

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

79177

ŞEKİL DEĞİŞTİRME HIZININ KONSOLİDASYON
DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

İnş.Müh.Murat TONAROĞLU

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

79177

Tez Danışmanı : Prof. Dr. İ. Kutay ÖZAYDIN

Prof. Dr. Kutay ÖZAYDIN
Murat Tonaroglu

Prof. Dr. Sönmez YILDIZIM
Sönmez

Prof. Dr. Atilla Ansal
Atilla Ansal

İSTANBUL, 1998

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ŞEKİL LİSTESİ	i
ÇİZELGE LİSTESİ	iv
ÖNSÖZ	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. KONSOLIDASYON TEORİSİ.....	3
2.1 Bir Boyutlu Konsolidasyon.....	3
2.2 Terzaghi' nin Klasik Konsolidasyon Teorisi.....	6
2.3 Terzaghi' nin Klasik Konsolidasyon Eşitliğinin Çözümü.....	8
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	13
4. ALİBEY BARAJININ TEKNİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ.....	49
4.1 Alibey Barajının Teknik Özellikleri.....	49
4.1.1 Hidrolik karakteristikleri.....	49
4.1.2 Barajın geometrik özellikleri.....	50
4.2 Baraj Yeri Topoğrafyası ve Jeolojisi.....	50
4.2.1 Marmara bölgesinin genel jeolojisi.....	50
4.2.2 Baraj çevresinin jeolojisi.....	51
4.2.3 Baraj temel zemini özellikleri.....	52
5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	53
5.1 Deney Yapılan Zemin Örnekleri.....	53
5.2 Kullanılan Deneysel Sistemler.....	54
5.2.1 Ödometre deney sistemi.....	54
5.2.2 Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon (CRS) deney sistemi.....	57
5.2.3 Krip deney sistemi.....	59
5.3 Deneysel Çalışmalar.....	59
5.3.1 Standart deneyler.....	60
5.3.2 CRS deneyleri.....	65
5.3.3 Krip deneyleri.....	75

6.	DENEYSSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	79
6.1	Leroueil, Kabbaj, Tavenas Yöntemi.....	79
6.1.1	Yöntem.....	79
6.1.2	Yöntemin laboratuvar deneyi sonuçlarına uygulanışı.....	82
6.2	Gibson-Lo Yöntemi.....	97
6.2.1	Yöntem.....	97
6.2.2	Yöntemin uygulanışı.....	99
7.	SONUÇLAR.....	116
	KAYNAKLAR.....	118
	EKLER.....	125
	Ek 1 Standart Ödometre, Krip, CRS deneylerinde elde edilen $\sigma'_v - \epsilon_v$, $\epsilon_v - t$ grafikleri.....	125
	Ek 2 Standart Ödometre, Krip, deneylerinde farklı hız değerlerinde $\sigma'_v - \epsilon_v$ değişimi, Tavenas Yöntemi ile önkonsolidasyon basıncı tayini, değişik efektif gerilme seviyelerinde deformasyon hızı- deformasyon değişimini gösteren grafikler.....	186
	Ek 3 Gibson-Lo Metodunda önerilen parametreler kullanılarak elde edilen oturma-zaman tahmin eğrileri.....	220
	ÖZGEÇMİŞ.....	319

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa No
Şekil 2.1(a) Konsolidasyon için yay modelleri - Tek tabakalı zeminin modeli.....	4
Şekil 2.1(b) Konsolidasyon için yay modelleri - Tek tabakalı zeminin modeli.....	4
Şekil 2.1(c) Konsolidasyon için yay modelleri - Çok tabakalı zeminin modeli.....	4
Şekil 2.1(d) Konsolidasyon için yay modelleri - Çok tabakalı zeminin modeli.....	4
Şekil 2.2 Laboratuvar sıkışma eğrisi.....	10
Şekil 2.3 Çift drenajlı zemin tabakasında herhangi bir yerleşim ve zaman faktörü için konsolidasyon.....	11
Şekil 2.4 T-U _{ort} grafiği (aritmetik ölçek)	12
Şekil 3.1 Batiscan kili üzerinde yapılan CRS ödometre deney grafiği.....	19
Şekil 3.2 Batiscan kili üzerinde yapılan Krip ödometre deney grafiği.....	19
Şekil 3.3 Batiscan kili üzerinde yapılan krip deneylerindeki şekil değiştirme-şekil değiştirme hızı grafiği.....	20
Şekil 3.4 Batiscan kilinde çeşitli şekil değiştirmelerdeki efektif gerilme-şekil değiştirme hızı değişim grafiği.....	21
Şekil 3.5 Batiscan kilinde çeşitli şekil değiştirmelerdeki efektif gerilme-şekil değiştirme hızı değişim grafiği.....	22
Şekil 3.6 Batiscan kili üzerinde yapılan CRS ödometre deneylerinden elde edilen normalize edilmiş efektif gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	23
Şekil 3.7 Batiscan kili üzerinde yapılan krip ödometre deneylerinden elde edilen normalize edilmiş efektif gerilme-şekil değiştirme grafiği.....	23
Şekil 3.8 St. Césare kili üzerinde yapılan CRS Ödometre deney grafiği.....	24
Şekil 3.9(a) St. Césare kili üzerinde yapılan kademeli yüklemeli ödometre deney grafiği.....	25
Şekil 3.9(b) St. Césare kili üzerinde yapılan kademeli yüklemeli ödometre deney grafiği.....	25
Şekil 3.10 St. Césare kili üzerinde yapılan ödometre deneylerinde önkonsolidasyon basıncı-şekil değiştirme grafiği.....	26
Şekil 3.11 İkincil sıkışma için reolojik model.....	41
Şekil 3.12 Birincil sıkışabilirlik parametresi-konsolidasyon gerilmesi grafiği.....	43
Şekil 3.13 İkincil sıkışabilirlik parametresi-konsolidasyon gerilmesi grafiği.....	43
Şekil 3.14 İkincil sıkışabilirlik parametresinin laboratuvar değerleri için düzeltme eğrisi.....	44
Şekil 3.15 İkincil sıkışabilirlik hız faktörünün şekil değiştirme hızıyla değişim eğrisi.....	44
Şekil 3.16 Teorik tahminlerdeki düzeltmelerin etkisi.....	46
Şekil 5.1 Alibey Barajı A-A kesiti.....	55
Şekil 5.2 Alibey Barajı gövde kesiti.....	56
Şekil 5.3 Standart ödometre düzeneği.....	57
Şekil 5.4 CRS deney düzeneği.....	58
Şekil 5.5 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucundan elde edilen tipik bir efektif gerilme-deformasyon grafiği.....	62
Şekil 5.6 Standart ödometre deneyi sonucunda elde edilen tipik bir deformasyon-zaman grafiği.....	63

Şekil 5.7	Standart ödometre deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon-zaman grafiği.....	64
Şekil 5.8	CRS deneyi sonucunda elde edilen tipik bir efektif gerilme-deformasyon grafiği.....	73
Şekil 5.9	CRS deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon-zaman grafiği.....	74
Şekil 5.10	Krip deneyi sonucunda elde edilen tipik bir efektif gerilme-deformasyon grafiği.....	76
Şekil 5.11	Krip deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon-zaman grafiği.....	77
Şekil 5.12	Krip deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon-zaman grafiği.....	78
Şekil 6.1	Krip deneyi sonucunda elde edilen bir efektif gerilme-deformasyon grafiği.....	84
Şekil 6.2	Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon tayini.....	85
Şekil 6.3	Standart ödometre deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı-deformasyon değişimi.....	88
Şekil 6.4	Krip deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı-deformasyon değişimi.....	89
Şekil 6.5	Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı-efektif gerilme değişimi.....	90
Şekil 6.6	Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı-efektif gerilme değişimi.....	91
Şekil 6.7	Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı-efektif gerilme değişimi.....	92
Şekil 6.8	Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı-efektif gerilme değişimi.....	93
Şekil 6.9	Tüm numuneler için önkonsolidasyon basıncının deformasyon hızı ile değişimi.....	94
Şekil 6.10	Referans bir hız değerine göre seçilmiş önkonsolidasyon basıncına göre normalize efektif gerilme-deformasyon.....	95
Şekil 6.11	Her numunenin kendi önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilme-deformasyon değişimi.....	96
Şekil 6.12	Standart deneyde şekil değiştirme zaman eğrisi.....	100
Şekil 6.13	Standart deneyde şekil değiştirme-zaman eğrisi.....	101
Şekil 6.14	Standart deneyde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi.....	102
Şekil 6.15	Standart deneyde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi.....	103
Şekil 6.16	Standart bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı.....	106
Şekil 6.17	Standart bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı.....	107
Şekil 6.18	Standart bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı.....	108
Şekil 6.19	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı (1. Kademe yükleme).....	109

Şekil 6.20	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı (2. Kademe yükleme)	110
Şekil 6.21	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı (3. Kademe yükleme)	111
Şekil 6.22	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı (4. Kademe yükleme)	112
Şekil 6.23	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı (5. Kademe yükleme)	113
Şekil 6.24	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışı (6. Kademe yükleme)	114
Şekil 6.25	Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme-zaman davranışının karşılaştırılması (Bütün yükleme kademeleri)	115



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa No
Çizelge 3.1 Deney türleri	16
Çizelge 5.1 Kullanılan numunelerin endeks özellikleri	54
Çizelge 5.2 Yapılan deneyler	60



ÖNSÖZ

Bütün inşaat mühendisliği yapıları bir zemin tabakası üzerinde inşa edileceğine göre öncelikle temel zemininin mühendislik özelliklerinin belirlenmesi gerekir. Zeminlerin mühendislik özellikleri; yük altındaki davranış, sıkışma-şişme, taşıma gücü vs. olarak sayılabilir. Zeminlerin mühendislik özelliklerinin araziden numune alınarak laboratuvar deneyleri ile belirlenmesi geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir.

Bu çalışmada zeminlerin mühendislik özellikleri arasında en ilgi çekici olanlarından birisi olan ve teorisi Terzaghi (1923) tarafından yayınlandığından bu yana geliştirilmeye çalışılan konsolidasyon işlemi ile ilgili olarak Alibey Barajı temel zemininden alınan numuneler üzerinde üç değişik deney tipi kullanılarak bir araştırma yapılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

Bu araştırma sırasında engin bilgisi ve hayranlık uyandıran kültürüyle bana yol gösteren, daima moral ve çalışma gücü aşılayan ve tez danışmanım olma nezaketini gösteren Prof. Dr. Sayın İ. Kutay Özaydın'a, değerli ilgilerini ve bilgilerini benden hiç bir zaman esirgemeyerek daima moral bulmamı ve bilgilenmemi sağlayan Prof. Dr. Sayın Sönmez Yıldırım'a, aydınlatıcı bilgileri ile ve de aramızdaki uzak mesafeye rağmen sorduğum soruları sabırla cevaplama inceliğini göstermesi nedeniyle Prof. Dr. Sayın Tuncer Edil'e, çalışmam sırasında göstermiş olduğu yakın ilgi ve sağladığı her türlü maddi ve manevi katkılarla bana verdiği desteği kelimelerle izah edemeyeceğim Doç. Dr. Sayın Mustafa Yıldırım'a, çalışmama gösterdiği ilgi ve desteği nedeniyle Yrd. Doç Dr. Sayın Nejat Çetinkaya'ya, desteğini benden hiç bir zaman esirgemeyerek ilgisini benden eksik etmeyen her türlü katkıda bulunan Yrd. Doç Dr. Sayın Mehmet Berilgen'e, ilgisini benden hiç esirgemeyip özellikle deneysel aşamalarda çok büyük yardım ve destek veren, çalışmamda büyük pay sahibi Öğretim Görevlisi Dr. Sayın Şükrü Özçoban'a, bütün çalışmam boyunca her an her aşamada gerektiğinde zamanlarından fedakarlık ederek yardımlarını benden hiç bir zaman esirgemeyen çok değerli İnş. Yük. Müh. Sayın Havvanur Kılıç ve İnş Yük. Müh Sayın Arzu Saadet Berilgen'e, dönem arkadaşım sevgili dostum İnş. Yük. Müh. Sayın Cem Akgüner'e, çalışma arkadaşım, sevgili dostum Dr. Sayın Zafer Kütüğü'e, özellikle deney aşamalarında desteğini esirgemeyen İnşaat Teknikeri Sayın Erhan Erol'a ve laboratuvar görevlisi Sayın Ali Yüksel'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

ÖZET

Terzaghi'nin klasik konsolidasyon teorisi 1923 yılında yayınlandığından bu yana killi zeminlerin tek-boyutlu sıkışma davranışının daha iyi anlaşılması için araştırmalar sürdürülmektedir. Son yıllarda bu konuda gerçekleştirilen araştırmalar arasında doğal killer için efektif gerilme - şekil değiştirme - şekil değiştirme hızı arasındaki tekil bir ilişki olduğunu göstermeyi amaçlayan çalışmalar dikkat çekmektedir (Leroueil, vd., 1985).

Bu çalışmanın ilk aşamasında, İstanbul Alibey Barajı sahasından değişik derinliklerden alınan ve baraj dolgusunun kademeli inşasından dolayı farklı yükleme koşullarına maruz kalmış olduğu bilinen örnekler üzerinde değişik tipte konsolidasyon deneyleri yapılarak, bu killi zeminin konsolidasyon davranışının tekil bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ modeli ile tanımlanabilmesi olasılığı araştırılmıştır. Araştırma sırasında iki farklı deney düzeneği kullanılarak 3 farklı tipte deney gerçekleştirilmiştir. Bunlar sırasıyla Standart Ödometre, Krip ve Sabit Deformasyon Hızlı deneylerdir. Standart Ödometre deneylerinde 2/1 artış oranlı yükleme kademeleri uygulanmış ve her bir kademede 48 saat süre ile beklenmiştir. Krip deneylerinde zemin numuneleri ilk olarak arazide buldukları derinlik üzerlerinde bulunan düşey efektif jeolojik yük değerine kadar 2/1 yük artış oranı ile kademe kademe yüklenmiş, her kademede 48 saat süre ile beklenmiştir. Efektif jeolojik yük altında 48 saat beklendikten sonra ise arazideki yüklenme şartlarına uygun yük artış adımları kullanılarak uzun süre beklemeli krip aşamasına geçilmiştir. Sabit deformasyon hızlı deneylerde deneye başlamadan iki farklı deformasyon hızı seçilmiş ve deneyler bu iki farklı hız değerinde özel bir konsolidasyon hücresi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçlarının grafiksel değerlendirilmesinden, incelenen zemin için tekil bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin geçerli olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışmanın ikinci aşamasında ise Gibson-Lo (1961) modeli çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak yöntemin uygulanabilmesi için gerekli üç parametre (a, b, λ/b) hem laboratuvar deney sonuçları kullanılarak hem de arazi oturma okumaları kullanılarak tespit edilmiş ve ölçülen değerler yöntem kullanılarak hesaplanan oturma - zaman davranışı ile karşılaştırılmıştır. Son olarak ise laboratuvar sonuçları kullanılarak bulunan parametrelerden yararlanılarak arazideki zemin tabakalarının davranışı için bir tahmin yapılmaya çalışılmış ve sonuçlar sunulmuştur.

ABSTRACT

Beginning with Terzaghi's Classical Theory of Consolidation published in 1923, many researchers have made significant contributions to the understanding of the one-dimensional compression of clayey soils. Some of the most notable recent achievements in clay compression research involve defining a unique stress-strain-strain rate relationship (Leroueil, vd., 1985)

In the first phase of this experimental research, different types of consolidation tests are performed on a series of soil samples recovered from the foundation layers of Alibey Dam which were known to be subjected to different loading histories during the staged construction of the dam, and the validity of the $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ model was investigated. The laboratory tests performed included standard staged loading oedometer, constant rate of strain (CRS) and creep tests. During the standard oedometer test, 2/1 incremental staged loading is used and 48 hrs. consolidation period is allowed for at each stage. During the creep tests, the samples are staged loaded up to the effective overburden pressure as in the standard tests, then the loading is increased in stages in accordance with the loading steps imposed during the construction and long term creep deformations are allowed for at each loading stage. CRS tests are conducted at two predetermined loading rates. An overall evaluation of the results of all three types of tests have indicated that a unique $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ relationship might be valid for the compression behavior of the clay under investigation.

In the second stage of the investigation, the Gibson-Lo (1961) model is attempted to be used for predicting time dependent compression of Alibey clay. For this purpose the three soil parameters (a, b, λ/b) included in this model are first determined from the results of laboratory tests and also from field settlement records, and settlements computed in each case are compared with the recorded values. Then, the parameters determined from laboratory tests are used to predict field settlements and the results are compared with measured values.

1. GİRİŞ

İktisatçılar tarafından ülkelerin ekonomik yapılarının anlatımı sırasında çokca kullanılan, televizyonlarda, gazetelerde, ekonomi ile ilgili dergilerde fazlalıkla yer alan konsolidasyon terimi, inşaat mühendisliğinde apayrı bir manada olmakla birlikte, mesleksi yaklaşım açısından yakın bir anlayışla kullanılmaktadır. İnşaat mühendislerinin en çok ilgilendikleri kavramlardan birisi olan konsolidasyon işlemi, teorisi ilk defa Zemin Mekaniğinin kurucusu olarak kabul edilen Terzaghi (1923) tarafından "zeminin boşluklarındaki suyun dışarı çıkması sonucu oluşan oturma" olarak tanımlanmışsa da teorinin eksik kaldığı düşüncesi uzun bir süreç boyunca varolmuştur. İktisatçıların sadece bir terim olarak kullandıkları bu kelimenin, Zemin Mekaniğindeki tanımlamasının yapılabilmesi için ise araştırmacılar seneler boyunca sabırla sayısız deneyler gerçekleştirmişlerdir. Özellikle deneysel tekniklerin gelişmesi, bilinen klasik ödometre deneylerine ek olarak yeni deney düzenek ve tiplerinin oluşturulmasıyla yapılan araştırmalar neticesinde, sonuçlar daha karşılaştırılabilir ve daha ayrıntılı yorumlar yapılabilmesine olanak verir bir hal almıştır. Bu çalışmada amaçlanan esas unsur, yukarıda bahsi geçen araştırmacıların çalışmalarından da yararlanarak ülkenin bilimsel gelişim sürecine bir katkıda bulunabilmektir.

İnşaat mühendislerinin iktisatçılarla benzeştikleri bir başka kavram model kavramıdır. Ekonomistlerce kabul edilmiş ve ülkeler tarafından uygulanan bir çok ekonomik model olduğu gibi, konsolidasyonla ilgili olarak da zemin mekanikçiler tarafından kullanılan bir çok model söz konusudur. Zemin mekaniği ile ilgilenen bir çok araştırmacı konsolidasyon işlemi modellemeye çalışmışlar ve bu çalışmaların sonucunda da 25'e yakın model önerisinde bulunmuşlardır. Yalnız, yapılan çalışmalar sırasında çoğunlukla inorganik zeminler kullanılmış ve bu zeminler için önerilen modellerin organik zeminleri kapsayıp kapsamadığı tartışılmış ve bu tür zeminler ile ilgili olarak da çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada da kullanılan farklı numuneler üzerinde uygulanan farklı deney tipleri de gözönüne alınarak mevcut numunenin getirildiği arazideki tabakalar için böyle bir modelleme yapıp yapılamayacağı araştırılmıştır.

Araziden getirilmiş numuneler üzerinde bilinen klasik ödometre deneyleri, uzun süreli krip deneyleri, ve özel düzeneği ile artık boşluk suyu basıncının da ölçülebildiği sabit deformasyon hızlı konsolidasyon deneyleri yapılmıştır. Deneylerin gerçekleştirilmesi ve sonuçlandırılmaları aşamalarında uyulan prosedürler, deney düzenekleri, yük uygulama süreleri evvelce yapılmış benzeri çalışmalarda kullanılanlara yakın olarak seçilirken, yükleme kademeleri kullanılan numunelerin getirildiği arazide izlenen adımlara benzer olarak yapılan hesaplamalar neticesinde uygulanmıştır. Klasik ödometre deneyleri her yük kademesinde 48 saat beklenerek (2 / 1) yük artırımı oranı kullanılarak; krip deneyleri önce numunenin getirildiği arazideki derinliğindeyken sahip olduğu efektif jeolojik gerilme değerine kadar 48 saat beklenerek (2 / 1) yük artırımı oranı uygulanarak adım adım yüklenmiş bu değerden sonra ise arazideki yükleme kademelerine uygun yük artırımı ile her bir yük kademesinde deformasyon hızı 10^{-9} s^{-1} mertebelerine ulaşmaya kadar beklenerek gerçekleştirilmiştir. Artık boşluk suyu basıncının da ölçülebildiği bir düzeneğe sahip olan sabit deformasyon hızlı düzenekte ise iki farklı hız değerinde (10^{-5} s^{-1} ve 10^{-6} s^{-1}) deneyler gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. KONSOLIDASYON TEORİSİ

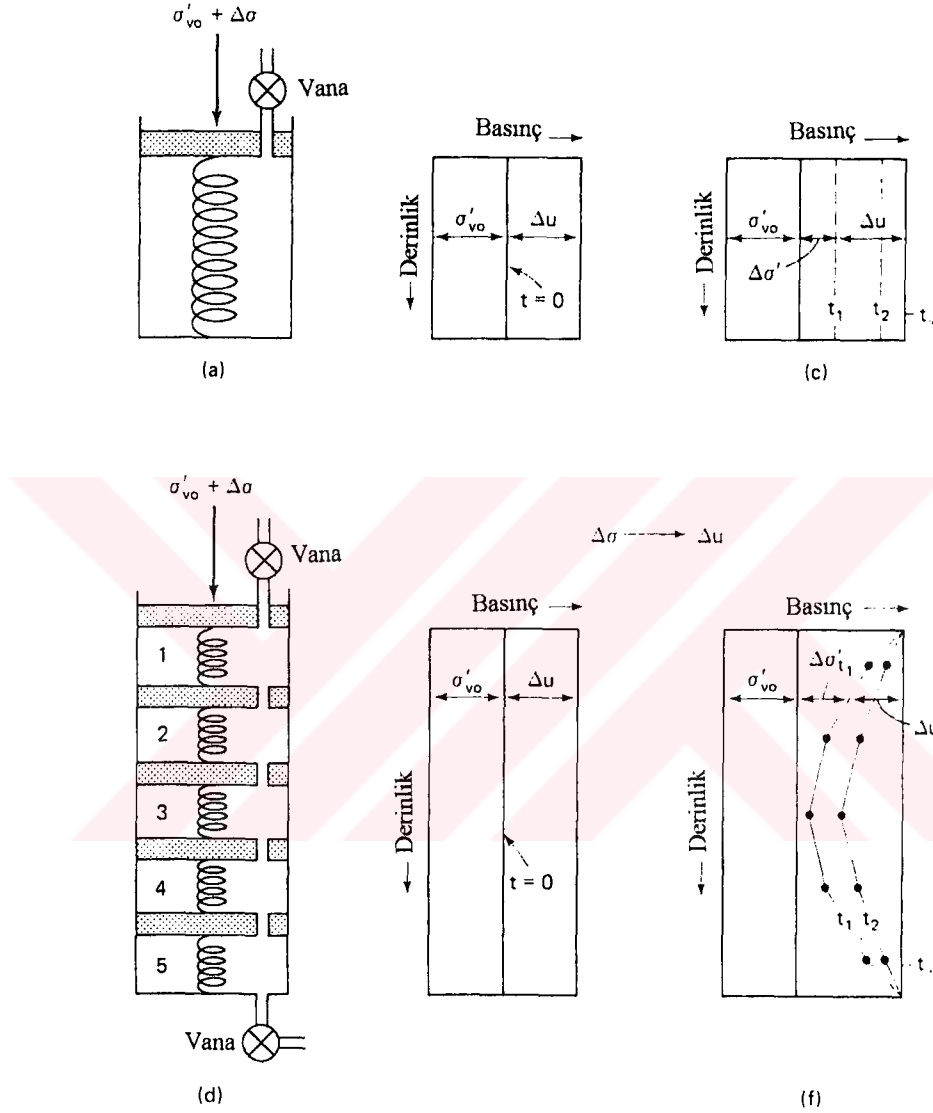
Yeryüzündeki zemin tabakalarının daneler ile içerisinde su ve/veya hava bulunan boşluk kısımlarından oluştuğu bilinmektedir. Zemin tabakalarının yüklenmesi sonucu bir hacimsel şekil değişimi oluşabilmesi için boşluklardaki su ve havanın, kapladıkları hacimi terk etmesi gereklidir. Arazideki zemin tabakaları çoğunlukla (arazi yüzey seviyesinden oldukça aşağıda tabakalar oldukları için) yeraltı su seviyesinin altında bulduklarından suya doygunurlar, yani boşluk hacimleri tamamen su tarafından doldurulmuş zemin tabakaları halindedirler. Dolayısıyla arazideki yüklenme sırasında zeminin boşluklarındaki suyun dışarı çıkması sonucu düşey yönde boy değişimi, dolayısıyla hacimsel şekil değişimi olarak tanımlanabilen konsolidasyon oluşur. Sabit bir gerilme altında suya doygun zeminin boşluklarında bulunan suyun dışarı çıkması sonucu oluşan hacimsel şekil değişimi olarak tanımlanan konsolidasyon işleminin tanımı ilk olarak zemin mekaniğinin kurucusu olarak kabul edilen Terzaghi K. 1923'de yapmıştır.

Terzaghi'nin klasik konsolidasyon teorisine göre; suya doygun bir zemin tabakası herhangi bir sebepten dolayı düşey bir yüklemeye maruz kaldığı zaman, tabaka içerisinde oluşacak ilave basınç ilk olarak boşluklardaki suda oluşacak bir ilave gerilme tarafından karşılanacak efektif gerilmeye ise herhangi bir artış olmayacaktır. Zamanla boşluklardaki suyun zeminin permeabilitesine bağlı olarak drene olmaya başlamasıyla beraber artık boşluk suyu basıncı azalmaya buna karşılık ise efektif gerilme artmaya başlayacaktır. Konsolidasyon işlemi artık boşluk suyu basıncının tamamen sönümlenmesi ile son bulacak ve yüklemeye dolayısı ile oluşan ilave gerilme artışı sadece efektif gerilme tarafından karşılanmış olacaktır.

2.1 Bir Boyutlu Konsolidasyon

Konsolidasyon işleminin anlaşılabilmesi için Şekil 2.1a'daki gibi piston, yay, vana ve silindirden oluşan bir düzenek gözönüne alınabilir. Derinlikle gözlemlenen basınç diyagramı ise Şekil 2.1b'de gösterilmiştir. Başlangıçta zemin (ki düzenekte yay tarafından temsil edilmektedir) bir başlangıç efektif gerilmesi altında dengededir. Piston üzerine bir ilave yük uygulanmasıyla beraber, uygulanan bütün yükün, başlangıçta sadece artık boşluk suyu

basıncı (Δu) tarafından taşınacağı varsayılmıştır. Yalnız unutulmamalıdır ki bu düşünce bir boyutlu yükleme için geliştirilmiştir. Üç boyutlu bir yükleme için geçerli değildir.



Şekil 2.1 Konsolidasyon için yay modelleri :

(a)-(c) Tek tabakalı zeminin modeli

(d)-(f) Çok tabakalı zeminin modeli

Başlangıçta boşluklardaki su tarafından karşılanan basıncın bir kısmının zamanla, suyun vanadan dışarı çıkmaya başlaması ile birlikte artık boşluk suyu basıncının azalması nedeniyle zemin iskeletine yani efektif gerilmeye transferinin başladığı gözlenmiştir. Şekil 2.1c, $t = t_1$

anında, başlangıç efektif gerilmeyi, efektif gerilmedeki değişimi ($\Delta\sigma'_v$), ve sönümlenmekte olan artık boşluk suyu basıncının durumunu göstermektedir. Düşey kesikli çizgiler, yük uygulanmasından sonraki süreçteki zamanları (t_1, t_2 gibi) göstermek için kullanılmıştır. Sonuç olarak, $t = \infty$ 'da artık boşluk suyu basıncının tamamı sönümlenmiş ve de efektif gerilme, başlangıç efektif gerilme değeri ile uygulanan gerilme artımının ($\Delta\sigma$) toplamına eşit olmuş olacaktır. Bu zaman süresince, piston bir miktar oturmuştur ki bu oturma miktarı, silindirden dışarı çıkan suyun hacmi ile ilişkilidir.

Şekil 2.1a-c'de sunulmuş basit bir modelden daha karmaşık bir profile sahip bir görünüm Şekil 2.1d'de gösterilmiştir. Yayıların, pistonların ve vanaların daha fazla sayıda bulunduğu bu profil, tabakalı bir ortamı modellemek maksadıyla kullanılmıştır. Suyun 2, 3 ve 4 no'lu silindirlere dışarı çıkabilmesi için önce 1 ve 5 no'lu silindirlere çıkması gerekmektedir. Aynı şekilde, suyun 3 no'lu silindirden dışarı çıkabilmesi için ise ilk olarak 2 ve 4 no'lu silindirlerdeki suyun dışarı çıkması gerekir. Bütün vanalar açık olduğu için, ilave yük uygulanmasıyla birlikte, su üst ve alt silindirlere doğru akmaya başlamıştır. Bu durum artık boşluk suyu basıncında ani bir azalmaya dolayısıyla 1 ve 5 no'lu silindirlerdeki efektif gerilmelerde de artışa sebep olmuştur. Şekil 2.1f'de görüldüğü gibi, zamanla boşluk suyu basıncı izokronlarının (eşit zamanları gösteren çizgiler) sağ tarafa doğru hareket ettikleri gözlemlenmektedir. Ayrıca bu izokronların, pistonlar ve vanalar sınırlı sayıda oldukları için ayrılmış parçalar gibi davrandıkları görülmektedir. Şekil 2.1d-f' de temsil edilen çift taraflı drenaja açık bir tabakanın merkezinde boşluk suyu basıncında oluşan azalma miktarının, tabakanın üstünde ve altındaki basınç değerinde oluşan azalmaya kıyasla daha küçük olduğu gözlemlenmektedir. Bunun sebebi olarak, merkez silindir için hesaplanan drenaj mesafesinin, 1 ve 5 no'lu silindirler için hesaplanmış değerlerden daha büyük olması görülmüştür. Yani, çift taraftan drenaja açık bir tabakanın merkezindeki (veya tek taraftan drenaja açık bir tabakanın altındaki) artık boşluk suyu basıncının sönümlenmesi daha uzun bir süre almıştır.

Silindirlerdeki (zemin boşluklarındaki) suyun dışarı akış işlemi, fiziksel olarak hidrolik eğimden $[i = h/l = (\Delta u / \rho_w g) / \Delta z]$ dolaydır. Şekil 2.1f'de gözlemlenen ayrı izokronların

eğimi , $\Delta u/\Delta z$ 'dir. Kil tabakasının tam merkezinde, eğim ($\Delta u/\Delta z$) sıfır olduğu için akış da sıfırdır. Uçlarda ise eğim sonsuza yaklaştığı için, akış hızı drenaj yüzeylelerinde en büyük değere sahip olur.

Yukarıda açıklanan model konsolidasyon davranışını tanımlamak için kullanılmaktadır. Yay-piston sisteminin (kil tabakasının) oturma miktarı silindirlerin (veya kildeki boşlukların) dışına sızan suyun miktarına bağlıdır. Suyun ne kadarının dışarı sızdığı ve buna bağlı olarak kilin boşluk oranının nasıl değiştiği sönümlenmiş olan artık boşluk suyu basıncının miktarıyla orantılıdır ki bu, oturma hızının artık boşluk suyu basıncının sönümlenme hızıyla doğrudan ilişkili olması demektir. Bir temelin oturma hızını tahmin etmek için ihtiyaç duyulan unsur herhangi bir andaki boşluk oranını ve boşluk basıncını tahmin eden bir teori veya bir denklemdir. Bu bilinirse, yükleme başladıktan sonra herhangi bir anda tabakanın oturması (veya tabakanın kalınlığındaki değişim) kurulan eşitliğin integrasyonu alınarak saptanabilir.

2.2 Terzaghi'nin Klasik Konsolidasyon Teorisi

Tek boyutlu Terzaghi konsolidasyon teorisinde bazı varsayımların geçerli olduğu kabul edilmektedir. Sıkışabilir kil tabakası homojendir ve tamamen suya doygundur. Zemin daneleri ve boşluklardaki su kesinlikle sıkışmazdır. Zemin boşluklarındaki suyun hareketini ifade eden yasa Darcy yasasıdır. Genellikle, hem drenaj hem de sıkışma bir boyutluymuş gibi kabul edilir. Sıkışabilir tabakanın altında ve/veya üstünde drenaja izin verilir. Terzaghi teorisi, uygulanan yük arttırmalarının zeminde sadece küçük deformasyonlar oluşturduğu düşüncesinden yola çıkan bir küçük deformasyon teorisidir. Bu nedenle, aslında sıkışabilirlik katsayısı (a_v) ve Darcy permeabilite katsayısı (k) konsolidasyon işlemi süresince sabit kalmaktaymış gibi düşünülür. Eğer a_v sabitse o zaman efektif gerilme değişimi ($\Delta\sigma'_v$) ile boşluk oranı değişimi (Δe) arasında tekil bir ilişki varmış gibi kabul edilebilir. Bu yaklaşım ikincil sıkışmanın olmadığı sonucunu da beraberinde getirmiştir. Eğer ikincil sıkışma meydana gelirse, o zaman Δe ve $\Delta\sigma'_v$ arasında tekil bir ilişkiden

bahsedilemez. Çünkü ikincil sıkışma, efektif gerilme sabitken yani değişmiyorken boşluk oranında değişim meydana gelmesi şeklinde tanımlanmaktadır.

Yukarıda bahsedilen varsayımlar Terzaghi teorisinin dayandığı temel kabullerdir. Terzaghi eşitliğinin çıkartılması için de bir diferansiyel zemin elemanı incelenebilir. Bu inceleme sırasında dikkat edilmesi gereken bu elemandan dışarı çıkan suyun hacimidir. Darcy'nin yasasına göre, akışın miktarı zeminin permeabilitesine olduğu kadar hidrolik eğimine de bağlıdır. Akışa sebep olan hidrolik eğim, $\Delta u / (\rho_w g)$ bağıntısı yardımıyla, elemanın içerisindeki artık boşluk suyu basıncı ile ilişkilendirilmiştir. Su sıkışmaz olarak kabul edildiği için, hacim değişimi, dt kadarlık bir diferansiyel zamanda elemanın içine ve dışına doğru olan akıştaki farka eşit olmalıdır. Eşitliğin bu kısmı şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{-k}{\rho_w g} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dz dt \quad (2.1)$$

Bu denklemde z ile sembolize edilen ifade zemin elemanındaki derinlik veya alan değişkenidir. Bu denklemde kısmi diferansiyel kullanılmıştır. Çünkü boşluk suyu basıncı hem derinliğin hem de zamanın bir fonksiyonudur.

Eşitliğin diğer kısmı, ödometre deneyinden elde edilen a_v (sıkışabilirlik katsayısı = gerilme-deformasyon ilişkisi = zeminin modülü) değeri yardımıyla, efektif gerilmedeki değişimi zemin iskeletinin boşluk oranındaki değişim (veya hacim değişim) ile ilişkilendirerek elde edilmiştir. Efektif gerilme prensiplerinden yola çıkılarak, efektif gerilmedeki değişim boşluk basıncındaki değişime eşitlenebilir. Bir başka deyişle, toplam gerilme sabit olduğu sürece, artık boşluk suyu basıncı zamanla sönümleneceği için, aynı zamanda efektif gerilmede de bir artış vardır ($\Delta \sigma'_v = -\Delta u$). u hem derinliğin hem de zamanın bir fonksiyonu olarak bilindiği için, eşitliğin bu yarısı şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{-a_v}{1 + e_0} \frac{\partial u}{\partial t} dz dt \quad (2.2)$$

(2.1) ve (2.2) eşitlikleri bir araya getirilerek denklem şu şekilde kurulabilir:

$$\frac{-k}{\rho_w g} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} dzdt = \frac{-a_v}{1+e_0} \frac{\partial u}{\partial t} dzdt \quad (2.3)$$

Denklem düzenlenecek olursa

$$\frac{-k}{\rho_w g} \frac{1+e_0}{a_v} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.4)$$

oluşturulabilir. Bu denklemde $k/(\rho_w g)(1+e_0)/a_v = c_v$ 'ye eşittir. O halde (2.4) denklemi

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \quad (2.5)$$

şeklinde yazılabilir. c_v konsolidasyon işlemini idare eden malzeme özelliklerini içeren bir katsayıdır ve literatürde konsolidasyon katsayısı olarak geçer. Boyutu $L^2 T^{-1}$ cinsindedir.

(2.5) eşitliği Terzaghi'nin bir boyutlu konsolidasyon eşitliğidir. Eşitlik temel olarak, matematiksel fiziğin kullanımı ile bulunan difüzyon eşitliğinin bir formudur. Bir çok fiziksel difüzyon olayı bu eşitlik ile açıklanmıştır (örneğin, katı cisimlerdeki ısı iletimi gibi). Zeminler için difüzyon sabiti c_v 'dir. Aslında bilinmektedir ki c_v sabit bir değer değildir. Fakat eşitliği lineer ve dolayısıyla da daha kolay bir hale getirebilmek için k , a_v ve c_v sabit varsayılmıştır.

2.3 Terzaghi'nin Klasik Konsolidasyon Eşitliğinin Çözümü

Eşitliğin çözülebilmesi için ilk olarak bir boyutlu konsolidasyon için geçerli başlangıç ve sınır koşulları belirlenmelidir. Bu koşullar şunlardır:

1) Sıkışabilir tabaka hem alttan hem de üstten drenaja açıktır.

2) Başlangıç artık boşluk suyu basıncı ($\Delta u = u_i$), uygulanan gerilme artışına ($\Delta \sigma$) eşittir.

Başlangıç ve sınır koşulları şu şekilde de gösterilebilir:

$z = 0$ ve $z = 2H$ için , $u = 0$ (Konsolide olan kil tabakasının kalınlığı olarak $2H$ alınmıştır)

$t = 0$ için, $\Delta u = u_i = \Delta \sigma = (\sigma'_2 - \sigma'_1)$

$t = \infty$ için $\Delta u = 0$.

Terzaghi (1923) ısı transferi ile ilgili çalışmalar esnasında kullanılan denklemleri konsolidasyon problemlerini çözmek amacıyla uyarlamıştır:

$$u = (\sigma'_2 - \sigma'_1) \sum_{n=0}^{\infty} f_1(Z) f_2(T) \quad (2.6)$$

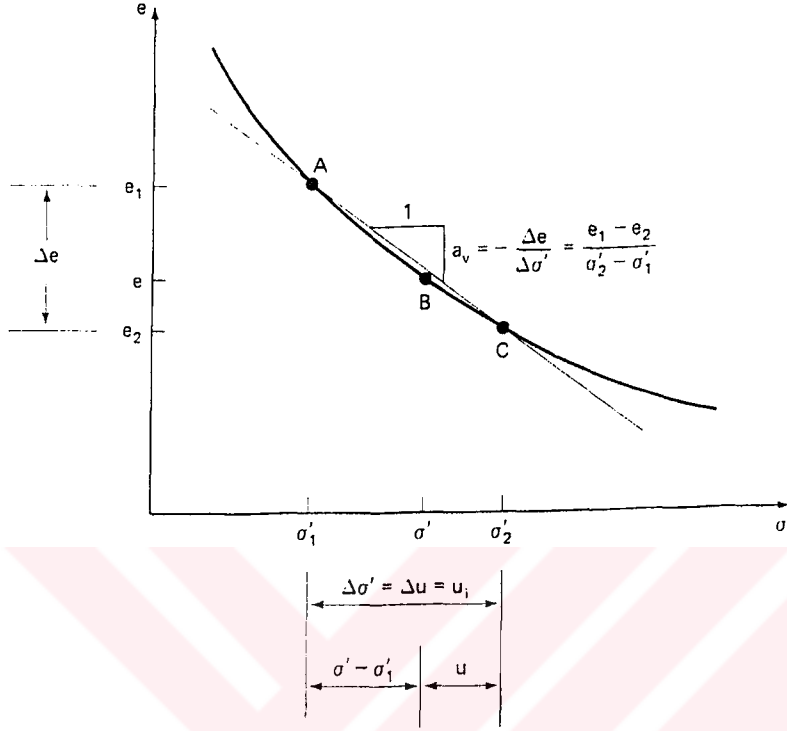
Bu formüldeki Z ve T boyutsuz katsayılarıdır. Z terimi, geometrik bir parametre olup z / H 'a eşittir. T terimi, zaman faktörü olarak bilinir ve aşağıda gösterilen bağıntı vasıtasıyla konsolidasyon katsayısı ile ilişkilidir.

$$T = c_v \frac{t}{H_d^2} \quad (2.7)$$

burada, t zamanı, H_d en uzun drenaj yolunun uzunluğunu göstermektedir. Drenaj çift taraflı ise tabaka kalınlığının yarısı, drenaj tek taraflı ise tabaka kalınlığı drenaj mesafesi olarak kabul edilir.

Konsolide olan tabakanın herhangi bir z derinliğindeki (ve herhangi bir andaki) konsolidasyon oranı o andaki boşluk oranı ve nihai boşluk oranı ile ilişkilidir. Konsolidasyon oranı aşağıdaki şekilde gösterilir:

$$U_z = \frac{e_1 - e}{e_1 - e_2} \quad (2.8)$$



Şekil 2.2 Laboratuvar sıkışma eğrisi ($\sigma' - \sigma'_1 = (\sigma'_2 - \sigma'_1) - u = u_i - u$.)

Şekil 2.2' de gösterildiği gibi e bir ara değerdir. Bu şekilde grafiksel olarak görülen, AB ve AC'ye karşılık gelen ordinatların oranıdır. Gerilmeler ve boşluk oranları kullanılarak (2.8) eşitliği şu forma dönüştürülebilir:

$$U_z = \frac{\sigma' - \sigma'_1}{\sigma'_2 - \sigma'_1} = \frac{\sigma' - \sigma'_1}{\Delta\sigma'} = \frac{u_i - u}{u_i} = 1 - \frac{u}{u_i} \quad (2.9)$$

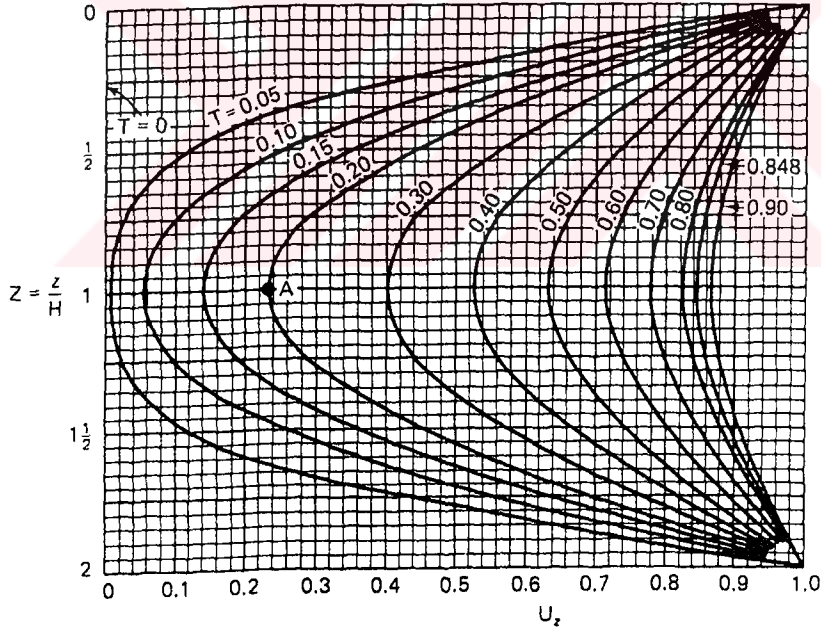
burada, u_i uygulanan gerilme artışı nedeniyle oluşan başlangıç artık boşluk suyu basıncını, σ' ve u değerleri (2.8) eşitliğindeki e değerine karşılık gelen ara değerleri göstermektedir.

Eşitlik (2.8) ve (2.9) den açıkça görülmektedir ki U_z yüklemenin başlangıcında sıfırdır ve boşluk oranı e_1 'den e_2 'ye doğru değişirken yavaş yavaş 1'e (veya % 100'e) artar. Tabii ki, aynı zamanda, toplam gerilme sabit olduğu sürece, artık hidrostatik gerilme (boşluk suyu

basıncı) u_i değerinden sıfıra doğru azaldığı için, efektif gerilme σ'_1 değerinden σ'_2 değerine artar. Ayrıca konsolidasyon oranı (U_z) konsolidasyonun yüzde cinsinden derecesini de göstermektedir. Buradan yola çıkılarak, (2.6) eşitliğinde konsolidasyon oranı için bir çözüm oluşturmak mümkün olmuştur.

$$U_z = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} f_1(Z)f_2(T) \quad (2.10)$$

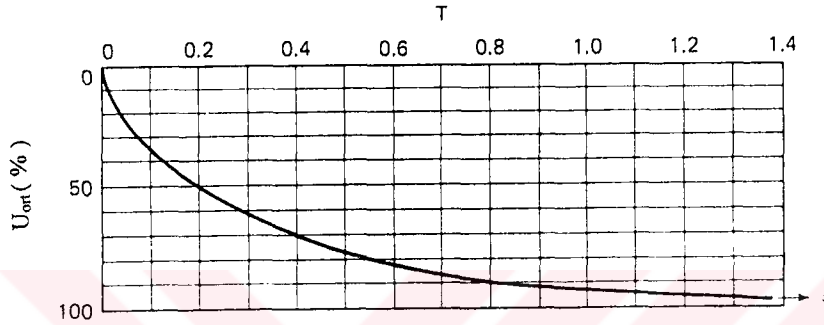
Bu eşitliğin çözümü boyutsuz parametreler kullanılarak Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Şekil 2.3'den, konsolide olan tabakada herhangi bir noktada yüklemenin başlangıcından sonra herhangi bir zaman için konsolidasyon derecesinin miktarını bulmak mümkündür. Tabakanın toplam kalınlığı ve sınır drenaj şartları için konsolidasyon katsayısı c_v kullanılarak zaman faktörü (T), (2.7) eşitliğinden çıkartılabilir.



Şekil 2.3 Çift drenajlı zemin tabakasında herhangi bir yerleşim ve zaman faktörü için Konsolidasyon

T biliniyorsa, Şekil 2.3 yardımıyla, konsolide olan tabakanın içersindeki herhangi bir derinlikteki noktada ulaşılan konsolidasyon derecesi rahatlıkla tespit edilebilir. Bazı

durumlarda ise belirli bir noktada, ulaşılan konsolidasyon derecesi yerine konsolide olan tabakanın tümü için bir ortalama konsolidasyon derecesi bulunmak istenebilir. U veya U_{ort} ile gösterilen bu değer, tüm tabakanın ortalama olarak ulaştığı konsolidasyon derecesinin bir ölçüsüdür ve yüklemekten sonra belirli bir zamanda tabakada oluşan toplam oturma ile ilişkilidir. U ve T arasındaki ilişki Şekil 2.4'de gösterilmiştir.



Şekil 2.4 T- U_{ort} grafiği (aritmetik ölçek)

Terzaghi'nin klasik konsolidasyon teorisi halen kullanılmakla beraber, zemin mekanikçiler tarafından ayrıntılı olarak incelenmeye ve teörinin eksik kaldığı düşünölen noktaları açıklanmaya çalışılmıştır. Örneğin, Terzaghi'nin teörisi zaman etkisini yok varsaymaktadır. Laboratuarda yapılan deney klasik yükleme adımı olup 10-15 günlük bir süre içersinde gerçekteşirilen bir ödometre deneyi sonucunda bulunan nihai boşluk oranının, arazide belki de seneler sonra meydana gelecek nihai boşluk oranı değerine eşit olacağını varsaymıştır. Ayrıca, artık boşluk suyu basıncının sönömlenmesi ile birlikte konsolidasyonun sona erdiği bu teori tarafından benimsenmişse de, gerçekte durumun böyle olmadığı, artık boşluk suyu basıncının sönömlenmesinden sonra da konsolidasyonun devam ettiği (sekonder konsolidasyon) görölmüş hatta özellikle de organik zeminlerde sekonder konsolidasyonun toplam konsolidasyonun çok önemli bir miktarını oluşturduğu gözlemlenmiştir. İşte bu ve buna benzer nedenlerden ötürü konsolidasyon üzerine daha kapsamlı olarak eğilinilmeye çalışılmıştır.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Gerçekte, arazide gerçekleşen konsolidasyon işleminin 3 boyutlu olduğu bilinmekle birlikte yapılmış bir çok araştırmanın neticelerine dayanılarak, düşey yüklemeler etkisi altında bulunan bir zemin tabakasında meydana gelen yatay deformasyonun, oluşan düşey deformasyon değerinin yaklaşık %1'i civarında olduğu tespit edildiğinden düşey yüklemelerin geçerli olduğu şartların en sık rastlanılan durum olduğu düşünülmüş ve bu nedenle de tek yönlü konsolidasyon daha doğru bir deyişle bir boyutlu konsolidasyon problemleriyle daha çok ilgilenilmiştir. Bu konuyla ilgili olarak yapılan araştırmalardan elde edilen sonuçlar yazılan makaleler, yayınlanan bildirilerle açıklanmaya çalışılmıştır. Bu araştırmaları yapan bilim adamlarının özellikle bu çalışmalar sırasında üzerinde durdukları en önemli konuların başında ise mekanik ve kimyasal etkenler sonucu kayaların ayrışması ve parçalanması ile oluşan, özellikleri oldukça geniş bir aralıkta değişen, kimi zaman su ile betonun sergiledikleri farklılıklar kadar ayrılıklar içersinde oldukları gözlenen zeminleri belirli sınıflandırma sistemleri yardımıyla temel başlıklar altında toplamak sonra da zeminlerin çeşitli şartlar altındaki davranışlarını modellemeye çalışarak zorlukları basite indirgemeye çalışmak gelmiştir. Bu fikirden hareketle, örneğin killer için birbirinden farklı 25'ten fazla reolojik model önerilmiştir. Bu 25'ten fazla sayıda reolojik modelden 4'ü bilim adamları arasında daha uygulanabilir olmaları nedeniyle daha yaygın bir kullanım alanı bulmuştur. Bu reolojik modeller sırasıyla aşağıda verilmiştir:

$$R(\sigma'_v, e) = 0 \quad (3.1)$$

$$R(\sigma'_v, e, t) = 0 \quad (3.2)$$

$$R(\sigma'_v, e, \dot{\sigma}'_v, \dot{e}) = 0 \quad (3.3)$$

$$R(\sigma'_v, e, \dot{e}) = 0 \quad (3.4)$$

(3.1) eşitliği ile verilen modele göre, zeminin efektif gerilme-boşluk oranı davranışı zamandan ve deformasyon hızından bağımsızdır ve tekildir. Bu yaklaşım efektif gerilme-

boşluk oranı ilişkisinin lineer olduğunun varsayıldığı klasik Terzaghi konsolidasyon teorisine, uygun bir yaklaşımdır. 1965 yılında David & Raymond tarafından öne sürülen ve boşluk oranı ile efektif gerilmenin logaritması arasında lineer bir ilişki olduğunu iddia eden model de bu tip bir modeldir. (3.1) eşitliği uygulamada geniş bir kullanım alanına sahip olmakla birlikte efektif gerilmenin değişmemesi durumunda dahi, boşluk oranının değiştiği dolayısıyla da efektif gerilmenin sıfır olmasından sonra, bir lineer ilişki varsayılmayacağı bilindiği için killerin davranışını bütünüyle temsil etmediği düşünülmektedir.

(3.2) eşitliği ile temsil edilen model, boşluk oranını efektif gerilme ve zamanın bir fonksiyonu olarak tanımlar. Koppejan (1948), Bjerrum (1967) ve Hansen (1969) tarafından önerilmiştir. Bu modelin kullanımı sırasında karşılaşılan problem , zamanın başlangıç noktasını özellikle de uygulanan yük zamanla değişirken hangi anın orjin olarak belirlenmesi gerektiği konusunda karşılaşılan güçluktur.

(3.3) ve (3.4) eşitlikleri ile tanımlanan modeller malzemenin davranışının, sadece bugünkü mevcut şartlarına bağlı olduğunu, evvelki tarihçesinin bir fonksiyonu olmadığını kabul ederek yukarıda bahsedilen zorluğun üstesinden gelmişlerdir. Boşluk oranının değişim hızının; efektif gerilme, boşluk oranı ve efektif gerilmedeki değişimin hızının bir fonksiyonu olduğunu varsayan ve (3.3) eşitliği ile tanımlanan modeli ilk olarak Taylor ve Merchant (1940) önermiştir. (3.4) eşitliğine karşılık gelen modeller ise; efektif gerilme, boşluk oranı ve boşluk oranının değişim hızı arasında tekil bir ilişki olduğunu iddia etmiştir.

Terzaghi (1923) ve Buisman (1936) dan beri, yaklaşık yarım yüzyıldır kalın tabakalı killerin birincil konsolidasyonu sırasında birincil ve ikincil sıkışmanın bir kaynaşım içerisinde olup olmadığını tartışılmaktadır. Suklje (1957), Barden (1965) ve Bjerrum (1967) killerin birincil konsolidasyonu sırasında birincil ve ikincil sıkışmanın bir kaynaşım içerisinde olduğunu iddia etmişler (Teori B), Leonard (1977) ve Ladd (1977) ise ikincil sıkışmanın birincil konsolidasyon tamamen bittikten yani artık boşluk suyu basıncının tamamen sönmülmesi işlemi tamamlandıktan sonra meydana geldiğini öne sürmüşlerdir (Teori A).

Bu teoriler biraz daha açık yazılacak olursa; A teorisi, krip davranışının birincil konsolidasyonun tamamlanmasından sonra yani artık boşluk suyu basıncının sönümlenmesinden sonra meydana geldiğini varsayarak efektif gerilme-deformasyon ilişkisinin tabaka kalınlığından bağımsız olduğunu ileri sürmüştür; B teorisi ise, krip davranışının yapısal viskoziteden dolayı oluştuğunu, bu işlemin de artık boşluk suyu basıncının sönümlenmesi sırasında gerçekleştiğini bu nedenle de birincil konsolidasyonun sonunda elde edilen deformasyon değerinin tabaka kalınlığının artmasıyla arttığını iddia etmiştir.

Laboratuarda, zeminlerin krip davranışı ile ilgili bir çalışma yapabilmek için sabit bir gerilme altında uzun süreli ödometre deneyleri, sabit deformasyon hızlı deneyler ve eğim kontrollü deneyler yapılması gerektiği düşünülmüştür. Leroueil (1985) çeşitli killer üzerinde değişik ödometre deneyleri uygulayarak bir boyutlu sıkışma altında kil davranışının tekil bir efektif gerilme-deformasyon-deformasyon hızı ilişkisi gösterdiği sonucuna ulaşmıştır. Bu sonuç teori B'nin doğruluğunu göstermekle birlikte, bu sonucun elde edilmesine yol açan deneylerde yaklaşık 2 cm. gibi küçük kalınlıklara sahip numuneler kullanıldığı için, arazide kalın tabakalar halinde yer alan zeminin davranışı için bir genelleme yapılamamıştır.

Birincil konsolidasyon sonunda ulaşılan gerilme-deformasyon veya gerilme-boşluk oranı ilişkisi ve konsolidasyon işlemi üzerinde numune kalınlığının etkisini saptamak için çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Mesri ve Choi (1985) tarafından yapılan literatür incelemesi neticesinde cevap tam bir açıklıkla bulunamamış, değişik kalınlıklardaki numuneler üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda B teorisinin geçerli olduğunu ileri süren Berre & Iversen (1977) tarafından elde edilen deney sonuçları, Leonard (1977) tarafından A hipotezinin doğruluğunu kanıtlamak için kullanılmıştır. Yoğrulmuş kil numuneleri üzerinde gerçekleştirilen deney sonuçlarından ise Aboshi (1973) tarafından kimi şartlarda A teorisinin kimi şartlarda ise B teorisinin geçerli olabileceği gibi tam bir açıklık içermeyen neticelere ulaşıldığı açıklanmıştır. Karşılaşılan bu belirsizlikler nedeniyle konsolidasyon ile ilgili olarak detaylı bir araştırma programına başlanması gerektiğine karar verilmiştir. Bu nedenle ilk olarak, değişik kil tipleri üzerinde, değişik ödometre deney tipleri (sabit deformasyon hızlı deneyler, kademeli yükleme adımlı deneyler, hidrolik eğim kontrollü deneyler ve uzun süreli

krip deneyleri) uygulanmış ve küçük kalınlıklı numuneler üzerinde yapılan bu deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlardan yola çıkarak bir reolojik model oluşturulmuştur. İlk aşama böylece geçildikten sonra ikinci adım olarak laboratuarda gözlemlenen davranış ile arazide gözlemlenen davranış arasında bir karşılaştırma yapılmaya çalışılmıştır. Bu yapılmaya çalışılırken daha çok aşağıdaki tabloda gösterilen deney sistemleri uygulanmıştır.

Çizelge 3.1 Deney Türleri

1- 24 veya 48 saat sonra yüklemeli Standart Kademeli Yükleme Deneyleri	1/2 veya 2/1 gerilme artırım oranı uygulanarak yapılan deneylerdir. Standart yükleme düzeni uygulanır. Numune 24 veya 48 saat süre ile çift taraflı olarak drene edildikten sonra diğer yüklemeye geçilir. Literatürde (MSL) ₂₄ veya (MSL) ₄₈ olarak tanımlanmaktadır.
2- Birincil konsolidasyon sonunda yüklemeli Standart Kademeli Yükleme Deneyleri	1/2 veya 2/1 gerilme artırım oranı uygulanarak yapılan deneylerdir. Standart yükleme düzeni uygulanır. Numune belirli bir yük altında konsolide olurken birincil konsolidasyonun oluşması gözlemlendiği zaman diğer yüklemeye geçilir. Literatürde (MSL) _p veya EOP olarak tanımlanmaktadır.
3- Sabit deformasyon hızı uygulanan deneyler	Bu deneyde konsolide olan numuneye test süresince sabit bir deformasyon hızı uygulanır. Deney belirli bir gerilme değerine ulaşıldığında durdurulur. Literatürde CRS olarak tanımlanır.
4- Hidrolik eğim kontrollü deneyler	Deney süresince numunenin alt ve üst kısmındaki boşluk suyu basıncı farkı sabit tutulur. Literatürde CGT kısaltmasıyla gösterilir.
5- Krip deneyleri	Numunenin arazide bulunduğu derinlikte sahip olduğu düşey efektif gerilme değerine kadar standart olarak yüklendiği, daha sonra ise daha önceden saptanmış kademelere geçilerek uzun süre o yük değeri altında beklenmesi ile gerçekleştirilir.

Bu amaçla yapılan çalışmalardan en dikkat çekici olanlarından birisi Leroueil, Tavenas, Kabbaj ve Bouchard (1985) tarafından yapılmış araştırmadır. Bu araştırmada gerçekleştirilen deneyler için kullanılan killer Champlain deniz killeridir. Bu killerin organik madde içeriği

%1'den daha azdır. Doğal su muhtevaları %63 ile %89 arasında standart ödometre deneylerinden elde edilen önkonsolidasyon basınçları ise 88 kPa ile 270 kPa arasında değişmektedir. Deney programı olarak aşağıdaki listeye uyulmuştur.

a) $(MSL)_{24} = (\Delta\sigma_v / \sigma_v) = 0.5$ gerilme arttırım oranı kullanılarak birincil konsolidasyon için 24 saat beklendikten sonra yeni yüklemeye geçilen kademeli yüklemeli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır (bu deneylerde sadece üst kısımdan drenaja izin verilmiş, boşluk suyu basıncı ise alt kısımdan ölçülmüştür).

b) $(MSL)_p = (\Delta\sigma_v / \sigma_v) = 0.5$ gerilme arttırım oranı kullanılarak, birincil konsolidasyon tamamlandıktan sonra yeni yüklemeye geçilen kademeli yüklemeli konsolidasyon deneyleri yapılmıştır (bu deneylerde sadece üst kısımdan drenaja izin verilmiş, boşluk suyu basıncı ise alt kısımdan ölçülmüştür).

c) CRS = Özel bir ödometre düzeneği yardımıyla deformasyon hızı sürekli sabit tutulurken buna karşılık oluşan deformasyonlar ve artık boşluk suyu basıncı değerleri ölçülmüştür (Smith ve Wahls, 1969; Wissa, Christian, David ve Heiberg, 1971).

d) Krip Deneyleri : İlk olarak, numunenin arazide üzerine etkiyen düşey efektif gerilme değerine kadar kademe kademe yüklendiği, bu değer aşıldıktan sonra ise, bir aşamada, uygun görülen son gerilme değerine yüklendiği ve 70 günden fazla zaman süresi boyunca bu gerilme değerinin numune üzerinde tutulması suretiyle gerçekleştirilen uzun süreli deneyler yapılmıştır.

Sabit deformasyon hızlı ve eğim kontrollü deneylerde, ortalama deformasyon $\epsilon_v = \Delta H / H_0$ veya boşluk oranı (e), aşağıdaki eşitlik ile değeri bulunabilen efektif gerilme ile ilişkilendirilebilir.

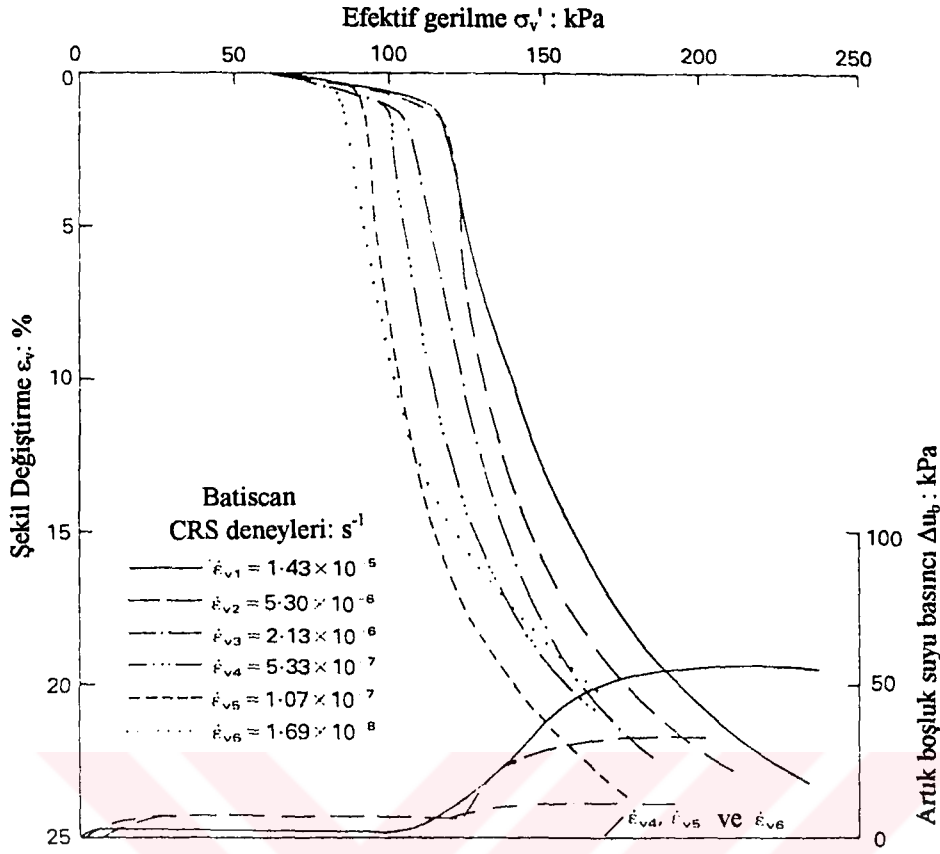
$$\sigma'_v = \sigma_v - u_0 - \alpha(u_b - u_0) \quad (3.5)$$

burada, σ_v toplam düşey gerilme, u_0 uygulanan geri basınç, u_b numunenin altında ölçülen boşluk suyu basıncı değeridir.

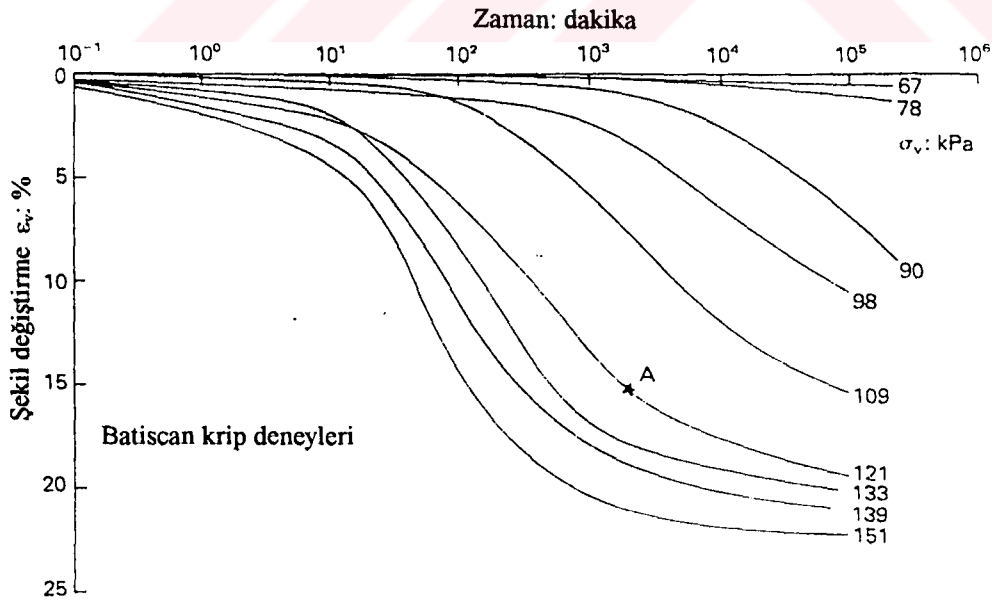
Janbu, Tokheim ve Senneset (1981) $du_b/d\sigma_v = 0.7$ için $\alpha = 0.7$; $du_b/d\sigma_v = 0.92$ için $\alpha = 0.75$ değerlerinin kullanılmasının daha doğru olacağını iddia etmişlerdir. Leroueil, Kabbaj, Tavenas ve Bouchard (1985)'da çalışmalarında Janbu'nun önerdiği değerleri kullanmışlardır.

Yapılması düşünülen çalışmanın amacı doğal killerin reolojik davranışını belirlemek olduğu için, ilk olarak düşey efektif gerilmenin artış hızının bu davranış üzerinde bir etkisi olup olmadığının araştırılması gerektiği düşünülmüştür. Bunu yapabilmek için, Batiscan'dan gelen killer üzerinde, deney süresince efektif gerilmenin devamlı arttığı ve deformasyon hızının ise sürekli aynı olduğu sabit deformasyon hızlı deneyler ile efektif gerilmenin sabit olduğu ve dolayısıyla boşluk suyu basıncının sönümlenmesinden sonra, efektif gerilme değişim hızının sıfıra eşit olduğu krip deneyleri uygulanmıştır (Bouchard, 1982).

Batiscan, St. Cesaire, Louiseville, Joliette ve Mascouche(den getirilen killer üzerinde çeşitli tiplerde deneyler uygulanmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler küçük kalınlıklı numuneler olmalarına rağmen başlangıç boşluk oranlarının doğal olarak farklılıklar gösterebilir olması beklentisi olduğundan boşluk oranı (e) yerine, deformasyon (ϵ_v) değerlerinin kullanılması uygun görülmüştür. Batiscan'dan alınmış numuneler üzerinde yapılan çalışmalarda, farklı hız değerlerinde onsekiz sabit deformasyon hızlı deney yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.1 de gösterilmiştir. Şekil 3.1 incelendiğinde deformasyon hızı arttıkça numunenin alt kısmında ölçülen boşluk suyu basıncı değerinin de arttığı deformasyon hızı azaldıkça tersi bir durum olduğu, hatta 10^{-7} s^{-1} 'den daha düşük hız değerlerinde gerçekleştirilmiş deneylerde boşluk suyu basıncının ölçülemeyecek kadar küçük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı kil üzerinde gerçekleştirilen dokuz krip deneyi sonucunda çizilen ve Şekil 3.2 de sunulmuş $\epsilon_v - \log t$ eğrilerinin; yüksek gerilme seviyeleri için tipik olarak S şeklinde, düşük gerilme seviyeleri için ise zamanın artmasıyla eğiminin de sürekli arttığı gözlemlenen eğriler şeklinde olduğu görülmüştür.

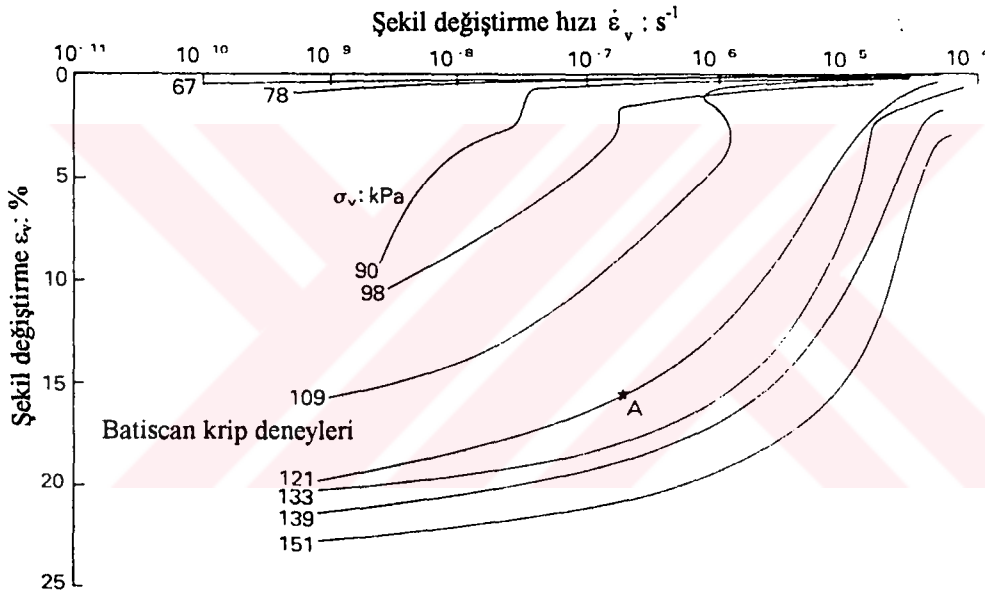


Şekil 3.1 Batiscan Kili üzerinde yapılan CRS ödometre deney grafiği



Şekil 3.2 Batiscan Kili üzerinde yapılan Krip ödometre deney grafiği

Yalnız burada dikkat edilmesi gereken bir nokta olduğu saptanmıştır. Deneilerin başlangıcında artık boşluk suyu basıncı oluşmuştur ve dolayısıyla efektif gerilmeler, uygulanan gerilmelerden daha küçük değerlerdedir. Fakat bu deneylerde artık boşluk suyu basıncı ölçülemediği için efektif gerilmelerin değerleri tespit edilememiştir. Buna rağmen deneyler sonunda çizilen eğrilerin şekli ve diğer killer üzerinde yapılan deneylerden elde edilen gözlemlerden anlaşılmıştır ki deformasyon hızı değeri 10^{-6} s^{-1} değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman artık boşluk suyu çok küçüktür, ihmal edilebilir ve dolayısıyla da efektif gerilmeler, uygulanan gerilmelere eşittir. Bu neticeden yola çıkarak deformasyon hızı 10^{-6} s^{-1} değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman $\varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi Şekil 3.3'de verilmiş olduğu gibi, sabit bir efektif gerilme altında, belirlenebilmiştir.



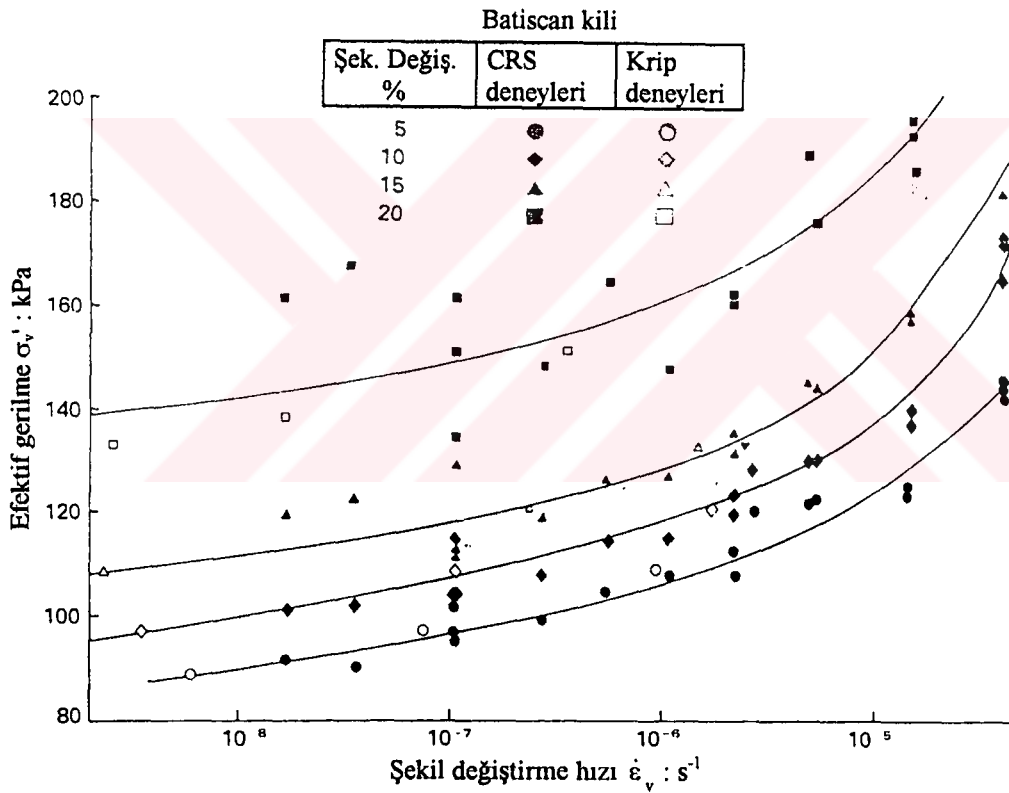
Şekil 3.3 Batiscan Kili üzerinde yapılan krip deneylerindeki şekil değiştirme-şekil değiştirme hızı grafiği

Sabit deformasyon hızlı deneyler ile krip deneyleri bir arada incelendiği zaman Batiscan kilinin reolojik davranışı üzerinde, deformasyon hızının çok önemli bir faktör olduğu, araştırmayı yapan bilimadamları tarafından ileri sürülmüştür. Bu nedenle de (3.3) ve (3.4) eşitlikleri, boşluk oranı ifadeleri yerine deformasyon terimi kullanılarak, kil davranışını temsil etmek üzere aşağıdaki formlara dönüştürülmüştür.

$$R'(\sigma'_v, \varepsilon_v, \dot{\sigma}'_v, \dot{\varepsilon}_v) = 0 \quad (3.6)$$

$$R'(\sigma'_v, \varepsilon_v, \dot{\varepsilon}_v) = 0 \quad (3.7)$$

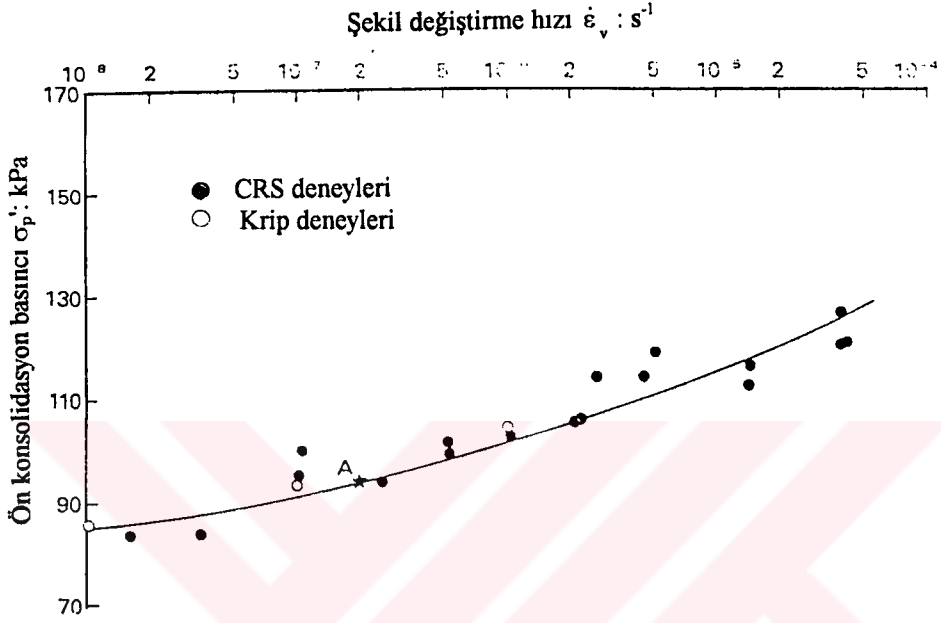
Sabit deformasyon hızlı deneylerde deformasyon hızı sabittir, efektif gerilme sürekli artar; krip deneylerinde deformasyon hızı 10^{-6} s^{-1} değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman efektif gerilme sabittir (ve uygulanan gerilmeye eşittir) ve dolayısıyla efektif gerilmenin değişim hızı sıfırdır. Böylece efektif gerilmenin herhangi bir etkisi olup olmadığı deney sonuçlarına bakılarak incelenebilmiştir. Bu noktayı analiz etmek için değişik deneylerde %5, %10, %15 ve %20 deformasyon değerlerine karşılık gelen efektif gerilme değerleri Şekil 3.4 te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Batiscan Kilinde çeşitli şekil değiştirmelerdeki efektif gerilme-şekil değiştirme hızı değişim grafiği

Buradan yola çıkılarak (3.6) eşitliğinin içerdiği efektif gerilme değişim hızı parametresinin killerin reolojik davranışı üzerinde bir etkisi olup olmadığı araştırılmış ve yapılan inceleme sonucunda efektif gerilmedeki artışın hızının killerin reolojik davranışı üzerinde hiç bir etkisinin olmadığı ve Batiscan kili için tek bir $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi olduğu iddia edilmiştir.

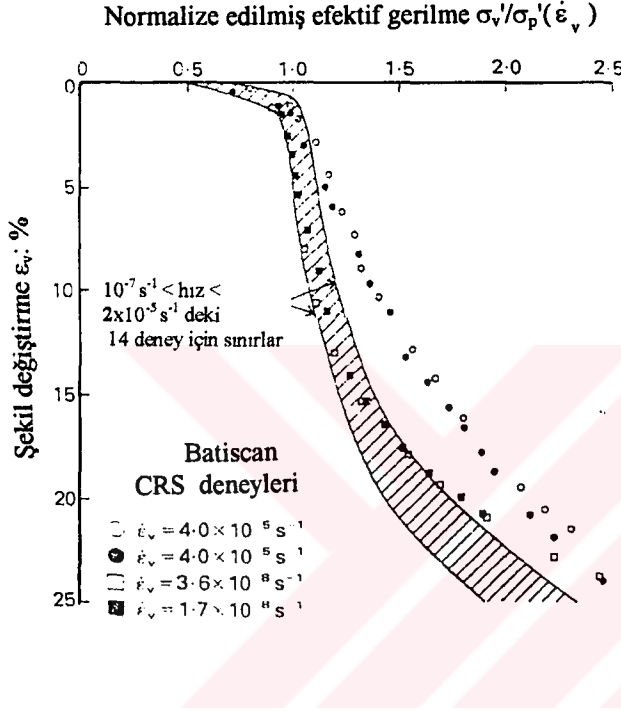
Her iki tür deney sonucu değerlendirilirken, efektif gerilmeler ön konsolidasyon basıncına göre normalize edilerek incelenmiştir. Bunu yapabilmek için sabit deformasyon hızlı deneylerden ve krip deneylerinden elde edilen $\sigma'_p - \dot{\epsilon}_v$ noktaları bir grafik üzerinde gösterilmiş ve bu noktaların bir ortalama eğri üzerine düştüğü görülmüştür (Şekil 3.5).



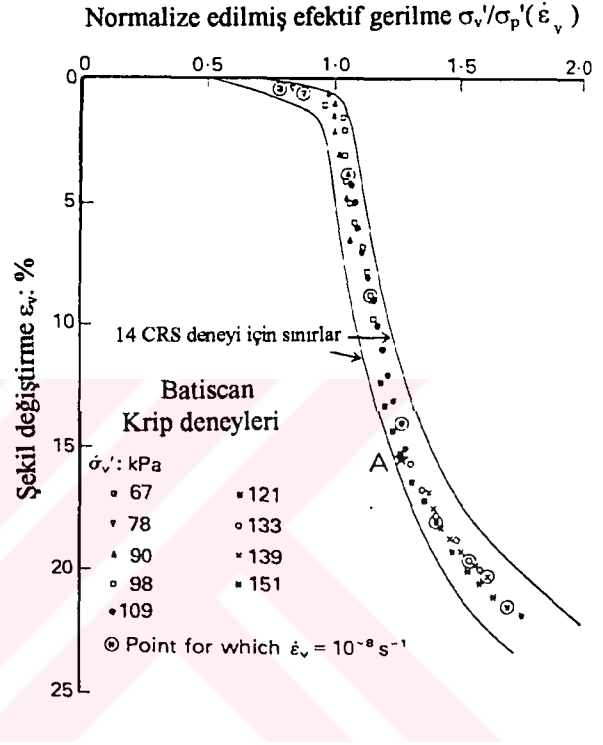
Şekil 3.5 Batiscan Kilinde çeşitli şekil değiştirmelerdeki efektif gerilme-şekil değiştirme hızı değişim grafiği

Normalizasyon için bu ortalama eğriden yararlanılmış ve sabit deformasyon hızlı deneyler için ortalama eğri üzerinden, mevcut deformasyon hızına karşılık gelen önkonsolidasyon basıncı değeri tespit edilmiştir. Toplam 18 deneyden hızları $1.4 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ve $1.07 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ arasında değişen 14'ünün $\sigma'_v / \sigma'_p(\dot{\epsilon}_v) - \epsilon_v$ eğrileri dar bir aralık içine düşerken, 4×10^{-5} 'lik deformasyon hızına sahip 2 deney için aralığın genişlediği, en yavaş hızlarda gerçekleştirilen ($3.6 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ ve $1.7 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$) 2 deneyin sonuçlarının ise bu aralığın dışarısına taşıdığı gözlemlenmiştir (Şekil 3.6). Çok yavaş deformasyon hızları ile yapılan deneylerdeki zemin davranışı ile ilgili olarak iki düşünce ileri sürülmüştür: Bu düşüncelerden ilki numunenin doğal değişebilirliği ile, ikincisi ise çok küçük deformasyon hızlarında, Leonard ve Altschaffl (1964) tarafından da gözlemlenmiş olan, kil iskeletinin tiksotropik sertleşmesi ile ilgilidir. Ancak bu cevaplardan hangisinin doğru olduğu tam olarak net

değildir ve bu cevabın tam olarak bilinmemesi dolayısıyla laboratuarda elde edilen $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi ile arazideki $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ davranışı arasındaki karşılaştırmada bazı uyumsuzluklar olabileceği düşünülmüştür. Yüksek hızlı deneylerin geniş bir aralık göstermesinin sebebi olarak, çok yüksek deformasyon hızlarında kilin değişik viskoz davranış sergileyebilir olması gösterilmiştir.



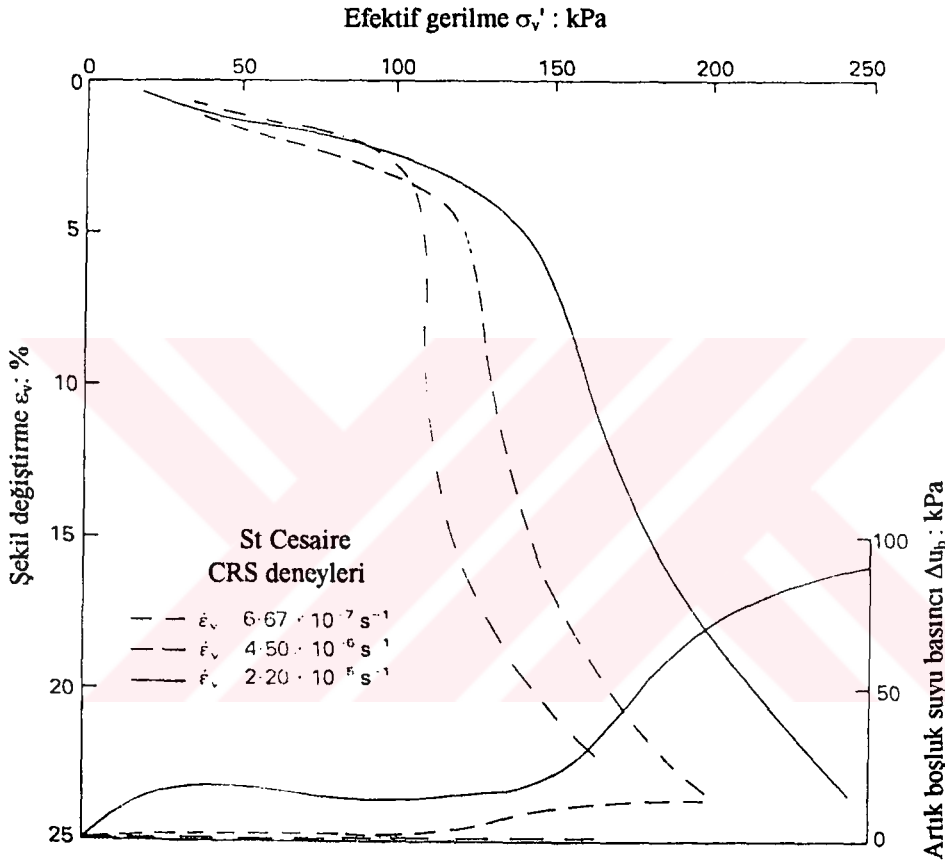
Şekil 3.6 Batiscan Kili üzerinde yapılan CRS ödometre deneylerinden elde edilen normalize edilmiş efektif gerilme-şekil değiştirme grafiği.



Şekil 3.7 Batiscan Kili üzerinde yapılan krip ödometre deneylerinden elde edilen normalize edilmiş efektif gerilme-şekil değiştirme grafiği.

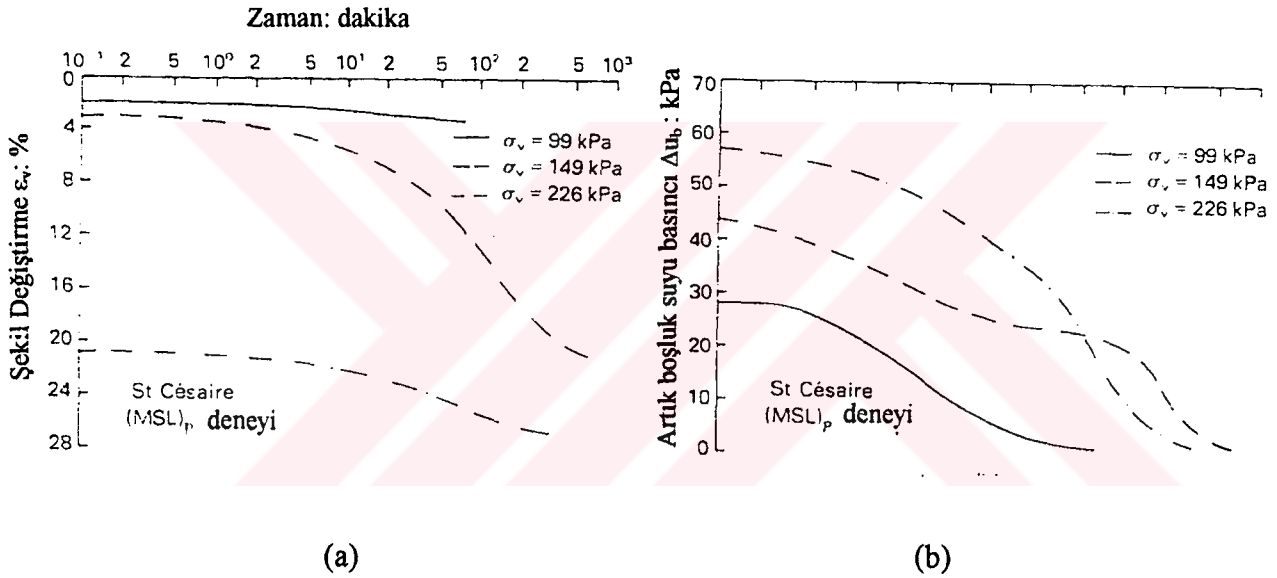
Deformasyon hızının deney süresince devamlı değiştiği krip deneyleri için, deformasyon hızı $10^{-6} s^{-1}$ değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman, uygulanan gerilmeye eşit olan efektif gerilmenin normalizasyonu için, herhangi bir anda mevcut deformasyona karşılık gelen bir deformasyon hızı varolacağına göre o deformasyon değerindeki efektif gerilme o deformasyon hızı değeri ile ilişkilendirilerek normalizasyon işlemi yapılmıştır. Bütün deneylerden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, tüm noktaların 14 CRS deneyi için bulunmuş aralık içerisine düştüğü gözlemlenmiştir (Şekil 3.7). Bu neticelerden yola çıkarak, çok yüksek deformasyon hızlı veya çok düşük deformasyon hızlı deneyler hariç, Batiscan

kili üzerinde yapılan CRS ve kripi deneyleri için tek bir $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi olduğu saptanmış ve bu ilişkinin sadece $\sigma'_p - \dot{\varepsilon}_v$ ve $\sigma'_v / \sigma'_p (\dot{\varepsilon}_v) - \varepsilon_v$ eğrileri ile tanımlanabileceği ileri sürülmüştür. Aynı çalışmada St Cesaire'den alınan numuneler üzerinde üç CRS ve bir $(MSL)_p$ deneyi gerçekleştirilmiştir. CRS deneyleri $2.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, $4.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ve $6.67 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ hız değerlerinde gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar Şekil 3.8'de sunulmuştur.



$6.67 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$ hız değerinde yapılan deneyde artık boşluk suyu basıncı ölçülemeyecek kadar küçük çıkmış ve ihmal edilmiştir. $2.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ hız değerinde yapılan deneyde ise artık boşluk suyu basıncı ($du_b/d\sigma_v = 0.5$) olacak kadar yüksek bir değerde çıkmıştır. Normal konsolidasyon aralığında deformasyon etkisi çok açıktır: Belirli bir deformasyonda, deformasyon hızı arttıkça efektif gerilmede artmaktadır. ($\Delta\sigma_v/\sigma_v = 0.5$) gerilme artırım oranı ve birincil konsolidasyon tamamlandıktan sonra (yani artık boşluk suyu basıncı

yaklaşık olarak 1kPa'a eşit olduğu zaman) yeni yüklemenin yapıldığı (MSL)_p deneyinde ise 65-99 kPa, 99-149 kPa ve 149-226 kPa lık yükleme adımları için ortalama deformasyon ve numunenin alt kısmında ölçülen boşluk suyu basıncı değerleri zamanın logaritması kullanılarak oluşturulan bir grafik üzerinde gösterilerek incelenmiştir (Şekil 3.9a-3.9b). Bu deneyler, Batiscan kilinde görüldüğü düşünülen tekil ilişkinin St Césaire kili için de geçerli olup olmadığının ve böyle bir ilişki varsa normalize edilemeyeceğinin anlaşılması için yapılmıştır. Bunun için ilk olarak $\sigma'_p - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin belirlenmesine çalışılmış ve %3-5 lik deformasyonlarda elde edilmiş önkonsolidasyon basınçları, deformasyon hızları ile birlikte, bir grafik üzerinde çizilen bir ortalama eğri yardımıyla (Şekil 3.10) incelenmiştir.



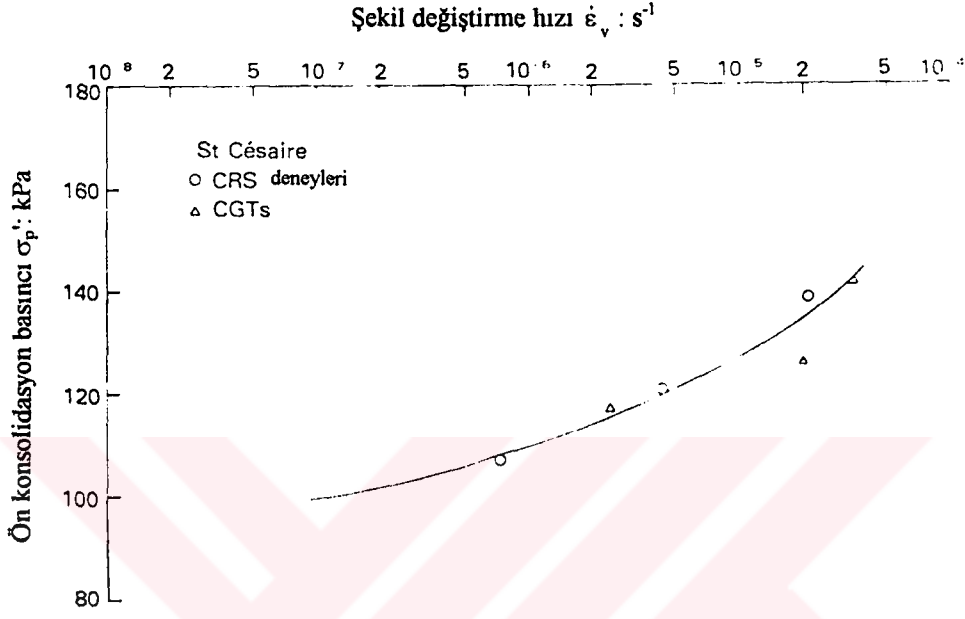
Şekil 3.9 St. Césaire Kili üzerinde yapılan kademeli yüklemeli ödometre deney grafiği

Bu incelemeler sonucunda, $2.2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ lik yüksek hız değerinde yapılan CRS deneyi hariç bütün sonuçların dar bir aralıkta tekil bir çizgi etrafında yer aldığı görülmüş ve bu sonuçlara dayanılarak laboratuarda elde edilen hız değerlerinin oluşturduğu aralıkta kil numunenin tek bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisine sahip olduğu düşüncesinin doğruluğu desteklenmiştir.

Neticede bu araştırmayı yapan bilimadamları gerçekleştirdikleri deneyler sonucunda elde ettikleri verileri inceleyerek doğal killerin reolojik davranışının iki eşitlik ile

$$\sigma'_p = f(\dot{\epsilon}_v) \quad (3.8)$$

$$\sigma'_v / \sigma'_p = g(\epsilon_v) \quad (3.9)$$



Şekil 3.10 St. Césaire Kili üzerinde yapılan ödometre deneylerinde önkonsolidasyon basıncı-şekil değiştirme hızı grafiği

tamamen tanımlanabileceği sonucuna ulaşmışlar ve eğer belirli bir zemin için bu iki ilişki biliniyorsa, o zemin için $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin kolaylıkla kurulabileceğini, bu ilişkinin tespit edildiği zemin için konsolidasyon problemlerini analiz etmek amacıyla nümerik metodlarda kullanılabilceğini ileri sürmüşler ve (3.8) ile (3.9) eşitliklerini birleştirerek genel bir reolojik eşitlik (3.10) elde etmişlerdir.

$$\dot{\epsilon}_v = f^{-1} \left(\frac{\sigma'_v}{g(\epsilon_v)} \right) \quad (3.10)$$

(3.10) eşitliği, yukarıdan da anlaşılacağı gibi Batiscan ve St. Césaire killeri için (3.8) ve (3.9) eşitliklerinin kurulmasına yol açan metoddan yararlanılarak, önkonsolidasyon basıncı ile

ilişkilendirme yoluyla kurulmuştur. Bu yaklaşım doğal killerin tüm jeolojik tarihini temsil eden σ'_p parametresinin yararlı ve kullanışlı bir parametre olduğunu göstermek amacıyla da sunulmuştur.

Yazarlar tarafından hassas doğal killerin reolojik davranışı için bulunmuş eşitliklerden ilki, yani $\sigma'_v/\sigma'_p(\dot{\epsilon}_v) - \epsilon_v$ eğrisi kil yapısının tepkisini dolayısıyla da kilin minerolojik yapısı ve jeolojik tarihi temsil ettiği için çok önemli bir fiziksel manaya sahiptir. $\sigma'_p - \dot{\epsilon}_v$ eğrisi ise kil iskeletinin krip yapmadaki kabiliyetini temsil etmektedir (Leroueil, Tavenas, Samson & Morin (1983).

Elde edilen deneysel sonuçlar üzerinde başlangıç boşluk oranı farklılıklarının etkilerinin önlenmesi amacıyla araştırmacılar modelde deformasyon parametresini kullanmışlar ama öte yandan da, önerilen $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin, bir $\sigma'_v - e - \dot{\epsilon}_v$ formuna yani (3.4) no'lu eşitlik ile temsil edilen bir reolojik modele eşit olduğunu göstermişlerdir (özellikle, sabit deformasyon hızı eğrileri, Suklje (1957) tarafından açıklanmış sabit boşluk oranı değişim hızı eğrilerine eşittir).

Yalnız unutulmamalıdır ki Leroueil vd. tarafından önerilen bu model normal konsolide aralığında elde edilmiş deneysel sonuçlara dayanılarak oluşturulmuştur dolayısıyla da aşırı konsolide aralığındaki davranış çok açık değildir. Ayrıca bu model, devam ettiği sürece içersinde deformasyonların sürekli arttığı deneyler sonucunda önerilmiş olduğu için sadece açıklanan şartların geçerli olduğu hallerde kullanılabilmiş ve dolayısıyla da sabit deformasyon altında, yük veya gerilme boşaltımı için kullanılamayacak olmasına dikkat çekilmiştir. Gerilme boşaltımı deneylerinde, deformasyon sabittir, dolayısıyla deformasyon hızı sabittir (sıfıra eşittir) ve bu şartlar altında $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin tekiliği sabit bir efektif gerilme olmasını gerektirir. Oysa bilinmektedir ki efektif gerilme sabit değildir, zamanla azalmaktadır. Bu nokta incelendiği zaman şu görülmüştür : Öne sürülen model toplam deformasyonlar gözönüne alınarak ileri sürülmüştür. Halbuki kilde oluşan deformasyonlar elastik ve plastik deformasyonlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Normal konsolide olmuş aralık göz önüne alınacak olursa toplam deformasyonlar içinde elastik deformasyonlar

plastik deformasyonlara kıyasla küçüktür. Önerilen model, normal konsolide olmuş aralıktaki gözlemlere dayanılarak oluşturulduğu için aslında plastik deformasyonları temsil etmektedir. Aşırı konsolide aralığında, ya σ'_p 'den çok daha küçük gerilmeler için ya da gerilme boşaltımı süresince elastik deformasyon bileşeninin nispeten daha önemli olduğu kesinlikle unutulmamalıdır.

Sonuç olarak, Champlain killeri üzerinde değişik tiplerde ödometre deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarından yararlanılarak basit bir reolojik model kurulmuş, bir boyutlu sıkışma altında kil davranışının sadece iki eğri $\{\sigma'_v - \dot{\epsilon}_v$ ve $\sigma'_v/\sigma'_p(\dot{\epsilon}_v)\}$ tarafından tanımlanabilen bir tekil $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisi ile kontrol edildiği iddia edilmiştir. Aslında Suklje (1957) tarafından önerilen isotache modelinin özel bir hali olan bu model, yazarların fikrine göre doğal killerin geniş bir aralığını temsil etmektedir. Yalnız şu hiç unutulmamalıdır ki model, küçük kalınlıklı numuneler üzerinde, devam ettiği sürece deformasyonların sürekli arttığı deneylerin sonuçlarına dayanılarak oluşturulmuştur ve bu nedenle de ancak bu tür şartlar altında geçerlidir. Ayrıca konsolidasyon problemlerini çözmek için önerilen bu model, küçük numuneler üzerinde, genellikle laboratuarlarda karşılaşılan hız değerleri ile yapılan deneyler sonucunda oluşturulmuştur oysa arazideki durumun daha farklı olduğu, hızların çok daha küçük ve kil tabakalarının çok daha kalın olarak yer aldığı bilinmektedir. Bu nedenle bu model arazi uygulamaları için kullanılmadan önce, arazi şartları altında geçerliliğinin iyice araştırılması ve de özellikle küçük deformasyon hızlarında $\sigma'_v - \dot{\epsilon}_v$ eğrilerinin nasıl belirleneceğinin incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Bu nedenle laboratuvar şartlarında kurulmuş tekil $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ modelinin uygulanabilirliği, arazide oluşturulmuş üç farklı deney dolgusu altında sınanmaya çalışılmıştır.

$\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ modelinin araziye tam olarak uyup uymadığının anlaşılabilmesi için, bu modeli laboratuvar ortamında oluşturan araştırmacılar (Leroueil, Tavenas ve Kabbaj) tarafından bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada ilk olarak arazide gözlemlenen deformasyon hızlarına yakın değerlerde hızlar verilerek laboratuvar deneyleri yapılması gerektiği düşünülmüş bu nedenle yapılan incelemeler sonucunda kil tabakası kalınlığı nispeten küçük (3.2 m) ve permeabilitesi

nispeten yüksek olan (3.0×10^{-9} m/sn) Berthierville hariç, arazi deformasyon hızları genellikle 10^{-9} s⁻¹ olarak bulunmuştur. Dolayısıyla laboratuvar ödometre deneylerinden elde edilen hızların arazideki gerçek hızlardan daha büyük oldukları gözlemlenmiştir. Örneğin 24 saat sonunda tekrar yükleme yapılan (MSL)₂₄ deneyleri hassas killer için 10^{-7} s⁻¹ lik tipik bir hız değeri vermiştir. (MSL)_p deneylerinde, kilin karakteristik özelliklerine bağlı olarak değişmekle birlikte yükleme periyodunun sonundaki deformasyon hız değerleri, tipik olarak 5.0×10^{-6} s⁻¹ ve 2.0×10^{-7} s⁻¹ arasında değişmiştir. CRS deneyleri, 10^{-6} s⁻¹ ve 5.0×10^{-6} s⁻¹ deformasyon hızları arasında uygulanmıştır. Sonuçta, arazi ve laboratuvar davranışı arasında bir karşılaştırma yapabilmek için düşük deformasyon hızlı CRS ve çok uzun süreli yüklemeli deneylerin uygulanması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu nedenle araştırmacılar tarafından yapılan bu çalışmada üç tip deney uygulanmıştır:

- a) 1.3×10^{-5} s⁻¹ ve 5.0×10^{-9} s⁻¹ arasında değişen hızlı deformasyon hızlı CRS deneyleri
- b) Bir yılı aşan süreli ödometre deneyleri: Numuneler önce 10 kPa'a sonra 24 saat süresince arazideki efektif düşey jeolojik gerilme değerine kadar yüklenmiş ve başlangıçta seçilmiş son gerilme değerine tek aşamada geçilmiştir. Deformasyonların başlangıç noktası olarak arazideki efektif düşey jeolojik gerilme yük kademesi noktası kabul edilmiştir.
- c) MSL deneyleri : Bu deneyler için gerilme arttırım oranı 0.5, yükleme süresi 24 saat, kullanılan numunelerin çapları 7.5 cm ve kalınlıkları da 2.0 cm olarak seçilmiştir.

Berthierville arazisi üzerine bir deney dolgusu oluşturulurken, inşaat süresi boyunca ve takip eden üç yıl süresince gözlemlenen davranış Kabbaj tarafından analiz edilmiş ve tanımlanmıştır. Zemin yapısı incelendiğinde 10-20 cm lik bir bitkisel toprağın ve yaklaşık 2 m'lik bir kum tabakasının altında, 3.2 m kalınlıkta yumuşak bir siltli gri kil tabakası olduğu ve bu kil tabakasının ince bir kum tabakasına kadar devam ettiği tespit edilmiş; kilin plastisite indisinin ve su muhtevasının derinlikle (7.2 m yükseklikte sırasıyla %27 ve %62 iken, 4.4 m yükseklikte sırasıyla %16 ve %47) azaldığı yapılan incelemeler neticesinde tespit edilmiştir. Bu arazi üzerine inşa edilen dolgunun boyutları ve 3.2 m kalınlıktaki kil tabakası gözönüne alındığında, konsolidasyonun bir boyutlu olacağı düşünülmüştür. Düzenek, biri

dolgunun merkez çizgisinin altında diğeri ise ilkinin 3.5 m uzağında yer alan iki grup derinlik oturma ölçerden ibarettir. Ayrıca düzenek 16 adet piyezometre de içermekte olduğu için yeraltı suyu durumu tespit edilmiş ve kil tabakasının içersindeki boşluk suyu basıncı belirlenmiştir. Derinlik oturma ölçer aletinin iki grubu, alt tabakaları 90 cm kalınlığında bölün 8 ölçer içermektedir. Kil tabakası ise 4 tabakaya ayrılmıştır.

Kabbaj (1988) gözlemlenen davranışı incelemiş ve (4 ve 5) ile (5 ve 6) oturma ölçerleri tarafından limitlendirilen iki alt tabaka için arazi $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisini belirlemiş ve belirlediği çeşitli grafikler üzerinde incelemeler yapmıştır. Bu grafiklerden yararlanarak Kabbaj, normal konsolide aralığında EOP (birincil konsolidasyonun sonu) eğrisinin sonunda elde edilen değer arazi deformasyonunun gerçek değerinin altında bir değer verdiğini ileri sürmüştür. (MSL)₂₄ deneyleri arazi eğrilerine daha yakın sonuçlar vermiş olmasına rağmen bu deney bile arazi deformasyonu için gerçek değer altında değerler göstermiştir. İlk olarak, çok düşük deformasyonlarda ve inşaatın sonuna yakın zaman dilimine denk gelen kısımlarda deformasyon hızında ani bir azalma, sonra ise 4-5 alt tabakası için yaklaşık %6 deformasyona kadar ve 5-6 tabakası için yaklaşık %2 deformasyona kadar deformasyon hızında bir sabit eğilim daha sonra ise bir azalma tespit edilmiştir. Yapılan değerlendirme sonucunda her iki alt tabakadaki deformasyon hızlarının aslında 10^{-8} s^{-1} ve $5.0 \times 10^{-10} \text{ s}^{-1}$ deformasyon hızları arasında bir aralıkta kaldığı sonucuna ulaşılmıştır. Yükleme periyodunun sonunda laboratuarda elde edilen deformasyon hızları, (MSL)₂₄ deneyleri için $7.6 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ ve $1.6 \times 10^{-7} \text{ s}^{-1}$, (MSL)_p deneyleri için $1.5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ ve $5 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ arasında olanlardan çok daha yüksek çıkmış; bunun sebebinin de deformasyon hızı etkilerinden kaynaklandığı düşünülmüş ve bu düşüncenin doğruluğunu sınamak için deneyler yapılmıştır. Bu amaçla 4-5 ve 5-6 tabakalarının merkez kısımlarından 3.23-3.48 m ve 4.27-4.57 m arasındaki derinliklerden numuneler alınmıştır. Her iki derinlikten alınmış numunelerden elde edilmiş sonuçlar birbirine çok benzer çıkmıştır. CRS deneyinin sonuçlarını gösteren grafikler incelendiğinde deformasyon hızı etkisi açıkça görülmüştür. Örneğin, %10 luk deformasyonda, $1.27 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 'lik deformasyon hızında efektif gerilme 84 kPa, $6.75 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ 'lik hız değerinde efektif gerilme 54 kPa olarak gözlemlenmiştir.

İlk olarak 39 kPa'lık bir başlangıç efektif gerilmeye eşit bir yükleme yapıldıktan sonra 39-135 kPa arasında değişen son gerilmelere yüklenmiş kripi deneylerinin sonuçları incelendiğinde; yüksek gerilmelerde $\epsilon_v - \log t$ eğrisinin oldukça iyi bir şekilde gözlemlenebilen bir ikinci kısım ile birlikte tipik bir S şeklinde olduğu gözlemlenmiş, 39-51 kPa'lı en düşük efektif gerilme değerlerinde yapılmış yüklemelerde ise $\epsilon_v - \log t$ eğrisinin eğiminin zamanla düzenli olarak arttığı görülmüş böylece iki tür eğilim incelenerek ikincil sıkışmanın etkisi fark edilmiş ve bu tipik davranış ikincil etkiler ile açıklanmıştır (Mesri ve Godlewski, 1977 ; Kabbaj 1985). Numunenin alt kısmında boşluk suyu basıncı ölçülmüş, 82kPa'a yüklenmiş deney gibi birkaç deneyin sonucunda 10^{-6} s^{-1} 'e yakın deformasyon hızlarında artık boşluk suyu basıncının önemsiz olduğu neticesine varılmıştır (yani 10^{-6} s^{-1} 'den küçük deformasyon hızları için aslında efektif gerilme sabittir ve uygulanan gerilmeye eşittir). Bu durum bilindiği için 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , ve 10^{-9} s^{-1} lik hız değerlerine ait efektif gerilme-deformasyon ilişkisini belirlemek mümkün olmuştur. Böylece, yazarlara göre, deformasyon hızının etkisi bir kez daha açıkça görülmüştür.

Kademeli yükleme deneylerinde, birincil konsolidasyonun bitiş süresi 1.5 saati geçmemiştir ve bu da birincil konsolidasyon ile 24 saat arasında olduğu hesaplanan ikincil deformasyon değerinin oldukça önem kazanmasına yol açmıştır. Deformasyon orijini olarak σ'_{v0} 'deki değer gözönüne alınmış ve %10, %7.5, %5.0 , %2.5 luk deformasyonlarda elde edilen efektif gerilme-deformasyon hızı değerleri grafiklerle elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda daha önceden Leroueil (1985 b) tarafından gösterilmiş olduğu gibi, belirli bir deformasyon değerinde, kullanılan deney tipinden bağımsız tek bir efektif gerilme-deformasyon hızı ilişkisi olduğu ve bunun $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ modeli ile temsil edildiği fikri desteklenmiştir. Bununla birlikte yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen değerler incelendiğinde düşük deformasyonlarda ve önkonsolidasyon basıncında, arazi ve laboratuvar davranışı arasında bir uyumsuzluk gözlemlenmiş bunun nedeni olarakta arazi şartlarını temsil eden bir deformasyon hızı değerinde, arazi efektif gerilmesinin laboratuvardaki değerinden daha büyük olması gerektiği düşünülmüş ve bu düşünceden yola çıkarak düşük deformasyonlarda laboratuvar ödometre deneylerinden elde edilen $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin arazi davranışını temsil etmediği, deformasyonun artmasıyla ise arazi ve laboratuvar

şartlarının daha çok benzeştiği görüşüne ulaşılmıştır (örneğin; %10 'luk deformasyon değerinde arazi ve laboratuvar şartları arasındaki uyum mükemmeldir).

Çalışmaların diğer kısmını Saint-Alban ve Vasby dolgusu ile yapılan incelemeler oluşturmuştur. Kil zemin; 12.5 m kalınlıkta, uzayıp giden yumuşak gri bir kil tabakasıdır. Kil zemin, derinliğin artmasıyla daha siltli bir görünüm sergilemektedir. Su muhtevası derinlikle düzenli olarak olmasa da azalmaktadır. $(MSL)_{24}$ deneyinden elde edilen önkonsolidasyon basıncı değeri 2.2 m'de 42 kPa'dan, 6 m'de 100kPa'a artmaktadır. Bir inklinometre yardımıyla, oluşabilecek maksimum yanal yer değiştirmenin merkez çizgi altındaki düşey şekil değiştirmenin %2'sinden az olduğu gözlemlenmiş ve bu nedenle de bir boyutlu bir sıkışma varmış gibi düşünülmüştür. 3.1 m ve 4.9 m derinlikteki oturma ölçerler tarafından sınırlandırılmış alt tabaka, sabit su muhtevalı homojen bir tabaka görüntüsüne sahiptir. Kabbaj (1988) efektif gerilme değerini tabakanın ortası için hesaplayıp, bu efektif gerilmeyi ortalama deformasyonla ilişkilendirerek bu tabakanın efektif gerilme-deformasyon eğrisini belirlemiş ve $(MSL)_{24}$ ile $(MSL)_p$ deneylerinden elde edilen eğrilerle bir karşılaştırma yapmıştır. Sonuçlar Berthierville'de gözlemlenen neticelere çok yakın çıkmıştır. Ayrıca bir not olarak, arazideki deformasyon hızının inşaanın bitiminden hemen sonra minimum bir değerde olduğu, sonra bir miktar arttığı, daha sonra azalmaya başladığı ve neticede de %4 'lük bir deformasyonda 1.3×10^{-9} s⁻¹'lik bir değerden %11'lik bir deformasyonda 1.6×10^{-10} 'luk bir değere kadar azaldığı gösterilmiştir. Elde edilen bu hız değerleri, $(MSL)_{24}$ ile $(MSL)_p$ deneylerinden elde edilen hız değerlerinden çok daha küçüktür. Saint- Alban kili üzerinde, deformasyon hızı etkisinin detaylı olarak araştırılması için, incelemeye tabi tutulan tabakanın ortalarından tahminen 3.6-4.0 m arasındaki bir derinlikten alınan numuneler üzerinde 8 CRS deneyi ve bu deneylere ek olarak 420 gün bekleme süreli, nihai gerilmeleri 42 ile 174 kPa arasında değişen 8 krip deneyi de gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler neticesinde, arazi önkonsolidasyon basıncının laboratuvar önkonsolidasyon basıncından çok daha yüksek olduğu öte yandan ise %2.5 ile %10 arasındaki deformasyon değerlerinde mükemmel bir uyum olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Benzer sonuçlar Vasby kili ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda da kaydedilmiştir.

Yapılan bütün çalışmalar değerlendirildiğinde, %7.5, %10 gibi büyük deformasyonlarda laboratuvar ve arazi davranışı arasında iyi bir uyum bulunduğu, bunun da laboratuvar ortamında oluşturulmuş gerilme-deformasyon- deformasyon hızı modelinin (en azından) büyük deformasyonlarda arazide de geçerli olduğu neticesine varılmıştır. Diğer yandan, küçük deformasyonlarda özellikle önkonsolidasyon basıncında bir uyumsuzluk gözlemlenmiş ayrıca arazi efektif gerilme değerinin (veya arazi önkonsolidasyon basıncı) aynı deformasyon hızına karşılık gelen laboratuvar efektif gerilmesinden (veya laboratuvar önkonsolidasyon basıncı) daha büyük olduğu görülmüş ve özellikle iki unsurun önemli olduğu gözlemlenmiştir: önkonsolidasyon basıncı ve birincil konsolidasyon sonundaki deformasyon. Morin (1983) ve Crook (1984) standart ödometre deneylerinden (MSL_{24}) elde ettiği önkonsolidasyon basıncı değerleri ile bir dolgu altında elde edilen önkonsolidasyon basıncı değerlerini karşılaştırmış ve ileri derecede aşırı konsolide killere hariç iyi bir uyum olduğunu görmüş ve arazi önkonsolidasyon basıncı değerini tahmin etmek için bir düzeltme faktörü (α_1) önermiştir.

$$\text{arazi } \sigma'_p = \alpha_1 \sigma'_{p24}$$

AKO (aşırı konsolidasyon oranı) <1.2 için $\alpha_1 = 1.1$

1.2 < AKO < 2.5 için $\alpha_1 = 1.0$

2.5 < AKO < 4.5 için $\alpha_1 = 0.9$

(AKO, MSL_{24} ödometre deneylerinden çıkartılabilir.)

(3.11)

Yine bu çalışmada görülmüştür ki ; konvensiyonel bir ödometre deneyinden veya 10^{-7} s^{-1} lik bir hız değerinde gerçekleştirilen bir CRS deneyinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrisi çizildiğinde, aşırı konsolide aralığında modülün arazi şartlarında olanından çok daha yüksek ve önkonsolidasyon basıncının da daha önceden de düşünülmüş olduğu gibi yaklaşık aynı olduğu ve de numune üzerine uygulanan son gerilme değeri altında, arazide birincil konsolidasyon sonundaki deformasyon hızına karşılık gelen eğri ve (MSL_{24}) deneyine karşılık gelen 10^{-7} s^{-1} eğrisi arasında bir fark ($\Delta \epsilon_v$) bulunduğu gözlemlenmiştir. Birincil konsolidasyonun sonuna yaklaşılırken eğer zeminin permeabilitesi sabit olarak düşünülürse ve izokronlar parabolikse; deformasyon hızı yaklaşık olarak, 2H kalınlığındaki bir tabakanın ortasındaki artık boşluk suyu basıncı ile ilişkilidir.

$$\frac{\partial \varepsilon_v}{\partial t} = \frac{k}{\gamma_w} \frac{2u'_b}{H^2} \quad (3.12)$$

Birincil konsolidasyonun sonunda, tabakanın ortasındaki artık boşluk suyu basıncını tahmin etmek çok zordur. Bununla birlikte, Terzaghi'nin teorisinde, %95'lik bir ortalama konsolidasyon derecesi için başlangıç boşluk suyu basıncının %8'ine eşit bir artık boşluk suyu basıncı değeri elde edilmiş, bu nedenle de birincil konsolidasyon sonu için bu değer karakteristik olarak kullanıldığında deformasyon hızı (birincil konsolidasyon sonundaki) için aşağıdaki eşitlik önerilmiştir.

$$\dot{\varepsilon}_{EOP} = \frac{0.16ku'_0}{\gamma_w H^2} \quad (3.13)$$

burada, u'_0 başlangıç artık boşluk suyu basıncıdır.

Eğer normal konsolide aralığında, kilin sıkışma indisi C_c ile gösterilirse nihai efektif gerilme altında oluşan artık deformasyon aşağıdaki formül ile bulunabilmiştir.

$$\Delta \varepsilon_s = \frac{\Delta e_s}{1 + e_0} = \frac{C_c}{1 + e_0} (\log \sigma'_{10^{-7}} - \log \sigma'_{i_{EOP}}) \quad (3.14)$$

Ayrıca yazarlar yaptıkları çalışmalar sonucunda, 10^{-7} s^{-1} lik hız değerinden daha düşük hız değerleri için deformasyon hızının logaritması ile efektif gerilmenin logaritması arasında lineer bir ilişki olduğunu görmüşler ve aşağıdaki gibi formüle etmişlerdir.

$$\Delta \varepsilon_s = \frac{C_c}{1 + e_0} \left[\log 10^{-7} - \log \frac{0.16ku'_0}{\gamma_w H^2} \right] \quad (3.15)$$

Sonuç olarak Leroueil (1985 b) bir boyutlu sıkışma şartlarının geçerli olduğu şartlarda doğal killerin küçük numunelerinin davranışının tekil bir $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi tarafından kontrol

edildiğini bulmuştur. Kabbaj (1988) birincil konsolidasyon sonunda elde edilen ödometre eğrilerinin arazideki kil davranışını temsil etmediğini göstermiştir. Dolayısıyla laboratuvar şartlarında elde edilmiş $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ modelinin araziye uygulanabilirliğinin araştırılması gerekmiştir. Bu amaçla Berthierville, Saint-Alban ve Vasby'den alınan numuneler üzerinde uzun süreli CRS ve krip ödometre deneyleri gerçekleştirilmiştir. Numuneler $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisi belirlenmiş zemin tabakasının ortasından alınmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, büyük deformasyonlarda kilin yapısı hem laboratuvar da hem de arazide bozulduğu zaman, laboratuvar da elde edilen $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisi ile arazideki davranış arasında çok iyi bir uyum gözlemlenmiş ve birincil konsolidasyon sonunda elde edilen deformasyon değerinin, aynı gerilme altında konvensiyonel ödometre deneylerinden elde edilen deformasyon değerinden daha büyük olduğu; küçük deformasyonlarda ise arazi efektif gerilmesinin (veya önkonsolidasyon basıncı) aynı deformasyon hızında, laboratuvar da elde edilen efektif gerilmeden (veya önkonsolidasyon basıncı) daha büyük olduğu görülmüştür. Dolayısıyla laboratuvar da kurulan $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ modelinin arazideki davranış için direkt olarak kullanılamayacağı ve önkonsolidasyon basıncının da ampirik eşitliklerden yararlanarak bulunması gerektiği sonucuna varılmıştır.

İnorganik killer için yapılan araştırmaların yanısıra organik killer için de aynı konuyla ilgili olarak çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmaların en dikkat çekicilerinden birisi Edil vd. (1997) tarafından yapılmış olanıdır. Edil bu çalışmasında turba zeminlerle ilgilenmiştir. Turba düşük taşıma kapasiteli, yüksek sıkışabilirlikli ve yüksek su muhtevasına sahip bir organik zemin türüdür. Bu elverişsiz mühendislik şartlarını iyileştirebilmek için önyükleme, taş kolon, kazıklı temel uygulamaları gibi çeşitli mühendislik teknikleri geliştirilmiştir (eğer turba tabakası derin ve genişse, turbanın mühendislik özelliklerini iyileştirmek için, ekonomik olması açısından önyükleme metodu tercih edilmelidir).

1923'te Terzaghi teorisinin yayınlanmasından beri sıkışma konusu düşünüldüğünde temel ilişki olarak boşluk oranı-efektif gerilme ilişkisi gözönüne alınmıştır ve bu ilişkiyi modellemek için çeşitli ampirik eşitlikler önerilmiştir (Hardin, 1989; Liu ve Znidarcic, 1991). Bu öneriler arasından en çok, boşluk oranı ile efektif gerilmenin logaritması arasında lineer bir ilişki olduğunu ileri süren fikir benimsenmişse de bu ampirik eşitliğin iki önemli eksikliğe

sahip olduğu görülmüştür. Bu eksikliklerden ilki; $\sigma'_v = 0$ için boşluk oranının sonsuz çıkması, ikincisi ise efektif gerilmenin çok büyük değerlerinde boşluk oranının negatif bir değer vereceği gibi görünmesidir. Hardin (1989) boşluk oranı-efektif gerilme arasındaki ilişkiyi belirleyebilmek amacıyla bir model önermiştir.

$$\frac{1}{e} = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{S_{1-D}} \left(\frac{\sigma'}{p_a} \right)^p \quad (3.16)$$

burada S_{1-D} boyutsuz bir katsayı, p bir sabit, p_a atmosferik basınçtır.

Hardin'in modeli, efektif gerilmenin $\sigma' = 0$ veya $\sigma' = \infty$ 'a eşit olması durumları dahil geniş bir aralıkta kullanılabilmiş ve boşluk oranı ile efektif gerilmenin logaritması arasındaki lineer ilişkide gözlemlenen eksiklikleri gidermiştir. Liu ve Znidarcic (1991) tarafından da gösterildiği gibi, Hardin'in modeli ile tahmin edilen boşluk oranı $e - \log \sigma'$ efektif gerilme eğrilerinin, killerin ve turbaların değişik tipleri için uygun olduğu ileri sürülmüştür. Terzaghi'nin klasik yaklaşımında, zaman etkisi yok varsayılarak, tahmini arazi efektif gerilme-boşluk oranı ilişkisi laboratuvar ödometre deneylerinden direkt olarak bulunmuştur. Bununla birlikte, bir çok laboratuvar deney sonuçları ve arazilerden elde edilmiş değerler göstermiştir ki, zemin sıkışması artık boşluk suyu basıncının sönümlenmesinin tamamlanmasıyla durmamakta, devam etmektedir. Boşluk suyu basıncının sönümlenmesinden sonra sabit efektif gerilme altında meydana gelen sıkışmaya ikincil sıkışma adı verilmiştir.

Edil ve Dhowian (1979) turba zeminlerin deformasyon-logt eğrisinin, 4 kısımdan oluşan bir deformasyon gösterdiği sonucuna ulaşmışlardır (ani deformasyon, birincil deformasyon, ikincil deformasyon ve üçüncül deformasyon). Araştırmacılar, yaptıkları incelemelerde ani deformasyonun yük uygulandıktan sonra hemen meydana geldiğini, yük ilave edildikçe ani oturma miktarının azaldığını, tersbasınç uygulanmadan yapılan deneylerde tespit edilen ani deformasyon değerinin tersbasınç uygulanarak yapılan deneylerde elde edilen değerlerden daha büyük olduğunu gözlemlemişler ve de oluşan ani deformasyon değerinin büyük bir

kısımının turba numunesinin boşluklarında hapis kalmış hava nedeniyle olduğunu düşünmüşlerdir. Araştırmacılar elde ettikleri bir çok sıkışma eğrisinde, kimi zaman sadece birkaç dakika süren birincil konsolidasyonu tam bir netlikle görememişler ve artık boşluk suyu basıncının sönmelenmesi için gerekli olan zamanın hidrolik iletkenlik ve sıkışabilirliğinin azalması nedeniyle yük artım kademelerinin ilerlemesiyle birlikte arttığı fikrini benimsemişlerdir. Kil zeminlerde yapılan çalışmalardan, ikincil sıkışmanın sabit bir hıza sahipmiş gibi görüldüğü bilinmekle birlikte, turbalarda, ikincil sıkışmanın hızının uzun bir süre sonunda artmaya başladığı gözlemlenmiş ve bu yeni eğimli eğrinin üçüncül sıkışmayı gösterdiği düşünülmüştür. Candler ve Chartre (1988)'de 3 deneme dolgusu altında yer alan turba yatakları üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda üçüncül sıkışmayı gözlemlemişlerdir.

Edil'in turba zeminlerin davranışını modellemek için yaptığı çalışmasında kullandığı zeminin su muhtevası = %550, organik madde miktarı = %93 ve başlangıç boşluk oranı = 10.5, düşey jeolojik efektif gerilmesi = 25 kPa ve konvensiyonel konsolidasyon deney sonuçlarından bulunan önkonsolidasyon basıncı = 40 kPa'dır. Birincil konsolidasyonun bitiş süresini öğrenebilmek maksadıyla, bütün deneyler sabit bir ring içerisinde yapılmış ve turba numunesinin alt kısmındaki artık boşluk suyu basıncı bir basınç ölçer vasıtasıyla 0.7 kPa'lık bir yanılma payı ile tespit edilmiş ve davranış üzerinde numune kalınlığının etkisini gözlemleyebilmek için, iki farklı boyutta numune kullanılmıştır. Ayrıca zamanın, gerilme arttırımının, gerilme seviyelerinin ve gerilme izlerinin etkilerini çözebilmek için deney programı değişik yükleme takvimli olarak hazırlanmış ve uygulanmıştır. Bu takvim şu şekilde düzenlenmiştir:

- 1) Sabit yük arttırımlı: Her bir adımdaki gerilme arttırımı sabit tutulmuştur.
- 2) Sabit yük arttırım oranlı : Uygulanan gerilme arttırımının mevcut gerilmeye oranı sabit tutulmuştur.
- 3) Tek yük arttırımlı: Gerilme, önkonsolidasyon basıncına kadar adım adım yüklenmiş ve sonra nihai gerilme bir kerede uygulanmıştır.

Turba sıkışmasının fiziksel mekanizmasının karışık olması nedeniyle matematiksel bir çözüm elde etmekte güçlüklerle karşılaşmış ve bu nedenle de turbanın bir boyutlu sıkışma davranışını modellemek için iki ampirik eşitlik benimsenmiştir. Bu modelin temel varsayımı, turbanın bir boyutlu sıkışma davranışı için tekil bir efektif gerilme-boşluk oranı-boşluk oranı hızı ilişkisi olduğudur (ki bu model Suklje (1957), Battelino (1973), ve Leroueil (1985, 1988) tarafından killere uygulanmıştır). İlk olarak, efektif gerilme-boşluk oranı ilişkisini belirlemekte Hardin'in (1989) modeli benimsenmiştir. Yalnız bu modelde bilinmeye ihtiyaç duyulan 3 parametre (S_{1-D} , e_0 , p) konvensiyonel konsolidasyon deneylerinden elde edilememektedir. Bu nedenle Hardin (1989) pratik olarak örneğin p parametresi için kohezif zeminlerde 0.35, montmorillonit içeren zeminlerde ise 0.5 değerlerini önermiştir. Liu ve Znidarcic (1991) en küçük kareler yöntemini uygulayarak elde ettikleri model parametreleri üzerinde yaptıkları çalışmalar sonucunda, p parametresinin, turba içeren değişik zemin türleri için 0.2 ile 1.5 arasında değiştiğini ileri sürmüşlerdir. Yazarlar ise yaptıkları çalışmada basitlik olması açısından $p = 1$ değerini kabul etmişlerdir. Eşitlik (3.16)'de p_s 'nin bulunması boyutsuz bir form oluşturulmasını gerektirmiş ve de geoteknik mühendisliğinde önkonsolidasyon basıncı genellikle temel zemin parametresi olarak kullanıldığı için p_s yerine kullanılmak üzere önkonsolidasyon basıncı seçilmiştir. Ayrıca numunenin örselenmesi nedeniyle oluşabilecek değişiklikleri giderebilmek amacıyla başlangıç boşluk oranı normalize edilerek kullanılmıştır. Dolayısıyla eşitlik (3.16) şu şekile dönüştürülmüştür.

$$\frac{e_i}{e} = \frac{1}{e_0} + \frac{1}{S_{1-D}} \left(\frac{\sigma'}{\sigma'_p} \right) \quad (3.17)$$

Eşitlik (3.17)'in çıkartılmasından sonra, tekil bir $\sigma'_p - e - \dot{e}$ modelini kurabilmek için efektif gerilme-boşluk oranı değişim hızı veya boşluk oranı-boşluk oranı değişim hızı arasındaki ilişkiyi gösteren bir eşitliğe daha ihtiyaç duyulmuştur. Crawford (1964) herbir yük adımı için değişik zaman sürelerinin uygulandığı bir kaç kademeli yükleme deneyi gerçekleştirmiş ve sonuçta yük arttırımının süresi arttıkça önkonsolidasyon basıncının azaldığı sonucuna varmıştır. Aynı zamanda, CRS deneylerinden elde edilen sonuçlar, deformasyon hızı

artarken önkonsolidasyon basıncının arttığını göstermiştir (Crawford, 1965; Vaid, 1979; Leroueil, 1985). Killer için, önkonsolidasyon basıncını deformasyon hızı ile ilişkilendirebilmek için çeşitli ampirik eşitlikler önerilmiştir. Turbalar için ise değişik boşluk oranı değişim hızlarında olabilecek farklı önkonsolidasyon basıncı değerleri elde olmadığı için boşluk oranı değişim hızı ile önkonsolidasyon basıncı arasında aşağıdaki eşitlik ile verilen lineer bir ilişki kurulmuştur.

$$\ln(\dot{\epsilon}) = a + b \ln(\sigma'_p) \quad (3.18)$$

a ve b sabit değerlerdir. Sonuç olarak turbanın bir boyutlu sıkışması için ampirik bir efektif gerilme-boşluk oranı-boşluk oranı hızı eşitliği, (3.17) ve (3.18) eşitlikleri birleştirilerek, (3.19) eşitliğinde verildiği şekilde elde edilmiştir.

$$\ln(\dot{\epsilon}) = a + b \ln\left(\frac{\sigma'}{S_{1-D}}\right) - B \ln\left(\frac{e_i}{e} - \frac{1}{e_0}\right) \quad (3.19)$$

Sabit gerilme deneylerinde, artık boşluk suyu basıncının sönmelenmesinden sonra, efektif gerilme sabit olacağı için (3.19) eşitliği böyle bir hal için aşağıdaki forma dönüştürülebilmektedir.

$$\ln(\dot{\epsilon}) = \alpha + \beta \ln\left(\frac{e_i}{e} - \gamma\right) \quad (3.20)$$

burada, $\alpha = a + b \ln(\sigma'/S_{1-D})$, $\beta = -b$, $\gamma = 1/e_0$ 'dır. Bu üç model parametresi (α, β, γ) grafik metodlar kullanılarak kolaylıkla elde edilebilir.

Turba konsolidasyonunun tamamını tahmin etmek için birincil konsolidasyon süresince efektif gerilme değişiminin gözönüne alınması gerektiği düşünülmüştür. Eğer zemin doymun hale getirilmişse ve danelerin sıkışmadığı kabulü yapılmışsa, bilindiği gibi toplam hacim değişimi suyun dışarı akması ile oluşmaktadır. Bununla birlikte deneysel sonuçlar göstermiştir ki, zemin, artık boşluk suyu basıncının sönmelenmesinden sonra da sıkışmasını

sürdürmüştür. Bu nedenle zemin sıkışmasının sadece hidrodinamik etkiler (boşluk suyu hareketi) tarafından kontrol edilemediği düşüncesi ortaya çıkmıştır. Berry ve Poskitt (1972) yaptıkları incelemeler sonucunda, zemin konsolidasyonunun ilk aşamalarda artık boşluk suyu basıncının sönümlenmesi, daha sonraki aşamalarda ise zemin kribi tarafından kontrol edildiğine işaret etmişlerdir. Birincil konsolidasyon sırasında boşluk oranı değişim hızı en iyi şekilde Gibson, England ve Hussey'in (1967) sonlu deformasyon konsolidasyon teorisi ile tanımlanmıştır:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{K(e)}{\gamma_w} \frac{\partial \sigma'}{\partial e} \frac{\partial e}{\partial z} \right) = - \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (3.21)$$

burada, $K(e)$ boşluk oranının hidrolik iletkenlik fonksiyonu, γ_w boşluk suyunun birim hacim ağırlığı, z zamana bağlı koordinattır.

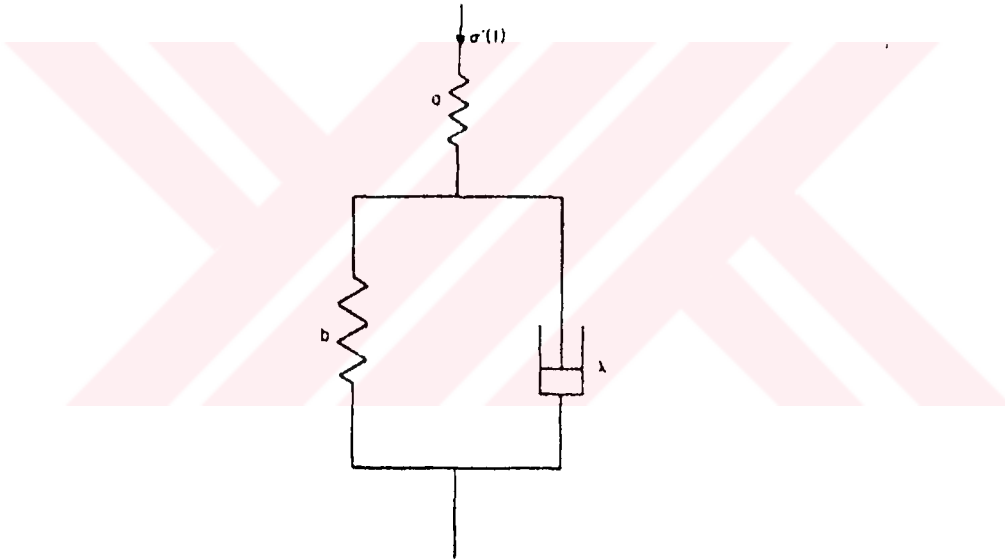
Yazarlar tarafından yapılan çalışmalar sırasında ise hidrolik iletkenliğin logaritması ile boşluk oranı arasındaki lineer ilişki benimsenmiştir. Böylece, (3.20) ve (3.21) eşitliklerini çözerek birincil konsolidasyon sırasında boşluk oranı değişimini tahmin etmek için bir nümerik program geliştirilmiştir. Birincil konsolidasyondan sonra ise boşluk oranı-zaman eğrisini tahmin etmek için sadece eşitlik (3.20) kullanılmıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen sonuçlar şu şekilde sıralanmıştır.

- 1) Bir boyutlu konsolidasyon deneylerinden elde edilen laboratuvar sonuçları göstermiştir ki, yükün arttırıldığı şartların geçerli olduğu hallerde, turbalar için tekil bir efektif gerilme-boşluk oranı-boşluk oranı hızı ilişkisinin geçerli olduğu ileri sürülmüştür.
- 2) Turba sıkışma eğrilerinin, birincil konsolidasyon tamamlandıktan sonra uzun süreli bir sıkışma gösterdiği ve $e - \log t$ eğrilerinin şeklinin yük artım oranından etkilendiği görülmüştür. Dolayısıyla önerilen model değişik şekilleri yansıtmıştır.
- 3) Önerilen bir boyutlu konsolidasyon modeli ampirik eşitliklere dayanılarak oluşturulmasına rağmen tahmin edilmiş sıkışma eğrileri Middleton turbası için elde edilmiş deneysel

sonuçlarla iyi bir uyum göstermiştir. En önemlisi, kriş sıkışması için sadece 3 model parametresine ihtiyaç duyulmuştur ve bu parametreleri de konvensiyonel arttırımlı yüklemeli konsolidasyon deneylerden elde edilen deformasyon-zaman eğrileri üzerinden, grafik yöntemler yardımıyla hesap edilmiştir.

4) Kalın numuneler üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar, model parametrelerinin numune boyutundan bağımsız olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Önerilen modele göre simulasyon sıkışma davranışı göstermiştir ki drenaj mesafesi artarken, birincil konsolidasyonun sonundaki boşluk oranı azalmıştır.

Edil (1984) tarafından daha evvel yapılmış bir başka çalışma ise daha değişik bir programı kapsamıştır.



Şekil 3.11 İkincil sıkışma için reolojik model

Edil'in (1984) bu çalışmasında Şekil 3.11'de gösterilen Gibson-Lo (1961) tarafından önerilmiş ve turba sıkışmasını tahmin etmede tatmin edici sonuçlar sergilemiş bir reolojik model incelenmiştir. Bu modele göre çok uzun zaman sonra oluşabilecek deformasyon değeri şöyle hesaplanabilir:

$$\varepsilon(t) = \Delta\sigma \left[a + b(1 - e^{-(\lambda/b)t}) \right] \quad (3.22)$$

burada $\varepsilon(t)$ zamana bağılı deformasyon, $\Delta\sigma$ gerilme artımı, a birincil sıkışabilirlik parametresi, b ikincil sıkışabilirlik parametresi, λ/b ikincil sıkışmanın hız faktörü parametresidir. Ampirik parametreleri (a , b ve λ) belirlemek için Edil ve Dhowian (1979) tarafından bir öneri de bulunulmuştur. Buna göre ilk olarak $t - \log \dot{\varepsilon}_v$ grafiği çizilmelidir. Bu grafik (eğer zemin modelde yapılan temel varsayımlara uygun davranıyorsa) ikincil sıkışmaya karşılık gelen o zaman aralığında düz bir çizgi eğilimi göstermelidir. Bu düz kısımdan geçirilecek en uygun doğrunun eğimi ve y eksenini kestiği noktadan yararlanarak a , b ve λ nın değerleri bulunabilir.

$$\text{Eğrinin eğimi} = -0.434\lambda / b \quad (3.23)$$

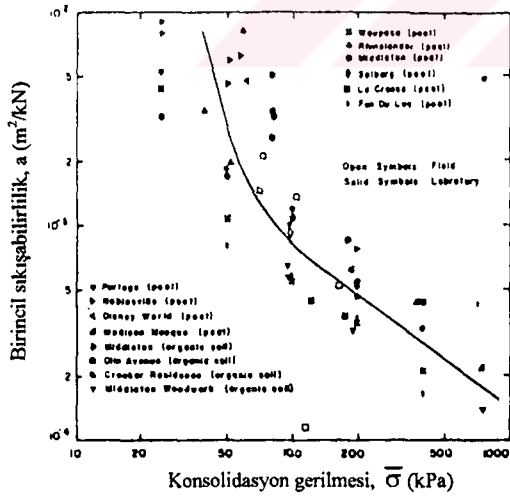
$$\text{Eğrinin kesişimi} = \log(\Delta\sigma\lambda) \quad (3.24)$$

$$a = \frac{\varepsilon(t_k)}{\Delta\sigma} - b + be^{-(\lambda/b)t_k} \quad (3.25)$$

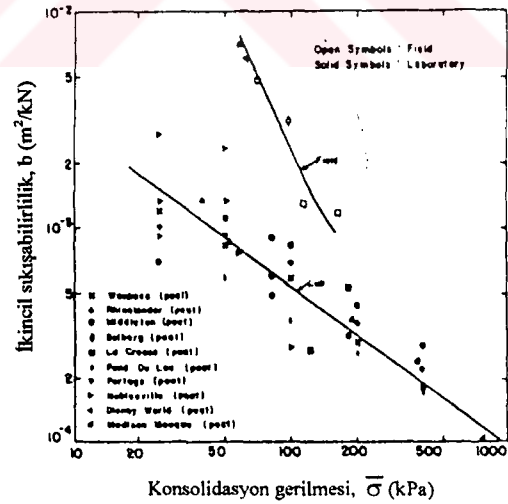
burada t_k sıkışmanın en son zaman okumasıdır. Edil vd. (1984) tarafından benimsenen yaklaşım turba zeminlerin sıkışmasını incelemek için kullanılan bir yaklaşımdır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sırasında modelin turbalara uygulanabilmesi için daha önceden de belirtildiği gibi ilk olarak $t - \log \dot{\varepsilon}_v$ grafiği çizilmiştir. Bu grafiklerin herbirinde eğrilerin son kısımları için lineerlik elde edilmiş ve buna dayanılarak teorisinin uygulanabilir olduğu düşünülmüş ve model yardımıyla uydurulan eğriler arazi ve laboratuvar dataları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilmiş deneysel datalarda gözlemlenen iyi uyum göstermiştir ki uzun süreli sıkışma eğrisi bu reolojik model vasıtasıyla iyi bir şekilde temsil edilmiştir. Yalnız bu uyum daha çok uzun süreli sıkışmada gözlemlenmiştir. Bu yüzden ölçülmüş sıkışma ile buna karşılık gelen teorik uygunluk arasında başlangıç aşamalarında bir benzeşmezlik olduğu da görülmüştür.

İnşaat mühendisliğinde geçerli bir yöntem olarak kullanılan önyüklemeye için, ilk olarak planlanan yapı yükünün altında gerçekleşmesi beklenen oturmanın önemli bir miktarını elimine etmek maksadıyla, ihtiyaç duyulan sürşarjın yüklemelerinin ve sürelerinin

tespit edilmesi gereklidir. Bunun içinde, değişik sürşarj seviyeleri ve planlanan yapı yükü düşünülerek oluşması muhtemel oturma-zaman veya düşey deformasyon-zaman ilişkisinin tespit edilmesi gerekir. Bu ilişkiler laboratuvar ve arazi modelinin kullanıldığı deneylere dayanılarak tespit edilir. İlk olarak araştırmacılar deneylerden elde edilen a , b ve λ/b ampirik parametrelerinin, gerilme artımının büyüklüğü, final gerilme seviyesinin büyüklüğü (başlangıçtaki gerilme+gerilme artımı) ve ortalama deformasyon hızı ile kesin bağımlılık içinde olduklarını tespit etmişlerdir (Gerilmelerdeki nispeten küçük farklılıklar için parametreler önemli ölçüde değişmez ve gerilme artımının büyüklüğünün etkisi direkt olarak eşitlik (3.22)'de $\Delta\sigma$ 'yı ayarlayarak hesaplanmıştır). Gerilme seviyesi ve deformasyon hızı üzerinde model parametrelerinin bağımlılığını incelemek için 16 adet turba ve organik zemin yataklarından elde edilmiş laboratuvar ve arazi oturma-zaman eğrilerinin hepsinden hesaplanmış model parametre değerleri karşılaştırılmıştır (Bu karşılaştırma sırasında turbalar ve organik zeminler sınıflandırmalarda birbirlerinden ayırd edilmişlerdir). Yapılan incelemeler sonunda gerilme seviyesi (final konsolidasyon gerilmesi) üzerinde, birincil sıkışabilirliğin genel bir bağımlılığının var olduğu tespit edilmiştir. Gerilmelerin karşılaştırılabilir seviyeleri için laboratuvar deney sonuçları, zemine ait özelliklerin değişim aralığında, arazi birincil sıkışmasının (a) mantıklı, makul bir tahminini vermiştir (Şekil 3.12).

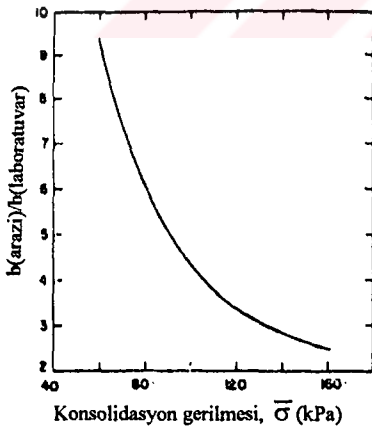


Şekil 3.12 Birincil sıkışabilirlik parametresi-konsolidasyon gerilmesi grafiği.

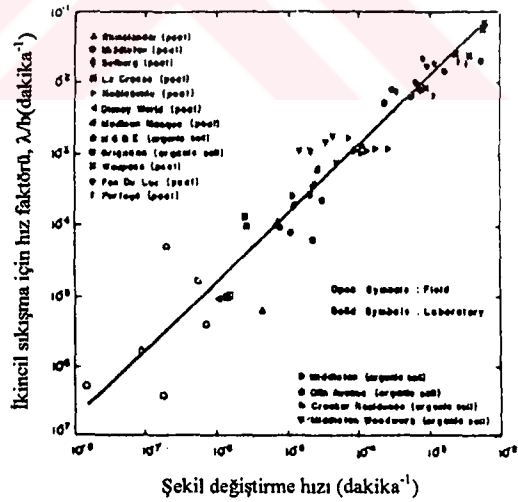


Şekil 3.13 İkincil sıkışabilirlik parametresi-konsolidasyon gerilmesi grafiği.

Hem turba hem de organik zeminlerden elde edilen datalar göstermiştir ki zeminin her iki tipi için büyüklük bakımından primer sıkışma karşılaştırılabilir. Data noktaları boyunca uydurulan ortalama eğri belirli bir gerilme seviyesinde ölçülmüş primer sıkışabilirliğin değerini (a 'yı) ayarlama, bir düzeltme eğrisi olarak kullanılmıştır. Araştırmacılar b 'yi (ikincil sıkışabilirlik faktörü) gerilme seviyesinin bir fonksiyonu olarak tanımlamışlardır. Turbalar için elde edilen değerlere bakıldığında ikincil sıkışabilirlik faktörünün arazi ve laboratuvar değerleri arasındaki ilişkisinin, a için olduğu gibi kadar iyi olmadığını görmüşlerdir. Genellikle b 'nin arazi değerleri belirli bir gerilme seviyesinde, aynı turba için, laboratuvardaki değerinden daha yüksek çıkmıştır (Şekil 3.13). Laboratuvar ve arazi değerleri arasındaki aykırılık için Şekil 3.14, gerilme seviyeleri farklılıkları için ise Şekil 3.15'te çizilmiş ortalama eğrinin kullanımı önerilmiştir. Lo vd. (1976) göstermiştir ki, ikincil sıkışmanın hız faktörü (λ/b) inorganik killer için zamanla daha güçlüce nonlineerdir. Bu faktör, Edil tarafından analiz edilen turbalar ve organik zeminler için laboratuvar ve arazi değerleri arasında basit bir ilişki göstermemiştir. Bu durum, ikincil sıkışma sırasında zeminin yapısal viskozitesini temsil eden λ değerinin olası nonlineerliliği karşısında zaten umulmuştur.



Şekil 3.14 İkincil sıkışabilirlik parametresinin laboratuvar değerleri için düzeltme eğrisi.



Şekil 3.15 İkincil sıkışabilirlik hız faktörünün şekil değiştirme hızıyla değişim eğrisi.

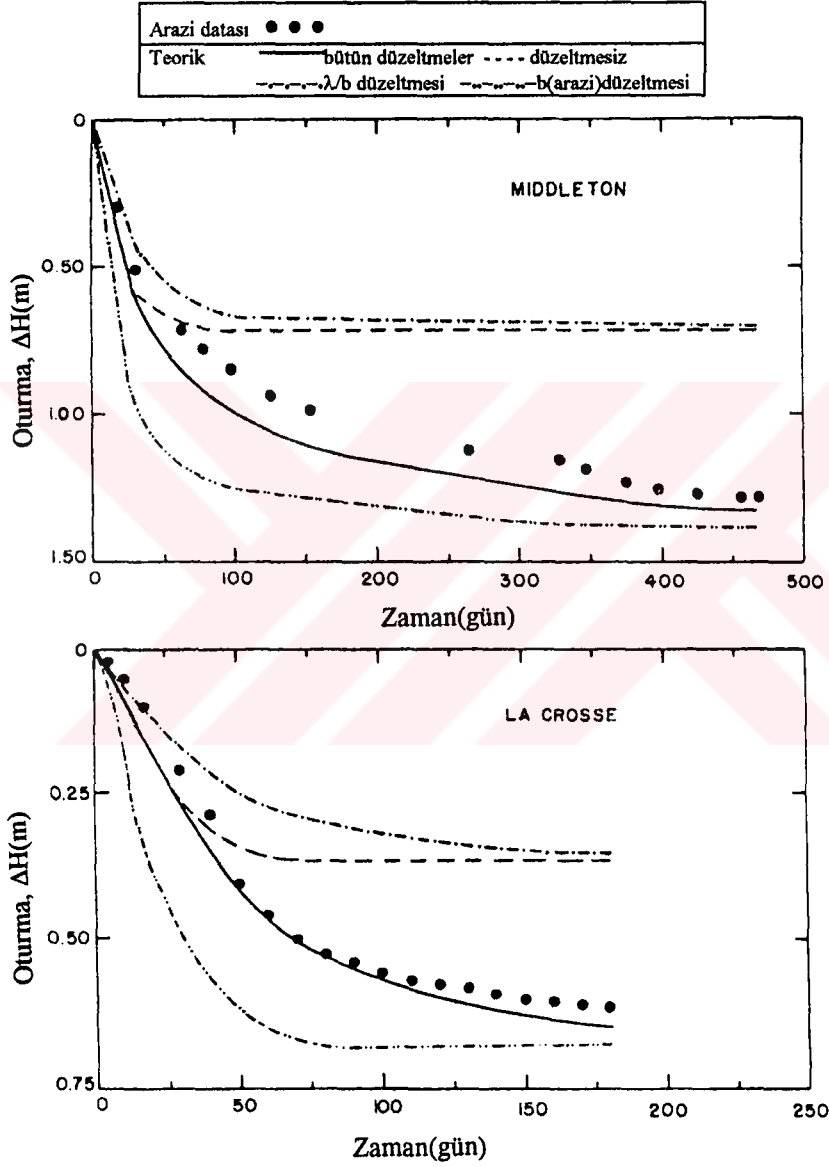
Şekil 3.15 organik zeminler ve turbalar için ikincil sıkışabilirliğin hız faktörünü ortalama deformasyon hızının bir faktörü olarak vermektedir. λ / b değerleri arazide ve laboratuarda oldukça değişebilir olarak görünmektedir.

Aslında Edil tarafından yapılan bu çalışmada ve buna benzer olarak gerçekleştirilen diğer araştırmalarda istenen, zemin yataklarından alınmış numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneylerine bakılarak arazi davranışı hakkında bir fikir sahibi olunmasıdır. Fakat turba yataklarının oturma zaman davranışını tahmin etmekte kullanılan bu yaklaşımı engelleyen iki zorluk vardır. İlk zorluk örselenmemiş bir zemin numunesi elde edebilmek ve laboratuvardaki şartları arazideki duruma birebir uydurulamamakta karşılaşılan zorluklardır. Bu problem, geniş bir araştırma yapmakla ve arazide model deneyleri gerçekleştirmek suretiyle minimize edilebilir. İkinci zorluk (ki Edil'in yaptığı çalışmanın konusu da budur) laboratuarda saptanan parametreleri araziye uyarlamaktır.

Gerilme seviyesinin etkileri, çoğunlukla laboratuvar deneylerini arazide tahmin edilen gerilme artımlarında ve o gerilme seviyeleri değerlerinde gerçekleştirmekle elimine edilebilir. Bu makalede böyle bir deneyde bir adım ileri gitmek ve uygulanan gerilme artırımlarını ikiye çıkaran konvensiyonel konsolidasyon deneyi yükleme takviminden çok, arazide olması beklenen gerilmeleri uygulayarak laboratuvar deneylerini gerçekleştirmek önerilmiştir. Bu amaçla başlangıç efektif jeolojik gerilmenin ve arazideki gerilme artırımının beklenen aralığı saptanarak yeterli sayıdaki turba numunesi, bu aralık içersine düşen gerilme değerlerine maruz bırakılmıştır. Numunelere ilk olarak jeolojik gerilme uygulanmış sonra bu gerilme altında düşey sıkışma saptanarak final inşa yükü veya dizayn yüküne karşılık gelen gerilme, tek kademedede verilmiştir (gerilme artımı düşey sıkışmanın ikincil sıkışma aralığına kadar sürmesi için durdurulmalıdır). Bir çok turba için düşük efektif gerilme söz konusudur. Bu yüzden, inşa ve sürşarj yükü final gerilmenin büyük bir bölümünü oluşturur.

İnce bir laboratuvar numunesi ve arazideki daha kalın bir yatağın deformasyonları arasındaki geniş farklardan dolayı zemin parametrelerinin non-lineeritesinin etkisi elimine edilememiştir. Bu etki, basit olarak, ikincil sıkışmanın konvensiyonel analizinde, ihmal edilebilirirse de daha önceden gösterildiği gibi arazi tahminlerinde önemli yanlışlar oluşmasına sebep olur. Bu

nedenle laboratuvar da saptanan parametreler arazi analizinde onları kullanmadan önce bu etki için düzeltilmelidir. Düzeltme için sırasıyla Şekil 3.14 ve Şekil 3.15 önerilmiştir. Turba için, arazi sıkışmasının 2 hali, yukarıda tanımlanan düzeltmeleri yaparak veya yapmayarak analiz edilmiştir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16 Teorik tahminlerdeki düzeltmelerin etkisi

Düzeltilmiş ve gerçekte ölçülmüş laboratuvar parametrelerine (a , b ve λ / b) dayanan tahmini eğrilerle beraber hakiki arazi oturma-zaman datalarını gösteren bu grafik incelendiğinde

(laboratuvar deneyleri, arazide karşılaşılmış olanlara yakın gerilme seviyelerinde uygulanmıştır) nonlineeriteler için düzeltme yapmanın etkisi görülmüştür; örneğin b'nin düzeltilmesi final oturmanın büyüklüğünü etkilemiştir. Bu etkiler için düzeltilmemiş 2 eğri, arazide gözlemlenen nihai oturmanın hemen hemen sadece yarısı kadar bir değer vermiştir. Diğer yandan, λ/b ulaşılan bu nihai oturmadaki hızı etkilemiştir. λ/b üzerinde deformasyon hızı etkisi için düzeltilmiş iki eğri, çok büyük zamanlarda arazi datalarının eğimiyle karşılaştırılabilir bir eğim sergilemiştir. Bu etki için düzeltilmemiş eğriler uzun bir zaman süresi sonunda yatay olmuşlardır. Laboratuvardaki davranışı araziye uyarlamadaki genel zorluklar nedeniyle, oturma-zaman davranışını yöneten zemin parametrelerini saptamada, arazi deneylerini kullanmak arzu edilir. Bu bir deney dolgusu yerleştirilip, zamanla oluşan oturmaları gözlemleyerek gerçekleştirilebilir, ya da alternatif olarak, hakiki sürşarj uygulanmasıyla elde edilmiş eldeki var olan ilk oturma dataları, önyükleme yükünün dizayn tahmininde ve önyüklemenin gerilme düzenindeki gerekli ayarlamaları yapmak için kullanılabilir. Her iki durumda da, arazi oturma davranışını yöneten esas zemin parametreleri, geri hesaplamada kullanılır. Bu tür hesaplamalardaki sorulardan birisi sıkışma parametrelerinin saptanması için yapılan eğri uydurma prosedüründe kullanılan arazi dataları üzerindeki süredir. Daha önceden gösterildiği gibi, eşitlik (3.22)'in başarılı olarak uygulanabilmesi, sıkışmanın ikincil sıkışma aralığına kadar ilerlemesi ile sağlanabilir. Arazide yapılacak deneyin süresini hesaplamada yol gösterme için pratik bir usul kurmak maksadıyla, 4 ayrı araziden getirilen numunelerden elde edilen arazi oturma dataları analiz edilmişlerdir. Deney süresinin artmasına karşılık gelen arazi datalarının olduğu kısımlar sıkışma parametrelerini saptamada kullanılmışlardır. Parametrelerin bu grubunu kullanarak elde edilen oturma-zaman eğrileri sadece bir arazi için gerçek olan datalarıyla beraber gösterilmiş ve her bir halde, arazi eğrilerine oldukça iyi bir şekilde yakın parametreleri veren arazi datalarından fazla bir kesin süre olduğu görülmüştür. Kullanılan test süresi eğer bu kritik süreden (t_c) azsa, hesaplanan birincil sıkışma faktörü çok küçük veya negatif, ikincil sıkışma faktörü çok büyük olarak bulunmuştur. Bu nedenlerden dolayı kritik deney süresi t_c , t_{90} ile karşılaştırılmış ve kritik deney süresi $t_c = (1 - 1.5)t_{90}$ olarak saptanmıştır. Eğer arazi datalarından yararlanarak sıkışma parametreleri saptanacaksa, arazide yapılan deneyin süresi t_c , t_{90} 'dan büyük olmalıdır. Eğer t_c süresi deney esnasında geçilirse o zaman sıkışma parametrelerini tahmin etmede, arazi oturma dataları kullanılabilir. Sonuç olarak turba ve

organik zeminlerin 16 ayrı yatağı için arazi ve laboratuvar sıkışma datalarının analizine dayanarak, oturma-zaman analizi için tanımlanmış prosedür, kullanışlı ve mantıklı bulunmuştur. Prosedür, bir boyutlu sıkışma periyoduna karşılık gelen düşey deformasyon değerini tanımlamada bir reolojik bir model kullanır ve 3 ampirik parametreyi kullanmayı içerir (sırasıyla primer ve sekonder sıkışmanın büyüklüğünü ve ikincil sıkışmanın hızını). İkincil sıkışmayı ihtiva eden iki parametre (büyüklük ve hız) nonlineer olarak bulunmuştur. Bu da, laboratuvar da belirlenen parametrelerin, arazide olacağı umulan deformasyon hızı ile ilişkili olarak, düzeltilmelerini gerektirmiştir.



4. ALİBEY BARAJI'NIN TEKNİK VE GEOTEKNİK ÖZELLİKLERİ

Bu çalışmada gerçekleştirilen deneylerin tümünde kullanılan numuneler İstanbul Alibeyköy'de inşa edilmiş Alibey Barajı'nın temel zemininden alınmıştır. Bu nedenle bu bölümde Alibey barajı ve temel zemini hakkında bilgiler sunulmaktadır.

Alibey Barajı, İstanbul şehrinin hızla artan nüfusuna paralel olarak içme, kullanma ve endüstri suyu ihtiyacını karşılamak üzere 1960 'larda planlanan, Alibey deresi üzerine inşa edilmiş bir toprak dolgu barajdır.

Alibey Barajı, 35 m 'ye varan kalınlıkta yumuşak alüvyal kil tabakaları üzerinde yaklaşık 15 yıla yayılan kademeli dolgu yerleştirilmesi ile inşa edilmiş ve arazi ölçüm aletleri ile temel zemininde oluşan boşluk suyu basıncı değişimleri ve zemin hareketleri gözlem altında tutulmuştur. Alışılmışın dışında bir en kesite sahip olan bu toprak dolgu barajın memba ve mansap batardoları doğrudan temel zemini üzerine kademeli olarak yerleştirilmiş, baraj gövdesinin değişik kesitlerinde ise konsolidasyonu hızlandırmak için farklı aralıklarda düşey kum drenler kullanılmıştır.

4.1. Alibey Barajının Teknik Özellikleri

4.1.1. Hidrolik karakteristikleri

Drenaj alanı	: 160	km ²
Yıllık ortalama su	: 1.5	m ³ /sn.
Derede pik akış	: 1000	m ³ /sn.
Ortalama yıllık yağış	: 800	mm/yıl
Ortalama yıllık akım	: 280	mm/yıl
Ortalama yıllık buharlaşma	: 0.8x10 ⁶	m ³ /yıl
Rezervuar Maks. depolama kapasitesi	: 66 x10 ⁶	m ³
Aktif Depolama (26.00 m kotunda)	: 35 x10 ⁶	m ³
Verimli kapasite	: 39 x10 ⁶	m ³

Normal su kotu	: 26.00	m
Maksimum su kotu	: 29.75	m

4.1.2 Barajın geometrik özellikleri

İnşaat gayesi	: İstanbul şehrinin su ihtiyacını karşılamak.
Tipi	: Toprak dolgu
Yüksekliği (Talvegten)	: 28.00 m
Talveg kotu	: 6.00 m
Kret kotu	: 34.00 m
Kret uzunluğu	: 304.00 m
Kret genişliği	: 15.00 m
Dolgu hacmi	: 2000000 m ³

4.2 Baraj Yeri Topoğrafyası ve Jeolojisi

4.2.1 Marmara bölgesinin genel jeolojisi

Marmara bölgesinin temelinde Paleozoyik yaşlı formasyonlar yer almaktadır. Paleozoyik yaşlı bu formasyonlar yakından incelendiklerinde, bunların kumtaşı, silttaşı ve kilitaşlarından oluştuğu gözlenmektedir. Genellikle grovak olarak adlanan bu litolojiler çoğunlukla İstanbul Boğazı'nın doğusunu oluşturan Kocaeli Yarımadası'nın büyük bir kısmında mostra vermektedir. İstanbul Kocaeli Yarımadası'ndaki Paleozoyik, Ordoviziyen dönemiyle başlamakta ve "Arkoz Serisi" olarak adlandırılan kırıntılı kayalardan oluşmaktadır. İstif üste doğru Silüryen yaşlı alacalı şeyl ve grovaplardan; Devoniyen, kireçtaşı ve şeyllerden; Karbonifer dönemi ise çörtlerden, grovaplardan ve silttaşlarından (Trakya Formasyonu) meydana gelmişlerdir. Bu istif yer yer granitler tarafından kesilmektedir. Paleozoyik istifini kırmızı renkli bir konglomera-kumtaşı serisiyle başlayan Triyas yaşlı formasyonlar diskordan örtmektedir. Triyas üzerine ise açılı uyumsuzlukla tansgresif olarak konglomera (Hereke Pudingleri) ve kireçtaşları gelmektedir. Üst Kretase yaşlı bu oluşukların üst seviyeleri fliš, marn ve kireçtaşlarıyla devam etmektedir. Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı formasyonlar ve

Senozoyik yaşı genç çökeller tarafından diskordan örtülmektedir. Tersiyer yaşı genç çökeller genellikle İstanbul Boğazı batısında Trakya Havzası'nda oluşmuşlar ve bu bölgede geniş mostra yayılımlarıyla dikkati çekmektedirler. Edirne-İstanbul arasında yer alan bu sedimentlerin kalınlıkları yer yer ikibin metreyi geçmektedir. Trakya Havzası 'nın Orta Eosen döneminde çökelmeye başlayan sedimentleri birbirini izleyen dönemlerde trasgresyon ile oluşmuş ve regresyonla sonlanarak gelişmişlerdir. Çökeltme, önce sığ deniz tortularıyla başlamış, bunu derinleşen deniz tortuları izlemiş, daha sonra tekrar sığ deniz ve karasal tortularla sonuçlanmıştır. Bunun sonucu, ya kireçtaşı ve sığ deniz kırıntıları, ya da mikalı kum ve killerden oluşan tortular çökelmişlerdir. Neojen yaşı, genç çökeller ise Eosen yaşı formasyonlar üzerinde diskordan olarak gelişen karasal-gölsel oluşuklardır. Bunlar alttan üste doğru aşırı konsolide kil (Gürpınar Formasyonu), çakıllı siltli kum (Çukurçeşme Formasyonu), organik kil (Güngören Formasyonu) ve marn-kireçtaşlarıdır (Bakırköy Formasyonu). Tüm bu formasyonlar dere yataklarında güncel alüvyal çökeller tarafından diskordan olarak örtülmektedirler (Yıldırım, vd., 1992).

4.2.2 Baraj çevresinin jeolojisi

İnceleme alanının oluşturan Alibey Barajı, Haliç 'e güney yönde akarak birleşen Alibey Deresi 'nin kuzeyinde İstanbul 'un içme suyunu sağlamak amacıyla inşa edilmiş toprak dolgu tipinde bir barajdır. Bu barajın aksı grovak kayaları üzerinde yer alan ve ortalama 33.00 m kalınlığa ulaşan alüvyal çökeller üzerine oturtulmuştur. Yayvan "V" tipini oluşturan bu vadinin sol yamacı yaklaşık 26° derece ve sağ yamacı ise 23° derece eğimli kahverenkli, ince, orta katmanlı ve bol çatlaklı kilitaşı, silttaşı ve kumtaşı olarak adlandırılan grovak kayalarından oluşmaktadır. Paleozoyik yaşı ve Trakya Formasyonu olarak adlandırılan bu kayalarda sık sık değişen doğrultularda kıvrımlanma ve makaslama zonları gelişmiştir. Vadi tabanında ise grovak kayaları Alibey Deresi 'nin değişik dönemlerde taşıdığı kalın bir alüvyon tabakası ile örtülmektedir. Vadi talveginde ortalama 30 m 'yi bu alüvyal çökeller mevcut sondajlardan elde edilen verilere göre ana kayayı oluşturan grovaklara kadar birbirleriyle korele edilebilir ve endeks özellikleri benzer 4 ana zondan meydana gelmişlerdir. Bu zonlar yüzeyden itibaren sarı kil, yeşil kil, gri kil ve çakıl zonundan oluşmaktadır. Yanal yönde ve aynı derinlikte merceksel nitelikte devam eden bu kil gruplarının arasında bölgenin

akarsu rejiminin arttığı dönemlere bağlı olarak sellenme sonucu oluşan ve değişik zamanlarda derenin eski dönemlerde taşıdığı çakıl ve kum cepleri yer almaktadır. Bu çakıl, kum ceplerinin yanal bir devamlılığı olmayıp, değişik düzeylerde ve kalınlıkta olduğu gözlenmiştir. Ancak, alüvyon çökellerinin tabanında grovak kayaları üstünde yer alan ve çakıllı kumlu seviyeyi oluşturan zon, yanal devamlılığı kesiksiz olan ve tüm alanda devam eden bir katmandır. Bu çakıl, kum zonu grovak kayaları üzerinde çökelen ilk kırıntılı birimdir ve kırıntılar yakından incelendiklerinde tabanında yer alan grovak kayalarının parçacıkları olduğu gözlenmektedir (Yıldırım, vd., 1992).

4.2.3 Baraj temel zemini özellikleri

Alibey Barajı'nın inşasına başlanılmadan önce çok ayrıntılı arazi zemin etüdü ve laboratuvar araştırmaları gerçekleştirilerek temel zemini profili ve zemin özellikleri belirlenmiştir. DSİ laboratuvarları yanında, A.B.D. Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.) laboratuvarlarında da etüd sahasından alınan yüksek kalitede örselenmemiş zemin numuneleri üzerinde yapılan deneylerle temel zemininin mukavemet, gerilme-şekil değiştirme ve yük altında sıkışabilirlik özellikleri belirlenmiştir (Soydemir,1970). Etüd sonuçlarının toplu olarak değerlendirilmesinden, arazideki kohezyonlu tabakaların drenajsız kayma mukavemetinin $s_u = 35-80$ kPa, ve drenajsız deformasyon modülünün $E_u = 14.5-33$ Mpa aralığında değiştiği, (s_u/E_u) oranının ise 410 olarak alınabileceği saptanmıştır. Üç eksenli basınç deneyleri sonuçlarından elde olunan Skempton boşluk suyu basıncı parametresi A' nun farklı düşey şekil değiştirme seviyeleri için aşırı konsolidasyon oranı ile değişimi hesaplanmıştır. Laboratuvar ödometre deneyleri sonuçlarından ortalama konsolidasyon katsayısı (c_v) değeri 2×10^{-4} cm²/s olarak saptanırken, arazi boşluk suyu basıncı sönmülmesi ve oturma okumalarından yapılan geri hesaplamalardan ortalama arazi c_v değeri 1.2×10^{-2} cm²/s olarak belirlenmiştir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3. Bölüm'de literatür araştırması kısmında, killi zeminlerin ve turbaların yük altındaki davranışının zemin mekaniği ile ilgilenen bilimadamlarınca kapsamlı olarak incelenmeye çalışıldığı ve bu incelemelerden yola çıkılarak zeminlerin sıkışma davranışı ile ilgili olarak 25 adet reolojik modelin oluşturulduğundan bahsedilmiştir. Bu çalışmada bu modellerden özellikle son yıllarda en çok dikkat çekenlerinden ikisi Alibey Barajı temel zeminin davranışını incelemek için kullanılmıştır. Bunlar, Leroueil vd. tarafından önerilen ve efektif gerilme - deformasyon - deformasyon hızı arasında tekil bir ilişki olduğunu ileri süren model ile Gibson -Lo tarafından önerilen ve herhangi bir anda herhangi bir noktadaki deformasyon değerini üç ampirik parametre yardımıyla tahmin etmeye yönelik olarak kurulmuş modellerdir.

Bu bölümde, 3. bölümde ayrıntılı olarak anlatılmış olan bu iki farklı modelin geçerliliğinin ve Alibey Barajı temel zemininde yeralan gri kil tabakasının oturma-zaman davranışını tanımlamak için uygulanabilirliğinin incelenmesi amacıyla yapılan çalışmalar sunulmaktadır. Bu amaçla baraj temel zemininden alınan numuneler kullanılarak üç değişik tipte deney yapılmış ve deneysel olarak gözlemlenen zemin davranışı yorumlanmaya çalışılmıştır. Deneysel araştırmalarda, laboratuarda; standart ödometre, krip ve sabit deformasyon hızlı konsolidasyon (CRS) deneyleri gerçekleştirilmiştir.

5.1 Deney Yapılan Zemin Örnekleri

Bu çalışmada yapılan laboratuvar deneyleri sırasında kullanılan numuneler, İstanbul Alibey'de inşa edilmiş Alibey Barajı'nın temel zemininden alınmıştır. Alibey barajının inşa edilmesinden önce ayrıntılı bir zemin etüd çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasının bir parçasını oluşturduğu geniş kapsamlı bir araştırma projesi çerçevesinde 1995 yılında barajın çeşitli akslarında değişik derinliklerde yapılan sondajlardan elde edilen numuneler Y.T.Ü Geoteknik Laboratuvar'ında muhafaza edilmiştir. Bu çalışmada kullanılan örnekler, barajın inşası sırasında takip edilen yükleme düzeni de göz önüne alınarak, BH-1 sondajından 24.00-24.50 m, CPT-3 sondajından 27.50-28.00, BH-6 sondajından 37.50-38.00 m, BH-4

sondajından 33.50-34.00 m ile CPT-1 sondajından 22.00-23.00 m derinliklerden seçilmiştir. Barajın bir enkesiti ve sondaj noktalarını gösteren bir planı Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de sunulmuştur. Deneylerde kullanılan tüm numuneler baraj temel zemininde en kalın tabakayı oluşturan gri renkli kil tabakasından ve baraj temeli kotundan 12.00-15.00 m derinliklerden alınanlar arasından seçilmiştir. Deneylerde kullanılan numunelerin öncelikle endeks özellikleri belirlenmiş ve tabii su muhtevaları, likit limitleri, plastik limitleri, plastisite indisleri çizelge 5.1'de sunulmuştur.

Çizelge 5.1 Kullanılan numunelerin endeks özellikleri

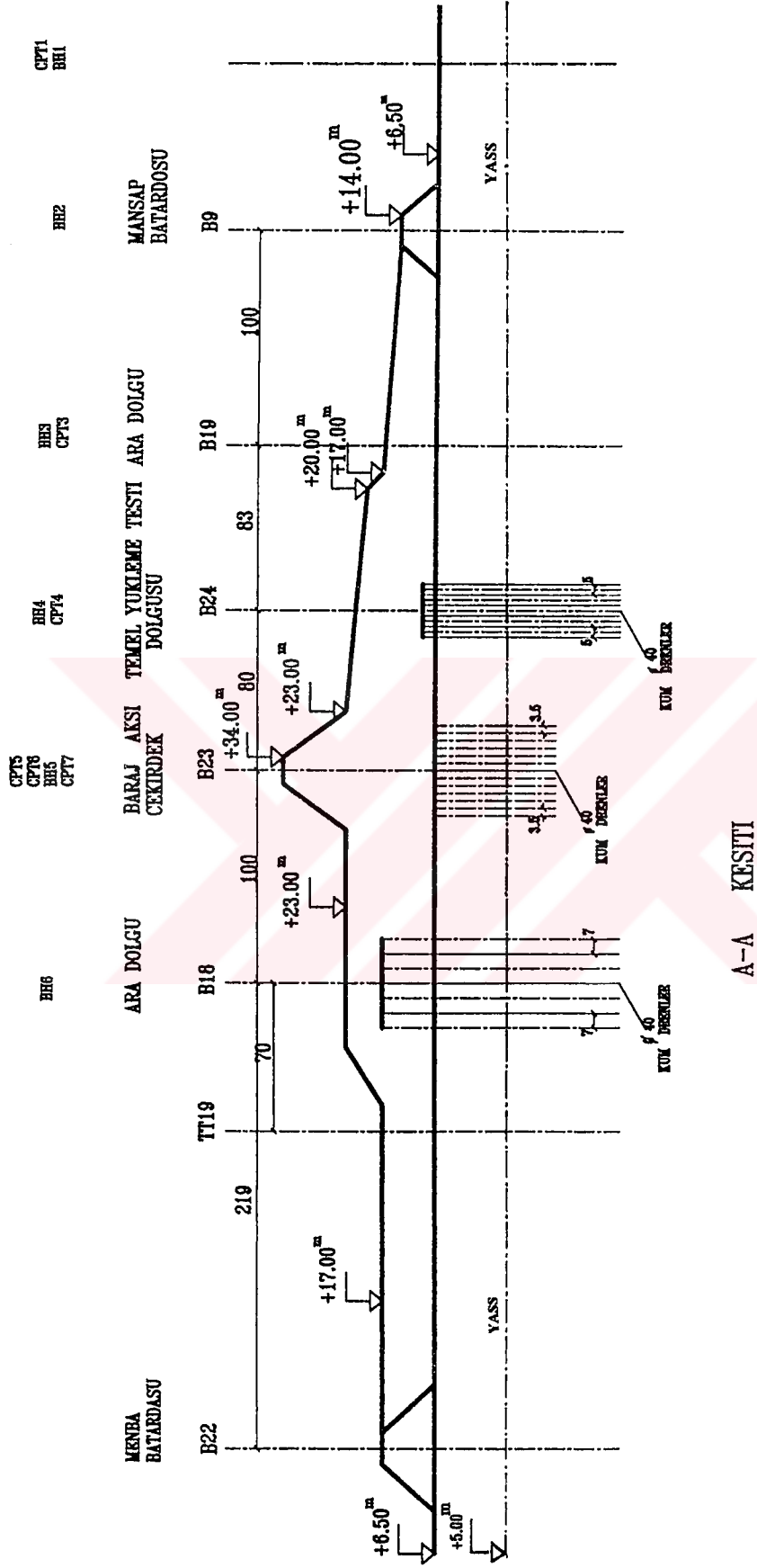
Numune no	Su muhtevası (w)	Likit limit (w_L)	Plastik limit (w_P)	Plastisite İndisi (I_P)
BH-1	50	54	30	24
CPT-3	44	54	33	21
BH-6	50	55	34	21
BH-4	32	47	31	16
CPT-1	49	54	31	23

5.2 Kullanılan Deneysel Sistemler

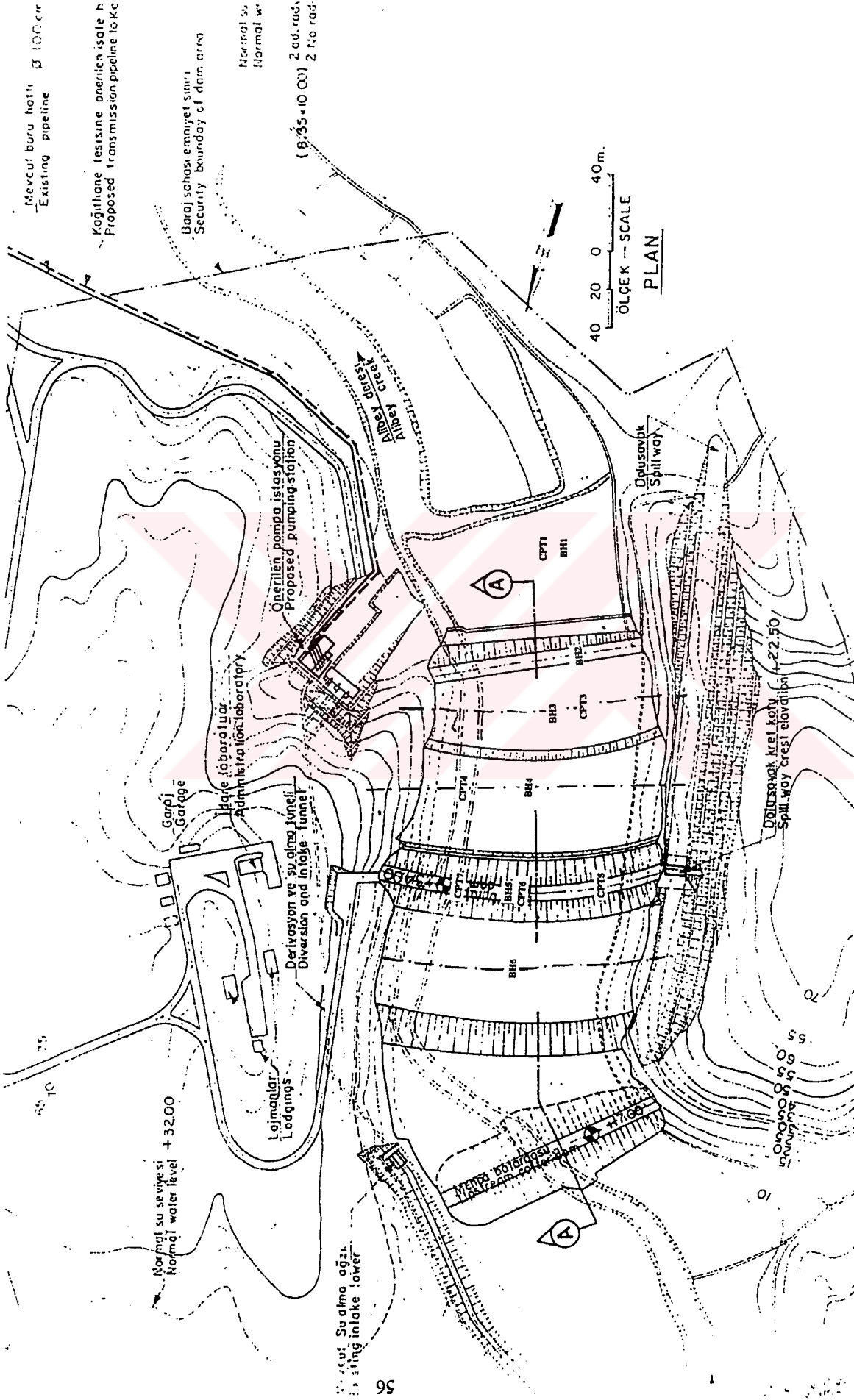
Bu çalışmada yapılan deneyler için iki tür düzenek kullanılmıştır. Bunlar ödometre ve CRS deney düzenekleridir.

5.2.1 Ödometre deney sistemi

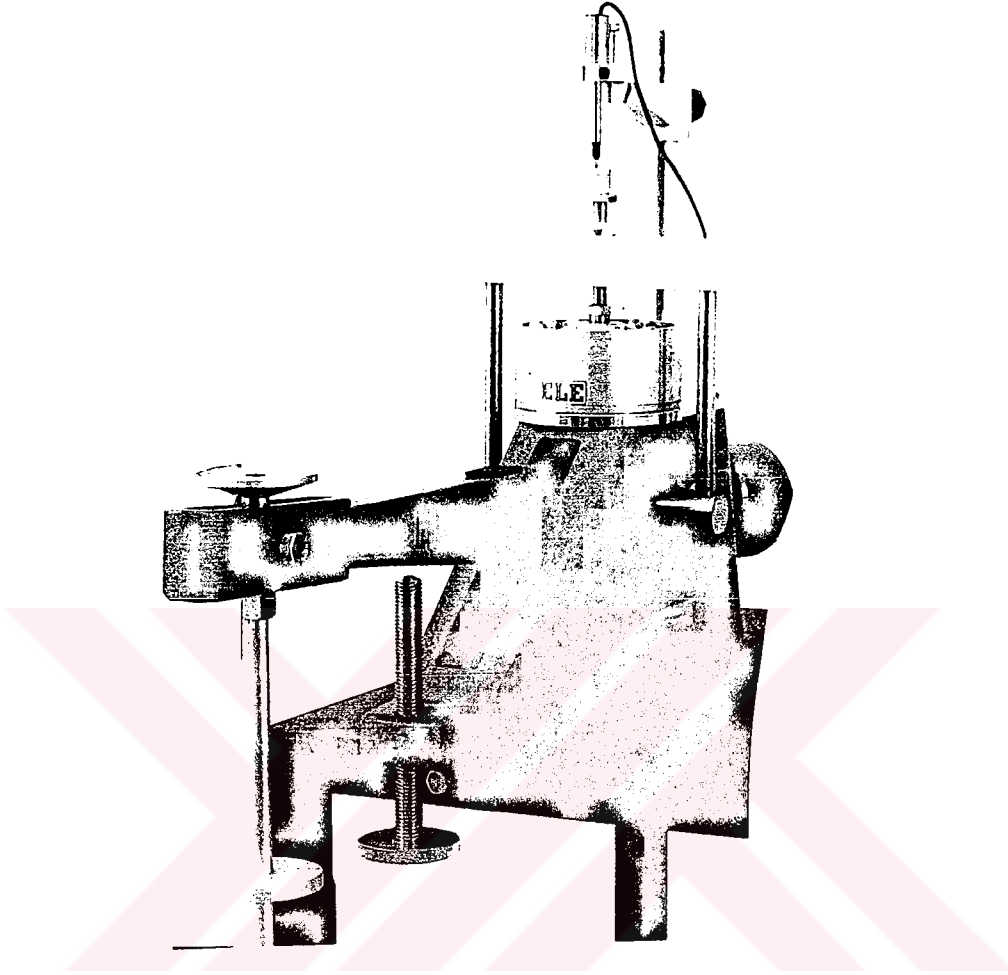
Geniş bir alan kaplayan zemin tabakaları düşey olarak yüklendiği zaman, sıkışma tek boyutlu olarak varsayılabilir. Laboratuarda bir boyutlu sıkışmaya yakın şartları sağlayabilmek için konsolidometre veya ödometre denilen bir düzenek kullanılır. Bu tür bir düzenekte yükleme kollarına asılan yükler üst başlık aracılığıyla, konsolidasyon hücresi içerisinde bulunan konsolidasyon halkasındaki numune üzerine etki ettirilmekte ve böylece konsolidasyon oluşması sağlanmaktadır. Numune çift taraflı olarak drenaja açıktır. Bu çalışmada da Şekil 5.3'te örneği sunulan bir düzenek standart yükleme kademeli deneylerin gerçekleştirilmesi için kullanılmıştır.



Şekil 5.1 Alibey Barajı A-A kesiti



Şekil 5.2 Alibey Barajı gövde kesiti

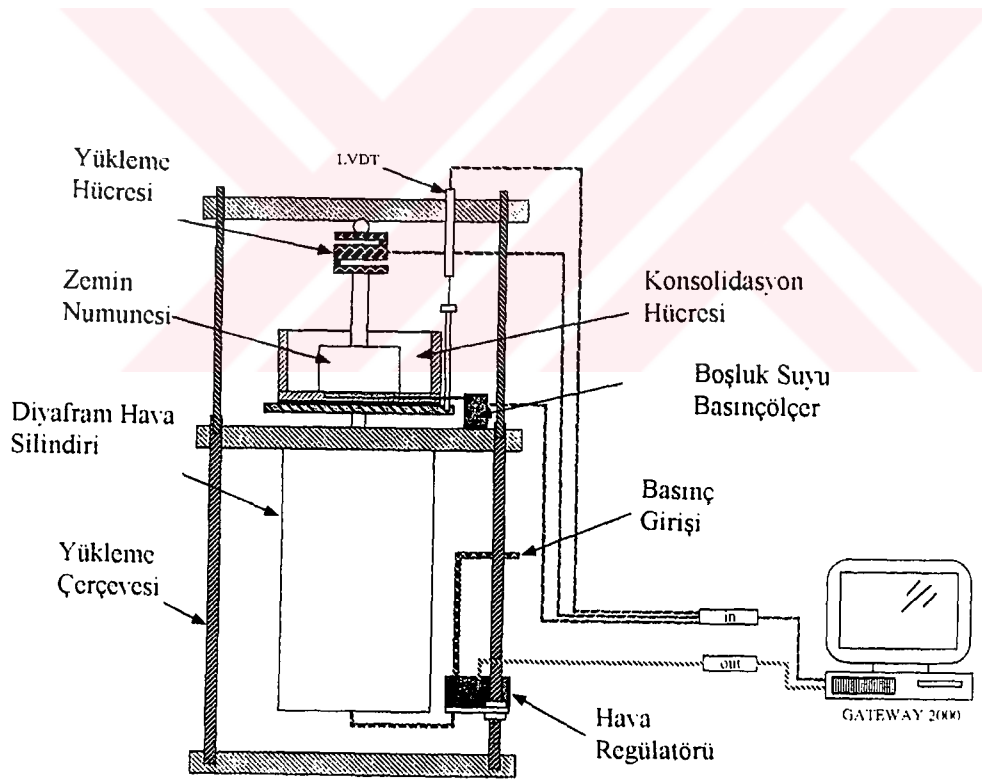


Şekil 5.3 Standart ödometre düzeneği

5.2.2 Sabit deformasyon hızlı konsolidasyon (CRS) deney sistemi

Y.T.Ü Zemin Mekaniği Laboratuvarında Alibey kili numuneleri üzerinde yapılan bu çalışmada CRS deneyleri için özel olarak dizayn edilmiş silindirik bir konsolidasyon hücresi kullanılmıştır. İçerisinde sabit bir alt parça, sabit alt parça üzerindeki bir kanala yerleştirilen ve numunenin tabanında oluşan boşluk suyu basıncının hücreye, hücredeki basıncında numunenin alt yüzeyine girmesini önleyen bir o-ring, konsolidasyon halkasının üzerine konulan ve konsolidasyon halkasının sabit tutulmasını sağlayan şeffaf bir sıkıştırma halkası,

numune üzerine düşey gerilmeyi aktaracak bir üst başlık, üst başlığa düşey eksenel gerilmeyi verecek bir piston, pistonun içinde çalıştığı bir üst dairesel parça ve hücrenin alt ve üst yüzeyini birleştiren seffaf silindirik bir parça bulunduran hücre, numunenin tabanında oluşan artık boşluk suyu basıncı değerlerinin ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Konsolidasyon halkası standart ve krip deneylerinde kullanılanlarla aynı boyuttadır (20mm çap, 50mm kalınlık). Sistemin genel düzeneği konsolidasyon hücresine ek olarak kapalı bir hücre yapısındadır. Hücrenin alt parçası, üç eksenli deney aleti alt başlığı ve sistemi ile aynı düzende imal edilmiştir. Deneyler sırasında uygulanan kuvvet, numunenin tabanında oluşan boşluk suyu basıncı ve düşey yer değiştirme dataları, deney düzeneğinin bağlı olduğu bir bilgisayar monitöründen takip edilebilmektedir. Hücre düşey doğrultuda hareket ettirilerek numunede konsolidasyon oluşması sağlanmaktadır. Drenaj numunenin üst yüzeyinden sağlanmaktadır. Şekil 5.4'te sistemin şematik bir gösterimi sunulmuştur.



Şekil 5.4 CRS deney düzeneği

5.2.3 Krip deney sistemi

Zeminlerde sabit gerilme altında zamana bağılı olarak meydana gelen deformasyonlar eğer uzun süreli davranış gözönüne alınıyorsa geoteknik problemlerin en önemlilerinden birini oluşturmaktadır. Zeminin zamana bağılı davranışının zemin tipi, zemin yapısı, gerilme tarihçesi, drenaj şartları, su muhtevası, uygulanan gerilmenin türü ve şiddeti gibi faktörlere bağılı olduğu bilinmektedir.

Krip, zemin yapısının viskoz direnci tarafından kontrol edilen ve sabit gerilme altında gerçekleşen zaman bağılı hacimsel değişimler ve/veya kayma deformasyonları olarak tanımlanabilir. Bu araştırmada yapılan laboratuvar çalışmalarının en uzun süreli olan krip deneyleri, standart ödometre deney düzenekleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Farklılık yükleme düzeninde olmuştur. Standart deneylerde (2/1) yükleme artım adımı kullanılarak 25, 50, 100, 200, 400, 800 kPa (bazı deneylerde de 1600 kpa) gerilme kademeleri uygulanırken, krip deneylerinde ise arazi yükleme düzenine uygun gerilme kademeleri kullanılmıştır. Bu deneylerde kullanılan konsolidasyon halkası diğer deneylerde olduğu gibi 20 mm çapında ve 50 mm kalınlığındadır.

5.3 Deneysel Çalışmalar

Bu çalışma sırasında üç değişik tip deney yapılmıştır. Bunlar Çizelge 5.2'de sunulmuş olduğu gibi sırasıyla; standart ödometre, CRS ve krip deneyleridir. Çizelge 5.2'de sırasıyla yapılan deneylerin türü, numunelerin hangi derinliklerden alındığı, her bir numunenin baraj dolgusu yapılmadan önce bulunduğu derinlikte üzerinde mevcut olan efektif gerilme değerleri ile baraj dolgusu yapıldıktan sonra üzerinde mevcut olan efektif gerilme değerleri gösterilmiştir. Bu çalışmada krip deneyleri sırasında baraj dolgusu yapıldıktan sonraki efektif gerilme değerlerinin kullanıldığı yükleme düzeni uygulanmıştır.

Çizelge 5.2 Yapılan Deneyler

Deney no	Deney türü	Deney hızı (s^{-1})	Sondaj no ve Numune derinliği	σ'_{v0} (kPa) Dolgudan önce	σ'_v (kPa) Dolgudan sonra
1	Standart	-	BH-1 24.00-24.50 m	177	250
2	Standart	-	CPT-3 27.50-28.00 m	110	350
3	Standart	-	BH-4 33.50-34.00 m	93	404
4	Standart	-	BH-6 37.50-38.00 m	154.9	504.9
5	Standart	-	CPT-1 22.00-23.00 m	150	270
6	CRS	10^{-5}	BH-1 24.00-24.50 m	177	250
7	CRS	10^{-6}	BH-1 24.00-24.50 m	177	250
8	CRS	10^{-5}	BH-4 33.50-34.00 m	93	404
9	CRS	10^{-6}	BH-4 33.50-34.00 m	93	404
10	CRS	10^{-5}	BH-6 37.50-38.00 m	154.9	504.9
11	CRS	10^{-6}	BH-6 37.50-38.00 m	154.9	504.9
12	CRS	10^{-6}	CPT-1 22.00-23.00 m	150	270
13	Krip	-	BH-1 24.00-24.50 m	177	250
14	Krip	-	CPT-3 27.50-28.00 m	110	350

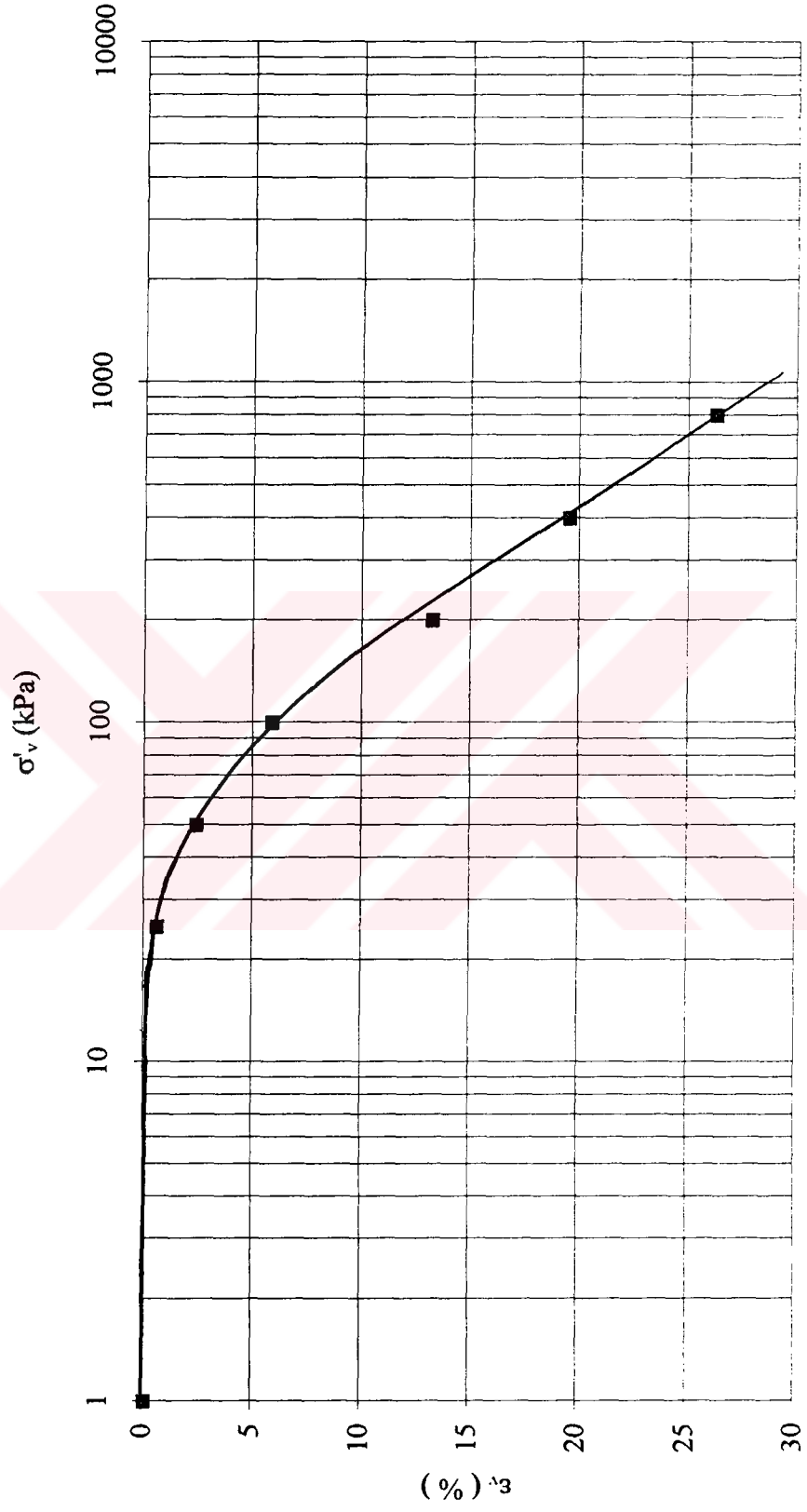
5.3.1 Standart deneyler

Standart deneyler klasik ödometre deney düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir. Bu deney sisteminde İstanbul Alibey Barajı temel zeminine ait sondaj tüplerinden alınan 20 mm kalınlıklı ve 50 mm çaplı numuneler kullanılmış sadece bir deneyde ise 23.4 mm kalınlıklı bir numune ile çalışılmıştır. Standart ödometre deneyleri için, ilk olarak, örselenmemiş zemin numuneleri 20 mm çapında 50 mm yüksekliğinde bir konsolidasyon halkasının içine dikkatlice yerleştirilmiş ve numunenin alt ve üst kısımlarına poroz taşlar (geçirimli pirinçten imal edilen ve konsolidasyon deneyi süresince drenaj oluşmasına yardımcı olan) konulmuştur. Yükleme düzeni olarak 2/1 artım oranı ile sürdürülen bir takvim (25, 50, 100, 200, 400, 800 ve iki deneyde de 1600 kPa) uygulanmış ve her bir yük kademesinde 48 saat

süre ile beklenilmiştir. Deney süresince bir moment kolu vasıtasıyla, numune üzerine 2880 dakika süreyle bir P yükü uygulanmış ve numunenin kalınlığındaki değişim üst başlık ile temas halinde olan bir deformasyon saati ile ölçülmüştür. Son gerilme aşamasına kadar olan her yükleme adımında ilk 24 saat süresince 0.1, 0.5, 1, 2, 4, 8, 15, 30, 60, 120, 240, 480, ve 1440 dakika okumaları alınmış ve son olarak 2880 dakika sonundaki deformasyon değeri kaydedilerek bir sonraki gerilme aşamasına geçilmiştir. Son gerilme kademesinde de aynı okuma alma düzeni takip edilmiş, 2880 dakika okuması alındıktan sonra ise boşaltma kademelerine geçilmiştir. Boşaltma aşamasında da her bir kademedede 48'er saat beklenilmiştir. Numune üzerine uygulanan gerilme değeri, uygulanan yükün zemin örneğinin alanına bölünmesi ile bulunmuştur.

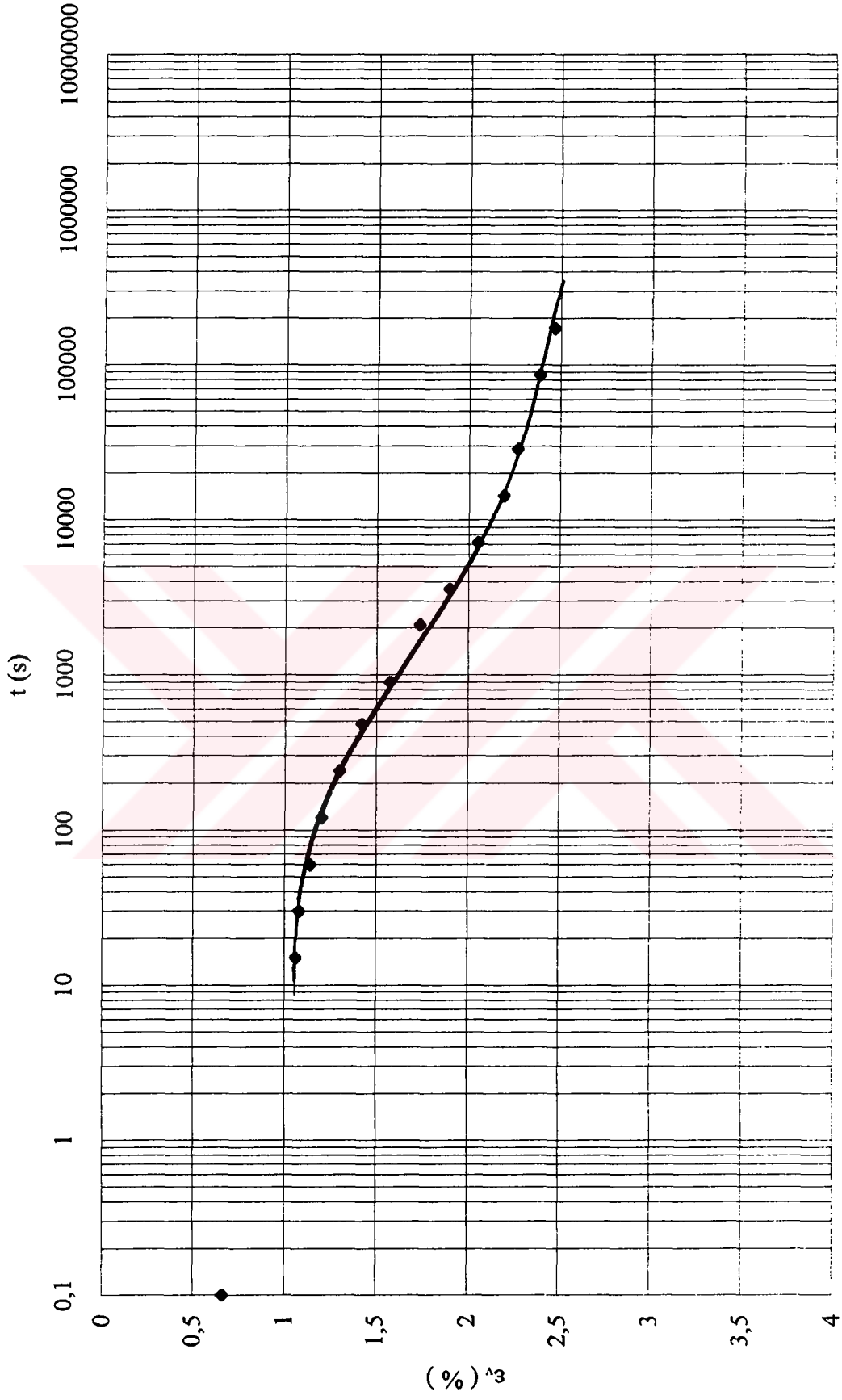
Leroueil vd. (1985) tarafından gerçekleştirilmiş ve burada yapılan araştırmaya kaynak oluşturan olan çalışmada numunenin alımı sırasında oluşabilecek örselenme, kuruma etkisiyle su muhtevasını kaybetme vs. gibi düşüncelerden dolayı doğal değişikliklere uğrayabileceği düşünülen boşluk oranı değerleri yerine deformasyonlar kullanıldığı için bu araştırmada da boşluk oranı parametresi yerine deformasyon değerleri kullanılması uygun görülmüştür. Gerçekleştirilen standart deneyler sonucunda bulunan $\sigma'_v - \epsilon_v$ ve $\epsilon_v - t$ diyagramlarına birer örnek Şekil 5.5, Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de sunulmuş, diğer grafiklerin tamamı ise ekler kısmında verilmiştir.

DENEY NO : 1



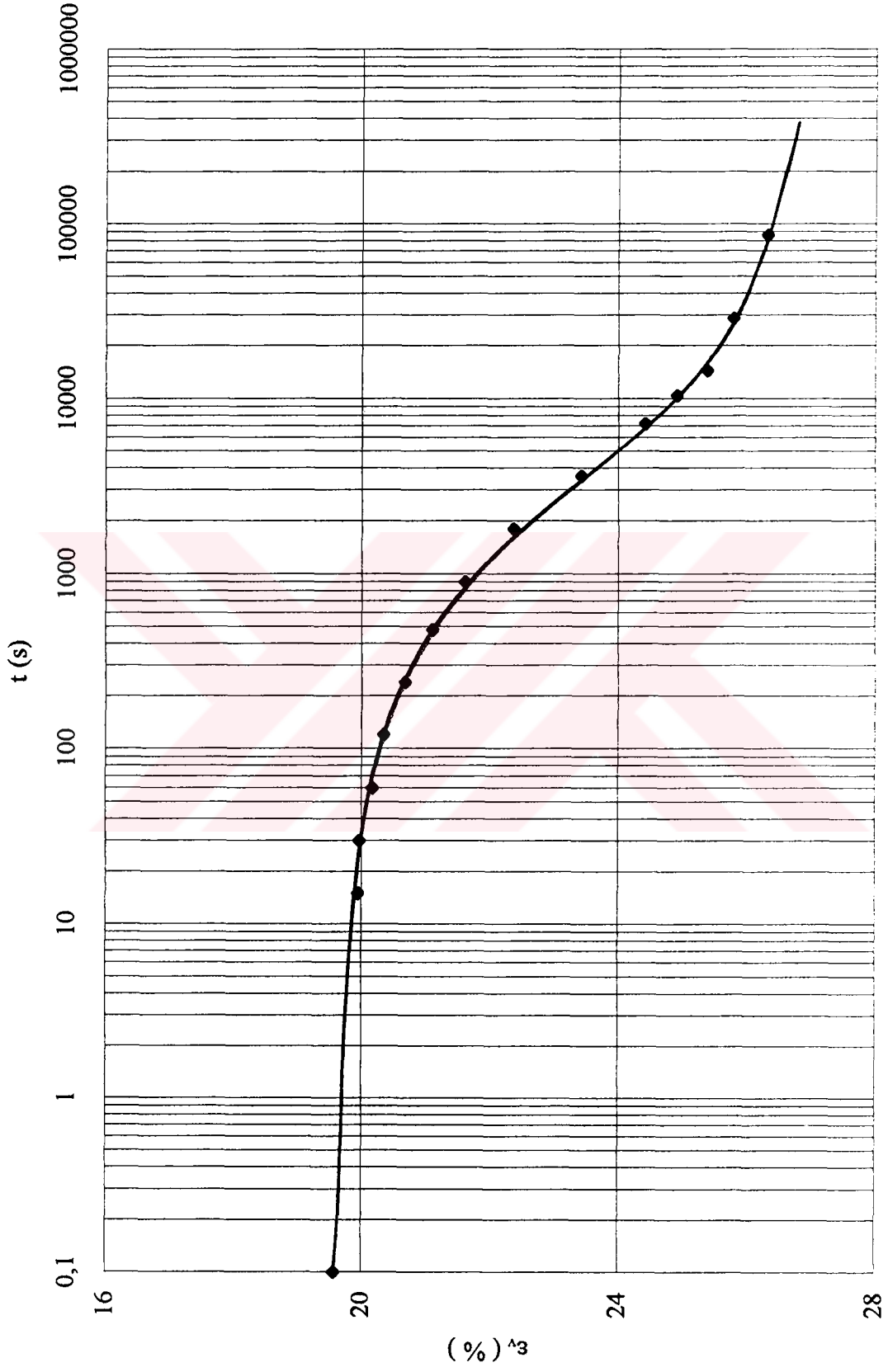
Şekil 5.5 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen tipik bir efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



Şekil 5.6 Standart ödometre deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$



Şekil 5.7 Standart ödometre deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon - zaman grafiği

5.3.2 CRS deneyleri

Yaklaşık 40 yıl önce ilk dökümanlarının yayınlanmasından (Hamilton, Crawford 1959) itibaren dikkatle araştırılmaya başlanmış olan bir boyutlu CRS konsolidasyon deneyi, konsolidasyon özelliklerini saptamada (gerilme tarihçesi, sıkışabilirlik, hidrolik iletkenlik vs.) oldukça yararlı ve değerli bir laboratuvar çalışma türü olarak görülmektedir. Özellikle son yıllarda, başta zemin iskeletinin zamana bağlı davranışı üzerine çalışan bilimadamları olmak üzere bir çok araştırmacı tarafından; daha sürekli bir data akışı sağlaması, insan emeğini oldukça aza indirmesi (otomatik olarak okuma yapması nedeniyle), boşluk suyu basınçlarının ölçülmesini temin etmesi, deney süresini kısaltması ve numuneyi doyurmak için ters basınç verilmesine olanak sağlaması gibi avantajları nedeniyle bir boyutlu drenajlı şartların geçerli olduğu zamana bağlı davranış ile ilgili olarak yapılan çalışmalar sırasında standart ödometre deneylerine kıyasla, CRS deneyleri daha çok kabul görmeye başlamıştır.

CRS deneylerinde deney süresince deformasyon hızı sabit olarak tutulmaktadır ki standart ödometre deneylerinden farkı budur. Bu nedenden dolayı standart yüklemeli deneyler için geliştirilmiş olan klasik Terzaghi yaklaşımının CRS sonuçlarını değerlendirme konusunda eksik kaldığı görülmüş dolayısıyla CRS konsolidasyon teknikleri kullanılarak elde edilen datalar için yeni yorumlama metodlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu düşünceden hareketle ilk olarak Smith ve Walsh (1969) hacimsel sıkışma katsayısının sabit olduğu varsayımına dayanan bir lineer CRS teorisi, Wissa (1971) ise m_v , k_v değişirken c_v 'nin sabit kaldığı kabulünü yapan ve nonlinear σ'_v - ε_v davranışına dayalı bir nonlinear teori ileri sürmüşlerdir. Hem lineer hem de nonlinear teoriler, hem her zaman kalıcı olan şartlar (boyutsuz zaman faktörü, T , ile sabit kalan deformasyon dağılımı şartları) hem de geçici şartlar (genellikle yüklemenin başlangıç anları) için kullanılacak eşitlikler içermektedirler. Örneğin nonlinear teori eşitlikleri $d\varepsilon_v / d \log \sigma'_v = \text{sabit}$ varsayımı yapılarak, her zaman kalıcı olan ve geçici şartlar için ortalama σ'_v değerini hesaplamak amacıyla kullanılabilir. Unutulmaması gereken nonlinear teorinin en önemli noktası olan sabit c_v varsayımıdır. Bu varsayımın normal konsolide gerilme aralığında ($\sigma'_v > \sigma'_p$) geçerli olabileceği mantıklı iken,

aşırı konsolide aralığında kesinlikle böyle olamayacağı bilinmektedir. Dolayısıyla teori normal konsolide gerilme aralığında geçerli olarak görülmektedir.

Bu çalışmada Smith ve Wahls (1969) tarafından önerilen teori kullanılmıştır. Buna göre boşluk oranı-efektif basınç ilişkisini elde etmek üzere geliştirilen matematiksel ifadeler aşağıda verilmektedir.

Zemin elemanı boyunca olan sürekli akımın temel denklemi

$$\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{1}{1+e} \frac{\partial e}{\partial t} \quad (5.1)$$

olarak verilir.

Verilen bir zamandaki permeabilite katsayısı zemindeki ortalama boşluk oranı \bar{e} 'nin bir fonksiyonudur. Bununla beraber ortalama boşluk oranı sabit şekil değiştirme hızından dolayı sürekli değişir. Bu ifade

$$k = k(\bar{e}) = f(t) \quad (5.2)$$

şeklinde gösterilebilir. Ortalama boşluk oranı

$$\bar{e} = \frac{1}{H} \int_0^H e \, dz \quad (5.3)$$

biçimindedir, burada H (= H_t) numune kalınlığıdır.

Sabit şekil değiştirme hızlı konsolidasyon deneyinde hacim değişme hızı sabittir, veya

$$\frac{dV}{dt} = -RA \quad (5.4)$$

burada , V zemin hacmi, A numune kesit alanı, R üst yüzeyin sabit deformasyon hızıdır.

\bar{e} ortalama boşluk oranının değişim hızı

$$\frac{d\bar{e}}{dt} = \frac{1}{V_s} \frac{dV}{dt} = -\frac{1}{V_s} RA = -r \quad (5.5)$$

olarak verilebilir, burada r bir sabittir.

\bar{e} 'nin tanımına ve eşitlik 5.2 'ye dayanarak

$$e_{(z,t)} = g(z)t + e_0 \quad (5.6)$$

olarak yazılabilir, burada $e_{(z,t)}$, z derinliğindeki ve t zamanındaki boşluk oranı; e_0 deney başlangıcındaki başlangıç boşluk oranı, $g(z)$ ise sadece derinliğe bağlı olan bir fonksiyondur. $g(z)$ fonksiyonunu saptamak zordur.

$$g(z) = -r \left[1 - \frac{b}{r} \left(\frac{z - 0.5H}{H} \right) \right] \quad (5.7)$$

biçiminde lineer bir fonksiyon olarak varsayılabilir, burada b bir sabittir. Bunu (5.6) eşitliğinde yerine koyarak

$$e_{(z,t)} = e_0 - rt \left[1 - \frac{b}{r} \left(\frac{z - 0.5H}{H} \right) \right] \quad (5.8)$$

elde edilir. Eşitlik 5.8 'de verilen b/r 'nin olası değişim aralığı :

1. Eğer $b/r = 0$ ise ,

$$e_{(z,t)} = e_0 - rt \quad (5.9)$$

Bu, boşluğun derinlikle sabit olduğunu ve sadece zamanla değiştiğini gösterir. Bu gerçek bir durum değildir.

2. Eğer $b/r = 2$ ise, numunenin altındaki, yani $z=H$, boşluk oranı

$$e_{(H,t)} = e_0 \quad (5.10)$$

haline gelir.

Bu , tabandaki boşluk oranının zamanla değişmediği anlamına gelir ki gerçekçi değildir. b/r değeri 0 ile 2 arasında olup yaklaşık olarak 1 olarak alınabilir.

$b/r \neq 0$ varsayarak ve boşluk oranının eşitlik (5.6) 'da verilen ifadesini kullanarak, (5.1) eşitliği artık boşluk suyu basıncı denklemini elde etmek üzere integre edilebilir.

Sınır koşulları :

$$z=0 \text{ 'da} \quad u=0 \quad (\text{ herhangi bir zamanda) ve}$$

$$z=H \text{ 'da} \quad \partial u / \partial z = 0 \quad (\text{ herhangi bir zamanda)}$$

biçimindedir. Böylece

$$u = \frac{\gamma_w r}{k} \left\{ zH \left[\frac{1+e_0 - bt}{rt(bt)} \right] + \frac{z^2}{2rt} - \left[\frac{H(1+e_0)}{rt(bt)} \right] \right. \\ \left. \times \left[\frac{H(1+e)}{bt} \ln(1+e) - z \ln(1+e_B) - \frac{H(1+e_T)}{bt} \ln(1+e_T) \right] \right\} \quad (5.11)$$

elde edilir. Burada

$$e_B = e_0 - rt \left(1 - \frac{1}{2} \frac{b}{r} \right) \quad (5.12)$$

$$e_T = e_0 - rt \left(1 + \frac{1}{2} \frac{b}{r} \right) \quad (5.13)$$

biçimindedir.

Eşitlik (5.11) çok karmaşıktır. Hassaslıktan büyük bir miktar kaybetmeksizin u ifadesi için (5.1)'deki $1 + e$ teriminin yaklaşık olarak $1 + \bar{e}$ 'ye (bu, z 'nin bir fonksiyonu değildir) eşit olduğu varsayılarak daha basit bir formunu elde etmek mümkündür. Bunun için eşitlik (5.1) ve (5.8) 'den

$$\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \left[\frac{\gamma_w}{k(1 + \bar{e})} \right] \frac{\partial}{\partial t} \left\{ e_0 - rt \left[1 - \frac{b}{r} \left(\frac{z - 0.5H}{H} \right) \right] \right\} \quad (5.14)$$

elde edilir. $z=0$ $u=0$ ve $z=H$ $\partial u / \partial t = 0$ sınır koşulları kullanılarak eşitlik 5.14

$$u = \left[\frac{\gamma_w r}{k(1 + \bar{e})} \right] \left[\left(Hz - \frac{z^2}{2} \right) - \frac{b}{r} \left(\frac{z^2}{4} - \frac{z^3}{6H} \right) \right] \quad (5.15)$$

elde edilecek biçimde integre edilebilir.

Numunenin tabanındaki boşluk basıncı eşitlik (5.15) 'te $z=H$ konularak elde edilebilir;

$$u_{z=H} = \frac{\gamma_w r H^2}{k(1 + \bar{e})} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{12} \frac{b}{r} \right) \quad (5.16)$$

$u_{z=H}$ 'nin verilen bir değerine karşı gelen ortalama efektif gerilme

$$\sigma'_{ort} = \sigma - \frac{u_{ort}}{u_{z=H}} u_{z=H} \quad (5.17)$$

yazılarak elde edilebilir. Burada, σ'_{ort} herhangi bir zamandaki zemin üzerindeki ortalama efektif gerilme, σ numune üzerindeki toplam gerilme u_{ort} karşı gelen ortalama boşluk suyu basıncı

$$\frac{u_{av}}{u_{z=H}} = \frac{\frac{1}{H} \int_0^H u \, dz}{u_{z=H}} \quad (5.18)$$

eşitlik 5.15 ve 5.16 'yı 5.18'de yerine koyarak ve bazı basitleştirmeler yapılarak

$$\frac{u_{ort}}{u_{z=H}} = \frac{\frac{1}{3} - \frac{1}{24} (b/r)}{\frac{1}{2} - \frac{1}{12} (b/r)} \quad (5.19)$$

elde edilir. Burada $b/r=0$ için $u_{ort}/u_{z=H} = 0.667$ ve $b/r=1$ için $u_{ort}/u_{z=H} = 0.700$ dır.

Böylece $0 \leq b/r \leq 1$ için $u_{ort}/u_{z=H}$ önemli bir değişme göstermez. Böylece eşitlik 5.17 ve 5.19 'den

$$\sigma'_{ort} = \sigma - \left[\frac{\frac{1}{3} - \frac{1}{24} (b/r)}{\frac{1}{2} - \frac{1}{12} (b/r)} \right] u_{z=H} \quad (5.20)$$

elde edilir. Bu çalışmada $b/r=1$ alınmış ve efektif gerilme değerleri için

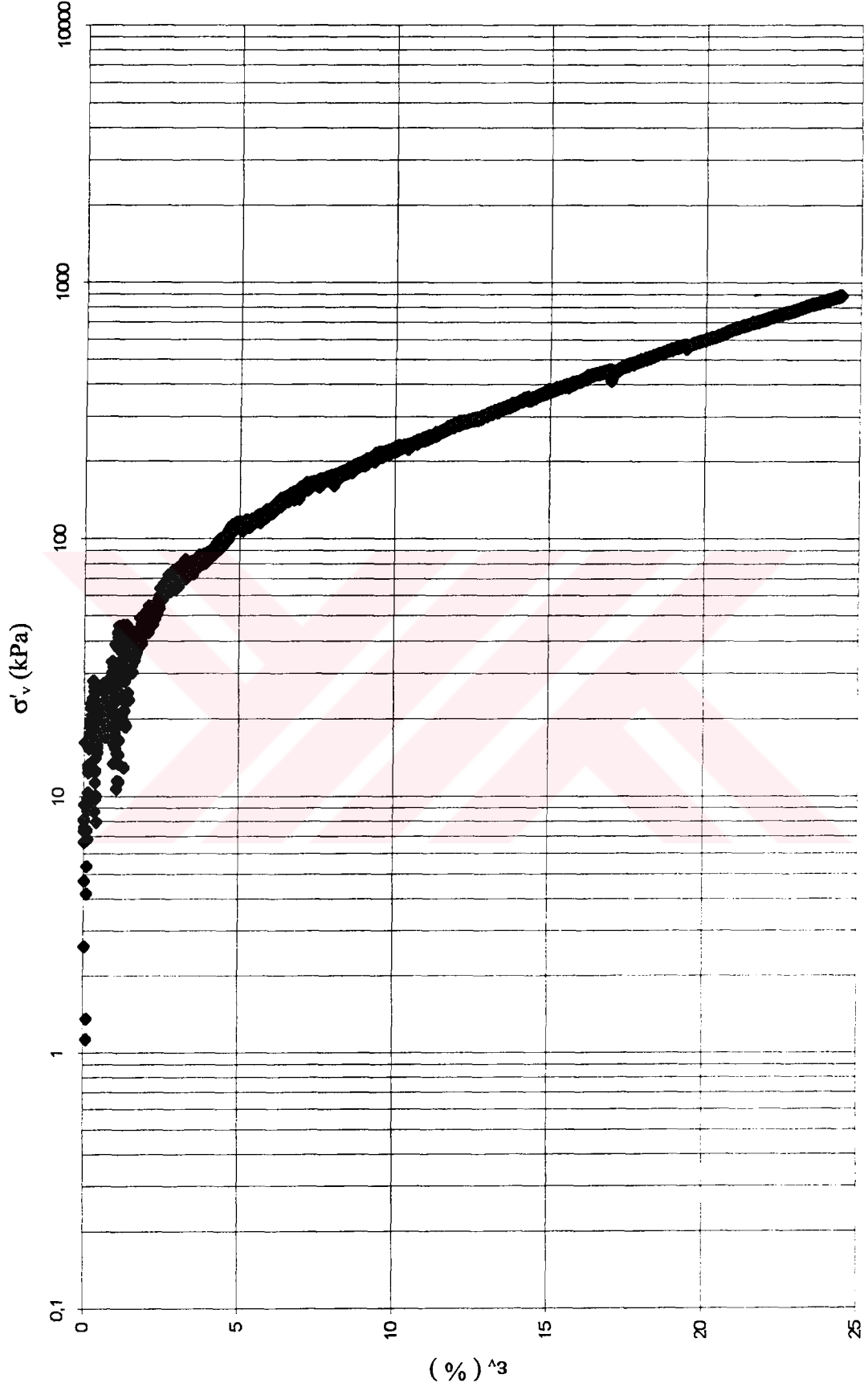
$$\sigma'_{ort} = \sigma - 0.7u_{z=H} \quad (5.21)$$

denklemini kullanılmıştır.

CRS deneyleri için ilk olarak Alibey Barajı'na ait sondaj tüplerinden alınan örselenmemiş zemin numunesi konsolidasyon halkası içersine dikkatlice yerleştirilmiş, numunenin üzerine poroz taş konulmuş, ring şeffaf sıkıştırma halkası ile sabitleştirilmiş ve poroz taşın üzerine yük iletimini sağlayacak bir üst başlık konularak konsolidasyon halkası hücrenin alt parçası üzerindeki kanalına oturtulmuştur. Bu işlem tamamlandıktan sonra hücre, darbelere dayanıklı silindirik dış parçası ve içerisinde bir pistonun çalıştığı üst parçanın yerine konulmasıyla kurulmuştur. Pistonun alt ucunun numune üst başlığıyla teması sağlanmış ve piston kilitlenmiştir. Bütün laboratuvar konsolidasyon deneylerinde doygun numuneler kullanılması prensibi geçerli olduğu için, deneylere başlamadan evvel ilk olarak zemin numunesinin doyurulması sağlanmıştır. Bu işlemin yapılabilmesi için öncelikle hücre içerisi su ile doldurulmuş, hücrenin havası alınmış ve hücre içersine numunenin doyurulması için istenilen değerde (genellikle 100 kPa) basınç verilmiştir ve bu su basıncının numune alt yüzeyinden çıkışına izin verilmiştir. Bu işlem sonunda numunenin alt yüzeyinde toplanan su, basınç altında, deformasyona izin vermeyen bir hortum ve vana yardımıyla boşluk basıncı ölçebilen transdusere iletilmiştir. Zemin örneği konsolidasyon halkası ile alt başlık üzerine oturtulmuş olduğundan hücre içersindeki basıncın, numune tabanına alt kısımdan girmesi önlenmiş, hücreye uygulanan basınç yalnızca numune üst yüzeyinden etki ettirilmiş ve basınç zemin örneği içine bu yüzey boyunca düşey olarak girmiştir. Numunenin doyurulma işlemi bittikten sonra deneyin gerçekleştirileceği şekil değiştirme hızı değeri ve deneyin kendiliğinden durması için gerekli bir maksimum kuvvet değeri belirlenerek düzeneğe bağlı olan ve deneyin gerçekleştirilmesini sağlayan bir bilgisayar programına kaydedilmiş, üst başlık ile temas halindeki pistonun kilidi açılmış ve deney başlatılmıştır. Bir CRS deneyinde uygulanan yük, düşey şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı değerleri okunabilir. Bu dataların elde edilebilmesi için deney sistemine, uygulanan yükün tespitini sağlayan bir yükleme hücresi (load cell), boşluk suyu basıncı değerlerini ölçen bir transduser, düşey şekil değiştirmenin okunmasına olanak veren bir deplasman ölçer (LVDT) monte edilmiştir. Bu nedenle bu çalışmada kullanılan CRS düzeneğinde, yükleme hücresi, kilitlenen piston üzerine teması sağlanarak sabitlenmiş, transduser boşluk suyu basıncının çıkışına izin verilen alt parçaya bağlanmış, deplasman ölçer ise yükleme sistemine bağlanıp ucu hücrenin üst parçası üzerine yerleştirilmiştir. Deney sırasında konsolidasyon hücresinin üzerinde yer aldığı hareketli alüminyum bir tablanın altında bulunan silindirin içersine bir kompresör vasıtasıyla

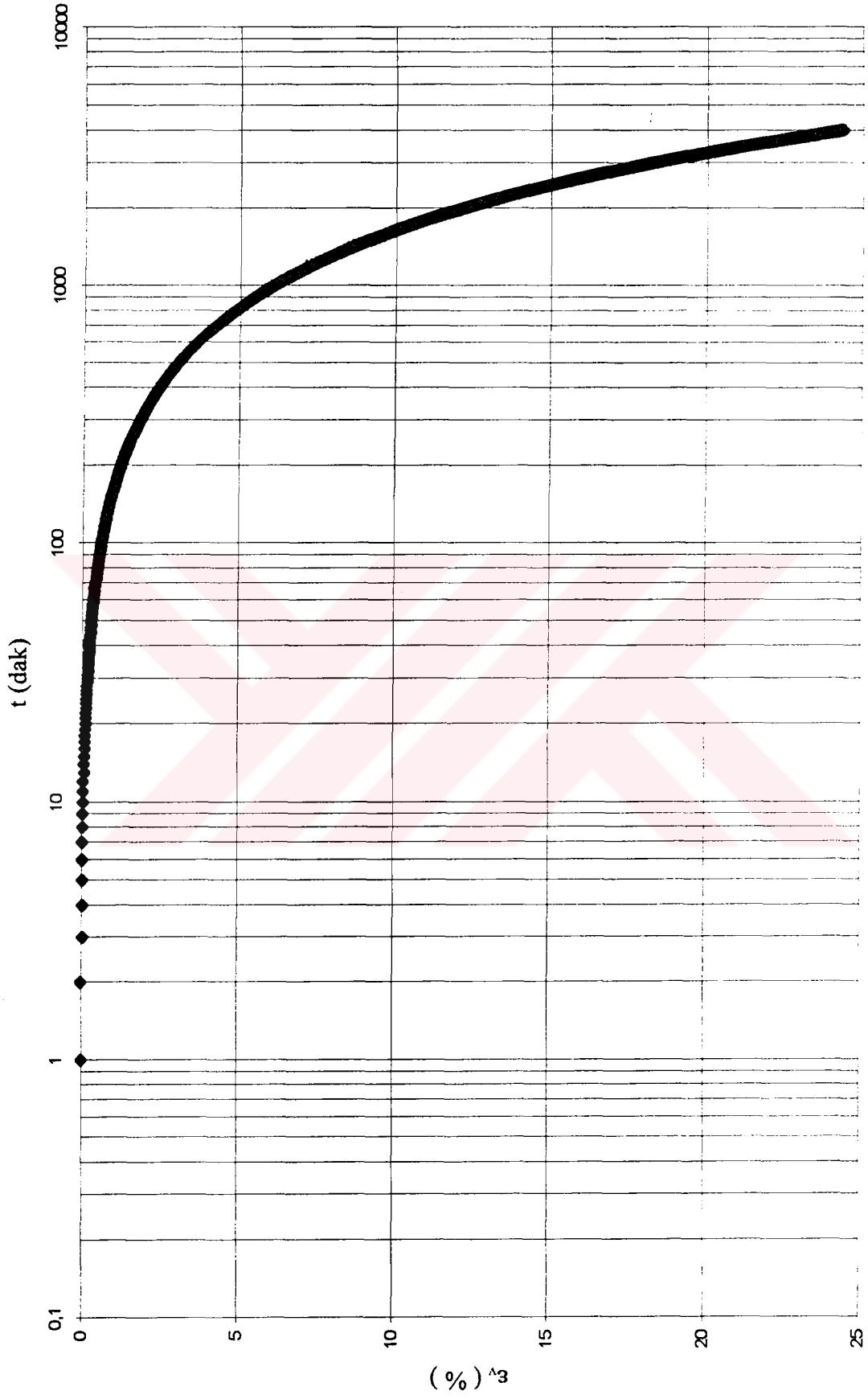
elde edilen hava basıncı gönderilerek tablanın düşey yönde hareket ettirilmesi sağlanmıştır. Tablanın düşey yönde hareketi ile piston zemin numunesine basınç uygulamış ve bu basınç nedeniyle konsolidasyon halkası içindeki numunede konsolidasyon işlemi başlamıştır. Bu basıncın etkisiyle oluşmaya başlayan yer değiştirme miktarı LVDT, oluşan boşluk suyu basıncı miktarı transduser ve de basınca sebep olan kuvvetin değeri yükleme hücresi vasıtasıyla tespit edilmiş ve bu değerlerin zamanla değişimi deney süresince monitörden takip edilmiştir. Bu süreç boyunca bilgisayar kontrollü hava basıncı ile düzenli olarak beslenen sistem, numunenin sabit bir düşey şekil değiştirme hızı ile yüklenmesine olanak sağlamıştır. Yukarıda uygulama aşamaları anlatılmaya çalışılan deneylerin her biri, önceden belirlenip bilgisayara kaydedilmiş maksimum kuvvet değerine ulaşıldığında bitirilmiştir. Yüksek hızlı deneyler olduğu ve içerisinde büyük artık boşluk suyu basıncı değerleri olduğu için deneylerin sonunda toplam gerilmeler, uygulanan kuvvetin numune alanına bölünmesi ile bulunmuş ve efektif gerilme değerleri de ölçülen artık boşluk suyu basınçları yardımıyla $\sigma'_{ort} = \sigma - 0.7u_{z=H}$ (5.21) formülü ile tespit edilmiştir. Deneyler başlangıçta bilgisayara kaydedilmiş şekil değiştirme hızı ve nihai kuvvet değerlerine bağlı olarak, bazı numuneler için 3 gün bazı numuneler için ise 3 saat sürmüştür. CRS deneylerinin neticesinde elde edilmiş deformasyon-efektif gerilme grafiklerine bir örnek Şekil 5.8'de, zaman-deformasyon grafiklerine bir örnek ise Şekil 5.9'da sunulmuş diyagramların diğerleri ise ekler kısmında verilmiştir.

DENEY NO : 11 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$



Şekil 5.8 CRS deneyi sonucunda elde edilen tipik bir efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 11 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

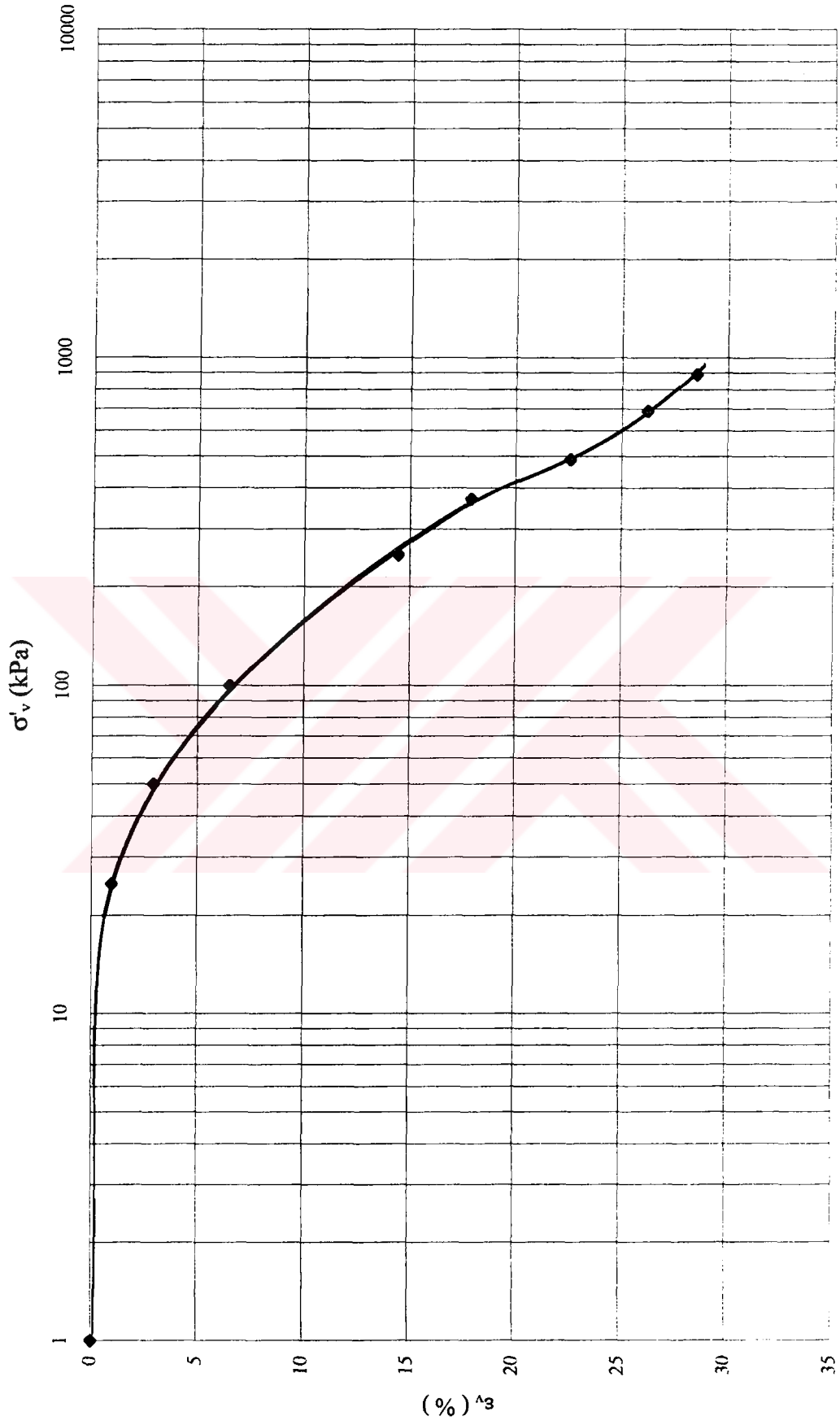


Şekil 5.9 CRS deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon - zaman grafiği

5.3.3 Krip deneyleri

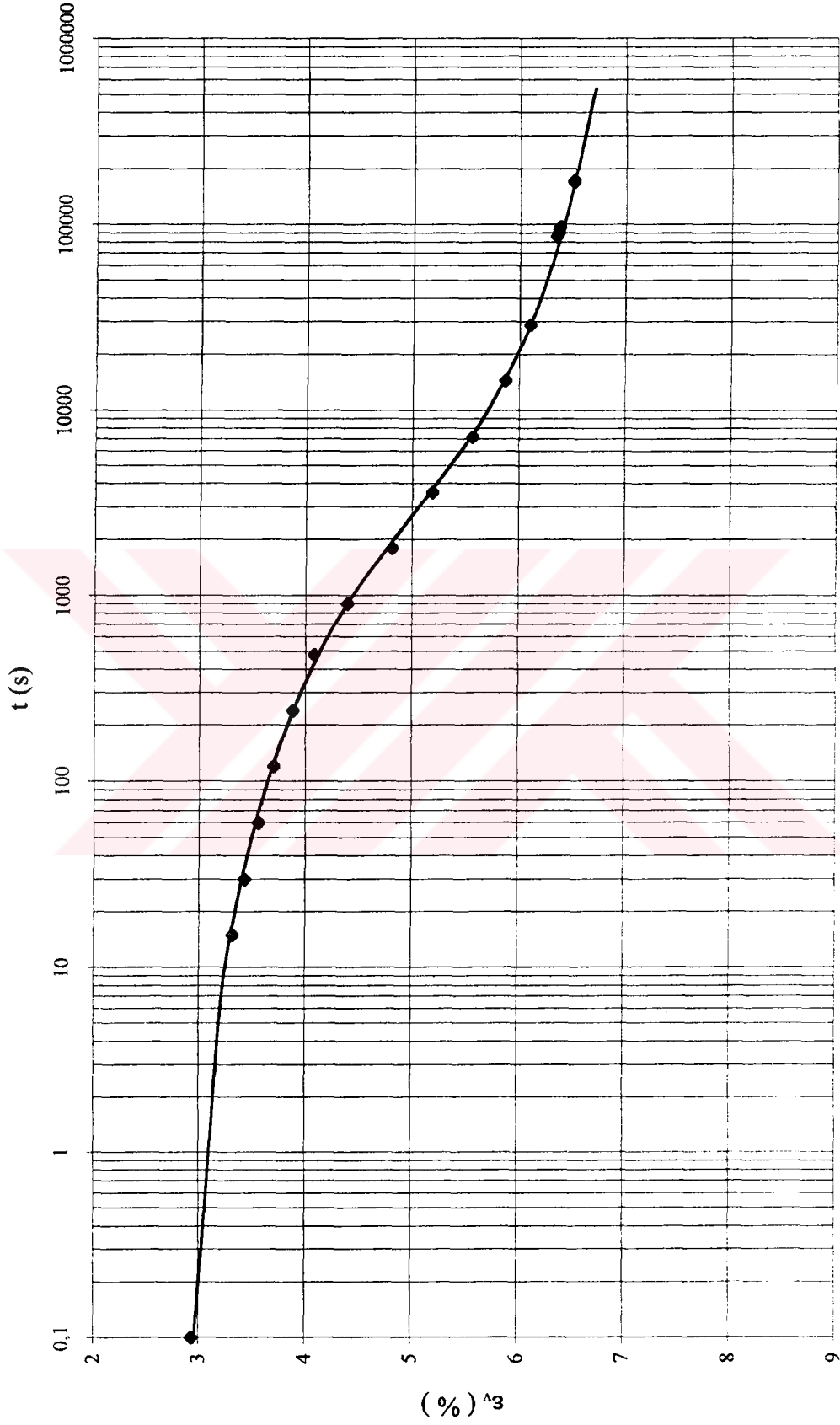
Krip deneyleri standart deneylerin yapıldığı ödometre deney düzeneklerinde gerçekleştirilmiştir. Diğer deneylerde olduğu gibi bu deneylerde de 20 mm kalınlıklı ve 50 mm çaplı numuneler kullanılmıştır. Zemin örnekleri ilk olarak arazide buldukları derinliklerde sahip oldukları efektif gerilme değerine kadar 2/1 yük artım oranı ile, o değere ulaşıldıktan sonra ise arazide yer aldığı tabakanın üzerine uygulanan yük arttırım düzenine uygun olarak yüklenmiştir. Buna göre krip deneylerine tabi tutulan BH-1 24.00-24.50 m numunesinin düşey efektif jeolojik gerilmesi 250 kPa olarak belirlenmiş; 25 kPa, 50 kPa, 100kPa ve 250 kPa yüklemeleri 2880 dakika bekleme süreli gerçekleştirilmiştir. 250 kPa yüklemesinden sonra BH-1 numunesi üzerine arazi yükleme düzenine uygun gerilme artışları verilerek yükleme yapılmıştır. Bu gerilme adımları 370 kPa, 490 kPa, 690 kPa ve 890 kPa'dır. 370 kPa kademesi hariç krip kademeleri deformasyon hızı $1.15 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ (0.002 mm/gün) değerine gelene kadar sürdürülmüştür. Krip aşamalarında 35 ile 80 gün arasında bekleme süreleri gözlemlenmiştir. Krip deneyine tabi tutulan diğer zemin örneği CPT-3 27.50-28.00 m numunesi için arazi düşey efektif jeolojik gerilme değeri 350 kPa olarak belirlenmiş ve 25 kPa, 50 kPa, 100 kPa, 200 kPa ve 350 kPa gerilme kademelerinde 2880 dakika beklenilmiştir. 350 kPa yüklemesinden sonra ise krip aşamalarına geçilmiş ve arazi yükleme düzenine uygun olarak numune üzerindeki gerilme sırasıyla 470 kPa, 590 kPa, 710 kPa, 790 kPa ve 990 kPa değerlerine çıkarılmıştır. Krip aşamalarında 35 ile 80 gün arasında bekleme süreleri gözlemlenmiştir. Her bir krip kademesi deformasyon hızı $1.15 \times 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ (0.002 mm/gün) değerine gelene kadar sürdürülmüştür. Krip kademeleri tamamlandıktan boşaltma aşamalarına geçilmiş ve her bir gerilme kademesi için 48 saat süresince beklenilmiştir. Şekil 5.10'da krip deneyleri sonucunda elde edilen $\epsilon_v - \sigma'_v$ diyagramlarına bir örnek sunulmuş; diğer eğrilerin tamamı ekler kısmında verilmiştir. Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de ise bu deneyler sonucunda çizilen $\epsilon_v - t$ grafiklerine iki örnek verilmiş ve benzer diyagramların geri kalanı ise ekler kısmında sunulmuştur.

DENEY NO : 13



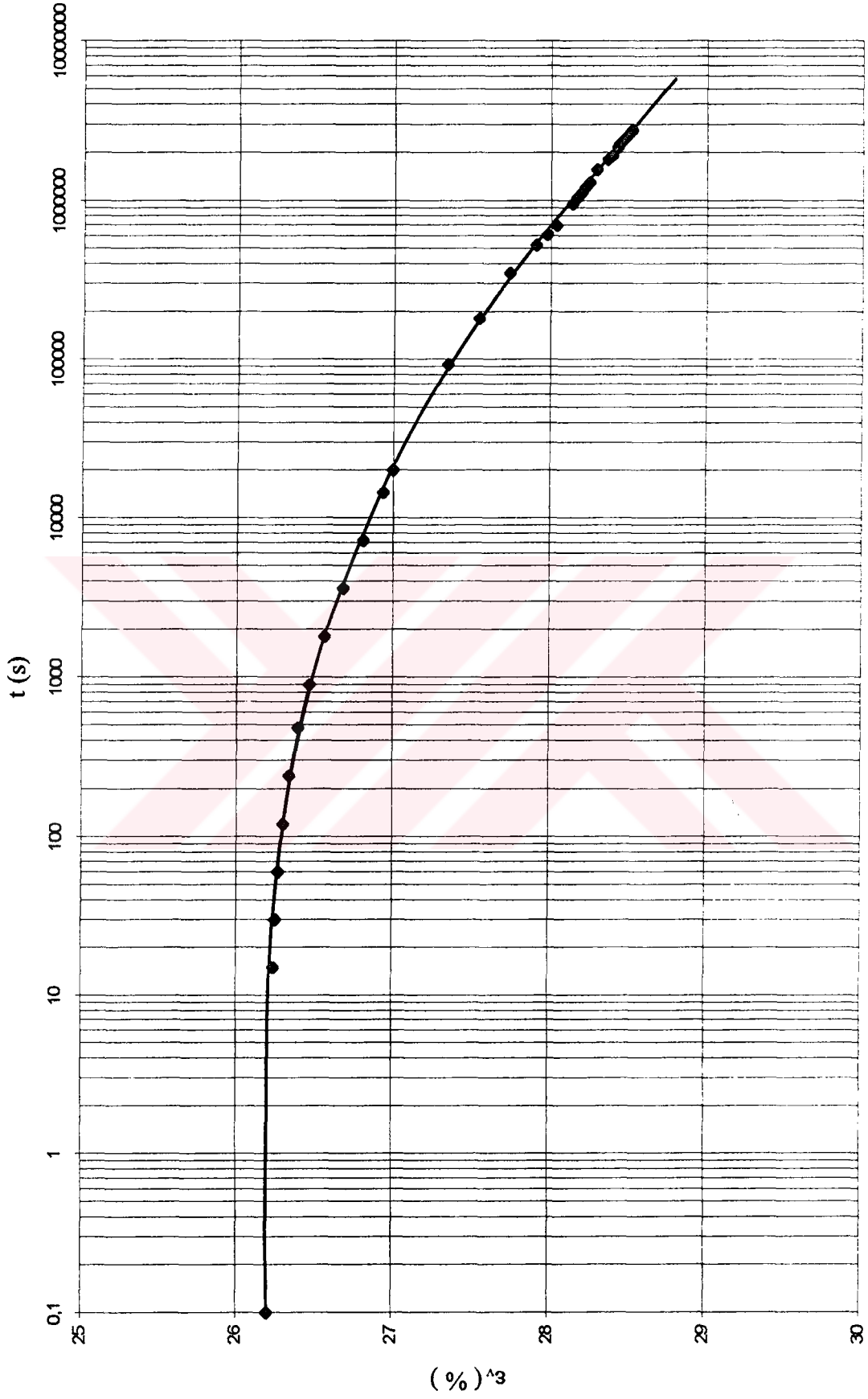
Şekil 5.10 Krip deneyi sonucunda elde edilen tipik bir efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



Şekil 5.11 Krip deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 890 \text{ kPa}$



Şekil 5.12 Krip deneyi sonucunda elde edilen tipik bir birim deformasyon - zaman grafiği

6. DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arazide 3 boyutlu olarak gerçekleştiği bilinen, ancak düşey yüklemeler etkisi altında bulunan bir zemin tabakasında meydana gelen yatay deformasyonun oluşan düşey deformasyon değerinin yaklaşık olarak sadece %1'i civarında olduğu tespit edildiğinden, düşey yüklemelerin geçerli olduğu şartlarda tek boyutlu olduğu kabul edilen konsolidasyon işlemi ve bu işlem süresince zeminlerin göstermiş olduğu davranış geoteknik mühendislerinin yıllardır en önemli çalışma konularından birisini oluşturmuştur. Bu çalışmalar arasında, zeminlerin konsolidasyon davranışını modelleyebilme çabası önemli bir yer tutmuş ve yaklaşık 25 model geliştirilmiştir. Bu araştırmada, bu modellerden özellikle son yıllarda en çok dikkat çekenlerden ikisi kullanılmış ve incelenen zeminin davranışına uygunlukları araştırılmıştır. Bunlar Leroueil vd. (1985) tarafından önerilmiş olan model ile Gibson-Lo (1961) tarafından önerilmiş olan modellerdir. Bu bölüm'de, Bölüm 3'te ayrıntılı olarak açıklanmış olan bu modellerin gerçekleştirilen deneysel araştırmada elde olunan sonuçlara uyarlanması sunulmaktadır.

6.1 Leroueil, Kabbaj, Tavenas Yöntemi

6.1.1 Yöntem

Yukarıda da bahsedildiği gibi zeminlerin konsolidasyon davranışını modelleme çalışmaları arasında en dikkat çekici olanlarından bir tanesi hassas ve doğal killer üzerinde Leroueil, Tavenas, Kabbaj ve Bouchard (1985) tarafından yapılmış araştırmadır. Araştırmacılar Kanada Champlain deniz killeri üzerinde kademeli yüklemeli standart ödometre, CRS ve krip deneyleri uygulamışlar ve bu zeminlerin davranışını tekil bir efektif gerilme - şekil değiştirme - şekil değiştirme hızı ilişkisi ile açıklamaya çalışmışlardır.

Leroueil vd. (1985) tarafından yapılan çalışmanın amacı doğal killerin reolojik davranışını belirlemek olduğu için, ilk olarak düşey efektif gerilmenin artış hızının bu davranış üzerinde bir etkisi olup olmadığının araştırılması gerektiği düşünülmüştür. Bunu yapabilmek için, Kanada Batiscan' dan gelen killer üzerinde, deney süresince efektif gerilmenin devamlı arttığı

ve deformasyon hızının ise sürekli aynı olduğu sabit deformasyon hızlı deneyler ile efektif gerilmenin sabit olduğu ve dolayısıyla boşluk suyu basıncının sönümlenmesinden sonra, efektif gerilme değişim hızının sıfıra eşit olduğu krip deneyleri uygulanmıştır (Bouchard, 1982).

Batiscan'dan alınmış numuneler üzerinde yapılan çalışmalarda, farklı hız değerlerinde onsekiz sabit deformasyon hızlı deney yapılmıştır. Bu deneylerin sonucunda elde edilen sonuçlar Şekil 3.1'de gösterilmiştir. Şekil 3.1 incelendiğinde deformasyon hızı arttıkça numunenin alt kısmında ölçülen boşluk suyu basıncı değerinin de arttığı deformasyon hızı azaldıkça tersi bir durum olduğu, hatta 10^{-7} s^{-1} den daha düşük hız değerlerinde gerçekleştirilmiş deneylerde boşluk suyu basıncının ölçülemeyecek kadar küçük olduğu gözlemlenmiştir. Aynı kil üzerinde gerçekleştirilen dokuz krip deneyinde gözlenen deformasyon - zaman davranışı ise Şekil 3.2'de sunulmuştur. Deneysel gözlemlerden deformasyon hızı değeri 10^{-6} s^{-1} değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman efektif gerilmelerin uygulanan gerilmelere eşit olduğu anlaşılmıştır. Deformasyon hızı 10^{-6} s^{-1} değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman $\varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi Şekil 3.3'de verilmiş olduğu gibi, sabit bir efektif gerilme altında, belirlenebilmiştir. Sabit deformasyon hızlı deneyler ile krip deneyleri bir arada incelendiği zaman Batiscan kilinin reolojik davranışı üzerinde, deformasyon hızının çok önemli bir faktör olduğu, araştırmayı yapan bilimadamları tarafından ileri sürülmüştür.

Sabit deformasyon hızlı deneylerde deformasyon hızı sabittir, efektif gerilme sürekli artar; krip deneylerinde ise deformasyon hızı 10^{-6} s^{-1} değerine eşit veya daha küçük olduğu zaman efektif gerilme sabittir (ve uygulanan gerilmeye eşittir) ve dolayısıyla efektif gerilmenin değişim hızı sıfırdır. Böylece efektif gerilmenin herhangi bir etkisi olup olmadığı deney sonuçlarına bakılarak incelenebilmiştir. Bu noktayı analiz etmek için değişik deneylerde %5, %10, %15 ve %20 deformasyon değerlerine karşılık gelen efektif gerilme değerleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir. Buradan yola çıkılarak efektif gerilme değişim hızının killerin reolojik davranışı üzerinde bir etkisi olup olmadığı araştırılmış ve yapılan inceleme sonucunda efektif gerilmedeki artışın hızının killerin reolojik davranışı üzerinde hiç bir

etkisinin olmadığı ve Batiscan kili için tekil bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisi olduğu iddia edilmiştir. Her iki tür deney sonucu da değerlendirilirken, efektif gerilmeler ön konsolidasyon basıncına göre normalize edilerek incelenmiştir. Bunu yapabilmek için sabit deformasyon hızlı deneylerden ve krip deneylerinden elde edilen $\sigma'_p - \dot{\epsilon}_v$ noktaları bir grafik üzerinde gösterilmiş ve bu noktaların bir ortalama eğri üzerine düştüğü görülmüştür (Şekil 3.5). Normalizasyon için bu ortalama eğriden yararlanılmış ve sabit deformasyon hızlı deneyler için ortalama eğri üzerinden mevcut deformasyon hızına karşılık gelen önkonsolidasyon basıncı değeri tespit edilmiştir. CRS deneylerinden elde olunan önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş $\sigma'_v - \epsilon_v$ davranışı Şekil 3.6'da gösterilmiş, Şekil 3.7'de ise şekil değiştirme hızının 10^{-7} s^{-1} ve $2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ arasında değiştiği CRS deney sonuçları ile deformasyon hızının 10^{-6} 'dan küçük olduğu krip deney sonuçları birlikte gösterilmiştir.

Araştırmacılar bu deneysel gözlemlere dayanarak doğal killerin reolojik davranışının aşağıdaki iki eşitlik ile tanımlanabileceği sonucuna ulaşmışlar ve eğer belirli bir zemin için bu iki ilişki

$$\sigma'_p = f(\dot{\epsilon}_v) \quad (3.8)$$

$$\sigma'_v / \sigma'_p = g(\epsilon_v) \quad (3.9)$$

biliniyorsa, o zemin için bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisinin kolaylıkla kurulabileceğini, bu ilişkinin ise konsolidasyon problemlerini analiz etmek amacıyla nümerik metodlarda kullanılabileceğini ileri sürmüşler ve (3.8) ile (3.9) eşitliklerini birleştirerek genel bir reolojik eşitlik (11) elde etmişlerdir.

$$\epsilon_v = f^{-1} [\sigma'_v / g(\dot{\epsilon}_v)] \quad (3.10)$$

6.1.2 Yöntemin laboratuvar deneyi sonuçlarına uygulanışı

Bu çalışmada, Kanada killeri üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan ve killi zeminlerin konsolidasyon davranışı için tekil bir $\sigma'_v - \varepsilon_v - \dot{\varepsilon}_v$ ilişkisi olduğunu ileri süren reolojik modelin İstanbul Alibey Barajı temel zeminini oluşturan kil zemin üzerinde gerçekleştirilen deneylerin sonuçlarıyla uyumlu olup olmadığı araştırılmaya çalışılmıştır.

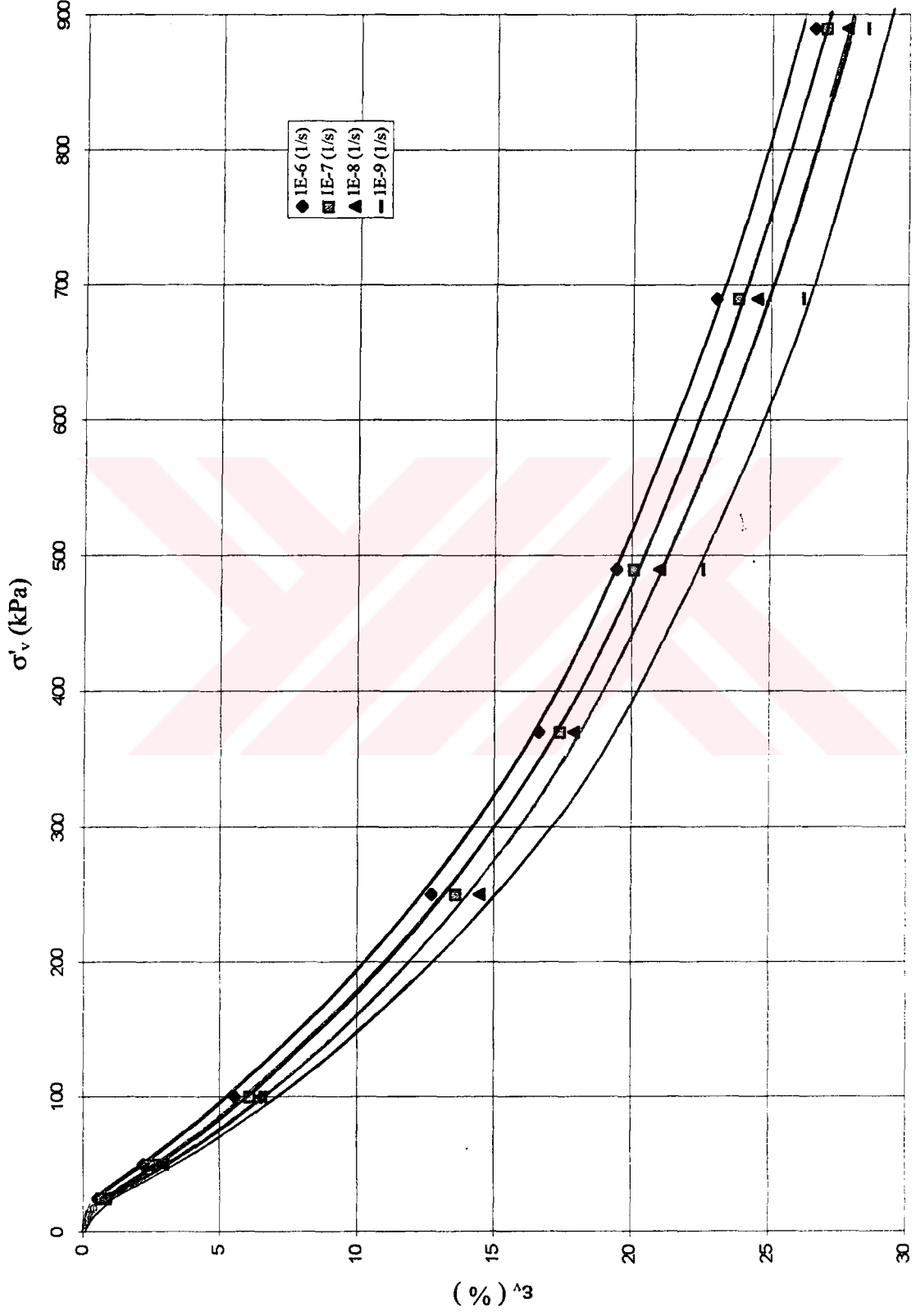
Elde edilen sonuçların Leroueil vd. (1985) tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılabilmesi için ilk olarak önkonsolidasyon basıncı değerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Önkonsolidasyon basınçlarının bulunması sırasında bu çalışmaya kaynak oluşturan araştırma ile burada yapılanlar arasında uyumu sağlayabilmek amacıyla, standart ve krip deneylerinin her bir yükleme kademesindeki okuma anları için hız değerleri tespit edilerek, ortalama 10^{-5} , 10^{-6} , 10^{-7} , 10^{-8} , 10^{-9} s^{-1} hız değerlerinde ve %5, 10, 15, 20, (devam etmişse 25, 30) gibi seçilmiş deformasyon değerlerine karşılık gelecek şekilde çizilen efektif gerilme-deformasyon grafikleri kullanılmıştır. Şekil 6.1'de farklı şekil değiştirme hızlarına karşılık gelen efektif gerilme - düşey deformasyon eğrilerine örnek olarak bir deney sonucu sunulmuş diğer deney sonuçlarına ait eğriler ise ekler kısmında verilmiştir.

Elde edilen bu grafiklerden önkonsolidasyon basınçlarının bulunabilmesi için Casagrande, Janbu ve Tavenas metodu bütün numunelere ayrı ayrı uygulanmıştır. Casagrande yöntemi ile bulunan önkonsolidasyon basıncı değerleri özellikle krip deneylerinde, olması gerektiği düşünülen değerlerin oldukça altında tahminler vermiştir. Bunun sebebinin krip evrelerinde diğer aşamalara oranla daha fazla süre beklenmesi ve daha çok oturmanın gerçekleşmesi olduğu düşünülmüştür. Janbu yönteminde ise sürekli data sahibi olunan deneyler (CRS) dışında kalan deneylerde (standart ve krip) elde yeterince data olmadığı için metodun uygulanmasında zorluklar yaşanmıştır.

Bu nedenlerden dolayı bulunan sonuçların değerlendirilmesi sonucu diğer iki metoda göre gerçeğe en yakın tahmini yaptığı görülen ve her türlü deney tipine rahatlıkla uygulanabilen Tavenas yöntemi ile elde edilmiş sonuçların esas alınması kabul edilmiştir. Bu yöntem hakkında kısaca bilgi vermek gerekirse; Tavenas (1979) çalışmasında, deformasyon

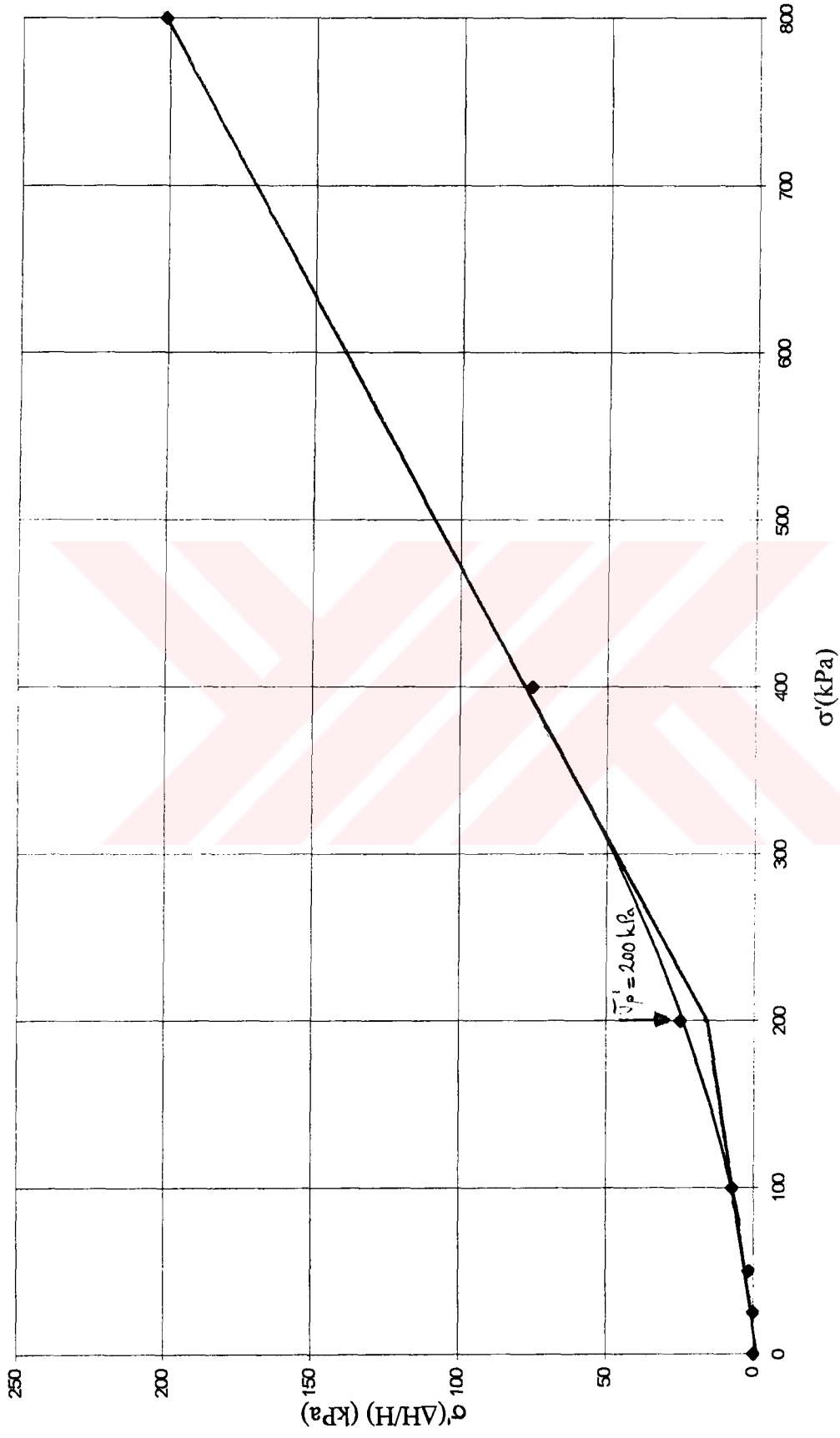
enerjisinin zemin davranışında önemli bir kriter olduğunu ileri sürmüştür. Ödometre deneyinden elde edilen gerilme-deformasyon eğrilerinin altında kalan alan, deformasyon enerjisini vermektedir. Aritmetik bir eksen takımında, gerilme değerlerine karşı gelen deformasyon enerjileri, yöntemin esasını teşkil eden grafikleri vermektedir. Şekil 6.2'de gösterildiği gibi Tavenas yöntemi, gerilme-deformasyon enerjisi ($\sigma'-\sigma'\Delta H/H$) eksen takımında çizilen grafiğin yorumlanmasından ibarettir. Başlangıçta sıkışma eğrisi doğrusaldır ve eğimi oldukça düşüktür. Ancak gerilmelerin artması ile eğri belli bir noktada eğimini değiştirir ve daha büyük bir eğimle yoluna devam eder. Dolayısıyla böyle bir eksen takımında, zeminin konsolidasyon davranışını ifade eden grafik birbirini takip eden iki doğru şeklinde olmalıdır. Bu iki doğrunun kesiştikleri nokta önkonsolidasyon basıncı olarak okunabilir. Bu çalışmada önkonsolidasyon basınçlarının bulunması için Tavenas yönteminin kullanıldığı grafiklere bir örnek Şekil 6.2'de gösterilmiş, bu çalışma ile ilgili grafiklerin tamamı ekler kısmında sunulmuştur. Bu şekilde her deney ve farklı şekil değiştirme hızları için önkonsolidasyon basıncı değerleri saptanmıştır.

DENEY NO : 13



Şekil 6.1 Krip deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif gerilme - deformasyon değişimi

DENEY NO : 4 $\epsilon_v = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$



Şekil 6.2 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon tayini

Tavenas yöntemi ile önkonsolidasyon basınçları tespit edildikten sonra ikinci adım olarak Leroueil vd. (1985) modelinde öngörüldüğü şekilde farklı gerilme seviyeleri için şekil değiştirme - şekil değiştirme hızı ve farklı şekil değiştirme seviyeleri için efektif gerilme - şekil değiştirme hızı ilişkileri grafikler halinde gösterilmiştir. Bu grafiklerin oluşturulması sırasında standart ödometre ve krip deneyleri için, Şekil 6.1'de gösterilmiş olan grafiklerin oluşturulması için kullanılan deformasyon hızları gözönüne alınmıştır. Şekil 6.3 ve 6.4'de sırası ile bir standart ödometre ve bir krip deneyi için değişik düzey efektif gerilmeler altında şekil değiştirme hızının şekil değiştirme seviyesine bağlı değişimi gösterilmiştir. Diğer deneyler için oluşturulan benzer grafikler ekler bölümünde verilmiştir.

Şekil 6.5, 6.6, 6.7 ve 6.8'de deneylerde kullanılan ve aynı zemin tabakasından alınan dört numune için, üç değişik tipte (standart ödometre, CRS, krip) deneylerde farklı şekil değiştirme seviyeleri için $\sigma'_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisi grafiksel olarak gösterilmiştir.

Şekil 6.9' da ise tüm deney sonuçlarından yararlanılarak, modelin geçerliliğinin sınanmasında önemli bir gösterge olan önkonsolidasyon basıncının şekil değiştirme hızı ile değişimi grafiksel olarak gösterilmiştir.

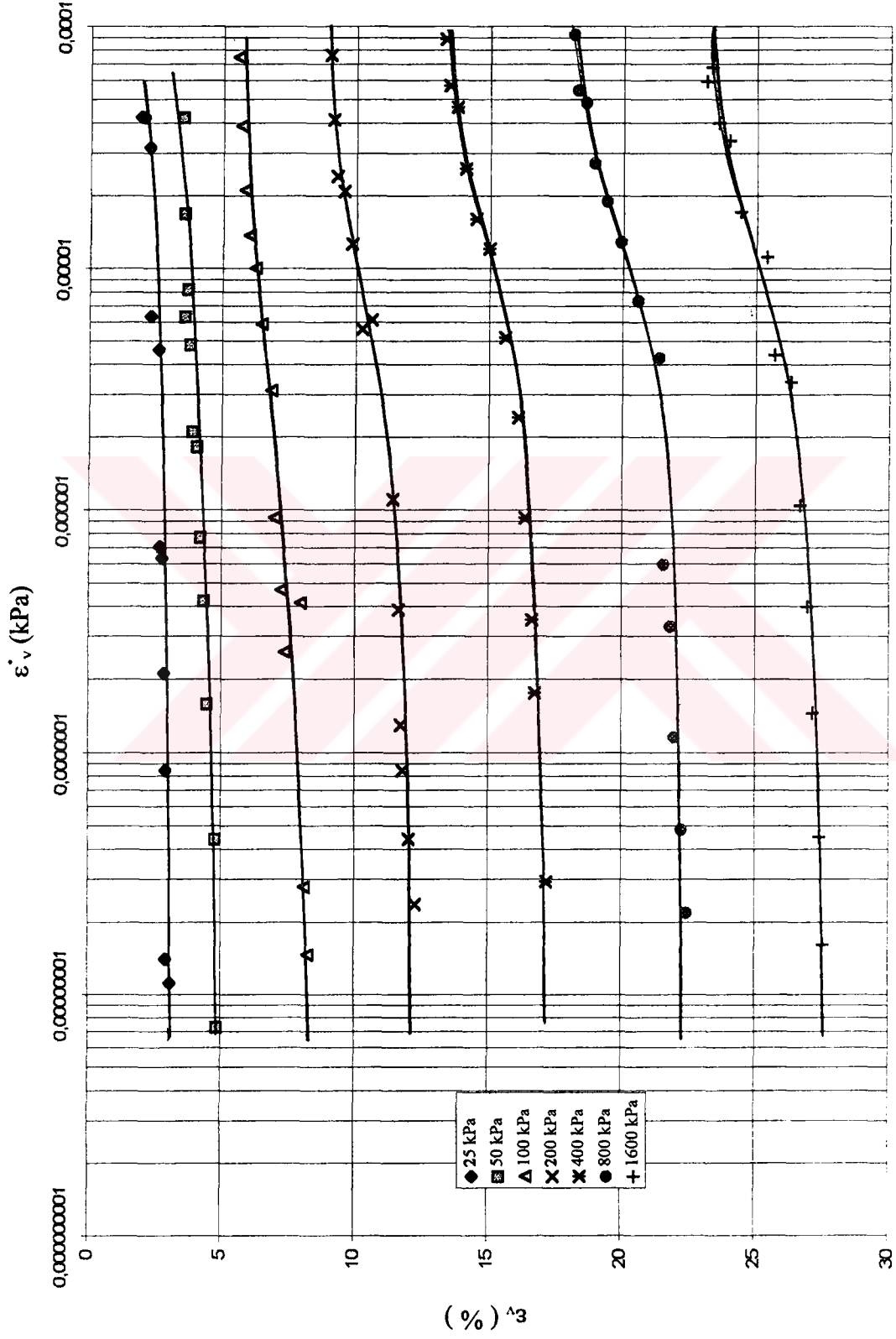
Bu grafiklerin oluşturulmasından sonra Leroueil modelinde Şekil 3.6'da sunulduğu gibi bir referans hız değerine karşılık gelen bir önkonsolidasyon basıncına göre efektif gerilmelerin normalizasyonu yapılmıştır. Şekil 6.10'da bütün deney sonuçları için belirli şekil değiştirme hızlarına karşılık gelen ve şekil 6.9'dan seçilen önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilme - şekil değiştirme eğrileri, Şekil 6.11'de ise her numunenin kendi önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilme - şekil değiştirme eğrileri gösterilmiştir.

DeneySEL sonuçların incelenmesinden, araştırma konusu kil zemin için, farklı gerilme seviyelerinde " $\epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ " davranışı ve farklı şekil değiştirme seviyelerinde " $\sigma'_v - \dot{\epsilon}_v$ " davranışı için Leroueil vd. (1985) tarafından öngörülenlere benzer eğilimler gözlenmektedir. Dolayısıyla bu zeminin davranışının bir " $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ " ilişkisi ile tanımlanabileceği izlenimi

uyanmaktadır. Tüm deney sonuçlarının birlikte değerlendirilmesinden, önkonsolidasyon basıncının (σ'_p), şekil değiştirme hızı ($\dot{\epsilon}_v$) ile değişiminin ortak bir eğri etrafındaki dar bir aralık içinde kaldığı saptanmıştır. Referans bir hız değerine göre seçilmiş önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilme - şekil değiştirme noktaları beklenilenden daha geniş bir aralık içine düşmektedir. Her numunenin kendi önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmesi durumunda deneysel sonuçların daha dar bir aralığı sınırlayan eğriler içinde kaldığı gözlenmektedir.

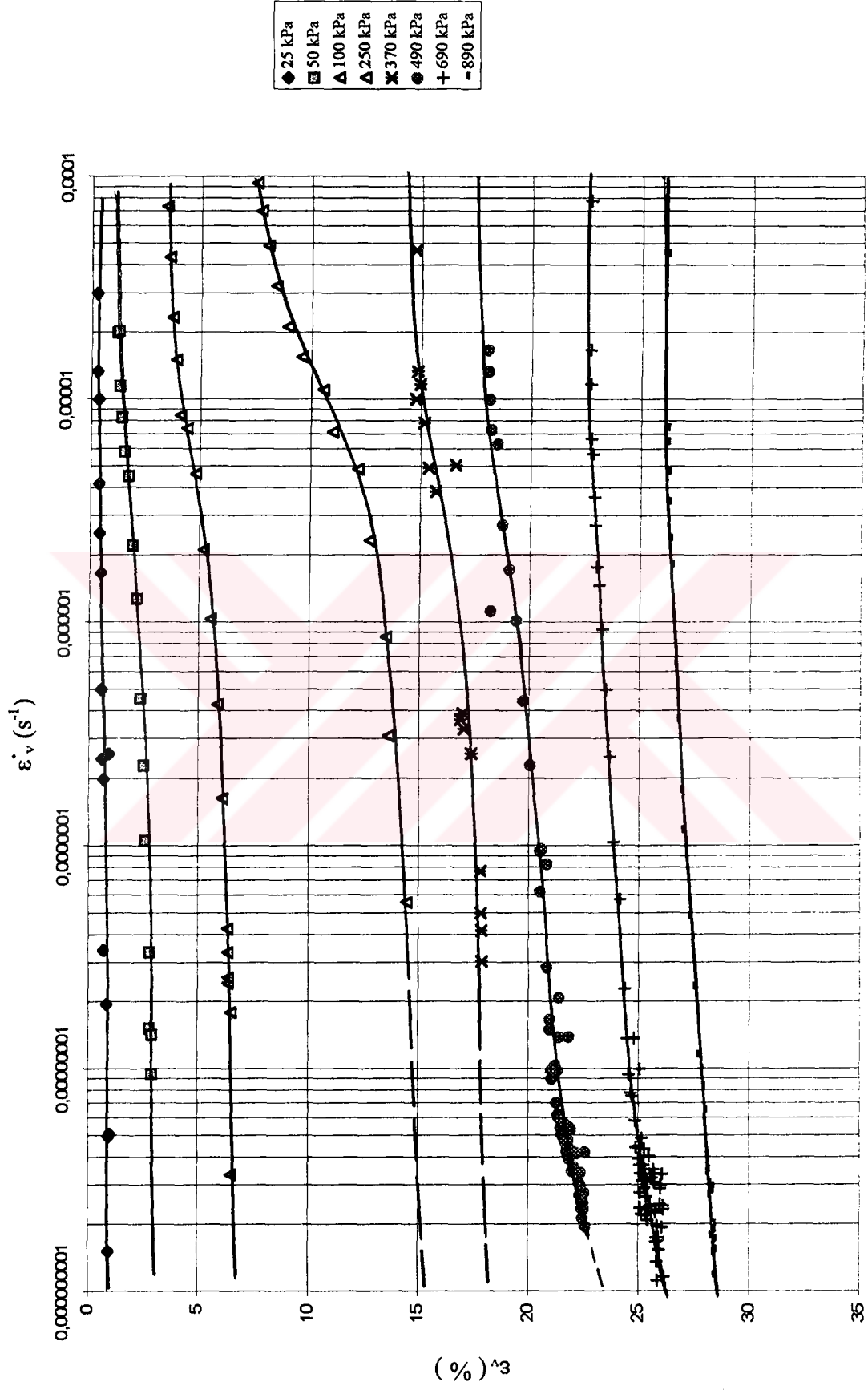


DENEY NO : 5



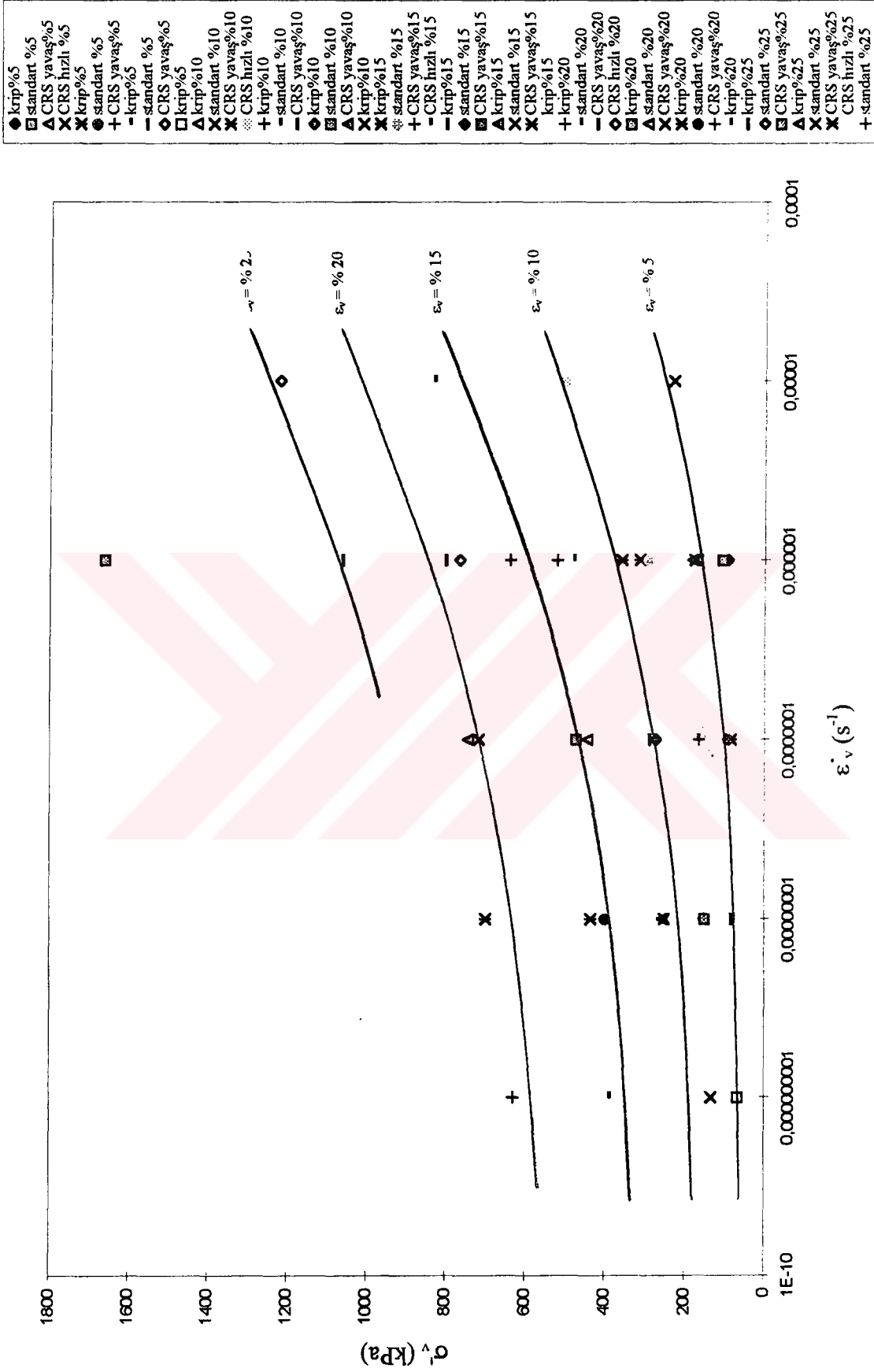
Şekil 6.3 Standart ödometre deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

DENEY NO : 13



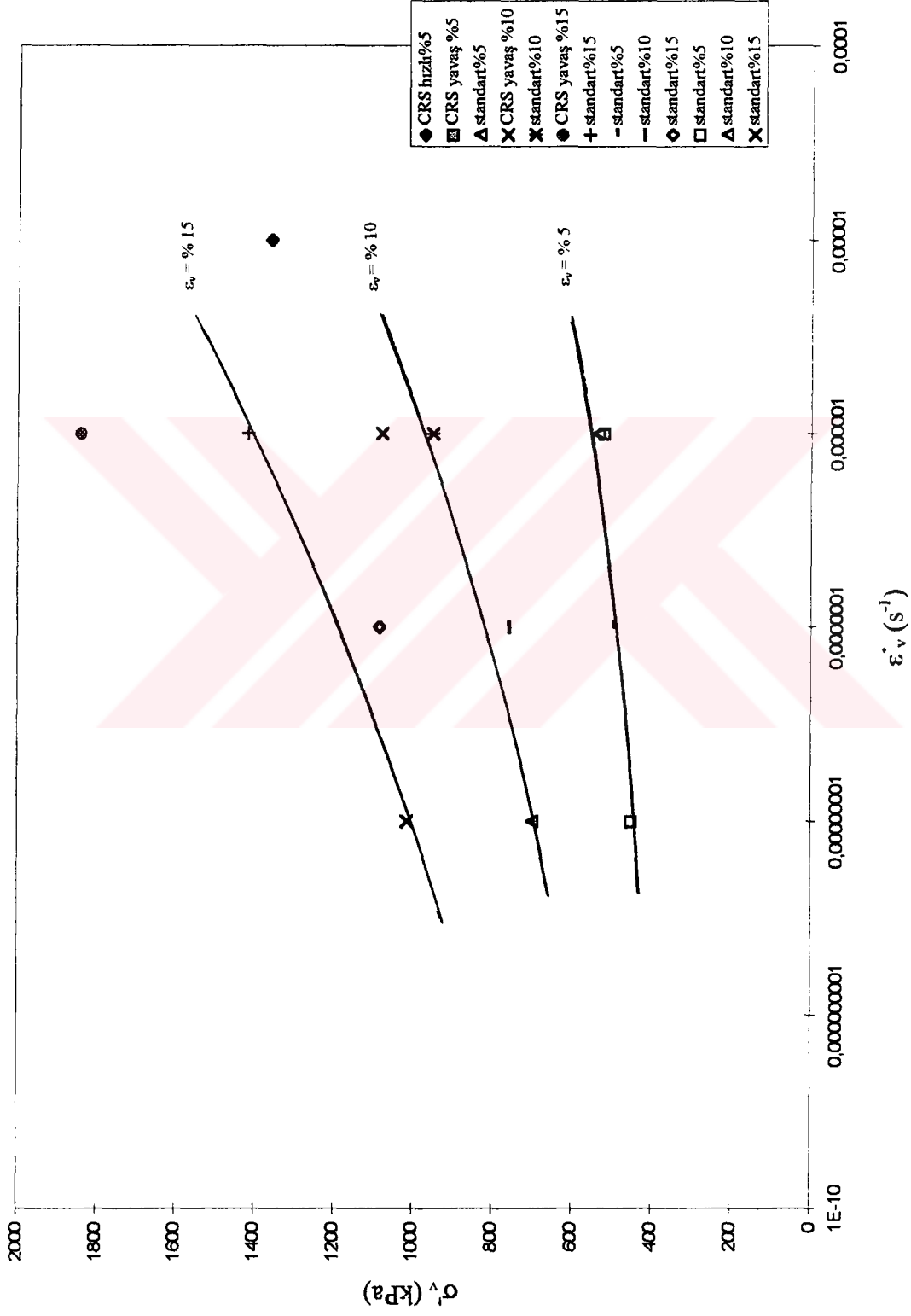
Şekil 6.4 Krip deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

DENEY NO : I ve I3



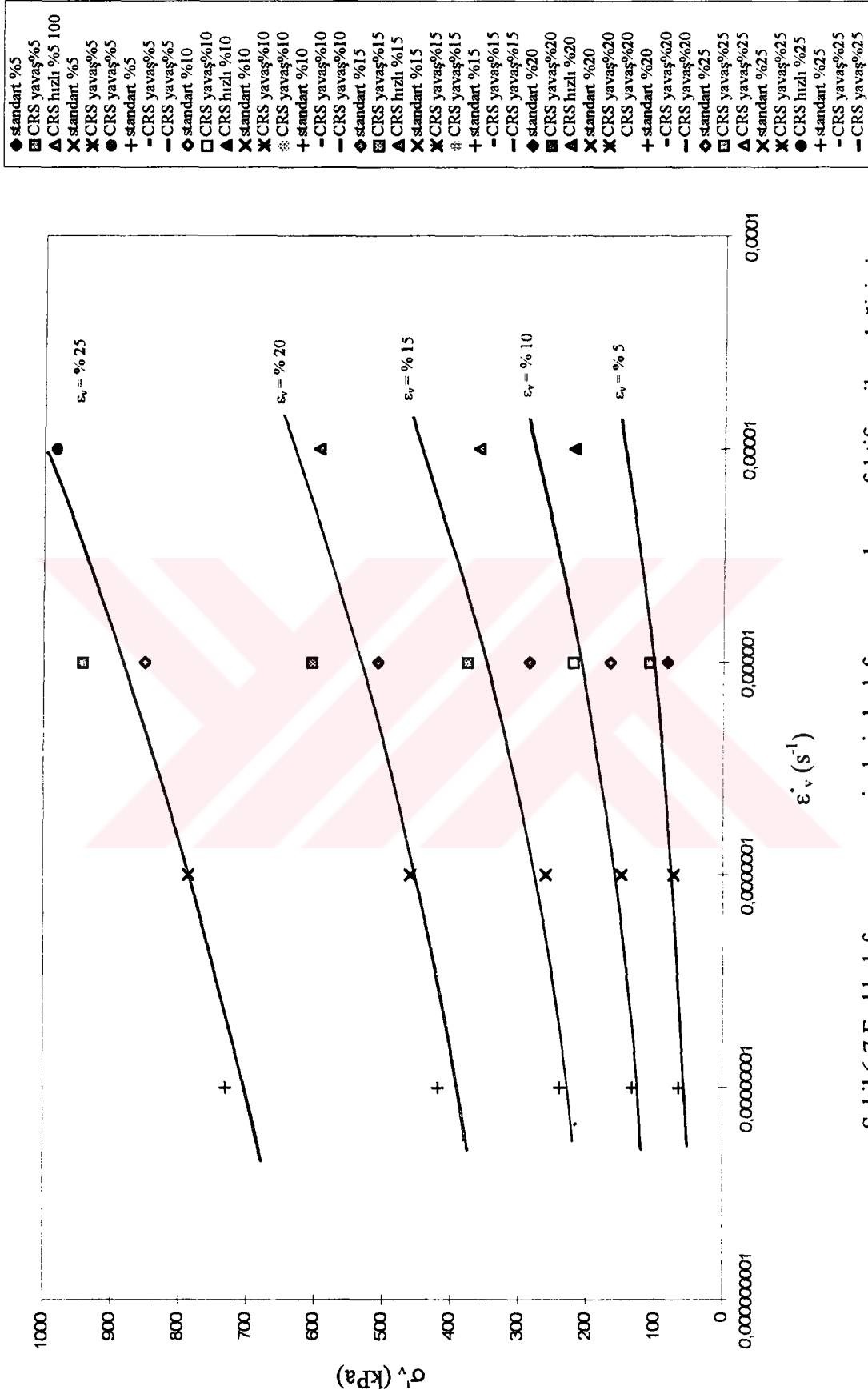
Şekil 6.5 Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı - efektif gerilme değişimi

DENEY NO : 3

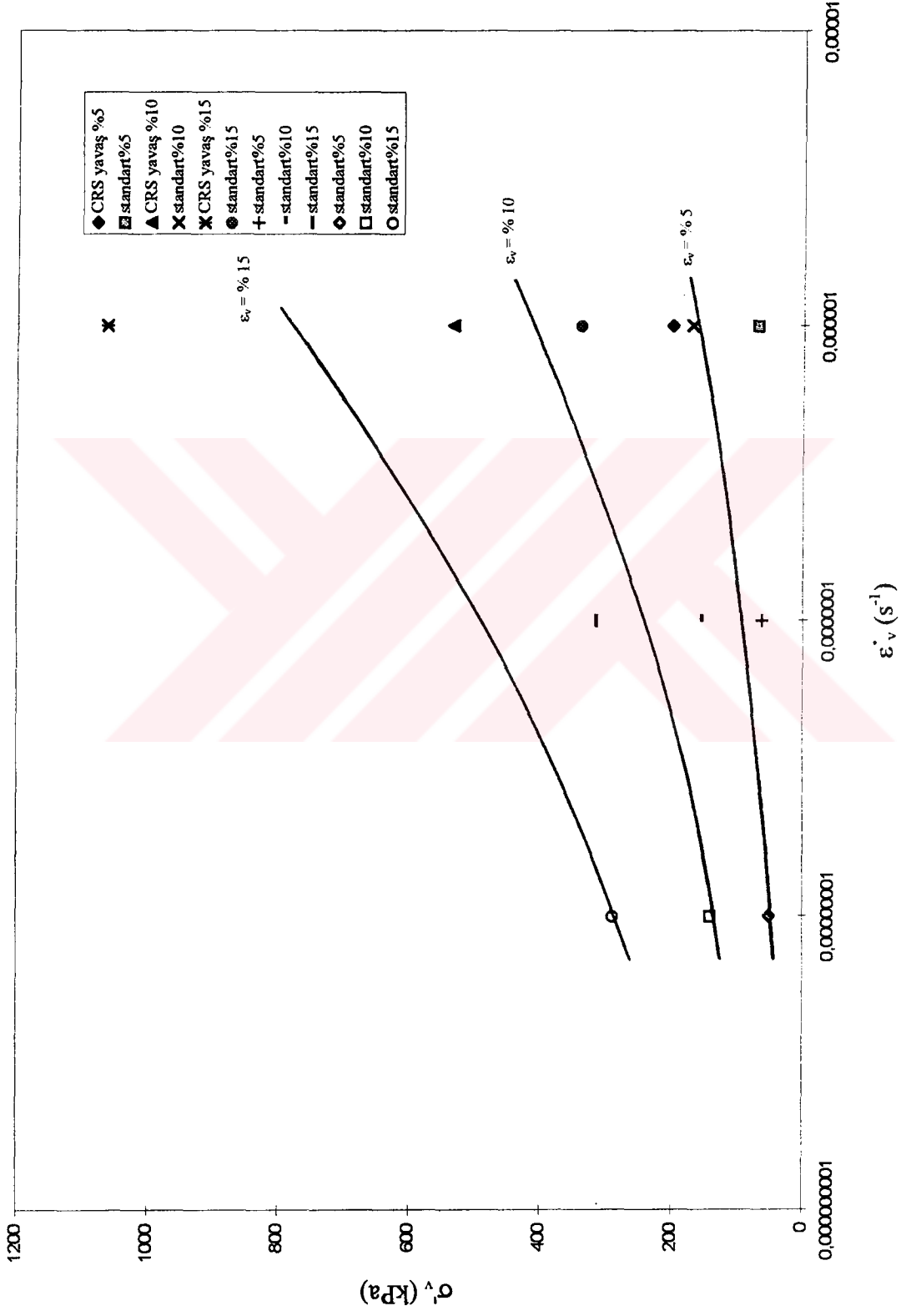


Şekil 6.6 Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı - efektif gerilme değişimi

DENEY NO : 4

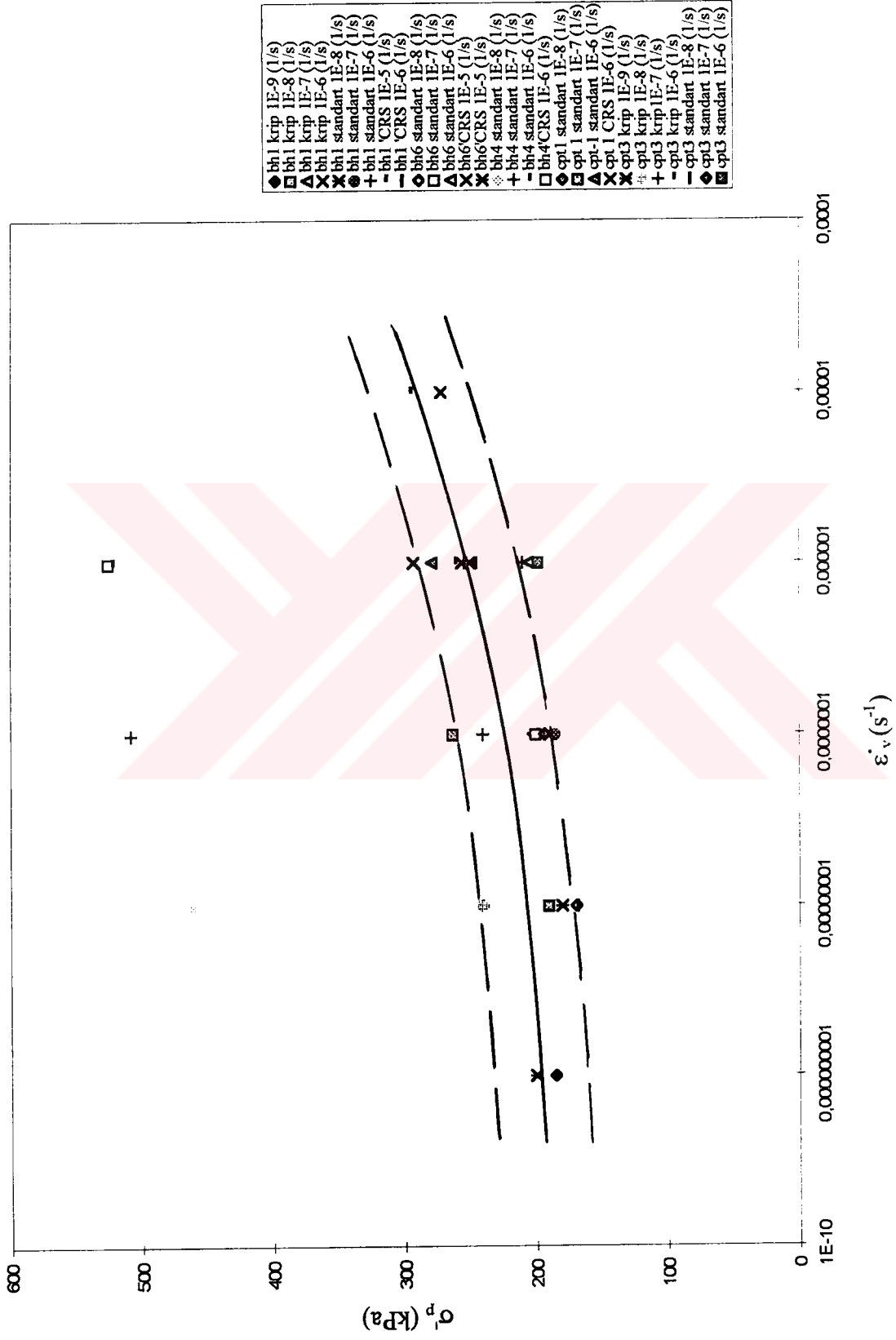


Şekil 6.7 Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı - efektif gerilme değişimi



Şekil 6.8 Farklı deformasyon seviyelerinde deformasyon hızı - efektif gerilme değişimi

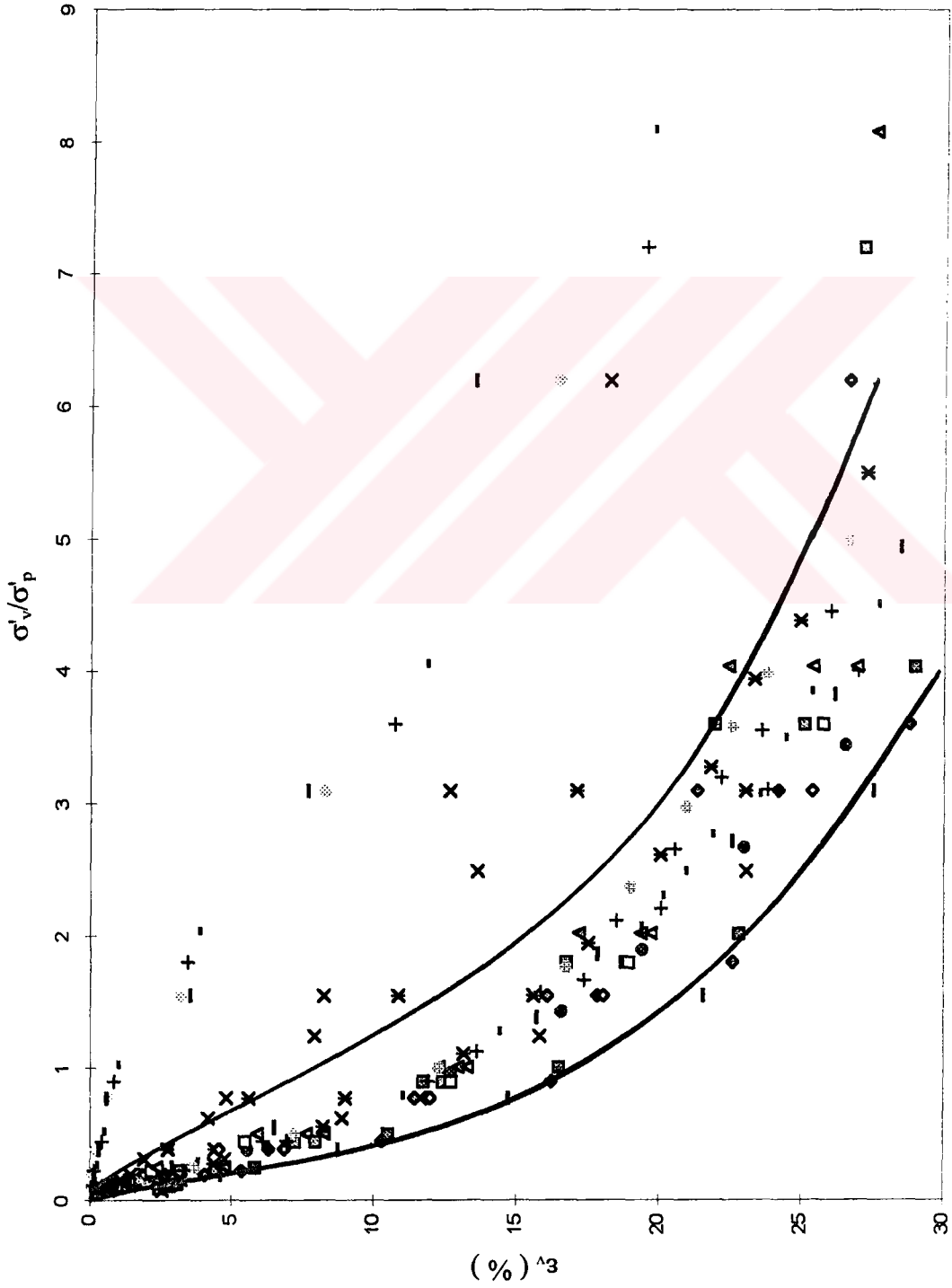
Tüm Deneyley



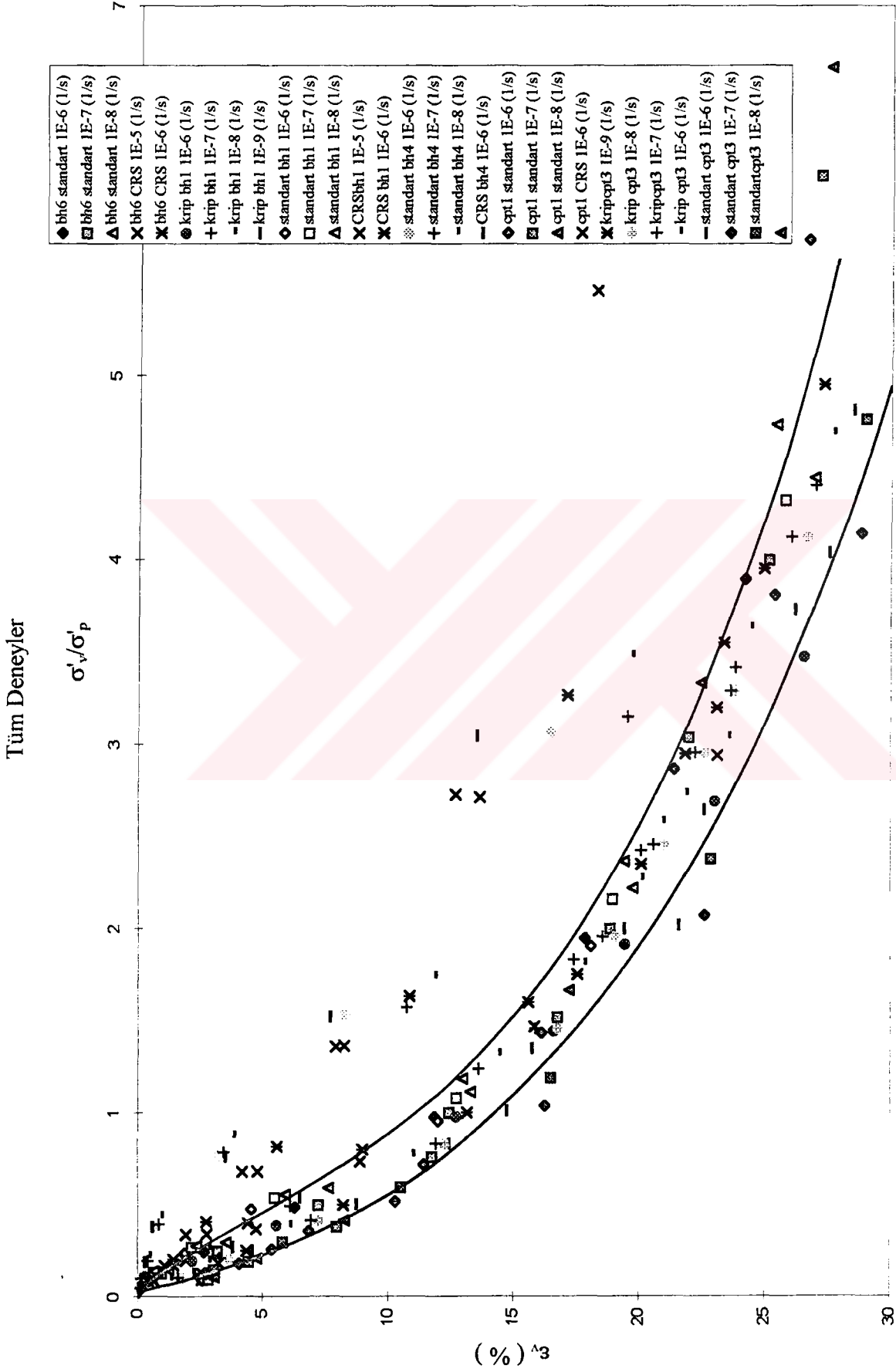
Şekil 6.9 Tüm numuneler için önkonsolidasyon basıncının deformasyon hızı ile değişimi

- bh6 standart 1E-6 (1/s)
 □ bh6 standart 1E-7 (1/s)
 ▲ bh6 standart 1E-8 (1/s)
 ✕ bh6 CRS 1E-5 (1/s)
 ✕ bh6 CRS 1E-6 (1/s)
 ● krip bh1 1E-6 (1/s)
 + krip bh1 1E-7 (1/s)
 - krip bh1 1E-8 (1/s)
 → krip bh1 1E-9 (1/s)
 ◆ standart bh1 1E-6 (1/s)
 □ standart bh1 1E-7 (1/s)
 ▲ standart bh1 1E-8 (1/s)
 ✕ CRS bh1 1E-5 (1/s)
 ✕ CRS bh1 1E-6 (1/s)
 ※ standart bh4 1E-6 (1/s)
 + standart bh4 1E-7 (1/s)
 - standart bh4 1E-8 (1/s)
 - CRS bh4 1E-6 (1/s)
 ◆ cpt1 standart 1E-6 (1/s)
 □ cpt1 standart 1E-7 (1/s)
 ▲ cpt1 standart 1E-8 (1/s)
 ✕ cpt1 CRS 1E-6 (1/s)
 ✕ kripcpt3 1E-9 (1/s)
 # krip cpt3 1E-8 (1/s)
 + kripcpt3 1E-7 (1/s)
 - krip cpt3 1E-6 (1/s)
 - standart cpt3 1E-6 (1/s)
 ◆ standart cpt3 1E-7 (1/s)
 □ standart cpt3 1E-8 (1/s)

Tüm Deneyler



Şekil 6.10 Referans bir hız değerine göre seçilmiş önkonsolidasyon basıncına göre normalize efektif gerilme - deformasyon



Şekil 6.11 Her numunenin kendi önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilme - deformasyon değişimi

6.2 Gibson - Lo Yöntemi

Bu çalışmada gerçekleştirilmiş deneyler üzerinde uygulanan diğer bir model Gibson-Lo (1961) tarafından önerilen ve turba zeminlerin sıkışmasını tahmin etmede tatmin edici sonuçlar sergilemiş olduğu gösterilmiş bir reolojik modeldir. Bölüm 3'te ayrıntılı olarak açıklanan yöntemin, bu araştırmada incelenen zeminin davranışını modellemek için uygulanışı bu bölümde sunulmaktadır.

6.2.1 Yöntem

Gibson-Lo (1961) modeline göre büyük şekil değiştirme gösteren zeminlerin sıkışması sırasında zamana bağlı deformasyon değeri aşağıdaki bağıntı ile ifade edilebilmektedir.

$$\varepsilon(t) = \Delta\sigma [a + b (1 - e^{-(\lambda/b)t})] \quad (3.22)$$

$\varepsilon(t)$ = Zamana bağlı deformasyon

$\Delta\sigma$ = Gerilme artımı

a = Birincil sıkışabilirlik parametresi

b = İkincil sıkışabilirlik parametresi

λ / b = İkincil sıkışmanın hız faktörü

Edil vd. (1984) tarafından bu model turba zeminlerin sıkışmasını incelemek için kullanılmıştır. Araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalar sırasında modelin turbalara uygulanabilmesi için ilk olarak $\log \dot{\varepsilon}_v - t$ grafiği çizilmiştir. Bu grafiklerin herbirinde eğrilerin son kısımları için lineerlik elde edilmiş ve buna dayanılarak teorinin uygulanabilir olduğu düşünülmüştür. " $\log \dot{\varepsilon}_v - t$ " grafiğinin düz bir çizgi eğilimi gösterdiği kısımdan geçirilecek en uygun doğrunun eğimi (m), ve düşey ekseni kestiği nokta (n) bulunduktan sonra a , b ve λ parametreleri aşağıdaki bağıntılardan bulunulabilmektedir.

$$\text{Eğrinin eğimi} = -0.434\lambda / b \quad (3.23)$$

$$\text{Eğrinin kesişimi} = \log(\Delta\sigma\lambda) \quad (3.24)$$

$$a = \frac{\varepsilon(t_k)}{\Delta\sigma} = b + be^{-(\lambda/b)t_k} \quad (3.25)$$

burada $\varepsilon(t_k)$ son oturma okuma zamanına (t_k) karşılık gelen birim şekil değiştirme olmaktadır. Model yardımıyla elde olunan şekil değiştirme - zaman eğrileri arazi ve laboratuvar dataları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilmiş deneysel datalar ile gözlemlenen iyi uyum uzun süreli sıkışma davranışının bu reolojik model vasıtasıyla iyi bir şekilde temsil edildiğini göstermiştir. Yalnız bu uyumun daha çok uzun süreli sıkışmada olduğu, ölçülmüş sıkışma ile modelin öngördüğü sıkışma arasında başlangıç aşamalarında bir uyumsuzluk olduğu da gözlemlenmiştir.

İnşaat mühendisliğinde sıkça kullanılan bir zemin iyileştirme yöntemi olan önyükleme sırasında oluşması beklenen oturma - zaman veya düşey deformasyon-zaman ilişkisinin projelendirme aşamasında öngörülmesi gerekmektedir. Bu ilişkiler laboratuvar ve arazi modelinin kullanıldığı deneylere dayanılarak tespit edilmeye çalışılır. Edil vd. (1984) turba zeminler üzerine gerçekleştirdikleri araştırmalarda, deneylerden elde edilen a , b ve λ / b ampirik parametrelerinin, gerilme artımının büyüklüğü, final gerilme seviyesinin büyüklüğü (başlangıçtaki gerilme + gerilme artımı) ve ortalama deformasyon hızı ile bağımlılık içinde olduklarını tespit etmişlerdir. Yapılan incelemeler sonunda nihai gerilme seviyesi (final konsolidasyon gerilmesi) üzerinde, birincil sıkışabilirliliğin genel bir bağımlılığının var olduğu tespit edilmiştir. Gerilmelerin karşılaştırılabilir seviyeleri için laboratuvar deney sonuçları, zemine ait özelliklerin değişim aralığında, arazi birincil sıkışmasının (a) mantıklı, makul bir tahminini vermiştir (Şekil 3.12). Deney noktalarını temsil eden bir ortalama eğri belirli bir gerilme seviyesinde ölçülmüş primer sıkışabilirliliğin değerini (a 'yı) ayarlama, bir düzeltme eğrisi olarak kullanılmıştır. Araştırmacılar b 'yi (ikincil sıkışabilirlilik faktörü) gerilme seviyesinin bir fonksiyonu olarak tanımlamışlardır. Turbalar için elde edilen değerlere bakıldığında ikincil sıkışabilirlilik faktörünün arazi ve laboratuvar değerleri arasındaki ilişkisinin, a için olduğu gibi kadar iyi olmadığını görmüşlerdir. Genellikle b 'nin arazi değerleri belirli bir gerilme seviyesinde, laboratuvardaki değerinden daha yüksek çıkmıştır (Şekil 3.13). Laboratuvar ve arazi değerleri arasındaki aykırılık için Şekil 3.15, gerilme seviyeleri farklılıkları için ise Şekil 3.14' te gösterilen ortalama eğrinin kullanımı önerilmiştir.

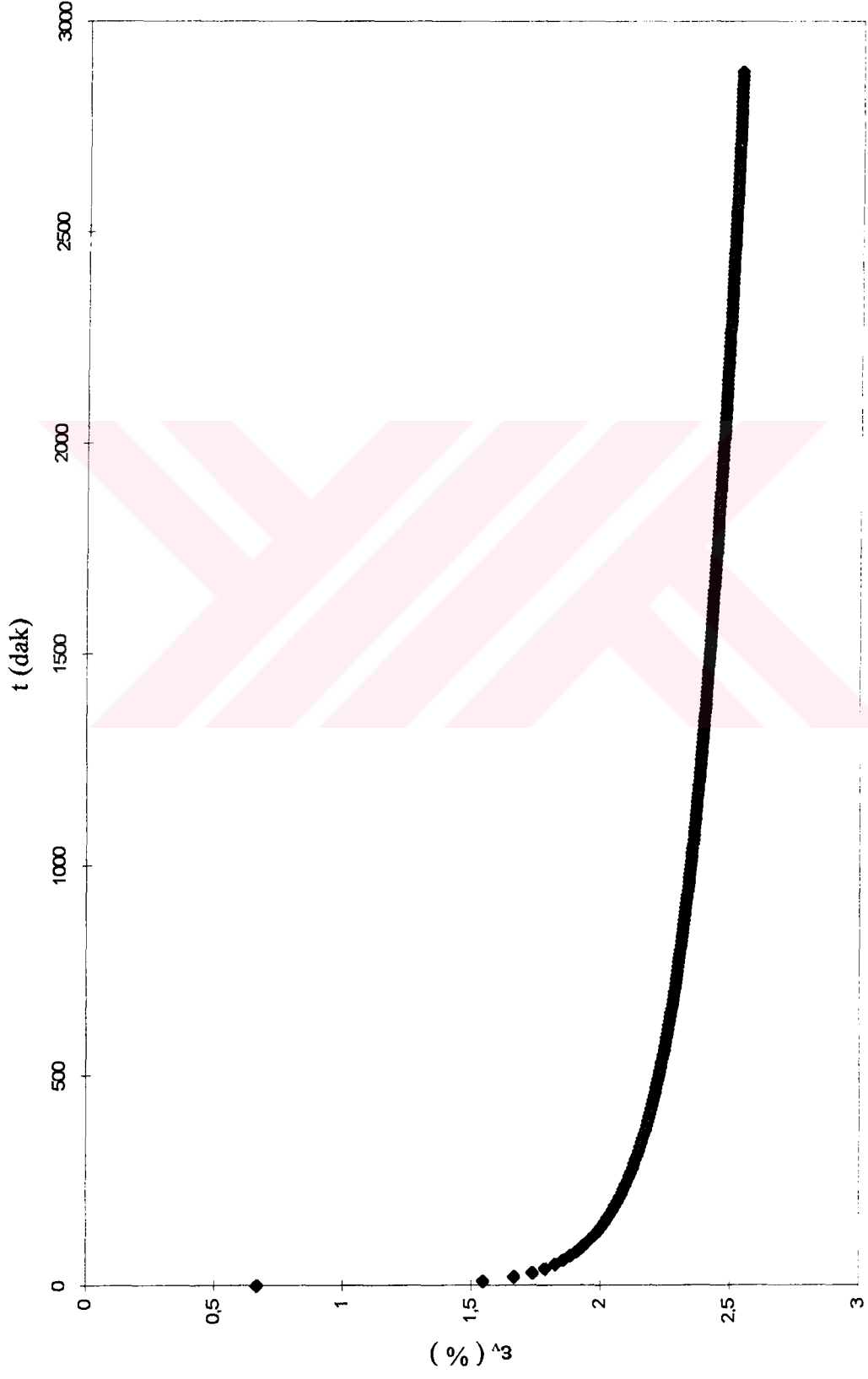
Lo (6) ikincil sıkışmanın hız faktörünün (λ / b) inorganik killer için zamanla daha güçlüce nonlineer olduğunu göstermiştir. Bu faktör Edil vd. (1984) tarafından analiz edilen turbalar ve organik zeminler için laboratuvar ve arazi değerleri arasında basit bir ilişki göstermemiştir. İkincil sıkışma sırasında zeminin yapısal viskozitesini temsil eden λ değerinin olası nonlineerliliği karşısında bu beklenebilecek bir durumdur. Şekil 3.15 organik zeminler ve turbalar için ikincil sıkışabilirlik hız faktörünün ortalama deformasyon hızı ile değişimini göstermektedir.

6.2.2 Yöntemin uygulanışı

Gibson-Lo modeli, İstanbul Alibey kili üzerinde yapılan bu araştırmada zemin davranışını modellemek için sınanmıştır. Yöntem sadece standart ödometre ve kripi deneylerine uygulanabilir olduğu için CRS deney sonuçları dikkate alınmamıştır.

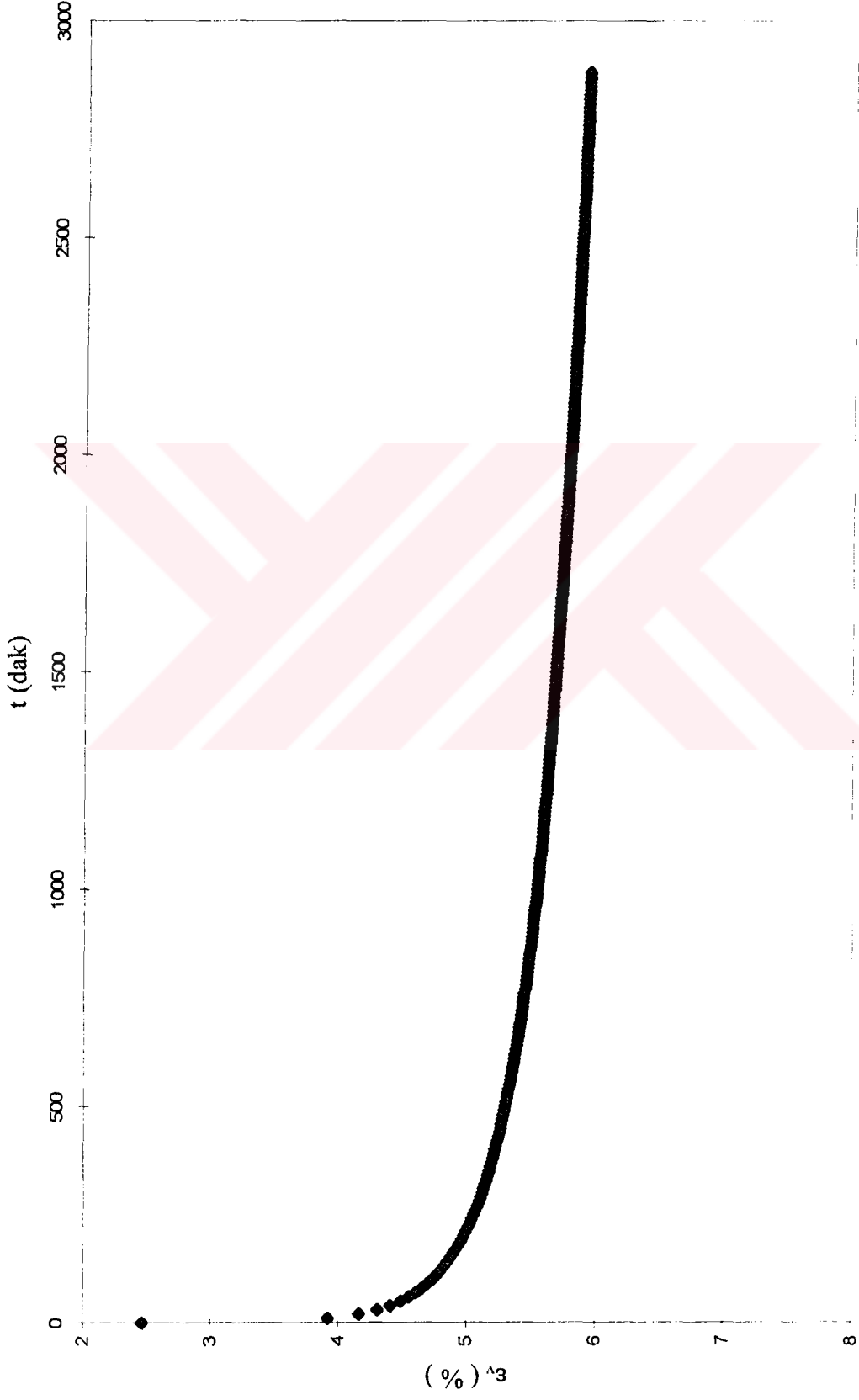
Bu çalışmada, Gibson-Lo metodu, ilk olarak laboratuvar deneylerinin sonuçları üzerinde uygulanmıştır. Yöntemin uygulanabilmesi için öncelikle gerekli olan parametrelerin (a , b , λ/b) değerleri deneylerdeki her yük kademesi için ayrı ayrı tespit edilmiştir. Bu tespitin yapılabilmesi için ilk olarak standart ödometre ve kripi deneylerinin her yük kademesi için $\log \dot{\epsilon}_v - t$ grafikleri çizilmiştir. Standart deneylerde uzun süreli sıkışma olmadan deneyler tamamlandığından dolayı yeterli sayıda data olmadığı için mevcut noktalardan mümkün en uygun eğri geçirilerek düzenli datalar elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 6.12 ve Şekil 6.13'de örnek olarak iki deney için oluşturulan oturma-zaman eğrileri sunulmuş, diğer deneylere ait eğriler ekler kısmında verilmiştir. Bu eğrilerden yararlanarak $\log \dot{\epsilon}_v - t$ grafikleri çıkartılmıştır. Çizilen bu grafiklerde, belirli bir süre geçtikten sonra doğrusallaşan bir trend gözlemlenmiştir. Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'de örnek olarak iki deneye ait şekil değiştirme - zaman eğrileri sunulmuş diğer deneylere ait grafikler ekler kısmında verilmiştir. Bu eğrilerin doğrusallaşan kısımlarından en uygun doğrular geçirilerek bu doğruların eğimleri (m) ve düşey ekseni kestikleri noktaların ordinatları (n) belirlenmiştir. Bulunan eğimler, (3.23) bağıntısında yerine konarak her bir yük kademesi için λ / b değerleri, doğruların düşey ekseni kestiği noktaların ordinatları (3.24) bağıntısında yerine konarak λ değerleri ve ikisinin oranlaması yapılarak b değerleri elde edilmiş; a parametresi için ise (3.25) bağıntısı

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



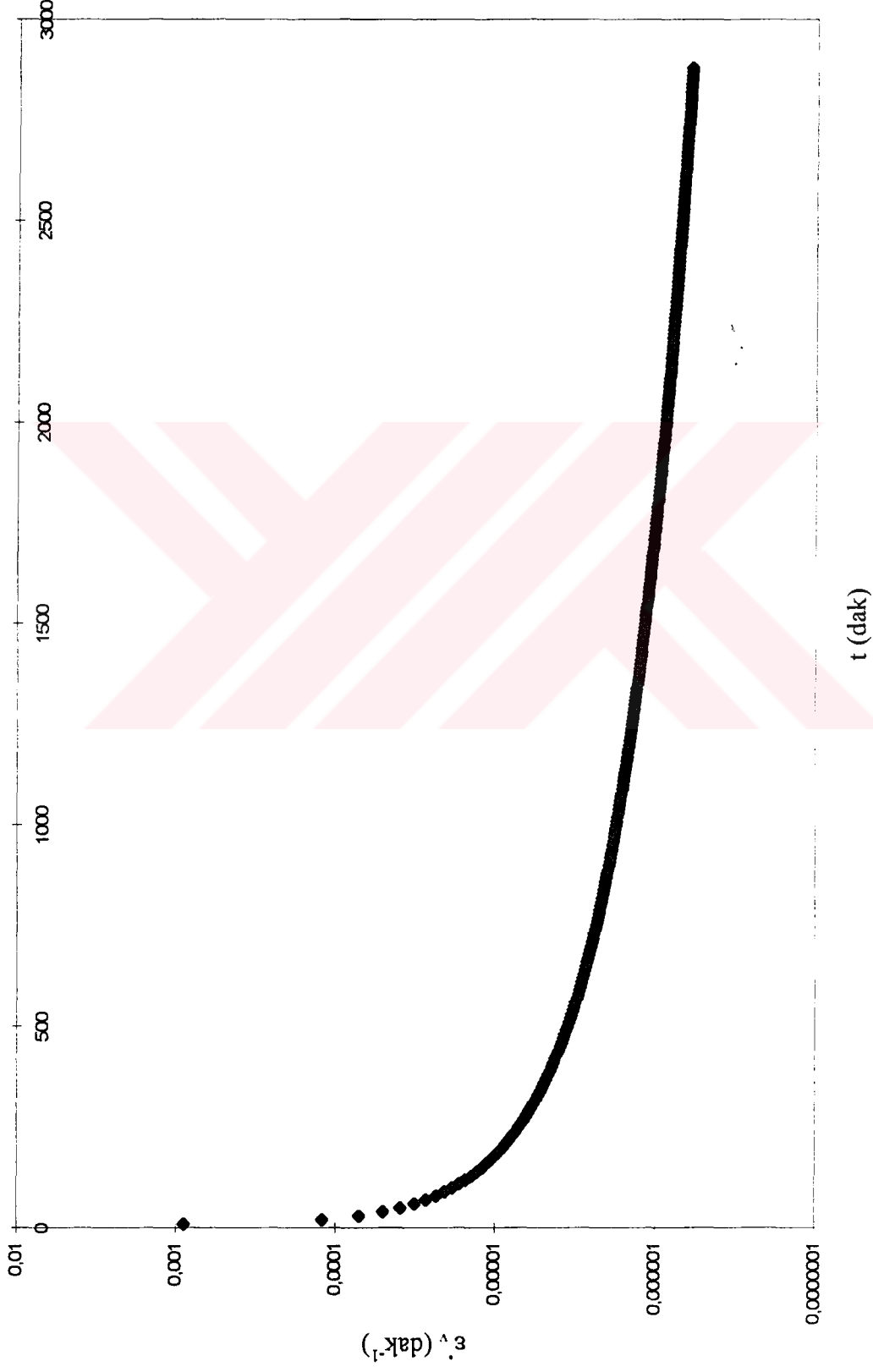
Şekil 6.12 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$

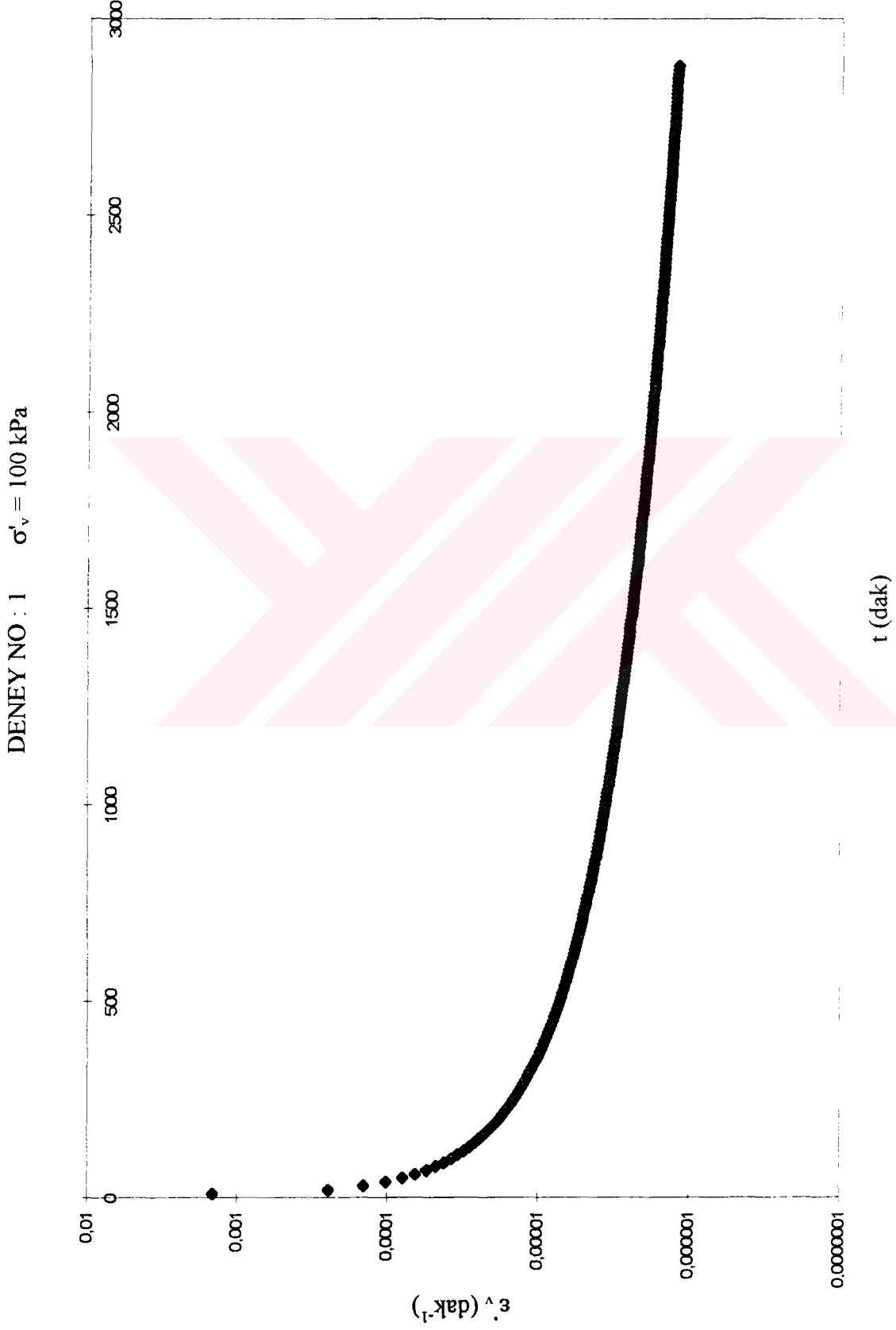


Şekil 6.13 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



Şekil 6.14 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi



Şekil 6.15 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

kullanılarak gereken değerler hesaplanmıştır. Bu formüllerde geçen t_k sembolü o kademede okunmuş son deformasyon değerinin ait olduğu zamanı, $\Delta\sigma$ terimi ise o anda işlem yapılan gerilme değerinden, numuneye bir önceki kademede uygulanan gerilme değerinin çıkartılması ile bulunmuştur.

Gerekli bütün parametreler bulunduktan sonra, (3.22) formülasyonu yardımıyla istenen zamanlar için deformasyon değerleri hesaplanmış ve deney datalarıyla karşılaştırılmıştır. Şekil 6.16, Şekil 6.17 ve Şekil 6.18'de laboratuvar deneylerinde elde edilen sonuçların bu yöntemle bulunan değerlerle karşılaştırılması bir standart ödometre deneyinin üç değişik yükleme kademesi için gösterilmiş, benzer diğer grafikler ise ekler kısmında verilmiştir. Laboratuvarda gözlenen şekil değiştirme - zaman davranışı ile hesaplanan davranışın başlangıç kısmının uyumlu olmadığı, daha ileri aşamalarda daha iyi bir uyumun sağlandığı, her yükleme kademesinde hesaplanan ve ölçülen nihai şekil değiştirme değerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmektedir. Bu gözlemlerin, benzer çalışmalarda rapor edilen davranış ile uyumlu olduğu görülmektedir.

Bu yöntem vasıtasıyla bulunan değerlerin laboratuvar deney sonuçlarıyla karşılaştırmasının yapılmasından sonra, ikinci aşama olarak bu kez arazi sonuçlarından yararlanılarak elde edilen a , b , λ / b parametreleri kullanılarak metod vasıtasıyla bulunan sonuçlar arazi oturumları ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın yapılabilmesi için Alibey barajı menba batardosu okumalarından elde edilen düşey deformasyon değerleri kullanılmıştır. Öncelikle $\log \epsilon_v - t$ grafikleri arazideki her bir yükleme kademesi için ayrı ayrı çizilmiştir. Çizilen bu grafiklerde, sonlara doğru doğrusallaşan bir trend gözlemlenmiştir. Bu doğrusallaşan kısımlardan, mümkün en uygun doğrular geçirilerek bu doğruların eğimleri ve düşey eksenini kestikleri noktaların ordinatları belirlenmiştir. Eğimler ilk olarak (3.23) formülünde yerine konarak her bir yük kademesi için λ / b değerleri, doğruların düşey eksenini kestiği noktaların ordinatları (3.24) formülünde yerine konarak λ değerleri ve de her ikisinin oranlaması yapılarak b değerleri elde edilmiş; a parametresi ise (3.25) formülü kullanılarak hesaplanmıştır. Gerekli bütün parametreler bulunduktan sonra, (3.22) formülasyonu yardımıyla istenen zamanlar için deformasyon değerleri hesaplanmış ve arazi oturum okumaları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 6.19, 6.20, 6.21, 6.22, 6.23 ve 6.24'de altı kademeli

olarak gerçekleştirilen arazi yüklemesi altında ölçülen oturma değerleri ile Gibson-Lo yöntemi ile hesaplanan değerler karşılaştırmalı olarak gösterilmiştir. Genel olarak hesaplanan ve arazide ölçülen şekil değiştirme-zaman davranışı arasında oldukça iyi bir uyum sağlandığı, 2. yükleme kademesinden sonra ve ileri aşamalarda uyumun derecesinin arttığı, her yükleme kademesinde hesaplanan ve arazide ölçülen nihai şekil değiştirme değerlerinin birbirine çok yakın olduğu gözlenmektedir. Yöntemin kısa süreli arazi okumalarından yararlanarak elde olunacak parametrelerin kullanılması ile arazi oturmalarını modellemek için oldukça başarılı sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

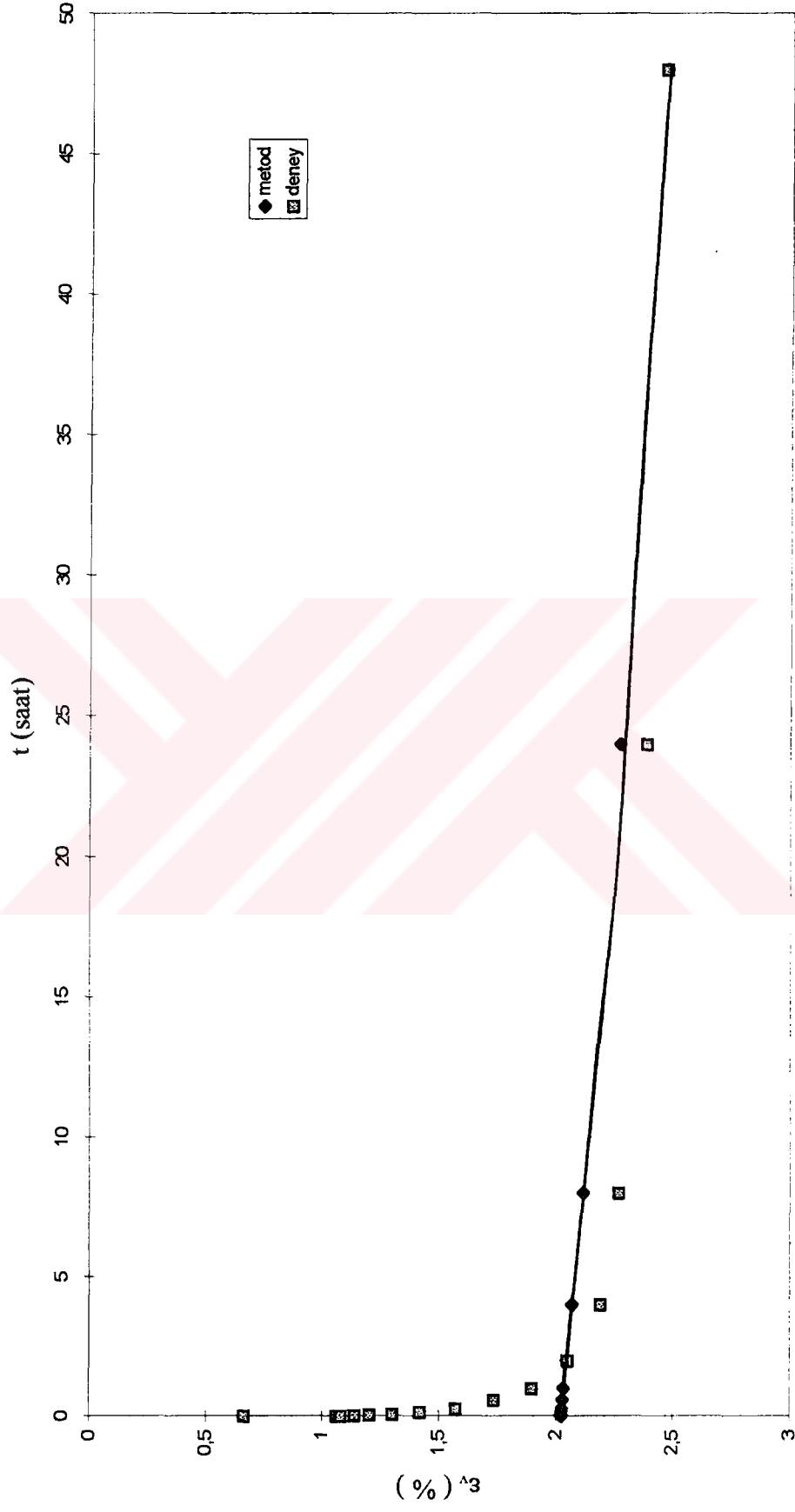
Gibson-Lo modelinin incelendiği bu çalışmanın son aşamasını ise laboratuvar deney sonuçlarından yararlanılarak bulunan a , b , λ / b değerlerinin arasından arazi yükleme koşulları ve gerilme durumu gözönüne alınarak seçilen parametrelerin kullanımıyla arazideki davranışın tahmin edilmeye çalışılması oluşturmuştur.

Şekil 6.25'de ;

- 1) Laboratuvar deneylerinden elde olunan zemin parametreleri kullanılarak hesaplanan,
- 2) Arazi oturmaları okumalarından elde olunan zemin parametreleri kullanılarak hesaplanan, ve
- 3) Arazi oturma plakası ölçümlerinden elde olunan düşey birim deformasyon-zaman davranışı karşılaştırmalı olarak sunulmuştur.

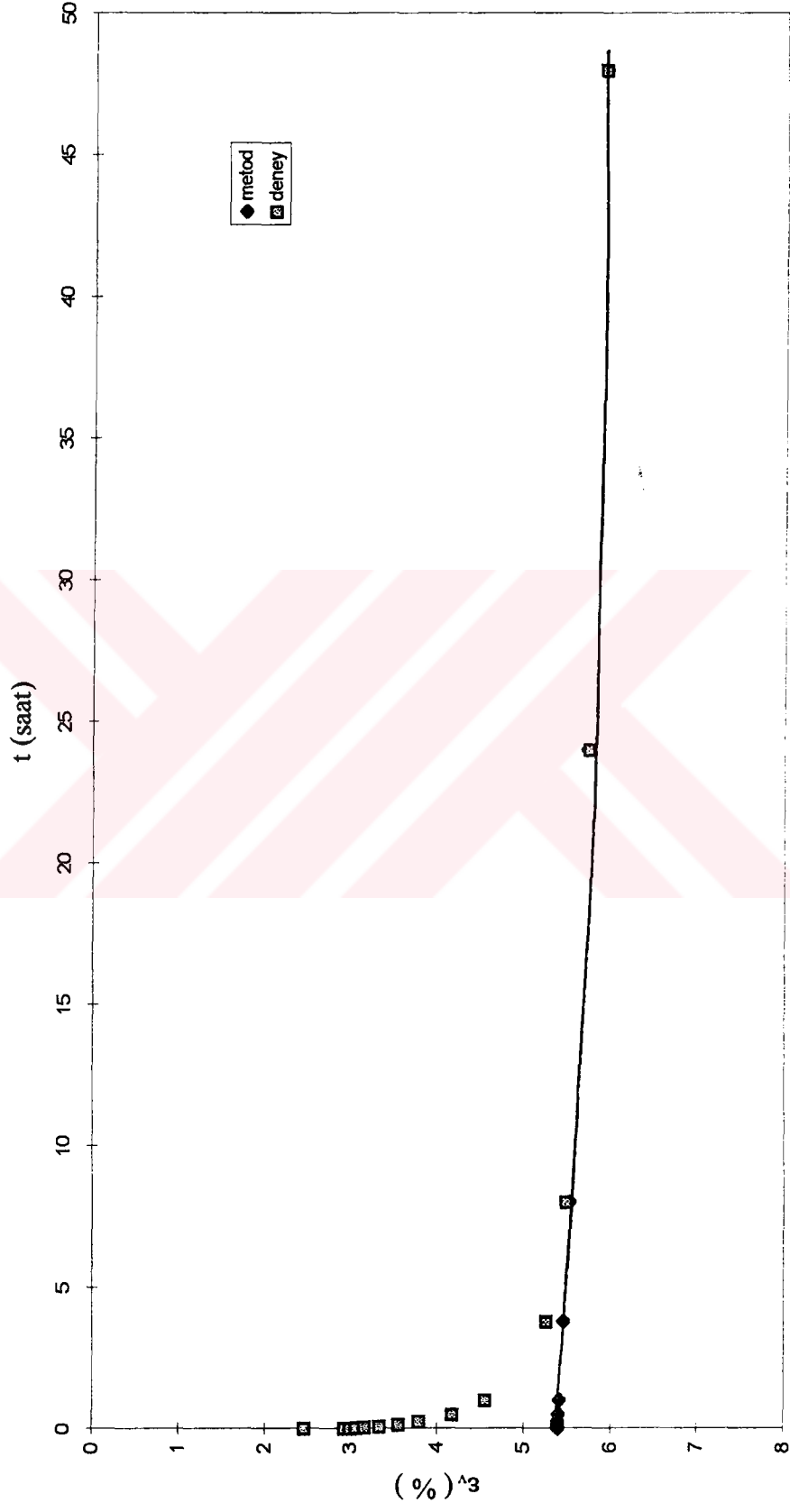
Şekil 6.25'deki sonuçların incelenmesinden, kullanılan yöntemin gerek laboratuvar deney sonuçlarından üretilen zemin parametreleri gerekse arazi okumalarından elde olunan zemin parametreleri kullanılması durumunda, uzun süreli arazi oturma - zaman davranışını modellemek için oldukça başarılı olduğu görüşüne varılmıştır.

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



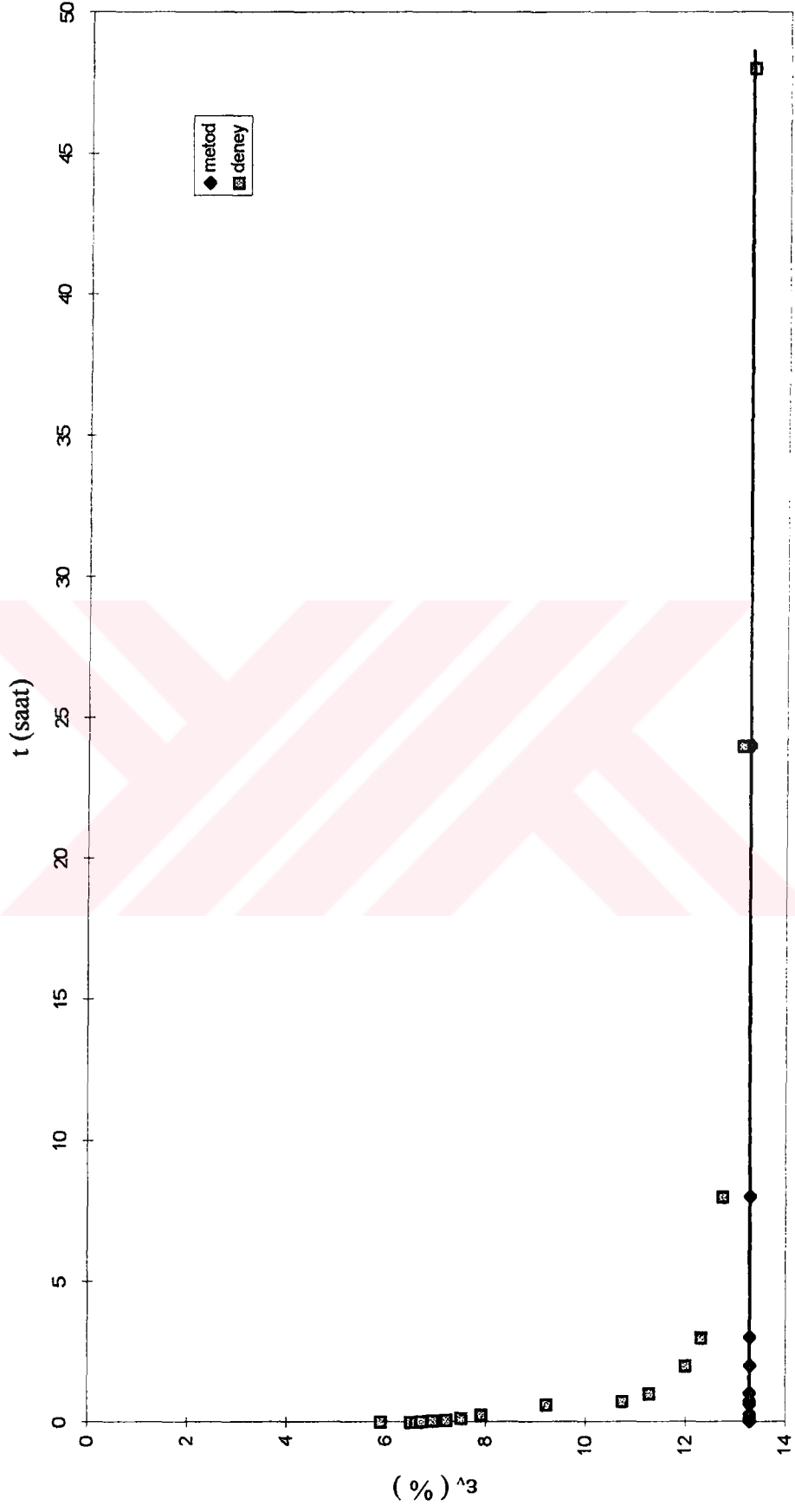
Şekil 6.16 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



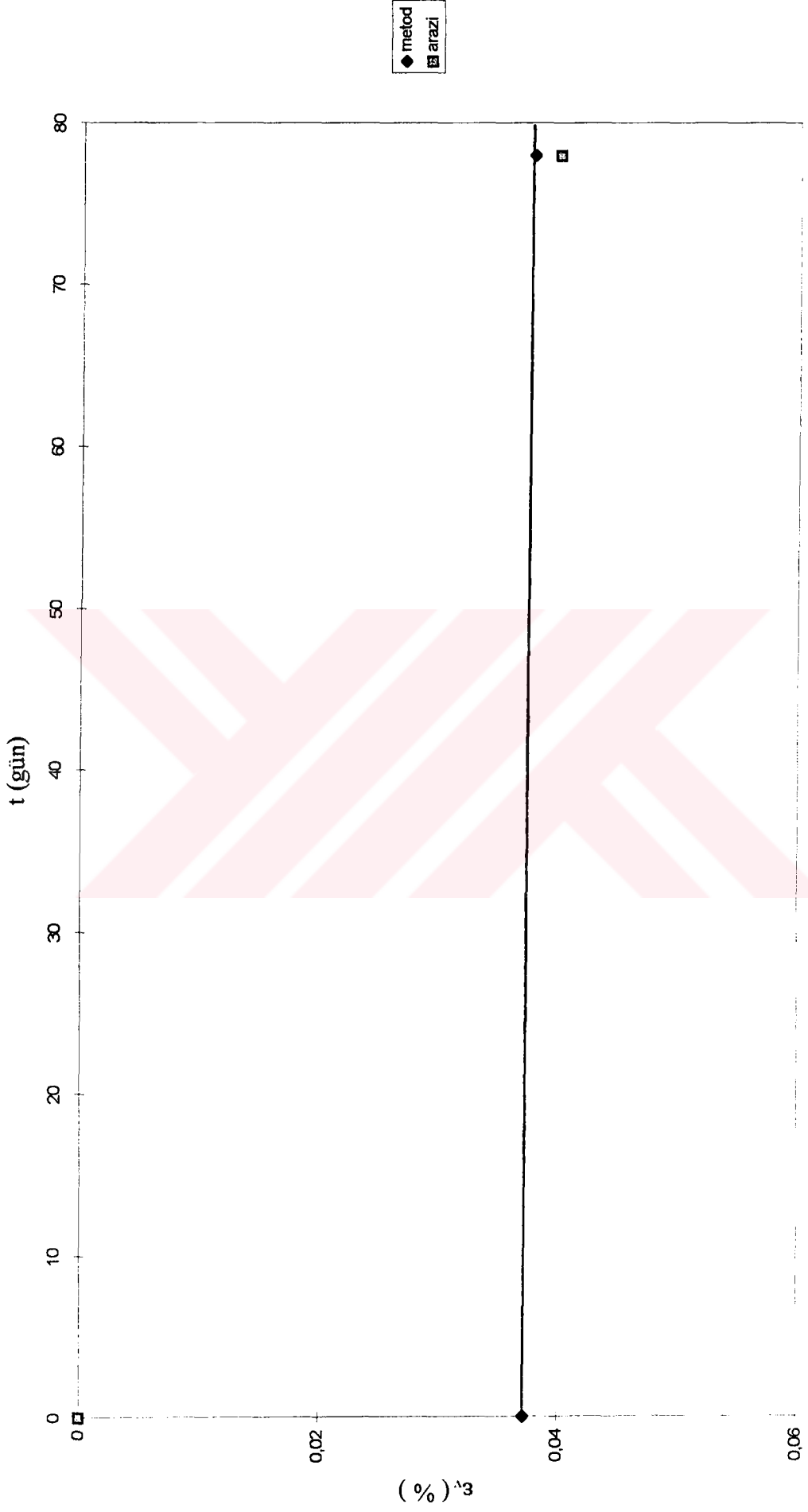
Şekil 6.17 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



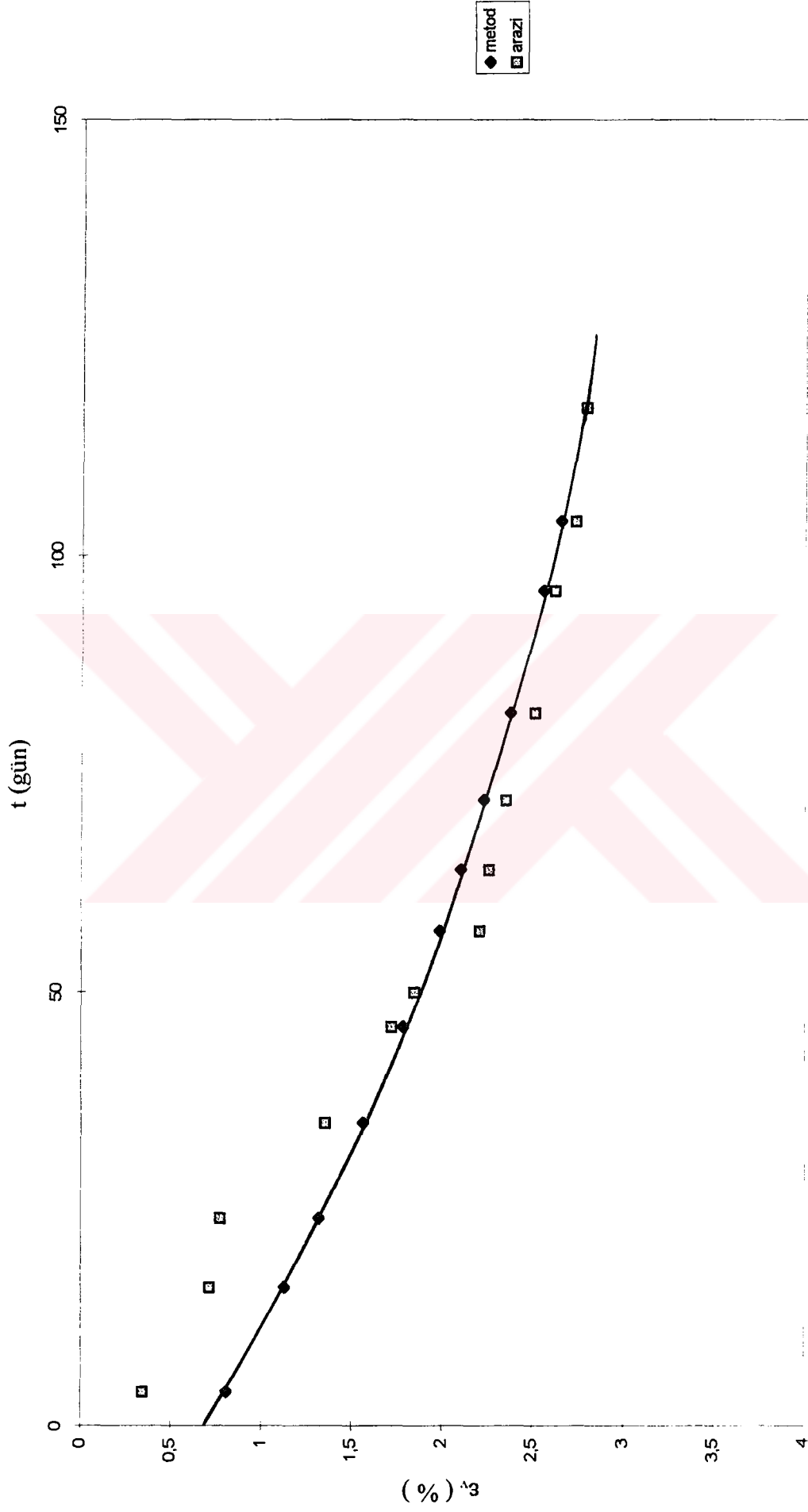
Şekil 6.18 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

ARAZI İlk kademe



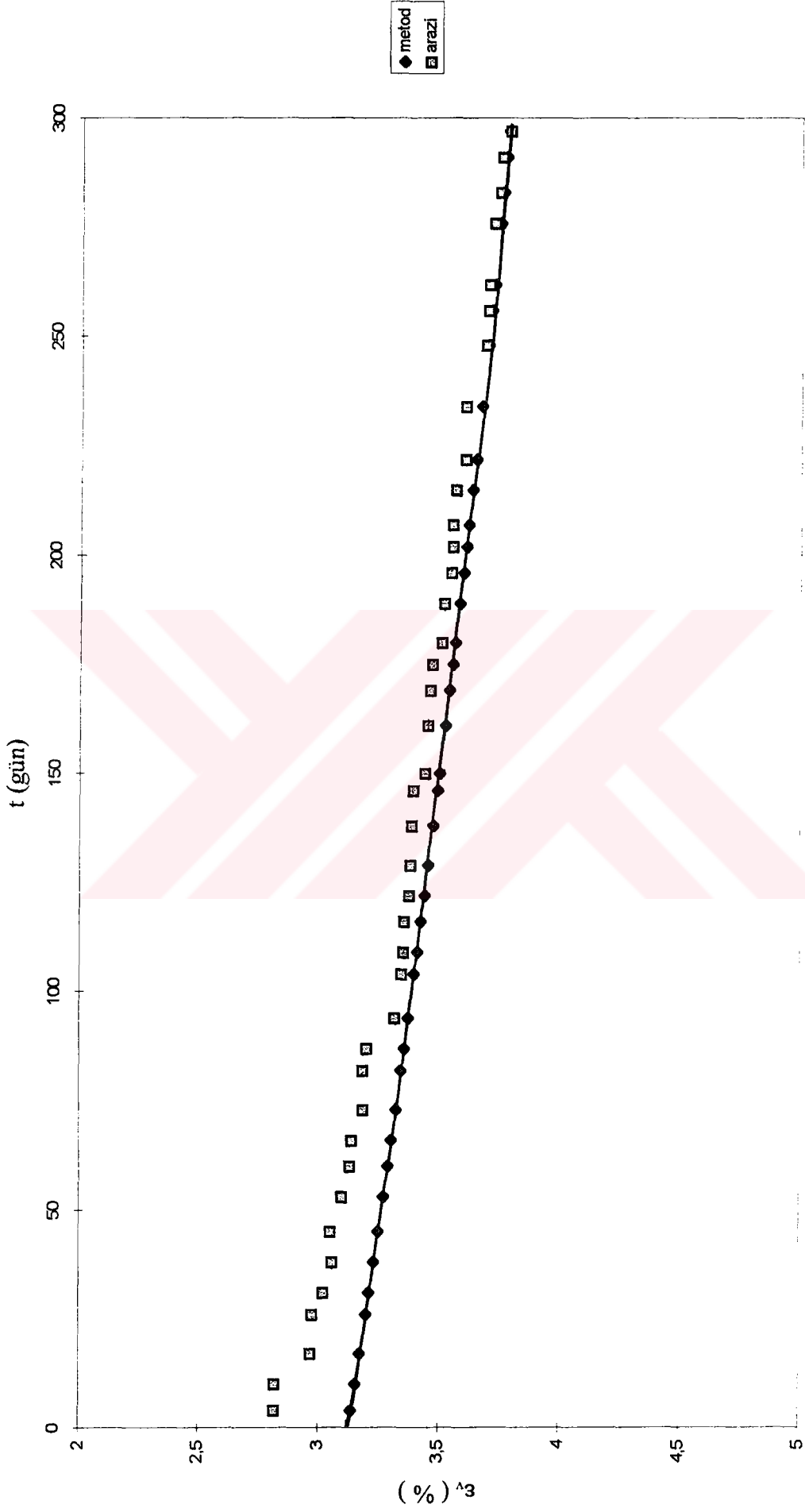
Şekil 6.19 Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

ARAZI İkinci kademe



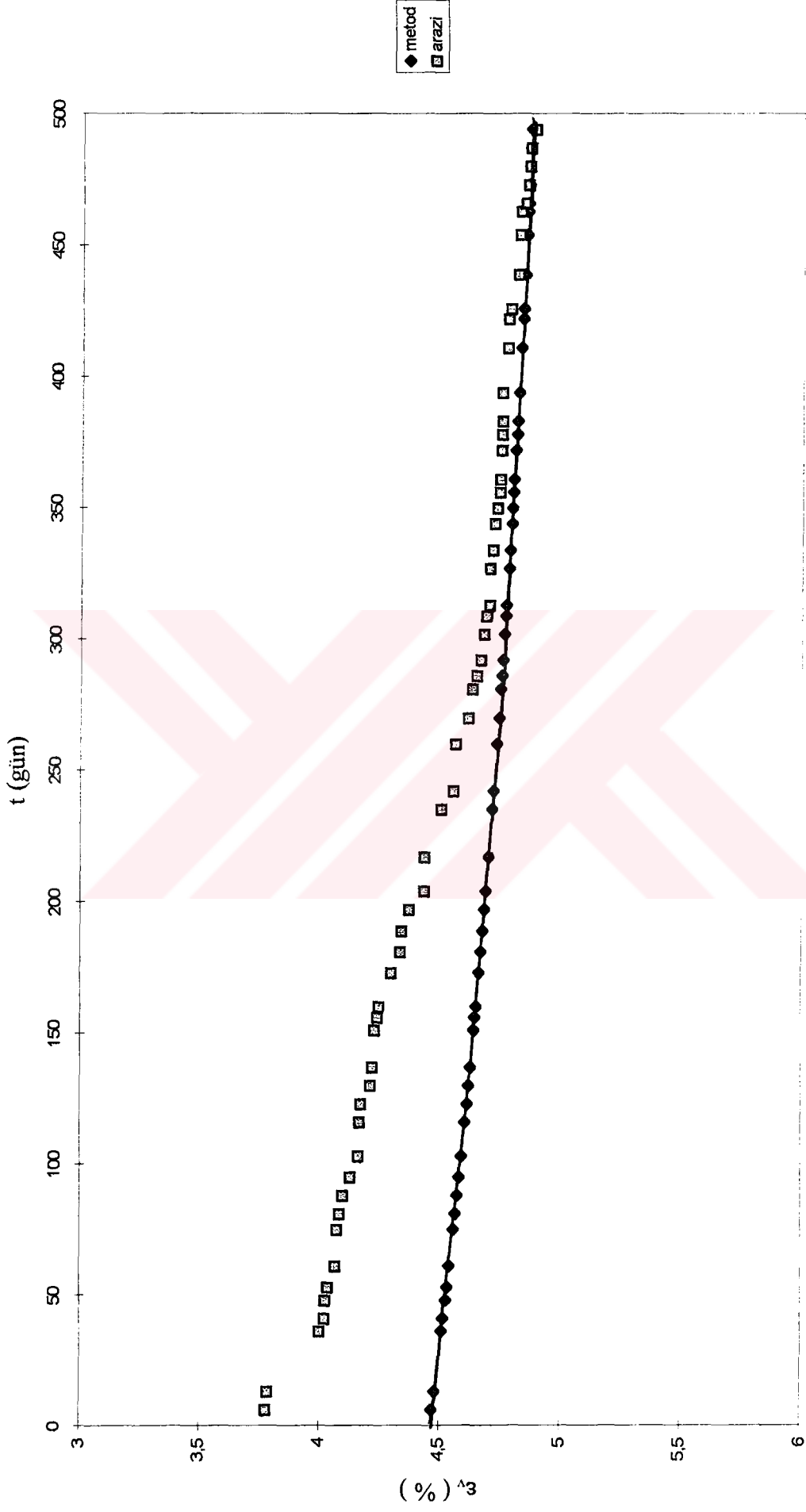
Şekil 6.20 Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

ARAZI Üçüncü kademe



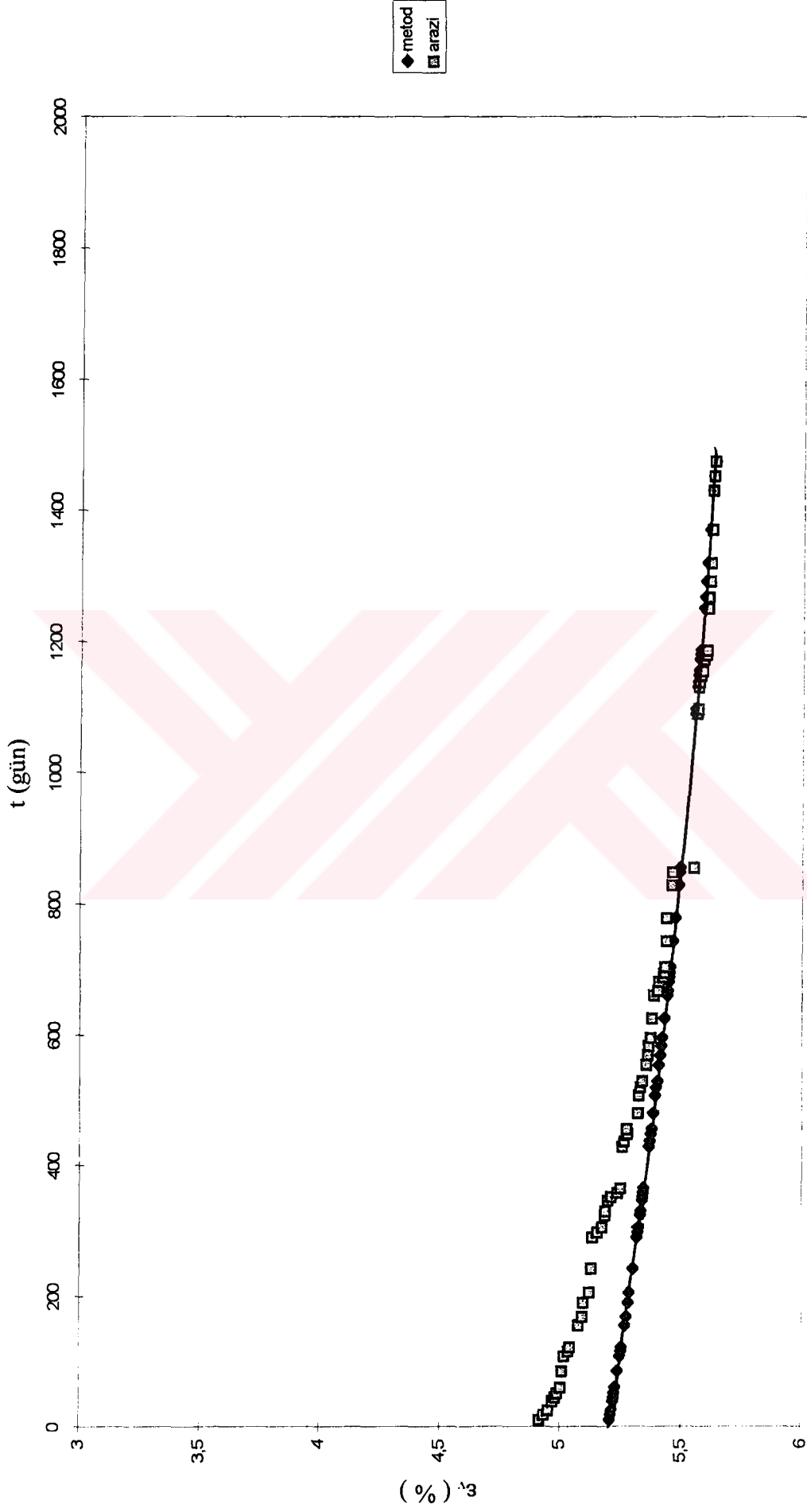
Şekil 6.21 Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

ARAZİ Dördüncü kademe



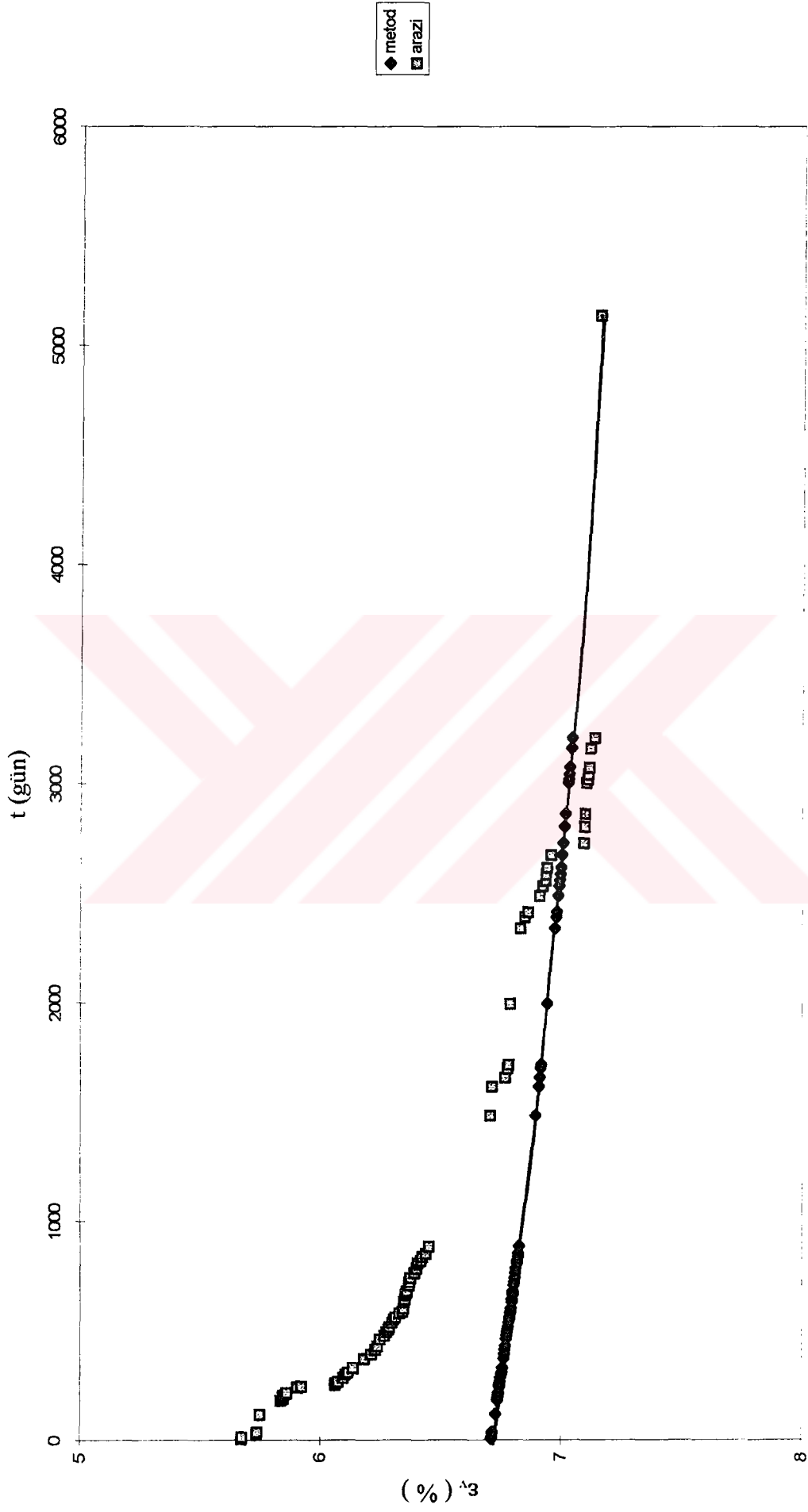
Şekil 6.22 Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değışirme - zaman davranışı

ARAZİ Beşinci kademe

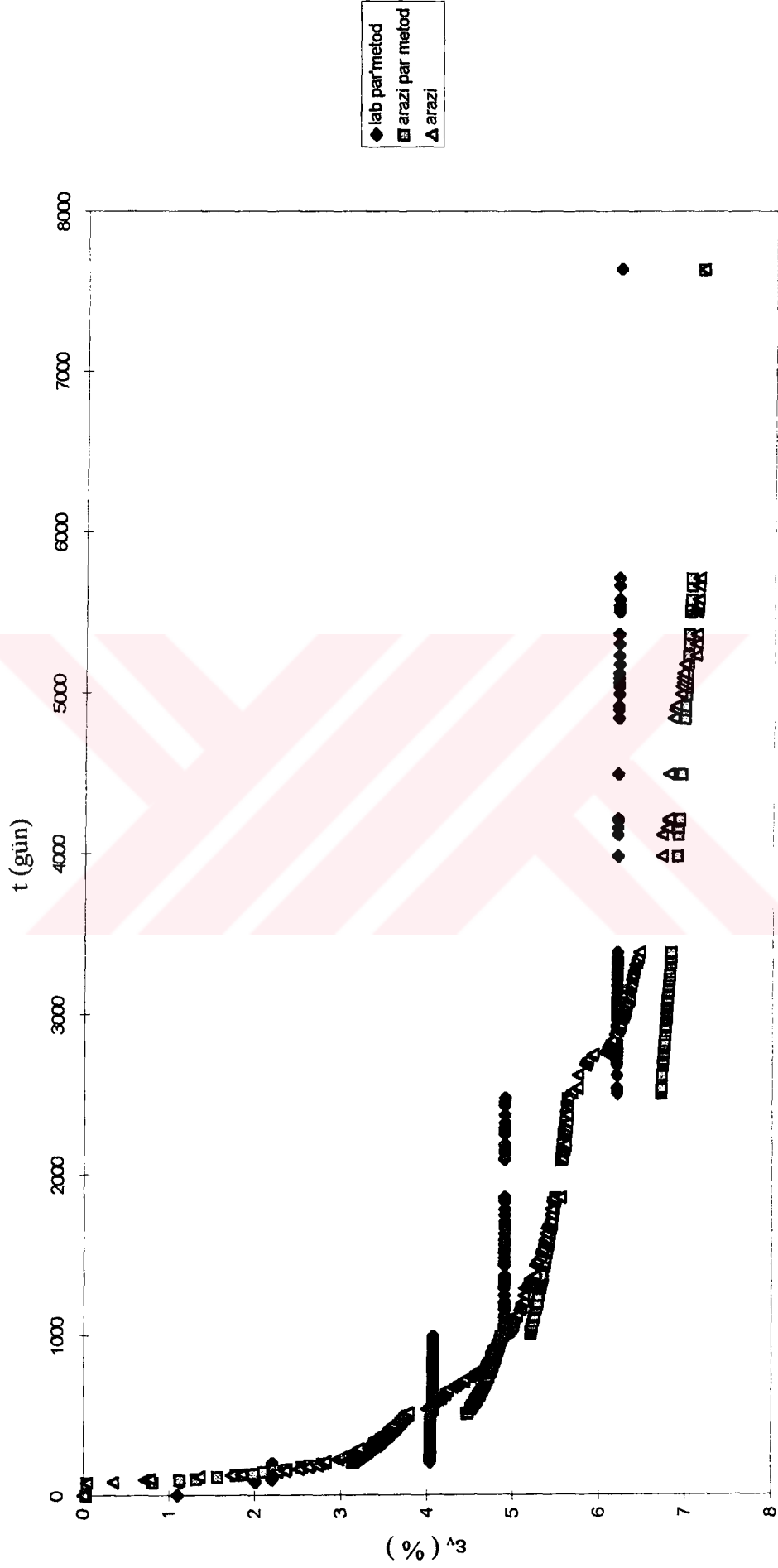


Şekil 6.23 Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

ARAZI Altıncı kademe



Şekil 6.24 Arazi okumaları ile hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı



Şekil 6.25 Bütün yük kademeleri için arazi okumaları ile hesaplanan şekil değışirme - zaman davranışının karşılaştırılması

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada zeminlerin konsolidasyon davranışını tanımlayabilmek için geliştirilmiş modellerden ikisi Alibey Barajı temel zemininden alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen üç değişik türde konsolidasyon deneyi sonuçları değerlendirilerek zeminin konsolidasyon davranışının tanımlanabilmesindeki geçerliliği ve uygulanabilirliği sınanmaya çalışılmıştır. Bu modeller Leroueil vd. (1985), ve Gibson-Lo (1961) tarafından önerilmiş olan modellerdir.

Esas olarak Kanada Champlain deniz killeri üzerinde yapılan deneysel çalışmalar sonunda geliştirilen Leroueil vd. (1985) modelinde doğal killer için tekil (unique) bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ ilişkisi olduğu ve bu ilişkinin matematiksel bir formülasyon kullanılmaya gerek duyulmadan bazı tipik davranış eğrileri ($\sigma'_p - \dot{\epsilon}_v$ ve $\sigma'_v/\sigma'_p(\dot{\epsilon}_v) - \epsilon_v$) ile tanımlanabileceği ileri sürülmüştür. Bu araştırmada yöntemin uygulanabilirliğinin incelenmesi için yazarlar tarafından önerilen eğriler, Alibey Barajı temel zemininden alınan numuneler üzerinde yapılan üç deney tipinden (standart odometre, CRS, krip) elde edilen sonuçlar için oluşturulmaya çalışılmıştır. Bu amaçla ilk olarak farklı şekil değiştirme hızlarını temsil eden $\sigma'_v - \epsilon_v$ eğrileri için önkonsolidasyon basınçları Tavenas yöntemi kullanılarak tespit edilmiş ve modelin öngördüğü şekilde deformasyon hızının artmasıyla önkonsolidasyon basınçlarının da buna bağlı olarak daha büyük değerler aldığı gözlenmiştir. Aynı zamanda deney sonuçlarından çizilen $\sigma'_v - \epsilon_v$ grafiklerinde deformasyon hızının etkisi gözlemlenmiş ve daha hızlı deneylerde herhangi bir deformasyon seviyesindeki efektif gerilme değerinin, daha düşük hızlı bir deneyde gözlemlenmiş olandan daha büyük olduğu görülmüştür. Boşluk suyu basınçlarının ölçülebildiği CRS deneylerinde de deformasyon hızı faktörünün önemi görülmüş daha hızlı deneylerde, yavaş deneylere göre daha büyük boşluk suyu basıncı değerleri olduğu tespit edilmiştir. Değişik şekil değiştirme seviyeleri için tüm numuneler üzerinde gerçekleştirilmiş deneylerin sonucunun gösterildiği $\dot{\epsilon}_v - \sigma'_v$ eğrilerinin farklı hızlar için çizilmiş $\sigma'_v - \epsilon_v$ eğrileri ile birlikte değerlendirilmesinden ise Leroueil vd. (1985) modelinde öngörüldüğü şekilde incelenen zemin için tekil bir $\sigma'_v - \epsilon_v - \dot{\epsilon}_v$ eğilimi olabileceği izlenimi kaydedilmiştir. Son olarak, efektif gerilmeler $\dot{\epsilon}_v - \sigma'_p$ eğrilerinden seçilen bir

referans hız değerine karşılık gelen önkonsolidasyon basınçlarına göre normalize edilerek normalize edilmiş efektif gerilme - deformasyon grafikleri çizilmiştir. Bu grafikler incelendiğinde her deney için belirlenmiş önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilmeler kullanılarak elde edilen grafikte, referans bir önkonsolidasyon basıncına göre normalize edilmiş efektif gerilmelerin kullanıldığı grafiktekine göre daha dar bir aralık olduğu görülmüştür. BH-4 numunesi için elde edilen sonuçların bu aralığın oldukça dışına taşıdığı gözlemlenmiş bunun sebebi olarak şişme eğilimi gösteren ve çok kuru olduğu tespit edilmiş bu numunede deney sırasında olduğu ölçülen boşluk suyu basıncı artışlarının diğer numunelere göre oldukça az olmasından kaynaklandığı kanaatine varılmıştır.

Bu araştırmada uygulanabilirliği araştırılan bir diğer model Gibson-Lo (1961) modelidir. Bu model Edil vd. (1984) tarafından Middleton turba zeminlerinin konsolidasyon davranışını modelleyebilmek için başarı ile kullanılmıştır. Alibey Barajı temel zemini numuneleri üzerinde yapılan bu araştırmada ise yöntem kil numuneler üzerinde uygulanmıştır. Bu amaçla ilk olarak, modelin uygulanabilmesi için gerekli olan üç parametre (a , b , λ/b) laboratuvar deney sonuçları kullanılarak tespit edilmiş ve yöntem kullanılarak hesaplanan sıkışma - zaman eğrileri laboratuvar deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Grafikler incelendiğinde başlangıç aşamalarında bir uyumsuzluk gözlemlenmekle birlikte konsolidasyonun daha ileri aşamalarında oldukça iyi bir uyum sergilendiği görülmüştür. Aynı şekilde, arazi oturma okumalarından yararlanarak elde edilen üç parametre kullanılarak hesaplanan oturma - zaman eğrileri arazi oturma okumaları ile karşılaştırılmıştır. Bu grafikler incelendiğinde de laboratuvar deney sonuçlarına benzer bir eğilim gözlemlenmiştir. Başlangıç aşamalarında uyumsuzluk görülmüş fakat zaman ilerledikçe oldukça iyi bir uyum ortaya çıkmıştır. Bu gözlemlerin modelin kullanıldığı benzer çalışmaların sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Son olarak ise laboratuvar deney sonuçları kullanılarak elde edilen a , b , λ/b parametreleri kullanılarak arazi oturması için bir tahmin yapılmaya çalışılmış ve oldukça iyi bir uyum gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

Aboshi.H. (1973), “An Experimental Investigation on The Similitude in The Consolidation of A Soft Clay, Including The Secondary Creep Settlement ”, Proc.8th Int Conf. Soil Mech.Fdn Engrng, Moscow, 4, No. 3, 88.

Barden, L. (1965), “Consolidation of Clay With Nonlinear Viscosity”,Geotechnique 15,No.4,345-362.

Battelino, D. (1973) , “Oedometer Testing of Viscous Soils” ,Proc 8th Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng,Moscow, 1, 25-30.

Berre,T., Iversen,K. (1972), “Oedometer Tests with Different Specimen Heights on A Clay Exhibiting Large Secondary Compression ”, Geotechnique 22, No 1,53-70.

Bijerrum,L. (1967), “Engineering Geology of Norwegian Normally Consolidated Marine Clays as Related to The Settlement of Buildings ”, Geotechnique 17, No.2,83-118.

Bouchard, R.(1982) “Effet de la Vitesse Sur le Compertement Oedometrique de l'argile de Batiscan ” , MSc thesis, Laval University, Quebec.

Buisman, A.S.(1936), “Results of Long Duration Settlement Tests”, Proc.1st Int.Conf. Soil Mech. Fdn Engng ,Cambridge , 103-107.

Burgignoli, A. (1979) , “An Experimental Study of The Structural Viscosity of Soft Clays By Means of Continuous Consolidation Tests”, Proc. 7th Eur. Conf. Soil Mech. Fdn Engng. Brighton 2, 23-28.

Chang, Y. C. E. (1968), “Long Term Consolidation Beneath The Tests Fills at Väsby”, Sweden, Swedish Geotechnical Institute, Report No: 13.

Crawford, C.B. (1965), "The Resistance of Soil Structure to Consolidation", Can. Geotechnique. J. 2, No. 2, 90-97.

Crooks, J. H. A., Becker, D. E., Jefferies, M. G. ve McKenzie, K. (1984), "Yield Behaviour An Consolidation-1 : Pore Pressure Response", ASCE, Symposium on Sedimentation Consolidation Model : Predictions and Validation, San Francisco, 356-381.

Das, B. M. (1980), Principles of Geotechnical Engineering, PWS Publishing Company, Boston.

Davis, E. H., Raymond. G.P. (1965), "A Non-linear Theory of Consolidation", Geotechnique 15, No. 2, 161-173.

Edil, T. B., (1997), " Kişisel Görüşmeler", Univ. of Wisconsin-Madison

Edil, T. B., Fox, P. J., ve Lan, L. T. (1991a), " End-of-Primary Consolidation of Peat", Proc. 11th European Con. on Soil Mech. and Found. Engng., Florence, Italy, 65-68.

Edil, T. B., Fox, P. J., ve Lan, L. T. (1991b), " Observational Procedure for Settlement of Peat", Proc. Geo-Coast Con., Yokohama, Japan, Vol. 2, 165-170.

Edil, T. B. (1983), "Improvement of Peat: A Case History", Proc. 8th European Con. on Soil Mech. and Found. Engng., Helsinki, 739-744.

Edil, T. B. ve Dhowian, A. W. (1979), "Analysis of Long Term Compression of Peats", Geotechnical Engineering, Southeast Asian Society of Soil Engineering, 159-178.

Folkes, D. ve Crooks, J. H. A. (1985), "Effective Stress Paths and Yielding in Soft Clays Belov Embankments", Can. Geot. Journ., Vol.22, 3: 357-374.

Fox, P. J., Edil, T. B. ve Lan, L. T. (1992), "Ca/Cc Concept Applied to Compression of Peat", Technical Notes, Journal of the Geotech. Eng. Div. , Proceedings of the ASCE, in print.

Gibson, R. E., England, G. L., ve Hussey, M. J. L. (1967), "The Theory of One Dimensional Consolidation of Saturated Clays", Geotechnique, Vol. 17, 261-273.

Gibson, R. E. & Lo, K. Y. (1961), "A Theory of Consolidation for Soils Exhibiting Secondary Compression", Report No. 41, Norwegian Geotechnical Institute.

Graham, J., Crooks, J. H. A. & Bell, A. L. (1983), "Time Effects on The Stress-Strain Behaviour of Natural Soft Clays", Geotechnique 33, No. 3, 327-340.

Gruen, H. A. ve Lovell, C. W. (1984), "Compression of Peat Under Embankment Loading", TRB Symp. on Classification and Properties of Peats and Highly Organic Soils, Washington, D. C.

Hansen, B. (1969), "A Mathematical Model for Creep Phenomena in Clay", Proc. 7th Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng, Mexico City. Special session 12. pp. 12-18.

Hardin, B. O. (1989), "1-D Strain in Normally Consolidated Cohesive Soils", ASCE Journ. of the Geot., Vol. 115, No.5, 689-710.

Hawley, J. G. & Borin, D. L. (1973) "A Unified Theory for The Consolidation of Clays", Proc. 8th Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng, Moscow, No. 3, 107-119.

James, K. M. (1976), Fundamentals of Soil Behaviour, John Wiley & Sons, New York.

Jamiolkowski, M., Ladd, C. C., Germaine, J. T. ve Lancelotta, R. (1985), "New Development in Field and Laboratory Testing of Soils", General Report, Proc., 11th ICSMFE, San Francisco, Vol.1, 57-153.

Janbu, N., Tokheim, O. & Senneset, K. (1981), "Consolidation Tests with Continuous Loading", Proc. 10th Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng, Stockholm 1, 645-654.

Jarrett, P. M. (1967) "Time-Dependent Consolidation of A Sensitive Clay", Bull. Am. Soc. Test. Mater 7, No. 7, 300-304.

Kabbaj, M., Oka, F., Lerouiel, S. ve Tavenas, F. (1986), "Consolidation of Natural Clays and Laboratory Testing", ASTM Symp. on Consolidation Behaviour of Soils, Fort Lauderdale, STP 892: 378-403.

Kabbaj, M., Tavenas, F. ve Leroueil, S. (1988), " In Situ and Laboratory Stress- Strain Relationship ", Geotechnique, 38, 83-100.

Kabbaj, M., Oka, F., Tavenas, F. Ve Leroueil, S. (1988), "Comparision Between Laboratory and in Situ Compressibility Parametres", Geotechnique, 38(No.1): 83-100.

Koppejan, A. W, (1948), "A Formula Combining The Terzaghi Load Compression Relationship and The Buisman Secular Time Effect", Proc. 2nd Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng. Rotterdam 3,32-37.

Ladd, C. C., Foott, R., Ishihara. K., Schlosser. F.Poulos, H. J. (1977), " Stress-Deformation and Strength Characteristics", Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng, Tokyo 2, State of the art report. pp. 421-494.

La Rochelle, P., Sarrailh, J., Tavenas, F., Roy, M.&Leroueil, S. (1981), "Causes of Sampling Disturbance and Design of A New Sampler for Sensitive Soils", Can. Geotech. J. 18, No. 1, 52-66.

Larsson,R. (1981), "Drained Behaviour of Swedish Clays", Report No.12, Swedish Geotechnical Institute.

Lebuis, J., Robert, J. M. & Rissmann, P. (1982), "Regional Mapping of Landslide Hazard", Int. Symp. Landslides, Linköping, pp. 205-262.

Leonards, G. A., Altschaeffl, A. G. (1964), "Compressibility of Clay", J. Soil Mech. Fdns Div. Am. Soc. Civ. Engrs 90, SM5, 133-155.

Leonards, G. A. (1977), Proc. 9th Int. Conf. Soil Mech. Fdn Engng, Tokyo 3, Panel Discussion. pp. 384-386.

Leroueil, S., Samson, L. ve Bozozuk, M. (1983), "Laboratory and Field Determination of Preconsolidation Pressure at Gloucester", Can. Geot. Journ., Vol.20(No.3): 477-490.

Lerouiel, S., Kabbaj, M. ve Tavenas, F. (1985), "Discussion on Theme Lecture 2-B on Laboratory Testing", Proc., 11th ICSMFE, San Francisco, Vol 5, 2691-2692.

Lerouiel, S., Kabbaj, M. ve Tavenas, F. (1985), "Discussion on Theme Lecture 2-B on Laboratory Testing", Proc., 11th ICSMFE, San Francisco, Vol 5, 2691-2692.

Lerouiel, S., Kabbaj, M., Tavenas, F. ve Bouchard, R. (1985b), "Stress-Strain-Strain Rate Relation for The Compressibility of Sensitive Natural Clays", Geotechnique, 35(No.2): 159-180.

Lerouiel, S. ve Tavenas, F. (1986), Discussion to: "Effective Stress Paths and Yielding in Soft Clays Under Embankments", Can. Geot. Journ., Vol 23(No:3): 410-413.

Lerouiel, S. ve Kabbaj, M. (1987), Discussion to: "Settlement Analysis of Embankments on Soft Clays", ASCE Journ. Of The Goet., Vol 113(GT9): 1067-1070.

Liu, J. C. ve Znidarccic, D. (1991), "Modelling One-Dimensional Compression Characteristics of Soils", Tech. Notes, Geotech. Div., ASCE, Vol. 117, No. 1, 162-169.

Lo, K. Y. Bozozuk, M. ve Law, K. T. (1976), "Settlement Analysis of The Gloucester Test Fill", Can. Geot. Journ., 13(No.4): 339-354.

Mesri, G. ve Godlewski, P. M. (1977), "Time and Stress Compressibility Interrelationship", 417-430.

Mesri, G. ve Choi, Y. K. (1985a), "Settlement Analysis of Embankments on Soft Clays", ASCE, Journ. GED, Vol.111(No:4): 441-464.

Mesri, G. ve Choi, Y. K. (1985b), "The Uniqueness of End-of-Primary (EOP) Void Ratioeffective Stress Relationship", Proc. 11th ICSMFE, San Francisco, Vol 2: 587-590.

Morin, P., Leroueil, S. ve Samson, L. (1983), "Preconsolidation Pressure of Champlain Clays: Part I : In Situ Determination", Can. Geot. Journ., Vol.20(No.4): 182-202.

Özaydın, İ.K. (1997), Zemin Mekaniği, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Özçoban, M. Ş. (1997), Yumuşak Zeminlere Oturan dolgu Barajların Analizi, Doktora Tezi, Y.T.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü.

Robert, D. H. ve William, D. K. (1981), An Introduction to Geotechnical Engineering, Prentice-Hall, New Jersey.

Sällfors, G. (1975), Preconsolidation Pressure of Soft High-Plastic Clays, Ph. D. Thesis, Chalmers Un., Gothenburg.

Suklje, L. (1957), "The Analysis of The Consolidation Process By The Isotech Method", Proc., 4th ICSMFE, London, Vol.1: 200-206.

Şenol, A. (1997), Ön Konsolidasyon Basıncına Etki Eden Faktörler ve Ön Konsolidasyon Basıncının Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.

Tavenas, F., Chapeau, C., La Rochelle, P. ve Roy, M. (1974), "Immediate Settlements of Three Test Embankments on Champlin Clay", Can. Geot. Journ., Vol.11(No.1): 109-141.

Taylor, R. W. ve Merchant, W. (1940), "A Theory of Clay Consolidation Accounting for Secondary Compression", Journ. for Math and Physics, 19: 167-185.

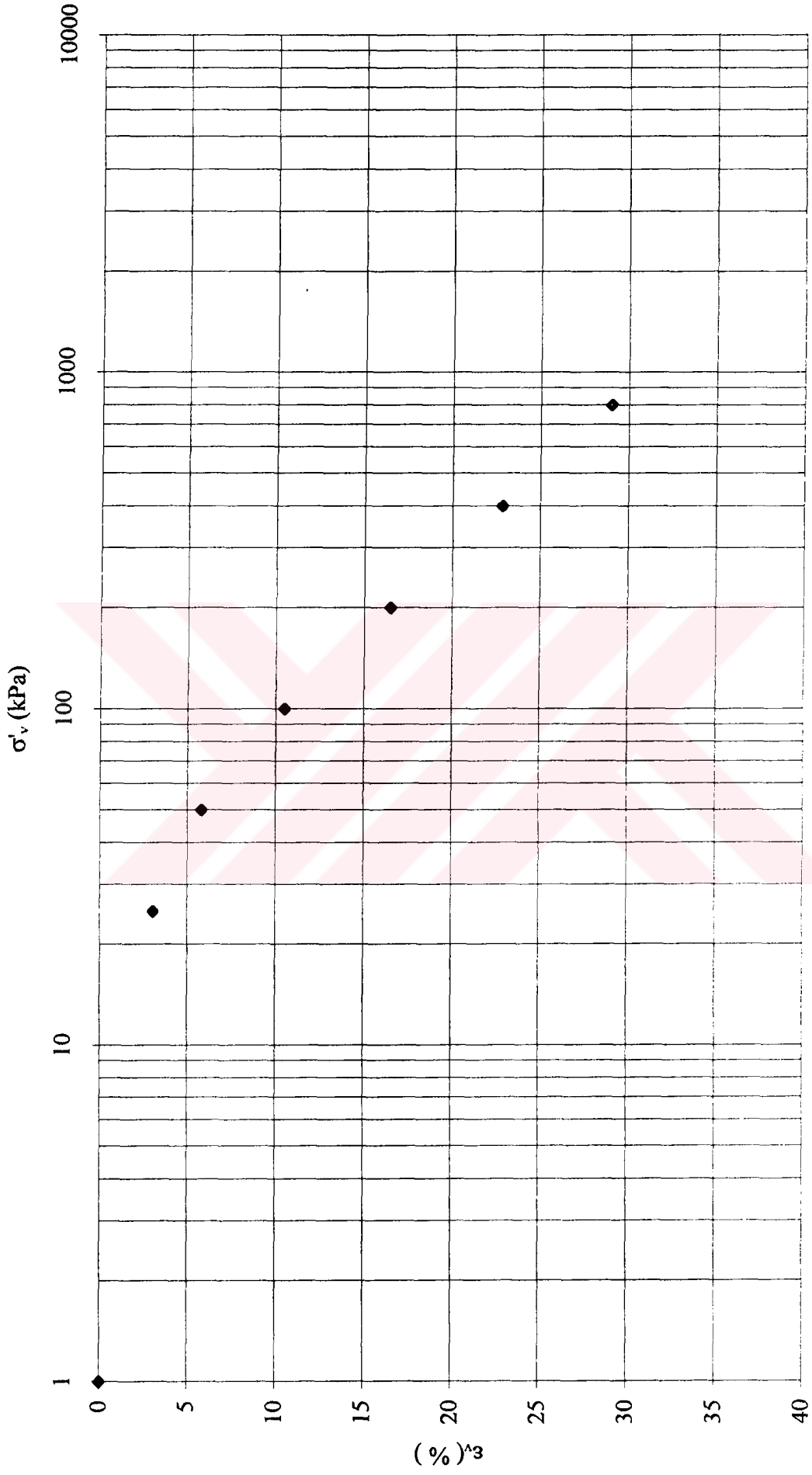
Yıldırım, M., Özaydın, İ. K. ve Erguvanlı, A. (1992), "İstanbul Boğazı Güneyi ve Haliç'in Jeolojik Yapısı ve Geoteknik Özellikleri", Jeoloji Mühendisliği TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayın Organı, Sayı 40: 5-14.

Terzaghi, K. (1923), Principles of Soil Mechanics, Engineering News-Record, New York.



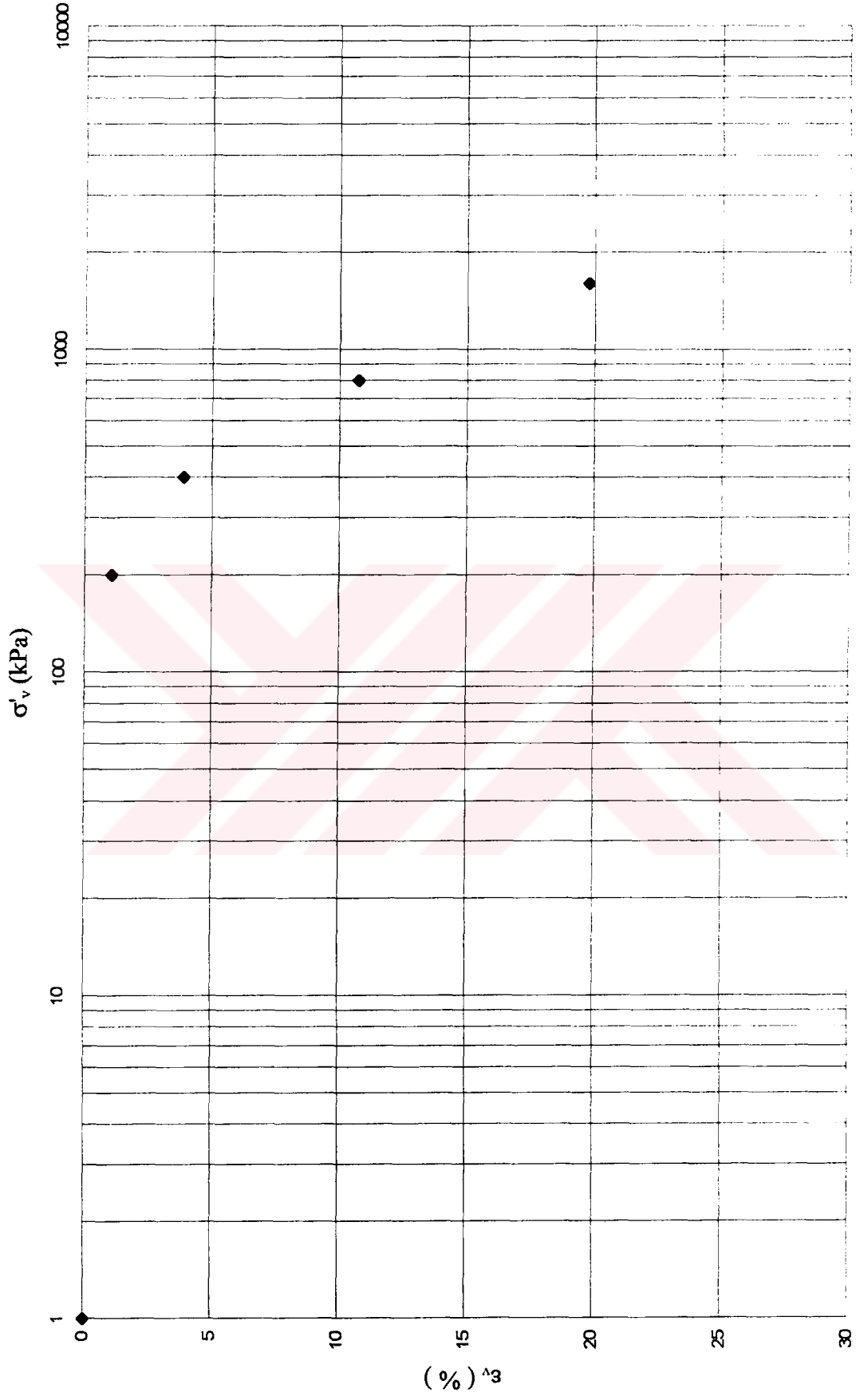
EK 1 Standart Ödometre, Krip, CRS deneylerinde elde edilen $\sigma'_v - \epsilon_v$, $\epsilon_v - t$ grafikleri

DENEY NO : 2



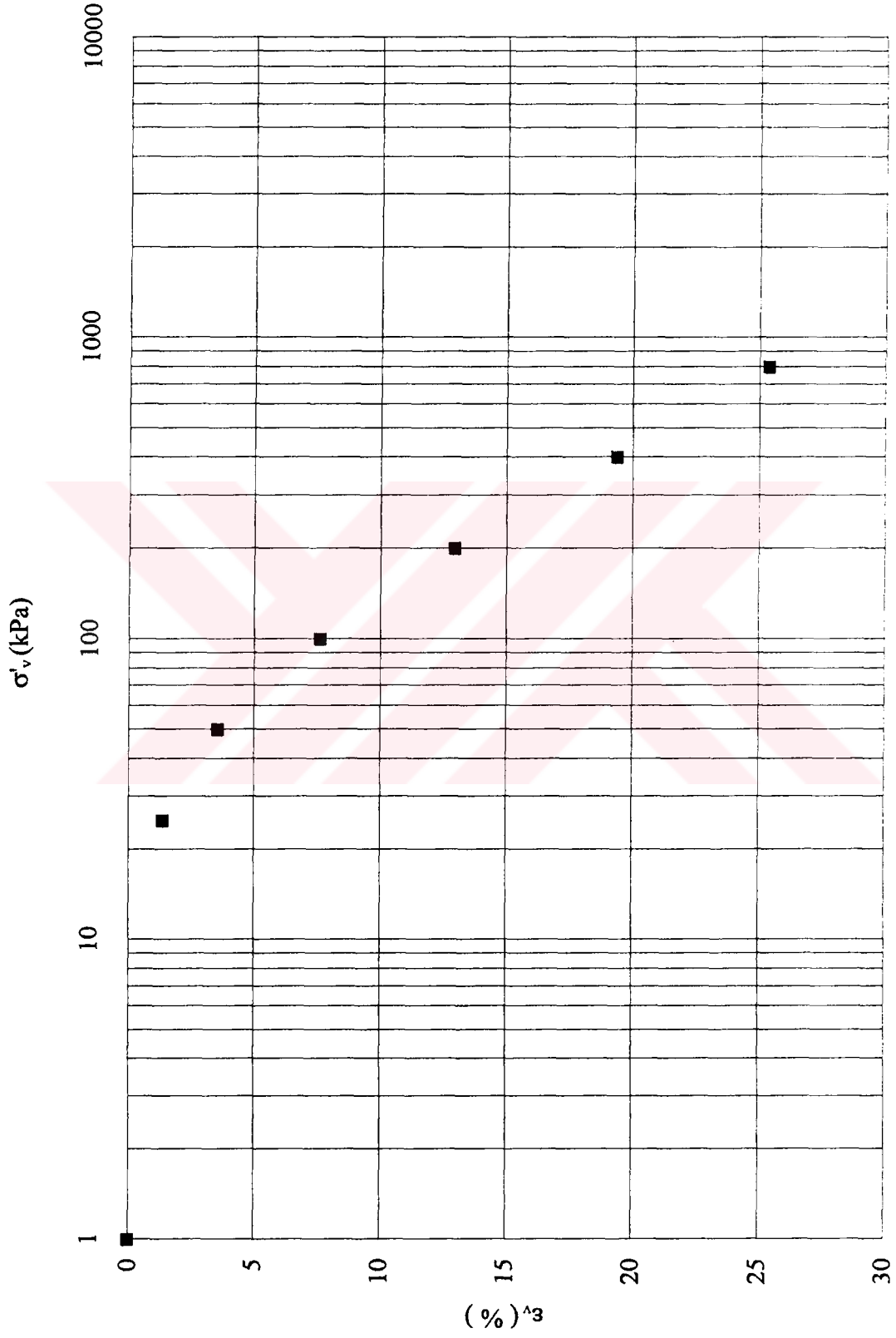
Şekil E1.1 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 3



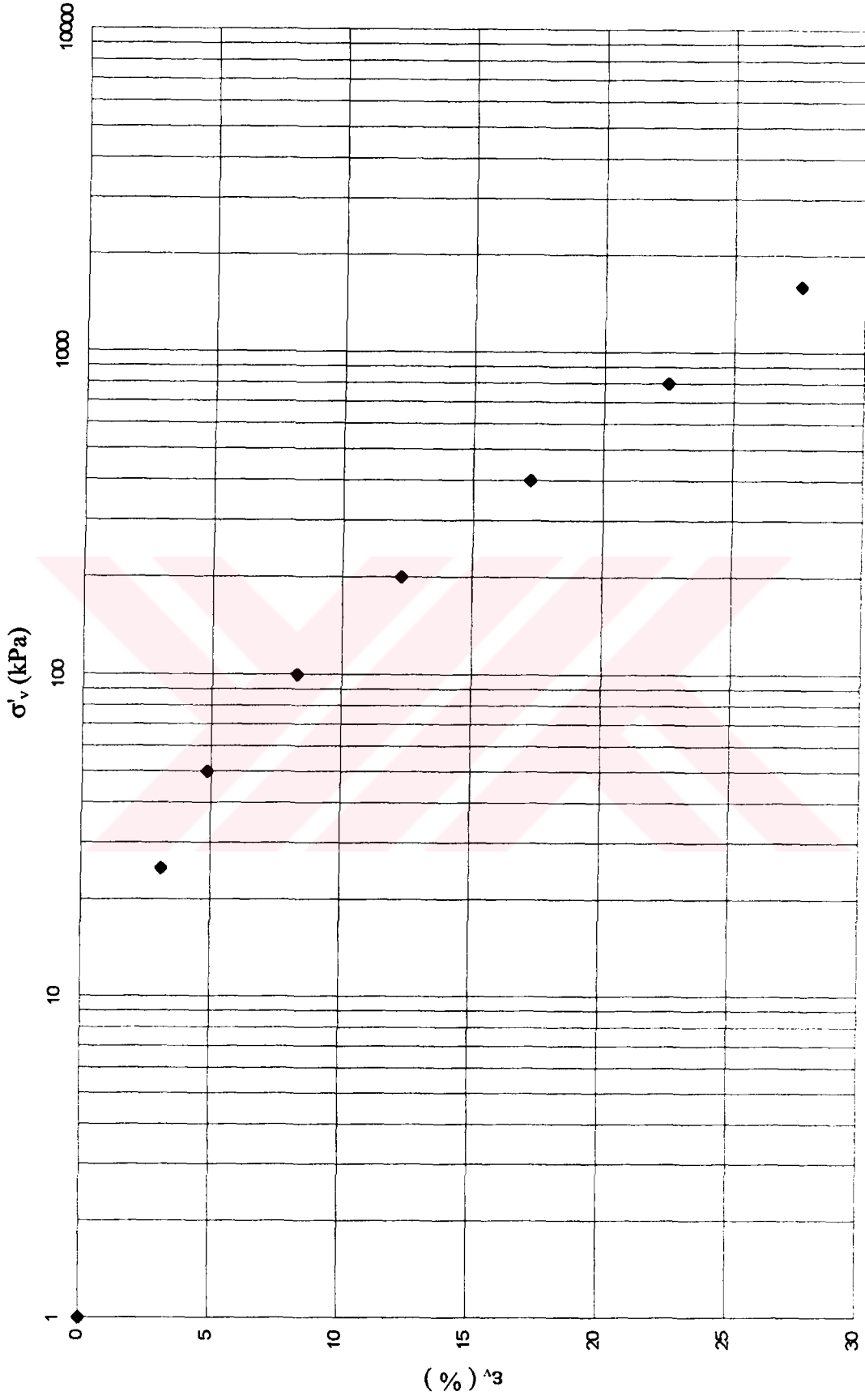
Şekil E1.2 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 4



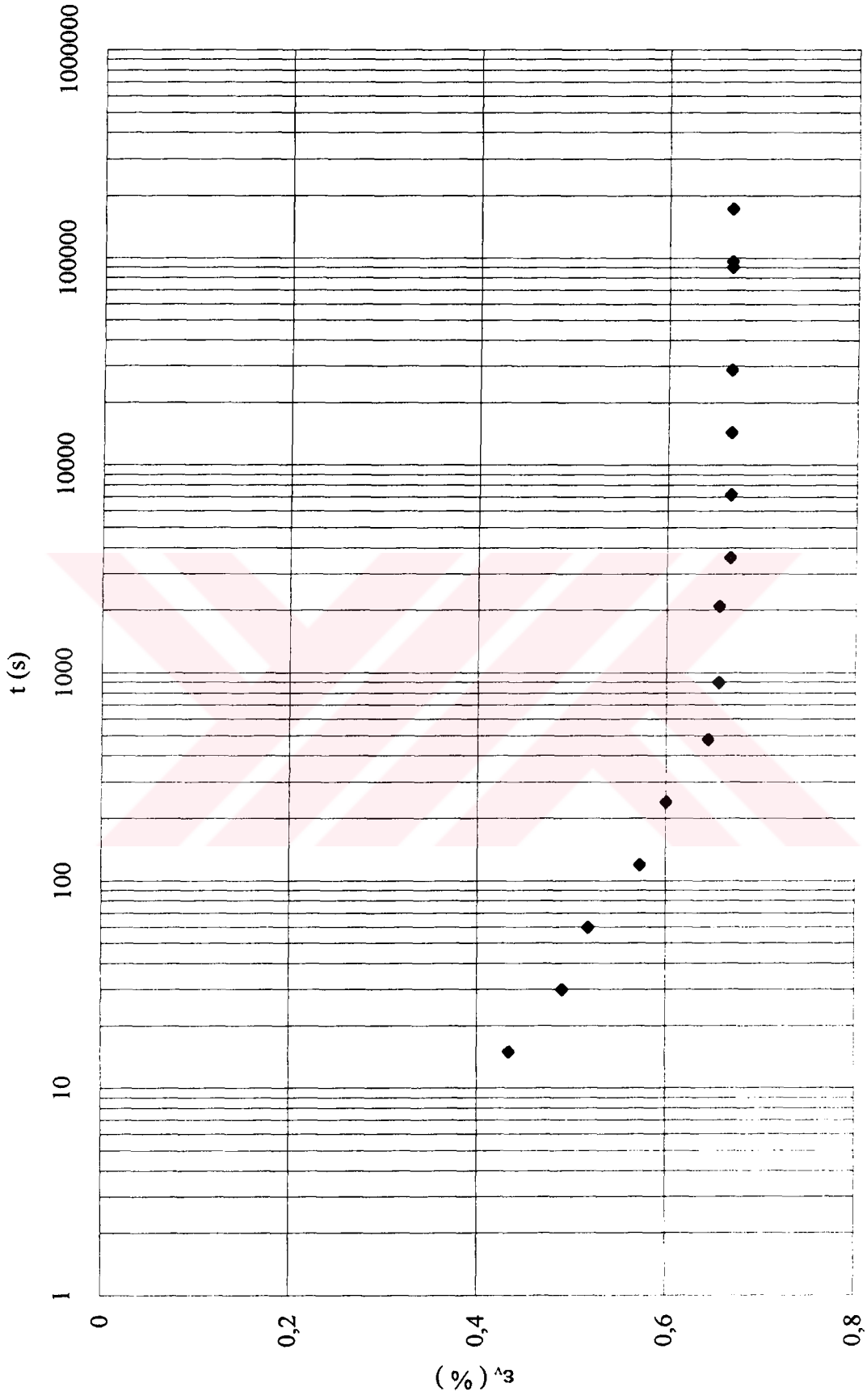
Şekil E1.3 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 5



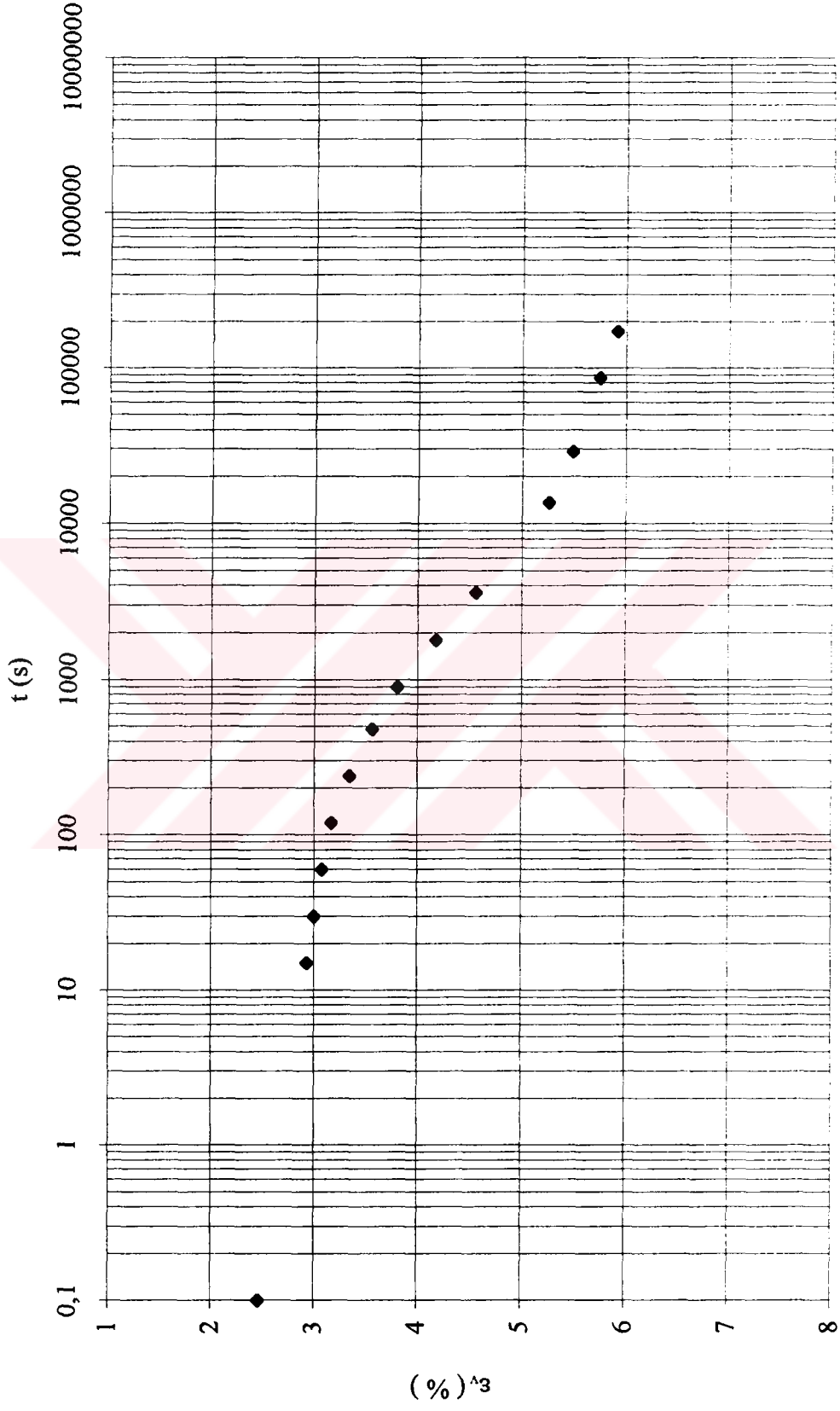
Şekil E1.4 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



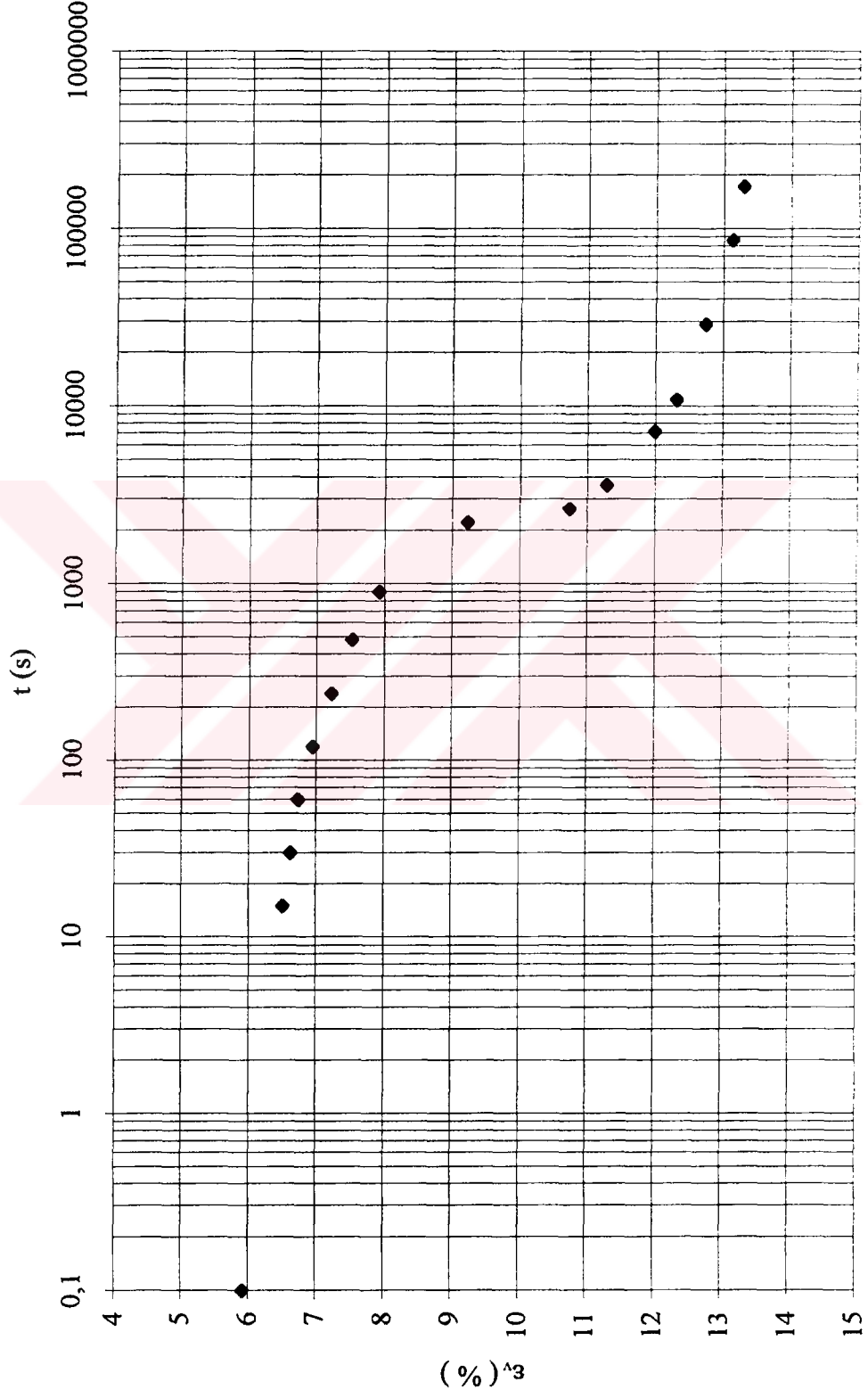
Şekil E1.5 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



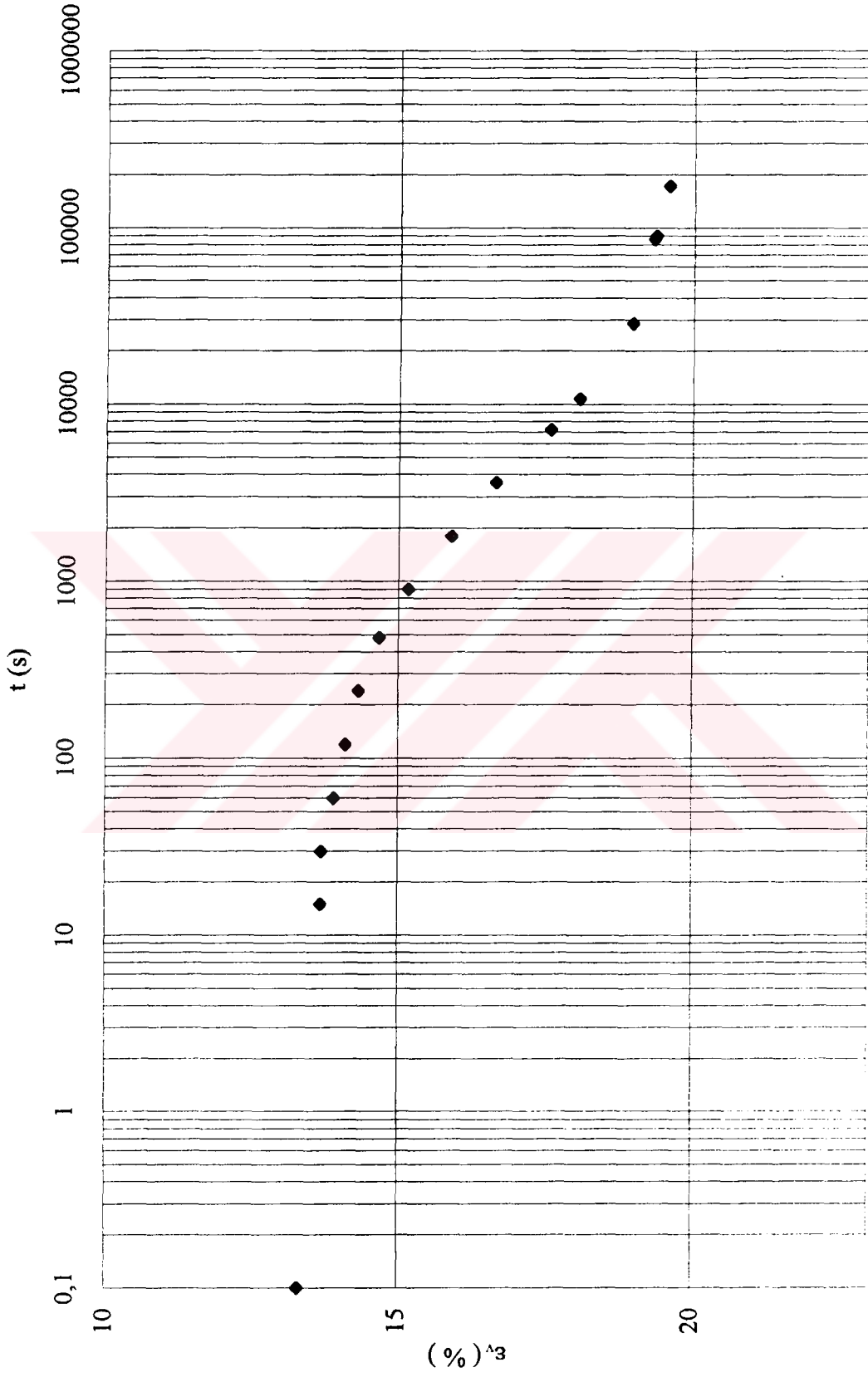
Şekil E1.6 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



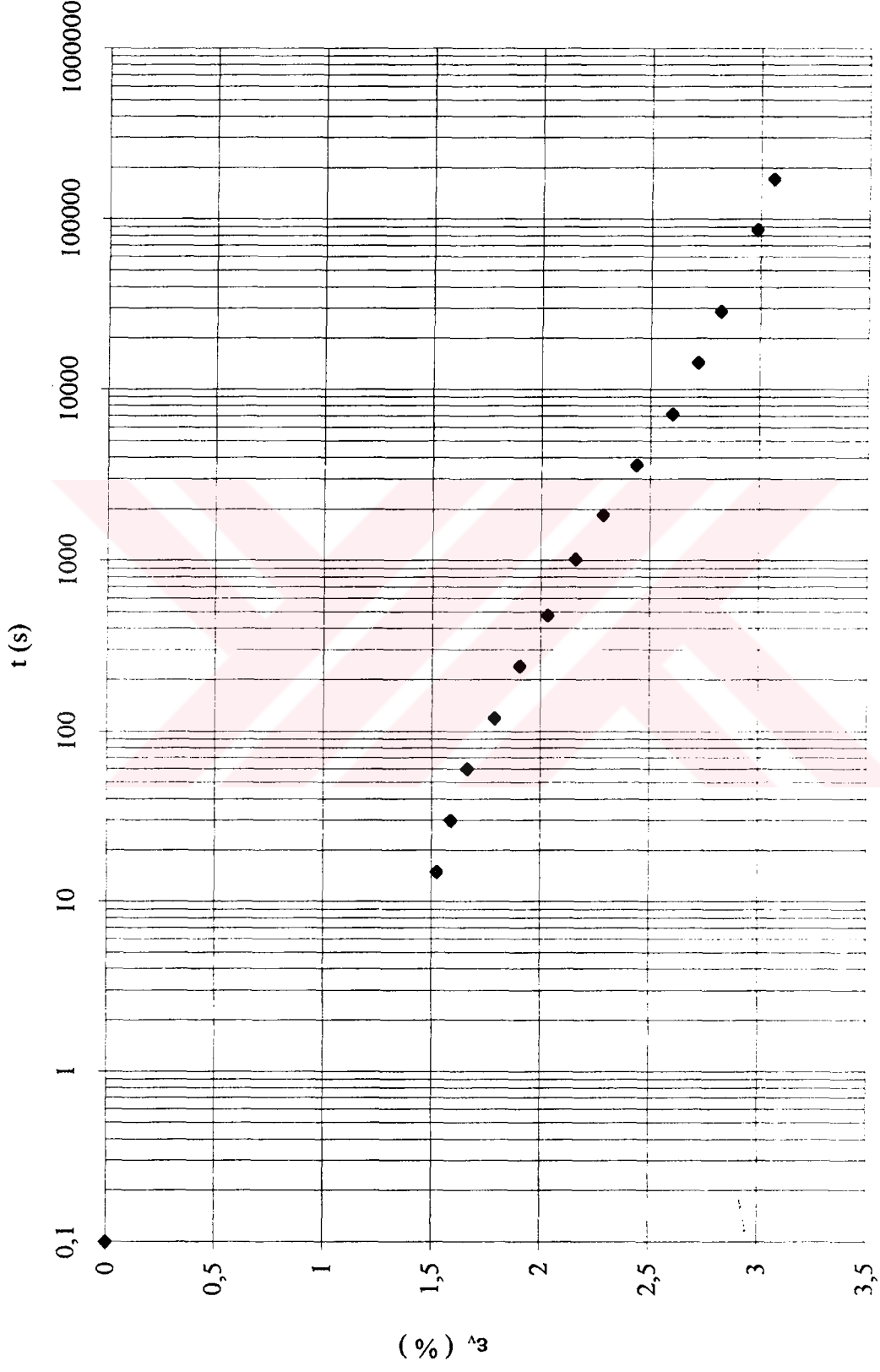
Şekil E1.7 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$



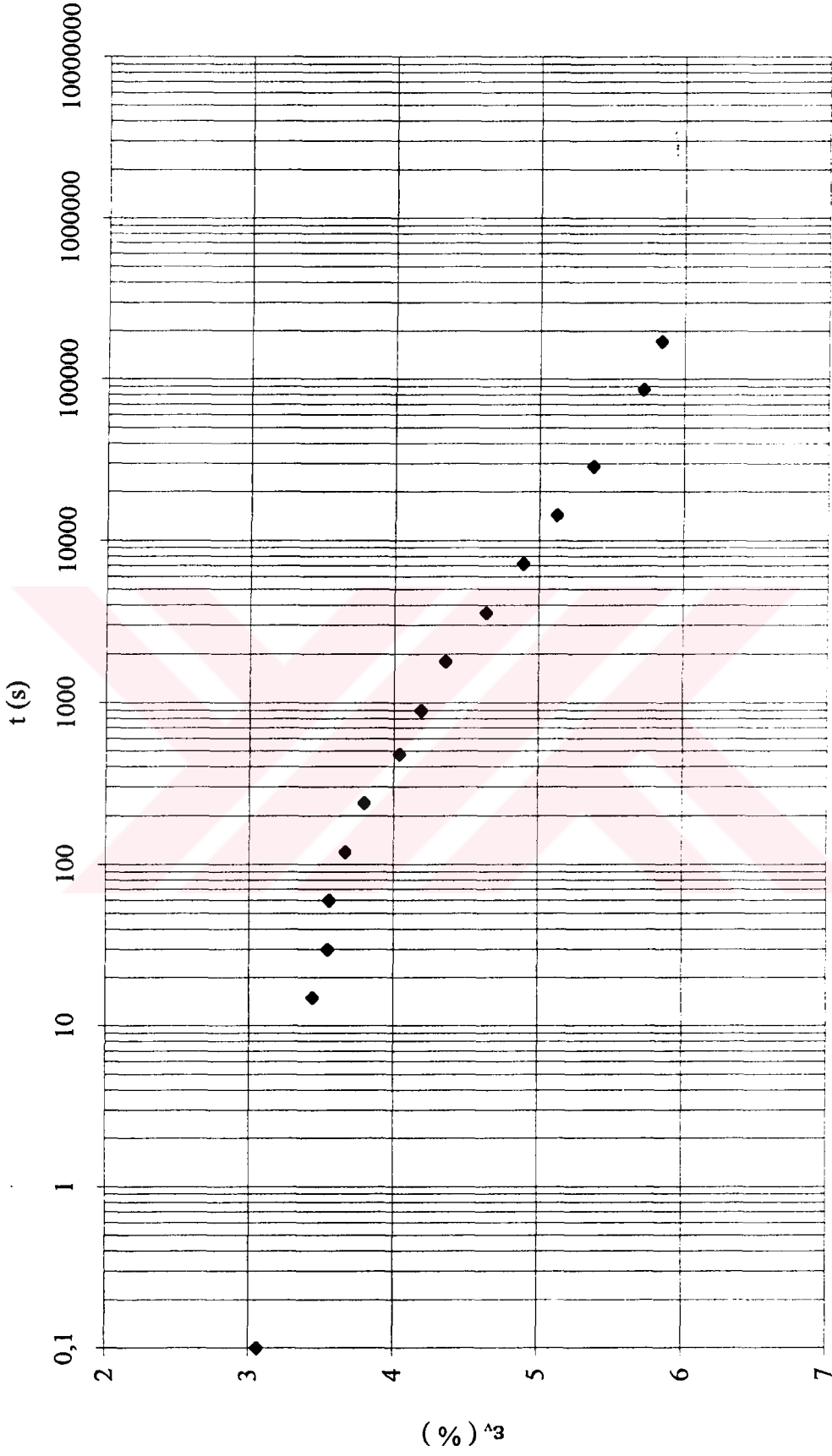
Şekil E1.8 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 2 $\sigma_v = 25 \text{ kPa}$



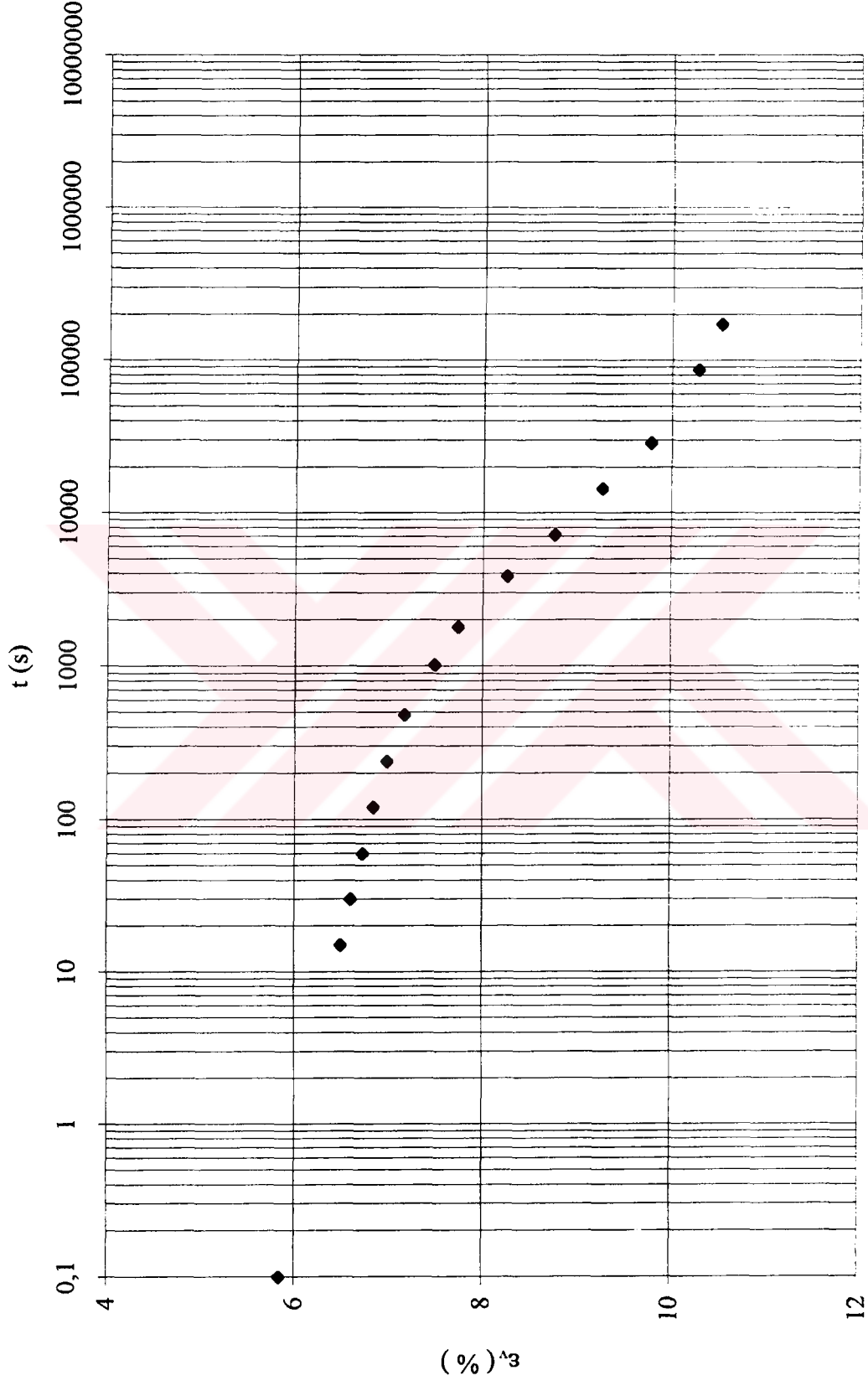
Şekil E1.9 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



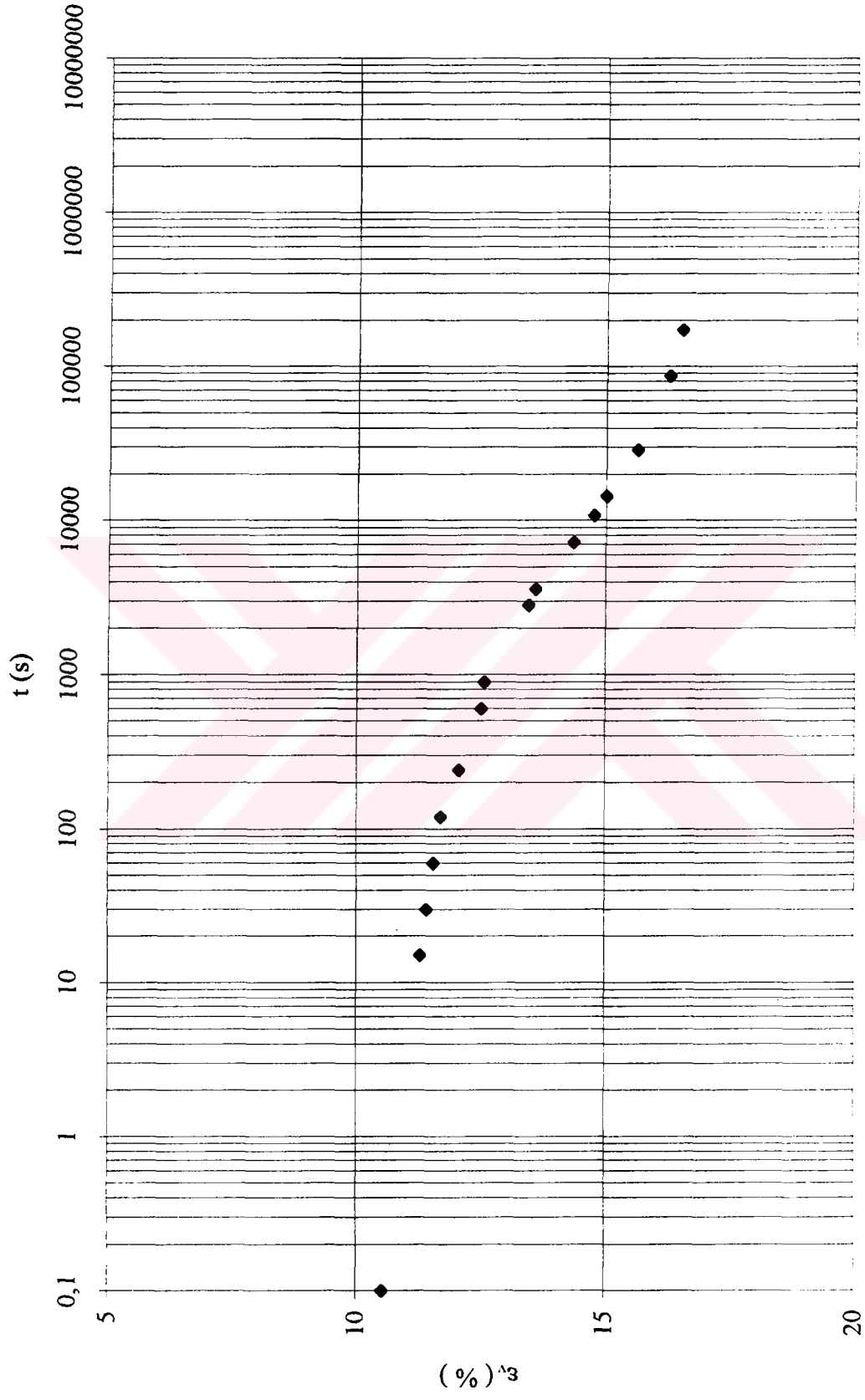
Şekil E1.10 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



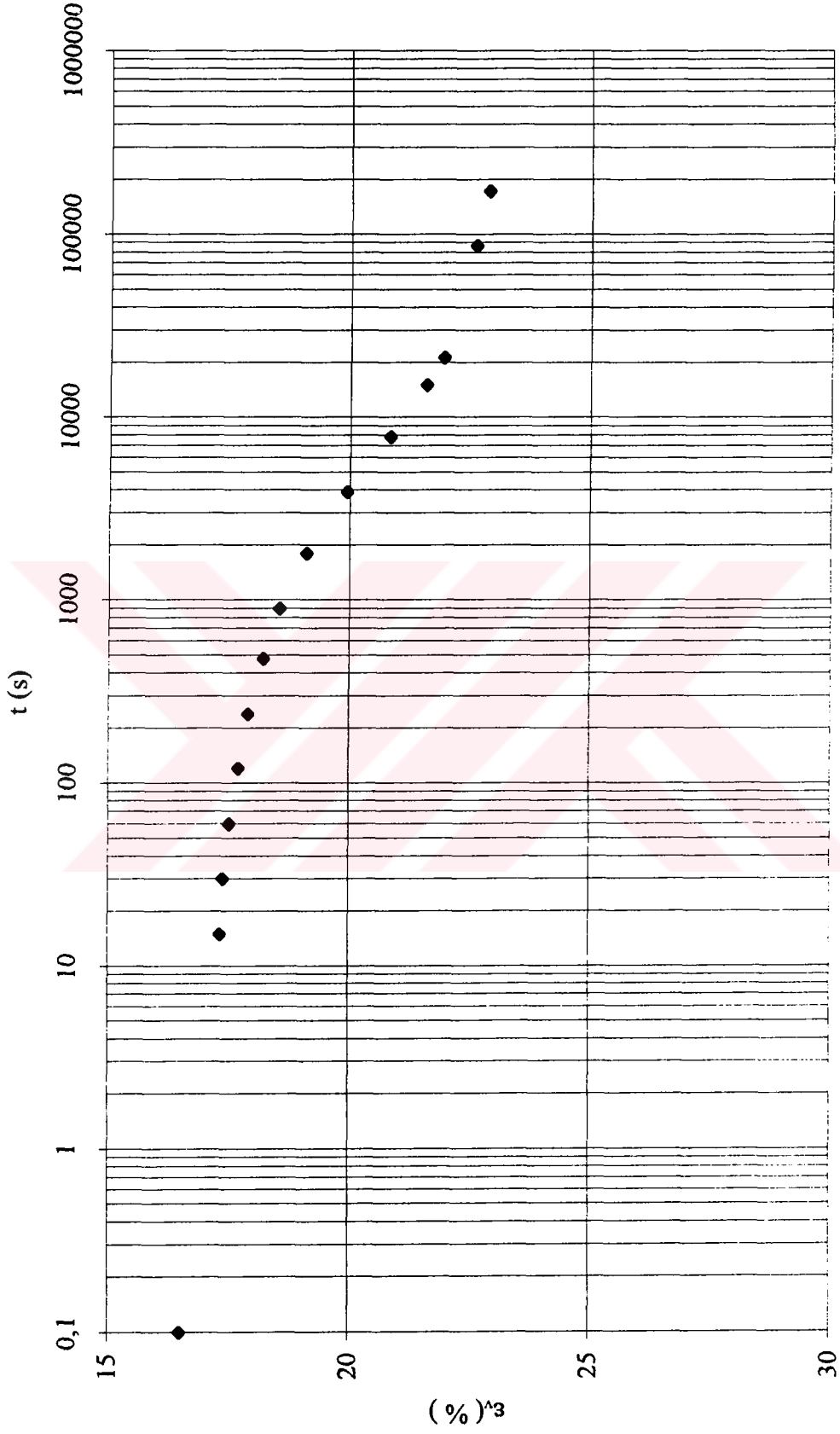
Şekil E1.11 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



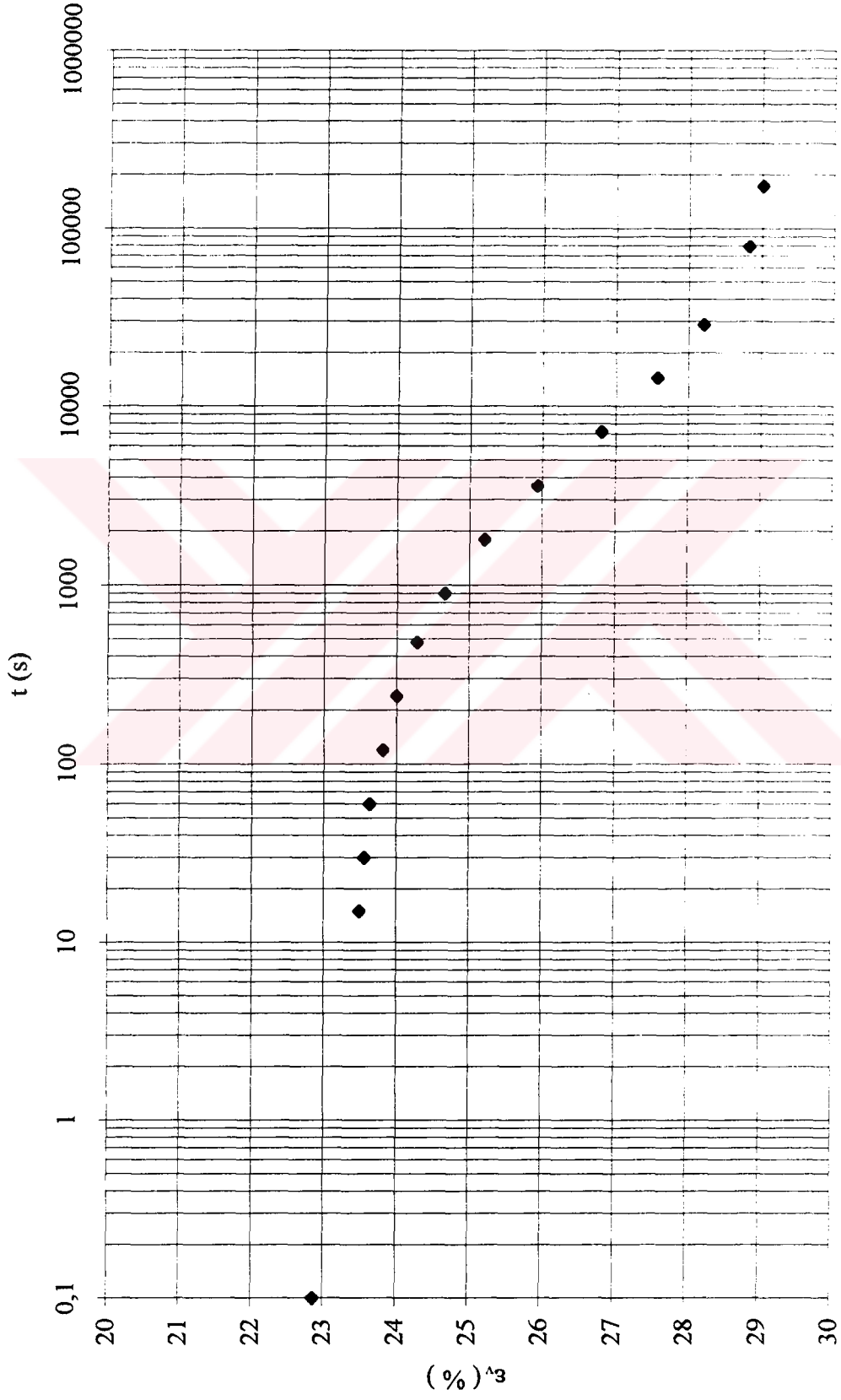
Şekil E1.12 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 400$ kPa



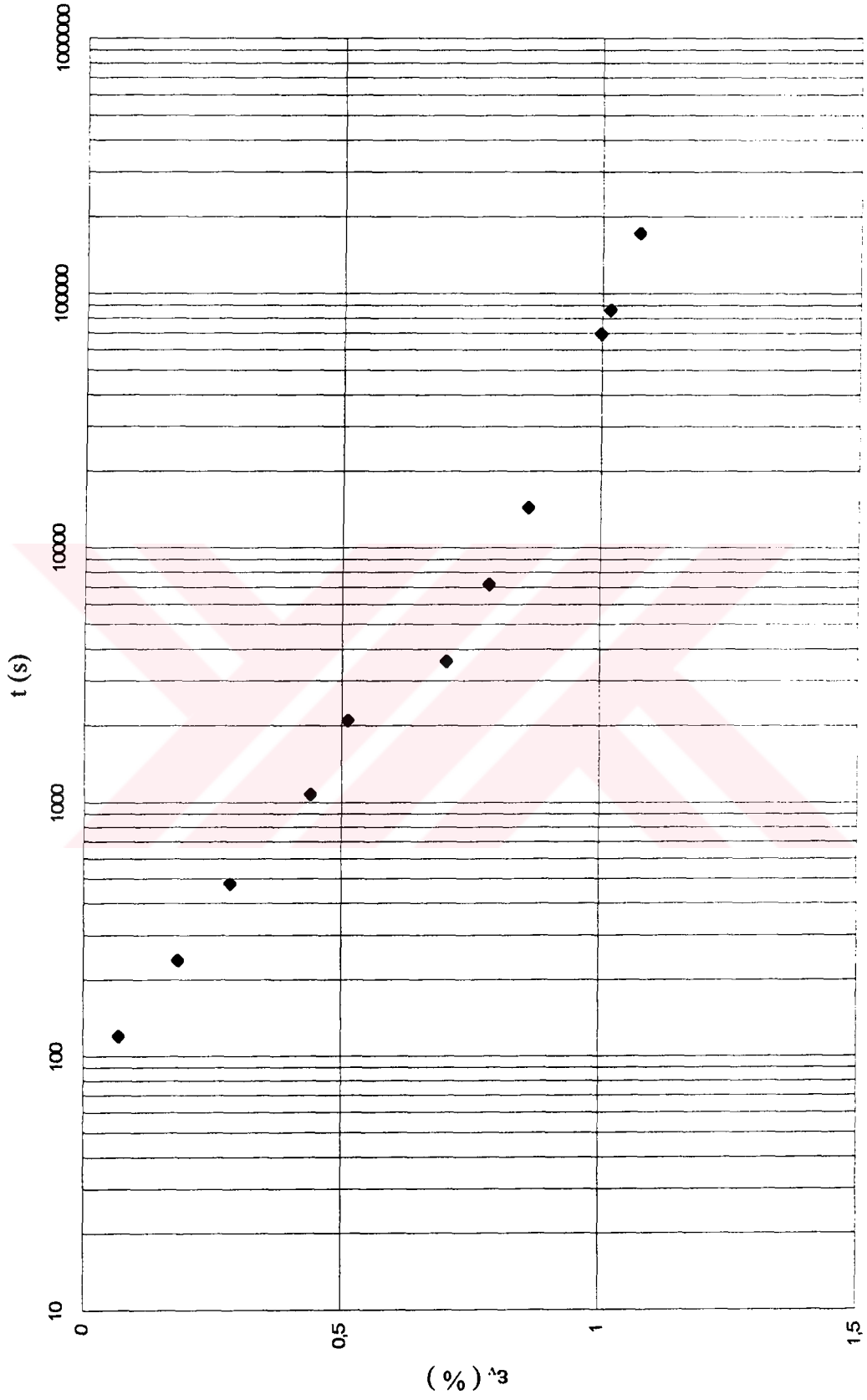
Şekil E1.13 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$



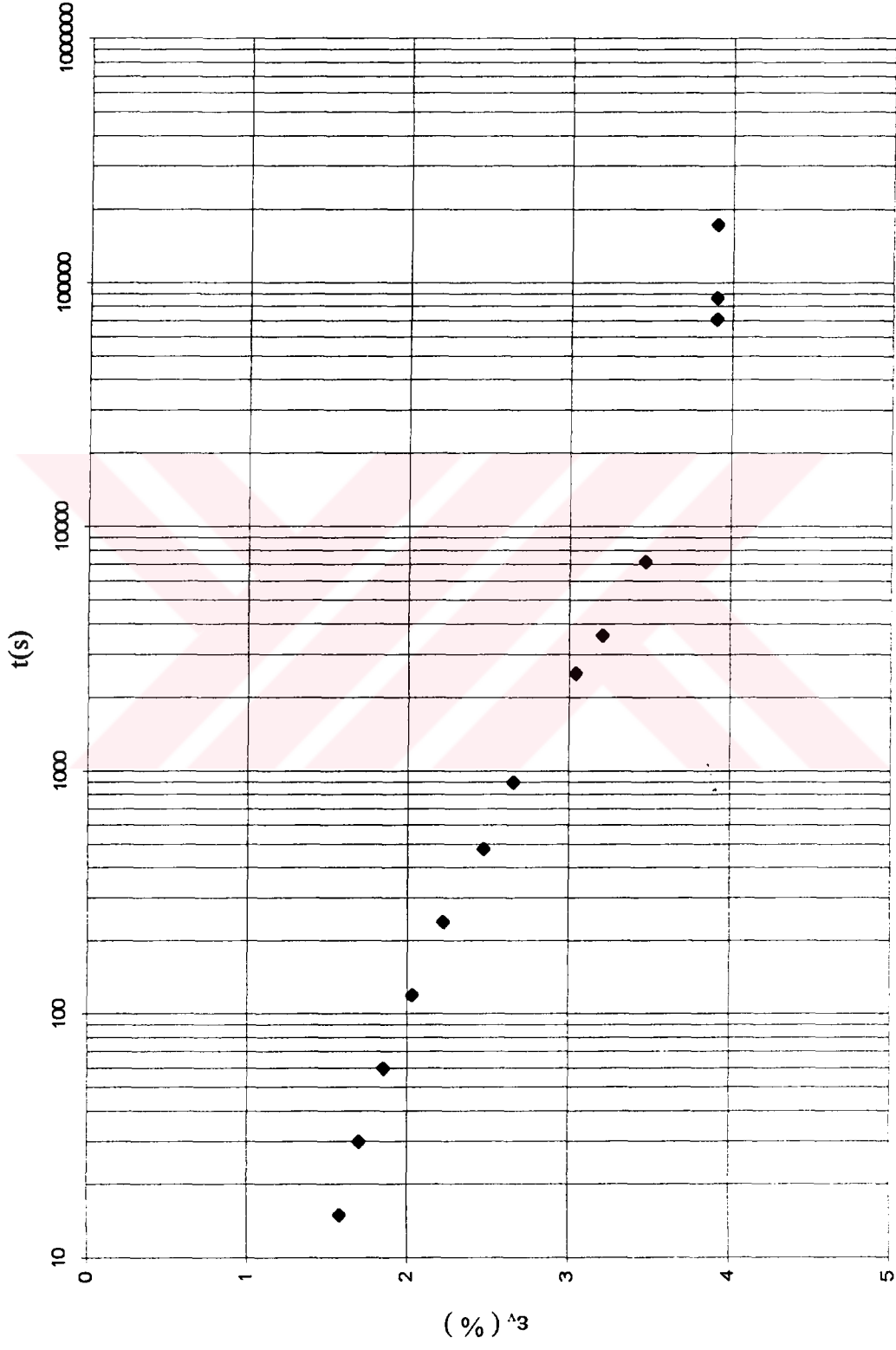
Şekil E1.14 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



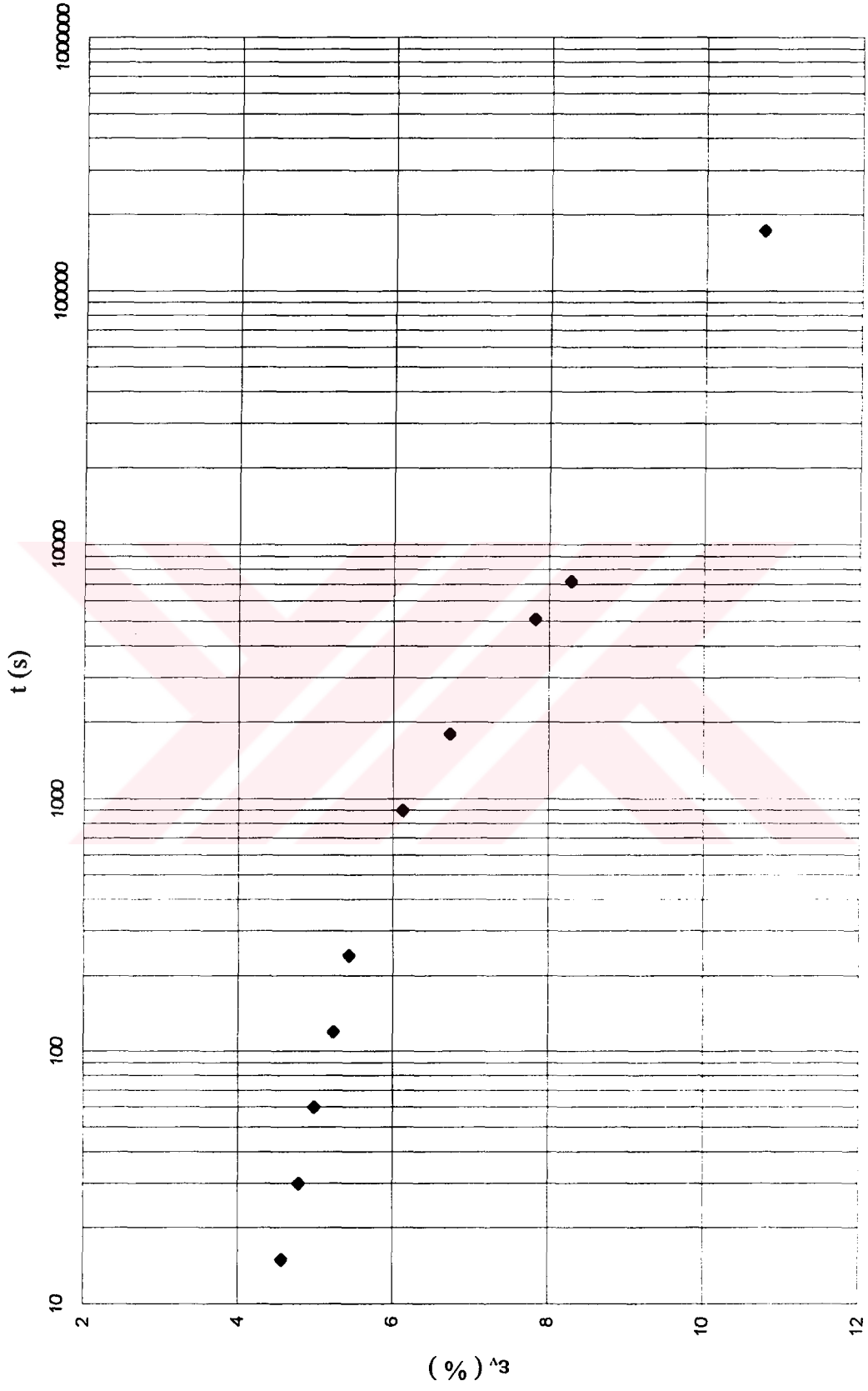
Şekil E1.15 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 400$ kPa



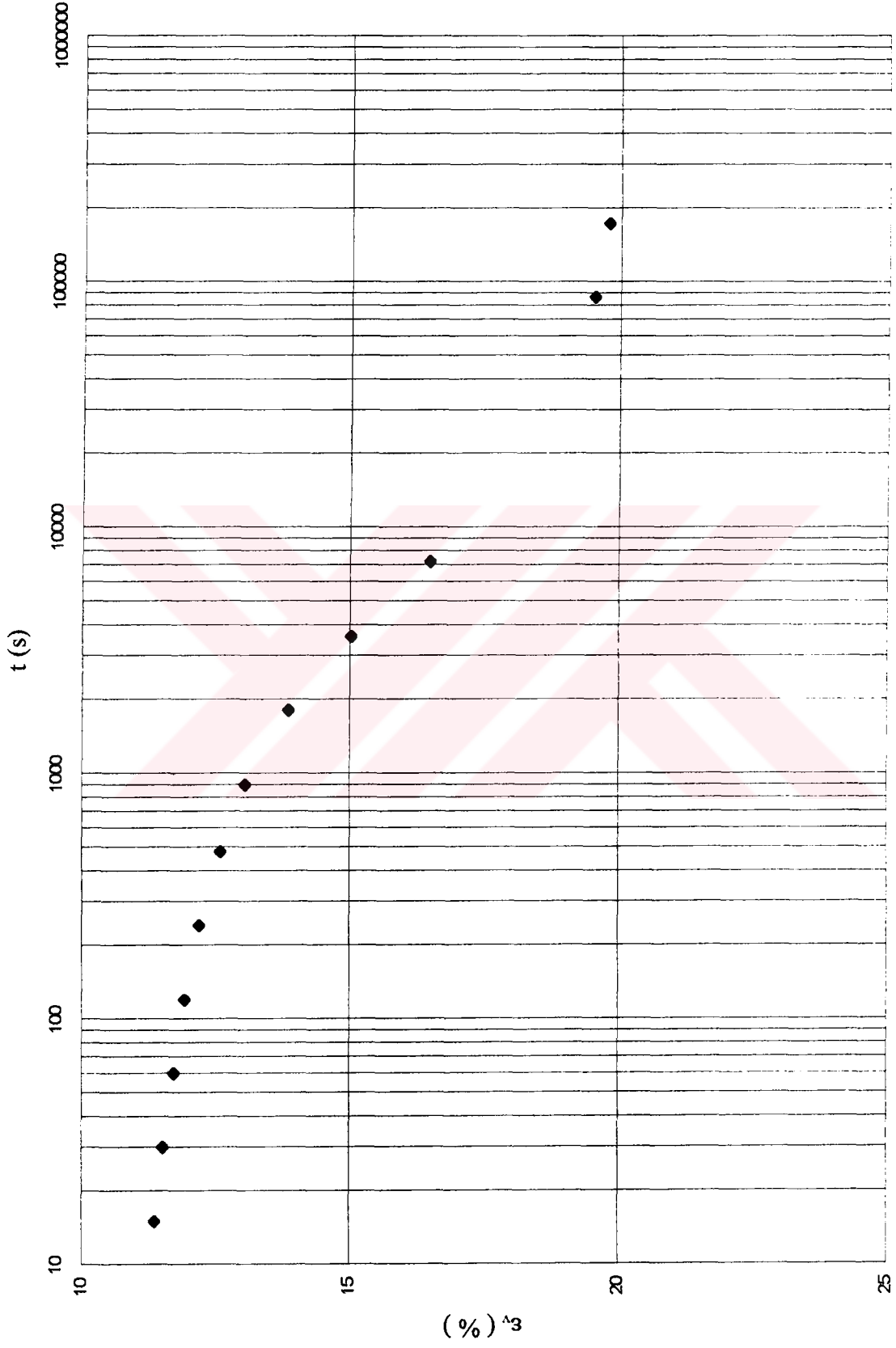
Şekil E1.16 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$



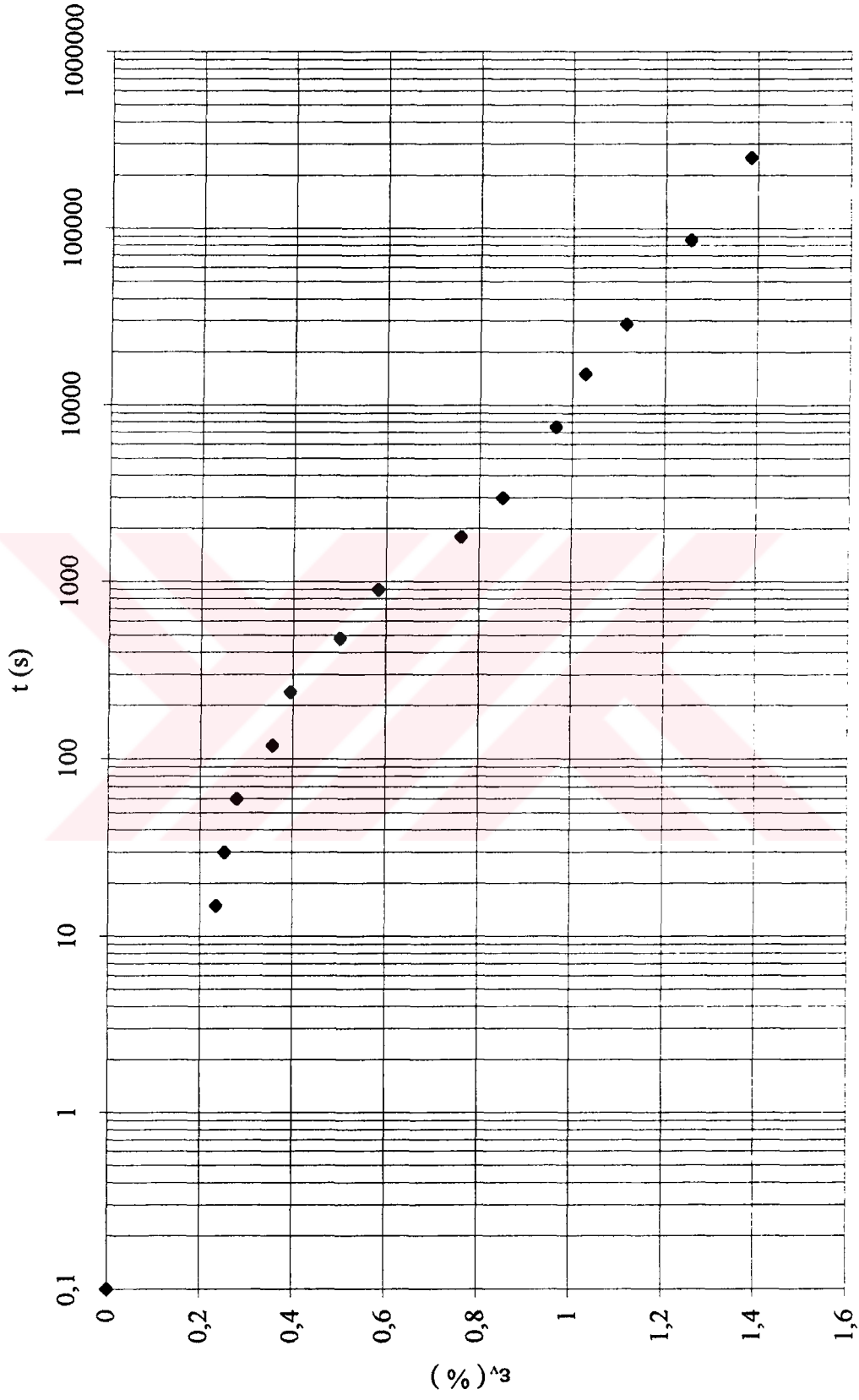
Şekil E.1.17 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 1600 \text{ kPa}$



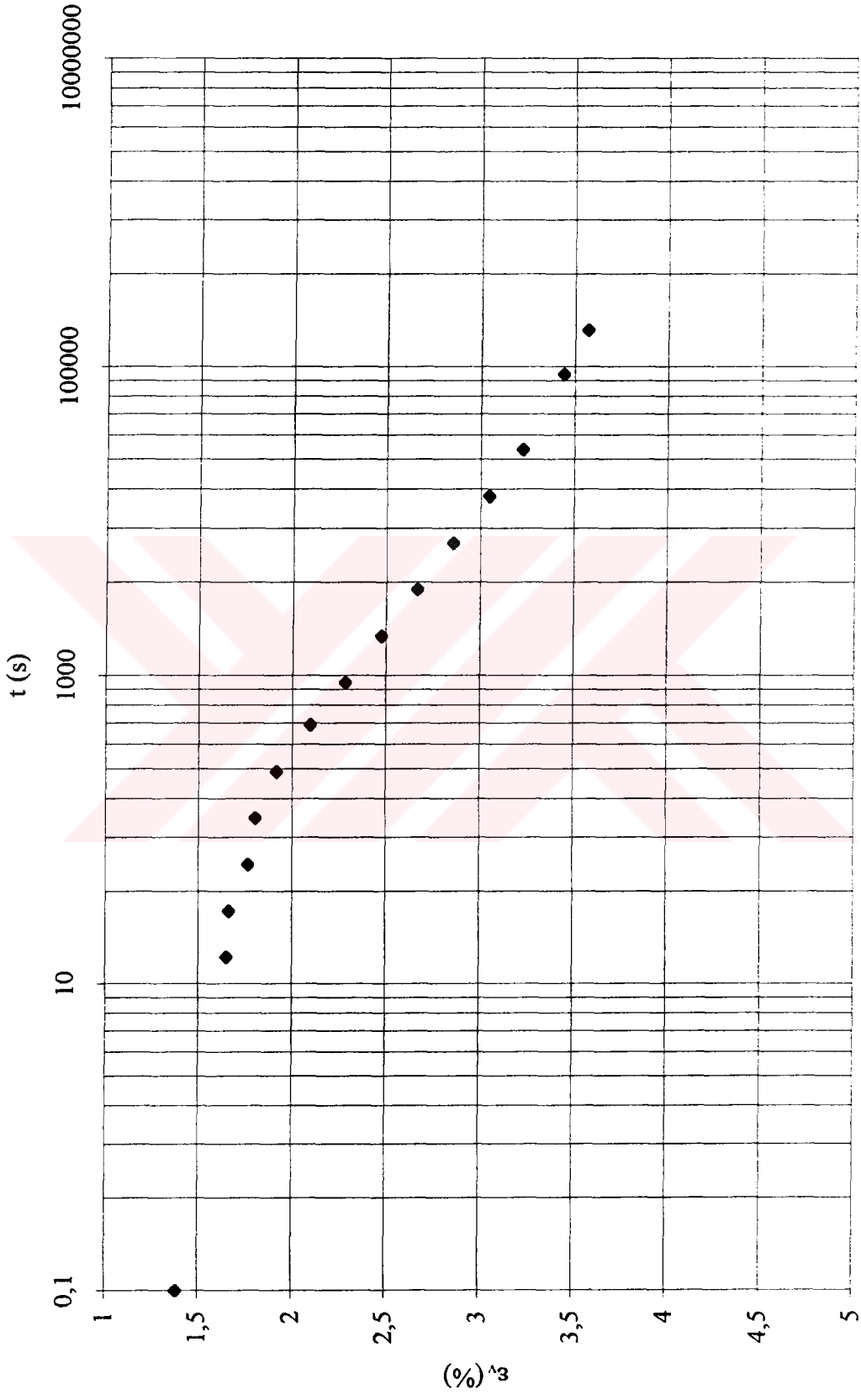
Şekil E1.18 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$

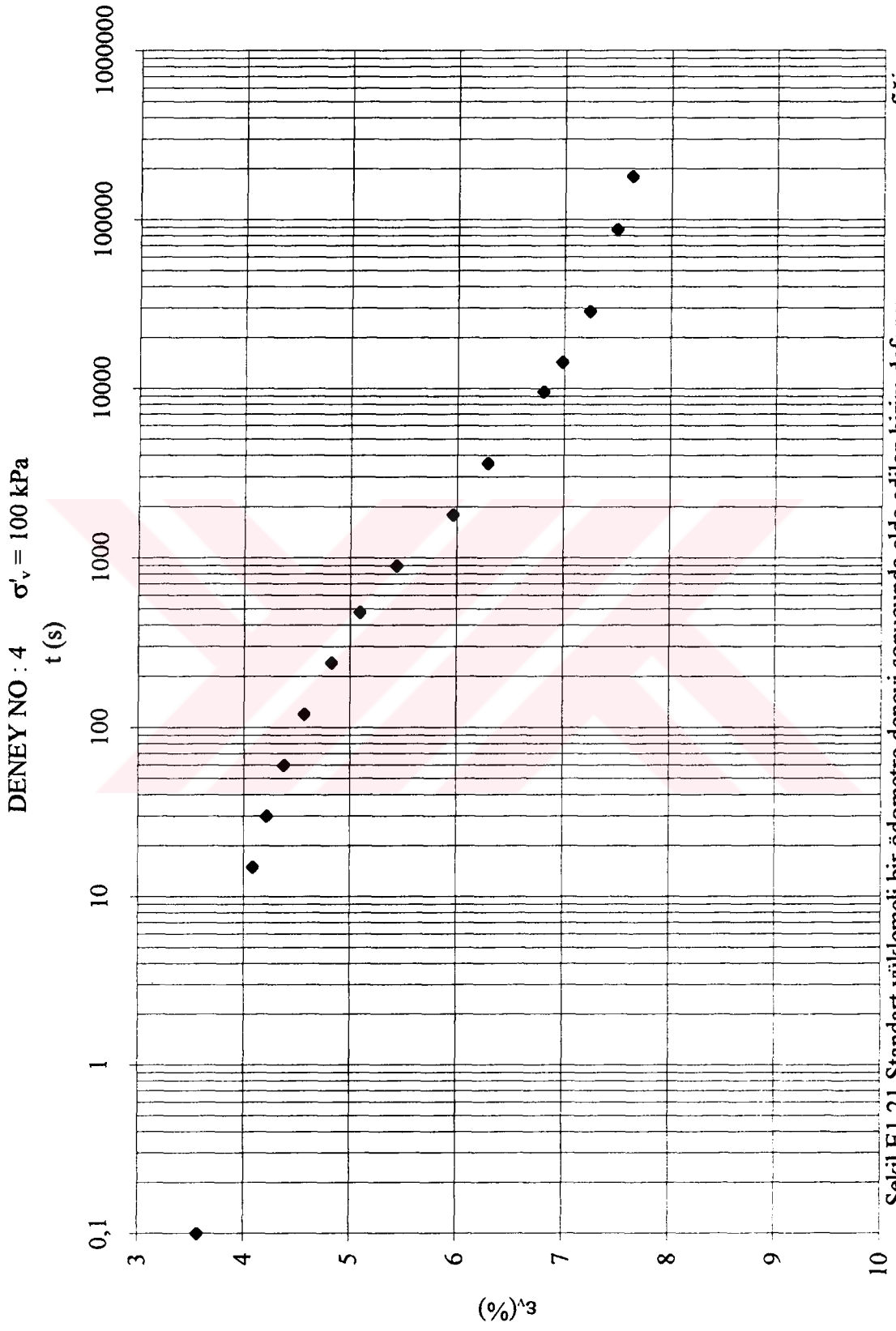


Şekil E1.19 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$

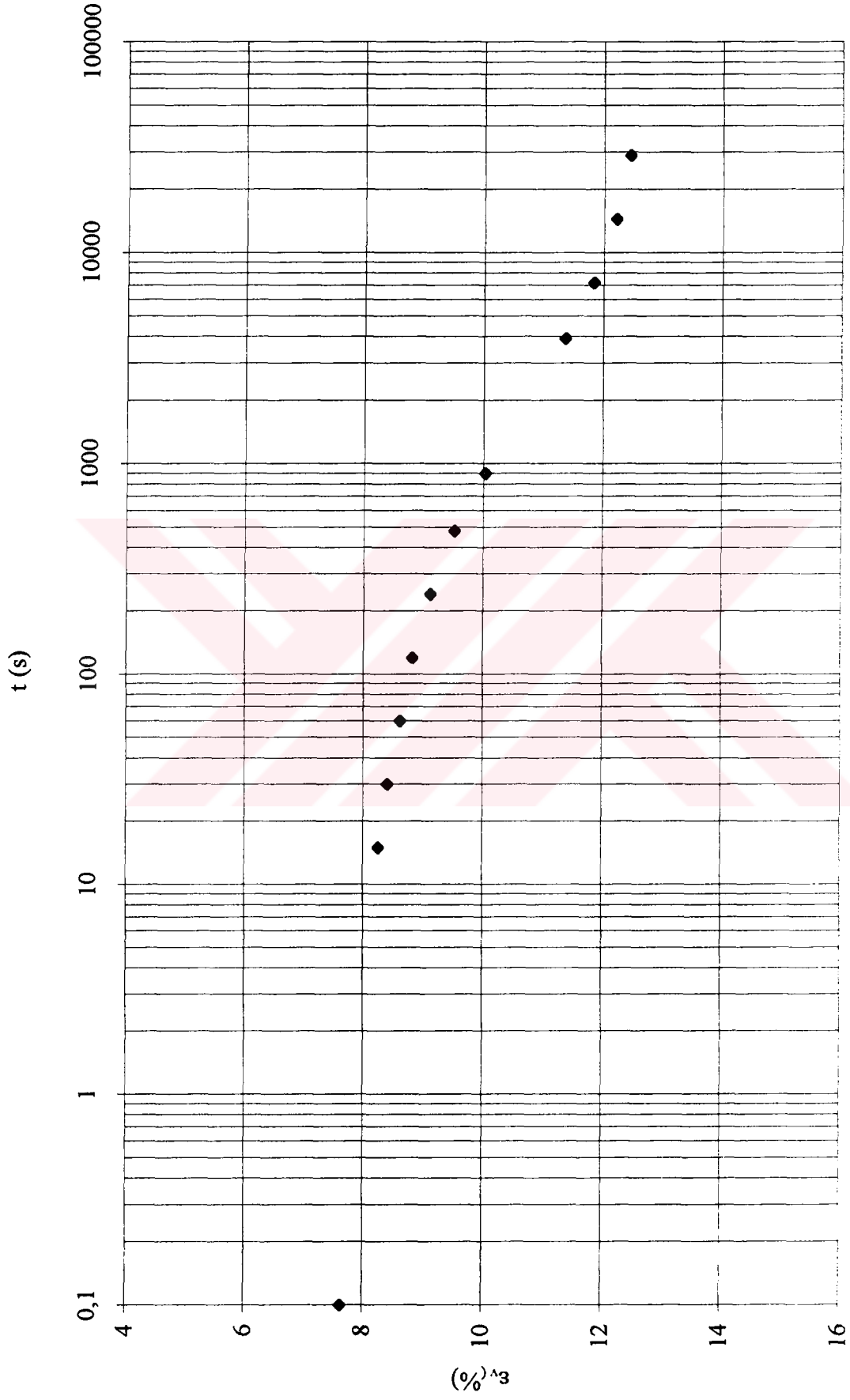


Şekil E1.20 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği



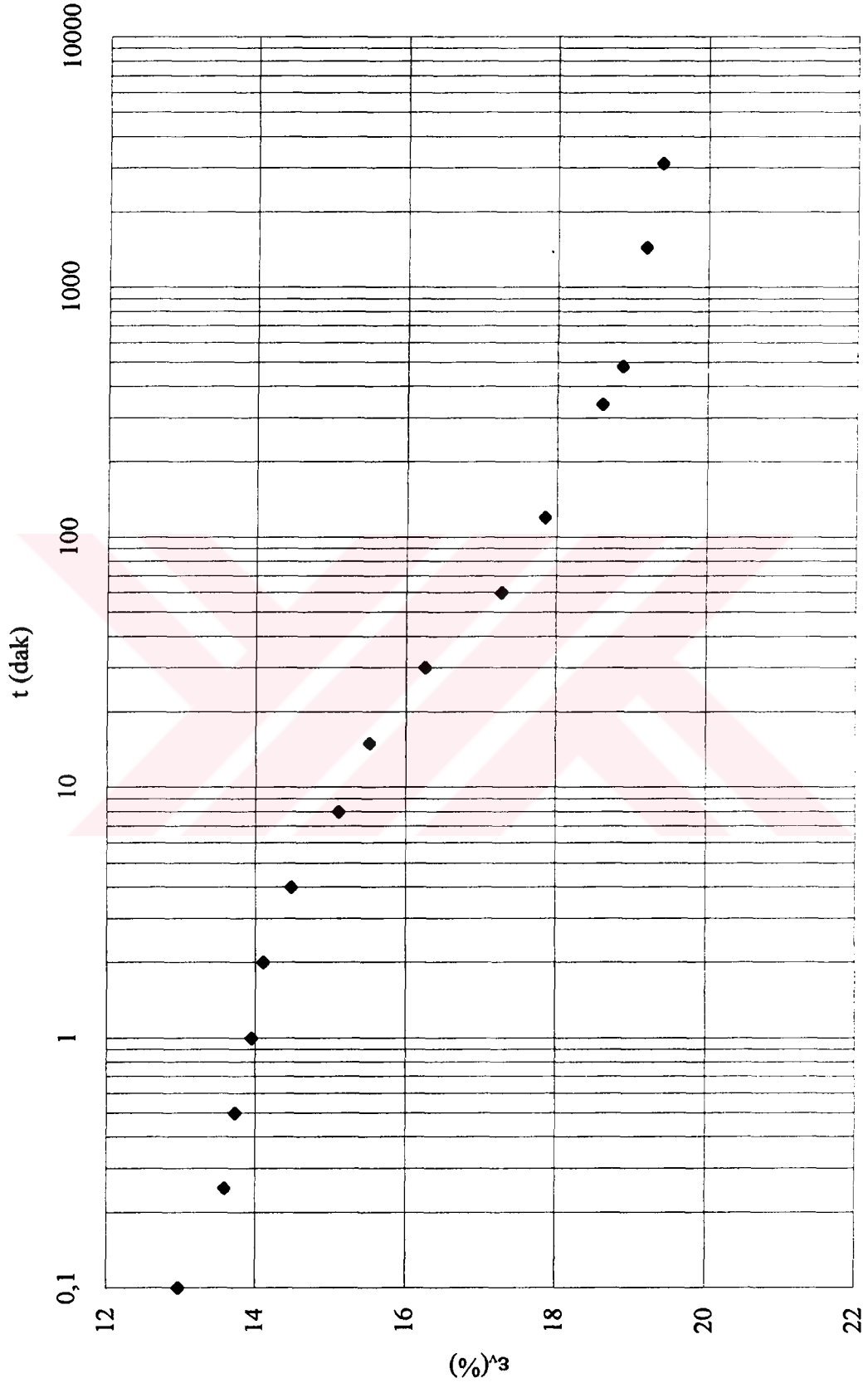
Şekil E1.21 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



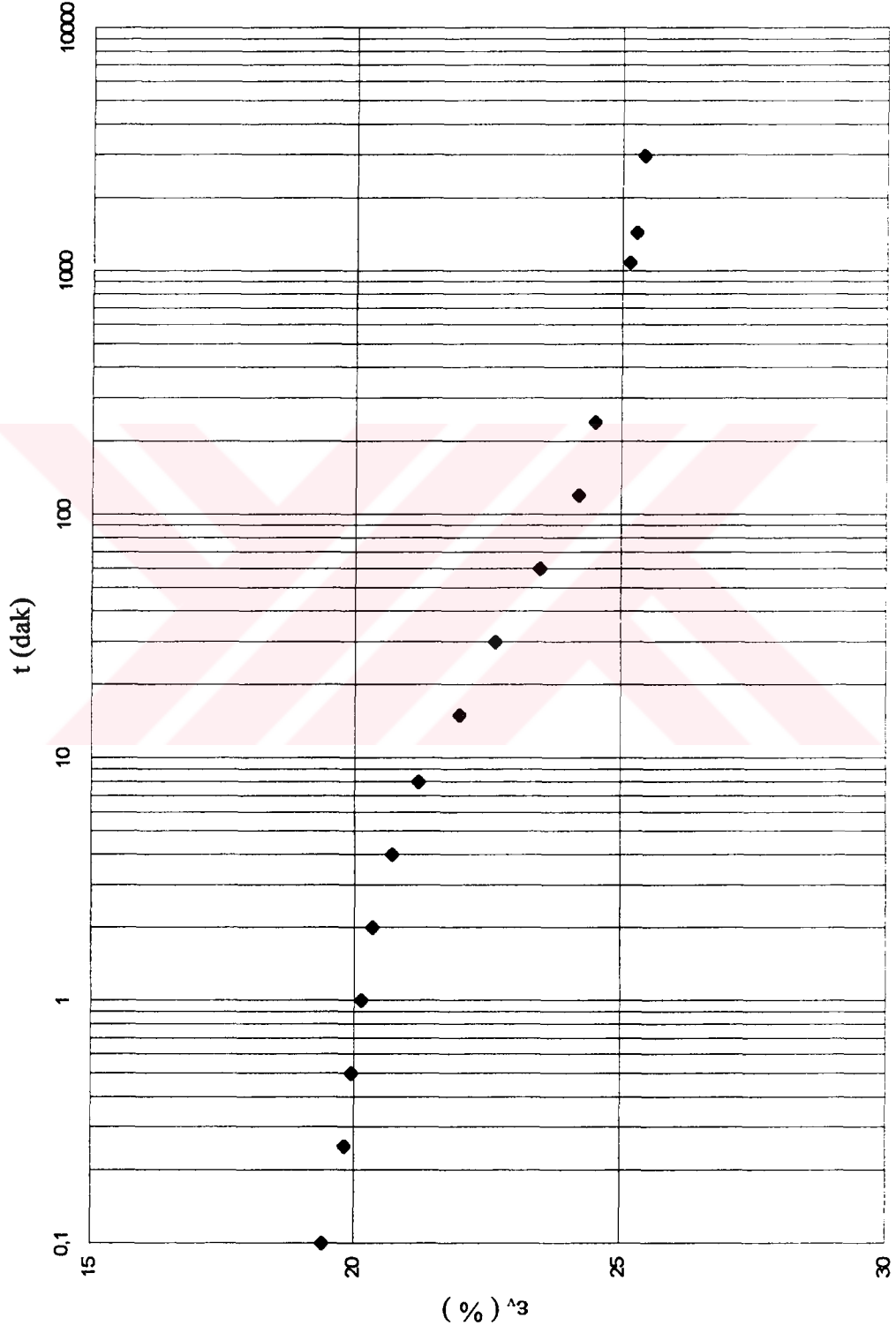
Şekil E1.22 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$



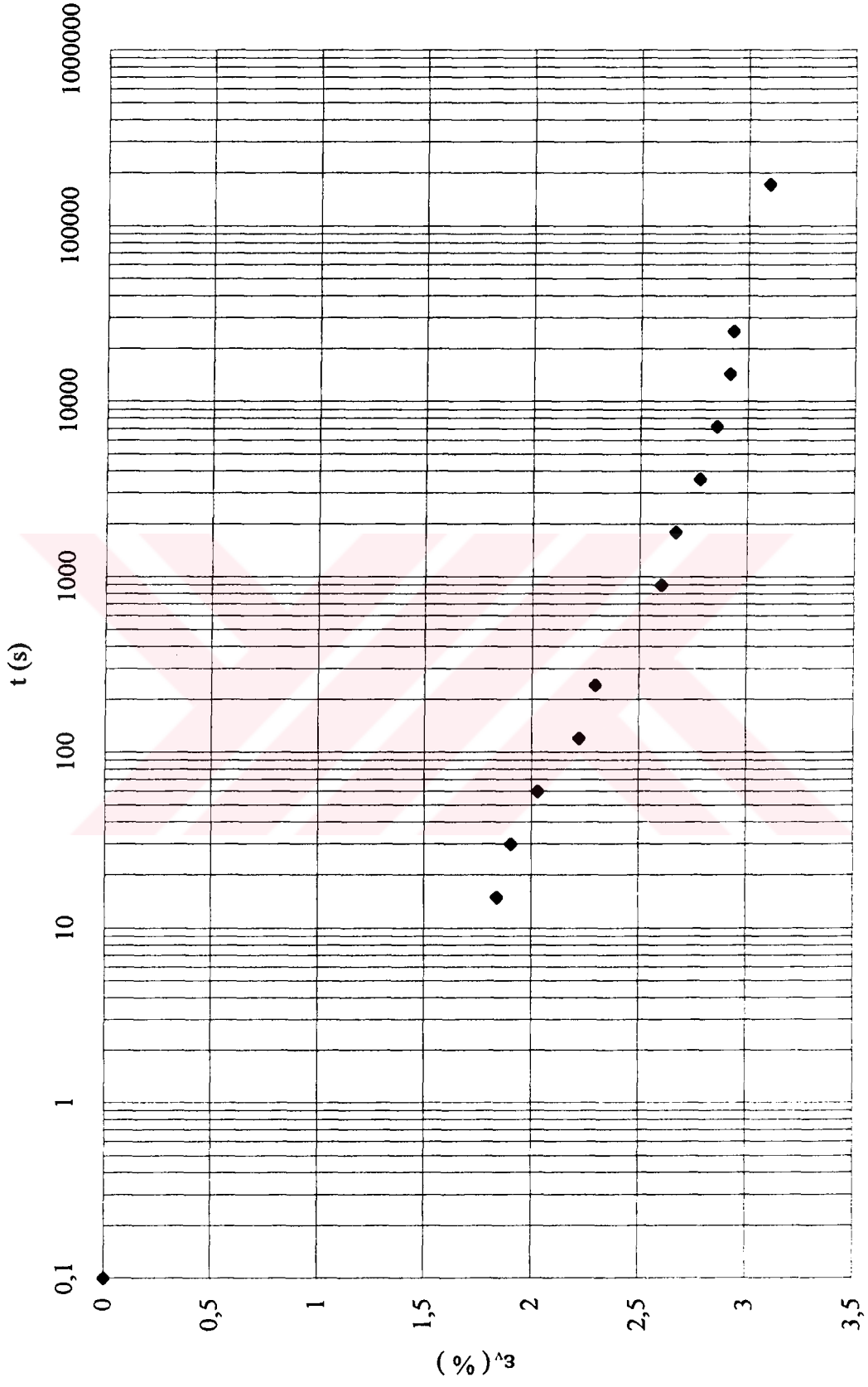
Şekil E1.23 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 800$ kPa



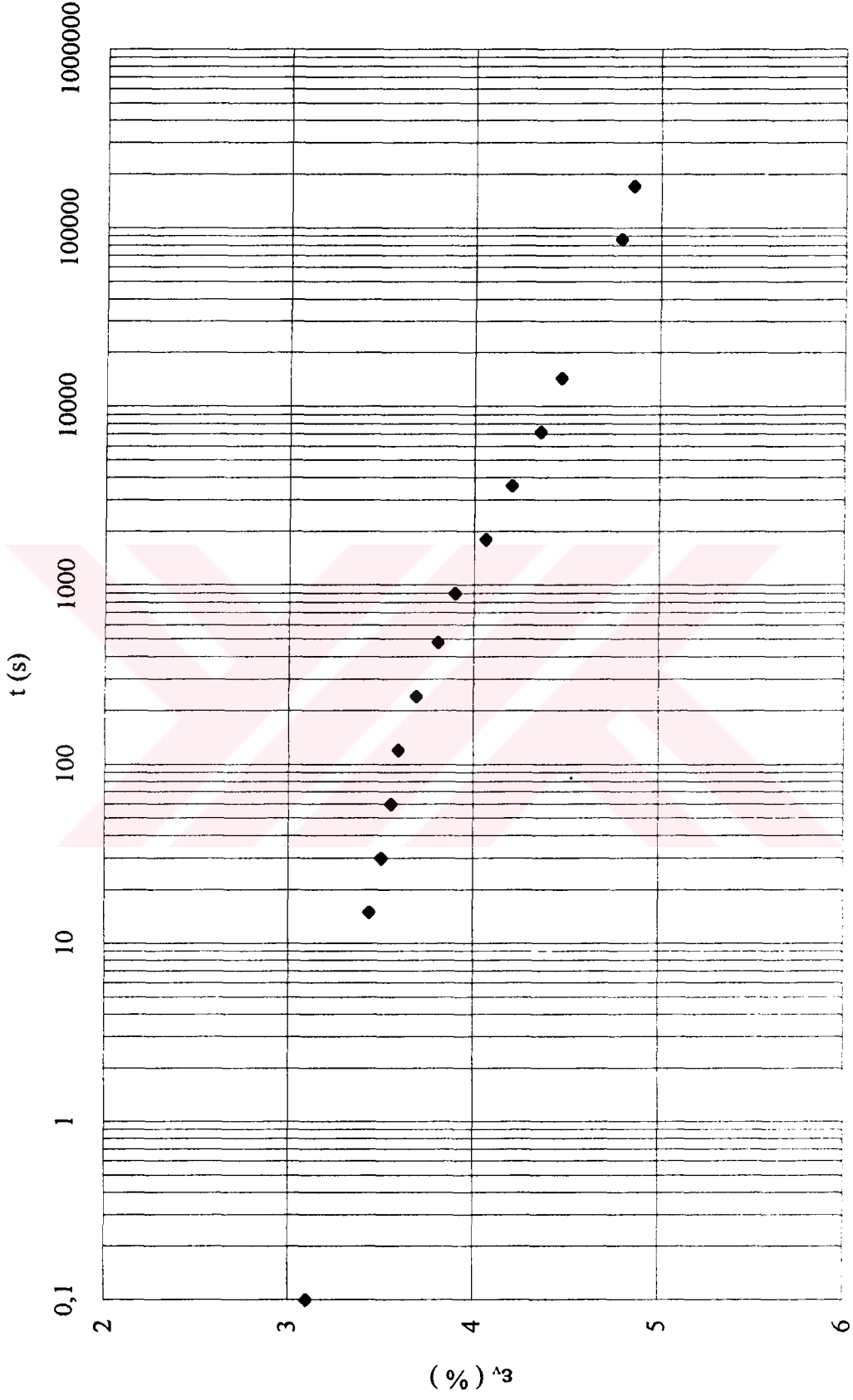
Şekil E1.24 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



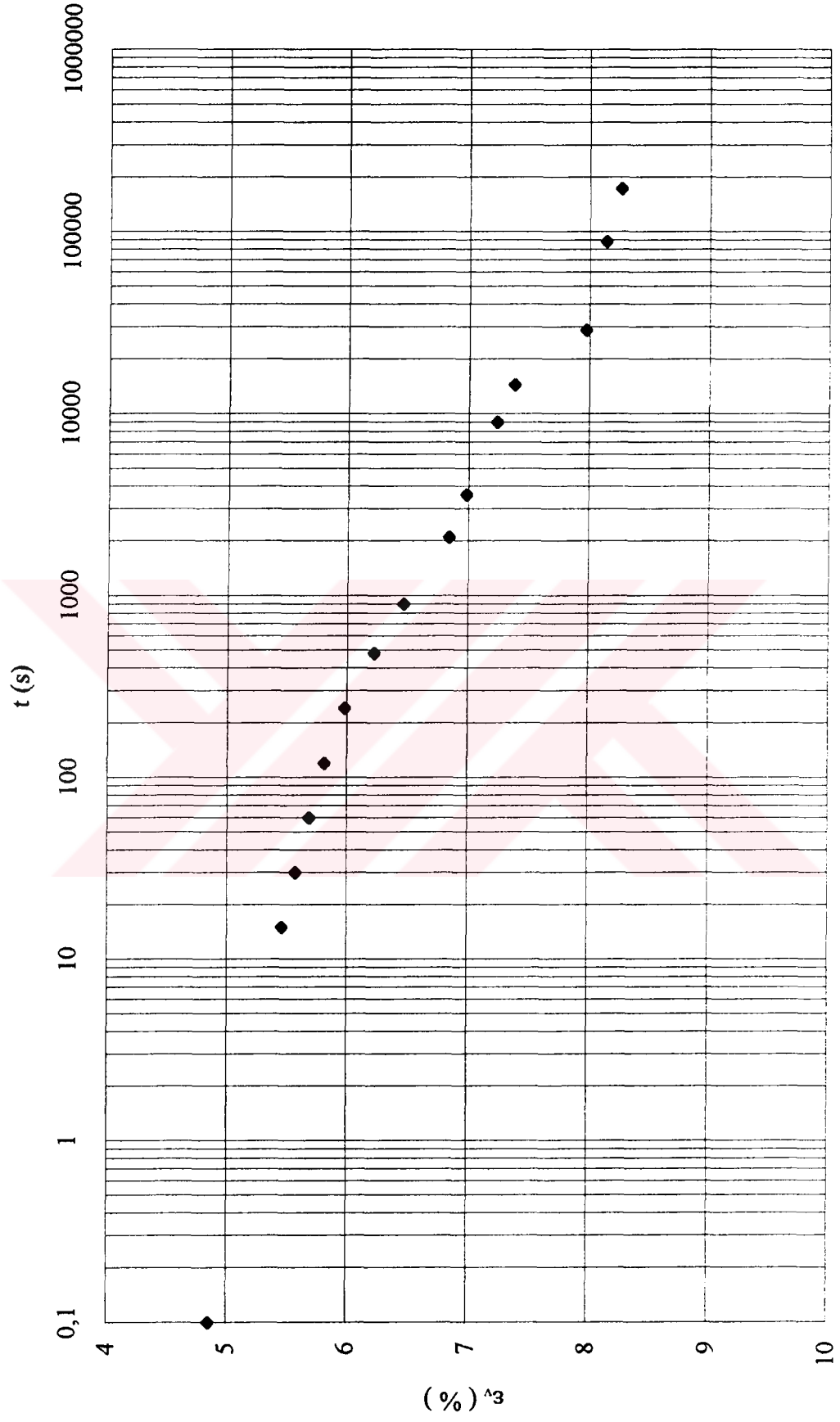
Şekil E1.25 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



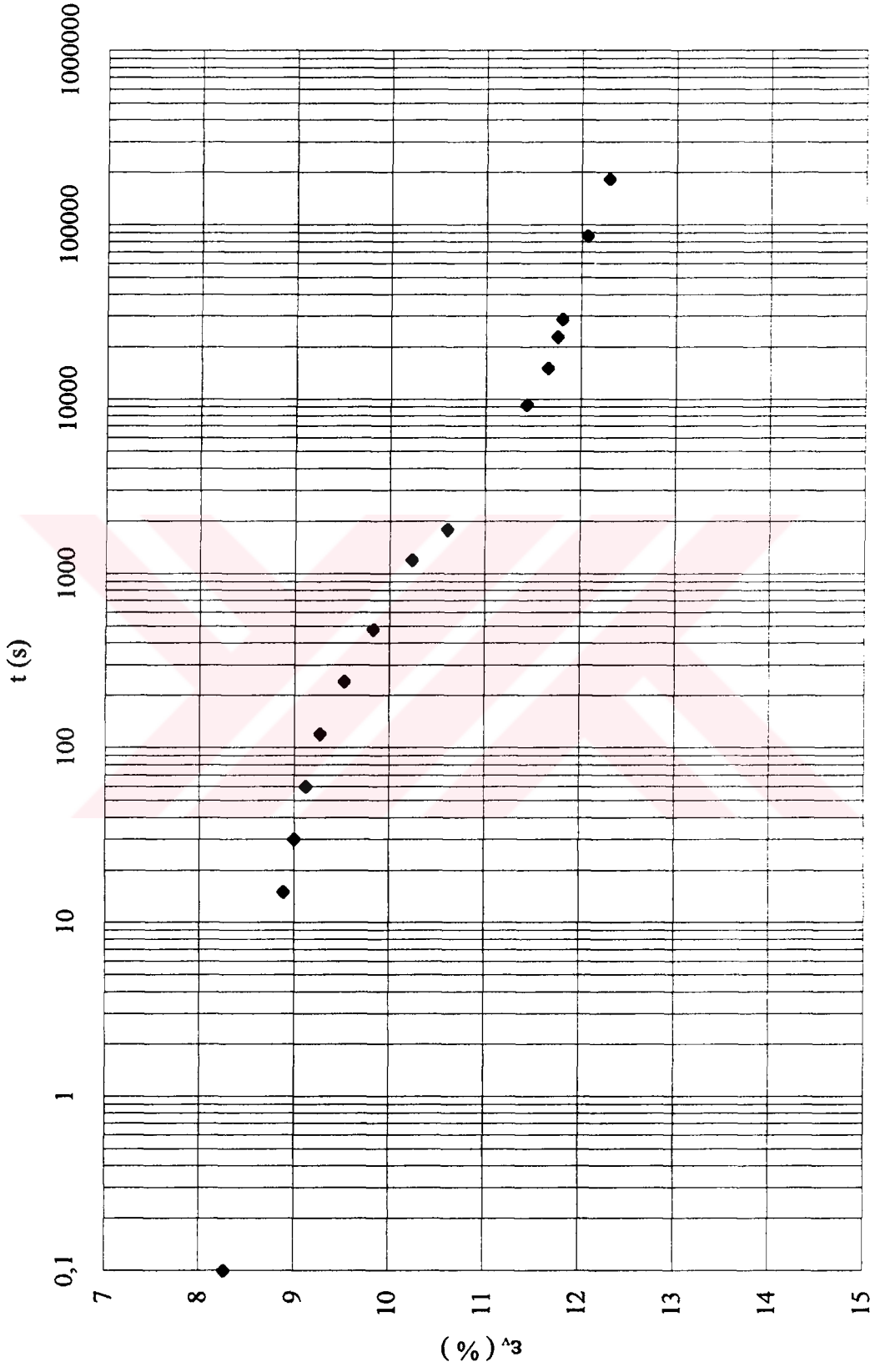
Şekil E1.26 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



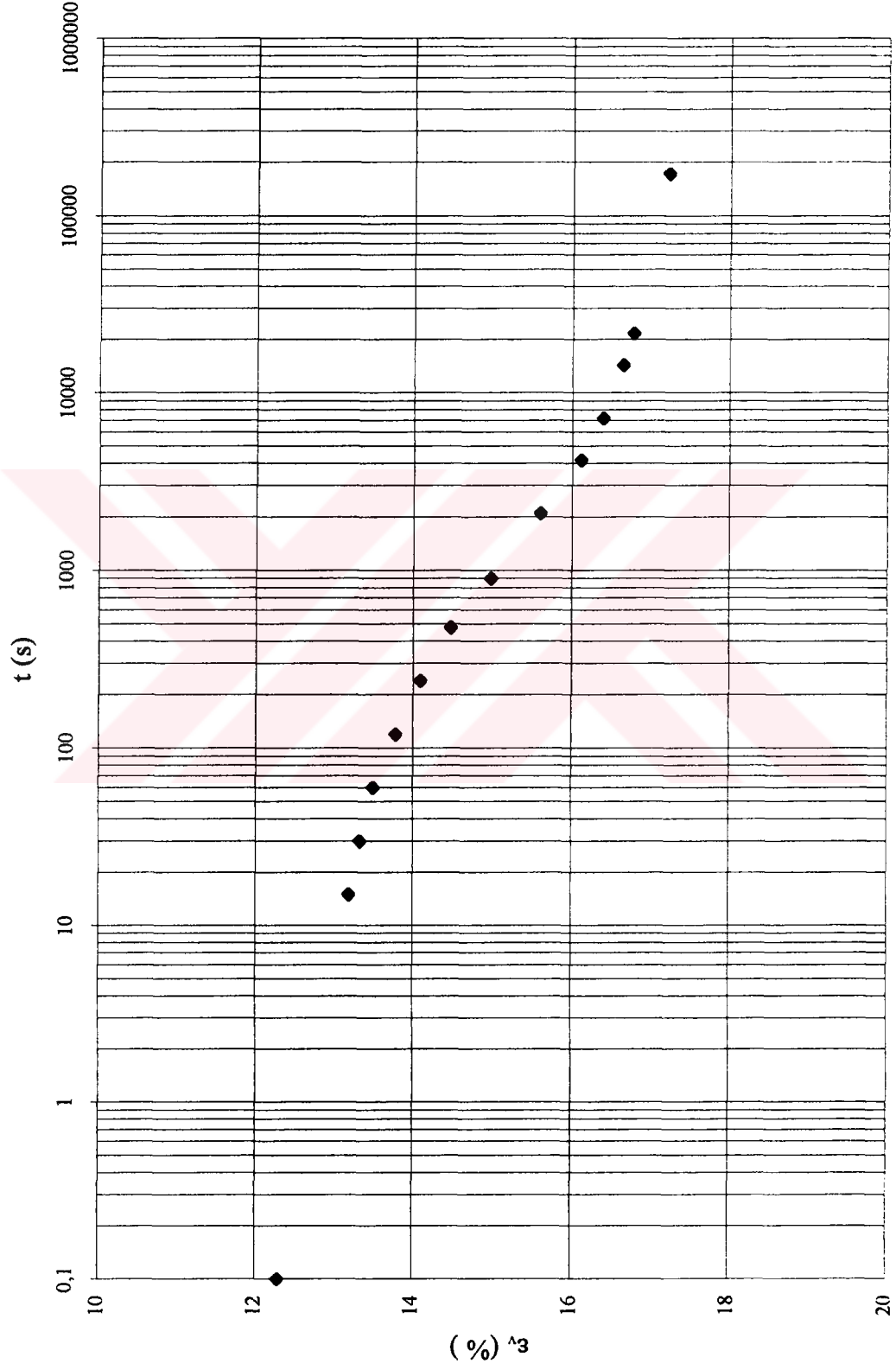
Şekil E1.27 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



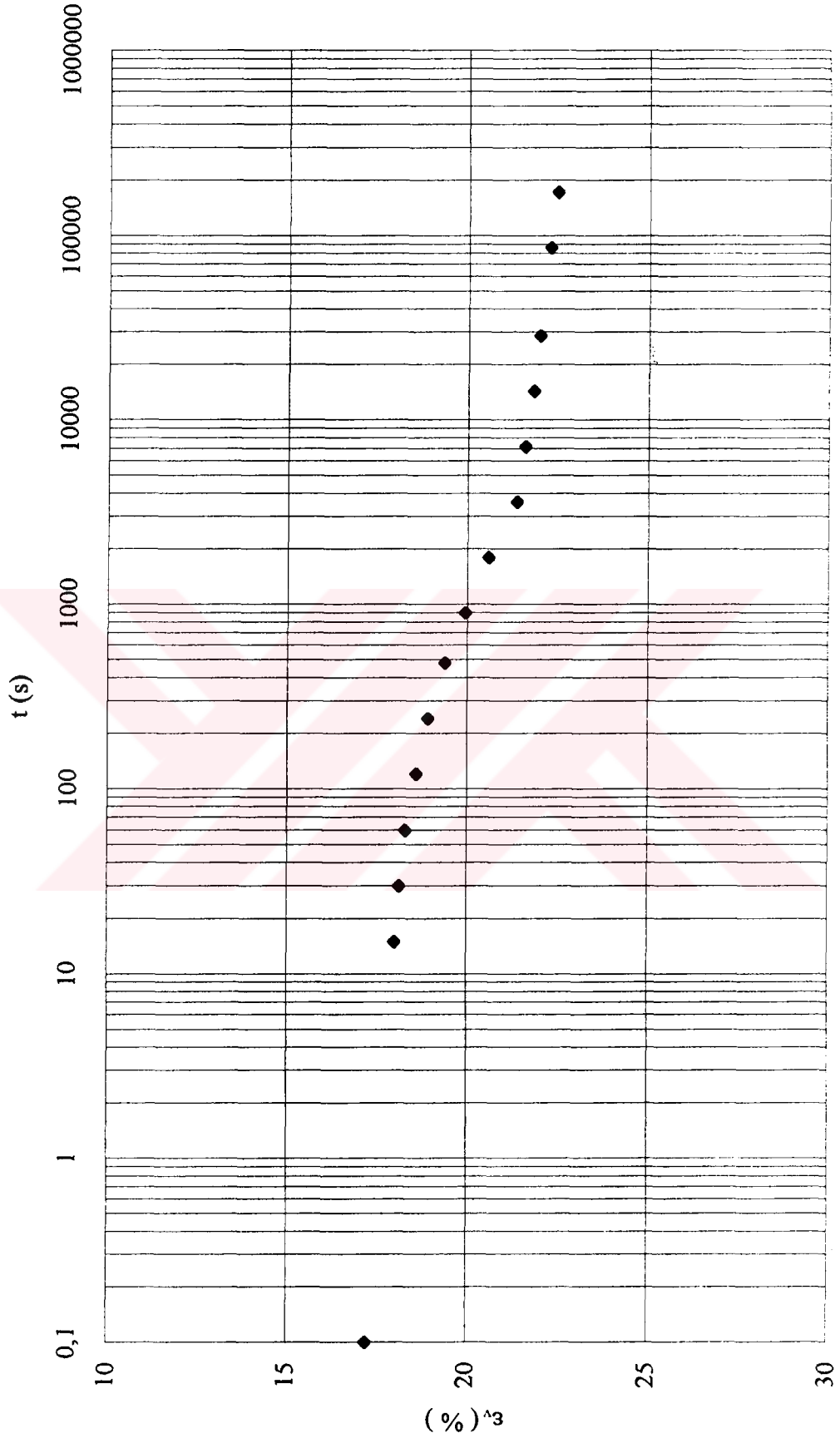
Şekil E1.28 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$



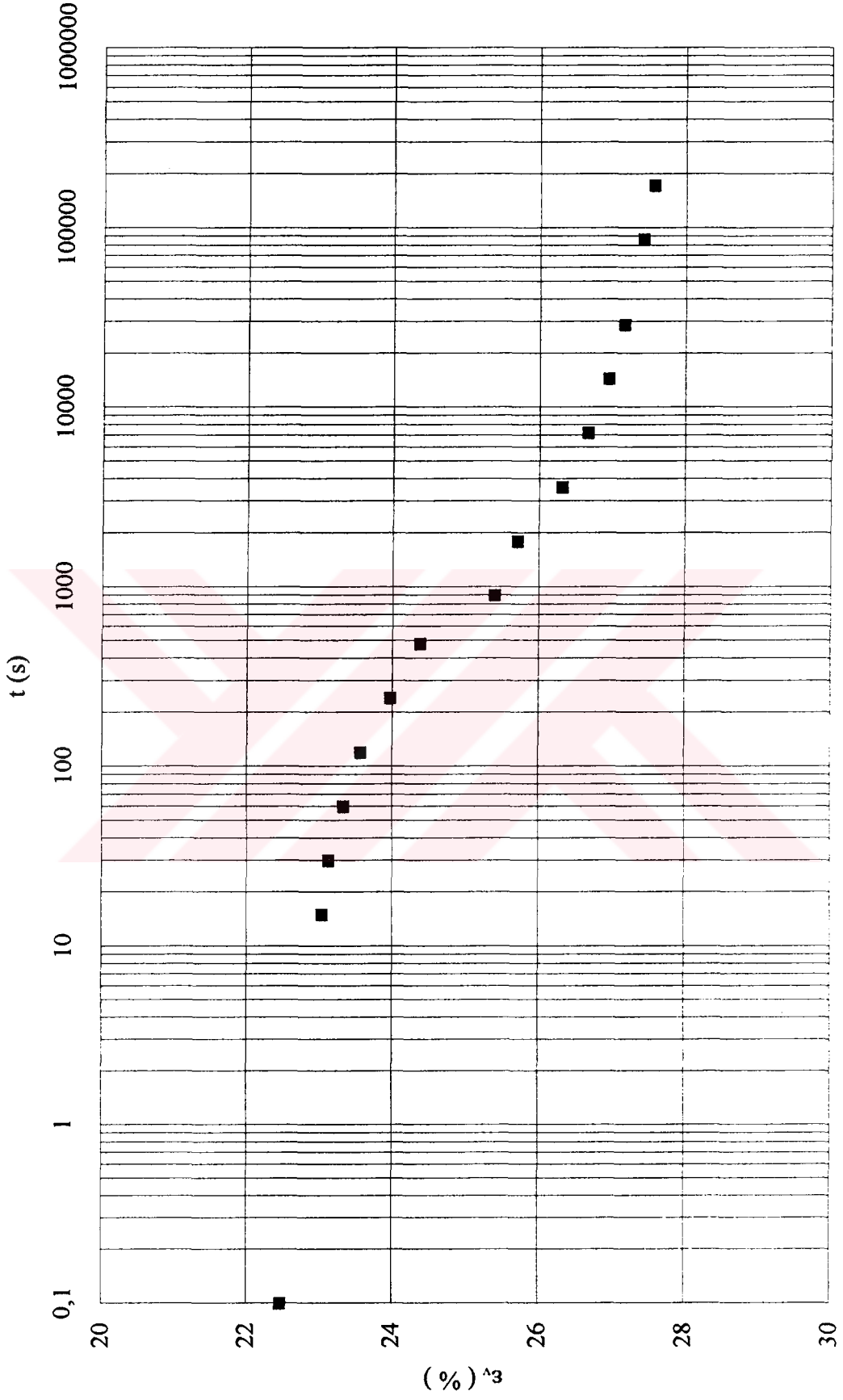
Şekil E1.29 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$



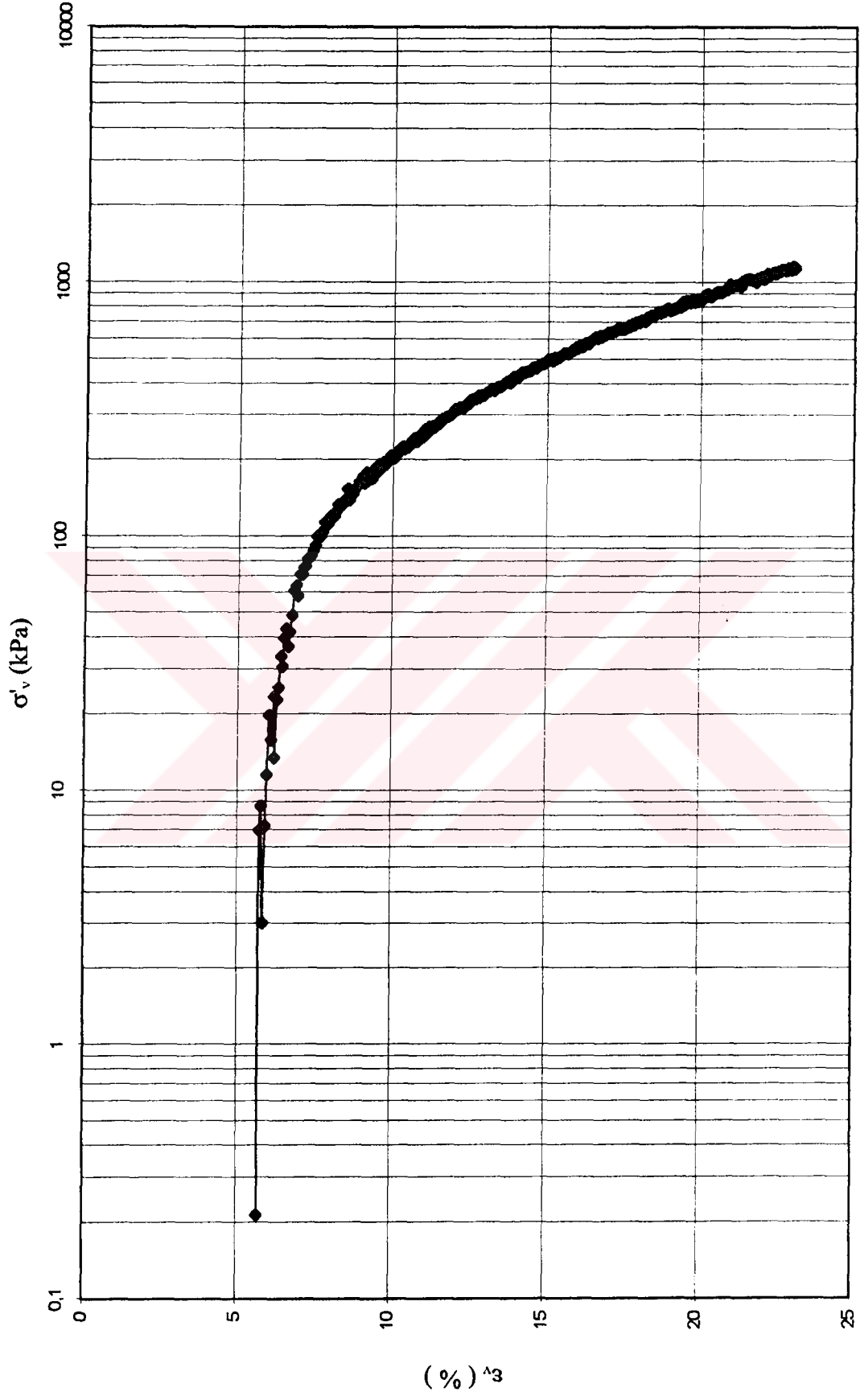
Şekil E1.30 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 1600$ kPa



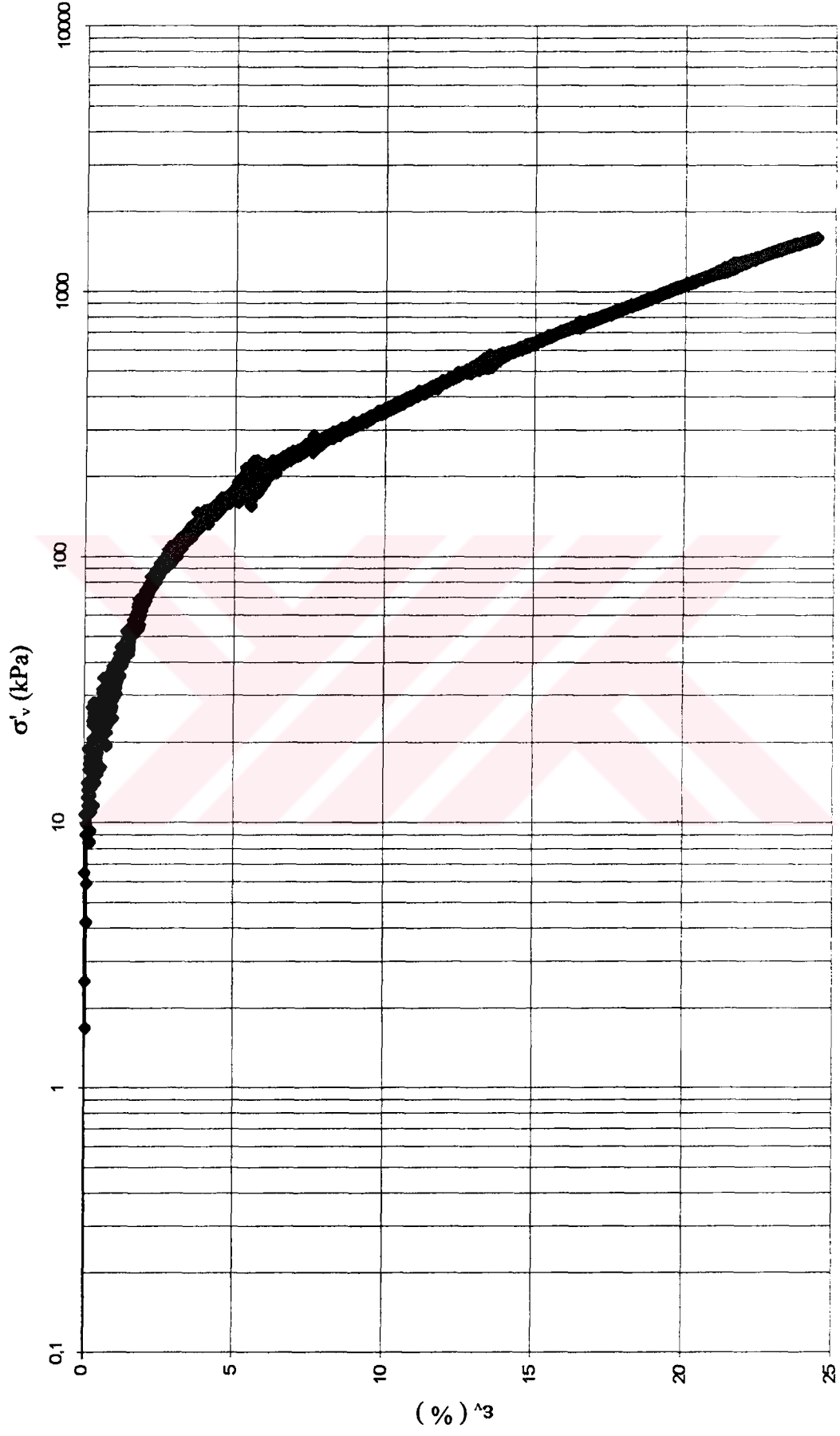
Şekil E1.31 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 6 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$



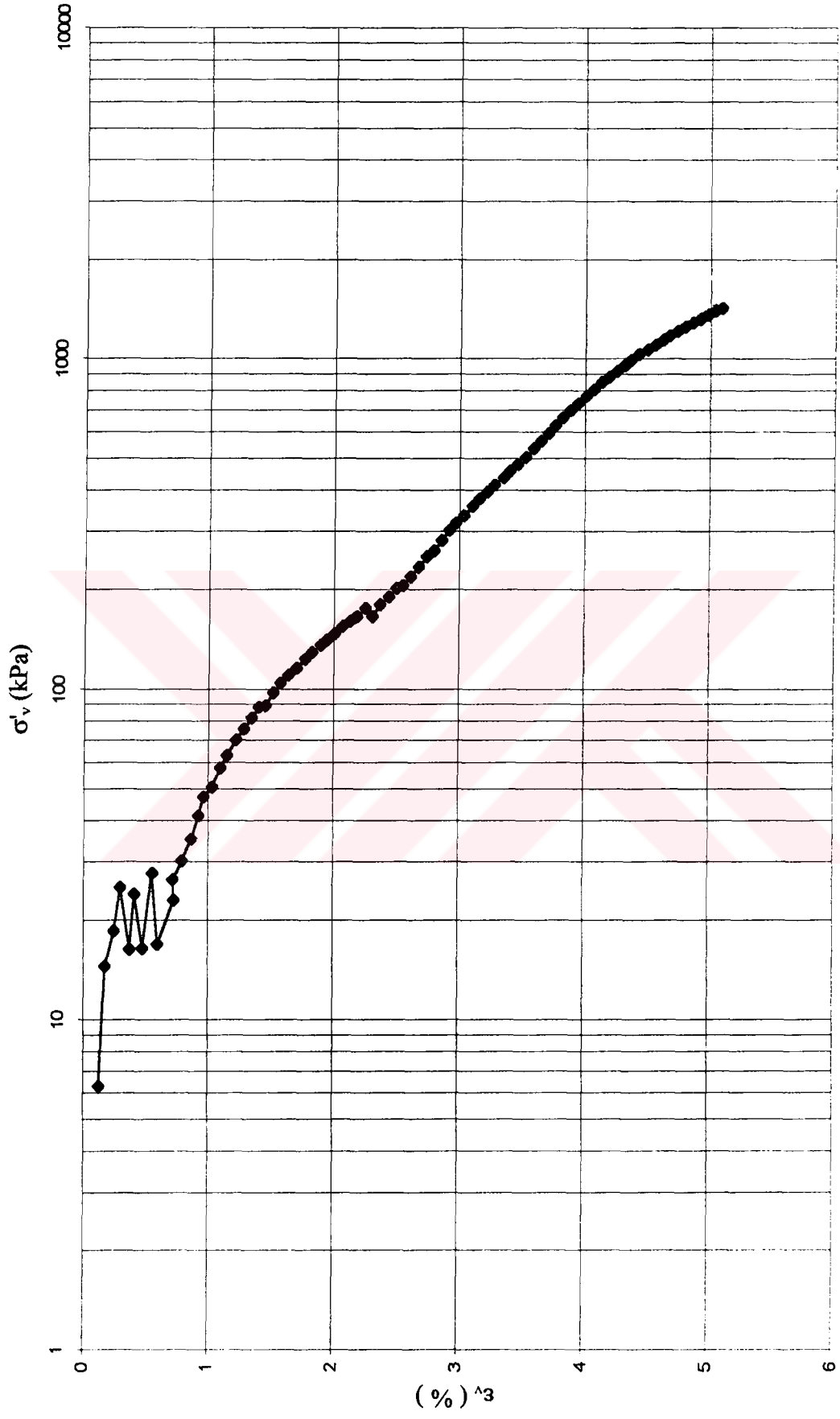
Şekil E1.32 CRS deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO :7 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

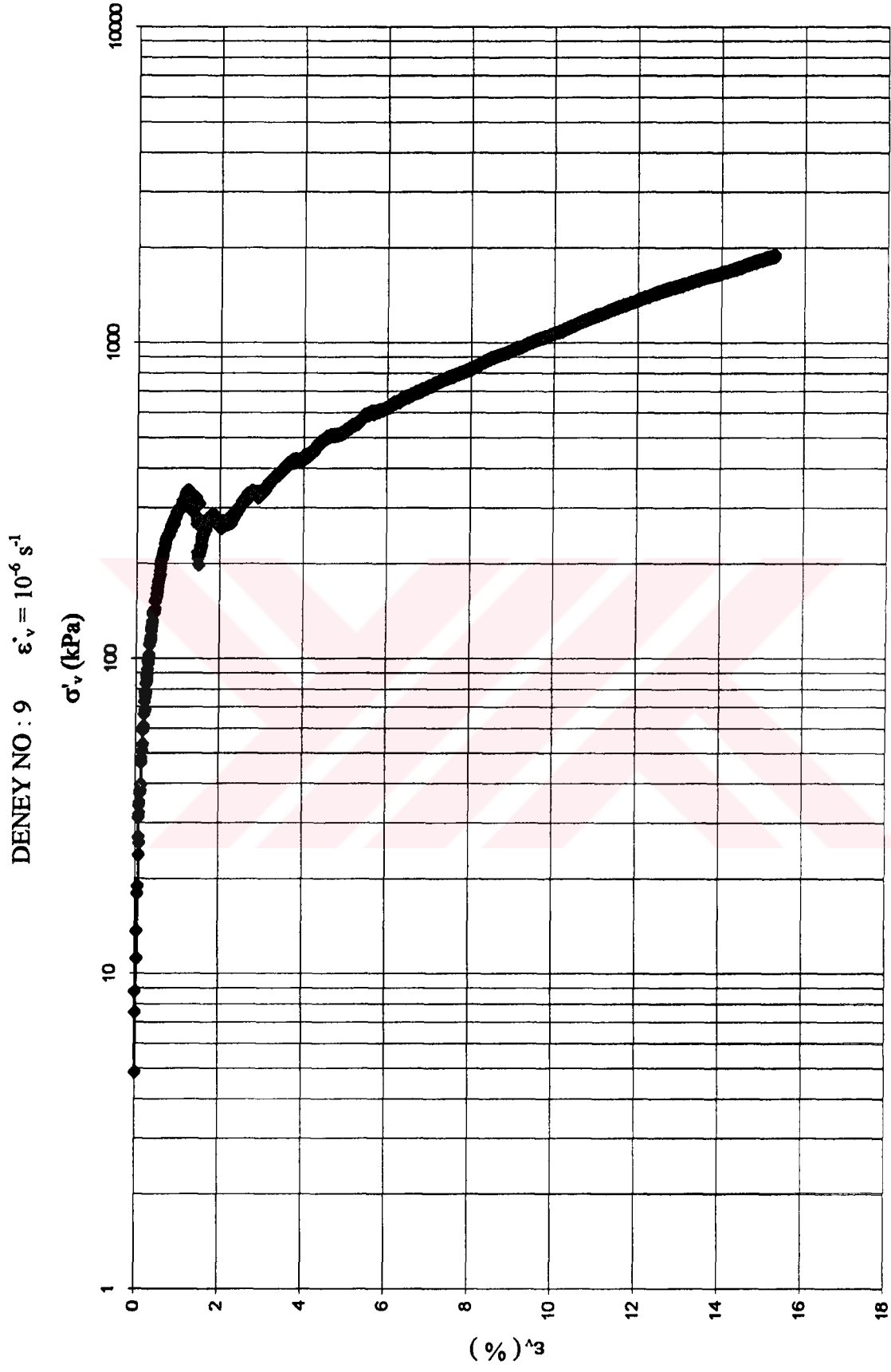


Şekil E1.33 CRS deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 8 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

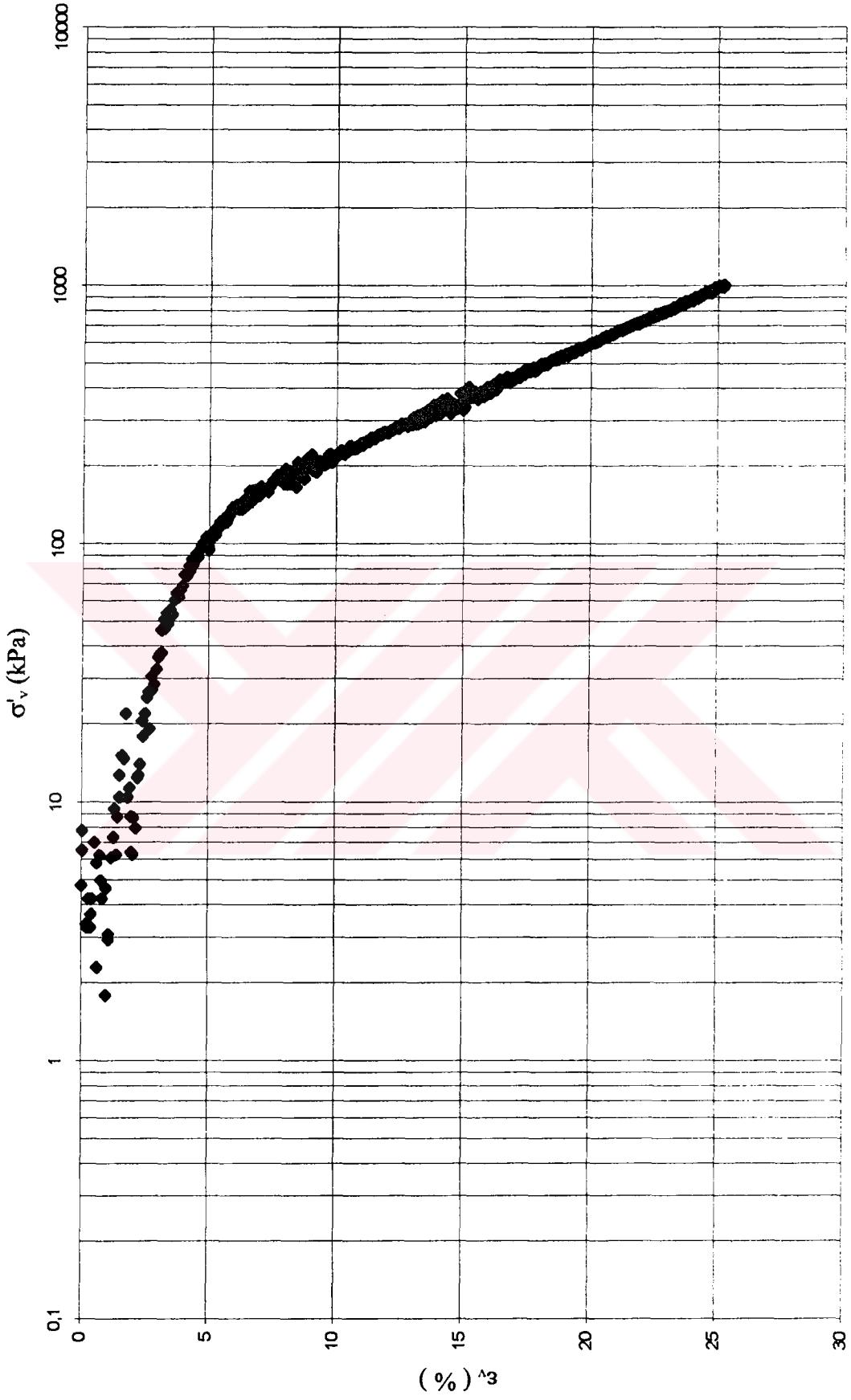


Şekil E1.34 CRS deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği



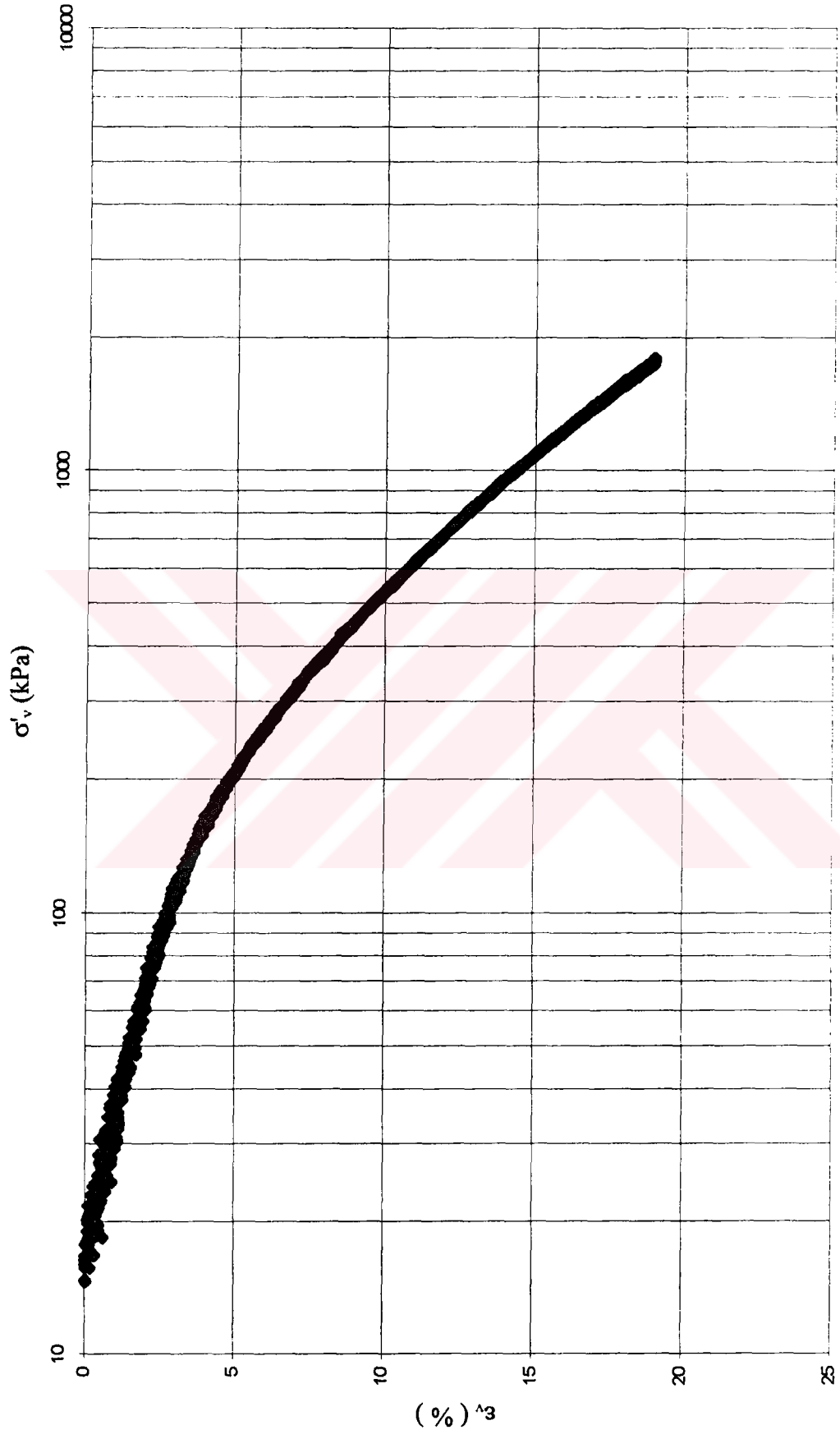
Şekil E1.35 CRS deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 10 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$



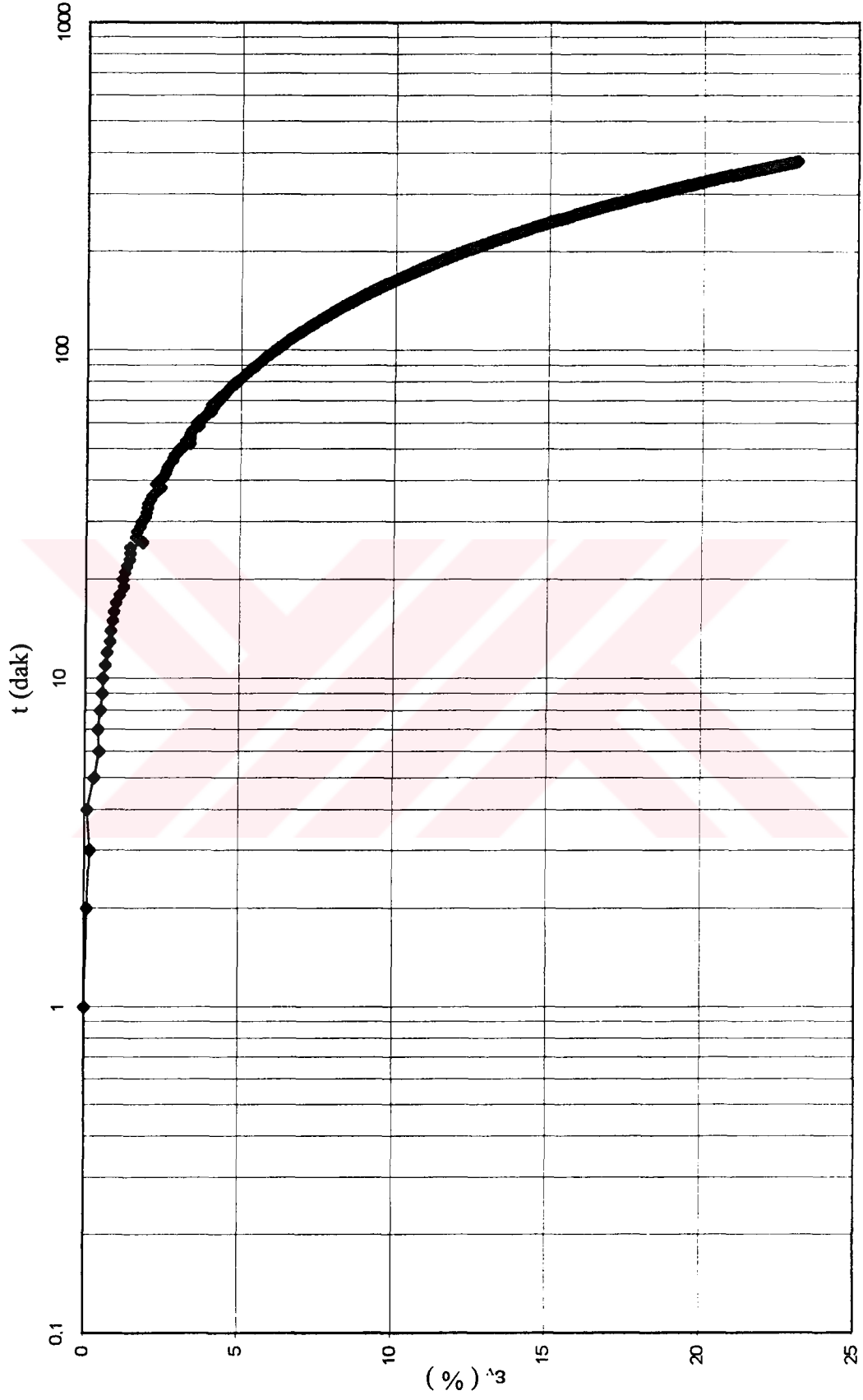
Şekil E1.36 CRS deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 12 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$



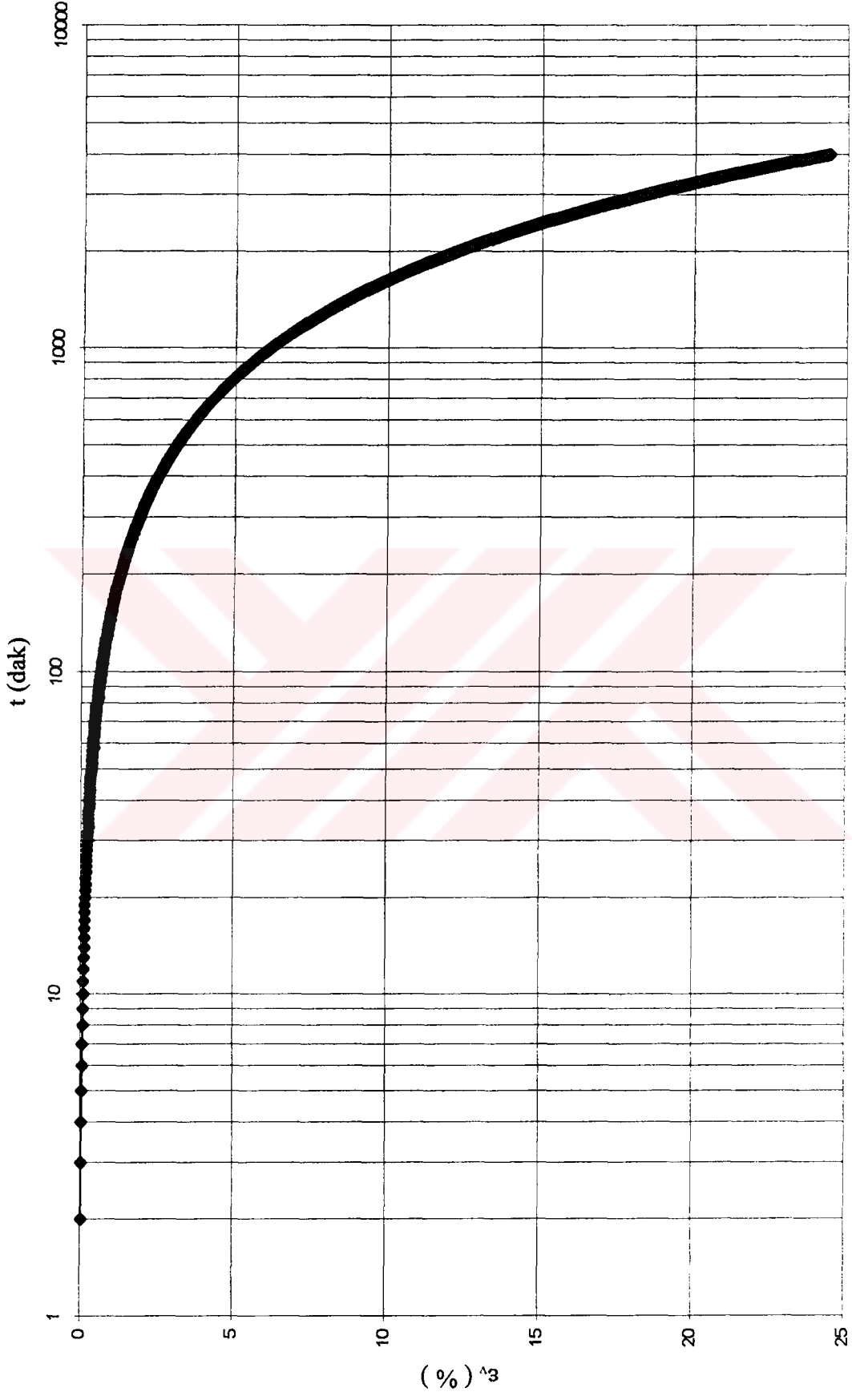
Şekil E1.37 CRS deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 6 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-5} \text{ s}^{-1}$

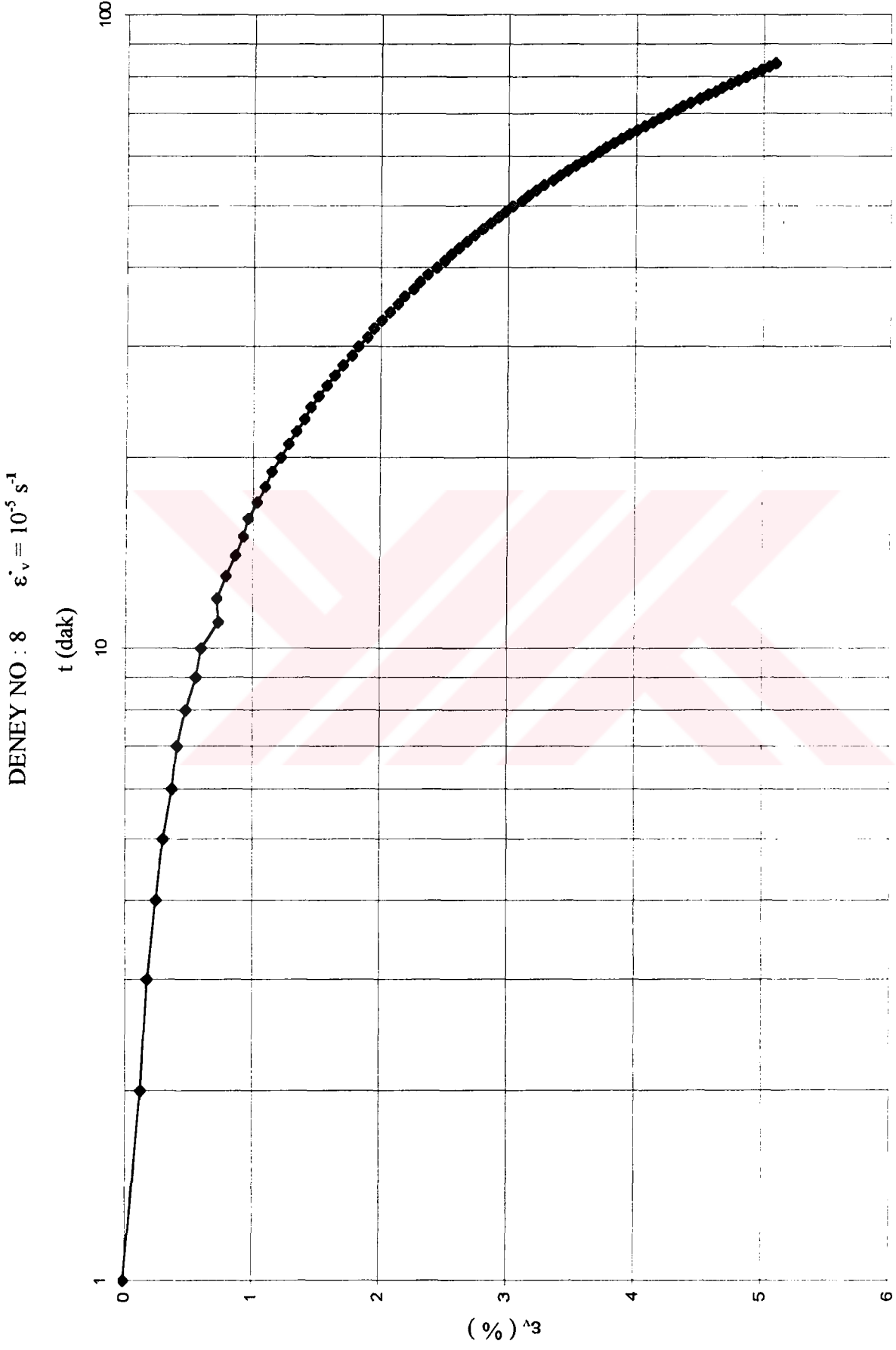


Şekil E1.38 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO :7 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

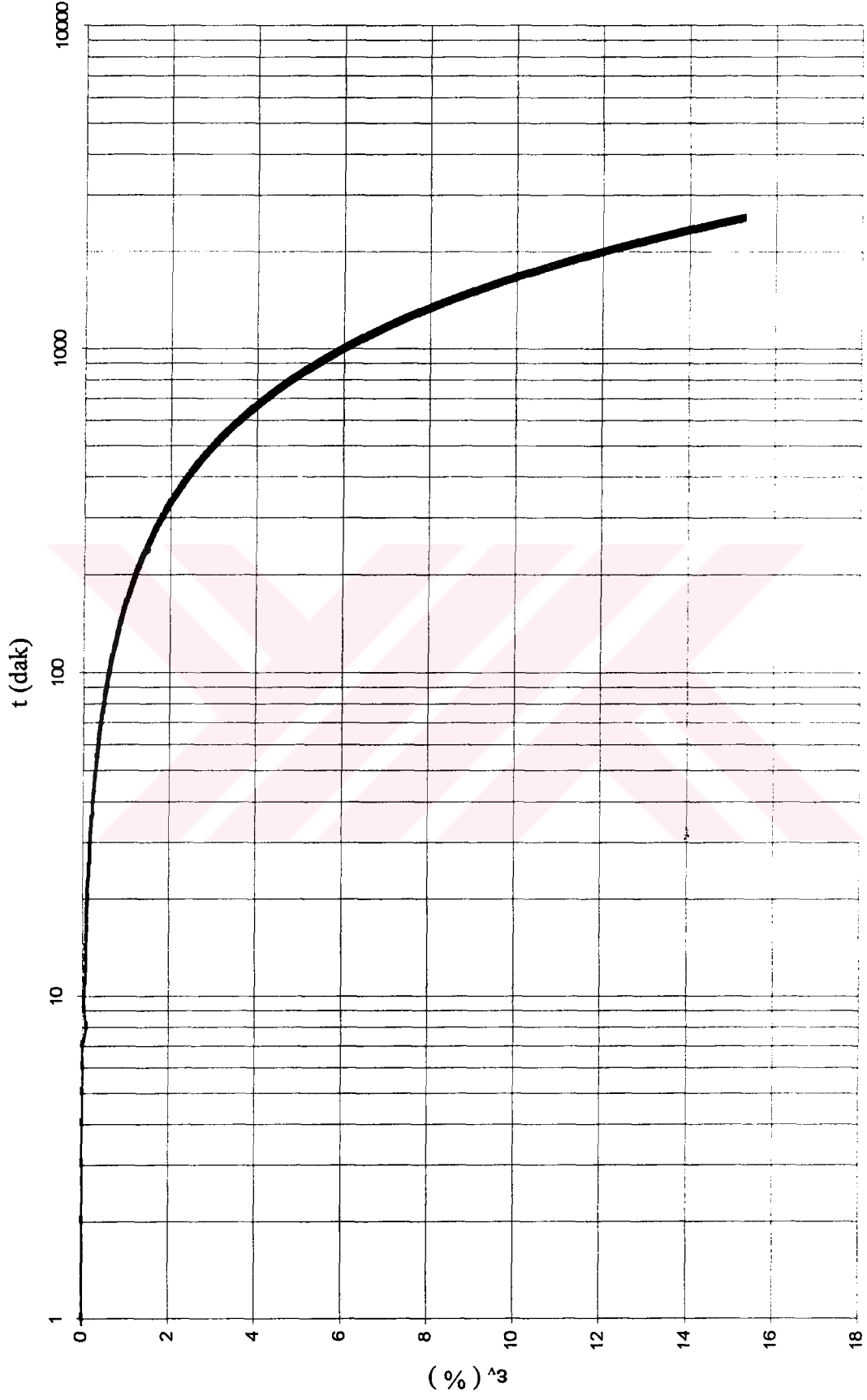


Şekil E1.39 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

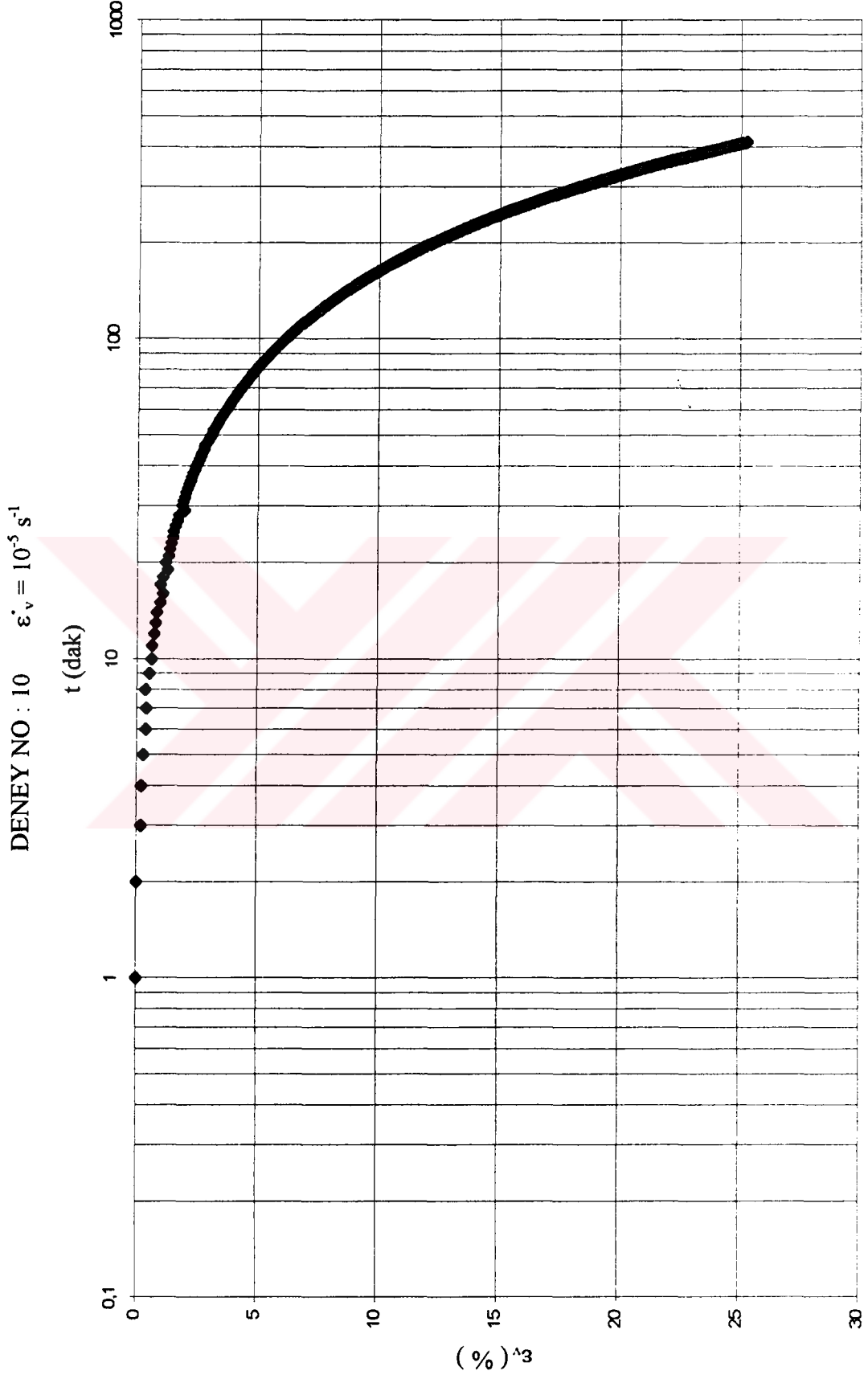


Şekil E1.40 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 9 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

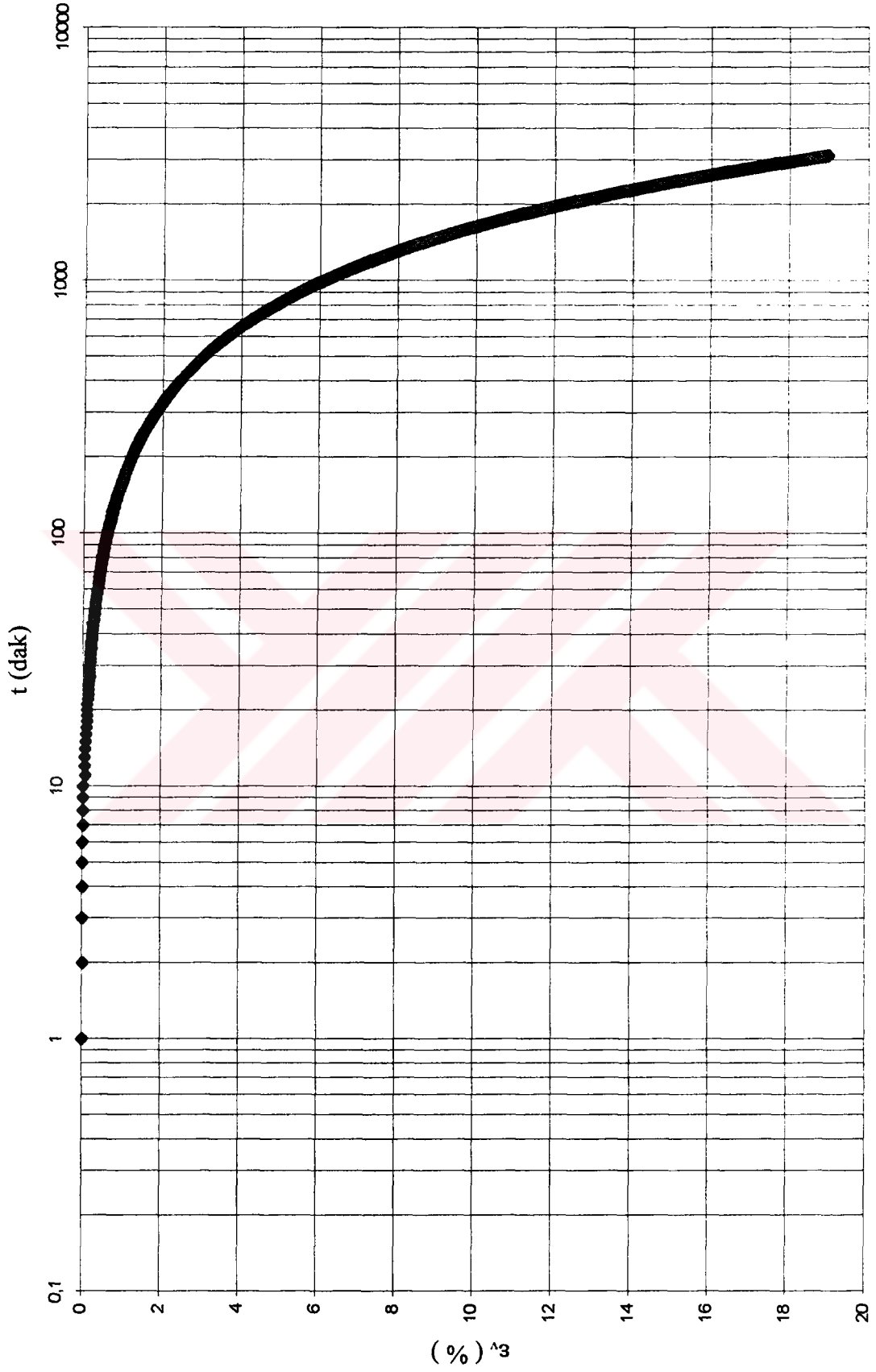


Şekil E1.41 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği



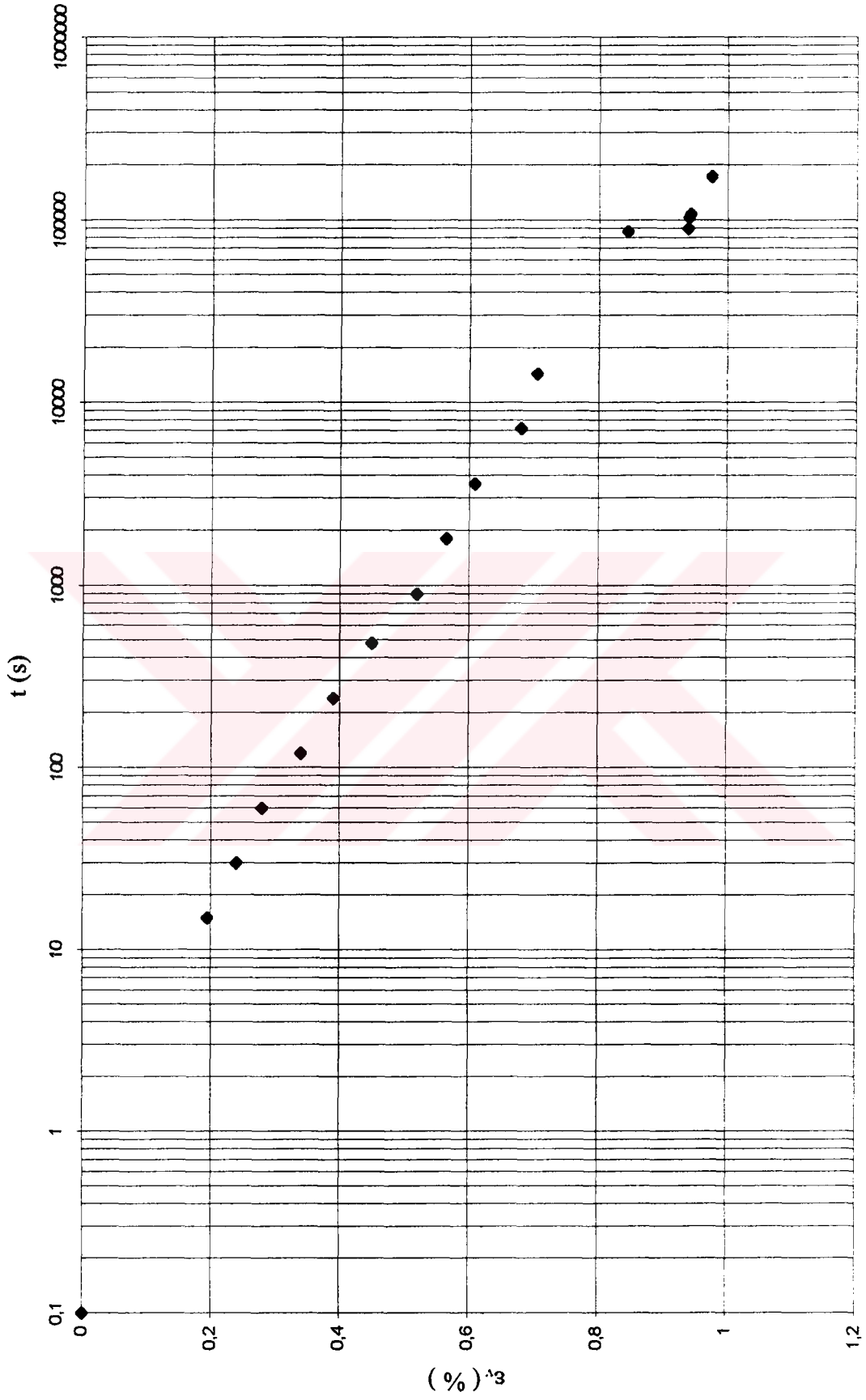
Şekil E1.42 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 12 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$



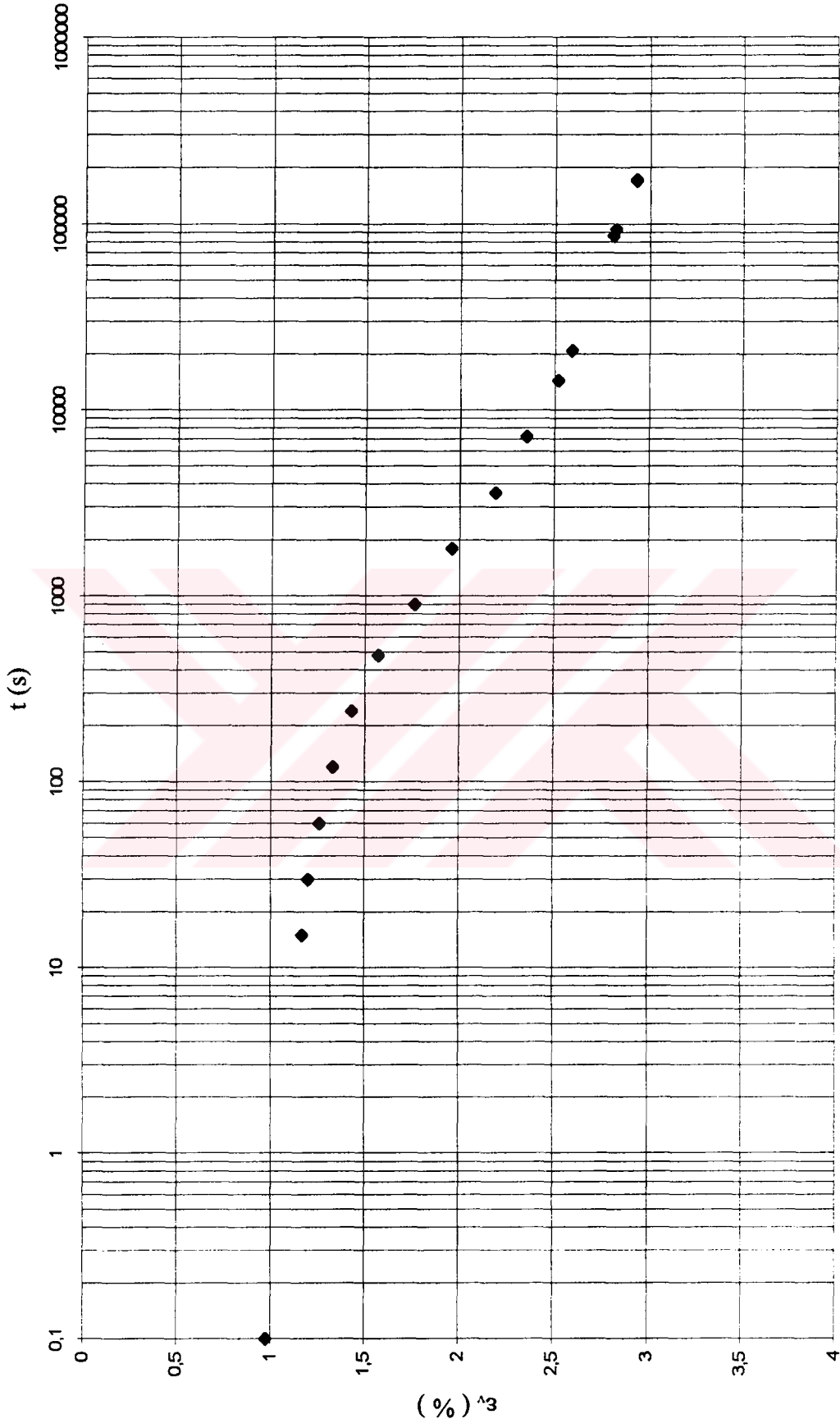
Şekil E1.43 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



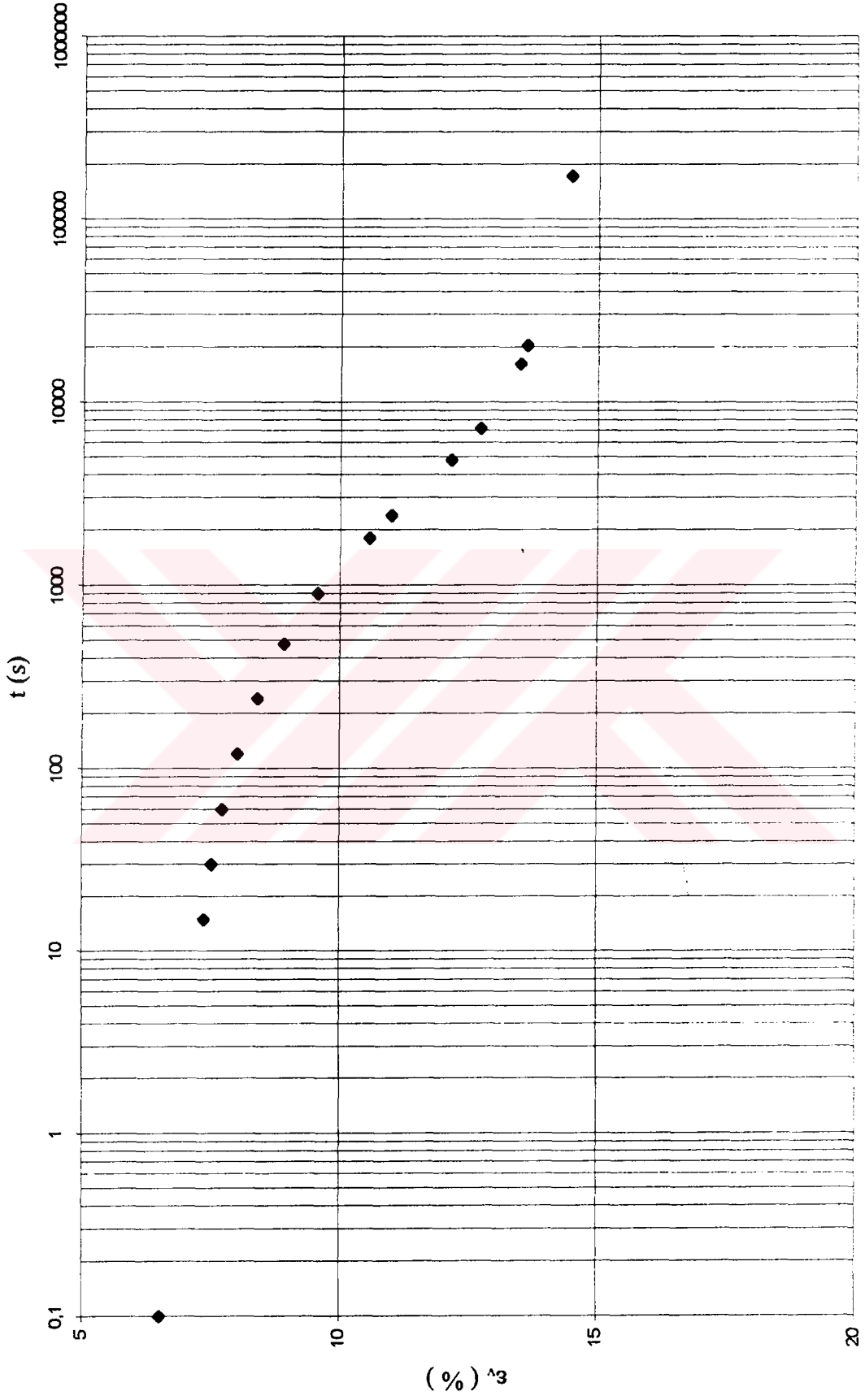
Şekil E1.44 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



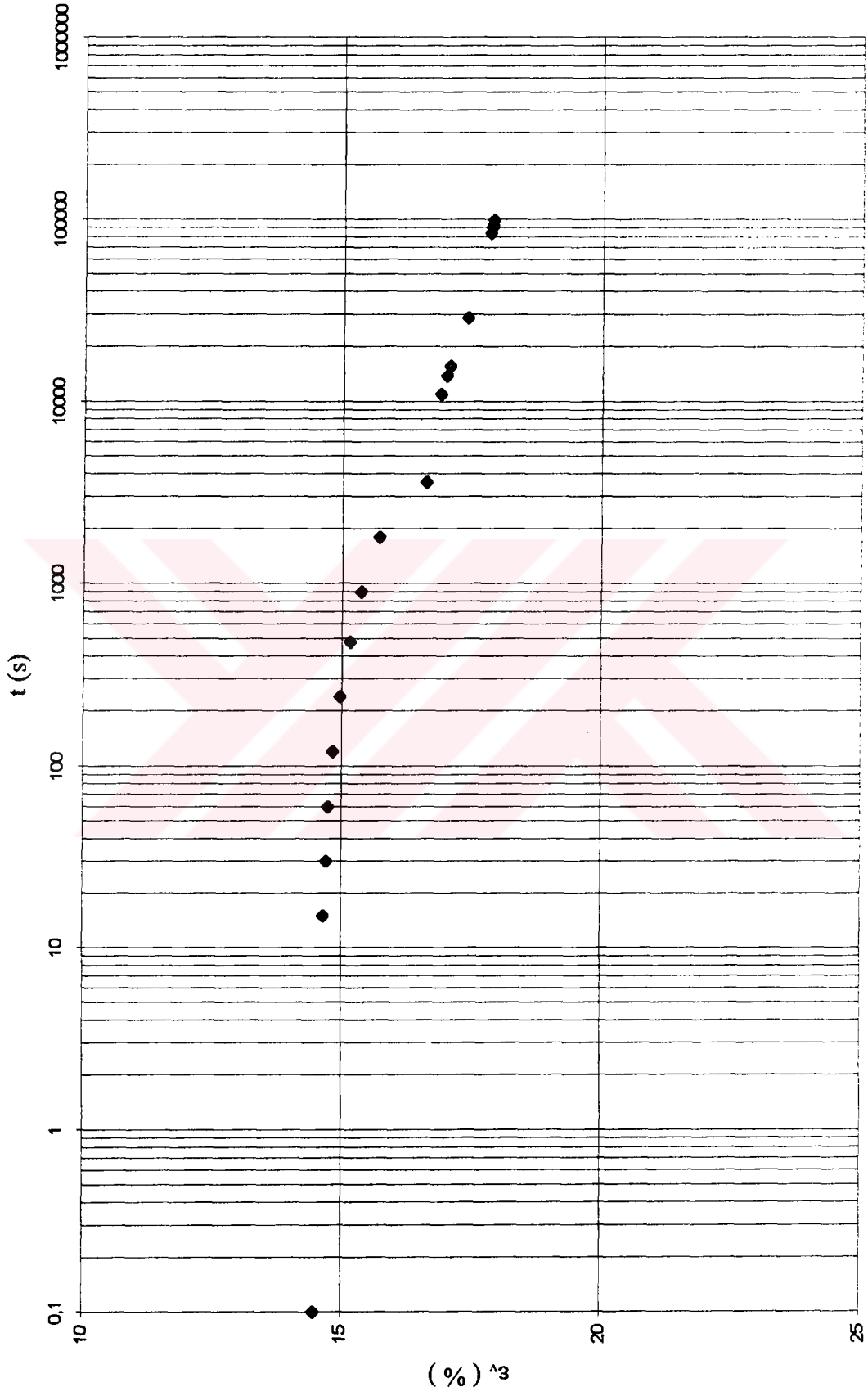
Şekil E1.45 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 250 \text{ kPa}$



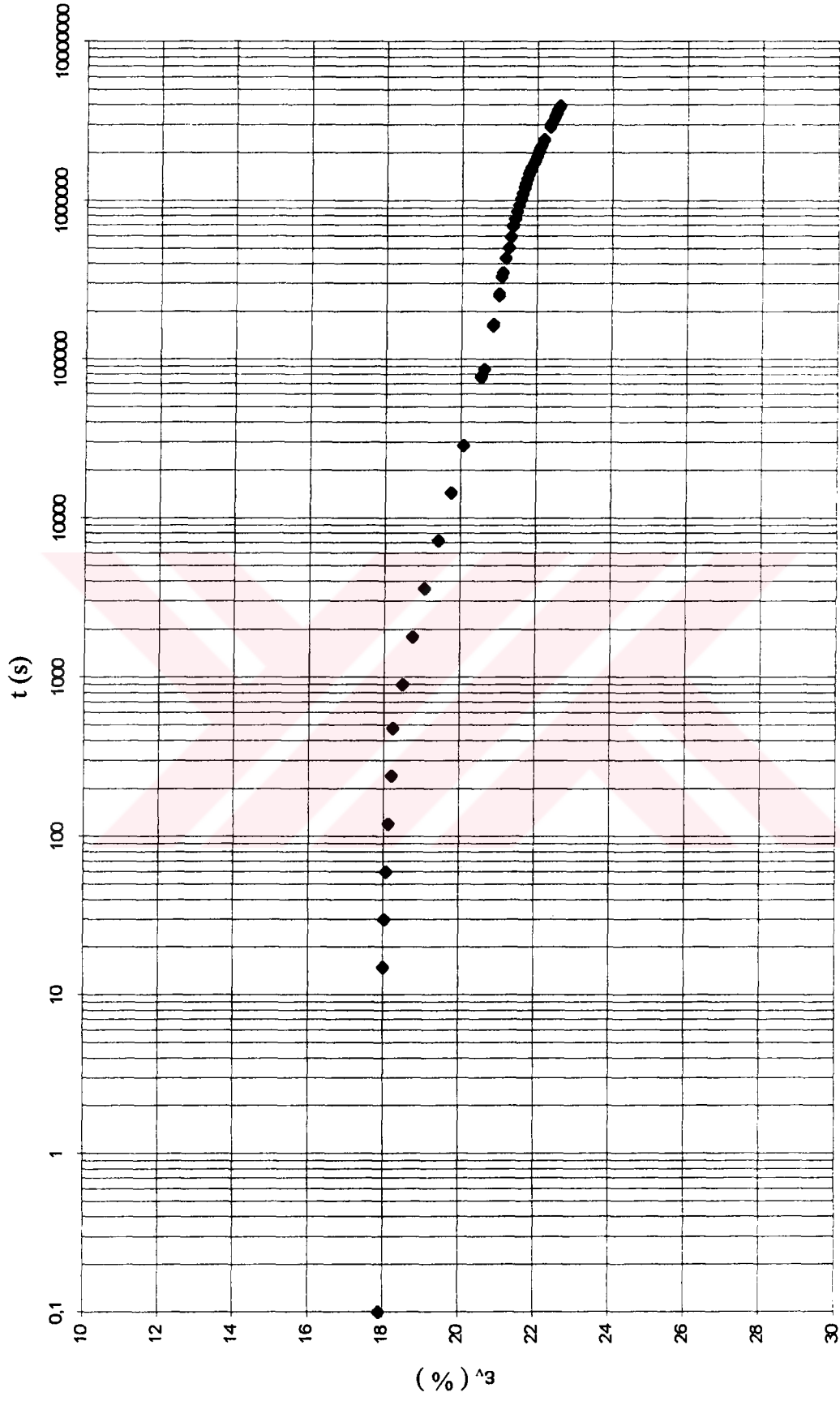
Şekil E1.46 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 370 \text{ kPa}$



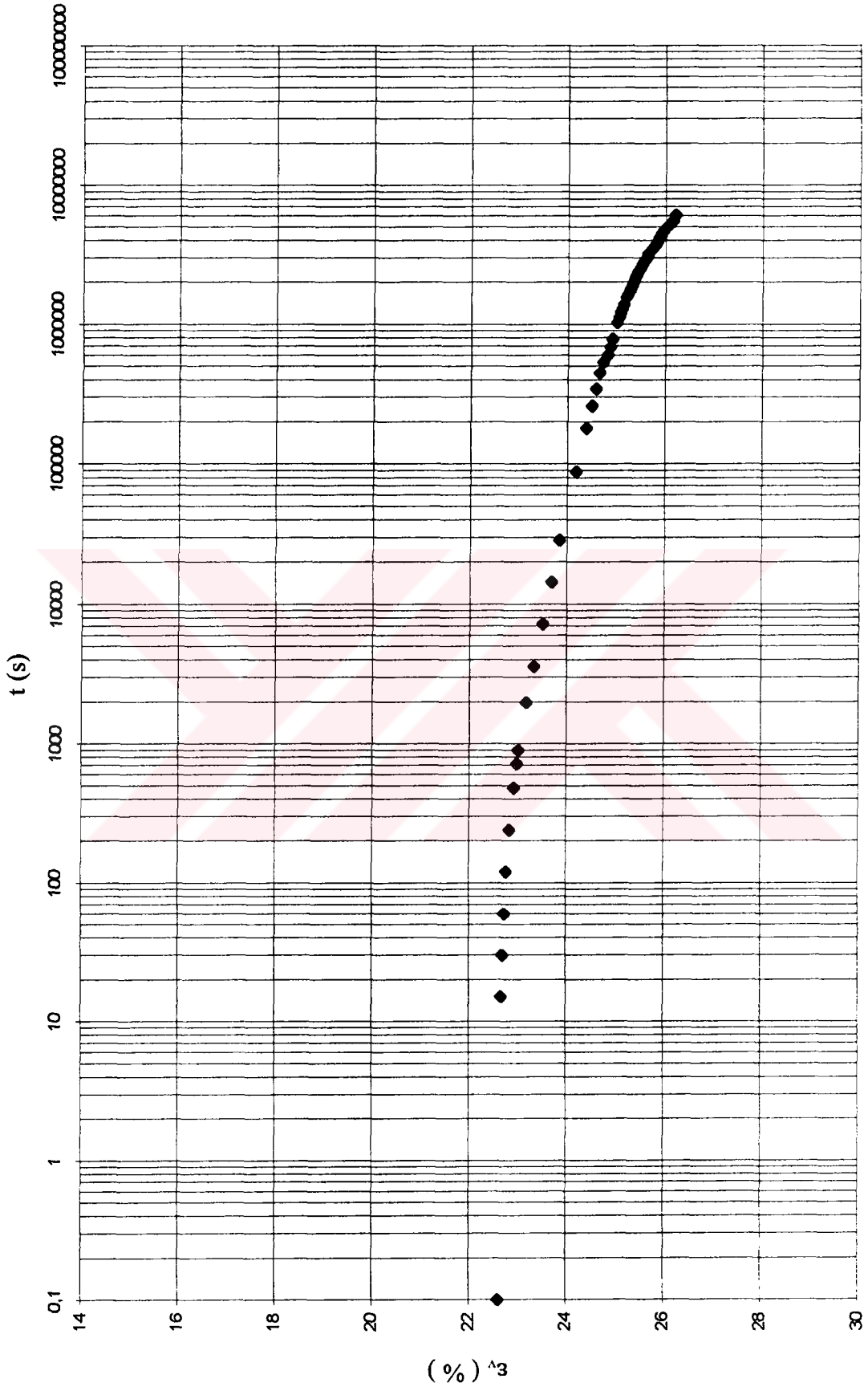
Şekil E1.47 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 490 \text{ kPa}$



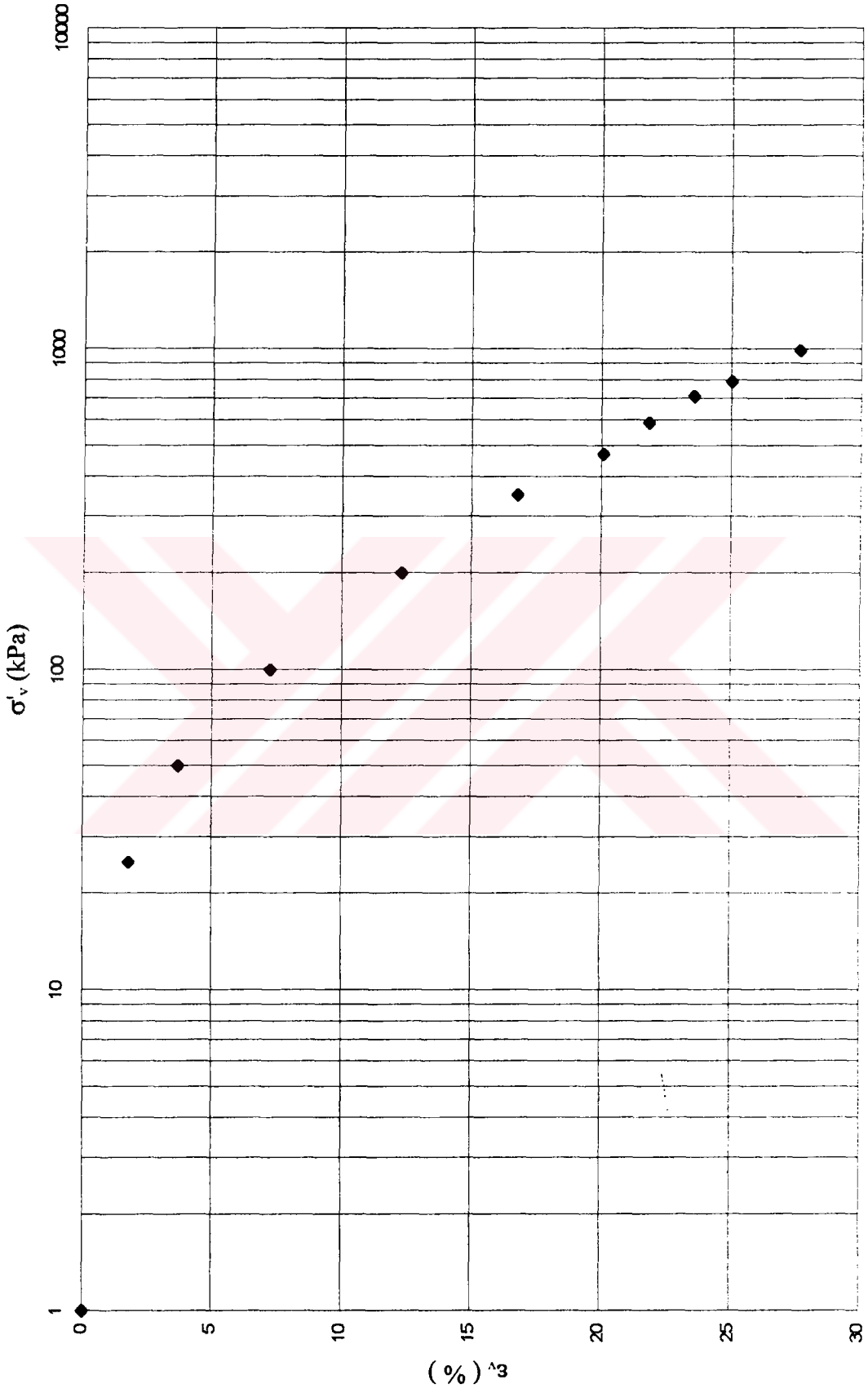
Şekil E1.48 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 690 \text{ kPa}$



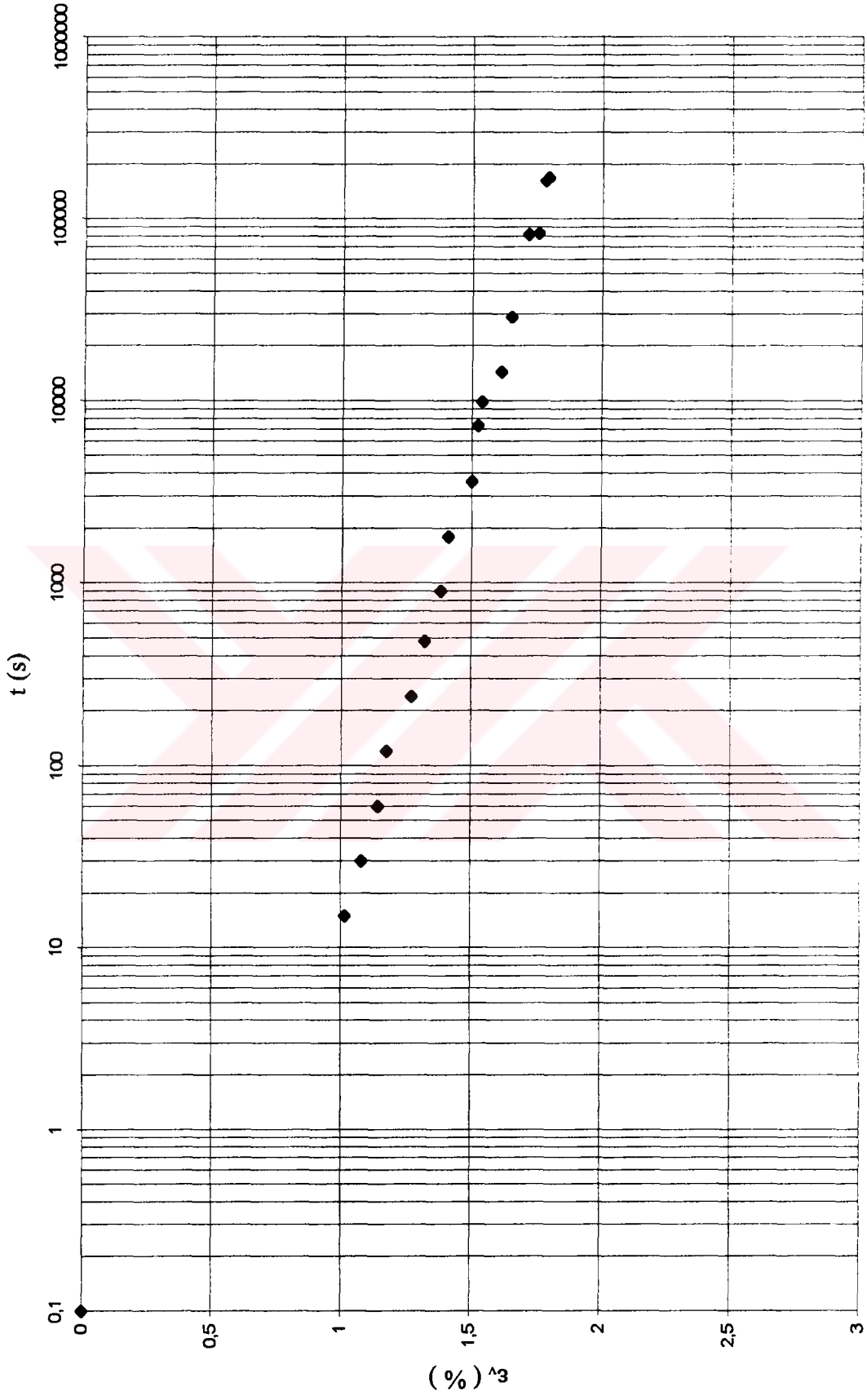
Şekil E1.49 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14



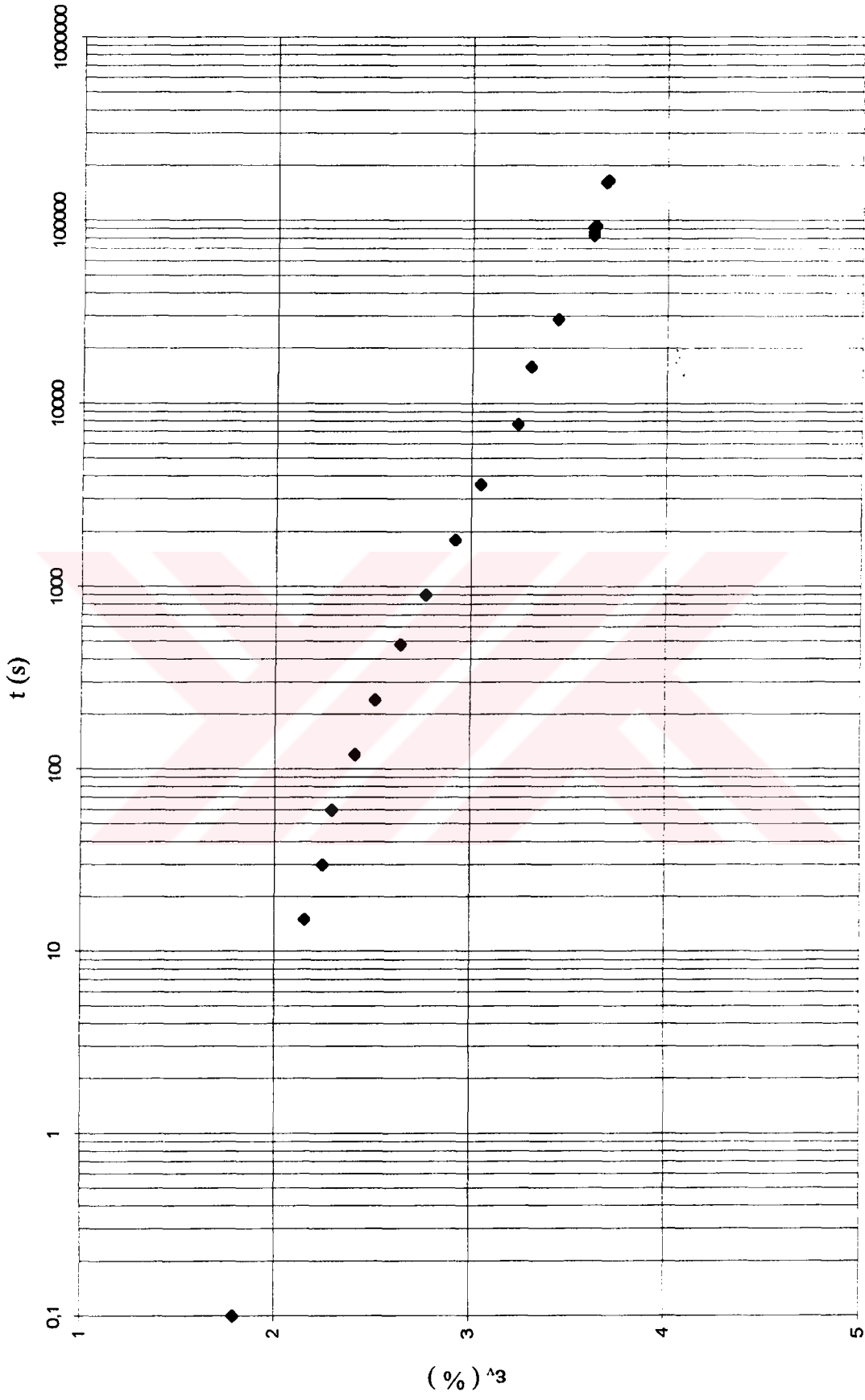
Şekil E1.50 Krip deneyi sonucunda elde edilen efektif gerilme - deformasyon grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



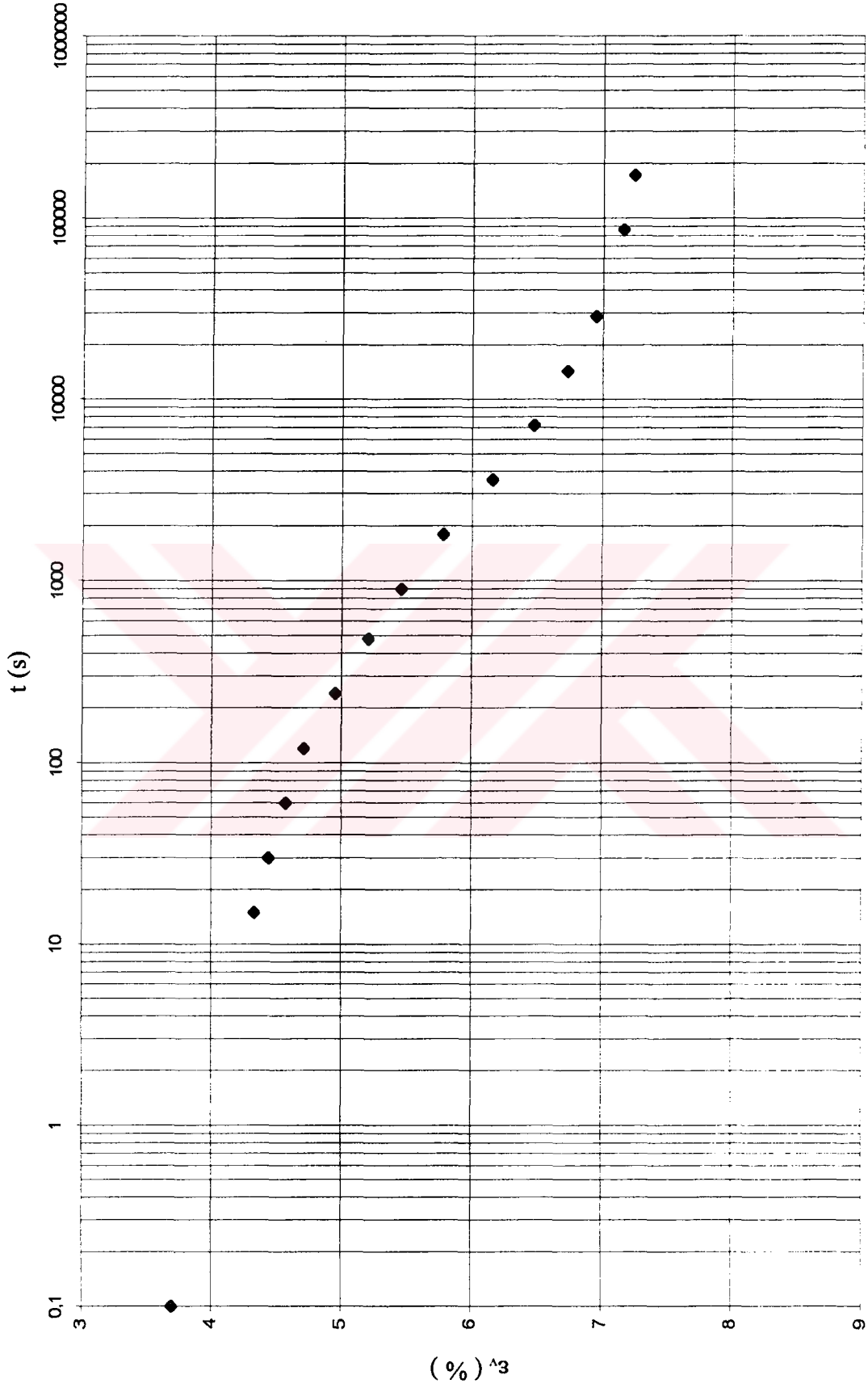
Şekil E1.51 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



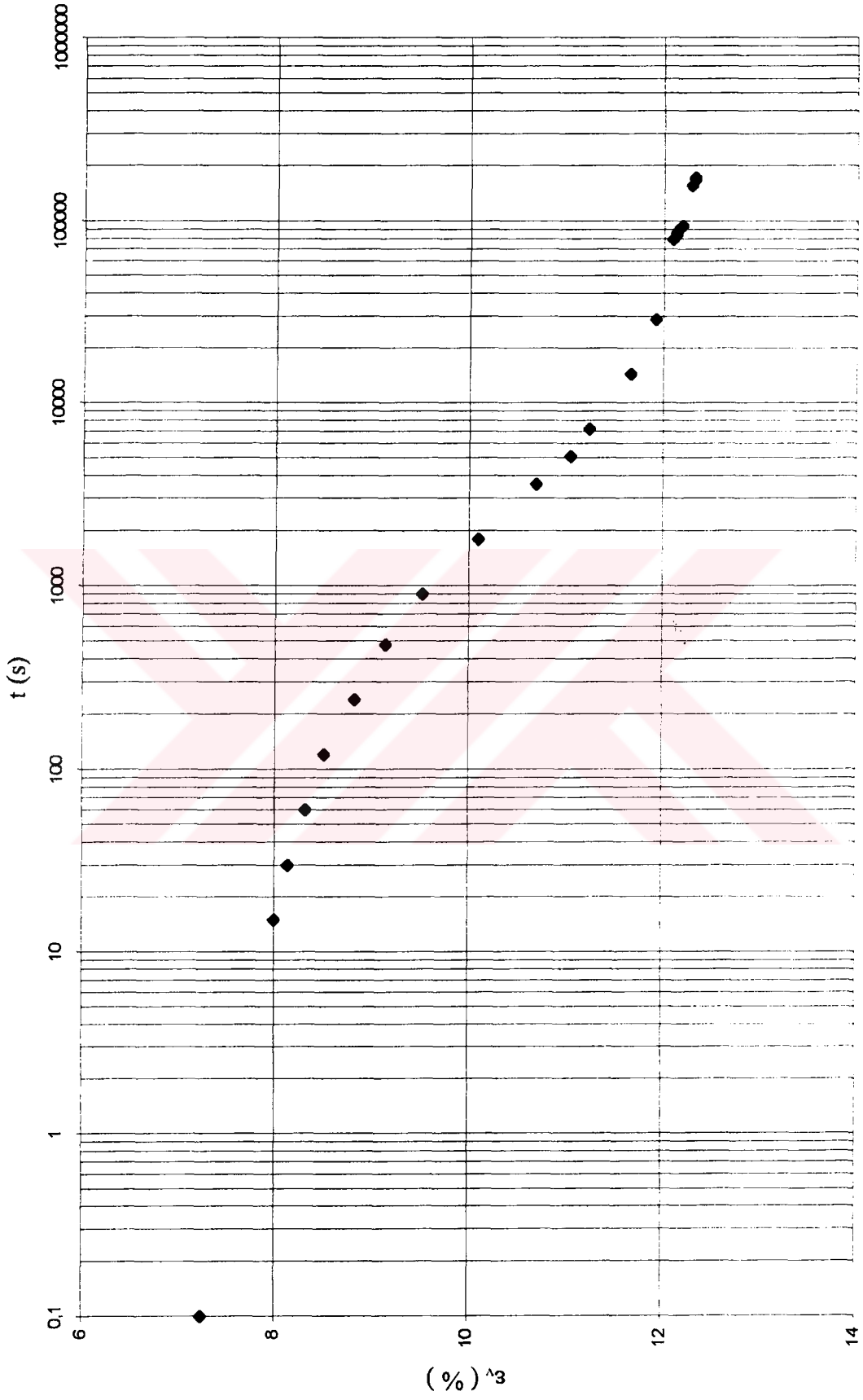
Şekil E1.52 Kripi deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



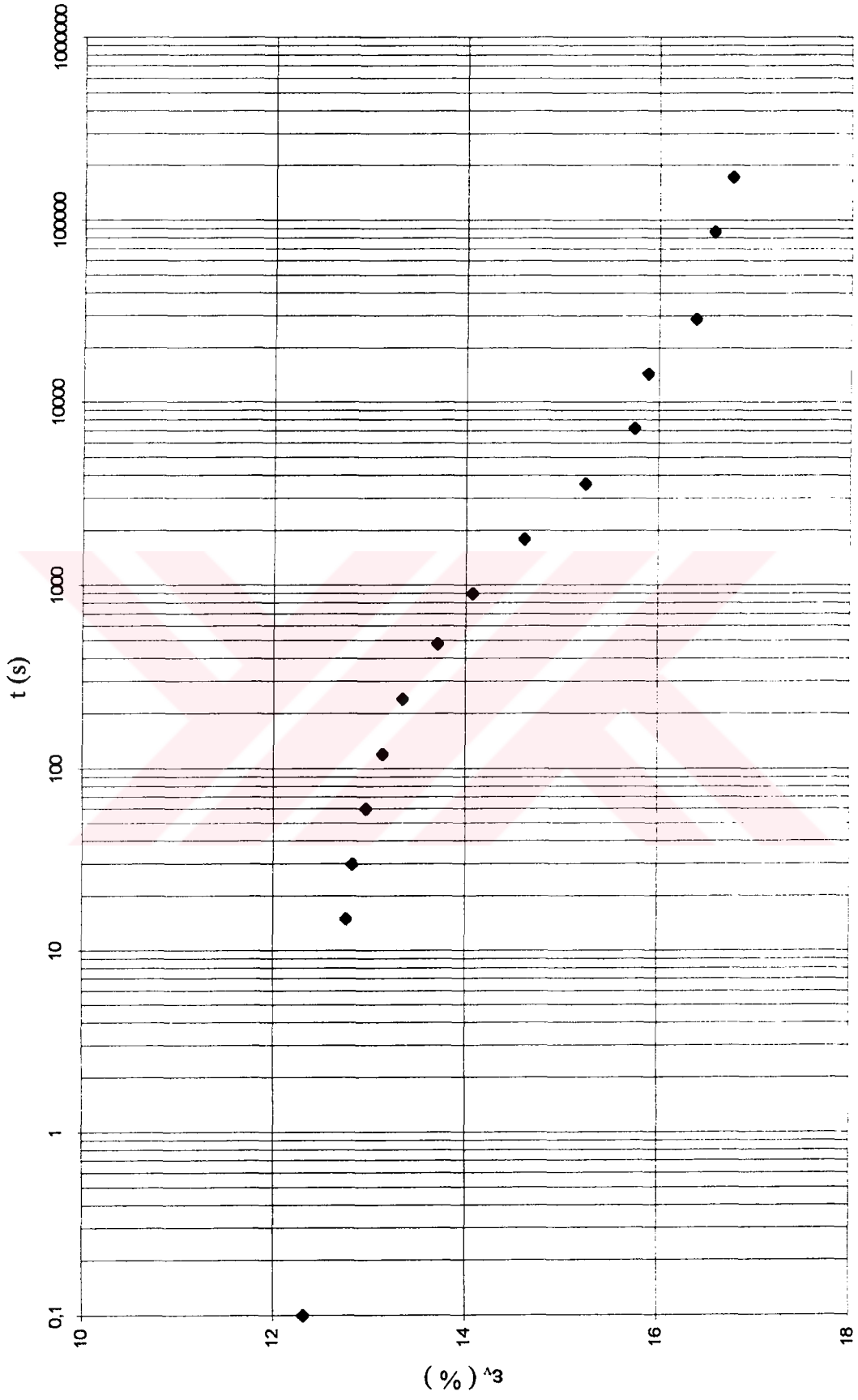
Şekil E1.53 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



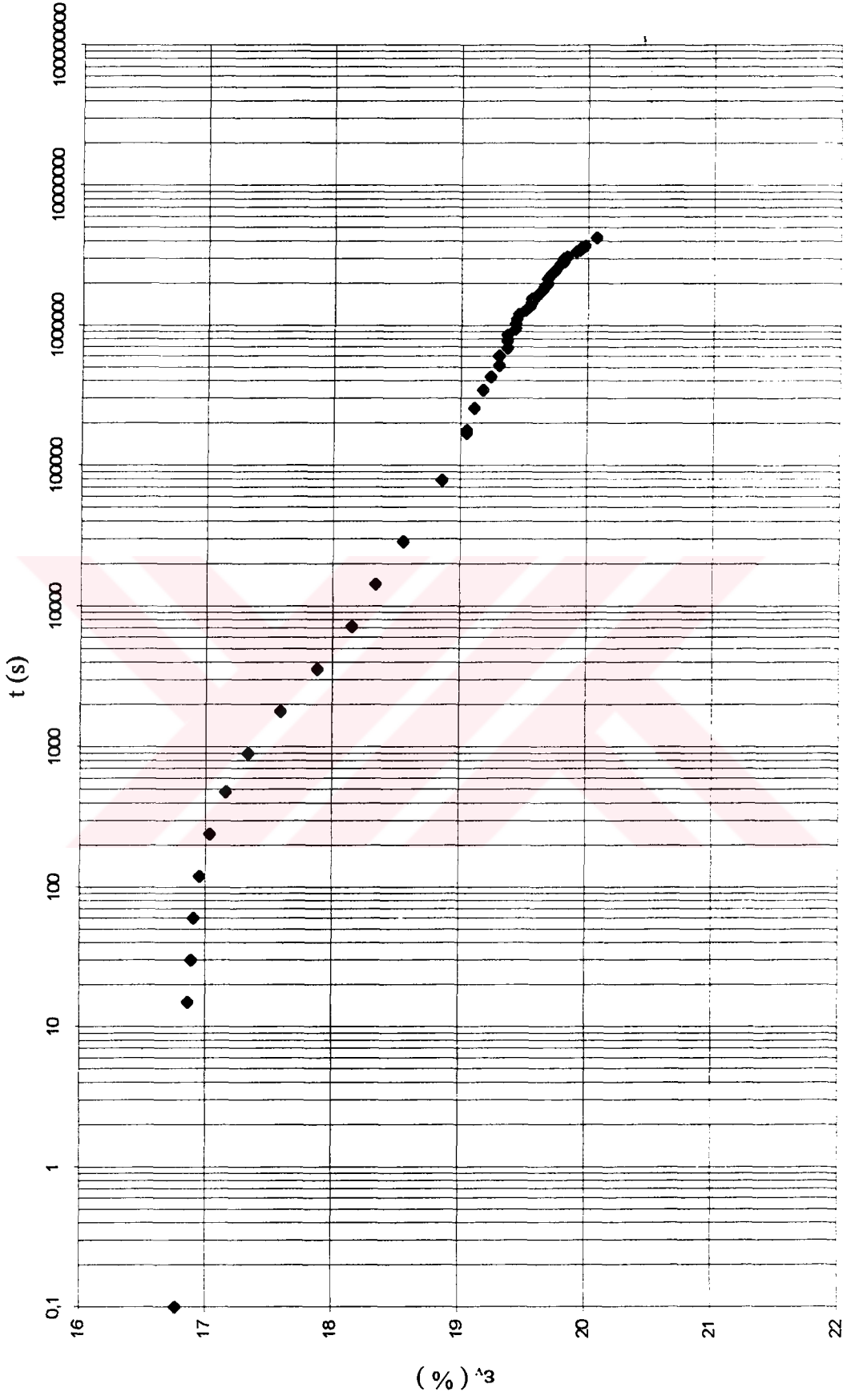
Şekil E1.54 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 350 \text{ kPa}$



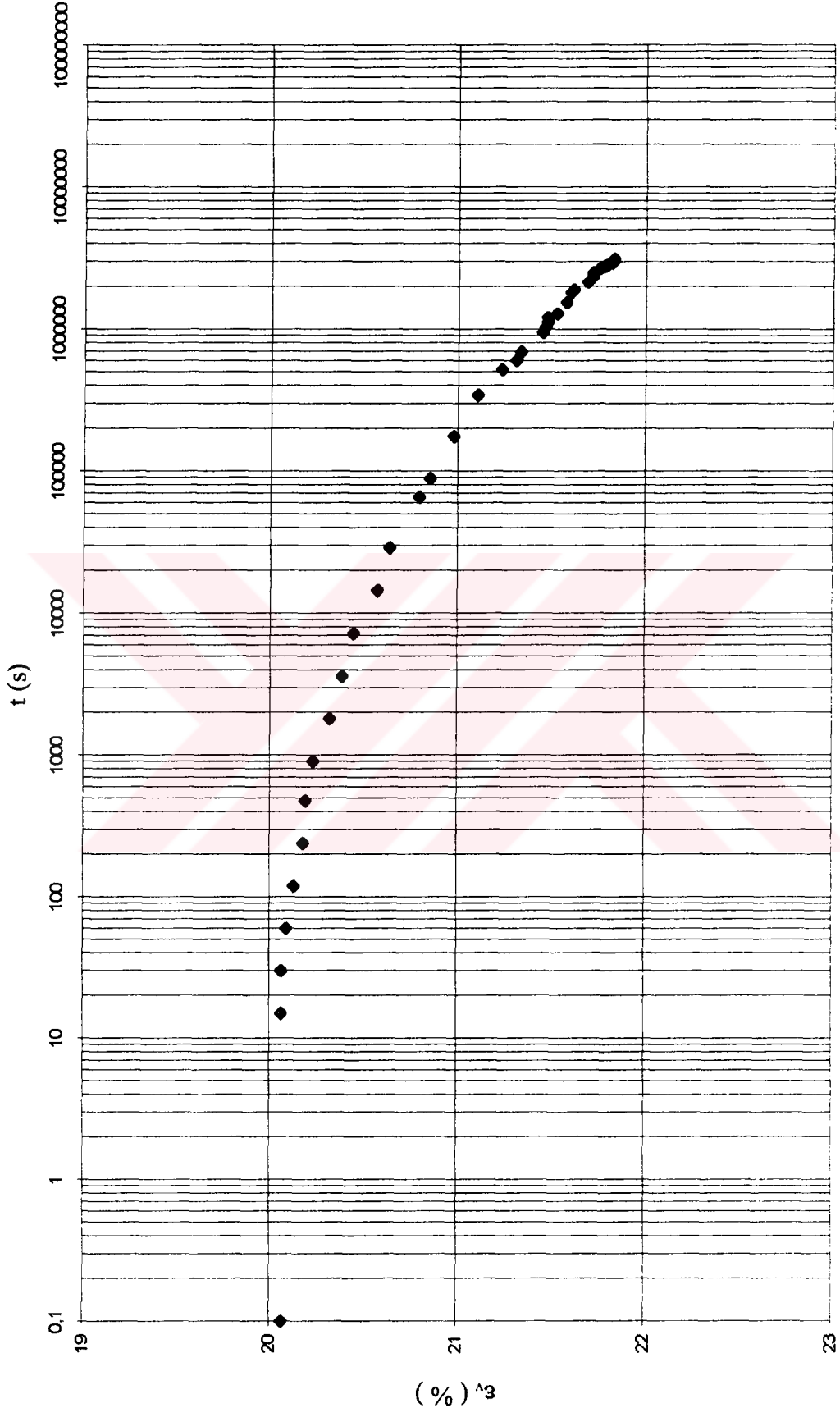
Şekil E1.55 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 470 \text{ kPa}$



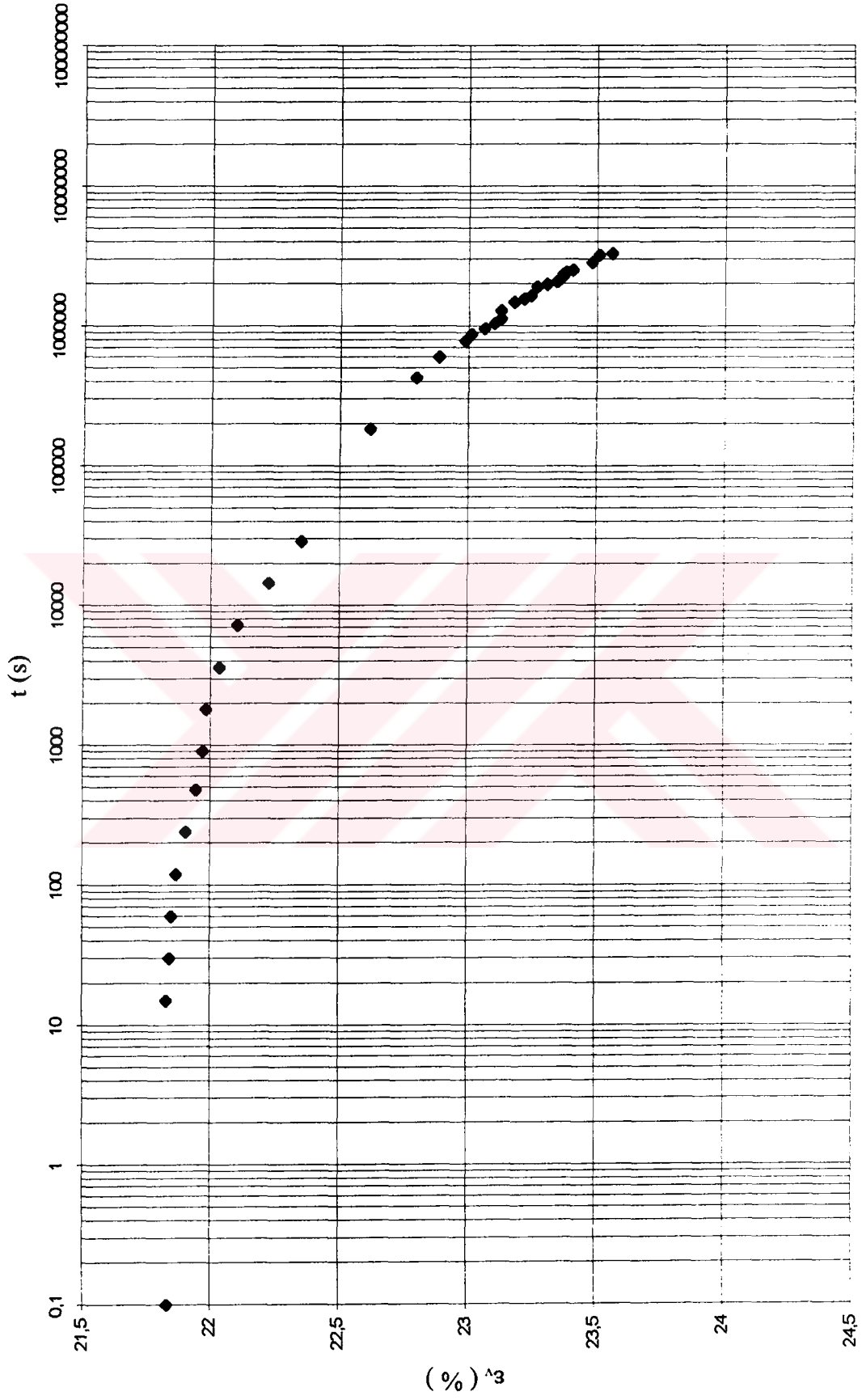
Şekil E1.56 Kriş deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 590 \text{ kPa}$



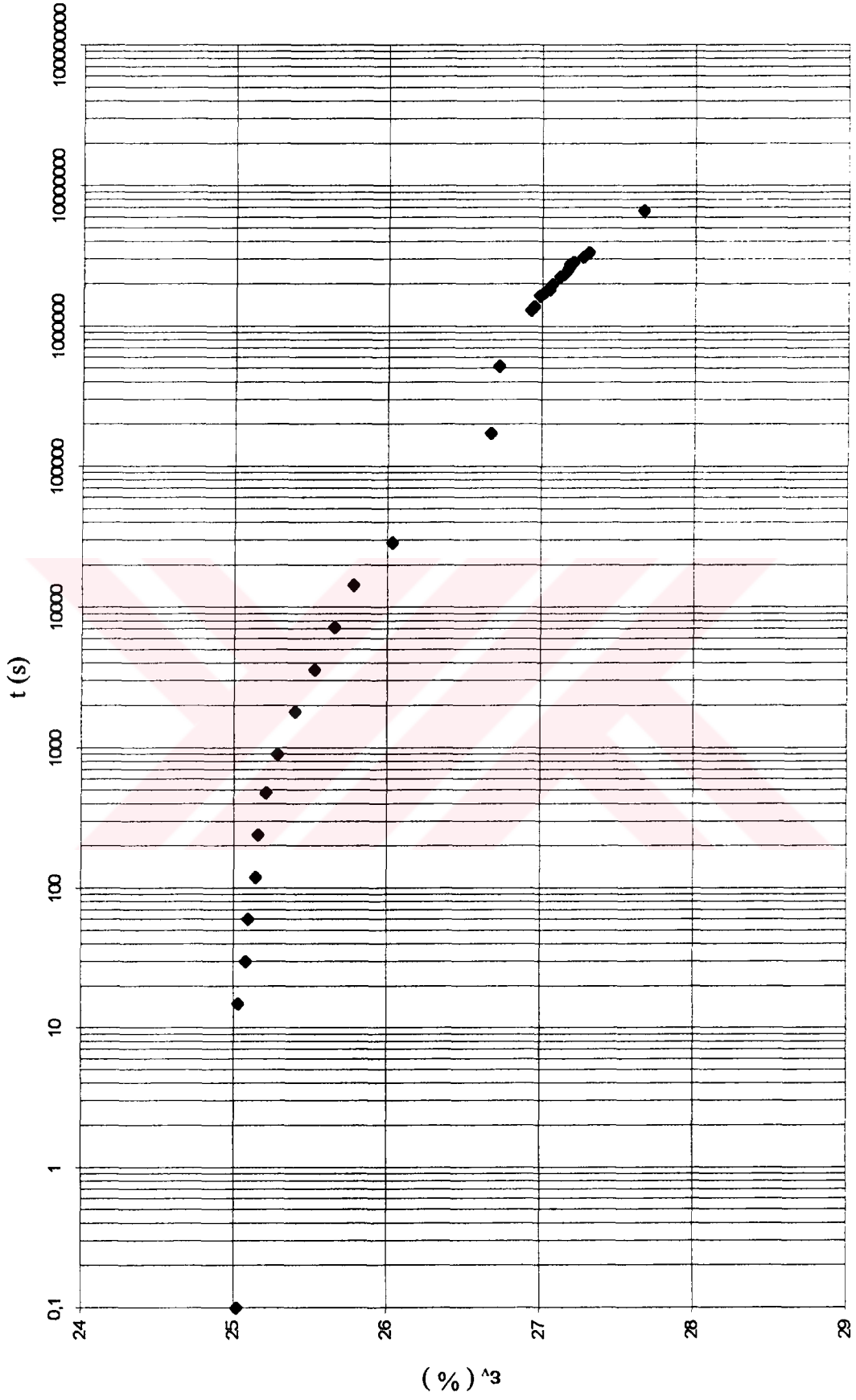
Şekil E1.57 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 710 \text{ kPa}$



Şekil E1.58 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

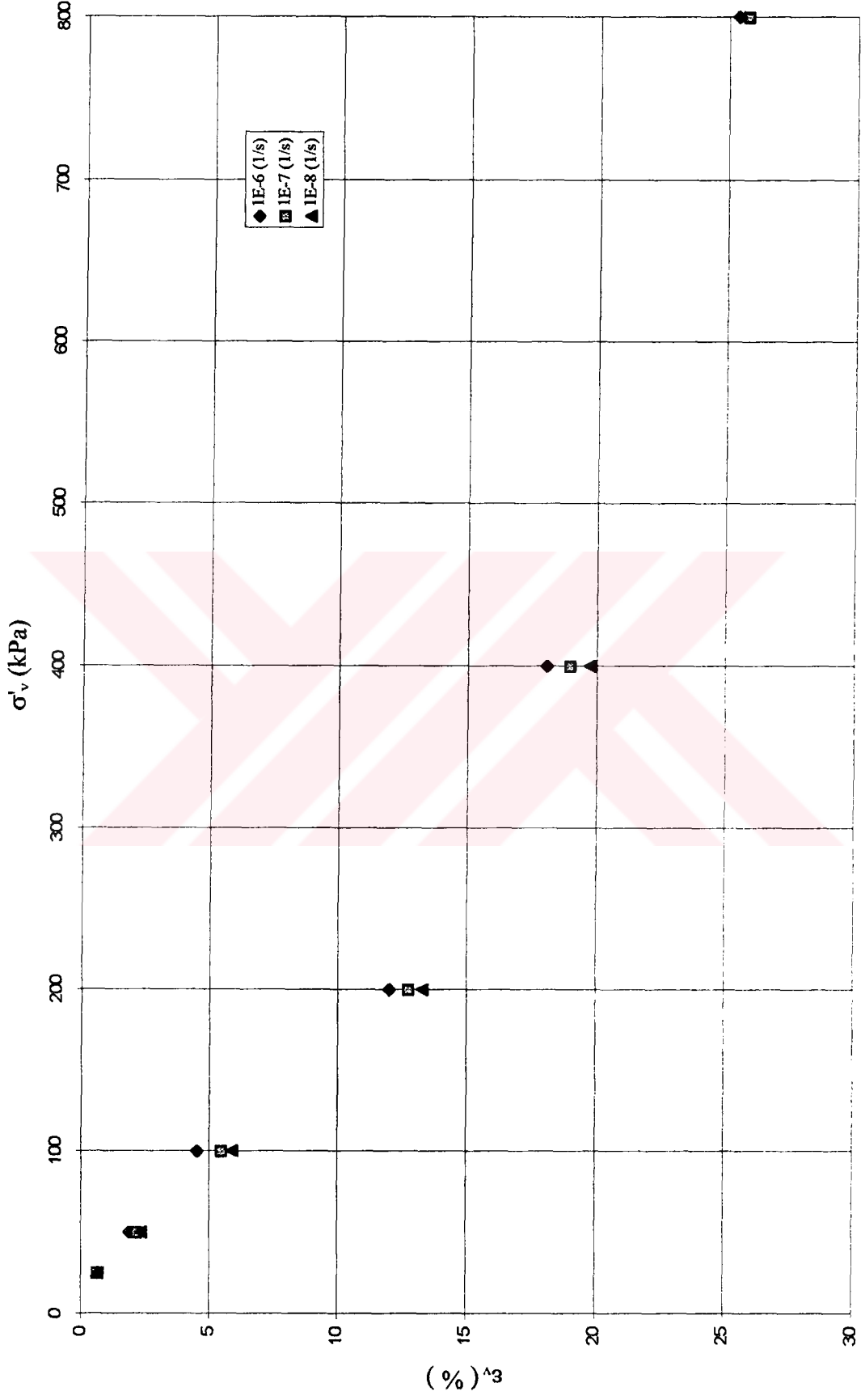
DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 990 \text{ kPa}$



Şekil E.1.60 Krip deneyi sonucunda elde edilen birim deformasyon - zaman grafiği

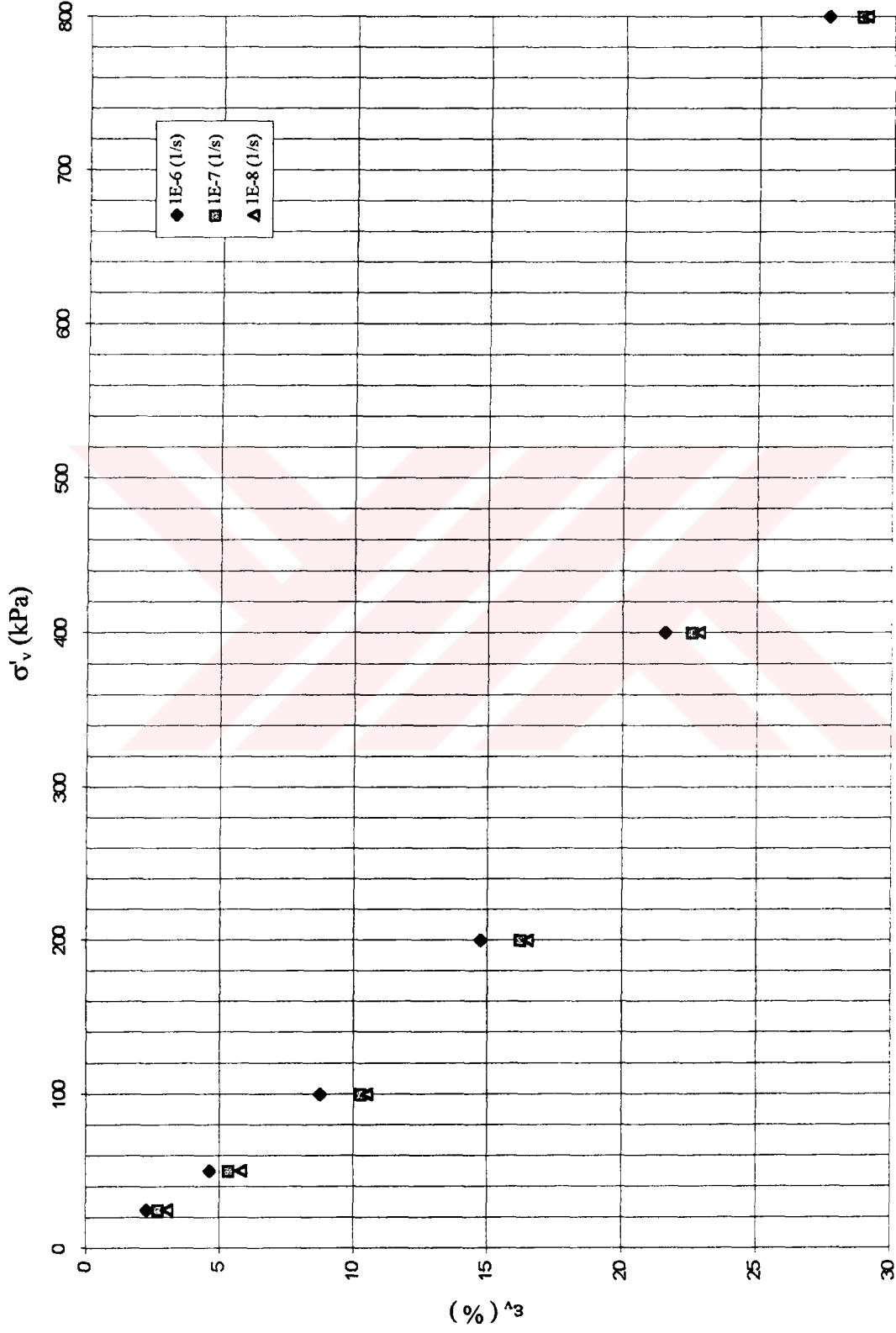
EK 2 Standart Ödometre, Krip, deneylerinde farklı hız değerlerinde σ'_v - ϵ_v değişimi, Tavenas Yöntemi ile önkonsolidasyon basıncı tayini, değişik efektif gerilme seviyelerinde deformasyon hızı- deformasyon değişimini gösteren grafikler

DENEY NO : 1



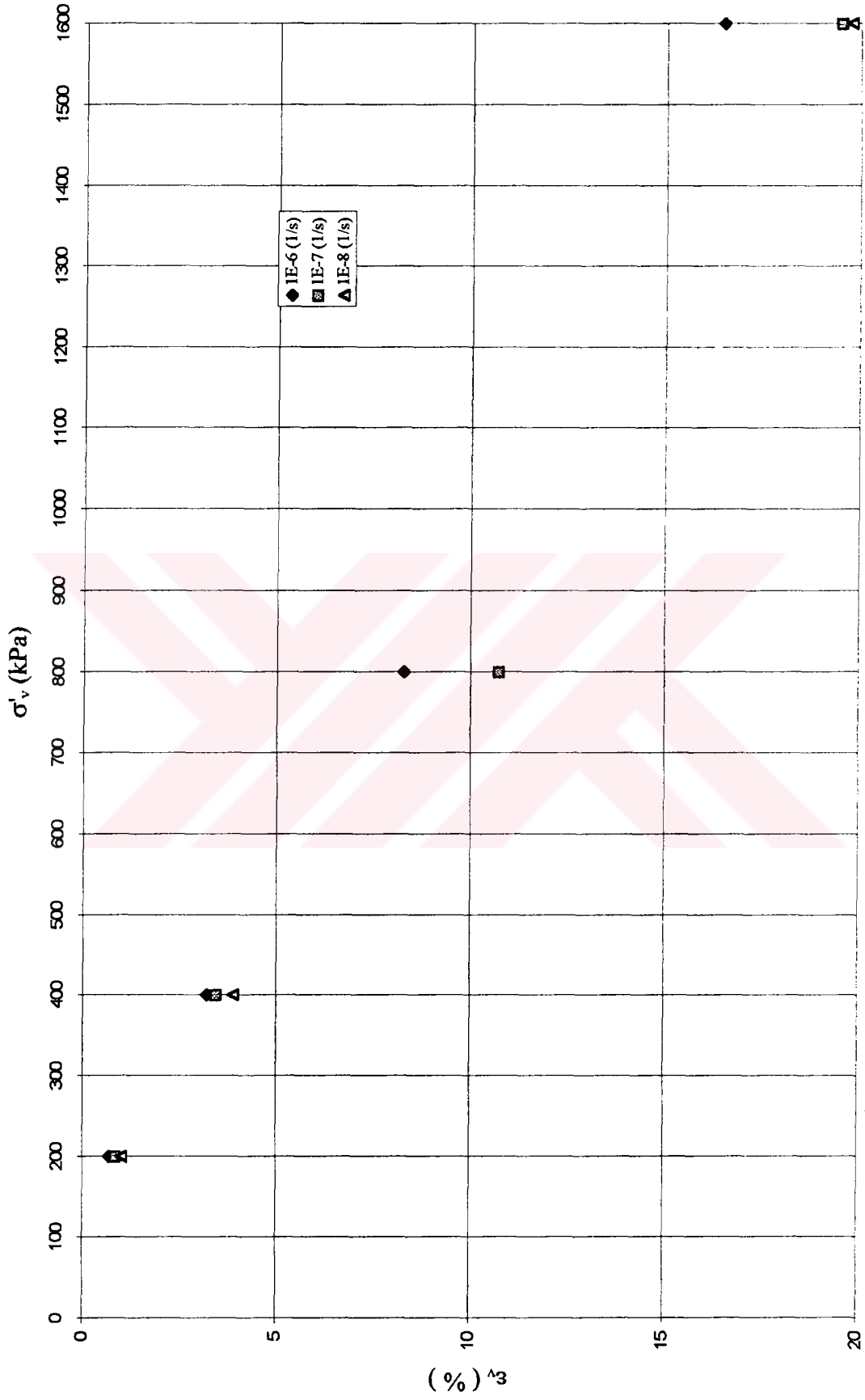
Şekil E2.1 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif gerilme - deformasyon değişimi

DENEY NO : 2



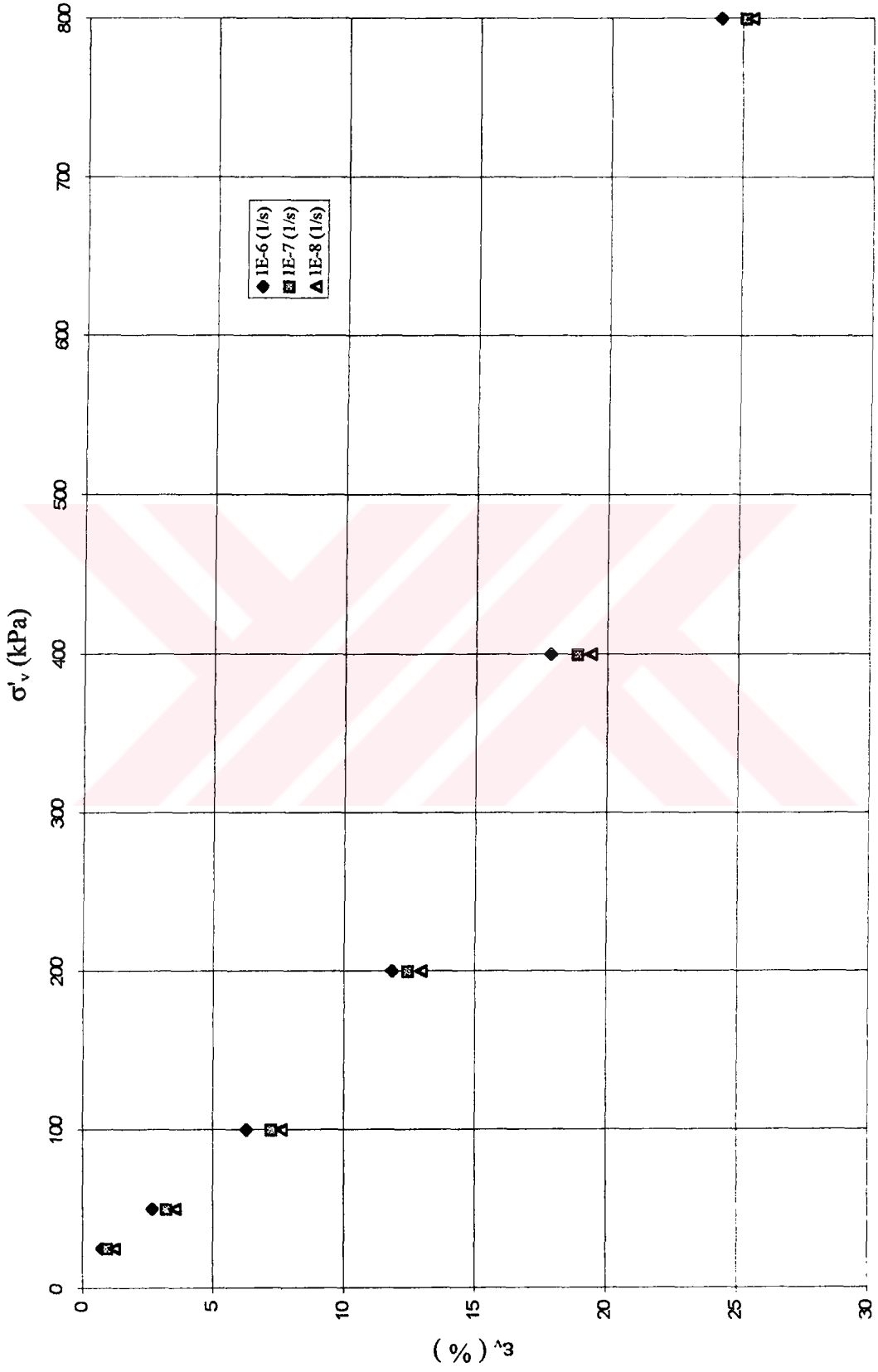
Şekil E2.2 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif genilme - deformasyon değişimi

DENEY NO : 3



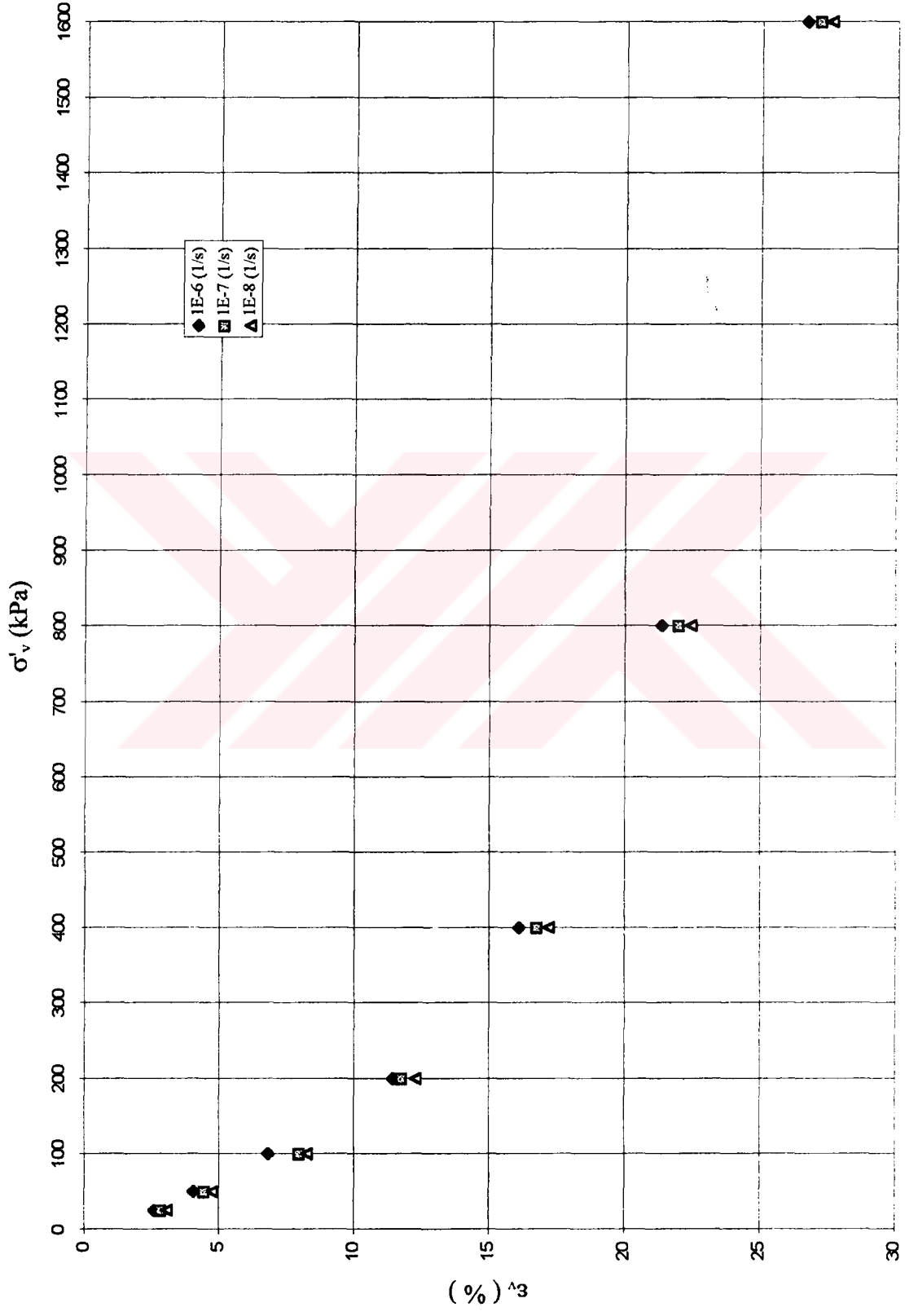
Şekil E2.3 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif genilme - deformasyon değişimi

DENEY NO : 4



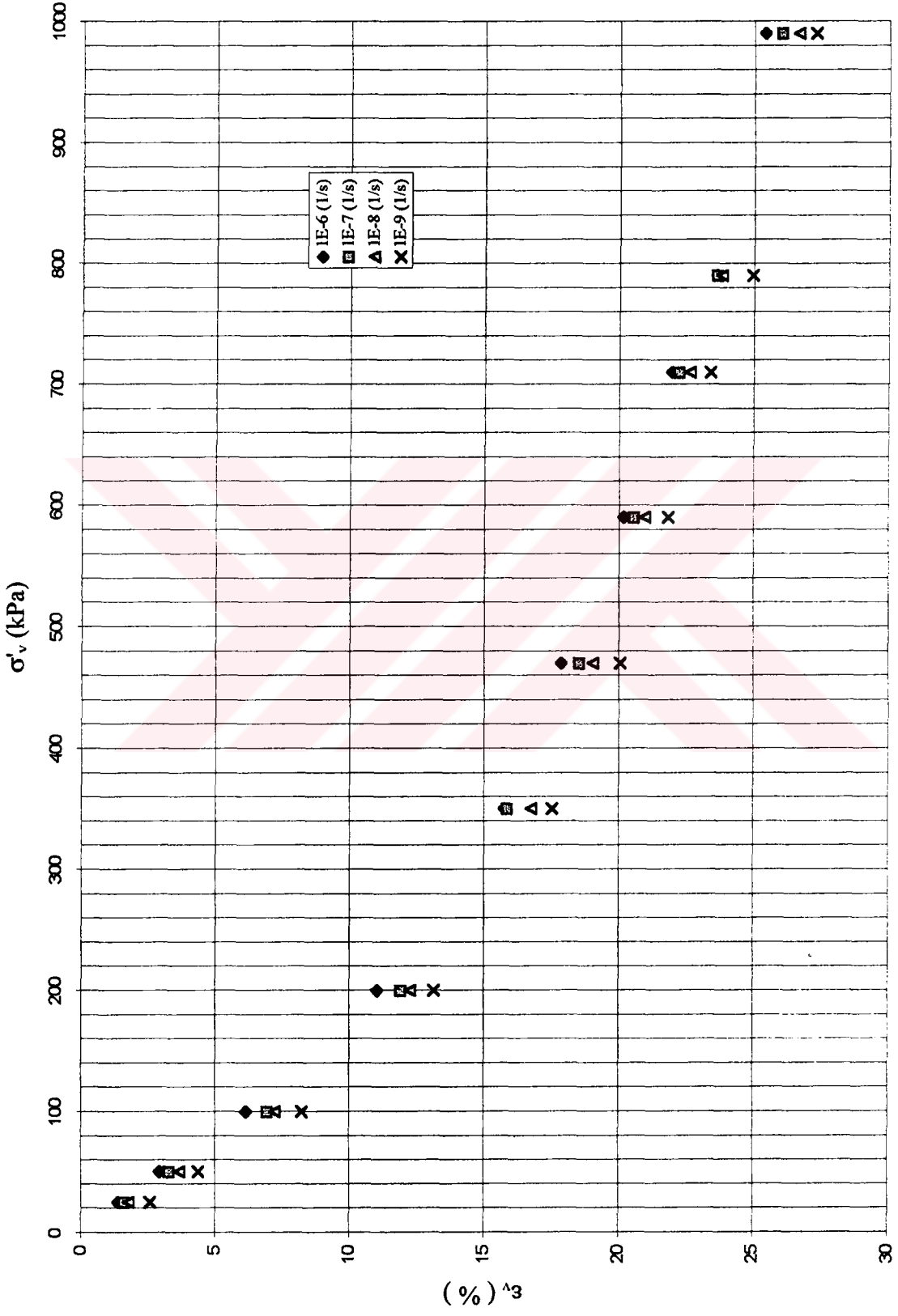
Şekil E2.4 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif gerilme - deformasyon değişimi

DENEY NO : 5

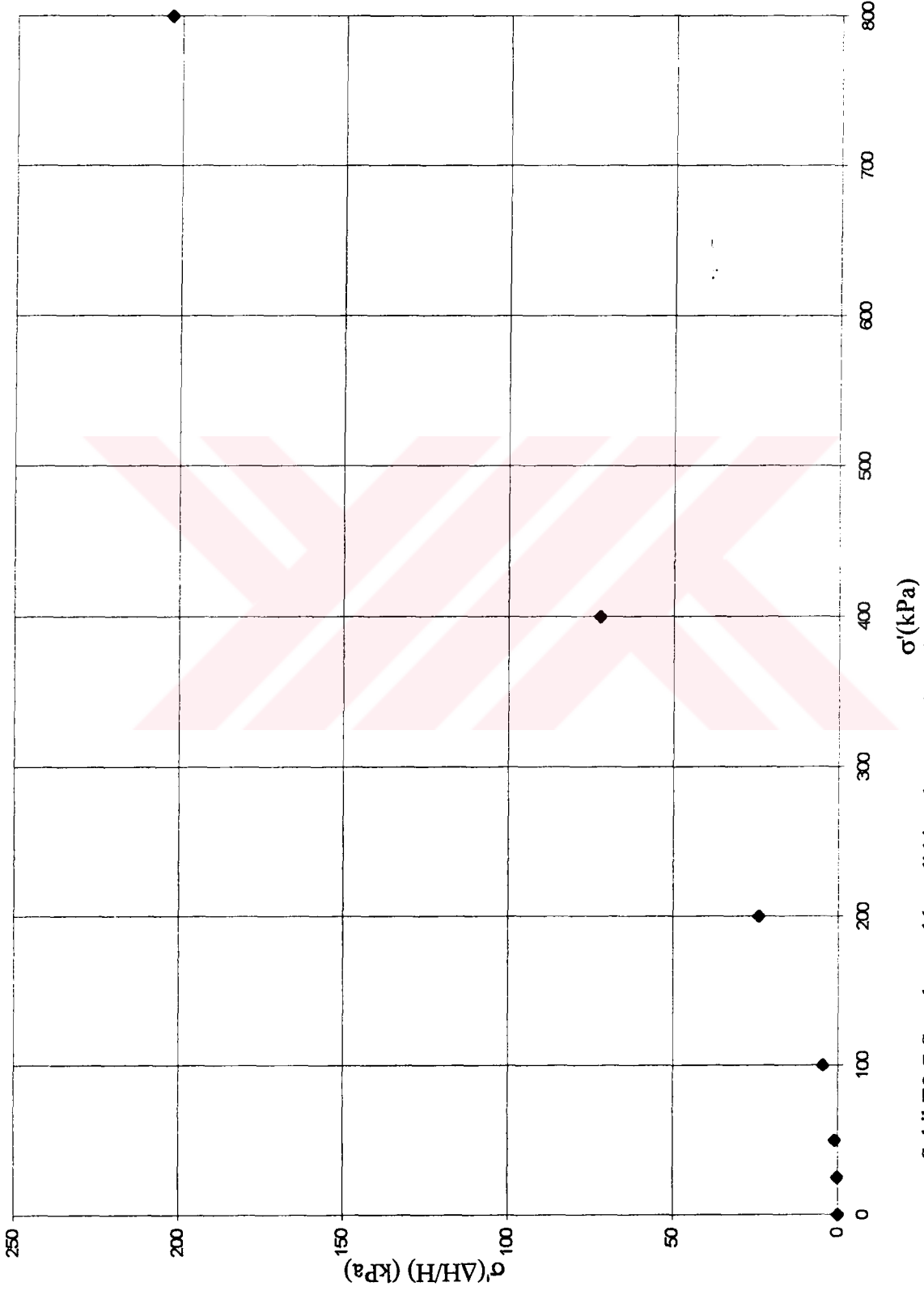


Şekil E2.5 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif gerilme - deformasyon değişimi

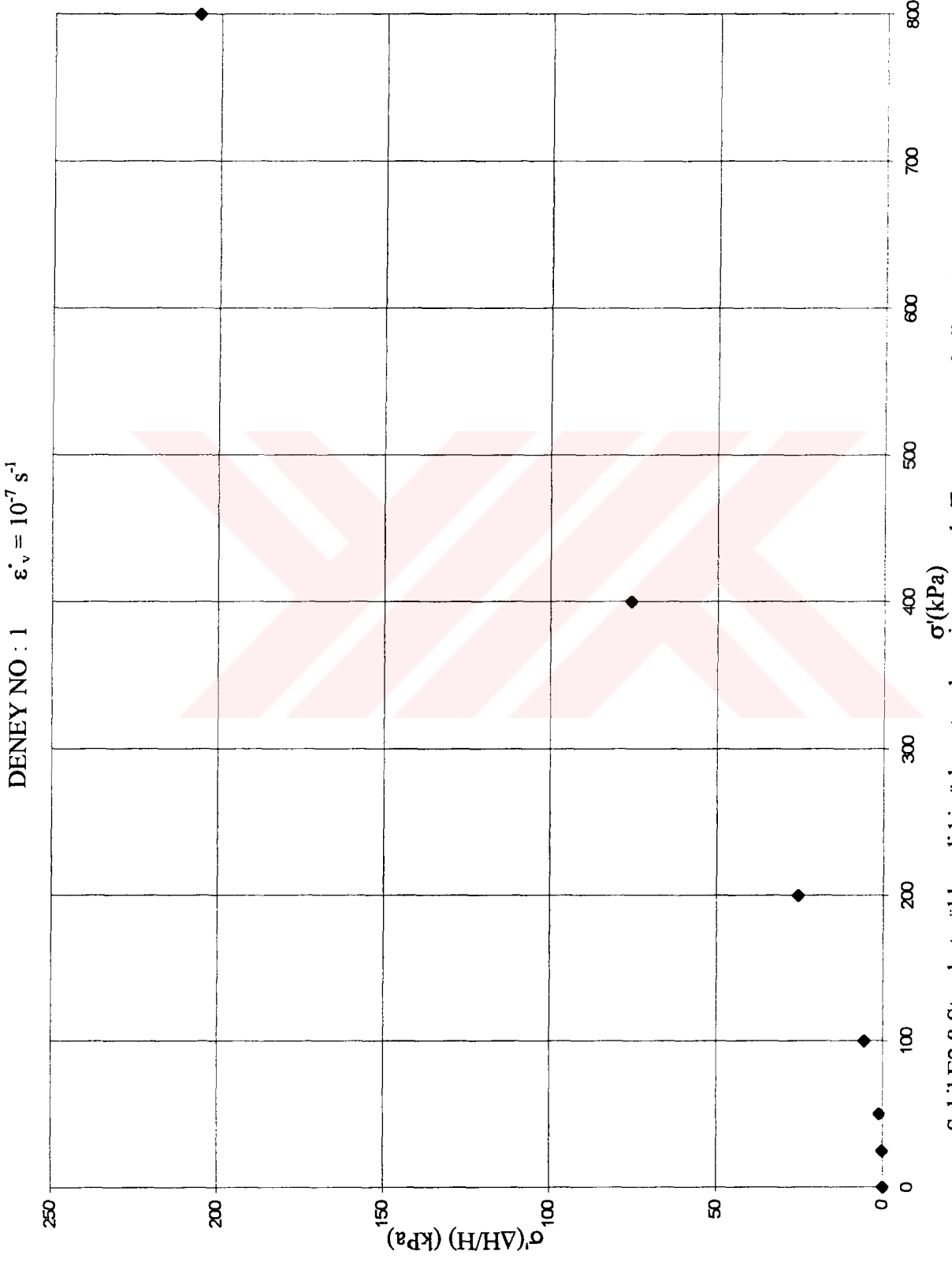
DENEY NO : 14



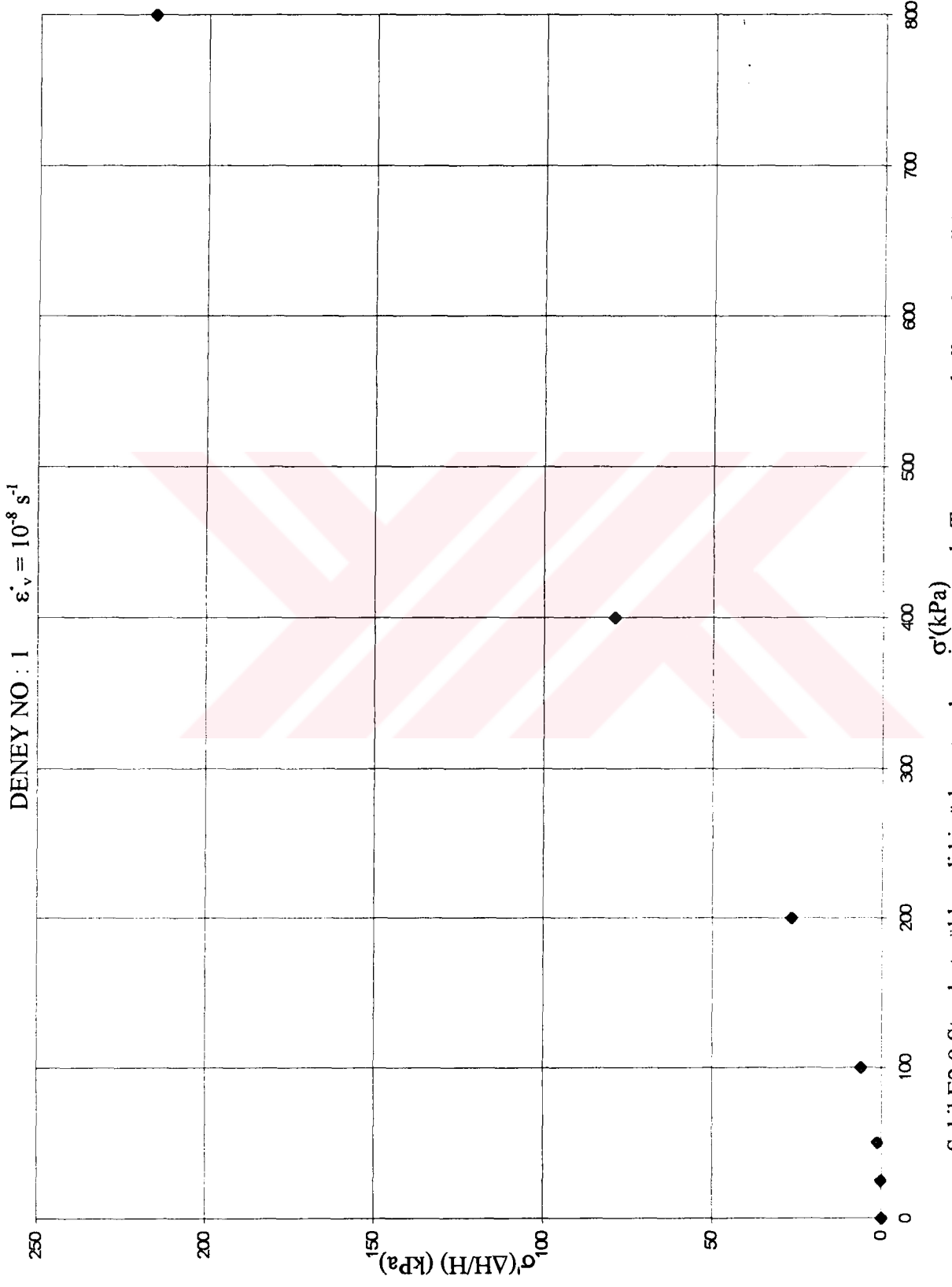
Şekil E2.6 Krip deneyi sonucunda farklı hız değerlerinde efektif gerilme - deformasyon değişimi

DENEY NO : 1 $\epsilon_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 

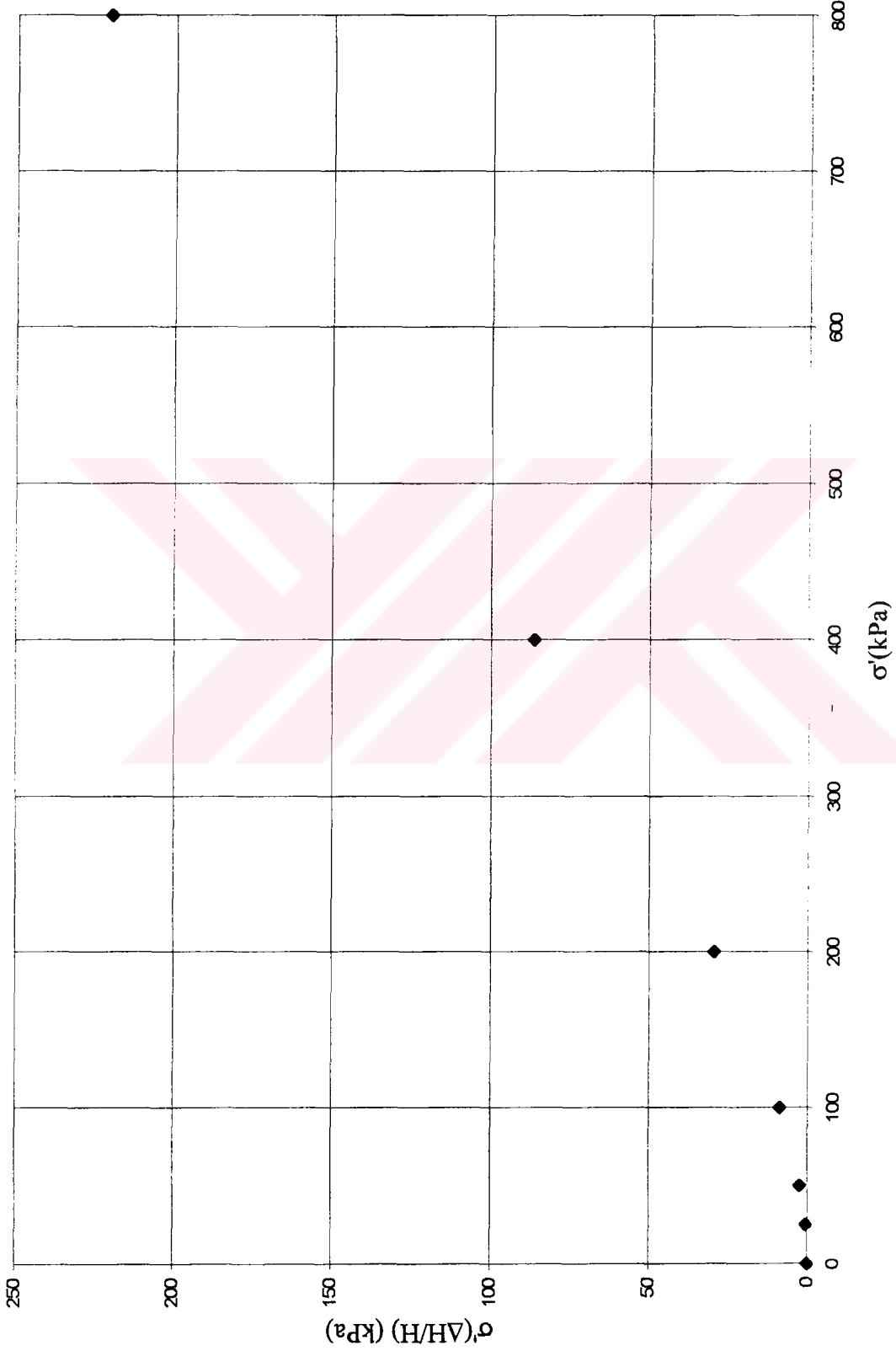
Şekil E2.7 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini



Şekil E2.8 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

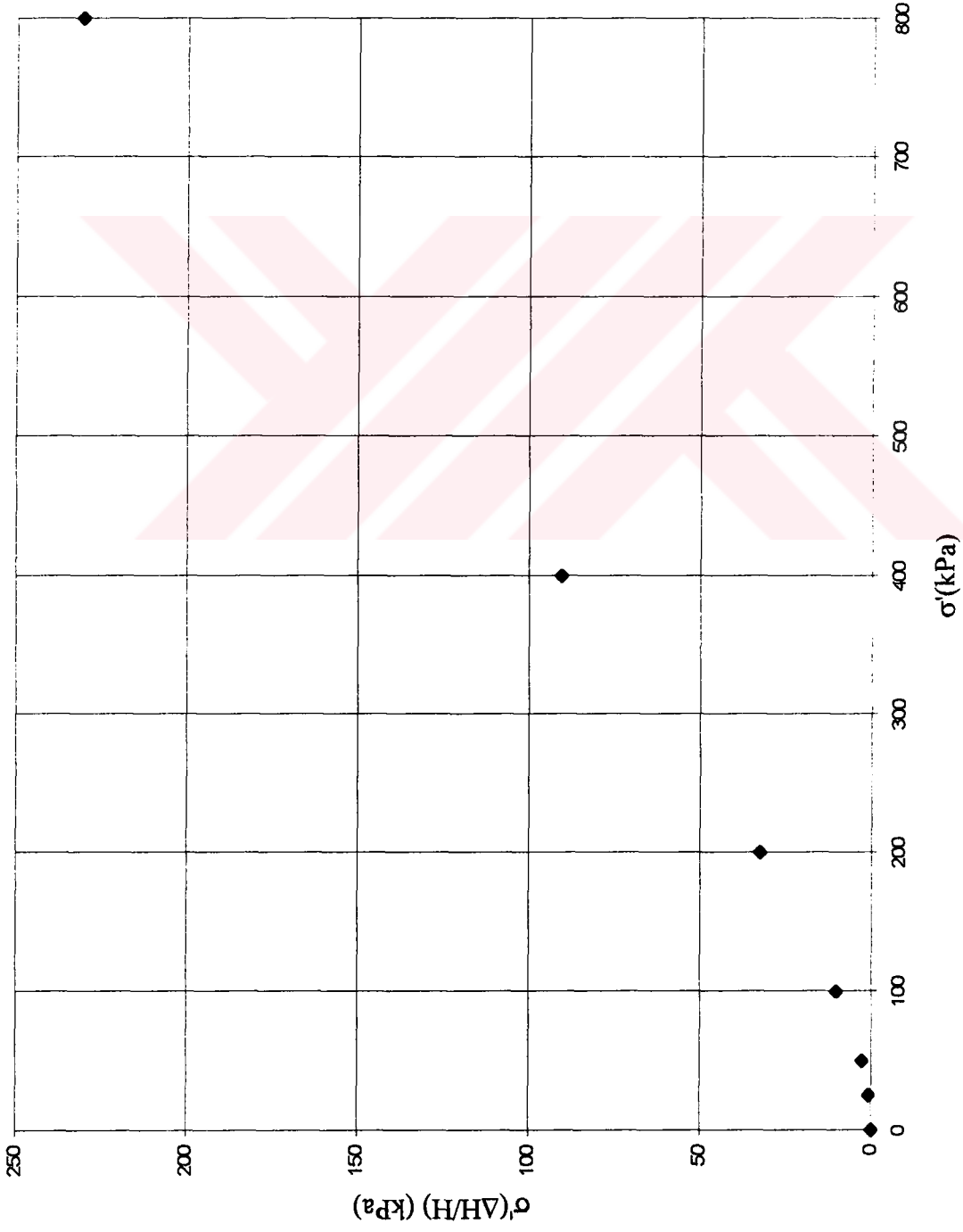


Şekil E2.9 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 2 $\epsilon_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 

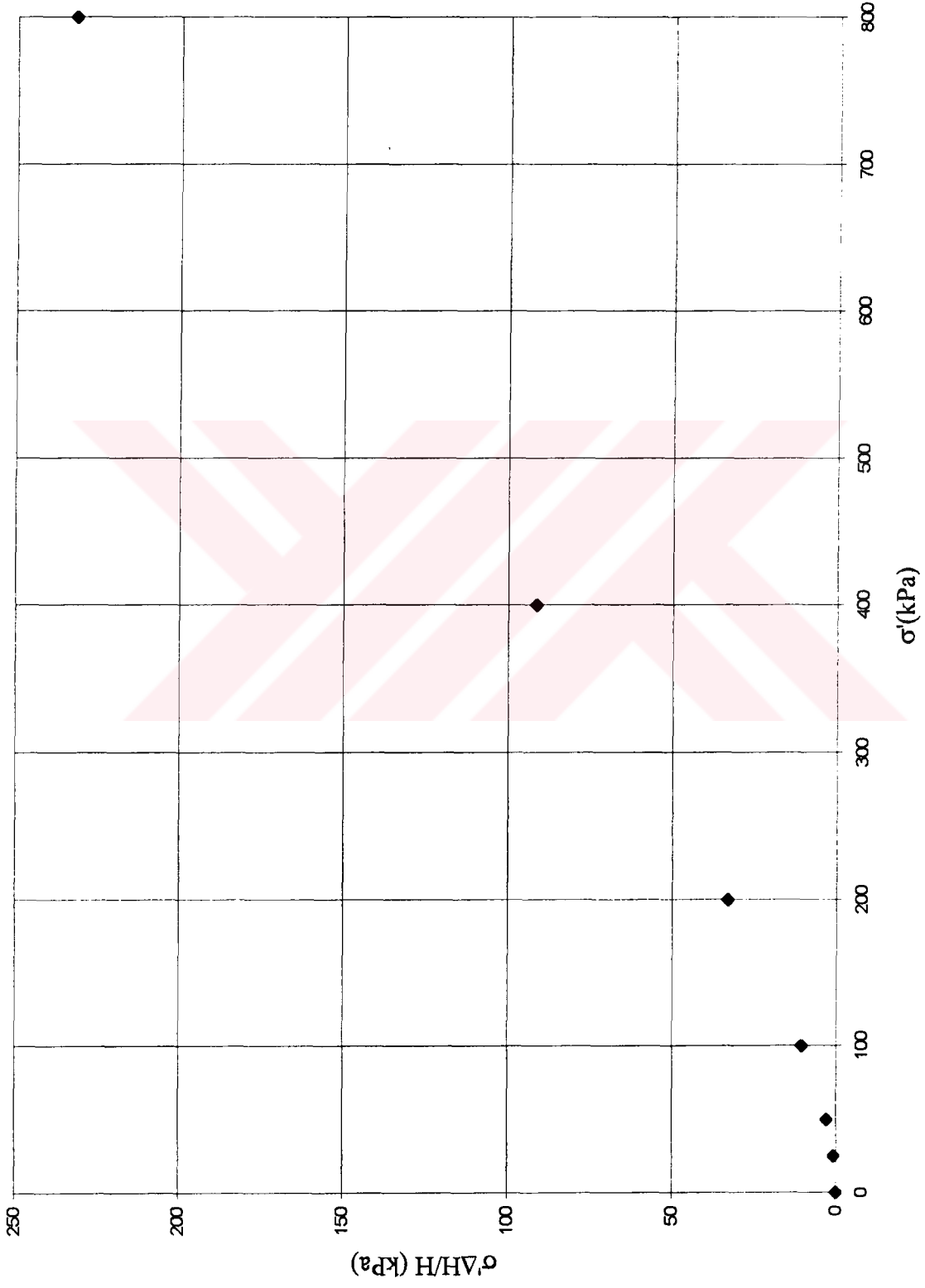
Şekil E2.10 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 2 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$



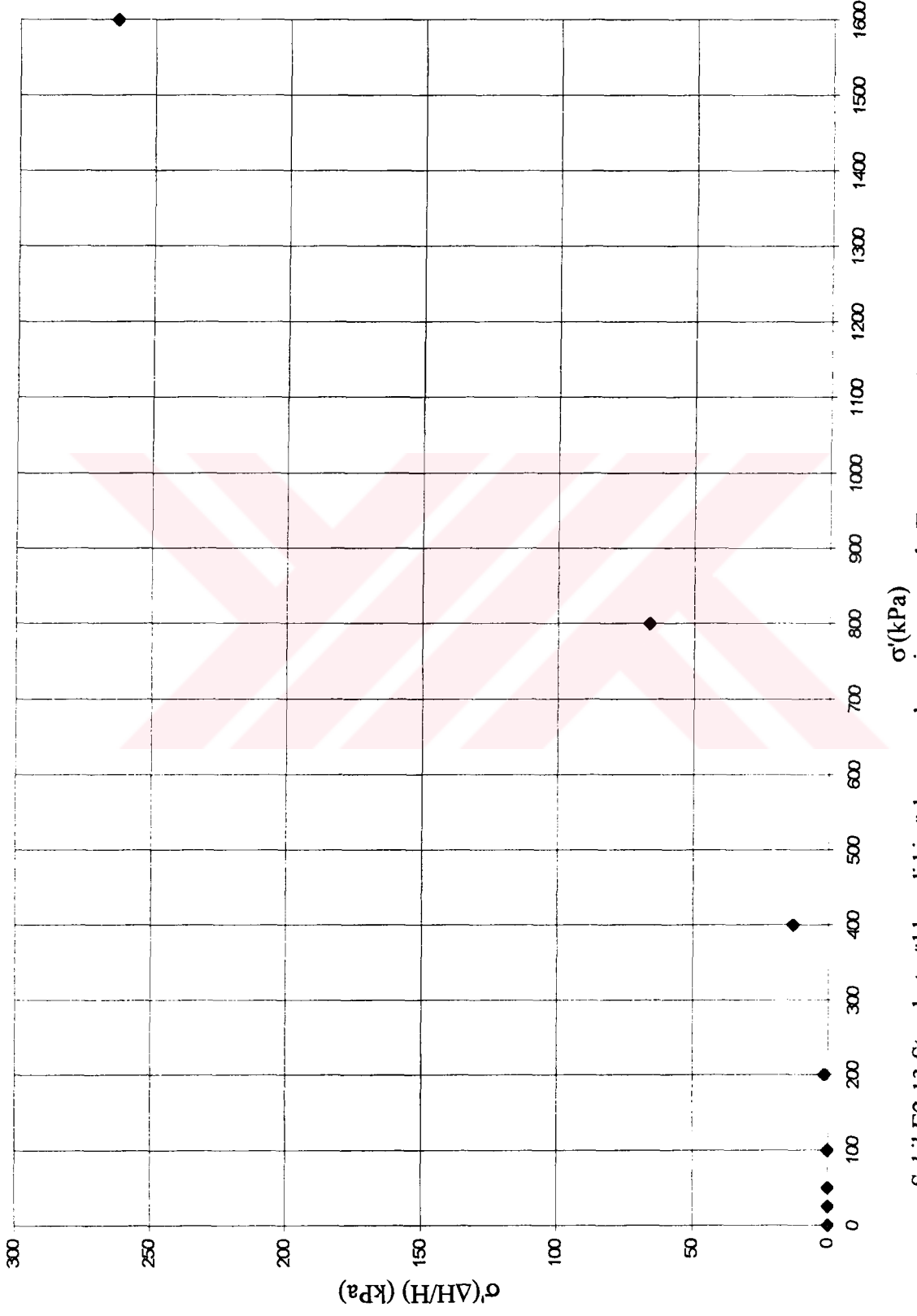
Şekil E2.11 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 2 $\epsilon'_v = 10^{-8} \text{ s}^{-1}$



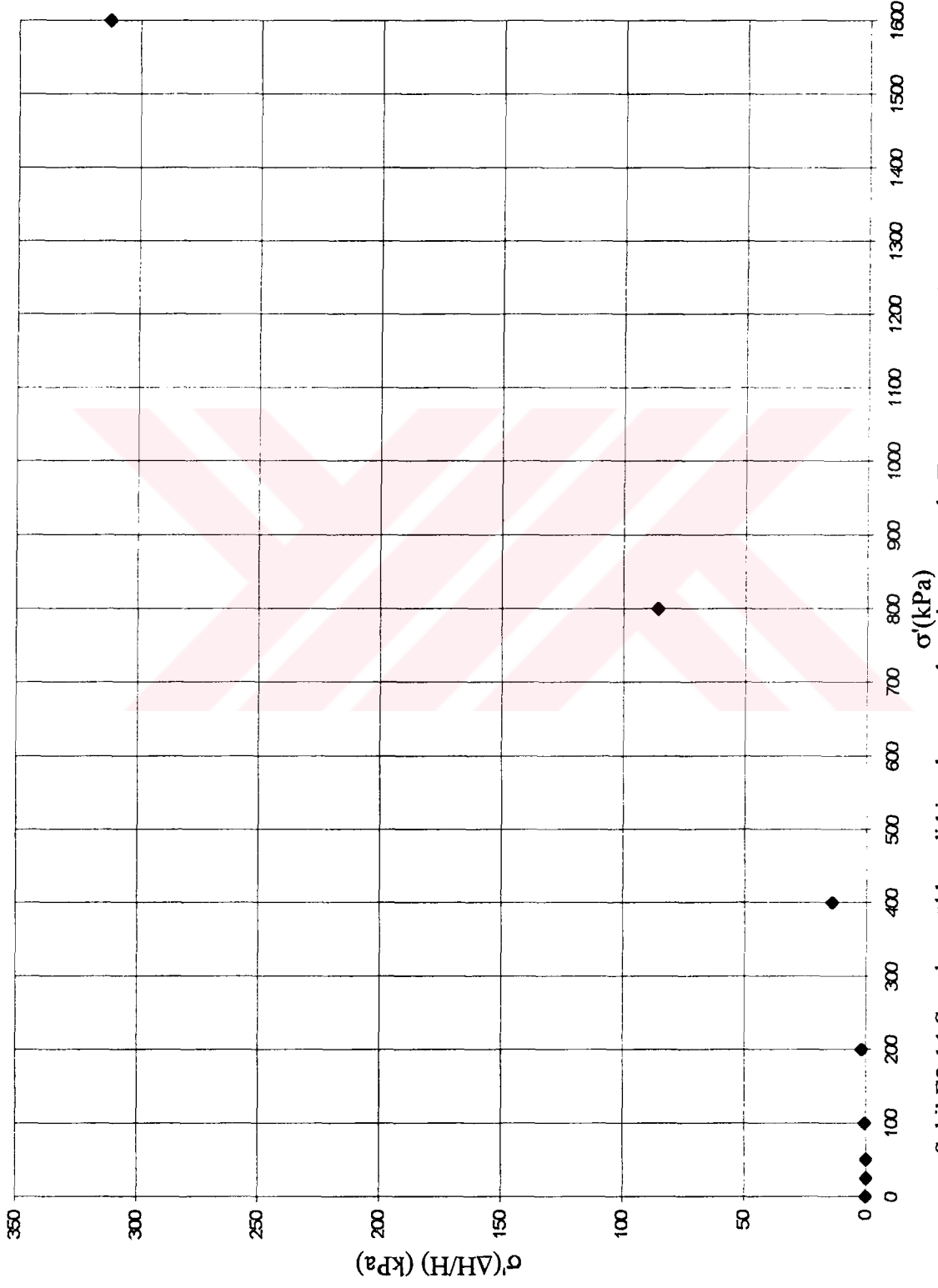
Şekil E2.12 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 3 $\epsilon_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$

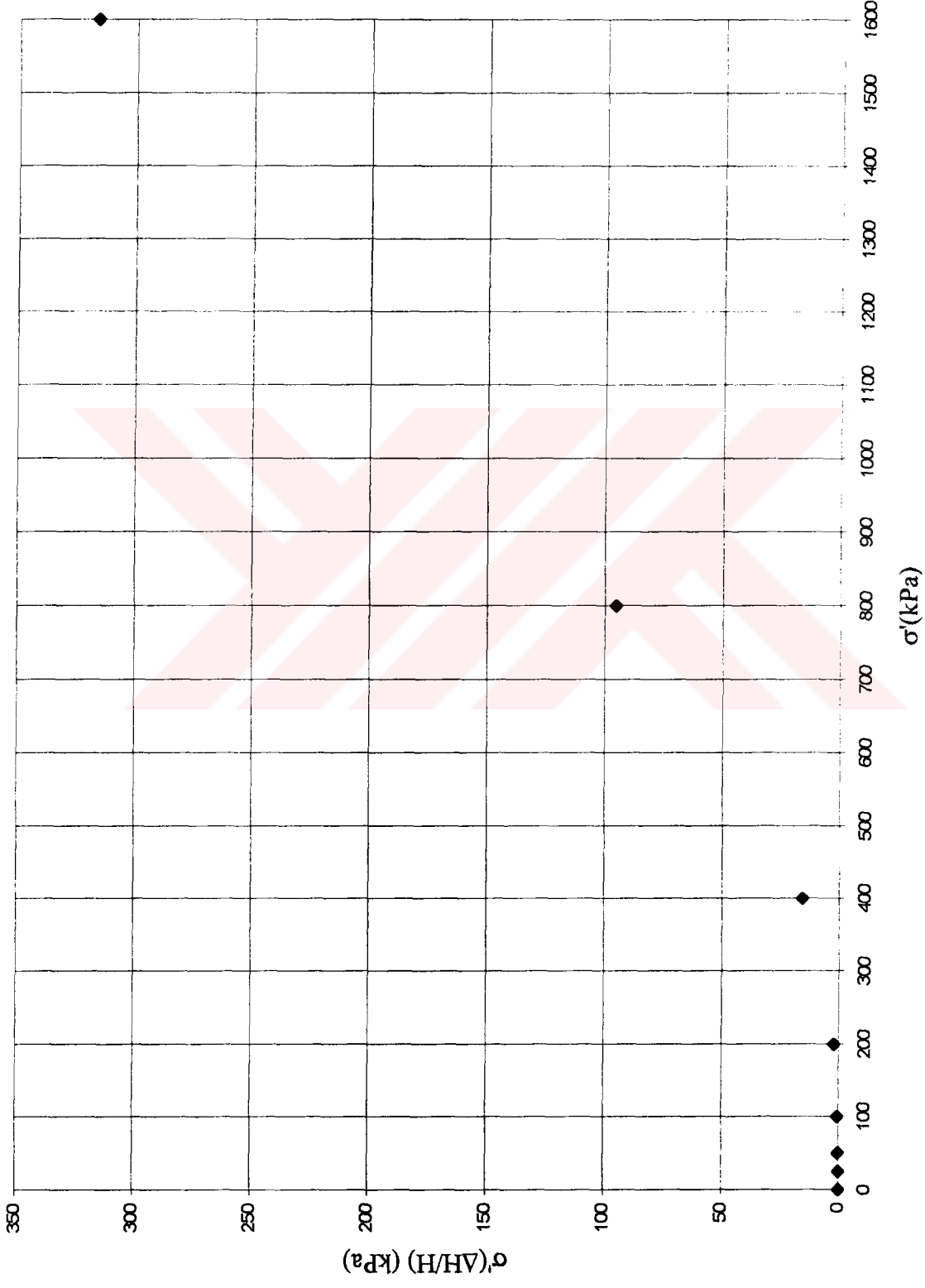


Şekil E2.13 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

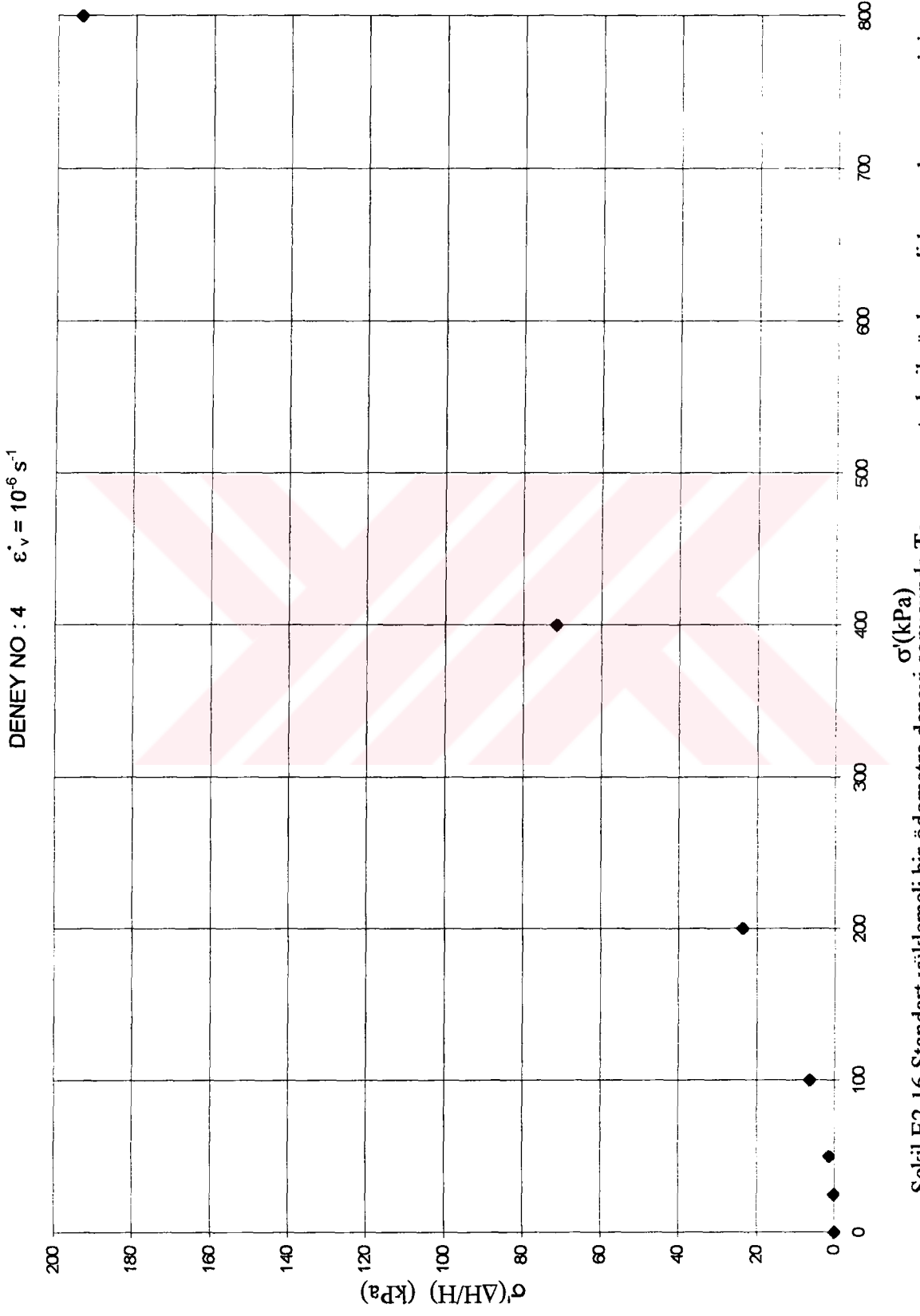
DENEY NO : 3 $\epsilon_v = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$



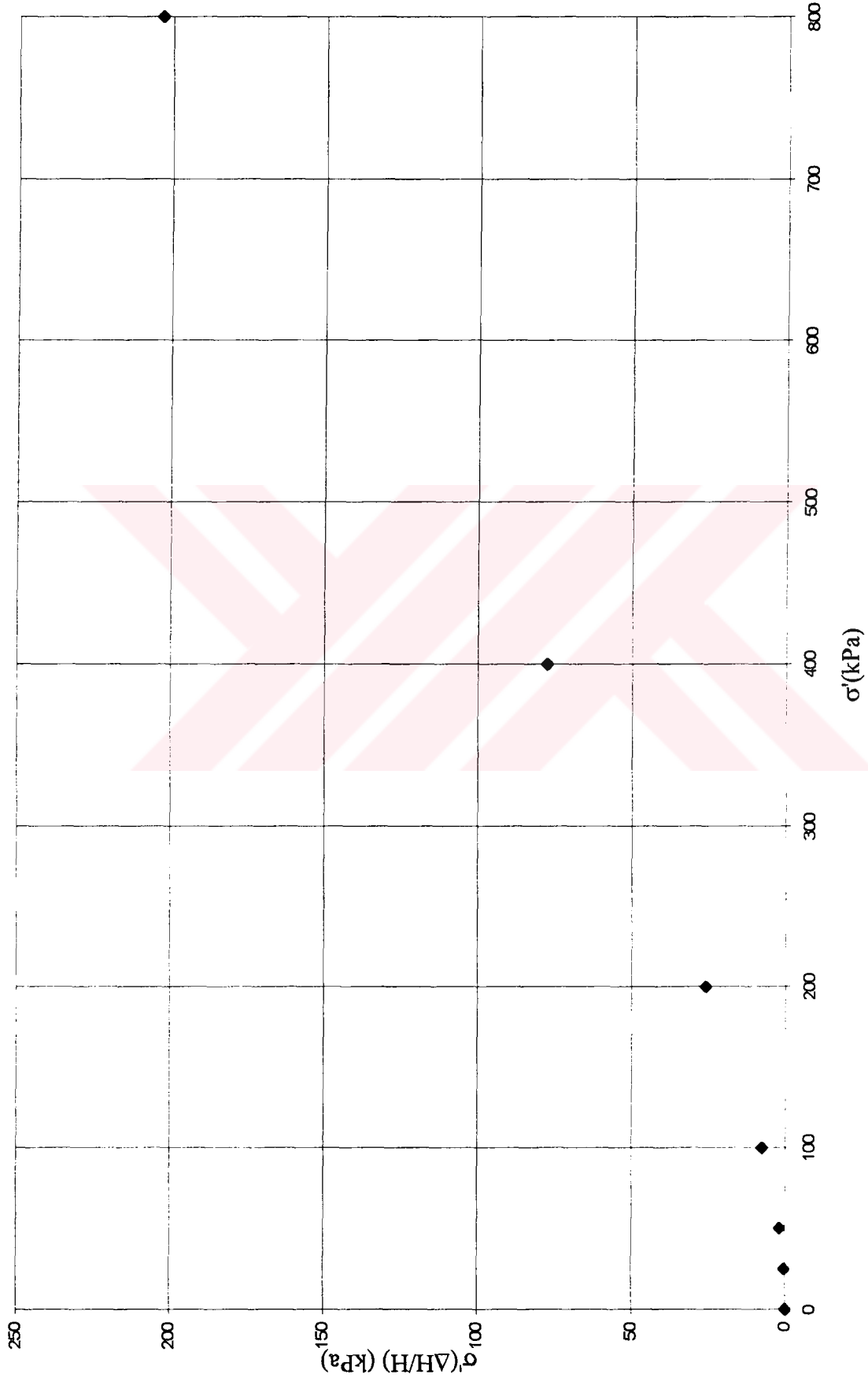
Şekil E2.14 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 3 $\epsilon_v = 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ 

Şekil E2.15 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

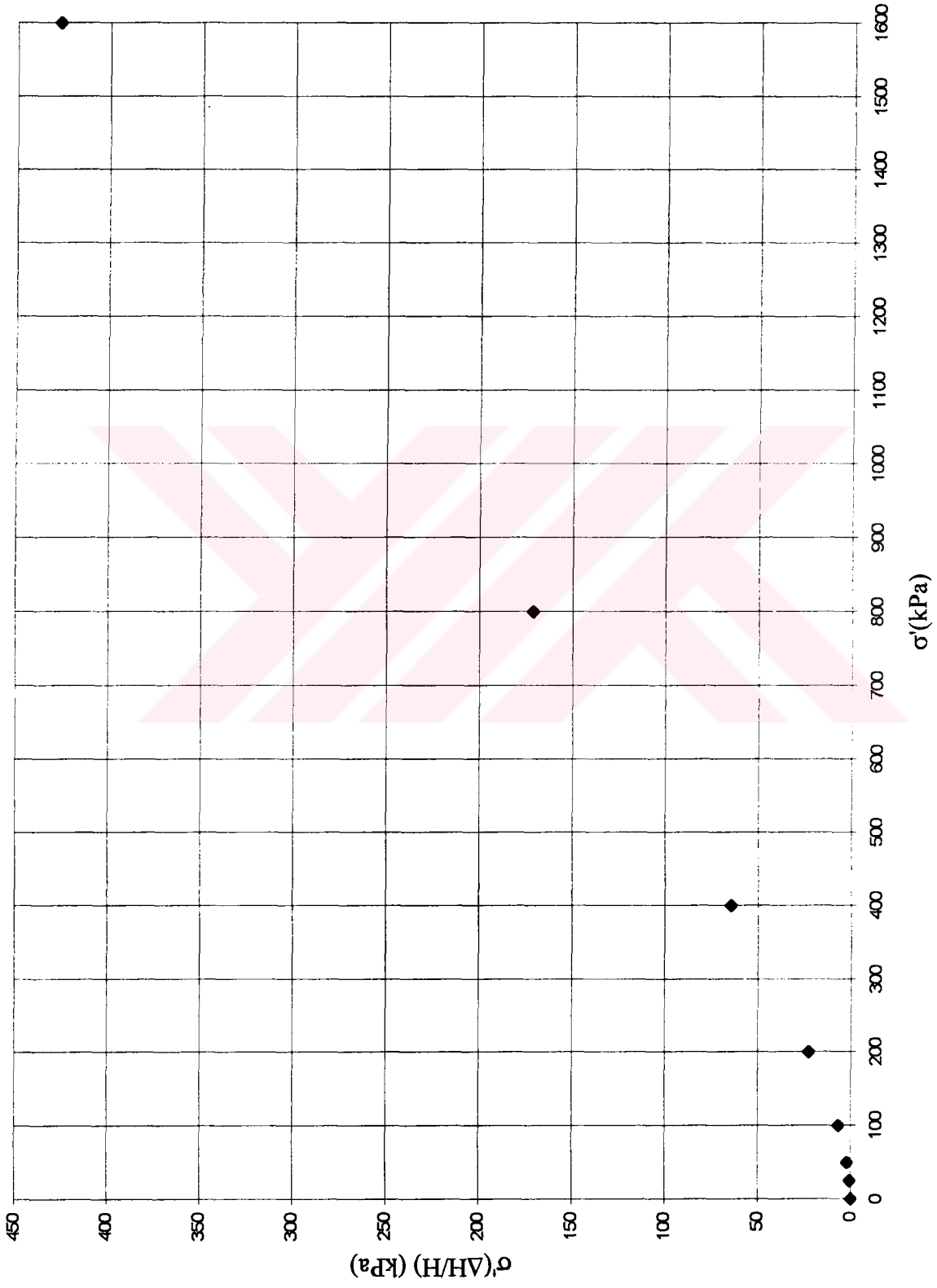


Şekil E2.16 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 4 $\epsilon_v = 10^{-8} \text{ s}^{-1}$ 

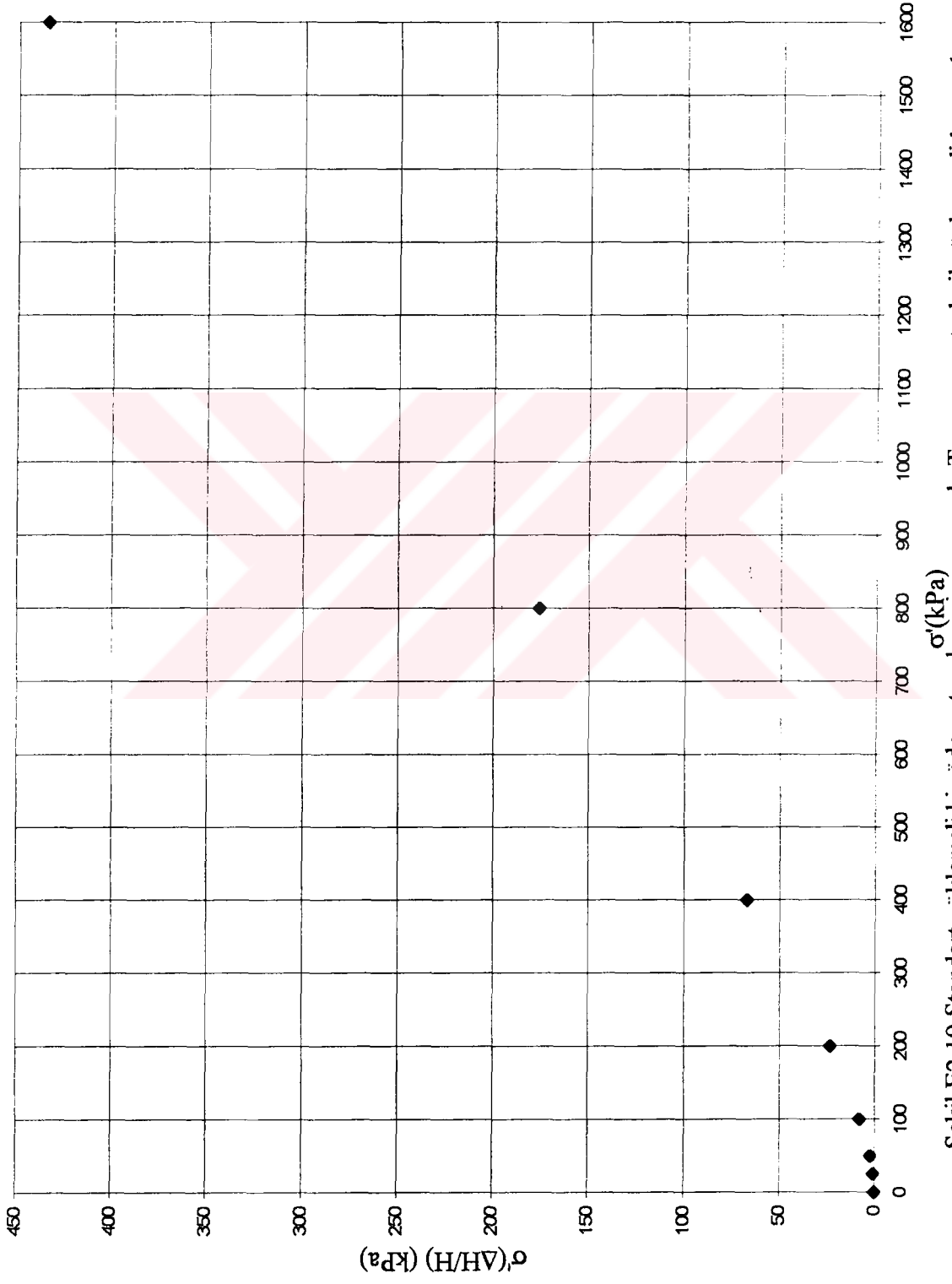
Şekil E2.17 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 5 $\epsilon_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$



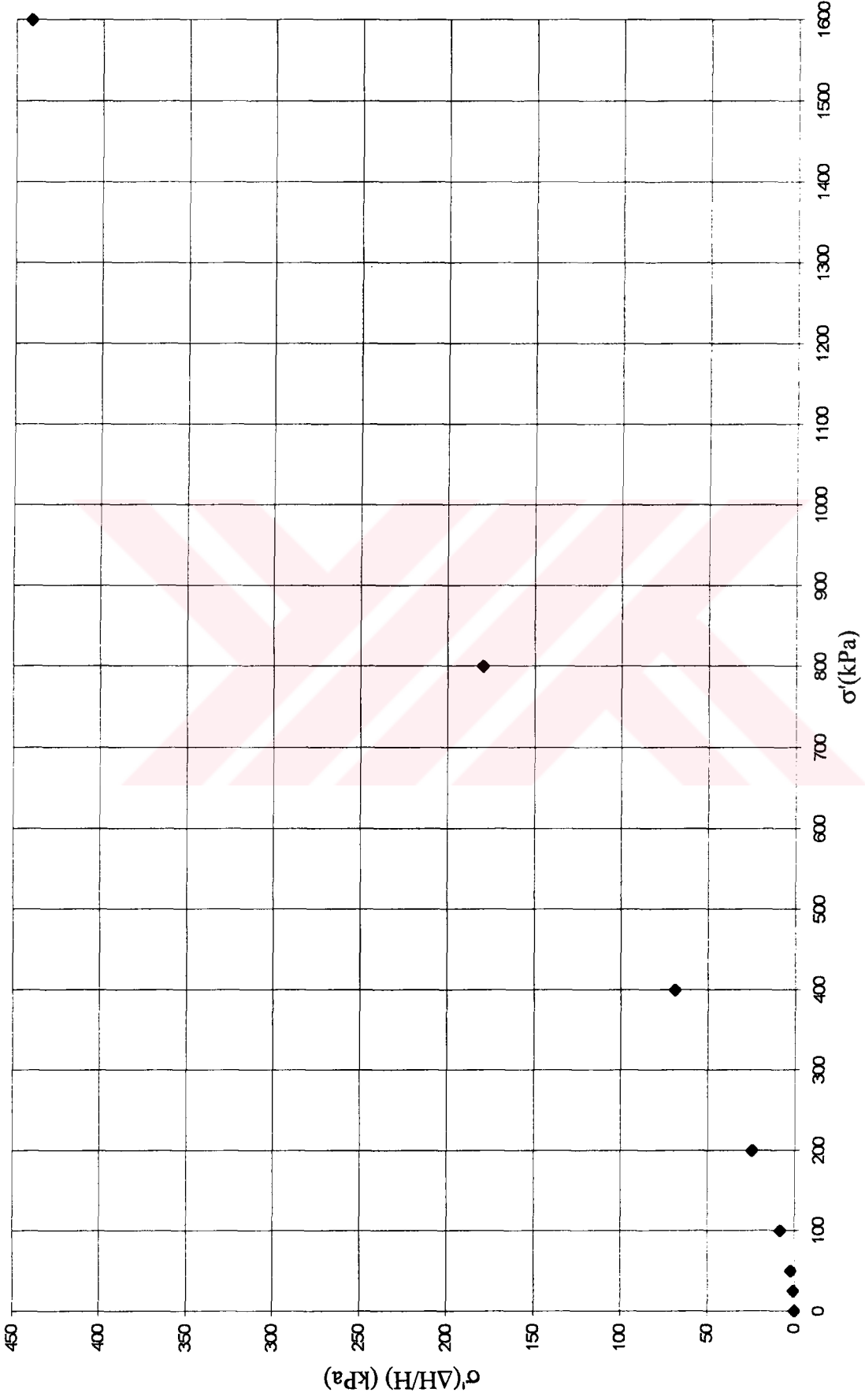
Şekil E2.18 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 5 $\epsilon_v = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

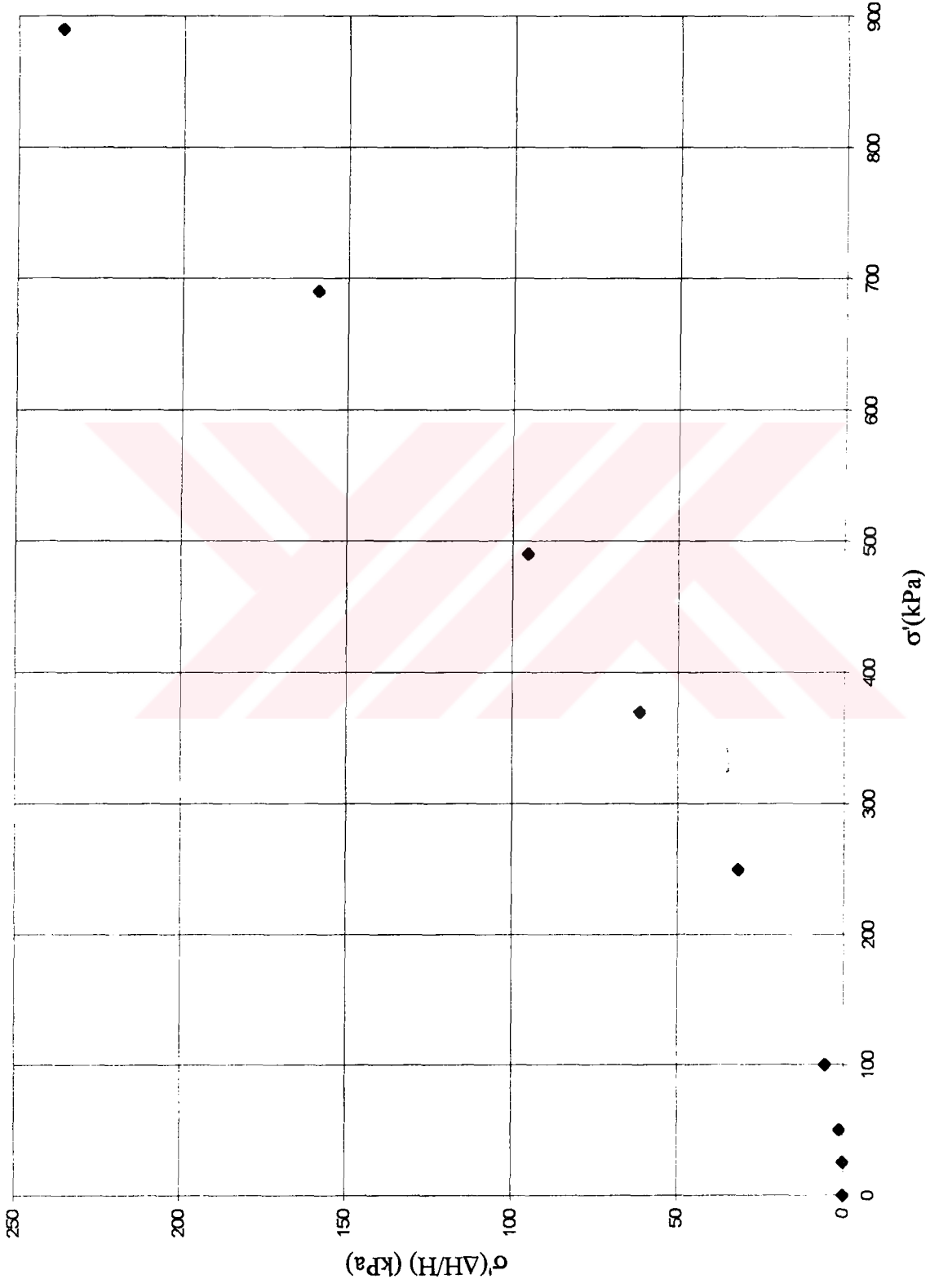


Şekil E2.19 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 5 $\epsilon_v = 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

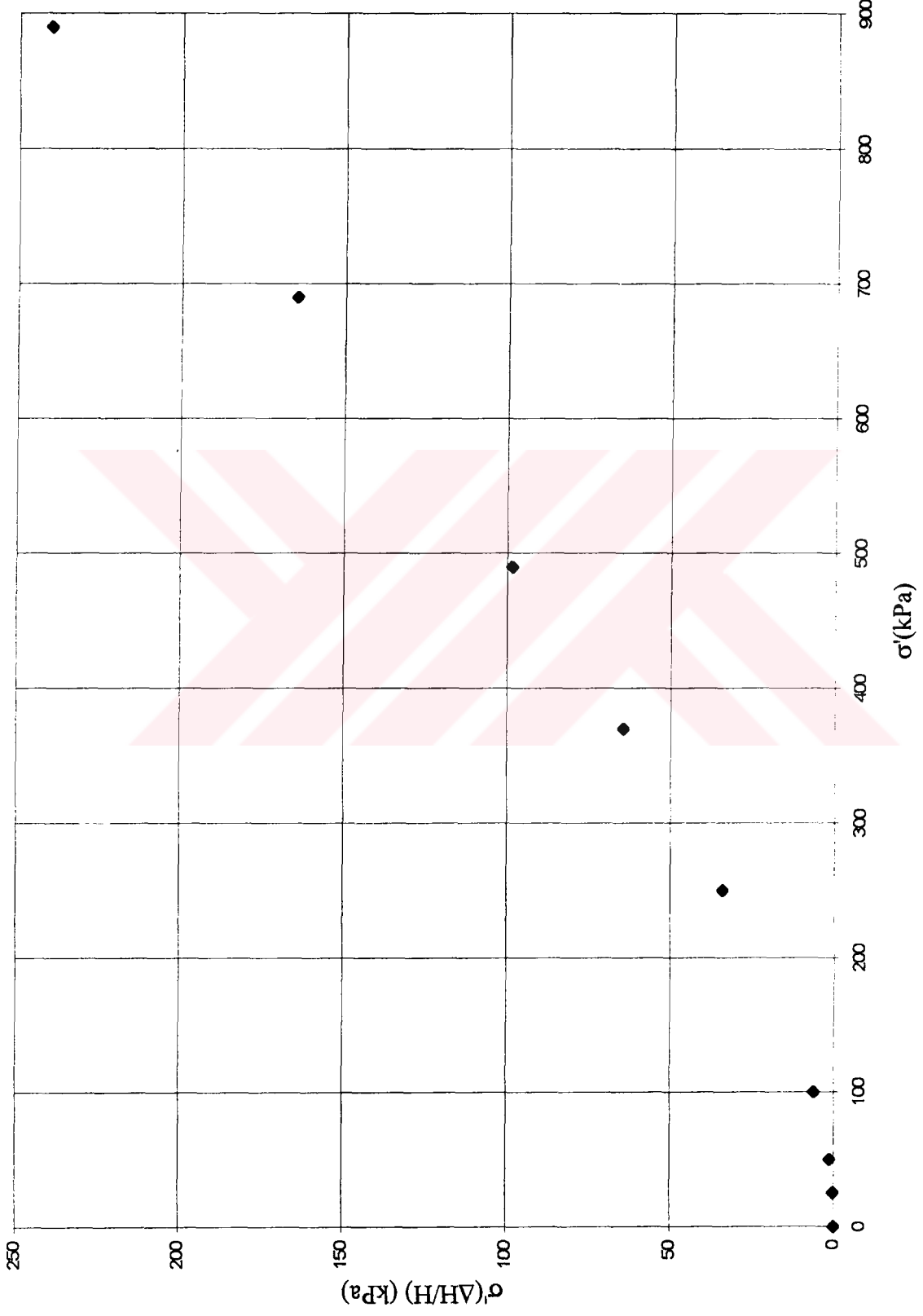


Şekil E2.20 Standart yüklemeli bir ödometre deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 13 $\epsilon_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ 

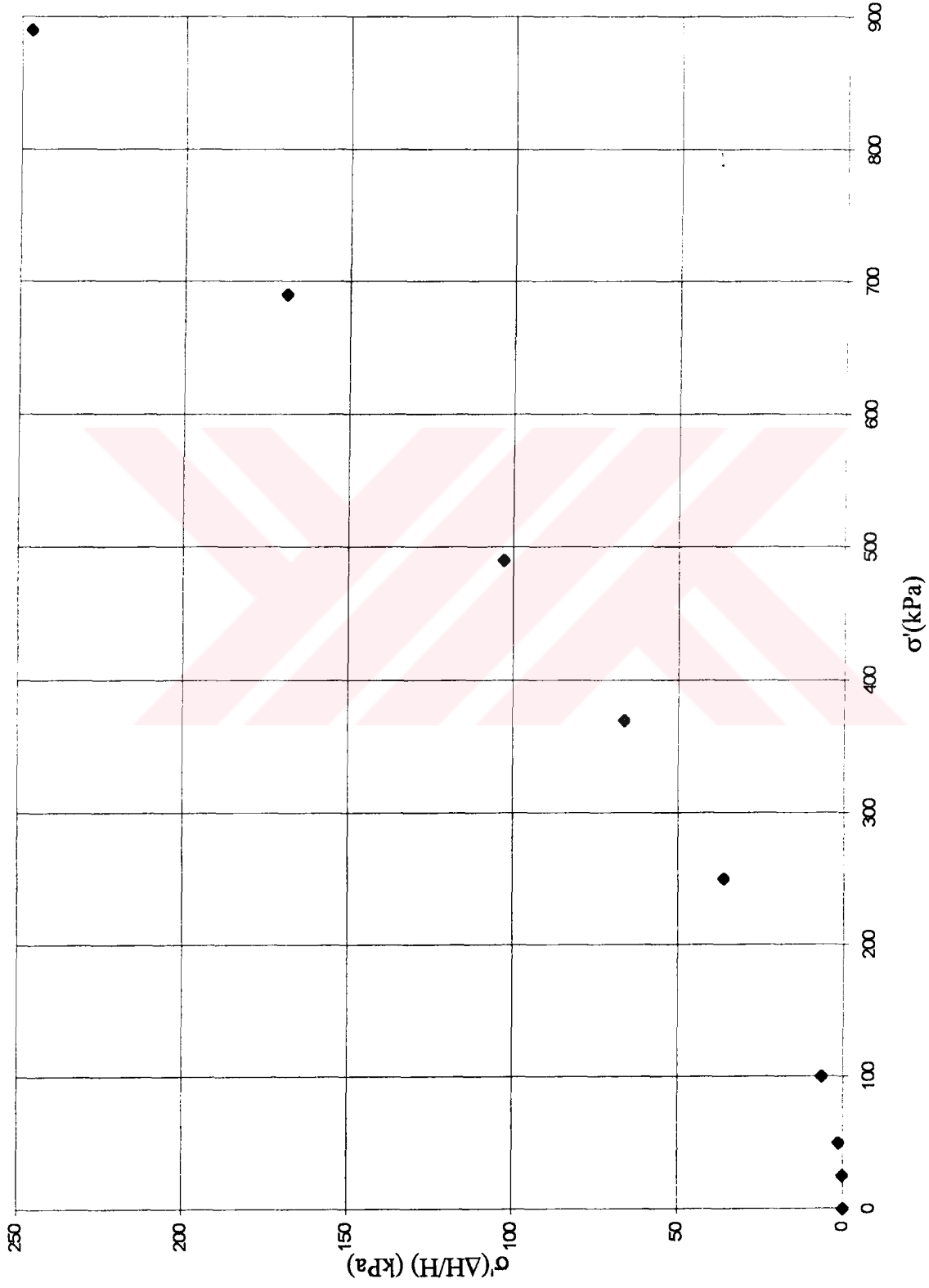
Şekil E2.21 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 13 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$

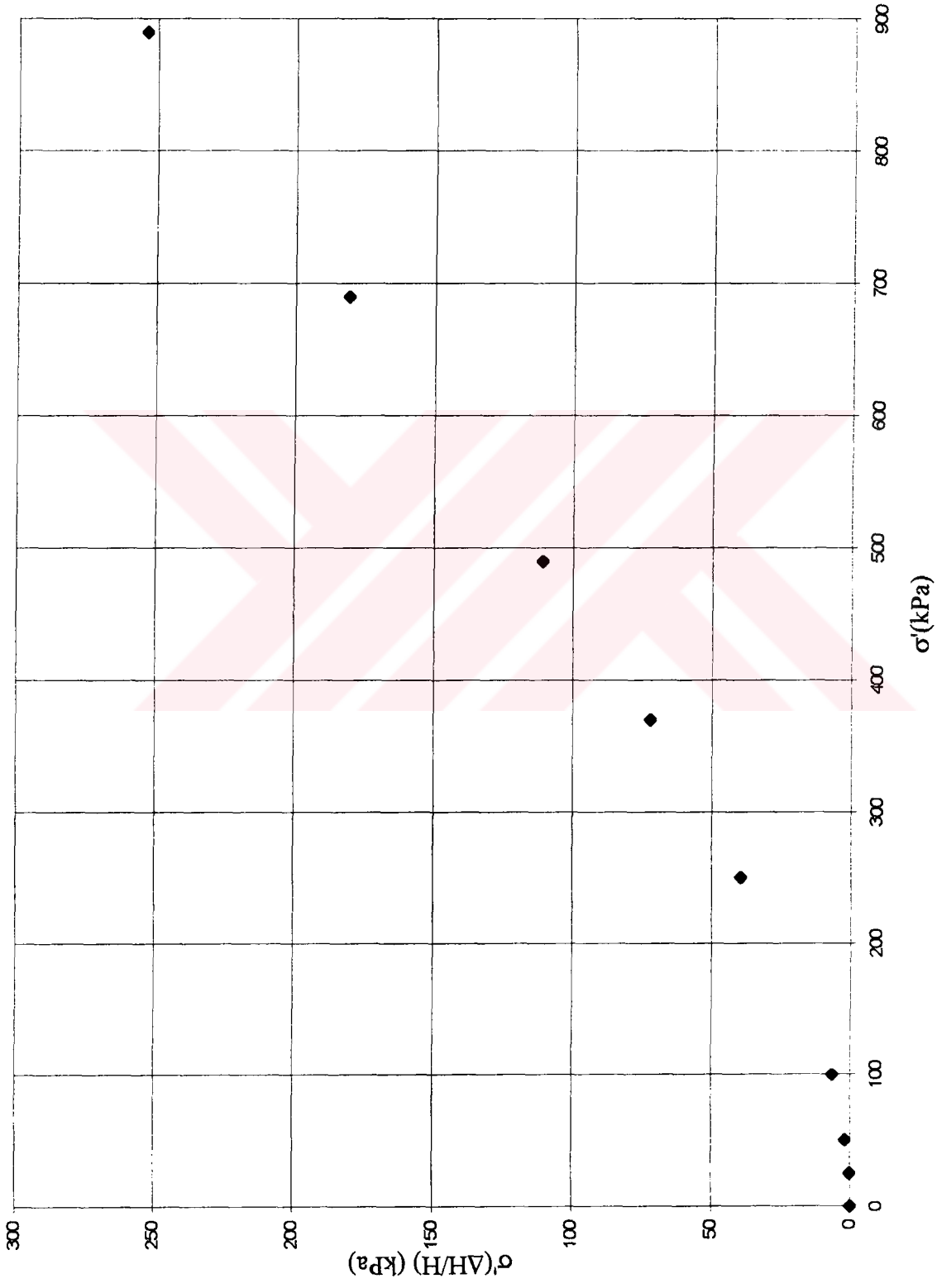


Şekil E2.22 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 13 $\epsilon_v = 10^{-8} \text{ s}^{-1}$

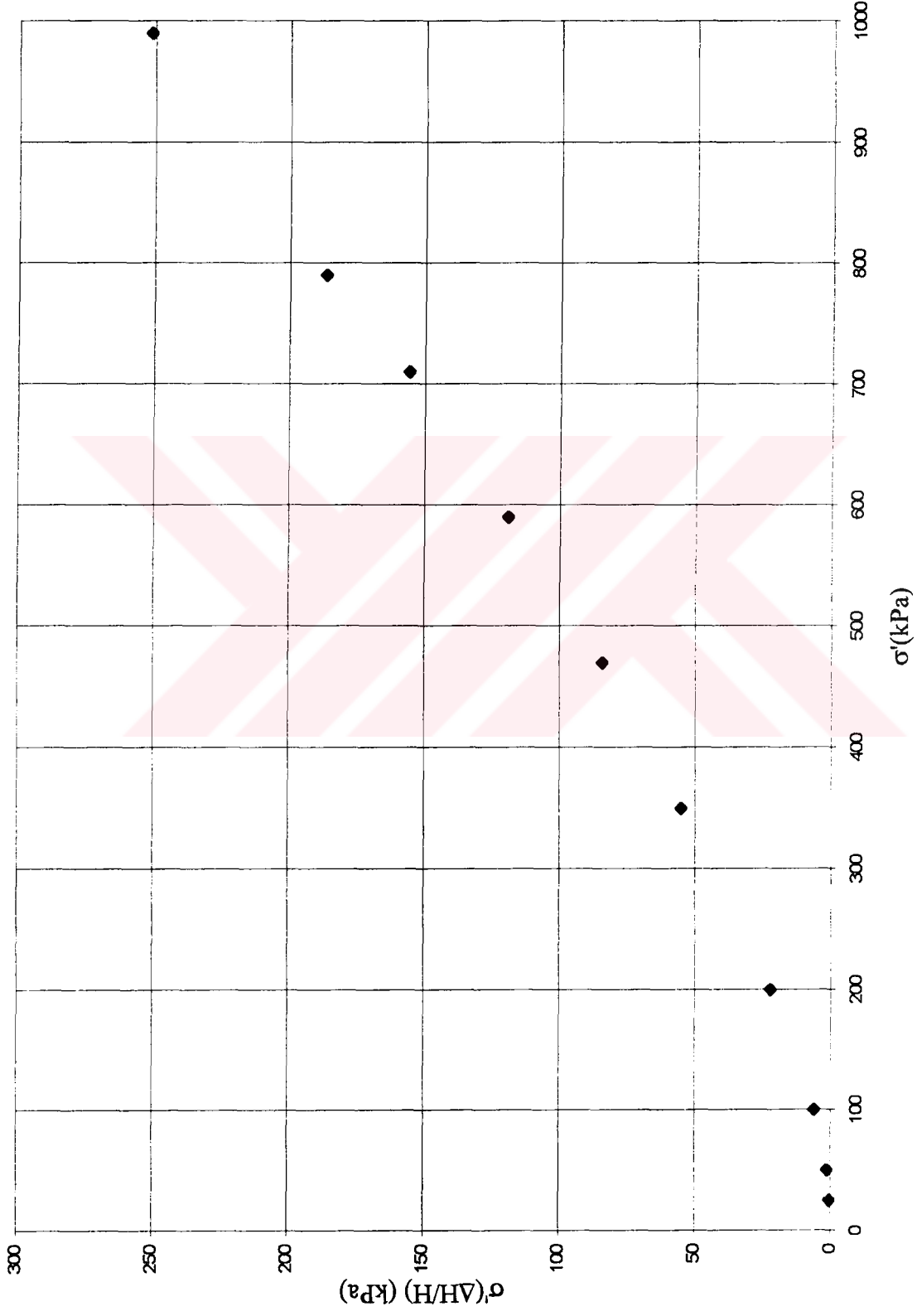


Şekil E2.23 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 13 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-9} \text{ s}^{-1}$ 

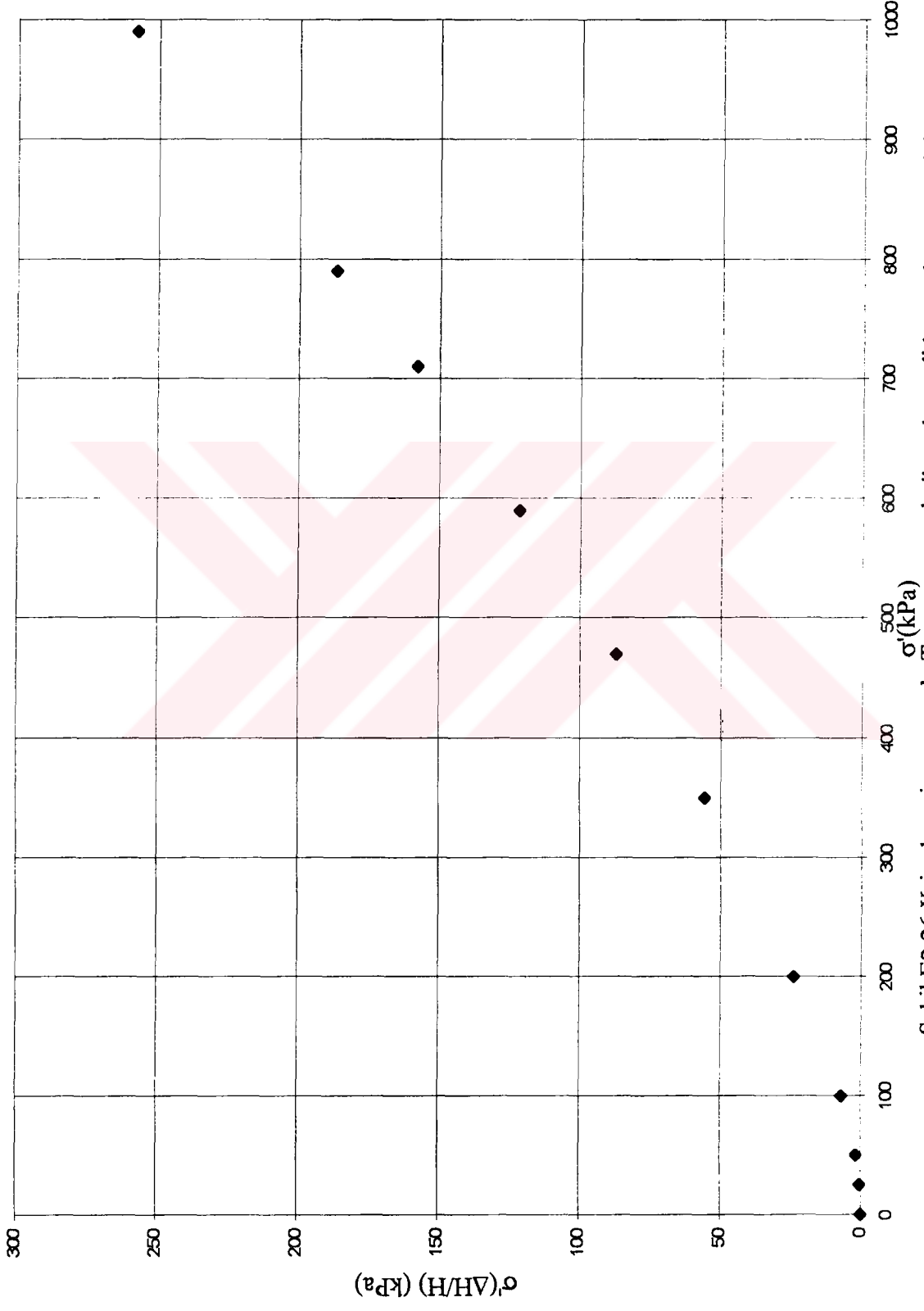
Şekil E2.24 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 14 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$



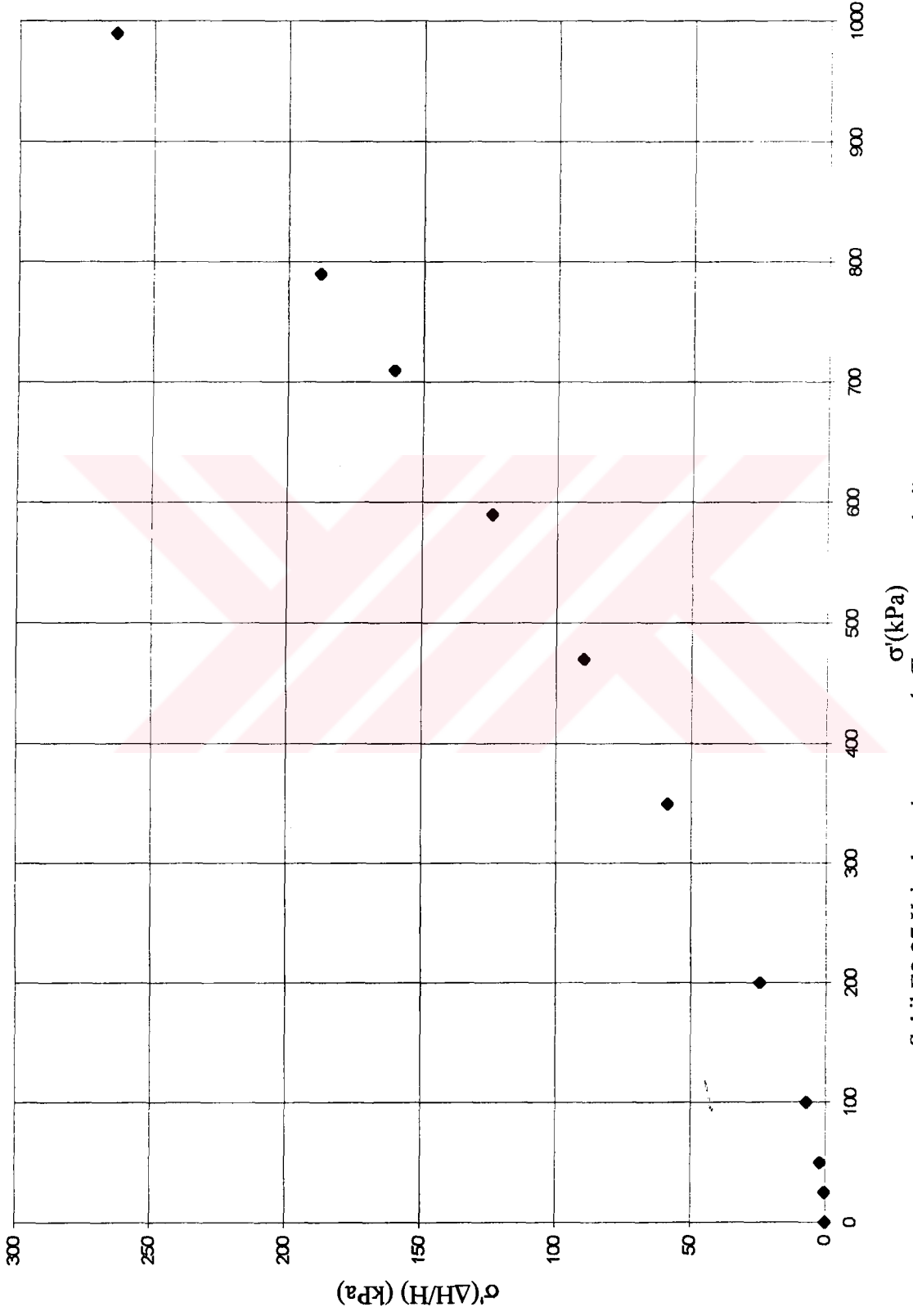
Şekil E2.25 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 14 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-7} \text{ s}^{-1}$



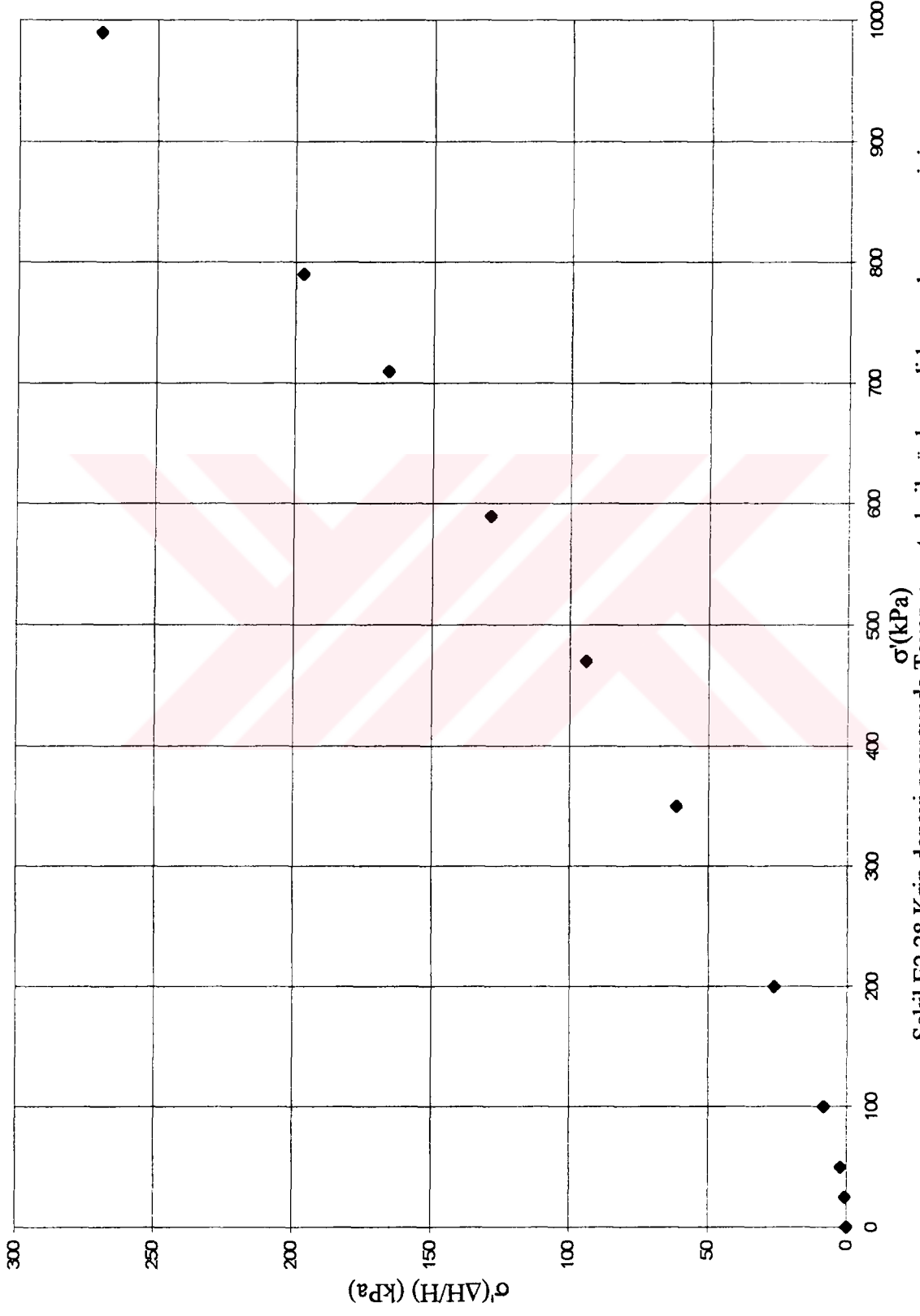
Şekil E2.26 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 14 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-8} \text{ s}^{-1}$



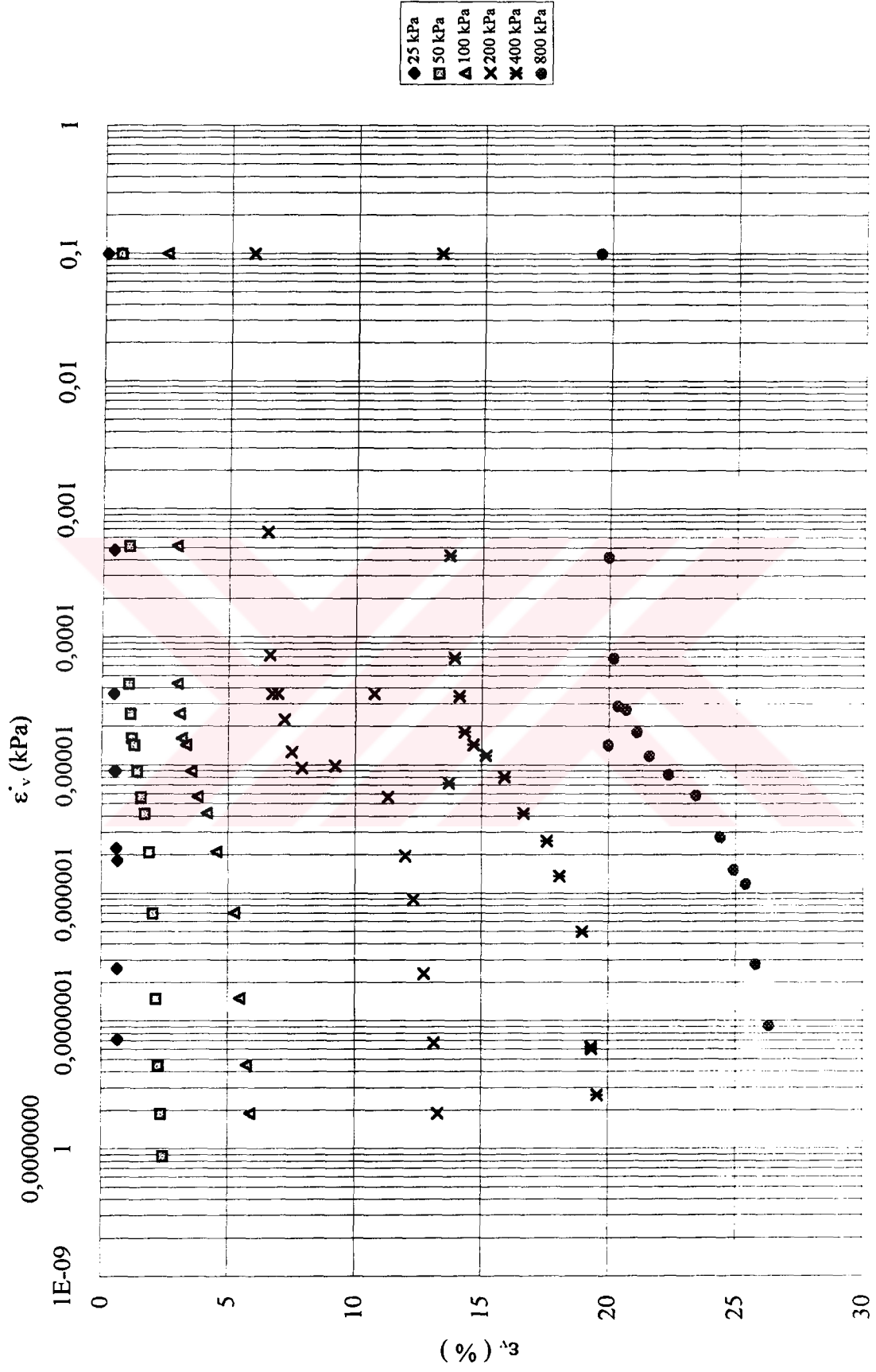
Şekil E2.27 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : 14 $\dot{\epsilon}_v = 10^{-9} \text{ s}^{-1}$



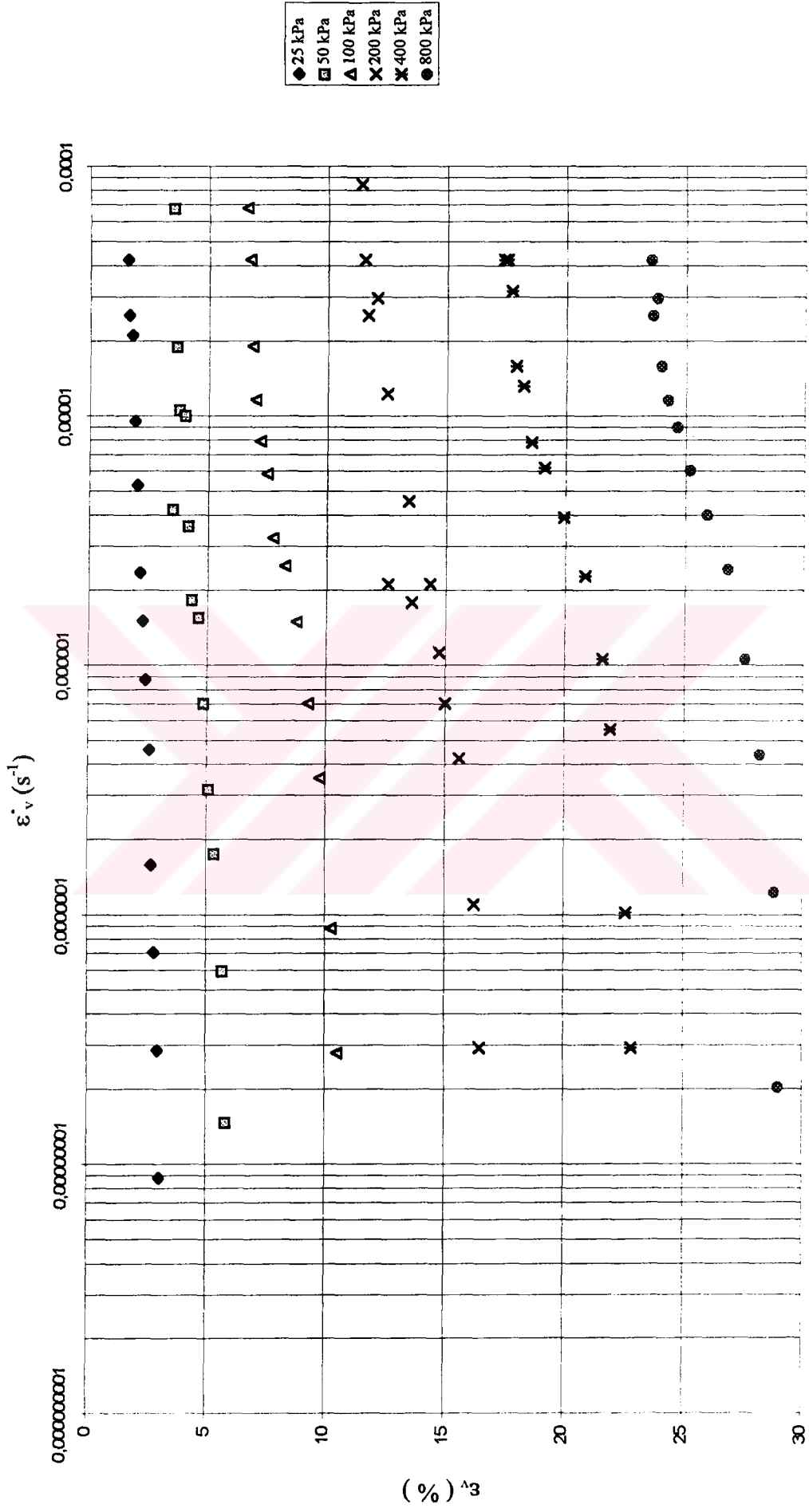
Şekil E2.28 Krip deneyi sonucunda Tavenas metodu ile önkonsolidasyon basıncı tayini

DENEY NO : I



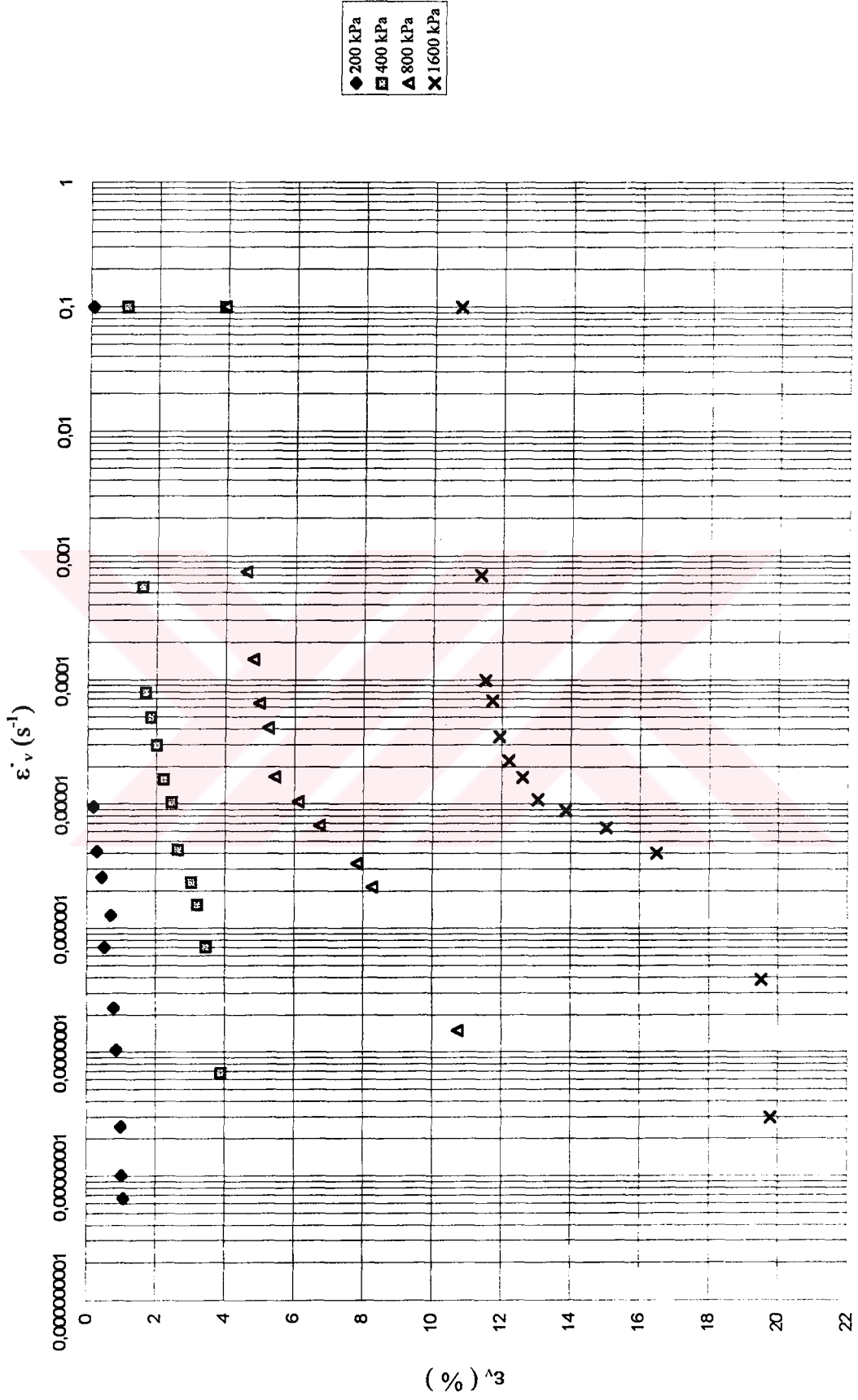
Şekil E2.29 Standart ödometre deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

DENEY NO : 2



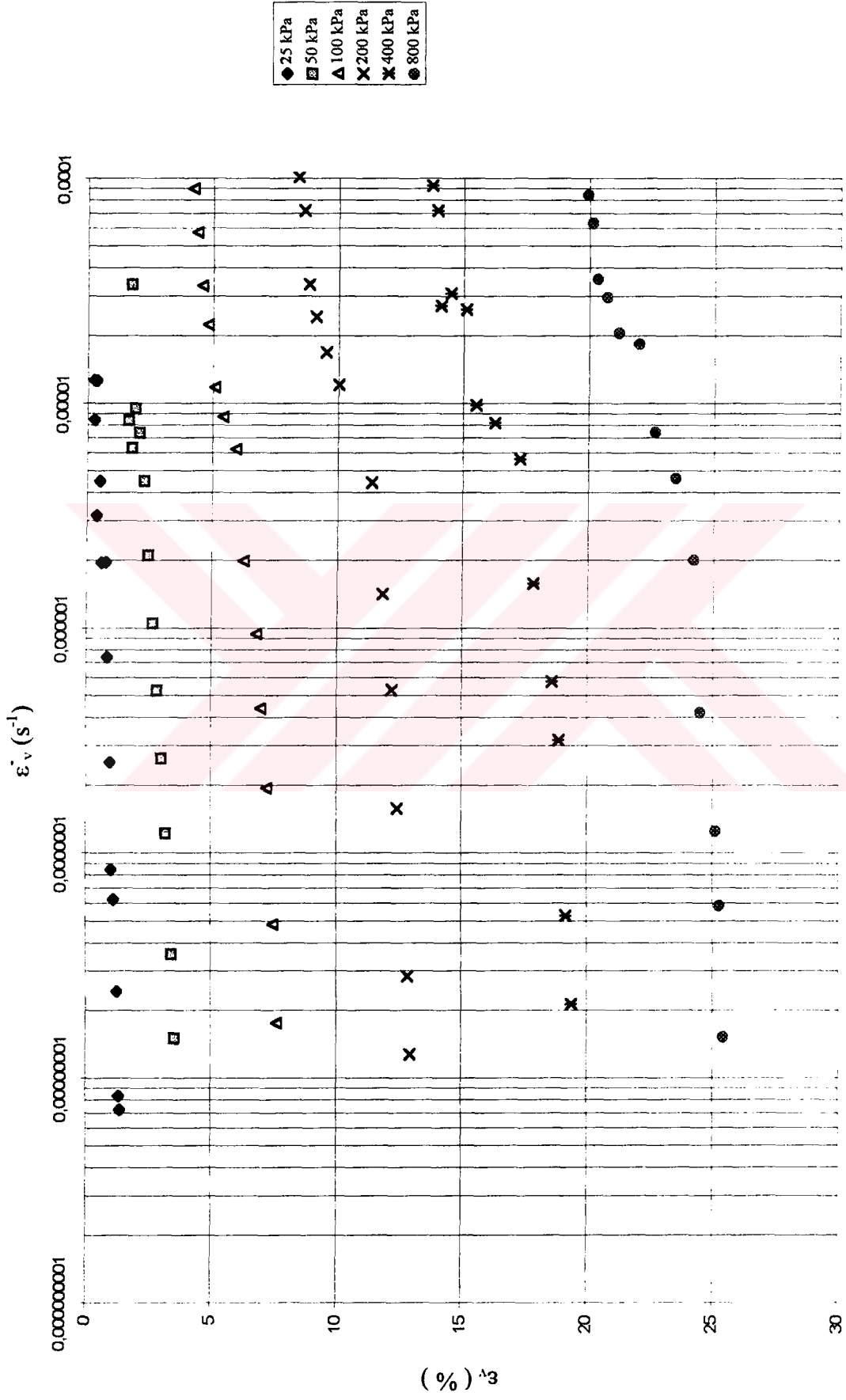
Şekil E2.30 Standart ödometre deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

DENEY NO : 3



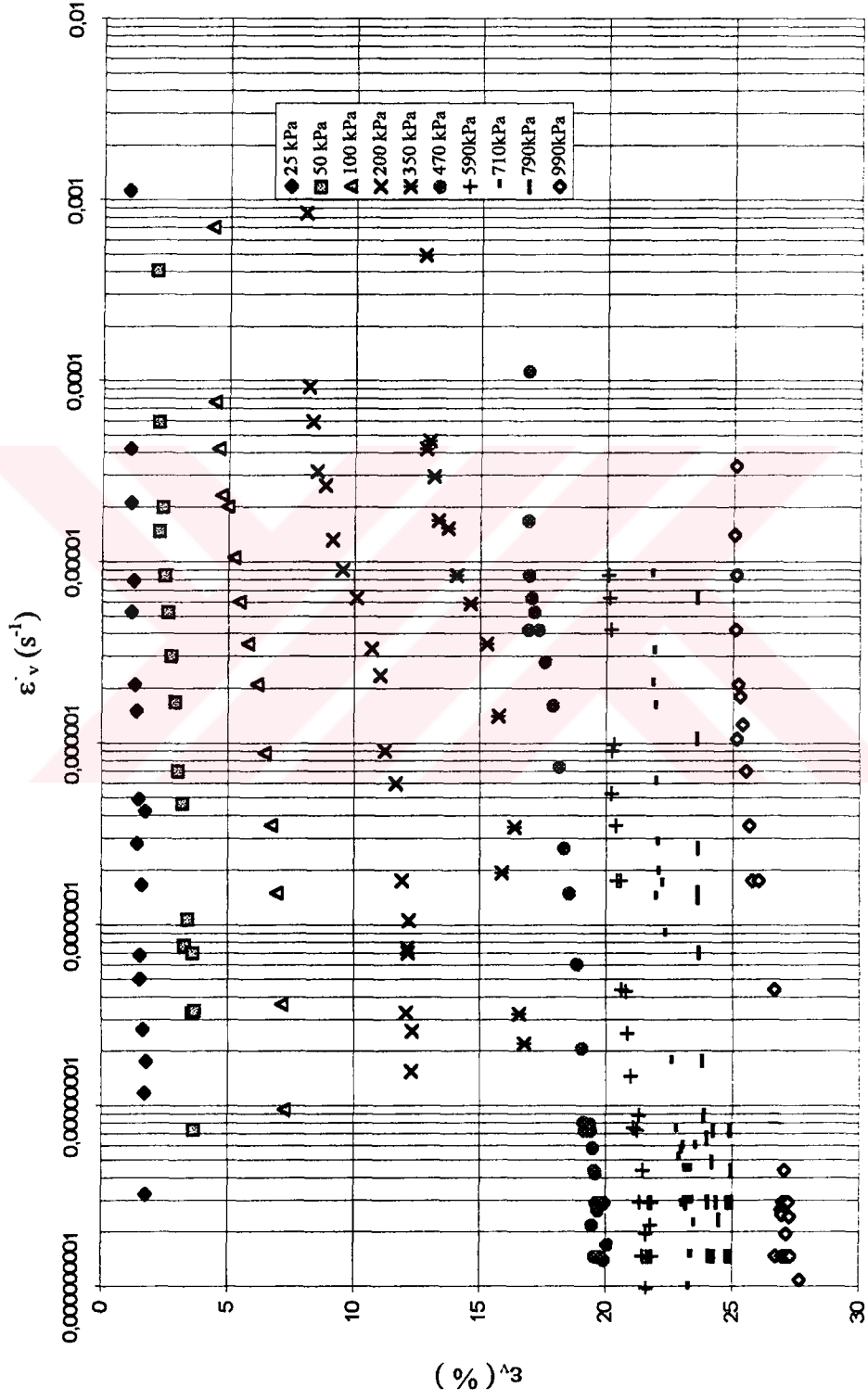
Şekil E2.31 Standart ödometre deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

DENEY NO : 4



Şekil E2.32 Standart ödometre deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

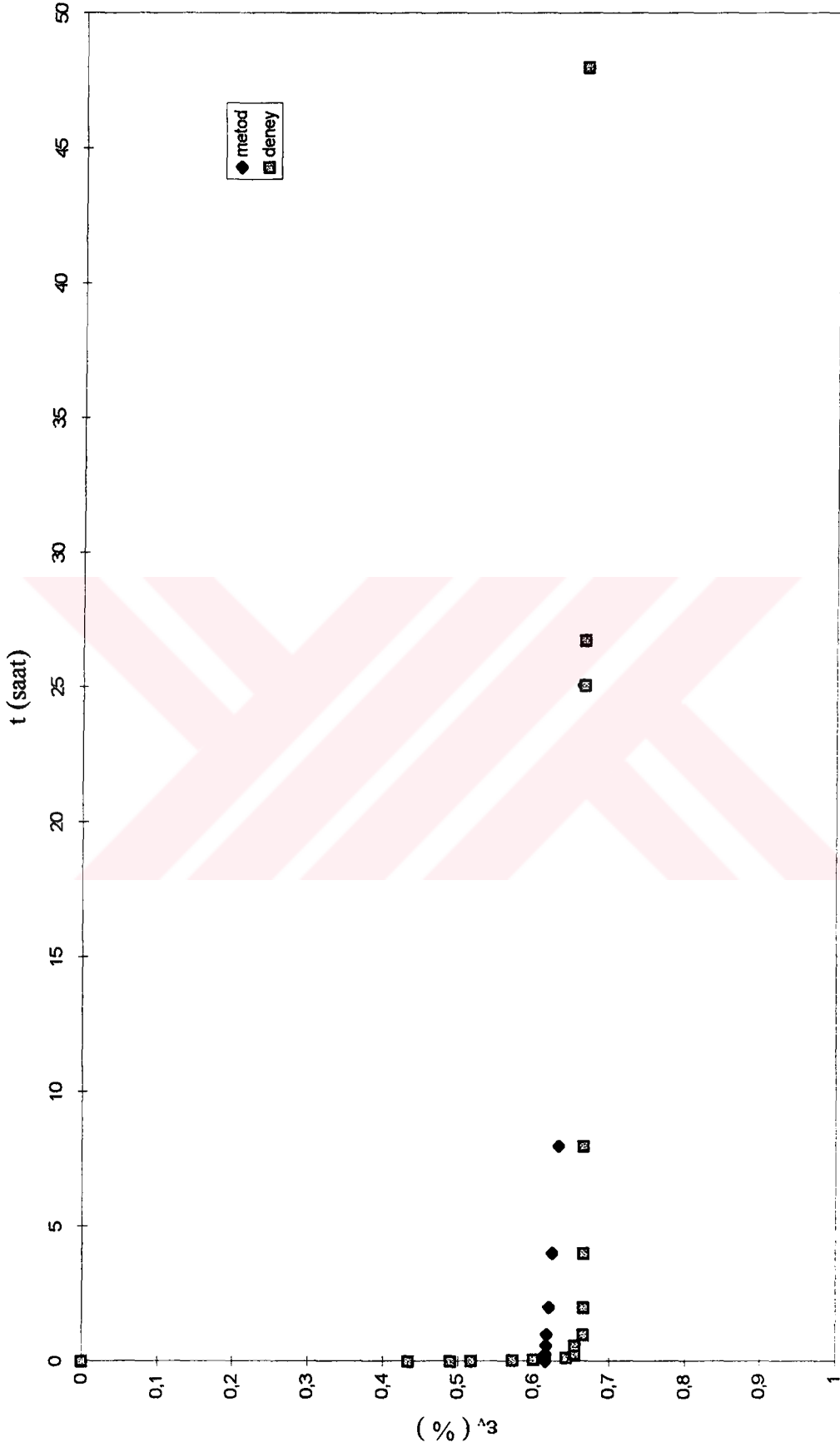
DENEY NO : 14



Şekil E2.33 Krip deneyi sonucunda farklı gerilme seviyelerinde deformasyon hızı - deformasyon değişimi

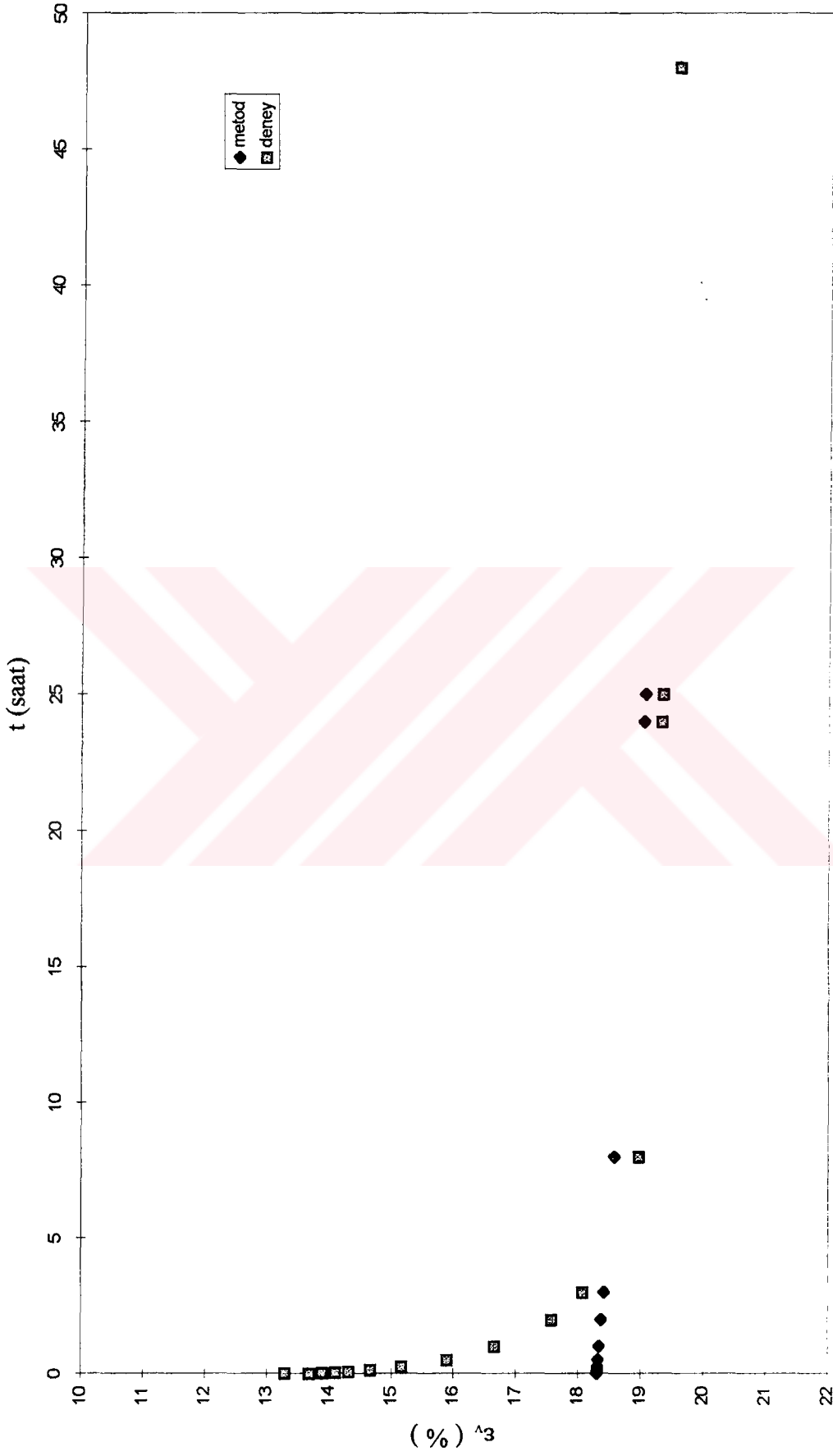
EK 3 Gibson-Lo Metodunda önerilen parametreler kullanılarak elde edilen oturma-zaman tahmin eğrileri

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$

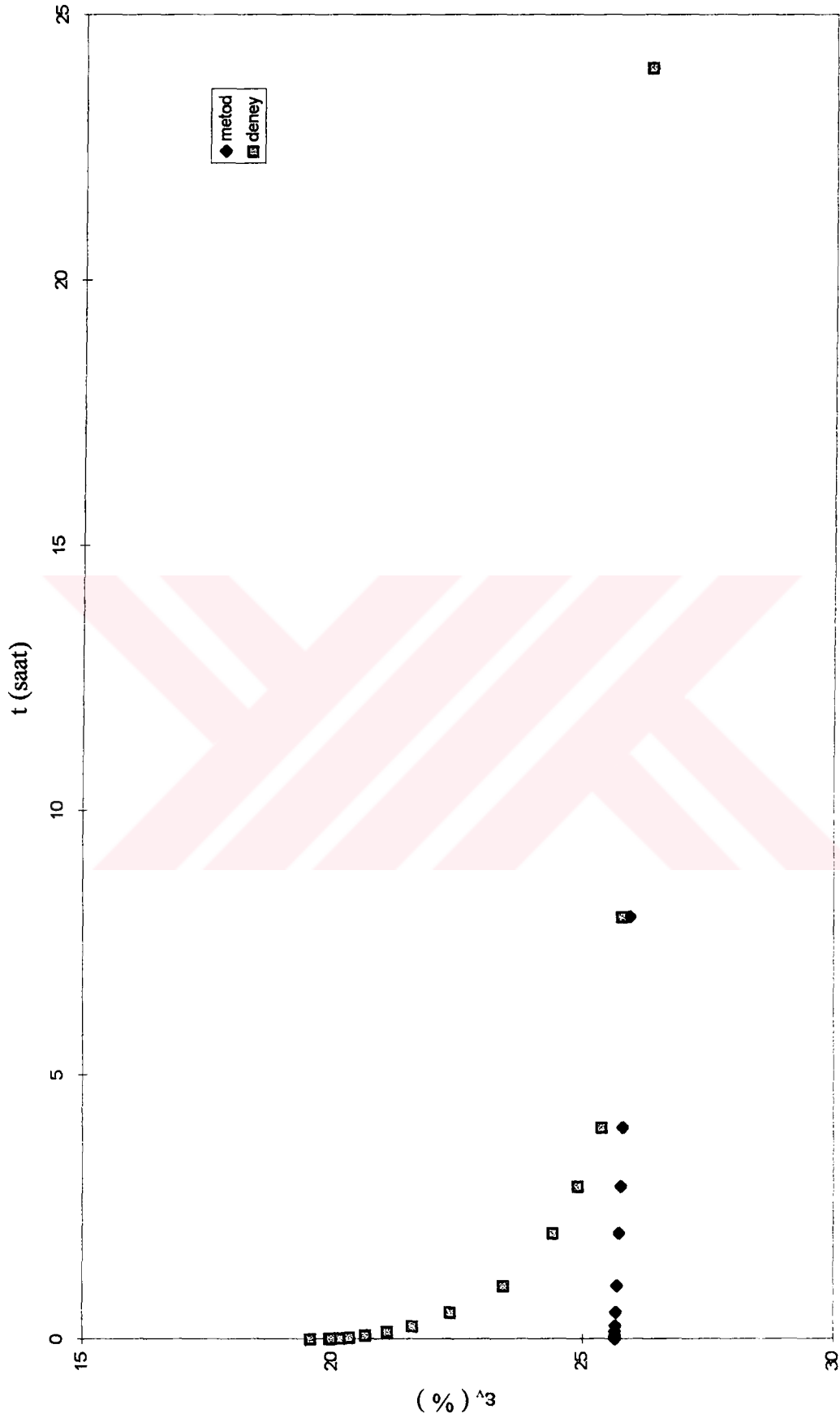


Şekil E3.1 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 400$ kPa

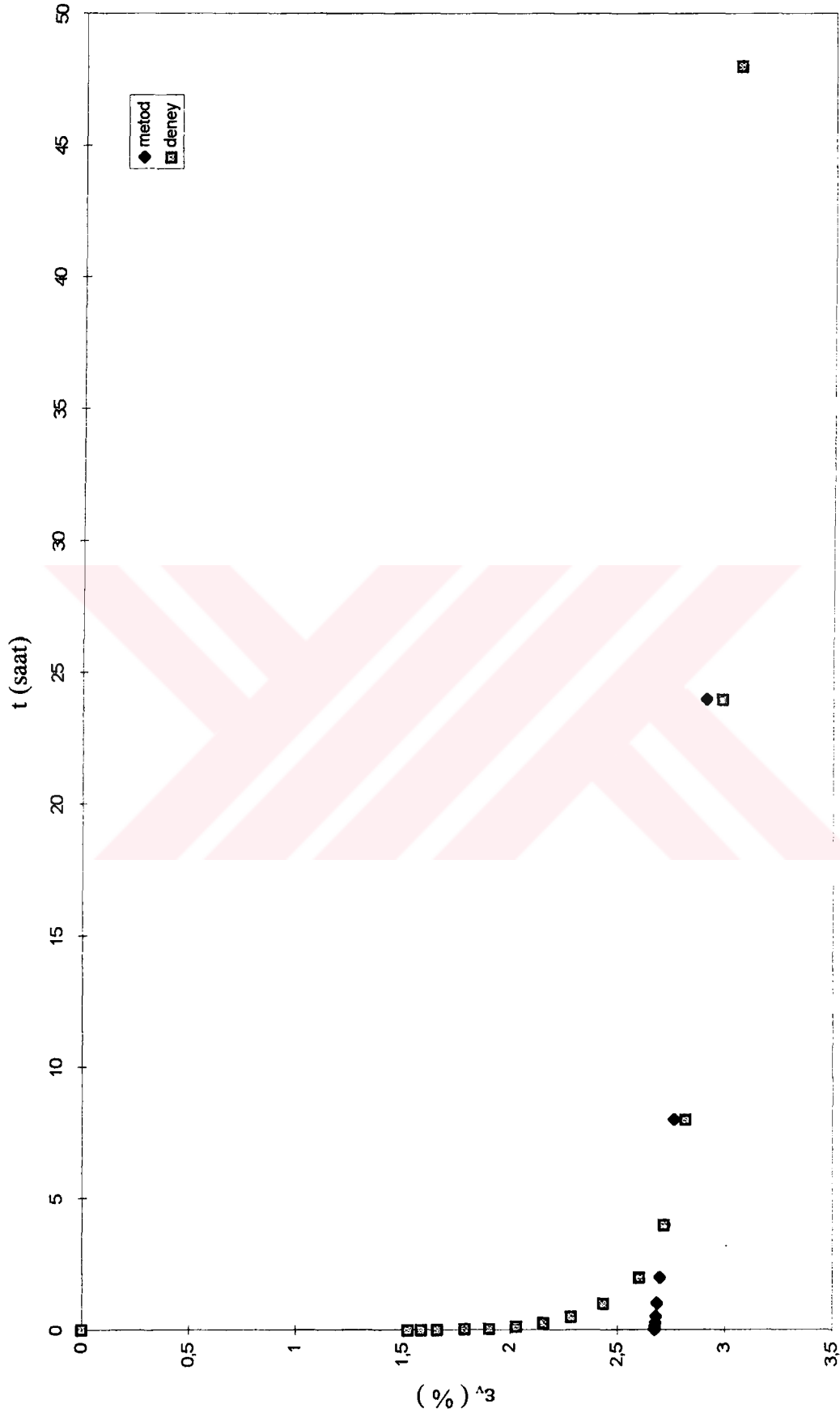


Şekil E3.2 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$ 

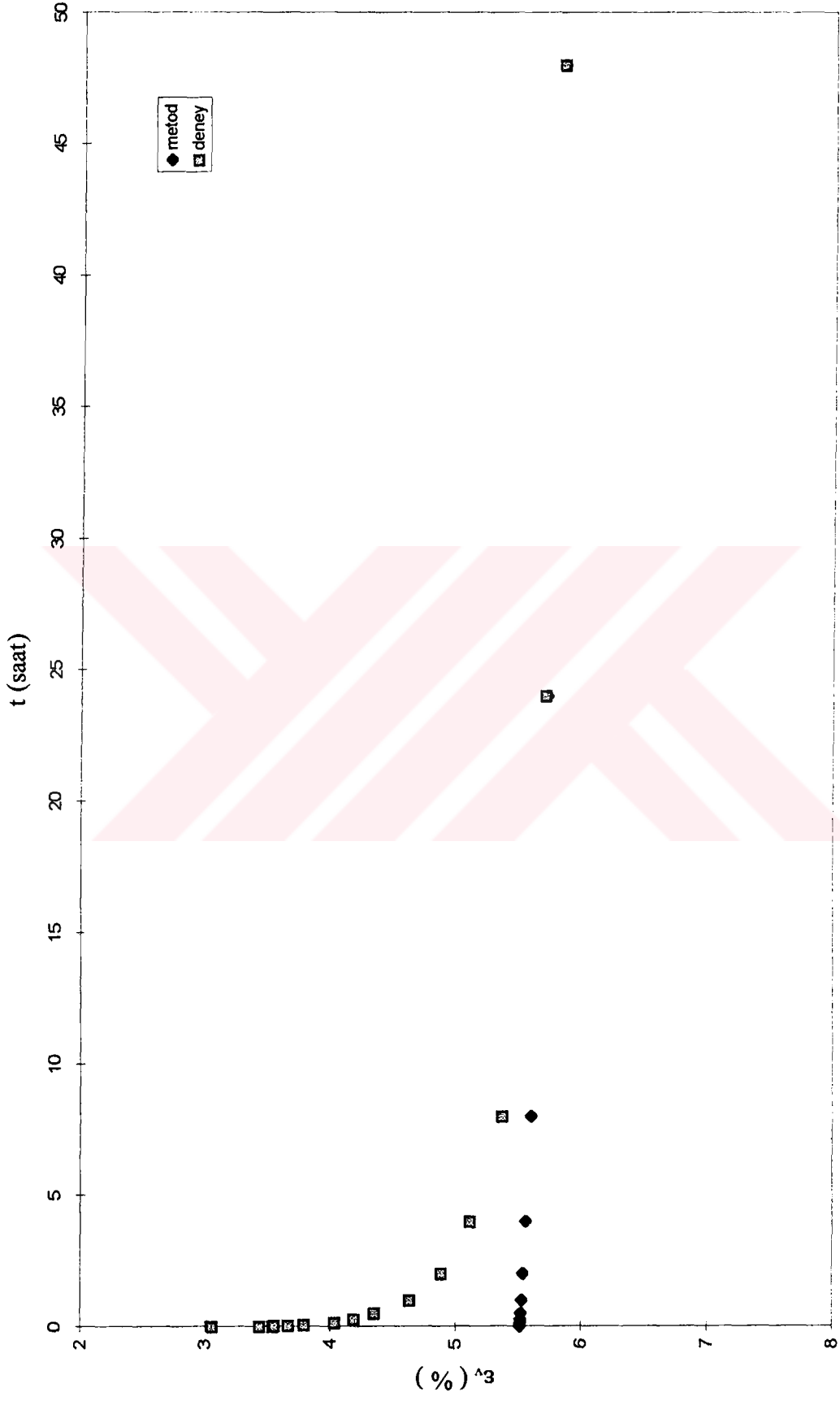
Şekil E3.3 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



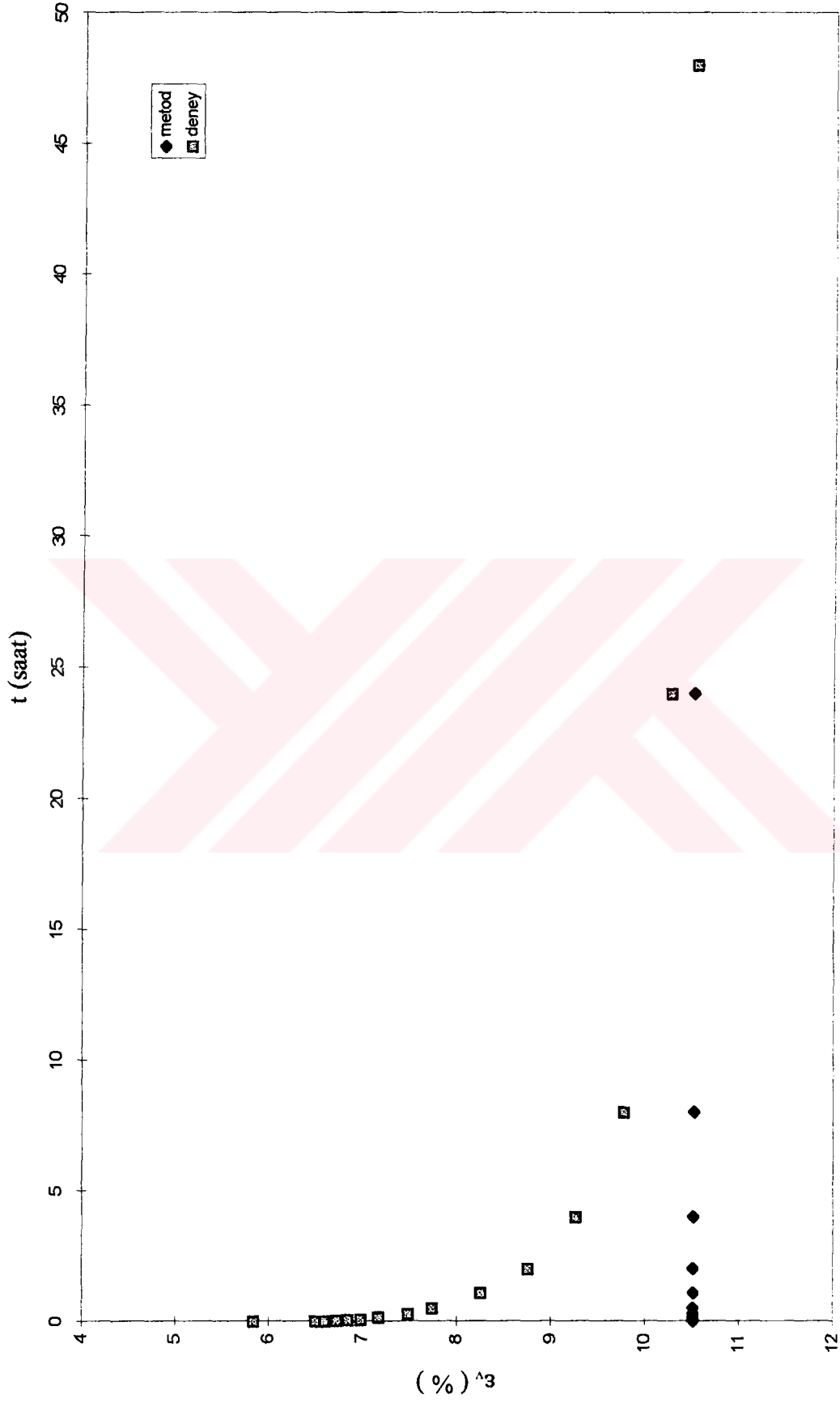
Şekil E3.4 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



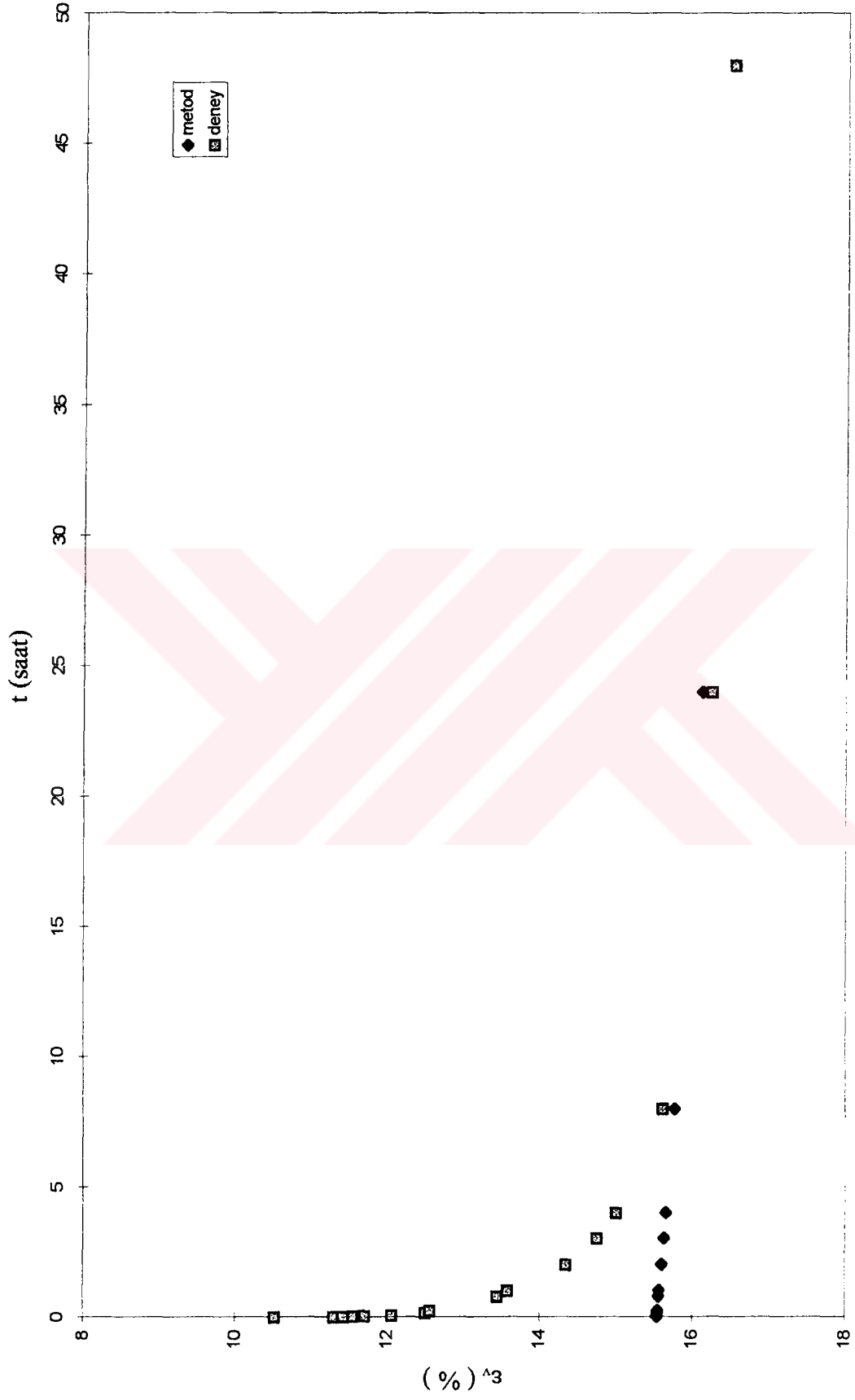
Şekil E3.5 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



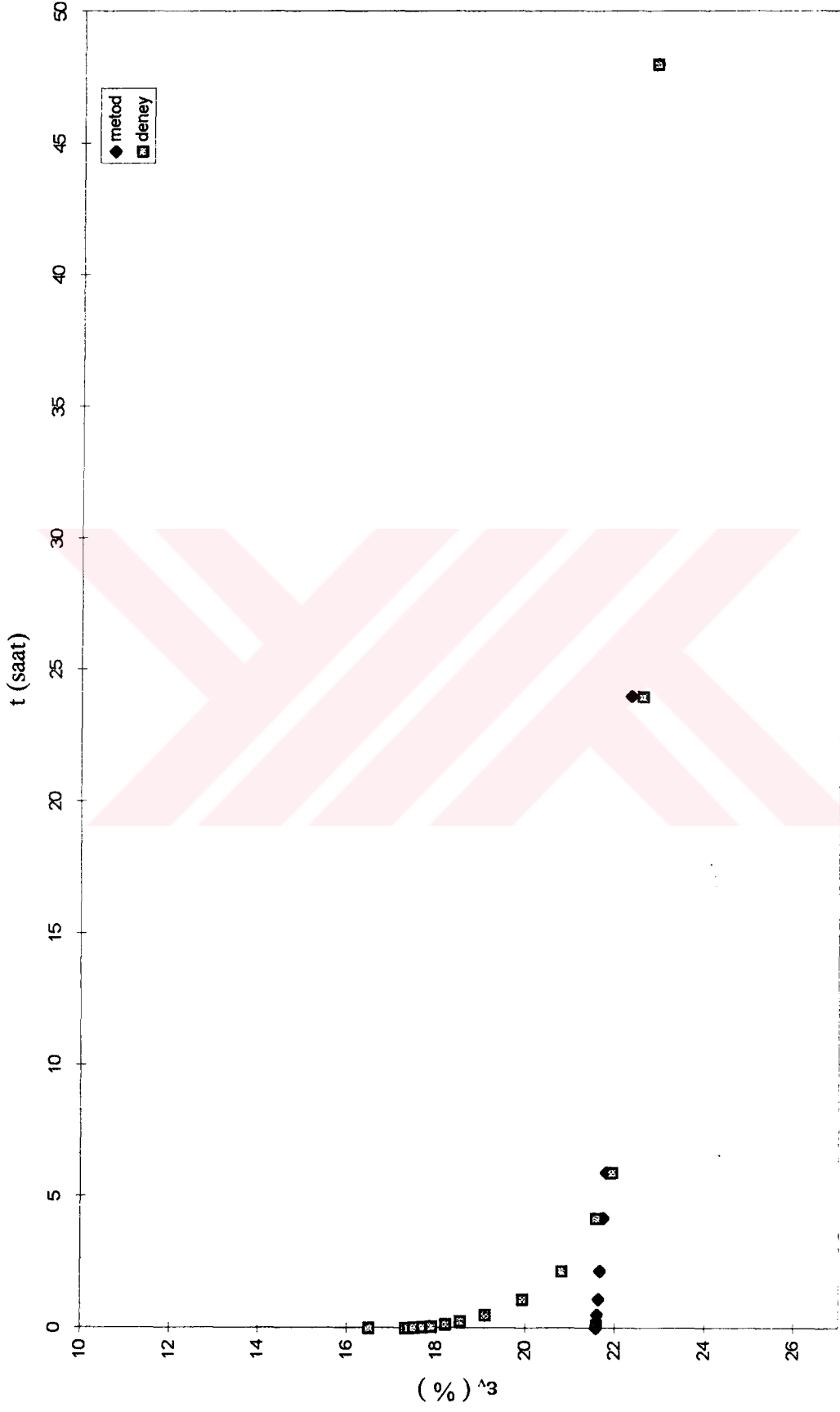
Şekil E3.6 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 200$ kPa



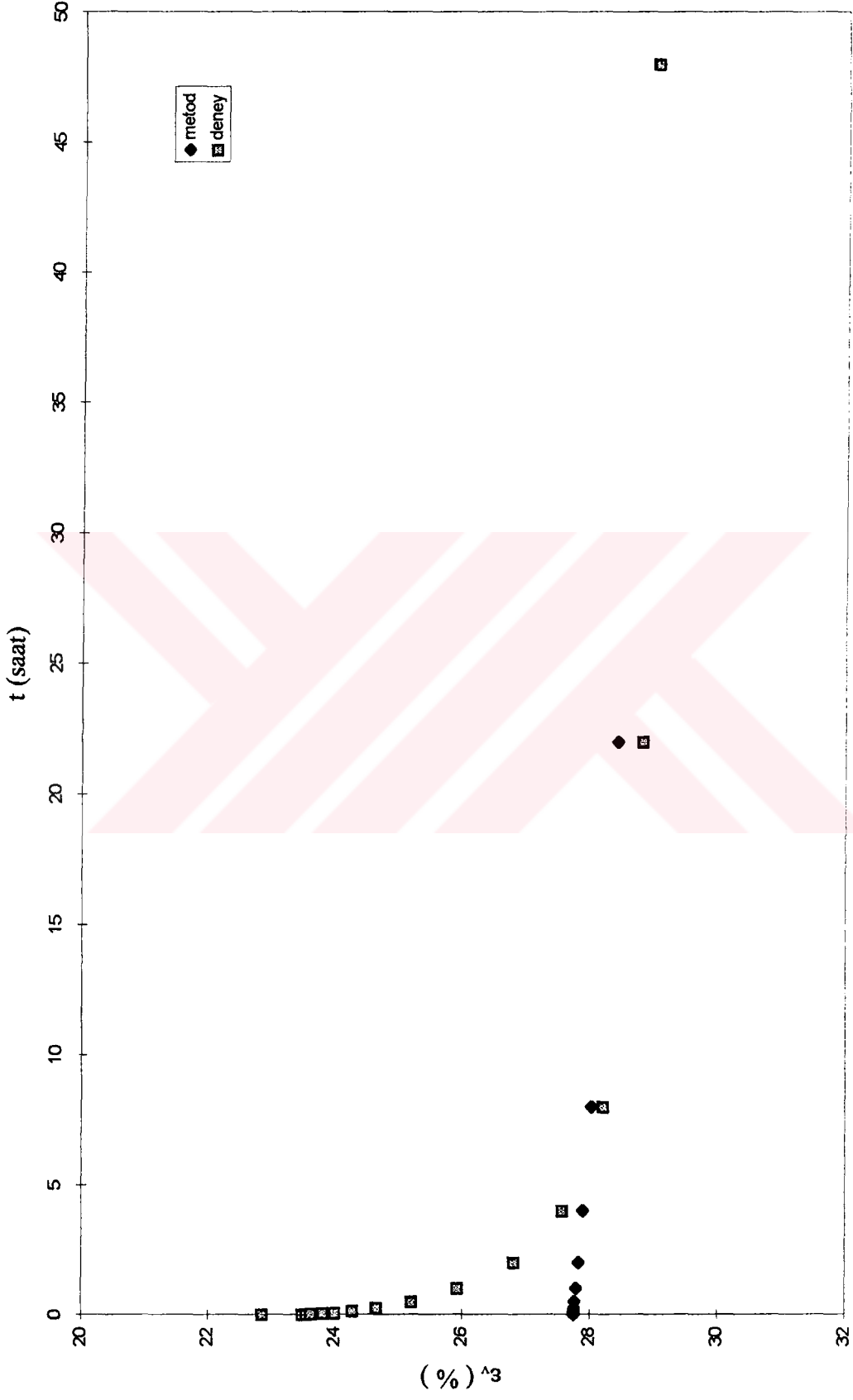
Şekil E3.7 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 400$ kPa



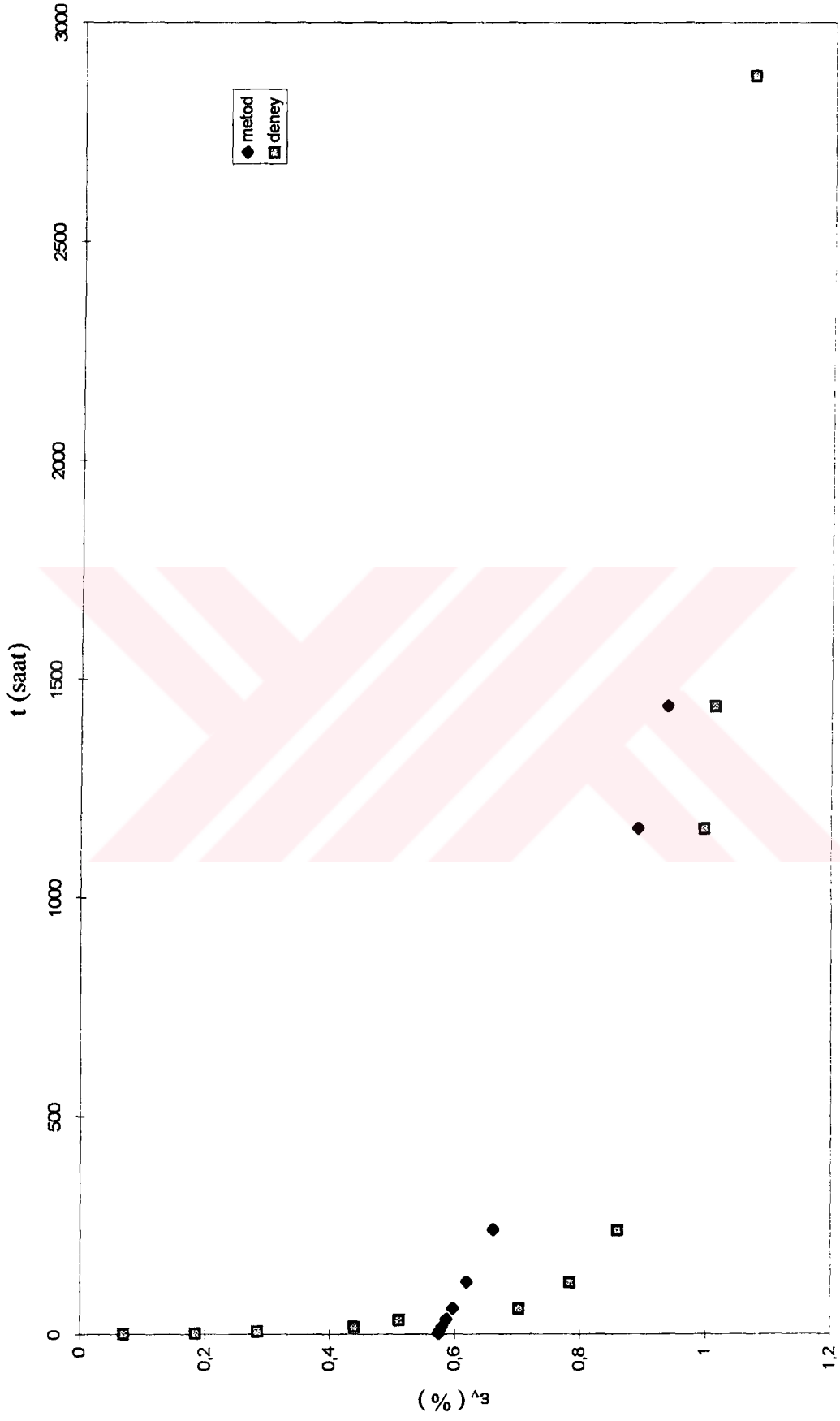
Şekil E3.8 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 800$ kPa



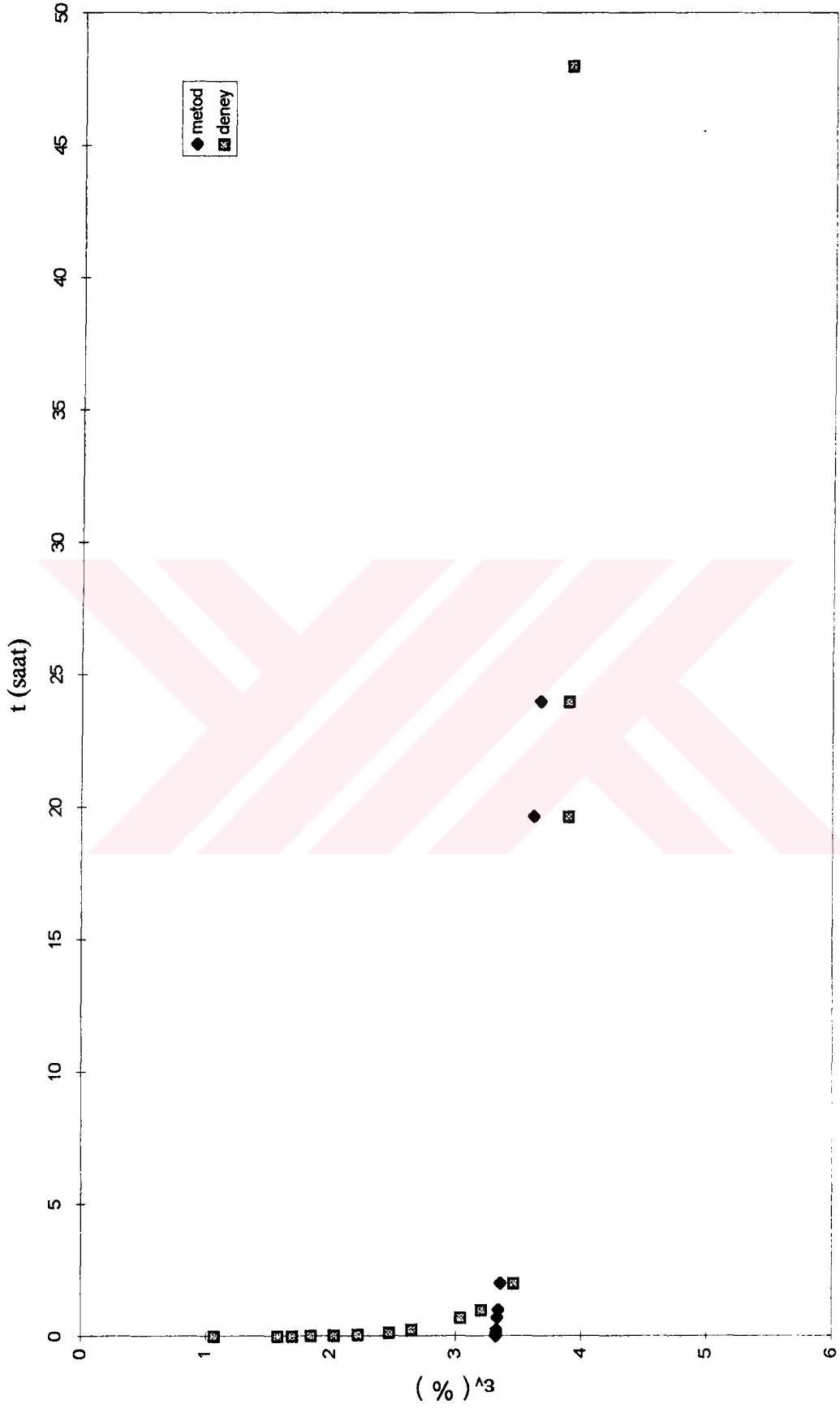
Şekil E3.9 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 200$ kPa



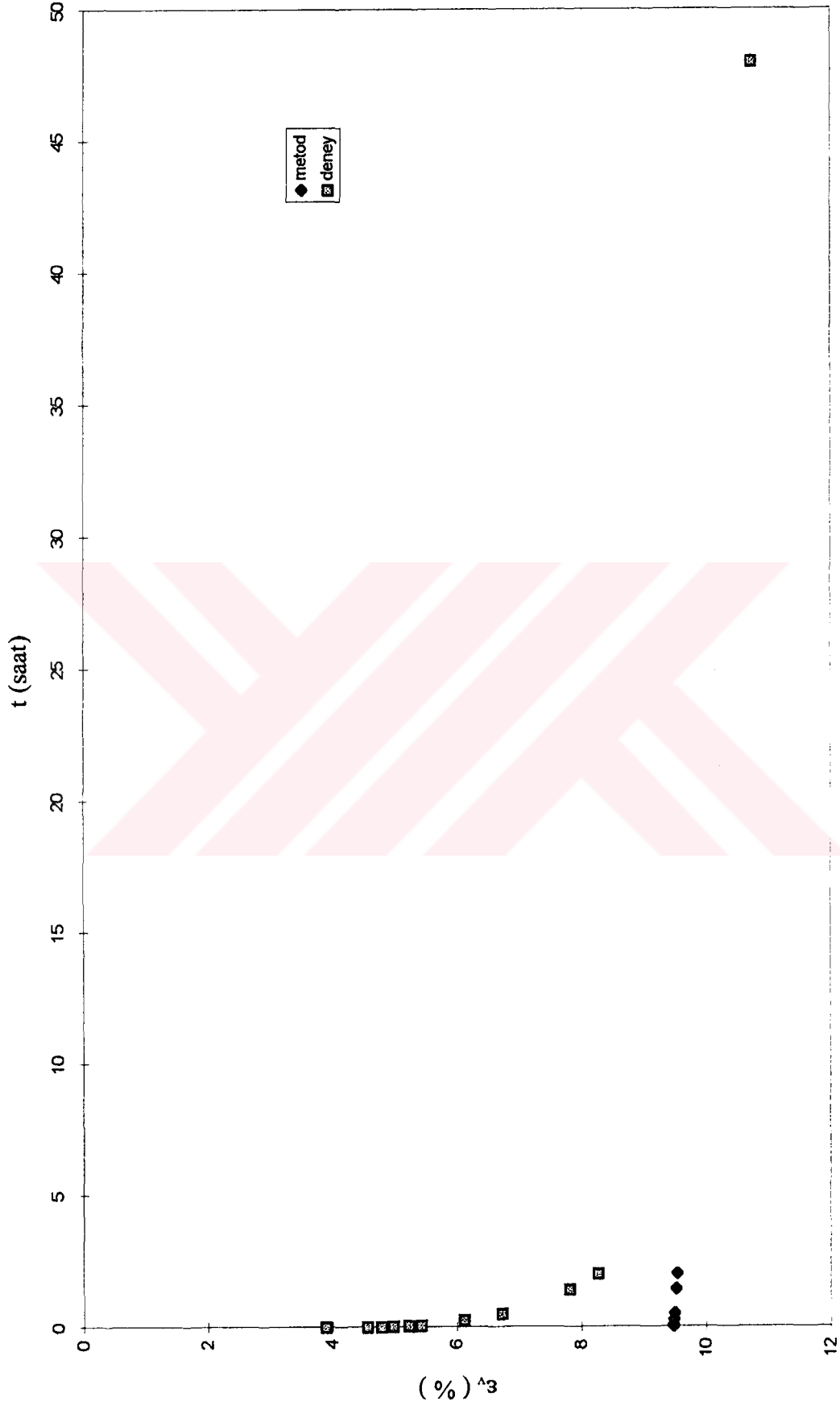
Şekil E3.10 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 400$ kPa



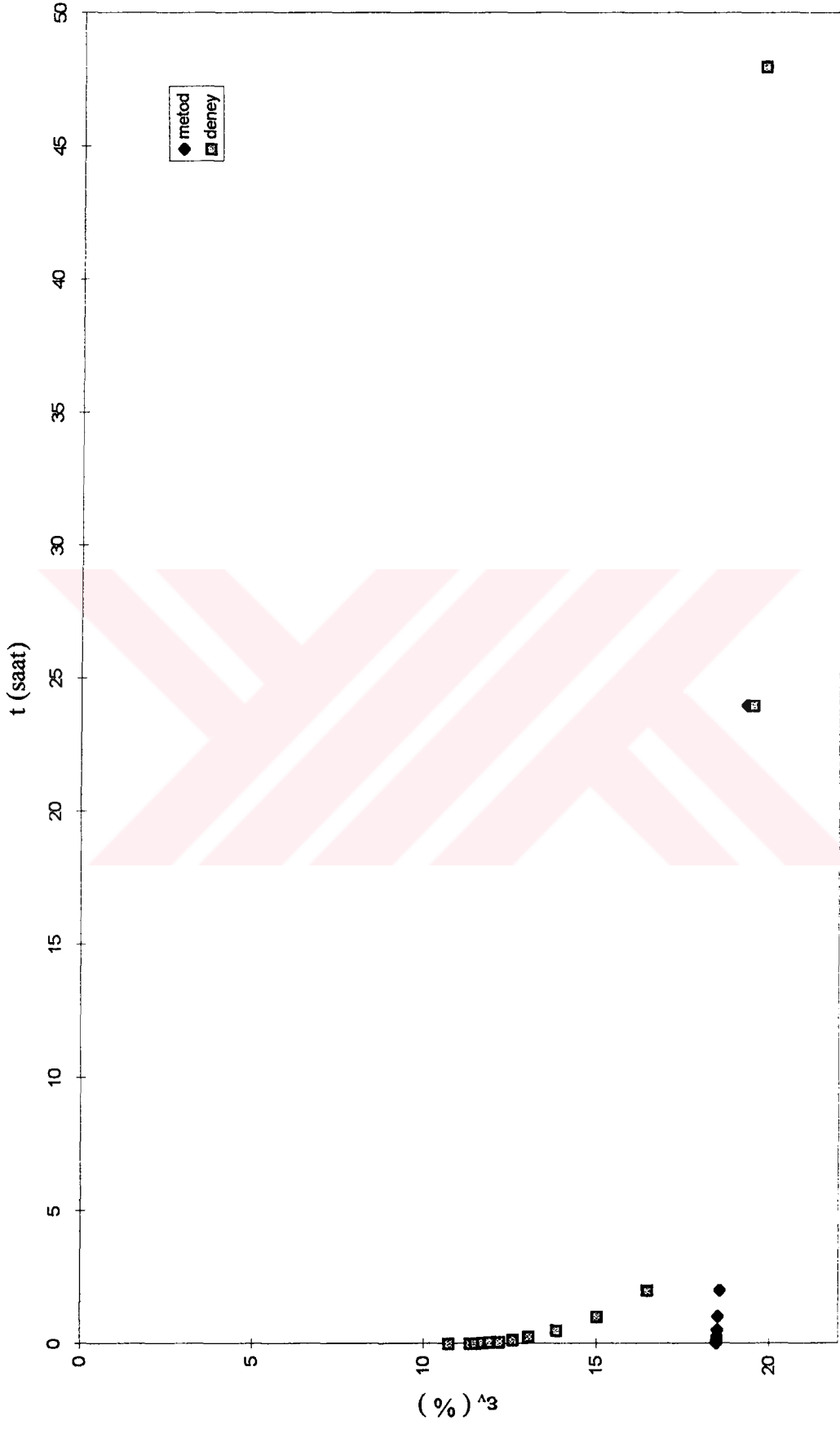
Şekil E3.11 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 800$ kPa



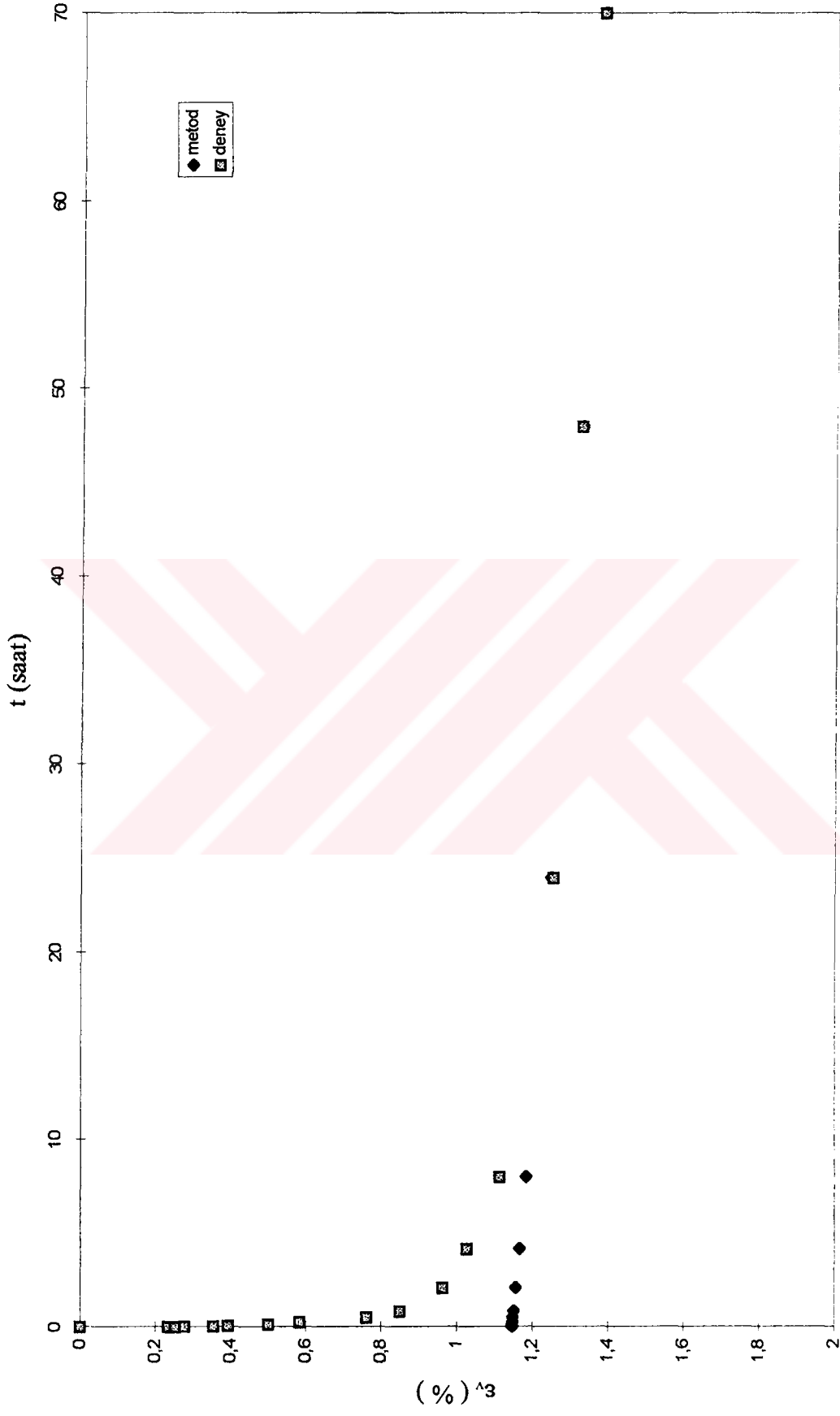
Şekil E3.12 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değışirme - zaman davranışı

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 1600 \text{ kPa}$



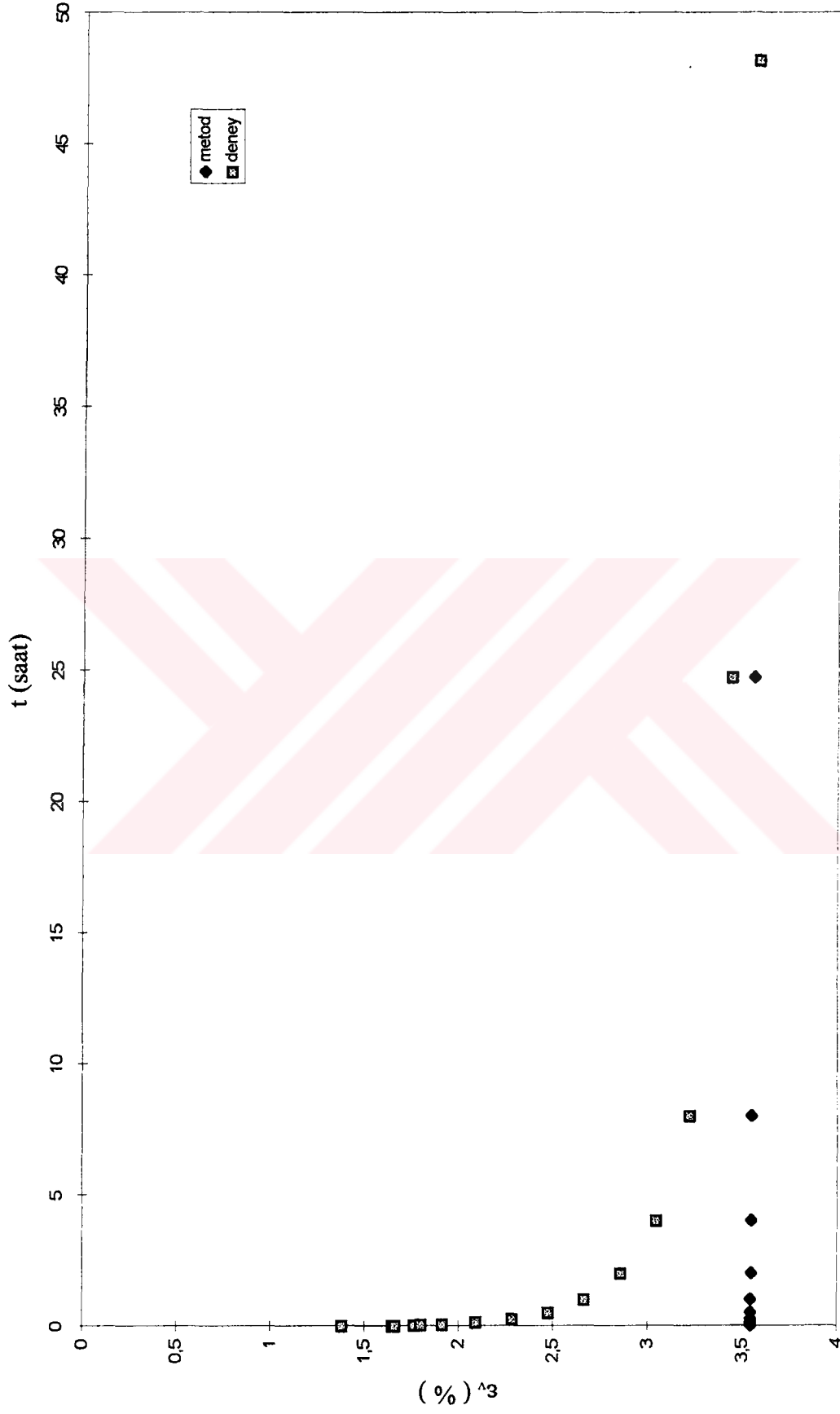
Şekil E3.13 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



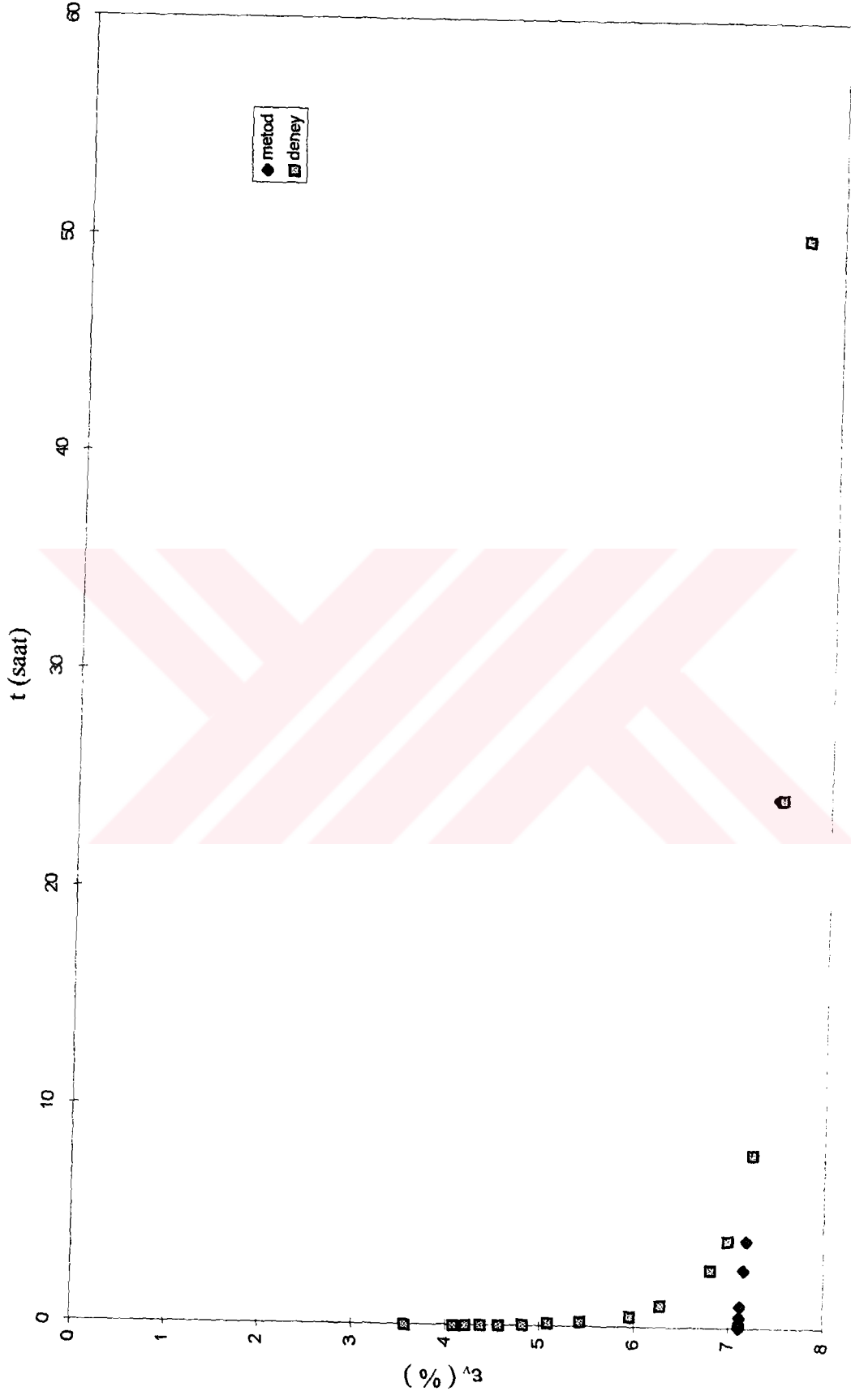
Şekil E3.14 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



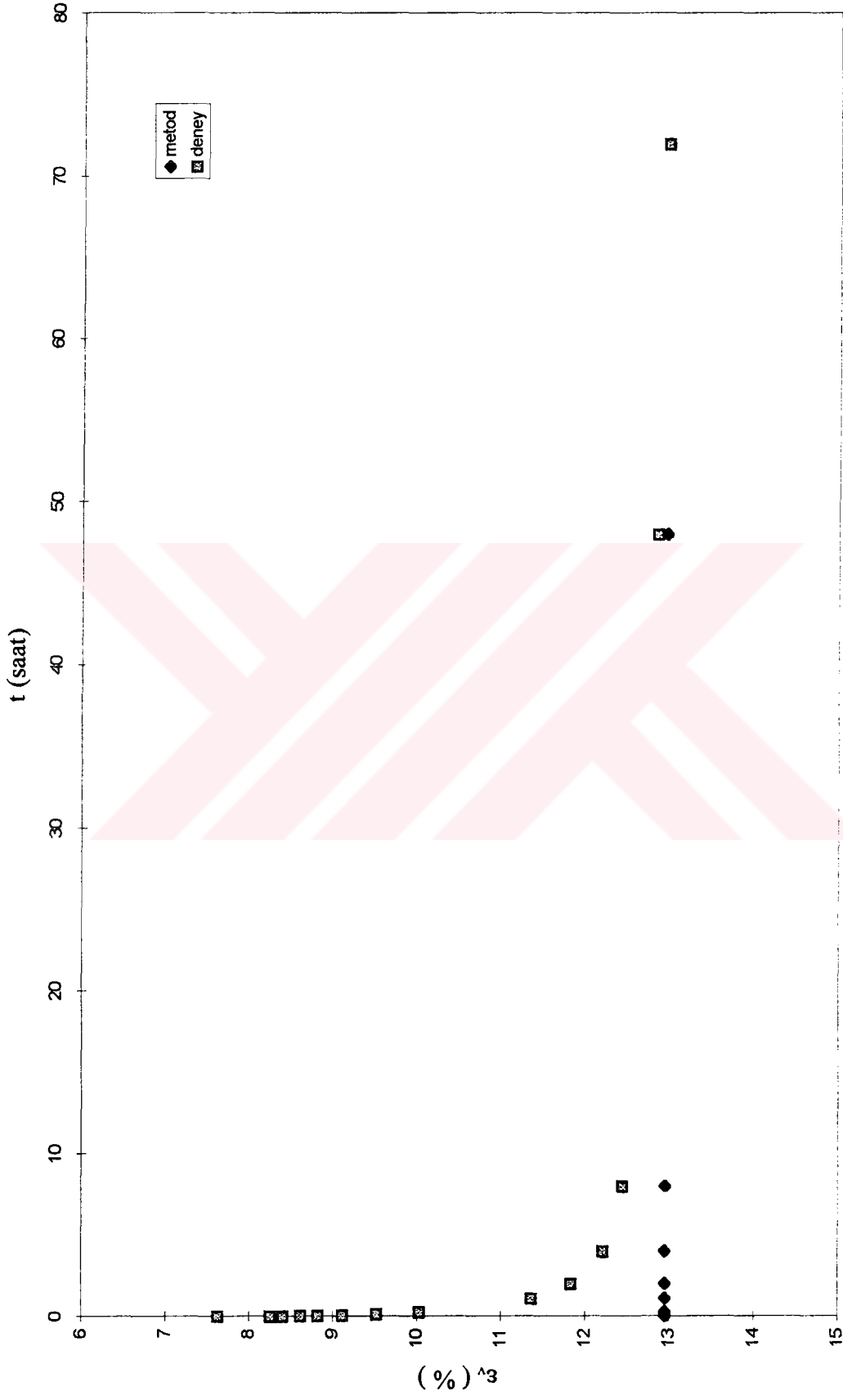
Şekil E3.15 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



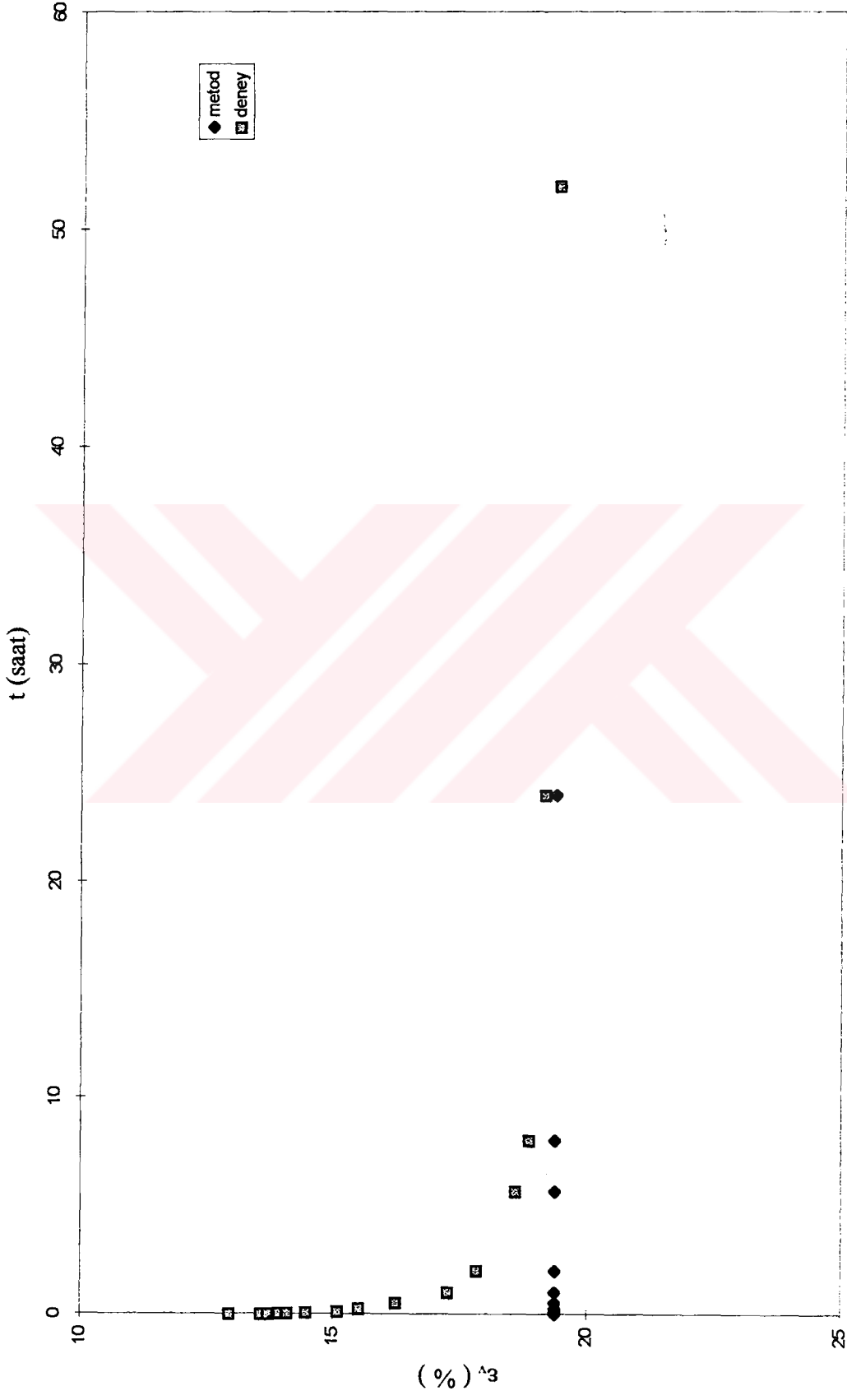
Şekil E3.16 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 200$ kPa

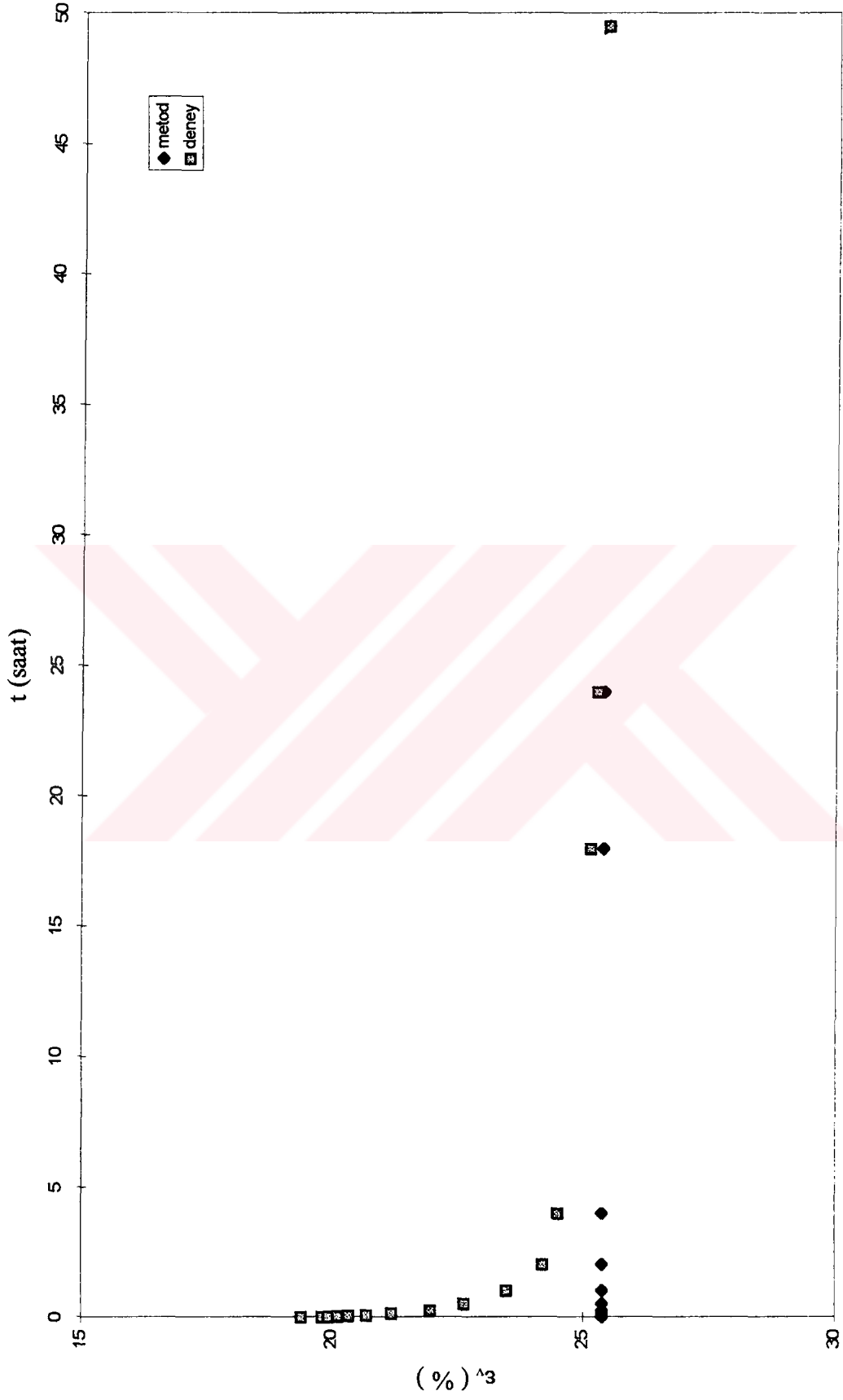


Şekil E3.17 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$

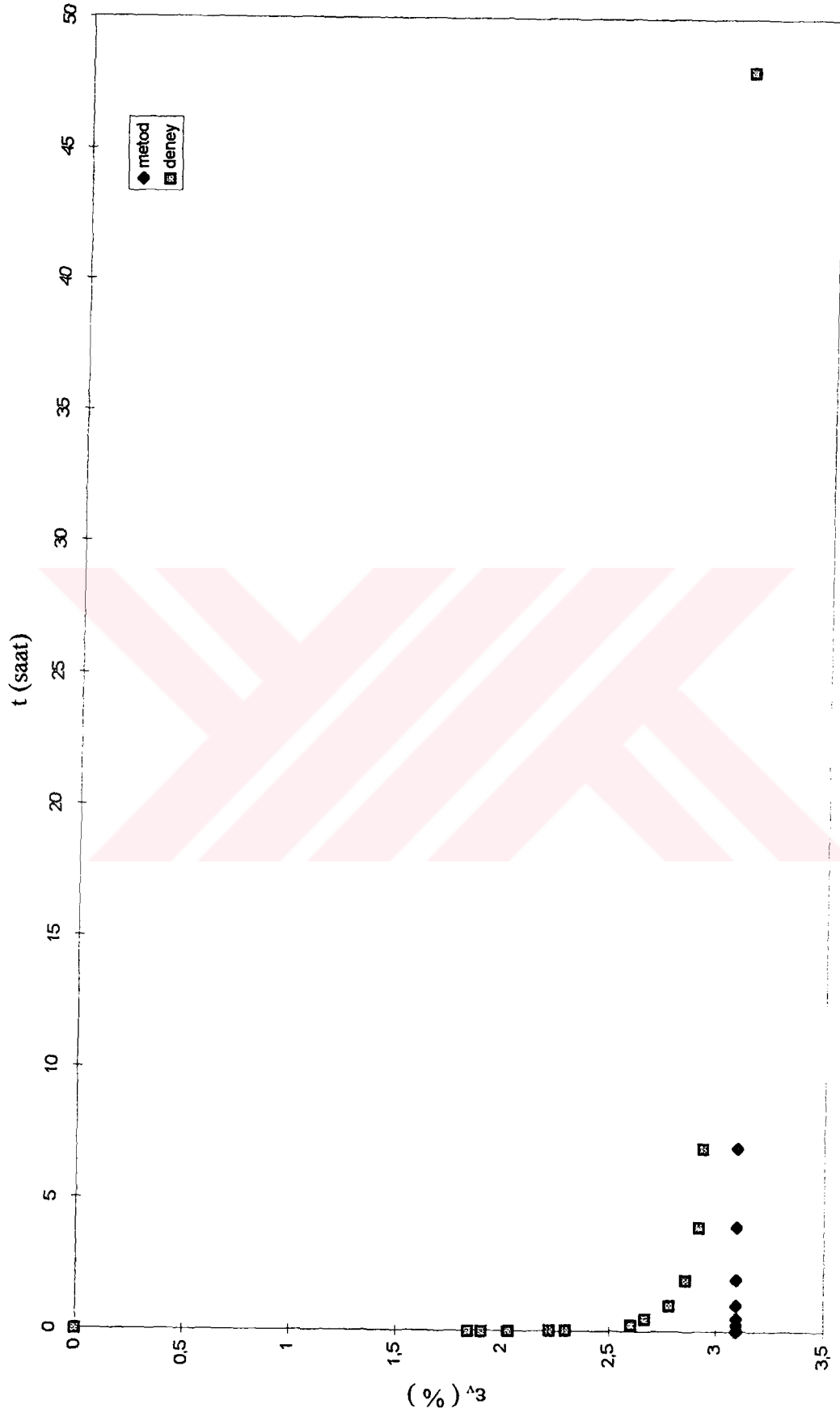


DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 800$ kPa



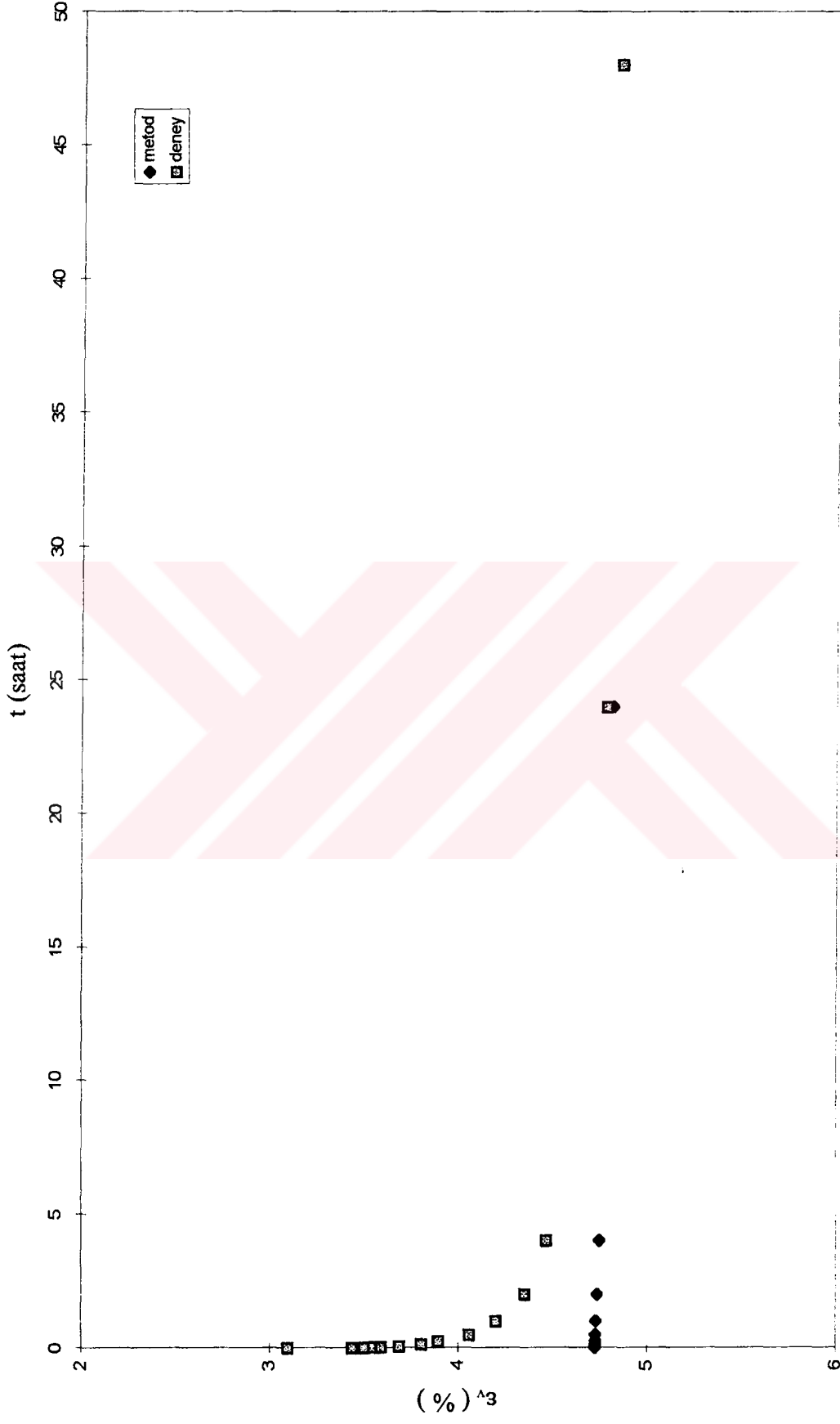
Şekil E3.19 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



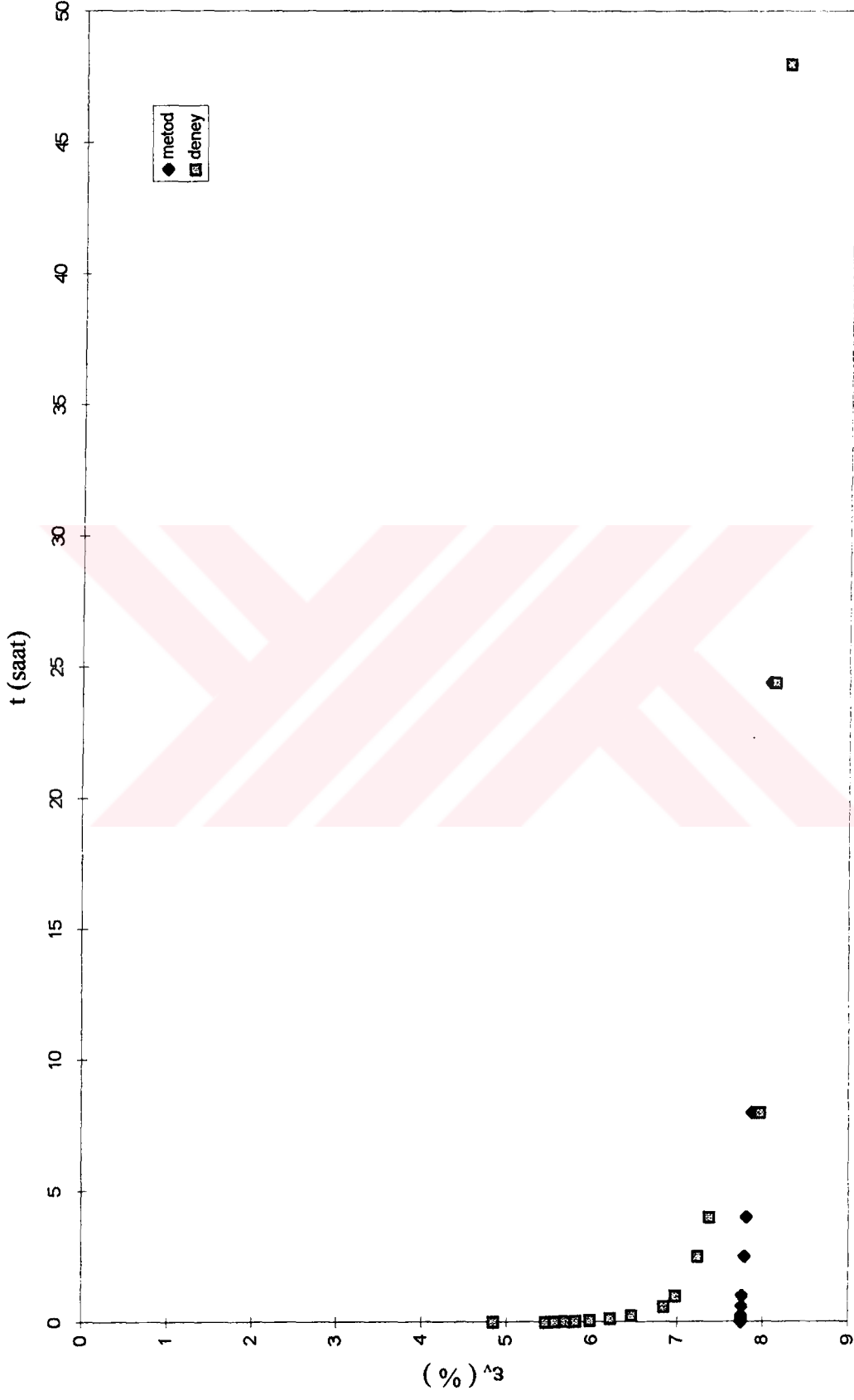
Şekil E3.20 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



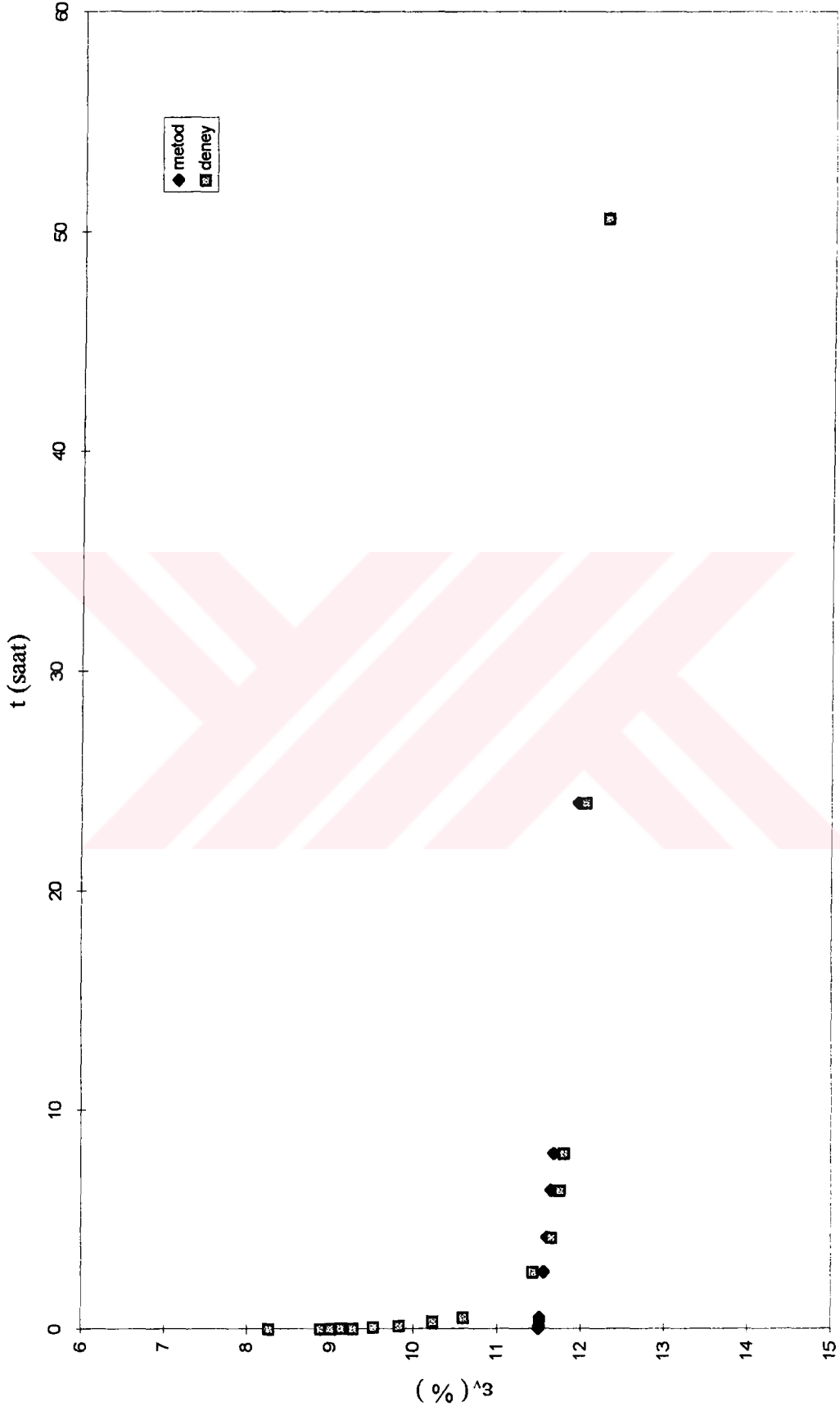
Şekil E3.21 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şkil değıştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



Şekil E3.22 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$

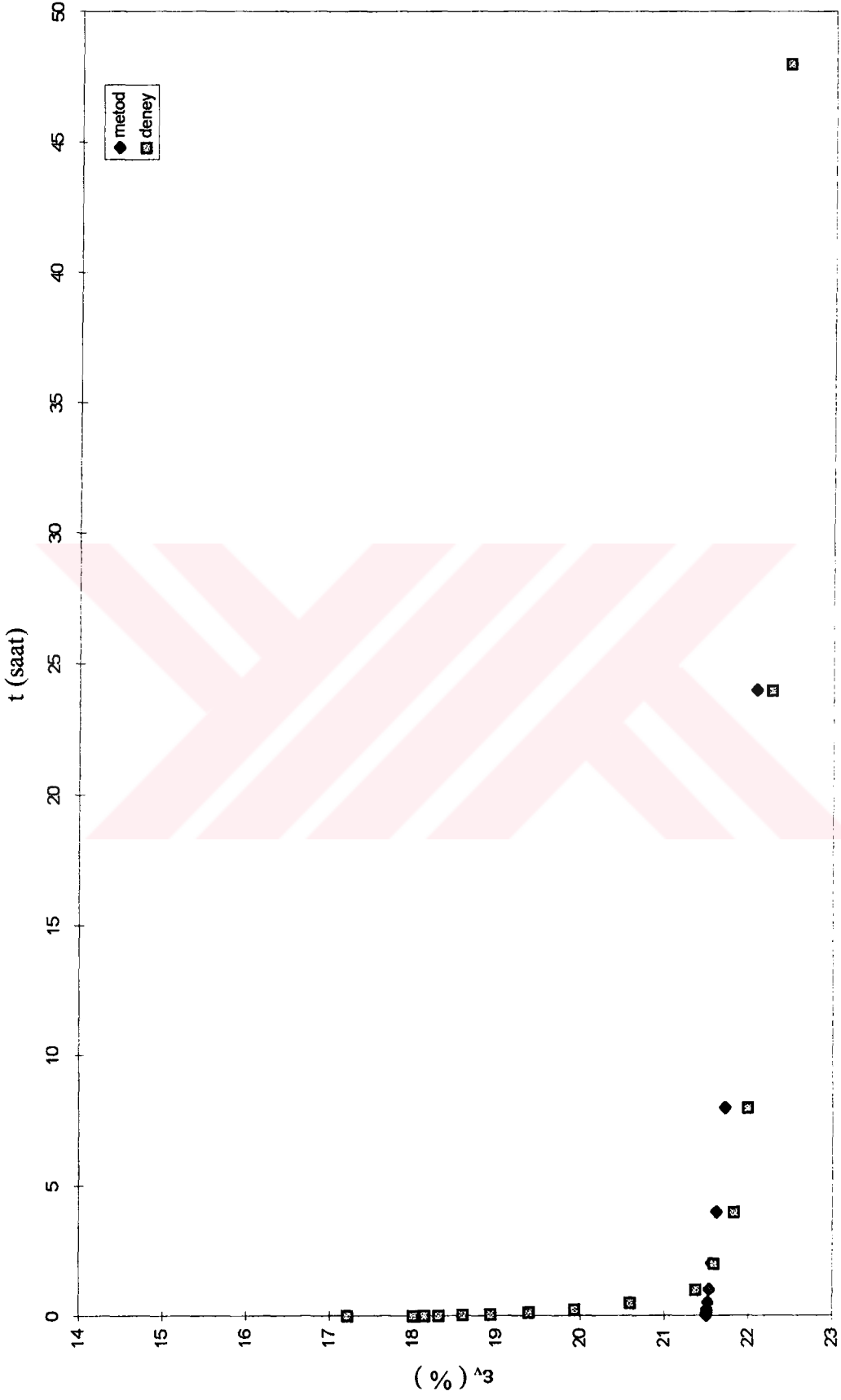


DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 400$ kPa



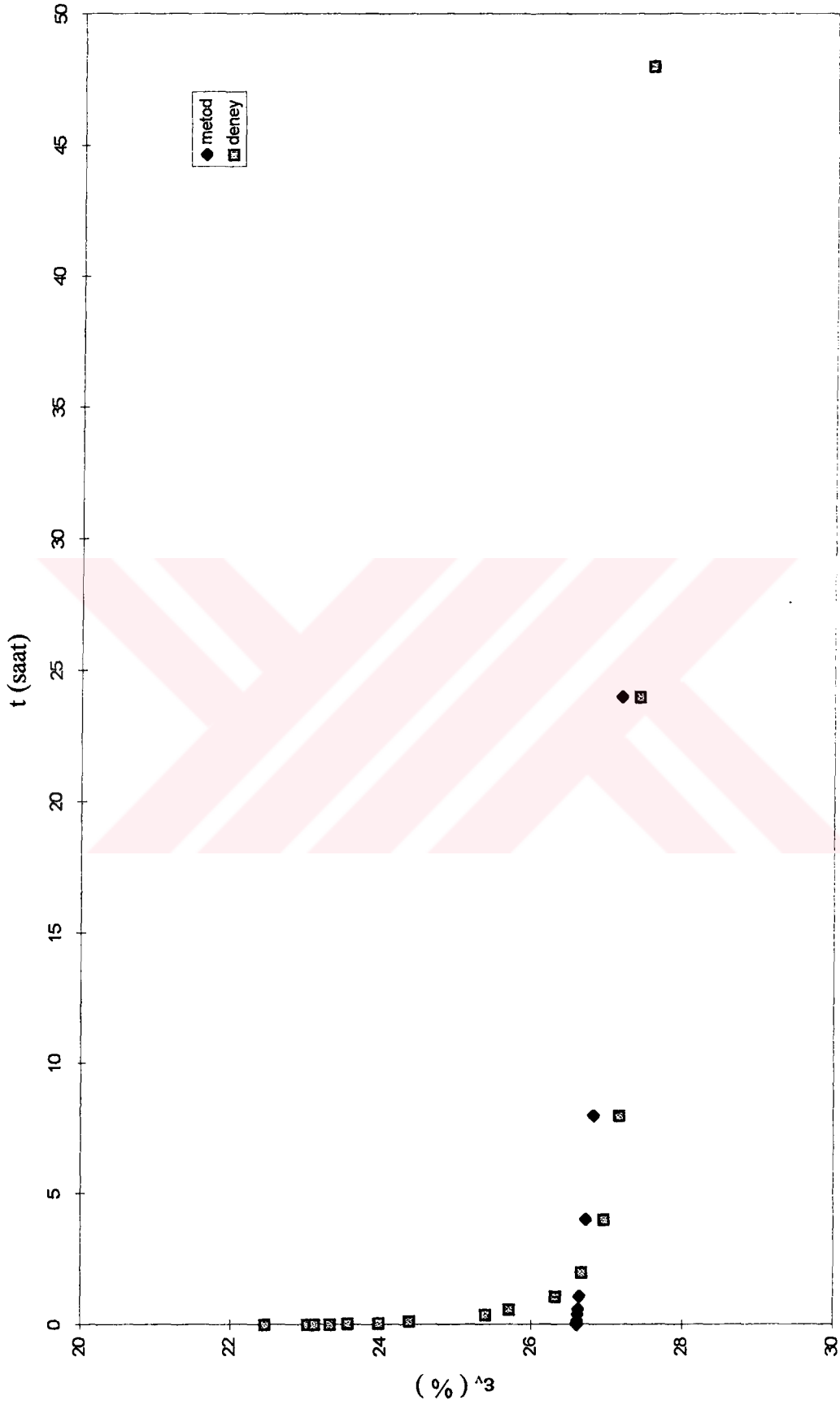
Şekil E3.24 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 800$ kPa



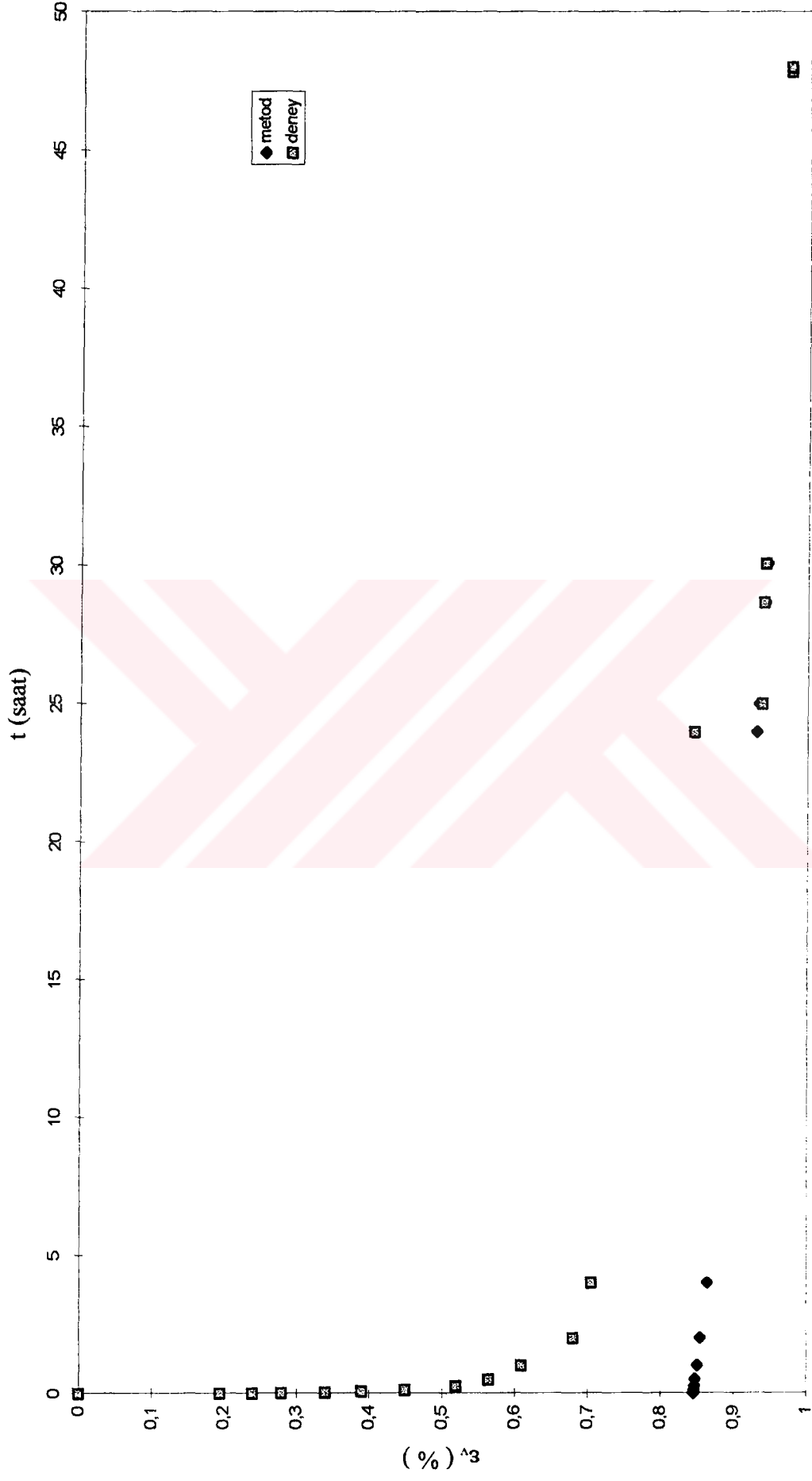
Şekil E3.25 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değıştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 1600$ kPa



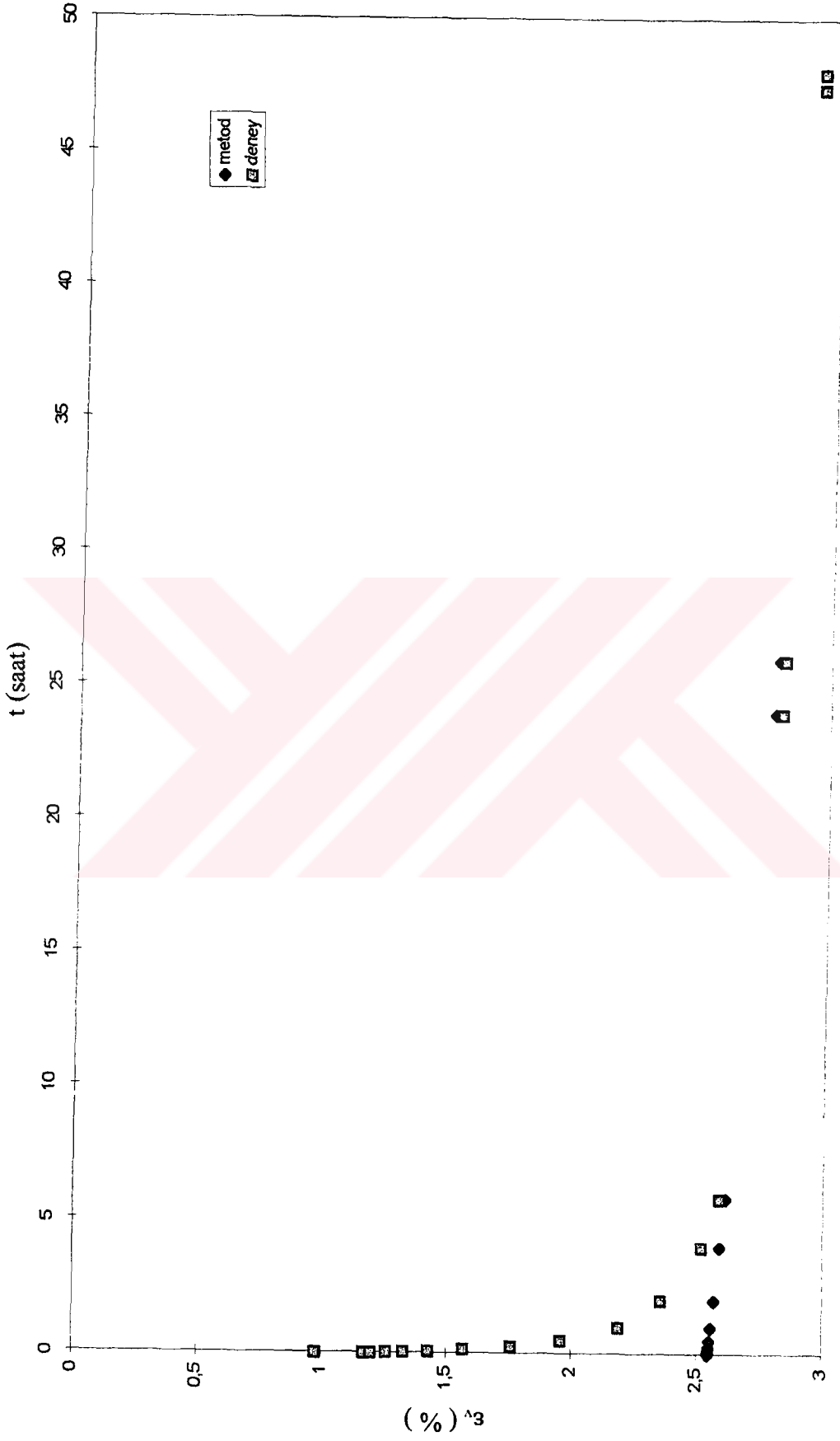
Şekil E3.26 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



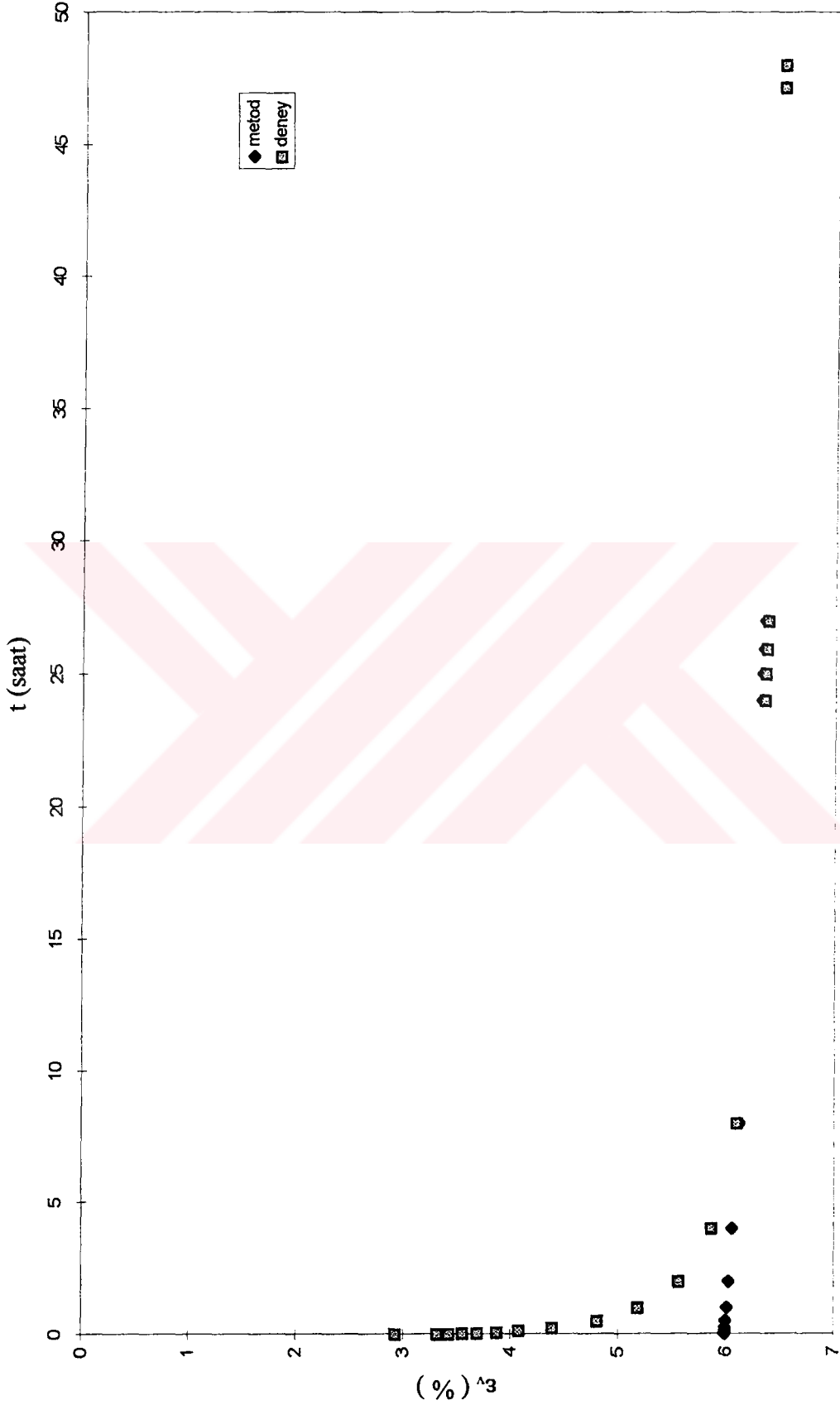
Şekil E3.27 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



Şekil E3.28 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



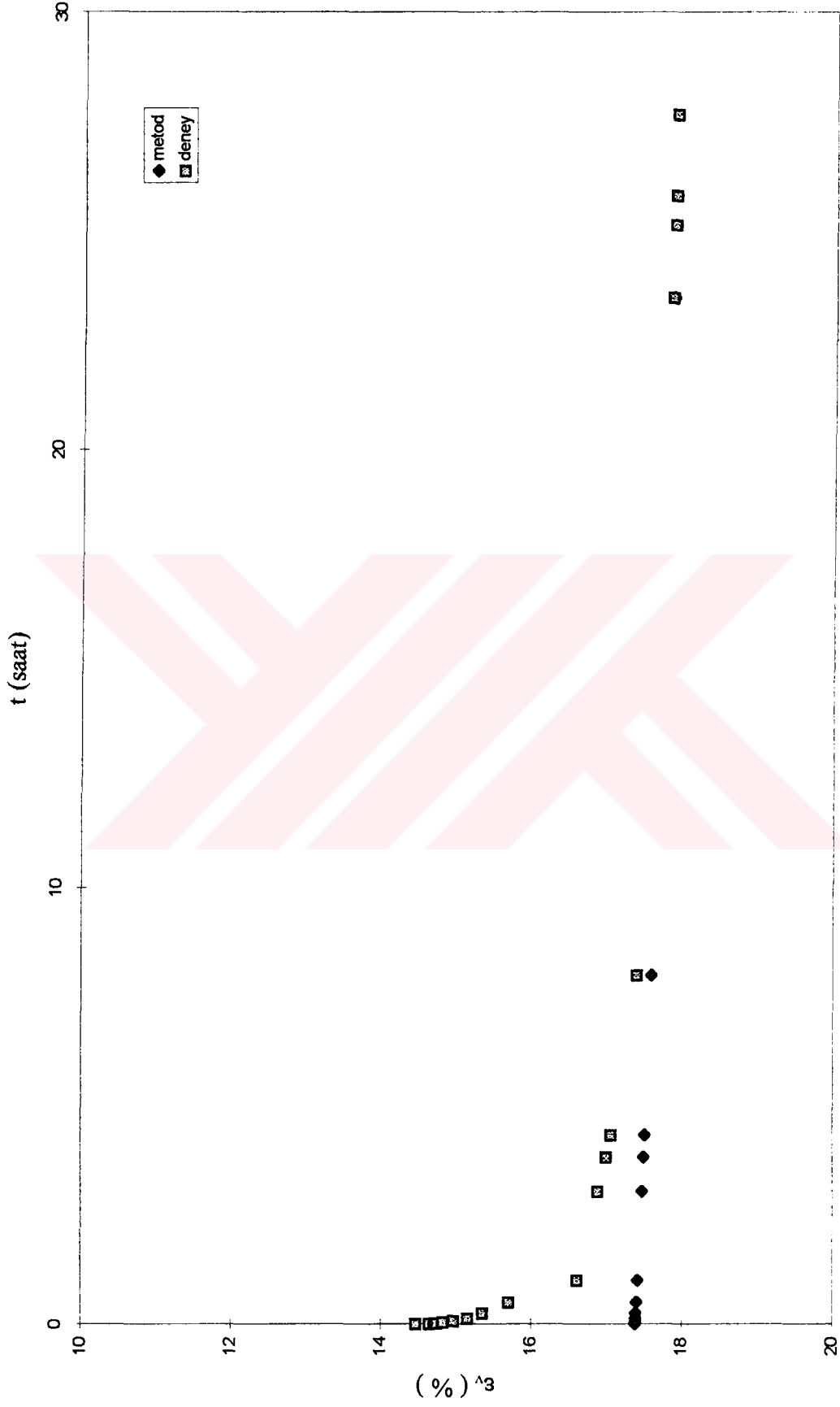
Şekil E3.29 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 250$ kPa



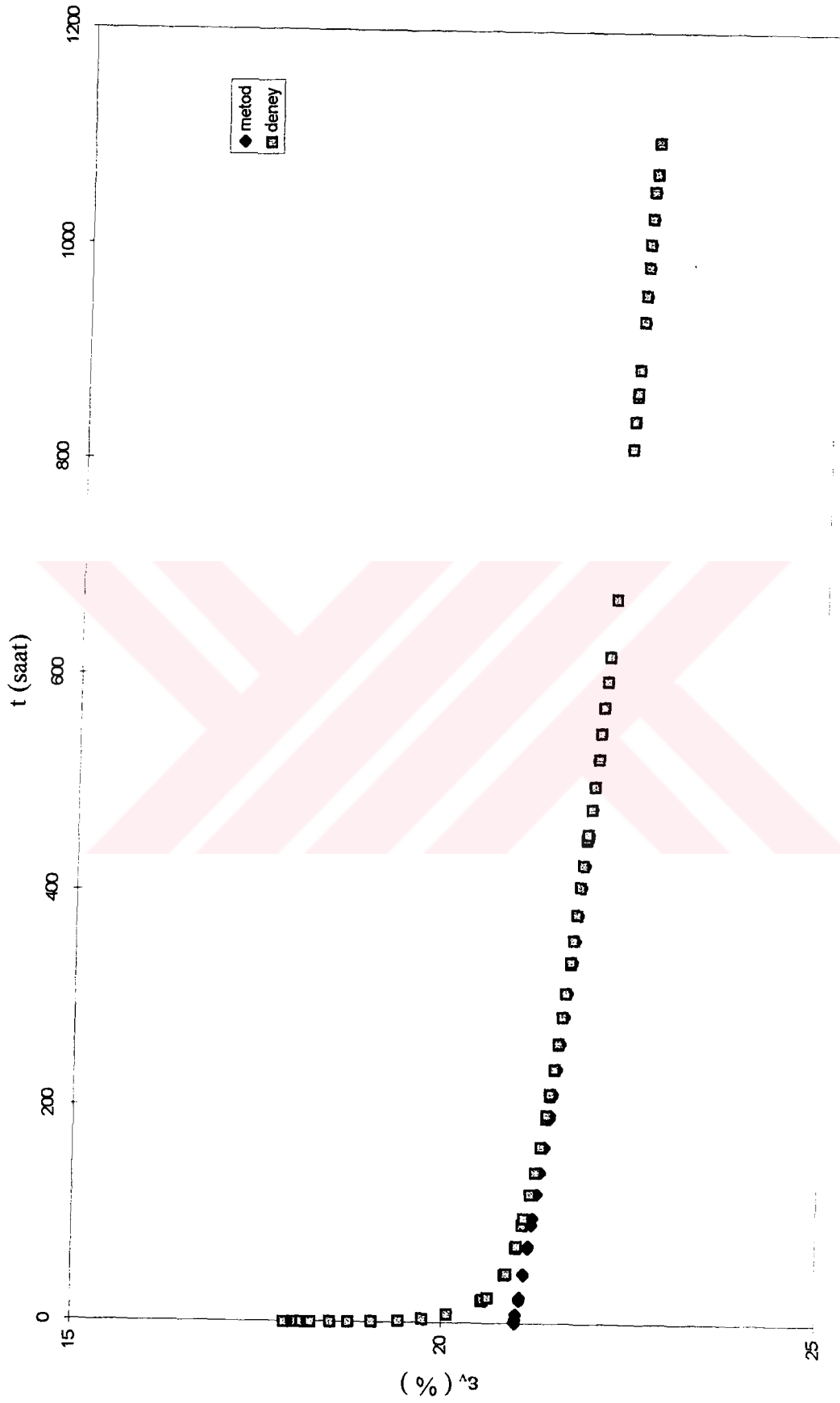
Şekil E3.30 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 370 \text{ kPa}$



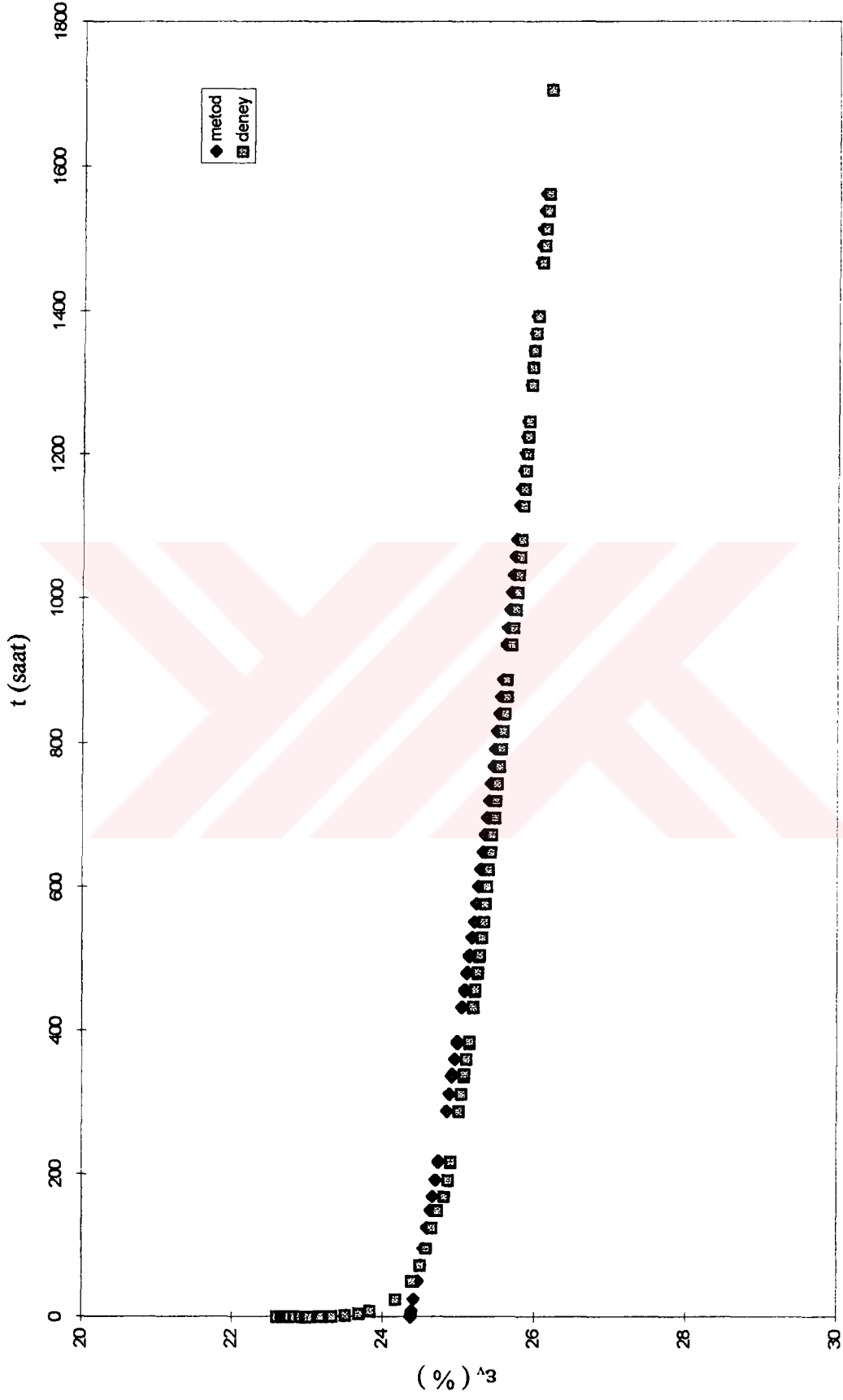
Şekil E3.31 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 490 \text{ kPa}$

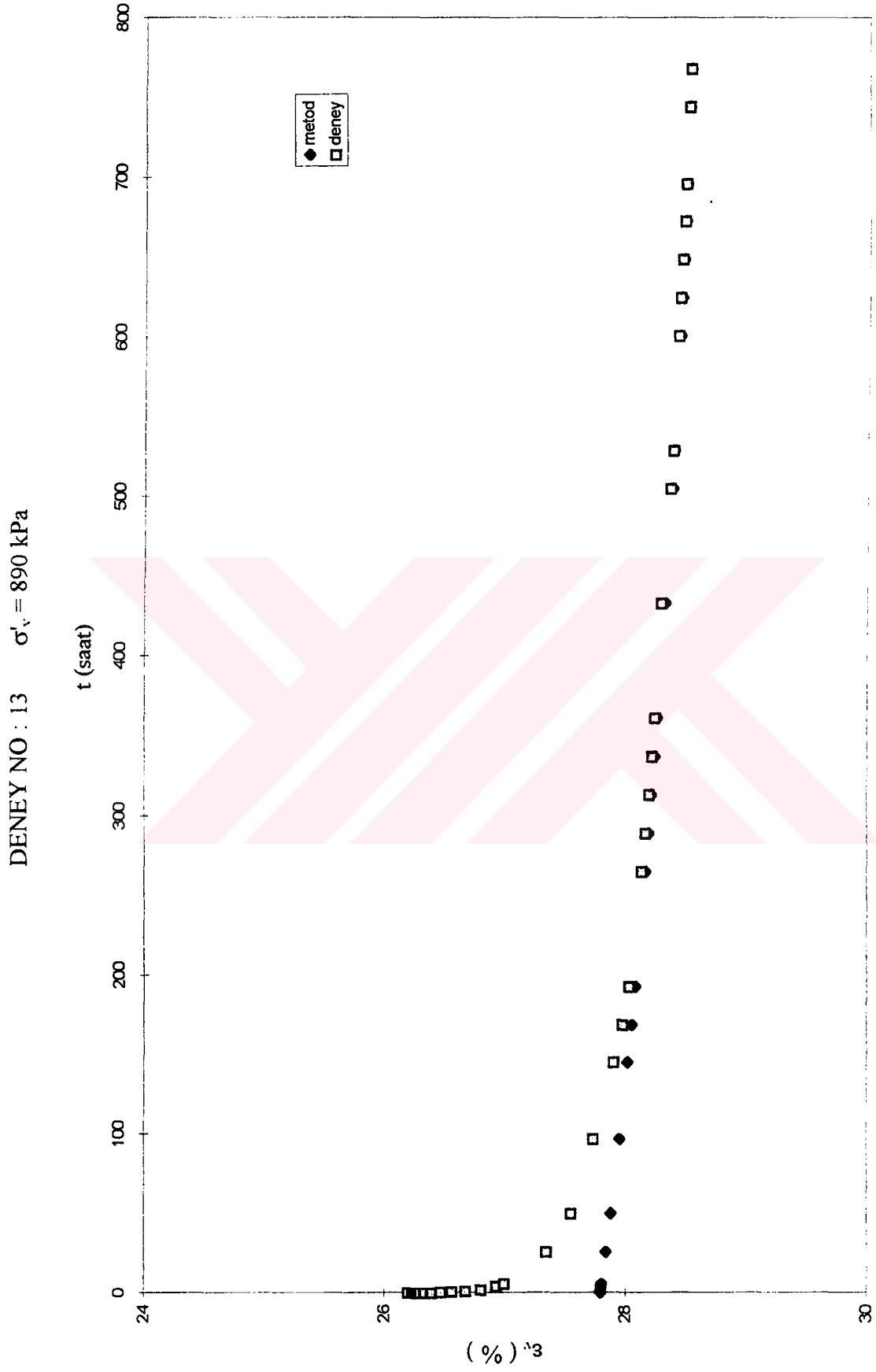


Şekil E3.32 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 13 $\sigma'_v = 690$ kPa

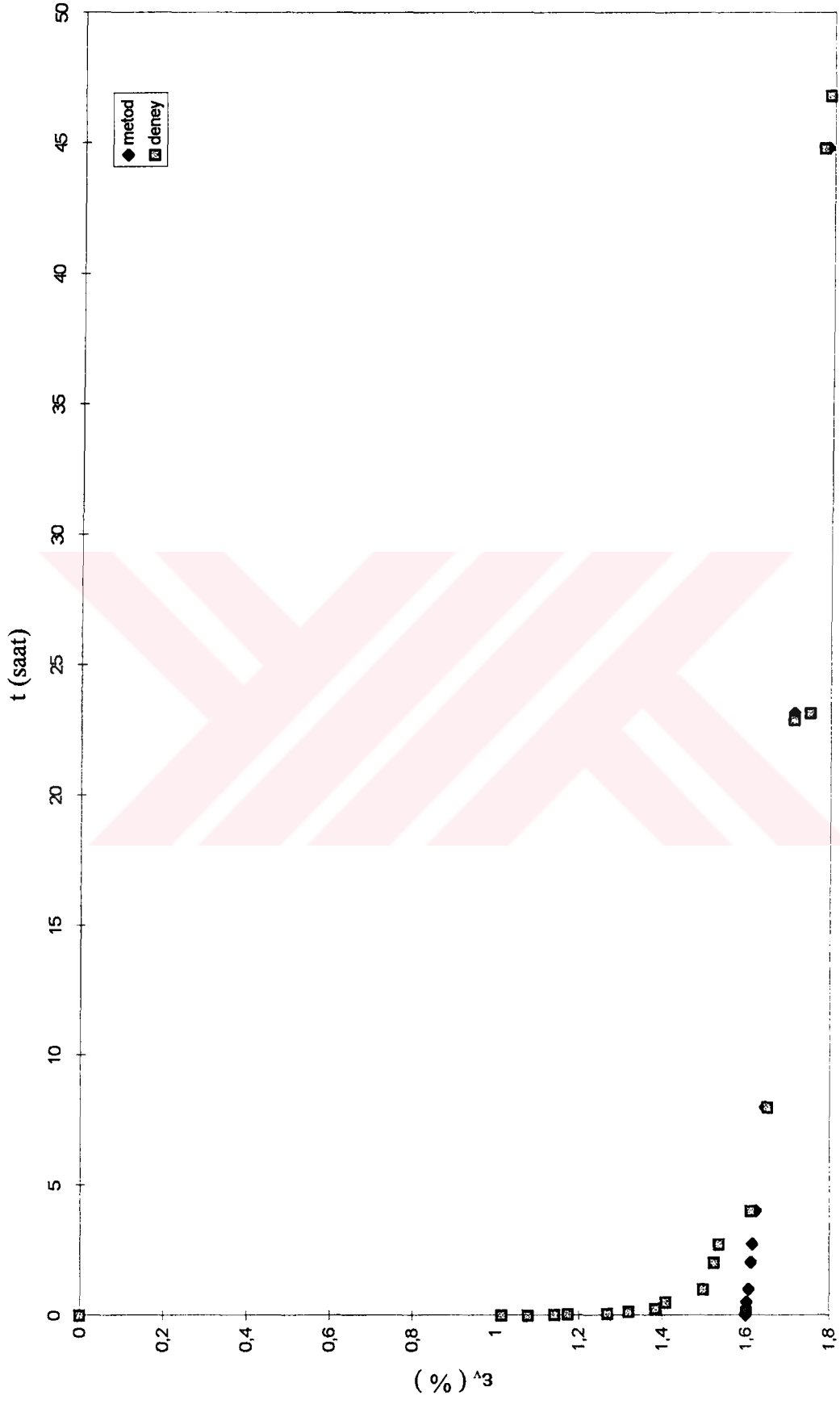


Şekil E3.33 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı



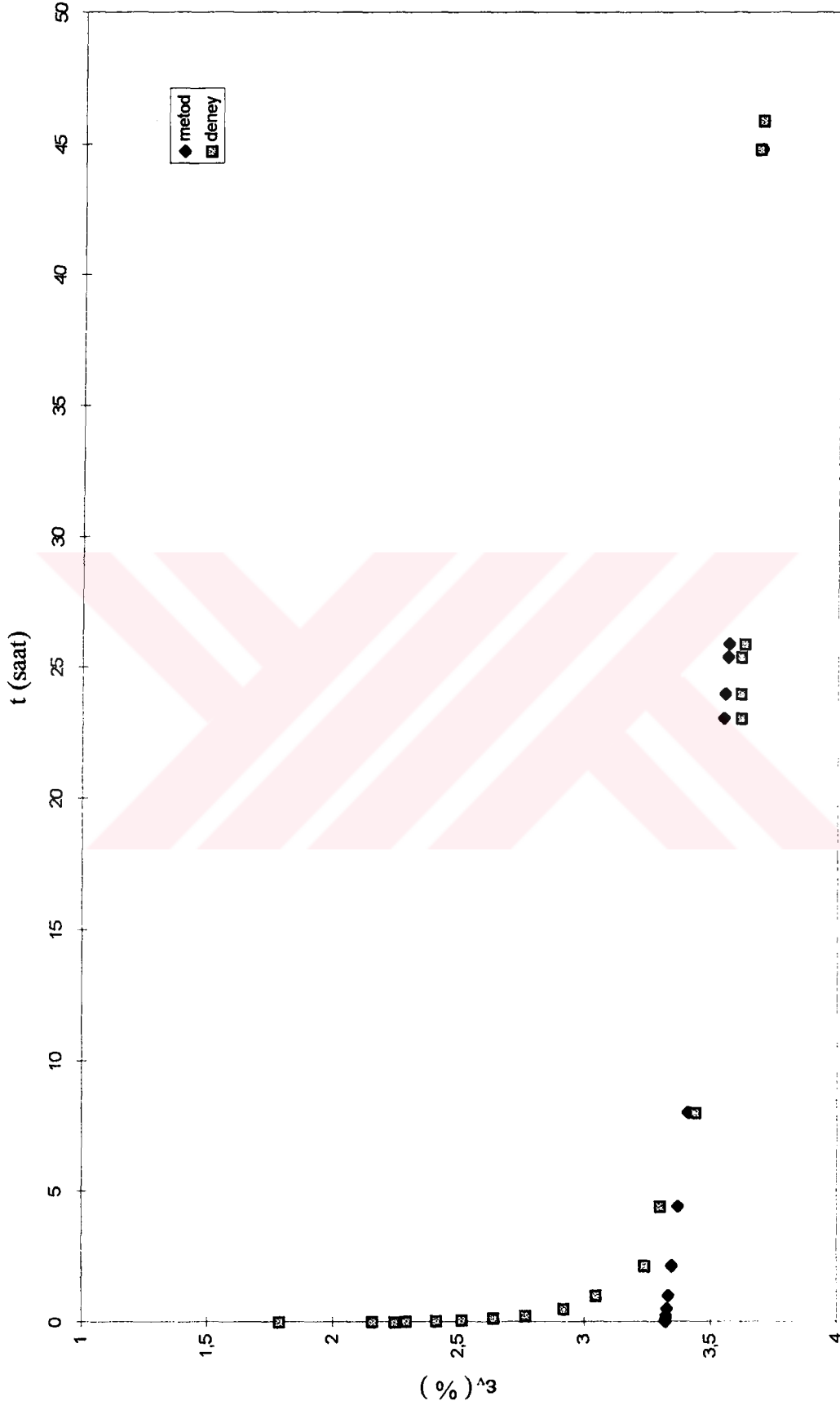
Şekil E3.34 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



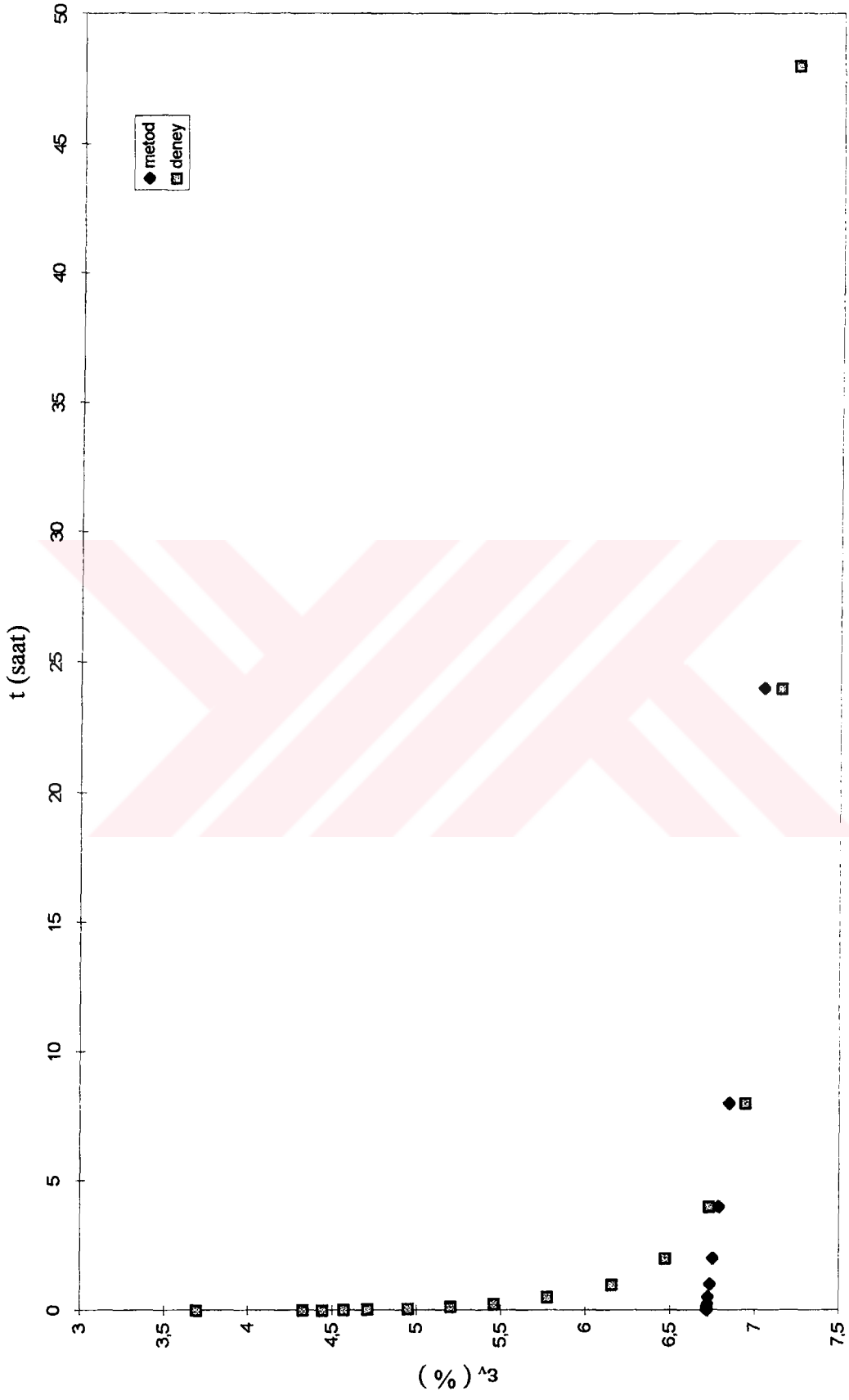
Şekil E3.35 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 50\text{kPa}$



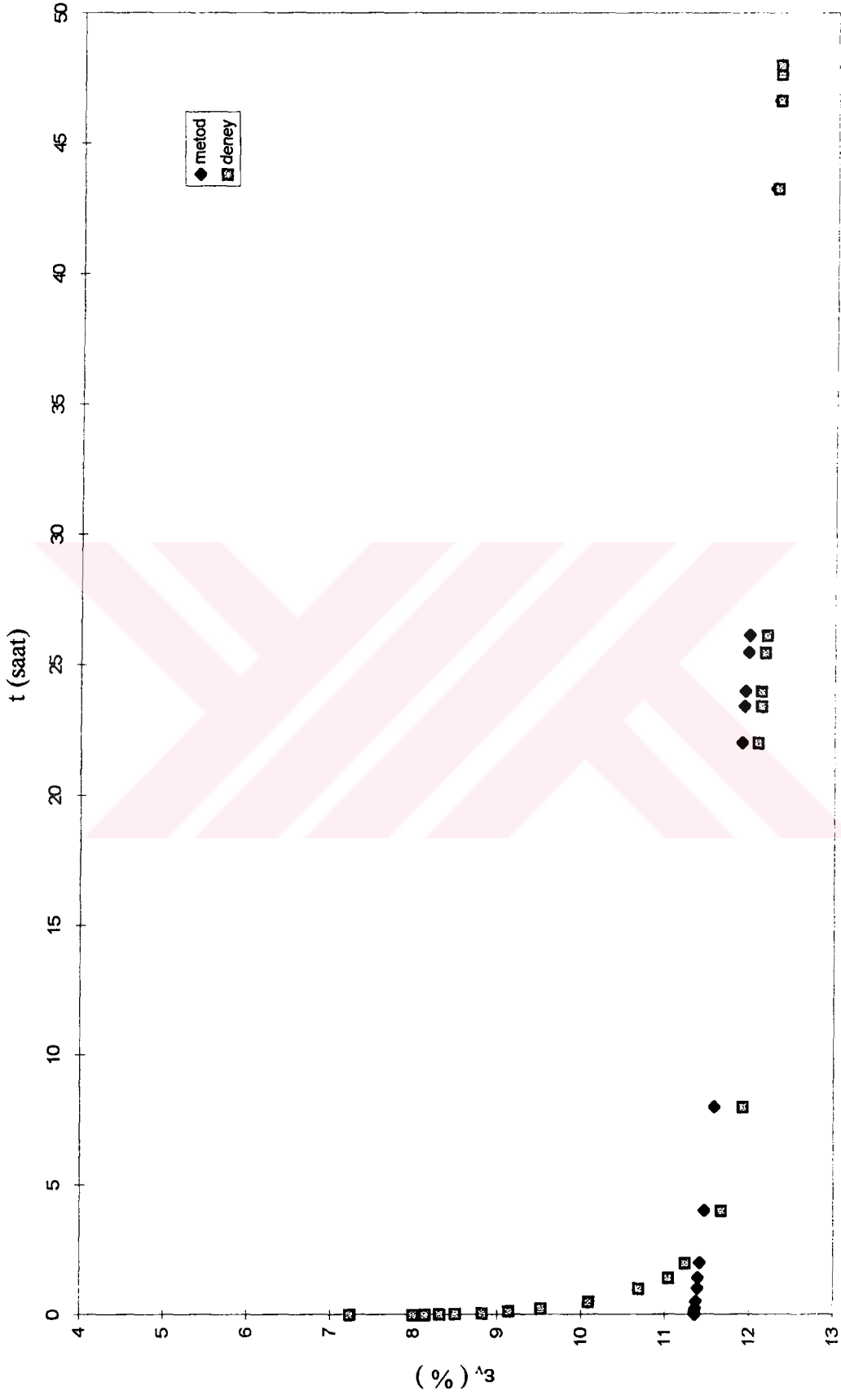
Şekil E3.36 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



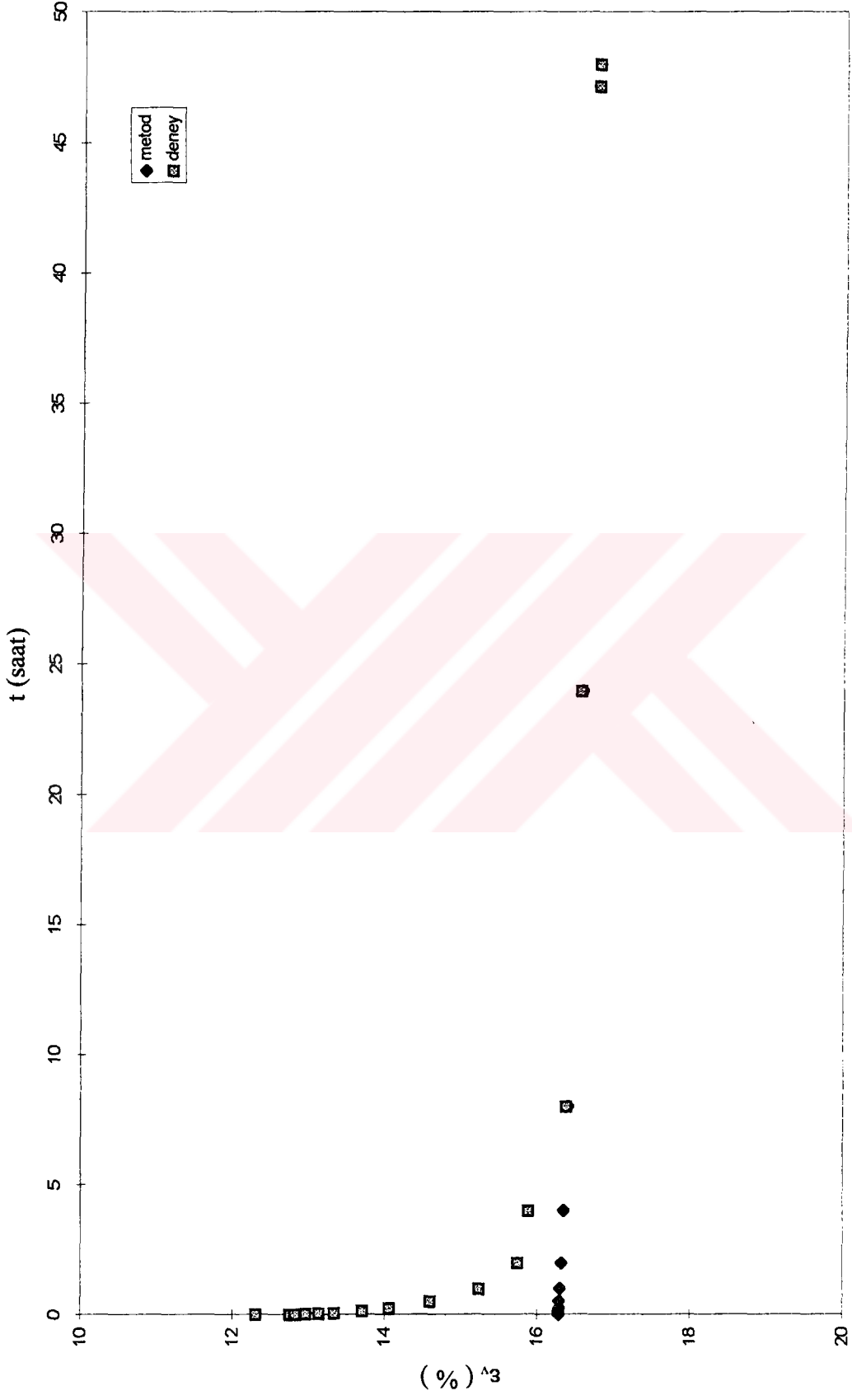
Şekil E3.37 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



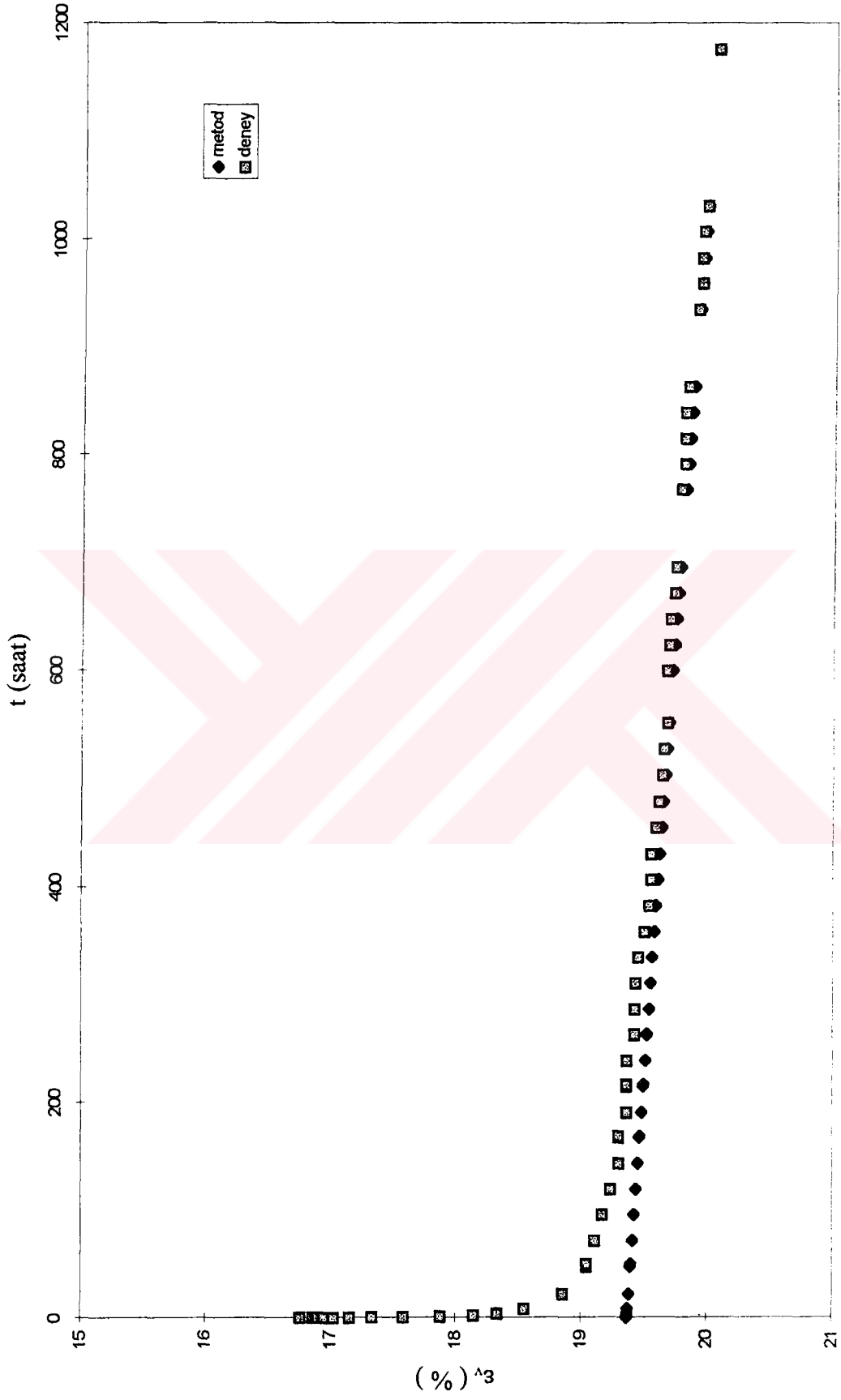
Şekil E3.38 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 350 \text{ kPa}$



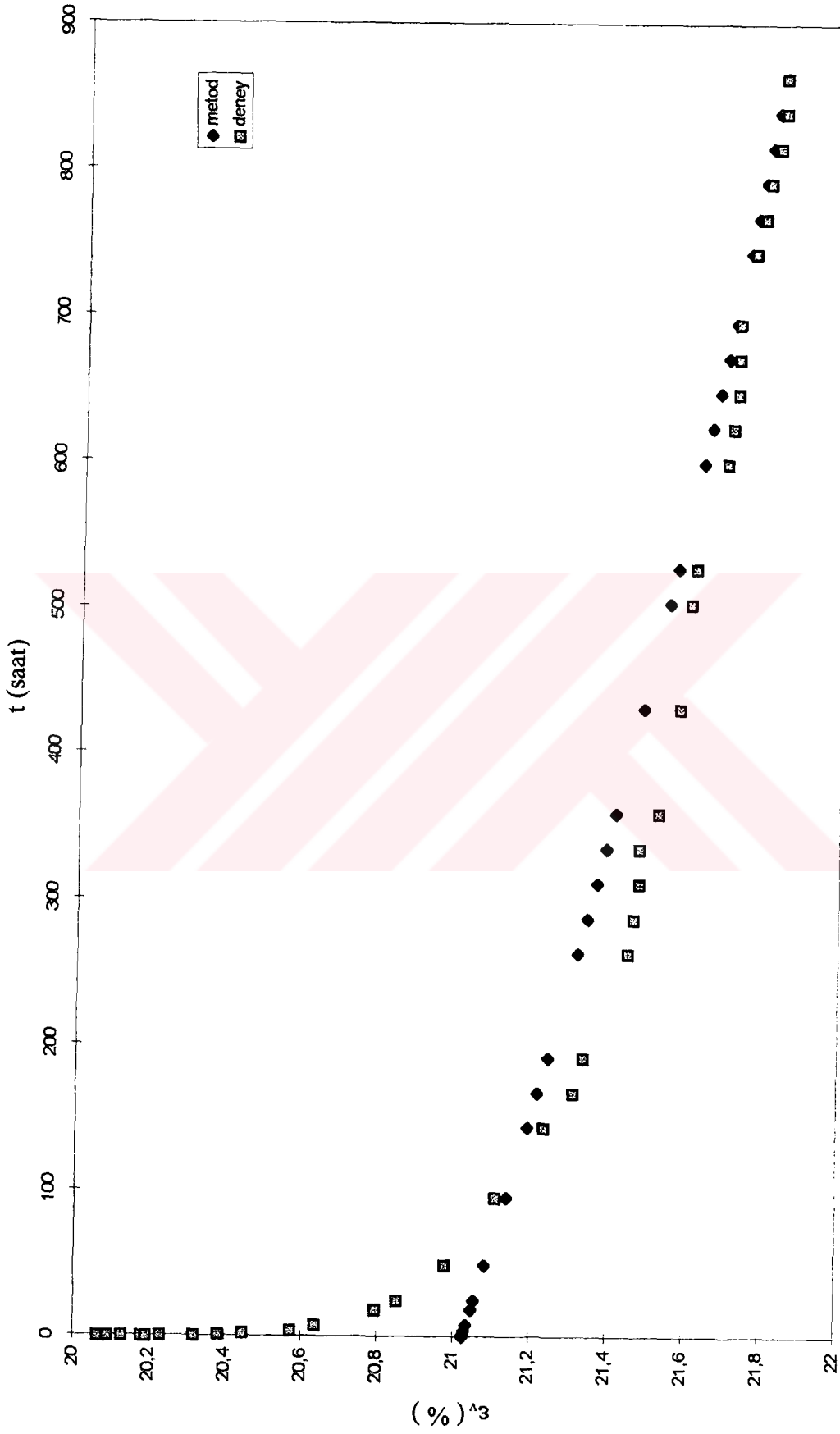
Şekil E3.39 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 470$ kPa



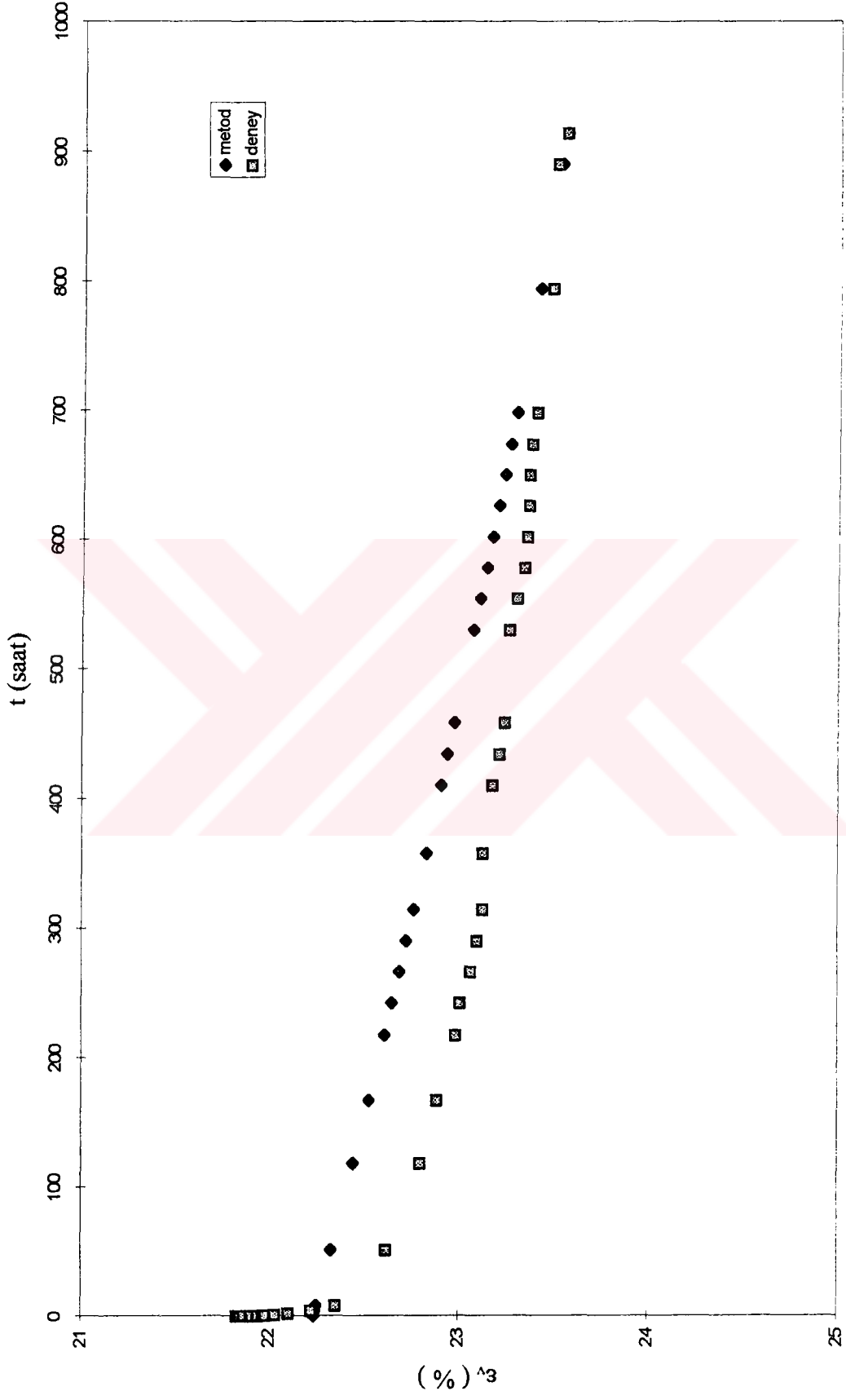
Şekil E3.40 Kripi deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 590 \text{ kPa}$



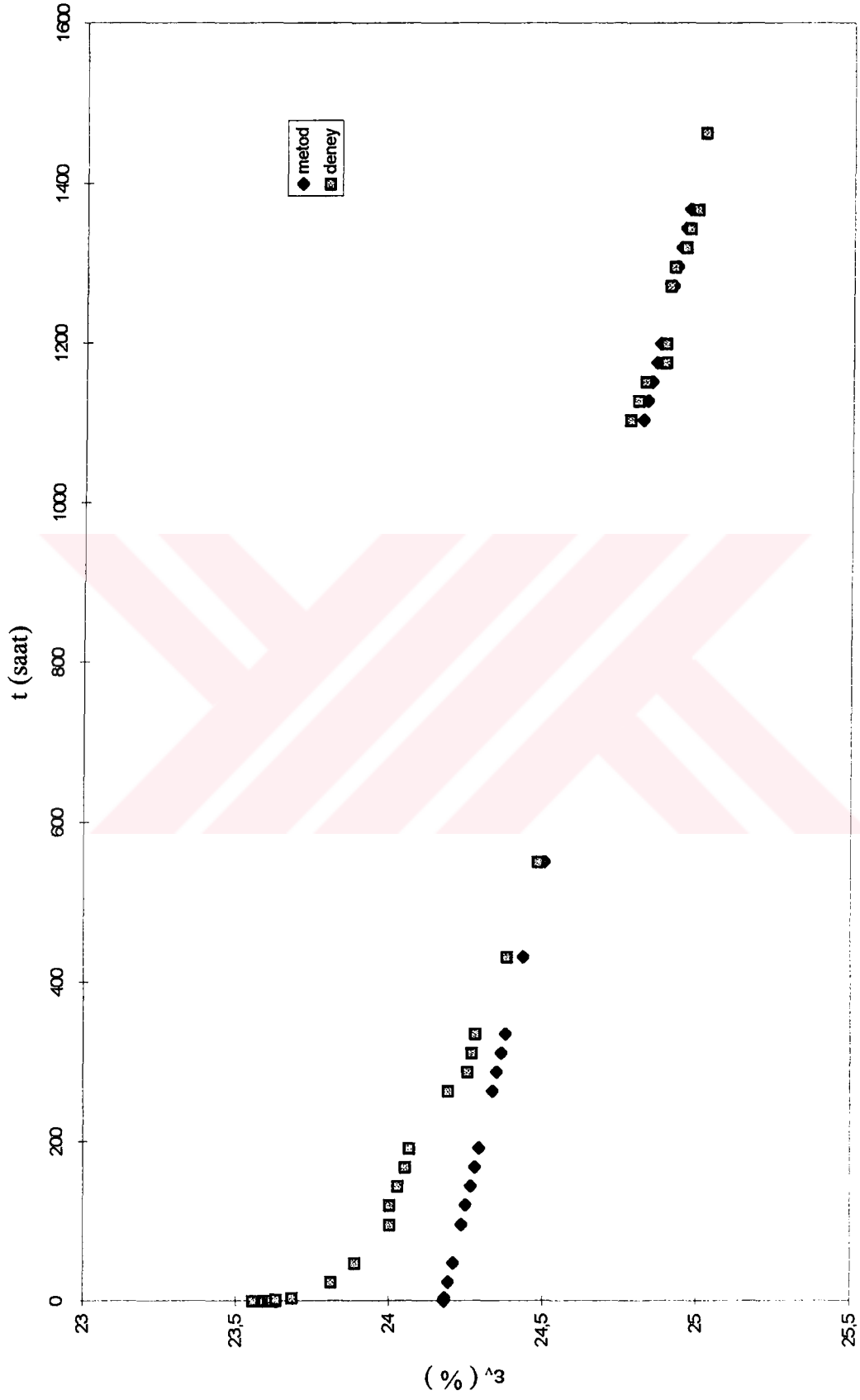
Şekil E3.41 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 710 \text{ kPa}$

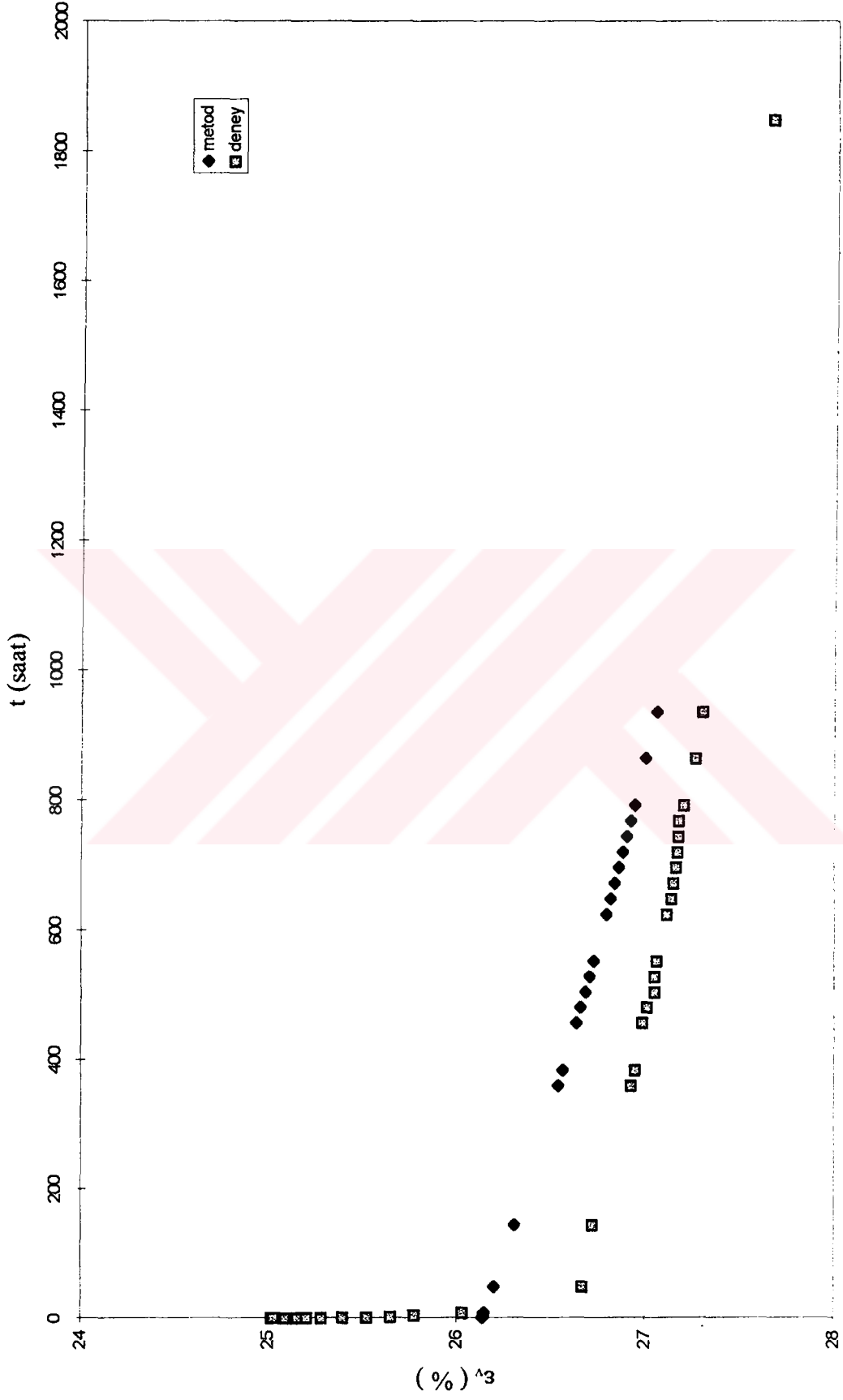


Şekil E3.42 Kripi deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 790 \text{ kPa}$

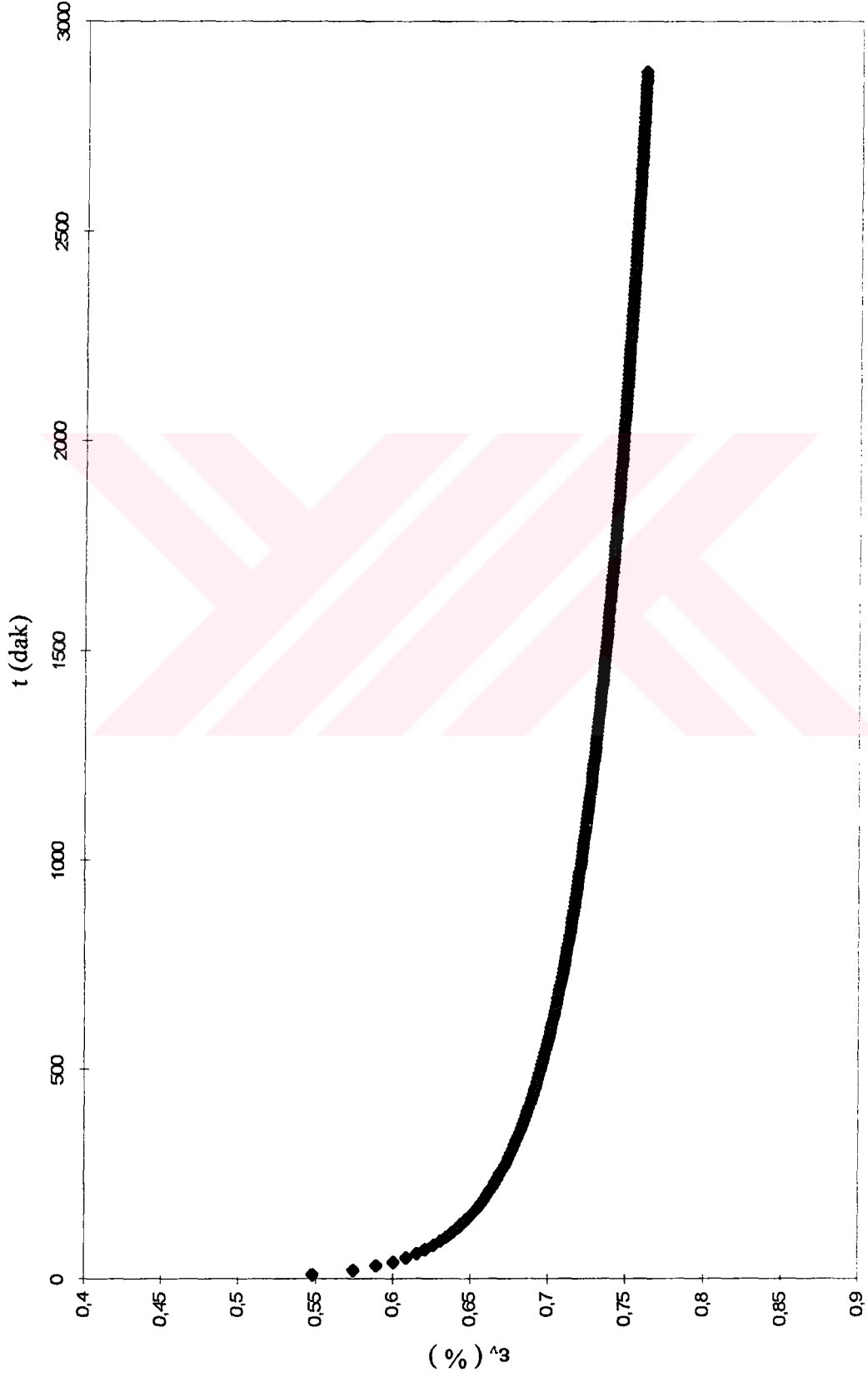


Şekil E3.43 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değişirme - zaman davranışı

DENEY NO : 14 $\sigma'_v = 990 \text{ kPa}$ 

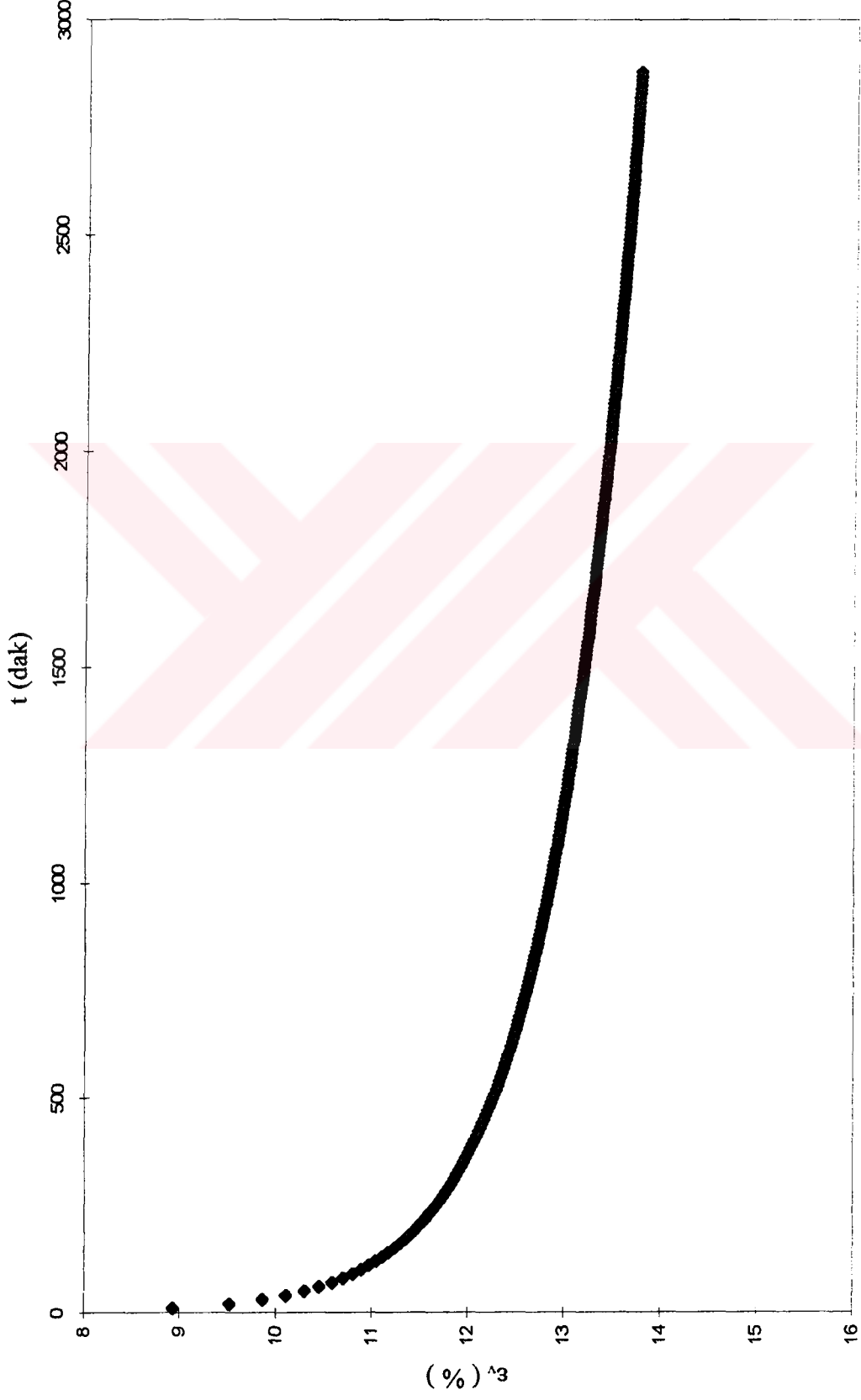
Şekil E3.44 Krip deneyinde ölçülen ve hesaplanan şekil değiştirme - zaman davranışı

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



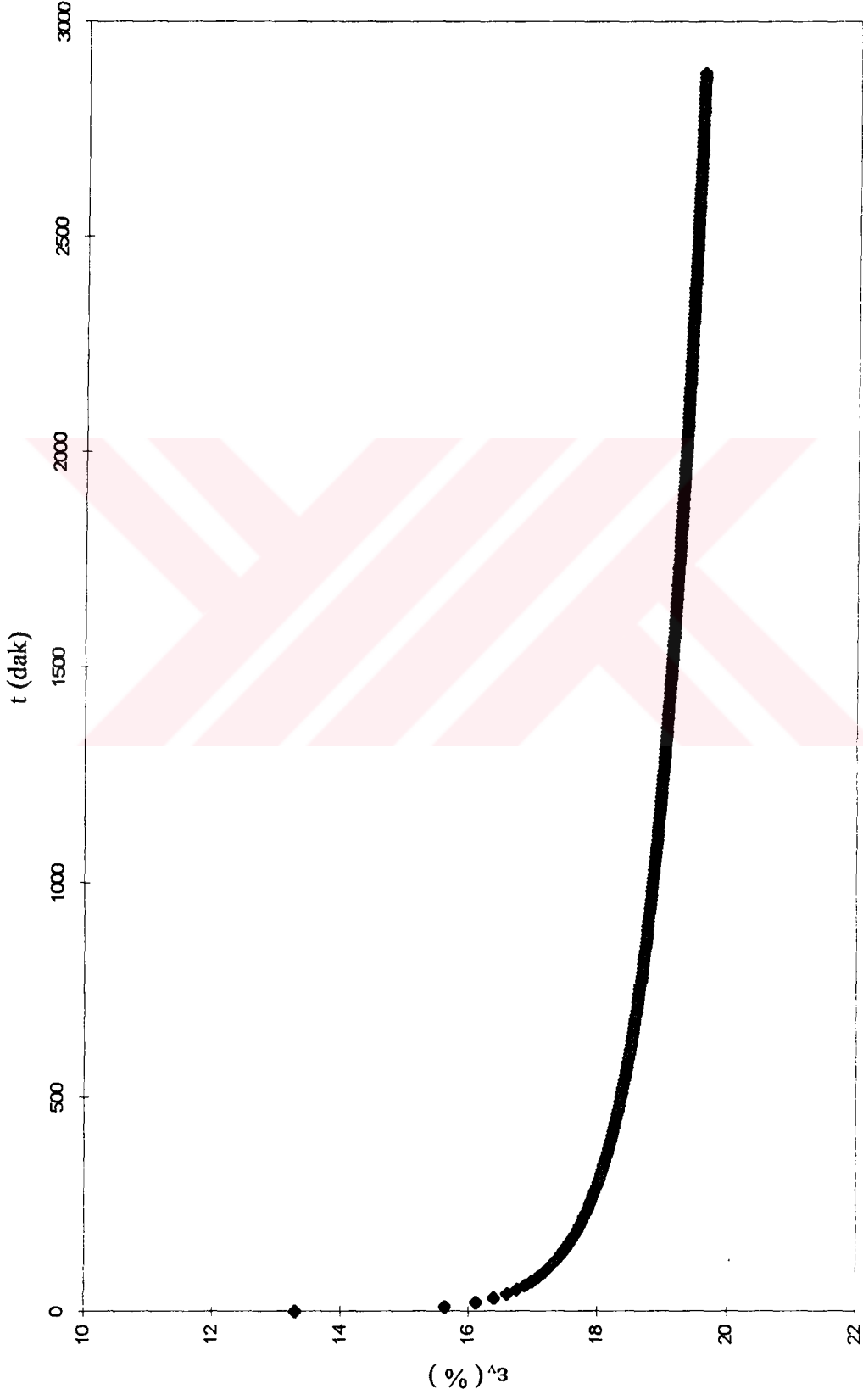
Şekil E3.45 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değıştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



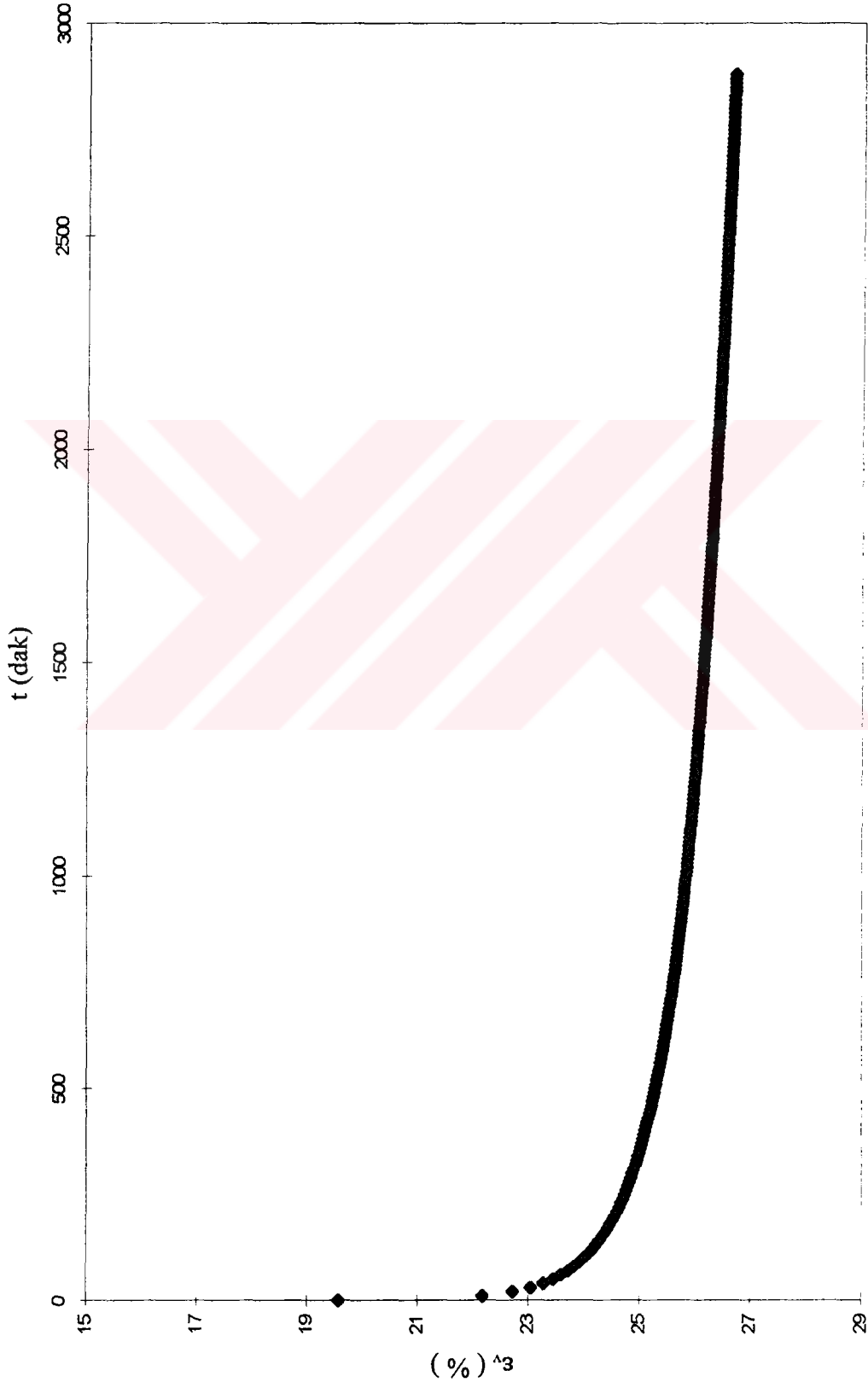
Şekil E3.46 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değışirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 400$ kPa



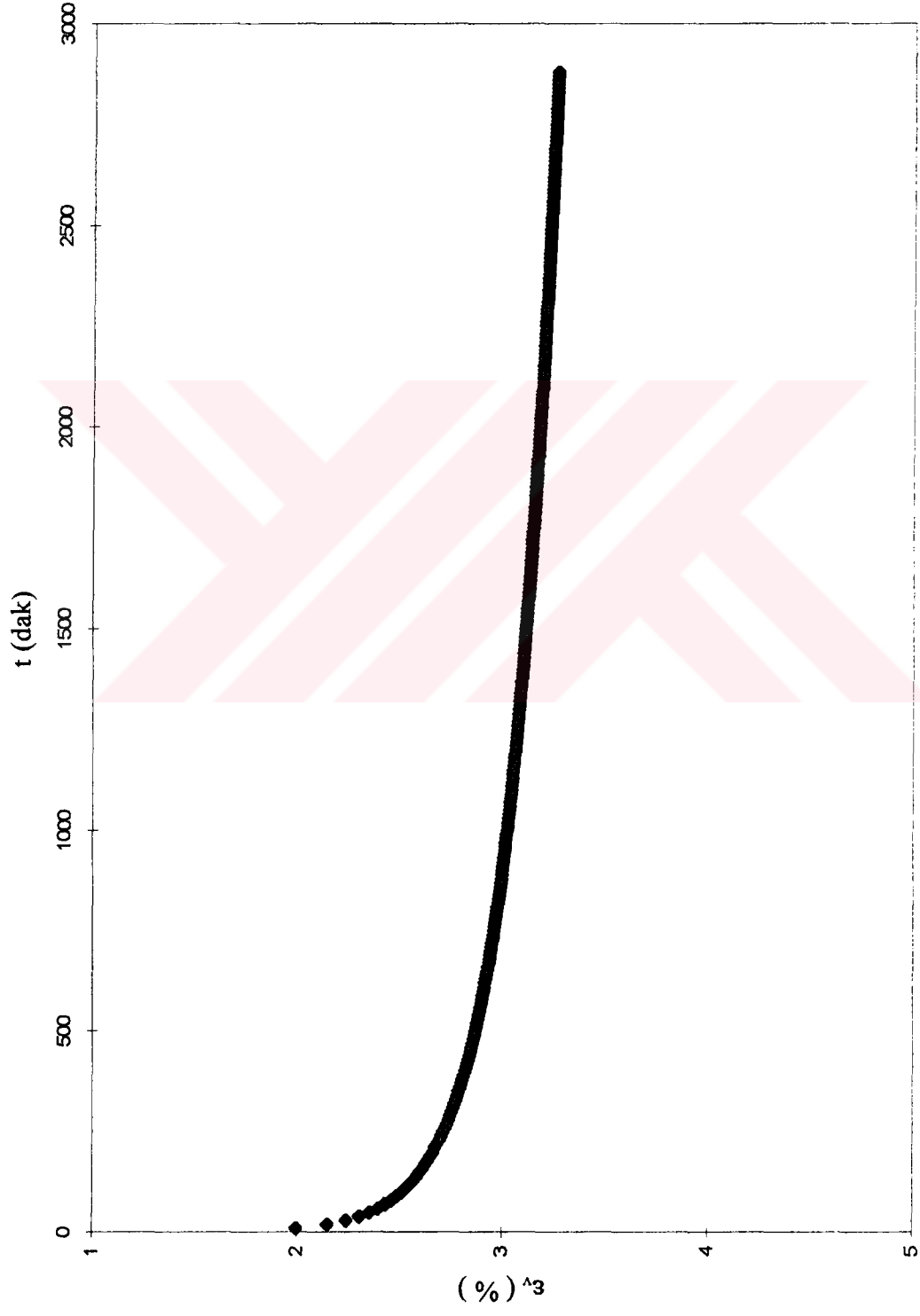
Şekil E3.47 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değişirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 800$ kPa



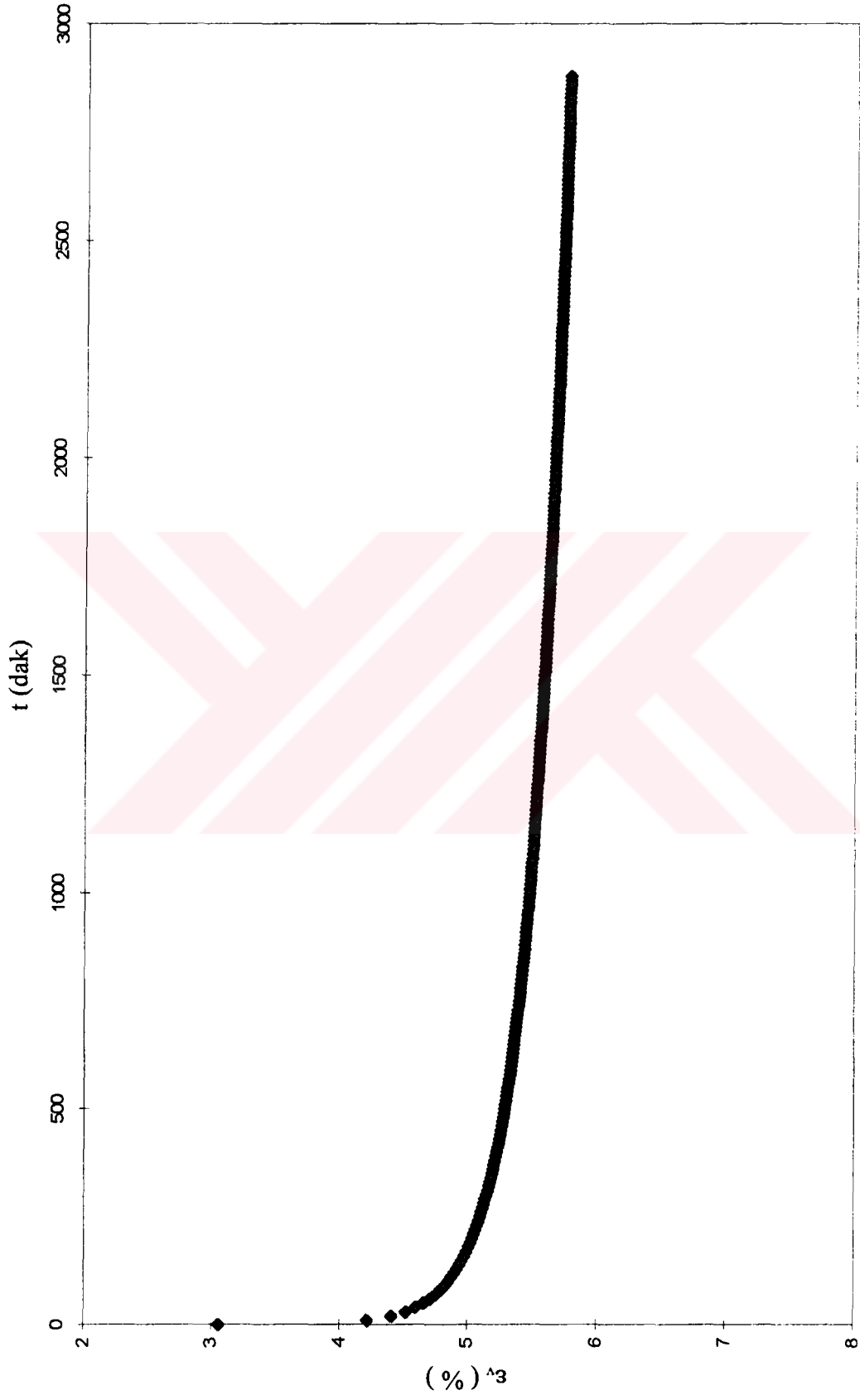
Şekil E3.48 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



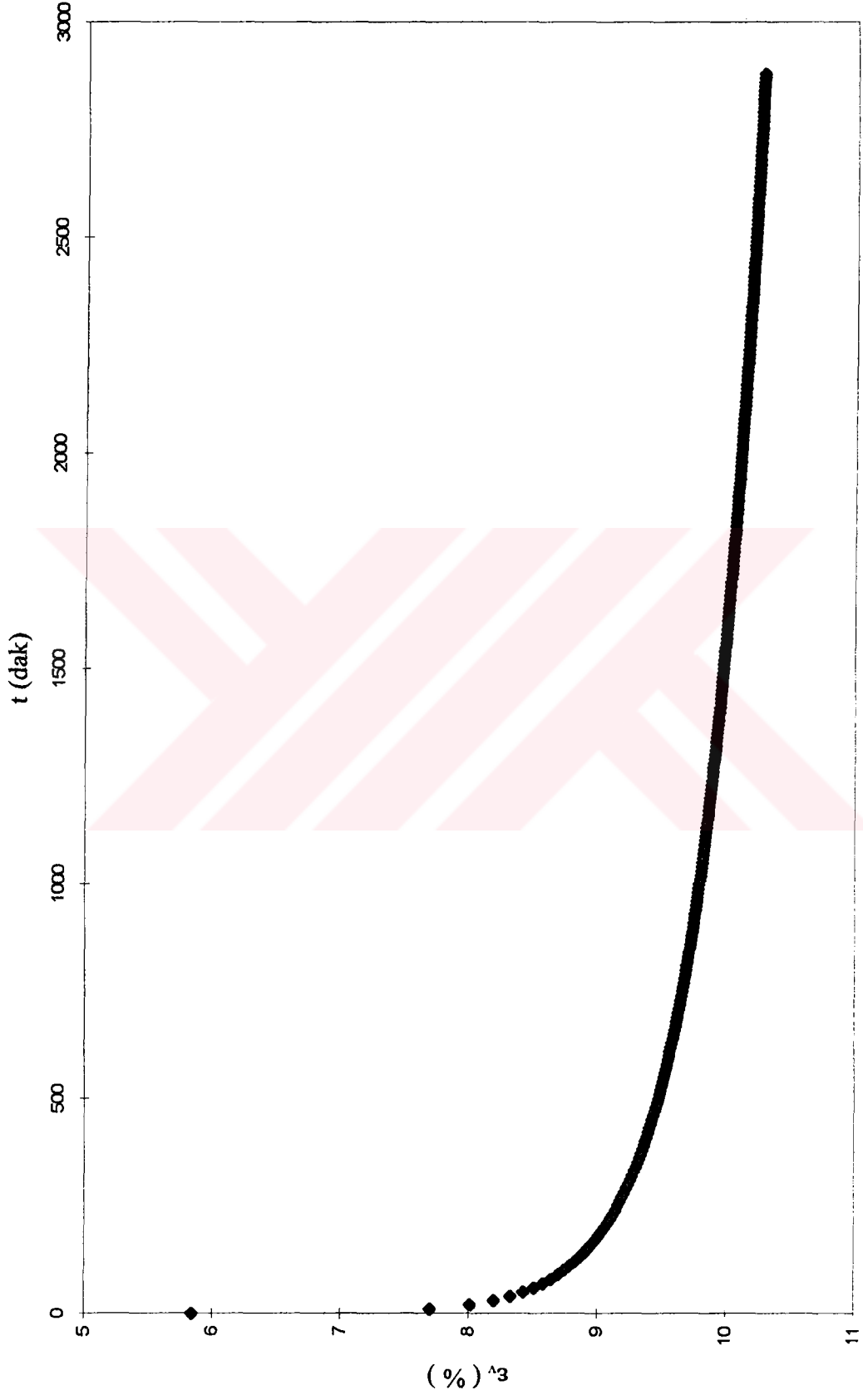
Şekil E3.49 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



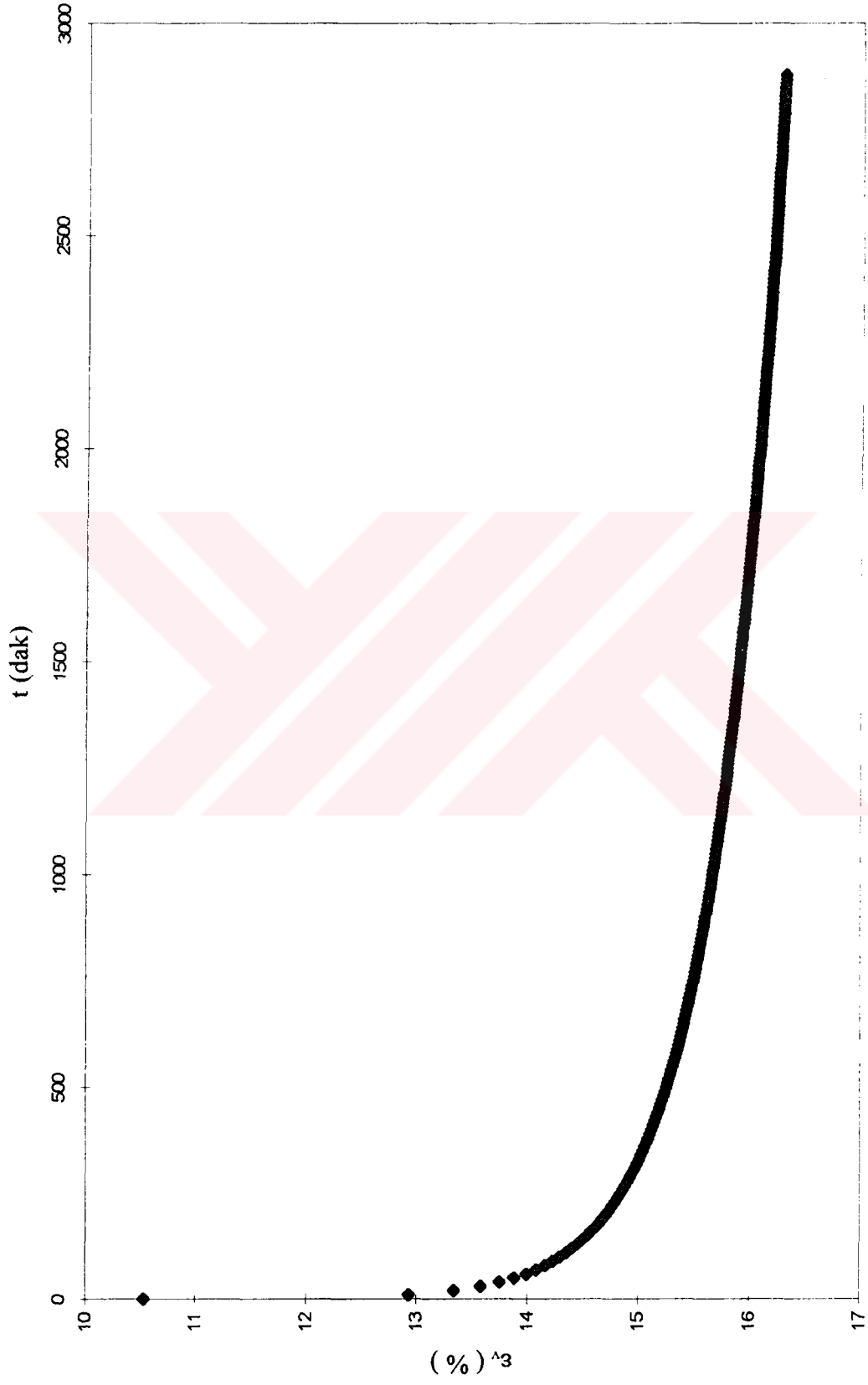
Şekil E3.50 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değişirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



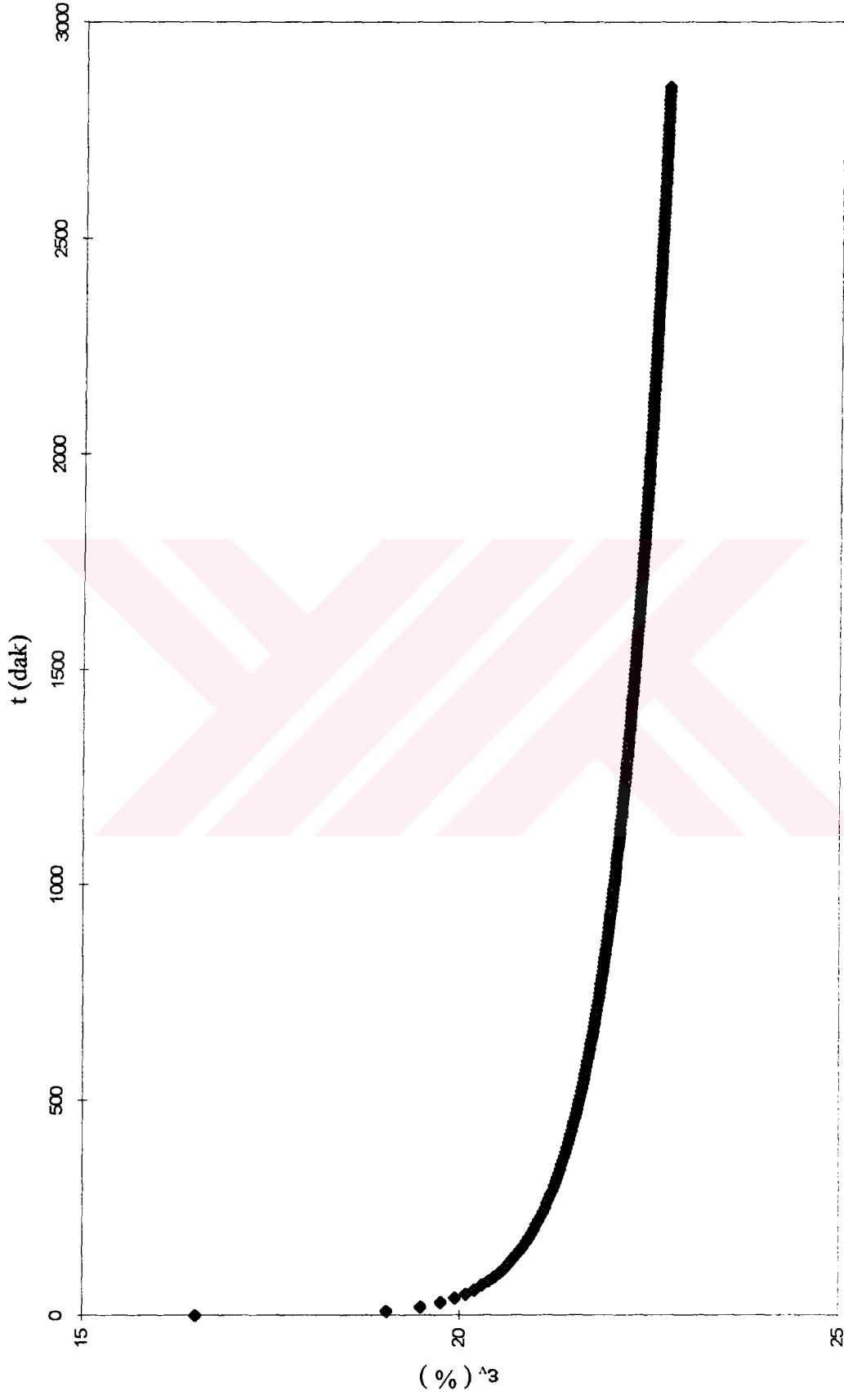
Şekil E3.51 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



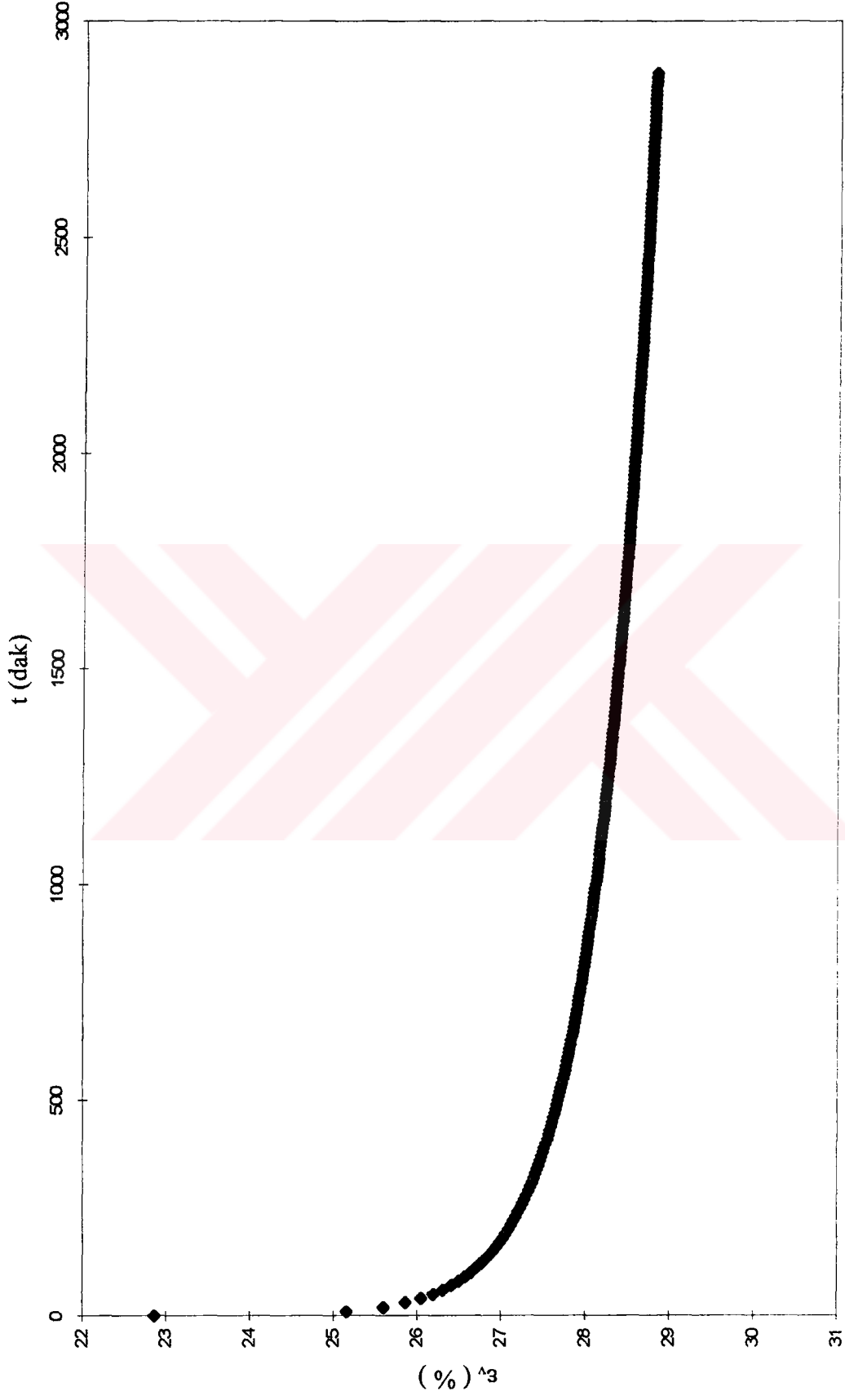
Şekil E3.52 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 400$ kPa



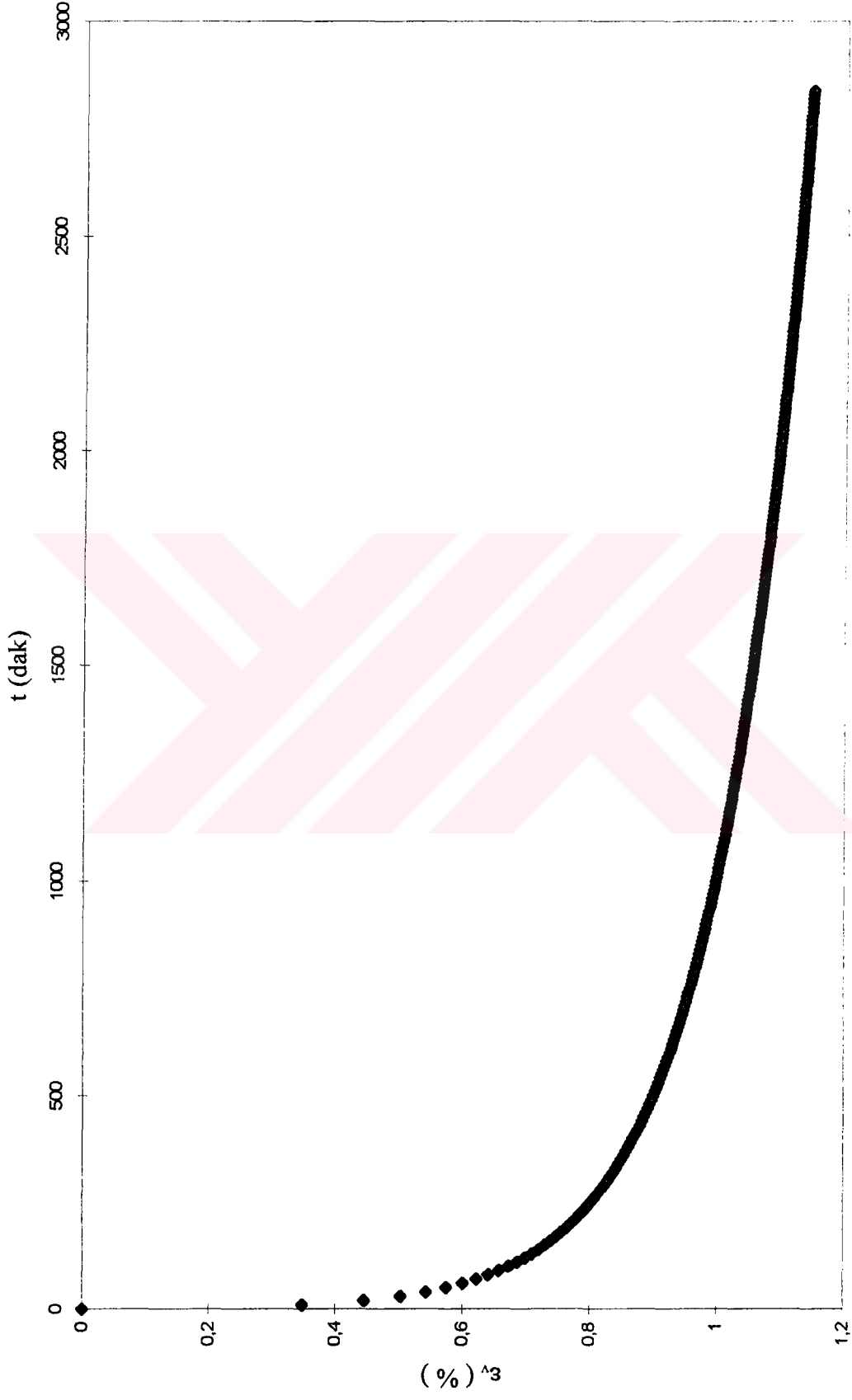
Şekil E3.53 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değişirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 800$ kPa



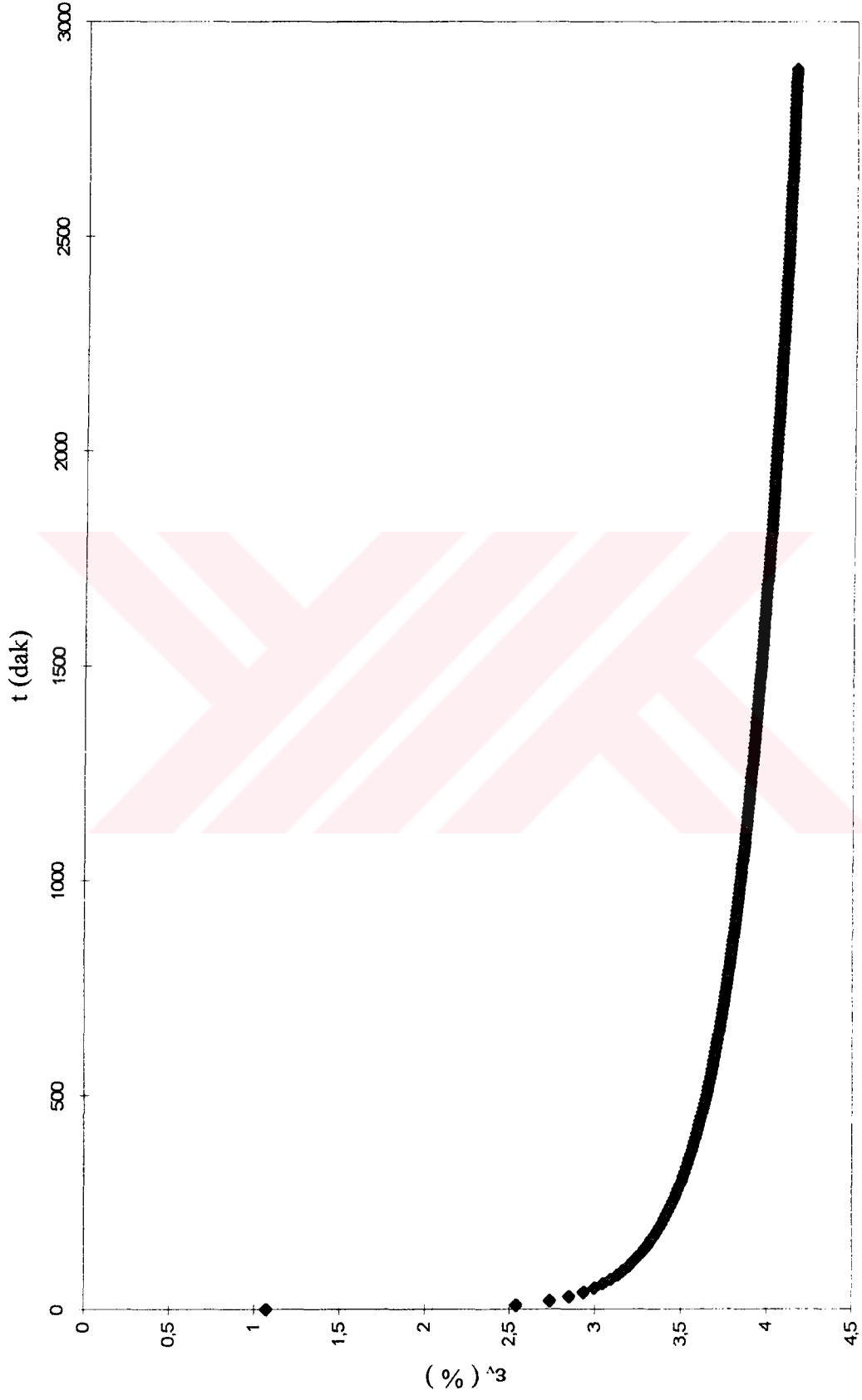
Şekil E3.54 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



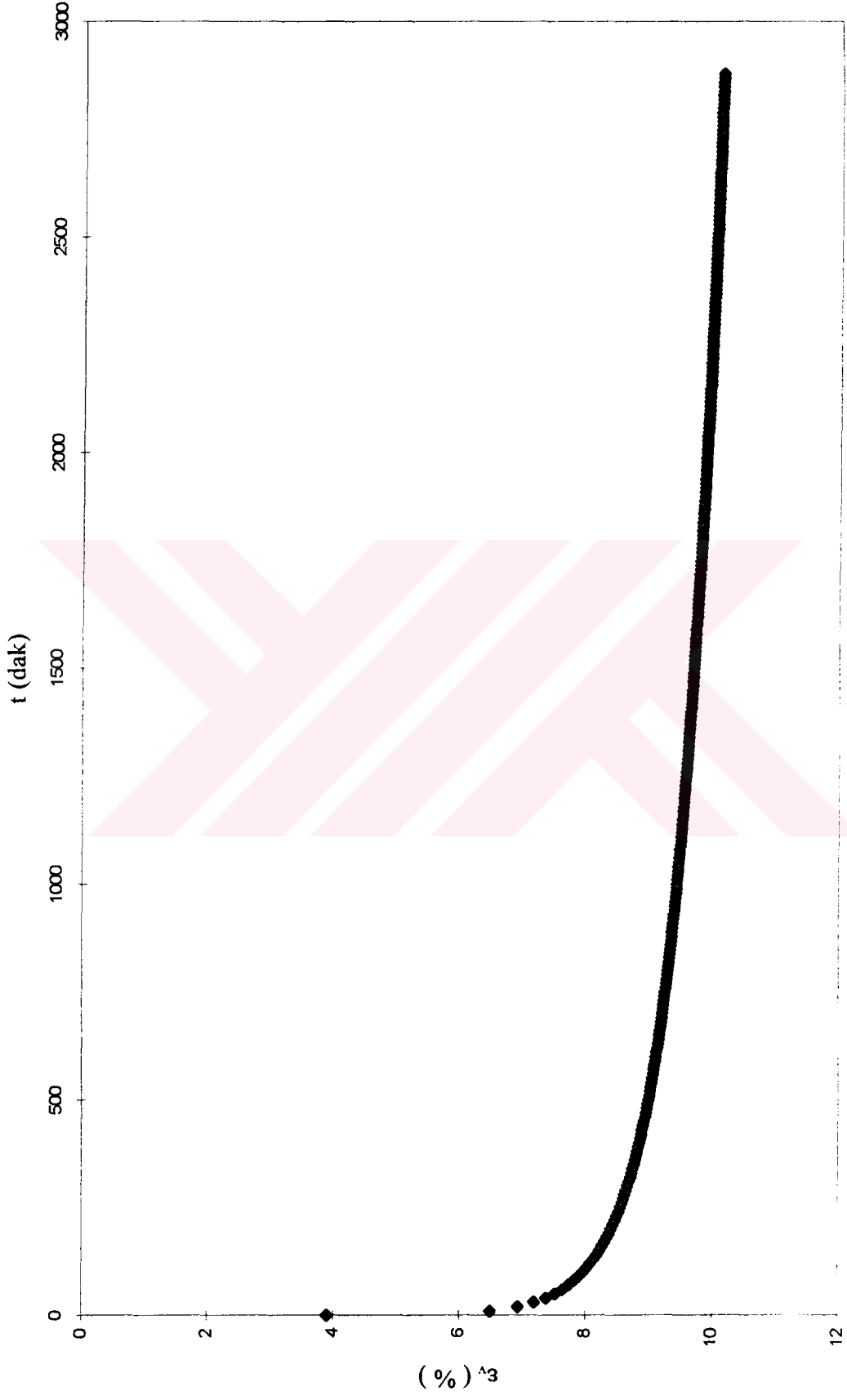
Şekil E3.55 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değıştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$



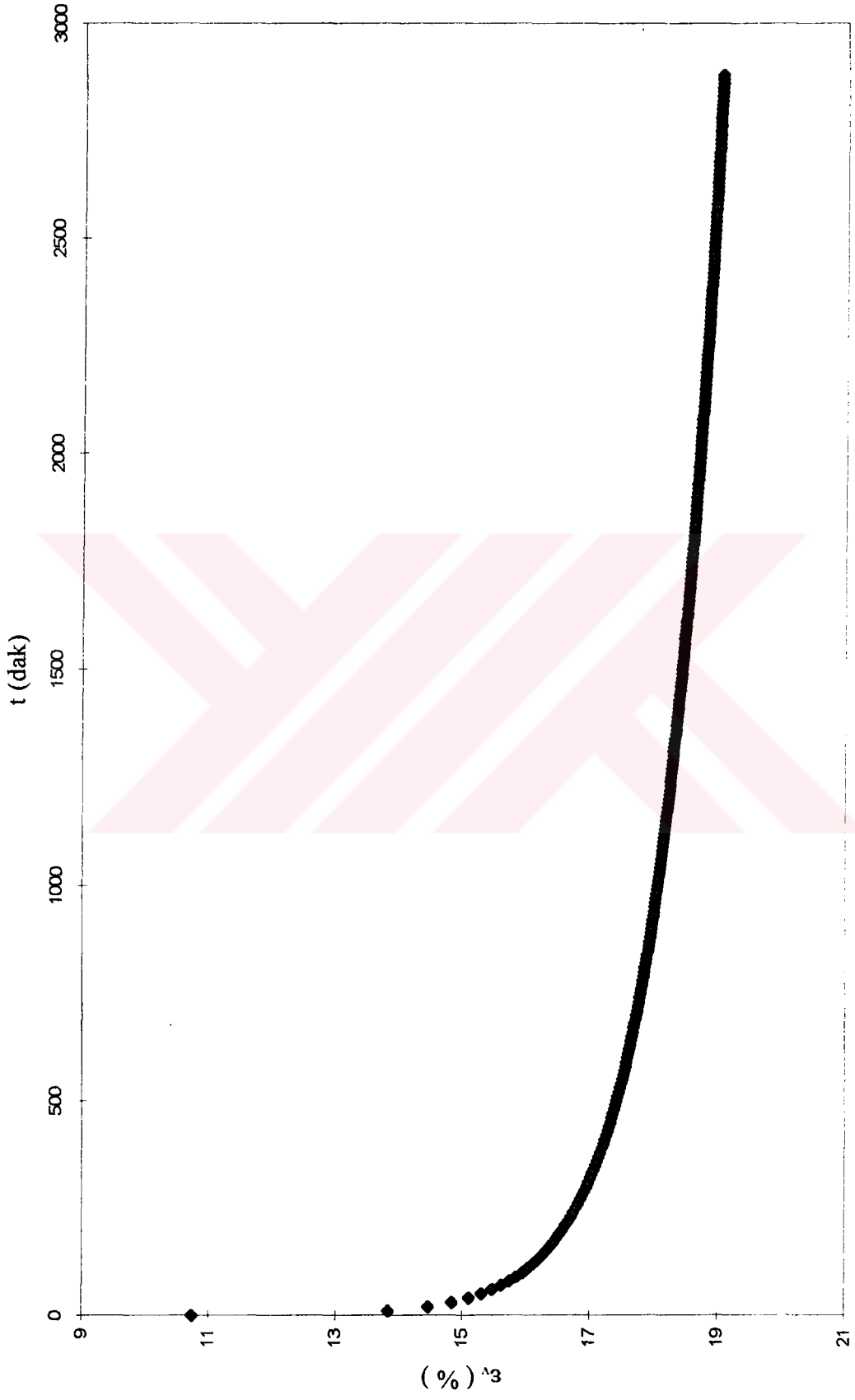
Şekil E3.56 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değişirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 800$ kPa



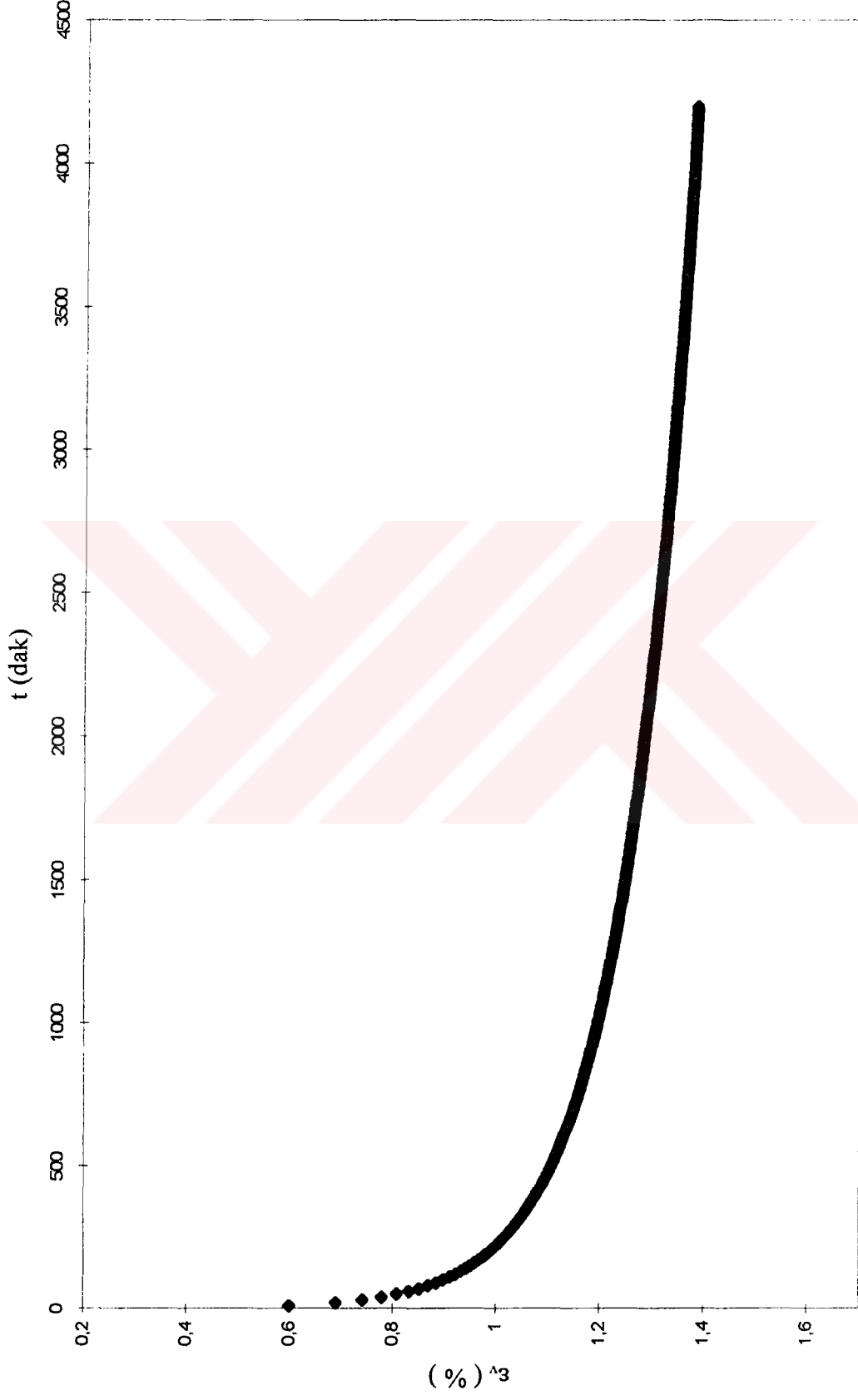
Şekil E3.57 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 1600 \text{ kPa}$



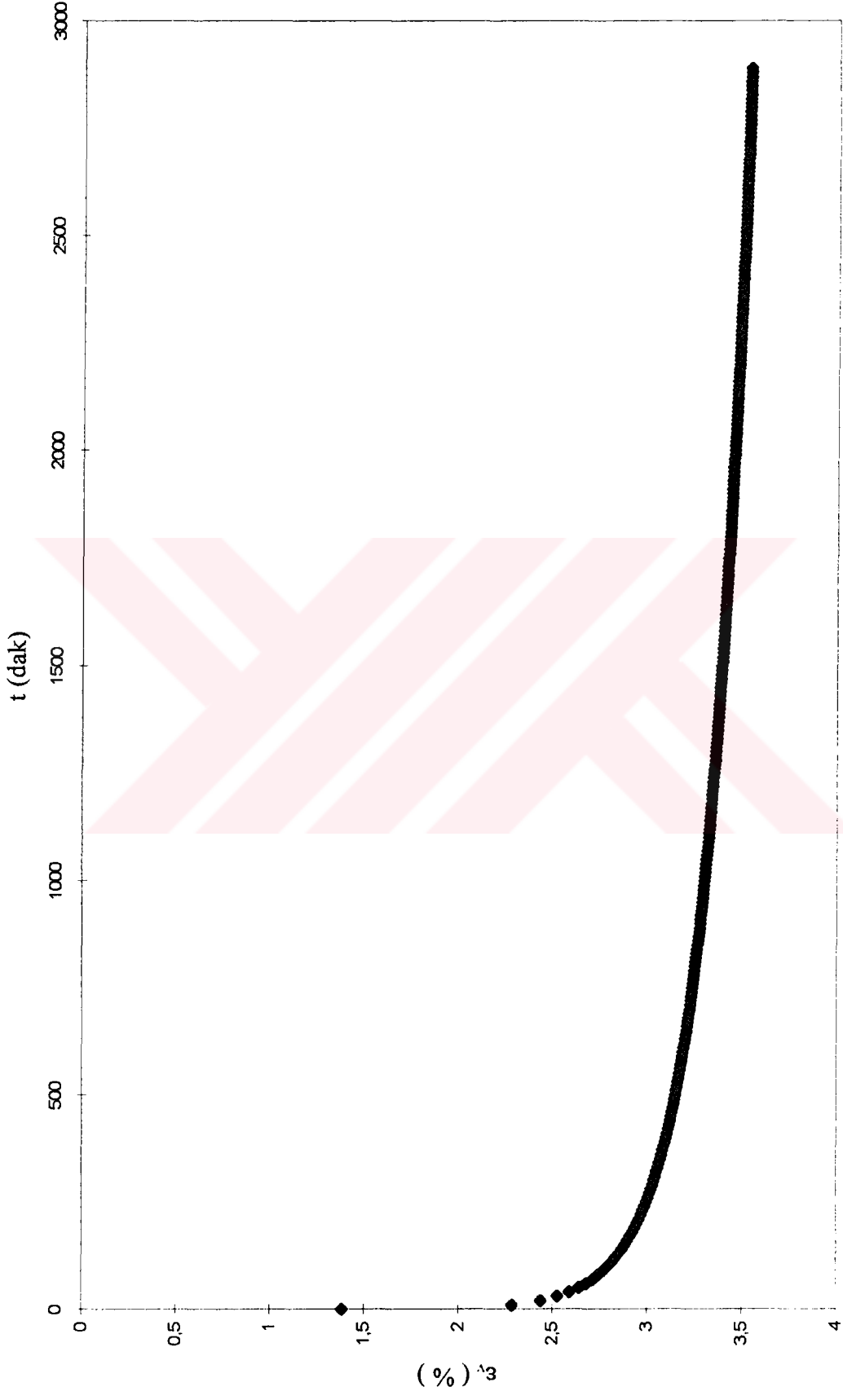
Şekil E3.58 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



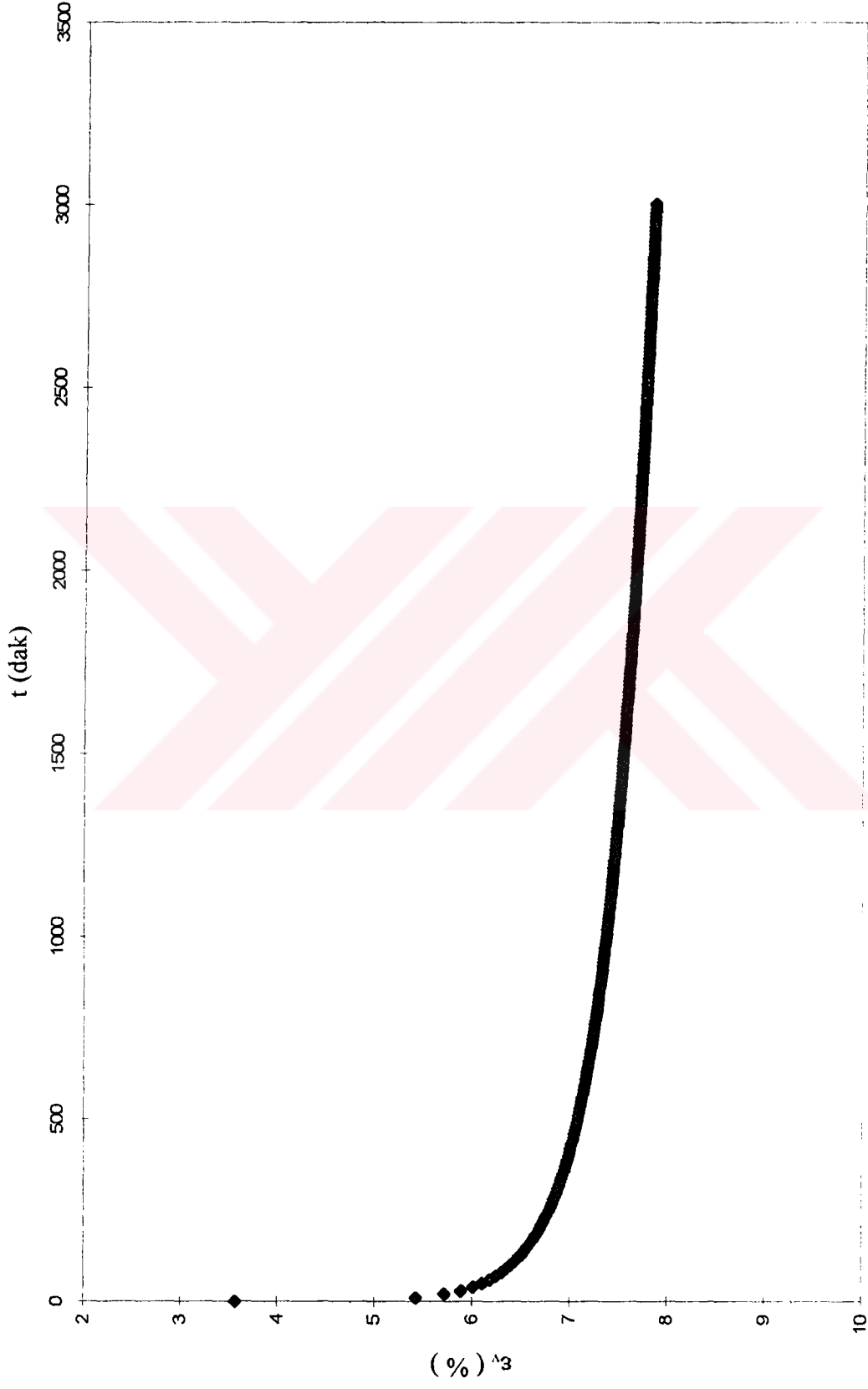
Şekil E3.59 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



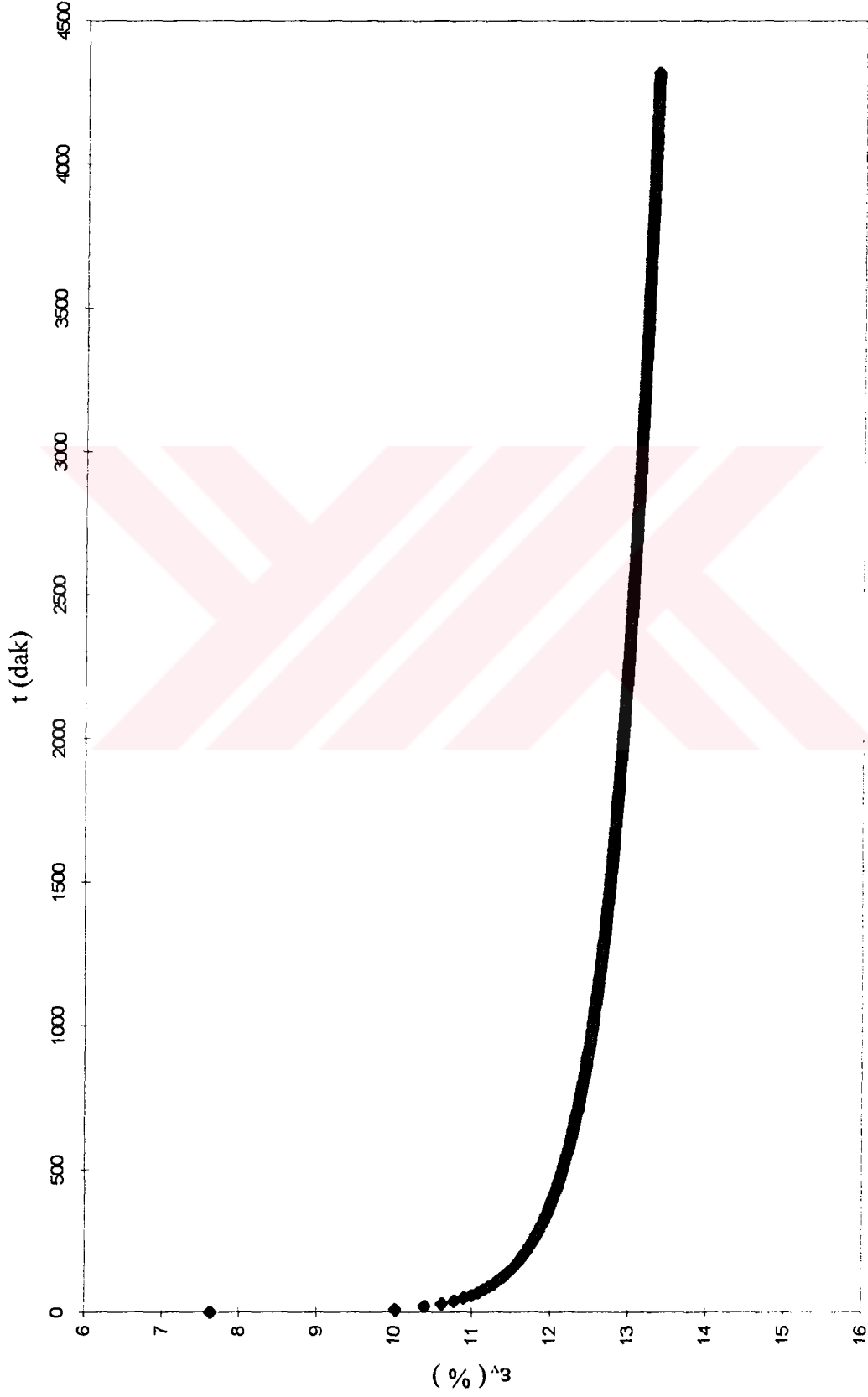
Şekil E3.60 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



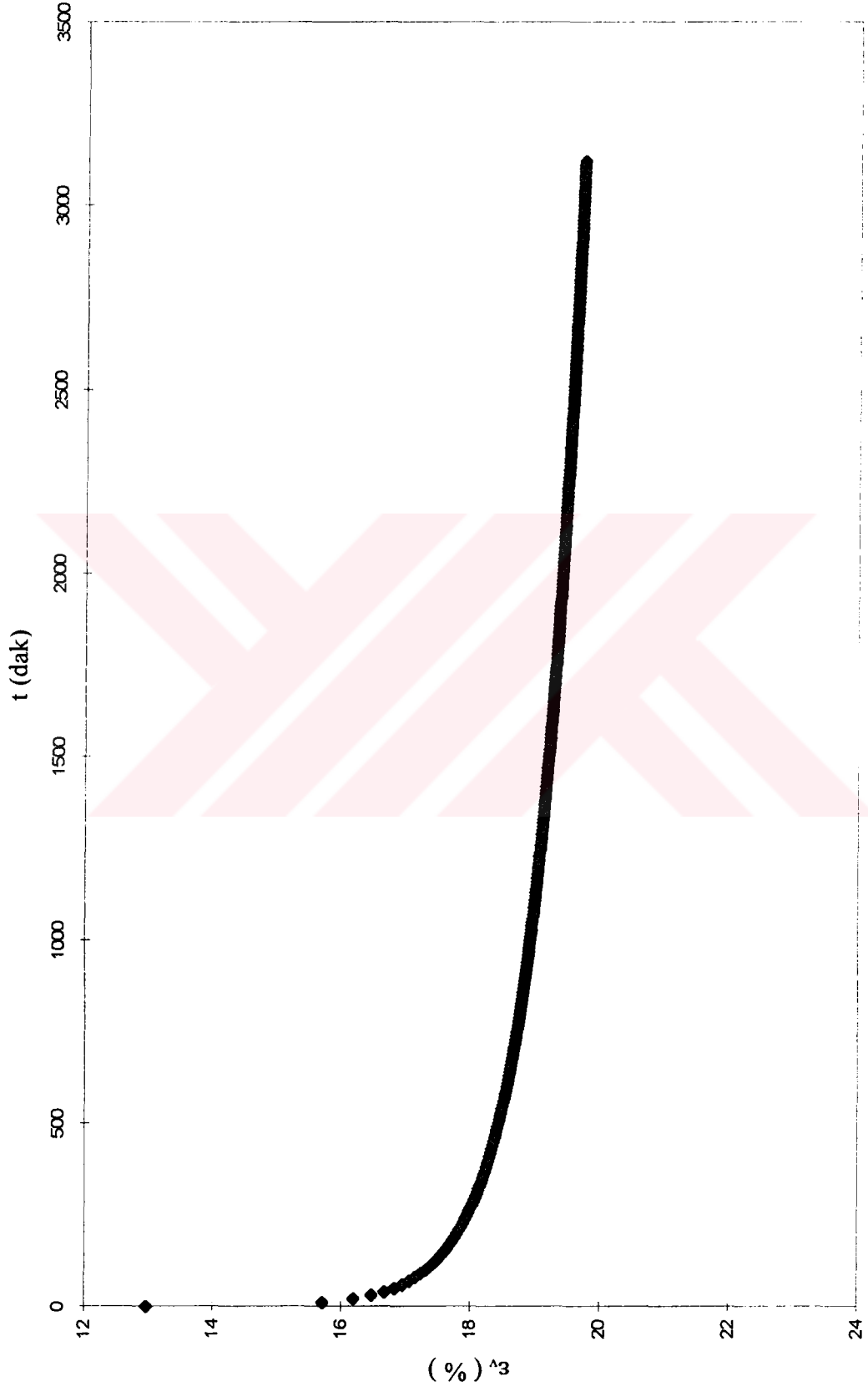
Şekil E3.61 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değıştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 200$ kPa



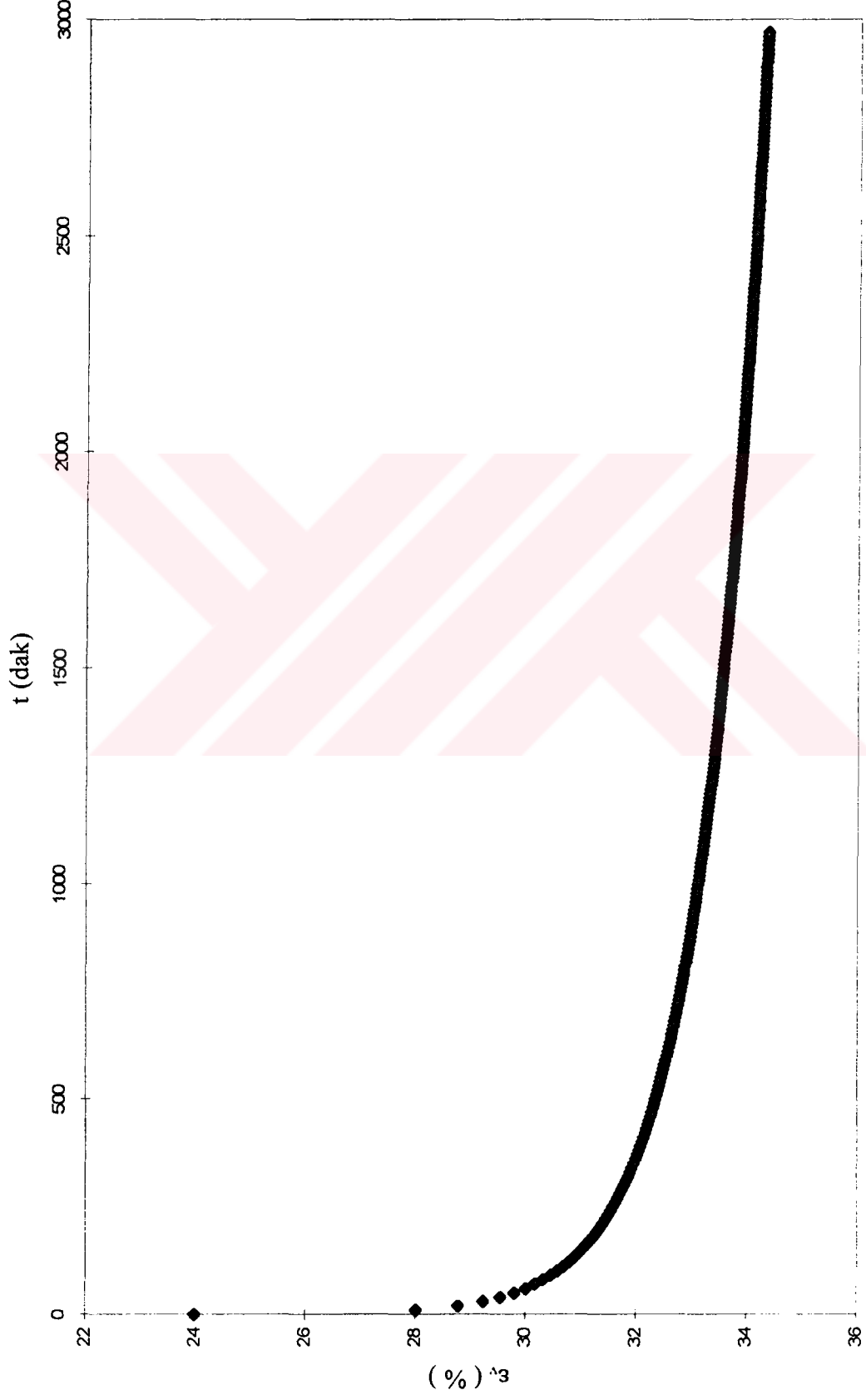
Şekil E3.62 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değıştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$



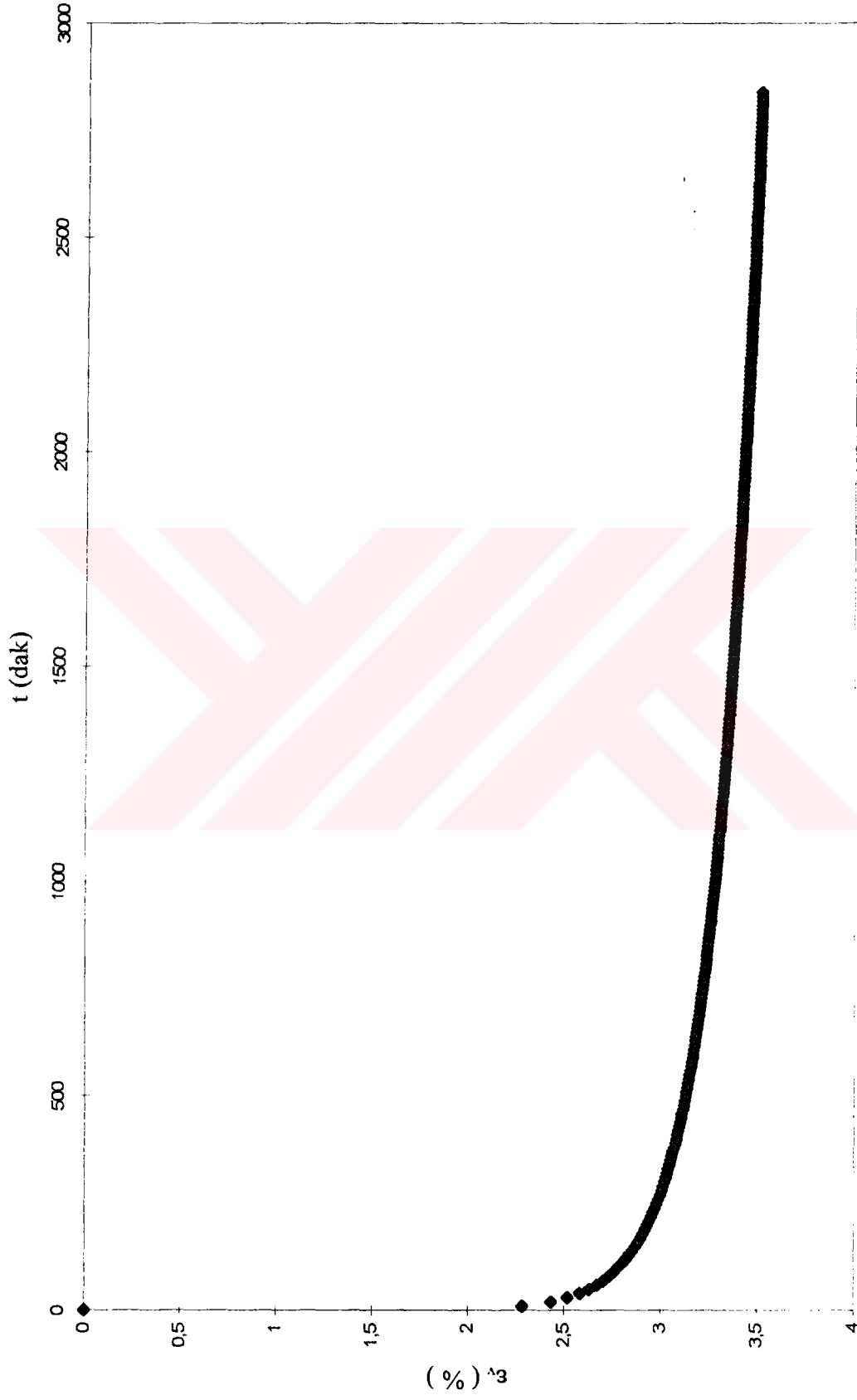
Şekil E3.63 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 800$ kPa



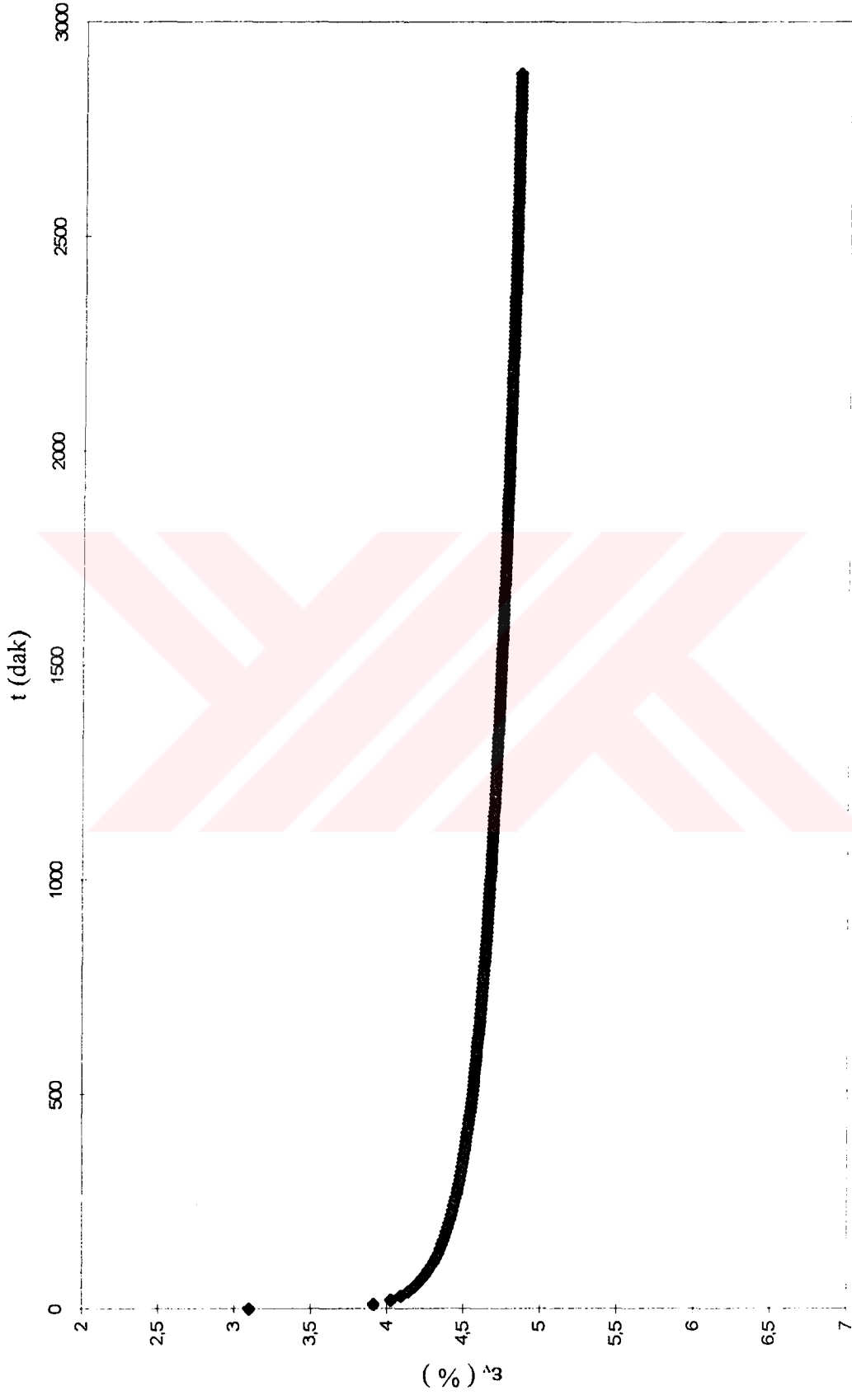
Şekil E3.64 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değişirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



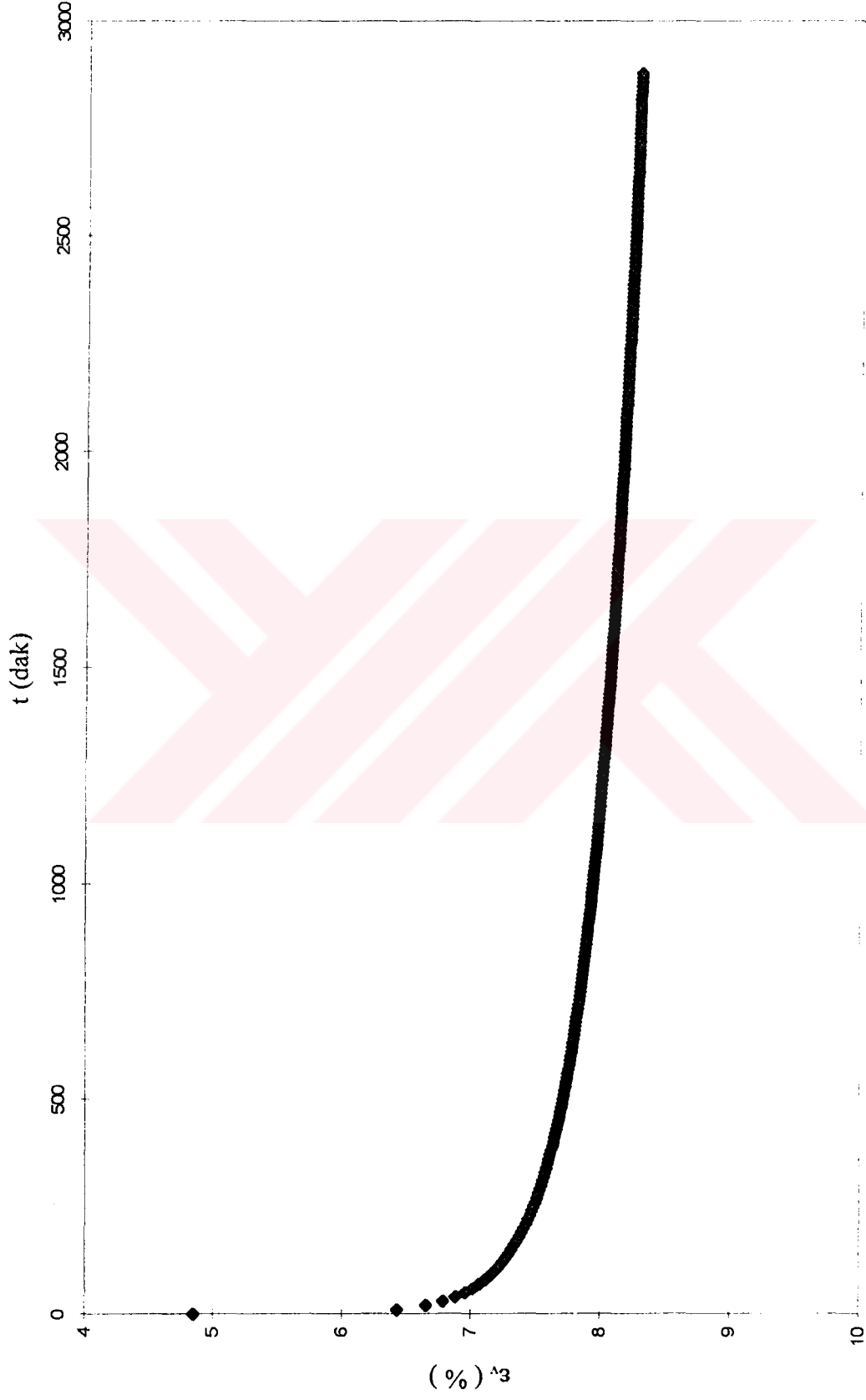
Şekil E3.65 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değişirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



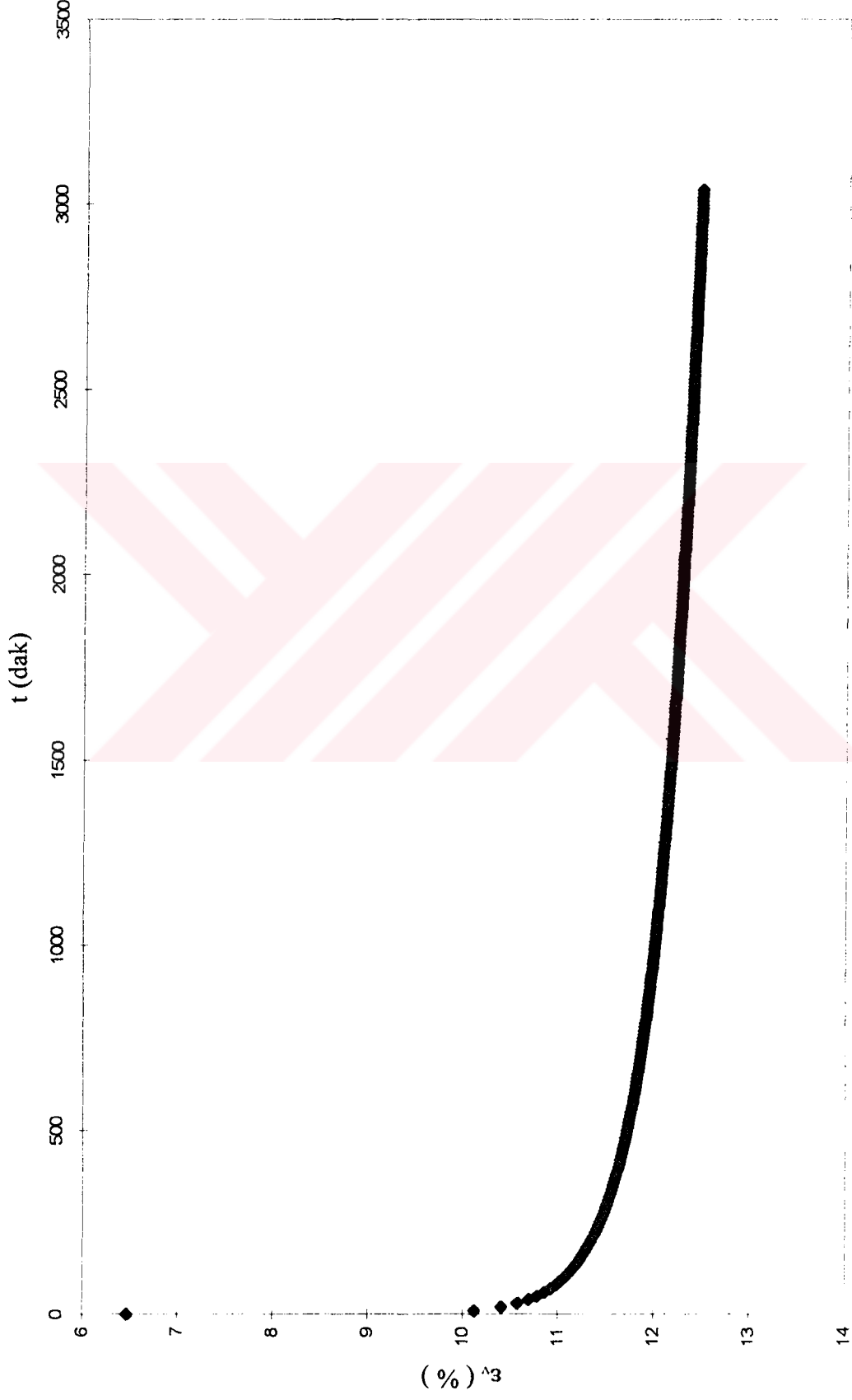
Şekil E3.66 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



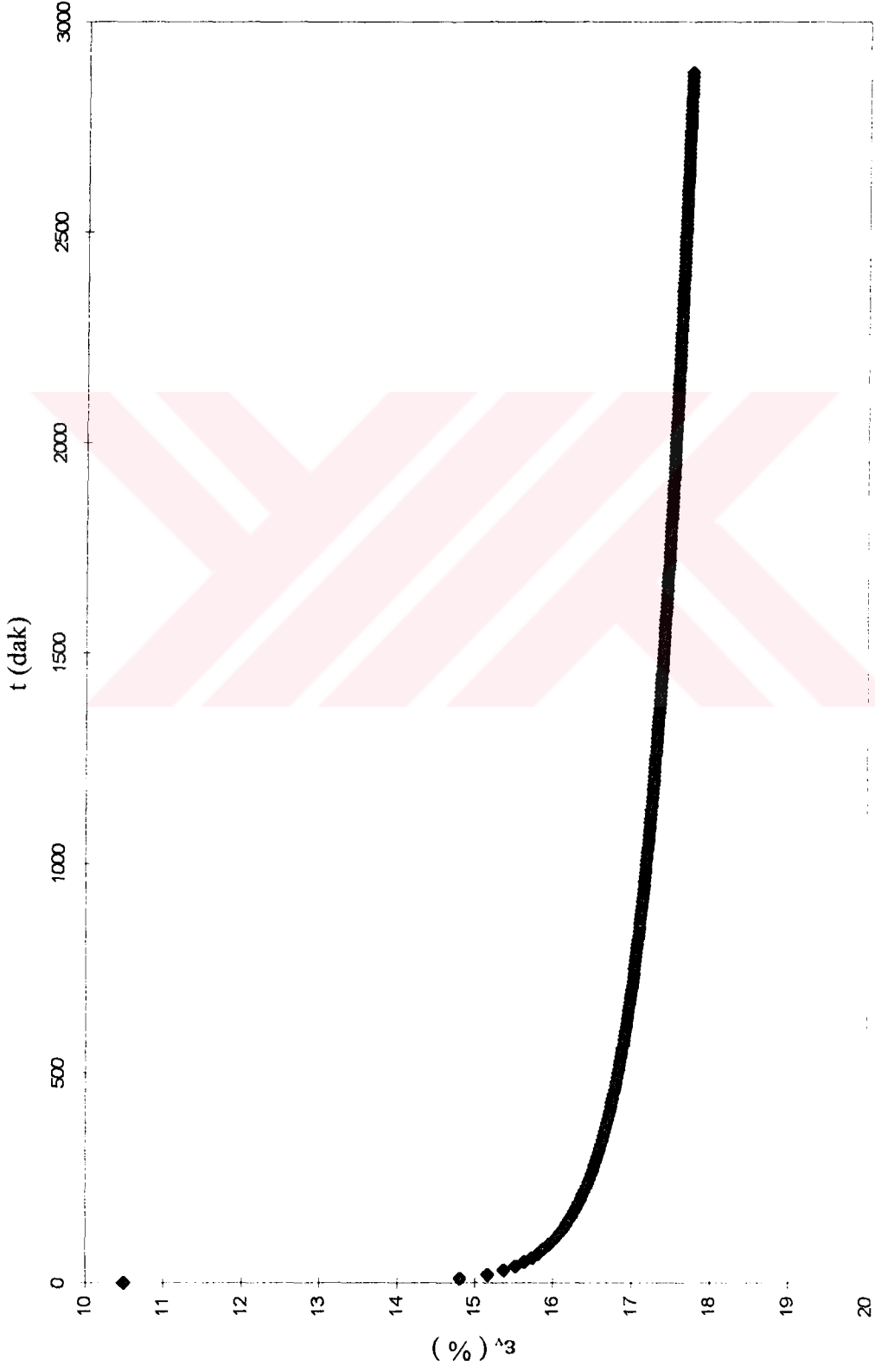
Şekil E3.67 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değışirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



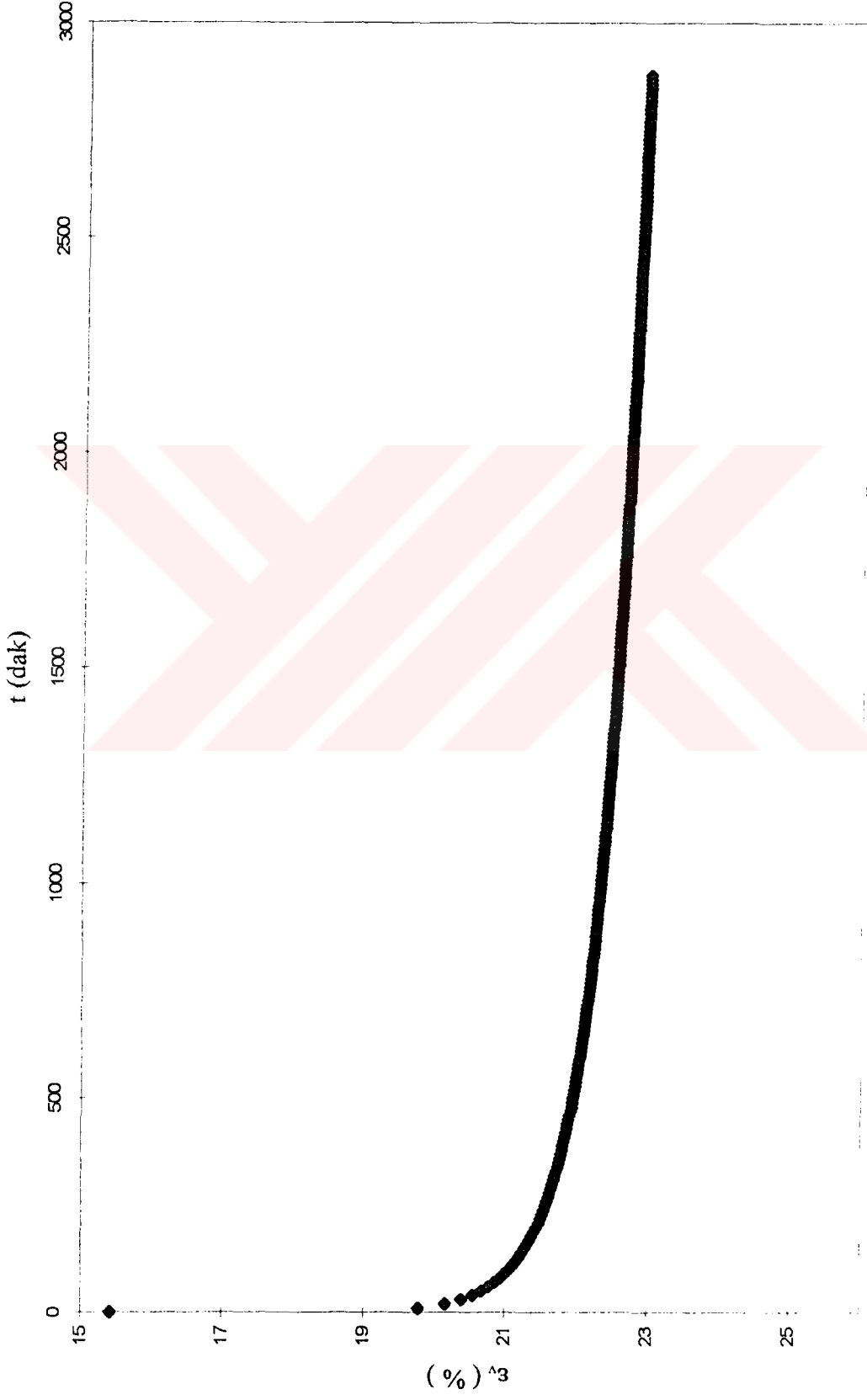
Şekil E3.68 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değışirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 400$ kPa



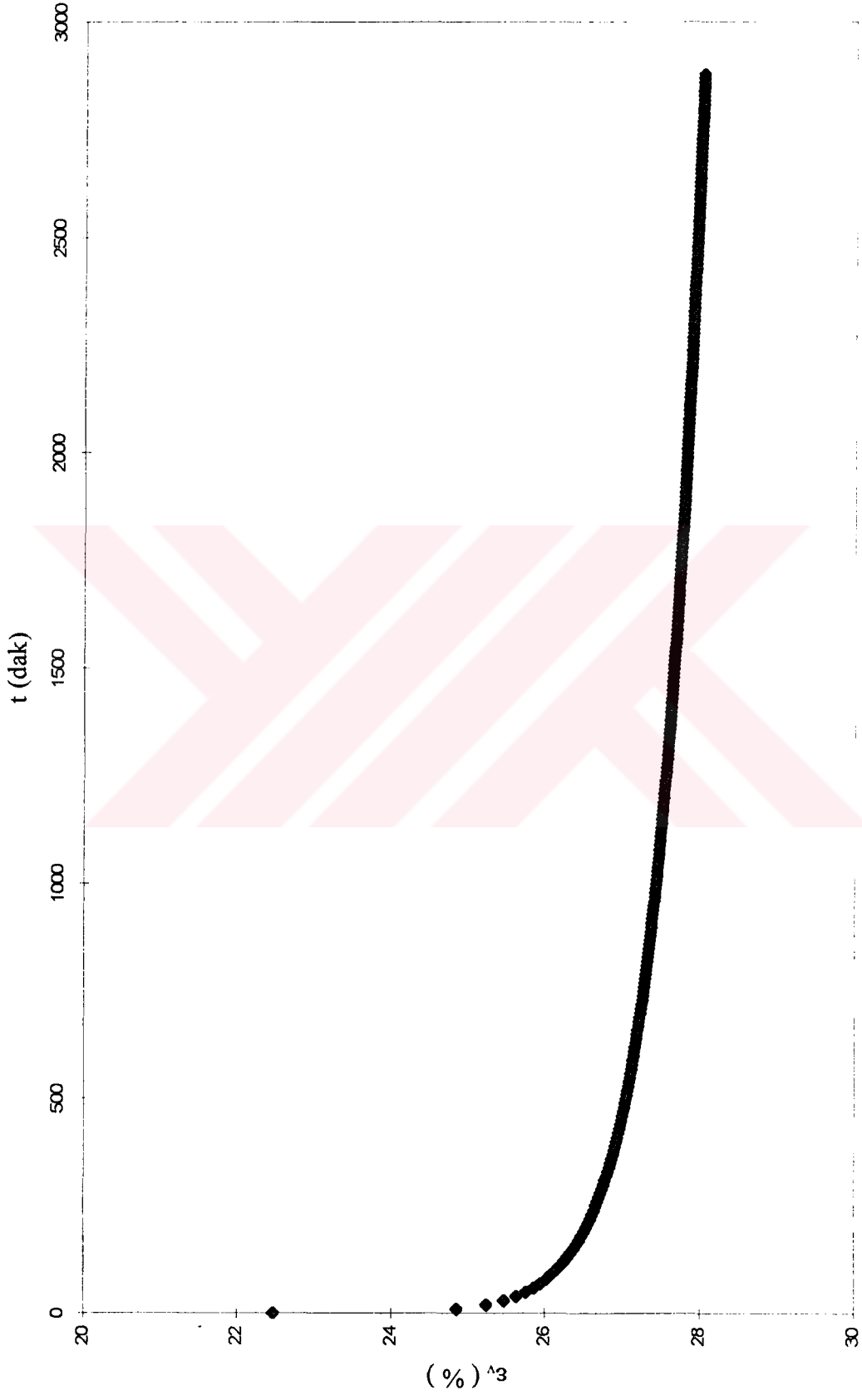
Şekil E3.69 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değıştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 800$ kPa



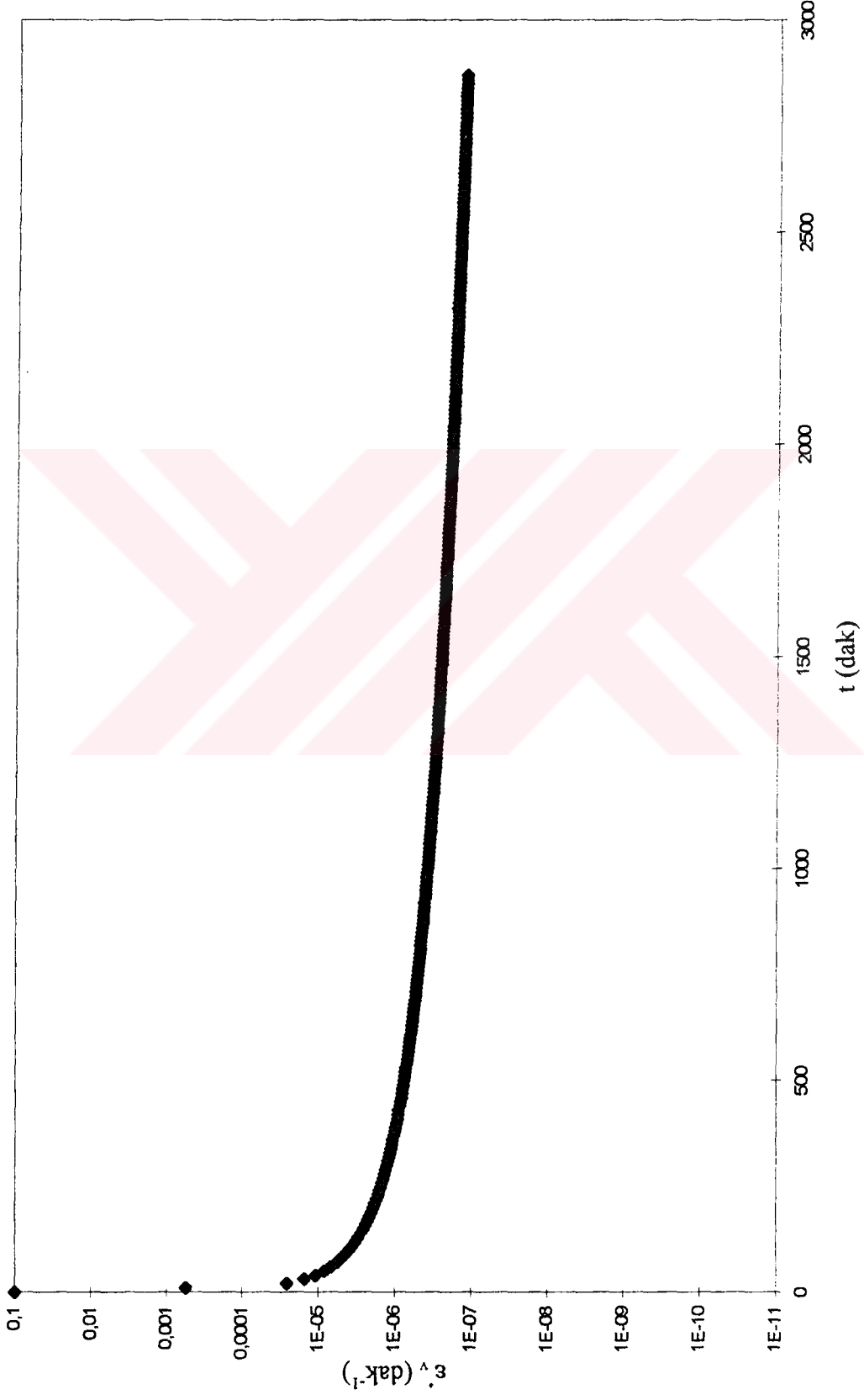
Şekil E3.70 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 1600 \text{ kPa}$



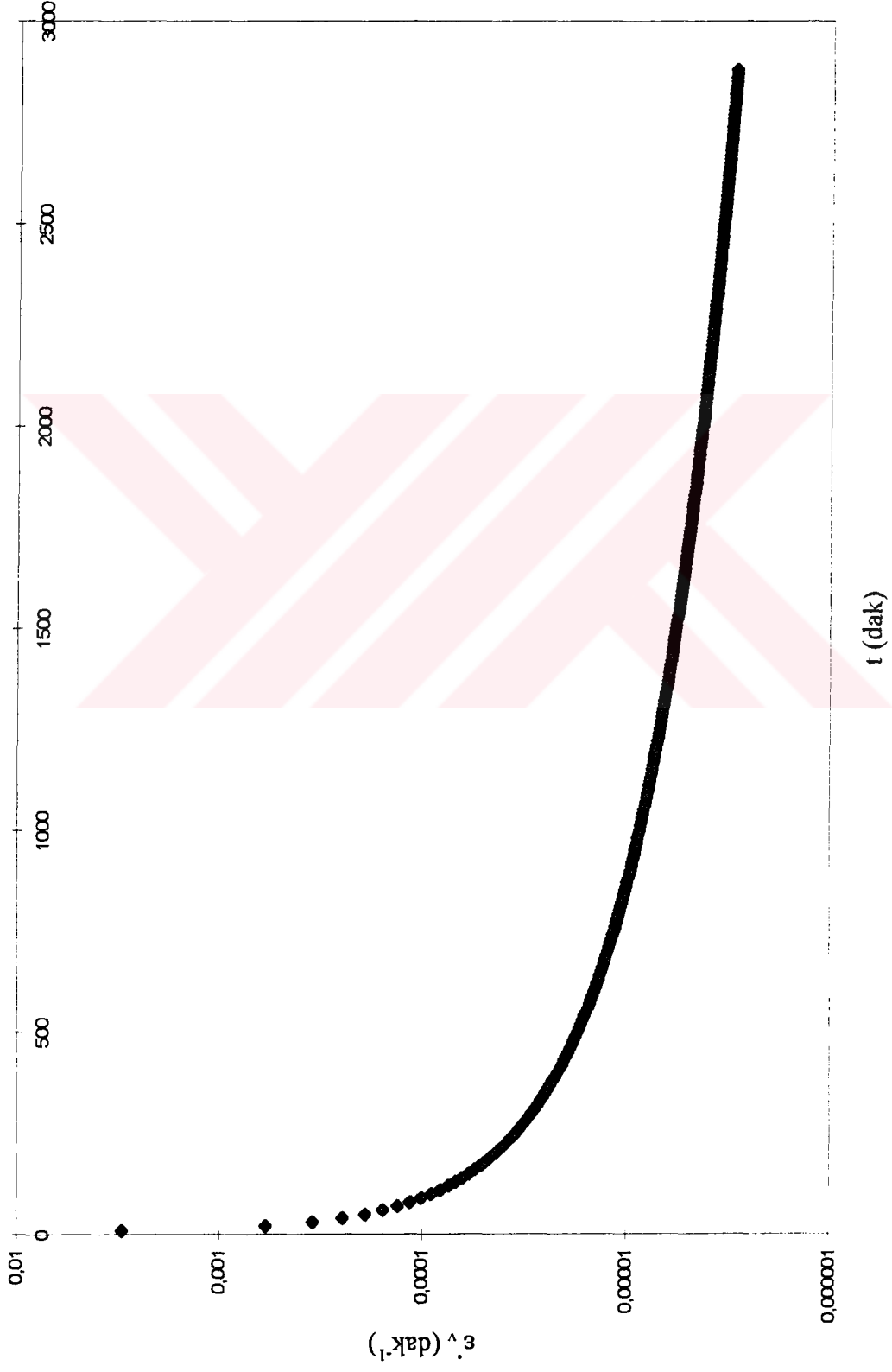
Şekil E3.71 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değışirme - zaman eğrisi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



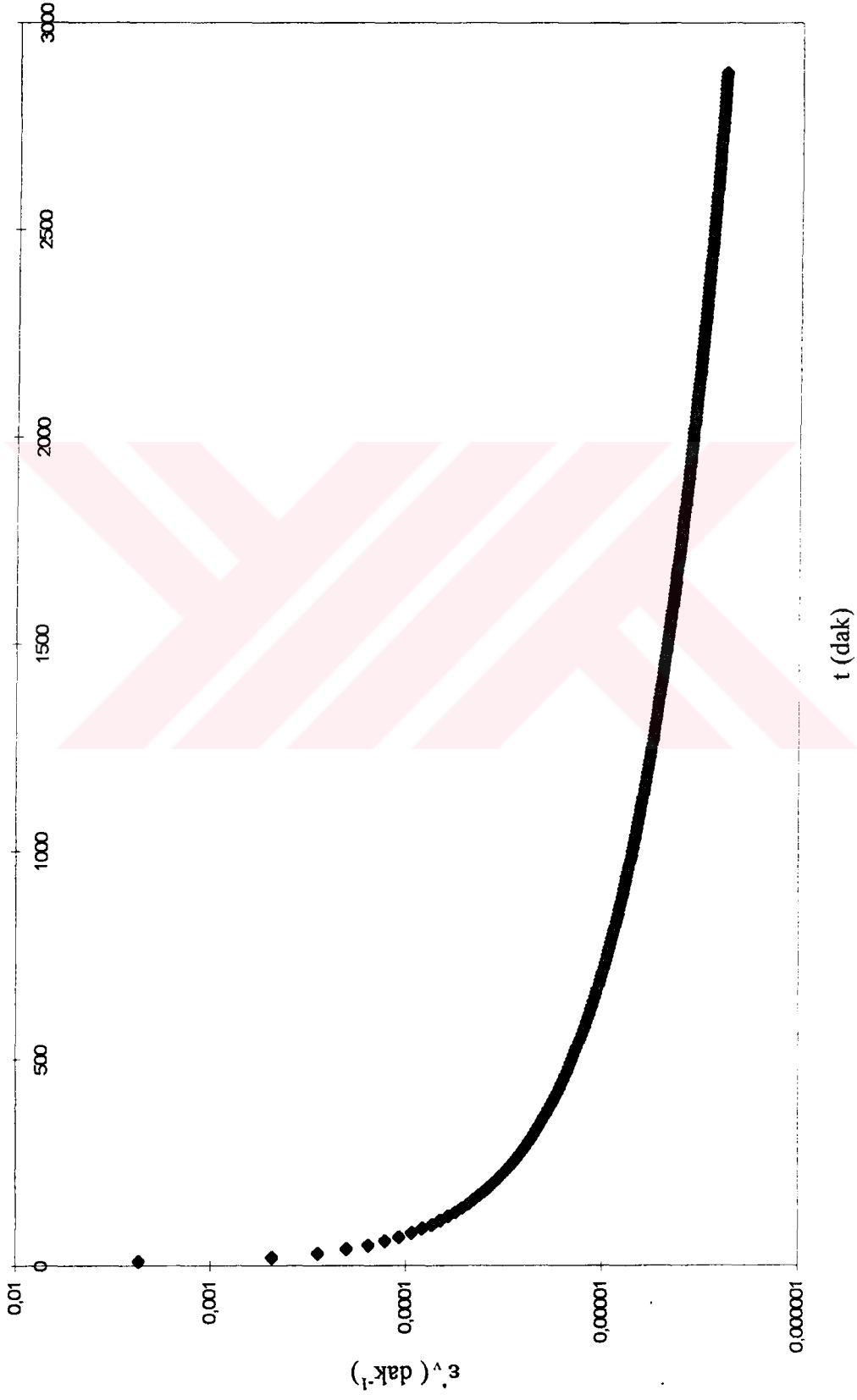
Şekil E3.72 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 200 \text{ kPa}$



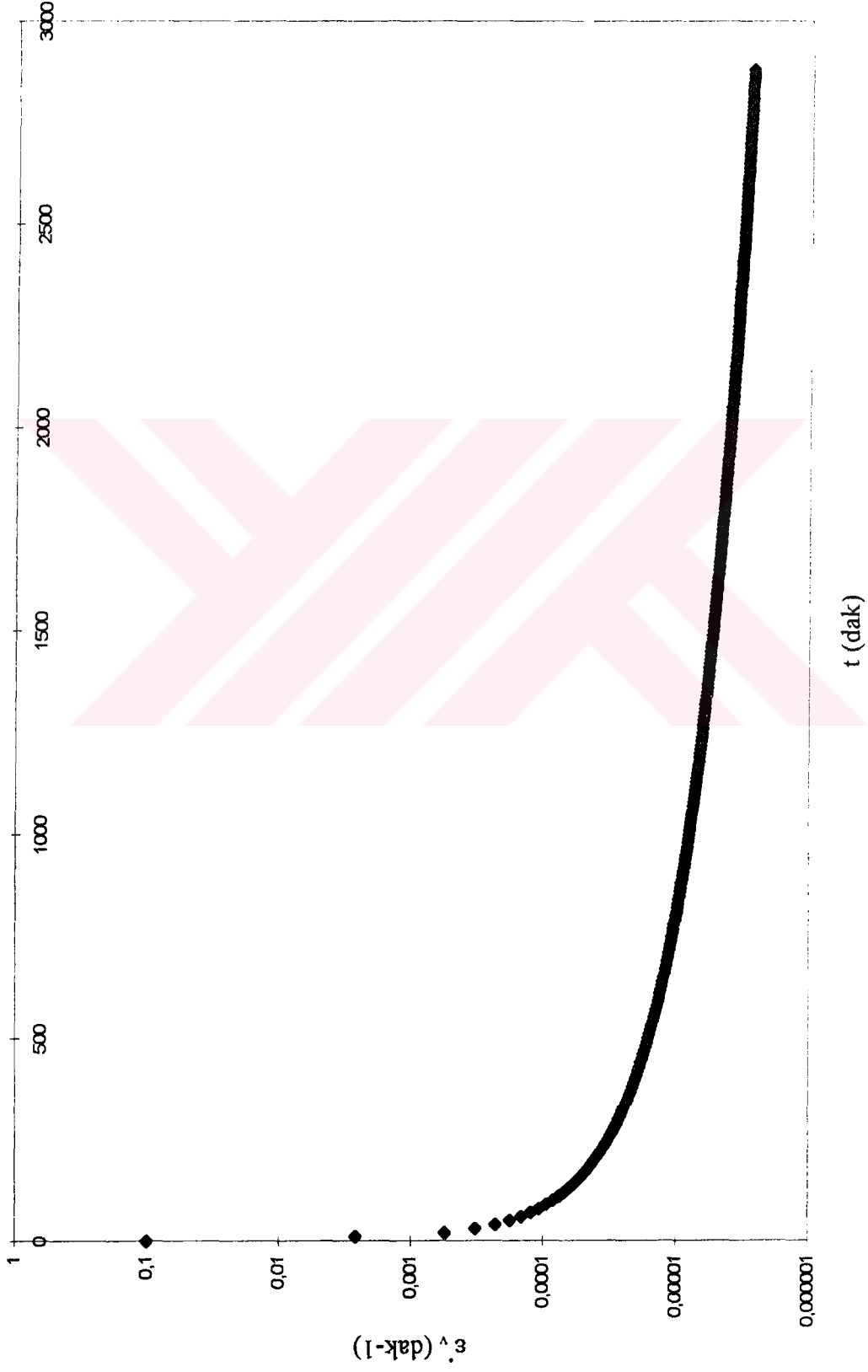
Şekil E3.73 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman zaman ile değişimi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 400$ kPa



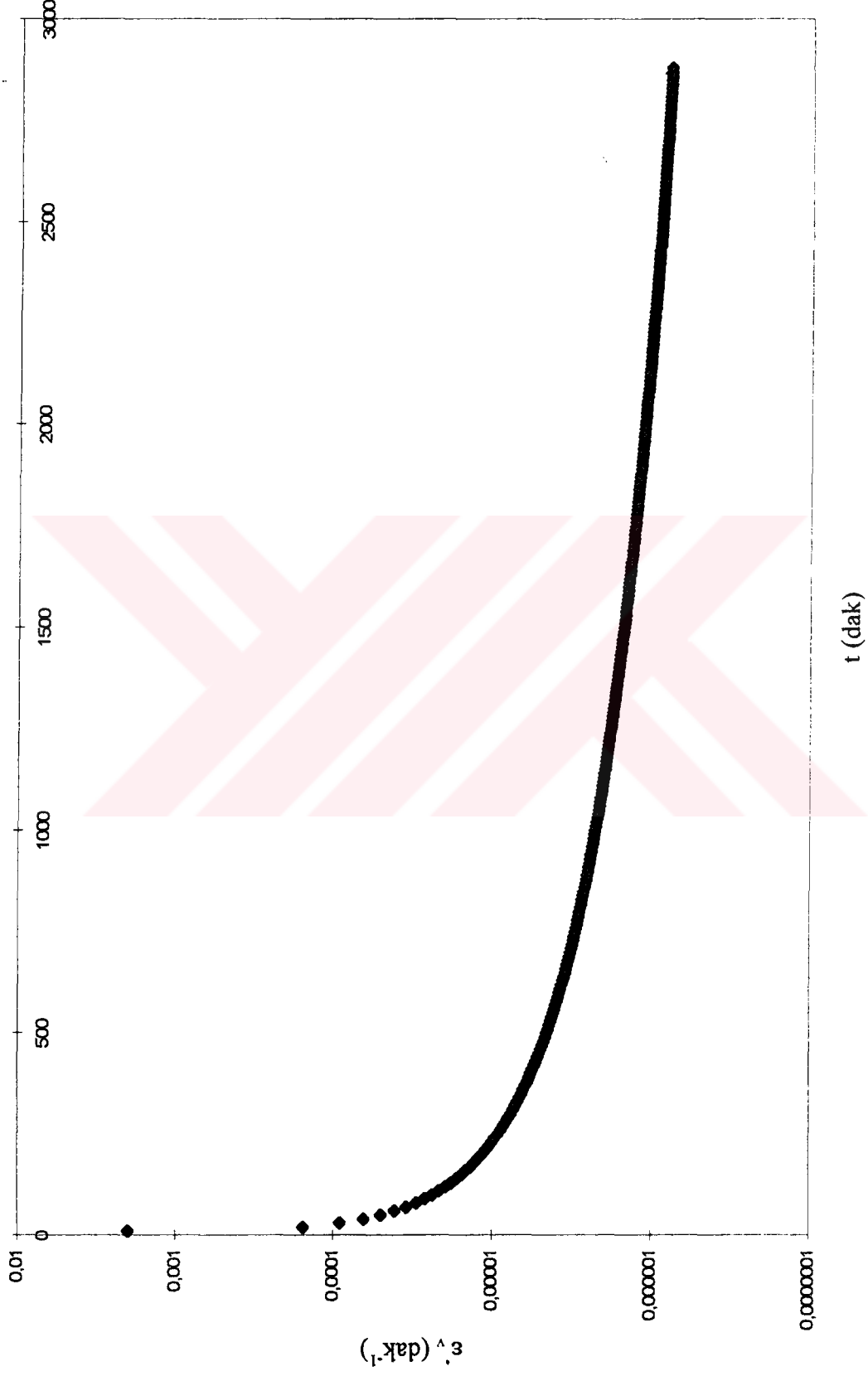
Şekil E3.74 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 1 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$



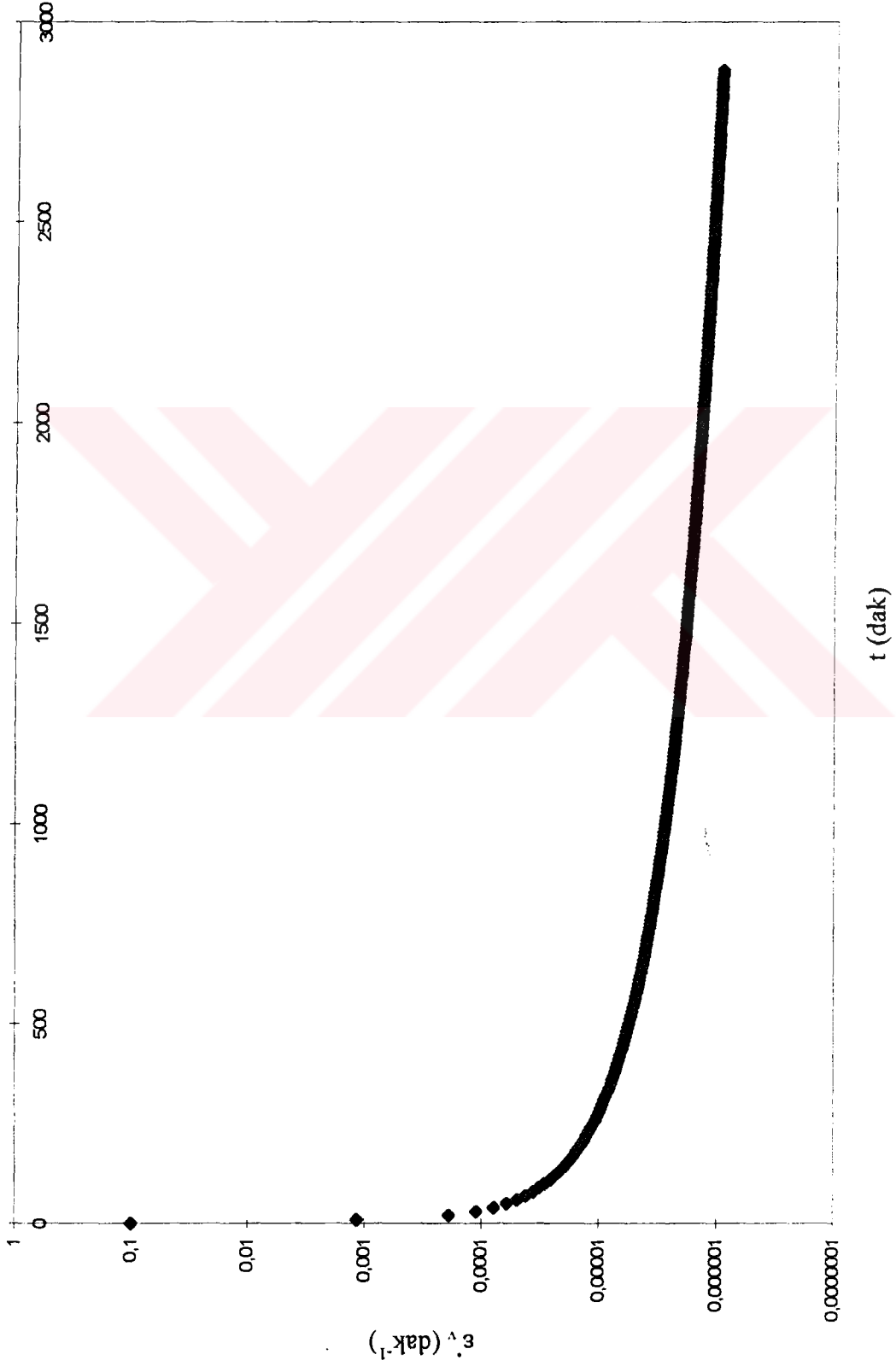
Şekil E3.75 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$

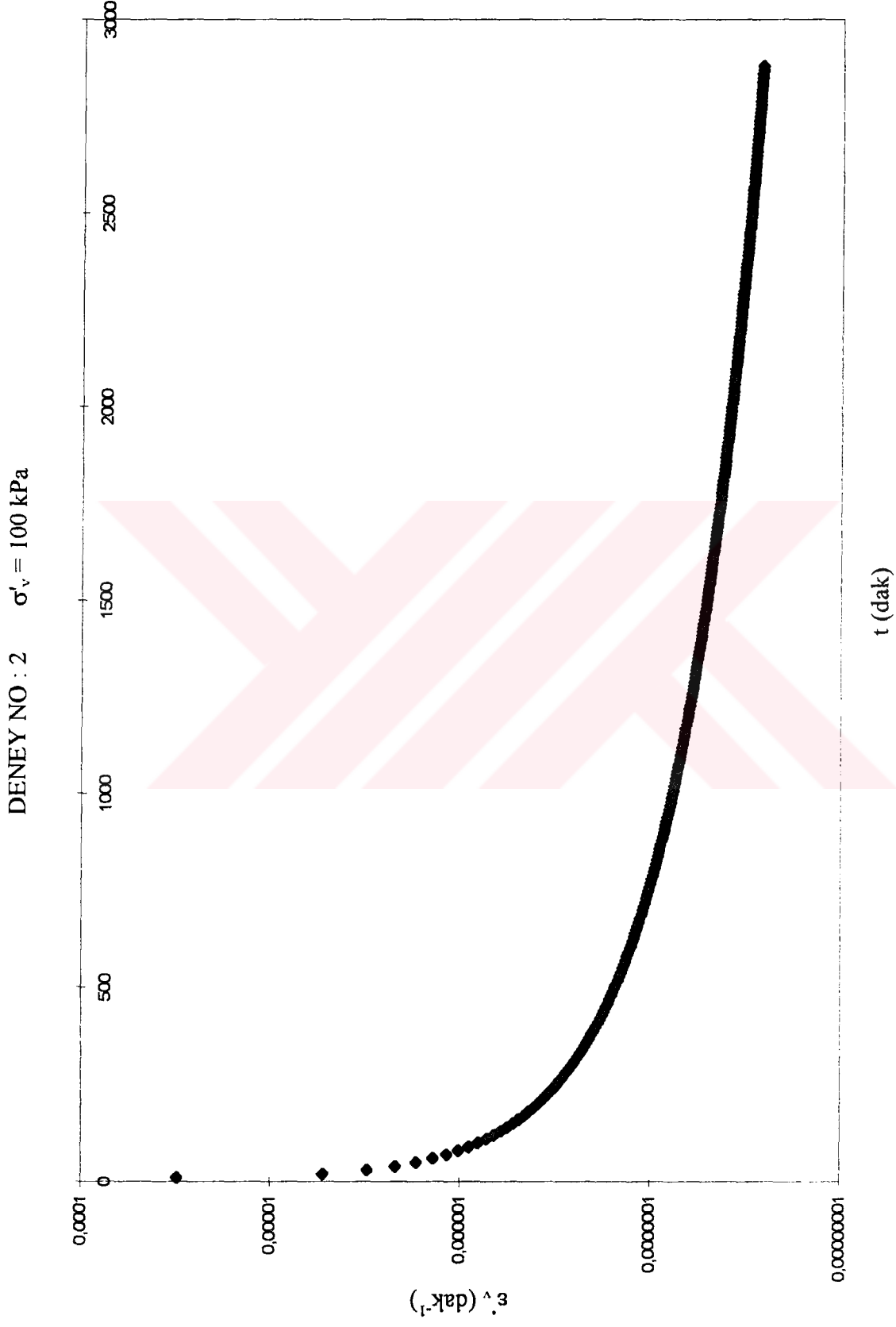


Şekil E3.76 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

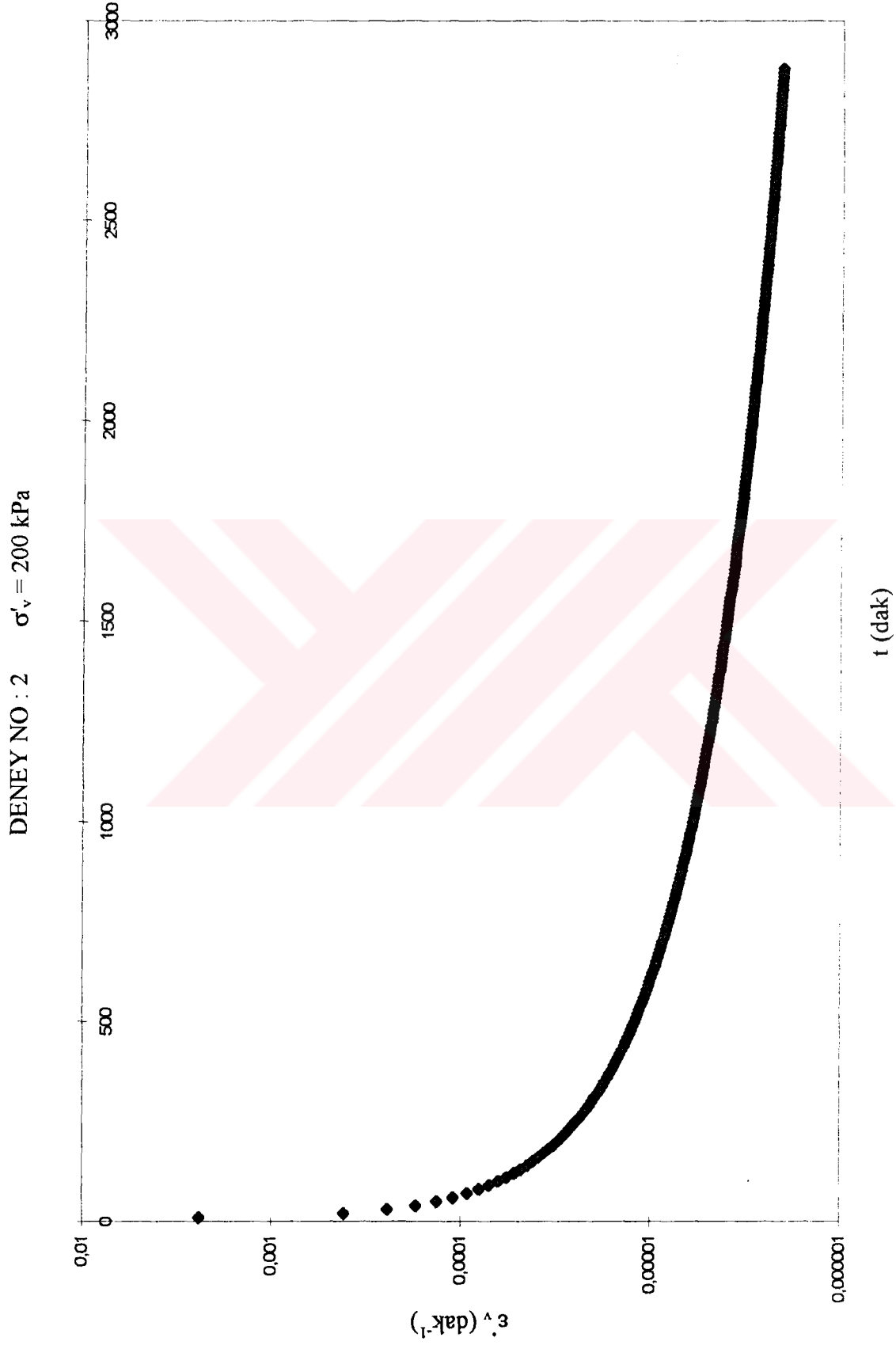
DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



Şekil E3.77 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

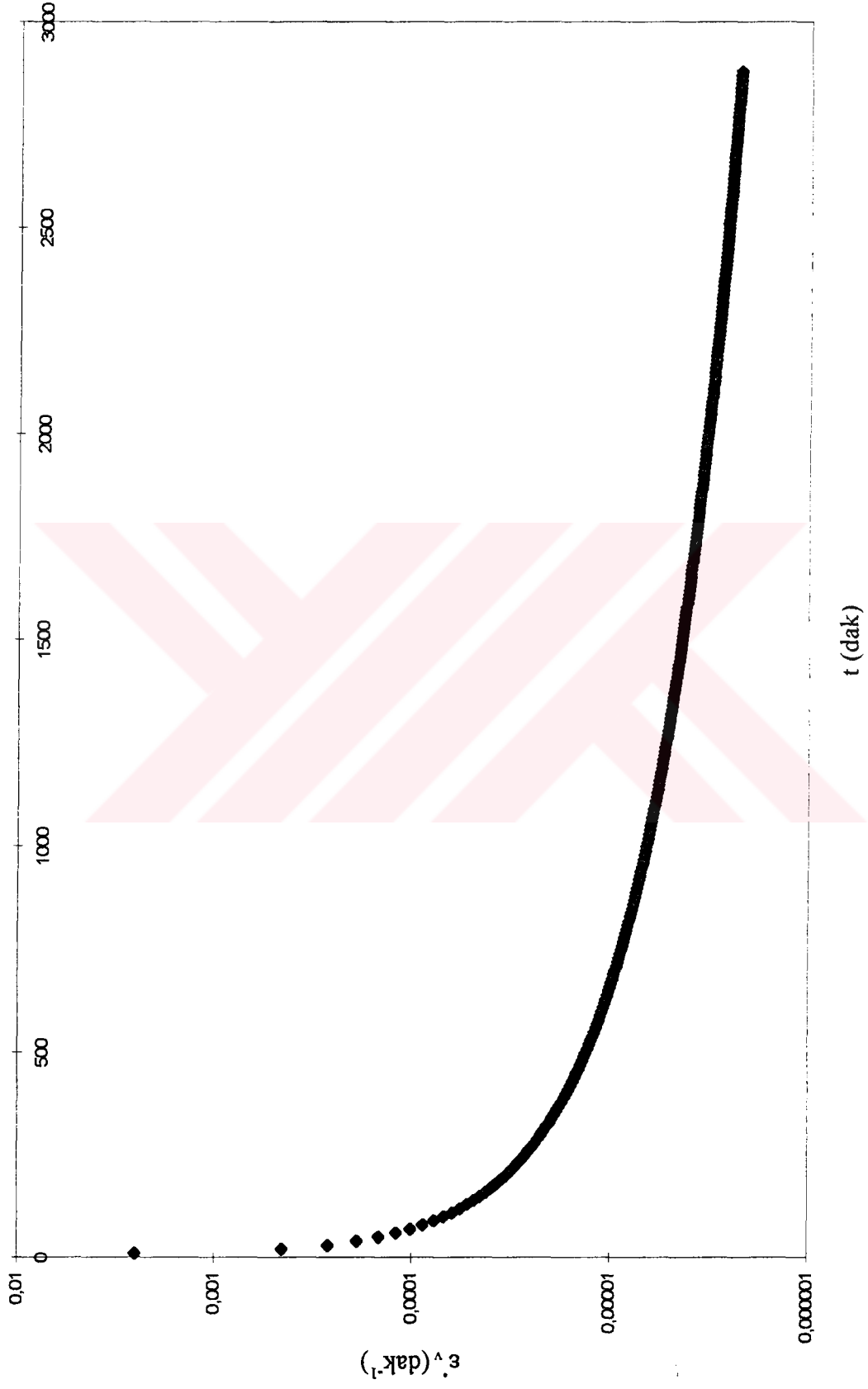


Şekil E3.78 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

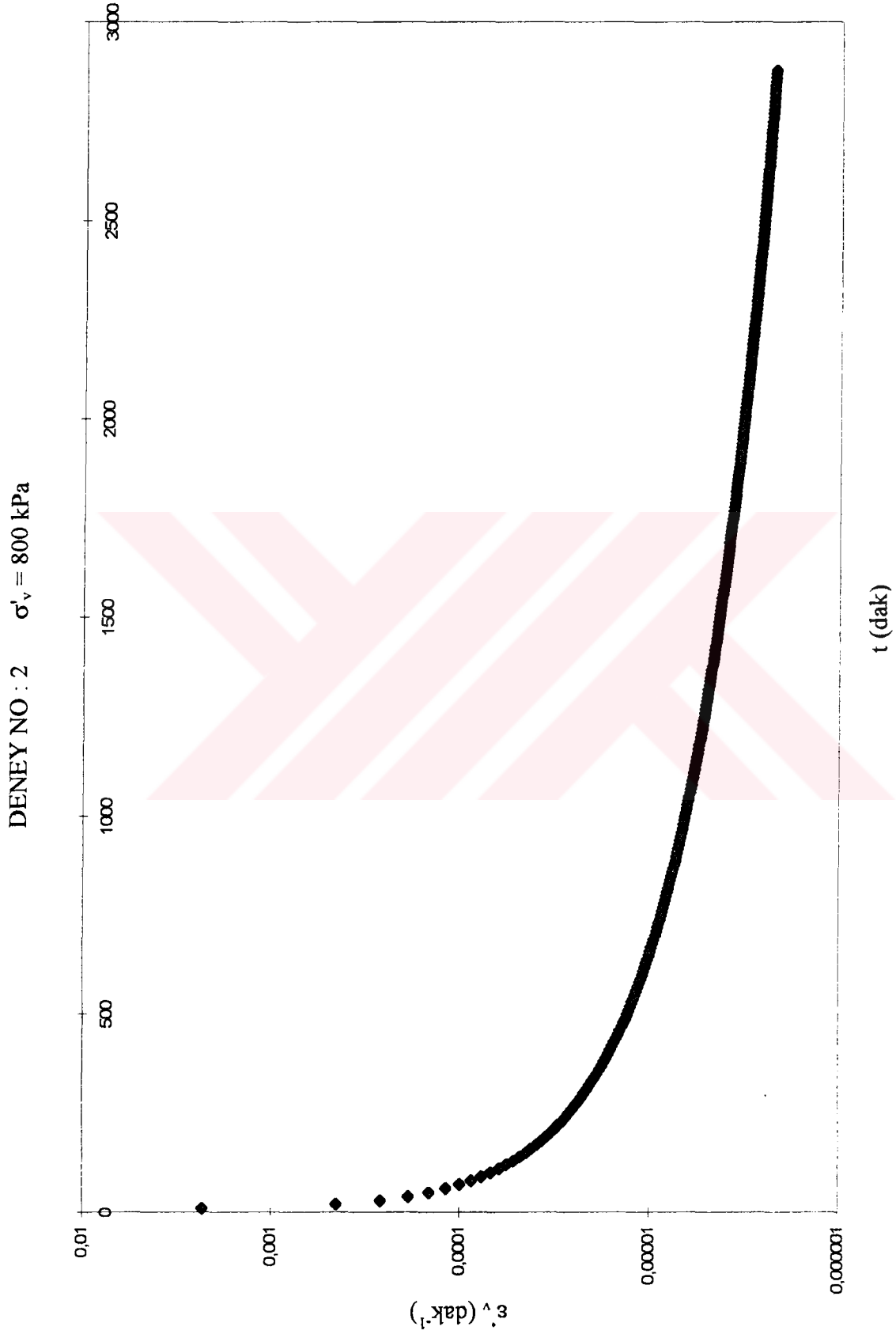


Şekil E3.79 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 2 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$

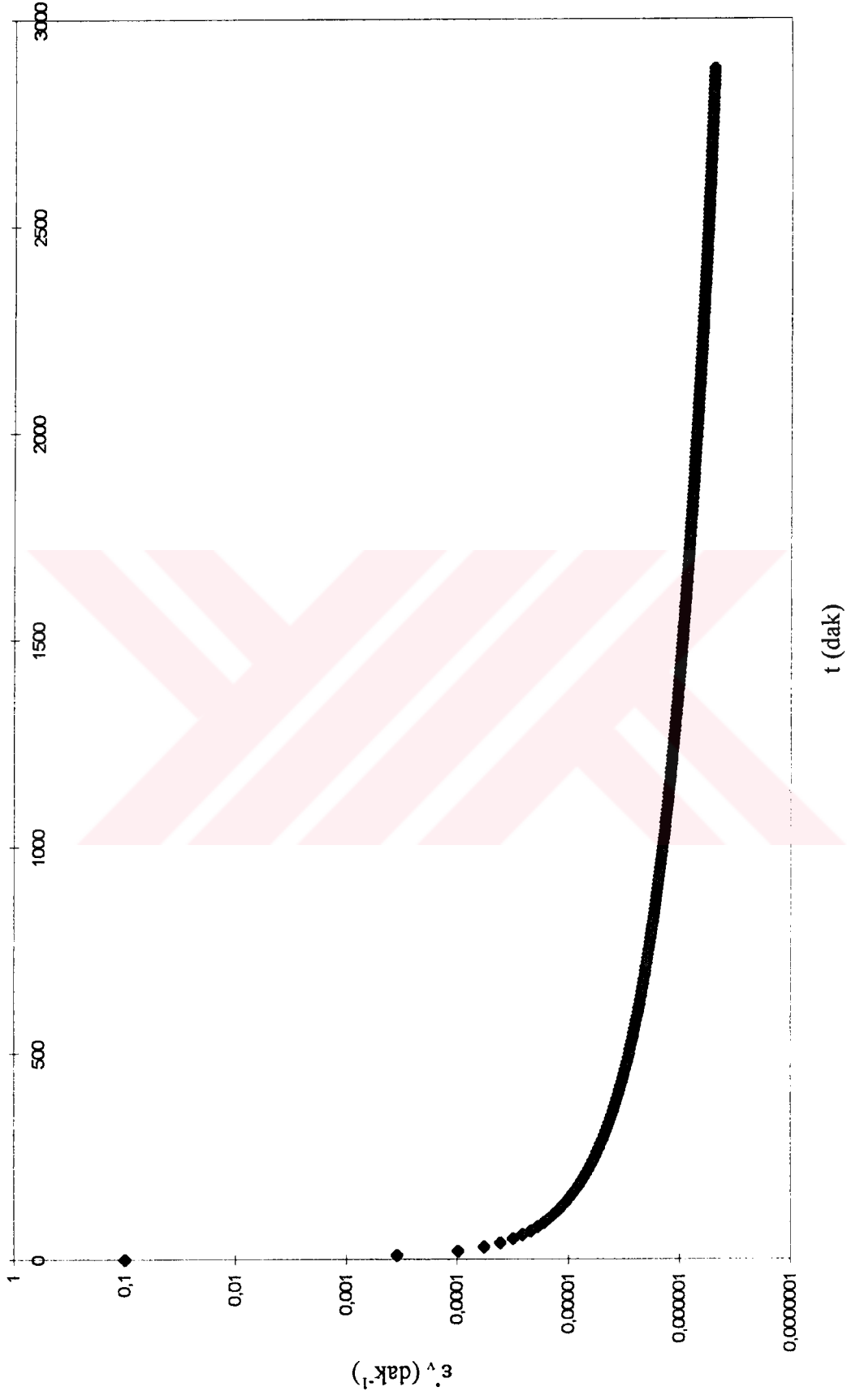


Şekil E3.80 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi



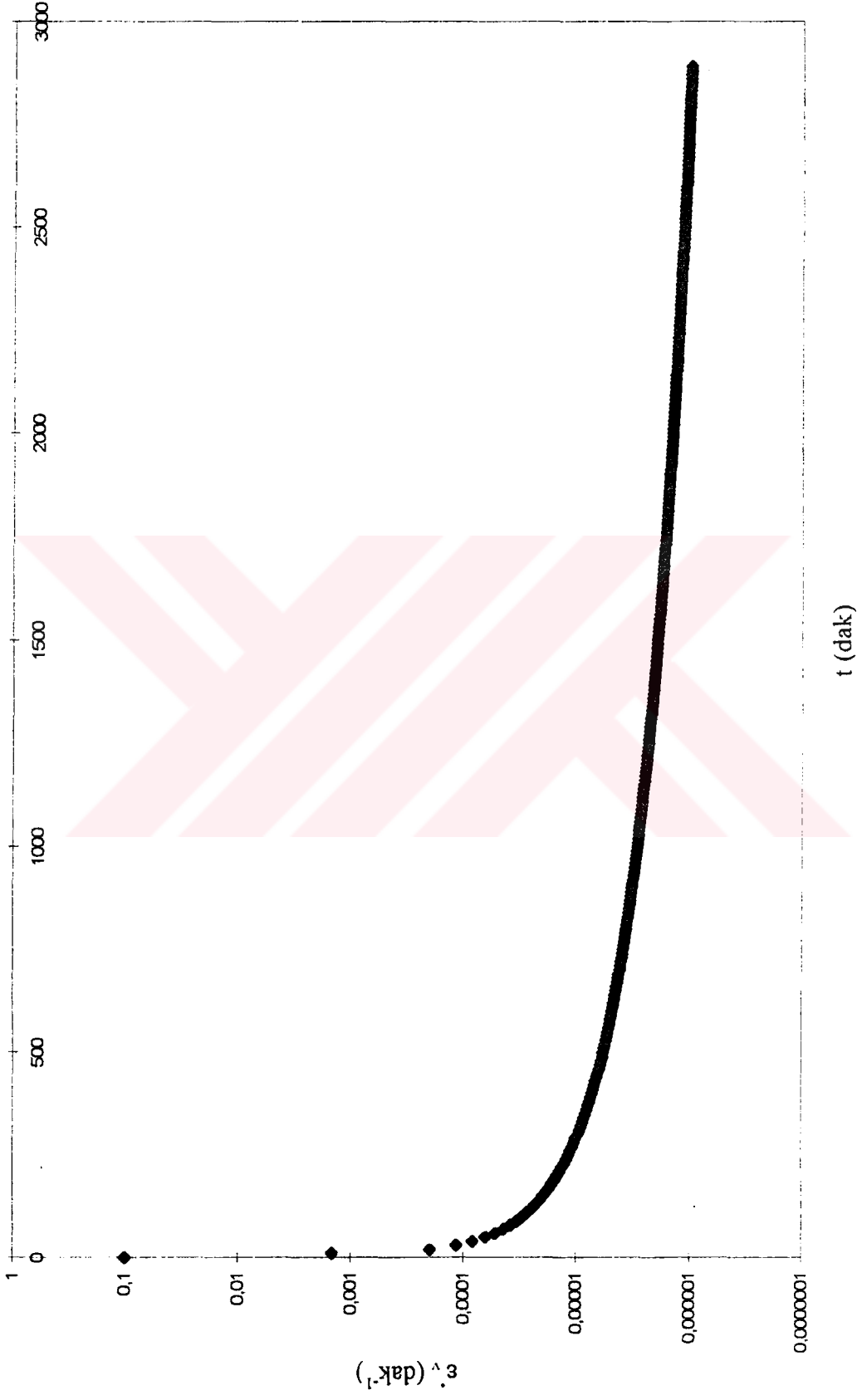
Şekil E3.81 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zamanın zaman ile değişimi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 200$ kPa



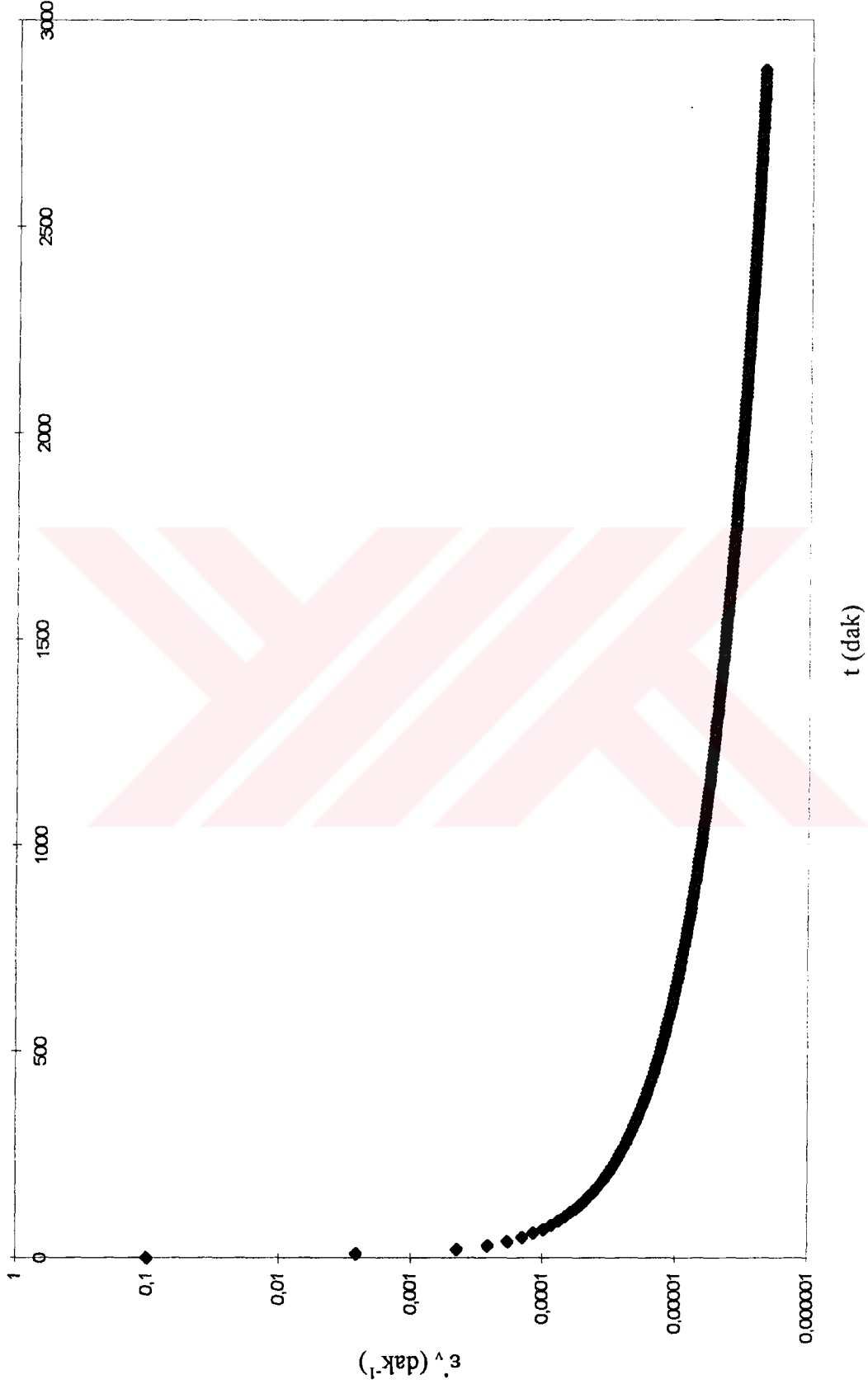
Şekil E3.82 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$

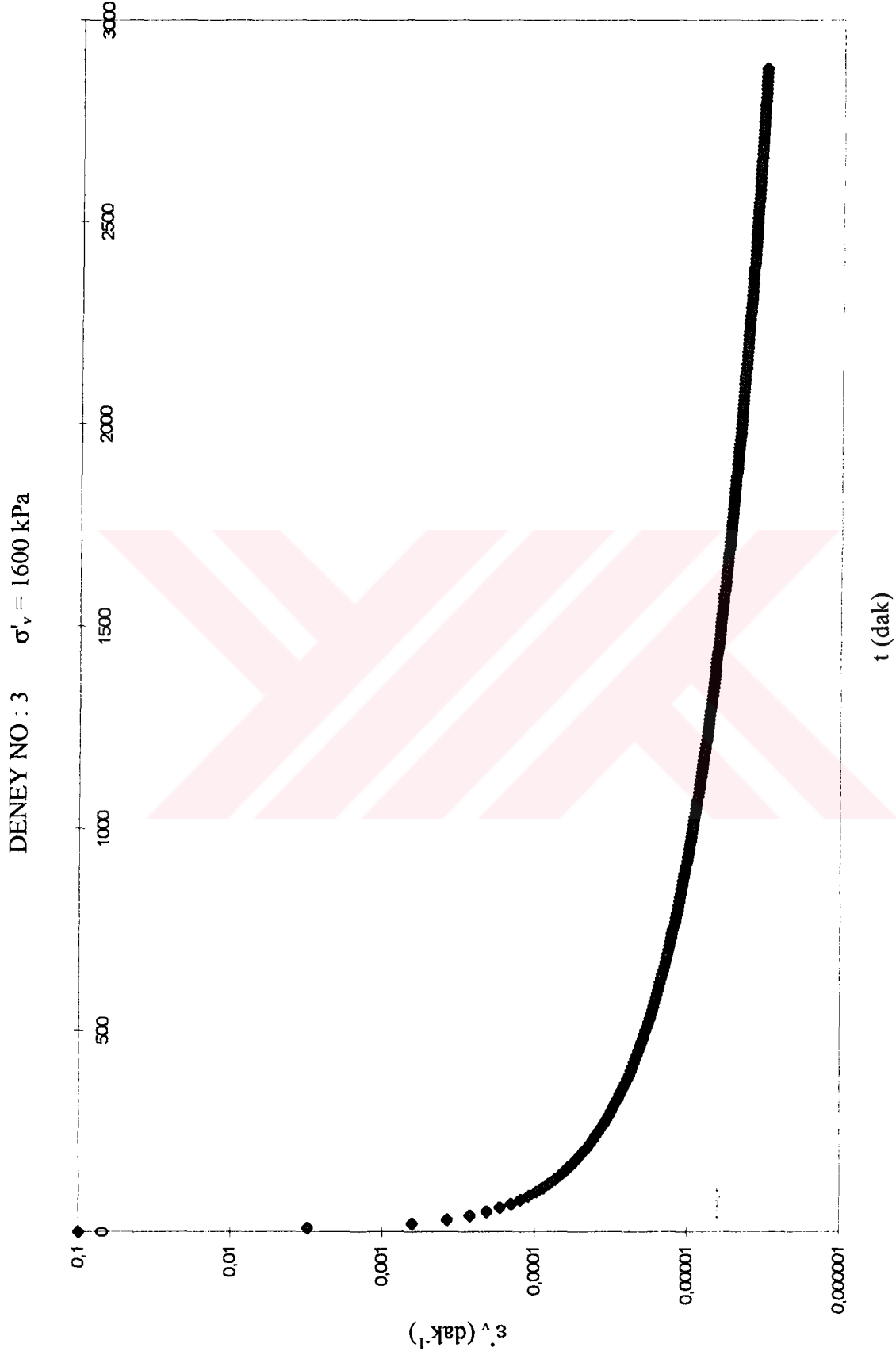


Şekil E3.83 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 3 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$

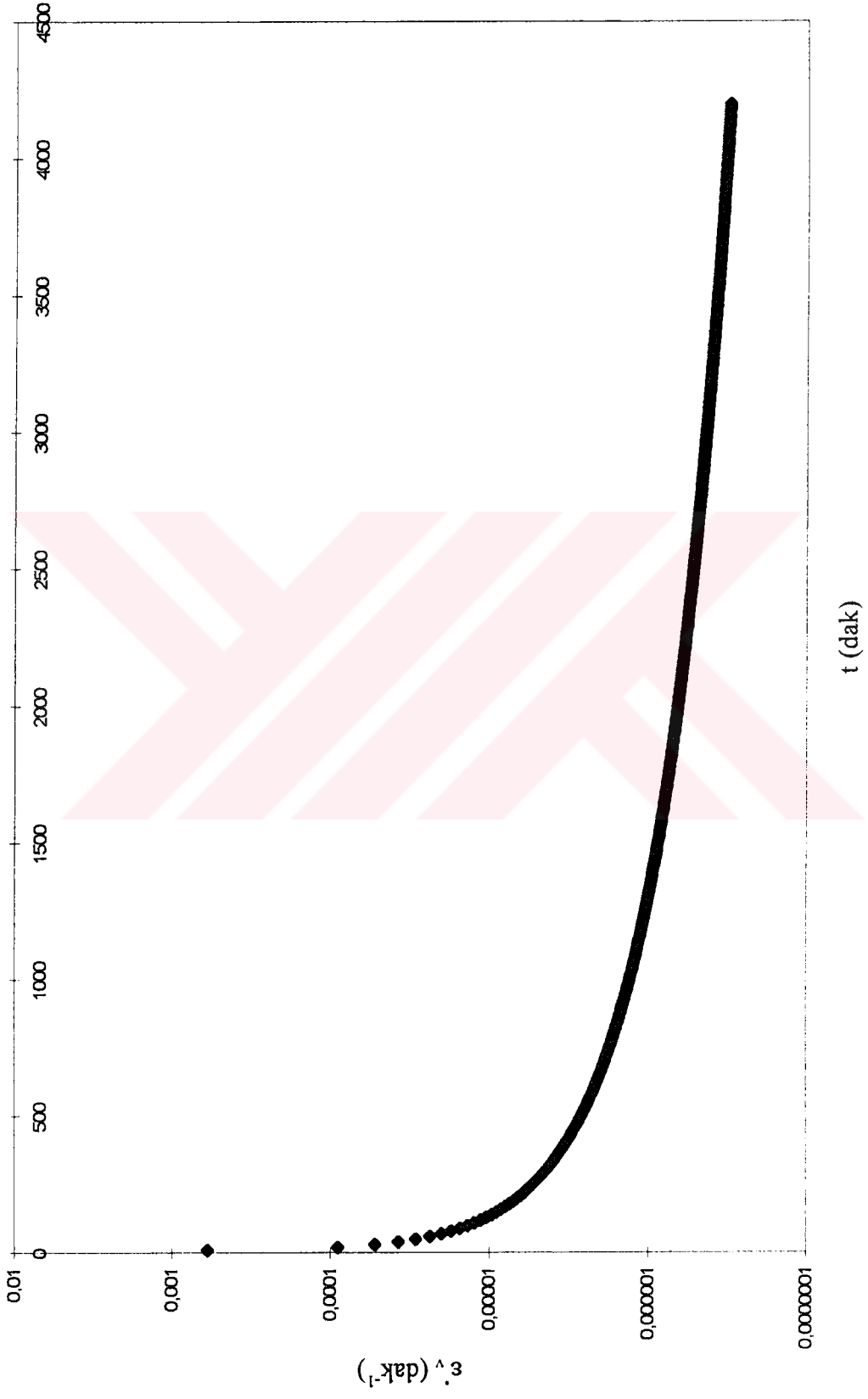


Şekil E3.84 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi



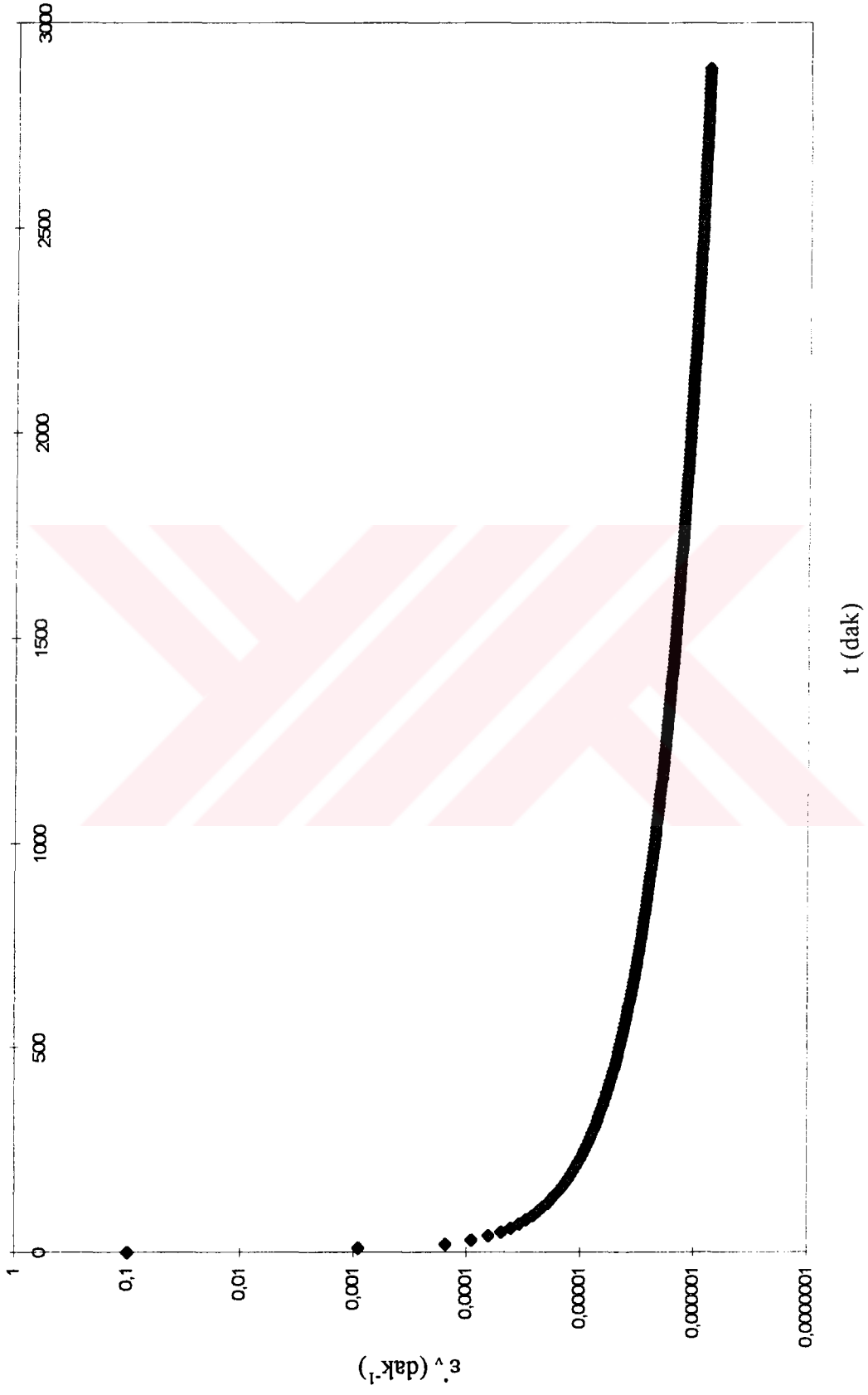
Şekil E3.85 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$



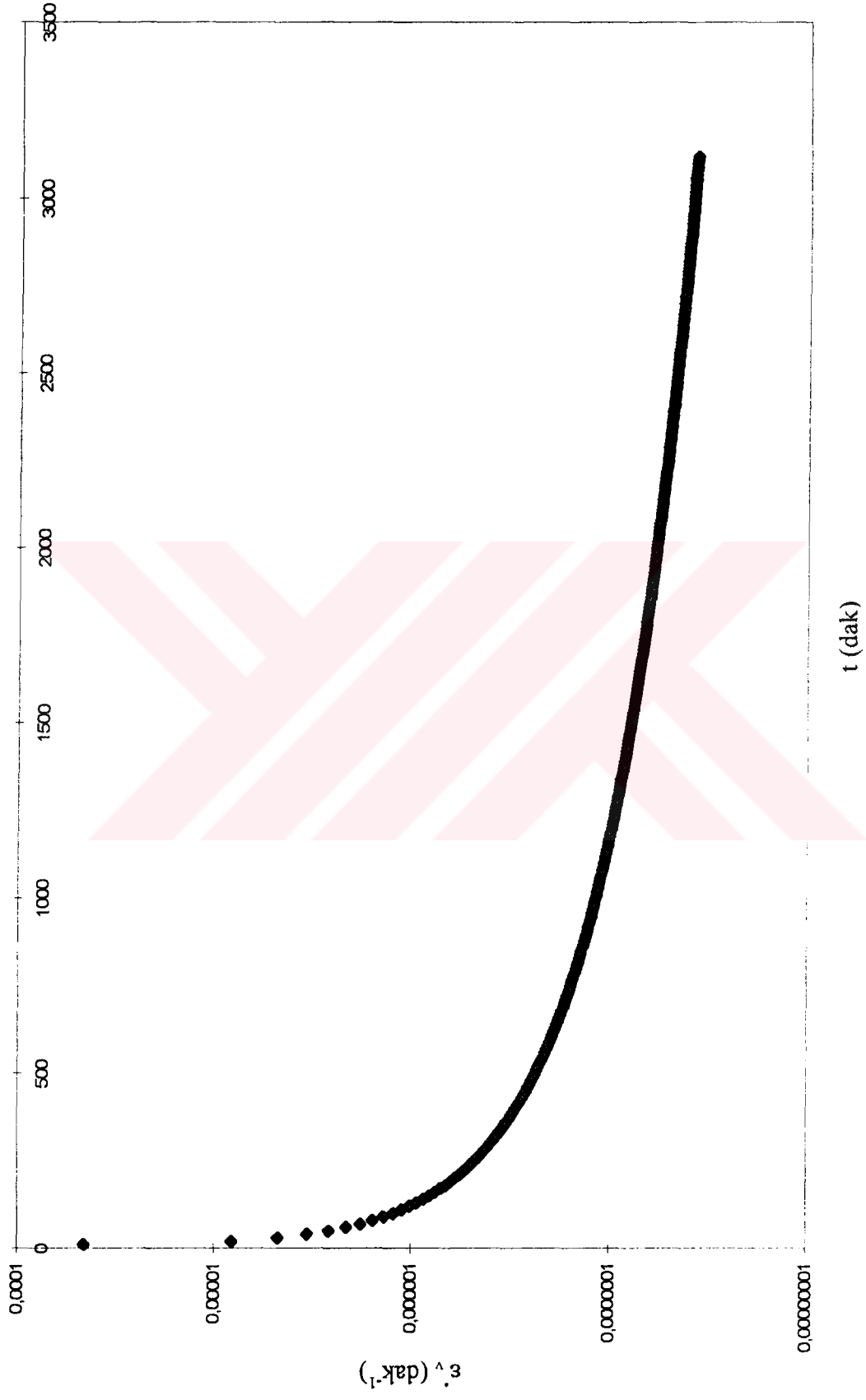
Şekil E3.86 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 50 \text{ kPa}$



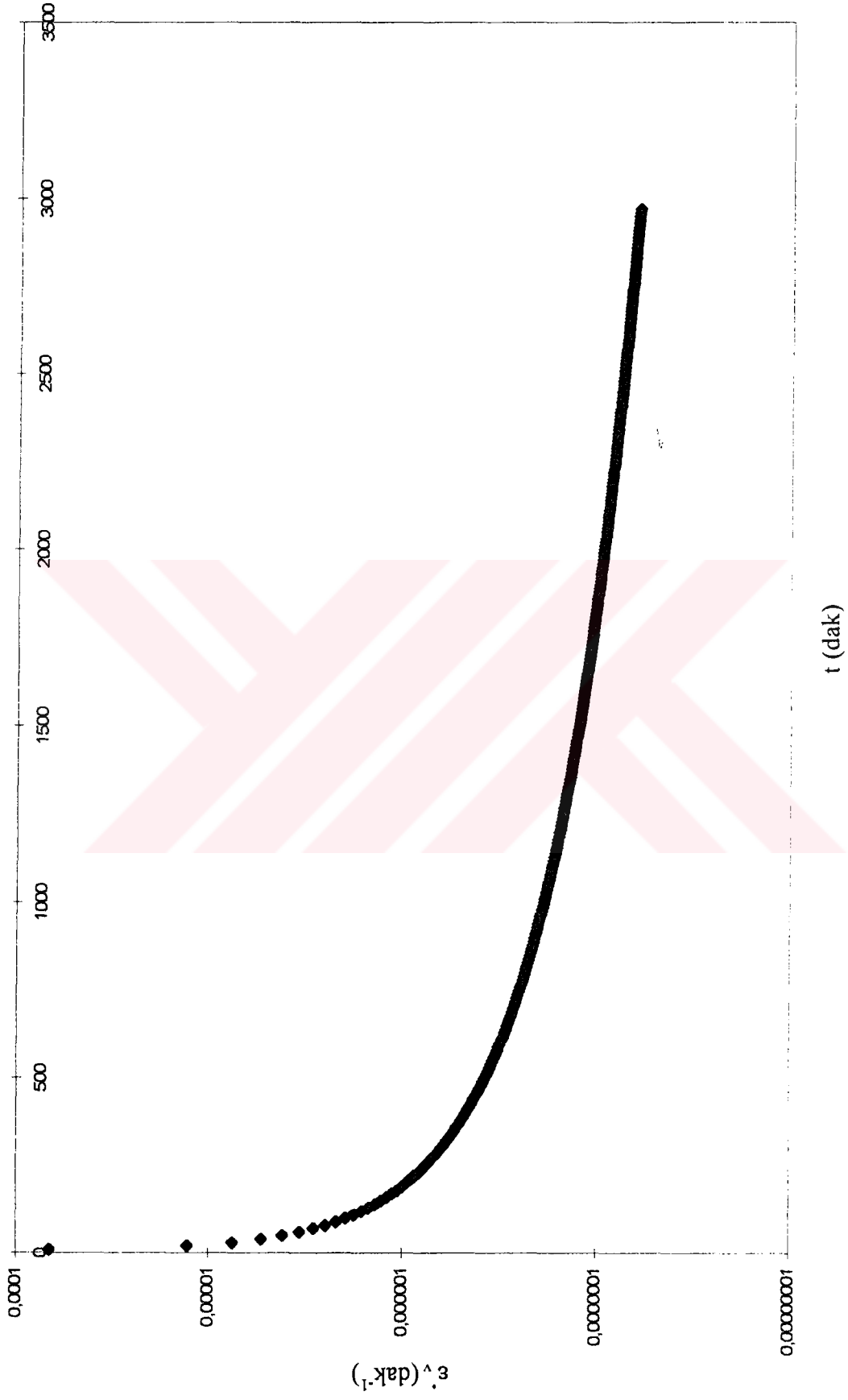
Şekil E3.87 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 400 \text{ kPa}$



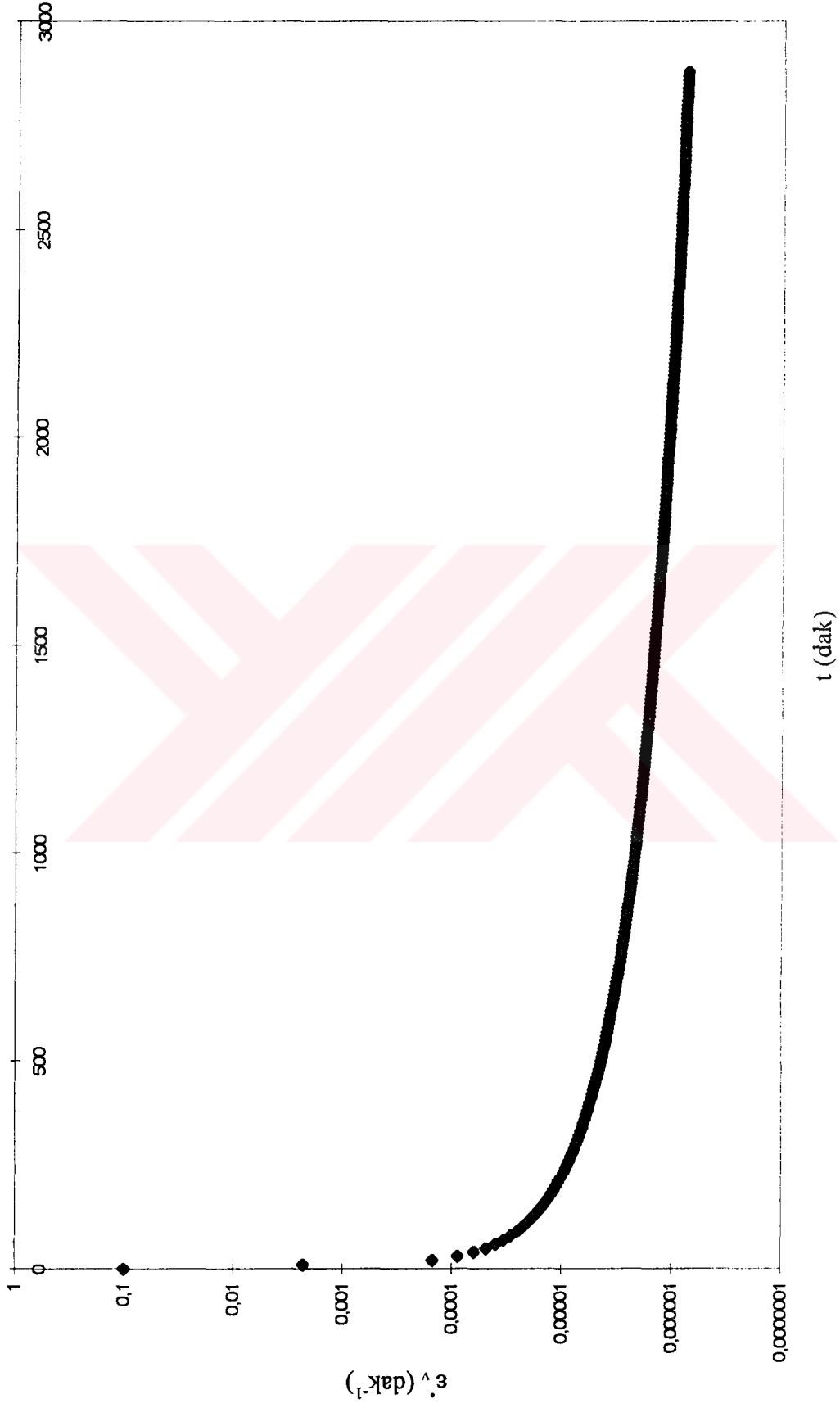
Şekil E3.90 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 4 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$

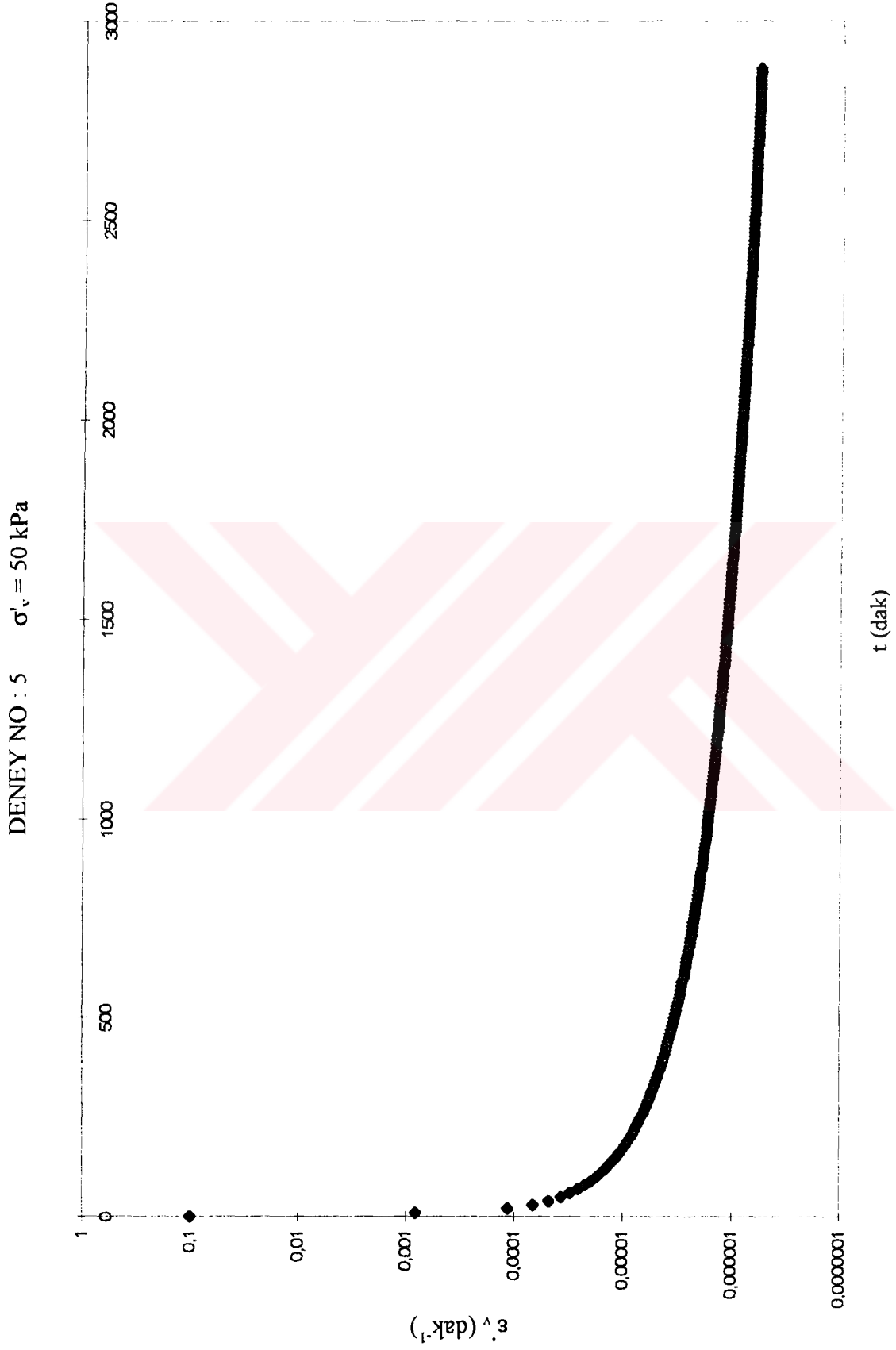


Şekil E3.91 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 25 \text{ kPa}$

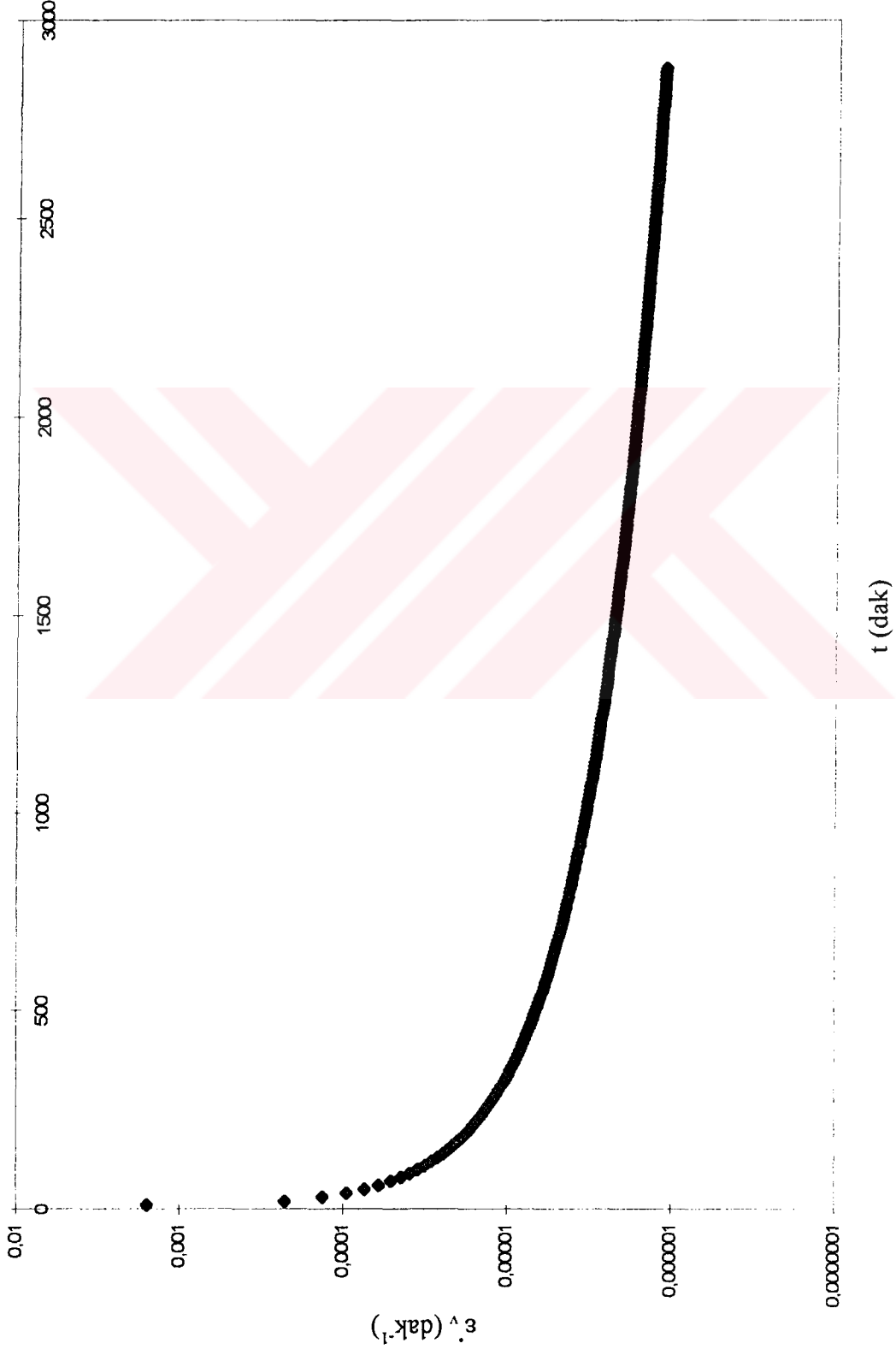


Şekil E3.92 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi



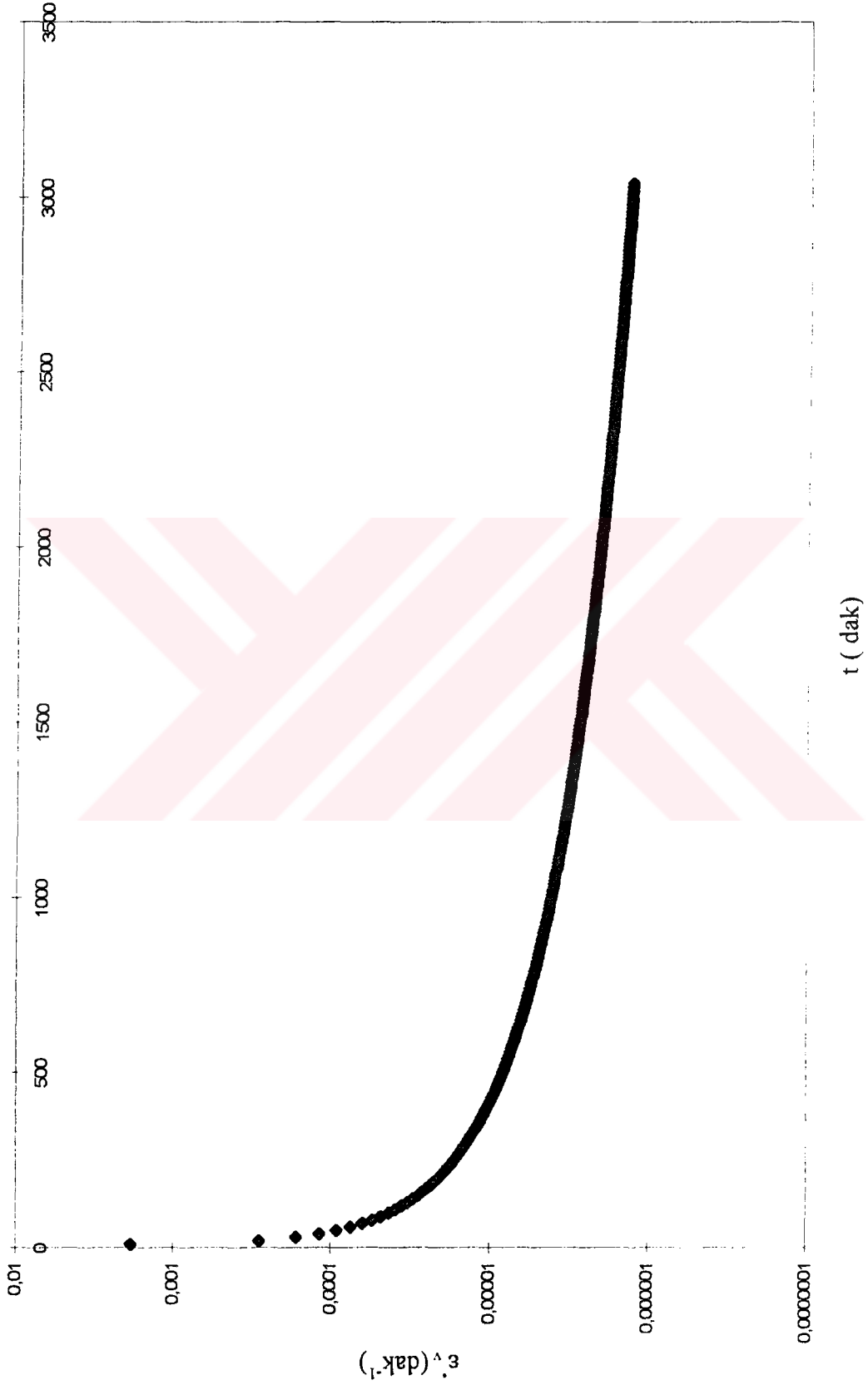
Şekil E3.93 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 100 \text{ kPa}$



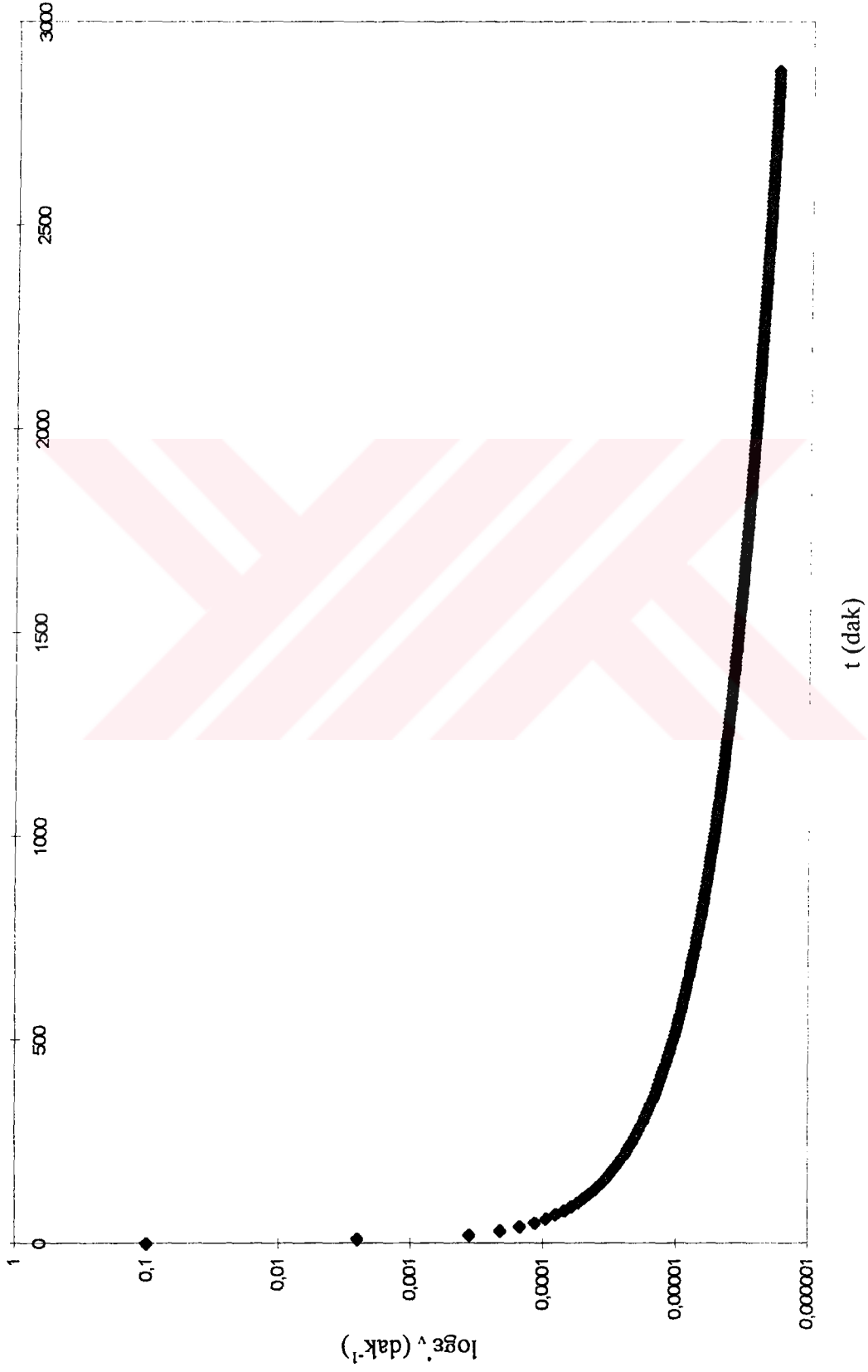
Şekil E3.94 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 200$ kPa



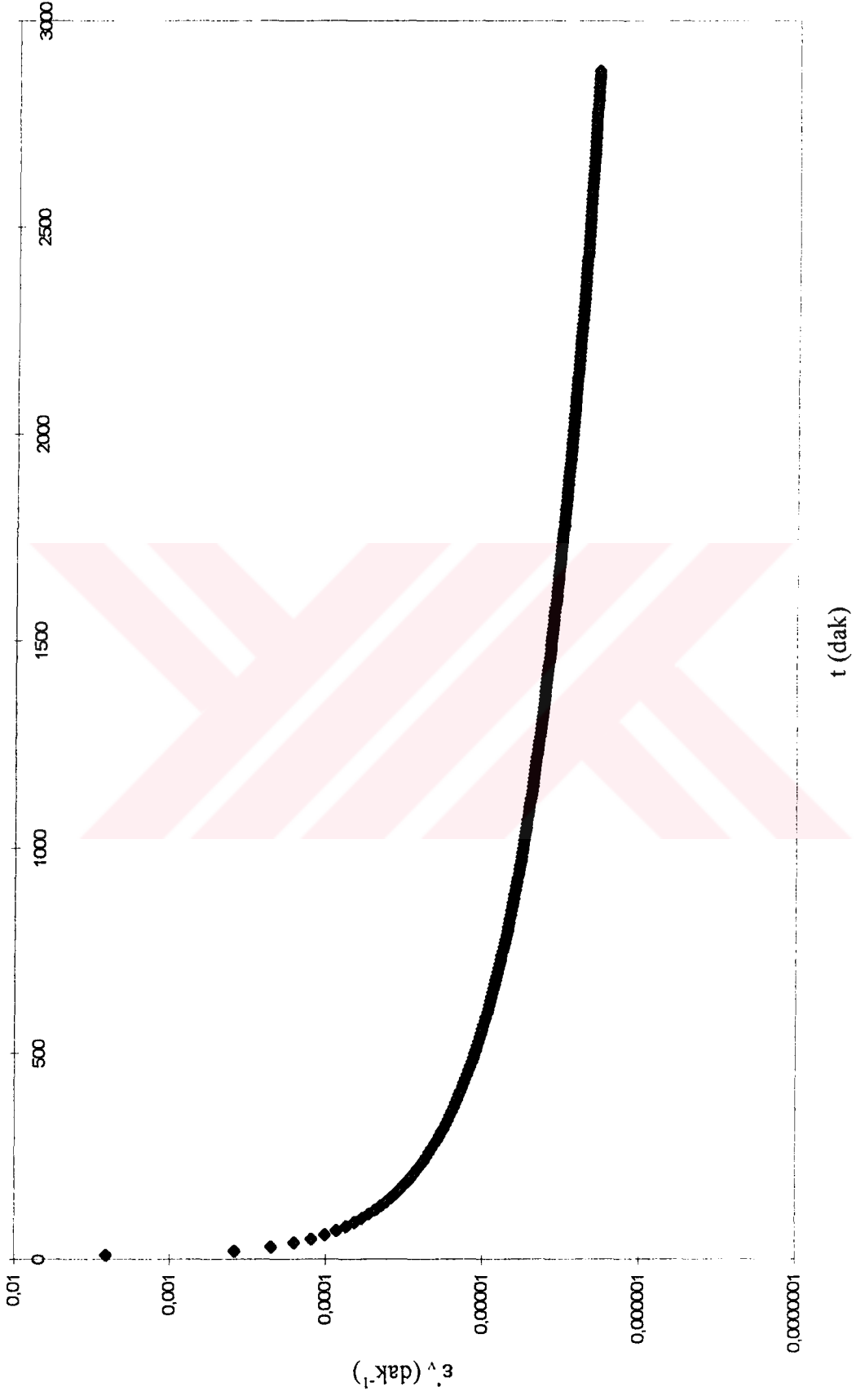
Şekil E3.95 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 400$ kPa



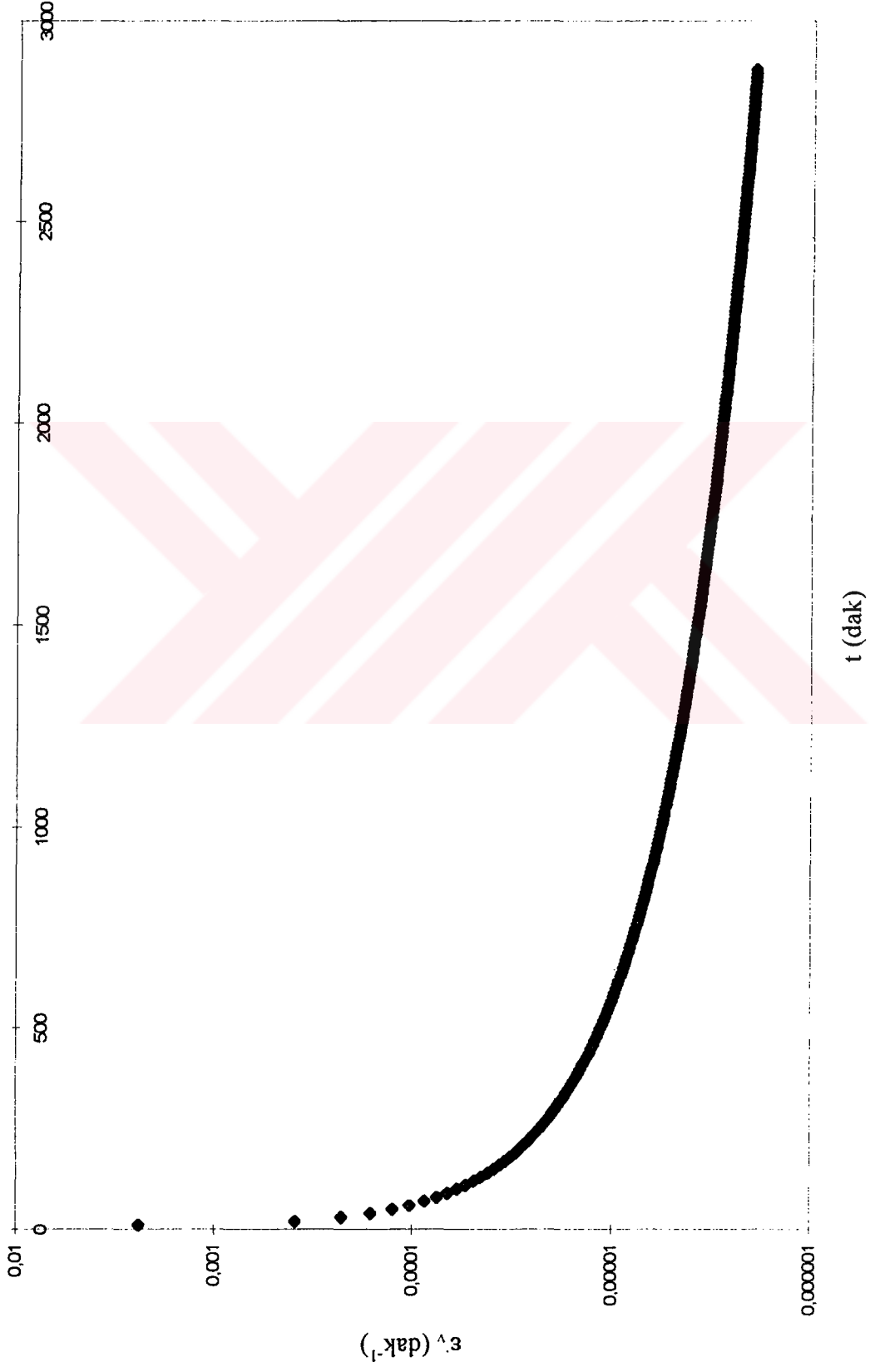
TC. ÇEVRE, ŞEHİRCİLİK VE KLİMA BAKANLIĞI
 MİLLÎ MÜHÜR
 Şekil E3.96 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zamana göre değişimi. ÇEVRE VE ŞEHİRCİLİK BAKANLIĞI
 MİLLÎ MÜHÜR

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 800 \text{ kPa}$



Şekil E3.97 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

DENEY NO : 5 $\sigma'_v = 1600 \text{ kPa}$



Şekil E3.98 Standart yüklemeli bir ödometre deneyinde şekil değiştirme hızının zaman ile değişimi

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	07.04.1969	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1983-1986	Mecidiyeköy Lisesi
Lisans	1988-1993	İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1995-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Müh. Anabilim Dalı, Geoteknik Programı
Çalıştığı Kurumlar	1997-Devam Ediyor	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri İnşaat Fakültesi Araştırma Görevlisi

