



TÜRKİYE BİLİMSEL VE
TEKNİK ARAŞTIRMA KURUMU

THE SCIENTIFIC AND TECHNICAL
RESEARCH COUNCIL OF TURKEY

TAMAMLANMASI

2003-94

PROJE NO: İÇTAG A028 (101 I 076)

İnşaat ve Çevre Teknolojileri Araştırma Grubu
Construction and Environmental Technologies
Research Grant Committee

TÜBİTAK – ARAŞTIRMA ALTYAPISINI DESTEKLEME PROGRAMI KAPSAMINDA

**17 AĞUSTOS 1999 KOCAELİ DEPREMİ SONUCU ADAPAZARI KENT
MERKEZİNDE BİNA TEMELLERİNDE MEYDANA GELEN
ZEMİN SIVILAŞMASI KAYNAKLI KALICI DEPLASMANLARIN
ARAŞTIRILMASI KAPSAMINDA SONDAJ VE ARAZİ DENEYLERİNİN
TAMAMLANMASI**

2003-94

PROJE NO: İÇTAG A028 (101 I 076)

Y.DOÇ.DR. B. SADIK BAKIR

**MART 2003
ANKARA**

ÖNSÖZ

17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen İzmit depremi sonrasında Adapazarı'nda bina temellerinde gözlenen ve bütün dünyada geoteknik deprem mühendisliği konusunda çalışan araştırmacıların dikkatini çeken deplasmanların mahiyetinin belirlenmesi ve konuyla ilgili olarak temel tasarım kriterleri yolunun açılabilmesi amacıyla Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Geoteknik Ana Bilim Dalı bünyesinde halen devam eden bir araştırma faaliyetine başlanmıştır. Bu faaliyet kapsamında, Adapazarı'nda mevcut yüzey zeminlerinin dinamik yükleme durumunda kayma mukavemeti değerlerinin belirlenebilmesi amacıyla Adapazarı'ndan zemin numuneleri alınabilmesi için gerekli destek TÜBİTAK Araştırma Altyapısını Destekleme Programı tarafından sağlanmıştır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
1. GİRİŞ	7
2. GENEL BİLGİLER	8
3. GEREÇ VE YÖNTEM	10
3.1. Kullanılan Ekipman	10
3.2. Deney Prosedürü	11
4. BULGULAR	12
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	52
6. REFERANSLAR	53

TABLULAR

- Tablo 1. Numune parametreleri ve deney koşulları (set 1) - 14
Tablo 2. Numune parametreleri ve deney koşulları (set 2 ve 3) - 23
Tablo 3. Numune parametreleri ve deney koşulları (set 4 ve 5) - 38

ŐEKİLLER

Set 1

- Şekil 1. Statik deneyde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 15
Şekil 2. Oedometre deney sonucu - 16
Şekil 3. Dinamik ve ani y¼klemde deviator gerilmesi - zaman değişimi - 17
Şekil 4. Ani y¼klemde d¼zeltilmiř eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi - 18
Şekil 5. Deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 19
Şekil 6. Ani y¼klemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) - 20
Şekil 7. evrim sayısı - birim deformasyon değişimi - 21
Şekil 8. evrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi - 22

Set 2

- Şekil 9. Statik deneyde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (set 2 ve 3) - 24
Şekil 10. Dinamik ve ani y¼klemde deviator gerilmesi - zaman değişimi - 25
Şekil 11. Ani y¼klemde d¼zeltilmiř eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi - 26
Şekil 12. Deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 27
Şekil 13. Ani y¼klemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) - 28
Şekil 14. evrim sayısı - birim deformasyon değişimi - 29
Şekil 15. evrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi - 30

Set 3

- Şekil 16. Dinamik ve ani y¼klemde deviator gerilmesi - zaman değişimi - 31
Şekil 17. Ani y¼klemde d¼zeltilmiř eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi - 32
Şekil 18. Deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 33
Şekil 19. Ani y¼klemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) - 34
Şekil 20. evrim sayısı - birim deformasyon değişimi - 35

Şekil 21. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi - 36

Set 4

Şekil 22. Statik deneyde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 39

Şekil 23. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi - 40

Şekil 24. Ani yüklemde düzeltilmiş eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi - 41

Şekil 25. Deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 42

Şekil 26. Ani yüklemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) - 43

Şekil 27. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi - 44

Şekil 28. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi - 45

Set 5

Şekil 29. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi - 46

Şekil 30. Ani yüklemde düzeltilmiş eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi - 47

Şekil 31. Deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi - 48

Şekil 32. Ani yüklemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) - 49

Şekil 33. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi - 50

Şekil 34. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi - 51

ÖZ

17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen İzmit depremi sonrasında Adapazarı'nda bina temellerinde gözlenen deplasmanların mahiyetinin araştırılması ve konuyla ilişkili olarak tasarım kriterlerinin belirlenebilmesi amacıyla ODTÜ İnşaat Mühendisliği bünyesinde yürütülen araştırma faaliyeti kapsamında Adapazarı'ndan temin edilen zemin numuneleri farklı asal gerilmeler altında konsolide edildikten sonra statik ve dinamik üç eksenli deneylere tabi tutulmuştur. Statik deneyler standart prosedür takip edilerek yapılmış, dinamik deney serisinde ise önceden belirlenen CSR değeri ve çevrim sayısı uygulandıktan sonra numune ani yüklemeye yenilmiştir. Elde edilen bulgular, deprem sırasında bu zeminlerin kayma modüllerinin azaldığını (yumuşama), diğer taraftan yükleme hızındaki artış nedeniyle kayma mukavemetlerinde artışlar meydana gelmiş olduğunu göstermektedir. Dinamik yükleme sonucunda meydana gelen aşırı boşluk suyu basınç artışları ise, ince malzeme ihtiva eden bu tür zeminler için beklendiği şekilde, genellikle düşük mertebelerde kalmıştır.

ABSTRACT

As part of the research work conducted at the METU Civil Engineering Department concerning the explanation of foundation displacements observed in the City of Adapazarı following the 17 August 1999 earthquake and determination of a relevant design approach, soil samples obtained from Adapazarı were uniaxially consolidated and subsequently subjected to static and dynamic triaxial tests. A standard procedure was followed in the static tests, whereas in dynamic tests, following the application of a dynamic load stage of a predefined CSR value and a number of cycles, the samples were subjected to rapid loading leading to failure. The results show that the shear moduli of these soils were reduced under earthquake loads, while shear strength levels were increased with respect to static values due to the increased rate of loading. The increases in the excess pore pressure levels remained relatively low during dynamic loading, as would be expected in the case of such fine grained materials.

1. GİRİŞ

17 Ağustos 1999 İzmit depremde Adapazarı'nda özellikle dört ve daha çok katlı binaların temellerinde meydana gelen farklı modlardaki (oturma, eğilme ve yatay ötelenme) kalıcı deplasmanlar bütün dünyada geoteknik deprem mühendisliği konusunda çalışan araştırmacıların dikkatini çekmiş bulunmaktadır. Bu deplasmanların nedenlerinin araştırılması ve konunun gerek yapıların deprem performansı açısından değerlendirilmesi, gerekse temel tasarımı kriterleriyle ilişkilendirilmesiyle ilgili olarak O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümünde yürütülmekte olan araştırma projesi kapsamında, Adapazarı'ndan numune temin edilebilmesi için TÜBİTAK – Araştırma Altyapısını Destekleme Programından tarafımızca destek talep edilmiştir. Tebimizizin kabul edilmesi üzerine sağlanan 2.5 milyar TL destekle Adapazarı'nda 2002 Ağustos ayı içerisinde 6 adet zemin sondajı gerçekleştirilmiş ve bir dizi örselenmemiş zemin numunesi temin edilmiştir.

Bu raporda, Adapazarı'ndan alınmış olan numuneler üzerinde O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü Zemin Mekaniği Laboratuvarında gerçekleştirilen statik ve dinamik üç eksenli deneylerle zemin sınıflandırma deneylerinden elde edilen sonuçlar sunulmaktadır. Adapazarı'nda 17 Ağustos depremi sonrasında bina temellerinde meydana gelen deplasmanların mahiyetinin açıklanabilmesi bakımından son derece değerli olan bu sonuçlar deplasmanların, zemin yapısı, yer hareketi, yapı ve temel boyut özellikleri bakımından hangi koşullarda ve seviyelerde ortaya çıkmış olduğunun belirlenmesiyle genelleştirilmiş bir tasarım prosedürü elde edilmesini amaçlayan ve halen devam eden araştırma projemiz kapsamında değerlendirilecektir. Konu, ortalama olarak her beş yılda bir büyük bir depremin yaşandığı ülkemizde ve dünyada mevcut diğer aktif deprem bölgelerinde benzer koşullara sahip yerleşim alanlarında yapıların sismik tasarımı, deprem hasarlarının öngörülebilmesi ve önlenmesi bakımından önemlidir.

Depremler sonucunda bina temellerinde Adapazarı'nda gözlemlendiği şekilde ortaya çıkan bu tür oturmaların iki farklı nedenden kaynaklanabileceği bilinmektedir: Bu nedenlerden birisi, deprem sırasında dinamik yükleme sonucu meydana gelen temel yenilmesine (foundation failure) bağlı kayma deformasyonları, diğeri ise, dinamik yükleme sonrasında meydana gelen aşırı boşluk suyunun zaman içerisinde sönmülmesine bağlı olarak bina temeli altında yer alan zeminde meydana gelen hacimsel küçülmedir [1, 2].

Bir sonraki bölümde detaylı olarak bahsedilecek olan ön değerlendirmelerimiz sonucunda elde edilen bulgular ışığında, Adapazarı'ndan alınan numuneler üzerinde yapılacak deneyler için bir program hazırlanmıştır. Deneysel çalışmamızın amacı "Adapazarı yüzey zeminlerinde kayma mukavemetinin deprem sırasında zemine etkileyen dinamik yüklemelerden nasıl etkilendiğinin belirlenmesi" olarak tanımlanabilir. Deney programı çerçevesinde kayma dayanımındaki değişim, aynı derinlikten alınan zemin numuneleri üzerinde gerçekleştirilen şu iki farklı deney setinden elde edilen sonuçlar kullanılarak belirlenmiştir:

1. Standart bir prosedür uygulanarak yapılan statik (monotonik) üç eksenli deneyler
2. Dinamik üç eksenli deney düzeneği kullanılarak belirli bir CSR değeri ve çevrim sayısı uygulandıktan sonra ani yüklemelerle yapılan deneyler

Burada, standart statik deneylerle belirlenen kayma mukavemeti değerlerinin dinamik yüklemenin mukavemet üzerindeki etkilerinin değerlendirilebilmesi için bir referans teşkil etmesi amaçlanmıştır. Numunelere farklı CSR değerleri ve çevrim sayıları uygulanması sonrasında ani yükleme yoluyla elde edilen kayma mukavemeti ise, deprem sırasında zemin mukavemetinde meydana gelen değişimi ifade etmektedir. Ayrıca, deneye tabi tutulan bütün numuneler için standart sınıflandırma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

17 Ağustos depremi sonrasında Adapazarı'nda yapılan gözlemsel ve deneysel incelemeler, kent üzerinde yer aldığı yüksek oranlarda kil ve silt ihtiva eden genç alüvyon zeminlerde deprem sırasında boşluk suyu basınçlarının bir miktar artmış olduğunu işaret etmektedir [3]. Ancak, Adapazarı'nda hakim zemin yapısını da oluşturan ince daneli malzeme (silt ve kil) ihtiva eden zeminlerde, deprem sırasında uygulanan dinamik yüklemelere bağlı boşluk suyu basınç artışlarının genellikle oldukça düşük mertebelerde kaldığı da bilinmektedir. Bu nedenle, ince daneli zeminlerde deprem koşullarında klasik anlamda bir sıvılaşma hadisesi söz konusu değildir. Diğer taraftan, konuyla ilgili olarak gerçekleştirmiş olduğumuz ön analitik çalışmalar depremler sırasında bina temelleri altında meydana gelen boşluk suyu basınç artışlarının, genel olarak, binaların etki alanı dışında kalan doğal zeminlerde meydana gelen boşluk suyu basınç artışlarına oranla daha düşük mertebelerde kalacağını ortaya koymaktadır. Daha önce yapılmış olan araştırmaların literatürde yer alan sonuçlarıyla da uyum içerisinde olan bu bulgu, boşluk suyu basınçlarındaki artışlar itibariyle deprem sonrasında binaların çevre

zeminlere oranla daha az oturmuş olması gerektiğini göstermektedir [1, 4, 5]. Ancak, Adapazarı'nda deprem sonrasında binaların çevre zeminlere göre daha fazla oturmuş olduğu göz önüne alındığında, bina temellerinde meydana gelen bu oturmaların nedeninin boşluk suyu basınçlarındaki artışlar değil, deprem sırasında dinamik yüklemeye bağlı olarak meydana gelen temel yenilmeleri olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır.

Suya doymun ince daneli zeminlerde drenajsız kayma mukavemeti ani yükleme durumunda, yükleme süresinin bir fonksiyonu olarak, standart prosedürlerle elde edilen statik (monotonik yükleme) mukavemet değerinin 1.5 katına kadar artış gösterebilmektedir [2]. Zeminlerin dinamik yükler altında viskoz (viscous) davranış göstermesine bağlı olarak çıkan bu durum, hemen hemen bütün modern deprem şartnamelerinde dikkate alınmakta ve deprem durumunda statik koşullar için belirlenen emniyetli taşıma gücünün %50 kadar artırılmasına izin verilmektedir. Diğer taraftan, yine bu tür zeminlerde, drenajsız kayma mukavemeti deprem sırasında meydana gelen boşluk suyu artışlarına bağlı olarak bir miktar düşmektedir. Diğer bir deyişle, deprem sırasında ani yükleme nedeniyle artan drenajsız kayma mukavemeti, diğer yandan boşluk suyu basınçlarındaki artış miktarlarına bağlı olarak azalmaktadır. Boşluk suyu basınçlarındaki artışlar zemin özellikleri, çevrimsel gerilme oranı (CSR – Cyclic Stress Ratio) ve çevrim sayısı faktörlerine bağlı olarak tanımlanmaktadır.

İnce daneli zeminlerin dinamik yükler altında kayma dayanımıyla ilgili olarak yapılan literatür taramasından elde edilen önemli noktalar aşağıda verilmektedir.

1. Dinamik yükleme sırasında uygulanan çevrim sayısı ve CSR değerindeki artışla birlikte, ani yükleme sonucu elde edilen kayma mukavemeti statik kayma mukavemeti değerine yaklaşmaktadır. Bu durumun nedeni, ani yüklemede viskoz davranış nedeniyle artan kayma dayanımının çevrimsel yükleme sırasında ortaya çıkan boşluk suyu basınçları nedeniyle düşme eğilimi göstermesidir [6].
2. Ani yükleme durumunda elde edilen kayma mukavemeti gerilme koşullarına (stress path), aşırı konsolidasyon oranına (OCR), yükleme öncesi konsolidasyon sırasında numuneye uygulanan kayma gerilmesi miktarına ve yükleme sırasında uygulanan çevrim sayısına bağlı olarak değişmektedir [2].

3. Kayma mukavemeti yükleme hızındaki artışa paralel olarak artarken, çevrimsel yüklemelerde uygulanan kayma gerilmesi seviyesi ve birim deformasyondaki artışlarla birlikte azalmaktadır. Dolayısıyla, kayma mukavemeti sismik koşullar için değerlendirilirken mukavemet üzerinde etkili olan bütün faktörlerin dikkate alınması gerekmektedir. Sonuç olarak, sismik koşullar için elde edilen kayma mukavemetinin standart statik deneylerle elde edilen değerlere göre daha yüksek veya daha düşük olması mümkündür [7, 8].
4. Çevrimsel yükleme öncesinde farklı asal gerilmeler (anisotropik) altında konsolidasyona maruz kalan killerde meydana gelen mukavemet kaybı, eşit asal gerilmeler altında (isotropik) konsolide edilenlere göre daha yüksektir. Bunun nedeni, çevrimsel yüklemeye geçildiğinde birinci durumda daha fazla birim kayma deformasyonunun meydana geliyor olmasıdır [5].
5. Yoğurulmuş (remoulded) killer üzerinde iki yönlü kesme uygulanarak yapılan üç eksenli deneyler, çevrimsel yükleme sırasında uygulanan kayma gerilmesinin kil üzerindeki toplam birim deformasyon artışını önemli derecede etkileyen bir değeri olduğunu göstermiştir. Bu değer (yaklaşık $0.6S_u$) birim deformasyon artışının çok büyük bir hız kazandığı sınırı teşkil etmektedir. Benzer şekilde, çevrimsel kayma gerilmesinin birim deformasyonda kayda değer bir artışa neden olmadığı (yaklaşık $0.2S_u$) bir üst sınır da mevcuttur [9, 10].
6. Deprem sırasında yapıların altında yer alan killi zeminlerde boşluk suyu basınç artışı yapılar nedeniyle uygulanan başlangıç kayma gerilmesinin miktarına bağlı olarak daha düşüktür. Ancak, başlangıç kayma gerilmesinin mevcudiyeti kilin çevrimsel mukavemetini azaltmakta ve rezidüel oturma miktarlarında artışa neden olmaktadır [1, 5].

3. GEREÇ VE YÖNTEM

3.1. Kullanılan Ekipman

Dinamik üç eksenli deneyler Norveç Geoteknik Enstitüsü (NGI) tarafından imal edilmiş olan GEONOR marka aparat kullanılarak yapılmıştır. Deney sırasında drenajlı ve drenajsız koşullar altında gerilme kontrolü uygulanabilen bu tür aparatlar dinamik üç eksenli deneyler için

en sık kullanılan türden olup, yük miktarının ve yükleme frekansının bilgisayar tarafından kontrolünü mümkün kılan elektronik bir sistem yardımıyla çalıştırılmaktadır. Gerektiğinde statik üç eksenli deneyler için de kullanılabilen sistem, dinamik yükler altında zeminlerin gerilme-birim deformasyon davranışının ve boşluk suyu basınç artışlarının belirlenebilmesi amacıyla tasarlanmıştır.

Sistemde basınç ve deplasmanların ölçüm ve kontrolünü sağlayan toplam beş adet sensor kullanılmaktadır. Hücre ve boşluk suyu basınçlarını ölçmek için kullanılan algılayıcıların kapasiteleri, sırasıyla, 10 ve 16 bar olup, bu algılayıcılarda hata oranı %0.1 oranındadır. Sistemde kullanılan hacim değişim algılayıcısı 50 cm³ kapasiteye sahiptir. Bunlara ilaveten, yük algılayıcısı pistonu uygulanan kuvvetin sürekli olarak ölçülebilmesini sağlamaktadır. Bu algılayıcı, çekme veya basma yönünde 100 kg mertebesine kadar olan kuvvetleri hassas bir şekilde ölçebilmektedir. Son olarak, sistemde kullanılan düşey deplasman algılayıcısı 50 mm kapasinde olup, %0.3 non-linearite hassasiyetindedir.

Sinyal toplama ünitesi (signal-conditioning unit) algılayıcılardan gelen sinyallerin ön prosesini yaparak arayüz (interface) ünitesine iletir. Arayüz ünitesi 16 kanallı, 12 bit, yüksek hızlı analog-digital (A/D) ve 8 kanallı, 12 bit, yüksek hızlı digital-analog (D/A) çeviricilerle 24 kanallı digital input/output portlarından oluşmaktadır. Bu sistem veriyi bilgisayara aktarmak için kullanılmaktadır. Bilgisayar, deney sırasında verinin gerçek zaman boyutunda algılanarak hard diske kaydedilmesini ve deney koşullarının denetlenmesini sağlamaktadır.

3.2. Deney Prosedürü

Raporun 1. ve 2. Bölümlerinde açıklandığı üzere, numuneler paralel olarak statik (monotonik) ve dinamik üç eksenli drenajsız deneylere tabi tutulmuştur. Her iki tip deneyde de numuneler farklı asal gerilmeler altında konsolide edilmiştir (unisotopic consolidation). Statik deneylerin uygulanmasında ASTM D 2850 standardı esas alınarak maksimum deviator gerilmesine 15 – 20 dakikalık bir süre içerisinde ulaşılabilecek şekilde yükleme yapılmış ve yüklemeye eksenel maksimum deviator gerilmesini veren birim deformasyonun en az %5 daha fazlasına ulaşılan kadar devam edilmiştir. Dinamik deneylerin yapılmasında takip edilen prosedür ise aşağıda özetle maddeler halinde verilmektedir.

1. Numuneler önce sabit bir hücre basıncı altında (isotropic), daha sonra da eksenel yük uygulamasıyla farklı asal gerilmeler altında (anisotropic) konsolide edilmiştir. Her iki durumda da numuneden çıkan drenaj suyunun kesilmesine kadar konsolidasyona devam edilmiştir.
2. Konsolidasyonun tamamlanmasından sonra numuneler farklı asal gerilme durumundan başlamak üzere, belirlenen CSR değerini sağlayacak şekilde hesaplanan yükleme sınır değerleri içerisinde belirli çevrim sayıları için dinamik yüklemeye tabi tutulmuştur. Dinamik yükleme öncesinde boşluk suyu çıkış vanası kapatılarak numunenin suya doygunluk derecesinin bir göstergesi olan B (boşluk suyu basınç parametresi) değerinin en az 0.95 olması sağlanmıştır.
3. Dinamik deneylerde son aşama olarak, çevrimsel yükleme sonrasında drenajsız kayma mukavemetinin belirlenebilmesi amacıyla, boşluk suyu çıkış vanası yine kapalı tutulmak suretiyle, numunenin yenilmesini (failure) sağlayacak seviyelere ulaşan ani eksenel yükleme yapılmıştır.

Gerek statik, gerekse dinamik deneylerle ilgili olarak, elde edilen verilerle yapılan bütün hesaplamalarda eksenel birim deformasyon nedeniyle numune alanı üzerinde meydana gelen değişim dikkate alınmıştır.

4. BULGULAR

Gerçekleştirilen deneylerde kullanılan numunelere ve deney koşullarına ilişkin parametrelerle deneyler sonrasında elde edilen verilere ilişkin sonuçlar bu bölümde beş set deney için tablo ve grafik formatında verilmektedir.

Deney setleri için standart olarak verilen tablolarda şu veriler yer almaktadır:

- Test edilen numunenin saha kodu
- Doğal su muhtevası
- Plastisite indeksi
- Yoğunluk
- Numuneye konsolidasyon sırasında uygulanan hücre basıncı ve deviatorik gerilmeler

- Dinamik deney kodu ve deney sırasında uygulanan hedef CSR değeri ve çevrim sayısı

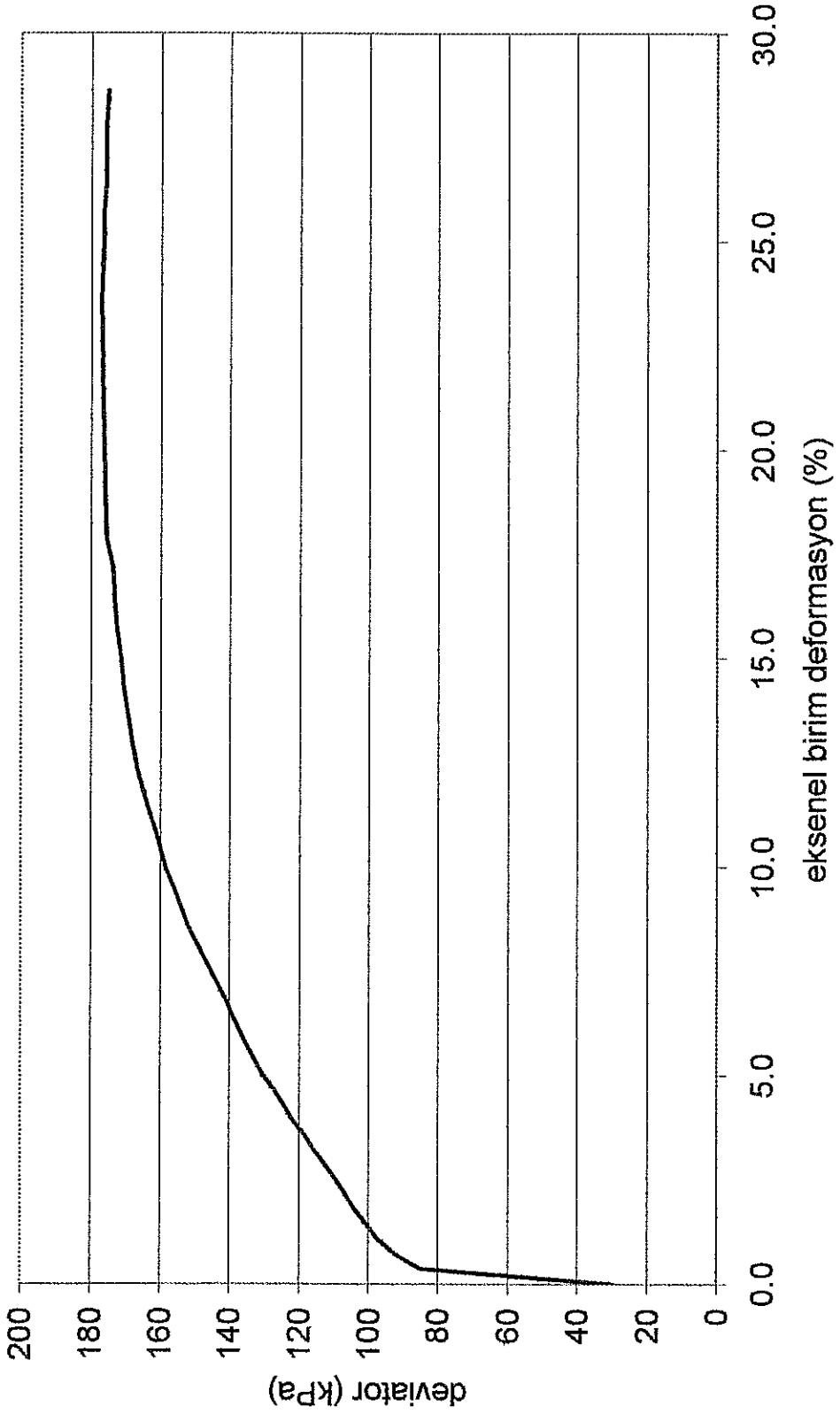
Deneylerden elde edilen veriler görsel algılama kolaylığı sağlaması bakımından grafik formatında şu sırayla sunulmaktadır:

- Statik deneylerden elde edilen deviator gerilmesinin aksenal birim deformasyonla değişimi
- Oedometre deney sonucu (sadece birinci deney için, numunelerin normal konsolide olduğunu göstermek için yapılmıştır)
- Deviator gerilmesinin dinamik ve müteakip ani yükleme fazlarında zamana karşı değişimi
- Düzeltilmiş aksenal birim deformasyonun (%) zamana karşı değişimi
- Deviator gerilmesine karşılık aksenal birim deformasyon değişimi
- Ani yükleme durumunda deviator gerilmesinin aksenal birim deformasyonla değişimi (detay)
- Çevrim sayısı ile birim deformasyon değişimi
- Çevrim sayısı ile aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi

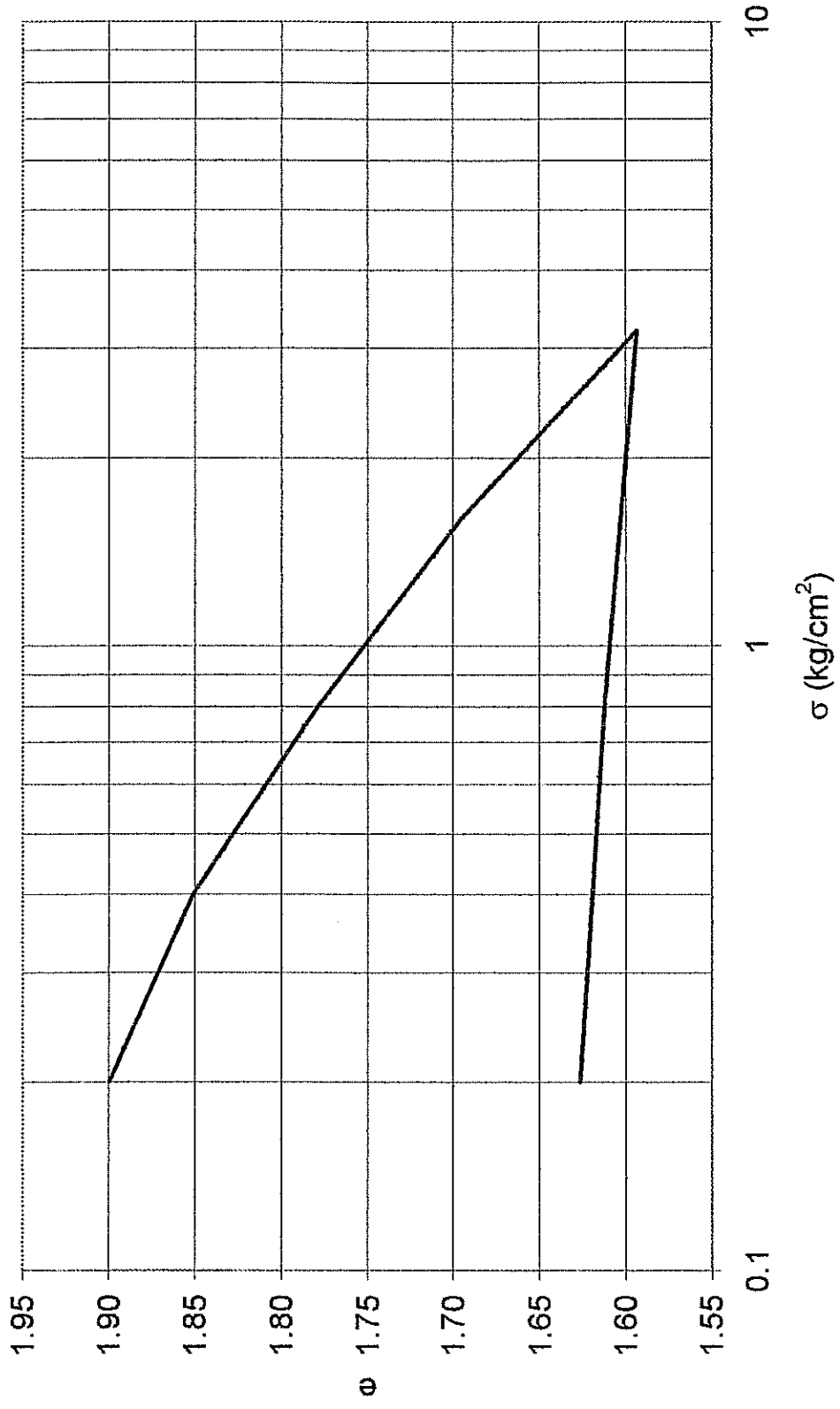
Tablo 1. Numune parametreleri ve deney koşulları (set 1)

Numune	GE-1 Num.1 d:2.20-2.60
Monotoik Yükleme Deneyi	Test1 (+ Oedometer 1)
Su muhtevası (%)	35
PI	14
Kaba Yoğunluk (g/ml)	1.88
Konsolidasyon Hücre Basıncı (kPa)	60
Konsolidasyon Deviator Basıncı (kPa)	30
ÇEVİRİMLİ DENEY BİLGİSİ	
Deney # - Hedef CSR- Çevrim #	060203(1)-0.6-14

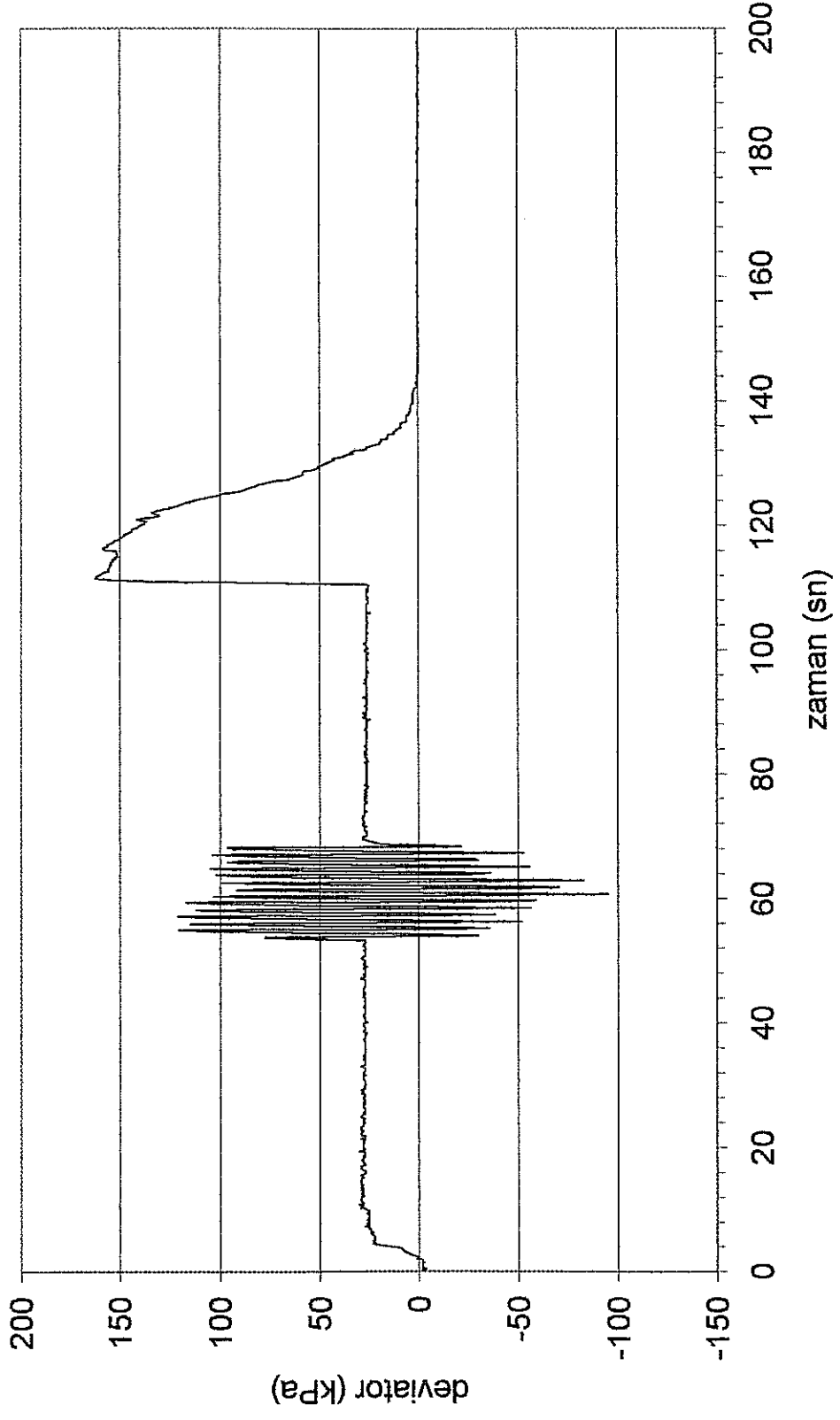
Şekil 1. Statik deneyde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi CU Test#1



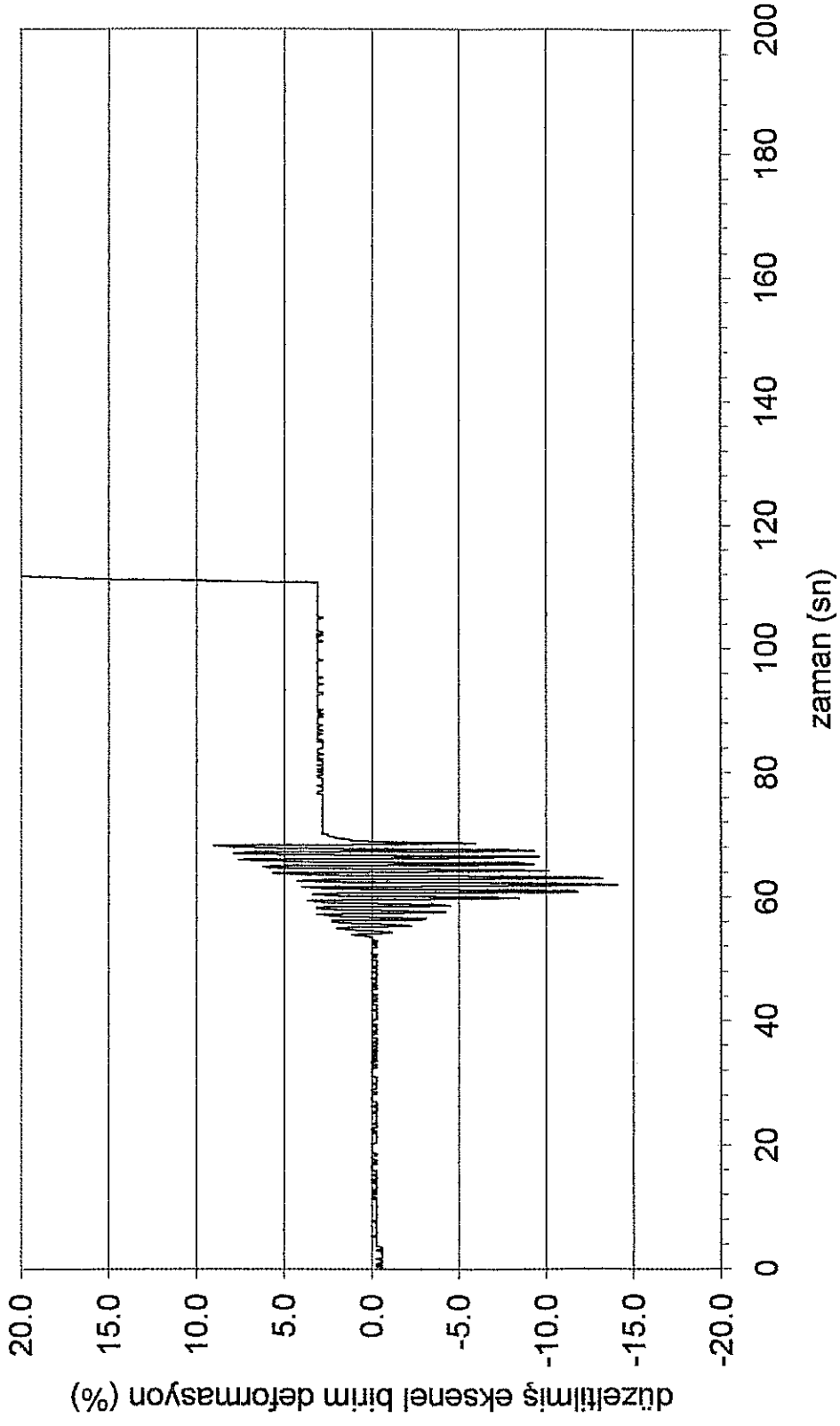
Şekil 2. Oedometre deney sonucu Oedometer #1



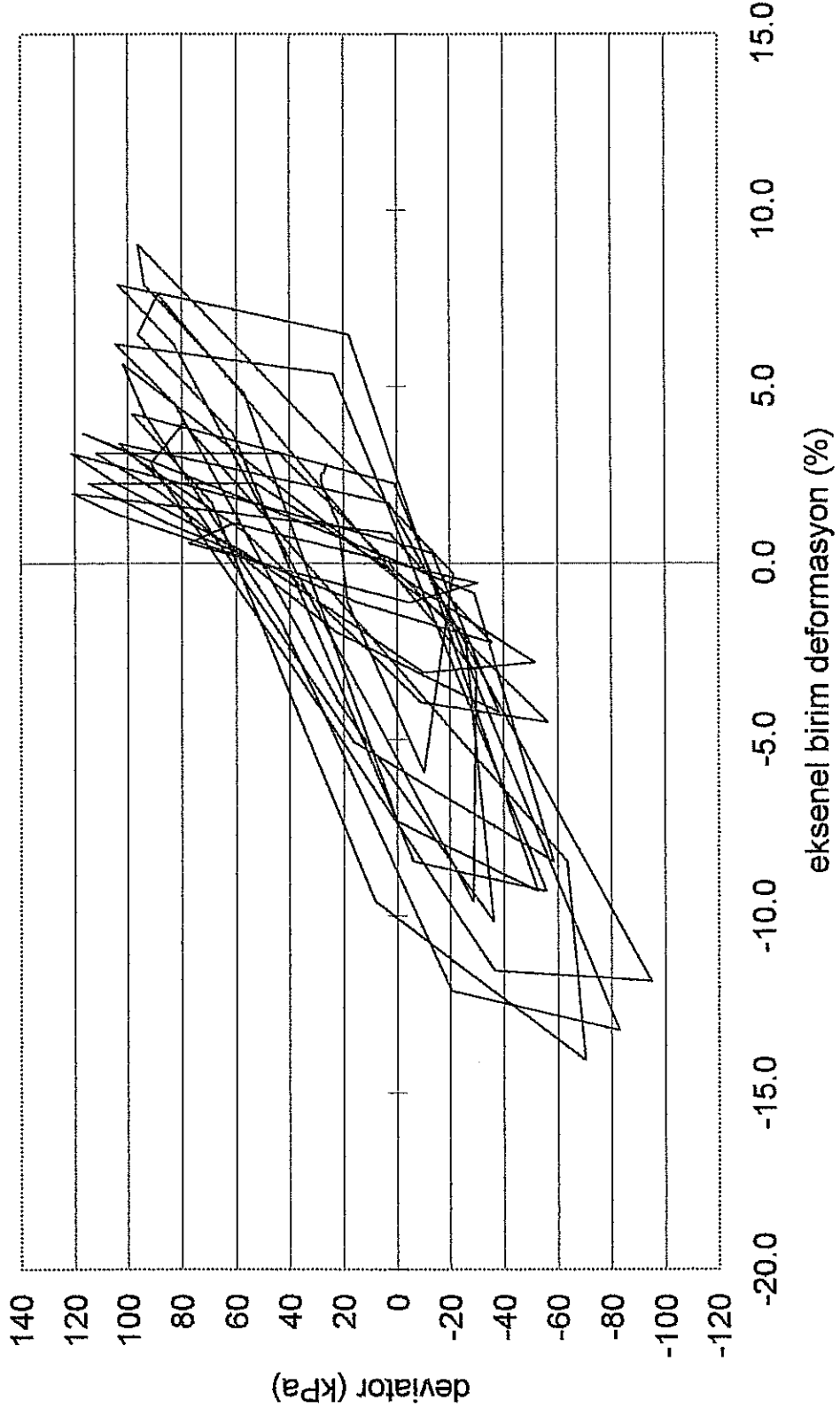
Şekil 3. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi Test: 060203(1)



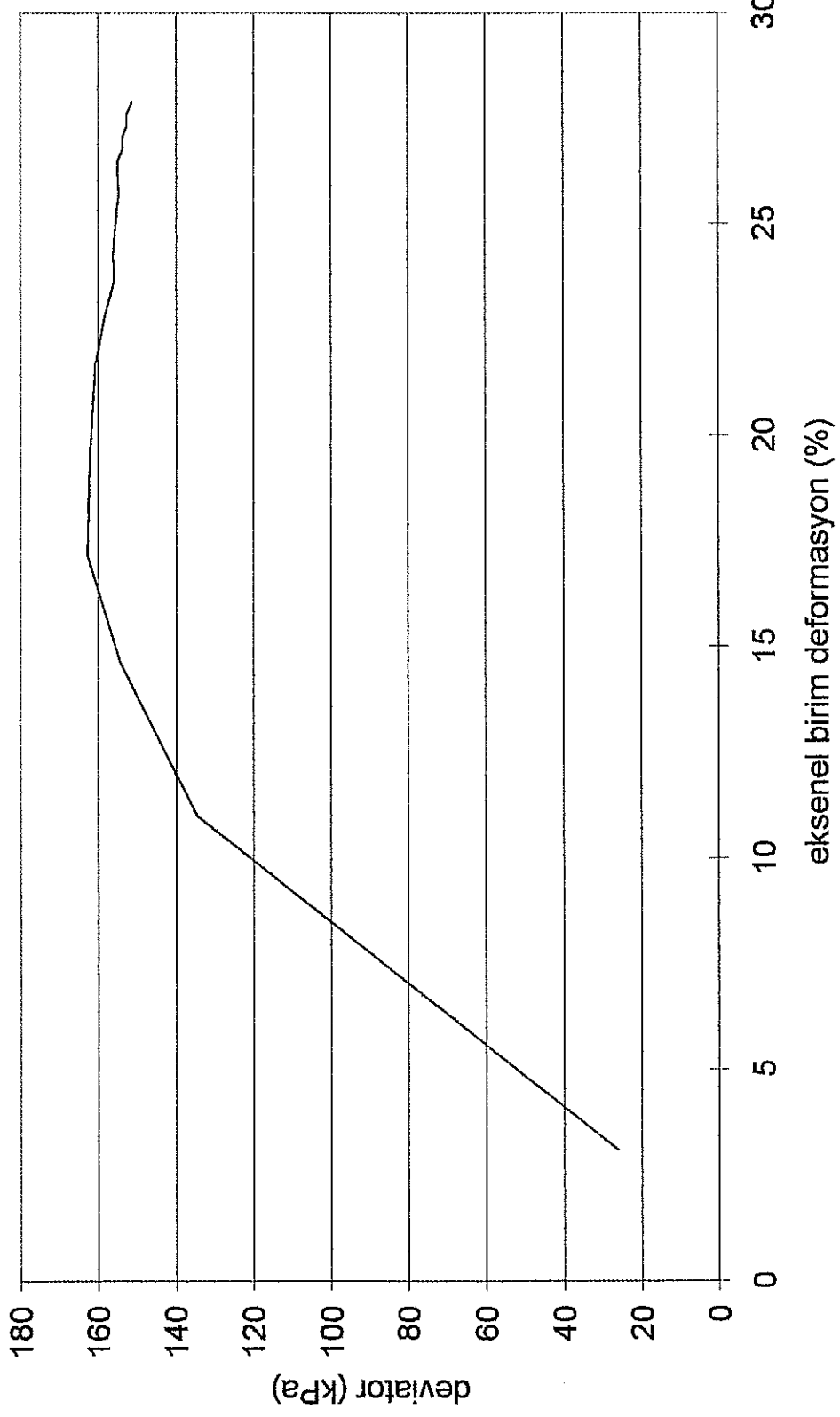
Şekil 4. Ani yüklemde düzeltilmiş eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi Test: 060203(1)



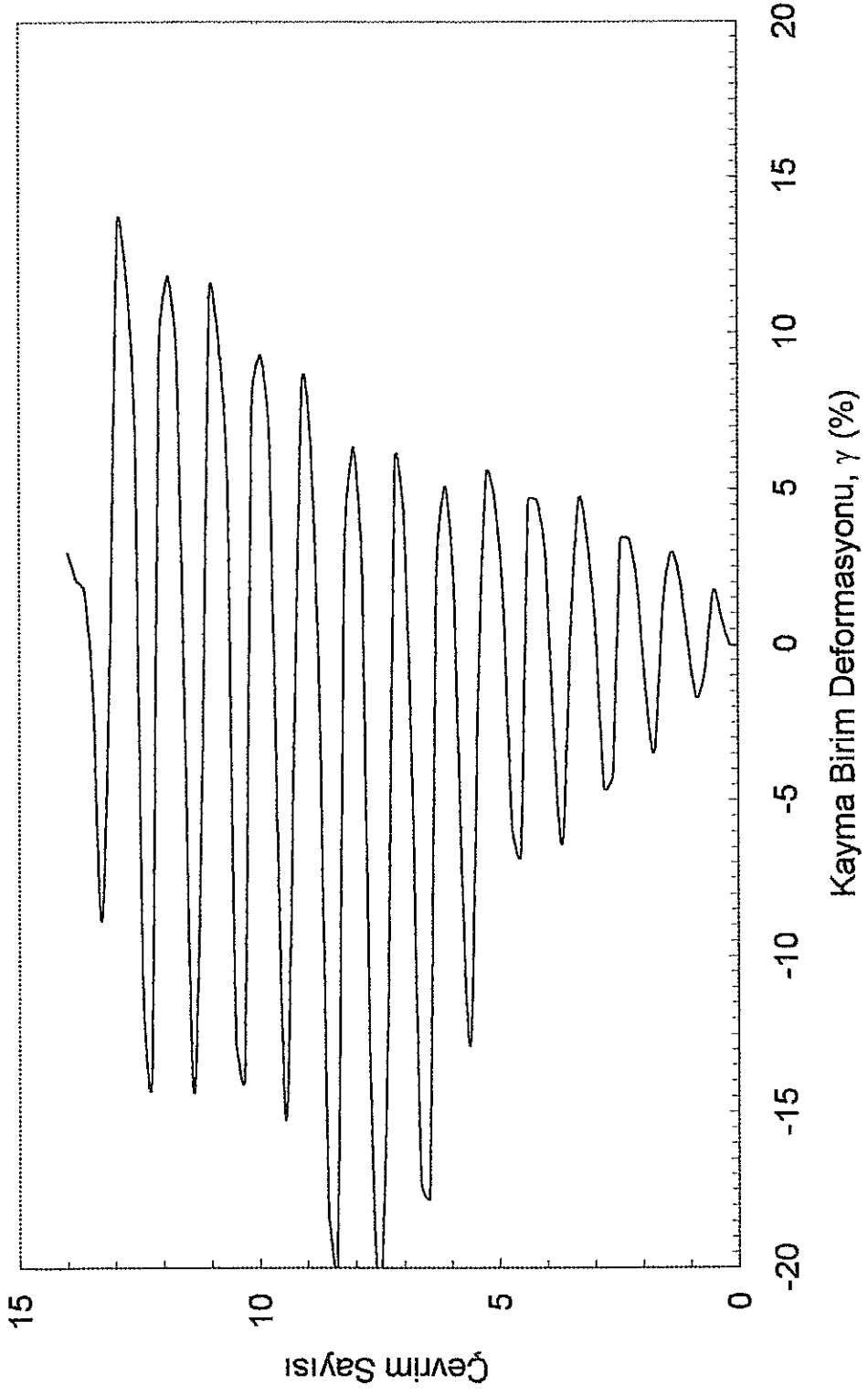
Şekil 5. Deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değişimi Test: 060203(1)



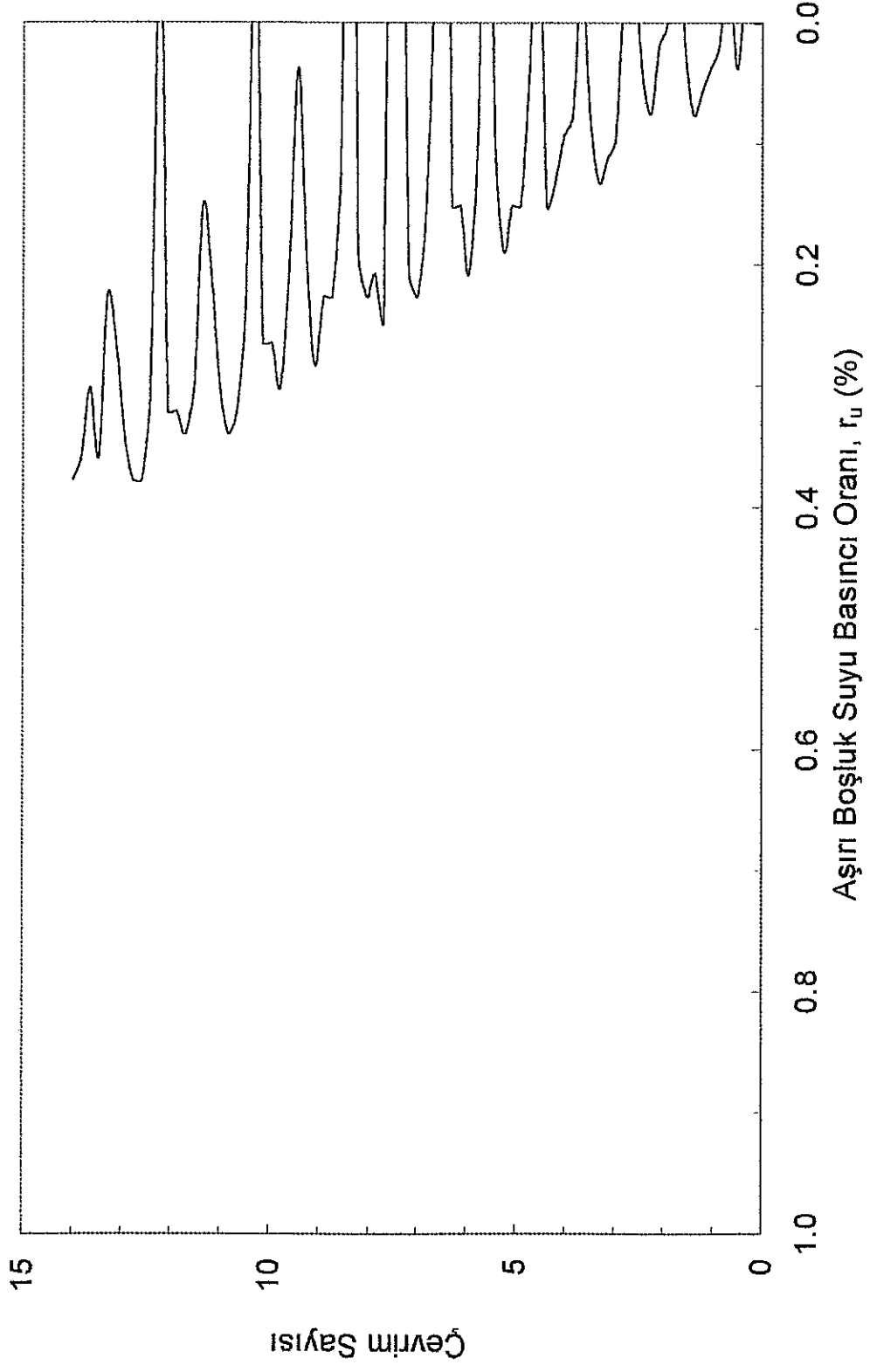
Şekil 6. Ani yüklemde deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değişimini (detay) Test: 060203(1)



Şekil 7. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi Test: 060203 (1)



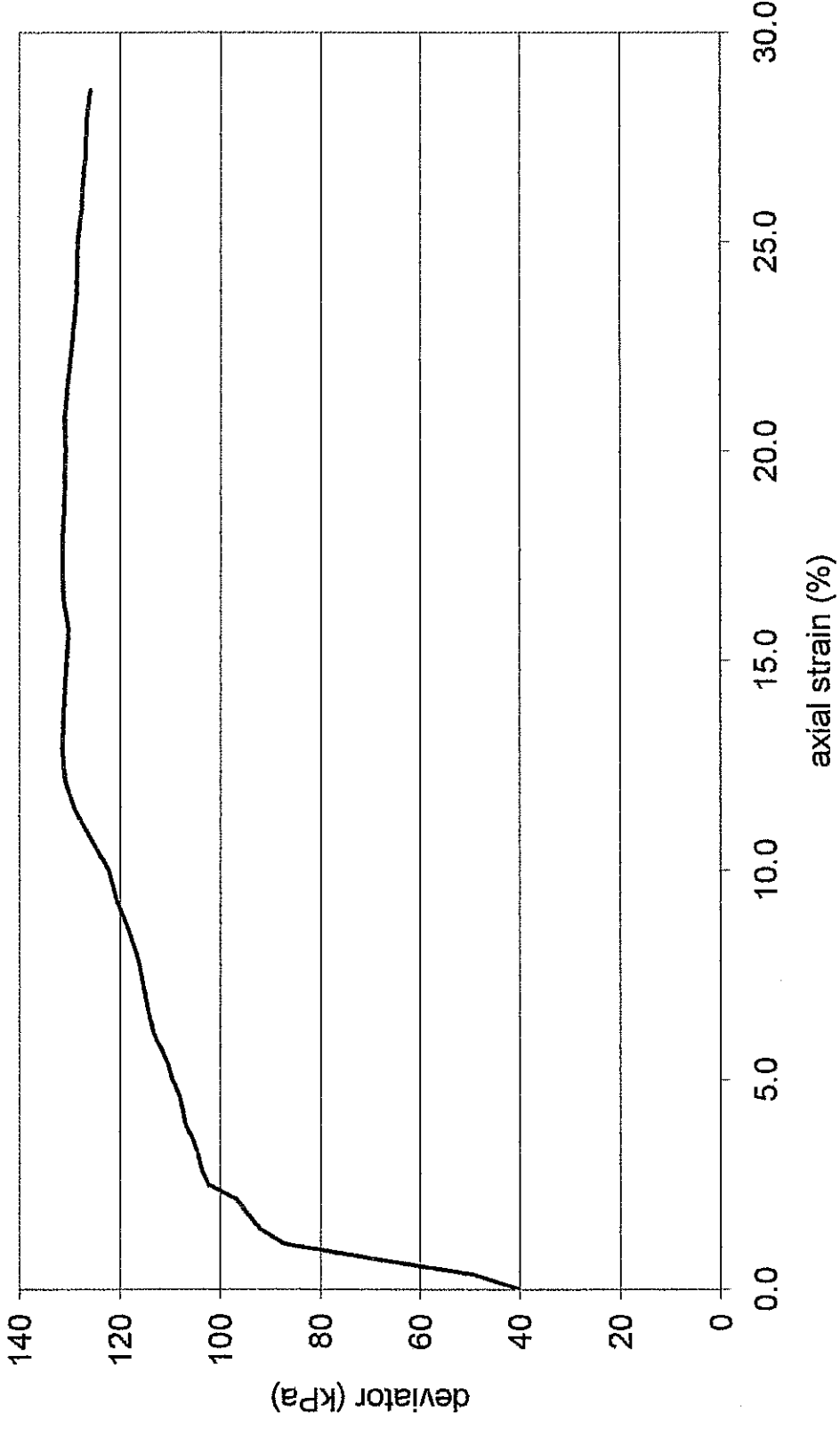
Şekil 8. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi Test: 060203(1)



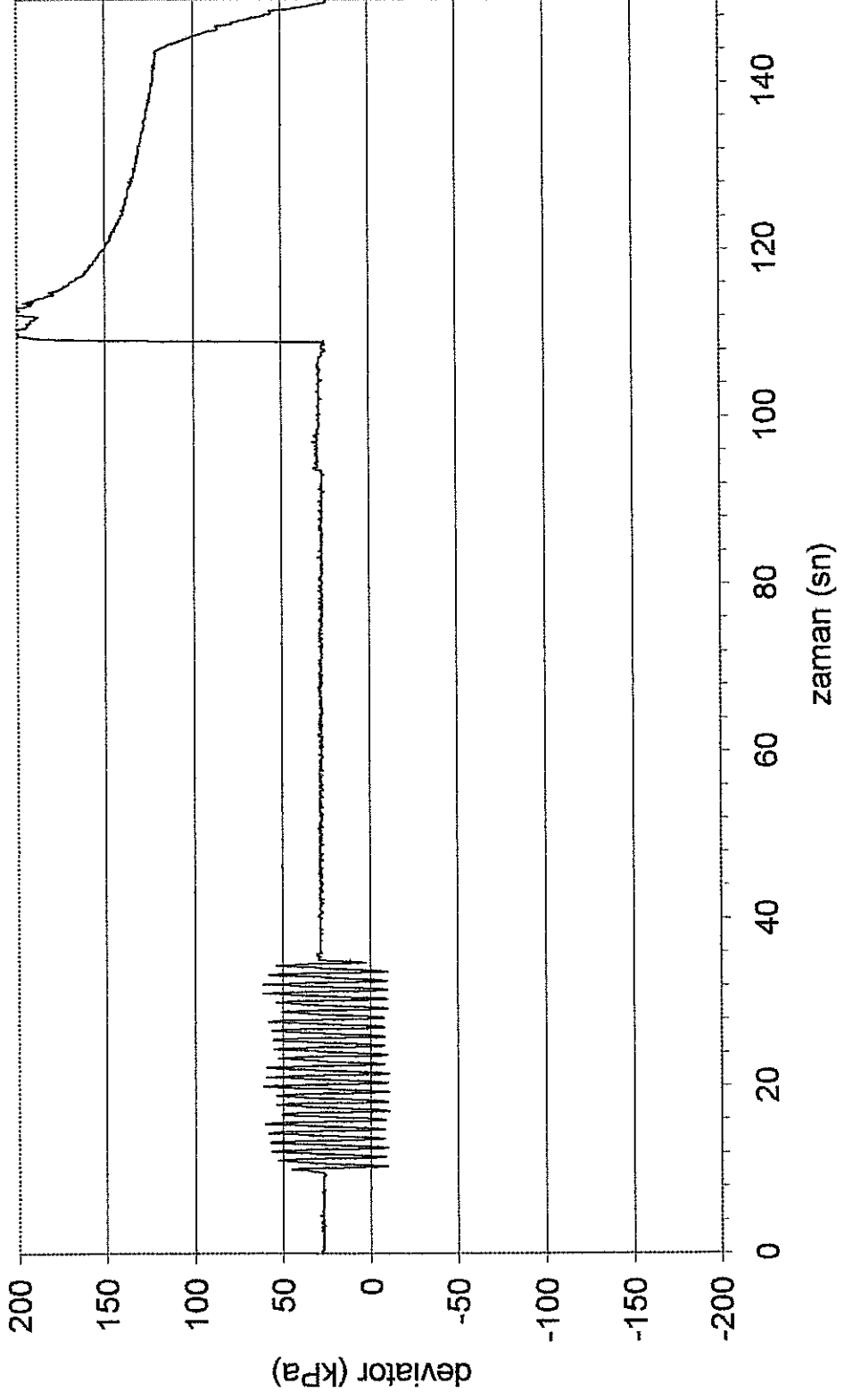
Tablo 2. Numune parametreleri ve deney koşulları (set 2 ve 3)

Numune	GE-1 Num.2 d:4.00-4.60
Monotoik Yükleme Deneyi	Test-2
Su muhtevası (%)	40
PI	25
Kaba Yoğunluk (g/ml)	1.80
Konsolidasyon Hücre Basıncı (kPa)	70
Konsolidasyon Deviator Basıncı (kPa)	30
ÇEVIRIMLI DENEY BİLGİSİ	
Deney # - Hedef CSR- Çevrim #	140303(2)-0.2-23
Deney # - Hedef CSR- Çevrim #	180303(3)-0.4-18

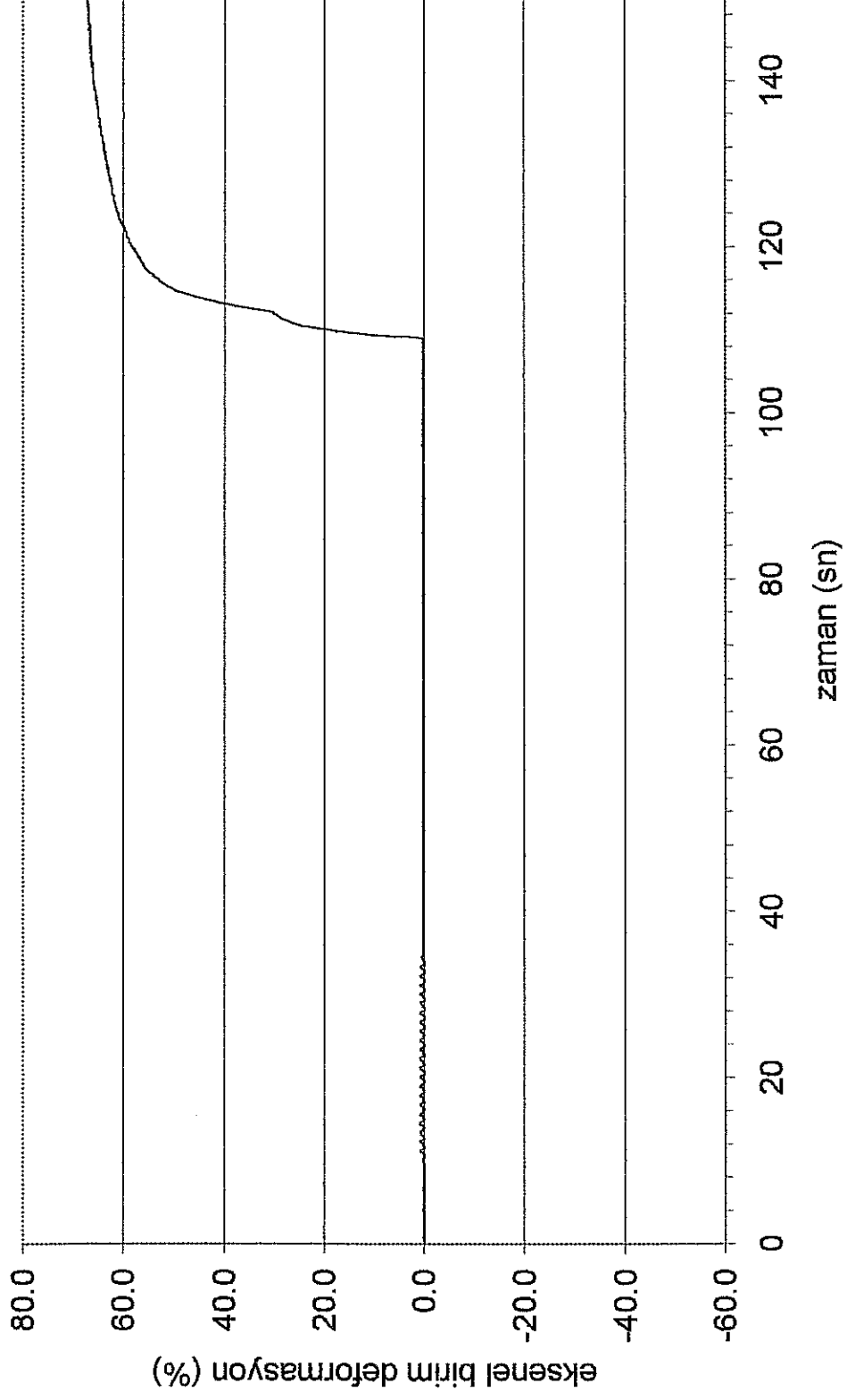
Şekil 9. Statik deneyde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi CU Test#2



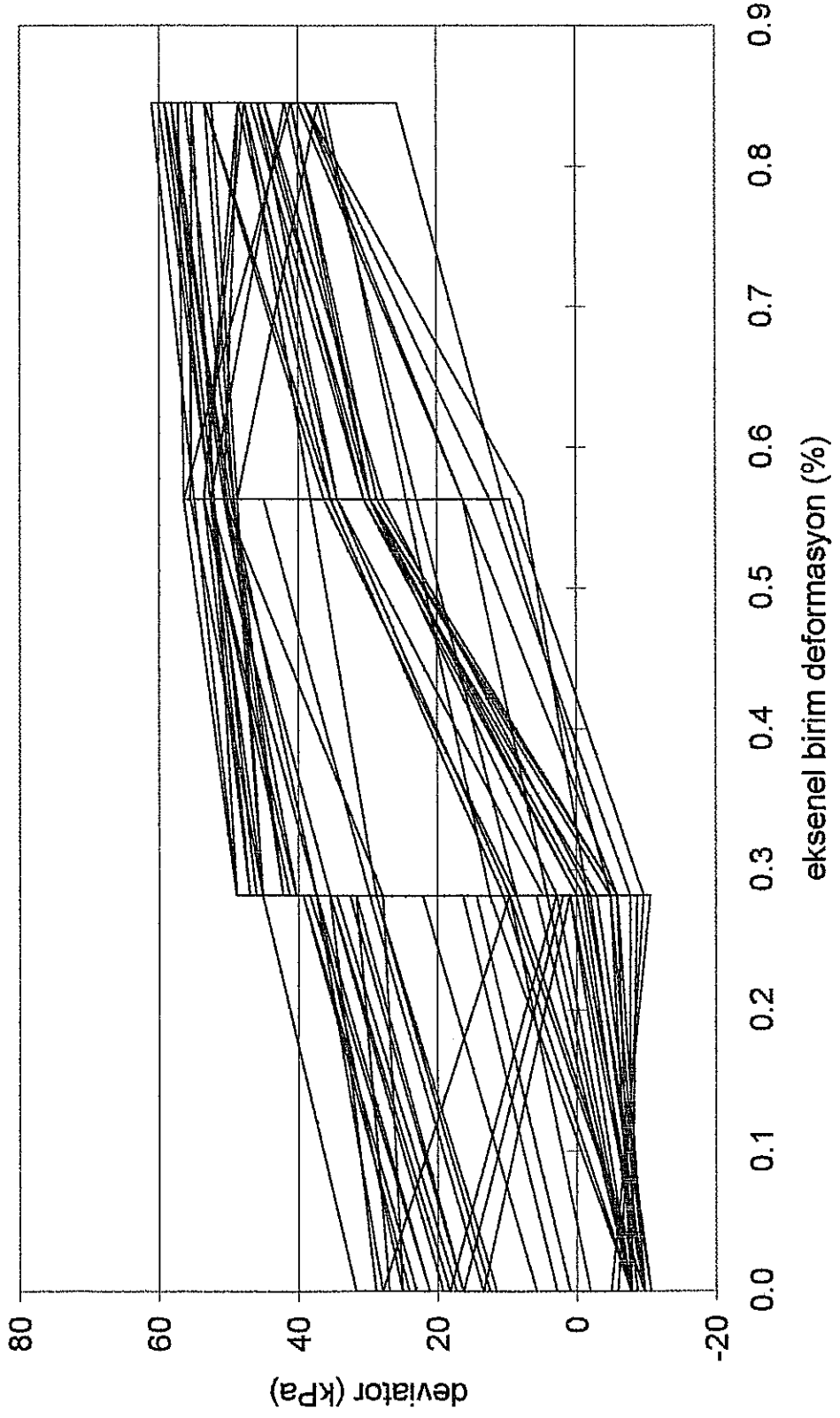
Şekil 10. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi Test: 140303(2)



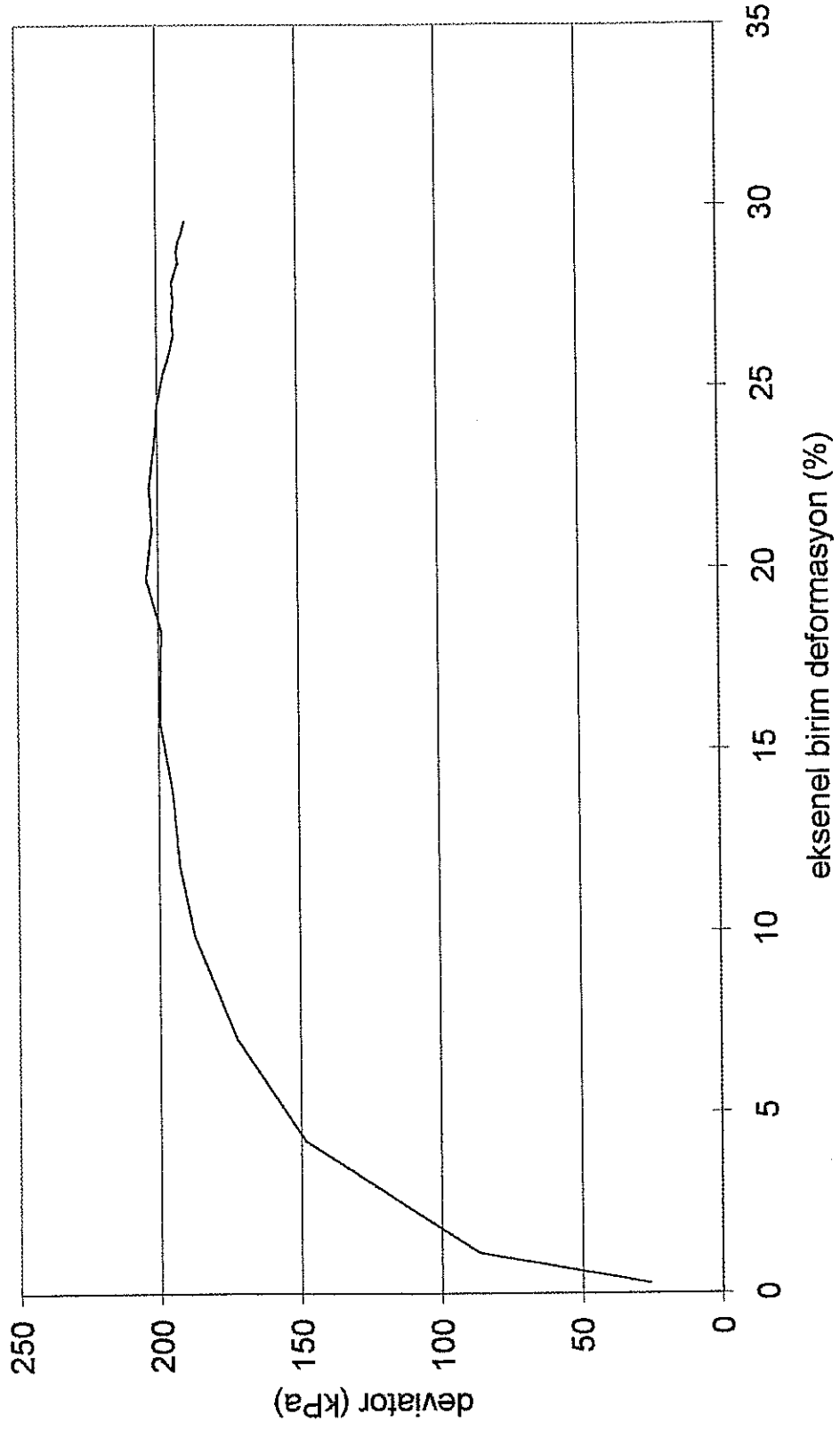
Şekil 1.1. Ani yüklemde düzeltilmiş aksnel birim deformasyon (%) - zaman değişimi Test: 140303(2)



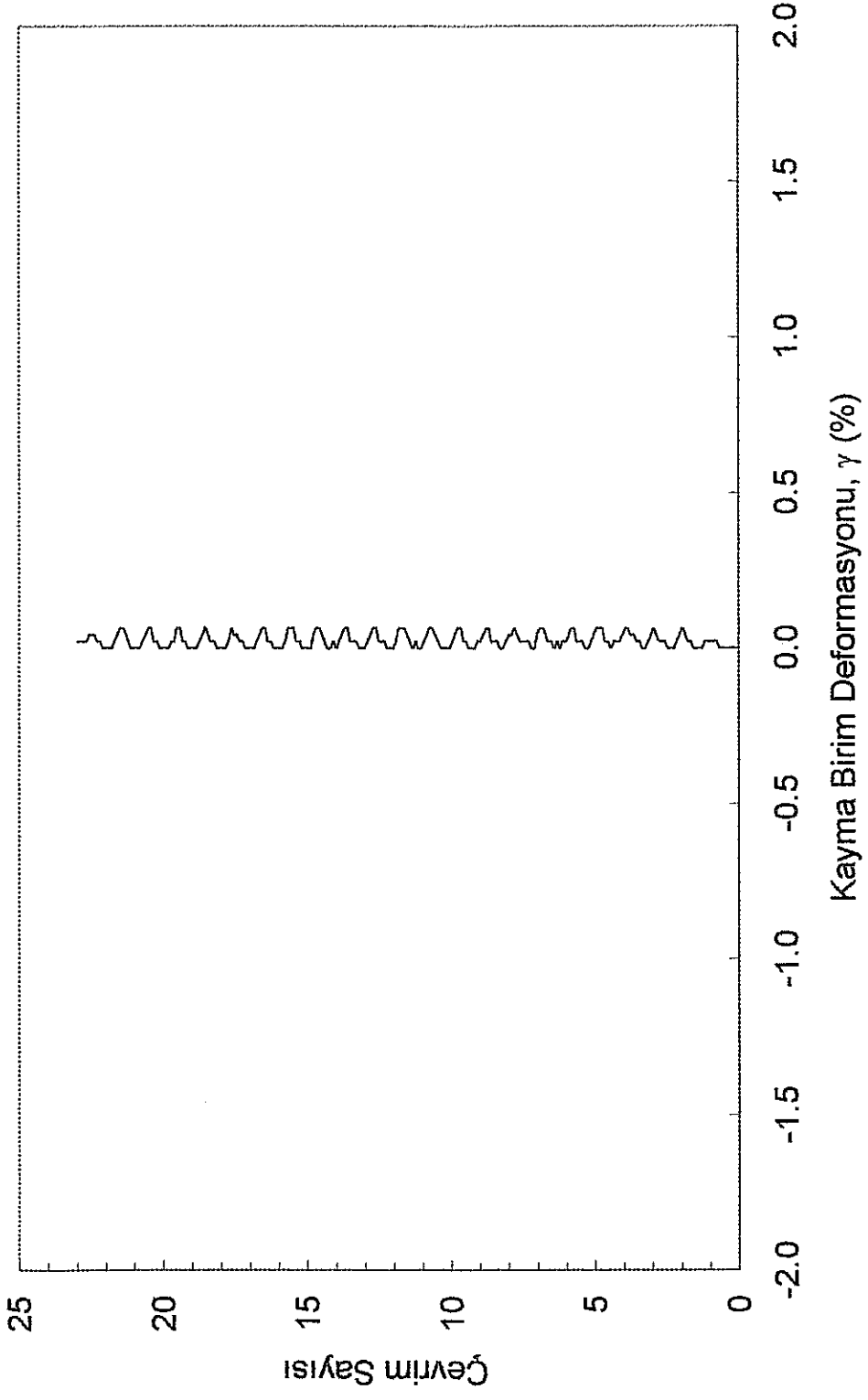
Şekil 12. Deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi Test: 140303(2)



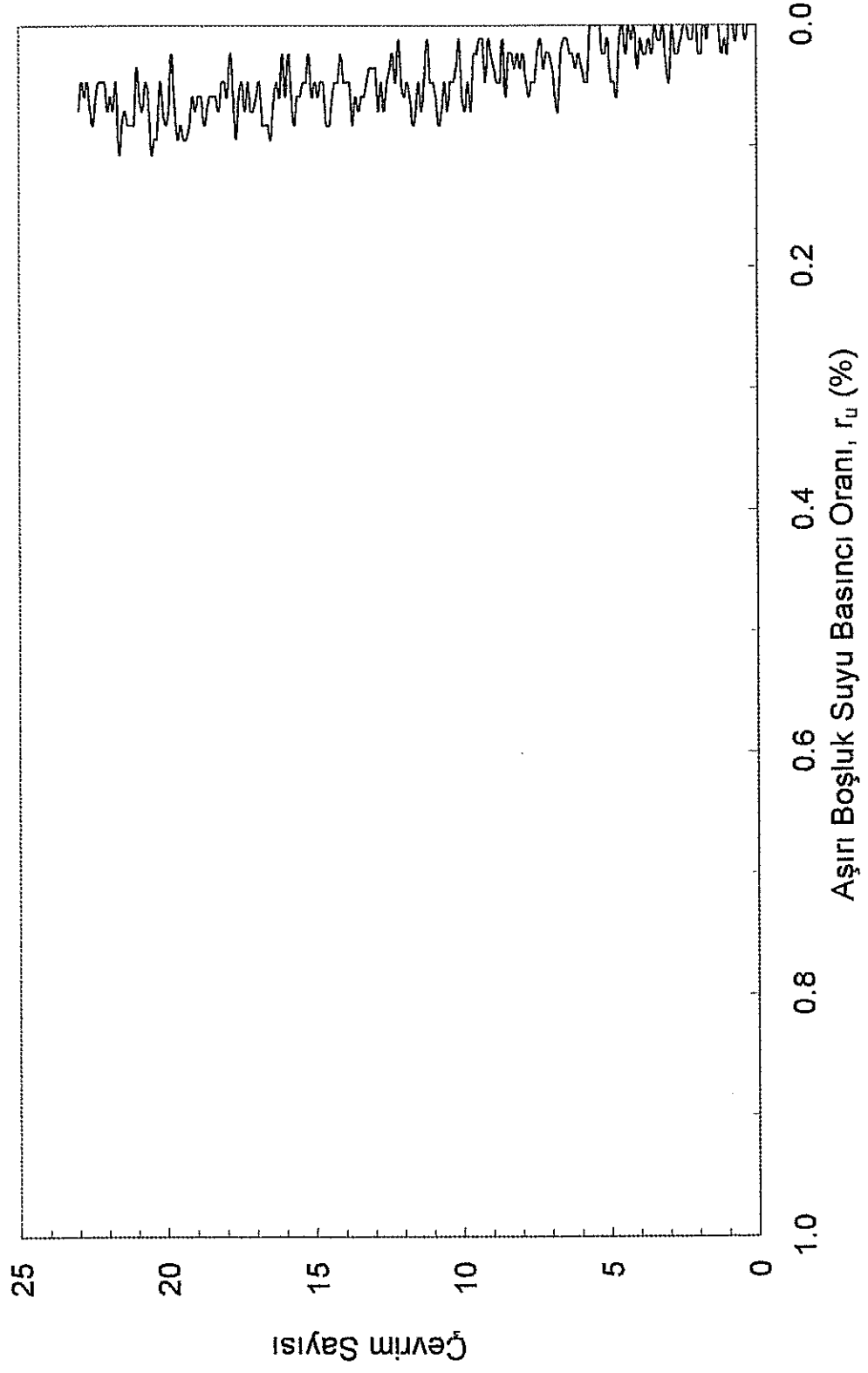
Şekil 13. Ani yüklemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) Test: 140303(2)



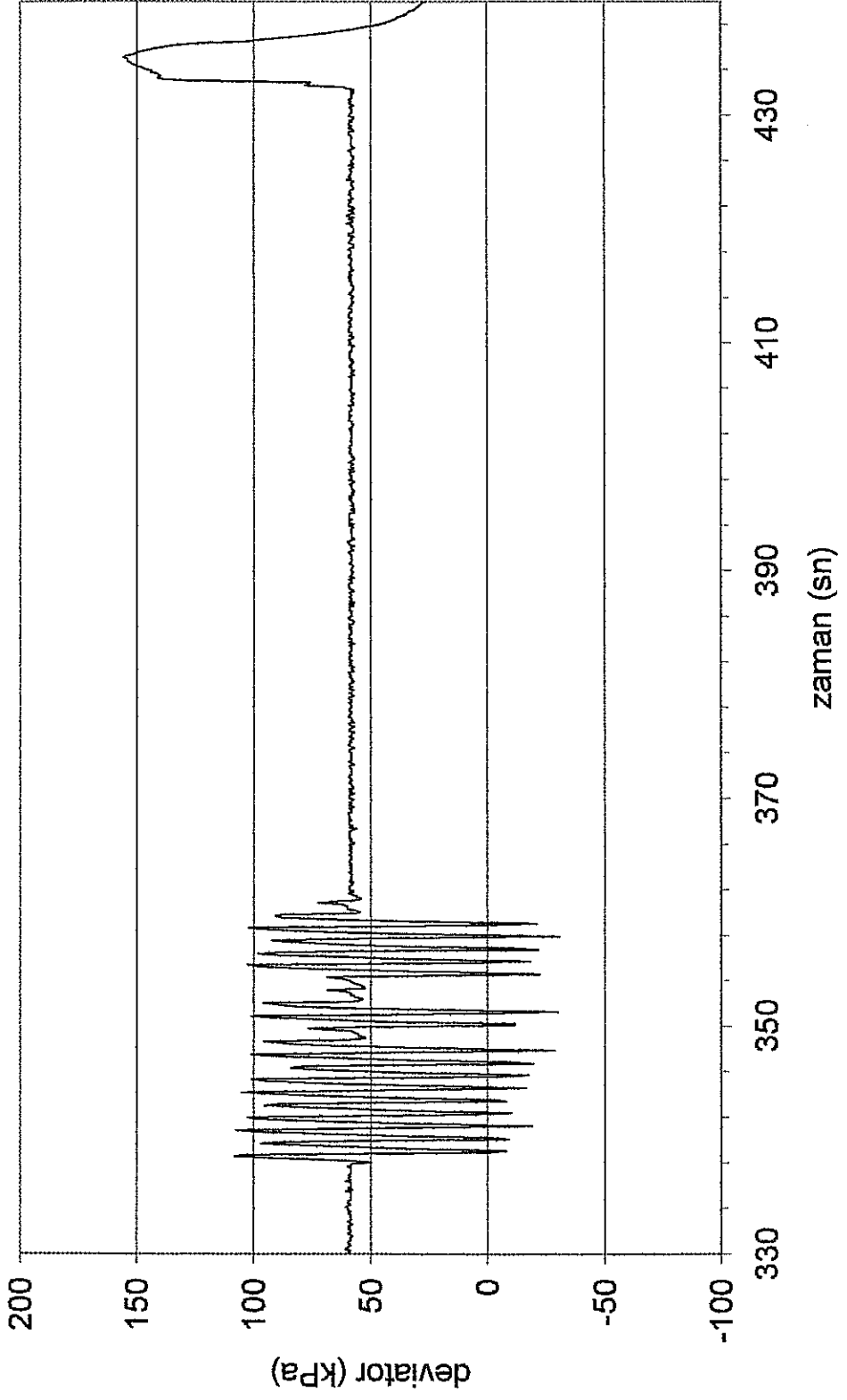
Şekil 14. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi Test: 140303(2)



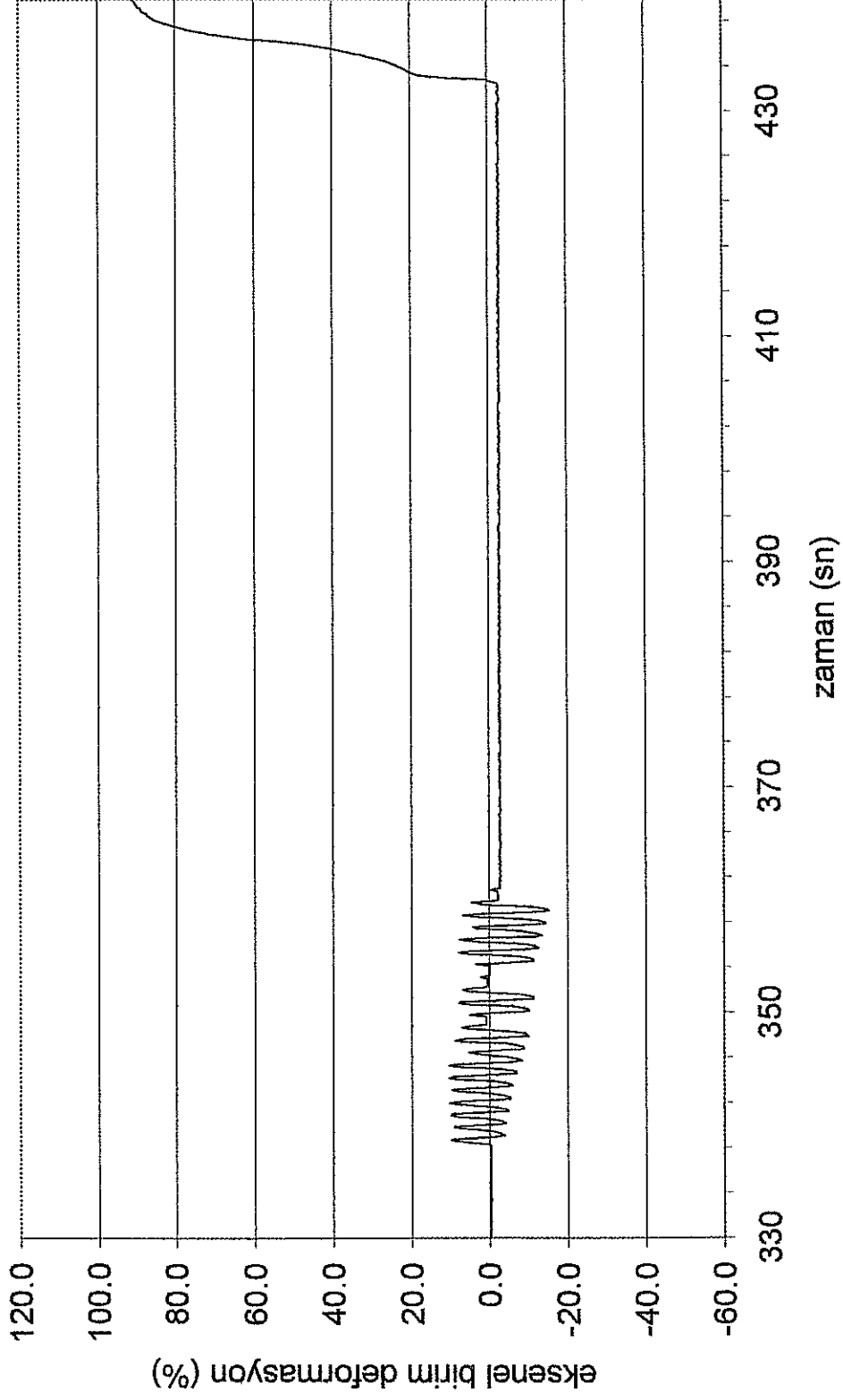
Şekil 15. Çevrim sayısı- aşın boşluk suyu basınç oranı değişimi Test: 140303(2)



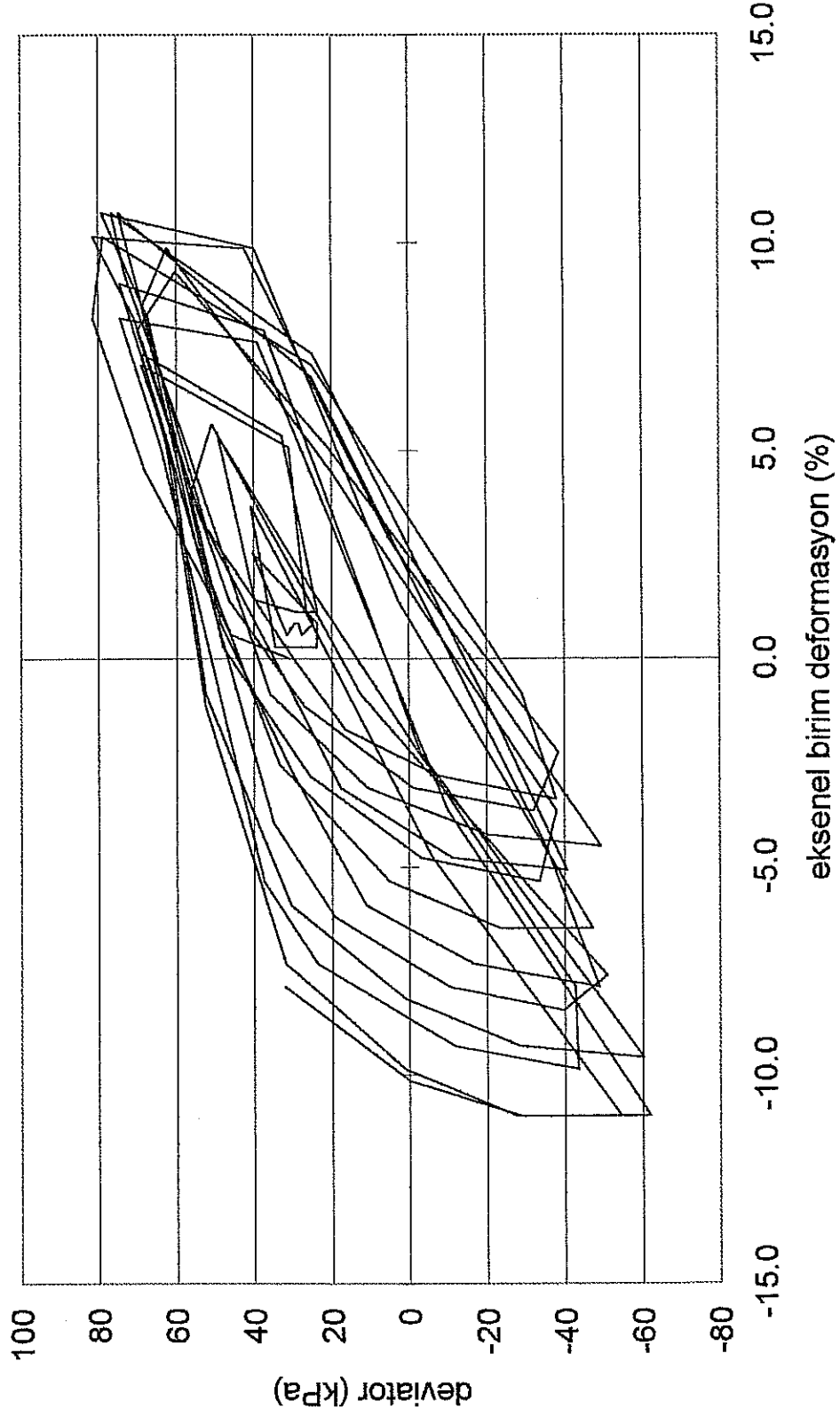
Şekil 16. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi Test: 180303(3)



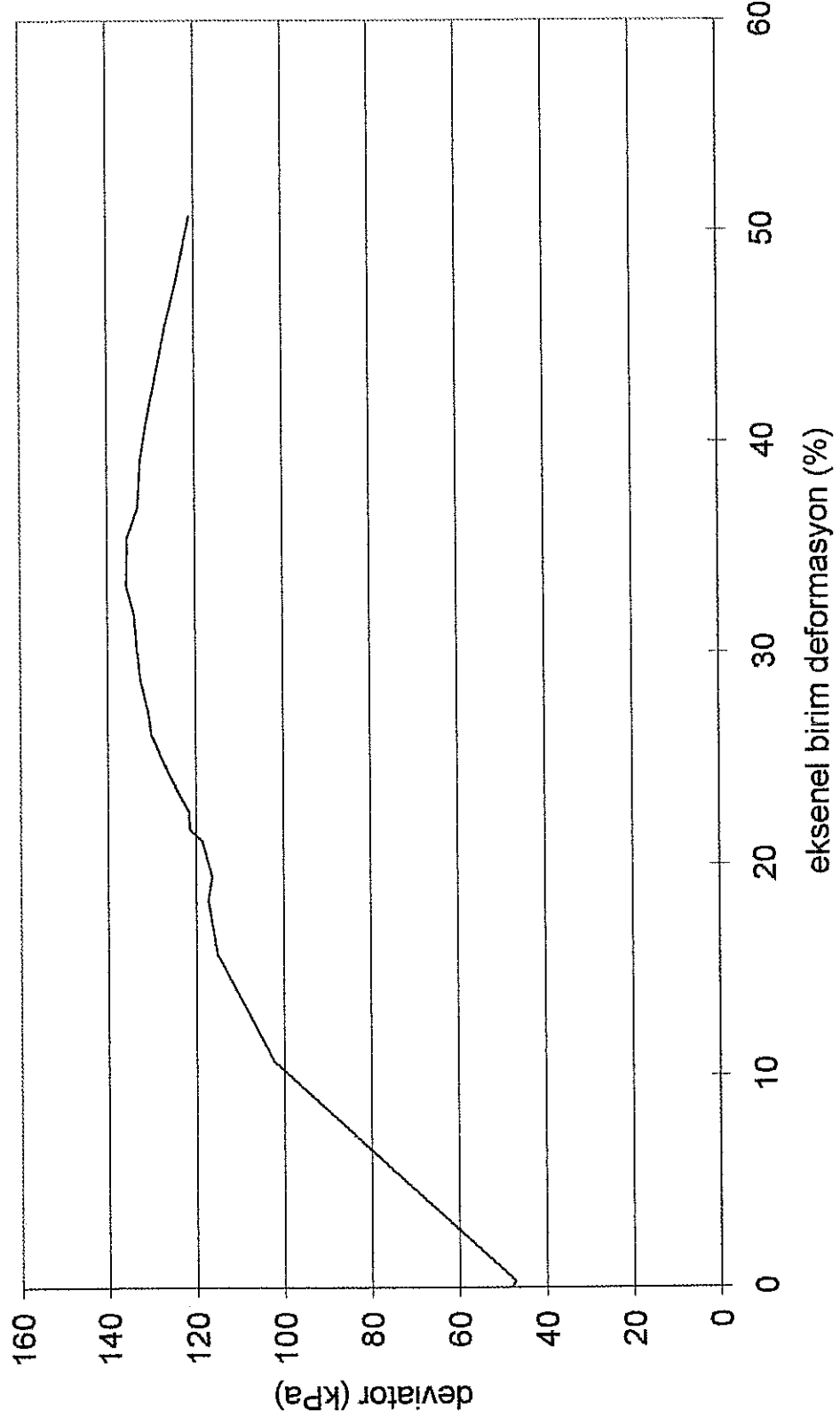
Şekil 17. Ani yüklemde düzeltilmiş eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi Test: 1830303 (3)



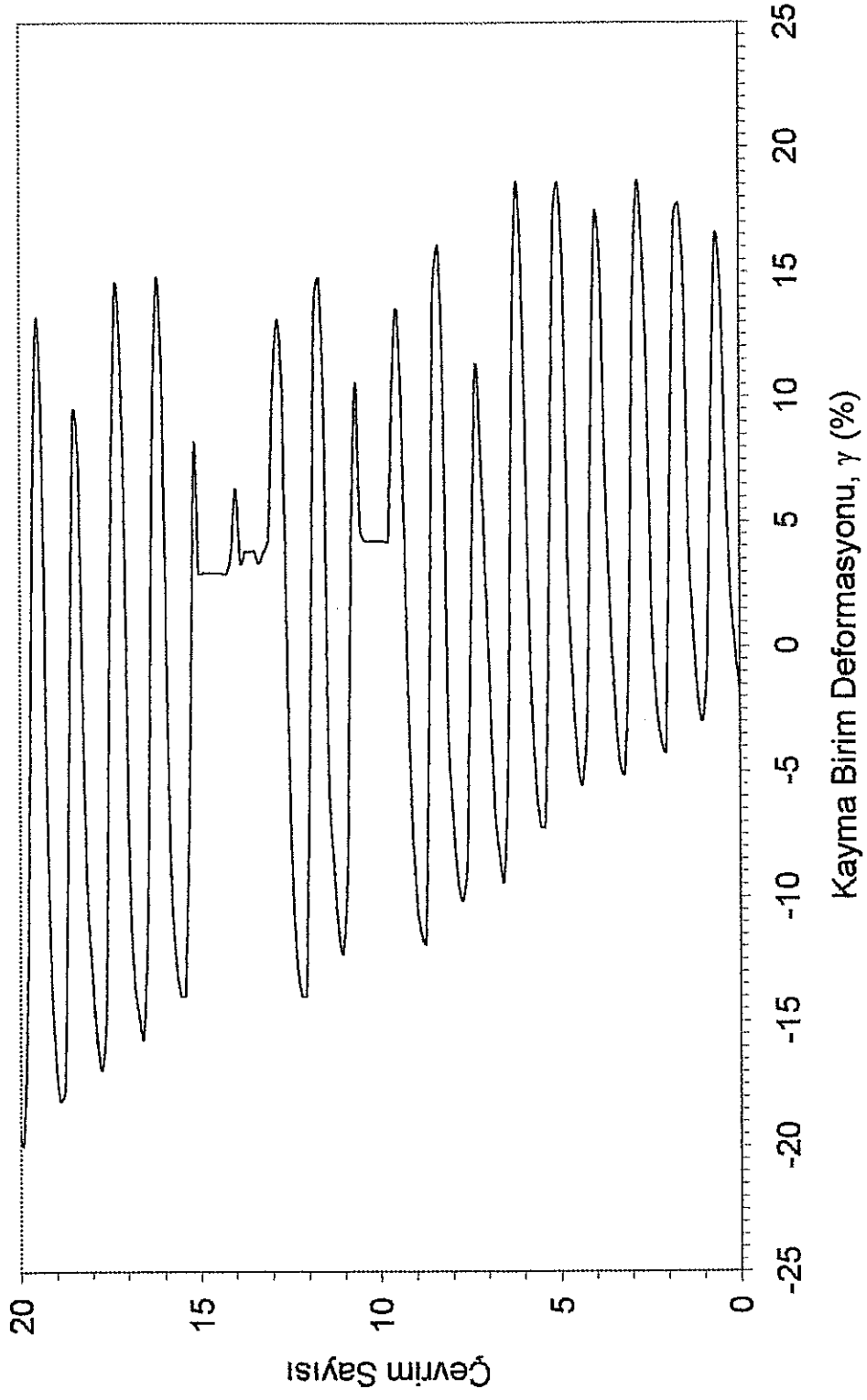
Şekil 18. Deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değişimi Test: 180303(3)



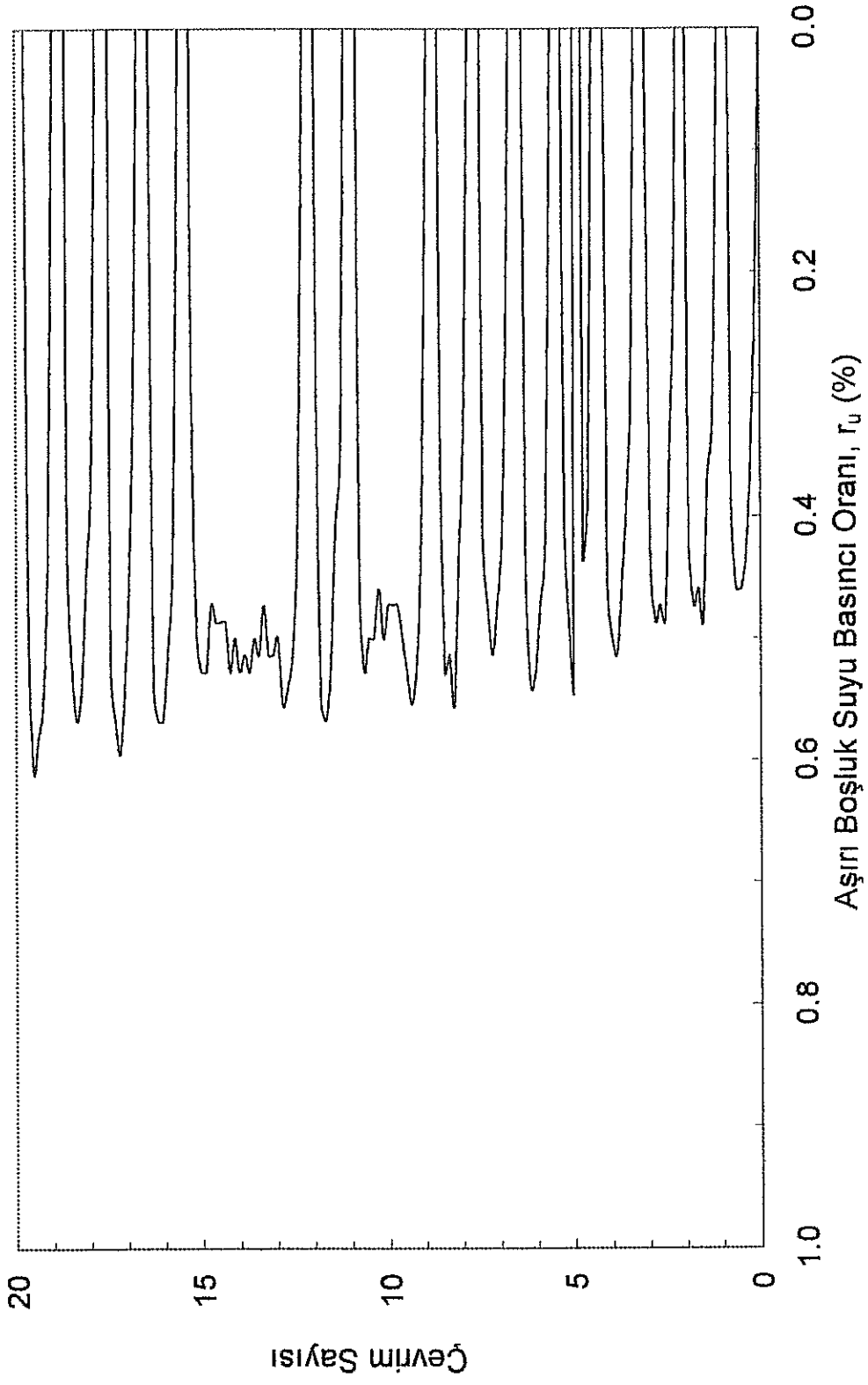
Şekil 19. Ani yüklemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay) Test: 180303(3)



Şekil 20. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi Test: 180303(3)



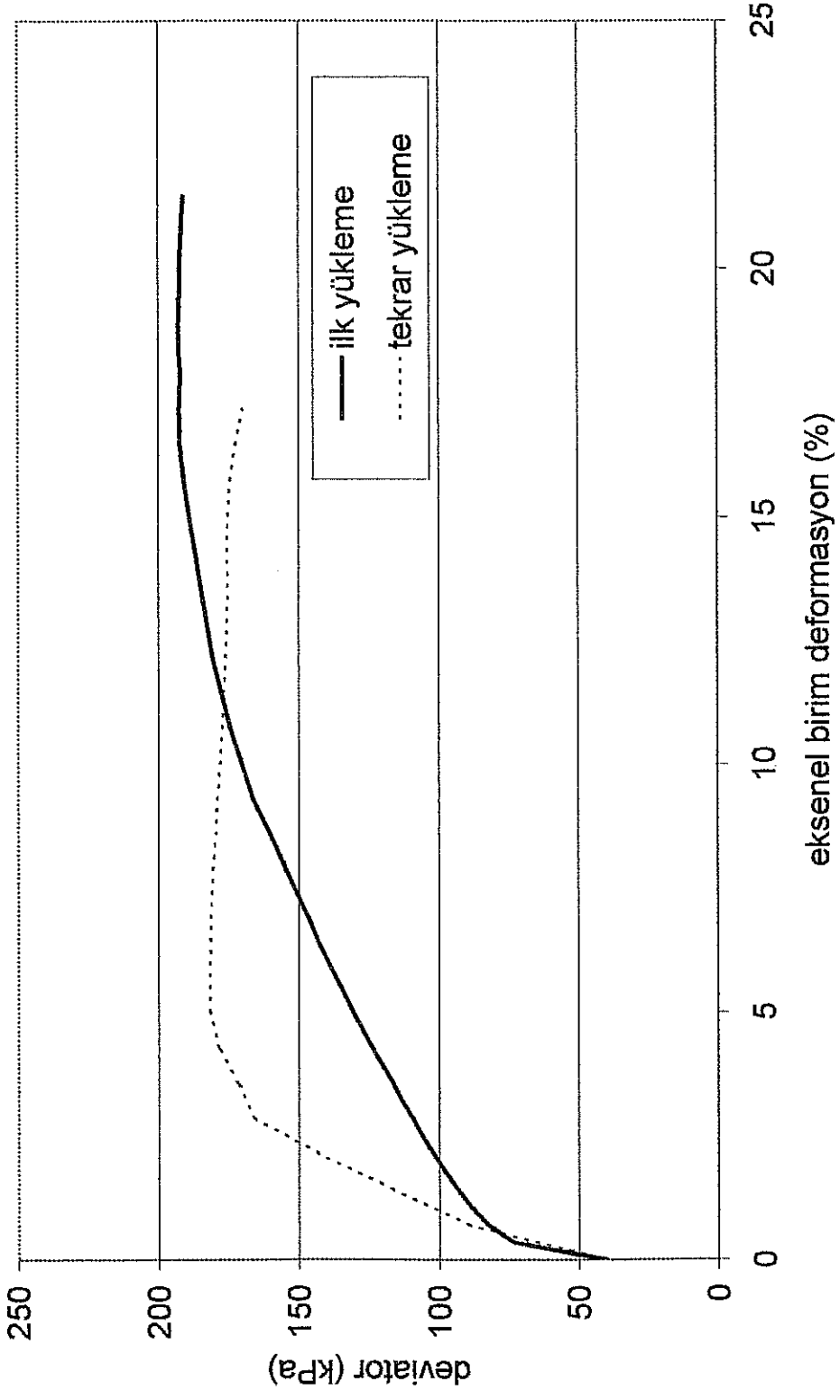
Şekil 21. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimini Test:180303 (3)



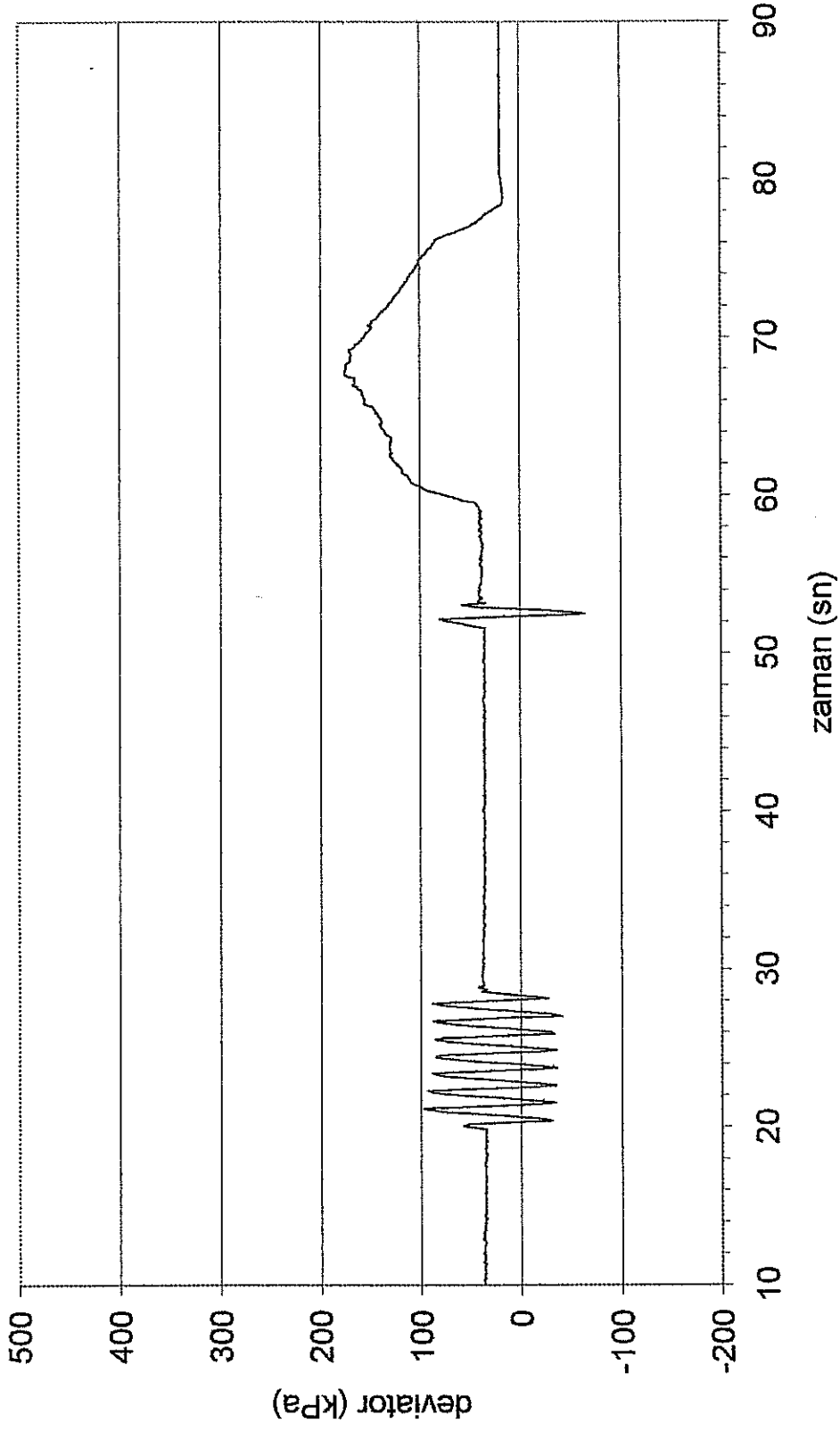
Tablo 3. Numune parametreleri ve deney koşulları (set 4 ve 5)

Numune	GE-1 Num.3 d:6.25-6.65
Monotoik Yükleme Deneyi	Test-3
Su muhtevası (%)	38
PI	13
Kaba Yoğunluk (g/ml)	1.85
Konsolidasyon Hücre Basıncı (kPa)	80
Konsolidasyon Deviator Basıncı (kPa)	40
ÇEVİRİMLİ DENEY BİLGİSİ	
Deney # - Hedef CSR- Çevrim #	210303(4)-0.3-8
Deney # - Hedef CSR- Çevrim #	240303(5)-0.2-18

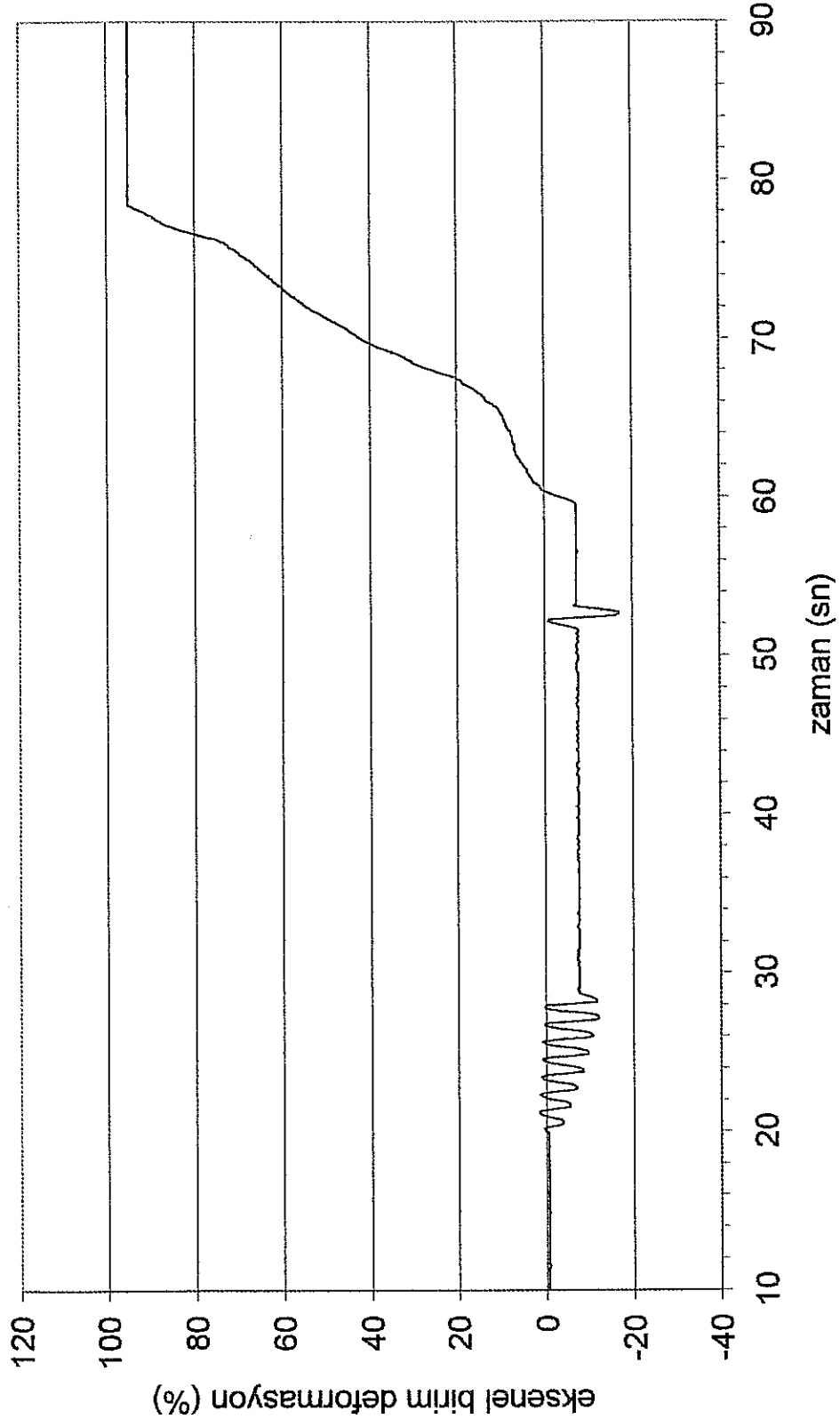
Şekil 22. Statik deneyde deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değişimi CU Test#3



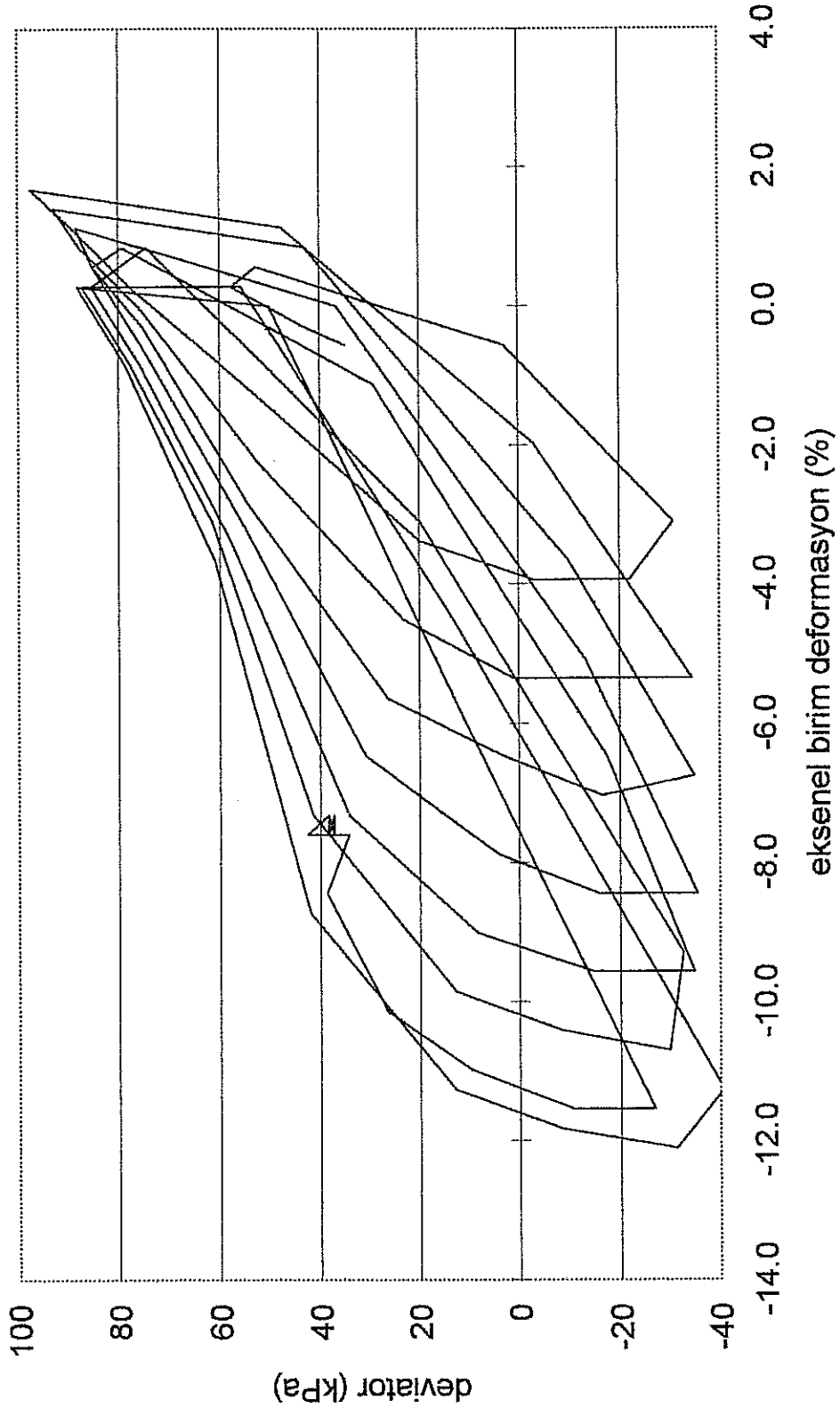
Şekil 23. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi Test:
210303(4)



Şekil 24. Ani yüklemde düzeltilmiş eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi Test: 210303 (4)

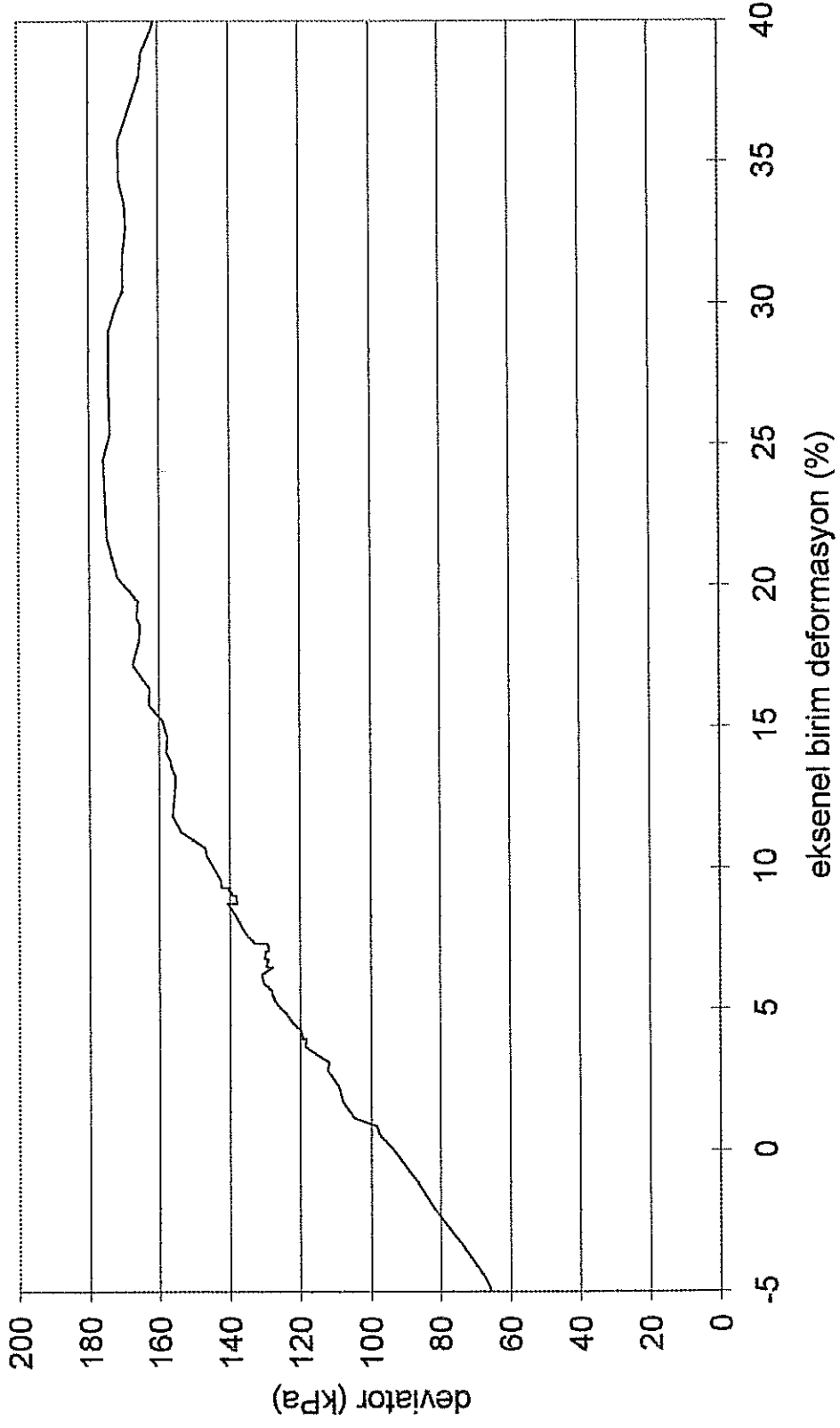


Şekil 25. Deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değişimi Test: 210303(4)

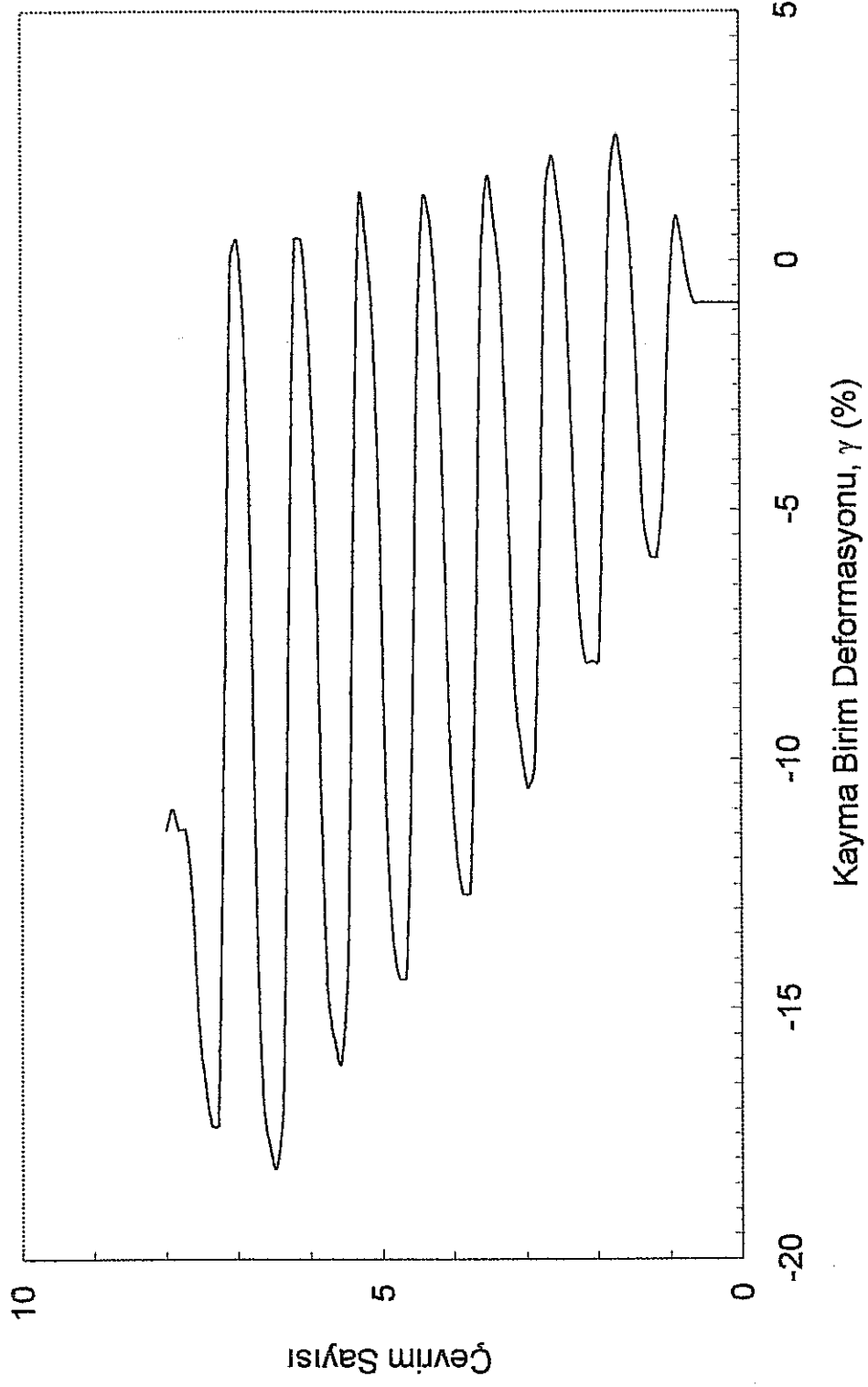


Şekil 26. Ani yüklemde deviator gerilmesi - eksenel birim deformasyon değişimi (detay)

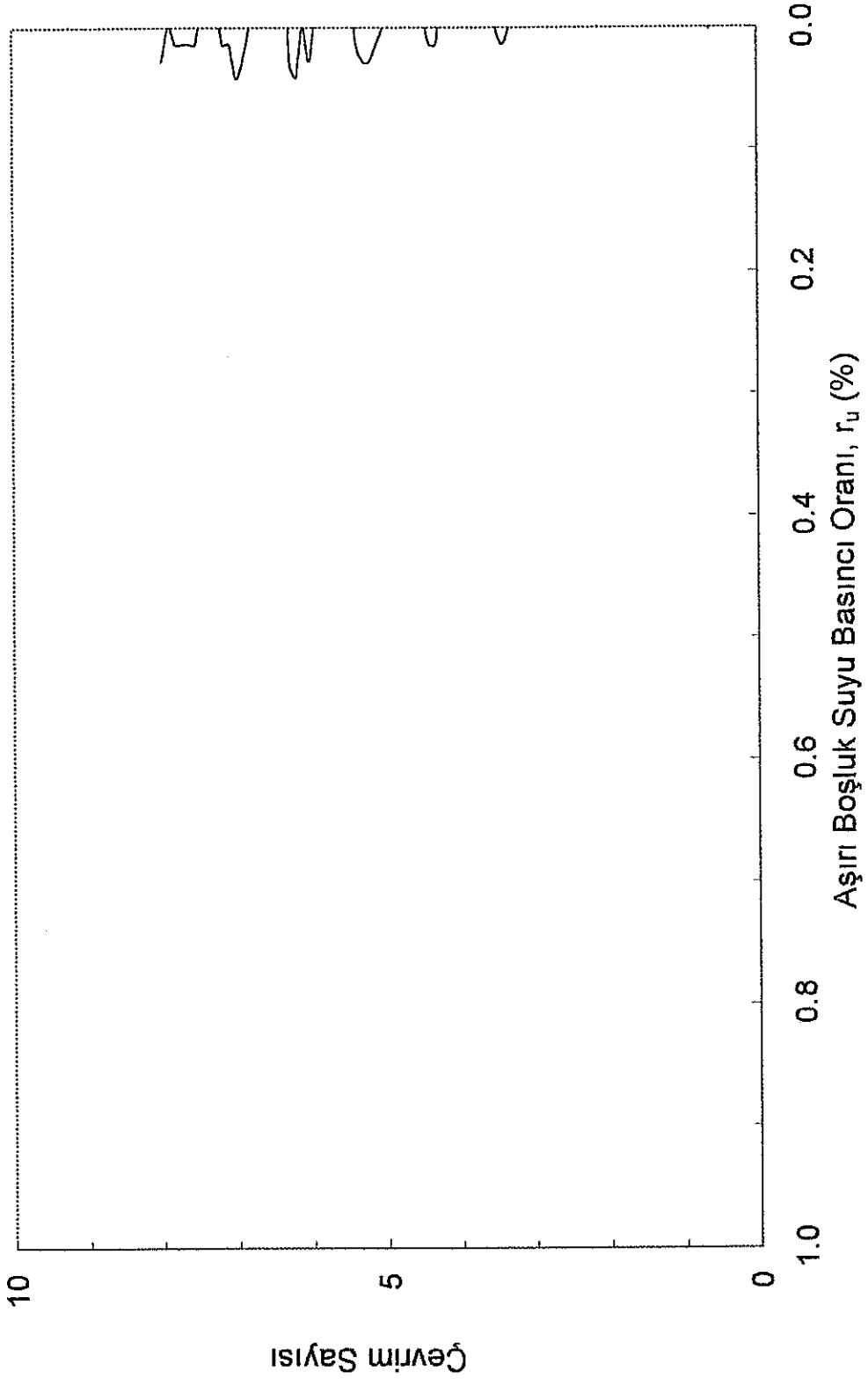
Test:210303(4)



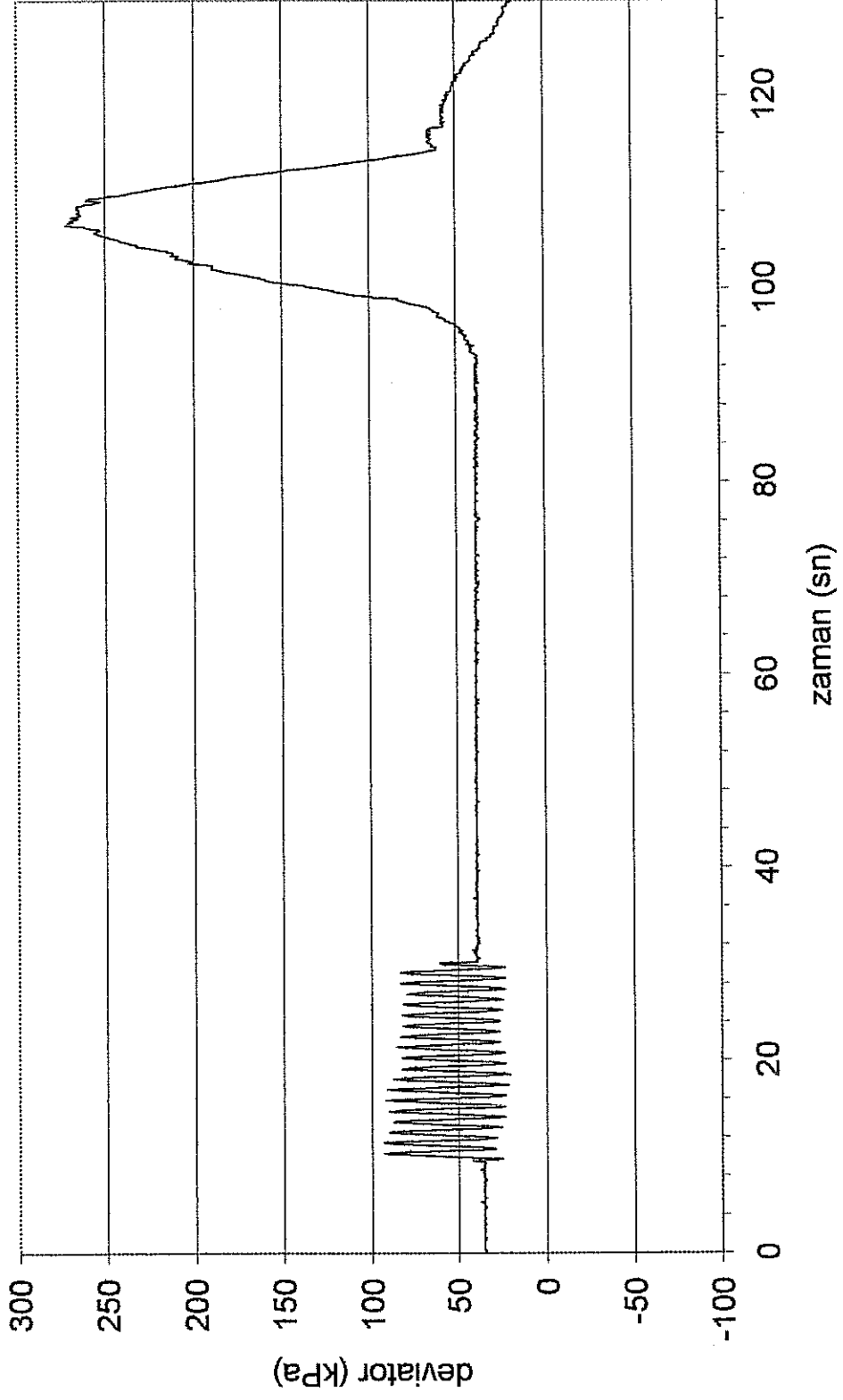
Şekil 27. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi Test: 210303(4)



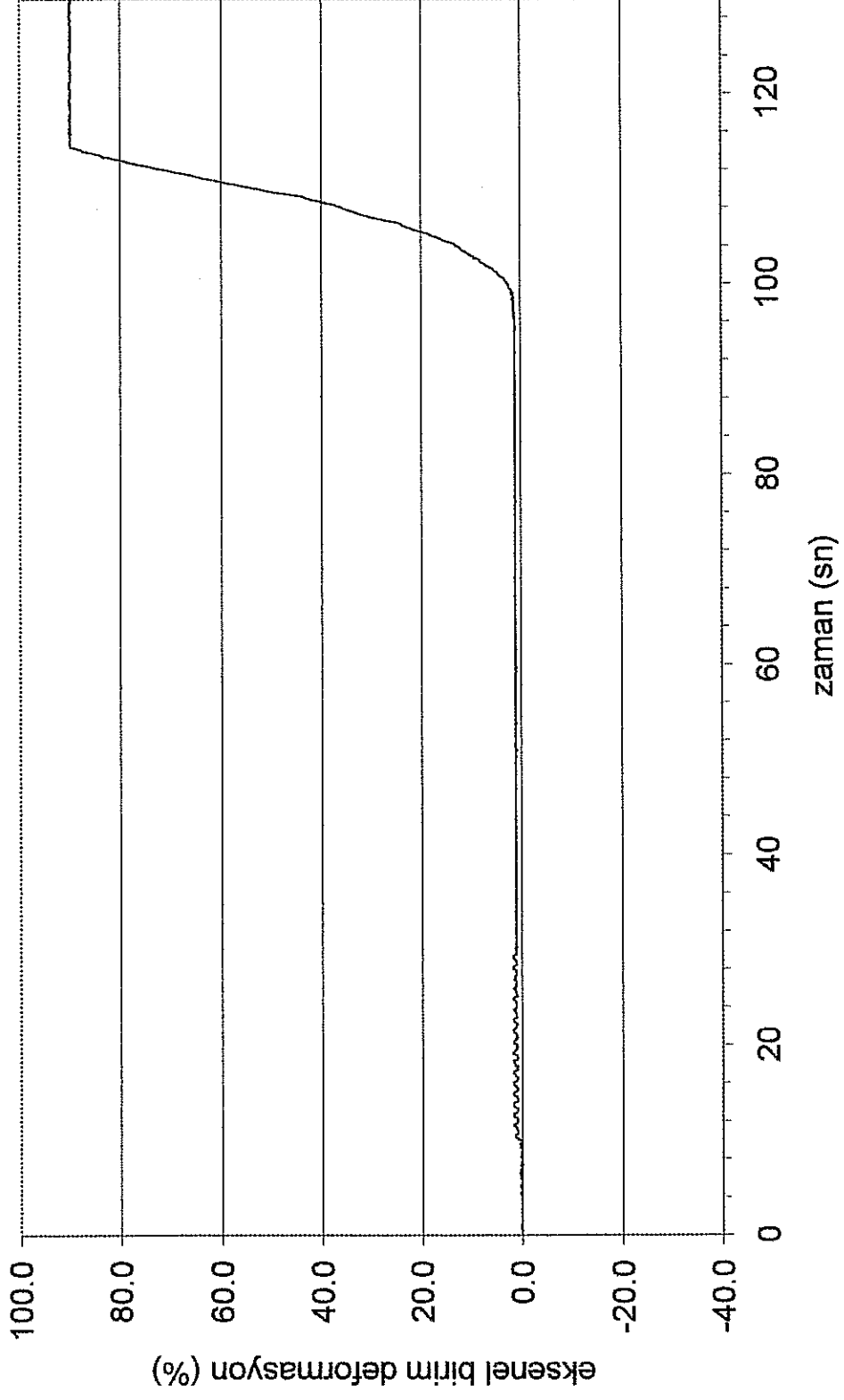
Şekil 28. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi Test: 210303(4)



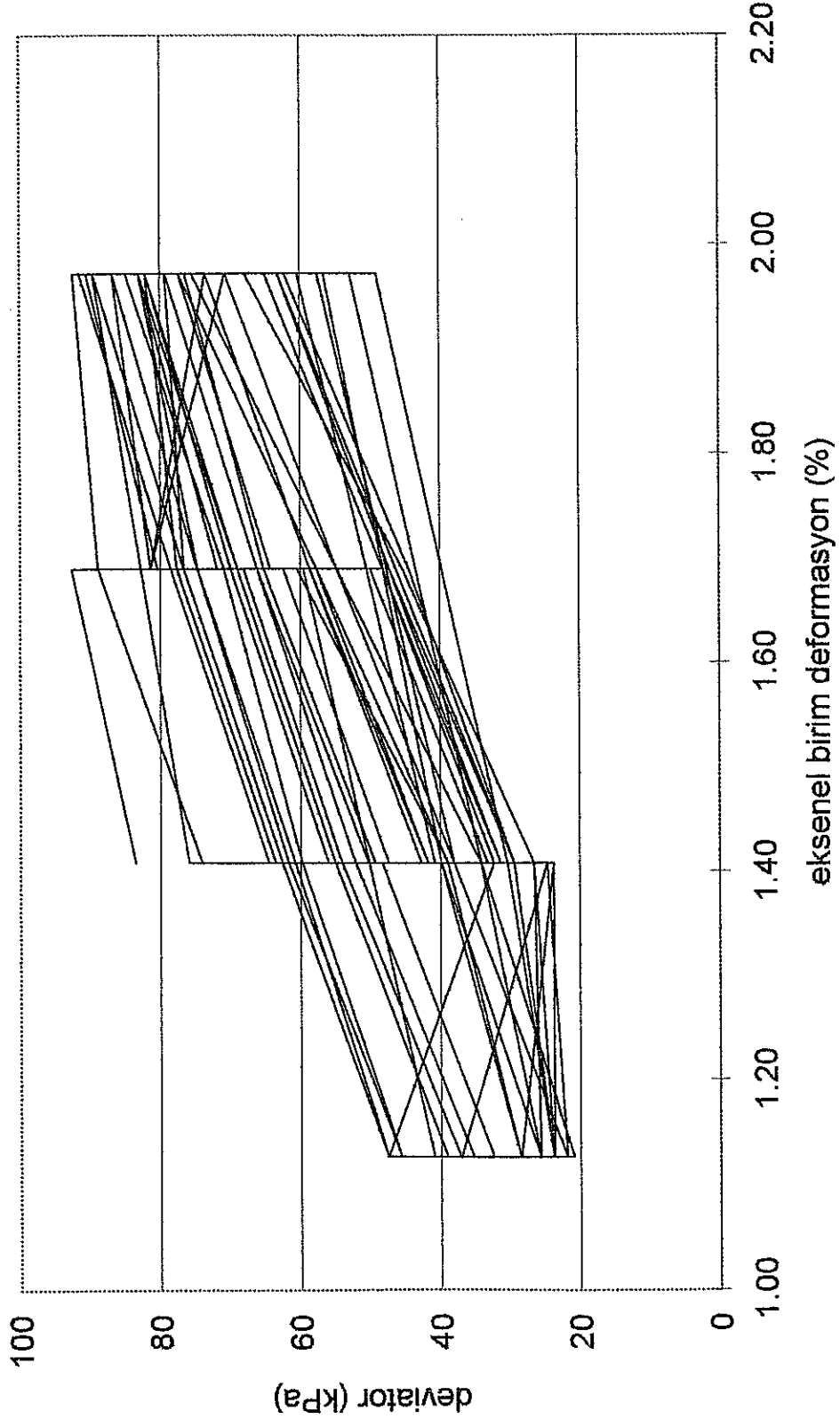
Şekil 29. Dinamik ve ani yüklemde deviator gerilmesi - zaman değişimi Test: 240303(5)



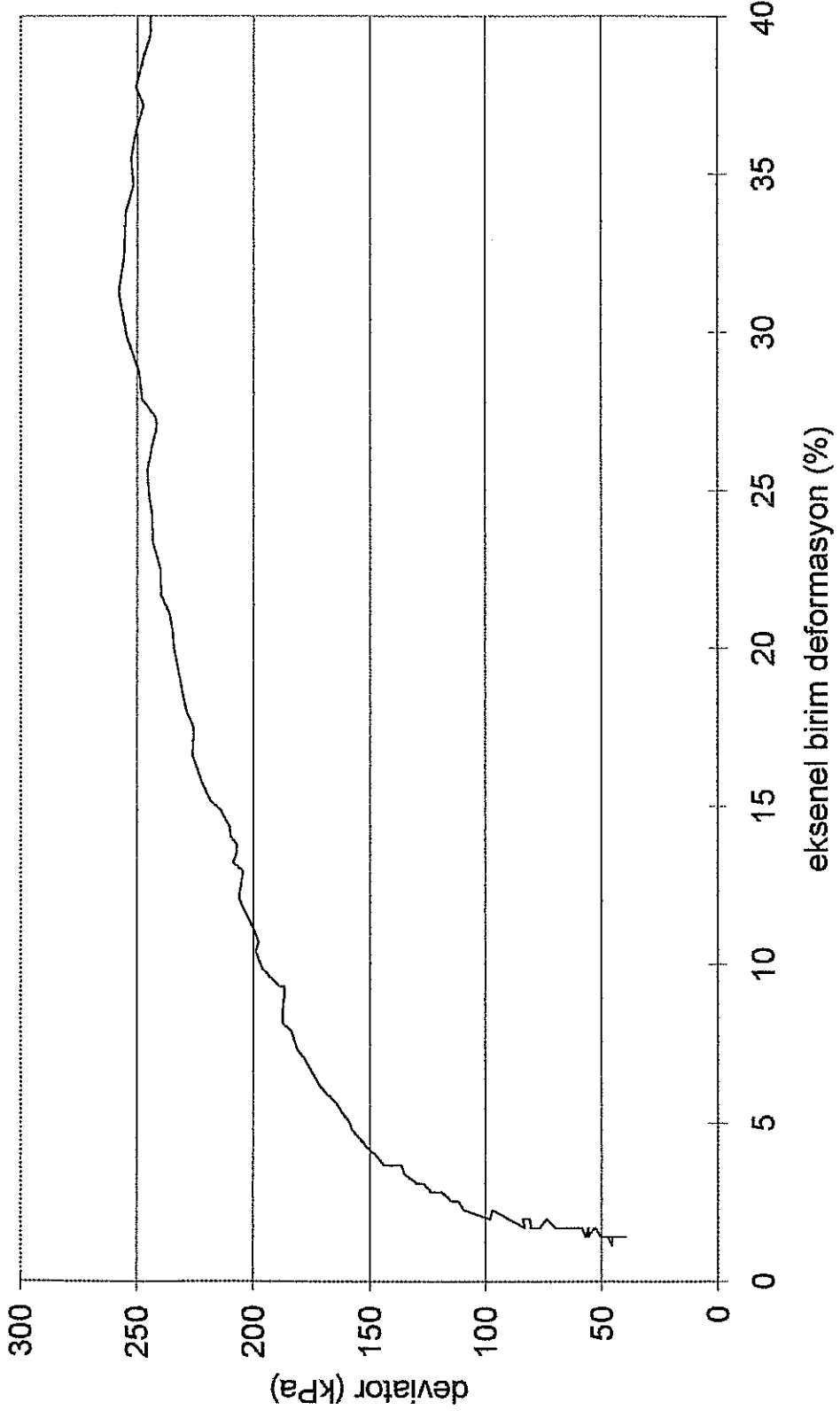
Şekil 30. Ani yüklemde düzeltilmiş eksenel birim deformasyon (%) - zaman değişimi Test: 240303(5)



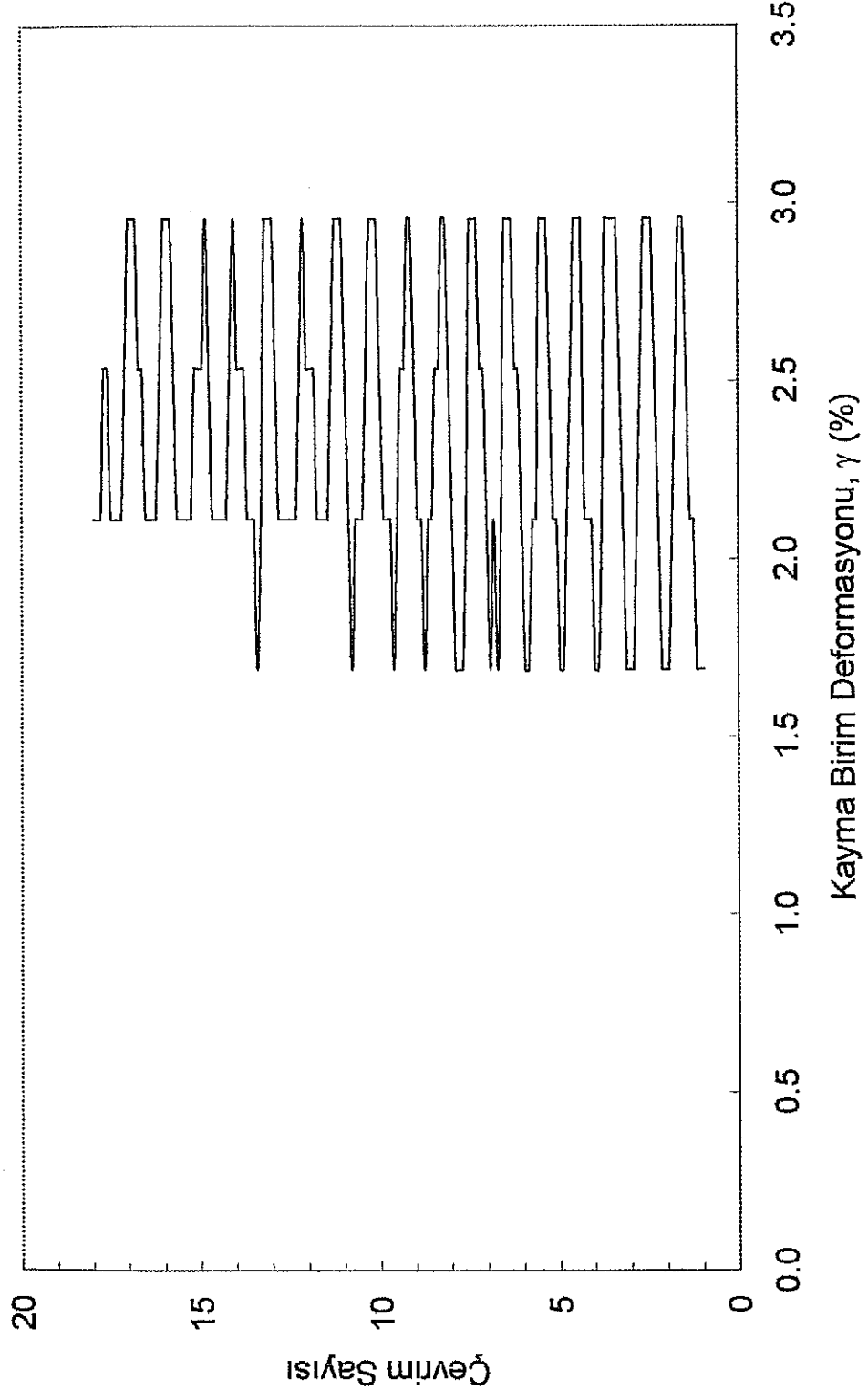
Şekil 31. Deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değişimi Test: 240303(5)



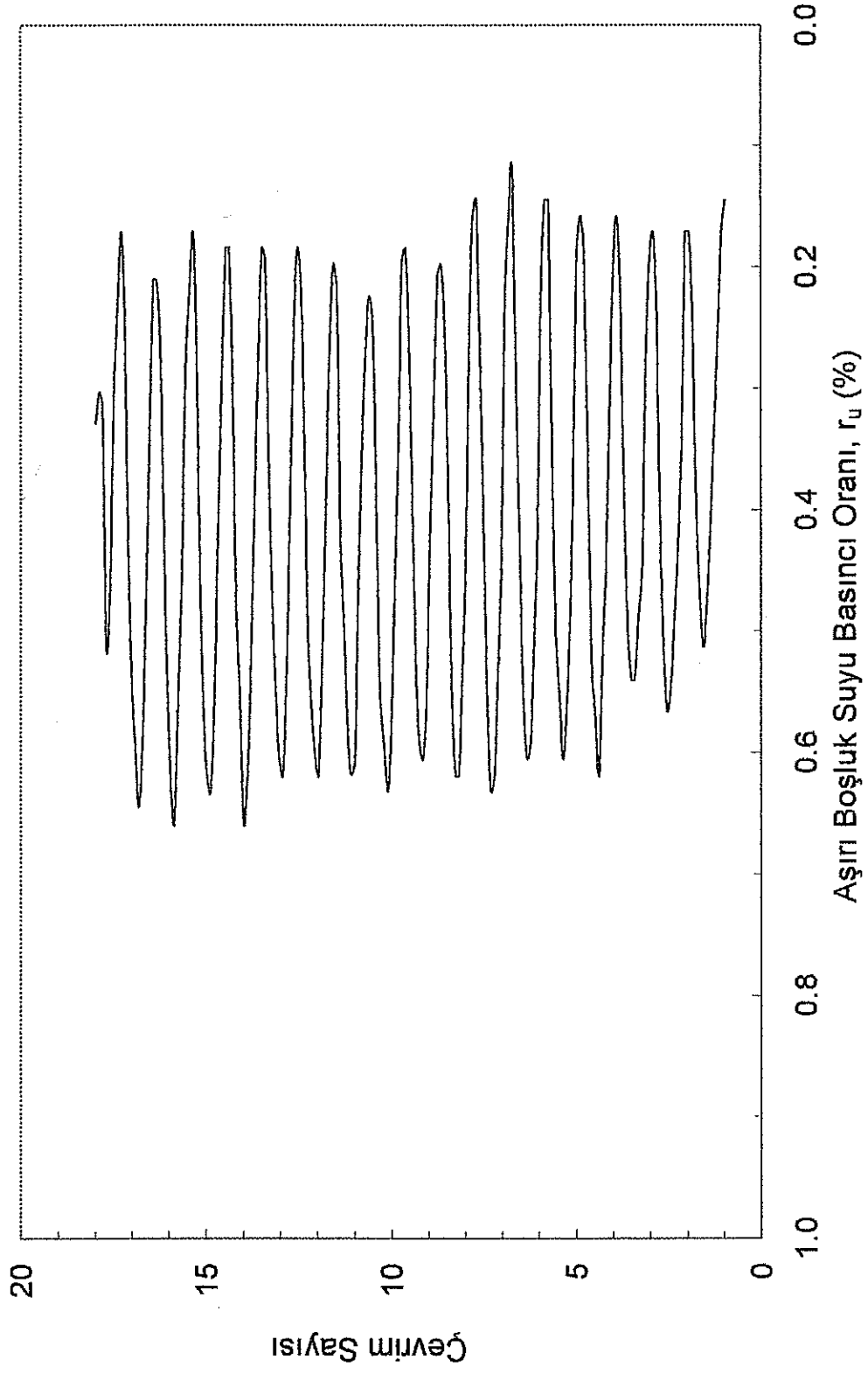
Şekil 32. Ani yüklemde deviator gerilmesi - aksenal birim deformasyon değışimi (detay) Test: 240303(5)



Şekil 33. Çevrim sayısı - birim deformasyon değişimi Test: 240303(5)



Şekil 34. Çevrim sayısı- aşırı boşluk suyu basınç oranı değişimi Test: 240303(5)



5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bir önceki bölümde sunulan deneysel bulguların değerlendirilmesiyle Adapazarı'nda mevcut yüzeysel zeminlerin dinamik yükler altındaki mukavemetlerine ilişkin irdelemelerimiz ve varmış olduğumuz genel sonuçlar şunlardır:

1. Gerek statik, gerekse dinamik yükleme sonrasında uygulanan ani yükleme koşullarında maksimum gerilme değerine ulaşılması sonrasında artan birim deformasyonlara bağlı olarak zeminlerde meydana gelen mukavemet kaybı ihmal edilebilir düzeylerde kalmaktadır. Bu durum, deneylerde kullanılan zemin numunelerinin tipik sünek malzeme özelliği taşıdığını göstermektedir.
2. Dinamik yükleme sonrasında uygulanan ani yükleme sonucu elde edilen drenajsız kayma mukavemeti değerleri statik yükleme koşullarında elde edilen değerlere göre daha yüksek veya daha düşük mertebelerde olabilmektedir. Ani yükleme sonucunda elde edilen kayma mukavemeti değerleri dinamik yüklemeye uygulanan CSR değerine ve çevrim sayısına bağlı olarak düşmektedir. Örnek olarak, 1 numaralı deneyde uygulanan oldukça yüksek CSR değeri (0.6) ve çevrim sayısına (14) bağlı olarak ani yüklemeye elde edilen mukavemet değeri statik yükleme durumundan elde edilen değere göre %10 daha düşüktür. Diğer deneylerde uygulanan nisbeten daha düşük CSR değerleri ve çevrim sayıları sonucunda ani yükleme koşullarından elde edilen mukavemet değerleri, statik yükleme koşullarından elde edilenleri değişen oranlarda aşmaktadır.
3. Adapazarı'nda 17 Ağustos depremi için aluvyon zeminler üzerinde hesaplanan CSR değerleri ve çevrim sayıları göz önüne alındığında, deneysel sonuçlar itibariyle bu zeminlerin deprem sırasındaki kayma mukavemeti değerlerinin statik koşullardan elde edilenler civarında kaldığını söylemek mümkündür.
4. Test edilen zeminlerde dinamik yükleme sırasında kayma modülü değeri, beklendiği şekilde, çevrim sayısı ile birlikte azalmaktadır. Bu azalma oranı dinamik yükleme sırasında uygulanan CSR değerindeki artışla birlikte artmaktadır.

5. Dinamik yükleme durumunda numunelerde kayma birim deformasyonu ve aşırı boşluk suyu basınç oranları artan çevrim sayısı ile birlikte, beklendiği şekilde, artmaktadır. Boşluk suyu basınçlarındaki ortalama artışlar genel olarak düşük seviyelerde kalmaktadır.

Yukarıda verilen sonuçlar halen O.D.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Bölümü bünyesinde yürütülen ve bu raporun giriş bölümünde sözü edilen proje kapsamında kullanılacaktır.

6. REFERANSLAR

- [1] Yasuhara K., S. Murakami, N. Toyota, and A.F.L. Hyde (2001). "Settlements in fine-grained soils under cyclic loading", *Soils and Foundations*, Vol.41, No.6, 25-36.
- [2] Andersen K.H., A. Kleven A., and D. Heien (1988). "Cyclic Soil Data for Design of Gravity Structures", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.114, No.5, 517-539.
- [3] Pekcan, O., "Cyclic Behaviour of Adapazarı Clayey Silts," M.Sc. Thesis, METU Civil Eng. Dept. Ankara, 2001.
- [4] Yasuhara K., K. Hirao, and A.F.L. Hyde (1992). "Effects of cyclic loading on undrained strength and compressibility of clay", *Soils and Foundations*, Vol.32, No.1, 100-116.
- [5] Yasuhara K., Yamanouchi T., and Hirao K. (1982). "Cyclic Strength and Deformation of Normally Consolidated Clay", *Soils and Foundations*, J.S.S.M.F.E., Vol.22, No.3, 77-91.
- [6] Ishihara K. (1996). Soil Behavior in Earthquake Geotechnics, Clarendon Press, Oxford, 350p.
- [7] Hyodo M., Y. Yamamoto, and M. Sugiyama (1994). "Undrained cyclic shear behavior of normally consolidated clay subjected to initial static shear stress", *Soils and Foundations*, Vol.34, No.4, 1-11.
- [8] Yasuhara K., Yamanouchi T., and Hirao K. (1982). "Cyclic Strength and Deformation of Normally Consolidated Clay", *Soils and Foundations*, J.S.S.M.F.E., Vol.22, No.3, 77-91.
- [9] Procter D. C., and Khaffaf J. H. (1984). "Cyclic Triaxial Tests on Remoulded Clays", *Journal of Geotechnical Engineering*, Vol.110, No.10, 1431-1445.

[10] Zhou J., and Gong X. (2001). "Strain Degradation of Saturated Clay under Cyclic Loading Condition", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.38, 208-212.

PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje Kodu : İÇTAG A028 (101 I 076)

Proje Başlığı : 17 Ağustos İzmit depremi sonucu Adapazarı kent merkezinde bina temellerinde meydana gelen zemin sıvılaşması kaynaklı kalıcı deplasmanların araştırılması kapsamında sondaj ve arazi deneylerinin tamamlanması

Proje Yürütücüsü ve Yardımcı Araştırmacılar : Y.Doç.Dr. B. Sadık Bakır, Y.Doç.Dr. K. Önder Çetin, Y.Müh. M. Tolga Yılmaz (doktora öğrencisi), Y.Müh Onur Pekcan (doktora öğrencisi)

Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi : Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü - Ankara

Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi : TÜBİTAK – Araştırma Altyapısını Destekleme Programı

Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri : 9/2002 – 3/2003

Öz : (en çok 70 kelime)

17 Ağustos 1999 İzmit depremi sonrasında Adapazarı'nda bina temellerinde meydana gelen deplasmanların mahiyetinin araştırılması ve ilişkin tasarım kriterlerinin belirlenmesi kapsamında Adapazarı'ndan alınan zemin numuneleri üzerinde statik ve dinamik üç eksenli deneyler yapılmıştır. Statik deneylerde standart prosedür takip edilmiş, dinamik deneylerde ise belirli CSR değerleri ve çevrim sayıları uygulandıktan sonra numune ani yüklemeye yenilmiştir. Bulgular deprem sırasında bu zeminlerin yumuşadığını, ancak ani yükleme nedeniyle kayma mukavemetlerinde artışlar meydana gelmiş olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Dinamik üç eksenli deney, sismik kayma dayanımı,

Projeden Kaynaklanan Yayınlar :

Bilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Doçentlik B. Dalı Kodu : 1.029 – Deprem mühendisliği, 1.050 Geoteknik mühendisliği