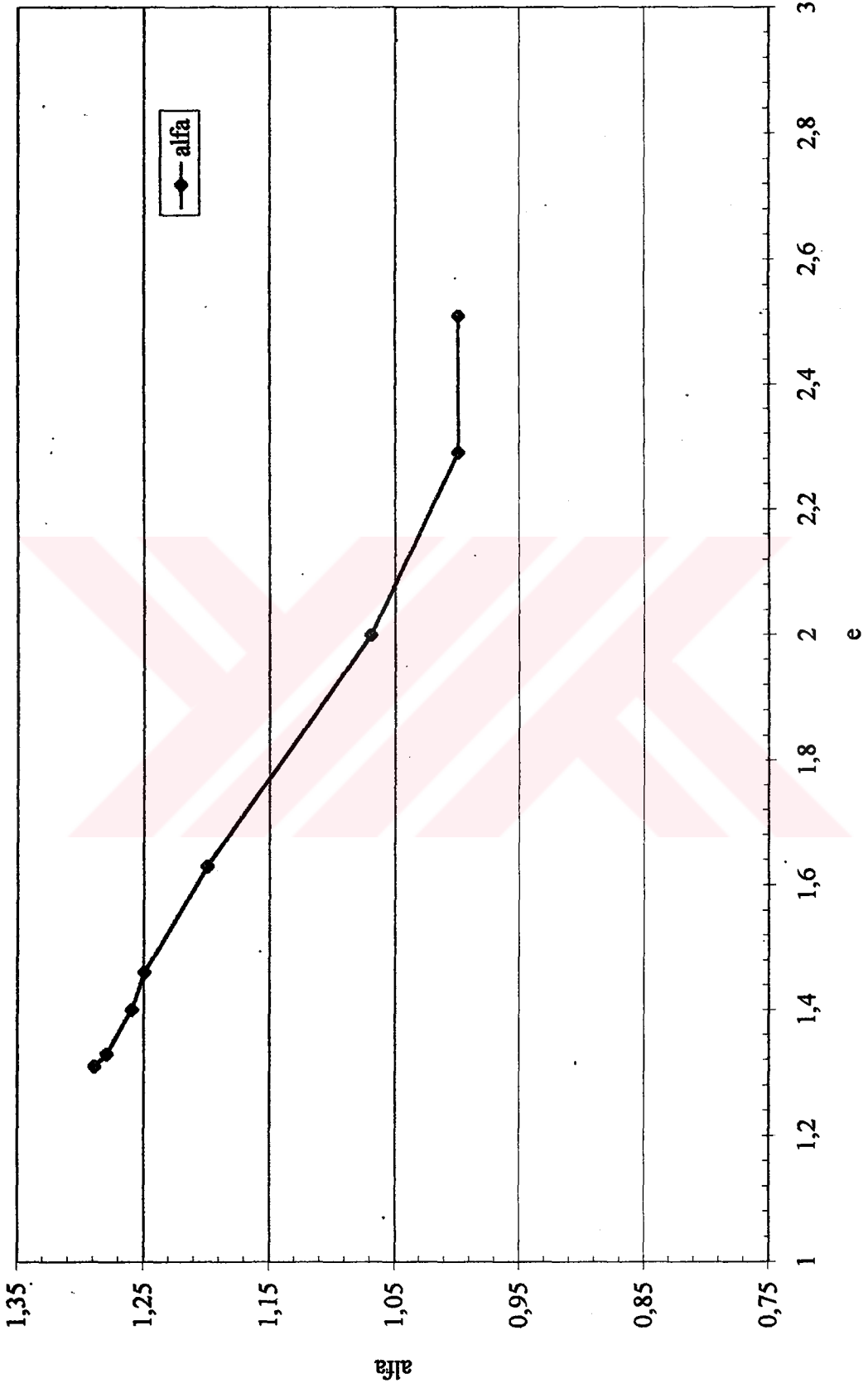
Şekil 5.22 Büzülme şekil değişimi-e (deney 10)



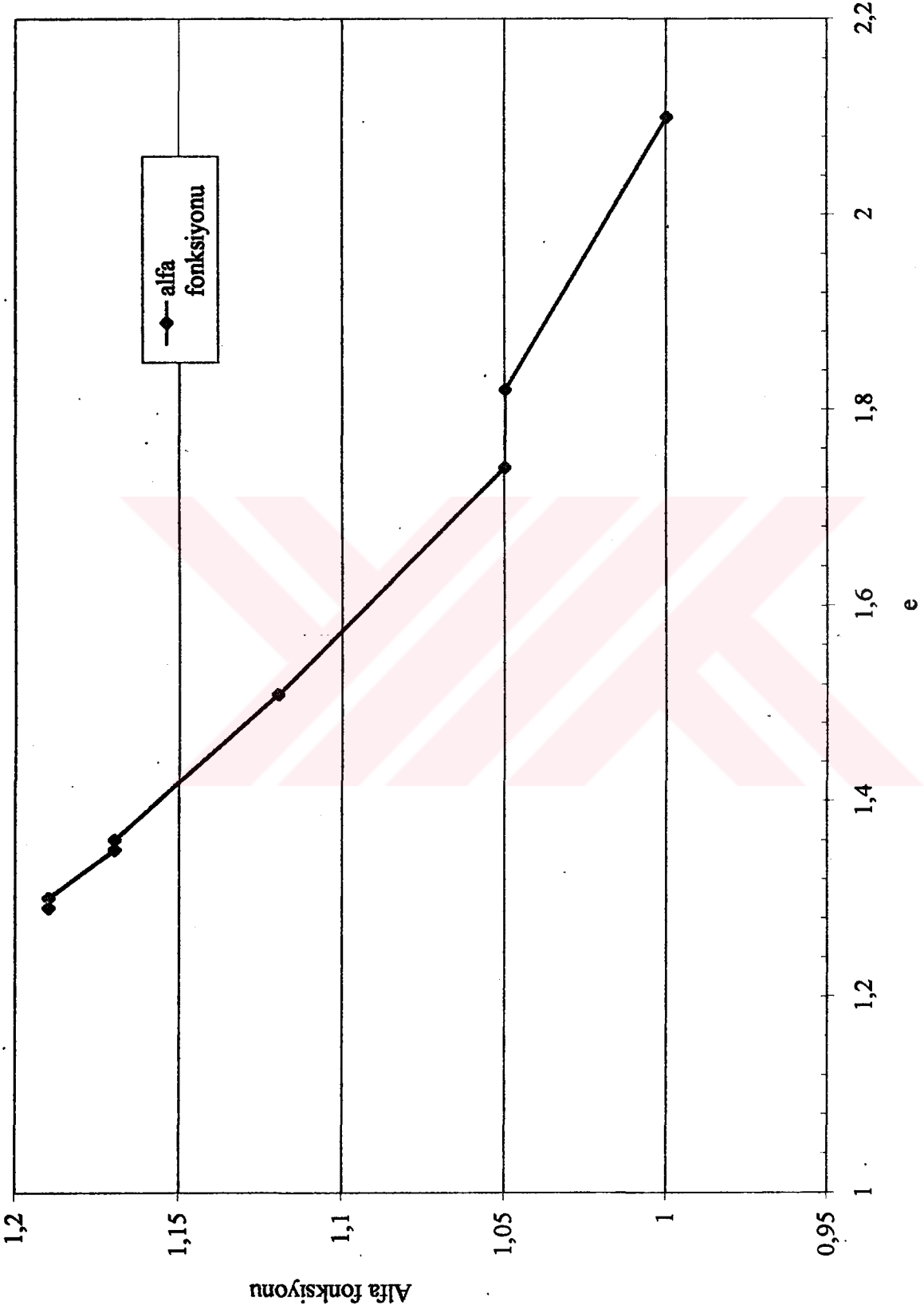
Şekil 5.23 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 1)



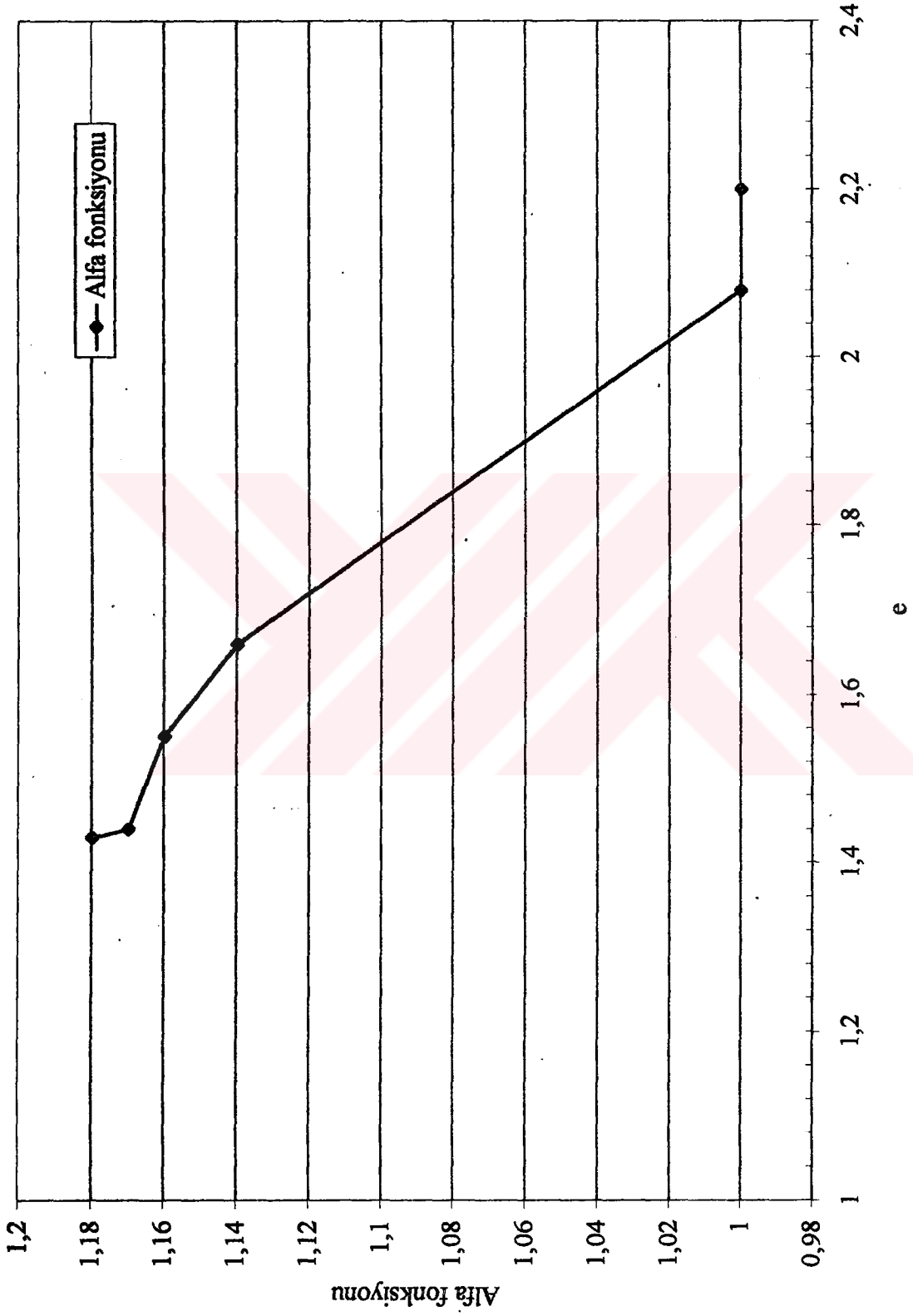
Şekil 5.24 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 2)



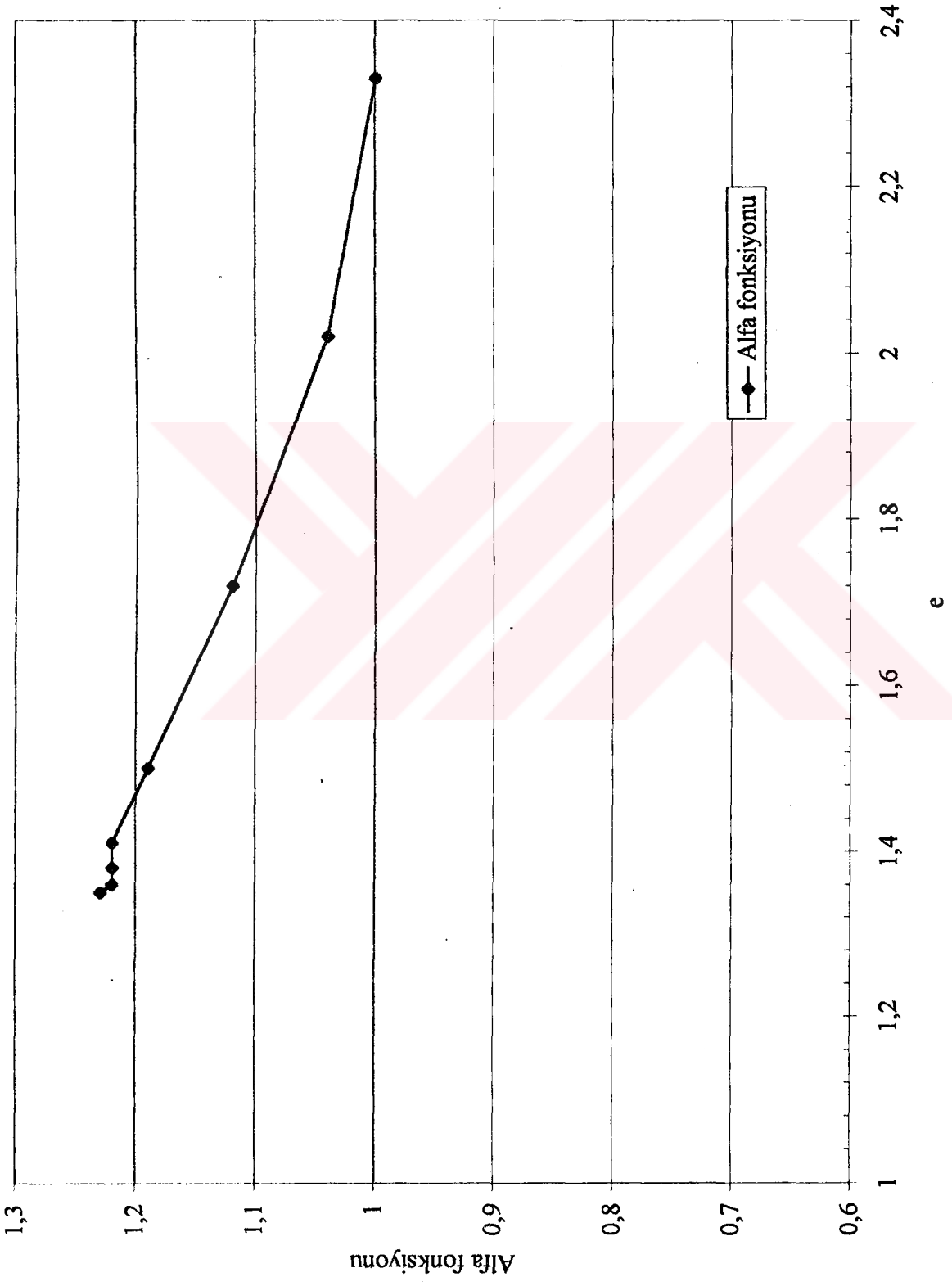
Şekil 5.25 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 3)



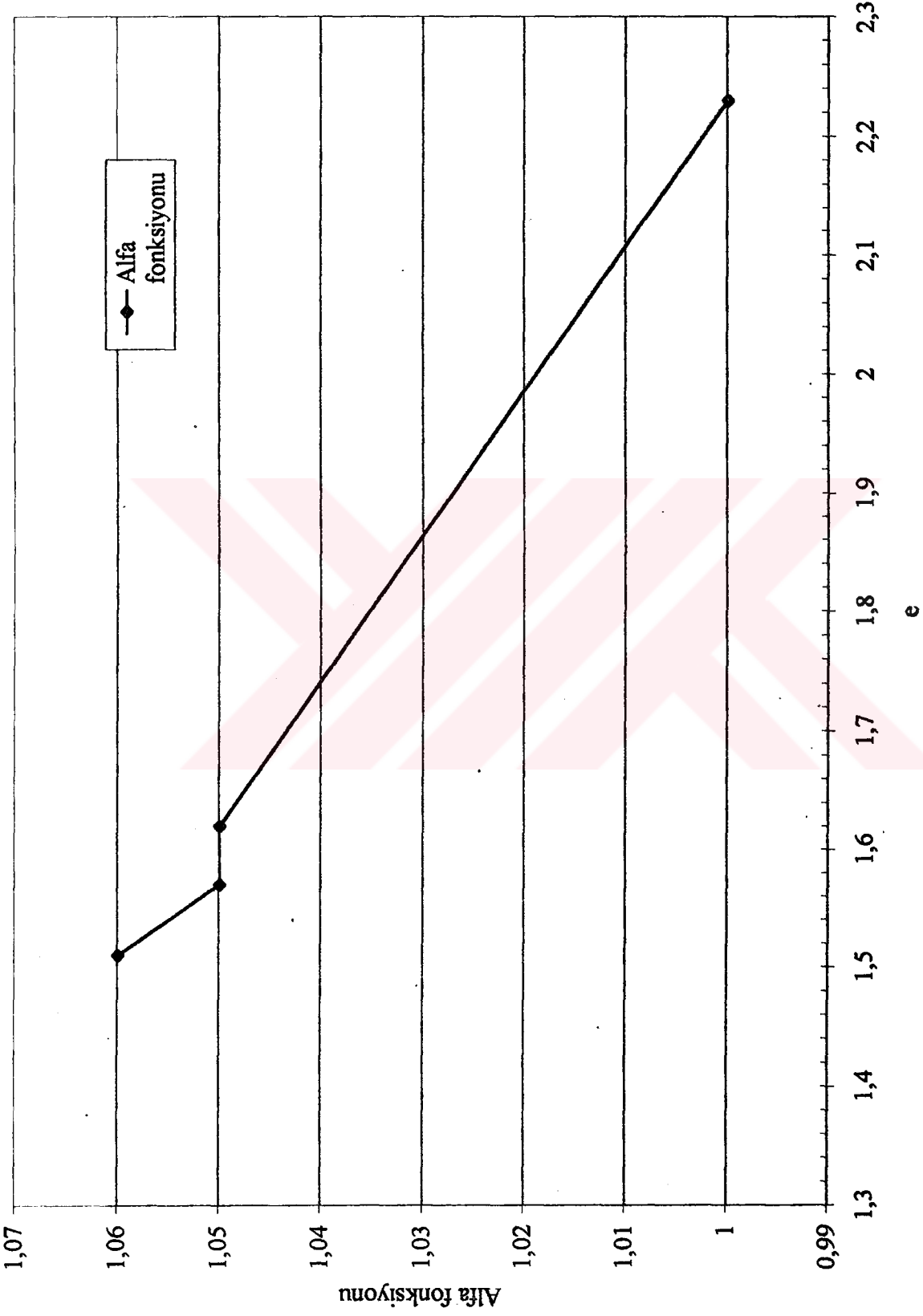
Şekil 5.26 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 4)



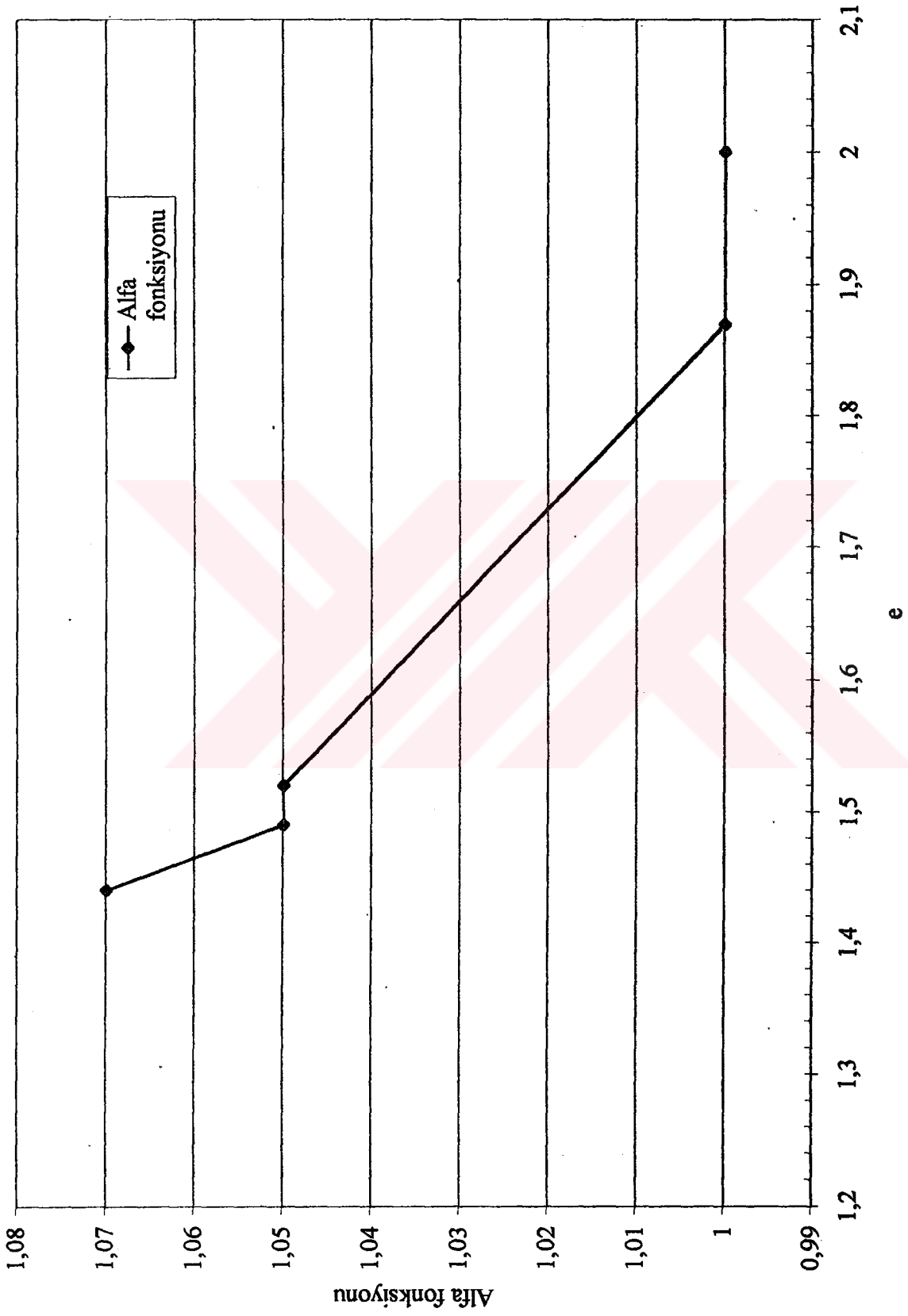
Şekil 5.27 Boşlu oranı-alfa fonksiyonu (deney 5)



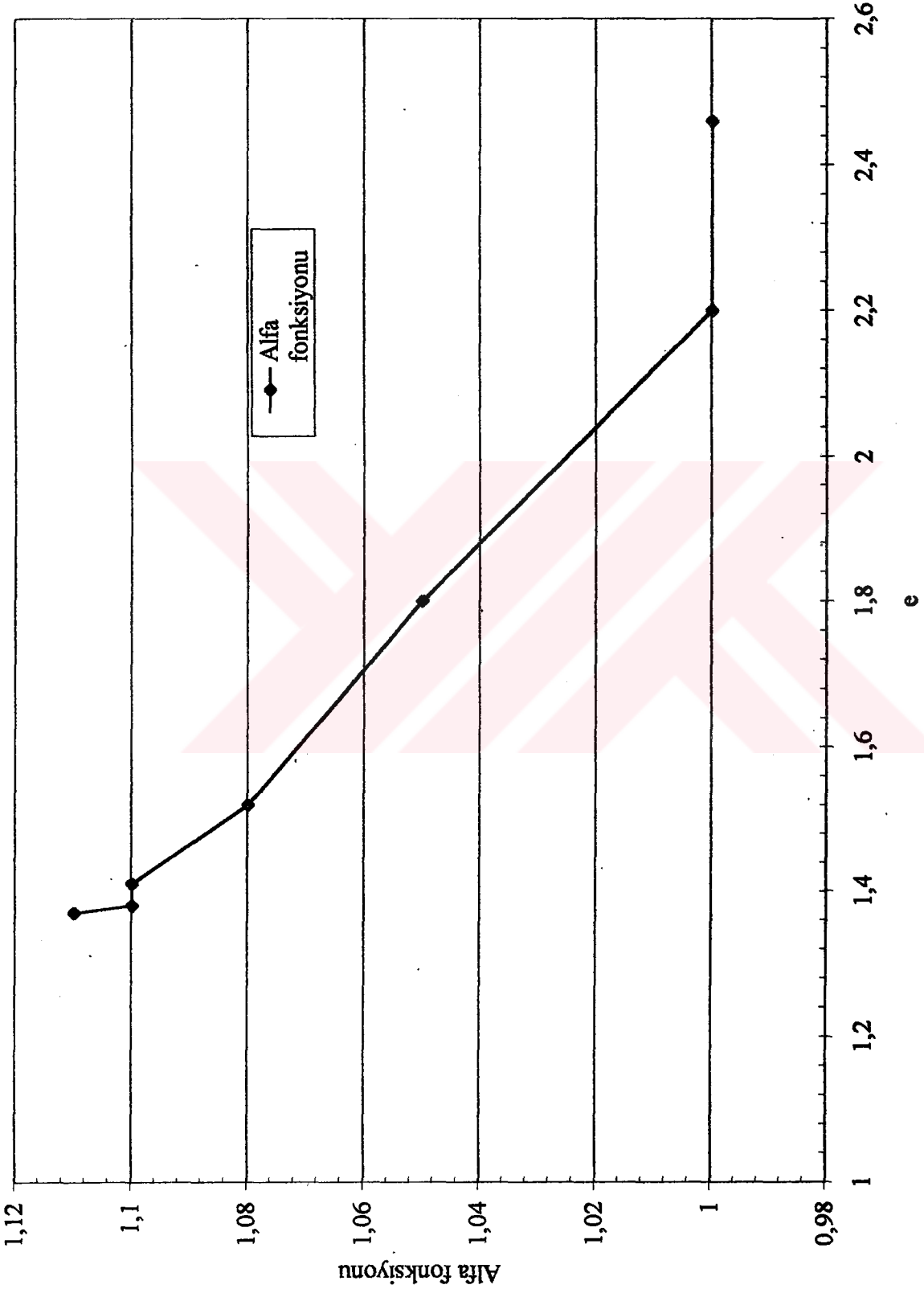
Şekil 5.28 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 6)



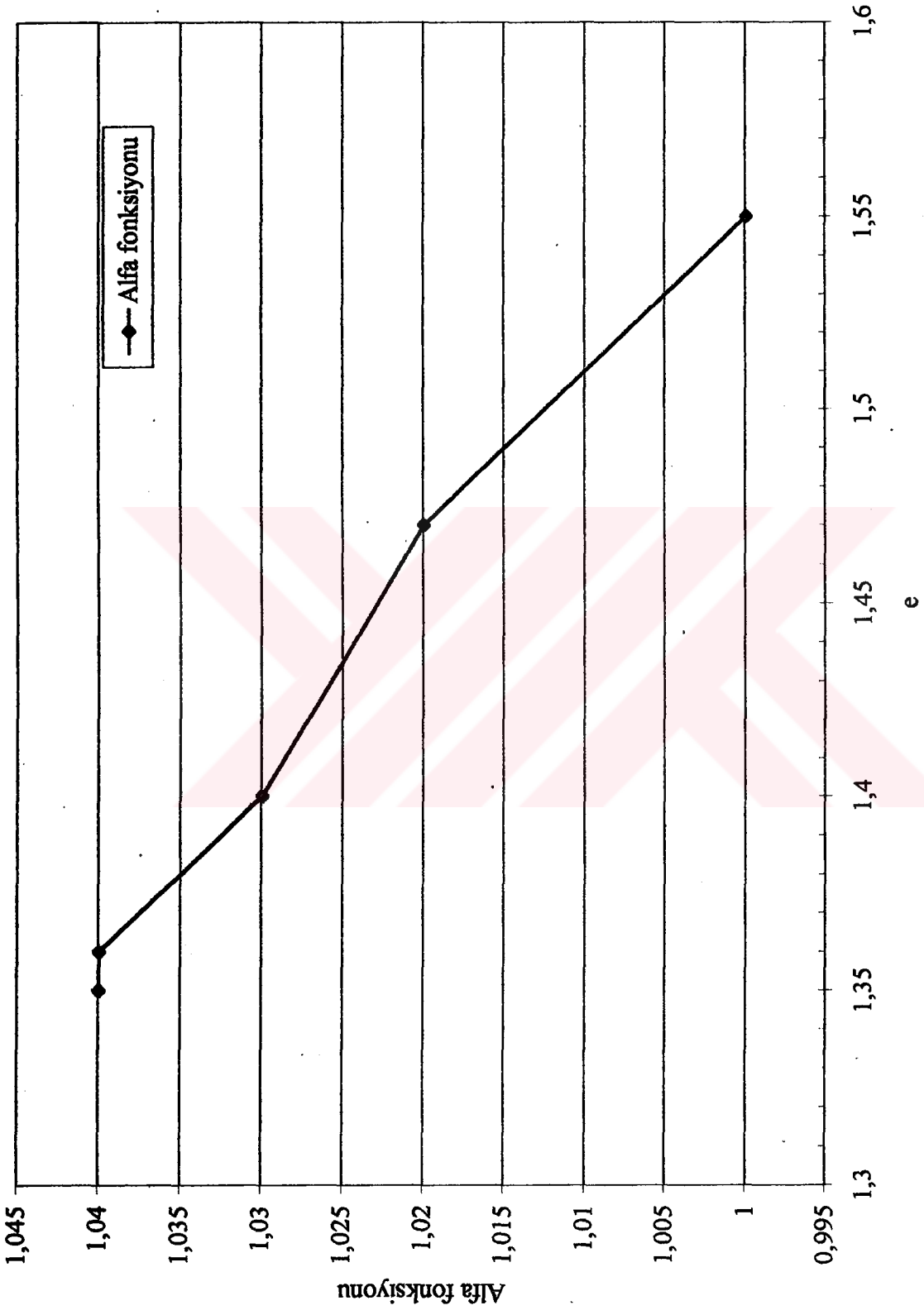
Şekil 5.29 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 7)



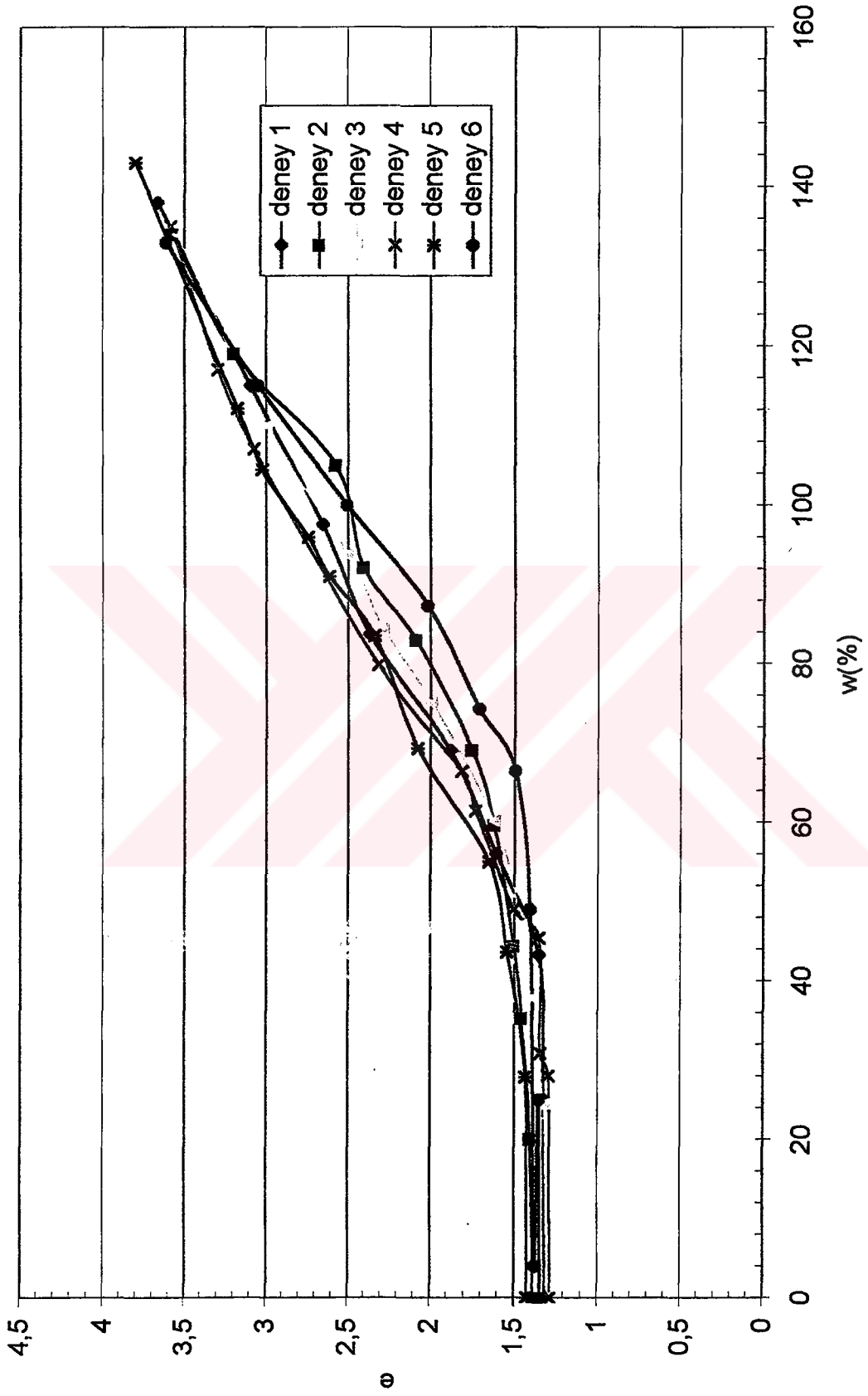
Şekil 5.30 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 8)



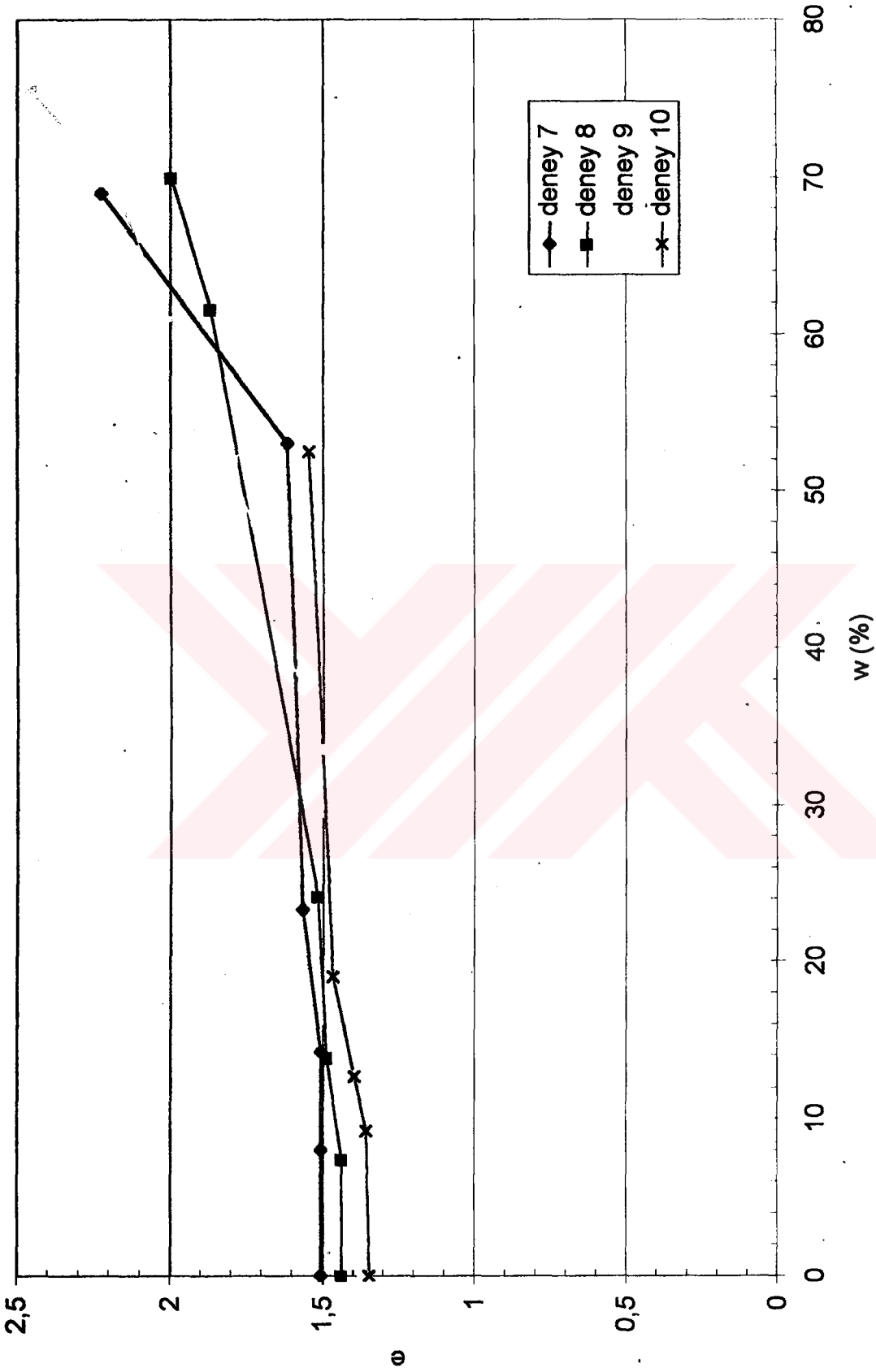
Şekil 5.31 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 9)



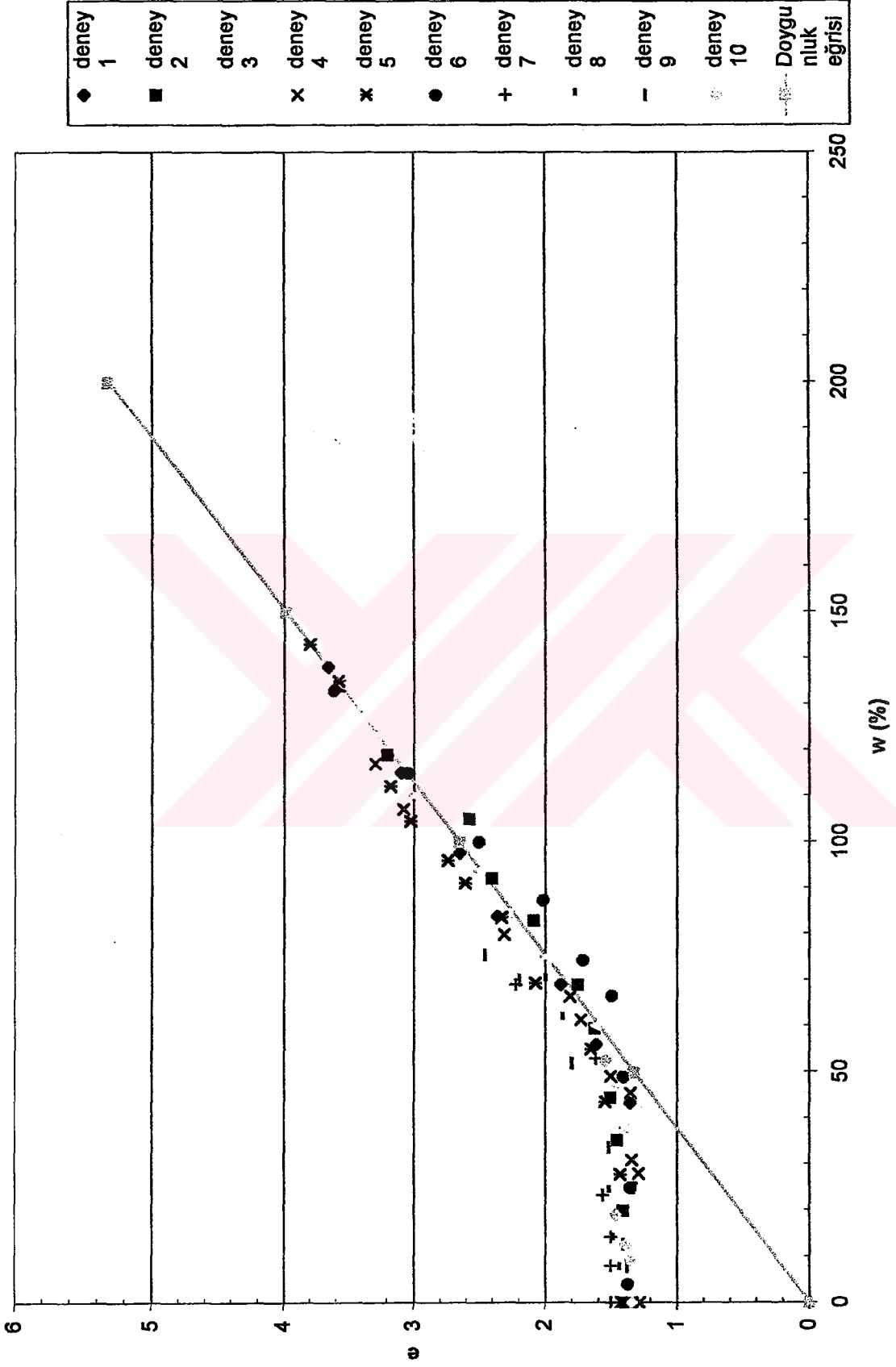
Şekil 5.32 Boşluk oranı-alfa fonksiyonu (deney 10)



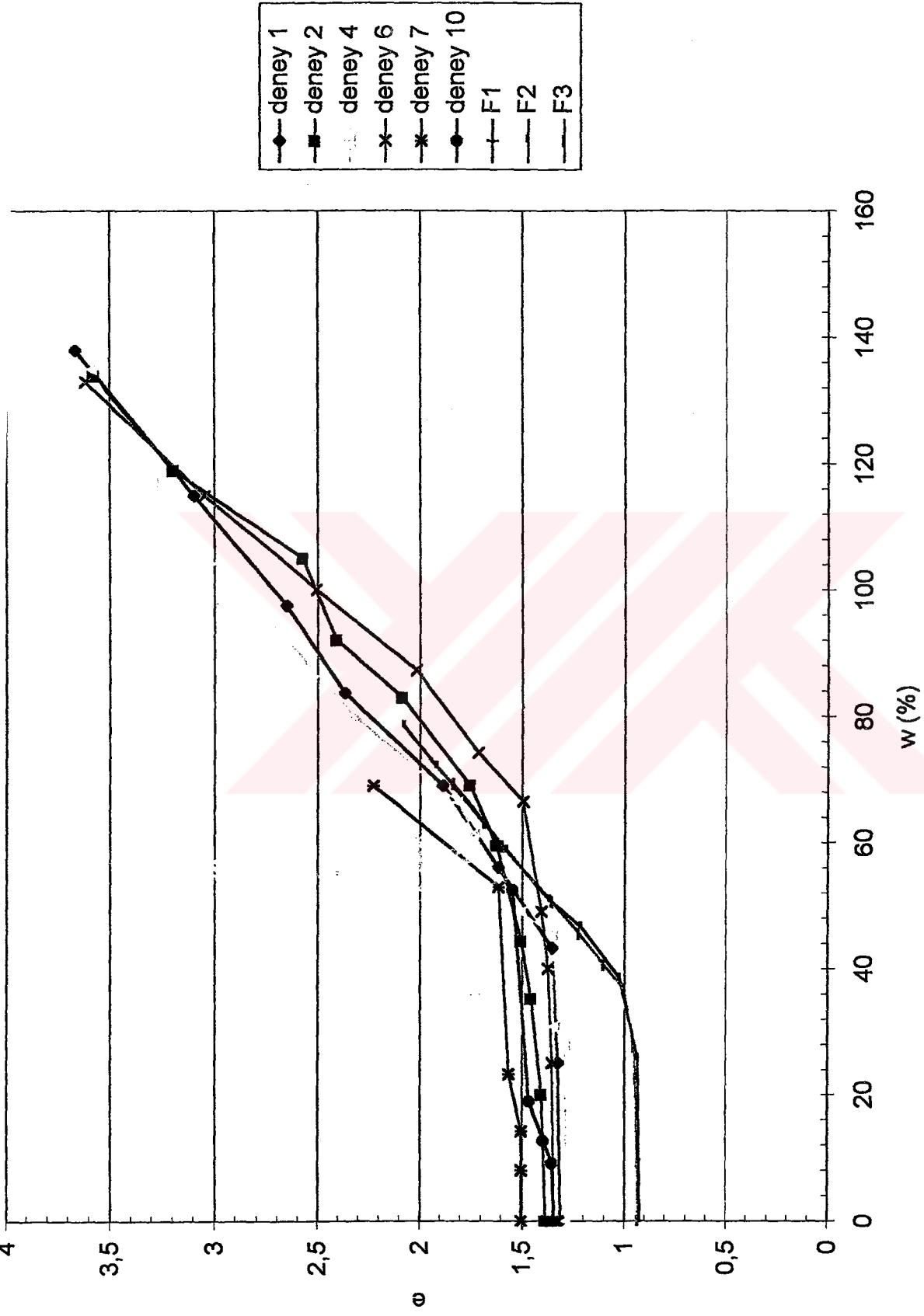
Şekil 5.33 Serbest büzülme deneyi için w-e (bulamaç zemin numuneleri için toplu sonuçlar)



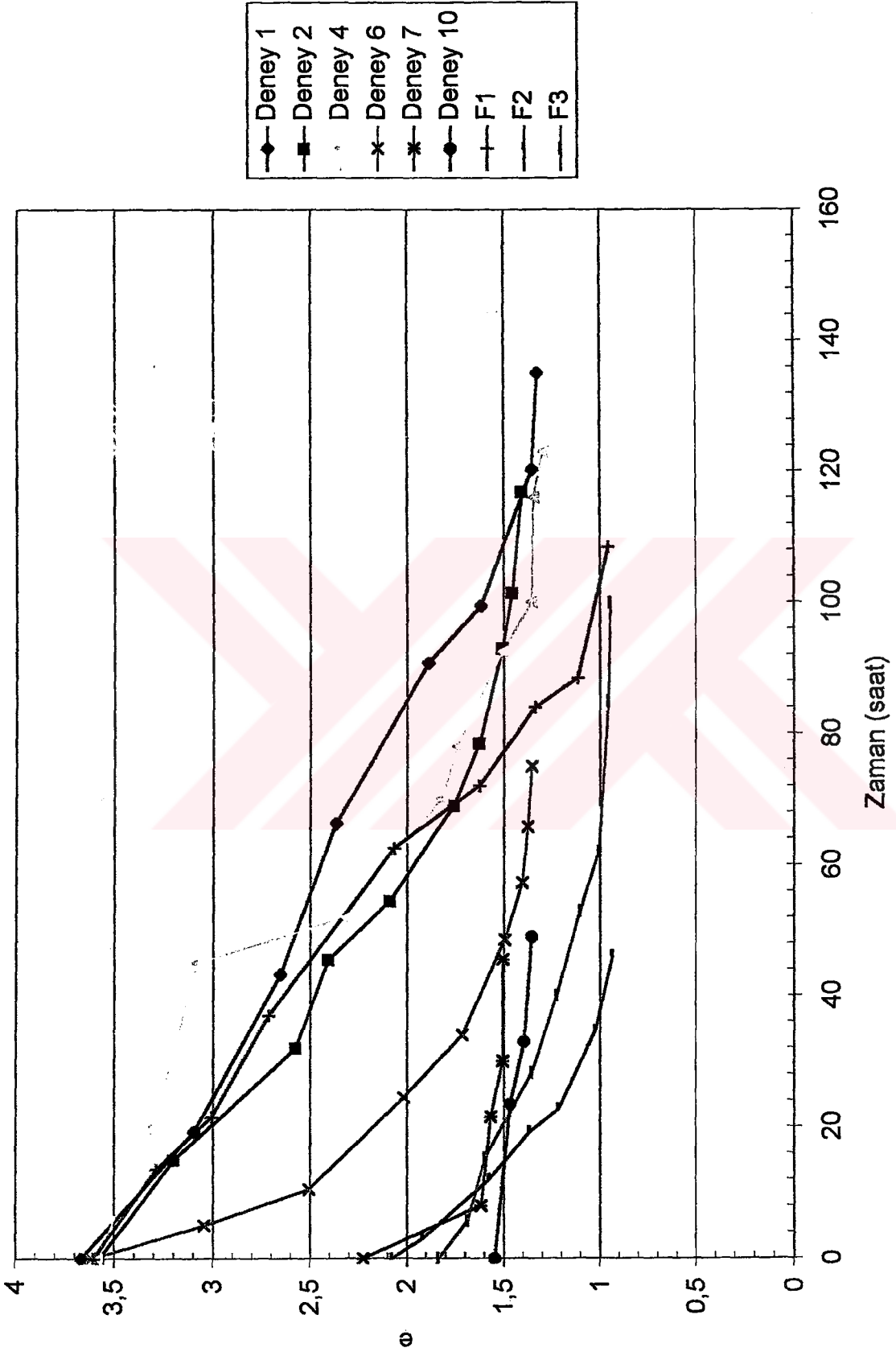
Şekil 5.34 Serbest büzülme deneyi için w -e (bütün aşırı konsolide numuneler için toplu sonuçlar)



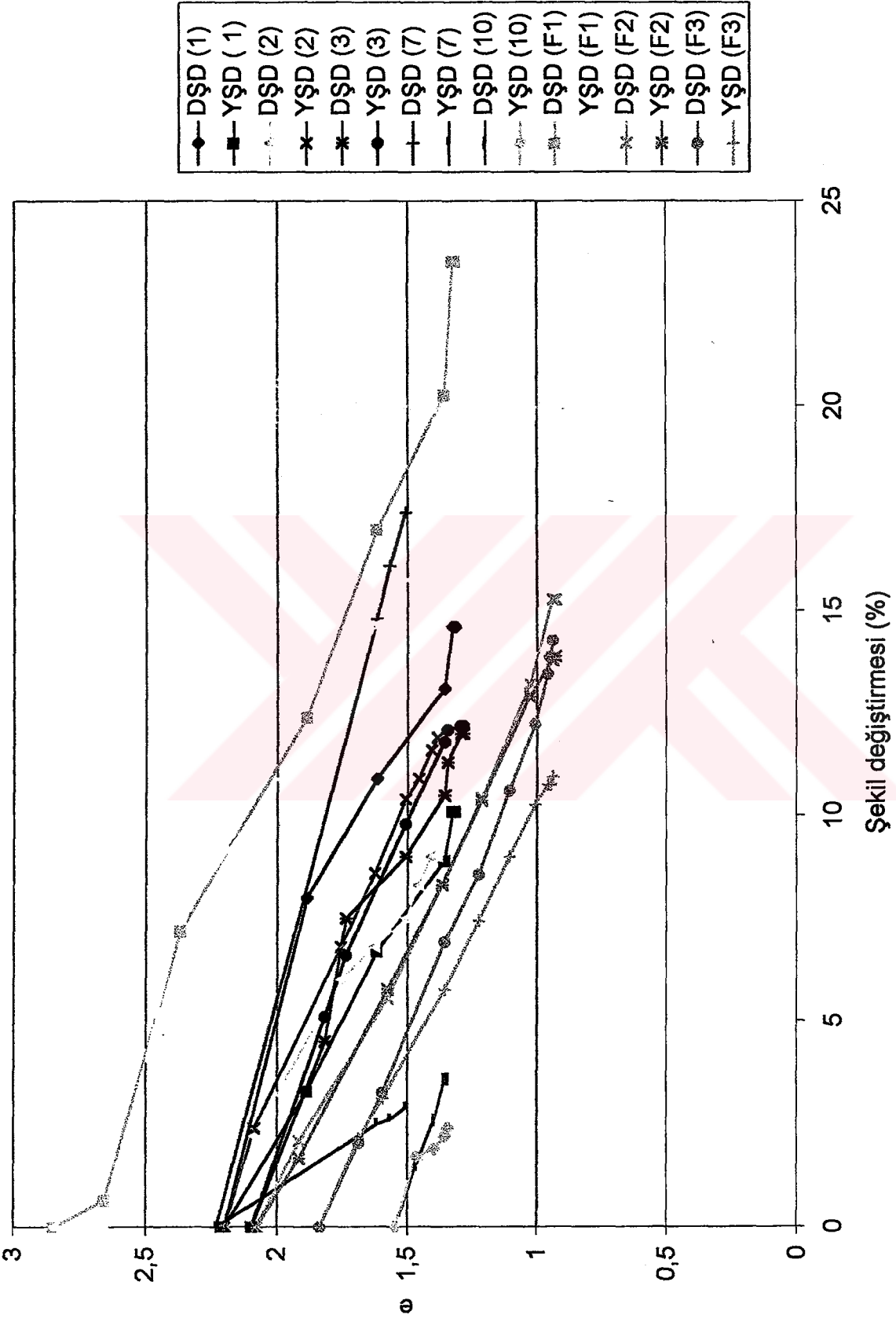
Şekil 5.35 Bulamaç ve aşın konsolide bütün zeminler için w - e ve suya doygunluk çizgisi



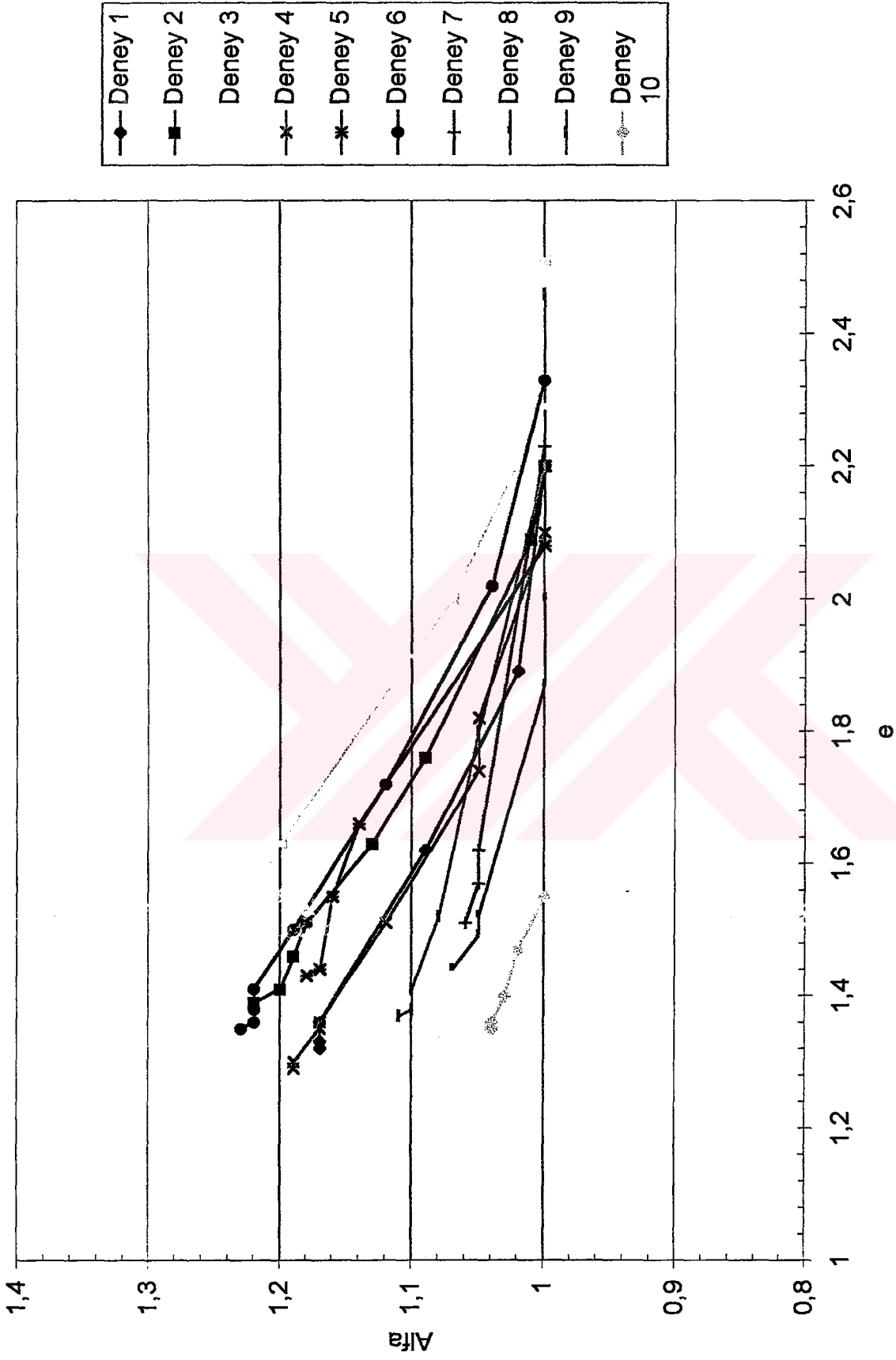
Şekil 5.36 Haliç ve Speswhite kili için w-e



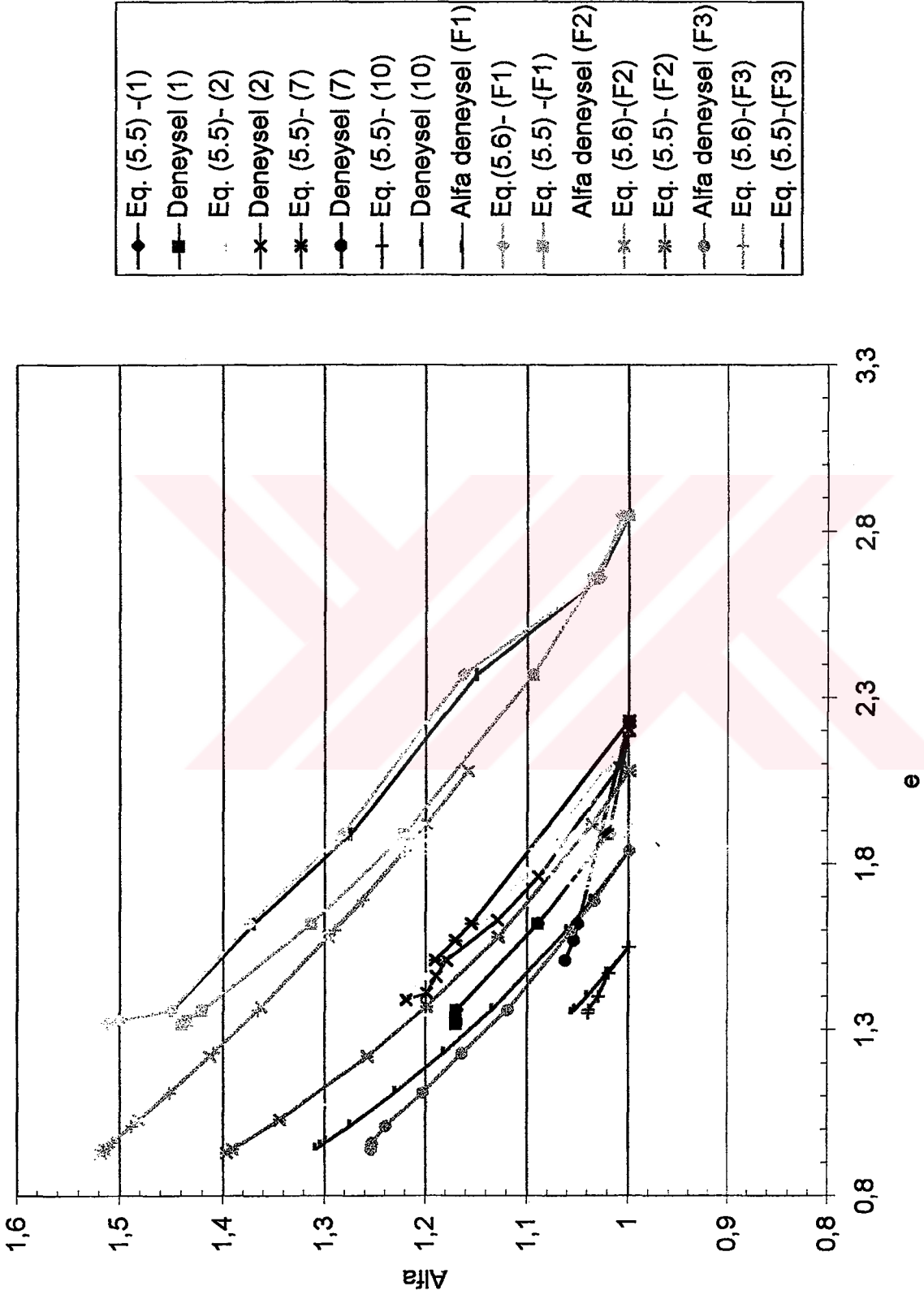
Şekil 5.37 Haliç ve Speswhite kili için zaman-



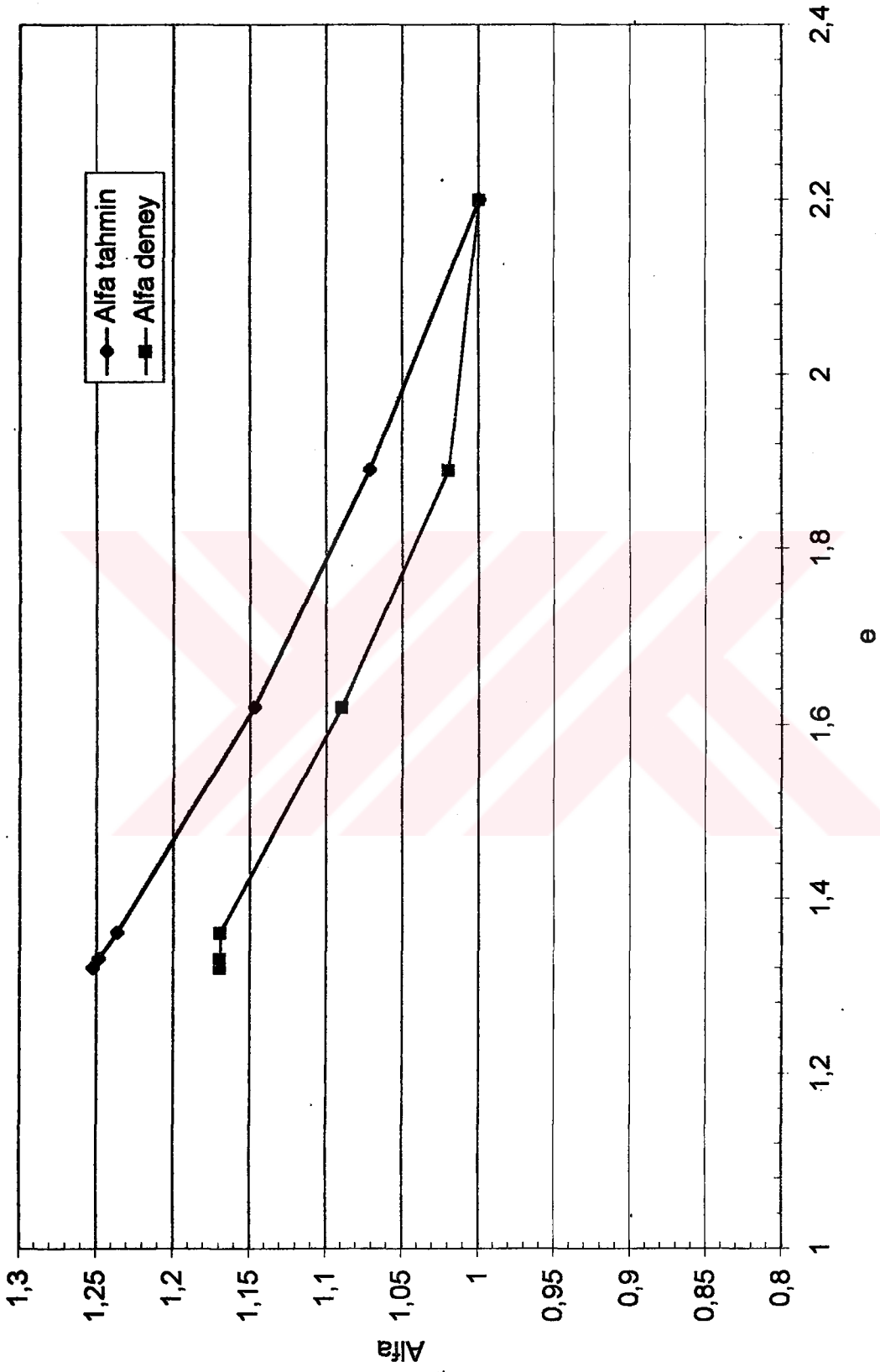
Şekil 5.38 Bütüme şekil değıştirme-e



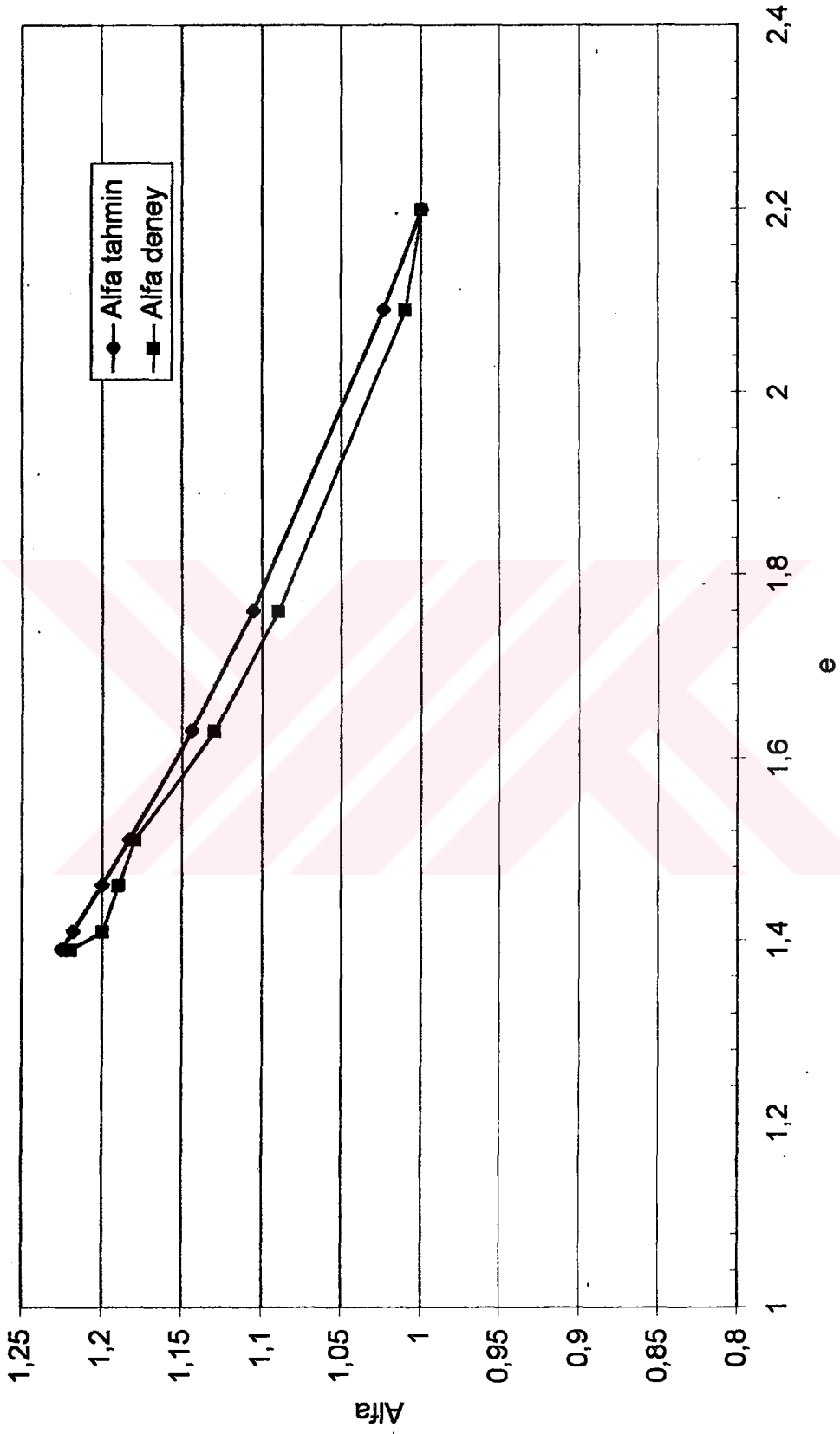
Şekil 5.39 Boşluk oranı-ıfa fonksiyonu (tüm deneyler)



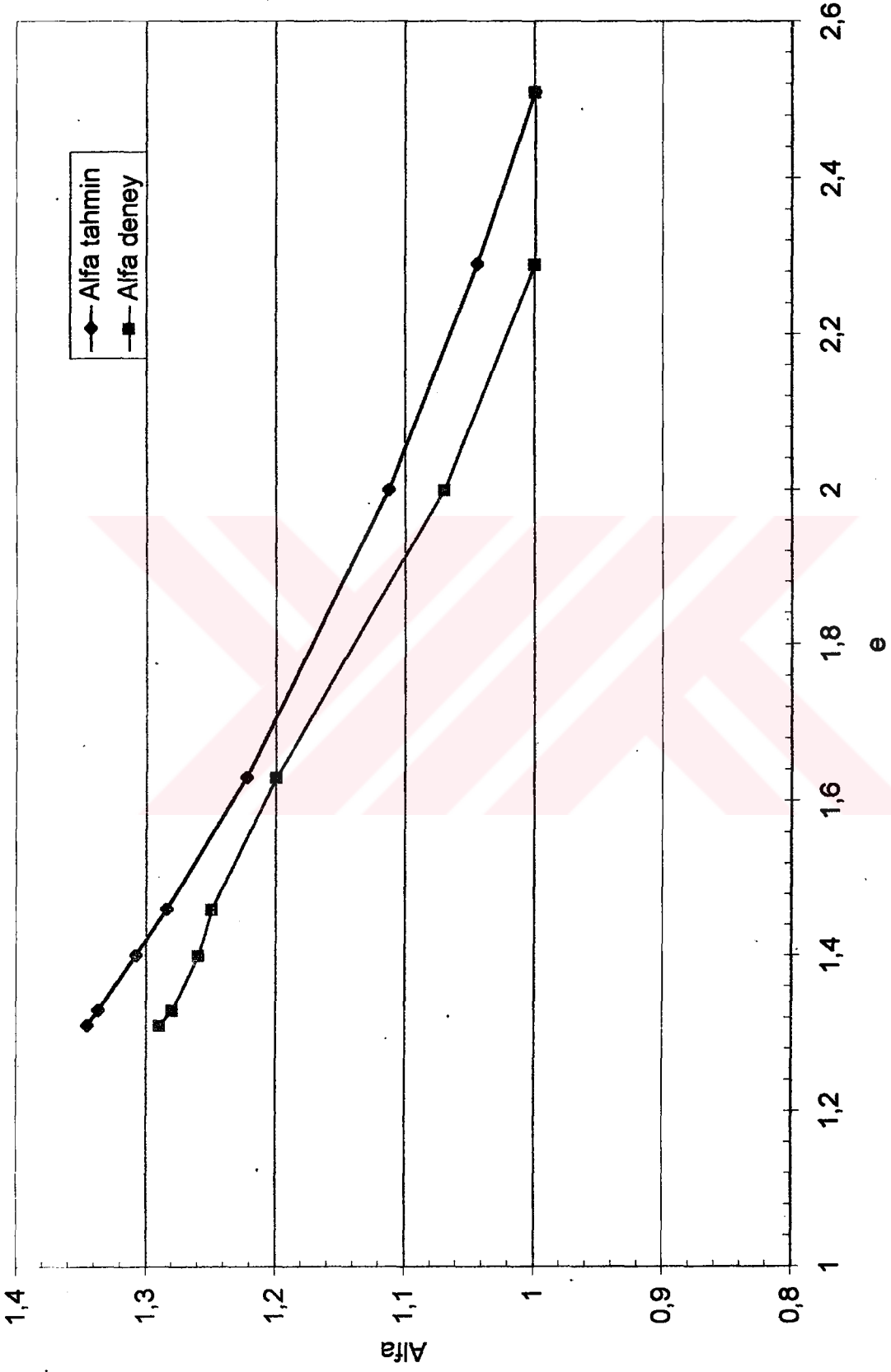
Şekil 5.40 e-alfa deneysel ve tahmini değerler (değişik deneyler için)



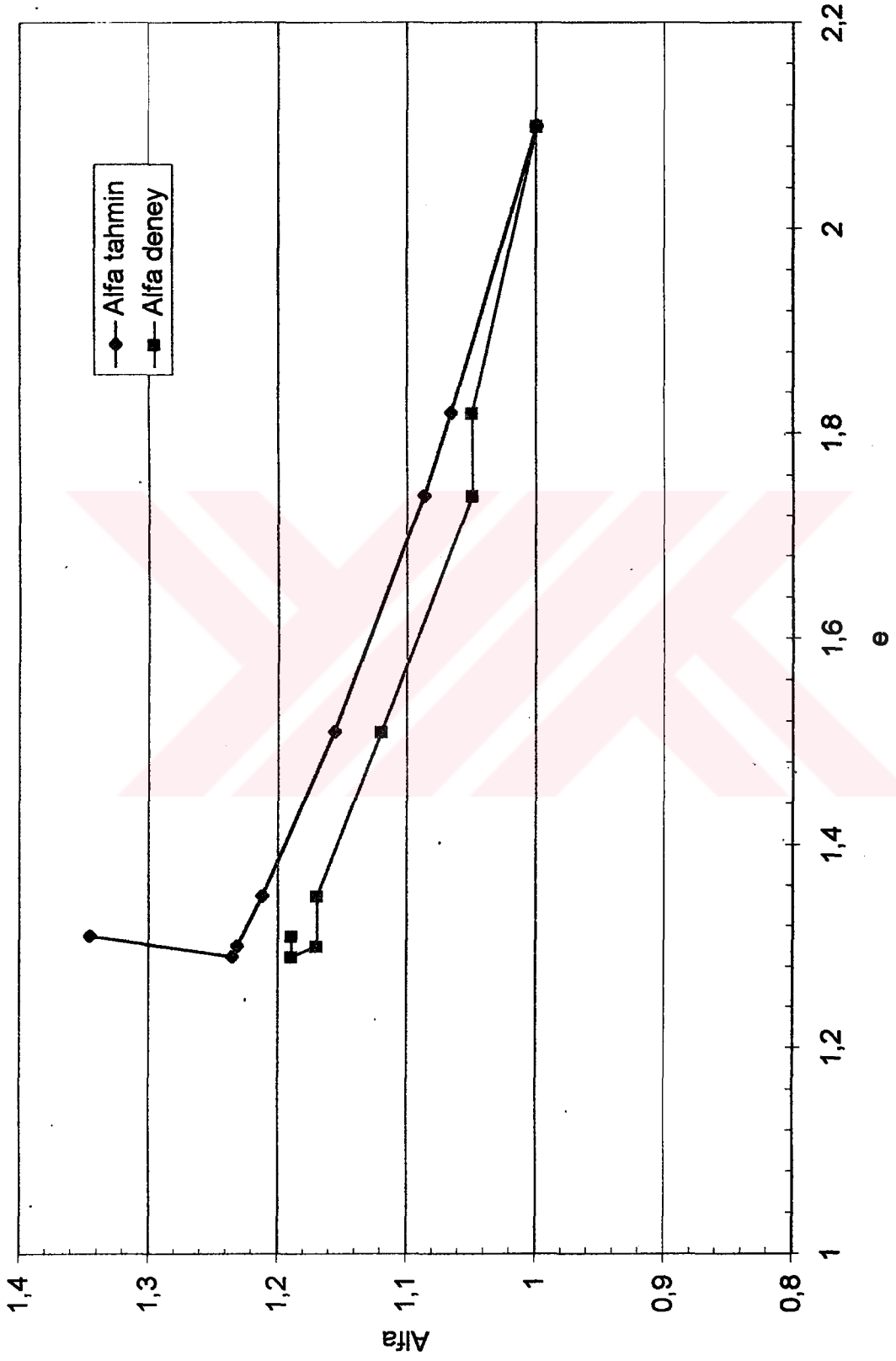
Şekil 5.41 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 1)



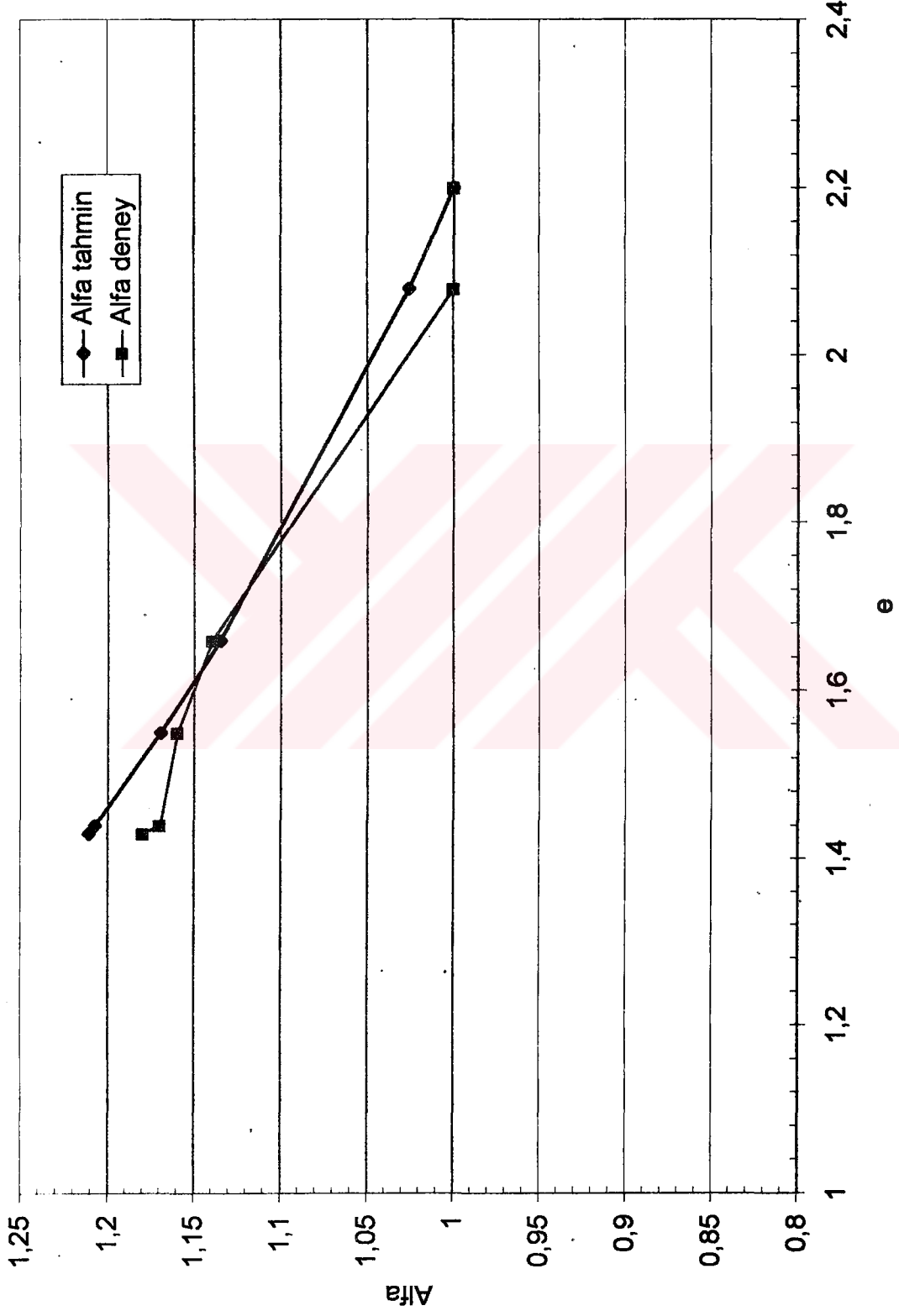
Şekil 5.42 e-alf deneysel ve tahmini değerler (deney 2)



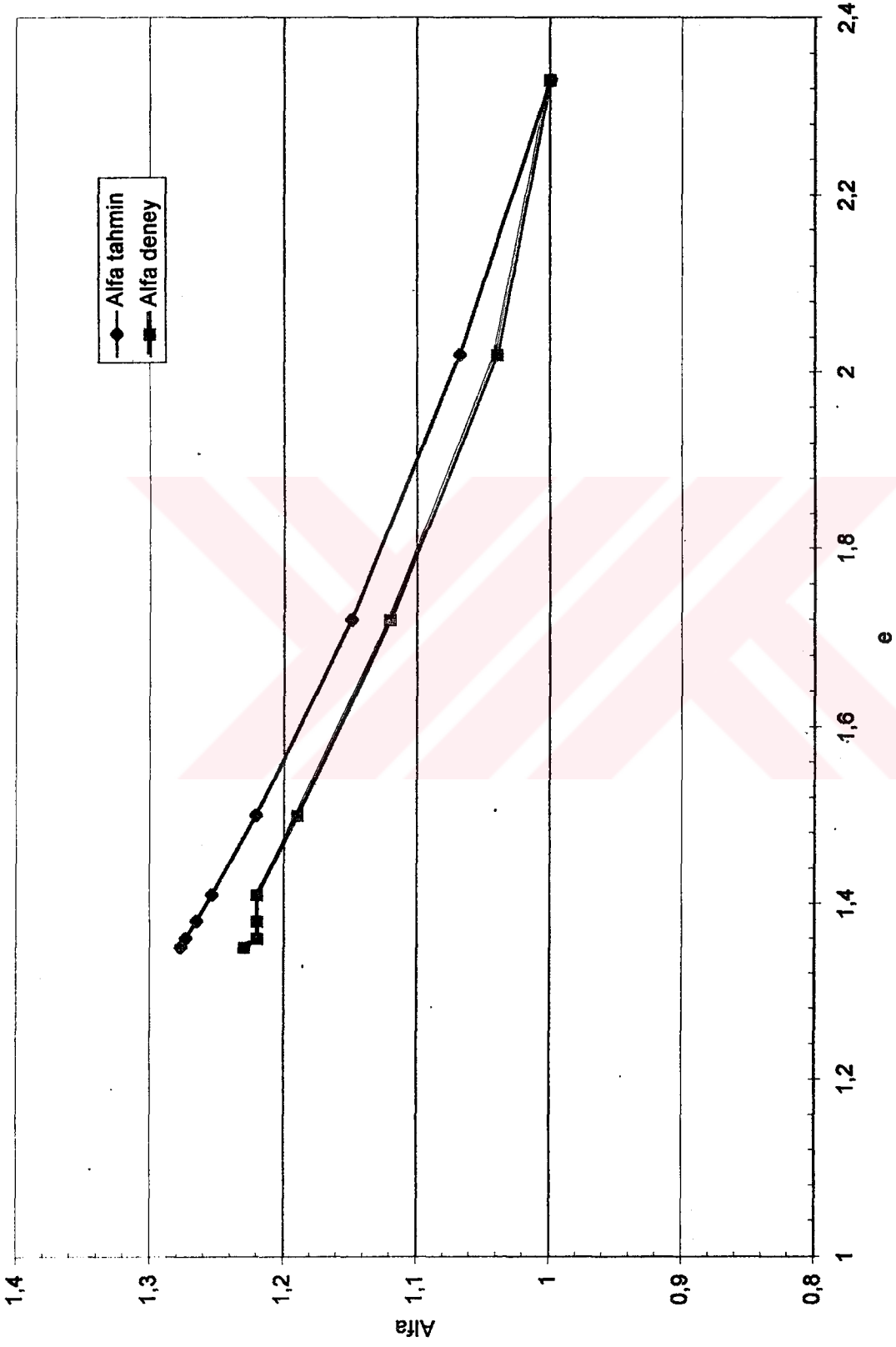
Şekil 5.43 e-alfa deneysel ve tahminin değerler (deney 3)



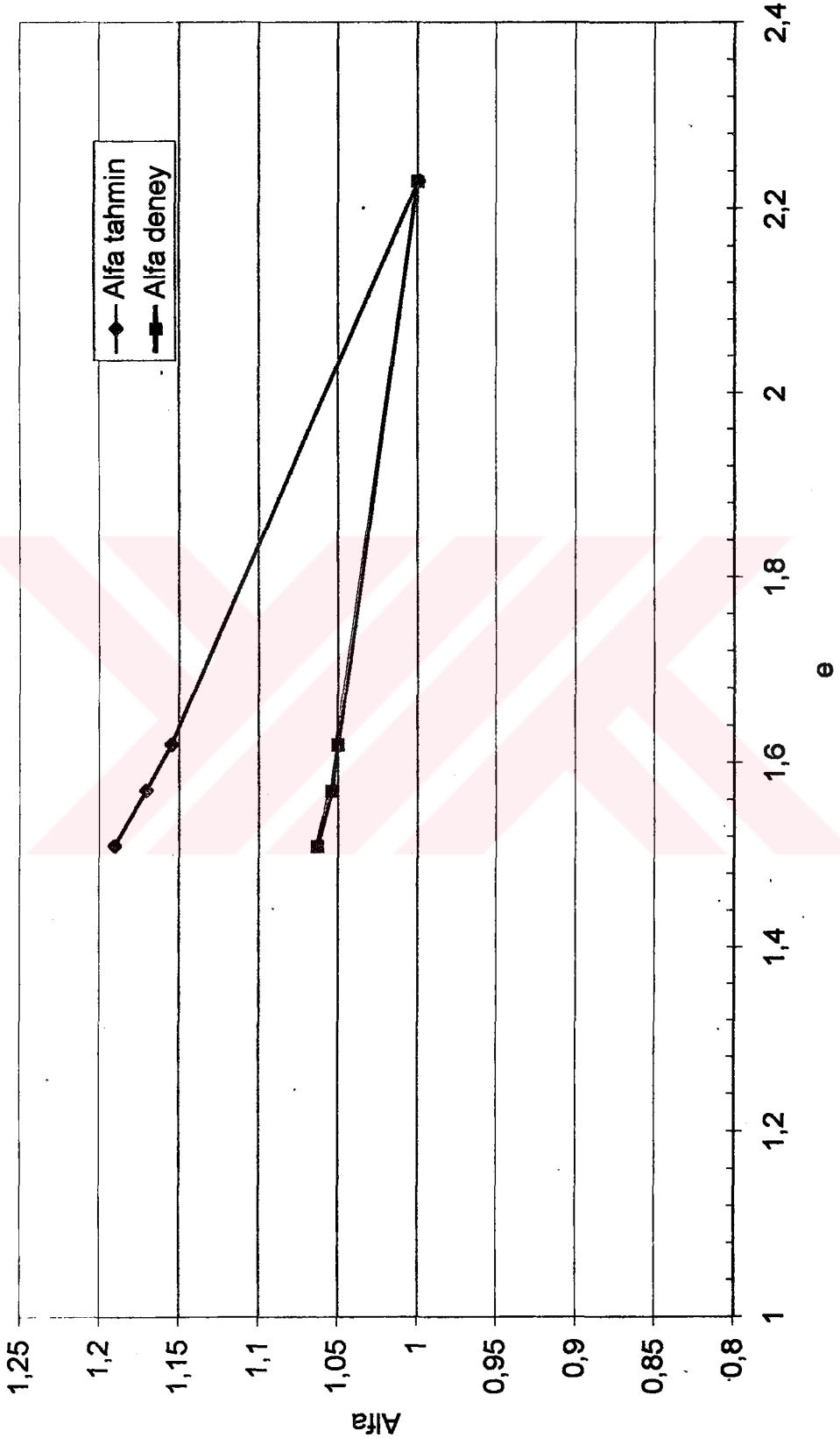
şekil 5.44 e-alfa deneysel ve tahmini değerler (deney 4)



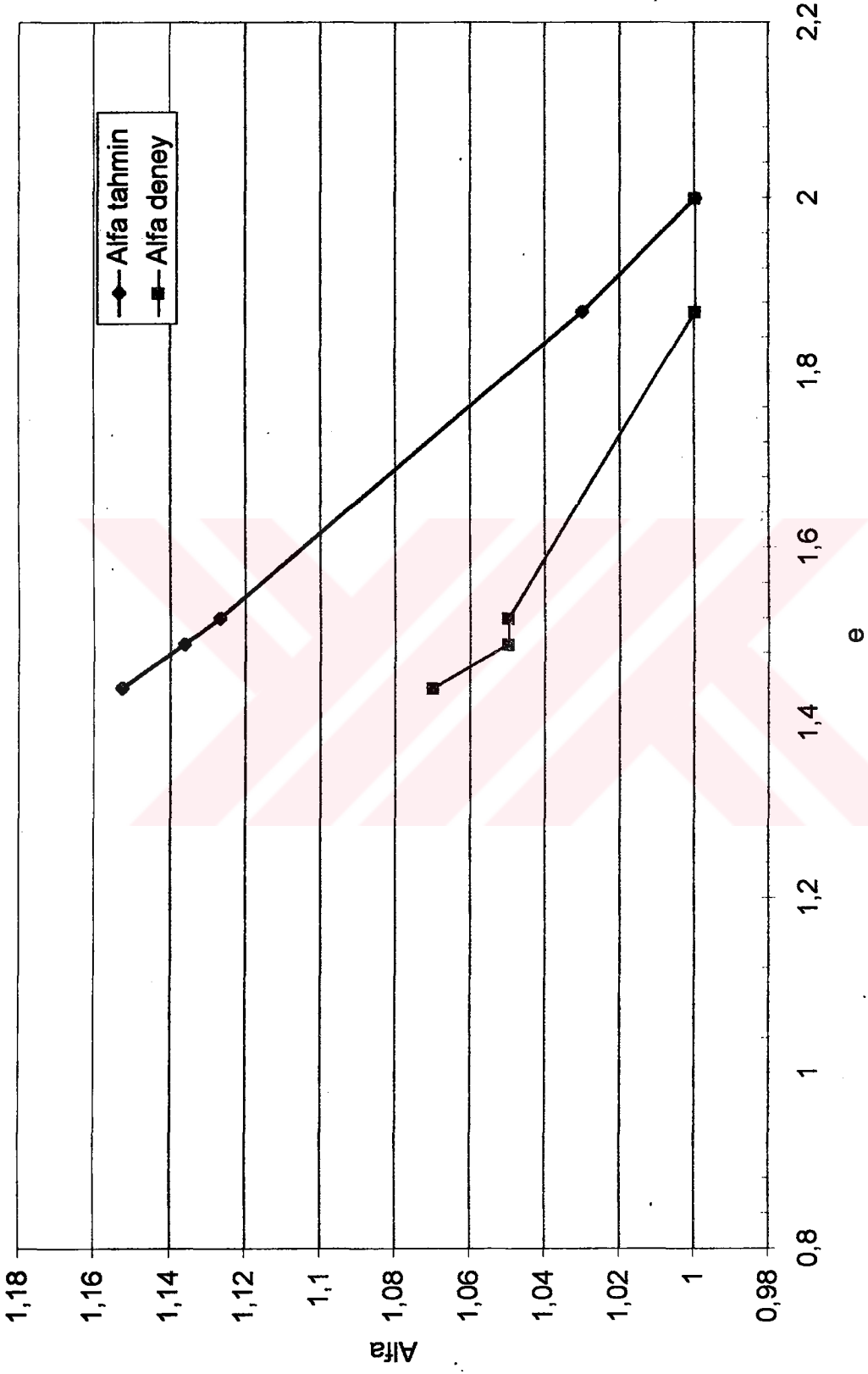
Şekil 5.45 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 5)



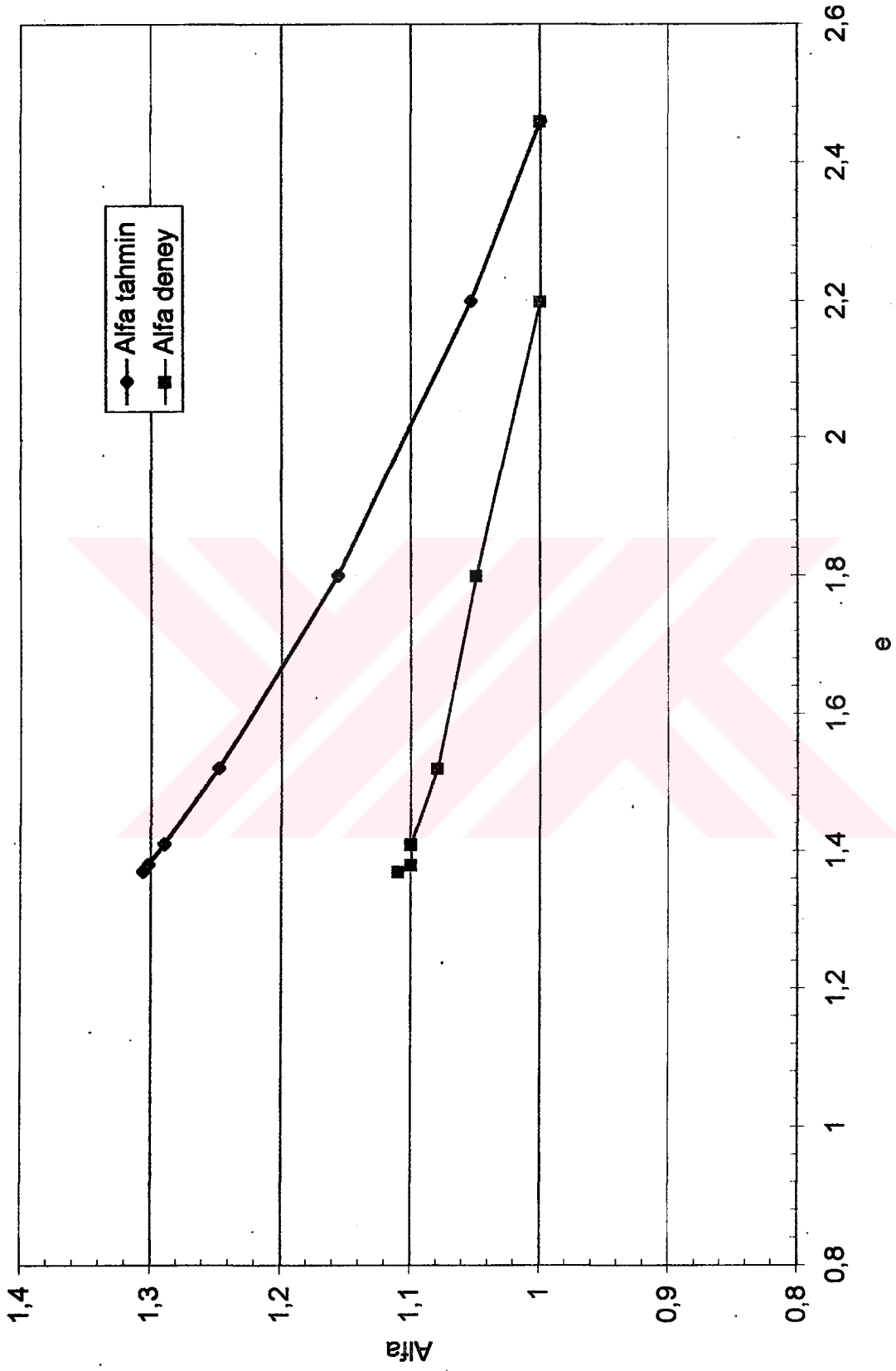
Şekil 5.46 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 6)



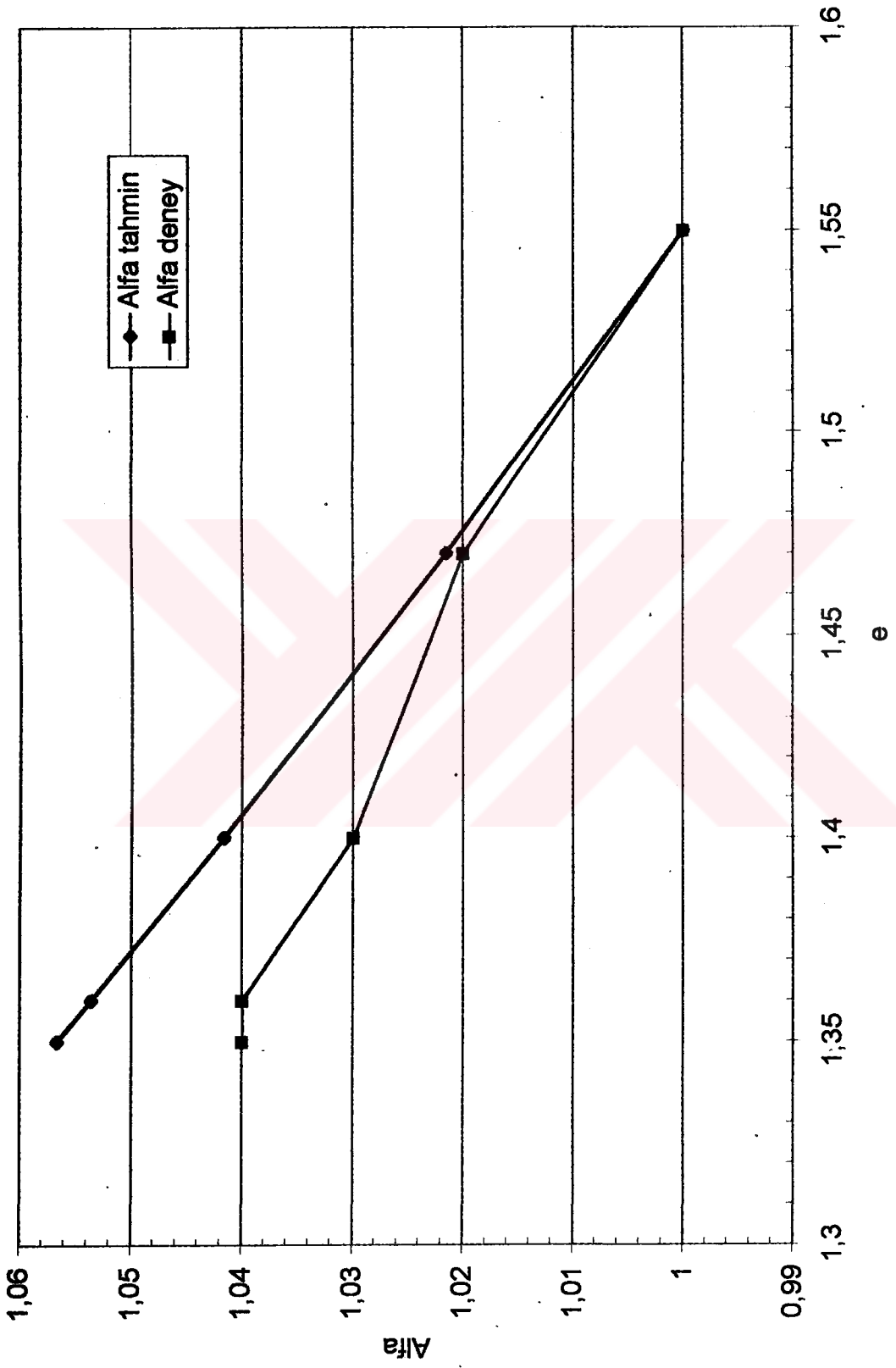
Şekil 5.47 -alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 6)



Şekil 5.48 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 8)



Şekil 5.49 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 9)



Şekil 5.50 e-alfa deneysel ve tahmini eğriler (deney 10)

BÖLÜM VI

ÖZET, SONUÇ, VE TAVSİYELER

6.1 Özet ve Sonuç

Bu tezde önce yumuşak zeminlerin desikasyonunun modellenmesi için geliştirilmiş bir teori sunulmaktadır. Söz konusu desikasyon teorisi birbirini takip eden beş fazı içermektedir: tek-boyutlu sıkışma altında konsolidasyon; tek-boyutlu büzülme altında desikasyon, desikasyonun esnasında düşey çatlaklarının yayılmasının modellenmesi, çekme gerilmesinin boşalmasının modellenmesi, ve üç-boyutlu büzülme altında desikasyonun modellenmesi olmaktadır. Konsolidasyon ve çatlama kadar desikasyon K_0 şartları altında meydana gelmektedir. Tek-boyutlu büzülme altında desikasyon esnasında herhangi derinlikte çatlamanın tahmini için bir mukavemet kriteri belirlenmektedir. Çekme gerilmelerin boşalmasından dolayı meydana gelen hacimsel değişiklik ihmal edilmekte ve çatlama zemin sütunlarının toplam yanal gerilmelerden serbest olduğu düşünülmektedir. Sonuç olarak, sabit bir düşey gerilme için üç-boyutlu serbest büzülme bir adimsal izotropik efektif gerilme izi altında meydana gelmektedir. Bu teoride, bir çatlama kriterinin dikkate alındığı, küçük şekil değiştirme sınırlanmalarının uygulanmadığı ve doğrusal olmayan bünye denklemlerinin gözönüne alındığı bir temel davranış denklemi formüle edilmektedir.

Deneysel çalışmalarda, Haliç'ten taranmış ve kurumaya bırakılmış çamurun büzülme ve mukavemet özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır. Drenajsız kayma mukavemetini belirlemek için kendi halinde kurumuş, rüzgarla kurutulmuş fosfojibis ve tuf ekleyerek kendi halinde kurumuş numuneler üzerinde veyn, düşen koni ve yükleme deneyi yapılmıştır. Deneylerden drenajsız kayma mukavemeti hakkında aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Rüzgarla kurutulmuş zemin numunesinin daha hızlı kurduğu ve daha fazla su kaybına maruz kaldığı, bundan dolayı daha büyük kayma mukavemetine sahip olduğu ispatlanmıştır.
- zemin numunelerinde elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin noktasal olarak ve derinlikle fazla değişiklik göstermemesi, bu numuneleri daha üniform

kurduğunu ve yüzeylerinde tam bir kabuk oluşmadığını göstermektedir. Rüzgarla kurutulmuş numunede ise sert bir kabuk oluştuğu gözlenmiştir.

- Fosfojibis ve tuf ile yüzeyin kaplanması, buharlaşmayı engelleyerek daha az su kaybına neden olmuş ve numunelerin daha az kayma direncine sahip olduğu gözlenmiştir.
- Bütün deneylerde, drenajsız kayma mukavemetinin kuruma süresine ve su muhtevası kaybına bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Kendi kurumuş numuneler için, veyn deneyi sonuçlarından boşluk oranı ile drenajsız kayma mukavemeti arasında

$$e = 2.27 - 0.79C_u$$

şeklinde ifade edilebilecek bir ampirik bağıntı elde edilmiştir.

- Uygulanan üç değişik türde deneyden elde olunan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin birbirinden farklı sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- Veyn deneyi ve düşen koni deneyinden elde olunan drenajsız kayma mukavemeti değerlerinin nispeten birbirine yakın değerler olduğu gözlenirken çok daha küçük olduğu gözlenmiştir. Bu duru kuruyan zemin yüzeyinin homojen olmaması ve zayıf bölgeler içermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Serbest büzülme deneyi, büzülme eğrisini (boşluk oranı- su muhtevası) belirlemek ve üç-boyutlu büzülme altında serbest düşey ve yanal şekil değiştirmelerinin oranını nitelendiren $\alpha(e, e_{vc})$ fonksiyonunu hesaplamak için yapılmıştır.

Gerçekleştirilen serbest büzülme deneylerinden Haliç çamuru için aşağıdaki karakteristikler elde edilmiştir.

- Büzülme eğrisi Haliç çamurunun desikasyon esnasında su muhtevasının geniş aralığında doymun kaldığı göstermektedir. Büzülme boşluk oranı 1.33 olarak belirlenmiş ve numunenin önyüklemeye maruz kalıp kalmamasından fazla etkilenmediği gözlenmiştir.
- Bulamaç ve aşırı konsolide zemin numunelerinin büzülmeleri esnasında genelde izotropik büzülme şekil değiştirmesi gözlenmiştir.
- Serbest düşey ve yanal şekil değiştirmesi oranlarını nitelendiren α fonksiyonu için deneysel ve tahmini değerler belirlenmiştir. Tüm deneyler için α fonksiyonu

boşluk oranı ile değişimini gösteren eğrilerin yaklaşık birbirine paralel olduğu ve belirli bir aralık içinde yer aldığı gözlenmiştir.

- Serbest şekil değiştirmelerin izotropik olduğunu varsayan küçük şekil değiştirme teorisine göre hesaplanan (fonksiyon eğrileri deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış, bulamaç numuneler için oldukça iyi bir uyum sağladığı, aşırı konsolide numunelerde ise hesaplanan değerler ile deneysel değerlerin birbirinden farklı olduğu gözlenmiştir.

Haliç'ten taranmış çamur üzerine yapılmış serbest büzülme deneyinin sonuçları Abu Hacle ve Znidarcic (1993) tarafından Speswhite porselen kili üzerine yapılmış serbest büzülme deneyinin sonuçları ile karşılaştırılmıştır.

- Speswhite porselen kilinin de desikasyon esnasında Haliç kili gibi geniş bir su muhtevasının aralığında doygun kaldığı anlaşılmaktadır. Büzülme boşluk oranı 0,95 olarak belirlenmiş ve numunenin önyüklemeye maruz kalıp kalmamasından fazla etkilenmediği gözlenmiştir
- Bulamaç ve aşırı konsolide zemin numunelerinin büzülmeleri esnasında genelde izotropik büzülme şekil değiştirmesi gösterdiği gözlenmiştir.
- Serbest düşey ve yanal şekil değiştirmesi oranlarını nitelendiren α fonksiyonunun boşluk oranı ile değişimi için önerilen ikinci dereceden bir fonksiyon deneysel sonuçlarla oldukça iyi bir uyum gösterdiği gözlenmiştir.

6.2 Tavsiyeler

Bu çalışmada deneysel araştırmaların geliştirilmesi için, aşağıdaki tavsiyeler önerilmektedir:

- Haliç'ten taranmış çamurdan hazırlanan zemin numuneleri, mukavemet özelliklerinin derinlikle değişimini belirlenebilmek için daha büyük kalınlıklarda hazırlanmalıdır.
- Belirli bir su muhtevasında hazırlanan ve daha sonra kendi halinde kurumaya bırakılan numuneler, laboratuvar şartlarında sağlanması güç olan ve arazideki kuruma şartlarına daha uygun olan açık havada kurumaya bırakılmalıdır.

- Su muhtevası-drenajsız kayma mukavemeti ve zaman- drenajsız kayma mukavemeti eğrileri için daha değişik zamanlarda ve su muhtevalarında mukavemet değerlerini elde edilebilmek için veyn, düşen koni ve yükleme deneyleri değişik zamanlarda yapması tavsiye edilmektedir.
- Haliç çamuru üzerinde büzülme ve mukavemet özelliklerinin araştırılmasını amaçlayan deneysel program, yumuşak killerin davranışları ile ilgili daha geniş bilgiyi elde edilebilmek için diğer yumuşak killer üzerinde de yapılarak genişletilmelidir.

Yumuşak zeminlerin desikasyonu esnasında K_0 değerlerinin değiştiğini düşünülmektedir. Sıfır efektif gerilmedeki bulamaç zemin numunesinin yüksek bir K_0 değerine (1'e yakın) değerine sahip olması beklenmekte, ve bu numune desikasyona uğradığı zaman, K_0 değeri azalmakta ve düşük boşluk oranında genellikle sabit olmaktadır. K_0 değeri tahmin edilen değişkenlerin etkilemesinden dolayı, parametresel çalışmalarda, bu konunun incelenmesi tavsiye edilmektedir. Efektif gerilmelerin düşük değerlerinde K_0 değerini belirlemek için önerilen bir deneyin özetlenmiş bir açıklaması aşağıda sunulmaktadır.

50 cm uzunluğundaki silindirin iç duvarları bir ince yağ tabakasıyla kaplanmalıdır. Bulamaç zemin silindire yerleştirildikten sonra, sadece yüzey kurutması altında zemin kolonunun desikasyonuna izin verilmelidir. Herhangi bir derinlikte üç- boyutlu büzülme, o derinlikte yanal toplam gerilmenin sıfıra düştüğü zaman veya çatlama kriteri I karşılandığı zaman başlamaktadır. Herhangi bir derinlikte üç-boyutlu büzülme başladığı anda düşey gerilme, σ_v , ve efektif düşey gerilme, σ'_v , değerleri belirlenebilir ise, K_0 değeri 3.10 eşitliğinden şöyle belirlenebilmektedir:

$$K_0 = \frac{\sigma'_v - \sigma_v}{\sigma'_v} \quad (6.1)$$

Burada özetlenen teorinin, kaydedilmiş arazi datası veya santrifüj deney sonuçlarını kapsayan deneysel modeller ile doğrulamasının yararlı olacağı düşünülmektedir.

Haliç'ten taranan çamurun depolandığı sahadaki süreli davranışının analizi için yapılması gerekli görülen çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

- Konsolidasyo ve desiksyon esnasında geçerli sıkışma ve permeabilite parametrelerini belirlemek için yeni deneysel çalışmalara ihtiyaç olduğuna inanılmaktadır. Bu

kapsamda, düşük efektif gerilmeler altında zeminin davranışını modelleyen emme deneylerinin yararlı sonuçlar verebileceği düşünülmektedir.

- Arazidaki davranışı sürekli olarak izlenmelidir. Bunun için bir arazi ölçüm sistemi tesis edilmeli, depolanan çamur kütlesi içindeki boşluk suyu basıncı değişimi, yüzey oturmaları, kabuk oluşumu, çatlakları aralık ve derinliği ile drenajsız kayma mukavemetinin derinlikle değişimi zamana bağlı olarak yerinde ölçülmelidir.
- Arazidaki drenajsız kayma mukavemeti ölçümlerinde noktasal olarak veyn deneyinden yararlanılabilir. Fakat yüzeyde oluşacak kabuğun homojen olmayacağı ve zayıf zónlar içereceği göz önüne alınarak, gerçekçi bir taşıma gücü tayini için arazi yükleme deneyleri uygulanmalıdır.
- Kabuk oluşumunun en verimli bir şekilde kendi halinde kuruma ile gerçekleşeceği düşünülmektedir. Bunun için depolanmış çamur kütlesi içindeki yeraltı su seviyesinin düşürülmesinin çok etkili dikkate alınmalıdır. Çamur yüzeyinin kaplanmasının buharlaşmayı engelleyeceği ve kabuk oluşumunu yavaşlatacağı düşünülmektedir.

Değişik densifikasyon yöntemlerini tayin etmek için ve desikasyona uğramış zeminin gelişen çatlaklarını kontrol eden faktörlerin incelemesi için varsayımlı yumuşak Speswhite Çin Kili düzen mevki analiz edilmiştir. Nümerik taklitler aşağıdakileri önermektedir:

- Yer-altı su seviyesinin alçalması ve sızma konsolidasyon en hızlı densifikasyon metotları olmaktadır.
- Yer-altı su seviyesinin alçalmasının analizinde çekme gerilmelerin ihmal etmesi bir hafif derin çatlak tahmini ve diğer tahmin edilen değişkenlerin bir önemsiz değişiklik ile sonuçlanmaktadır.
- Zemin yüzeyinde bir ilave yükün bulunması çatlakların açılmasını erteler ve daha alçak çatlak derinliğine yol açmaktadır. Yine, bu durumda çatlak derinliği üzerinde çekme gerilmesinin etkisi daha önemli olmaktadır.
- Düşük buharlaşma oranı altında uzun zaman içinde yüzey kurutması en eski yöntem sayılmaktadır, yalnız, Speswhite Çin Kilinden daha düşük permeabiliteye sahip olan zeminde bu teknik daha az etkili olmaktadır.
- Düşük buharlaşma oranı altında kurutulan yüzey desikasyona uğrayan yüzey kabuğu zemin tabakası içinde önemli bir derinliğe uzamakta, ve yüksek buharlaşma oranı altında kurutulan yüzey zemin tabakasının üst kısmı ile sınırlanmaktadır.

- Yüksek buharlaşma oranı zemin tabakası yüzeyinde nispeten kısa bir zamanda sığ çatlak derinliği ve ayırmak çatlamaıa neden olmaktadır.

K_0 artıkça derinlik ve özgül hacim azalmaktadır.



KAYNAKLAR

Abu-Hajle, A.N. (1993), "Desiccation theory for soft soils" A thesis submitted to the Faculty of the Graduate school of the University of Colorado in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy.

Ajaz, A. ve Parry, R.H.G. (1975), "Stress-Strian Behavior of Two Compacted Clays in Tension ve Compression" *Geotechnique*, 25(3): 495-512.

Blight, G.E. (1988), "Some Less Familiar Aspects of Hydraulic Fill Structure", Hydraulic Fill Structure, Proceeding of a Specialty Conference, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 21, D.J.A. Van Zyl and S.G.Vick, Eds., Fort Collins, Colorado, 1000-1027.

Briones, A.A. ve Uehara, G. (1977), "Soil Elastic Constant: II. Application to Analysis to Soil Cracking", *Soil Science Society of America Journal*, 41: 26-29

Bronswijk, J.J.B. (1988), "Modelling of Water Balance, Cracking and Subsidence of Clay Soils", *Journal of Hydrology*, 97: 199-212.

Cargill, K.W. (1985), "Mathematical Model of Consolidation / Desiccation Process in the Dredged Material", Technical Report D-85-4, U.S. Army Engineer Waterway, Experiment Station, Vicksburg, Ms.

Corte, A. ve Higashi, A. (1964), "Experimental Research on Desiccation Cracks in Soil", Research Report No. 66., U.S. Army Material Command, Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL), Hanover, New Hampshire.

Daniel, D.E. (1980), "Moisture Movement in Soils in the Vicinity of Waste Disposal Sites", Ph.D. Dissertation, University of Texas at Austin, Austin, Texas.

Dennis, J.E. ve Schnabel, R.B. (1983), "Numerical Methods for Unconstrained Optimization", Prentice-Hall Series in Computational Mathematics, Englewood Cliffs, New Jersey.

Farel, D.A., Greacen, E.L. ve Larson, W.E. (1967). "The Effect of Water Content on Axial Strain in a Loam Soil Under Tension and Compression". *Soil Science Society of America Proceedings*, 31: 445-450.

Frelund, D.G. (1964). "Comparison of Soil Suction and One-Dimensional Consolidation Characteristics of a Highly Plastic Clay", M.S. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada.

Fox, W.E. (1964). "A Study of Bulk Density and Water in a Swelling Soil". *Soil Scienc.* 98: 307-316.

Gareth, E.S. ve Fell, R. (1992). "Modelling Desiccation of Mine Tailings". *J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 118 (GT4):540-557.

Gibson, R.E., England, G.L., ve Hussey, M.H.L. (1967), "The Theory of One-Dimensional Consolidation of Saturated Clays, I. Finite Nonlinear Consolidation of Thin Homogeneous Layers", *Geotechnique*, 17(3): 261-273.

Giraldez, J.V. (1976) "The Theory of Infiltration and Drainage in Swelling Soils" Ph.D. Dissertation in Soil Science, University of California, River-Side.

Hjeldnez, E.I ve Bhagwat, V.K. (1980) "Cracking, Leakage, ve Erosion of Earth Dam Materials" *J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE*, 106 (GT2):117-133.

Hutapea, B., Znidarcic, D., Ko, H.Y ve Sture, S. (1992), "Drag Anchor Test in Clay, Volume 1: Soil Property Assesment", Report Prepared for Exxon Production Research Company, University of Colorado, Boulder, Colorado.

Imai, G. (1979), "Development of a New Consolidation Test Procedure Using Seepage Force", *Soils and Foundations, Jap. Soc. SMFE*, 19(3) :45-60.

Jing, L. (1989), "Strength Characteristics of Unsaturated Palouse Loess", Ph. Dissertion, Department of Civil Engineering, University of Idaho, Idaho.

Johnson. S.J., Gunny, R.W., Perry, E.B. ve Devay; L. (1977), "State of the Art Applicability of Conventional Densification Techniques to Increase Disposal Area Storage Capacity", Technical Report D-77-4, Soils and Pavements Laboratory, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, Miss.

Kemper, W.D. ve Rosenau, R.C. (1984), "Soil Cohesion as Affected by Time and Water Content", *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1001-1006.

Kleppe, J.H., (1981), "Desiccation Cracking of Compacted Soil", "M.S" Thesis, University of Texas at Austin, Austin, Texas.

Krishnava, A.V.G. , Eisentein, Z., ve Morgenstern , N.R. (1974), "Behavior of Compacted Soil in Tesion. " *J. of Geotech. Engrg . Div ., ASCE*.100(GT9): 1051-1061.

Lachenbruch. A.H. (1962), "Depth and Spacing of Tension Cracks." *Journal of Geophysical Research*, 66(12): 4273-4292.

Lachenbruch. A.H. (1961), "Mechanics of Thermal Contraction Cracks and Ice-Wedge Polygons in Permafrost . " *Geological Survey of America, Special Papers*. No.70.

Lambe. T.W. (1958). "The Structure of Compacted clay." *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*. 84(SM2), p. 1654-1 to 1654-34.

Lambe, T.W. ve Whitman. R.V. (1969), *Soil Mechanics*. John Wiley & Sons, Inc.. NEW YORK .

Lau. J.T.K. (1987). "Desiccation Cracking of Soils." M.S. Thsis. Department of Civil Engineering, University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

Lau, J.T.K. Fredlund, D.G. and Rahardjo, H. (1991), "Comparisons of Elastic and Plastic Approaches to the Prediction of Depth of Cracking" Proceeding of 13 th Canadian Congress of Applied Mechanics, Winnipeg, Manitoba.

Liu, J. C. (1990), "Determination of Soft Soil Characteristics" Ph.D. Dissertion, Civil Engineering Department, University of Colorado, Boulder, Colorado.

Liu, J. C. ve Znidarcic, D. (1991), "Modelling One-Dimensional Compression Characteristics of Soils", J. of Geotech. Engrg. Div., ASCE, 117 (GT1):162-169.

McGarry, D. ve Malafant, K.W.J. (1987), "The Analysis of Volume Changes in Unconfined Units of Soil" Soil Science Society of America Journal, 51: 290-297.

McNeilan, T.W. ve Skaggs, R.L. (1988), "In Place Properties of a Hydraulic Landfill", Hydraulic fill Structures. Proceedings of Specialty Conference, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 21, D.J.A. Van Zyl ve S.G. Vick, Eds., fort Collins, Colorado, 255-273.

Miller, E.E. (1975), "Physics of Swelling and Cracking Soils", Journal of Colloid and Interface Scienc, 52(3): 434-443.

Mitchel, J.K. (1976), Fundamentals of Soil Behavior. John wiley & Sons, Inc., New York.

Mitchel, J.K. (1988), "Densification and Improvement of Hydraulic Fills" Hydraulic Fill Structures. Proceeding of a Speciality Conference, ASCE, Geotechnical Special Publication No. 21, D.J.A. Van zyl ve S.G. Vick, Eds., fort Collins, Colordao, 606-633.

Nearing, M.A., West, L.T. ve Bradford, J.M. (1988). "Consolidation of an Unsaturated Illitic Clay Soil". Soil Science Society of America Journal, 52: 929-934.

Pane, V. (1985), "Sedimentation and Consolidation of Clay", Ph. D. Dissertation, Department of Civil Engineering, University of Colorado, Boulder, Colorado.

Piondexter, M.E. ve Walker, J.E. (1988). "Dredged Fill Performance: South Blakeley Island", Hydraulic Fill Structures, Proceeding of a Speciality Conference, ASCE. Geotechnical Special Publiction No. 21, D.J.A. Van zyl ve S.G. Vick. Eds., fort Collins, Colordao, 676-692.

Smogyi, F. (1979), "Analysis and Prediction of Phosphatic Clay Consolidation: Implementation Package" Technical Report. Florida. Florida Phosphatic Clay Research Projekt, Lakeland, Fla.

Yule, V.F. ve Miller, R.d. (1985), "Soil Shrinkage Relationship of Texas Vertisoils I. Small Cores". Soil Science Society of America Journal, 44: 1285-1291.

Williams, D.J. ve Sibly, J.W. (1989), "The Behavior of Shrinkage Limit of Clay Undergoing Drying". Geotechnical Testig Journal. GTJODJ. ASTM. 15(3): 217-222.

Znidarcic, D. Ve Liu, J. C. (1991), "Consolidation Characteristics Determination for Dredged Materials", Proceedings of the 22 nd Annual Dredging Seminar, Tacoma, Washington, PP. 45-65.

Znidarcic, D., Ko, Craig, W., Liu, J.C. Esquivel, E., Hutapea, B., Fairbank; T., Asward, G. ve Sture. S. (1992), "Drag Anchors Tests in Clay, Volume 3: Soil Specimen Preparation Procedure", Report Prepared for Exxon Production Research Company, University of Colorado, Boulder, Colorado.

Znidarcic, D., Abu-Hajle, A.N., Fairbank; T. Ve Robertson, A. (1992), "Seepage-Induced Consolidation Test, Equipment Description and Users Manual" Report Prepared for Florida Institute of Phosphatic Research, University of Colorado, Boulder, Colorado.



ÖZGEÇİŞ

Doğum tarihi	06.07.1963	
Doğum yeri	Lazkiye	
Lise	1979-1981	Alkarame kız lisesi
Lisans	1981-1986	Tişrin Üniversitesi Mühendislik Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, geoteknik programı
Çalıştığı kurumlar	1987-1995	Lazkiye Belediyesi