

DEPREM TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ

Ersin Kadiroğlu

171412103

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yapı Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku Yazgan

İstanbul

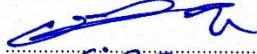
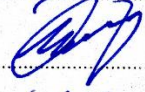

T.C. Maltepe Üniversitesi

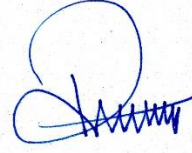
Fen Bilimleri Enstitüsü

Ağustos, 2019

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI

ersin kadiroğlu'nun "Deprem Tepki Spektrumlarının Elde Edilmesi" başlıklı tezi 30.07.2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından değerlendirilerek "Maltepe Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği" nin ilgili maddeleri uyarınca Yapı-Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans/Doktora tezi oy birliğiyle/oy çokluğuyla, başarılı/başarısız olarak kabul edilmiştir.

| Unvanı, Adı ve Soyadı | İmza |
|--|--|
| Üye (Tez Danışmanı) Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku YAZGAN |  |
| Üye Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK |  |
| Üye Dr. Öğr. Üyesi Seyit ÇERİBAŞI |  |



Prof. Dr. İter BÜYÜKDİĞAN
Enstitü Müdürü



ŞEKİL ONAY SAYFASI

| | |
|------------------|------------|
| Doküman No | FR-105 |
| İlk Yayın Tarihi | 20.12.2017 |
| Revizyon Tarihi | 10.12.2018 |
| Revizyon No | 01 |
| Sayfa | 1/2 |

ŞEKİL ONAY SAYFASI

20 / 08 / 2019


| FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE, | |
|---|---|
| Aşağıda bilgileri bulunan lisansüstü öğrencinin tezi şekil yönünden tarafımdan incelenmiş ve Enstitüye teslim edilmesi uygun bulunmuştur. | |
| <i>(Serine) Dr. Öğr. Üyesi Saygı Çeribaşı</i> <i>M. E. Anıl</i> | Anabilim Dalı Başkanı Işıl Sanrı Karapınar |

| ÖĞRENCİ BİLGİLERİ | |
|-------------------|--|
| ADI SOYADI | Ersin Kadiroğlu |
| ÖĞRENCİ NUMARASI | 171412103 |
| ANABİLİM DALI | Yapı Deprem Mühendisliği |
| PROGRAMI | (X) YÜKSEK LİSANS () DOKTORA () SANATTA YETERLİK |
| DANIŞMANI | Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku Yazgan |
| TEZ BAŞLIĞI | Deprem Tepki Spektrumlarının Elde Edilmesi |
| SAVUNMA TARİHİ | 30.07.2019 |
| e-posta | ersn_kadiroglu@hotmail.com |

| | |
|-------------------------------------|--|
| İç Kapak | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Jüri Onay Sayfası | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Etik İlke ve Kurallara Uyum Beyanı | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| İntihal Raporu | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Teşekkür Sayfası | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Öz (Başlık-Öz-Anahtar Sözcükler) | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Abstract (Title-Abstract-Key Words) | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| İçindekiler | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Çizelgeler Listesi | <input type="checkbox"/> Var <input checked="" type="checkbox"/> Yok |
| Şekiller Listesi (varsa) | <input type="checkbox"/> Şekil yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Kısaltmalar Listesi | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |
| Tablolar Listesi (varsa) | <input type="checkbox"/> Tablo yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Ekler Listesi (varsa) | <input type="checkbox"/> Ek yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Özgeçmiş | <input checked="" type="checkbox"/> Var <input type="checkbox"/> Yok |

| | | |
|----------------------------|--|---|
| Hazırlayan İlgili Birim | Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ | Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT |
|----------------------------|--|---|

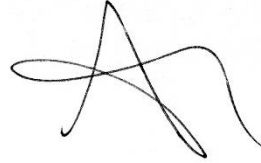
(Doküman No: FR-105; Yayın Tarihi 20.12.2017; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

| | | | |
|---|---------------------------|------------------|------------|
|  | ŞEKİL ONAY SAYFASI | Doküman No | FR-105 |
| | | İlk Yayın Tarihi | 20.12.2017 |
| | | Revizyon Tarihi | 10.12.2018 |
| | | Revizyon No | 01 |
| | | Sayfa | 2/2 |

| | |
|--------------------|---|
| Sayfa Genişliği | <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Yazı Tipi | <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Referans Kullanımı | <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Kaynakça Yazımı | <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |
| Ekler (varsa) | <input type="checkbox"/> Ek yok <input checked="" type="checkbox"/> Uygun <input type="checkbox"/> Uygun Değildir |


Dr. Öğr. Üyesi Erdal GÜVENOĞLU y.

İmza



| | | |
|----------------------------|--|---|
| Hazırlayan İlgili Birim | Kalite Koordinatörü Dr. Öğr. Üyesi Şafak GÜNDÜZ | Kurumsal Yetkili Prof. Dr. Belma AKŞİT |
|----------------------------|--|---|

(Doküman No: FR-105; Yayın Tarihi 20.12.2017; Revizyon Tarihi: ; Revizyon No:00)

| | | | |
|---|---|------------------|------------|
|  maltepe üniversitesi | ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI | Doküman No | FR-178 |
| | | İlk Yayın Tarihi | 01.03.2018 |
| | | Revizyon Tarihi | |
| | | Revizyon No | 00 |
| | | Sayfa | 1/1 |

ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI

20/08/2019

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarından bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilmeyen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; çalışmamın Maltepe Üniversitesinde kullanılan "bilimsel intihal tespit programı" ile tarandığını ve öngörülen standartları karşıladığını beyan ederim.

Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm.

Ersin Kadiroğlu



| | |
|--------------------------|---|
| Hazırlayan: İlgili Birim | Onaylayan: Kalite Yönetim Koordinatörlüğü |
|--------------------------|---|

İNTİHAL RAPORU

DEPREM TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ

ORIJINALLIK RAPORU

| | | | |
|-------------------|---------------------|------------|------------------|
| % 17 | % 15 | % 8 | % 4 |
| BENZERLİK ENDEKSİ | İNTERNET KAYNAKLARI | YAYINLAR | ÖĞRENCİ ÖDEVLERİ |

BİRİNCİL KAYNAKLAR

| | | |
|----------|---|-------------|
| 1 | core.ac.uk İnternet Kaynağı | % 7 |
| 2 | polen.itu.edu.tr İnternet Kaynağı | % 1 |
| 3 | ISABEL CUESTA. Journal of Earthquake Engineering, 2004 Yayın | % 1 |
| 4 | pt.scribd.com İnternet Kaynağı | % 1 |
| 5 | www.dist.unina.it İnternet Kaynağı | % 1 |
| 6 | Submitted to The Scientific & Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) Öğrenci Ödevi | % 1 |
| 7 | sbe.maltepe.edu.tr İnternet Kaynağı | % 1 |
| 8 | www.iram.fr İnternet Kaynağı | <% 1 |

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku YAZGAN



TEŞEKKÜR

Tezin hazırlanmasında bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku Yazgan'a ve Doç. Dr. Emin Çiftçi'ye, tezin editörlüğünü üstlenen ve yardımcı olan Ayla Kadiroğlu'na teşekkür ederim.

Yüksek lisans çalışması boyunca maddi ve manevi desteğini esirgemeyen anne ve babama teşekkür ederim.

Ersin Kadiroğlu
Ağustos, 2019



ÖZ

DEPREM TEPKİ SPEKTRUMLARININ ELDE EDİLMESİ

Ersin Kadiroğlu

Yüksek Lisans Tezi

Yapı Deprem Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Yapı Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı

Danışma: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Utku Yazgan

T.C. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2019

Depreme dayanıklı yapı tasarımı ve mevcut yapı üzerinde etkisi önemli olan hususlar yeteri kadar dayanım, süneklik ve rijitliğidir. Bu hususların yapıların depreme karşı güvenli olması için bunların yapıya kazandırılması gerekir. Bu nedenle yapıların yeteri kadar depreme karşı güvenli olması için dayanım azaltma faktörü, süneklik ve periyot ilişkisi son derece önemli bir yer tutmaktadır. Bu ilişki yapının periyodu, kuvvetli yer hareketinin özelliklerine ve çevrimsel davranış modeline bağlıdır. Bu çalışmada depreme dayanıklı yapı tasarımında önemli olan tepki spektrumlarının farklı kuvvetli yer hareketleri etkisi altında bir dinamik analiz yöntemi kullanılarak ve elastoplastik çevrimsel davranış modeli kullanılarak depremin tek dereceli serbestlik sistem üzerinde etkisi incelenmiştir. Bu nedenle öncelikli olarak 22 kuvvetli yer hareketi ortalama kayma dalga hızı V_{s30} zemin tipleri ($180 \leq V_s \leq 360$) yumuşak zemin ve $360 \leq V_s \leq 760$) sert zemin olarak gruplandırılmıştır. Tepki spektrumlarının belirlenmesi için matlab programı kullanılmış ve farklı sabit sünekliklerde 1,2,4,8 ve farklı sönüm oranlarına 0.02, 0.05, 0.1 bağlı olarak Elastik ötesi dayanım, ivme, hız ve yer değiştirme spektrumları belirlenmiştir. Bu sabit süneklik değerleriyle tanımlanan elastoplastik davranış modeli sistemlerde, dayanım azaltma faktörü ile periyot arasındaki ilişki belirlenmiş ve belirlenen bu ilişkinin ortalama R μ - μ -T spektrumu çizilmiş, mevcut R μ - μ -T tasarım spektrumlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Elastik ötesi Tepki Spektrumu, Süneklik, R μ - μ -T spektrumu, Sönüm.

ABSTRACT

CONSTRUCTION OF EARTHQUAKE RESPONSE SPECTRA

Ersin Kadiroğlu

Master Thesis

Department of Structural Earthquake Engineering

Structural Earthquake Engineering Programme

Advisor: Asst. Prof. Ahmet Utku Yazgan

Maltepe University Graduate School of Science and Engineering, 2019

The deformation of the structures into their inelastic range during strong ground motion is important in earthquake engineering. Modern seismic codes include Performance-based seismic design methodology which requires from the structures to resist inelastic deformations. In this study, Ductility reduction factors ($R_{\mu-\mu-T}$ relations), which is important in the design of earthquake resistant structures, are developed using Turkish Strong Ground Motion Records. Based on nonlinear time-history for an SDOF system; the effects of site conditions, structural period, level of ductility, damping on $R_{\mu-\mu-T}$ relations are investigated. Elastoplastic hysteresis models are used to generate response spectra for 22 earthquakes with a moment magnitude $M_w \geq 5$. Depending on the V_{s30} values, the soil type is classified as soft soil ($180 \leq V_s \leq 360$) and stiff soil ($360 \leq V_s \leq 760$) in the research. The displacement ductility ratios (μ) were taken as 1, 2, 4, 8. The curve corresponding to a ductility 1 means elastic spectra. The response was computed for 3 damping ratios such as 0.02, 0.05, 0.10. Though the ductility demand and yield strength reduction factor differ greatly for given ranges of natural period (T), they take close values for systems for periods $T \geq 1$. As a result, the approximate expressions of $R_{\mu-\mu-T}$ relations in terms of site conditions, structural period and ductility ratio are proposed.

Keywords: Inelastic spectra, Ductility, $R_{\mu-\mu-T}$ spectra, Damping.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|-------------------------------------|
| JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI | ii |
| ŞEKİL ONAY SAYFASI..... | Error! Bookmark not defined. |
| ETİK İLKE VE KURALLARA UYUM BEYANI..... | Error! Bookmark not defined. |
| İNTİHAL RAPORU | vii |
| TEŞEKKÜR..... | viii |
| ÖZ | viii |
| ABSTRACT..... | ix |
| İÇİNDEKİLER | x |
| TABLO LİSTESİ..... | xiii |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | xiv |
| KISALTMALAR..... | xx |
| ÖZGEÇMİŞ | xxi |
| BÖLÜM 1. GİRİŞ..... | 1 |
| 1.1 Giriş | 1 |
| 1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar..... | 1 |
| 1.3 Tezin Amacı..... | 2 |
| 1.4 Hipotez..... | 2 |
| BÖLÜM 2. TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN DİNAMİĞİ..... | 4 |
| 2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler..... | 4 |
| 2.3 Serbest Titreşim | 6 |
| 2.3.1 Sönümsüz Serbest Titreşim | 7 |
| 2.3.2 Sönümlü Serbest Titreşim..... | 8 |

| | |
|---|-----------|
| 2.4 Zorlanmış Titreşim | 9 |
| 2.4.1 Sönümsüz Sistemlerin Harmonik Titreşimi..... | 9 |
| 2.4.2 Sönümlü Sistemlerin Harmonik Titreşimi..... | 10 |
| BÖLÜM 3. DEPREM TEPKİ SPEKTRUMU | 12 |
| 3.1 Davranış Spektrumu | 12 |
| 3.2 Tasarım Spektrumu..... | 13 |
| 3.3 Deprem Tepki Spektrumlarının Zeminlerle İlişkisi ve Normalizasyonu..... | 13 |
| BÖLÜM 4. ELASTİKÖTESİ SİSTEMLERİN DEPREM DAVRANIŞI..... | 15 |
| 4.1 Elastik ötesi TSD Sistemleri | 15 |
| 4.2 Çevrimsel Davranış Modelleri..... | 16 |
| 4.2.1 Elastoplastik Model | 16 |
| 4.2.2 Bilinear Model | 17 |
| 4.2.3 Takeda Modeli | 18 |
| 4.2.4 Q Model | 19 |
| 4.3 Süneklik | 20 |
| 4.4 Elastik ötesi TSD Sistemlerin Süneklik ve Akma Dayanımı Spektrumu..... | 22 |
| 4.5 Dayanım Azaltma Faktörü ($R\mu$) | 23 |
| 4.6 Eşit Yer değiştirme ve Eşit Enerji Kuralı | 23 |
| 4.7 Nassar ve Krawinkler..... | 26 |
| 4.8 Newmark ve Hall | 27 |
| BÖLÜM 5. TSD SİSTEMLERİNİN SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ..... | 28 |
| 5.1 Zamanı Adımlama Yöntemleri | 28 |
| 5.2 Newmark Yöntemi..... | 29 |
| 5.2.1 Newmark Ortalama İvme Yöntemi..... | 29 |
| 5.2.2 Newmark Doğrusal İvme Yöntemi..... | 32 |
| BÖLÜM 6. SAYISAL UYGULAMALAR..... | 37 |

| | |
|--|-----------|
| 6.1 Analizde Kullanılan Yer Hareketleri | 37 |
| 6.2 Tepki spektrumlarının Bulunması | 39 |
| 6.2 Davranış ve Ortalama R_{μ} - μ -T Spektrumları | 52 |
| 6.3 Ortalama R_{μ} - μ -T için Regresyon Analizi..... | 60 |
| 6.4 Ortalama R_{μ} - μ -T Spektrumun Araştırmacılarla Karşılaştırılması..... | 60 |
| 6.6 sönümün ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu üzerindeki etkisi | 65 |
| BÖLÜM 7. SONUÇLAR | 67 |
| EK'LER | 70 |
| EK1a: Newmark sabit ortalama yöntemi ile doğrusal sistemler için çözüm algoritması | 70 |
| EK1b: Newmark doğrusal ortalama yöntemi ile doğrusal sistemler için çözüm algoritması | 71 |
| EK1c: Elastoplastik tek serbestlik dereceli sistemler için adım adım çözüm algoritması | 72 |
| EK1d: Elastoplastik tek serbestlik dereceli sistemler için algoritma akış şeması | 74 |
| EK2a: Yumuşak zemin grubunun ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumları .. | 75 |
| Ek2b: Sert zemin grubunun ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumları..... | 111 |
| Ek2c: Yumuşak zemin grubunun R_{μ} - μ -T davranış spektrumları..... | 141 |
| Ek2d: Sert zemin grubunun R_{μ} - μ -T davranış spektrumları..... | 153 |

TABLO LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Tablo 1 Dayanım azaltma faktörü için pekleşme oranına göre katsayılar | 26 |
| Tablo 2 Seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının listesi | 37 |
| Tablo 3 Seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının süreleri ve Arias şiddetleri | 38 |
| Tablo 4 Regresyon analizi sonucunda bulunan farklı zeminler için uygun katsayılar .. | 60 |



ŞEKİL LİSTESİ

| | |
|---|----|
| Şekil 1 Tek serbestlik dereceli sistem..... | 4 |
| Şekil 2 Zamanın herhangi bir anında kütleyle etkiyen kuvvetler | 4 |
| Şekil 3 Deprem yüklemesi durumunda sistemin davranışı | 6 |
| Şekil 4 sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi..... | 7 |
| Şekil 5 sönümün serbest titreşim üzerinde etkisi..... | 9 |
| Şekil 6 Harmonik kuvvetle zorlanan sönümlü sistemin şekildeğişimi büyütme çarpanı ve faz açısı | 11 |
| Şekil 7 TSD sistemlerinin titreşim periyotlarına göre grafiği | 14 |
| Şekil 8 İvme spektrumunun zeminlere göre değişimi ve normalizasyonu..... | 14 |
| Şekil 9 Elastik ötesi TSD sistemlerin kuvvet-deformasyon ile yer değiştirme ilişkisi .. | 15 |
| Şekil 10 Elastik mükemmel plastik model | 17 |
| Şekil 11 Çift doğrulu (Bilinear) model..... | 18 |
| Şekil 12 Takeda modeli | 19 |
| Şekil 13 Q modeli | 20 |
| Şekil 14 Elastoplastik kuvvet yer değiştirme ilişkisi..... | 21 |
| Şekil 15 Aynı başlangıç rijitliğine sahip, farklı akma dayanımlarına bağlı yer değiştirme grafiği..... | 22 |
| Şekil 16 Eşit yer değiştirme ve eşit enerji | 24 |
| Şekil 17 R_{μ} - μ -T idealize edilmiş tasarım spektrumu | 25 |
| Şekil 18 Zaman adımlama yöntemleri için kullanılan gösterim..... | 29 |
| Şekil 19 Δt zaman aralığında gerçek ve tahmini ivme | 30 |
| Şekil 20 Δt zaman aralığında gerçek ve tahmini ivme | 33 |
| Şekil 21 Tanjant rijitliğinin kullanılması | 36 |
| Şekil 22 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 40 |
| Şekil 23 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu | 41 |
| Şekil 24 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu..... | 42 |
| Şekil 25 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama ivme spektrumu..... | 43 |
| Şekil 26 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama hız spektrumu..... | 44 |
| Şekil 27 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama yer değiştirme spektrumu..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Şekil 28 Kocaeli depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 46 |
| Şekil 29 Kocaeli depremi sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu | 47 |
| Şekil 30 Kocaeli depremi sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 48 |
| Şekil 31 Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için normalize edilmiş ortalama ivme spektrumu..... | 49 |
| Şekil 32 Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için normalize edilmiş ortalama hız spektrumu..... | 50 |
| Şekil 33 Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için normalize edilmiş ortalama yer değiştirme spektrumu..... | 51 |
| Şekil 34 Düzce depreminin sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 53 |
| Şekil 35 Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 54 |
| Şekil 36 Kocaeli depreminin sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu..... | 55 |
| Şekil 37 Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 56 |
| Şekil 38 a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için yumuşak ve sert zeminin gruplarının süneklik taleplerinin karşılaştırılması..... | 57 |
| Şekil 39 $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için yumuşak ve sert zeminin gruplarının süneklik taleplerinin karşılaştırılması..... | 58 |
| Şekil 40 $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için yumuşak ve sert zeminin gruplarının süneklik taleplerinin karşılaştırılması..... | 59 |
| Şekil 41 sönüm oranı %5 için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumunun a) Regresyon eğrisi, b) Krawinkler ve Nassar, c) Newmark ve Hall karşılaştırılması | 61 |
| Şekil 42 a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumun, araştırmacıların spektrumlarıyla karşılaştırılması..... | 62 |
| Şekil 43 sönüm oranı %5 için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumunun a) Regresyon eğrisi, b) Krawinkler ve Nassar, c) Newmark ve Hall karşılaştırılması | 63 |
| Şekil 44 a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumun, araştırmacıların spektrumlarıyla karşılaştırılması..... | 64 |
| Şekil 45 farklı sönüm değerlerinin a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ süneklik spektrumu üzerindeki etkisi (yumuşak zemin grubu)..... | 65 |
| Şekil 46 farklı sönüm değerlerinin a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ süneklik spektrumu üzerindeki etkisi (sert zemin grubu) | 66 |
| Şekil 47 Adana depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 75 |
| Şekil 48 Afyon depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 76 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 49 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 77 |
| Şekil 50 Bursa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 78 |
| Şekil 51 Denizli depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 79 |
| Şekil 52 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 80 |
| Şekil 53 Erzincan depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 81 |
| Şekil 54 Erzurum depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 82 |
| Şekil 55 Kütahya depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 83 |
| Şekil 56 Manisa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 84 |
| Şekil 57 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 85 |
| Şekil 58 Van depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 86 |
| Şekil 59 Adana depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 87 |
| Şekil 60 Afyon depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 88 |
| Şekil 61 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 89 |
| Şekil 62 Bursa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 90 |
| Şekil 63 Denizli depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 91 |
| Şekil 64 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 92 |
| Şekil 65 Erzincan depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 93 |
| Şekil 66 Erzurum depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 94 |
| Şekil 67 Kütahya depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 95 |
| Şekil 68 Manisa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 96 |
| Şekil 69 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 97 |
| Şekil 70 Van depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu..... | 98 |
| Şekil 71 Adana depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 99 |
| Şekil 72 Afyon depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 100 |
| Şekil 73 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 101 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 74 Bursa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 102 |
| Şekil 75 Denizli depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 103 |
| Şekil 76 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 104 |
| Şekil 77 Erzincan depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 105 |
| Şekil 78 Erzurum depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 106 |
| Şekil 79 Kütahya depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 107 |
| Şekil 80 Manisa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 108 |
| Şekil 81 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 109 |
| Şekil 82 Van depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu | 110 |
| Şekil 83 Aydın depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 111 |
| Şekil 84 Balıkesir depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 112 |
| Şekil 85 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 113 |
| Şekil 86 Bursa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 114 |
| Şekil 87 Hatay depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 115 |
| Şekil 88 Kahramanmaraş depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 116 |
| Şekil 89 Kocaeli depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 117 |
| Şekil 90 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 118 |
| Şekil 91 Van depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 119 |
| Şekil 92 Hatay depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu..... | 120 |
| Şekil 93 Aydın depremi sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için hız spektrumu | 121 |

| | |
|--|-----|
| Şekil 94 Balıkesir depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 122 |
| Şekil 95 Bingöl depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 123 |
| Şekil 96 Bursa depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu..... | 124 |
| Şekil 97 Hatay depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 125 |
| Şekil 98 Kahramanmaraş depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu..... | 126 |
| Şekil 99 Kocaeli depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 127 |
| Şekil 100 Muğla depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 128 |
| Şekil 101 Van depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 129 |
| Şekil 102 Hatay depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için hız spektrumu | 130 |
| Şekil 103 Aydın depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 131 |
| Şekil 104 Balıkesir depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 132 |
| Şekil 105 Bingöl depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 133 |
| Şekil 106 Bursa depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 134 |
| Şekil 107 Hatay depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 135 |
| Şekil 108 Kahramanmaraş depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 136 |
| Şekil 109 Kocaeli depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 137 |
| Şekil 110 Muğla depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 138 |
| Şekil 111 Van depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 139 |
| Şekil 112 Hatay depremi sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için yer değiştirme spektrumu..... | 140 |
| Şekil 113 Adana depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu..... | 141 |
| Şekil 114 Afyon depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 142 |
| Şekil 115 Bingöl depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu..... | 143 |
| Şekil 116 Bursa depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 144 |

| | |
|---|-----|
| Şekil 117 Denizli depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 145 |
| Şekil 118 Düzce depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 146 |
| Şekil 119 Erzincan depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 147 |
| Şekil 120 Erzurum depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 148 |
| Şekil 121 Kütahya depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 149 |
| Şekil 122 Manisa depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 150 |
| Şekil 123 Muğla depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 151 |
| Şekil 124 Van depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 152 |
| Şekil 125 Aydın depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 153 |
| Şekil 126 Balıkesir depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 154 |
| Şekil 127 Bingöl depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 155 |
| Şekil 128 Bingöl depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 156 |
| Şekil 129 Hatay depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 157 |
| Şekil 130 Kahramanmaraş depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 158 |
| Şekil 131 Kacaeli depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 159 |
| Şekil 132 Muğla depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 160 |
| Şekil 133 Van depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 161 |
| Şekil 134 Hatay depreminin sönüm oranı $a=2, b=5, c=10$ için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu | 162 |

KISALTMALAR

| | |
|------------|---------------------------|
| DB | : Doğu-Batı |
| KG | : Kuzey-Güney |
| PGA | : Pik Yer İvme |
| PGD | : Pik Yer Değiştirme |
| PGV | : Pik Yer Hız |
| TSD | : Tek Serbestlik Dereceli |



ÖZGEÇMİŞ

Ersin Kadiroğlu

Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

Eğitim

| | | |
|-------|------|--|
| Y.Ls. | 2019 | Maltepe Üniversitesi, Fen Bilimler Enstitüsü Yapı Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Deprem Mühendisliği |
| Ls. | 2015 | Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mimarlık Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü |
| Lise | 2010 | Anadolu Öğretmen Lisesi |

Mesleki Birlik/Dernek Üyelikleri

| Yıl | Kurum |
|--------|--------------------------------|
| 2015 - | Üye: İnşaat Mühendisleri Odası |

Yayınlar ve Diğer Bilimsel/Sanatsal Faaliyetler

YAZGAN A. U. KADIROĞLU E. Inelastic Response Spectra for Seismic Design of Structures (IV. ECOCEE). (Tam Metin Bilidiri/)

Kişisel Bilgiler

| | | |
|--------------------|--|-------------|
| Doğum yeri ve yılı | : Hakkari, 1991 | Cinsiyet: E |
| Yabancı diller | : İngilizce (iyi) | |
| GSM / e-posta | : 05346044479 / ersn_kadiroglu@hotmail.com | |

BÖLÜM 1. GİRİŞ

1.1 Giriş

Depremlerde meydana gelecek hasarların engellenmesi, can ve mal kaybının azaltılması için deprem mühendisliği araştırmaları son yıllarda tüm dünyada hızlanmış ve yeni çalışmalar yapılmıştır. Bu yüzden depreme dayanıklı yapı tasarımı için deprem tepki spektrumları geliştirmiş ve depreme dayanıklı yapı tasarımında halen deprem tepki spektrumları önemli bir yer tutmaktadır. Bu tepki spektrumları yapının kütle, rijitlik, sönüm ve yapıda meydana gelen davranışlara bağlıdır. Ayrıca bu tepki spektrumları Deprem mühendisliğinde kullanılan kuvvetli yer hareketleri etkisinde, yapıların mevcut süneklik seviyeleri göz önünde bulundurularak dayanım azaltma faktörüne bölünerek azaltılmakta sünekliğe bağlı olarak bir Elastik ötesi tepki spektrumu da elde edilmektedir. Taşıma gücünden bir azalma olmadan sünek bir davranış veya Elastik ötesi bir deformasyon yapılması sağlanarak gelen deprem enerjisi yutulabilmektedir. Süneklik, dayanım azaltma faktörü ve sistem periyodu arasındaki ilişki incelendiğinde her birinin taşıyıcı sistemin depreme karşı gösterdiği tepkide büyük ölçüde etkili oldukları gözlemlenmiştir.

1.2 Daha Önce Yapılan Çalışmalar

Boore ve Akkar, uzun süreli yer hareketleri ve yer değiştirme spektrumu üzerinde yapılan çalışmaların artmasıyla, bugün yapılan birçok dijital kayıtların bile, uzun süreli yer hareketlerinin gürültü değerlerinin çıkartılmasıyla yapılan filtrelemenin gerekli olduğunu gözlemlenmişlerdir. Bu da hem elastik hem de Elastik ötesi tepki spektrumlarının daha hassas değerlendirilmesi için çok önemli olduğunu açıklamışlardır (Boore & Akkar, 2003).

Paz ve Kim, çalışmasında Elastik ötesi tek ve çok serbestlik dereceli sistemlerin integresyon yönteminin zaman adımlama alanında çözümü ile analizler yapmıştır. Elastoplastik analiz için zaman adımlama alanında bilgisayar algoritmaları geliştirmiştir (Paz & Kim, 2019).

Chopra, elastik ve Elastik ötesi tepki spektrumunun 1960'lara kadar geliştiğini ve Deprem mühendisliği için önemli bir kavram olan tepki spektrumunun tarihsel gelişimini incelemiştir (Chopra & Anıl, 2015).

Dayanım azaltma faktörü R, elastik tasarım ivme spektrumunda statik sismik kuvveti belirlemek için yaygın olarak kullanılır. Süneklik esaslı dayanım azaltma faktörü R_{μ} , deprem yönetmeliklerinin önemli bir parçasıdır. Birçok araştırmacı R_{μ} 'in özelliklerini araştırmış ve ilgili basit ifadeleri tasarım aracı olarak önermiştir (Veletsos & Newmark, 1960), (Miranda, 1993), (Miranda & Bertero, 1994), (Nassar & Krawinkler, 1991), (Newmark & Hall, 1982).

Changhai Zhai ve Lili Xie, çalışmasında Elastik ötesi yapıların sabit süneklik altında, deprem tepki spektrumları üzerindeki sönümleme etkisinin derinlemesine bir araştırmasını sunmuşlardır. Sabit süneklik deprem direnç spektrumundaki sönümleme etkisinin oldukça karmaşık olduğu ve saha koşullarına değil aynı zamanda yapısal periyoduna da bağlı olduğunu gözlemişlerdir. Son olarak, süneklik-dayanım azaltma faktörü-periyot spektrumunun etkisini yaklaşık olarak ölçmek için kullanılacak basitleştirilmiş bir ifade sağlayan Elastik ötesi sistemler için regresyon analizi geliştirmişlerdir (Zhai & Xie, 2005).

1.3 Tezin Amacı

Bu çalışmadaki amaç, kuvvetli yer hareketleri etkisinde Elastik ötesi tek serbestlik dereceli sistemin elastoplastik histeretik davranış modeli kullanılarak, zaman tanım altında doğrusal olmayan bir analiz yöntemi ile öncelikli olarak akmanın ve sönümün ivme, hız ve yer değiştirme spektrumları üzerinde etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Daha sonra da süneklik, dayanım azaltma faktörü ve periyot arasındaki bağlantı belirlenmeye çalışılmıştır.

1.4 Hipotez

Bu çalışma için $M_w \geq 5$ büyüklüğünde, en büyük yer ivmesi ve kaydedildikleri V_{s30} ortalama kayma dalga hızına bağlı olarak sert ve yumuşak zemin olarak gruplandırılan 22 adet kuvvetli yer hareketi Doğu-Batı ve Kuzey-Güney olmak üzere iki

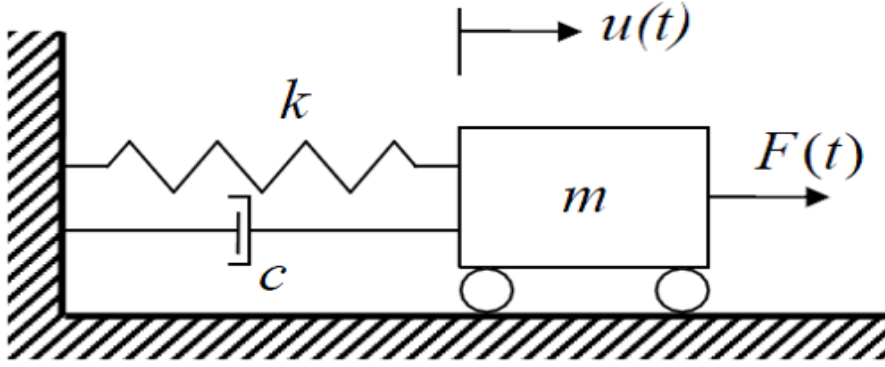
bileşeni için matlab programı ile 44 yer hareketi için filtreleme yapılmıştır. Bu Kuvvetli yer hareketlerinin sabit kütleli tek dereceli serbestlik sistemi üzerinde etkisinin farklı sönümlerde %2, %5, %10, süneklik oranı $\mu = 1-2-4-8$ değerleri ve $T=0.1-3$ sn aralığındaki periyot değerleri için akma dayanımı, ivme hız ve yer değiştirme spektrumların elde edilmesi için matlab programıyla analizler yapılmıştır. Daha sonra yumuşak ve sert zemin gruplarının, süneklik oranı $\mu = 1-2-4-8$ ve farklı sönüm %2, %5, %10 değerleri ile elastoplastik sistemlerin, dayanım azaltma faktörü ve periyodu arasındaki ilişki ile bu grupların dayanım azaltma faktörü talepleri arasındaki farklar araştırılmıştır.



BÖLÜM 2. TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN DİNAMİĞİ

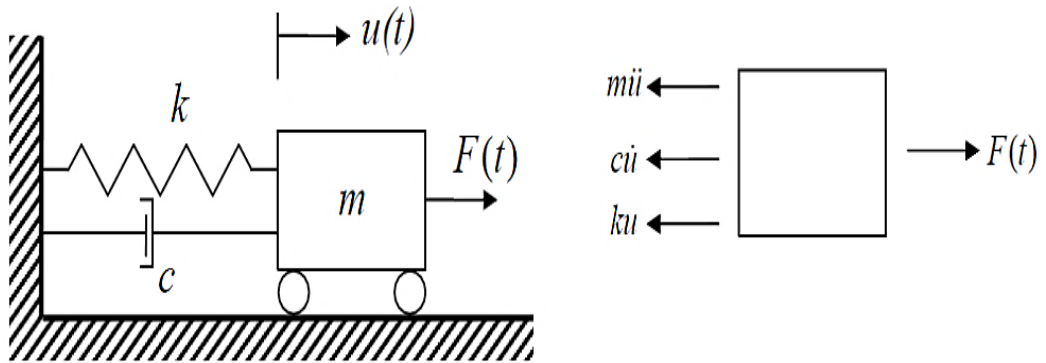
2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sistemler

Konumu, tek bir değişkene bağlı olarak belirlenebiliyorsa bu tür sistem Tek Serbestlik Dereceli Sistem olarak anılmaktadır. Şekil 1’de gösterilen sistemde, zemine sabit bağlanmış bir (m) kütlesi, rijitlik yayı (k) olan ve titreşim enerjisi yutan viskoz bir sönümleyiciden (c) oluşmaktadır (Chopra & Anıl, 2015).



Şekil 1 Tek serbestlik dereceli sistem

TSD sistemleri çeşitli dinamik yükler etkisinde olurlar. Deprem Mühendisliği’nin de önemli olan yükleme genellikle dış kaynaklı yer sarsıntıları, rüzgar ve patlamalardır. Şekil 2’de gibi bir TSD sistemin dinamik tepkisi bir hareket denklemi tarafından kontrol edilir ve kuvvet denge denklemleriyle belirlenir (Kramer, 2003).



Şekil 2 Zamanın herhangi bir anında kütleye etkiyen kuvvetler

Burada kütleyle etki eden ve yerdeğiştiren dış kuvvet $F(t)$, elastik (ya da elastik ötesi) sistemi denge konumuna döndürmeye çalışan direnç kuvveti F_s ve hareketi söndürmeye çalışan F_D kuvveti olarak gösterilir. Hem dış kuvvet hem de yerdeğişimi $[u(t)]$, hız $[\dot{u}(t)]$ ve ivme $[\ddot{u}(t)]$ pozitif yönlü kabul edilmektedir. Elastik kuvvet ve sönüm kuvveti sırasıyla yerdeğişimi ve hıza karşı koyan iç kuvvetler olduklarından, ters yönde etkirler. Böylece aşağıdaki denklemi verirler (Chopra & Anıl, 2015).

$$m\ddot{u}(t) - F_s - F_D = m\ddot{u} \text{ ya da } m\ddot{u} + F_s + F_D = -m\ddot{u}(t) \quad (2.1)$$

$F_s = ku$; $F_D = c\dot{u}$ buradaki ifadeler denklem (2.1) de yerine yazılırsa;

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}(t) \text{ olur.} \quad (2.2)$$

Bu denklem ile, kütleyle etki eden zamana bağlı dinamik dış etki $m\ddot{u}(t)$ etkisinde doğrusal elastik davrandığı varsayılan Şekil 2 de idealleştirilmiş yapının yer değiştirmeyi gösteren $u(t)$ hareket denklemidir. Bu denklem Elastik ötesi sistemler içinde kolayca uygulanabilir. Denklem (2.1)'de $f_s(u)$ yer değiştirmeye bağlı bir örtük fonksiyon olduğundan tek yapılması gereken, $f_s = ku$ yerine Elastik ötesi direnç kuvveti $f_s(u)$ kullanılmasıdır (Chopra & Anıl, 2015).

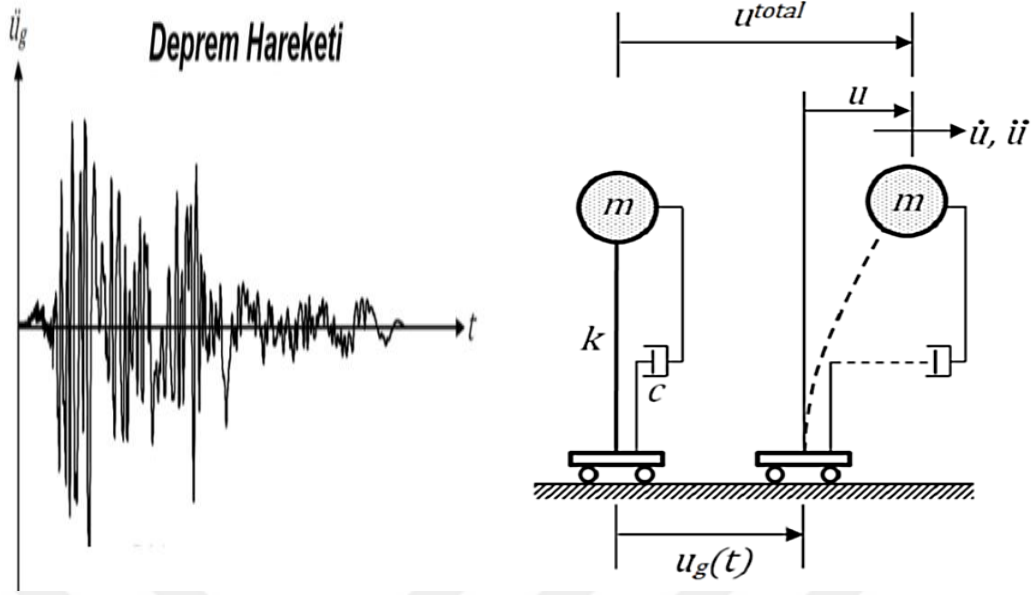
$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s(u) = -m\ddot{u}(t) \quad (2.3)$$

Deprem nedeniyle yapının zeminde harekete zorlanmaya çalışılır. Burada zorlamaya çalışan hareket yerin hareketi $u_g(t)$ ve kütlelerin mesnede göre göreceli yer değiştirme $u(t)$ ile toplanması ile kütlelerin toplam yer değiştirmeni verir. (Chopra & Anıl, 2015).

$$u^{\text{toplaml}}(t) = u_g(t) + u(t) \quad (2.4)$$

$$F_l = m\ddot{u}^t \quad (2.5)$$

F_l eylemsizlik kuvveti denklemi (2.4) ile bağlantılıdır.



Şekil 3 Deprem yüklemesi durumunda sistemin davranışı

Şekil 3’de gösterilen TSD deprem yüklemesi $ü_g$ nin etkisinde hareket eden sistem türetilen denklem (2.1) kullanılarak aşağıdaki denklem

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + \omega_n^2 u = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.6)$$

elde edilir.

Elastik ötesi sistemler içinde

$$\ddot{u} + 2\xi\omega_n\dot{u} + f_s(u)/m = -\ddot{u}_g(t) \quad (2.7)$$

denklemini elde edilir.

2.3 Serbest Titreşim

Bir TSD sistemi denge konumunda uzaklaştıktan sonra herhangi bir dış etki altında salınmadığı zaman sadece başlangıç şartları sebebiyle titreşiyorsa, bu tür titreşime serbest titreşim denir. Serbest olması titreşim sırasında zamana bağlı herhangi bir dış etkinin bulunmadığına işaret eder. Dış zorlamalar, sistemde sona erdikten sonra veya bir süre sonra kaldırılırsa da salınım devam ediyorsa, yine de serbest titreşim meydana gelir. Böylece serbest titreşimin oluşmasında zorlanmış titreşimin bittiği ve serbest titreşimin başladığı andaki şartlar (yer değiştirme ve hızın değeri) etkili olur. Serbest titreşimi oluşturan değişkenler sistemin doğrudan dinamik özelliklerine bağlıdır (Celep, 2014).

2.3.1 Sönümsüz Serbest Titreşim

Dış zorlama kuvvet etkisinin $p(t) = 0$ olduğu ve sönümü olmayan sistemler ($c=0$) denklemleri aşağıdaki denklem gibi belirlenir

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad (2.9)$$

Başlangıçta statik denge konumunda olan kütle, serbest titreşim kütle üzerinde $u(0)$ yer değiştirmesi ve $\dot{u}(0)$ hızı uygulayıp sistemi başlangıçtaki denge konumundan uzaklaştırmaya neden olur:

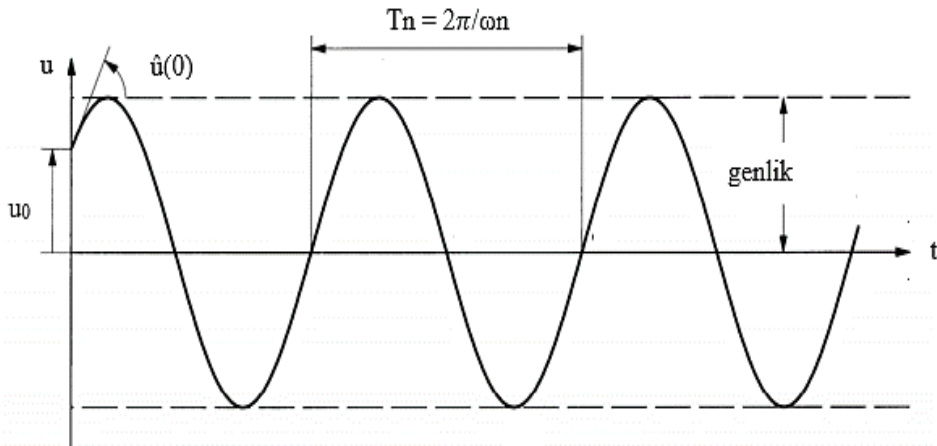
$$u = u(0) \quad \dot{u} = \dot{u}(0) \quad (2.10)$$

Bu başlangıç statik denge konumu bağlı olarak bir TSD sistemi sönümlenmesiz serbest titreşim için aşağıdaki diferansiyel denklemleri (2.11) ve grafiği Şekil 4'de gösterildiği gibi elde edilir.

$$u(t) = u(0)\cos\omega_n t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n}\sin\omega_n t \quad (2.11)$$

Sistemin sönümlenmesiz doğal açısal frekansı k rijitlik ve m kütesine bağlı olarak aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (2.12)$$



Şekil 4 sönümsüz bir sistemin serbest titreşimi

Sistemin doğal, sönümsüz veya serbest titreşim devrini tamamlaması için alınan birimi saniye olan süreye sistemin doğal titreşim periyodu denir.

$$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n} \quad (2.13)$$

Titreşimin doğal devir frekansı ise periyodun belirli bir zamandaki tekrarlanma devrine denir.

$$f_n = \frac{1}{T_n} \quad (2.14)$$

2.3.2 Sönümlü Serbest Titreşim

Gerçek sistemlerde enerjinin kaybolması sürtünme, ısı oluşumu, hava direnci veya diğer fiziksel mekanizmalardan dolayı oluşur. Bu nedenle, TSD sistemin serbest titreşim tepkisi sürtünme etkisiyle zamanla azalacak sönümle etkisi dediğimiz olay meydana gelmiş olur (Kramer, 2003).

Zorlanmış harmonik titreşim etkisinde veya serbest titreşimde bir devirde enerji tüketen katsayıya yani sönüm katsayısının c'nin Kritik sönüm katsayısı c_c büyüklüğü $2\sqrt{km}$ oranına, sönüm oranı ξ denir.

$$\xi = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \text{ veya } \xi = \frac{c}{2m\omega} \quad (2.15)$$

Diferansiyel denklem çözümü, sönüm oranına bağlıdır. $\xi < 100$ ($c < c_c$) olduğu zaman sistem az sönümlenmelidir. $\xi = 100$ ($c = c_c$) olduğunda sistem kritik sönümlenmelidir ve $\xi > 100$ ($c > c_c$) olduğu zaman sistem aşırı sönümlenmelidir. Aşırı sönüm denmesinin nedeni denge noktasında salınımına izin vermeyecek kadar büyük veya denge konumundan uzaklaşan sistemin hızla konumuna geri dönmesine neden olduğu bu nedenle tekrarlayan salınımlar yapmadıklarıdır. Ancak Deprem mühendisliğinde ilgi konusu olan yapılar pratikte her zaman az sönüme sahiptir (Yerlici & Luş, 2014).

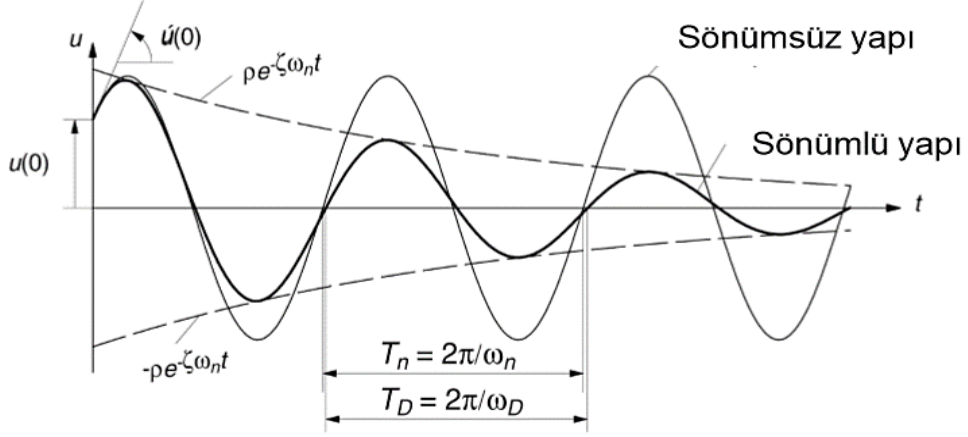
Sönümlemenin kritik sönümleme değeri altında olduğu durum için diferansiyel denklemi aşağıdaki gibi olur ve bu denkleme bağlı olarak grafiği de şekil 5 gibi olur.

$$u(t) = e^{-\xi\omega_n t} \left[u(0) \cos\omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \xi\omega_n u(0)}{\omega_D} \sin\omega_D t \right] \quad (2.16)$$

Sistemin sönümlenmeli doğal açısal frekansı

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \xi^2} \quad (2.17)$$

ile elde edilir.



Şekil 5 sönümün serbest titreşim üzerinde etkisi

2.4 Zorlanmış Titreşim

Zorlanmış titreşimde sisteme dinamik dış etkenlerin deprem hareketinin veya dış kuvvetin etkimesi sonucu ortaya çıkar. Burada TSD sistemin harmonik yük etkisinde davranışı incelenecektir.

2.4.1 Sönümsüz Sistemlerin Harmonik Titreşimi

Harmonik kuvvet $p(t) = p_0 = \sin \omega t$ veya $p_0 = \cos \omega t$ şeklindedir. P_0 kuvvetin en büyük değeri (genliği); ω zorlanmış titreşimin frekansı $T = 2\pi/\omega$ de sistemin zorlama periyodudur.

$$m\ddot{u} + ku = p_0 \sin \omega t \quad (2.18)$$

Sistemin başlangıç koşullarına bağlı olarak;

$$u = u(0) \quad \dot{u} = \dot{u}(0) \quad (2.19)$$

sönümsüz zorlanmış harmonik titreşim için aşağıdaki sonuç elde edilir:

$$u(t) = u(0)\cos\omega_n t + \left[\frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} - \frac{P_0}{k} (\omega/\omega_n)/(1 - (\omega/\omega_n)^2) \right] \sin\omega_n t$$

Geçici

$$+ \frac{P_0}{k} \frac{1}{(1 - (\omega/\omega_n)^2)} \sin$$

Kararlı

(2.20)

Kararlı titreşim veya zorlanmış titreşim deprem hareketin veya dış yükün sisteme tüm süre boyunca neden olduğu titreşimdir. Başlangıç koşulları $u(0)$ ve $\dot{u}(0)$ dolay veya sistemde sönümün olması durumunda etkisinin zamanla azalmasından dolayı oluşan titreşime, geçici titreşim veya serbest titreşim denir (Yerlici & Luş, 2014).

2.4.2 Sönümlü Sistemlerin Harmonik Titreşimi

Sönüm hesaba katıldığında TDS sistemi için harmonik kuvvet etkisinin denklemi aşağıdaki gibi olur:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p_0 \sin\omega t \quad (2.21)$$

Denklem için başlangıç koşulları;

$$u = u(0) \quad \dot{u} = \dot{u}(0) \quad (2.22)$$

Sönümlü sistem harmonik titreşimi için türevsel denklem aşağıdaki gibi olur;

$$A = u(0) \quad B = \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} + \frac{P_0}{2k} \quad (2.23)$$

$$C = \frac{P_0}{k} \frac{1 - (\omega/\omega_n)^2}{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\xi(\omega/\omega_n)]^2} \quad (2.24)$$

Denklem (2.23) ve (2.24) katsayılarına bağlı olarak aşağıda sönümlü sistemin harmonik titreşim denklemi elde edilir;

$$u(t) = \underbrace{e^{-\xi\omega_n t}}_{\text{Geçici}} (A\cos\omega_n t + B\sin\omega_n t) + \underbrace{C\sin\omega t + D\cos\omega t}_{\text{Kararlı}} \quad (2.25)$$

Geçici

Kararlı

2.4.2.1 Sönümlü Sistemin Harmonik Titreşiminin Faz Gecikmesi

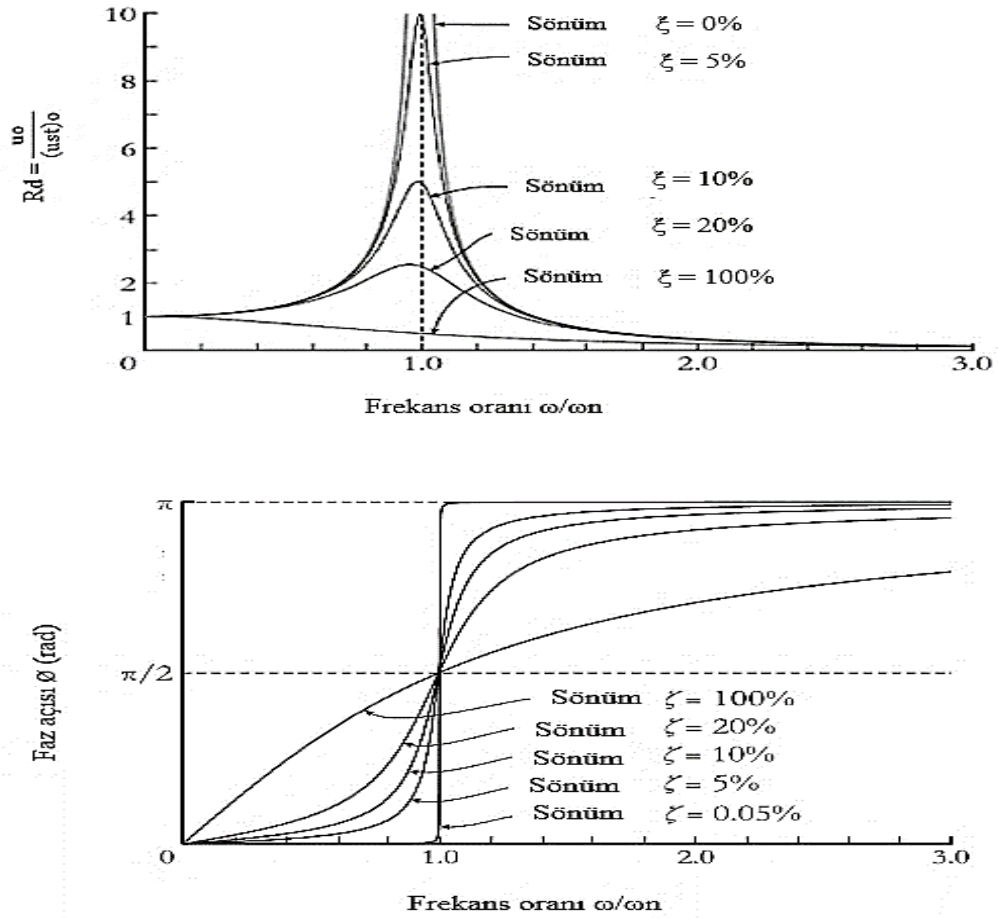
$$u(t) = u_0 \sin(\omega t - \phi) = (u_{st})_0 R_d \sin(\omega t - \phi) \quad (2.26)$$

Burada R_d şekil değışimi büyütme çarpanı ϕ faz açısı ya da faz gecikmesi denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$R_d = \frac{u_0}{(u_{st})_0} = \frac{1}{\sqrt{[1 - (\omega/\omega_n)^2]^2 + [2\xi(\omega/\omega_n)]^2}} \quad (2.27)$$

$$\phi = \tan^{-1} \frac{2\xi(\omega/\omega_n)}{1 - (\omega/\omega_n)^2} \quad (2.28)$$

Sönüm, R_d 'yi yani tüm zorlama frekanslardaki yer değıştirme genliğini azaltır.



Şekil 6 Harmonik kuvvetle zorlanan sönümlü sistemin şekildeğışimi büyütme çarpanı ve faz açısı

BÖLÜM 3. DEPREM TEPKİ SPEKTRUMU

3.1 Davranış Spektrumu

TSD sistemlerin dinamik çözümlemesi için herhangi bir yer hareketi karmaşık ve gelişigüzel etkiler olduğundan sayısal yöntemle çözmek gerekir. Deprem hareketleri, farklı frekansa ve genliklere sahip kapalı biçim harmonik titreşimler gibi üst üste gelmesiyle meydana geldiği kabul edilir. Konvolüsyon integrali ile hesaplanarak ivme, hız ve yer değiştirme tepkileri bulunur (Celep, 2017).

$$u(t) = \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad (3.1)$$

birim itki tepkisi $h(t - \tau)$ denklem 3.2 de gibi kullanılırsa,

$$u(t) = -\frac{1}{\omega D} \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi \omega n(t-\tau)} \sin[\omega D(t - \tau)] d\tau \quad (3.2)$$

elde edilir. Türevi alınırsa

$$\dot{u}(t) = -\xi \omega n u(t) - \int_0^t \int_0^t \ddot{u}_g(\tau) e^{-\xi \omega n(t-\tau)} \cos[\omega D(t - \tau)] d\tau \quad (3.3)$$

denklem (3.3)'ünde türevi alınıp $\ddot{u}_g(t)$ yer ivmesi eklenerek kütle için ivmesi hesaplanabilir ve böylece aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\ddot{u} = -\omega n^2 u(t) - 2\xi \omega n \dot{u}(t) \quad (3.4)$$

Tasarım ve analizde TSD sistemlerinde oluşacak davranışların zaman içindeki davranışını ayrıntılı belirlemek zor ve gereksizdir. Bunun için belirli bir kuvvetli yer hareketi etkisinde her bir periyoda karşılık gelen maksimum tepe değerlerinin; ivme, hız ve yer değiştirme için tepki spektrumları eğrileri çizilerek bulmak daha kolaydır. Ayrıca bu tepe değerlerinin maksimumu TSD sistemlerinin doğal periyodu ve sönümleme oranına bağlıdır (Housner & Jennings, 1982).

İvme, hız ve yer değiştirmenin maksimum değerleri için ivme tepkisi (S_a), hız tepkisi (S_v) ve yer değiştirme tepkisi (S_d) olarak ifade edilir. Dinamik etkilerin farklı

periyotlara sahip TSD sisteminde neden olduğu hareket genliklerin tek yer hareketi etkisinde oluşturulan bu spektrumlara davranış spektrumları denir (Yerlici & Luş, 2014).

$u_0(T_n, \xi) \equiv \max |u(t, T_n, \xi)| \equiv S_d = D$ en büyük görelî (rölatif) yer değıştirme değeri

$\hat{u}_0(T_n, \xi) \equiv \max |\hat{u}(t, T_n, \xi)| \equiv \omega_n S_v = V$ en büyük görelî (rölatif) hız değeri

$\hat{u}^i_0(T_n, \xi) \equiv \max |\hat{u}^i(t, T_n, \xi)| \equiv \omega_n^2 S_d = A$ en büyük toplam ivme değeri

$\omega_n = \frac{2\pi}{T_n}$ doğal açısal frekansıdır. Burada V psödo(sözde) hız spektrumu A

psödo(sözde) ivme spektrumudur. Bunları gerçek tepki spektrumlarından ayırmak için sözde olarak ifade edilir. V ve A hız ve ivmenin gerçek maksimum değeri olmasa da kuvvetli yer hareketinin maksimumlarıyla yaklaşık olarak aynı sonucu verirler. (Kramer, 2003)

3.2 Tasarım Spektrumu

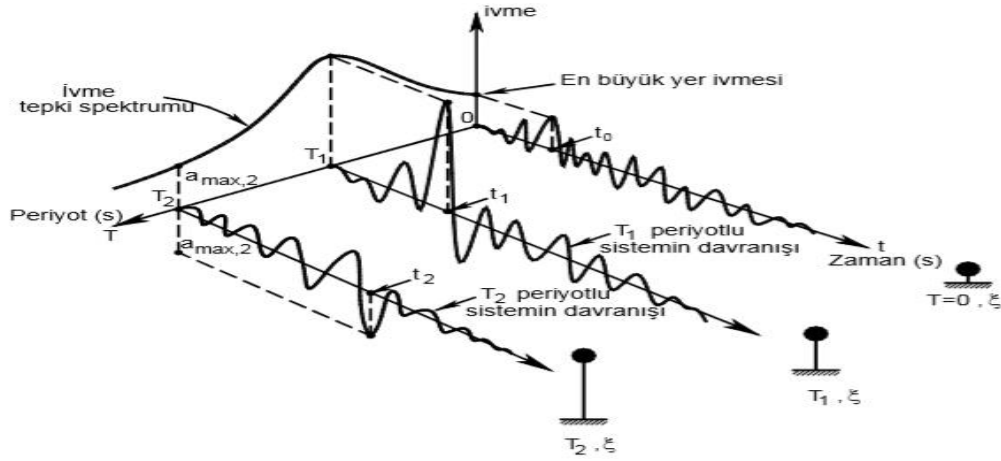
Yapıların depreme karşı tasarımından kullanılan tasarım Spektrumları daha önce kaydedilen kuvvetli yer hareketlerinden faydalanılarak hazırlanır. Bir yer hareketine bağılı olarak çizilen spektrumlar yani davranış spektrumları çok kırıklı parçalardan oluşmaktadır. TSD sistemin periyodundaki küçük bir değışikliğe karşılık birbirinden çok farklı tepki değeri ortaya çıkmaktadır Buna bağılı olarak, tek bir yer hareketine ait davranış spektrumları doğrudan tasarım için kullanılması güvenli değildir. Bu yüzden tasarım sadece o yer hareketine bağılı olarak çizilen spektrum için geçerli olur. Tasarımı yapılacak yapıların ve olası depremleri temsil etmek üzere yapı periyodundaki küçük değışimlerden spektrum eğrileri üzerinde küçük değışimlerin sebep olması istenir ve bunun için daha yumuşak veya kırıklı olmayan spektrum eğrileri kullanılır. Böylece geçmiş depremlere ait spektrumlardan faydalanılabilir ve bunlar istatistiksel olarak değerlendirilerek tasarım spektrumları çizilmiş olur (Uçar & Merter, 2012).

3.3 Deprem Tepki Spektrumlarının Zeminlerle İlişkisi ve Normalizasyonu

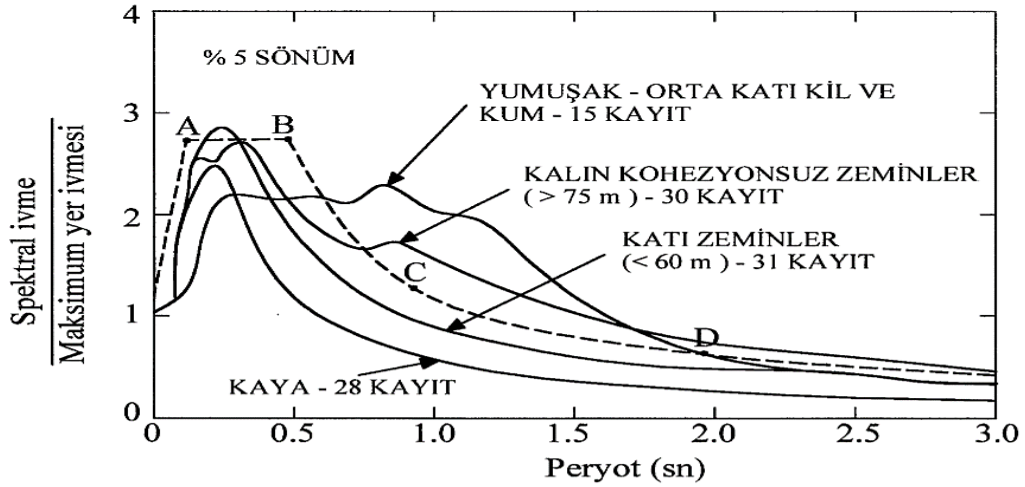
Kuvvetli yer hareketlerinin tepki spektrumları zemin koşullarından önemli derecede etkilenir. Farklı zemin koşullarına ilişkin spektrum eğrilerinin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi ve farklı yer hareketlerinin eğrilerinin değerlendirilerek tasarım

spektrumların oluşturulması için istatistiksel olarak normalizasyonu yapılmalıdır. Normalizasyon işlemi periyodun sıfır olduğu noktadaki tepki ivmesinin, pik yer ivmesine (PGA) oranlanmasına göre yapılmaktadır. Farklı periyotlara göre ivme spektrum eğrisi şekil 7’de gösterilmiştir.

Şekil 8’de gösterildiği gibi yapının sert zemin yerine yumuşak zemin üzerinde yapılması, genelde, yapıda oluşacak ivmelerin daha büyük değer olmasına neden olmaktadır. Belirli bir periyot değerinden sonra sert zeminde bulunan sistemde oluşan maksimum ivme değeri maksimum yer ivmesi ile karşılaştırıldığında yer hareketi titreşimi doğrultuları ile daha az titreşime girdiğini göstermektedir. Bu davranış yumuşak zeminlerde daha ileri periyot bölgesine ulaştığında görülmektedir (Seed & Idriss, 1982).



Şekil 7 TSD sistemlerinin titreşim periyotlarına göre grafiği

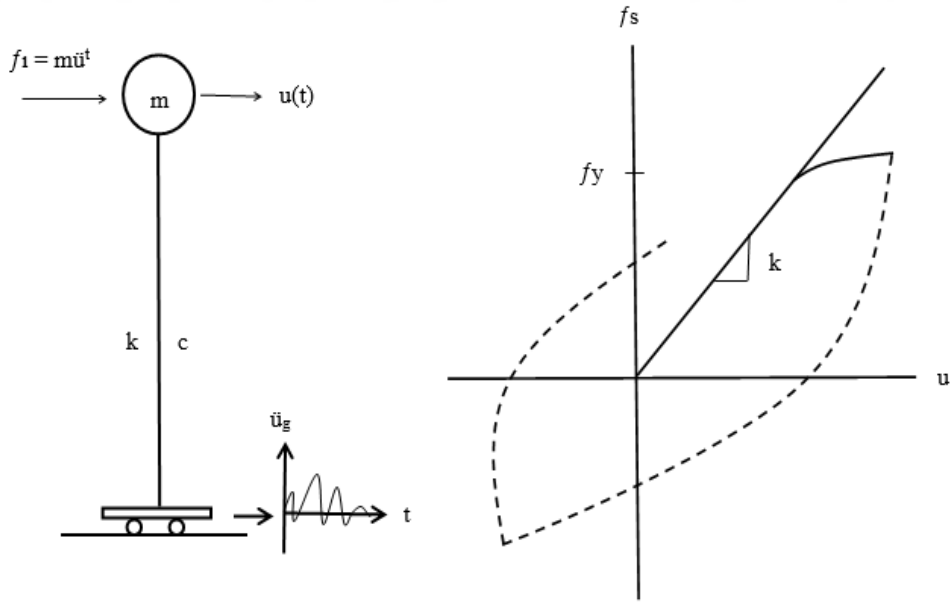


Şekil 8 İvme spektrumunun zeminlere göre değişimi ve normalizasyonu (Seed & Idriss, 1982)

BÖLÜM 4. ELASTİKÖTESİ SİSTEMLERİN DEPREM DAVRANIŞI

4.1 Elastik ötesi TSD Sistemleri

Şiddetli yer hareketleri etkisinde elastik davranış sergileyen yapıların yanal kuvvetleri çok büyüktür. Bu nedenle böyle yüksek yanal kuvvetler için yapıların tasarlanması, yapı elemanlarının boyutları çok büyük ölçülere çıkmasına neden olmaktadır. Yapının hizmet ömrü boyunca küçük bir olasılıkla meydana gelecek kuvvetli bir depremden dolayı ekonomik değildir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında tercih edilen yaklaşım elastik dayanım talebinden daha düşük bir kuvveti f_y 'yi sağlamaktır. Ancak sistemin kuvvetli yer hareketi etkisinde daha düşük bir yanal kuvvet alabilmesi için Elastik ötesi deformasyon yapması gerekir. Deformasyona uğrayan veya yanal yük dirençli f_s sistemlerin akma yer değiştirme kapasitesi aşıldığında rijitlik ile sönüm özelliklerin değişkenleşmesiyle doğrusal olmaktan uzaklaşır. Nedeni ise yapı malzeme ve elemanlarının akmaya ve çatlama başlamasıdır. Şekil 9'da olduğu gibi rijitliğin doğrusal olmayan çevrimsel davranışı gösterilmiştir (Sucuoğlu & Akkar, 2014).



Şekil 9 Elastik ötesi TSD sistemlerin kuvvet-deformasyon ile yer değiştirme ilişkisi

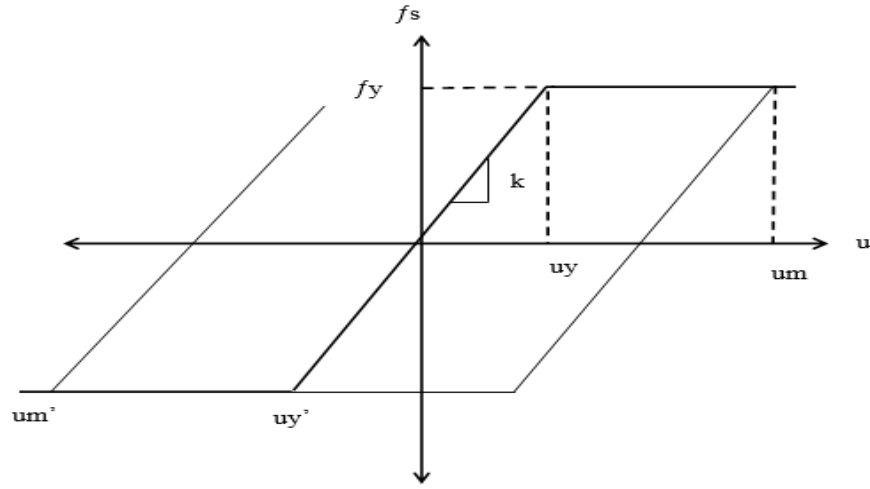
4.2 Çevrimsel Davranış Modelleri

Elastik ötesi davranış spektrumu sadece, kuvvetli yer hareketinin özelliklerine bağlı olmayıp, aynı zamanda, yapı modellerinin doğrusal olmayan çevrimsel davranış modeli özelliklerine de bağlıdır (Elnashai & Sarno, 2015).

Bu Elastik ötesi çevrimsel davranışlar modelleri, yapı sistemi ile onları oluşturan malzeme özellikleri ve sönüm mekanizmasını iyi bir şekilde temsil etmelidir. Doğrusal davranmayan sistemler için daha önce verilen dinamik sayısal hesaplar kullanılır. Bu modelleri ifade etmek amacıyla çeşitli idealleştirmeler yapılmıştır. Elastikötesi TSD sistemlerin kuvvet (deformasyon) ile yer değiştirme ilişkisi açısından, uygulamada kullanılan çeşitli çevrimsel davranış modelleri mevcuttur (Yerlici & Luş, 2014).

4.2.1 Elastoplastik Model

Yük ile yer değiştirme eğrisi çatlama kesit davranışını gösteren elastik bir bölümlerle ifade edilir. Kesitin akması sonrasında pekleşme göz önünde bulundurulmaz. Sistemin akmaya başlamasıyla yükün boşaltılması çatlama kesitin rijitliği tarafından gerçekleştirilir (Şekil10). Yükün boşaltılması çatlama kesitin rijitliği tarafından gerçekleştirilmesi betonarme birleşim noktalarının tekrarlı yükleme deneyinin sonuçları ile tezatlık oluşturur. Deneysel çalışmaların sonuçları ile uyuşmayan bir davranış modeli olmasına rağmen tersinir yüklemelerde sabit başlangıç rijitliği kullanılır. Modelde, küçük genlikli yer değiştirmeler sırasında herhangi çevrimsel enerji yutumu sağlamamaktadır. Bu model üç adet kuralla tanımlanan basit bir modeldir (yükleme, yükün boşaltılması ve yüklemenin diğer yönde yapılması durumlarında rijitlik tanımlayarak). Elastoplastik modelin oluşturduğu çevrimsel davranış ile betonarme elemanlarında gözlenen davranışları arasındaki benzerlik azdır. Bu model basitliğinden dolayı önceleri uygulama da sıkça kullanılmış ancak bu modelin betonarme yapılar için kullanımını uygun olmadığı belirlenmiştir (Saiidi, 1982).

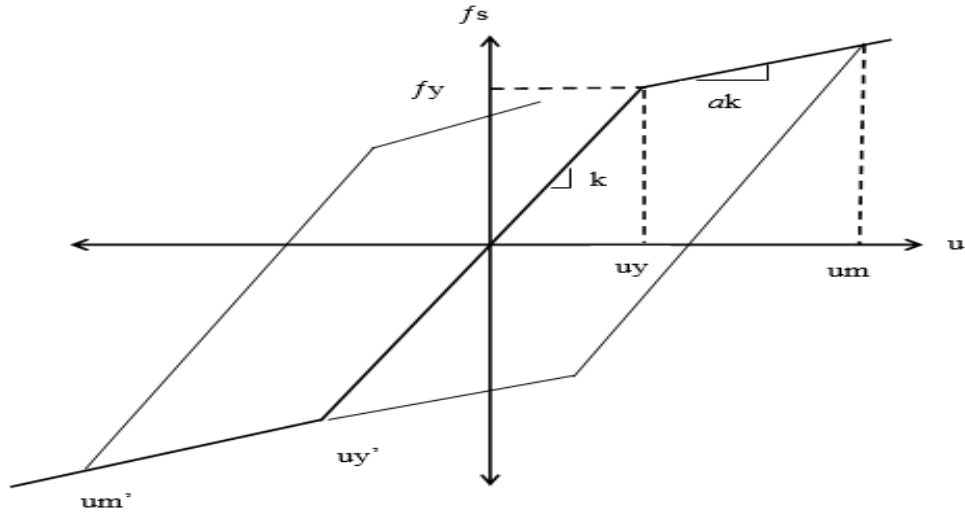


Şekil 10 Elastik mükemmel plastik model

4.2.2 Bilinear Model

Bu model çelik için pekleşme etkisini içermesi haricinde deprem mühendisliğinde kullanılan temel çevrimsel modellerden biridir ve elastoplastik modellerle aynıdır (Şekil 11). Bu modelde iki rijitlik bulunmaktadır genel olarak ikinci rijitliğin sıfır olmasıyla bilinear modelin özel hali olan elastoplastik model olmaktadır. Bu modelde herhangi bir şekilde rijitlikten kayıp olmadığı belirtilmektedir. Buna rağmen yön değiştirme yüklemesi ve akma sonrası koldan yükün boşaltılması sırasında rijitliğin azalım davranışında modelin eksiklikleri olduğu söylenmektedir (Saiidi, 1982).

Bu çevrimsel davranış betonarme modeli üç kuralla açıklanmıştır (başlangıç rijitliği, akma sonrası ikinci rijitlik ve akma yer değiştirme). Bu model ana iskelet eğrisi akma ve yükün boşaltılması sonrası rijitliğin bir tekrar yükleme eğrisidir. Bu karakteristik, çatlakların kapanmasını göz önünde bulundurmaz, bu nedenle aşırı enerji yutumu ve gerçekçi olmayan kalıcı deformasyon yer değiştirmeleri ile sonuçlanır (Lestuzzi & Badoux, 2003).

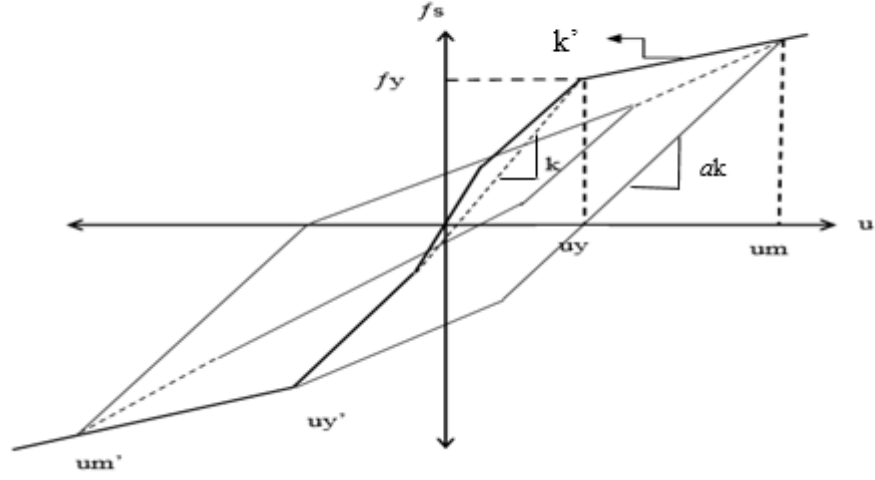


Şekil 11 Çift doğrusu (Bilinear) model

4.2.3 Takeda Modeli

Takeda çevrimsel davranış modeli birçok deneysel çalışmayla geliştirildiğinden çok özel bir modeldir. Belirli olarak eğilme davranışını ifade eder. Ayrıca betonarme birleşim bölgelerinin davranışını tanımlamada ve betonarme yapıların yön değiştiren tekrarlı yükler altında davranışının belirlenmesinde büyük kabul görmüş olan bu model, sabit aksenal kuvvete maruz betonarme elemanların davranışını, yükleme çevrimlerinde kararlılığın kaybetmediğinden, yer değiştirme seviyelerini iyi bir şekilde gösterir (İlki, 2000).

Takeda çevrimsel davranış modeli çatlamamış, çatlamış ve akma yer değiştirme sonrası adımları gösteren üç doğrusu iskelet eğrisi modelidir (Şekil 12). Bu nedenle iki doğrusu modellerde göz önüne alınamayan çatlama sonrası görülen rijitlik değişimini de göz önünde bulunduran bir modeldir (Pakyürek, 2006).



Şekil 12 Takeda modeli

$$a = \left(\frac{u_y}{u_m}\right)^{0.5} \quad (4.1)$$

k' : Akma sonrası koldan yük boşaltma kısmına olan rijitliği

k : Elemanın bir yönde akmaya başladığı nokta ile diğer yönde çatlamaya başladığı noktaları birleştiren doğrunun eğimi

u_m : Yükleme yönündeki maksimum yer değiştirme (dönme, çökme veya eğrilik)

u_y : Akma yer değiştirme

4.2.4 Q Model

Q çevrimsel davranış modeli daha önce anlatılan Takeda modelinin daha sadeleştirilmiş halidir. Bu modelde kullanılan iskelet eğrisi, akma sonrası kol ile yükselen çift doğrulu bir eğridir (Şekil 13). Rijitlik azalımı yükün boşaltılması ve tersinir yükleme kısımlarında oluşur. İskelet eğrisinde akma yer değiştirme sonrası doğrusal olmayan kısımdaki yük boşaltma rijitliği, k_Q olarak ifade edilir (Saiidi & Sozen, 1979).

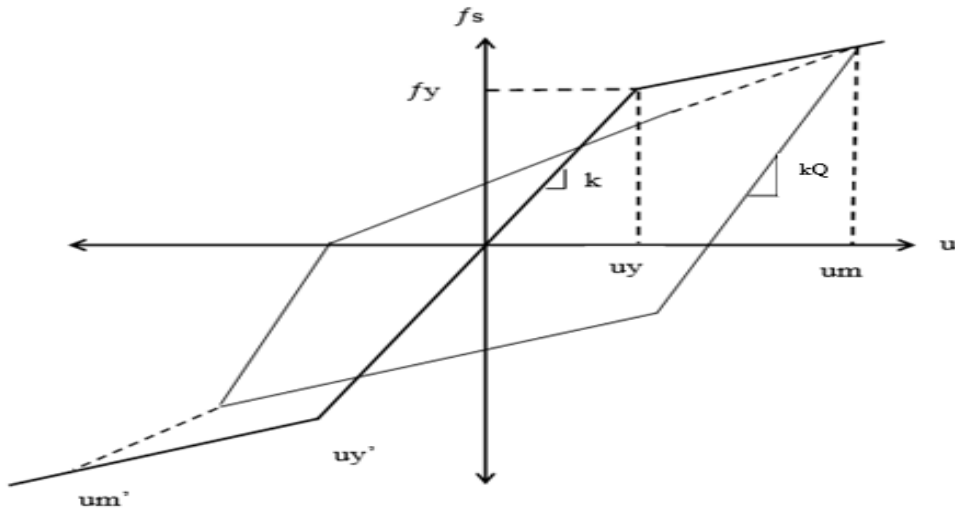
$$k_Q = k \left(\frac{u_y}{u_m} \right)^{0.5} \quad (4.2)$$

k: Elastik bölümünün rijitliği

um: Maksimum mutlak yer değiştirmesi

uy: Akma yer değiştirmesi

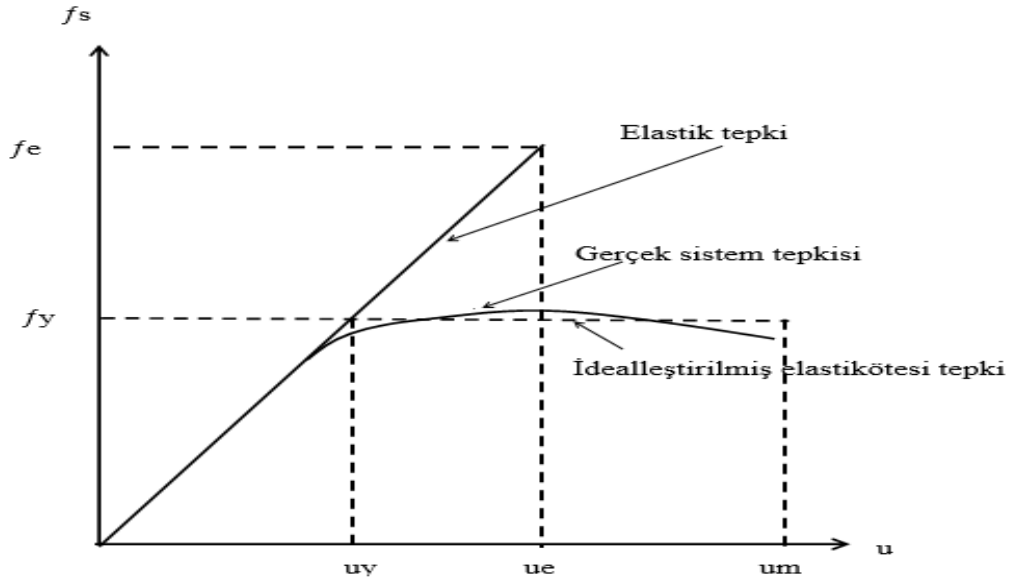
Bu modeli daha kullanışlı hale getirmek için her iki yöndeki uç noktaları her biri için en büyük uç noktası olmaktadır. Tersinir yükleme aşamasındaki rijitlik, en büyük uç noktası ile yer değiştirme eksenini ve son olarak yük boşaltma kolunun kesiştiği noktayı birleştiren eğrinin eğimidir. Q modeli, kesit en az bir yönde akmışsa düşük genlikli yer değiştirmeler sırasındaki çevrimsel enerji saçılımını hesabını dikkate almaktadır (Pakyürek, 2006).



Şekil 13 Q modeli

4.3 Süneklik

Kuvvetli yer hareketi etkisi altında olan sistemlerin taşıma gücünden bir azalma olmadan, taşıyıcı sistemdeki elemanın elastik olmayan şekil değiştirme, taşıyıcı sistemin ise Elastik ötesi deformasyon yer değiştirme yapabilme özelliğidir. Enerji yutabilme kapasitesidir. (Celep, 2017)



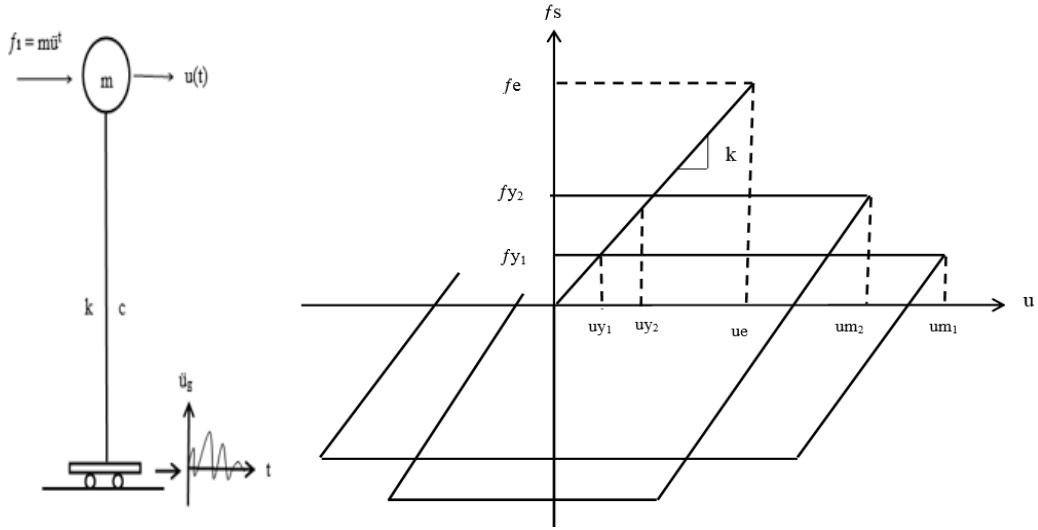
Şekil 14 Elastoplastik kuvvet yer değiştirme ilişkisi

Burada f_y idealleştirilmiş elastoplastik sistemin akma dayanımı olup, başlangıçtaki kuvvet f_y 'den küçük kaldığı sürece k rijitliği doğrusal elastik davranır. Sistem f_y Akma kuvveti değerine ulaştığında sistem akmaya başlar ve Elastik ötesi davranış sergiler. f_y değerinden dolayı oluşan yer değiştirme u_y akma yer değiştirmedir.

$$f_y = k u_y \quad (4.3)$$

Maksimum mutlak yer değiştirme u_m ile f_y değerinden dolayı oluşan u_y akma sınırındaki yer değiştirme oranına süneklik oranı denir. Elastik ötesi sistemlerde u_m maksimum yer değiştirmesi, akma yer değiştirme u_y değerini tanım gereği aşar. Bu nedenle μ süneklik oranı 1'den büyük olur.

$$\mu = \frac{u_m}{u_y} \quad (4.4)$$



Şekil 15 Aynı başlangıç rijitliğine sahip, farklı akma dayanımlarına bağlı yer değiştirme grafiği

Deprem yer hareketi etkisi altında olan aynı başlangıç rijitliği ve periyoduna sahip olan doğrusal olmayan sistemlerde akma dayanımı ile sınırlandırılmış bir direnç kuvveti geliştirilir ancak bu daha büyük yer değiştirmelere neden olur. Şekil 15’de görüldüğü gibi daha düşük akma dayanımı ile sınırlandırılan sistemler daha fazla deforme olurlar. Bu yüzden sistem en çok u_{m1} ondan sonra daha düşük maksimum yer değiştirme olan u_{m2} ile deforme olurken, en az deforme doğrusal elastik sistemlerde daha azami bir yer değiştirme olan u_e ile olduğu görülmektedir. u_{m1} , u_{m2} ve u_e burada deprem deplasman talebi, kuvvetler ise f_e elastik kuvvet talebi olup, f_{y1} ve f_{y2} de akma dayanımlarıdır. Süneklik oranı talebi ($\mu_e=1$) ise sistem doğrusal elastiktir (Sucuoğlu & Akkar, 2014).

$$f_{y1} < f_{y2} < f_e \quad \text{ise} \quad \mu_1 > \mu_2 > \mu_e \quad (4.5)$$

4.4 Elastik ötesi TSD Sistemlerin Süneklik ve Akma Dayanımı Spektrumu

$\mu_i = \frac{u_{mi}}{u_{yi}}$ her bir T_i periyoduna karşılık gelen bir spektrum çizilir bu spektruma süneklik spektrumu denilir. Farklı f_y akma dayanımları için bu işlem, sabit dayanım altında süneklik spektrumu elde edilir. f_y değerleri genellikle grafiksel olarak m_g oranı olarak ifade edilir. Daha sonra süneklik spektrumunu grafiksel interpolasyon ile akma dayanımı spektrumuna dönüştürebiliriz. Süneklik spektrumunda Sabit bir süneklik değerine karşılık gelen her bir f_y eğrisini farklı periyotlarda keser, farklı sabit süneklik

değerleri için bu işlem tekrarlandığında, akma dayanım spektrumu olarak adlandırılan bir sabit süneklik eğrileri takımı elde edilir (Sucuoğlu & Akkar, 2014).

4.5 Dayanım Azaltma Faktörü ($R\mu$)

$R\mu$ dayanım azaltma faktörü, elastik doğrusal sistemlerde deprem nedeniyle oluşacak elastik kuvvet talebi f_e 'nin en büyük değeri ile akma dayanımı f_y oranı veya elastik yer değiştirmenin tepe değeri u_e ile akma yer değiştirmesi u_y oranı olarak tanımlanır. $R\mu$ değeri doğrusal elastik sistemlerde 1'e eşittir. Çünkü dayanım azaltma faktörünün 1'den büyük olması deprem esnasında sistemin doğrusal elastik kalacak kadar güçlü olmadığı, sistemin bu durumda akmaya başladığını ve böylece Elastik ötesi davranış yapacağını gösterir (Sucuoğlu & Akkar, 2014).

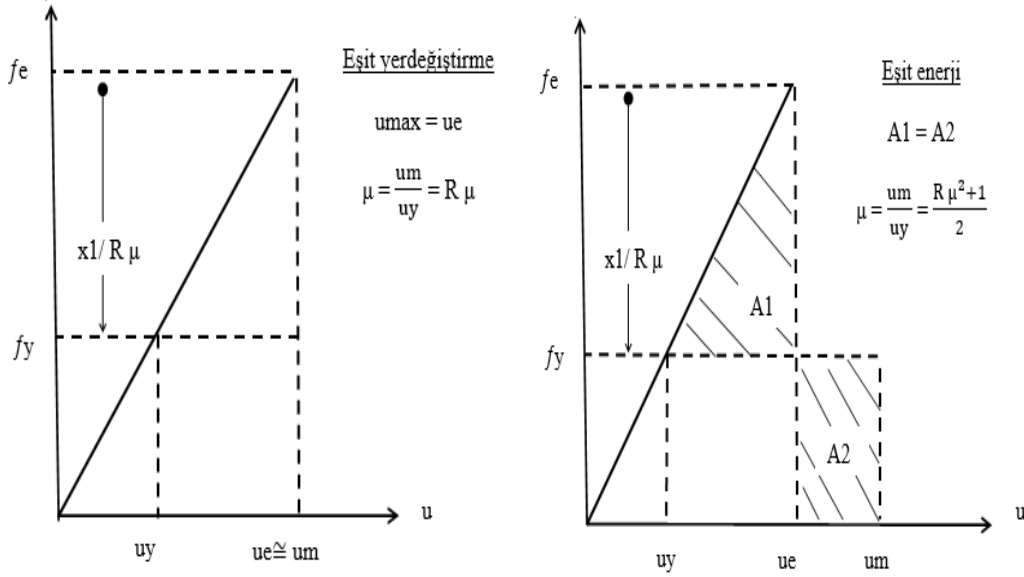
$$R\mu = \frac{f_e}{f_y} = \frac{u_e}{u_y} \quad (4.6)$$

4.6 Eşit Yer Değiştirme ve Eşit Enerji Kuralı

Rijitliği yüksek olan sistemlerin veya doğal titreşim periyodunun kısa bölgelerinde olan sistemlerde elastik ve elastoplastik kuvvetlerin eşit olduğu kabul edilir. Böylece dayanım azaltma faktörü ($R\mu=1$) değerine yakınlaşır. Bu da dayanımda azaltmaya izin verilmediğini gösterir. Ancak Elastik ötesi yer değiştirme elastik yer değiştirmeye göre sünekliği kadar büyük olur (Celep, 2017).

Orta uzunluğa sahip periyot bölgesinde elastik ve elastoplastik sistemin neredeyse aynı miktarda enerji tükettikleri kabul edilir. Burada hem elastik yer değiştirme hem de elastoplastik yer değiştirmenin enerjisinin eşit olduğu kabul edilir. Dayanım azalma faktörü $\mu = \frac{R\mu^2 + 1}{2}$ bu şekilde tanımlanır (Yerlici & Luş, 2014).

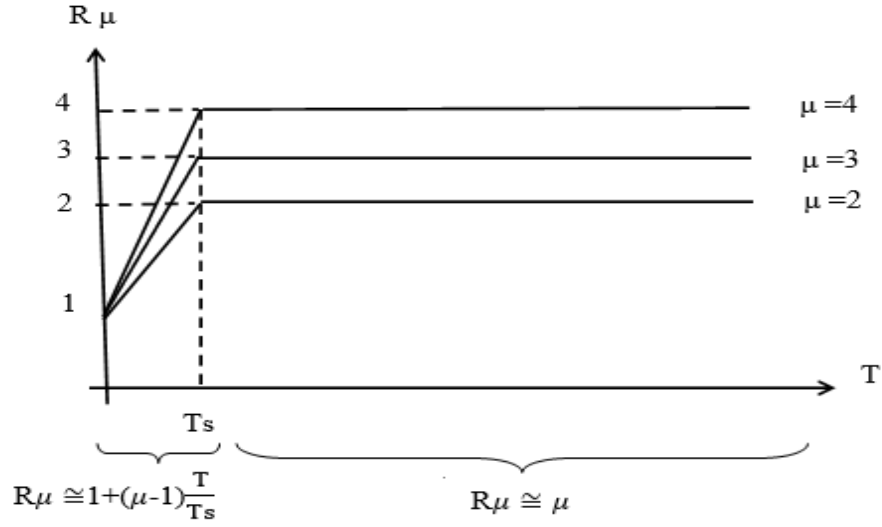
Uzun periyot bölgelerinde ise elastik ve elastoplastik davranışın maksimum yer değiştirme tepe değerlerinin eşit olduğu kabul edilir. Burada periyotların kısa, orta ve uzun olarak belirlenmesi zemin özellikleri ve sönüm etmenlerine bağlı olduğu bilinmelidir. Burada dayanım azaltma faktörü $R\mu = \mu$ eşit olur. Burada elastik ve elastoplastik sistemin yer değiştirmeleri eşit olsa da elastoplastik davranışın akma kuvveti elastik sistem kuvvetinin süneklik değeri kadar azaltılır (Celep, 2017).



Şekil 16 Eşit yer değiştirme ve eşit enerji

Eşit enerji kuralına göre verilen $\mu = \frac{R\mu^2 + 1}{2}$ bu eşitlik tasarımda güvenli olmadığı için kullanılmaz. Bu eşitlik yerine tasarım için güvenli olan $(R\mu \cong 1 + (\mu - 1)\frac{T}{T_s})$ bu ampirik eşitlik kullanılır (Paulay & Priestley, 1992). T sistemin doğal titreşim periyodu, Ts ise depremin hakim periyodu veya köşe periyodudur.

Belirli bir deprem yer hareketi etkisinde aynı başlangıç periyoduna sahip elastik ve Elastik ötesi TSD sisteminin, dayanım azaltma faktörü Rμ için katsayılar değiştirilerek çözümler ve karşı gelen yer değiştirme süneklik oranı değerleri μ belirlenir. Aynı işlem farklı periyot değerleri için de yinelenerek belirli bir yer değiştirme sünekliğine karşı dayanım azaltma faktörünün periyot ile olan değişimi elde edilir. R μ- μ -T olarak adlandırılan bu spektrumlar yardımıyla Elastik ötesi analiz prosedürünün karmaşık ve gerek tasarım amaçlı veya yapısal analizi amaçlı külfetli olduğundan depreme dayanıklı yapı tasarımında kullanılan yanal kuvvetin tepe değerini azaltmakta kullanılan bir dayanım azaltma faktörü (Rμ) kullanmak daha pratiktir. Tek dereceli serbestlik doğrusal olmayan sistemlerin belirli bir deprem yer hareketi etkisi altında maksimum yer değiştirme dinamik hesabına gerek kalmadan belirlenmiş olur (Uçar, 2018).



Şekil 17 $R\mu$ - μ - T idealize edilmiş tasarım spektrumu

$$R\mu = \frac{f_e}{f_y} = \frac{f_e/m}{f_y/m} = \frac{S_{ae}}{S_{ai}} \quad \text{ve} \quad R\mu = \frac{f_e}{f_y} = \frac{k_{ue}}{k_{uy}} = \frac{S_{de}}{S_{di}/\mu} \quad (4.7)$$

$$S_{ai} = \frac{S_{ae}}{R\mu} \quad \text{ve} \quad S_{di} = \frac{\mu}{R\mu} S_{de} \quad (4.8)$$

İdealize edilmiş $R\mu$ - μ - T tasarım spektrumuna göre, yukarıda verilen denklemlere göre elastik ivme spektrumu S_{ae} ve elastik yer değiştirme spektrumu S_{de} , süneklilik azaltma faktörü ve süneklilik oranına bağlı olarak denklem (4.7) ile elastik olmayan S_{ai} ivme spektrumu ve denklem (4.8) ile S_{di} elastik olmayan yer değiştirme spektrumu elde edilir.

Aşağıdaki eşitliklerin davranış spektrumları çizilebilir:

$$D_y = u_y \quad V_y = \omega n u_y \quad A_y = \omega n^2 u_y \quad (4.9)$$

D_y elastoplastik sistemdeki akma yer değiştirme u_y değeridir. Sabit bir süneklilik oranı için D_y ile T_n ilişkisi gösteren eğriye akma yer değiştirme davranış spektrumu denir. Aynı benzer ilişki V_y ve A_y eğrileri olarak, sözde hız ve ivme davranış spektrumları elde edilir (Chopra & Anıl, 2015).

Elastoplastik sistemin akma dayanımı,

$$f_y = k_{uy} = m(\omega n^2 u_y) = m A_y = \frac{A_y}{g} w \quad (4.10)$$

olarak tanımlanır; $w = mg$, sistemin ağırlığıdır.

yer değiştirmenin bulunması,

$$u_m = \mu u_y \quad (4.11)$$

$$u_m = \mu \left(\frac{T_n}{2\pi}\right)^2 A_y \quad (4.12)$$

Denklem (5.13) benzer şekilde elastik sistemin direnç kuvveti,

$$f_e = k u_e = k(\omega n^2 u_e) = m A = \frac{A}{g} w \quad (4.13)$$

olarak tanımlanır. Burada A, doğrusal elastik sistemin sözde ivme davranış spektrumudur.

4.7 Nassar ve Krawinkler

Nassar ve Krawinkler ABD yapılan istatıksel analizinden elde edilen dayanım azaltma faktörü için bir ilişki geliştirmişlerdir. Bu çalışmada alüvyon zemin ve kaya zeminde kaydedilmiş 15 yer hareketine karşı tek dereceli serbestlik Elastik ötesi sistemler üzerindeki taleplerini ve sistemlerin bu talebe karşı gösterdikleri tepkiler üzerinde çalışmışlardır. Bu çalışma da kullanılan yer hareketi kayıtları farklı zemin guruplarından toplanmıştır. Ancak saha koşullarının etkisi göz önünde bulundurulmamıştır. Bu çalışmada sönüm değeri %5 alınarak, yapının hakim periyodu, sistemin pekleşme oranı ve malzemenin Elastik ötesi davranışlarının dayanım azaltma faktörü üzerindeki etkisi incelenmiştir. İncelenen bu sonuç neticesinde araştırmacılar tarafından sistemin pekleşme oranının dayanım azaltma faktörü üzerine etkisinin önemsenmeyecek kadar az etkili olduğu sonucuna varmışlar (Elnashai & Sarno, 2015). Dayanım azaltma faktörünü hesaplamak için Pekleşme oranları için katsayılar verilmiştir.

Tablo 1 Dayanım azaltma faktörü için pekleşme oranına göre katsayılar

| pekleşme oranı | katsayılar | |
|----------------|------------|------|
| | a | b |
| a (%) | | |
| 0 | 1 | 0,42 |
| 2 | 1 | 0,37 |
| 10 | 0,8 | 0,29 |

$$R_{\mu} = [c(1 - \mu) + 1]^{1/c} \quad (4.14)$$

$$c(T,a) = \frac{1+T^a}{1+T^a} + \frac{b}{T} \quad (4.15)$$

4.8 Newmark ve Hall

Süneklik azaltma faktörü süneklik ve periyot tasarım spektrumu için uzun periyotlu esnek sistemlerde ve aynı başlangıç rijitliğine sahip elastik ve sünek sistemlerin nerdeyse aynı yer değiştirmeye ulaştığı görülmüş süneklik azaltma faktörü süneklik oranına eşit olarak kabul edilebilir daha önce bahsedilen eşit yer değiştirme kuralıdır. Orta periyot bölgelerinde elastik ve elastoplastik sistem aynı miktarda enerji tüketir. Kısa periyotlu rijit sistemlerde sünek sistemin yer değiştirme elastik sistemin yer değiştirmenden sünekliği kadar büyük olur ancak elastik ve elastoplastik sistem aynı kuvvetle zorlanırlar ve bu da eşit kuvvet yaklaşımı olarak benimsenir (Elnashai & Sarno, 2015).

Dayanım azaltma faktörü için Newmark ve Hall tarafından zemin koşullarına bakılmaksızın elastoplastik sistemler için önerilen ilişkiler aşağıda verilmiştir.

$$R_{\mu} = 1 \quad T < 0.03s \quad (4.16)$$

$$R_{\mu} = \sqrt{2\mu - 1} \quad 0.12s < T < 0.5s \quad (4.17)$$

$$R_{\mu} = \mu \quad T > 1s \quad (4.18)$$

Ara periyotlar için de doğrusal interpolasyon yapılması önerilmektedir.

BÖLÜM 5. TSD SİSTEMLERİNİN SAYISAL ÇÖZÜM YÖNTEMLERİ

Elastik ve Elastik ötesi sistemler için, sistemin doğrusal davranmadığı durumlarda hareket denklemleri için analitik çözümler bulmak genelde zordur. Bu problemlerin çözümü için, sayısal integrasyon ile çözümler üretmekte kullanılan zaman adımlama yöntemleriyle bulunur. Bir TSD sisteminin deprem yer hareketi etkisi altında sistemin kütlesi, rijitliği ve sönüm özellikleri bilindiği zaman dinamik hareket sayısal çözüm yöntemleri ile bulunur. Bu sayısal yöntemler küçük zaman adımlarıyla tekrarlanarak istenilen zaman aralığındaki davranışı bulunur (Chopra & Anıl, 2015).

5.1 Zamanı Adımlama Yöntemleri

Başlangıç koşulları aşağıdaki gibi olduğu varsayılarak:

$$u_0 = u(0) \quad \hat{u}_0 = \hat{u}(0)$$

$t=t_i$ ve $t=t_{i+1}=t_i + \Delta t$ durumunda Δt çok küçük bir zaman değerinde

$$m\ddot{u}_i + c\dot{u}_i + ku_i = P_i \quad \text{veya} \quad -m\ddot{u}_i \tag{5.1}$$

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + ku_{i+1} = P_{i+1} \tag{5.2}$$

Bu iki denklemi birbirinden çıkarırsak küçük zaman aralığındaki,

$$m\Delta\ddot{u}_i + c\Delta\dot{u}_i + k\Delta u_i = \Delta P_i \tag{5.3}$$

Doğrusal davranmayan sistemin sayısal hareket denklemi

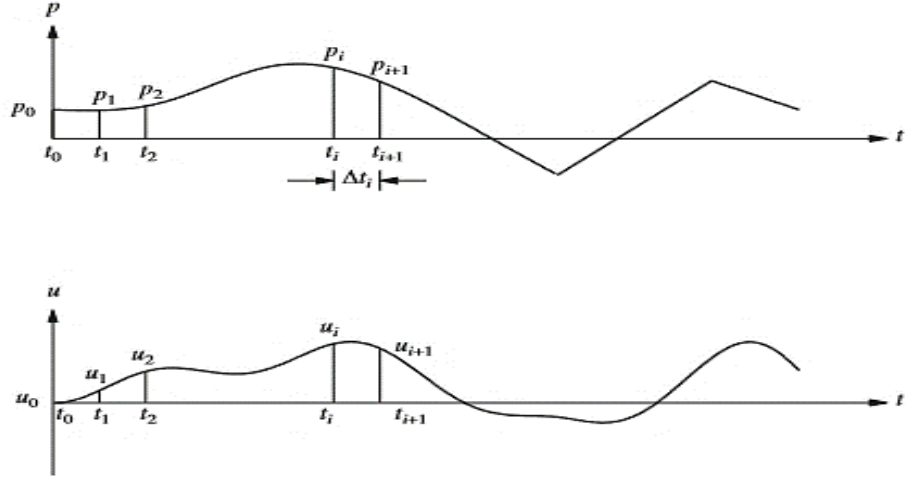
$$m\ddot{u}_i + c\dot{u}_i + fs_i = P_i \quad \text{veya} \quad -m\ddot{u}_i \tag{5.4}$$

$$m\ddot{u}_{i+1} + c\dot{u}_{i+1} + fs_{i+1} = P_{i+1} \tag{5.5}$$

Bu iki denklemi birbirinden çıkarırsak küçük zaman aralığındaki,

$$m\Delta\ddot{u}_i + c\Delta\dot{u}_i + \Delta fs_i = \Delta P_i \tag{5.6}$$

değişimi elde edilir. Elastik ötesi sistemlerde $fs(u)$ direnç kuvveti hem yer değiştirme geçmişi hem de hızın i anındaki durumuna bağlı olduğu söylenebilir.



Şekil 18 Zaman adımlama yöntemleri için kullanılan gösterim

5.2 Newmark Yöntemi

Newmark N.M. çalışmasında yapıların düzensizliğine rağmen tüm kuvvetlerin oluşturduğu yer değiştirmeleri hesaplamak için elastik ve Elastik ötesi yapı davranışlarının hem doğrusal hem de ortalama ivme yöntemleri için, ivmenin integrasyona dayanan zamana bağlı adım adım çözüm yöntemi önermiştir. (Yerlici & Luş, 2014)

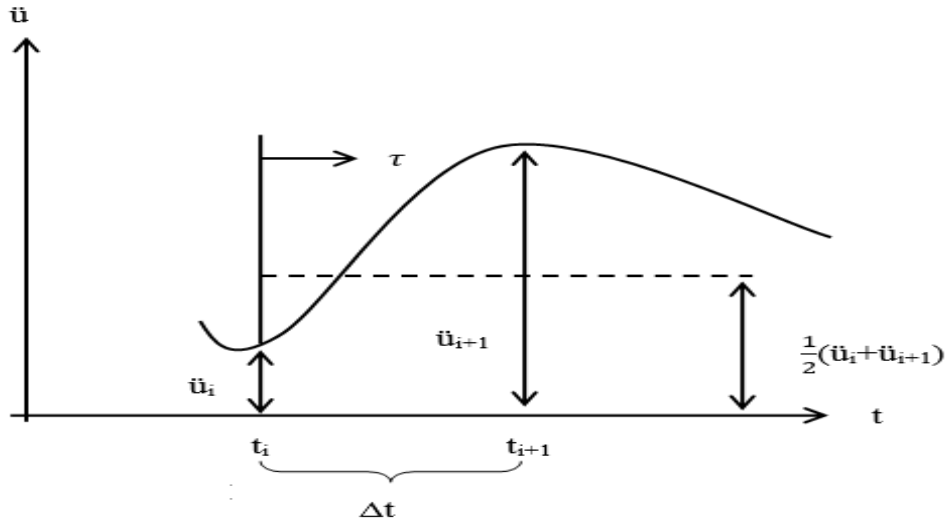
$$\hat{u}_{i+1} = \hat{u}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{u}_i + (\gamma \Delta t)\ddot{u}_{i+1} \quad (5.7a)$$

$$u_{i+1} = u_i + (\Delta t)\hat{u}_i + [(0,5 - \beta)(\Delta t^2)]\ddot{u}_i + [\beta(\Delta t^2)]\ddot{u}_{i+1} \quad (5.7b)$$

β ve γ katsayıları ivmenin bir adım içindeki değişimini tanımlayarak bu yöntemin doğruluğunu kararlılığını belirler. $\gamma = \frac{1}{2}$ ve $\frac{1}{6} \leq \beta \leq \frac{1}{4}$ için doğruluk dahil iyi sonuç verir. Bu yöntemde doğrusal sistemlerin hesabında Newmark'ın denklem (5.7) ve (5.4) de yaklaşımı değiştirilip döngü hesabına gerek kalmadan çözüm üretilir. Ancak doğrusal olmayan sistemlerde tepki kuvveti yer değiştirmeye orantılı ve sönüm kuvveti hızla orantılı olmadığı için döngülü yaklaşım kullanılmalıdır (Chopra & Anıl, 2015).

5.2.1 Newmark Ortalama İvme Yöntemi

Çok küçük zaman aralığında, t_i ile t_{i+1} noktaları arasında ivmenin bu aralıkta sabit olduğu ve bu i başlangıç ile $i+1$ sonundaki noktalar arasında ivmenin bu iki nokta arasında değerlerin ortalamasına eşit olduğu kabul edilir.



Şekil 19 Δt zaman aralığında gerçek ve tahmini ivme

$$\ddot{u}(\tau) = \frac{1}{2} (\ddot{u}_i + \ddot{u}_{i+1}) ; \quad 0 < \tau < \Delta t \quad (5.9)$$

Denklem (5.9) göre aşağıda sabit ortalama ivme kabulüne göre integralleri alınarak Δt zaman değişiminden hız ve yer değiştirme elde edilir. Burada bu kabullere dayanarak ivme, hız ve yer değiştirme denklemleri elde edilir. Başlangıç koşulu olarak $\hat{u}(t=0)$ ve $u(t=0)$ veya bir önceki işlemin sonuçları olarak belirlidir. Bu koşulu dayanarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

Artımlı ivme için;

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{4}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{4}{\Delta t} \hat{u}_i - 2\ddot{u}_i \quad (5.10)$$

Artımlı hız için;

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{2}{\Delta t} \Delta u_i - 2\hat{u}_i \quad (5.11)$$

Artımlı yer değiştirme için;

$$\hat{K}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}_i \quad (5.12)$$

Burada \hat{K} dinamik rijitlik aşağıdaki denklemlerle elde edilir;

$$\hat{K} = k + \frac{2c}{\Delta t} + \frac{4m}{\Delta t^2} \quad (5.13)$$

$\Delta \hat{P}_i$ ise efektif dinamik yük artımıdır. Denklemi aşağıda verilmiştir;

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left[\frac{4m}{\Delta t} + 2c \right] \hat{u}_i + 2m\ddot{u}_i \quad (5.14)$$

$$\Delta P_i = -m(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (5.15)$$

Burada bir sonraki adım için

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$$

t değerine ulaşana kadar bir sonraki adım için böylece tekrarlanır.

Bu yöntem her koşulda dengeli çözümler üretir. Δt adım aralığı ne kadar büyük olursa olsun, bir adımda ortaya çıkan hata bir sonra gelen adımla büyümmez. Bu özelliği nedeniyle genelde doğrusal ivme yöntemi yerine kullanılır. Bu yöntemde adım aralığının seçiminde sadece dış etkinin uygun şekilde belirlenmesi yeterli olur. Bu yöntemde $\frac{\Delta t}{T_n} < 10$ için yeteri kadar doğru sonuç elde edilir. T_n doğal titreşim periyodudur (Celep, 2014).

Elastik ötesi sistemlerde tepki kuvveti yer değiştirmeye orantılı değil ve sönüm kuvveti hızla orantılı değil bunun için sayısal hesaba dayanan ivmenin integrasyon ile zamana bağlı adım adım çözüm yöntemi kullanılır. Sabit ortalama ivme yöntemi denklemlerinde ku yerine doğrusal olmayan direnç kuvveti $f_s(u)$ konularak işlemler aynı şekilde devam ettirilir. Direnç kuvveti yer değiştirmeye bağlı örtük bir $f_s = f_s(u)$ fonksiyonudur (Chopra & Anıl, 2015).

Artımlı ivme için;

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{4}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{4}{\Delta t} \hat{u}_i - 2\ddot{u}_i \quad (5.16)$$

Artımlı hız için;

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{2}{\Delta t} \Delta u_i - 2\hat{u}_i \quad (5.17)$$

Artımlı yer değiştirme için;

$$\hat{K}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}_i \quad (5.18)$$

Burada \hat{K} dinamik rijitlik aşağıdaki denklemlerle elde edilir;

$$\hat{K} = k + \frac{2c}{\Delta t} + \frac{4m}{\Delta t^2} \quad (5.19)$$

$\Delta \hat{p}_i$ ise efektif dinamik yük artımıdır. Denklemi aşağıda verilmiştir;

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left[\frac{4m}{\Delta t} + 2c \right] \hat{u}_i + 2m \ddot{u}_i \quad (5.20)$$

$$\Delta P_i = -m(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (5.21)$$

Artımlı kuvvet için aşağıdaki;

$$\Delta f_{s_i} = k \Delta u \quad \text{veya} \quad \Delta f_{s_i} = -m(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) - m \Delta \ddot{u}_i - c \Delta \dot{u}_i \quad (5.22)$$

$$f_{s_{i+1}} = f_{s_i} + \Delta f_{s_i} \quad (5.23)$$

denklemi elde edilir.

Burada bir sonraki adım için

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

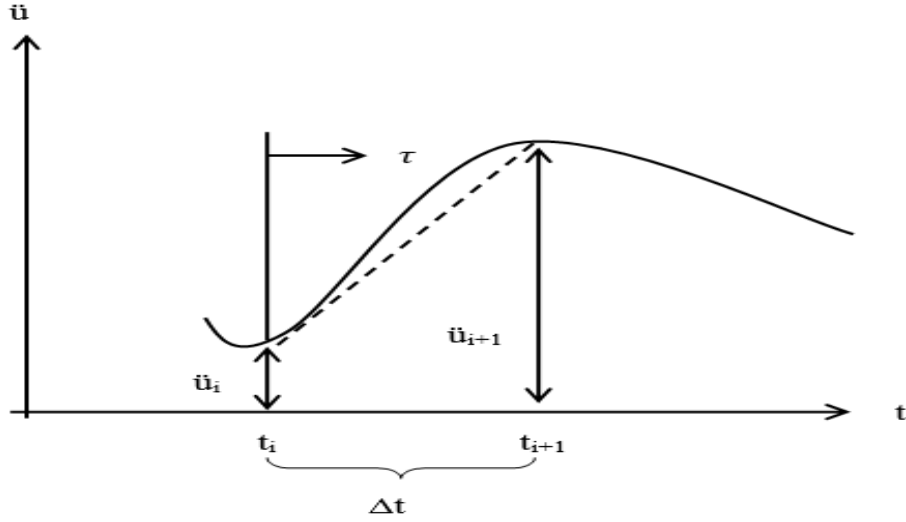
$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$$

t değerine ulaşana kadar bir sonraki adım için böylece tekrarlanır.

5.2.2 Newmark Doğrusal İvme Yöntemi

Çok küçük zaman aralığında, t_i ile t_{i+1} noktaları arasında ivmenin bu aralıkta sabit olduğu ve bu i başlangıç ile $i+1$ sonundaki noktalar arasında ivmenin bu iki nokta arasında değerlerin ortalamasına eşit olduğu yerine doğrusal olarak değiştiği kabulüne dayanır.



Şekil 20 Δt zaman aralığında gerçek ve tahmini ivme

$0 < \tau < \Delta t$ bu aralığa göre aşağıda doğrusal ivme kabulüne göre integralleri alınarak Δt zaman değişiminden hız ve yer değiştirme elde edilir.

Burada bu kabullere dayanarak ivme, hız ve yer değiştirme denklemleri elde edilir. Başlangıç koşulu olarak $\hat{u}(t=0)$ ve $u(t=0)$ veya bir önceki işlemin sonuçları olarak belirlidir. Bu koşulu dayanarak aşağıdaki denklemler elde edilir.

Artımlı ivme için;

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{6}{\Delta t} \hat{u}_i - 3\ddot{u}_i \quad (5.24)$$

Artımlı hız için;

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta u_i - 3\hat{u}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}_i \quad (5.25)$$

Artımlı yer değiştirme için;

$$\hat{K}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}_i \quad (5.26)$$

Burada \hat{K} dinamik rijitlik aşağıdaki denklemlerle elde edilir;

$$\hat{K} = k + \frac{3c}{\Delta t} + \frac{6m}{\Delta t^2} \quad (5.27)$$

$\Delta \hat{P}_i$ ise efektif dinamik yük artımıdır. Denklemi aşağıda verilmiştir;

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left[\frac{6m}{\Delta t} + 3c \right] \hat{u}_i + \left[3m + c \frac{\Delta t}{2} \right] \ddot{u}_i \quad (5.28)$$

$$\Delta P_i = -m(\ddot{u}_{g_{i+1}} - \ddot{u}_{g_i}) \quad (5.29)$$

Burada bir sonraki adım için

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$$

t değerine ulaşana kadar bir sonraki adım için böylece tekrarlanır.

Doğrusal ivme yöntemi, sabit ivme yöntemine göre sayısal yaklaşımı daha iyi sonuç verir ancak ortalama ivme yöntemi doğrusal ortalama yöntemine göre her koşulda daha dengelidir. Dengeli sayısal sonuçların elde edilmesi için zaman adımın $\Delta t \leq \sqrt{3T}/\pi = 0.551T$ bu değerden küçük olması gerekir. Bu yöntemde adım aralığının seçiminde dış etken uygun şekilde belirlenmeli ve dikkat edilmelidir. Bu yöntemde $\frac{\Delta t}{T_n} < 10$ için yeteri kadar doğru sonuç elde edilir. T_n doğal titreşim periyodudur (Celep, 2014).

Elastik ötesi sistemlerde tepki kuvveti yer değiştirmeye orantılı değil ve sönüm kuvveti hızla orantılı değil bunun için sayısal hesaba dayanan ivmenin integrasyon ile zamana bağlı adım adım çözüm yöntemi kullanılır. Doğrusal ortalama ivme yöntemi denklemlerinde k_u yerine doğrusal olmayan direnç kuvveti $f_s(u)$ konularak işlemler aynı şekilde devam ettirilir. Direnç kuvveti yer değiştirmeye bağlı örtük bir $f_s = f_s(u)$ fonksiyonudur (Chopra & Anıl, 2015).

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{6}{\Delta t} \hat{u}_i - 3\ddot{u}_i \quad (5.30)$$

Artımlı hız için;

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta u_i - 3\hat{u}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}_i \quad (5.31)$$

Artımlı yer değiştirme için;

$$\hat{k}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}_i \quad (5.32)$$

Burada \hat{k} dinamik rijitlik aşağıdaki denklemle elde edilir;

$$\hat{k} = k + \frac{3c}{\Delta t} + \frac{6m}{\Delta t^2} \quad (5.33)$$

$\Delta \hat{p}_i$ ise efektif dinamik yük artımıdır. Denklemi aşağıda verilmiştir;

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left[\frac{6m}{\Delta t} + 3c \right] \hat{u}_i + \left[3m + c \frac{\Delta t}{2} \right] \ddot{u}_i \quad (5.34)$$

$$\Delta P_i = -m(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) \quad (5.35)$$

$$\Delta f_{s_i} = k \Delta u \quad \text{veya} \quad \Delta f_{s_i} = -m(\ddot{u}_{i+1} - \ddot{u}_i) - m \Delta \ddot{u}_i - c \Delta \dot{u}_i \quad (5.36)$$

$$f_{s_{i+1}} = f_{s_i} + \Delta f_{s_i} \quad (5.37)$$

Burada bir sonraki adım için;

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

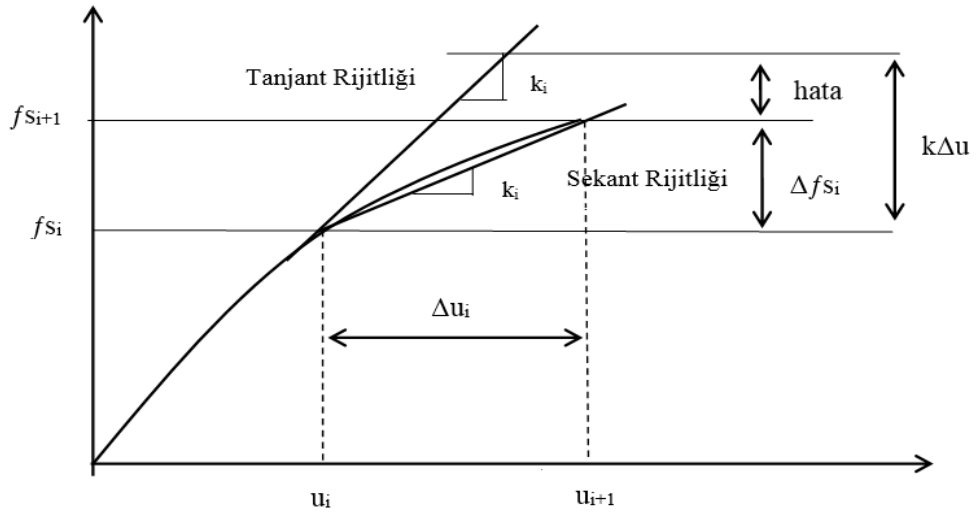
$$\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$$

t değerine ulaşana kadar bir sonraki adım için böylece tekrarlanır.

Elastik ötesi ortalama ivme ve doğrusal ivme yöntemleri için $\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$ yerine,

$$\ddot{u}_{i+1} = [P_{i+1} - c \hat{u}_{i+1} - f_{s(i+1)}] \quad (5.38)$$

Bu denklem tercih edilmelidir. Elastik ötesi sistemlerde son denklemden elde edilen \ddot{u}_{i+1} değeri ile $\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$ denklemden elde edilen değerler genellikle eşit değildirler. Bu yöntemlerde çok küçük Δt değeri seçmek gerekir. Çünkü \hat{u} nün işaret değiştirdiği ve Elastik ötesi sistemlerde f_s -u eğrisinin keskin bir şekilde yön değiştirdiğinde rijitlikte değişime neden olduğundan bu noktalarda Δt aralığını küçültülerek ayrıca araştırılması gerekir. Dikkat edilmediği takdirde f_s -u eğrisinin dışına çıkılmasına neden olur (Uzsoy, 2006).



Şekil 21 Tanjant rijitliğinin kullanılması

$$k_{\text{sekant}} \cong k_{\text{tanjant}} \quad (5.39)$$

$$\Delta f_{Si} = k_{\text{tan}} \Delta u_i \quad (5.40)$$

Elastik ötesi sistemlerde tepki kuvveti yer değiştirmeye orantılı olmadığı ve sönüm kuvveti de hızla orantılı değildir. Şekil 21’de gözlemlendiği gibi tepki kuvveti etkisinde rijitlikte sabit kalmamaktadır bu nedenle tanjant rijitliğinin kullanılması hatadır. Çünkü tanjant rijitliğinin yerine sekant rijitliği kullanılmalıdır. Ancak bizim aradığımız yeni yani bir sonraki yer değiştirme değeri ($i+1$ zaman anı) için sekant rijitliği bilinmediği için tanjant rijitliğini kullanmak zorundayız. Bu yüzden rijitliğin Δt artışı sırasında kararlı kaldığı varsayılarak ve genel olarak bu k katsayısı zamanın sabit artışında sabit kalmadığından denklem (5.39) göre yaklaşık değer alınır. Yeteri kadar küçük zaman aralığında sekant rijitliği yerine tanjant rijitliği kullanımında kaynaklanan hata çok büyük değildir. Bu hatayı azaltmakta kullanılan döngülü yaklaşımlar kullanılmalıdır. (Paz & Kim, 2019).

BÖLÜM 6. SAYISAL UYGULAMALAR

6.1 Analizde Kullanılan Yer Hareketleri

Matlab programı ile filtrelenmemiş deprem büyüklüğü $m_w \geq 5$ için 22 adet deprem kaydının her iki yatay bileşeni (Doğu-Batı ve Kuzey-Güney) AFAD sitesinden alınarak 0.1 ile 25 Hz arasında filtrelenmiştir. Daha sonra deprem özellikleri, pik yer ivmesi (PGA) pik yer hız (PGV) ve pik yer değiştirme (PGD) değerleri belirlenmiştir. V_{s30} ortalama kayma dalga hızına bağlı olarak, $180 \leq V_s \leq 360$ aralığında 24 kuvvetli yer hareketi zemin tipi yumuşak, $360 \leq V_s \leq 760$ aralığında da ise 20 kuvvetli yer hareketi için zemin tipi sert olarak gruplandırılmıştır. Daha sonra deprem büyüklükleri, fay kırığının yüzeydeki izdüşümü ile kuvvetli yer hareketi istasyonu arasındaki en yakın yatay mesafeyi tarif eden Joyner-Boore (R_{JB}) mesafe birimi tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2 Seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının listesi

| Dizin kaydı | Tarih | Deprem | M_w | $V_{s,30}$ (m/s) | Zemin Tipi | Mesafe (km) | PGA (cm/s ²) | | PGV (cm/s) | | PGD (cm) | |
|-------------|------------|---------------|-------|------------------|------------|-------------|--------------------------|--------|------------|-------|----------|-------|
| | | | | | | | R_{JB} | KG | DB | KG | DB | KG |
| 1 | 13.3.1992 | Erzincan | 6,6 | — | Yumuşak | 3,3 | 403,86 | 472,64 | 108,43 | 78,22 | 34,42 | 29,5 |
| 2 | 1.10.1995 | Afyon | 6,4 | 198 | Yumuşak | 0 | 272,03 | 321,38 | 29,47 | 47,38 | 6,53 | 12,76 |
| 3 | 27.6.1998 | Adana | 6,2 | 264 | Yumuşak | 40 | 221,92 | 271,57 | 29,56 | 22,63 | 7,04 | 5,72 |
| 4 | 17.8.1999 | Kocaeli | 7,6 | 701 | Sert | 4,9 | 256,47 | 145,45 | 36,61 | 27,78 | 25,51 | 19,47 |
| 5 | 17.8.1999 | Düzce | 7,6 | 282 | Yumuşak | 46 | 313,92 | 365,64 | 52,31 | 55,53 | 35,32 | 19,11 |
| 6 | 30.10.1993 | Erzurum | 6,1 | 316 | Yumuşak | 22,6 | 148,47 | 167,92 | 47,31 | 25,33 | 32,74 | 14,27 |
| 7 | 30.6.1981 | Hatay | 5,1 | 469 | Sert | 25 | 141,12 | 46,93 | 5,64 | 4,11 | 1,47 | 1,7 |
| 8 | 1.5.2003 | Bingöl | 6,3 | 529 | Sert | 2,2 | 503,36 | 287,78 | 36,97 | 21,83 | 14,58 | 4,81 |
| 9 | 24.10.2006 | Bursa | 5,7 | 274 | Yumuşak | 10,7 | 157,74 | 176,22 | 7,16 | 5,9 | 0,71 | 0,54 |
| 10 | 24.10.2006 | Bursa | 5,7 | 370 | Sert | 7,3 | 174,22 | 206,07 | 8,75 | 9,98 | 1,33 | 1,06 |
| 11 | 25.8.2007 | Bingöl | 5,42 | 356 | Yumuşak | — | 173,43 | 118,11 | 11,35 | 6,37 | 1,26 | 1,3 |
| 12 | 11.11.2010 | Aydın | 5,1 | 369 | Sert | — | 68,82 | 140,15 | 2,75 | 5,56 | 0,15 | 0,44 |
| 13 | 19.5.2011 | Manisa | 5,93 | 336 | Yumuşak | — | 587,54 | 602,65 | 26,04 | 11,59 | 2,62 | 1,51 |
| 14 | 11.9.2011 | Van | 5,86 | 363 | Sert | — | 142,73 | 244,31 | 17,4 | 27,33 | 2,74 | 8,77 |
| 15 | 3.5.2012 | Kütahya | 5,72 | 259 | Yumuşak | — | 242,29 | 152,08 | 25,09 | 6,86 | 3,96 | 0,81 |
| 16 | 10.6.2012 | Muğla | 6,1 | 248 | Yumuşak | — | 133,88 | 229,91 | 11,49 | 26,22 | 1,63 | 4,35 |
| 17 | 22.7.2012 | Kahramanmaraş | 5,34 | 611 | Sert | — | 214,95 | 303,27 | 5,53 | 8,37 | 0,34 | 1 |
| 18 | 18.7.1979 | Balıkesir | 5,5 | 495 | Sert | 28,9 | 222,02 | 275,44 | 10,49 | 12,51 | 5,01 | 8,67 |
| 19 | 19.8.1976 | Denizli | 5,34 | 345 | Yumuşak | 6,4 | 339,34 | 257,59 | 24,49 | 15,79 | 2,57 | 3,47 |
| 20 | 23.10.2011 | Van | 6,61 | 293 | Yumuşak | — | 178,32 | 168,59 | 26,24 | 14,72 | 5,59 | 3,79 |
| 21 | 20.7.2017 | Muğla | 6,5 | 747 | Sert | — | 156,57 | 95,88 | 27,19 | 7,49 | 8,52 | 3,89 |
| 22 | 22.1.1997 | Hatay | 5,7 | 470 | Sert | 19,2 | 133,15 | 143,39 | 5,53 | 6,07 | 0,97 | 0,9 |

Tablo 3’ de ise Arias şiddeti (deprem sarsıntı süresi ve frekans içeriğinin zamana bağlı değişimini içeren enerji boşalımının ifadesi olup, ivme kaydının yatay ve dikey bileşenlerin toplamıdır). Zaman tanımı ise Trifunac ve Brady toplam enerjinin %5 ile %95 nin kaydedildiği noktalar arası süre ve Ayraçlanmış süre (Bracketed Duration) olarak belirlenerek verilmiştir. Daha sonra yer hareketlerinin impulsive hareketlerinin boyutsuz indeksi (ID) verilmiştir.

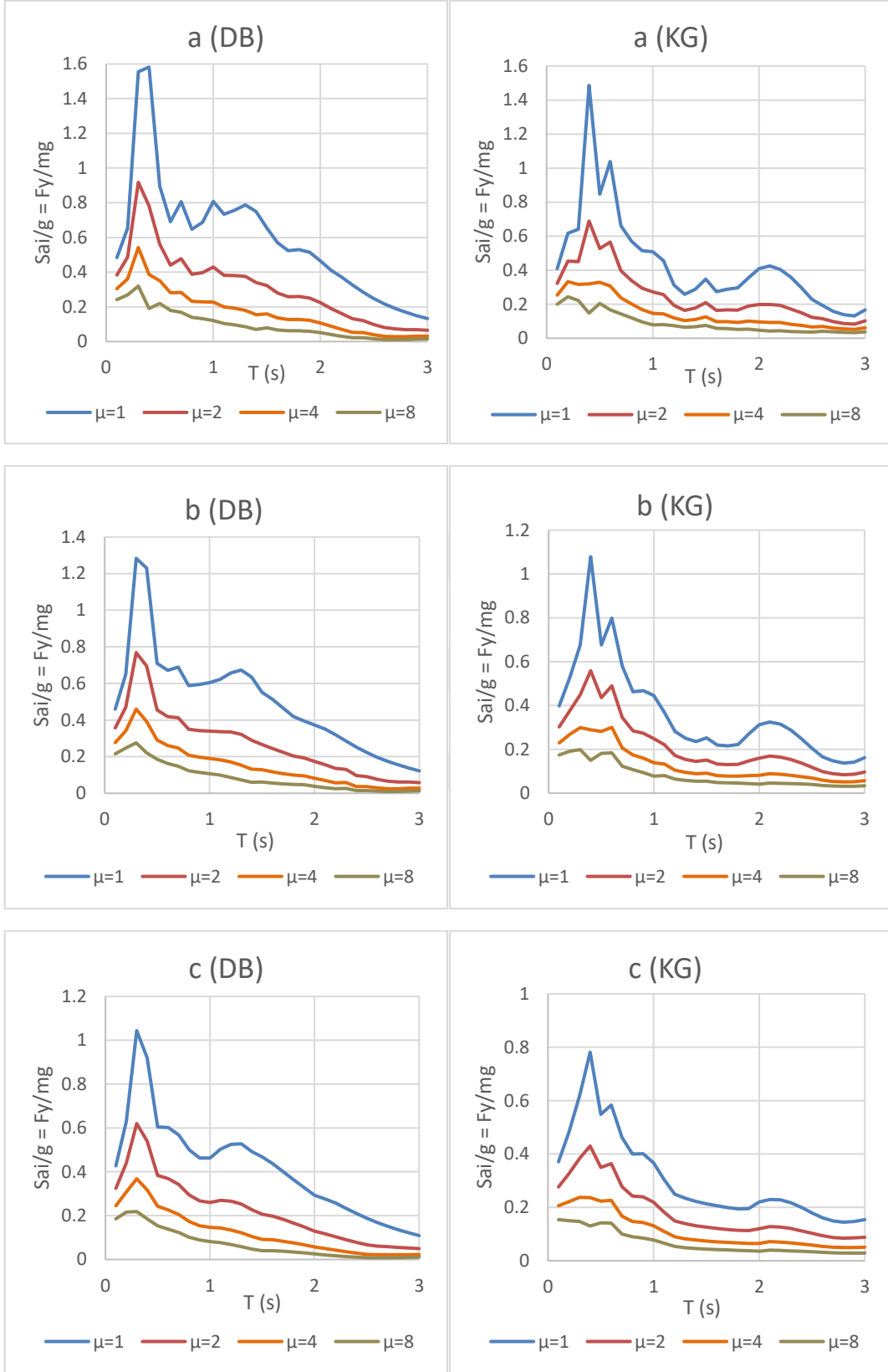
Tablo 3 Seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının süreleri ve Arias şiddetleri

| Dizin Kaydı | Tarih | Deprem | Zaman (KG) | | Zaman (DB) | | Arias Şiddeti | | ID | |
|-------------|------------|---------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------|-------|-------------------|-------------------|
| | | | t _{br} (s) | t _{tr} (s) | t _{br} (s) | t _{tr} (s) | KG | DB | I _{D-KG} | I _{D-DB} |
| 1 | 13.3.1992 | Erzincan | 25,1 | 9,1 | 25,3 | 9,8 | 163,5 | 177,6 | 2,3 | 3 |
| 2 | 1.10.1995 | Afyon | 27,1 | 16,9 | 27,7 | 15,7 | 165,5 | 204 | 12,9 | 8,4 |
| 3 | 27.6.1998 | Adana | 27,3 | 13 | 27,4 | 13,2 | 94,4 | 105,6 | 9 | 10,7 |
| 4 | 17.8.1999 | Kocaeli | 34,7 | 29,6 | 47,5 | 29,3 | 50,9 | 35,9 | 4 | 5,5 |
| 5 | 17.8.1999 | Düzce | 24,4 | 11,9 | 22,5 | 12 | 112,6 | 139,8 | 4,3 | 4,3 |
| 6 | 30.10.1993 | Erzurum | 31,4 | 18,7 | 30,8 | 19,7 | 57,1 | 43,9 | 5,1 | 6,5 |
| 7 | 30.6.1981 | Hatay | 22,6 | 9,4 | 23,2 | 11,2 | 9,5 | 9,3 | 7,5 | 11,8 |
| 8 | 1.5.2003 | Bingöl | 23,9 | 4,5 | 23,9 | 6,8 | 196 | 80,5 | 6,6 | 8 |
| 9 | 24.10.2006 | Bursa | 13,4 | 5 | 11,4 | 4,8 | 12,9 | 14,8 | 7,1 | 8,9 |
| 10 | 24.10.2006 | Bursa | 19,3 | 7,5 | 14,5 | 8,2 | 14,1 | 10,6 | 5,8 | 3,2 |
| 11 | 25.8.2007 | Bingöl | 14,1 | 4,8 | 18 | 7 | 13,5 | 11,4 | 4,3 | 9,4 |
| 12 | 11.11.2010 | Aydın | 12,3 | 3,6 | 5,8 | 2 | 1,9 | 7,8 | 6,2 | 6,2 |
| 13 | 19.5.2011 | Manisa | 17,9 | 7,6 | 67,6 | 7,4 | 109,8 | 69,2 | 4,5 | 6,2 |
| 14 | 11.9.2011 | Van | 31,4 | 16,4 | 31 | 8,4 | 17,2 | 42,4 | 4,3 | 4 |
| 15 | 3.5.2012 | Kütahya | 15,1 | 1,8 | 8,1 | 3,8 | 26,3 | 7,1 | 2,7 | 4,3 |
| 16 | 10.6.2012 | Muğla | 56,7 | 22 | 37,4 | 13,3 | 40,5 | 80,5 | 16,4 | 8,3 |
| 17 | 22.7.2012 | Kahramanmaraş | 5,7 | 2 | 6,6 | 1,8 | 14,8 | 19,9 | 7,8 | 4,9 |
| 18 | 18.7.1979 | Balıkesir | 11,8 | 3,2 | 8,9 | 3,4 | 19,9 | 21,2 | 5,3 | 3,8 |
| 19 | 19.8.1976 | Denizli | 13,6 | 5,2 | 14,3 | 5,9 | 71,4 | 51,4 | 5,4 | 7,9 |
| 20 | 23.10.2011 | Van | 57 | 19,2 | 57,1 | 22,3 | 78,3 | 50,8 | 10,5 | 12,8 |
| 21 | 20.7.2017 | Muğla | 17 | 5,1 | 25,1 | 8,9 | 26,9 | 8,9 | 4 | 7,7 |
| 22 | 22.1.1997 | Hatay | 31,5 | 13,4 | 27,5 | 15 | 18,3 | 15,9 | 15,5 | 11,4 |

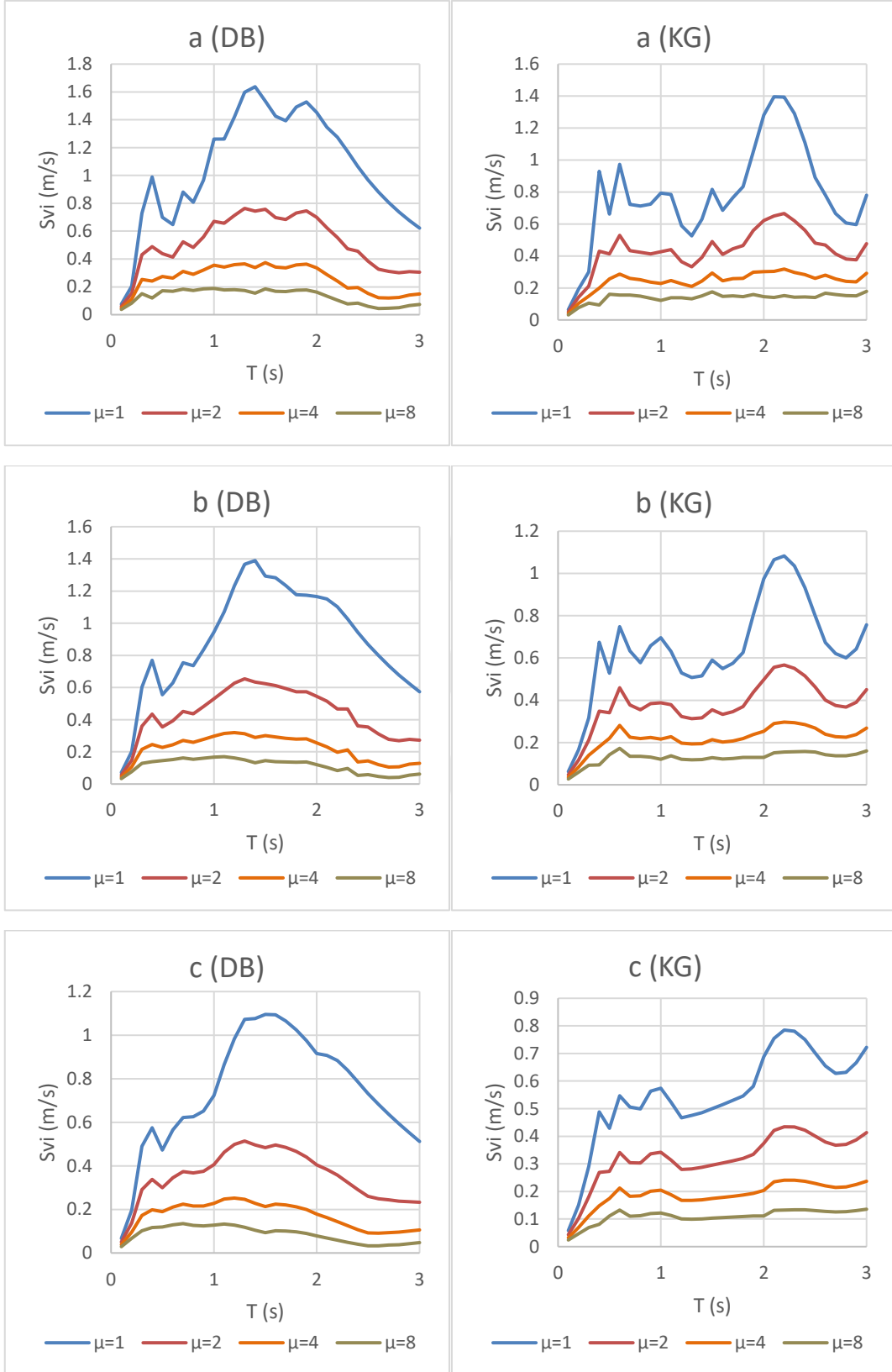
6.2 Tepki spektrumlarının Bulunması

Bu yer hareketleri kullanılarak tek dereceli serbestlik sistemin doğrusal olmayan bir dinamik analizi yöntemi ve elastoplastik davranış modeli kullanılarak matlab programı ile %2 %5 %10 sönüm oranlarına bağlı olarak ve sabit farklı süneklilikler için $\mu = 1-2-4-8$ değerleri için dayanım spektrumları elde edilmiştir. %2 %5 %10 sönüm oranlarına ve $\mu = 1-2-4-8$ süneklilik oranlarına bağlı olarak hem elastik ötesi ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumları çizilmiştir. Daha sonra yumuşak zemin grubunun 24 sert zemin grubunun 20 yer hareketi TSD sistemi üzerindeki etkisi incelenmiş ve normalizasyonu için yapı tepki ivmesi kendisine etki eden yer hareketinin Pik yer ivmesine (PGA) bölünerek boyutsuz hale getirilmiştir. Böylece yumuşak zemin grubunun 24, sert zemin grubunun 20 yer hareketi sayısal olarak ortalamaları alınarak, ortalama ivme spektrumları elde edilmiştir. Ortalama hız spektrumu için PGV ve ortalama yer değiştirme spektrumu içinde PGD'ye bölünerek ortalama spektrumları elde edilmiştir.

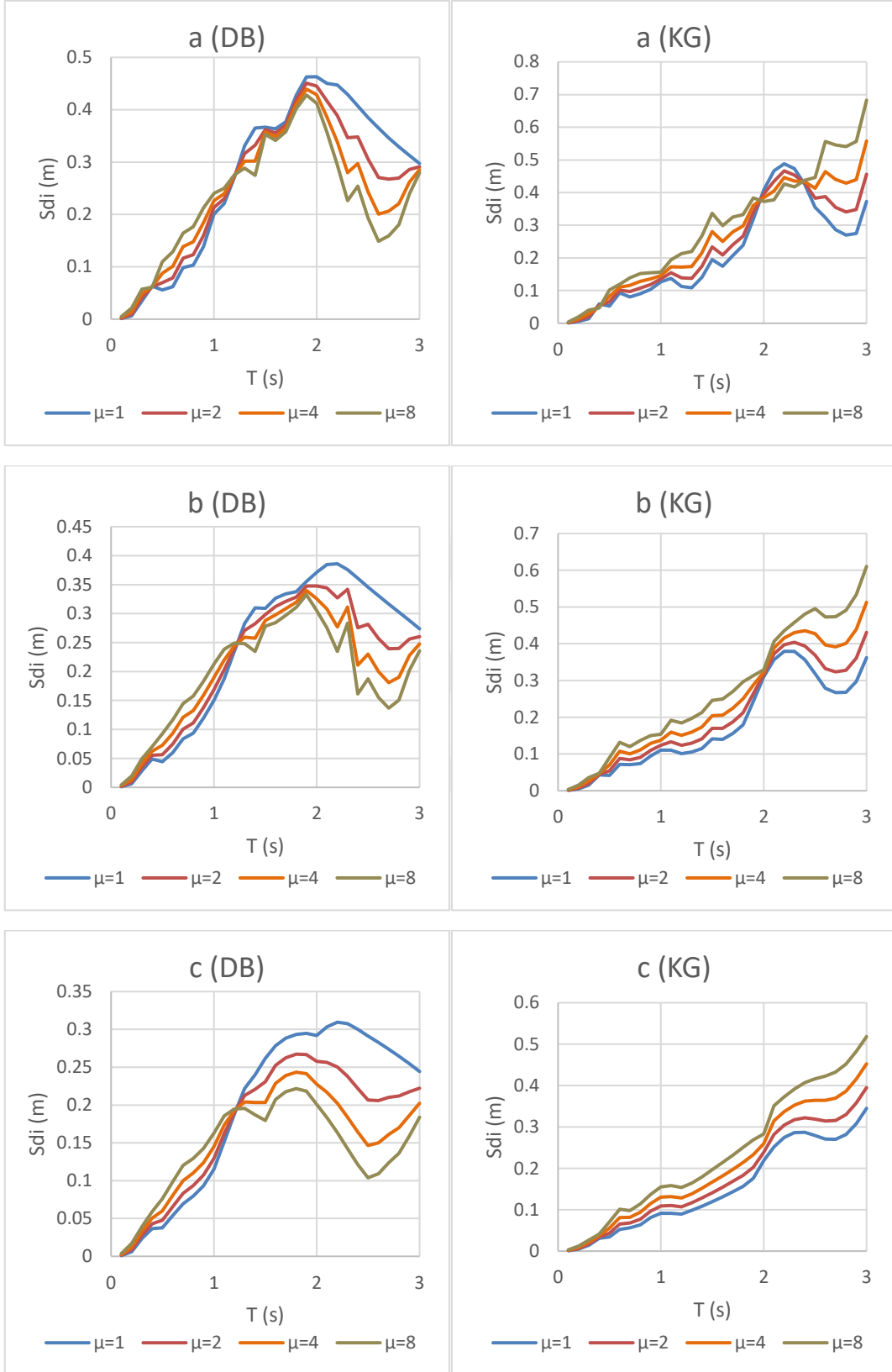
Yumuşak zemin grubu için öncelikle bir kuvvetli yer hareketinin ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumu verilmiş (diğer kuvvetli yer hareketinin davranış spektrumları ise ek2a'da verilmiştir.) ve daha sonra 24 kuvvetli yer hareketinin normalize edilmiş ortalama ivme, hız, yer değiştirme spektrumları verilmiştir.



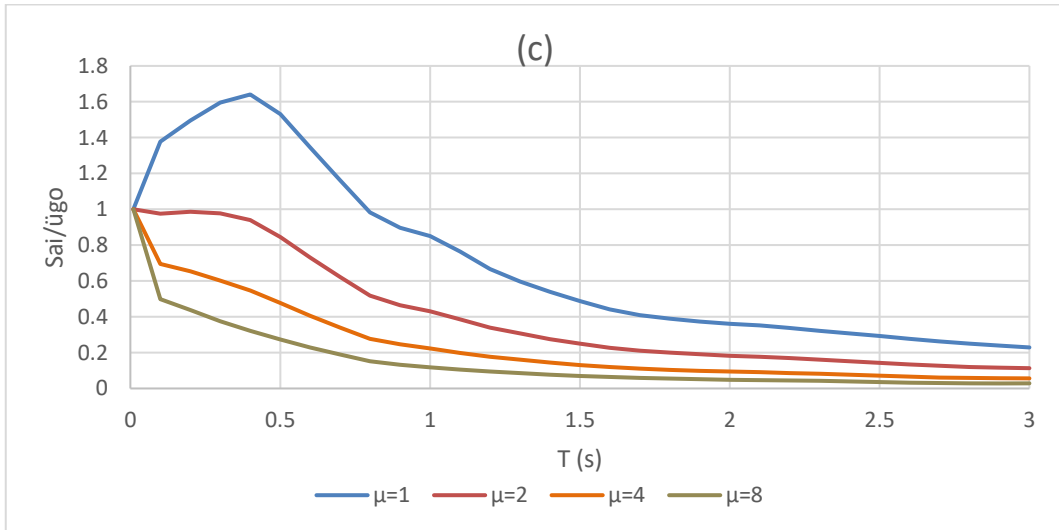
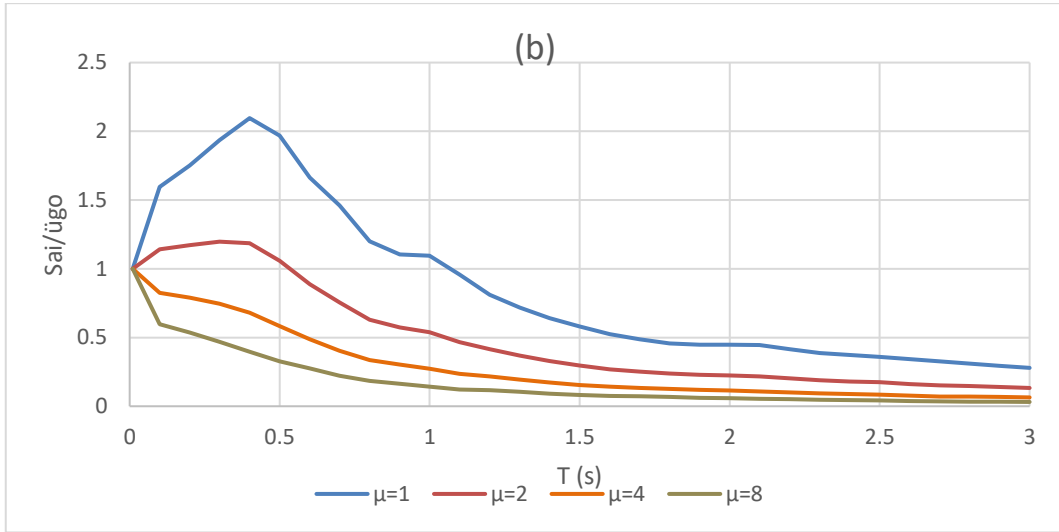
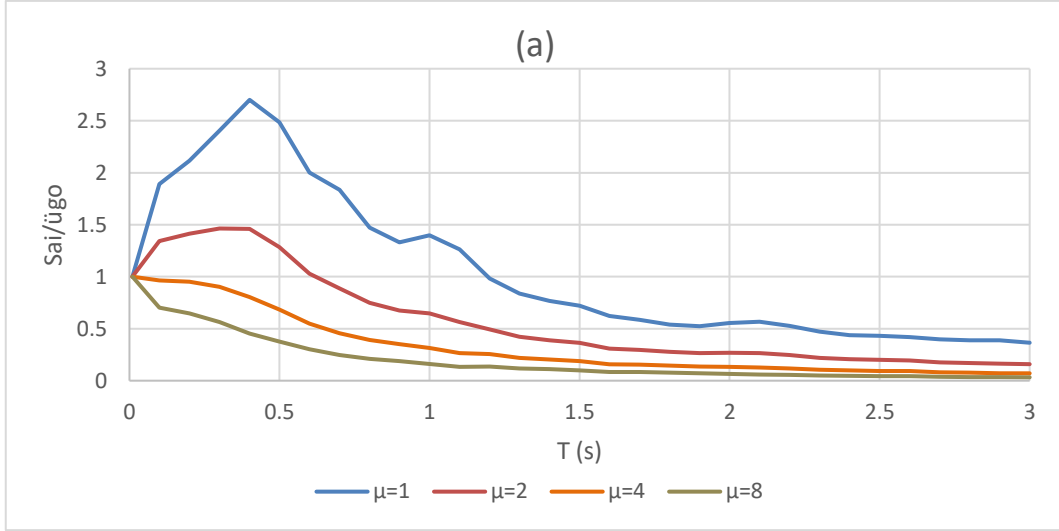
Şekil 22 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



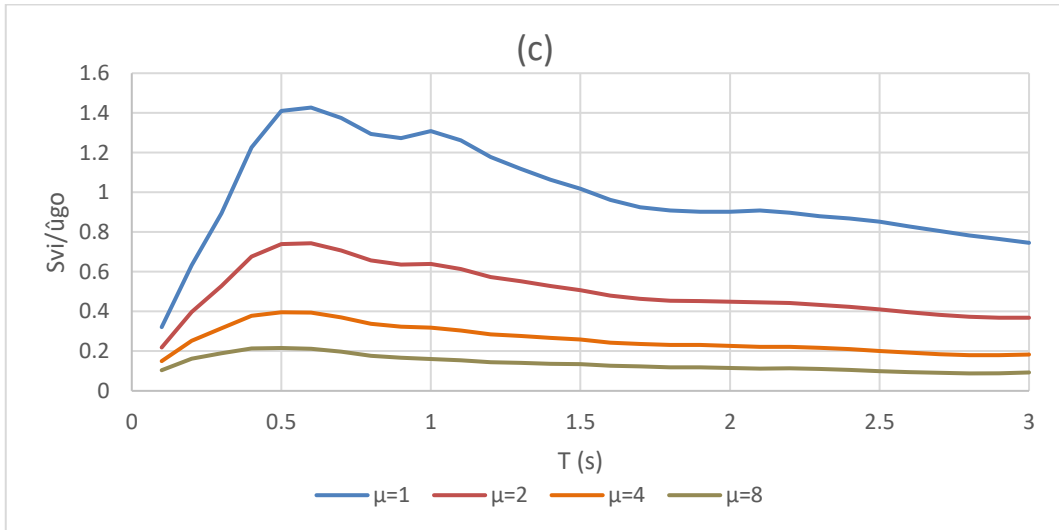
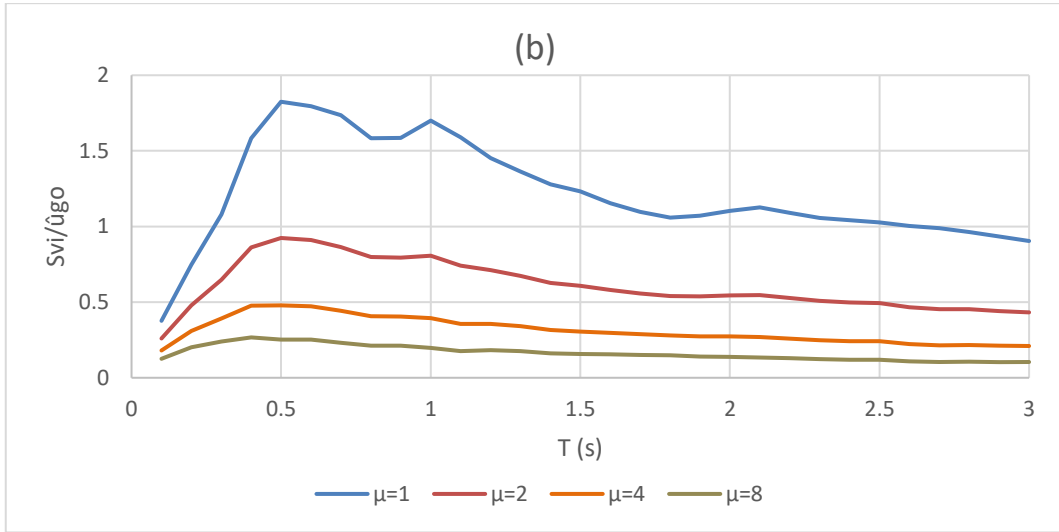
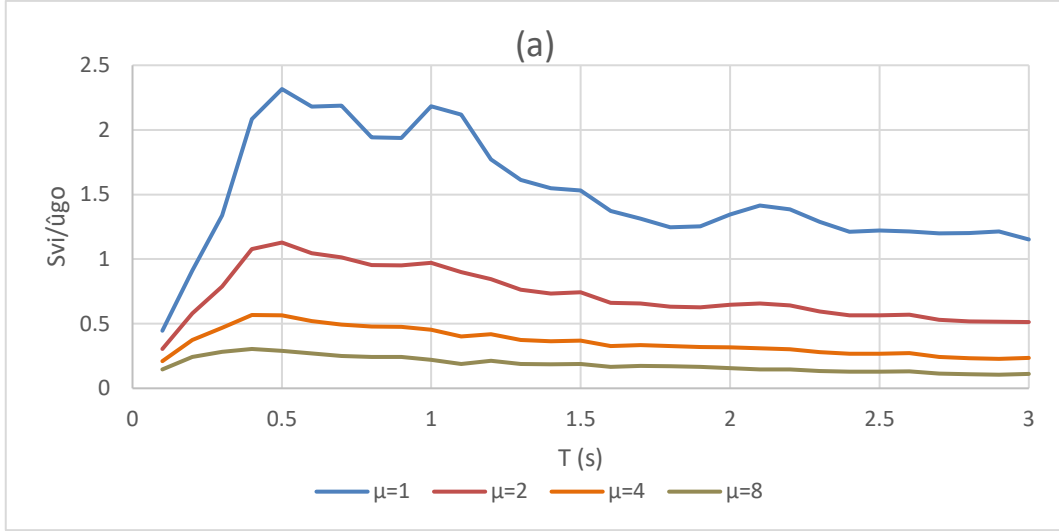
Şekil 23 Düzce depremi Sönüm oranı a=%2, b= %5, c= %10 için hız spektrumu



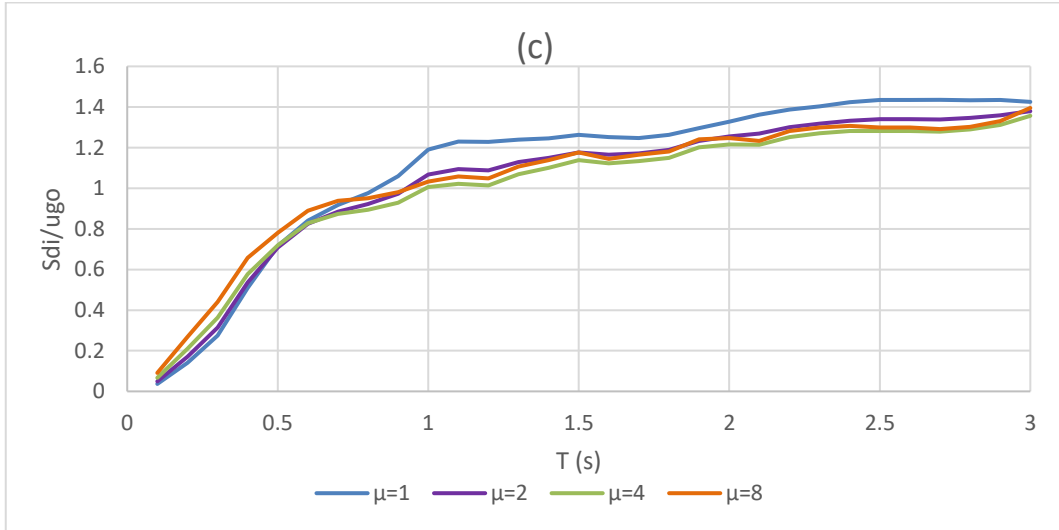
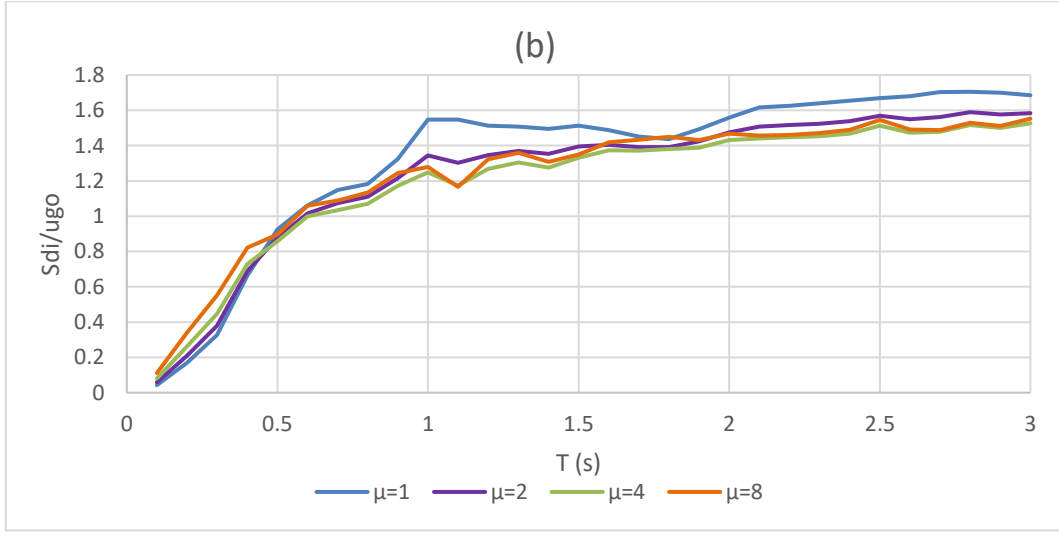
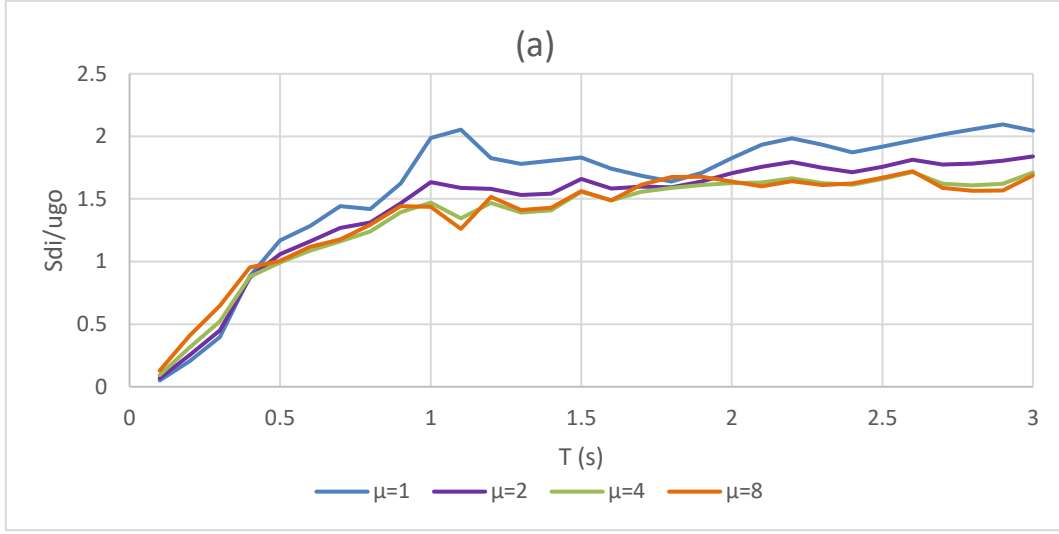
Şekil 24 Düzce depremi Sönüm oranı a=%2, b= %5, c= %10 için yer değiştirme spektrumu



Şekil 25 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama ivme spektrumu

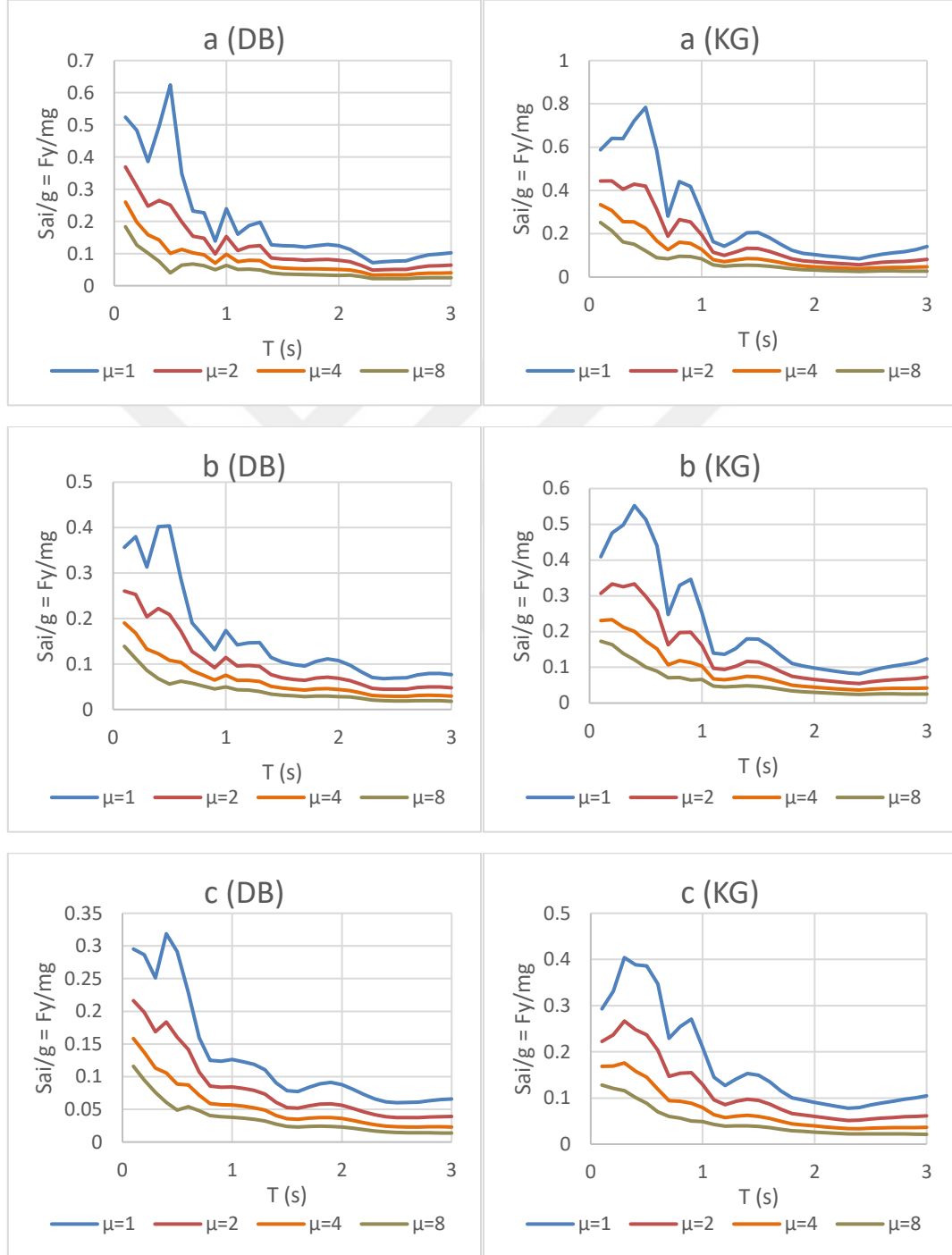


Şekil 26 Sönüm oranı a=%2, b= %5, c= %10 için normalize edilmiş ortalama hız spektrumu

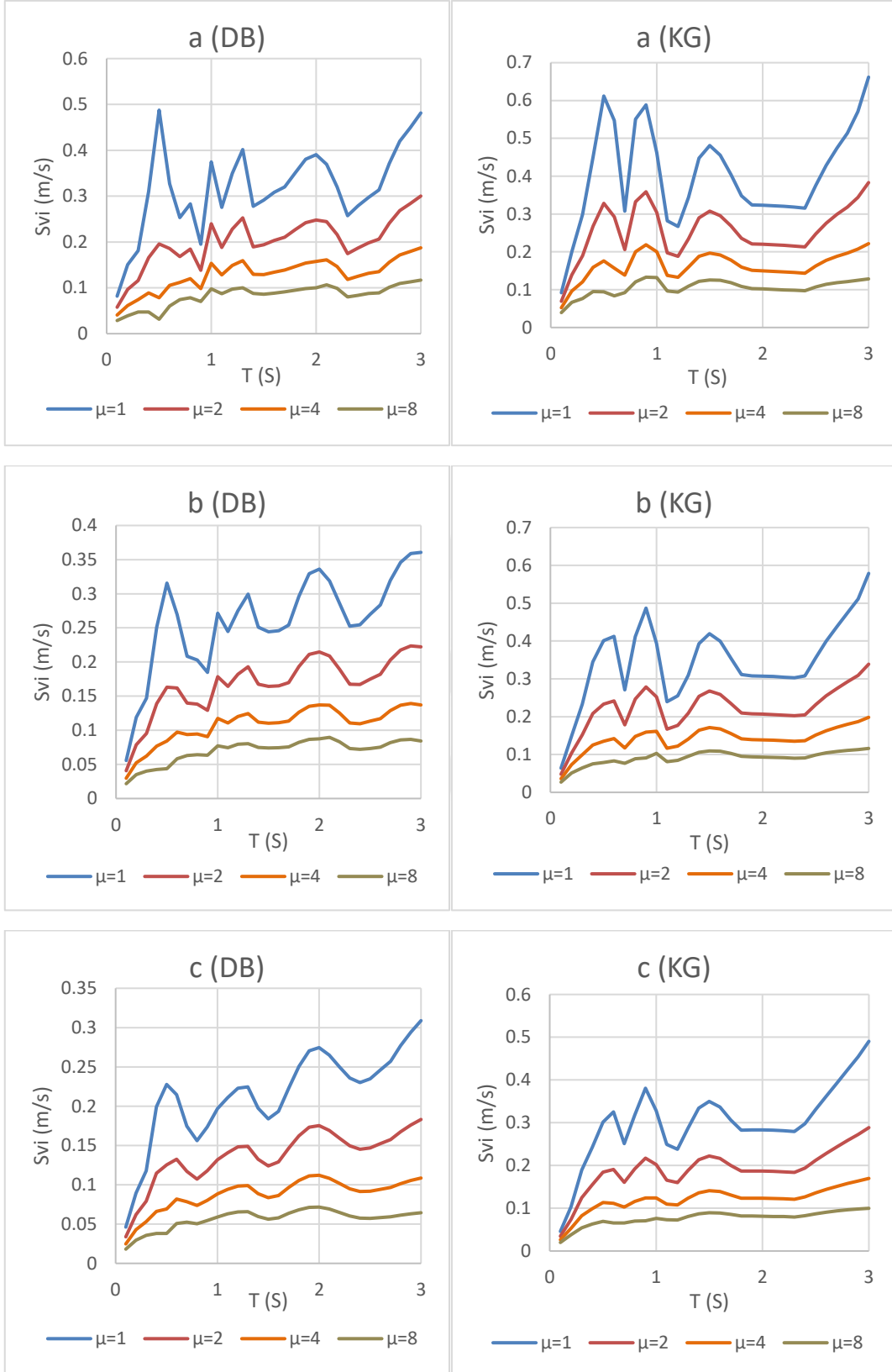


Şekil 27 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama yer değiştirme spektrumu

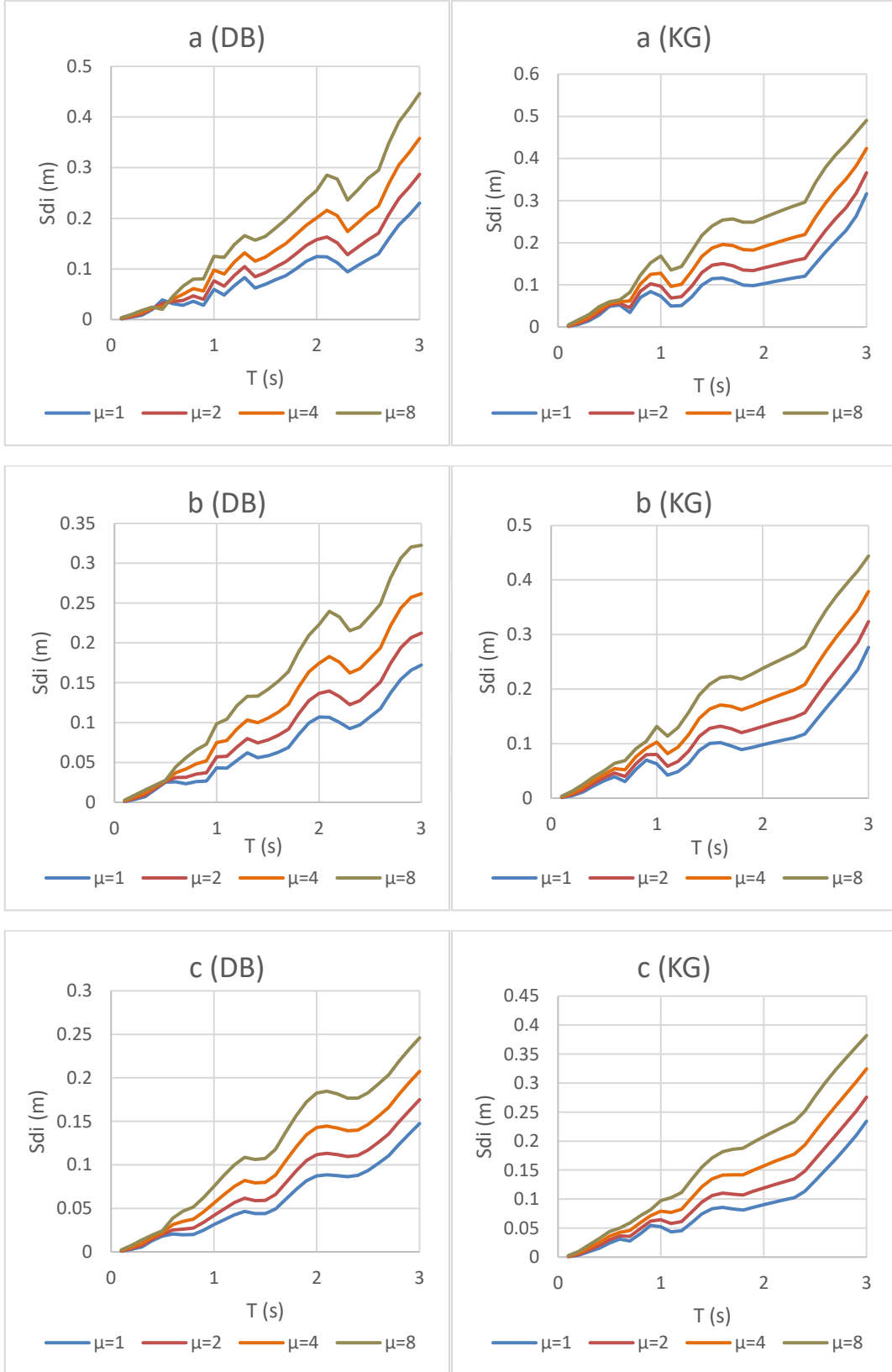
Sert zemin grubu için öncelikle bir kuvvetli yer hareketinin ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumu verilmiş (diğer kuvvetli yer hareketinin davranış spektrumları ise ek2b’de verilmiştir.) ve daha sonra 20 kuvvetli yer hareketinin normalize edilmiş ortalama ivme, hız, yer değiştirme spektrumları verilmiştir.



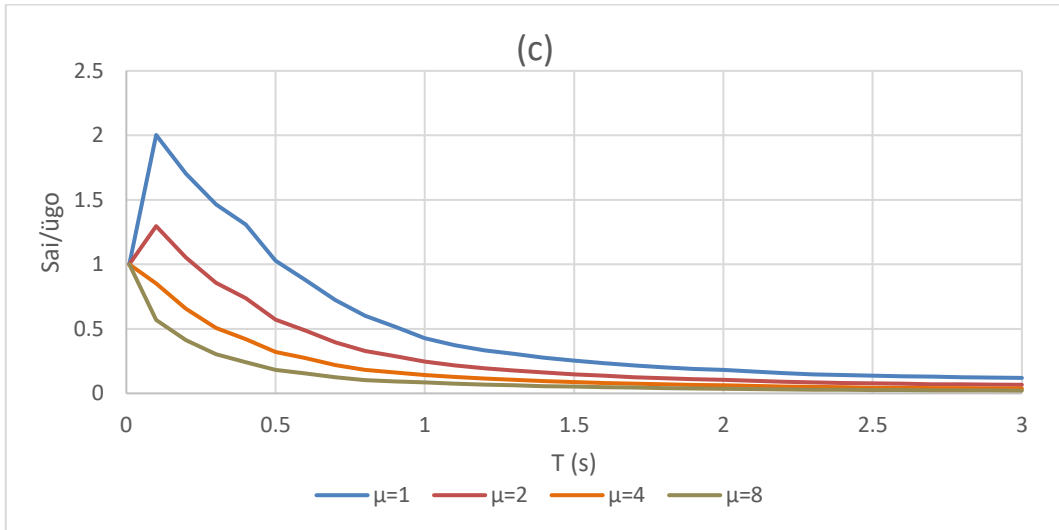
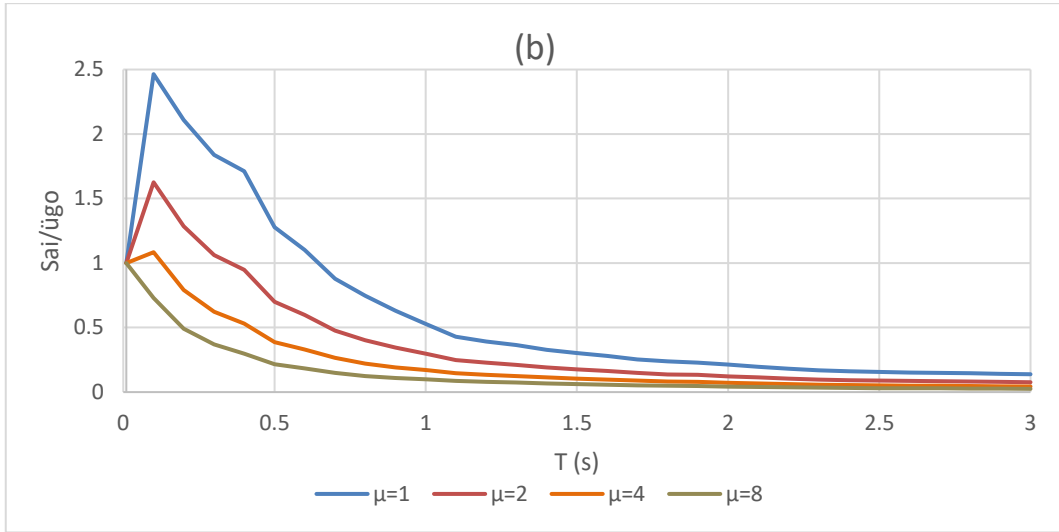
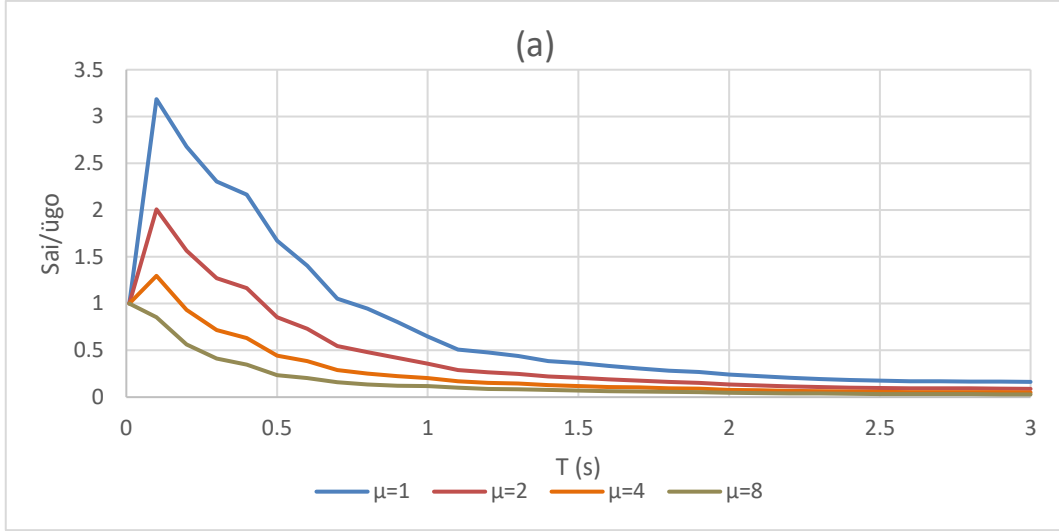
şekil 28 Kocaeli depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



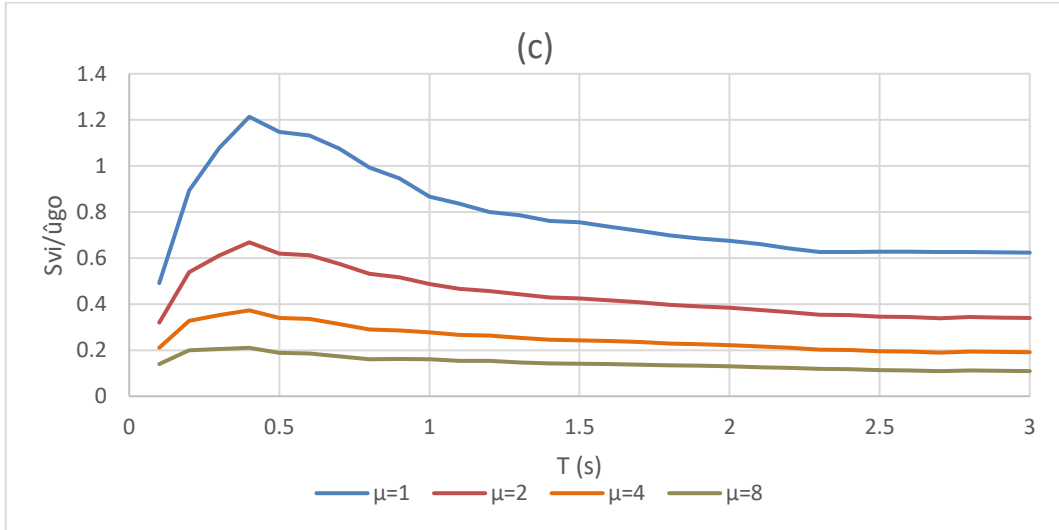
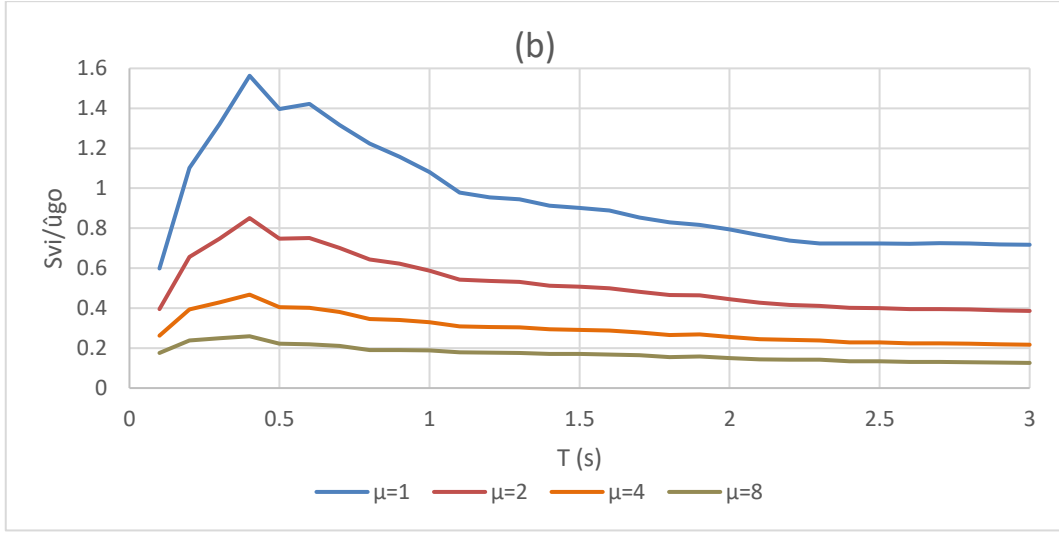
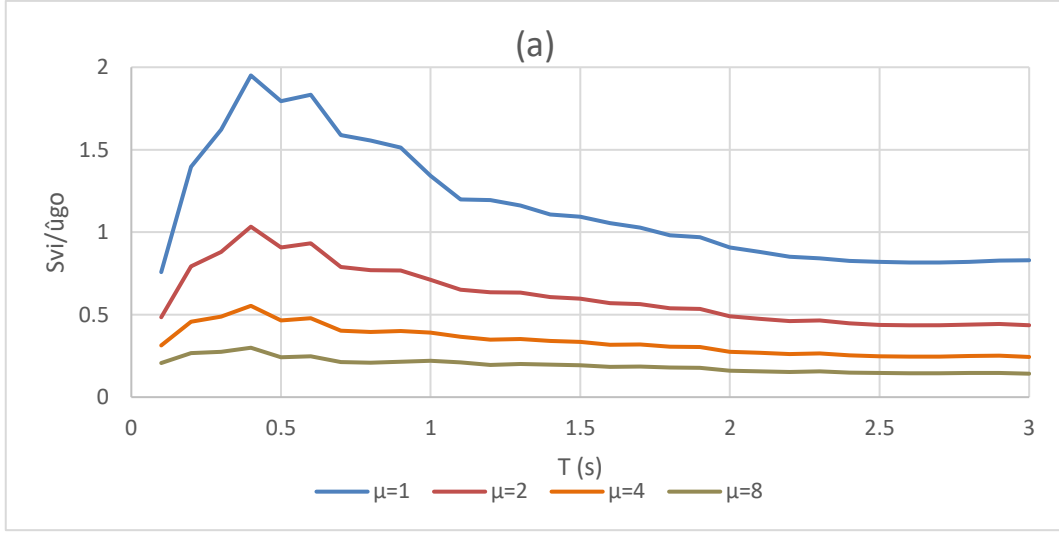
Şekil 29 Kocaeli depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



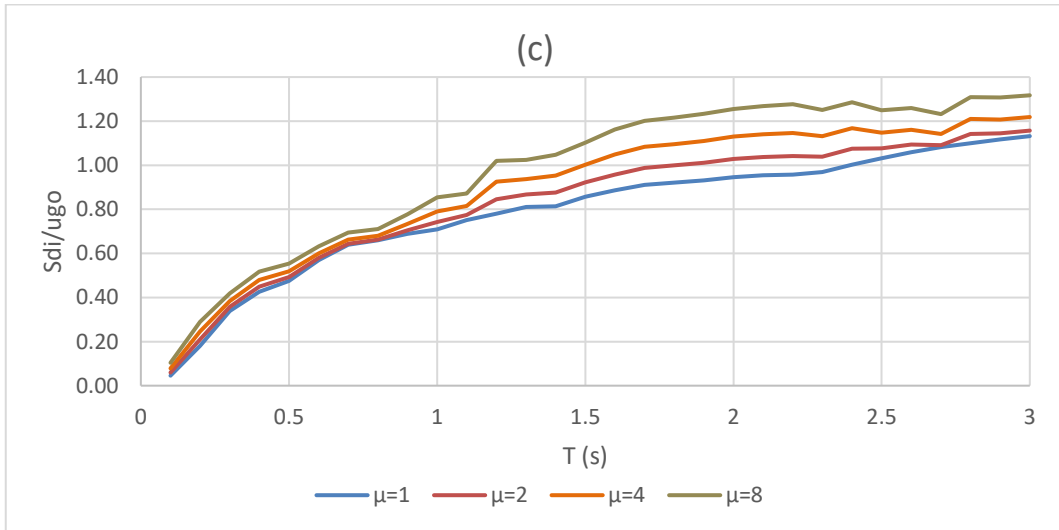
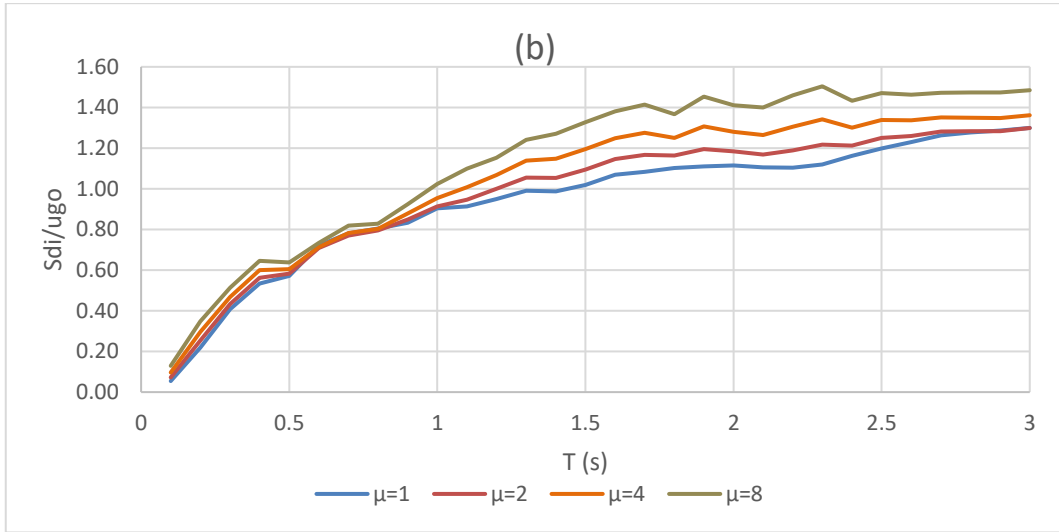
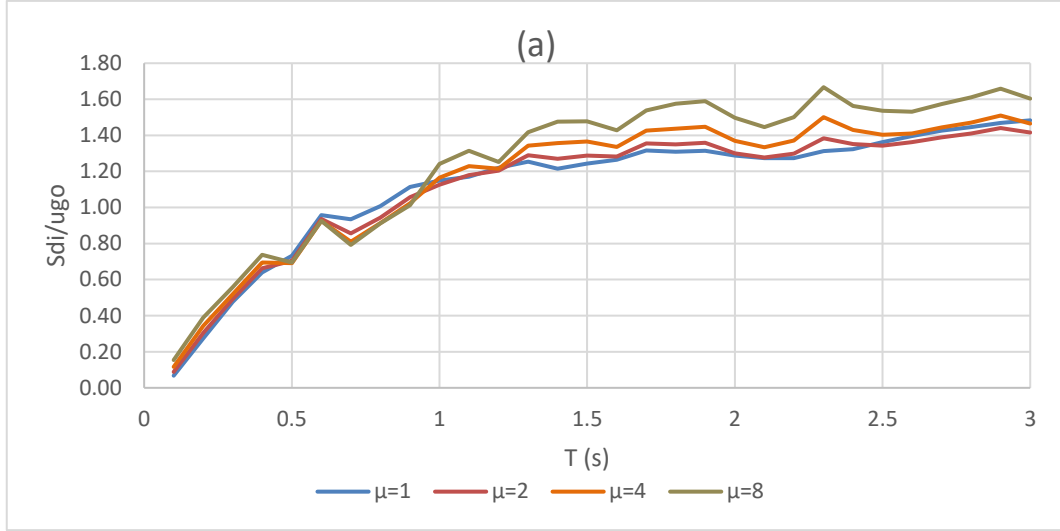
Şekil 30 Kocaeli depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



Şekil 31 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama ivme spektrumu



Şekil 32 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama hız spektrumu

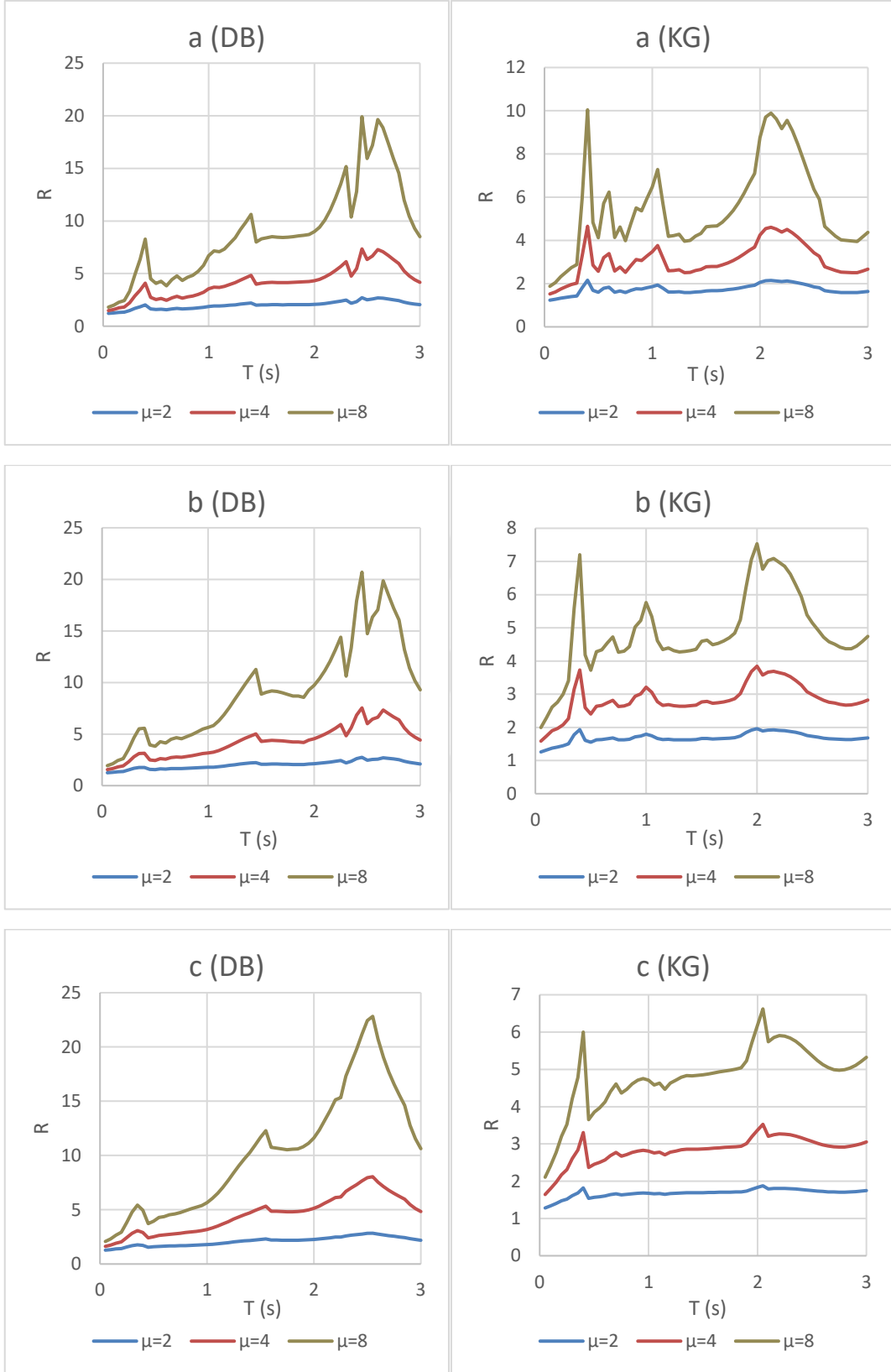


Şekil 33 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için normalize edilmiş ortalama yer değiştirme spektrumu

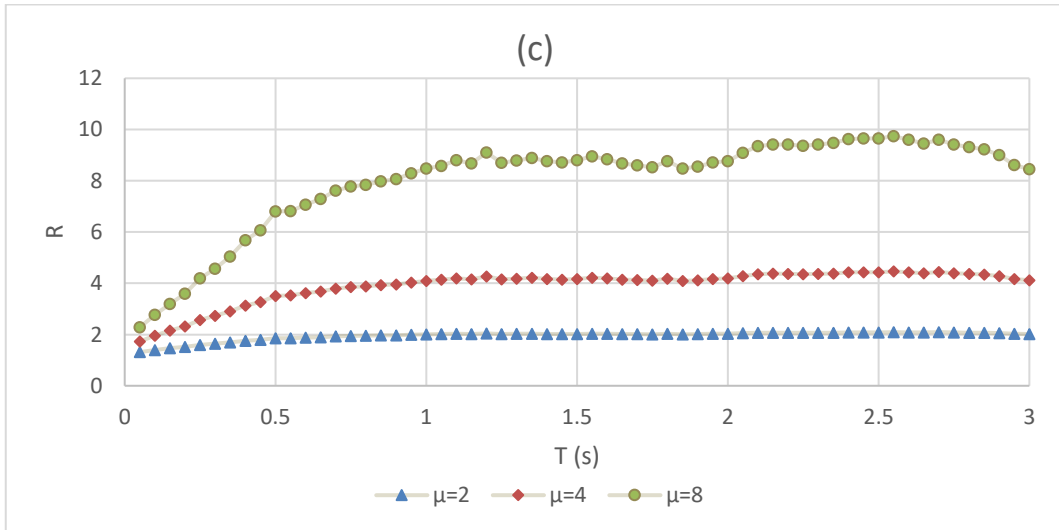
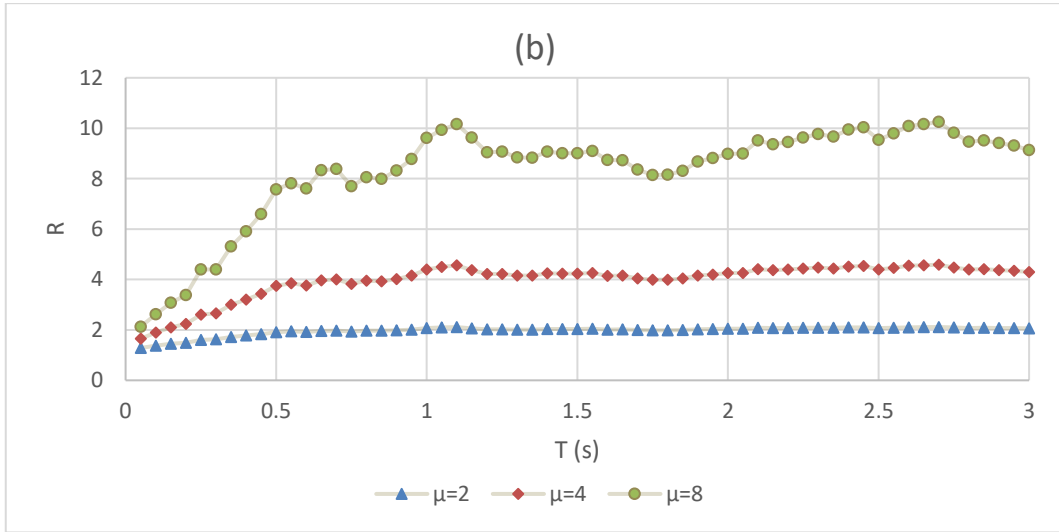
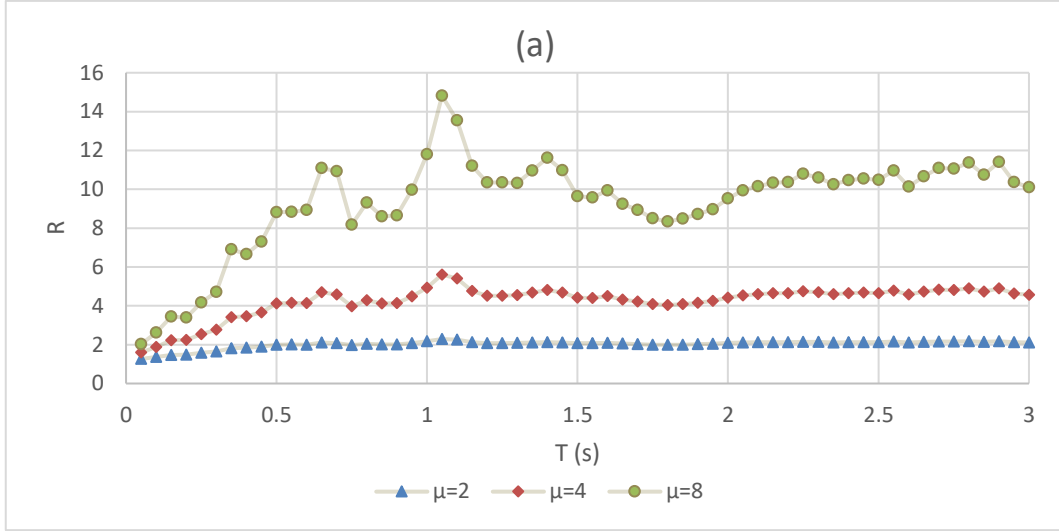
6.2 Davranış ve Ortalama R_{μ} - μ -T Spektrumları

Elde edilen bu spektrumların sönüm ve süneklik oranlarının bu spektrumlar üzerinde etkisi incelenmiştir. Dayanım spektrumuna bağlı olarak %2 %5 %10 sönüm oranları ve $\mu = 1-2-4-8$ süneklik oranlarına alınarak süneklik- süneklik azaltma faktörü-periyot ilişkisi incelenmiş ve spektrumları elde edilmiştir. R_{μ} - μ -T adlandırılan bu üçlünün davranış spektrumları ve bu davranış spektrumlarının sayısal olarak ortalaması alınarak ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu elde edilmiştir. Daha sonra yumuşak ve sert zeminlerin ortalama R_{μ} - μ -T sismik tepkileri karşılaştırılmıştır.

Yumuşak zemin grubunun, için öncelikle bir kuvvetli yer hareketi için R_{μ} - μ -T davranış spektrumu (diğer yer hareketlerinin R_{μ} - μ -T spektrumları ek2c'de verilmiştir), daha sonra 24 kuvvetli yer hareketinin ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu verilmiştir.

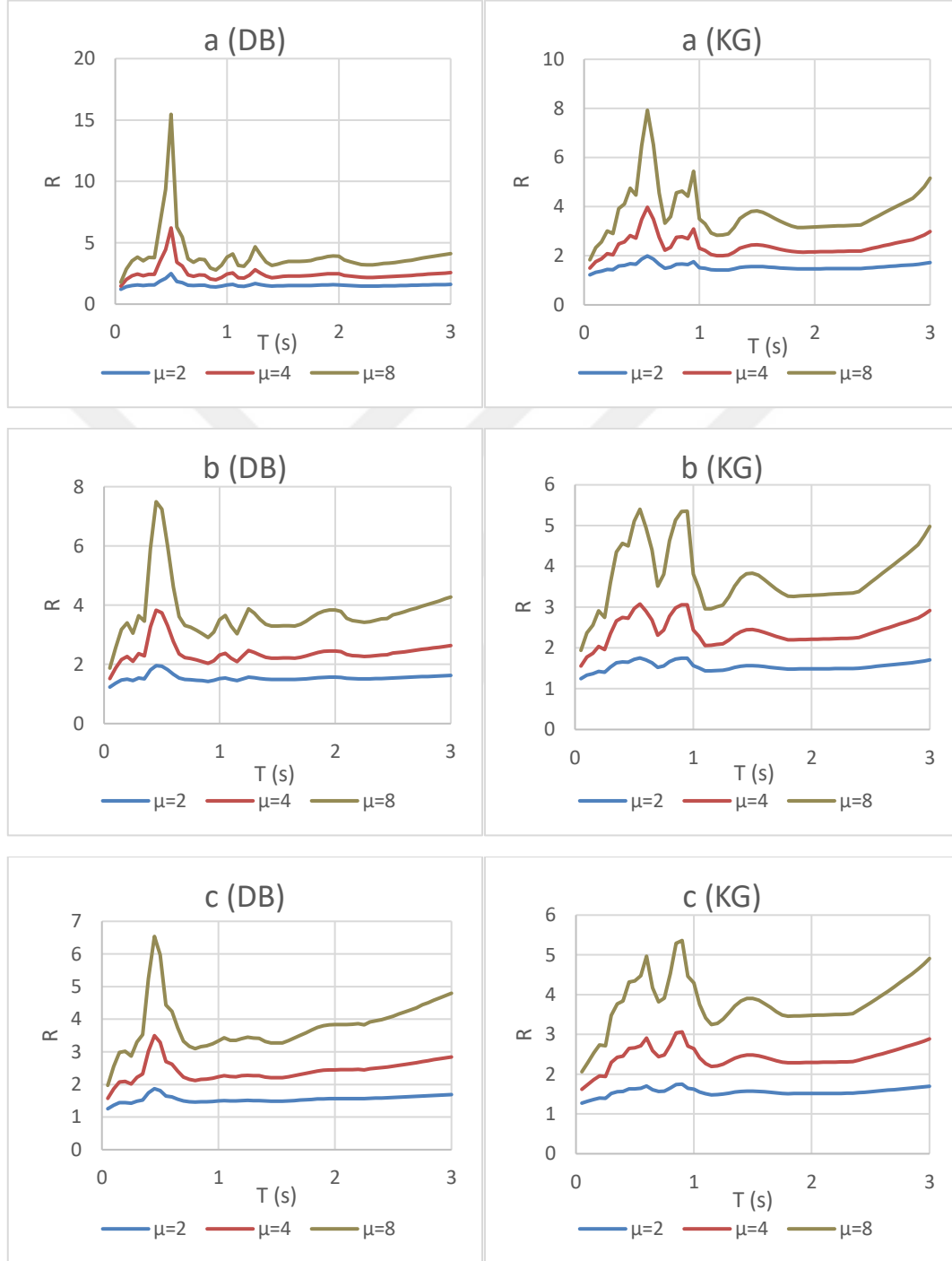


Şekil 34 Düzce depreminin sönüm oranı a=%2, b= %5, c= %10 için Rμ-μ-T spektrumu

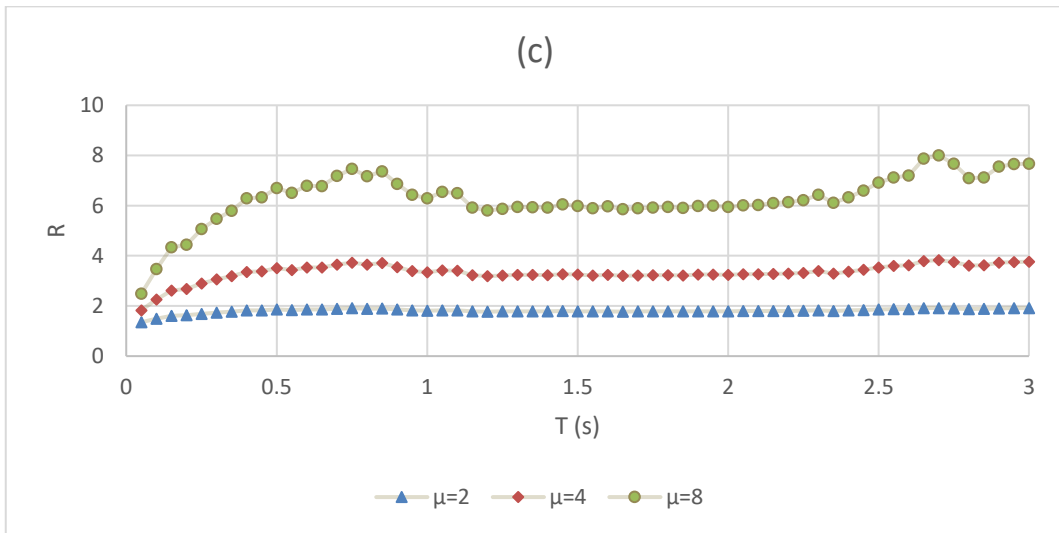
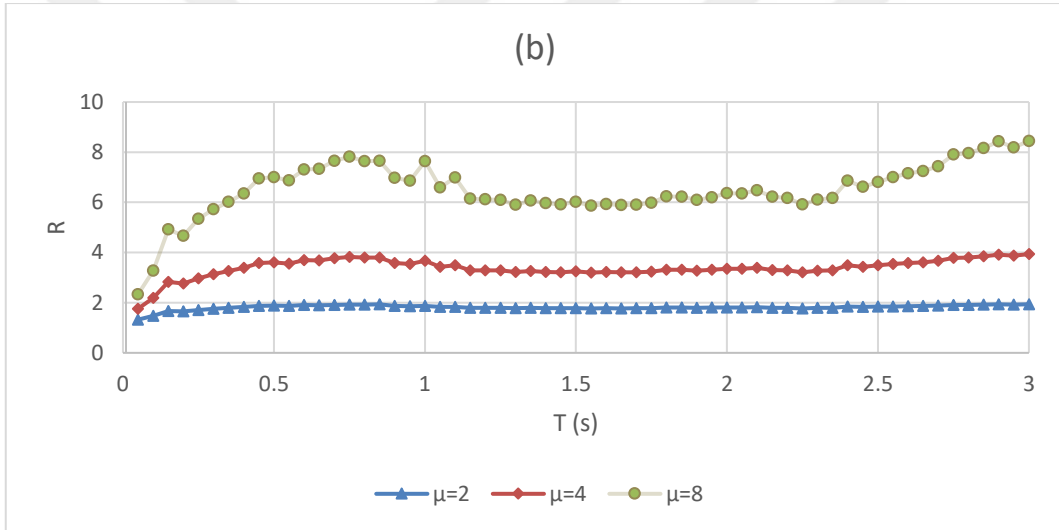
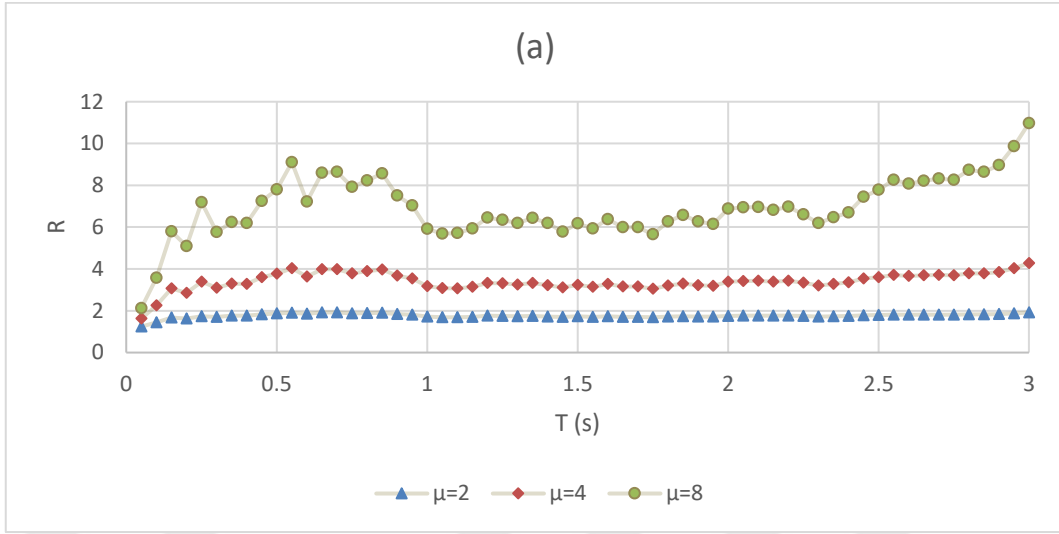


Şekil 35 Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ortalama $R_{\mu}-\mu-T$ spektrumu

Sert zemin grubunun, için öncelikle bir kuvvetli yer hareketi için R_{μ} - μ -T spektrumu (diğer yer hareketlerinin R_{μ} - μ -T spektrumları ek2d'de verilmiştir) daha sonra 20 kuvvetli yer hareketinin ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu verilmiştir.

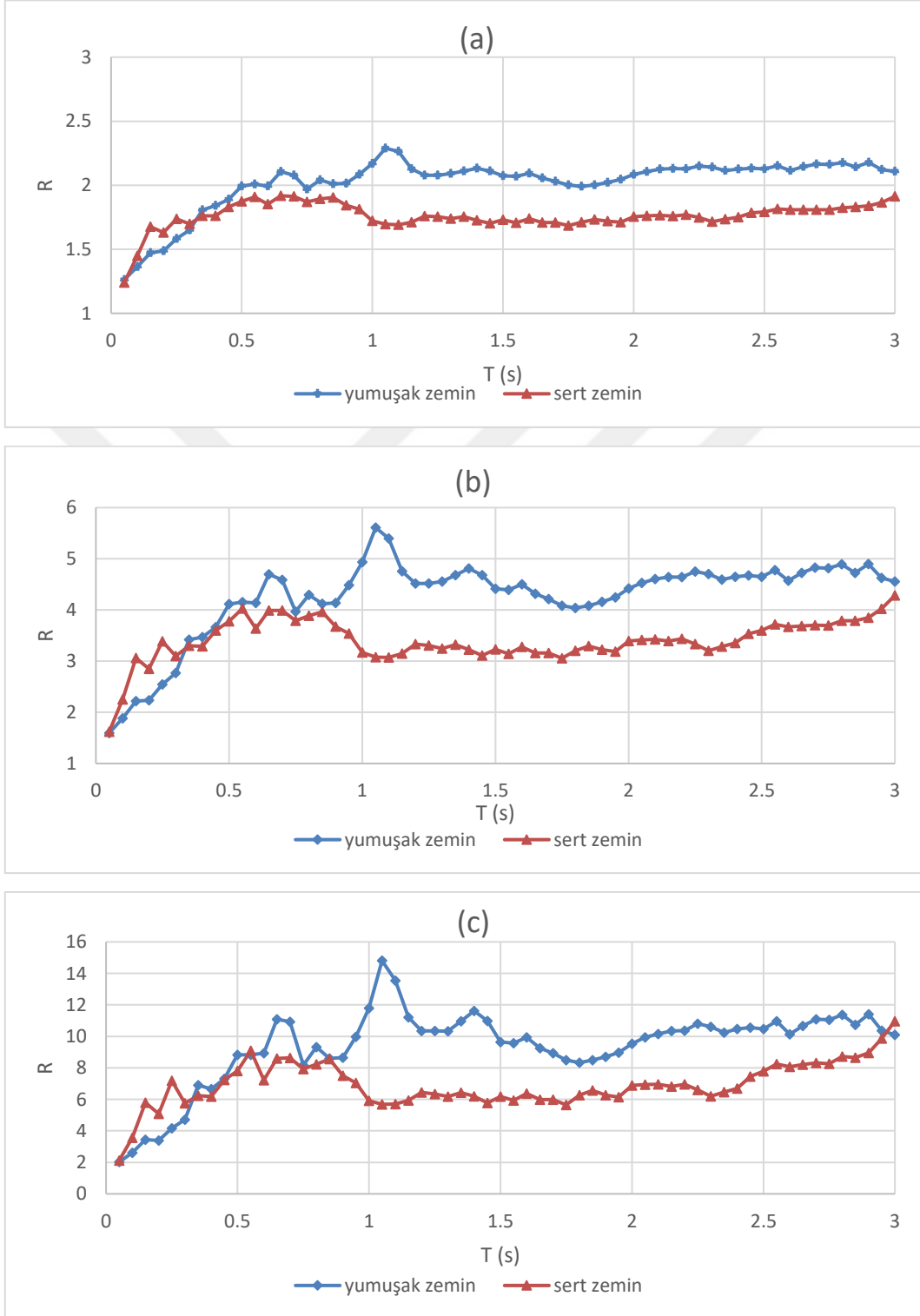


Şekil 36 Kocaeli depreminin sönüm oranı $a=\%2$, $b= \%5$, $c= \%10$ için R_{μ} - μ -T spektrumu



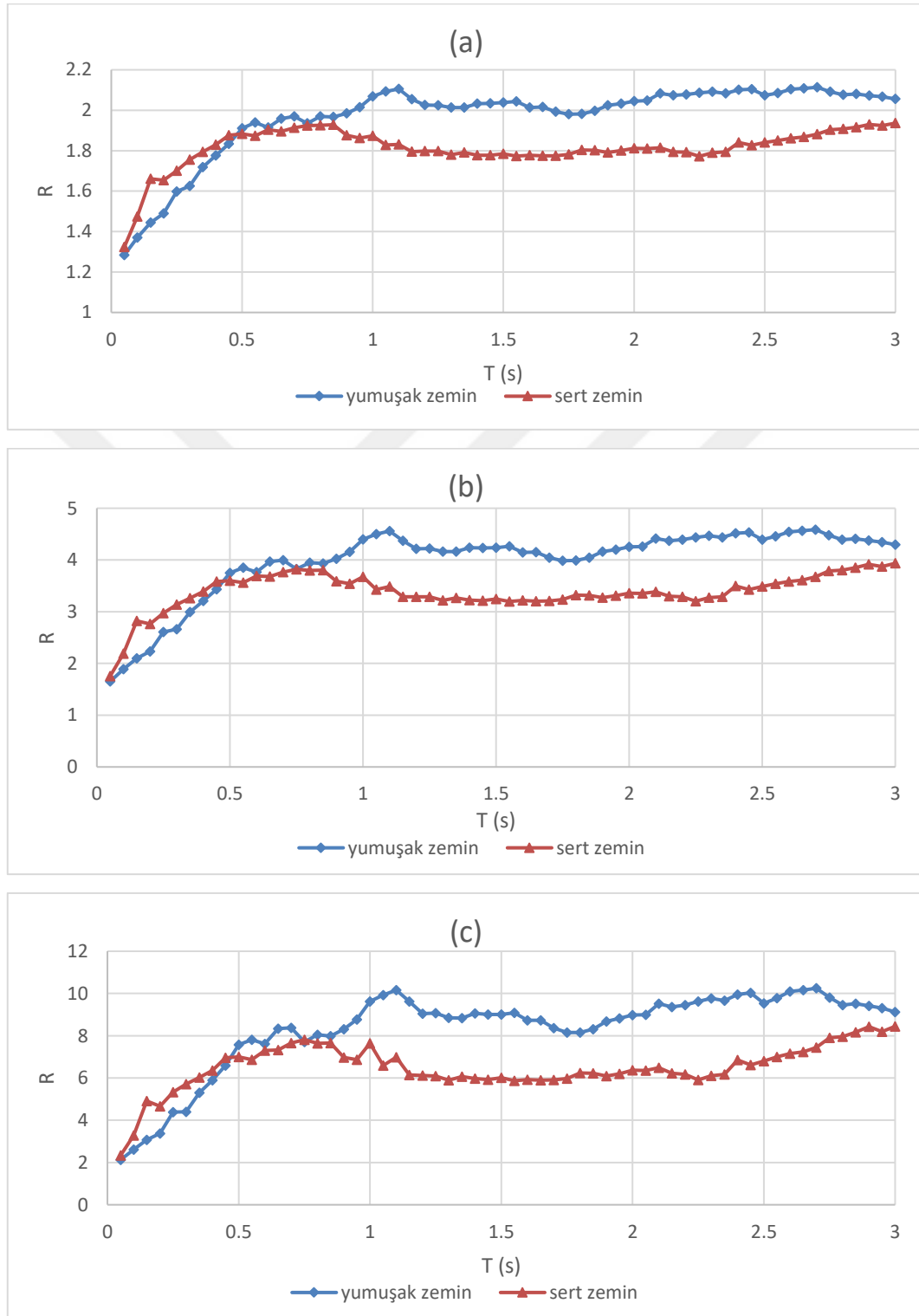
Şekil 37 Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ortalama $R_{\mu-T}$ spektrumu

Yumuşak ve sert zemin gruplarının sönüm oranı %2 için süneklik talepleri farkı grafikleri verilmiştir.



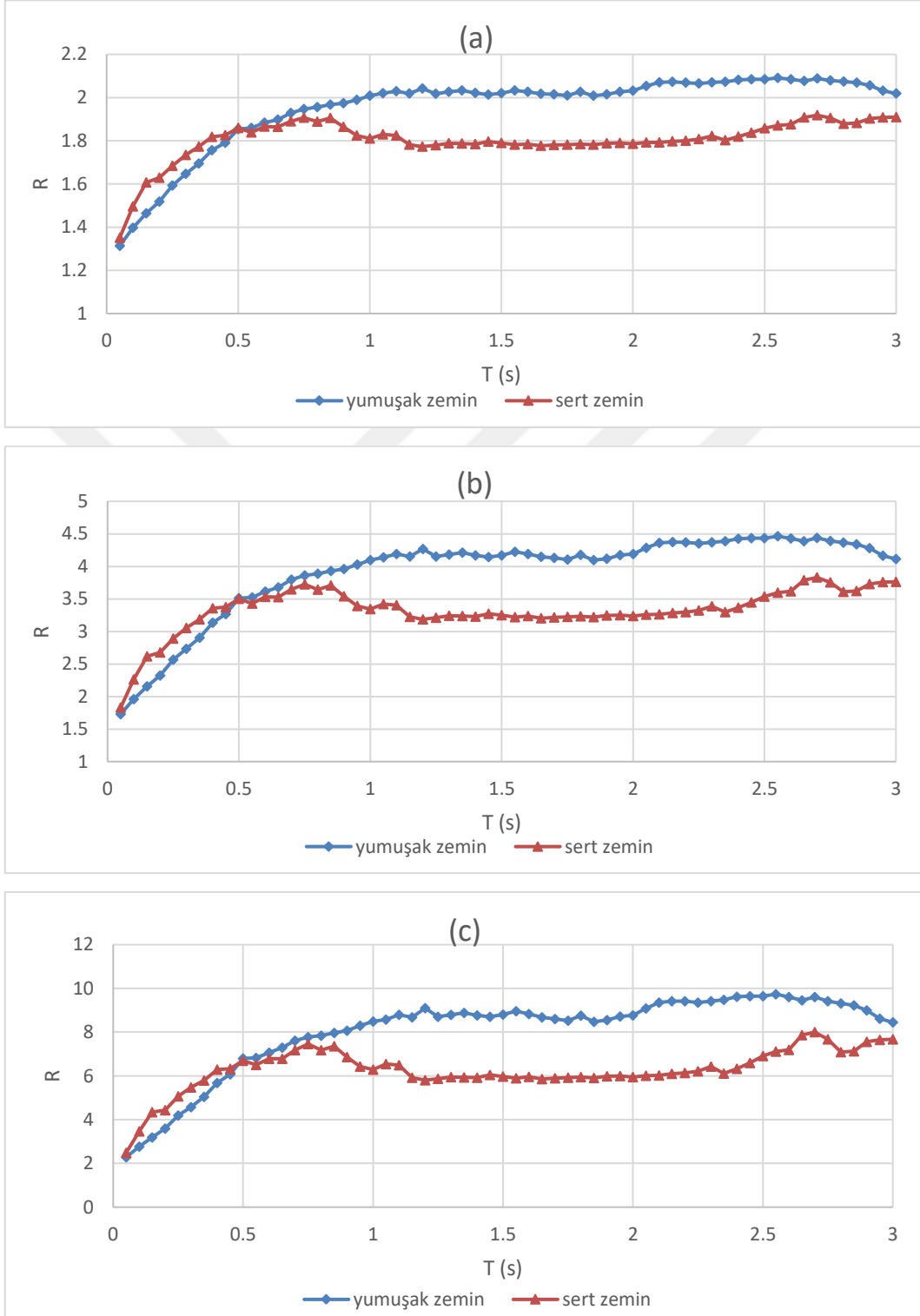
Şekil 38 a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için yumuşak ve sert zeminin gruplarının süneklik taleplerinin karşılaştırılması

Yumuşak ve sert zemin gruplarının sönüm oranı %5 için süneklik talepleri farkı grafikleri verilmiştir.



Şekil 39 $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için yumuşak ve sert zeminin gruplarının süneklik taleplerinin karşılaştırılması

Yumuşak ve sert zemin gruplarının sönüm oranı %10 için süneklik talepleri farkı grafikleri verilmiştir.



Şekil 40 $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için yumuşak ve sert zeminin gruplarının süneklik taleplerinin karşılaştırılması

6.3 Ortalama R_{μ} - μ -T için Regresyon Analizi

Burada istatistiksel sonuçlar neticesinde ve R_{μ} için aşağıda verilen sınır koşullarına bağlı olarak ortalama R_{μ} - μ -T için regresyon analizi yapılarak tahmini denklemi verilmiştir. T burada sistemin doğal titreşim periyodu, μ süneklik oranı ve a,b,c,d ise regresyon parametreleri olarak sert ve yumuşak zemin sınıfları için verilen katsayılardır. Tablo 1 ise regresyon parametrelerini özetlenmektedir.

$$R_{\mu} (T \rightarrow 0, \mu) = 1 \quad R_{\mu} = \frac{\mu-1}{1 + \frac{aT+b}{cT^2+dT}} + 1$$

$$R_{\mu} (T, \mu=1) = 1$$

Tablo 4 Regresyon analizi sonucunda bulunan farklı zeminler için uygun katsayılar

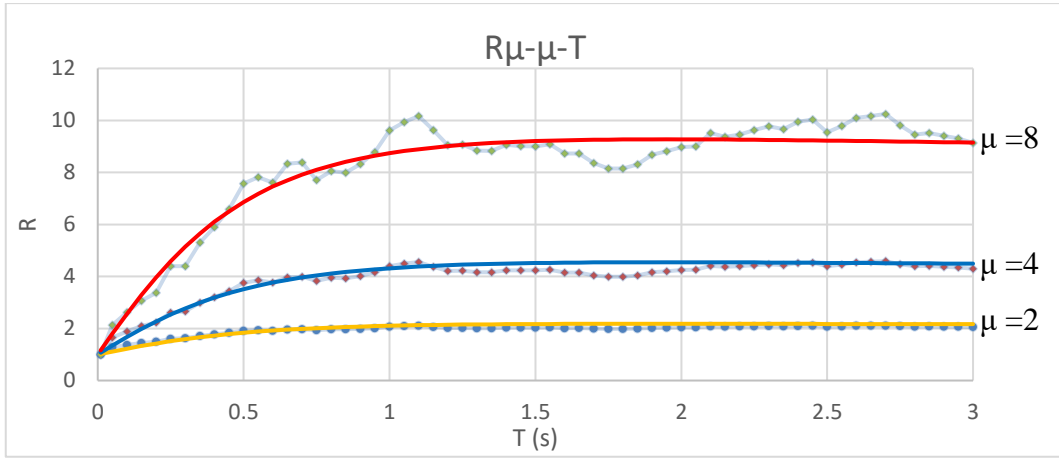
| Zemin sınıfları | a | b | c | d |
|-----------------|--------|-------|--------|--------|
| Sert Zemin | 0.60 | 0.38 | 0.035 | 3.98 |
| Yumuşak Zemin | -84.88 | 61.27 | 105.29 | 141.79 |

6.4 Ortalama R_{μ} - μ -T Spektrumun Araştırmacılarla Karşılaştırılması

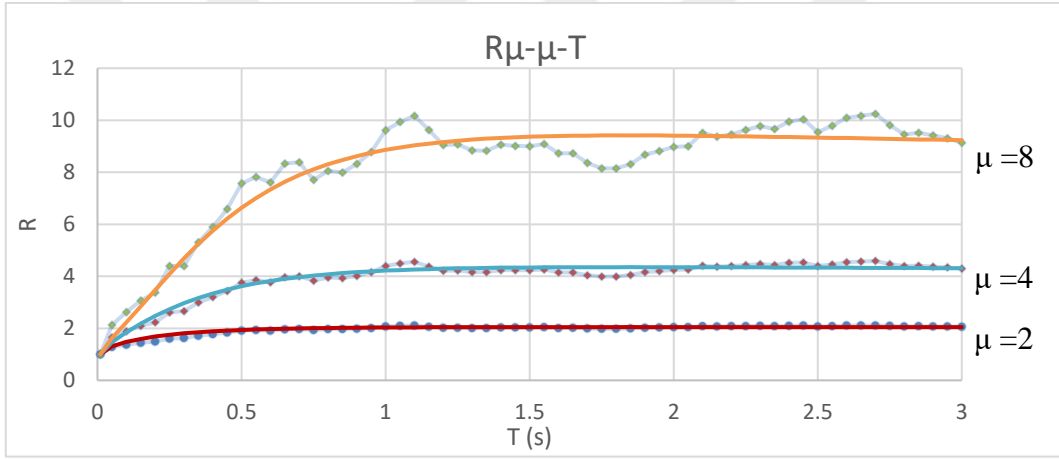
Sert ve yumuşak zeminlerin ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu analizler sonucu elde edilen ve ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu dikkate alınarak bulunan R_{μ} - μ -T regresyon eğrisi, Krawinkler ve Nassar ile Newmark ve Hall'ın önerdiği R_{μ} - μ -T tasarım spektrumuyla karşılaştırması yapılarak aralarındaki farklar irdelenmiştir

Yumuşak zemin grubunun sönüm oranı %5 için ortalama R_{μ} - μ -T spektrumu, regresyon eğrisi, Krawinkler ve Nassar, Newmark ve Hall R_{μ} - μ -T spektrumları ile karşılaştırılarak aralarındaki farklar incelenmiş ve grafikleri verilmiştir.

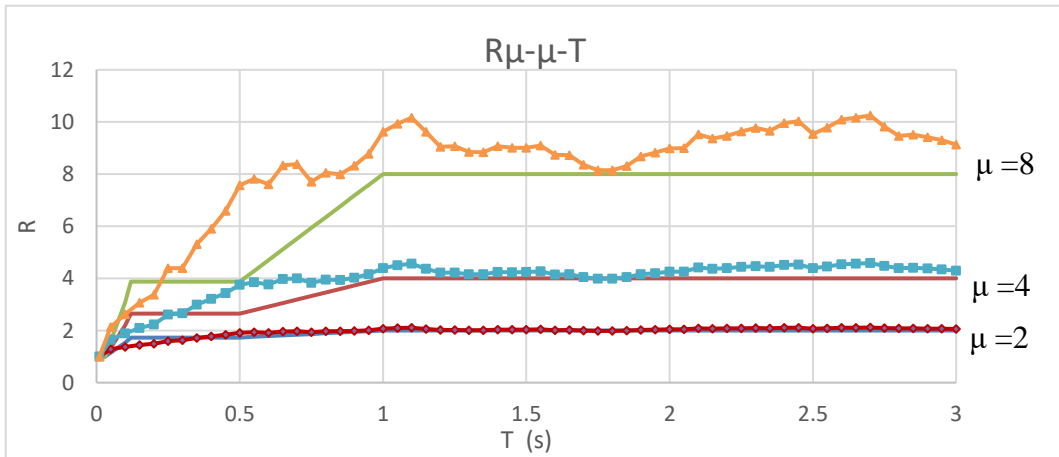
(a)



(b)

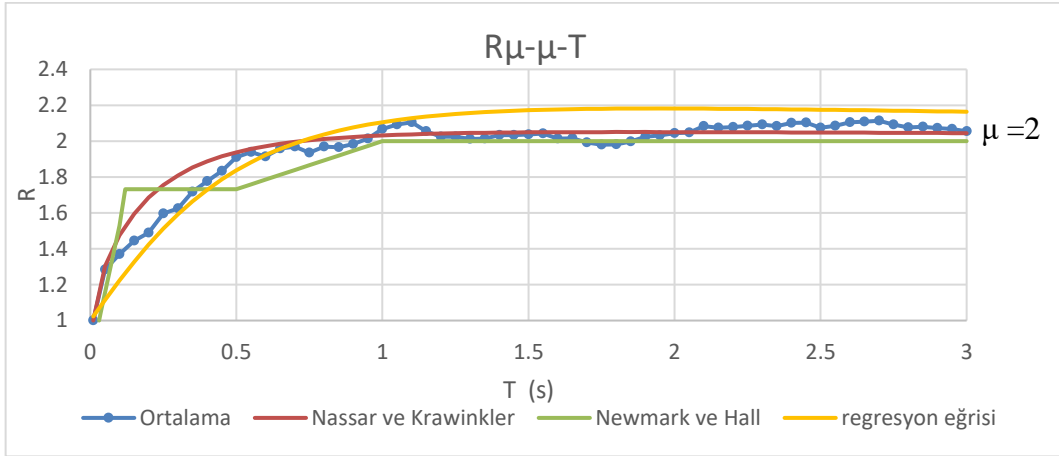


(c)

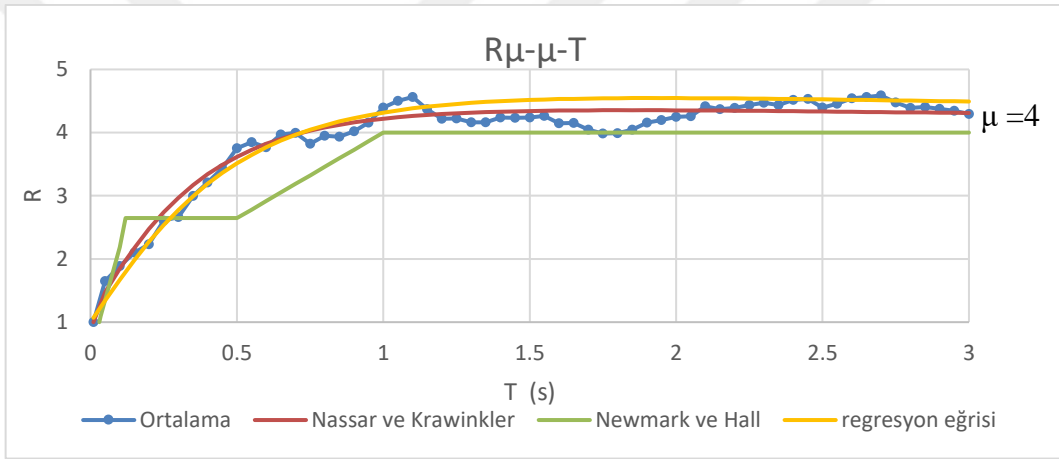


Şekil 41 sönüm oranı %5 için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumunun a) Regresyon eğrisi, b) Krawinkler ve Nassar, c) Newmark ve Hall karşılaştırılması

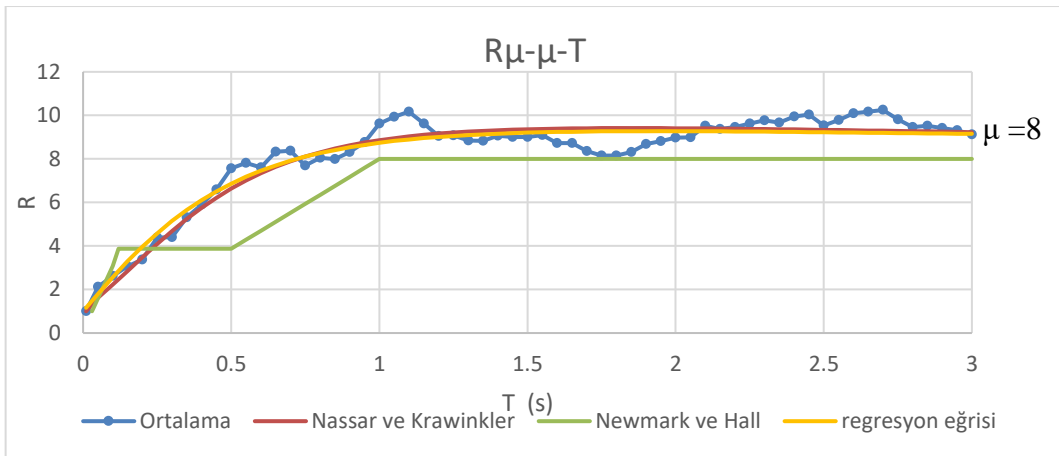
(a)



(b)



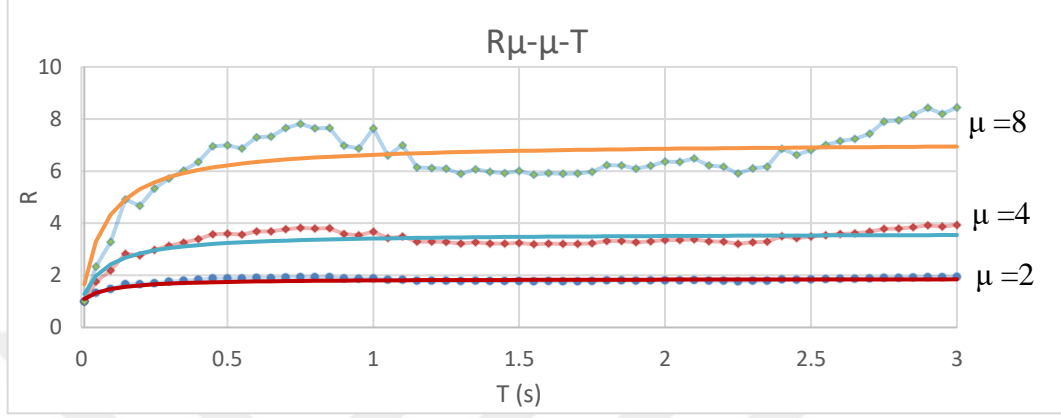
(c)



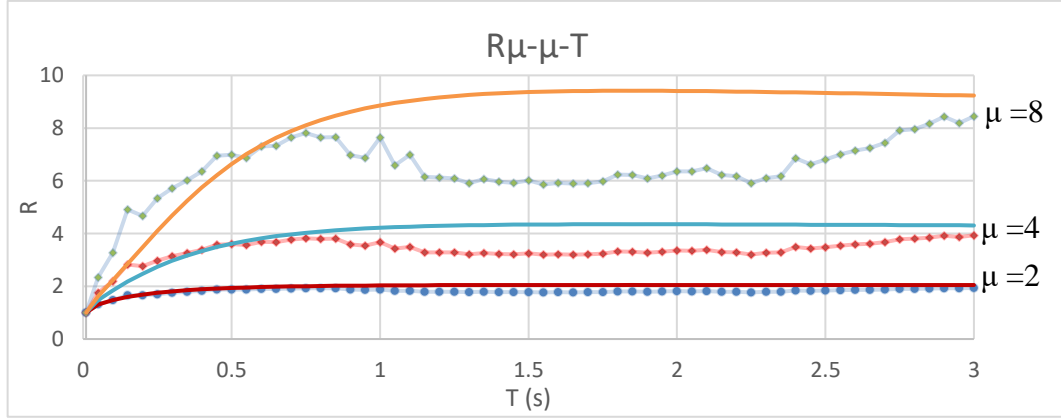
Şekil 42 a) $\mu = 2$, b) $\mu = 4$, c) $\mu = 8$ için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumun, araştırmacıların spektrumlarıyla karşılaştırılması

Sert zemin grubunun sönüm oranı %5 için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu, regresyon eğrisi, Krawinkler ve Nassar, Newmark ve Hall $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumları ile karşılaştırılarak aralarındaki farklar incelenmiş ve grafikleri verilmiştir.

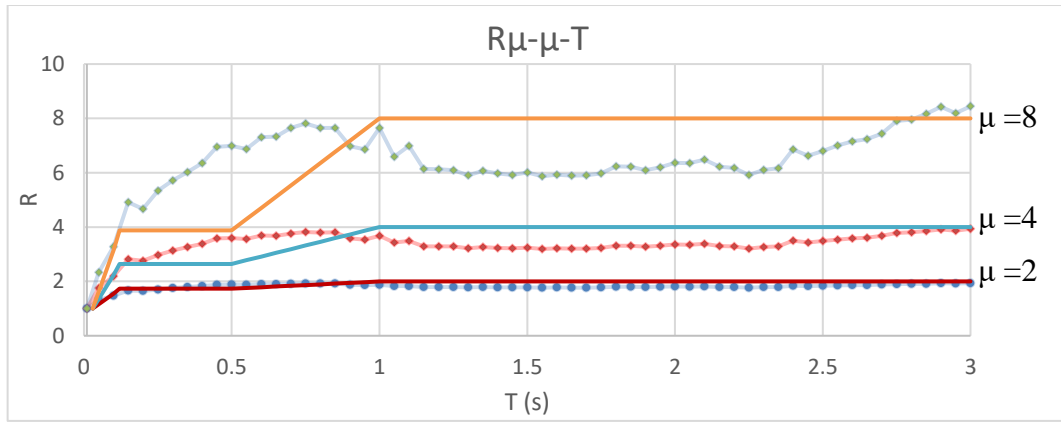
(a)



(b)

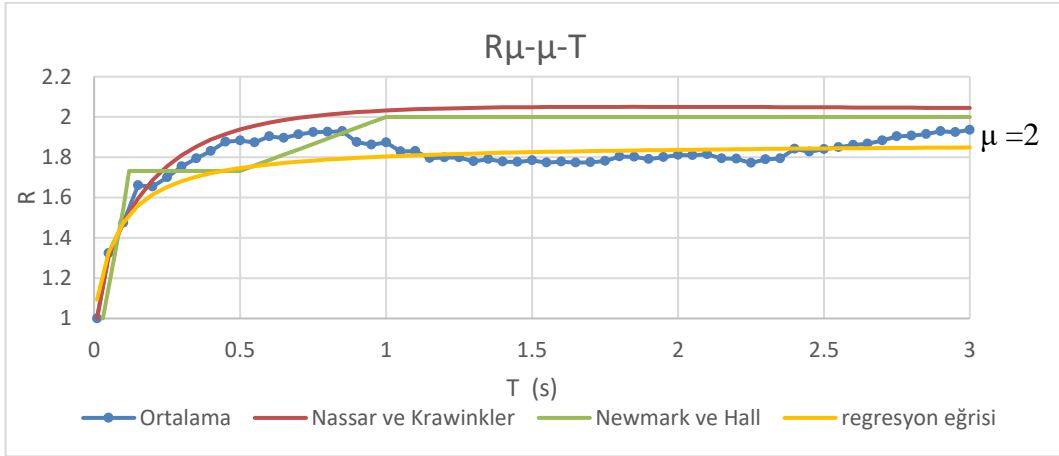


(c)

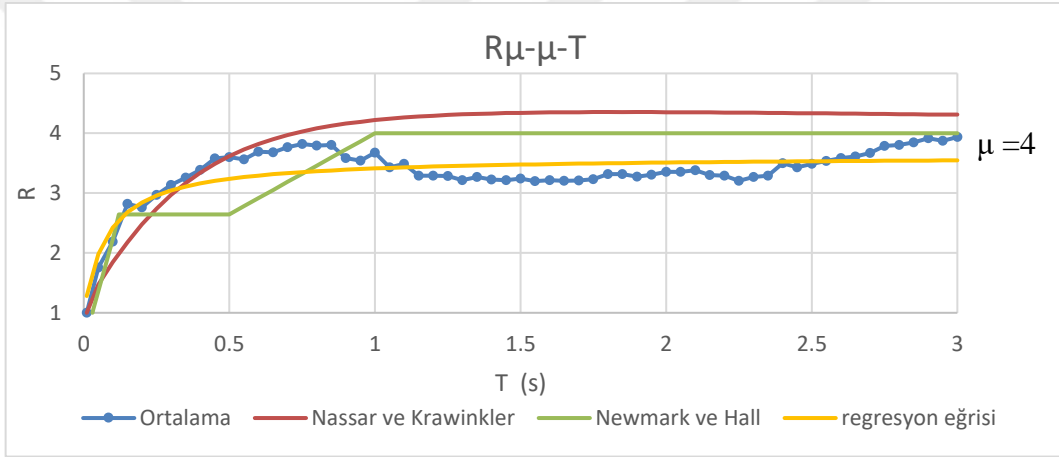


Şekil 43 sönüm oranı %5 için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumunun a) Regresyon eğrisi, b) Krawinkler ve Nassar, c) Newmark ve Hall karşılaştırılması

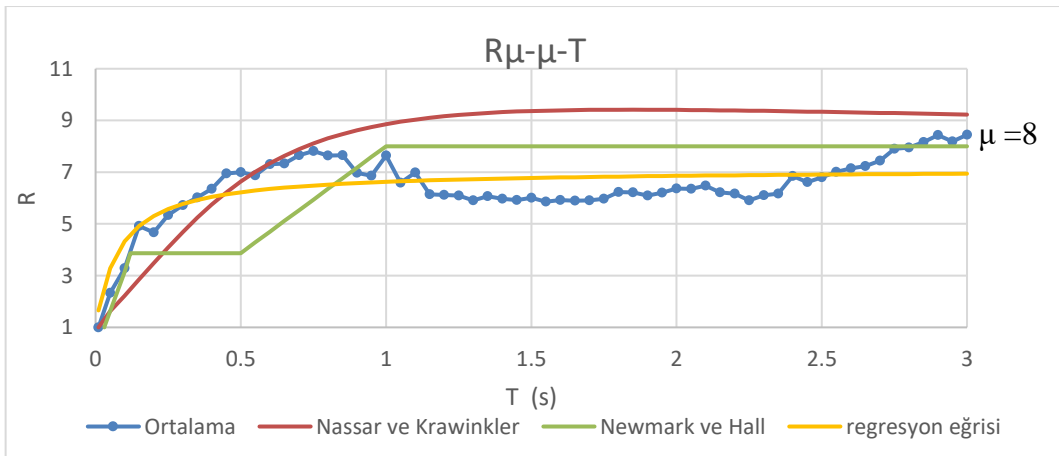
(a)



(b)



(c)

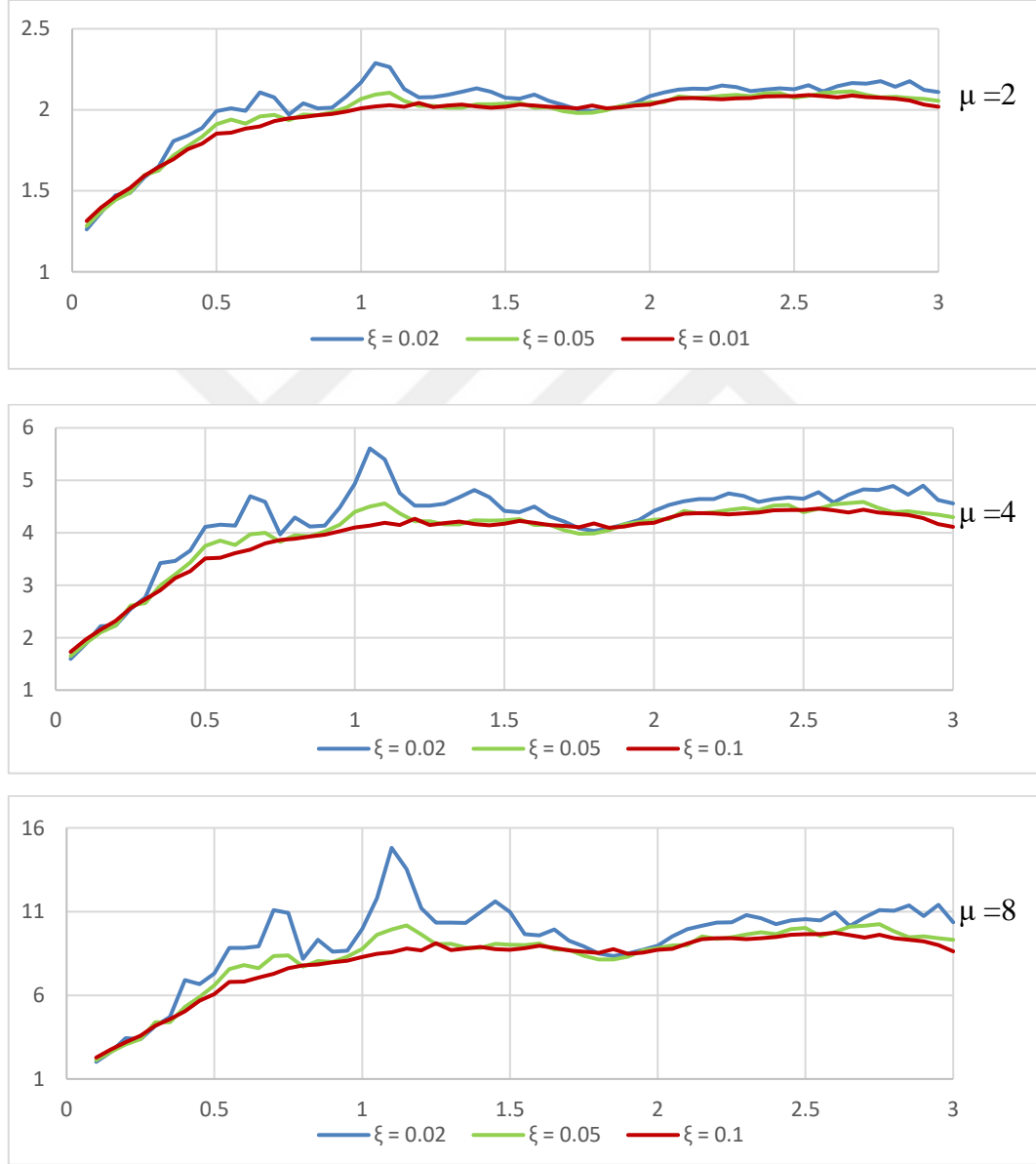


Şekil 44 a) $\mu=2$, b) $\mu=4$, c) $\mu=8$ için ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumun, araştırmacıların spektrumlarıyla karşılaştırılması

6.6 sönümün ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu üzerindeki etkisi

Sönüm oranları %2, %5 ve %10 ile sönümün ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu üzerindeki etkisi incelenmiştir.

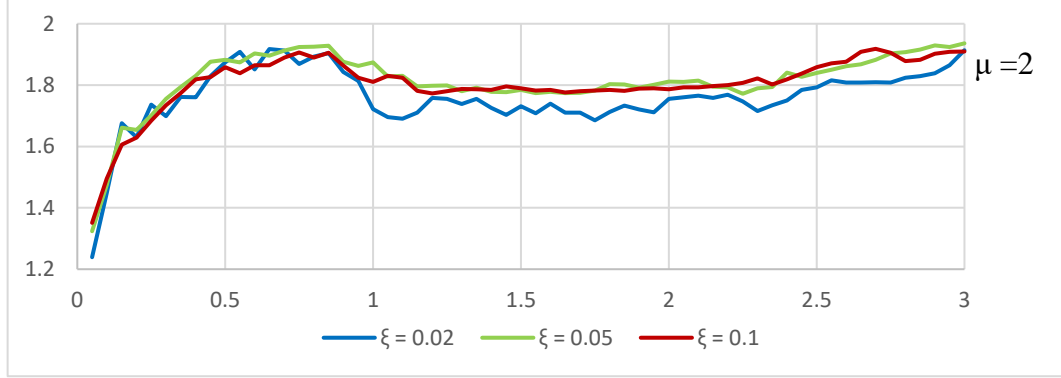
Yumuşak zemin grubu için farklı sönüm oranlarına bağlı olarak ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumunun sırasıyla $\mu = 2, 4, 8$ grafikleri aşağıda verilmiştir.



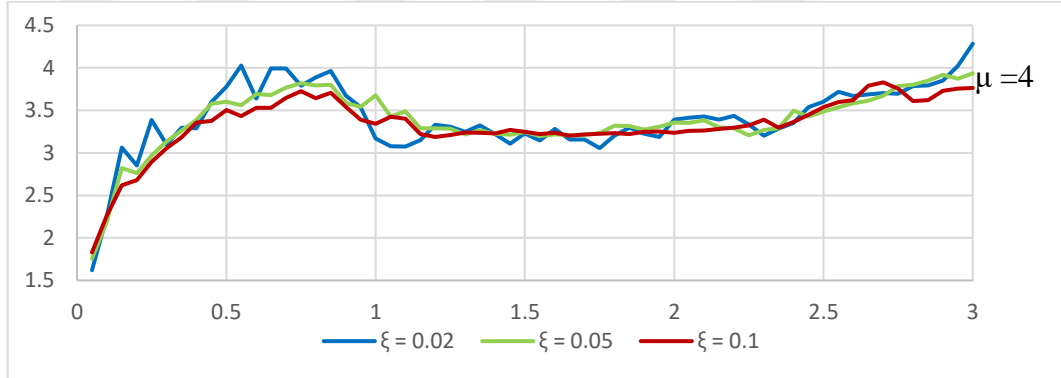
Şekil 45 farklı sönüm değerlerinin a) $\mu = 2$, b) $\mu = 4$, c) $\mu = 8$ sönümlü spektrumu üzerindeki etkisi (yumuşak zemin grubu)

Sert zemin grubu için farklı sönüm oranlarına bağlı olarak ortalama $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumunun sırasıyla $\mu = 2, 4, 8$ grafikleri aşağıda verilmiştir.

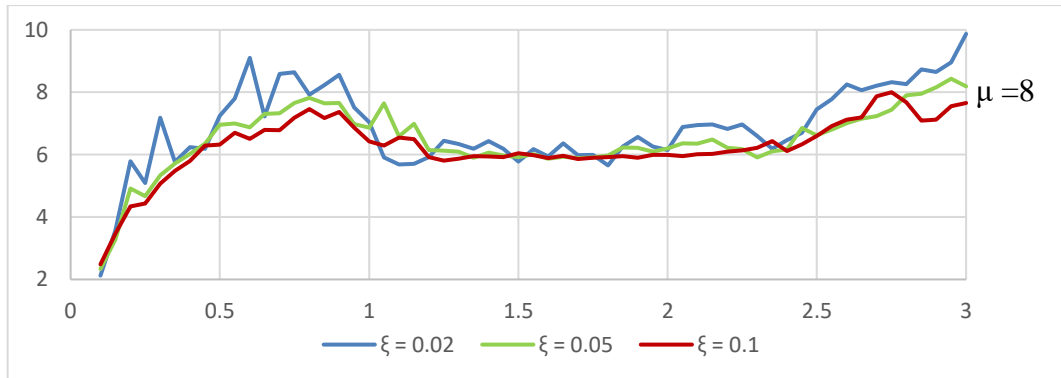
(a)



(b)



(c)



Şekil 46 farklı sönüm değerlerinin a) $\mu = 2$, b) $\mu = 4$, c) $\mu = 8$ süneklik spektrumu üzerindeki etkisi (sert zemin grubu)

BÖLÜM 7. SONUÇLAR

Bu çalışmada TSD sistemin zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizi ile elastoplastik çevrimsel davranış modeli kullanılarak düzeltilmiş 44 adet kuvvetli yer hareketi yumuşak ve sert zemin grubu olarak gruplandırılmış ve TSD sistemi için analizler yapılmıştır. Belirli sabit μ değerlerine karşılık ivme, hız, yer değiştirme spektrumları ve $R \mu - \mu - T$ arasındaki ilişki elde edilmiştir.

Elastik ötesi davranışa izin verilen TSD sisteminin akma dayanımı, TSD sistemin elastik kalması için gereken dayanımdan daha küçüktür. Şekil 22-25-28-31'de anlaşıldığı gibi süneklik oranı arttıkça gereken akma dayanımın azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak Süneklik oranı arttıkça dayanımdan azalma artsa da bu artma hızı giderek düşmüştür.

μ ile u_e arasında göreceli bir ilişki olduğu ve bu ilişkinin sistemin doğal periyodu T_n , yer hareketi özelliklerine ve diğerlerine göre önemli ikinci husus olan sönümüne bağlıdır.

Elastik ötesi yer değiştirme spektrumlarında gözlemlendiği gibi şekil 24-27-30-33 kısa periyot bölgesinde μ Elastik ötesi yer değiştirmenin tepe değeri, elastik sistemin yer değiştirme tepe değeri u_e , akma dayanımı düştükçe ve T_n periyodu azaldıkça μ değerinin u_e yi aştığı gözlemlenmiştir. Orta periyot bölgesinde μ değerinin u_e değerinden büyük veya küçük olduğu ve hem μ hem de u_e , $R \mu$ etkisinde küçük ama göz ardı edilmeyecek kadar düzensiz bir şekilde etkilendiği gözlemlenmiştir. Burada süneklik talebi $R \mu$ değerinden büyük veya küçük olabileceğini gösterir. İleri periyot bölgelerinde ise μ değerinin akma dayanımdan bağımsız olduğu ve nerdeyse u_e elastik yer değiştirme tepe değerine yakınsayacağını gösterir.

Süneklik oranı için izin verilen dayanım azaltması T 'ye bağlı olarak değişir. Kısa periyot bölgesinde $R \mu = 1$ yakınlığı bu da azaltmanın olmadığı anlamına geldiği ve süneklik talebinin dayanım azaltma faktöründen büyük olduğunu gösterir. Orta periyot bölgelerinde ise $R \mu$ değerlerinin T_n 'ye bağlı olarak düzensiz şekilde değişmiş ve ileri periyot bölgelerinde $R \mu$ 'ya yakınsamıştır. Burada tek yer hareketi için Şekil 34-36'de gözlemlendiği gibi T_n periyoduna bağlı olarak spektrum eğrileri düzensiz biçimde değişse de ortalama $R \mu - \mu - T$ şekil 35-37 daha düzgün biçimde değişmiştir.

Yumuşak zemin sahalarından kaydedilen yer hareketlerinin, sert zemin sahalarından kaydedilen yer hareketlerinin sistemden talep ettiği dayanım azaltma faktörü arasında farklılıklar gözlemlenmiştir. Kısa periyot yapılarda genellikle yumuşak zeminlerin sismik tepkisi, sert zeminlerin sismik tepkisinden büyük olur. Belirli bir $0 \leq T \leq 0.5s$ periyod aralığına kadar sert zemin sismik tepkisi yumuşak zemin tepkisinden azdır. Bu nedenle sert zemin grubunun dayanımı azaltma faktörü, yumuşak zemin grubu dayanımı azaltma faktöründen daha büyük değer almıştır. İleri periyot bölgelerinde ise birbirine yakınsayacağını gösterir.

Burada istatistiksel sonuçlar neticesinde ve R_μ için verilen sınır koşullarına bağlı olarak ortalama R_μ - μ -T için regresyon analizi yapılmıştır ve elde edilen sonuçlara göre regresyon analizi sert zemin R_μ - μ -T spektrumu için daha uyumlu davranış göstermiştir.

Süneklik değerleri için $\mu = 4,8$ için yumuşak zemin grubunun şekil 42’de ortalama R_μ - μ -T spektrumun, Newmark ve hall ile Nassar ve Krawinkler R_μ - μ -T spektrumları ile karşılaştırılmış ve ortalama R_μ - μ -T spektrumunun Nassar Krawinkler spektrumuyla daha uyumlu davranış gösterdiği gözlemlenmiştir. Yumuşak zemin grubu $\mu=2$ değeri $0 \leq T \leq 0.5s$ periyoduna kadar ortalama dayanım azaltma faktörü değeri Nassar Krawinkler dayanım azaltma faktörü değeri altında kalsa da ileri periyot bölgelerinde uyumlu davranış göstermiştir. Süneklik değerleri için $\mu = 4,8$ için sert zemin grubunun şekil 44’de $0 \leq T \leq 0.5s$ periyodu arasında ortalama R_μ - μ -T spektrumunun dayanım azaltma faktörü talebi tasarım spektumlarının dayanım azaltma faktörü talebi değerinden yüksek olsa da orta periyot bölgesinde tasarım spektrumuna göre R_μ değeri daha düşük kalmıştır. İleri periyot bölgesinde ise R değeri μ değerine yakınsayacağını gösterir.

Akmanın ve sönümün etkilerinin hem benzerlik hem de farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Üç farklı sönüm oranı (%2 %5 %10) ve $\mu =2, 4, 8$ için aynı grafik üzerinde birbirlerine göre görece etkileri gözlemlenebilir. Her ikisi de Şekil 22-25-28-31 de gözlemlendiği gibi ivme S_{ai} ’yi tepe değerini ve yanal kuvvetin tepe değerini azaltmasıdır. Doğal titreşim periyodunun sifıra yaklaştığı durumda ivme değerinin maksimum yer ivmesi tepe değerine yaklaştığı akma ve sönümden etkilenmediği gözlemlenmiştir. Şekil 27-33 de ileri periyot bölgelerinde, sönümün etkisinin yer değiştirme spektrumu üzerinde etkisi çok küçüktür. Akmanın etkisi ileri periyot bölgelerinde um üzerinde etkisi pek hissedilmez. Sönümün şekil 23-26-29-32

gözlemlendiği gibi hız spektrumlarında sönüm sistemin tepkisini azaltmakta ve akmanın etkisi hız spektrumlarında daha da kuvvetlidir.

Elastik ötesi davranış gösteren sistemler, elastik davranış gösteren sistemlere göre sönümün etkisi daha küçüktür ve Elastik ötesi yer değiştirme artıkça sönümün etkisi azalır.

Sönümün, dayanım azaltma faktörü üzerinde etkisi olsa da bu etki kuvvetli olmadığından tasarımda göz ardı edilir.



EK'LER

Filtrelenmiş kuvvetli yer hareketi kayıtlarından TSD sistemlerin doğrusal elastik ve elastik ötesi sistemlerin deplasman, hız ve ivme tepki spektrumlarını elde etmek için sunulan bilgisayar hesap algoritmaları verilmiştir. Diğer ekler kısmında ise yer değiştirme, hız ve ivme tepki spektrumları ve R μ - μ -T spektrumları verilmiştir.

EK1a: Newmark sabit ortalama yöntemi ile doğrusal sistemler için çözüm algoritması

1) Başlangıç hesaplamaları

a) $\hat{u}=0$ ve $u=0$

b) m, c, k, ω_n

c) $\ddot{u}_0 = \frac{1}{m} (F_0 - c\dot{u}_0 - ku_0)$

2) uygun zaman adımı Δt seçilir

3) efektif rijitliği hesaplanır

$$\hat{k} = k + \frac{2c}{\Delta t} + \frac{4m}{\Delta t^2}$$

4) her zaman adımı için dinamik artım kuvveti hesapla

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left[\frac{4m}{\Delta t} + 2c \right] \hat{u}_i + 2m\ddot{u}_i$$

5) artımlı yer değiştirme için

$$\hat{K}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}$$

6) artımlı hız ve ivme için hesaplama

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{2}{\Delta t} \Delta u_i - 2\hat{u}_i$$

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{4}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{4}{\Delta t} \hat{u}_i - 2\ddot{u}_i$$

7) zamandaki yer değiştirme, hız ve ivmeyi hesapla

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

EK1b: Newmark doğrusal ortalama yöntemi ile doğrusal sistemler için çözüm algoritması

1) Başlangıç hesaplamaları

a) $\hat{u}=0$ ve $u=0$

b) m, c, k, ω_n

c) $\ddot{u}_0 = \frac{1}{m} (F_0 - c\dot{u}_0 - ku_0)$

2) Uygun zaman adımı Δt seçilir

3) Efektif rijitliği hesaplanır

$$\hat{k} = k + \frac{3c}{\Delta t} + \frac{6m}{\Delta t^2}$$

4) Her zaman adımını için dinamik artım kuvveti hesapla

$$\Delta \hat{P}_i = \Delta P_i + \left[\frac{6m}{\Delta t} + 3c \right] \hat{u}_i + \left[3m + c \frac{\Delta t}{2} \right] \ddot{u}_i$$

5) Artımlı yer değiştirme için

$$\hat{k}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}$$

6) Artımlı hız ve ivme için hesaplama

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta u_i - 3\hat{u}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}_i$$

$$\Delta \ddot{u}_i = \frac{6}{\Delta t^2} \Delta u_i - \frac{6}{\Delta t} \hat{u}_i - 3\ddot{u}_i$$

7) Zamandaki yer değiştirme, hız ve ivmeyi hesapla

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

$$\ddot{u}_{i+1} = \Delta \ddot{u}_i + \ddot{u}_i$$

EK1c: Elastoplastik tek serbestlik dereceli sistemler için adım adım çözüm algoritması

1) Başlangıç hesaplamaları

a) $\hat{u}=0$ ve $u=0$

b) $m, c, k, \omega_n, f_y, -f_y$

c) $\ddot{u}_0 = \frac{1}{m} (F_0 - c\dot{u}_0 - ku_0)$

2) Uygun zaman adımı Δt seçin

3) Akma noktalarını hesapla

$$+u_y = \frac{f_y}{k} \quad \text{ve} \quad -u_y = \frac{-f_y}{k}$$

Her zaman için;

1) Sistemin elastik veya plastik durumunu belirlemek için aşağıdaki kodu kullan

Anahtar = 0 (elastik davranış)

Anahtar = -1 (elastik davranış basınçta)

Anahtar = 1 (elastik davranış çekmede)

2) Zaman adımının sonunda yer değiştirme ve hızı hesaplayın ve aşağıdaki koşullara

göre anahtar değerini verin

a) Sistem zaman adımı başlangıcında elastik davranıyorsa

$$-u_y < u_i < +u_y \quad \text{anahtar} = 0$$

$$u_i > +u_y \quad \text{anahtar} = 1$$

$$u_i < -u_y \quad \text{anahtar} = -1$$

b) Sistem zaman adımı başlangıcında çekmede plastik davranıyorsa

$$\hat{u} > 0 \quad \text{anahtar} = 1$$

$$\hat{u} < 0 \quad \text{anahtar} = 0$$

c) Sistem zaman adımı başlangıcında basınçta plastik davranıyorsa

$$\hat{u} < 0 \quad \text{anahtar} = -1$$

$$\hat{u} > 0 \text{ anahtar} = 0$$

4) Efektif rijitliği hesapla

$$\hat{k} = k + \frac{3c}{\Delta t} + \frac{6m}{\Delta t^2}$$

Eğer;

Anahtar = 0 (elastik davranışta) ise $k = k_{\text{elastik}}$

Anahtar = 1 veya -1 (plastik davranışta) ise $k = 0$

5) Artımlı yer değiştirme için

$$\hat{k}_i \Delta u_i = \Delta \hat{P}$$

6) Artımlı hız

$$\Delta \hat{u}_i = \frac{3}{\Delta t} \Delta u_i - 3\hat{u}_i - \frac{\Delta t}{2} \ddot{u}_i$$

7) Zamandaki yer değiştirme, hızı hesapla

$$u_{i+1} = \Delta u + u_i$$

$$\hat{u}_{i+1} = \Delta \hat{u}_i + \hat{u}_i$$

8) İvmeyi hesapla \ddot{u}_{i+1} dinamik denge denklemini kullanarak hesapla

$$\ddot{u}_{i+1} = [P_{i+1} - c\hat{u}_{i+1} - fs(i+1)]$$

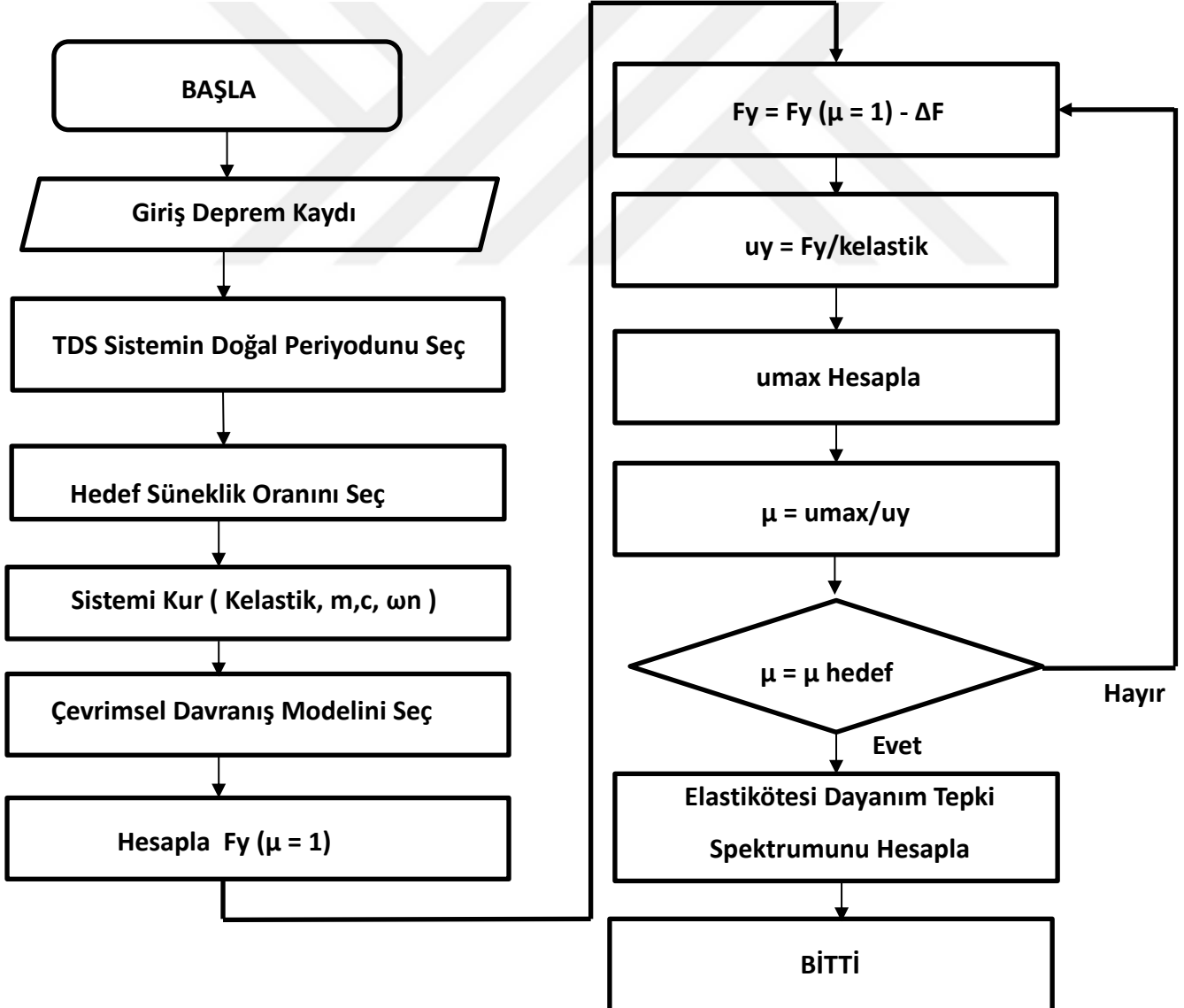
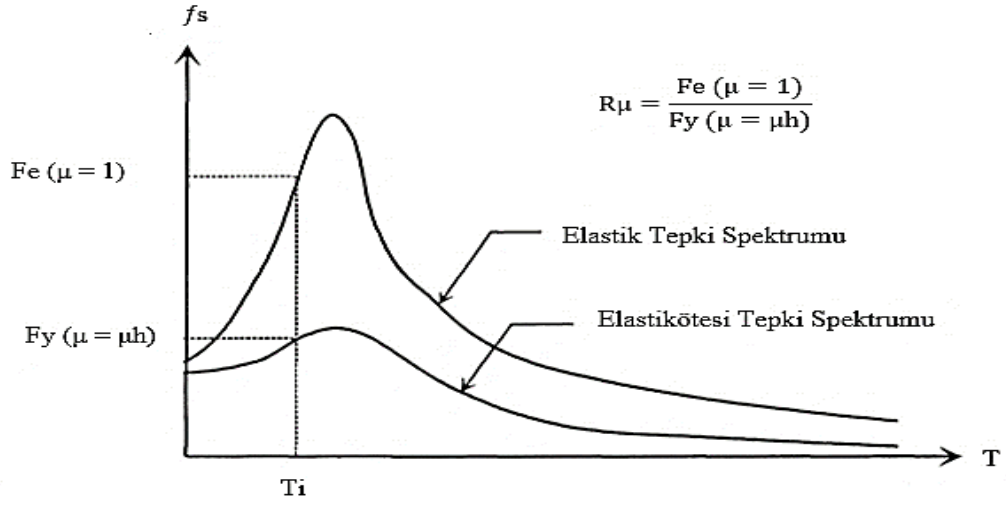
Eğer;

Anahtar = 0 ise $fs_{i+1} = fy - (uy - u_{i+1})k$

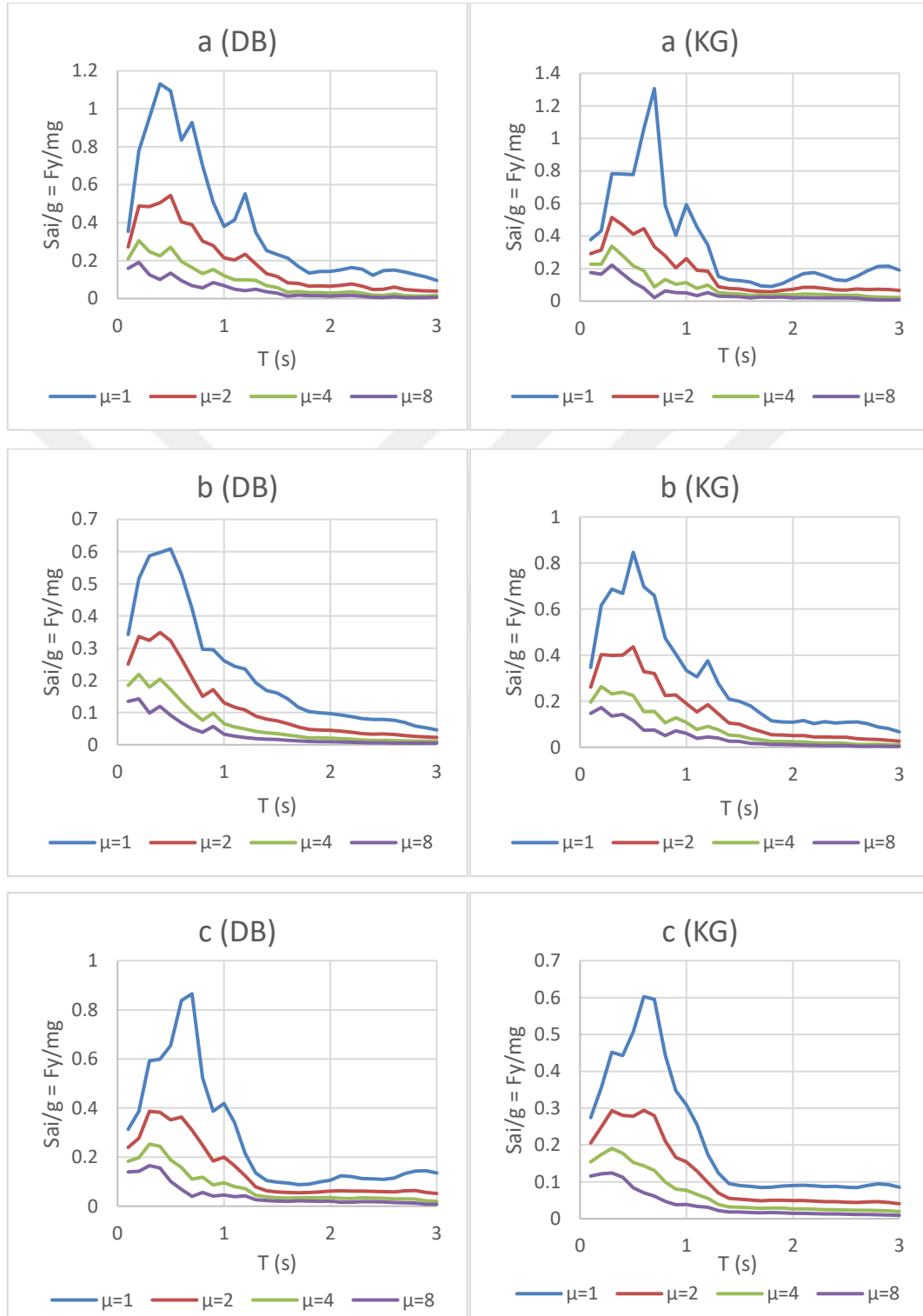
Anahtar = 1 ise $fs_{i+1} = fy$

Anahtar = -1 ise $fs_{i+1} = -fy$

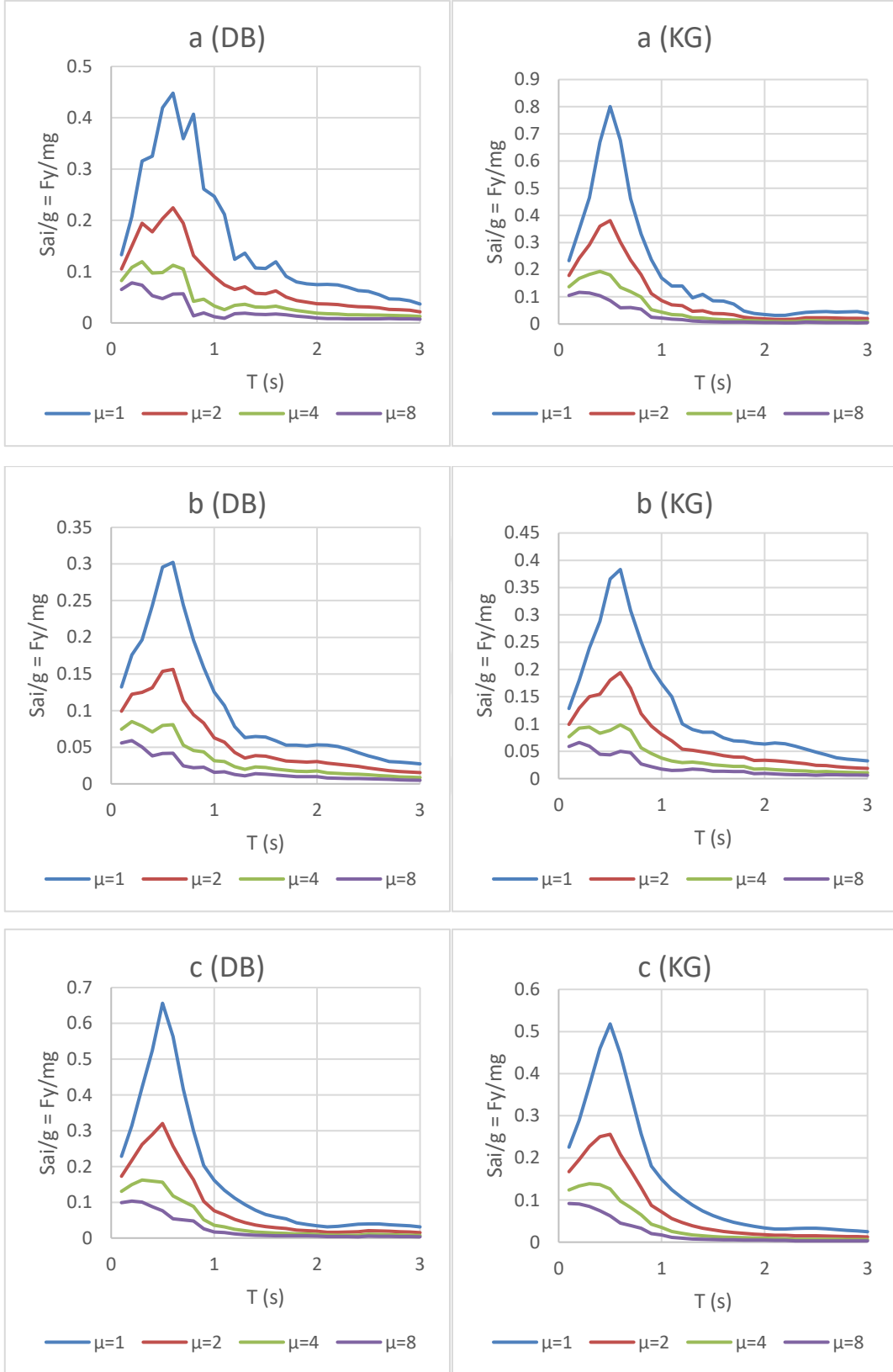
EK1d: Elastoplastik tek serbestlik dereceli sistemler için algoritma akış şeması



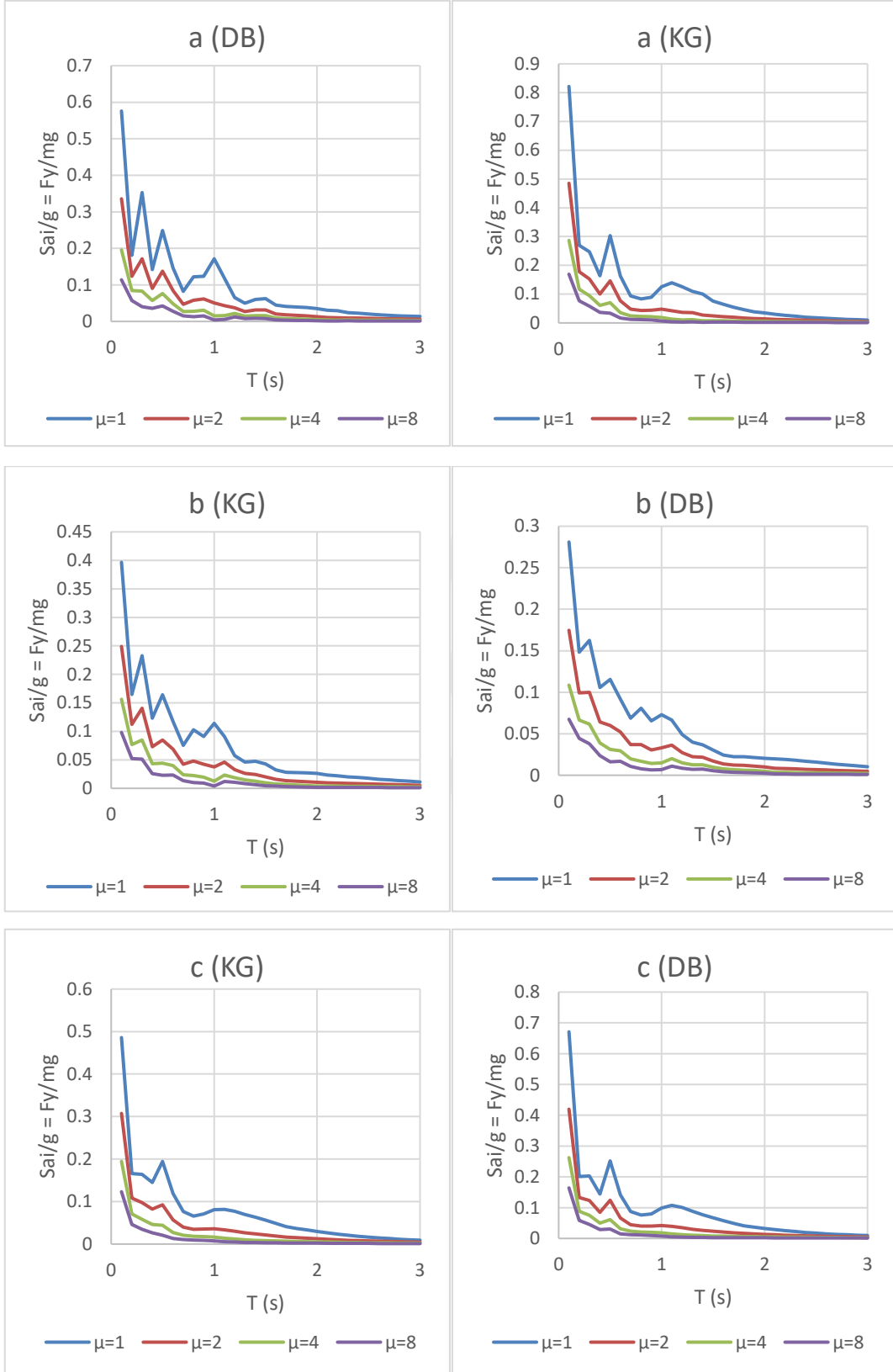
EK2a: Yumuşak zemin grubunun ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumları



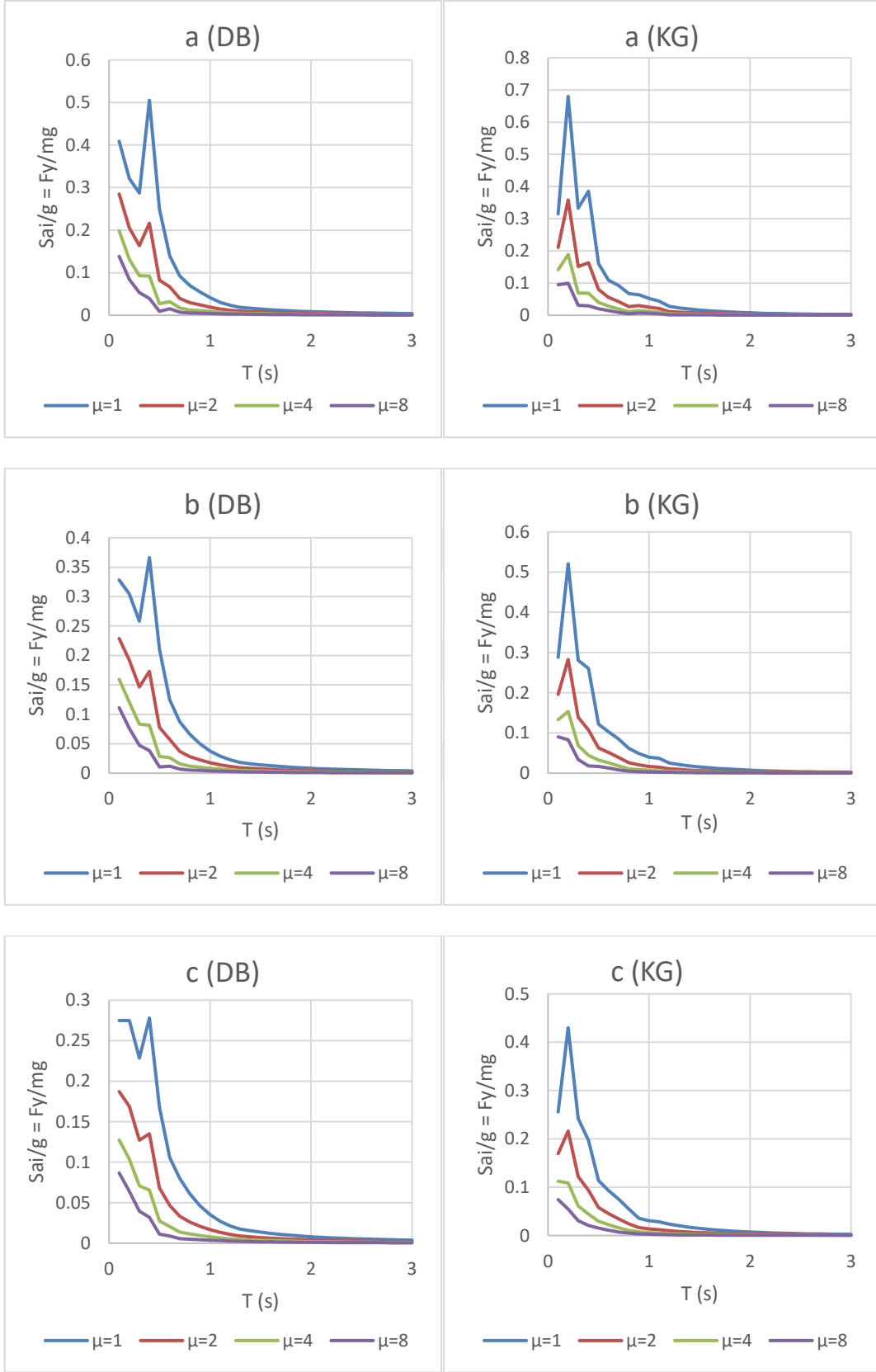
şekil 47 Adana depremi Sönüm oranı a=%2, b= %5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



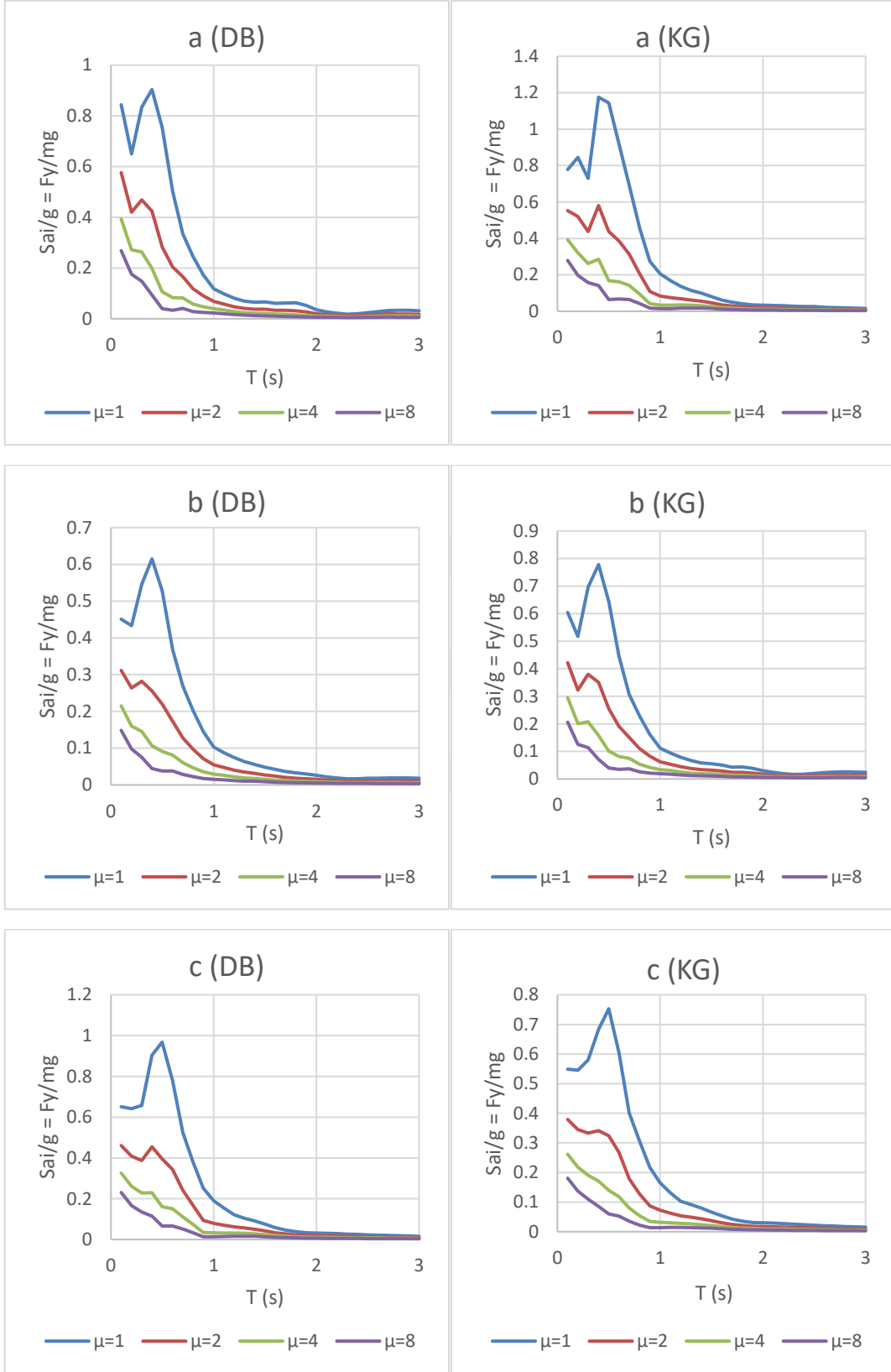
Şekil 48 Afyon depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



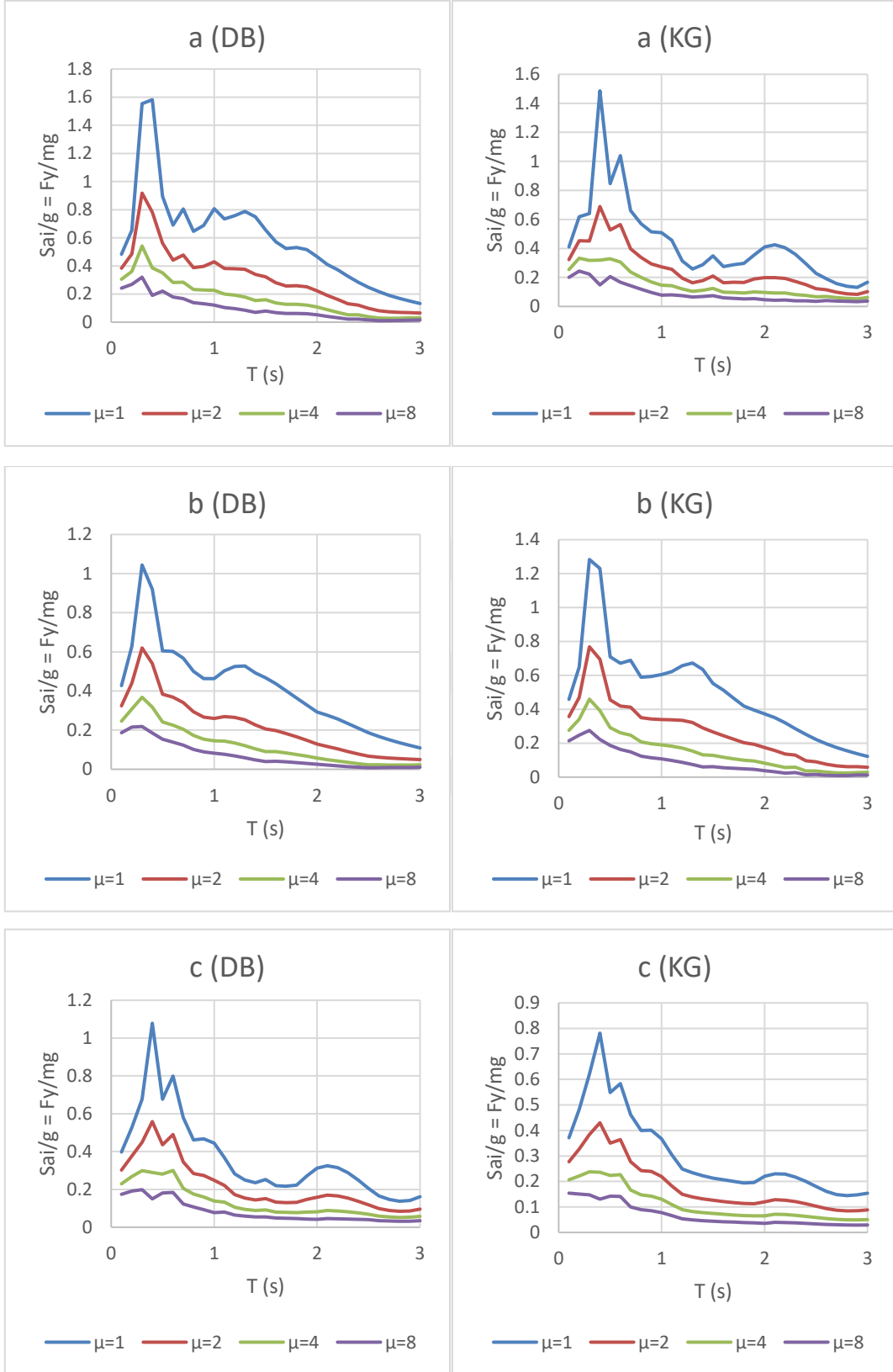
Şekil 49 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



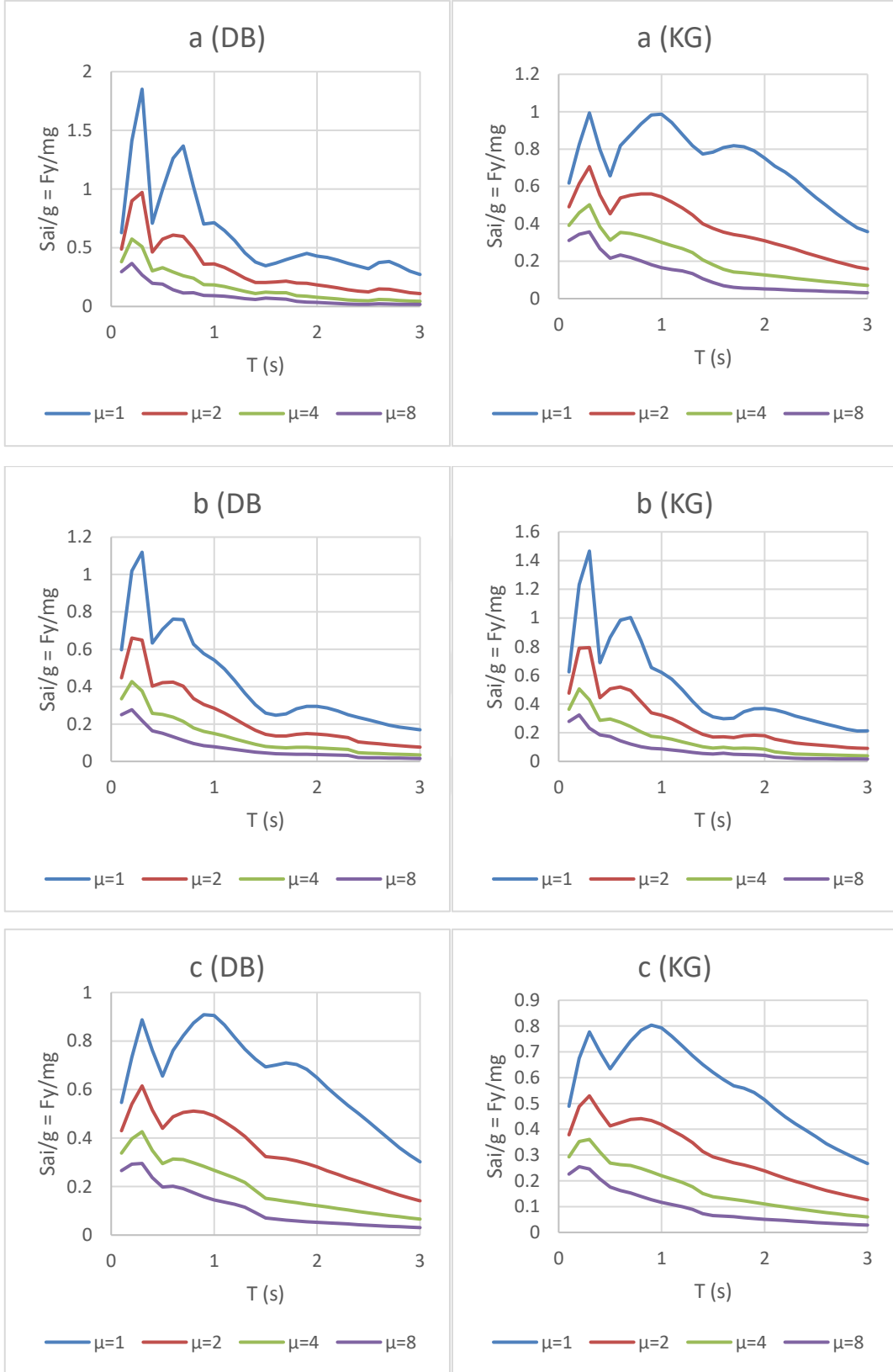
Şekil 50 Bursa depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



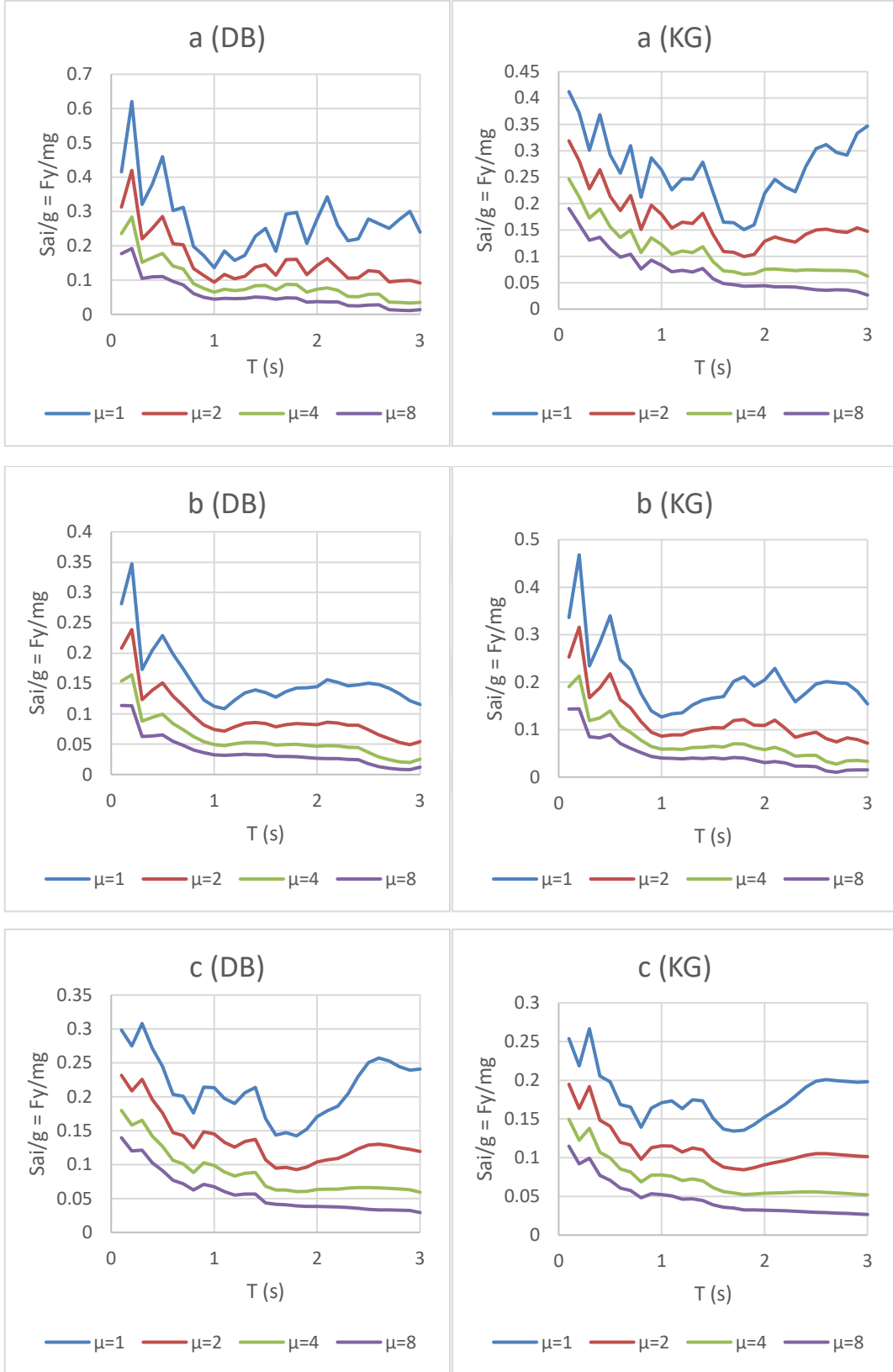
Şekil 51 Denizli depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



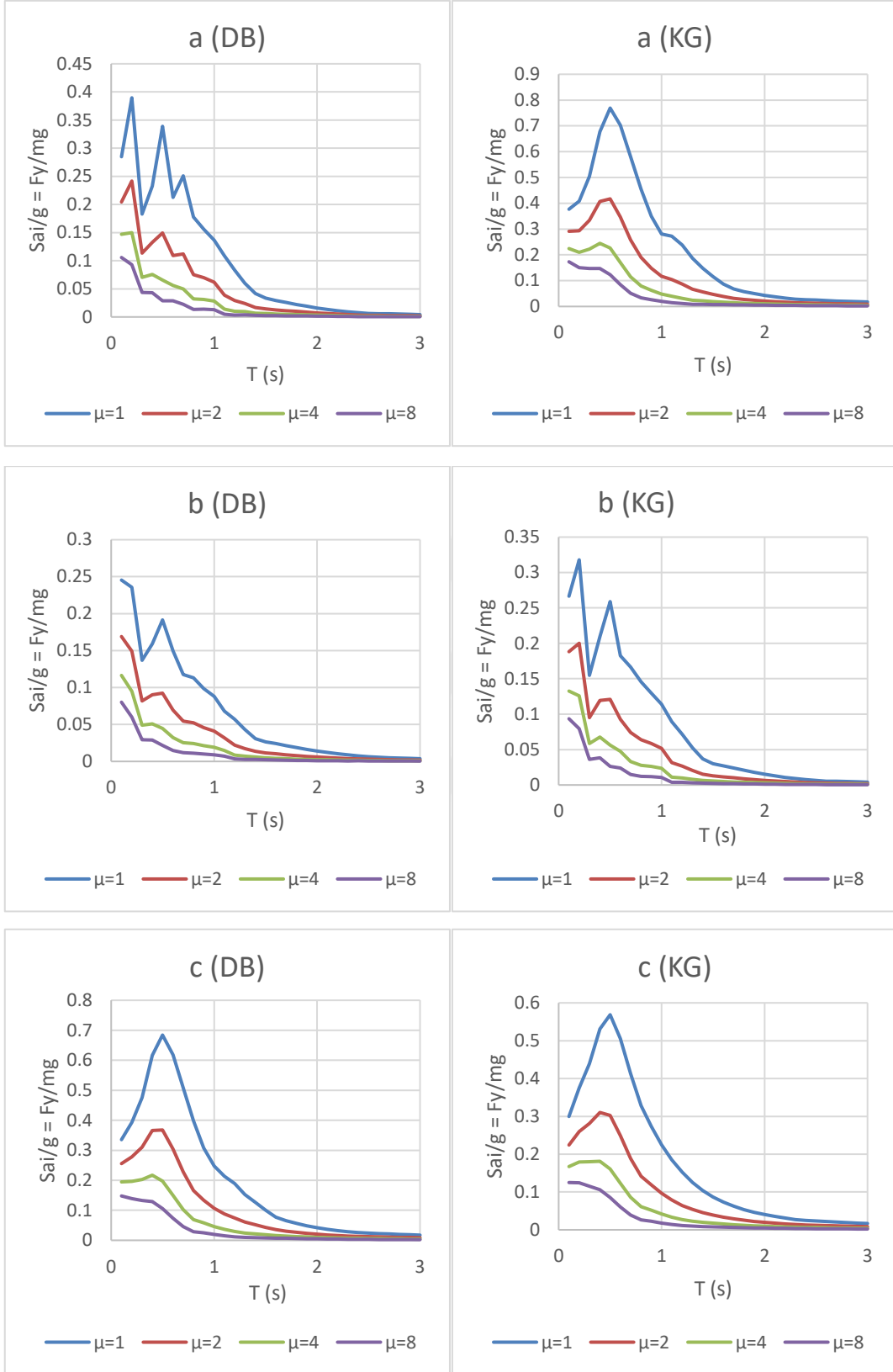
Şekil 52 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



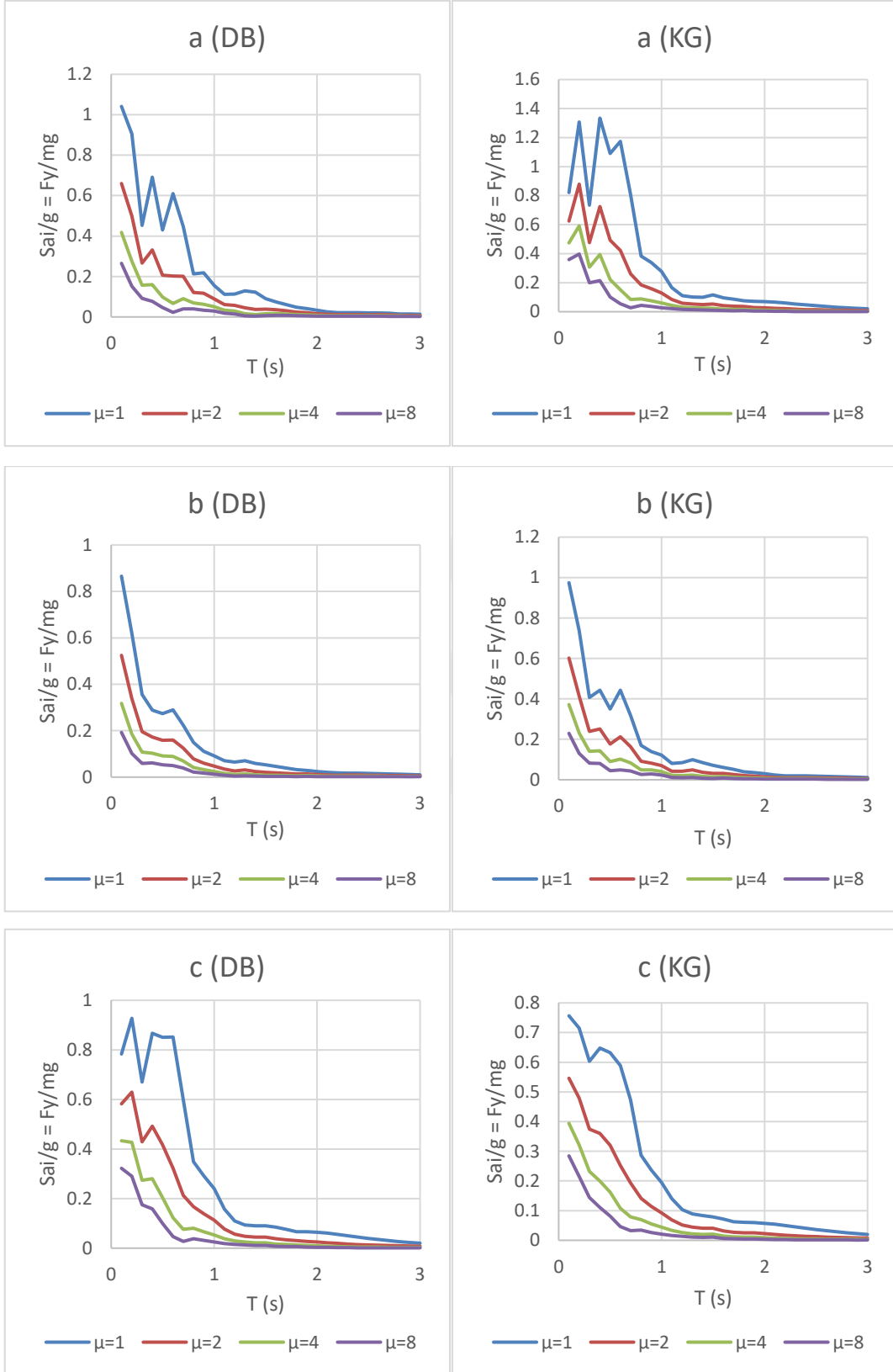
Şekil 53 Erzincan depremi Sönüm oranı $a=2\%$ $b=5\%$ $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



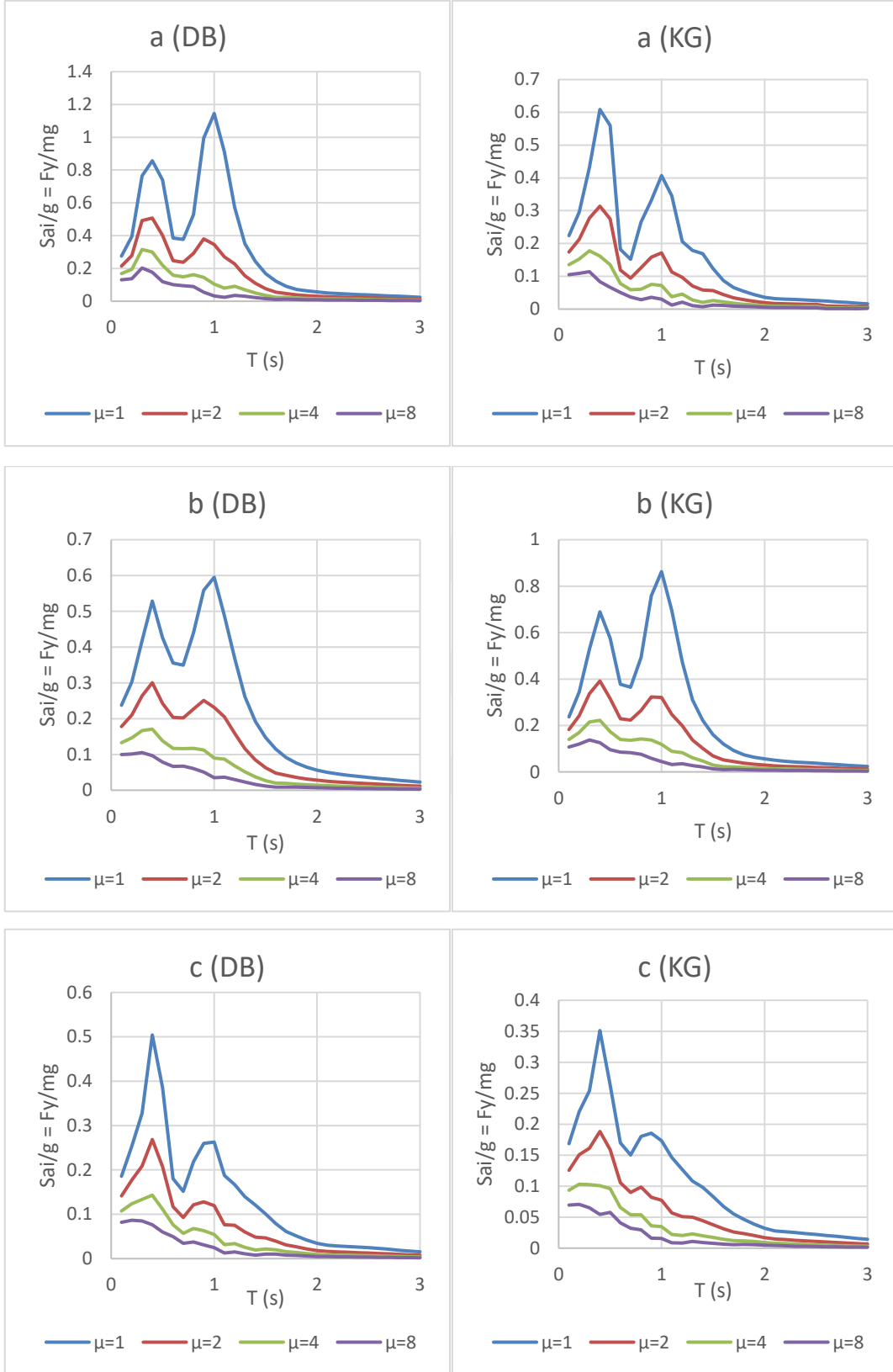
Şekil 54 Erzurum depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



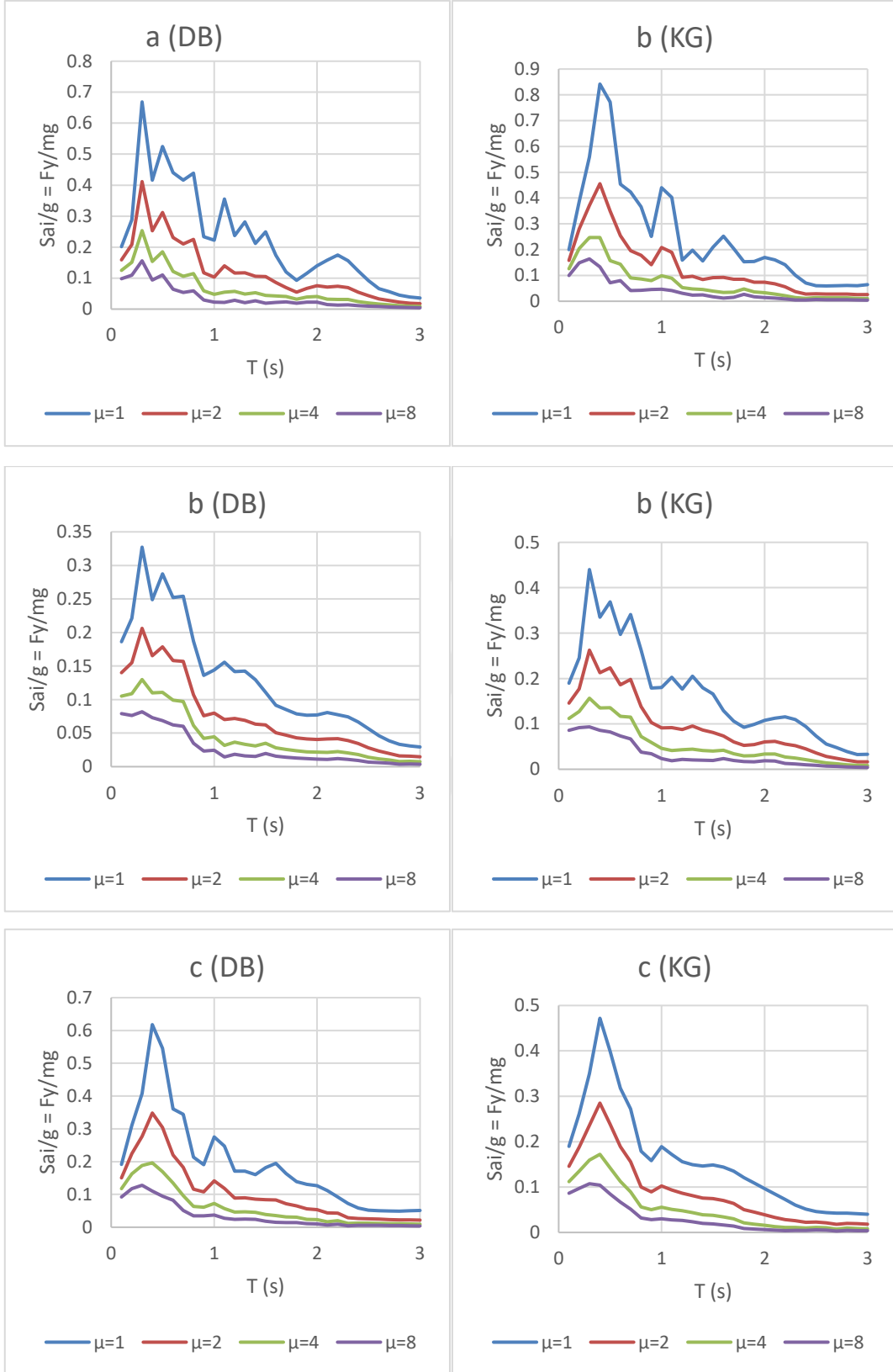
Şekil 55 Kütahya depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



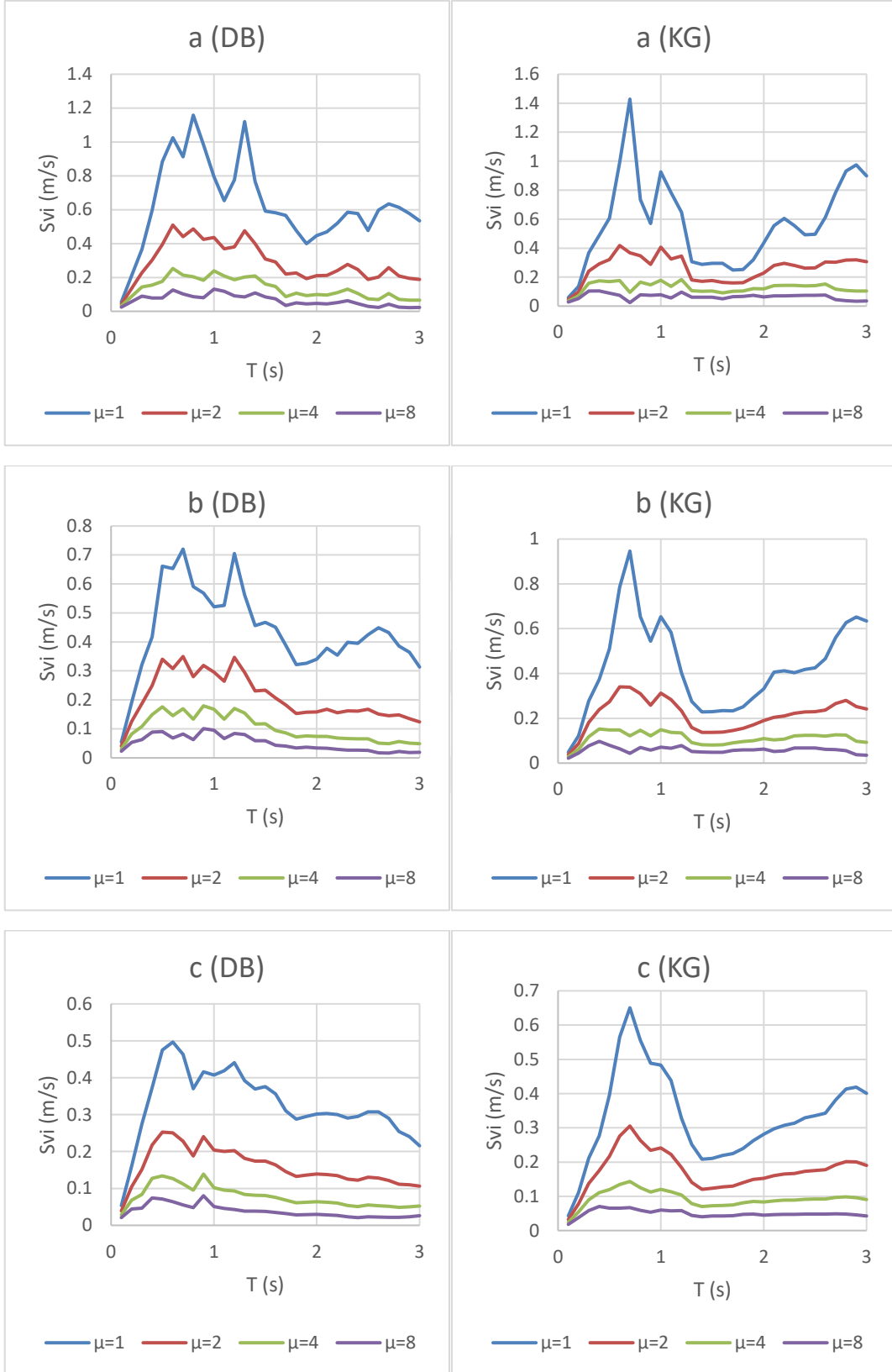
Şekil 56 Manisa depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



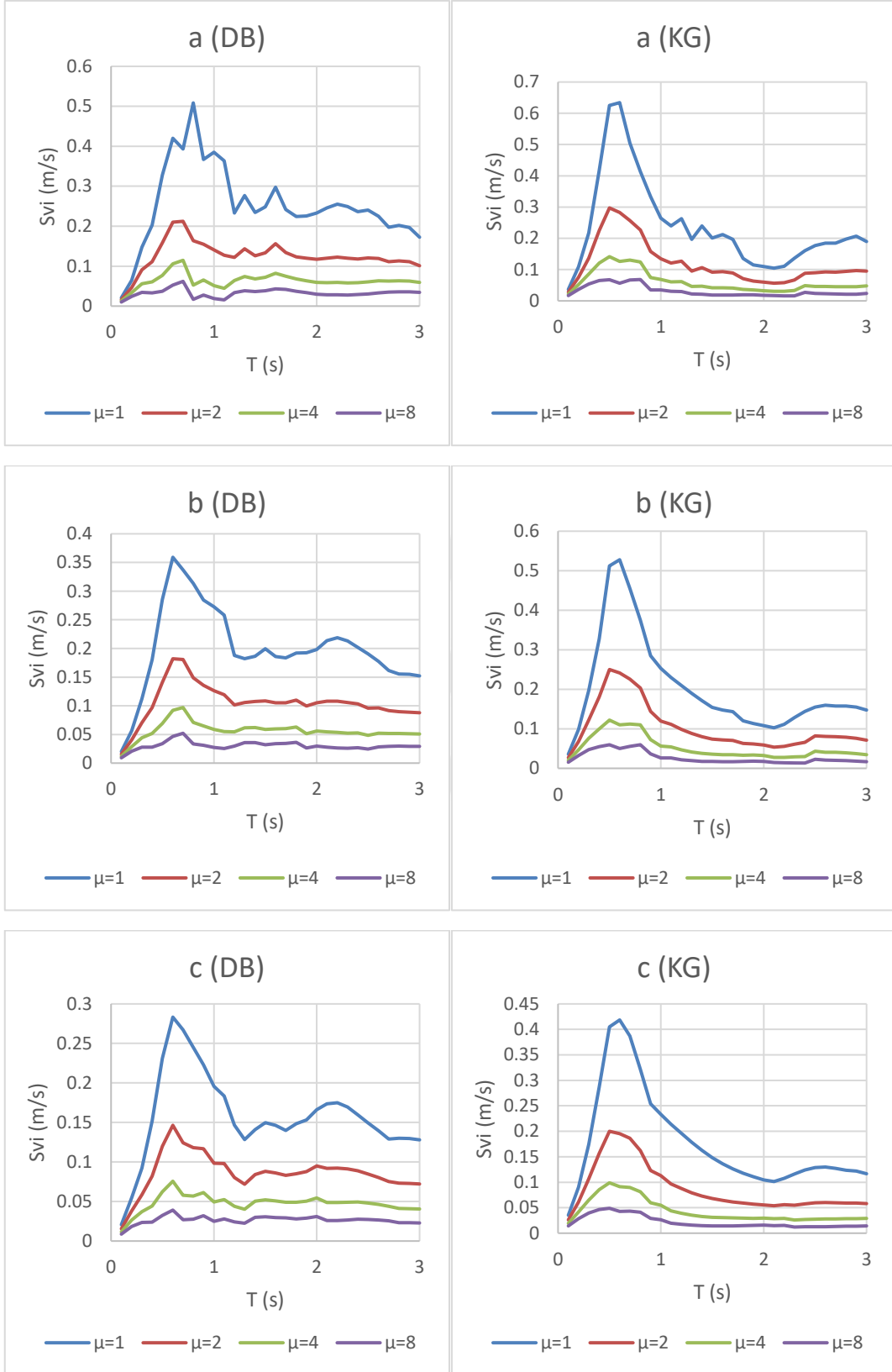
Şekil 57 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



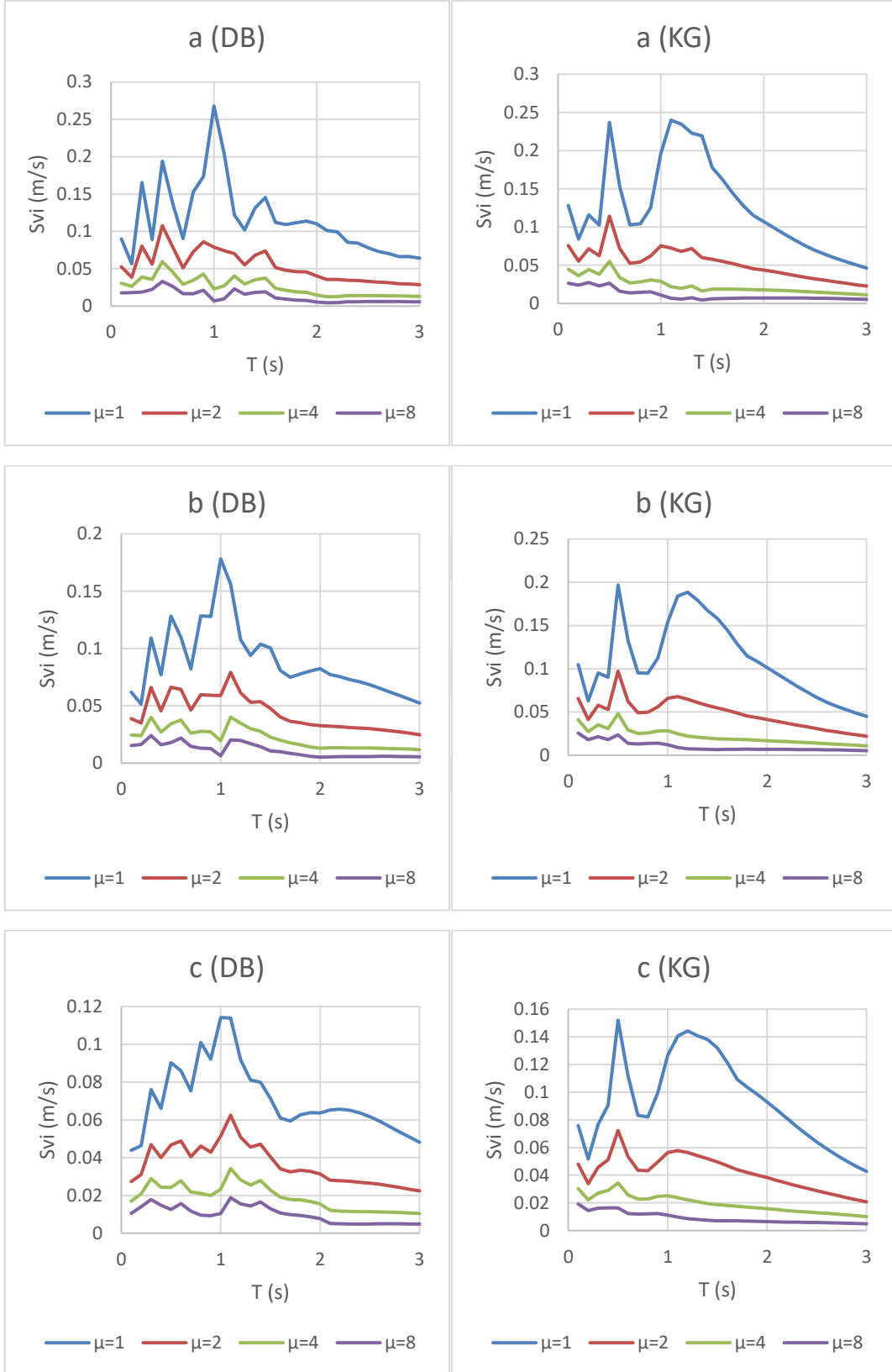
Şekil 58 Van depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



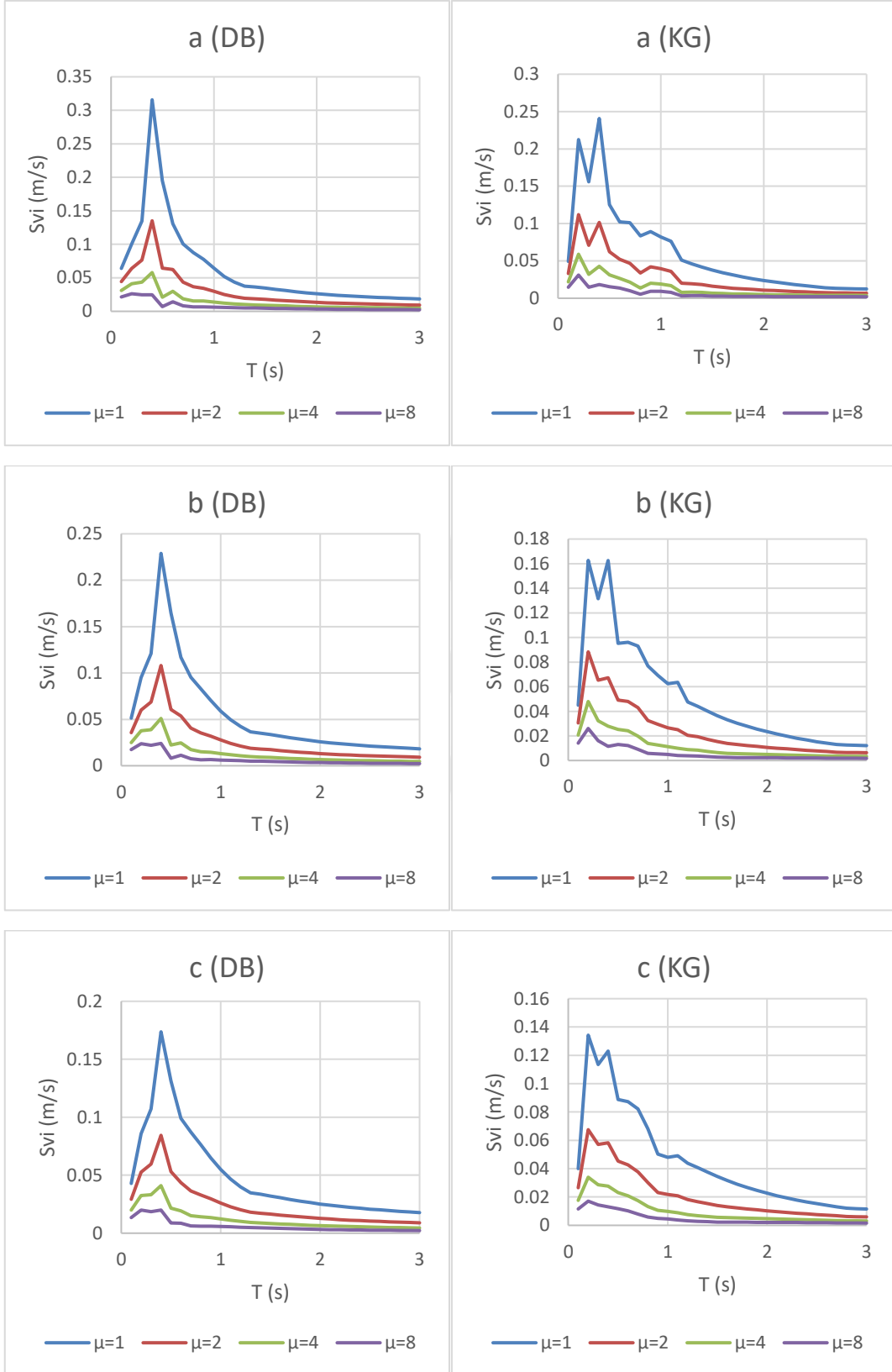
Şekil 59 Adana depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



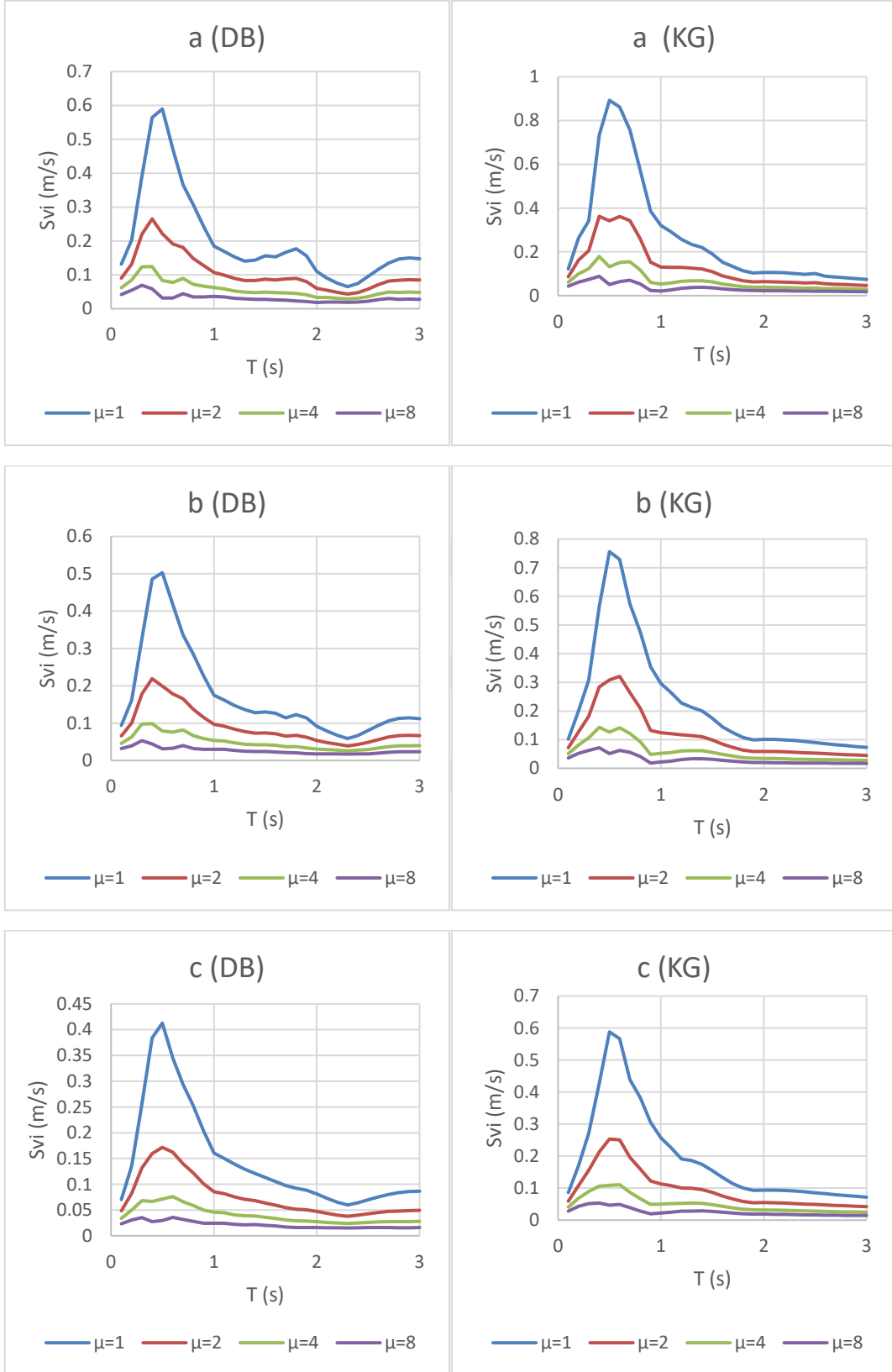
Şekil 60 Afyon depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



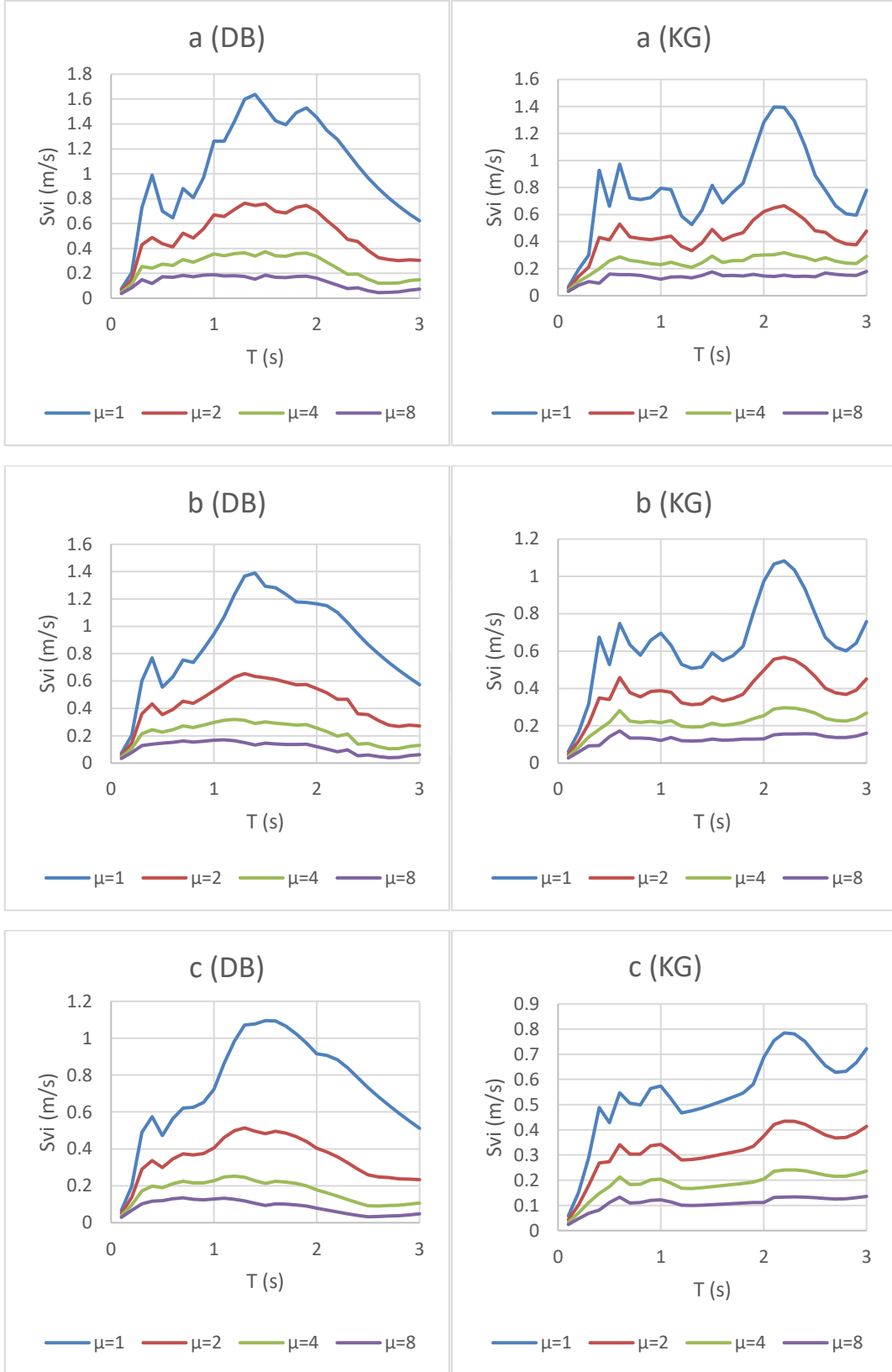
Şekil 61 Bingöl depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



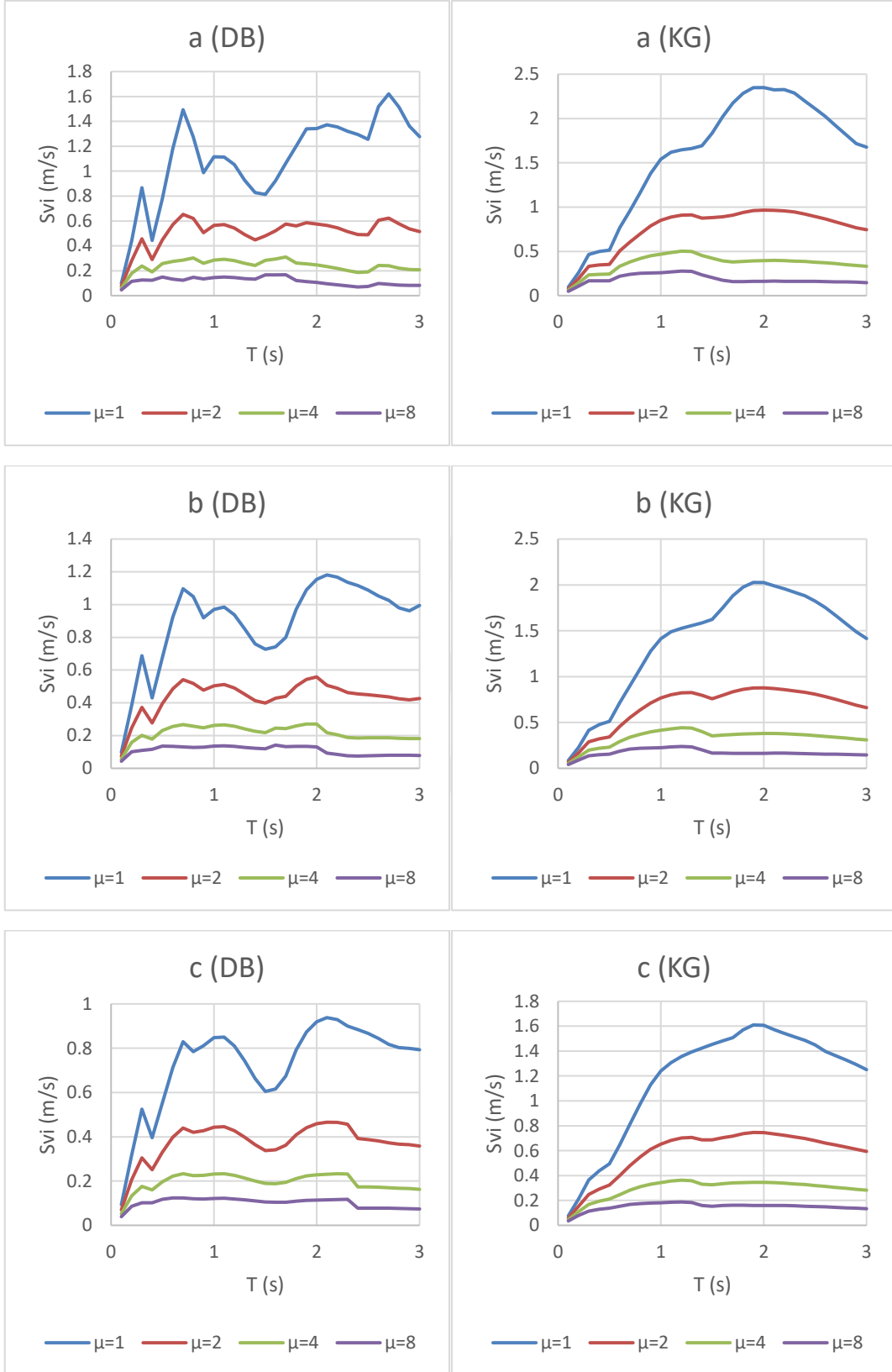
Şekil 62 Bursa depremi Sönüm oranı a=%2 b=%5 c=%10 için hız spektrumu



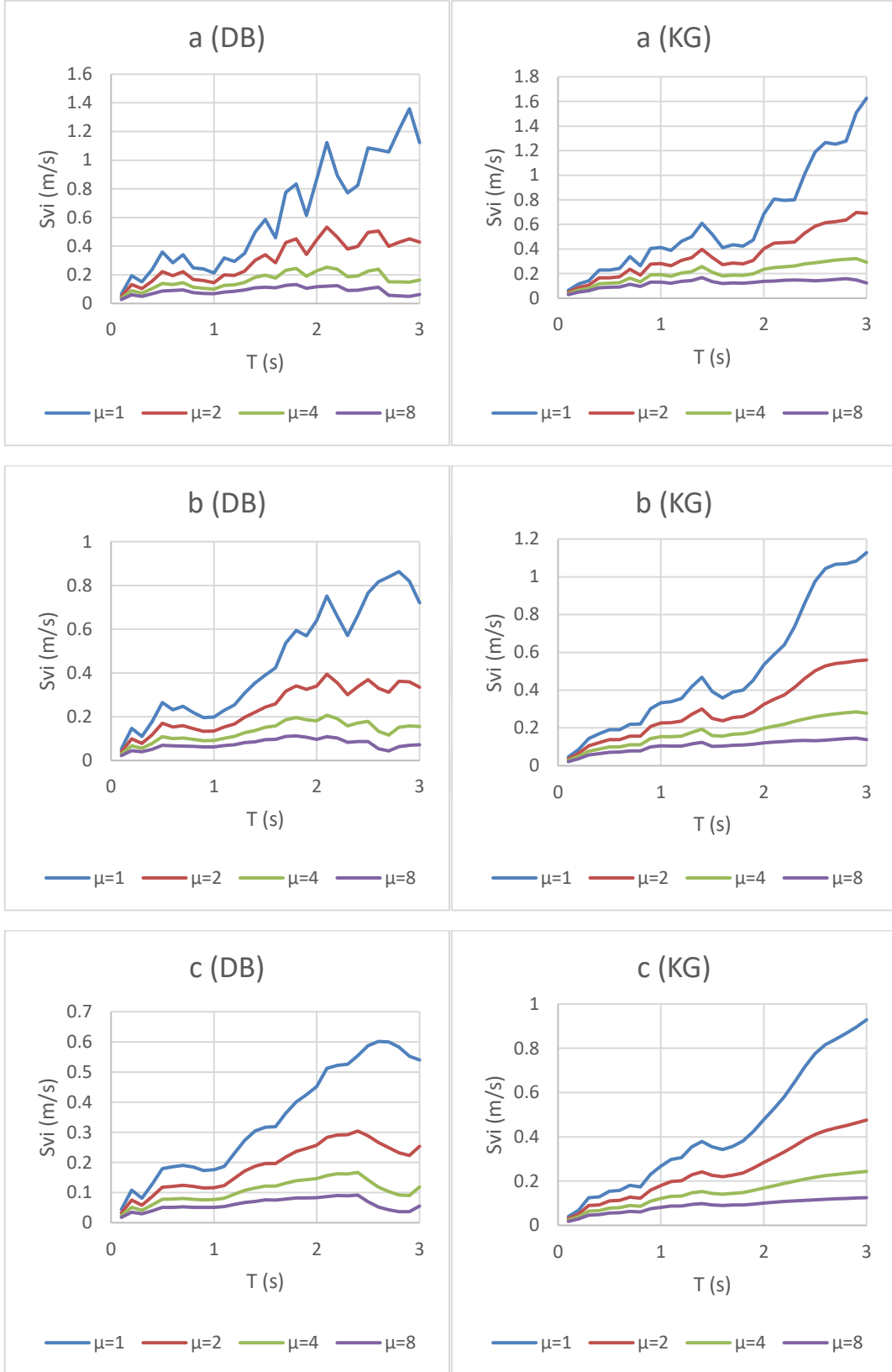
Şekil 63 Denizli depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



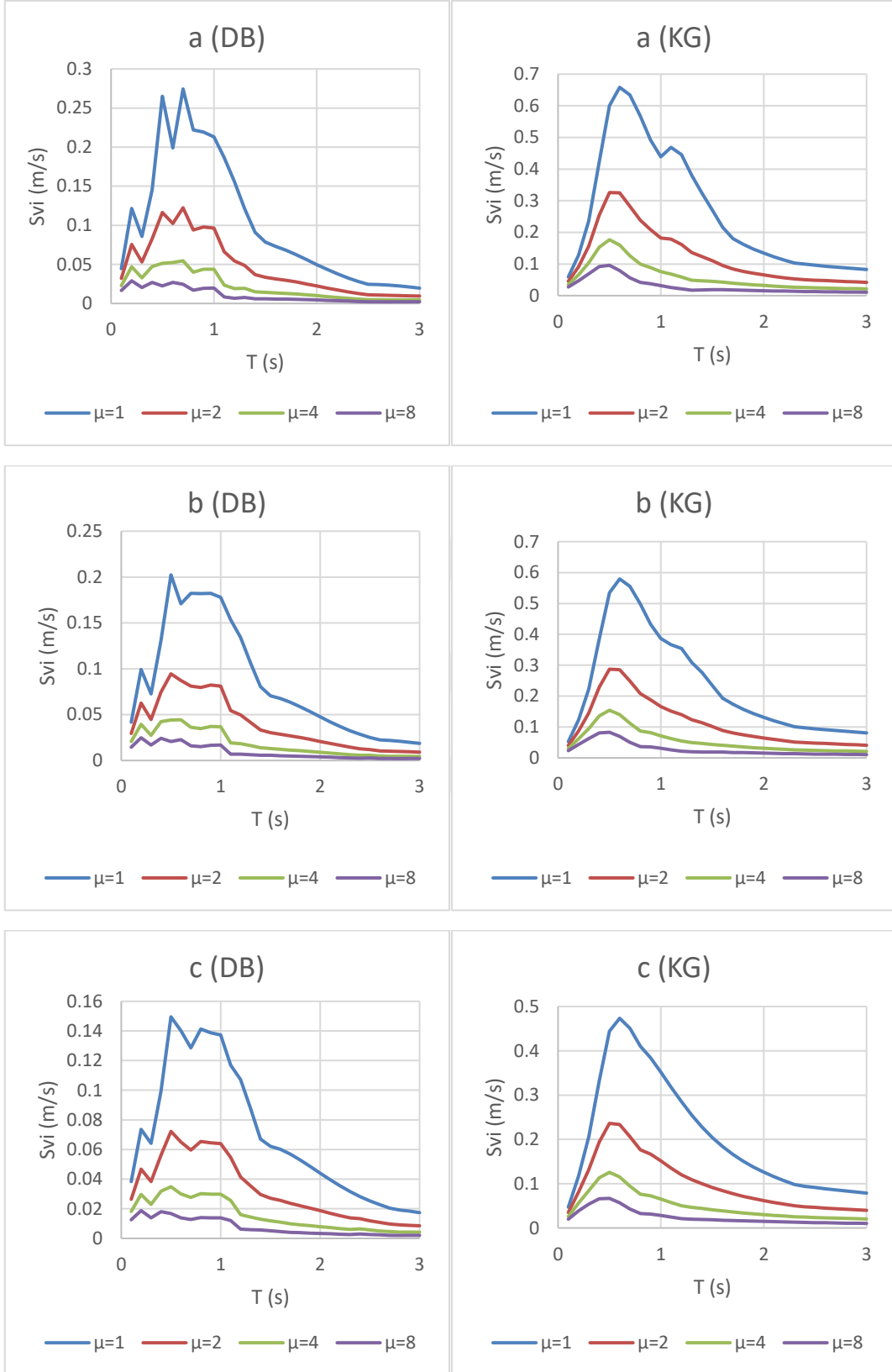
Şekil 64 Düzce depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



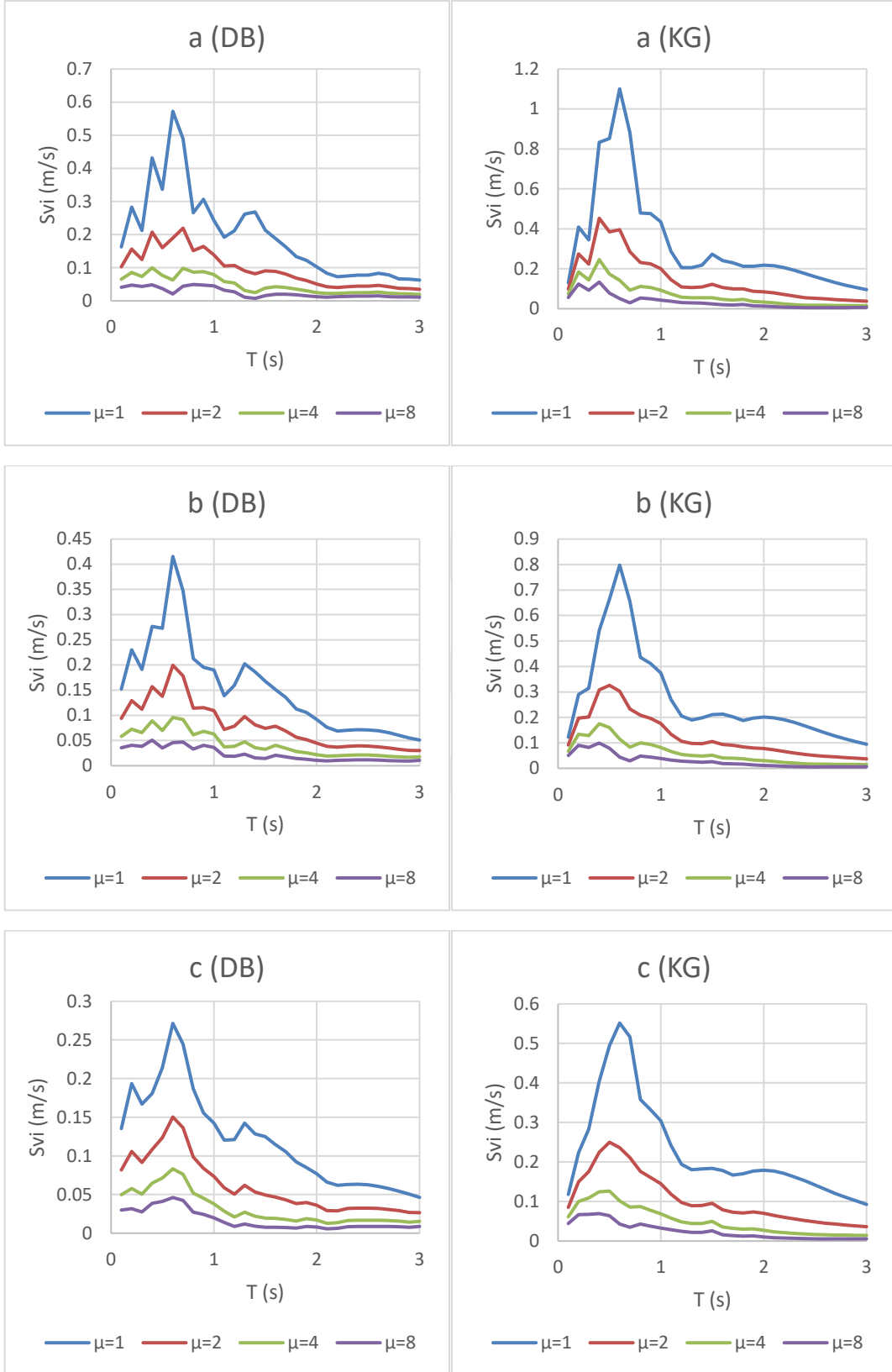
Şekil 65 Erzincan depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



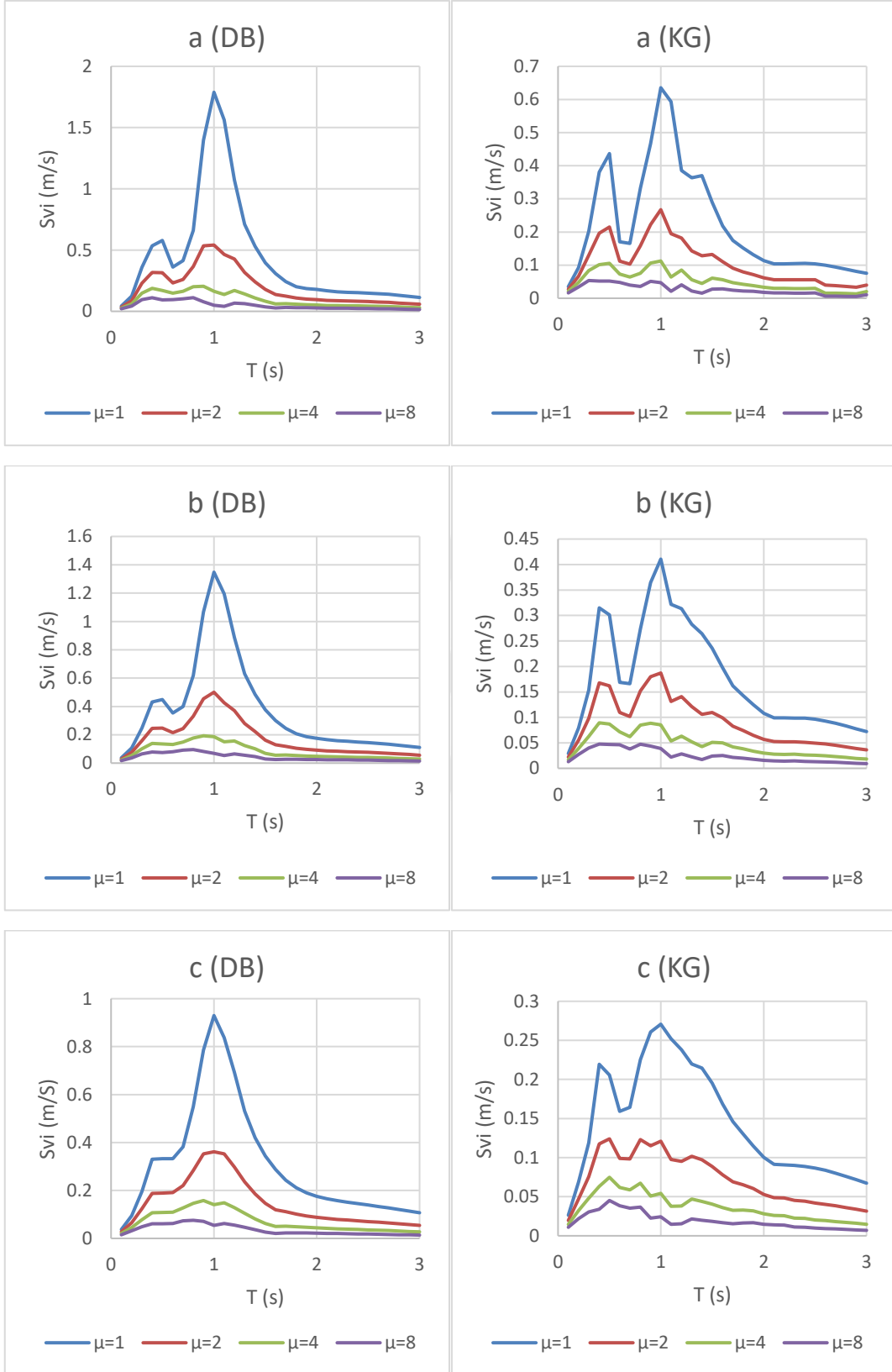
Şekil 66 Erzurum depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



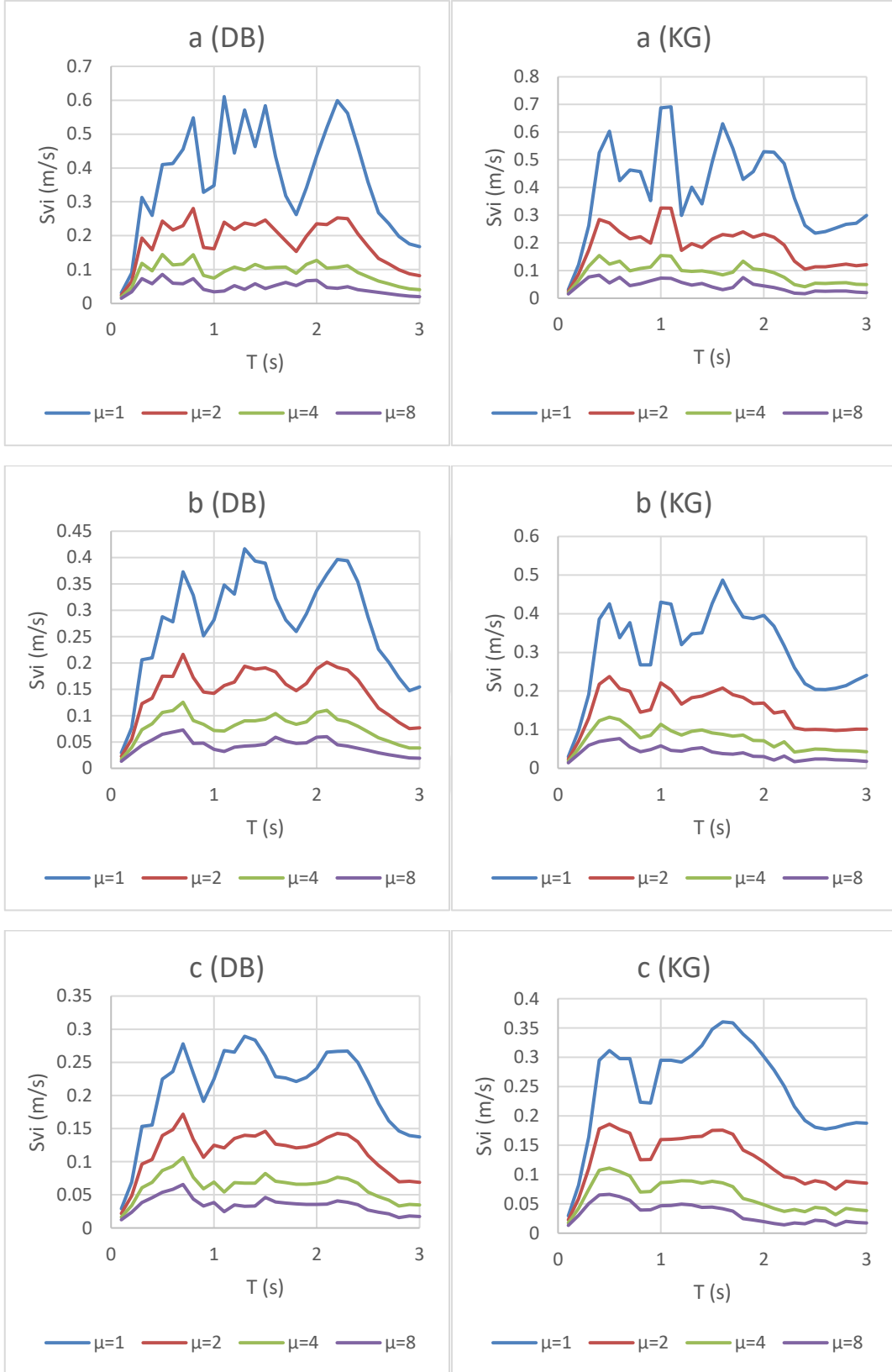
Şekil 67 Kütahya depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



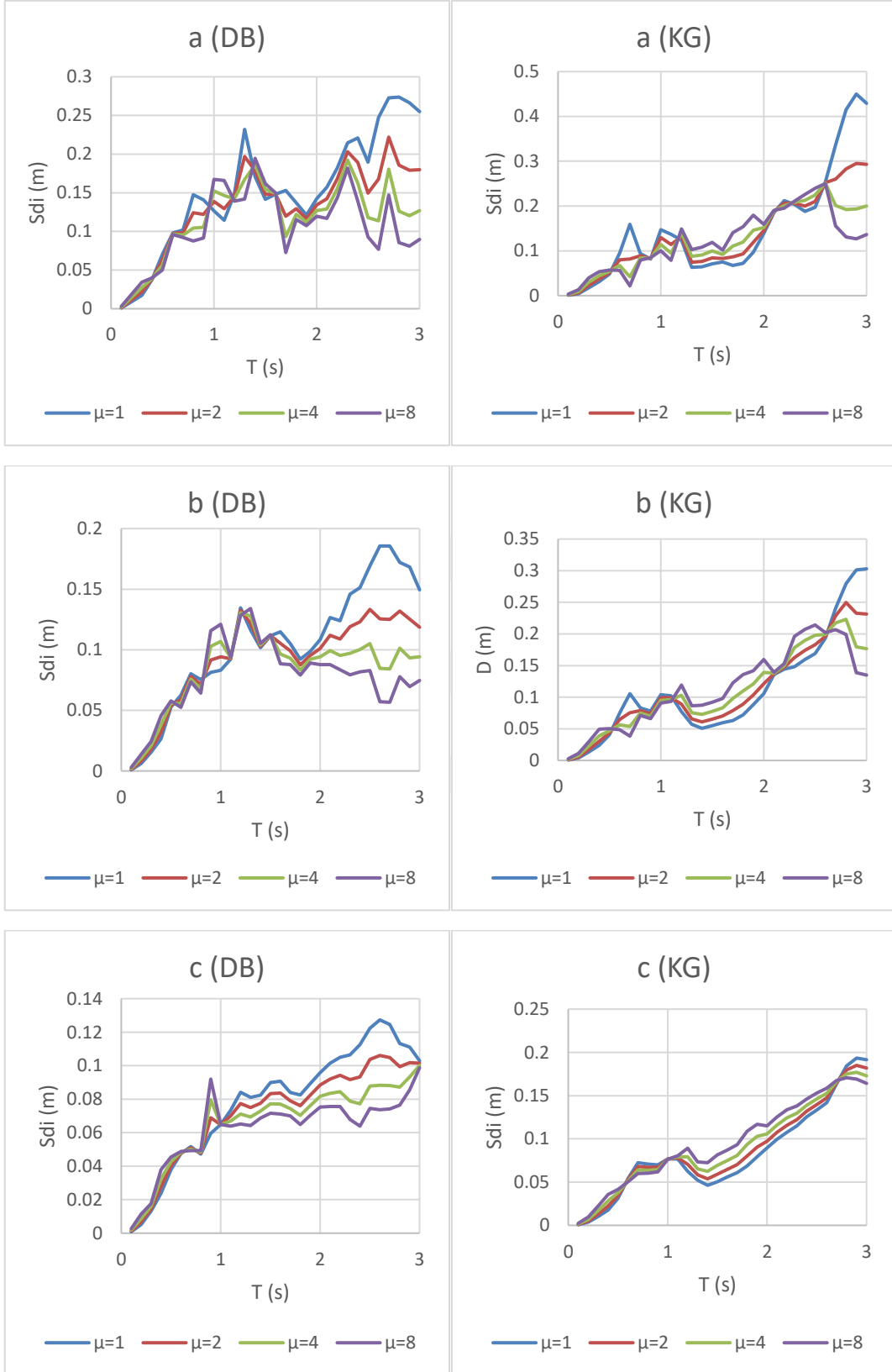
Şekil 68 Manisa depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



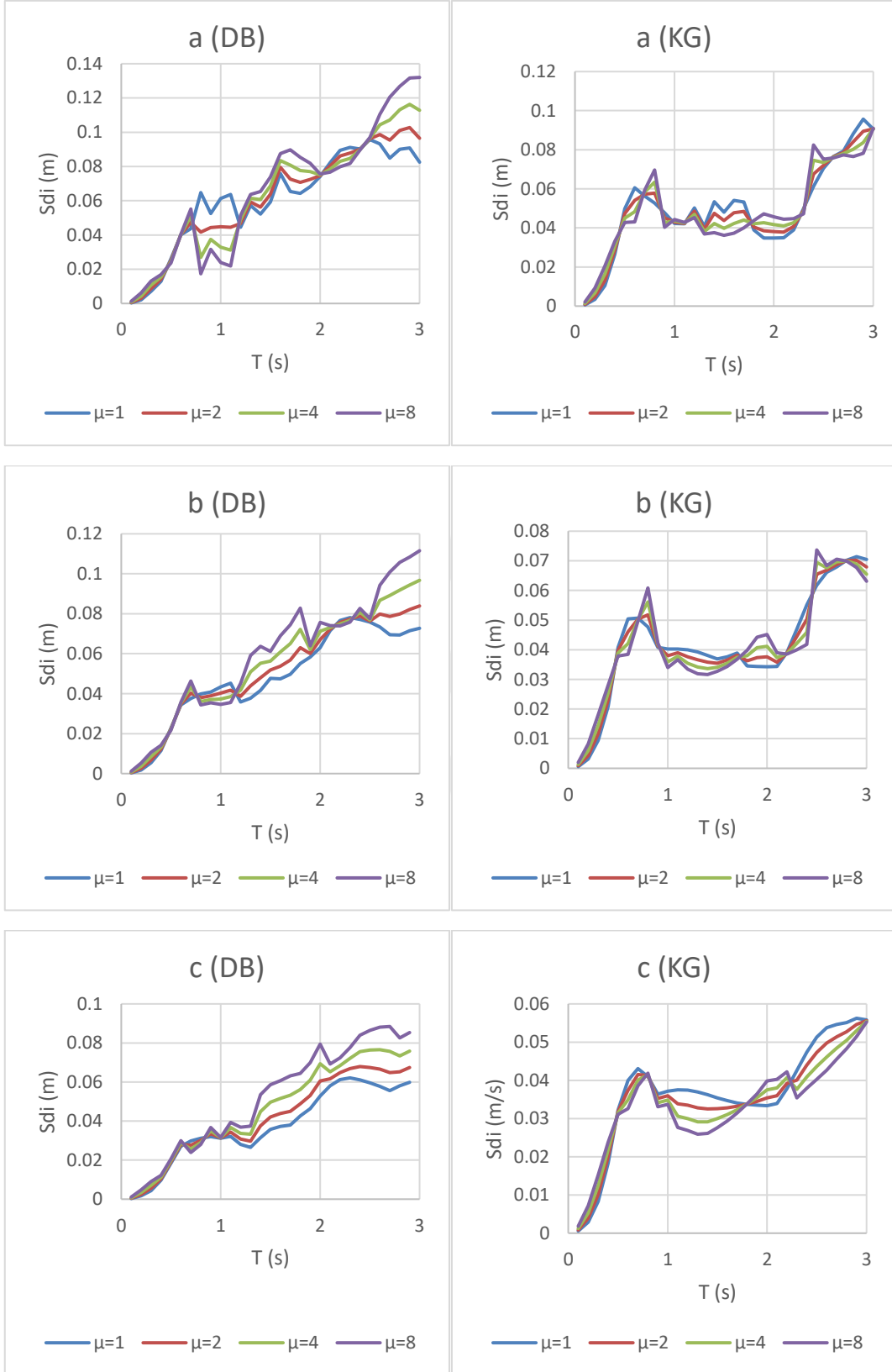
Şekil 69 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



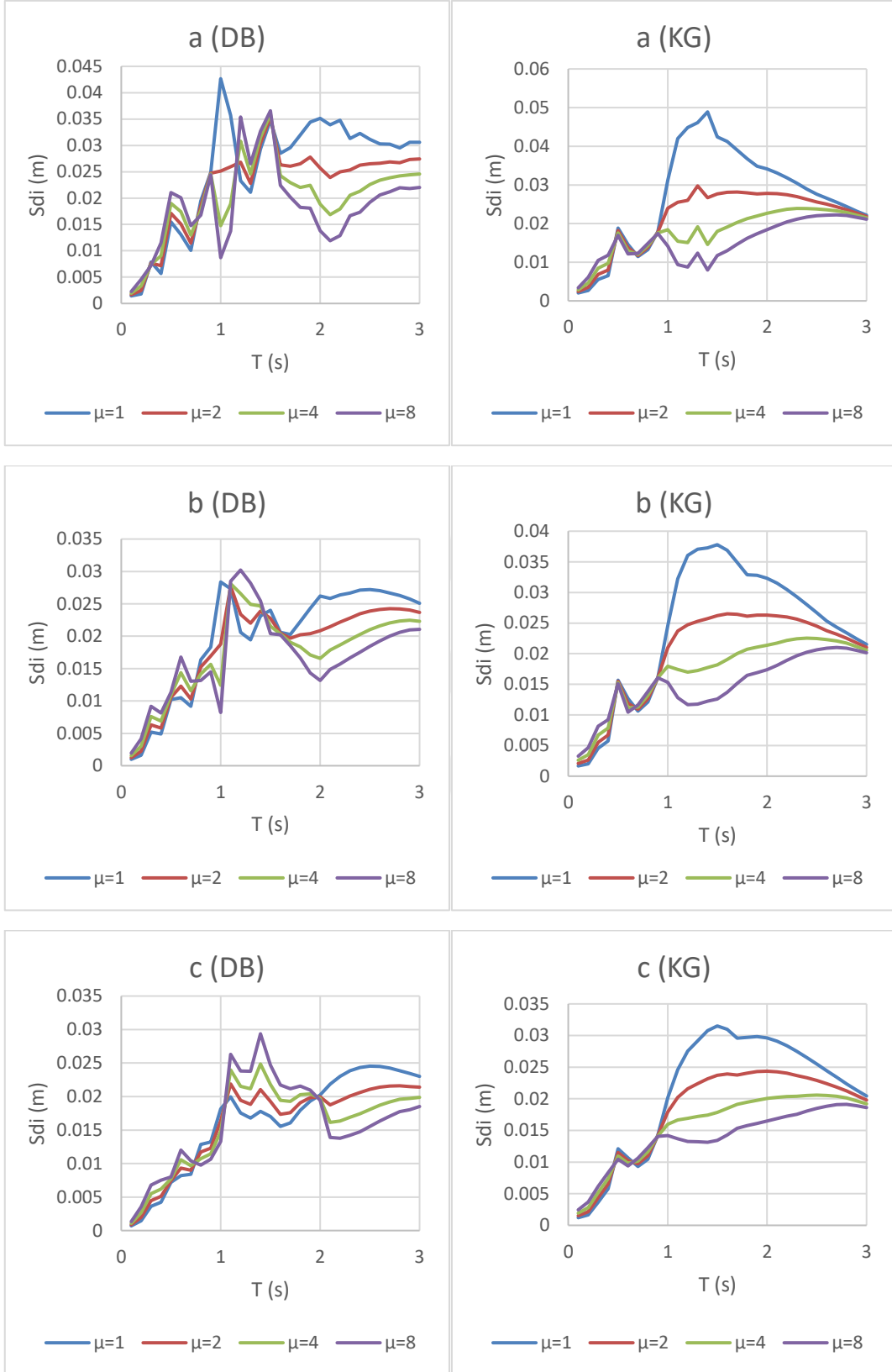
Şekil 70 Van depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



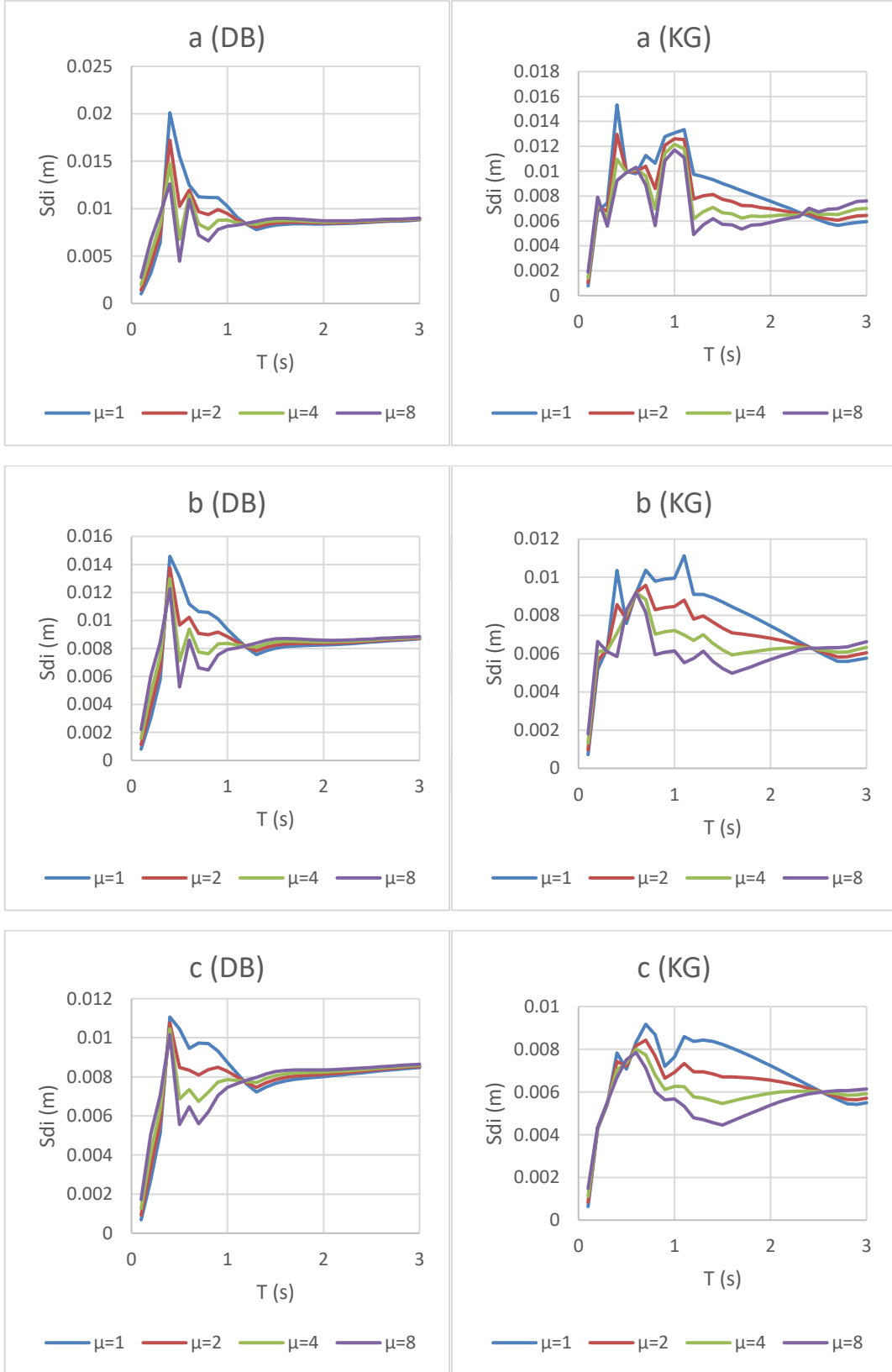
Şekil 71 Adana depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



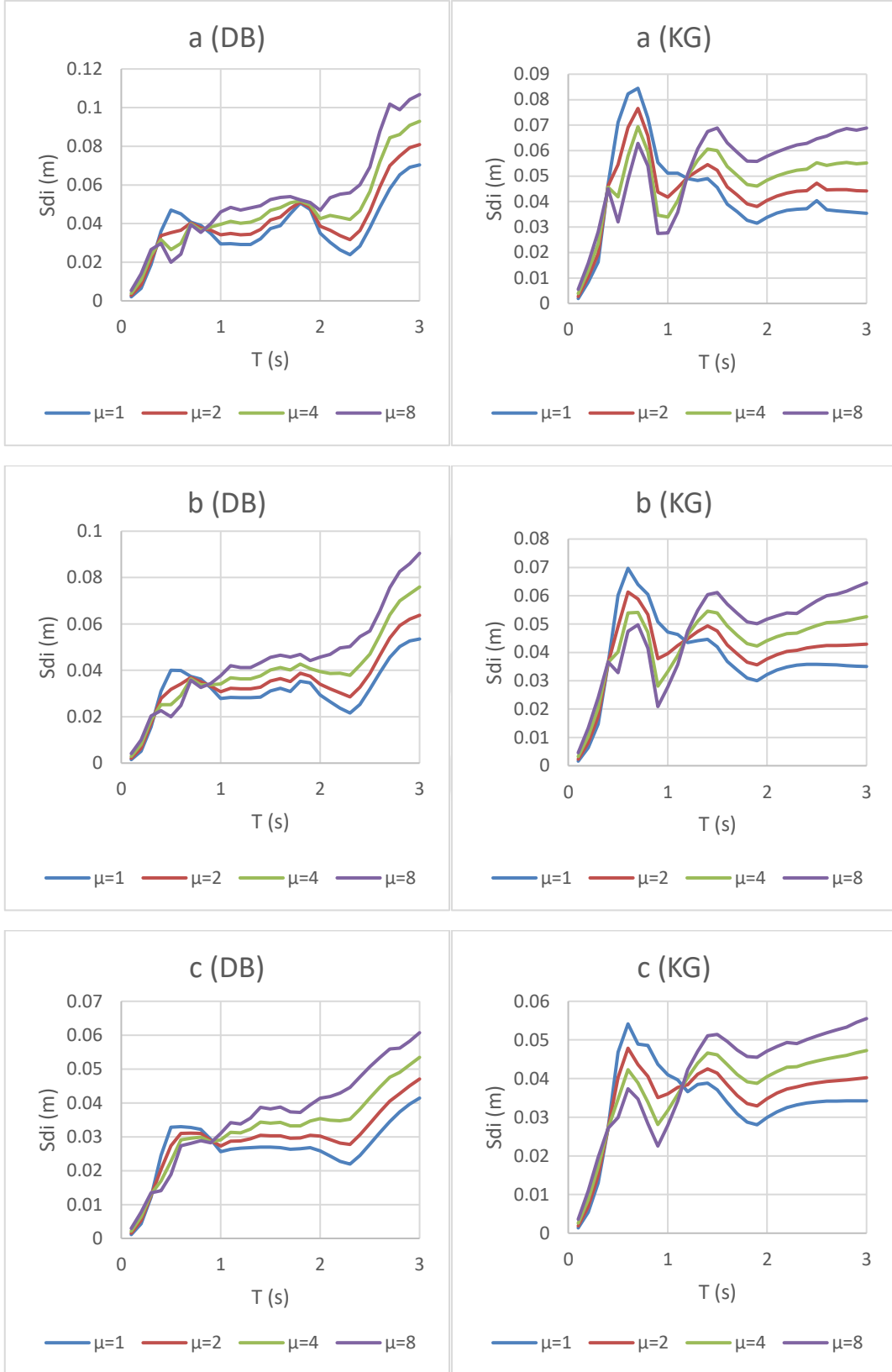
Şekil 72 Afyon depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



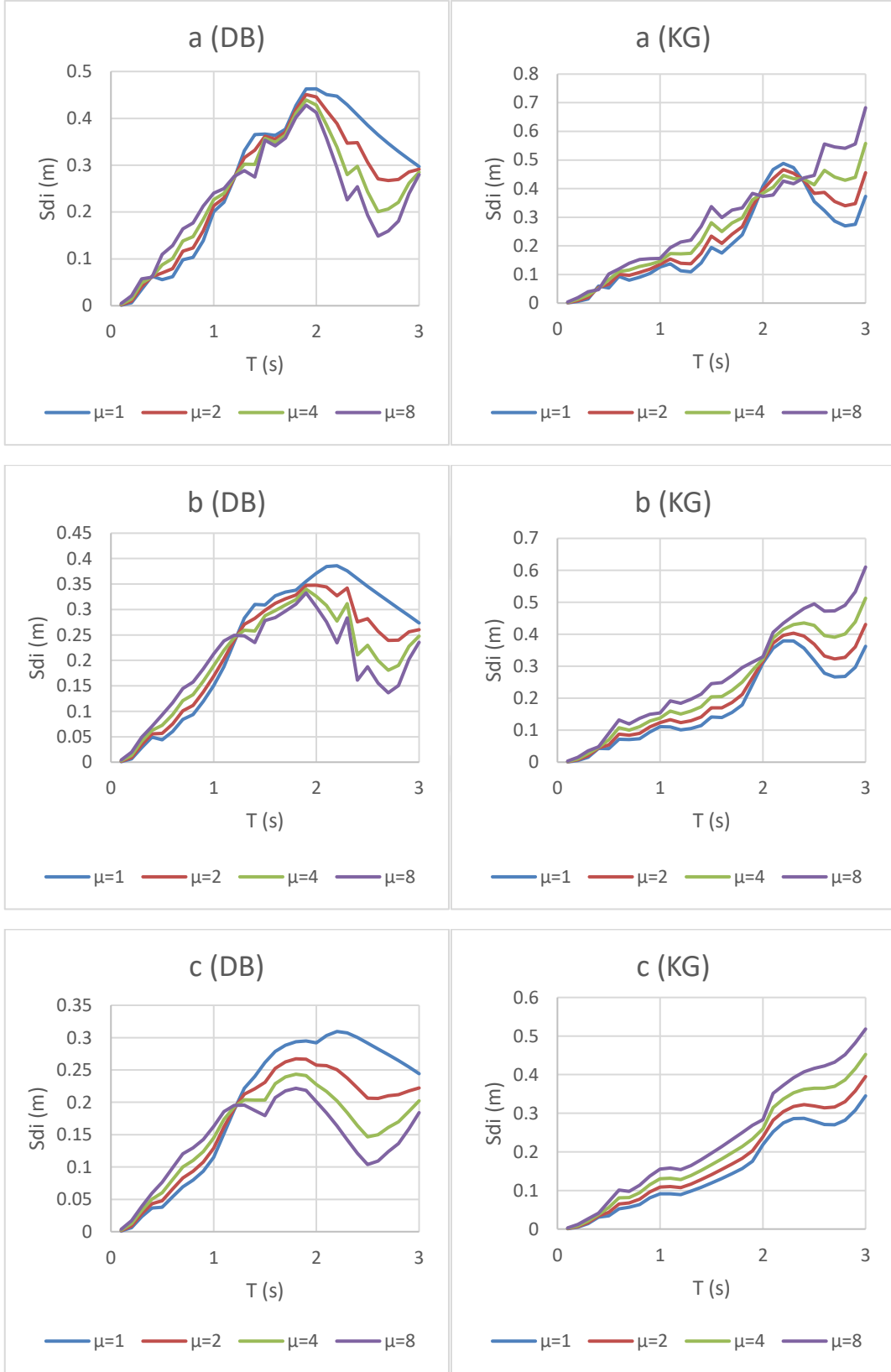
Şekil 73 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



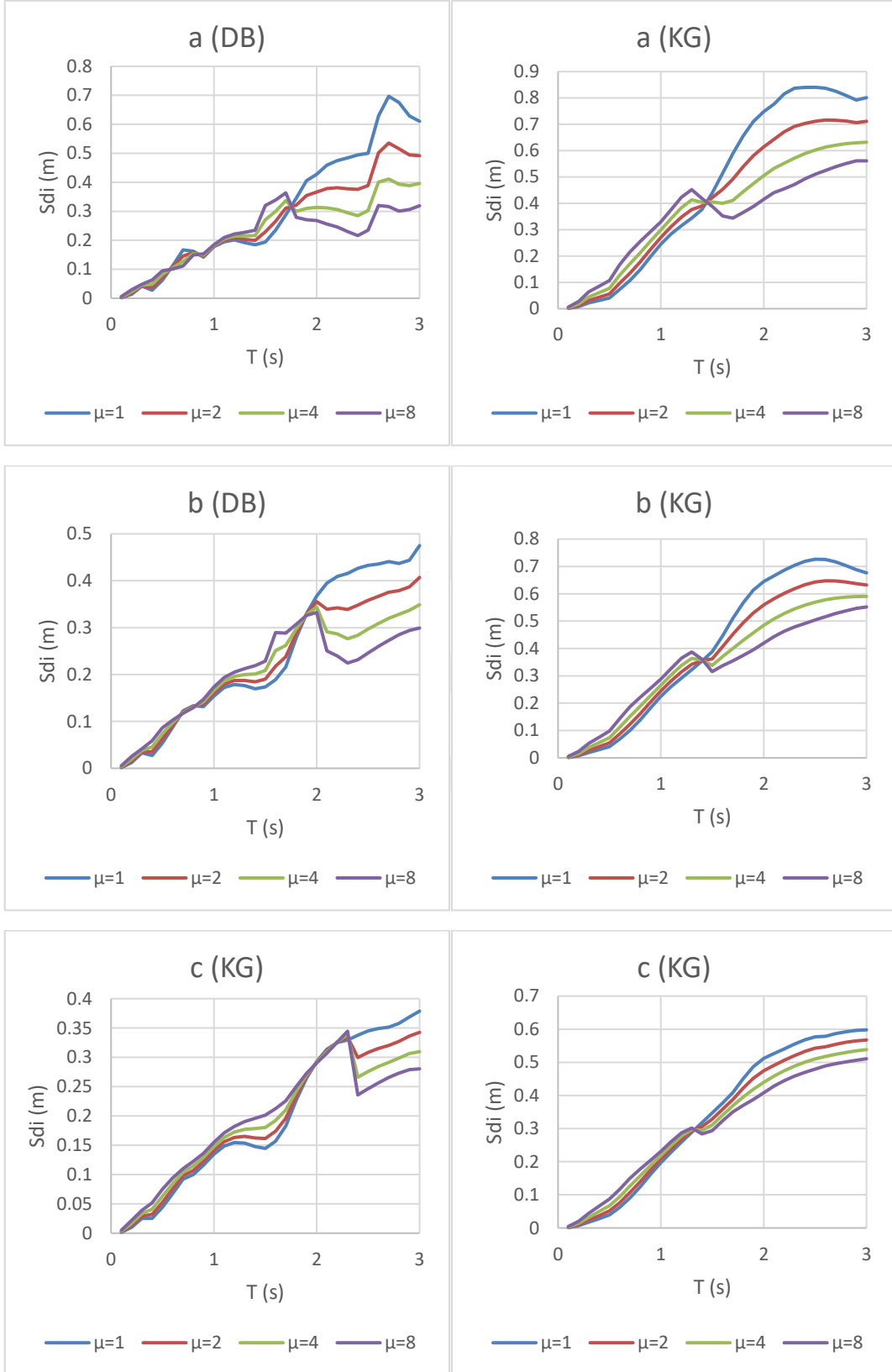
Şekil 74 Bursa depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için yer değiştirme spektrumu



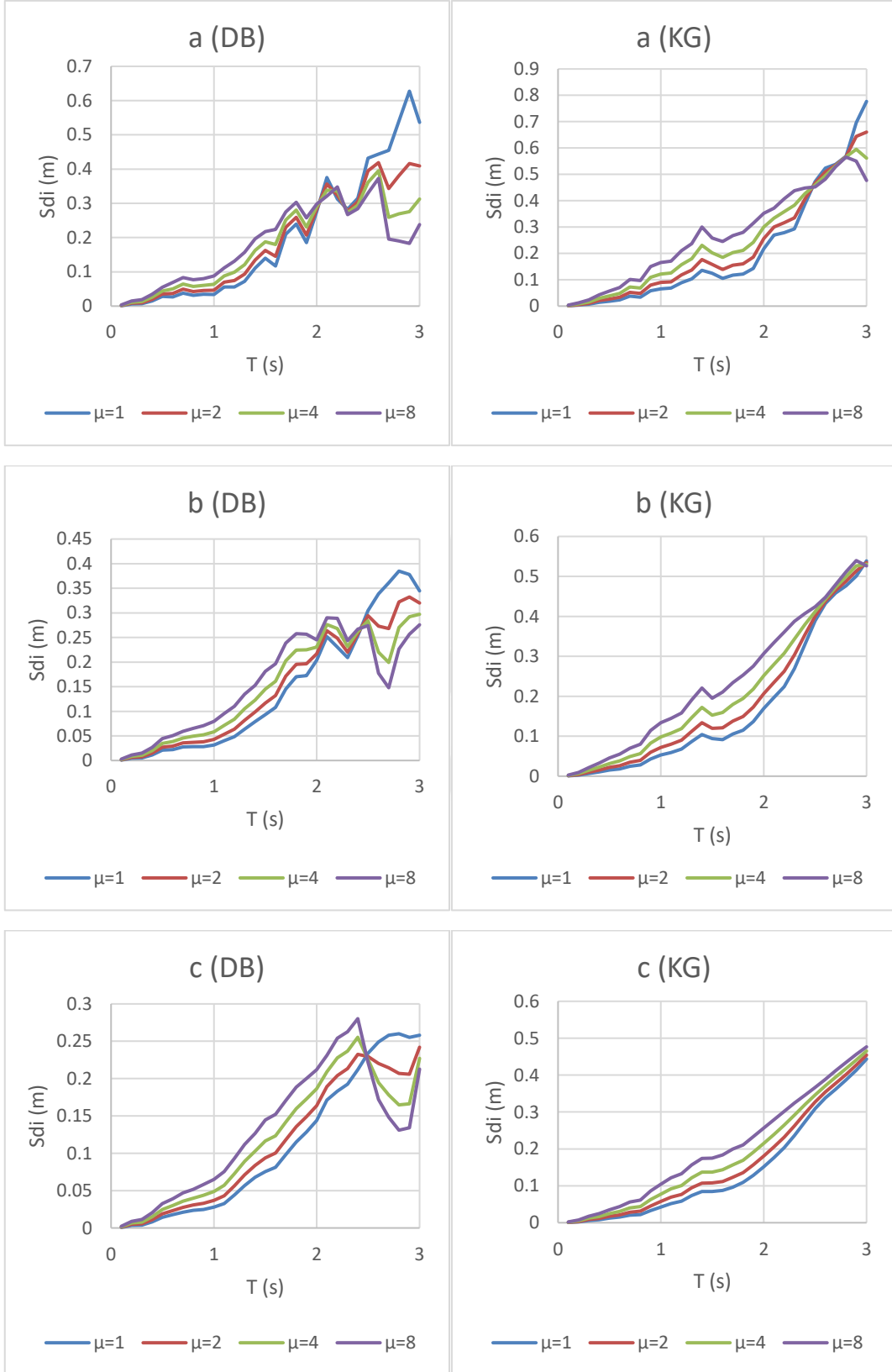
Şekil 75 Denizli depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



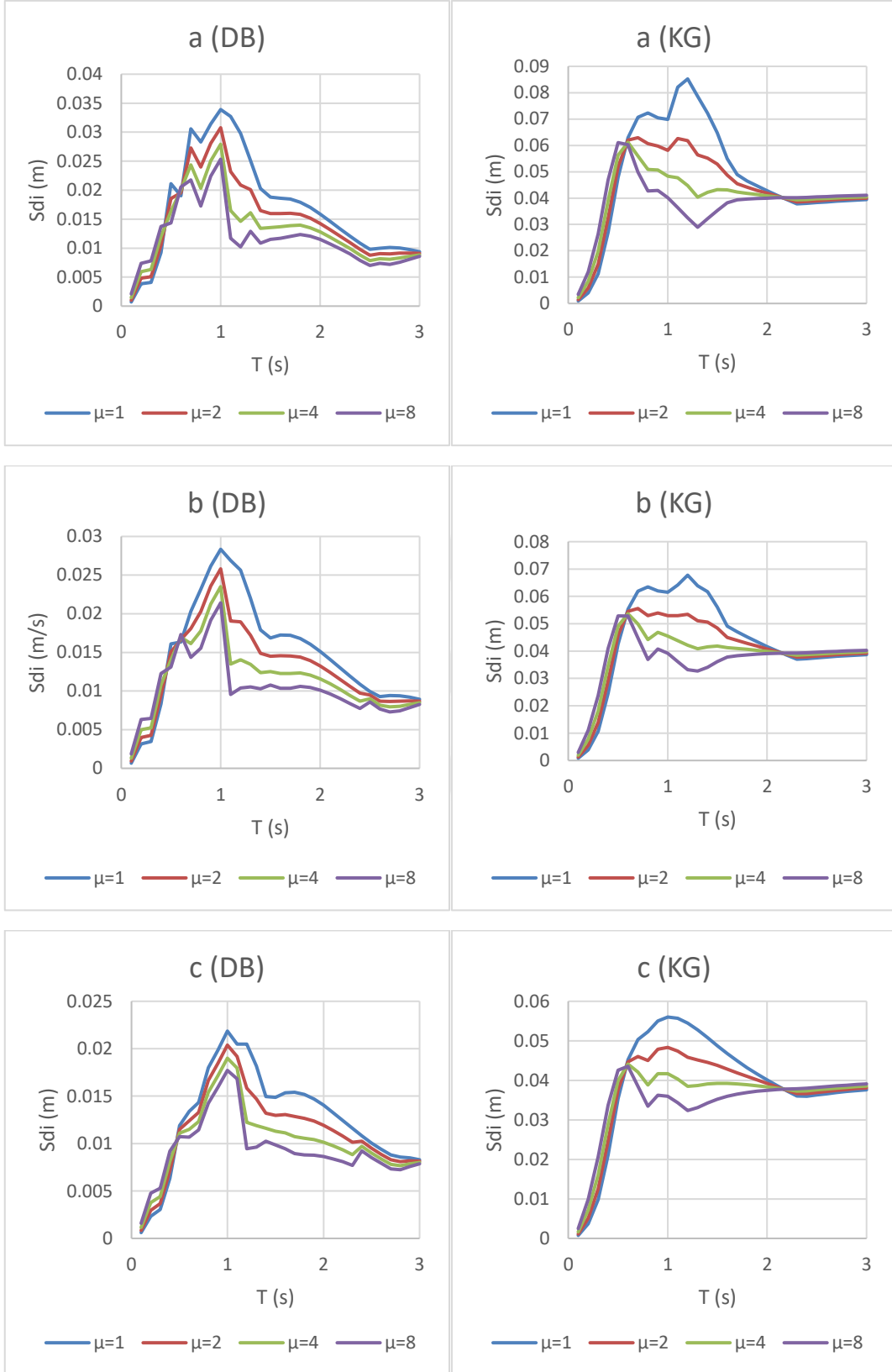
Şekil 76 Düzce depremi Sönüm oranı $a=\%2$, $b=\%5$, $c=\%10$ için yer değiştirme spektrumu



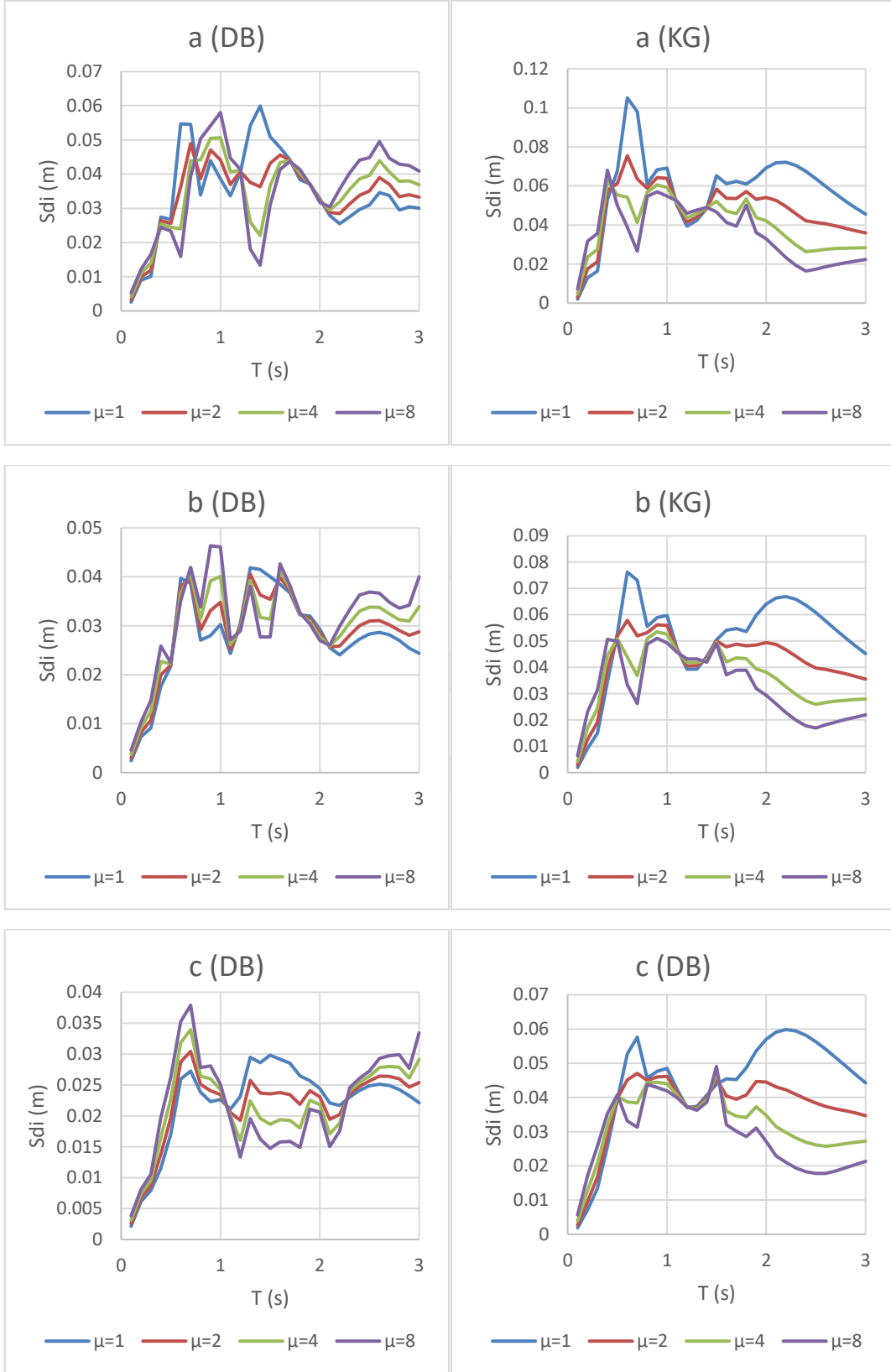
Şekil 77 Erzincan depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



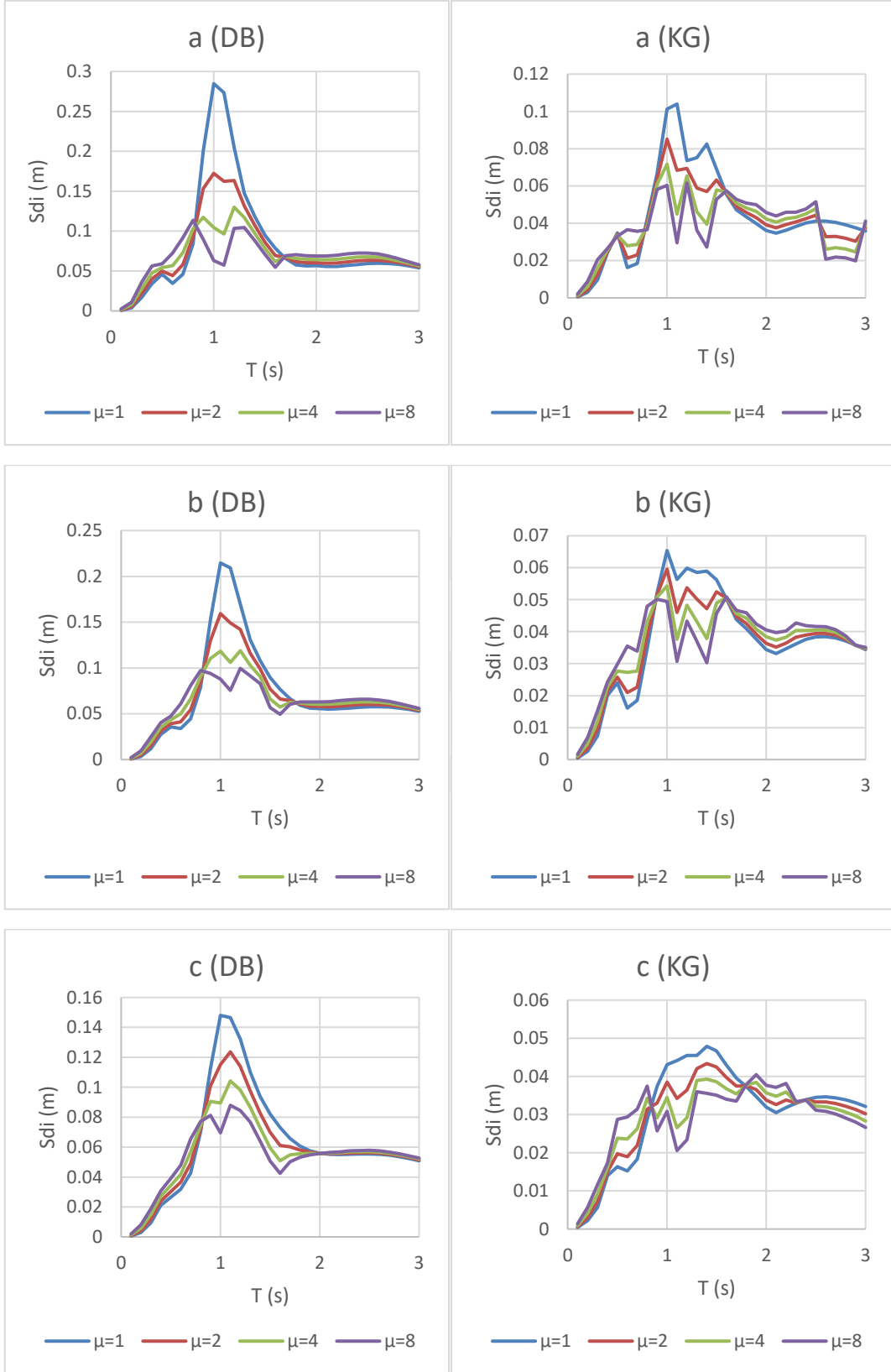
Şekil 78 Erzurum depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



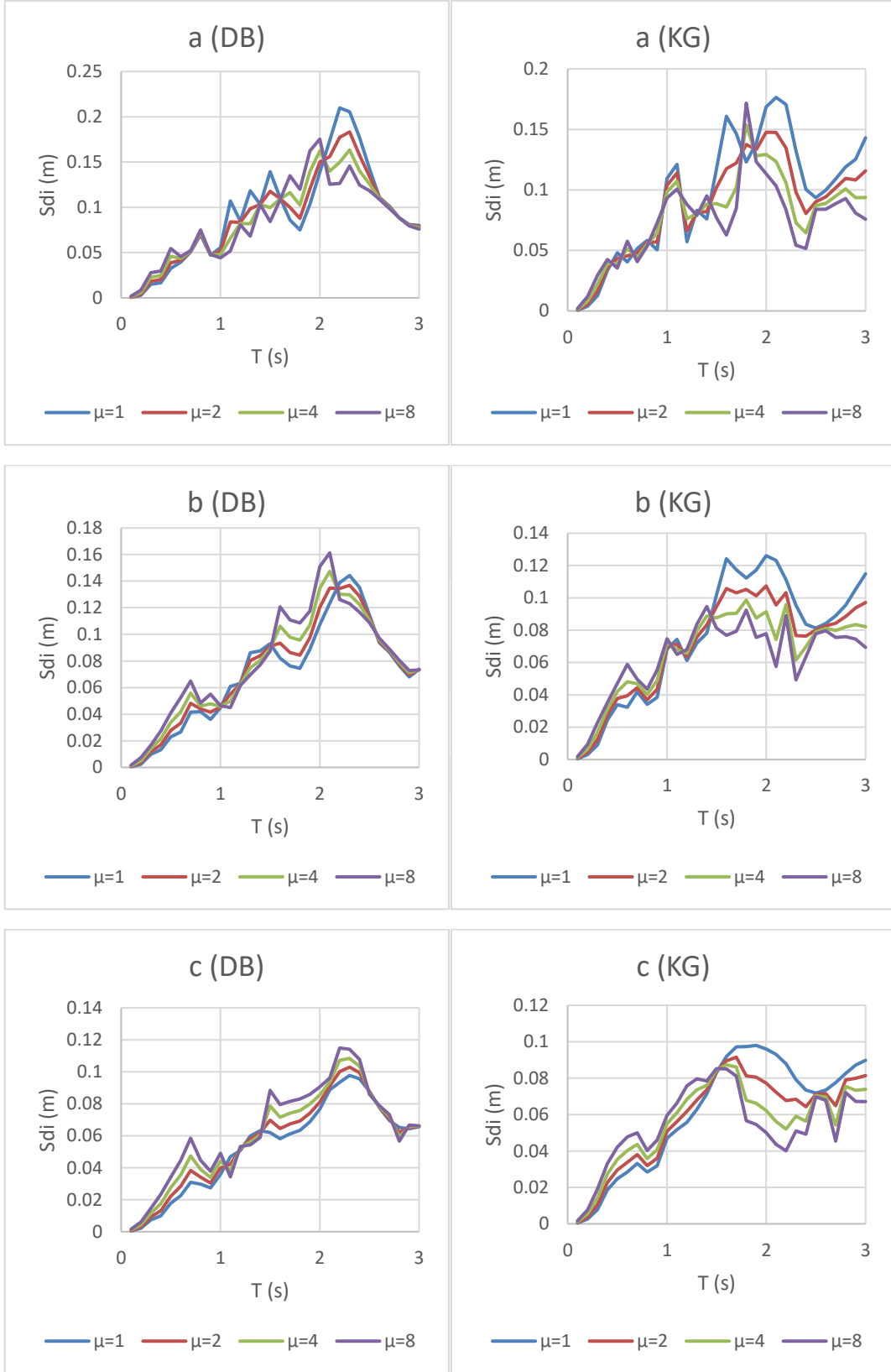
Şekil 79 Kütahya depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



Şekil 80 Manisa depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu

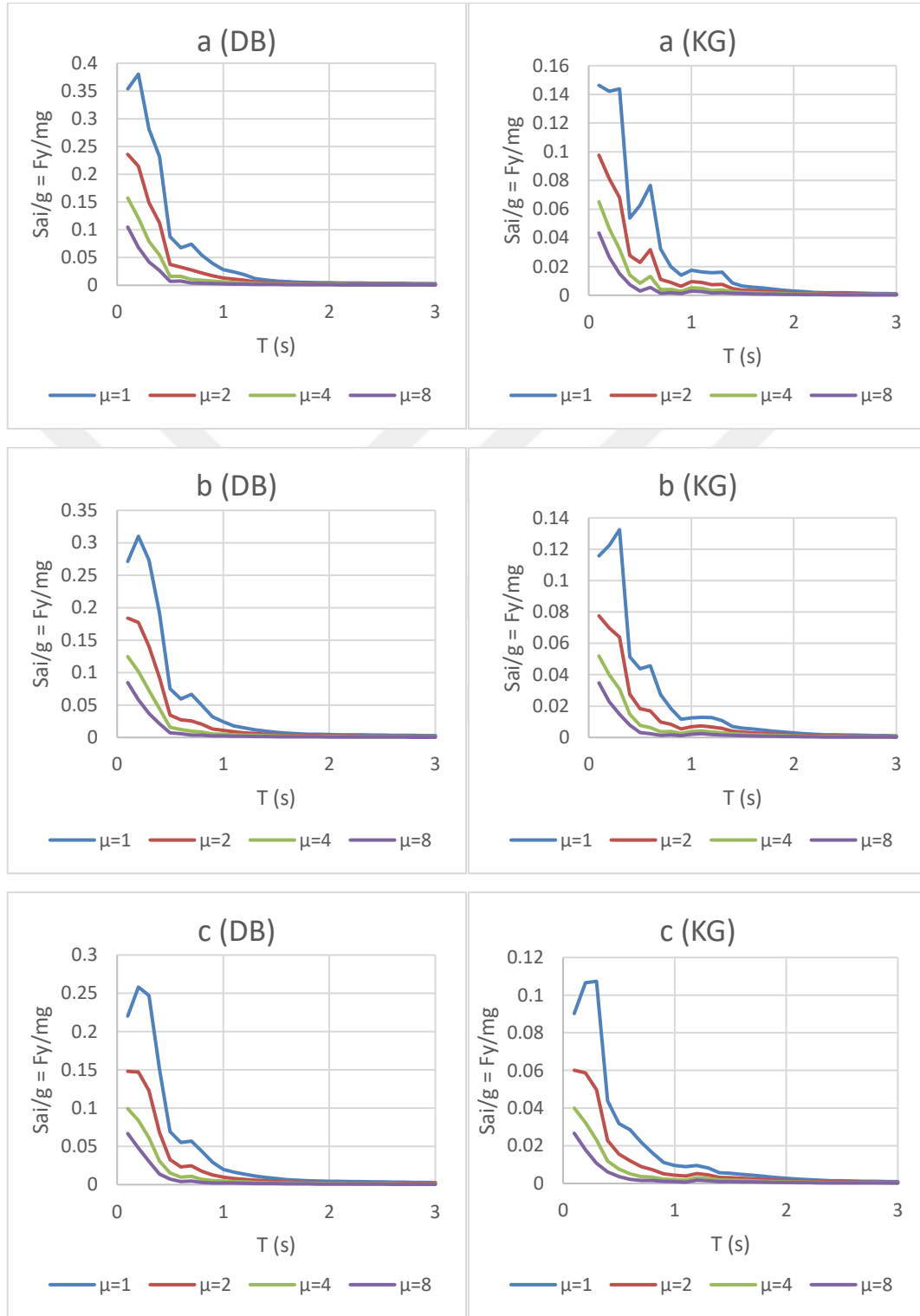


Şekil 81 Muğla depremi Sönüm oranı $a=\%2$, $b=\%5$, $c=\%10$ için yer değiştirme spektrumu

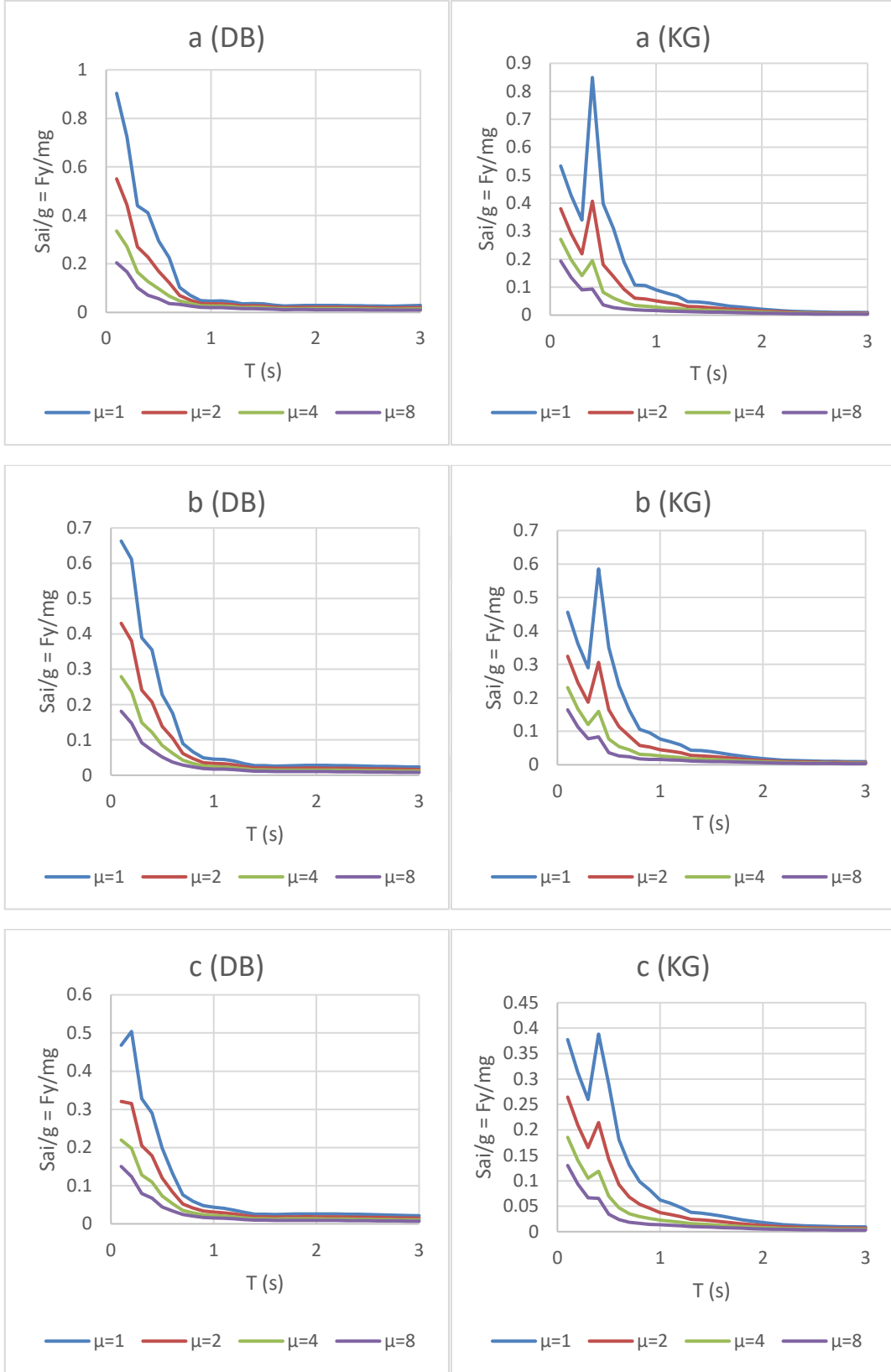


Şekil 82 Van depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu

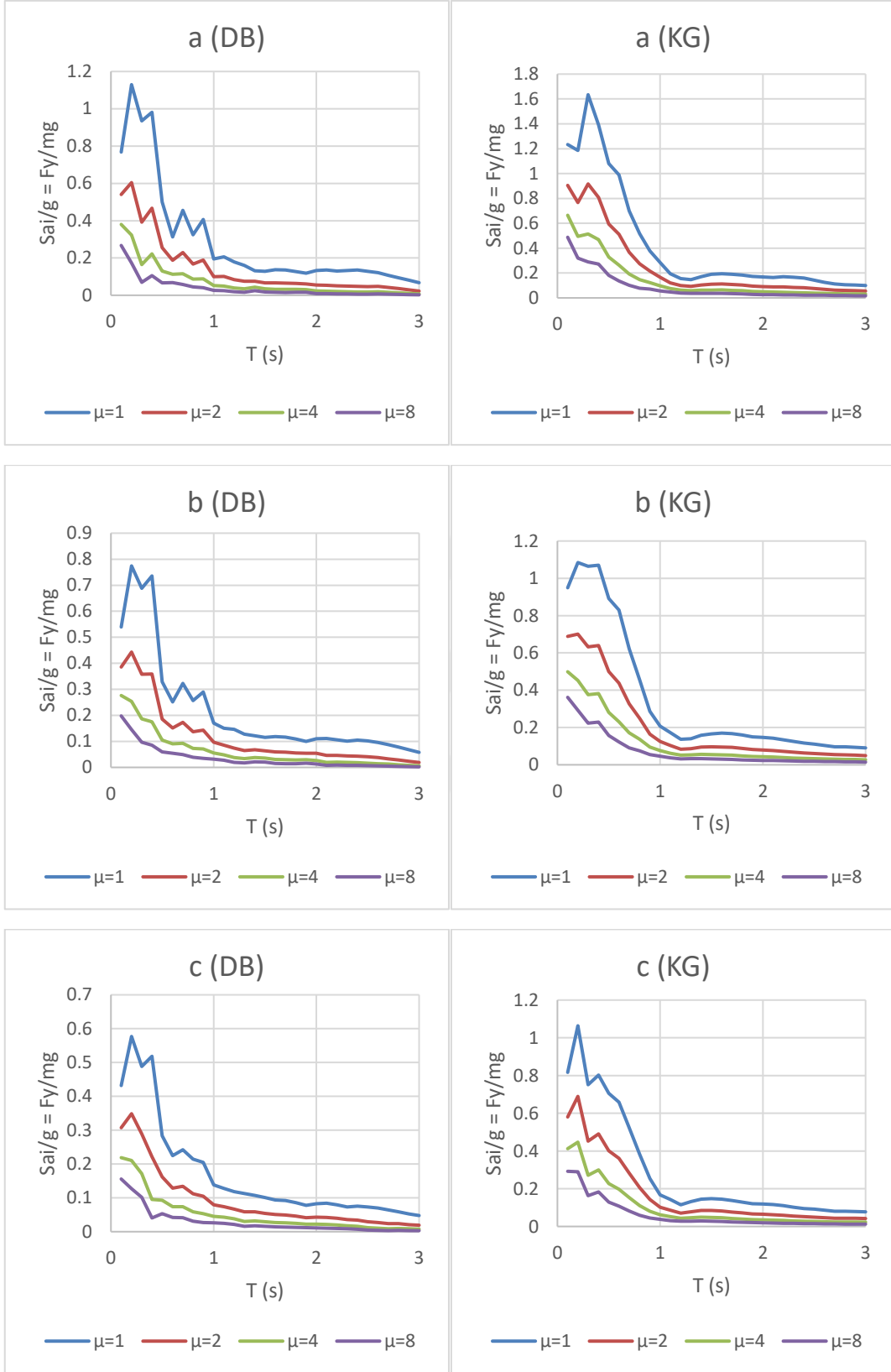
Ek2b: Sert zemin grubunun ivme, hız, yer değiştirme davranış spektrumları



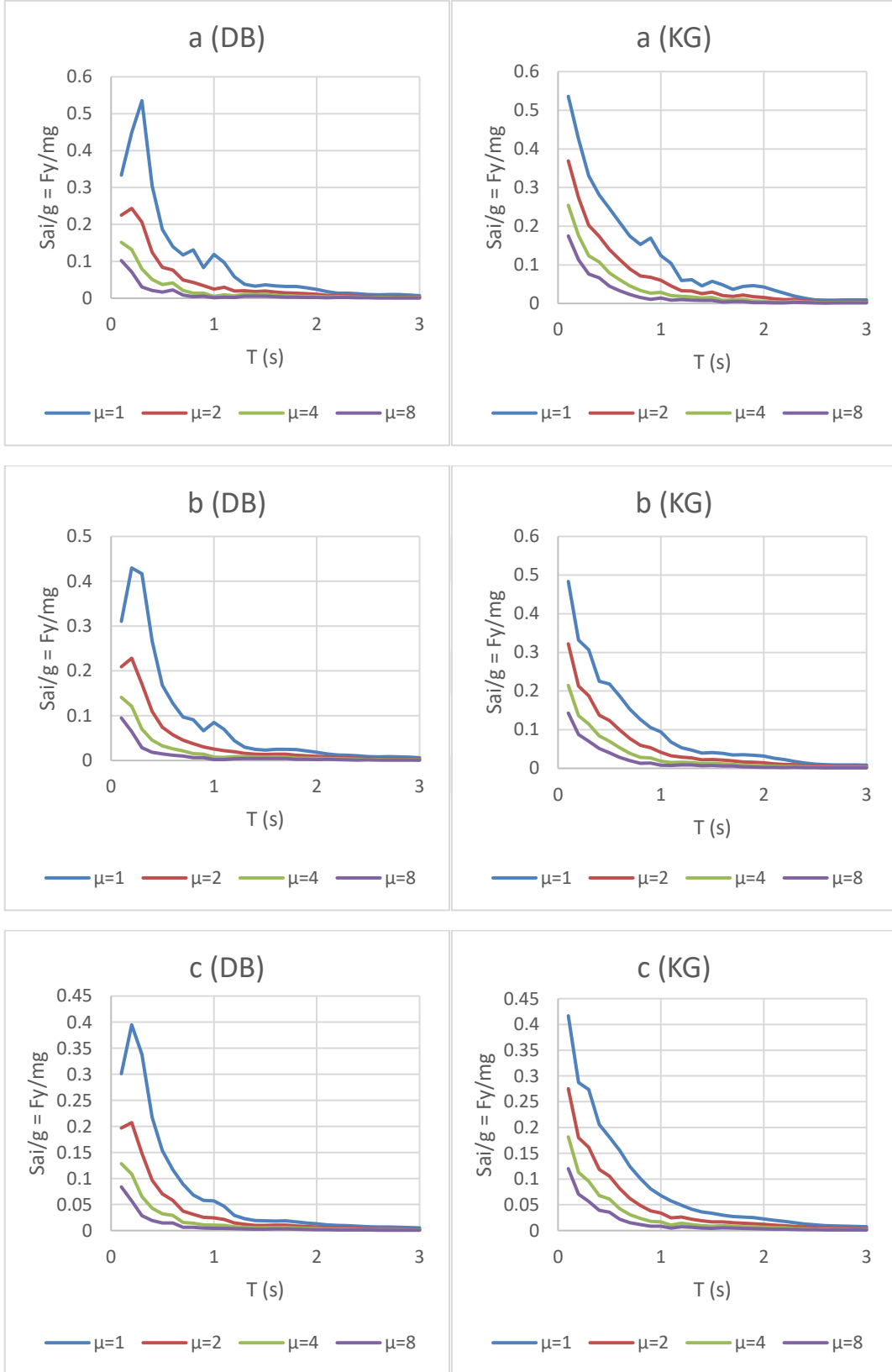
şekil 83 Aydın depremi Sönüm oranı $a=0\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



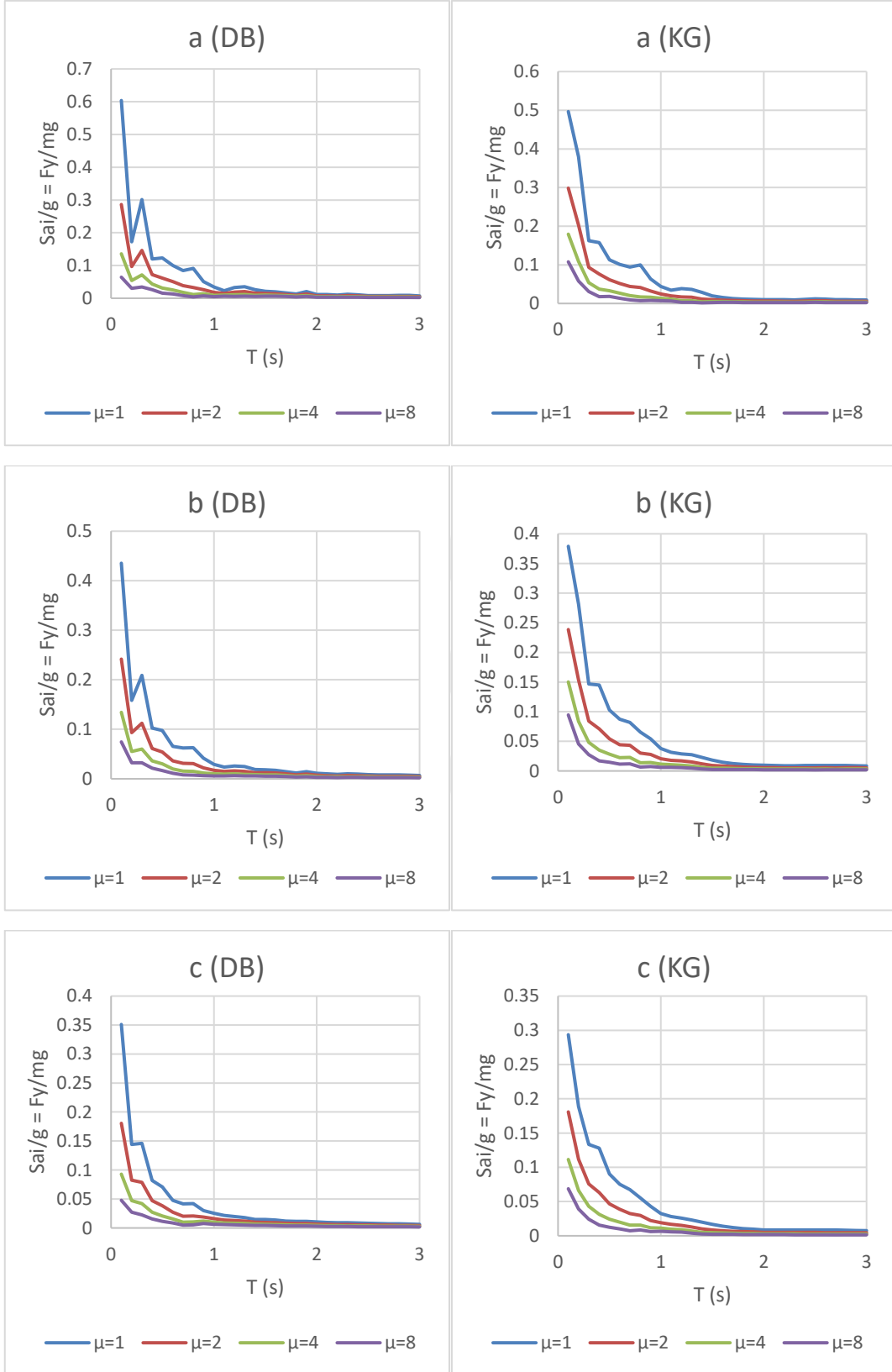
Şekil 84 Balıkesir depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



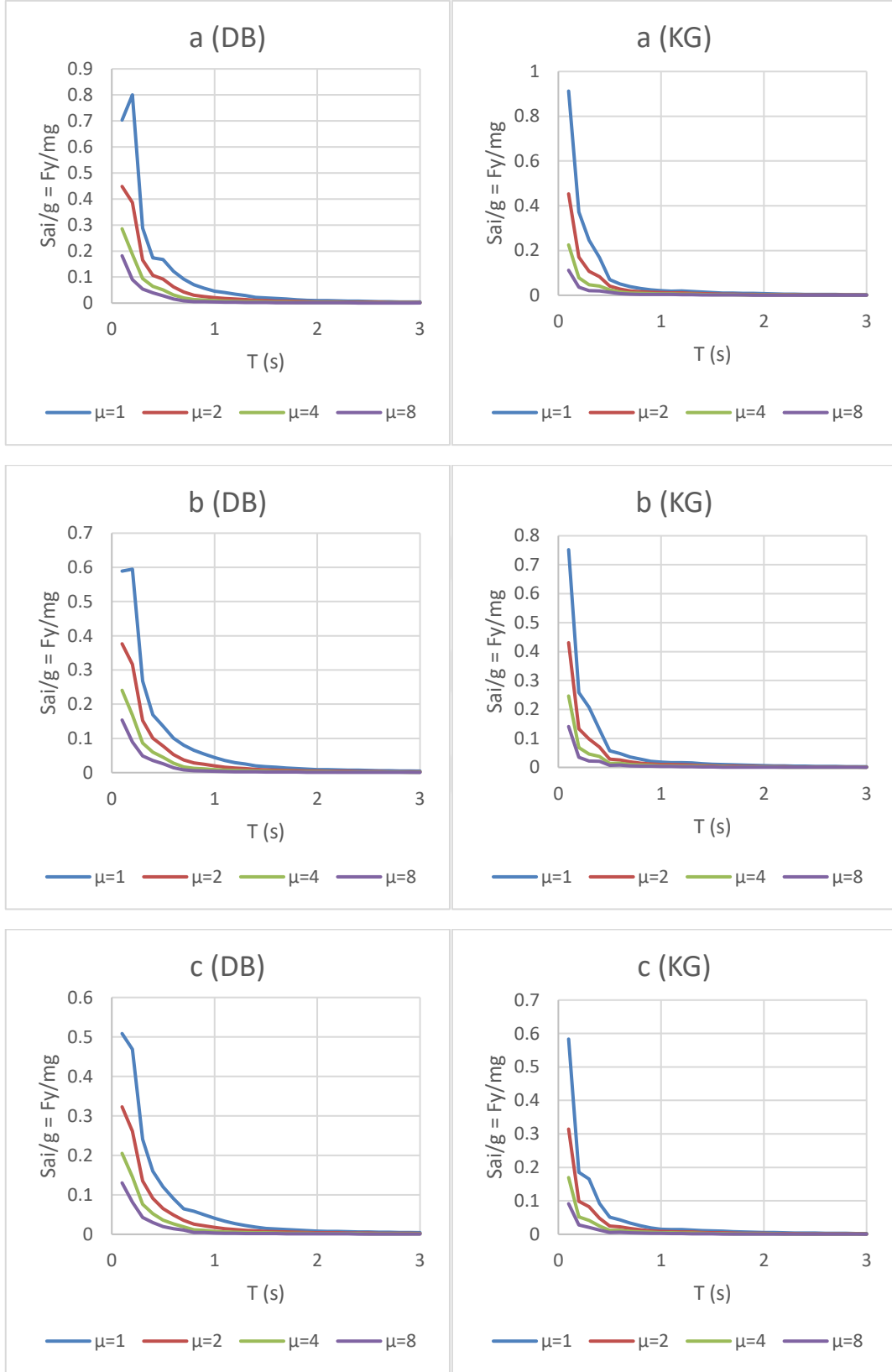
Şekil 85 Bingöl depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



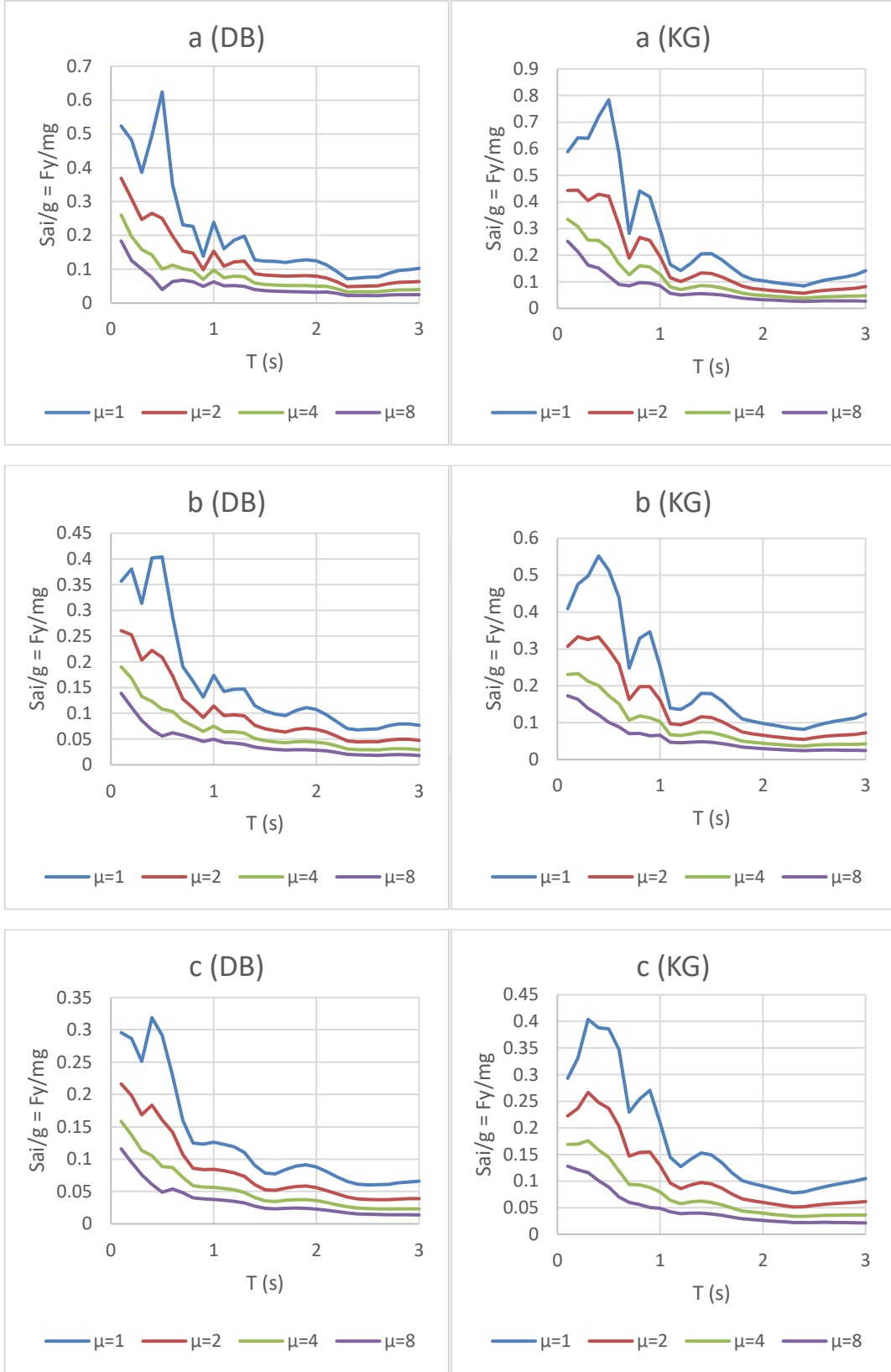
Şekil 86 Bursa depremi Sönüm oranı $a=\%2$, $b=\%5$, $c=\%10$ için ivme veya dayanım spektrumu



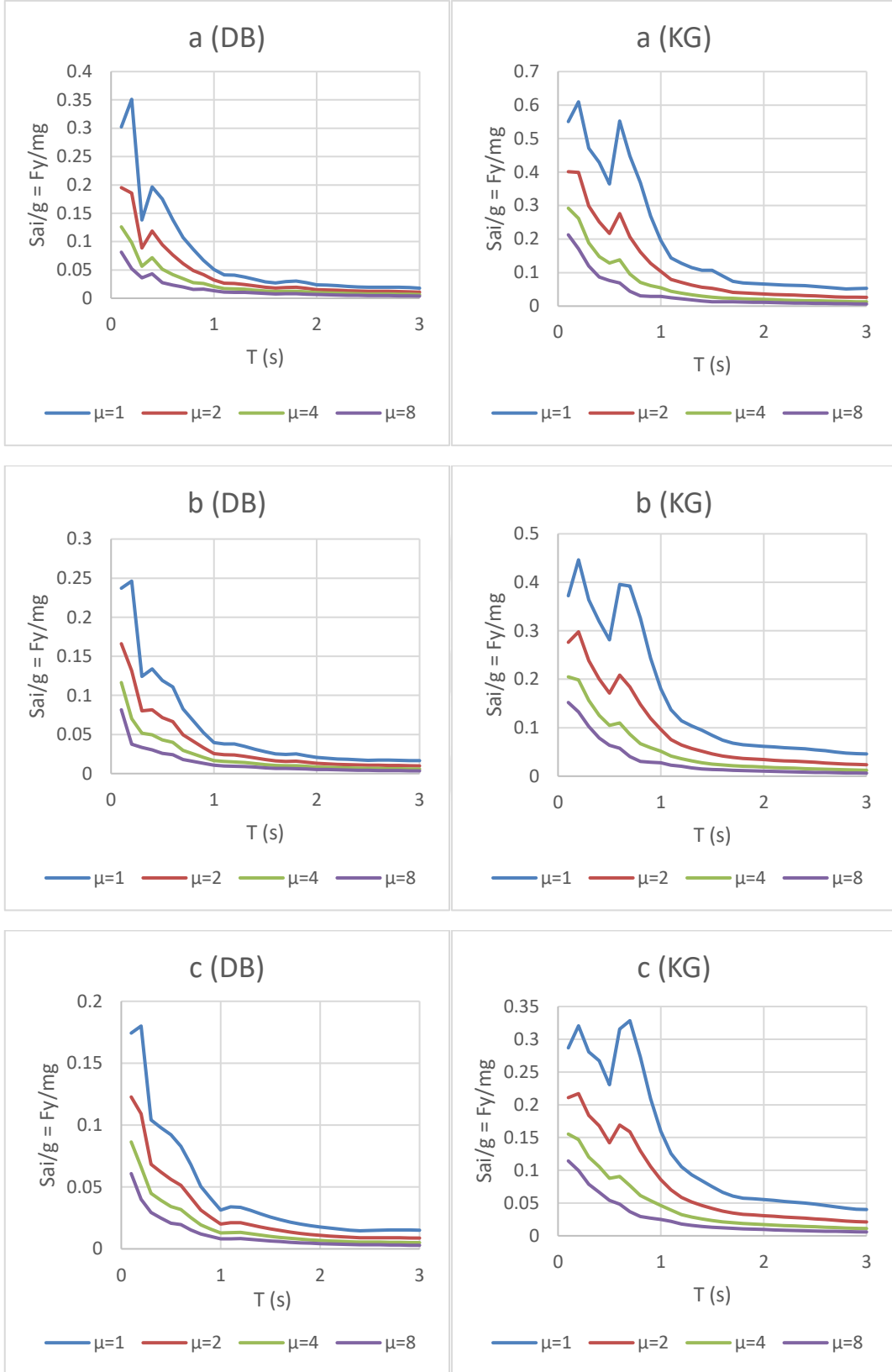
Şekil 87 Hatay depremi Sönüm oranı $a=2$, $b=5$, $c=10$ için ivme veya dayanım spektrumu



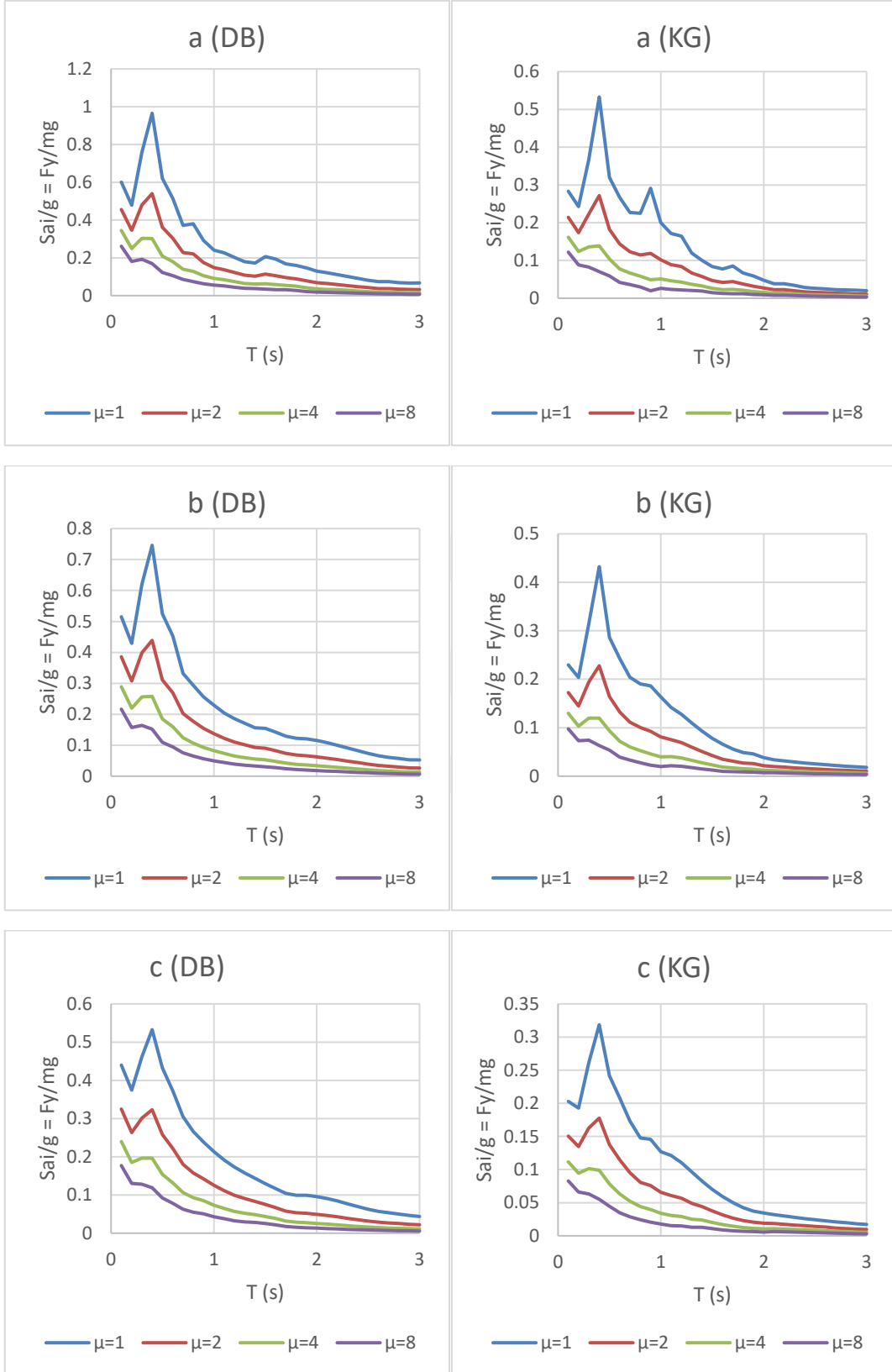
Şekil 88 Kahramanmaraş depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



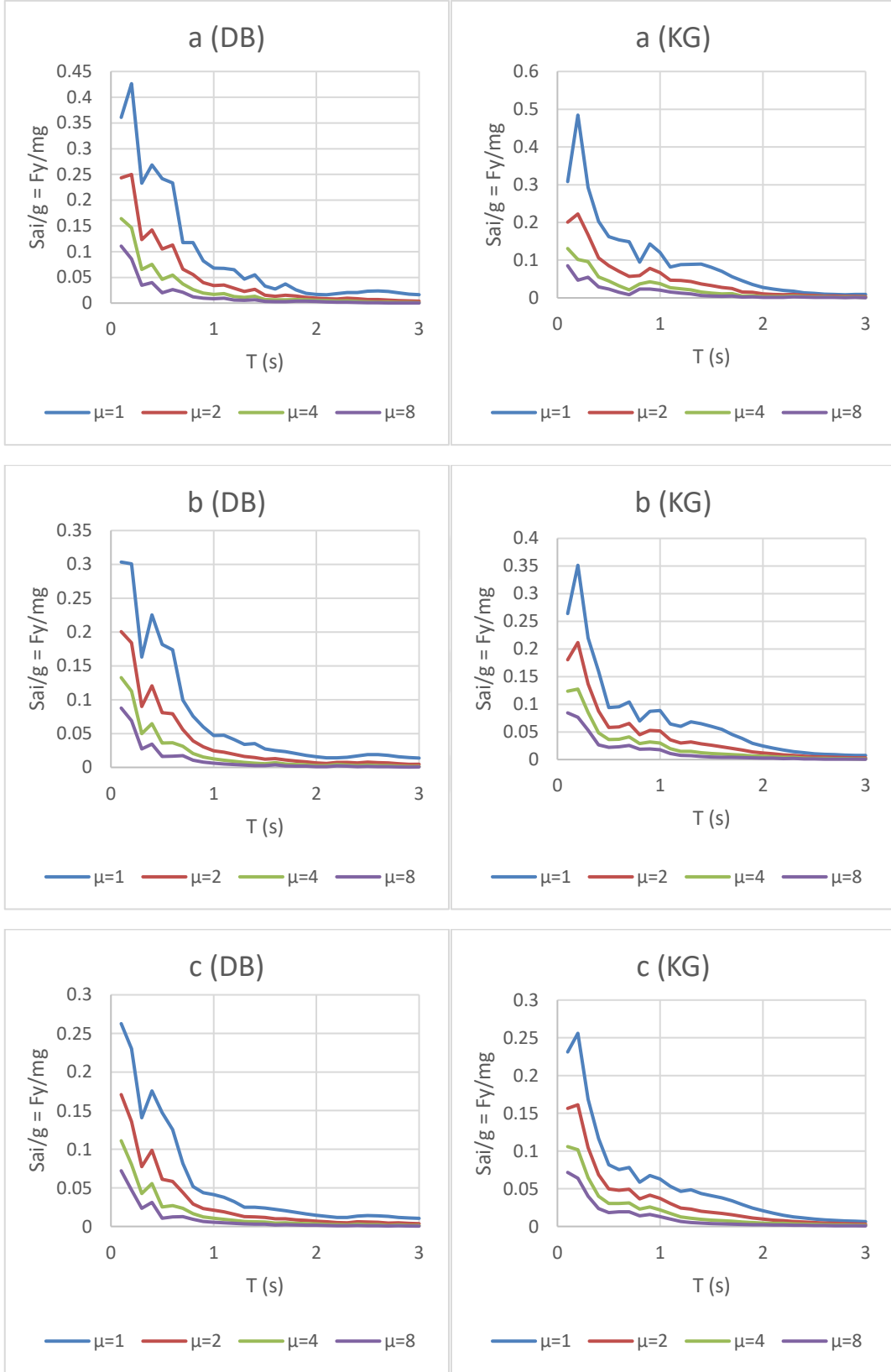
Şekil 89 Kocaeli depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



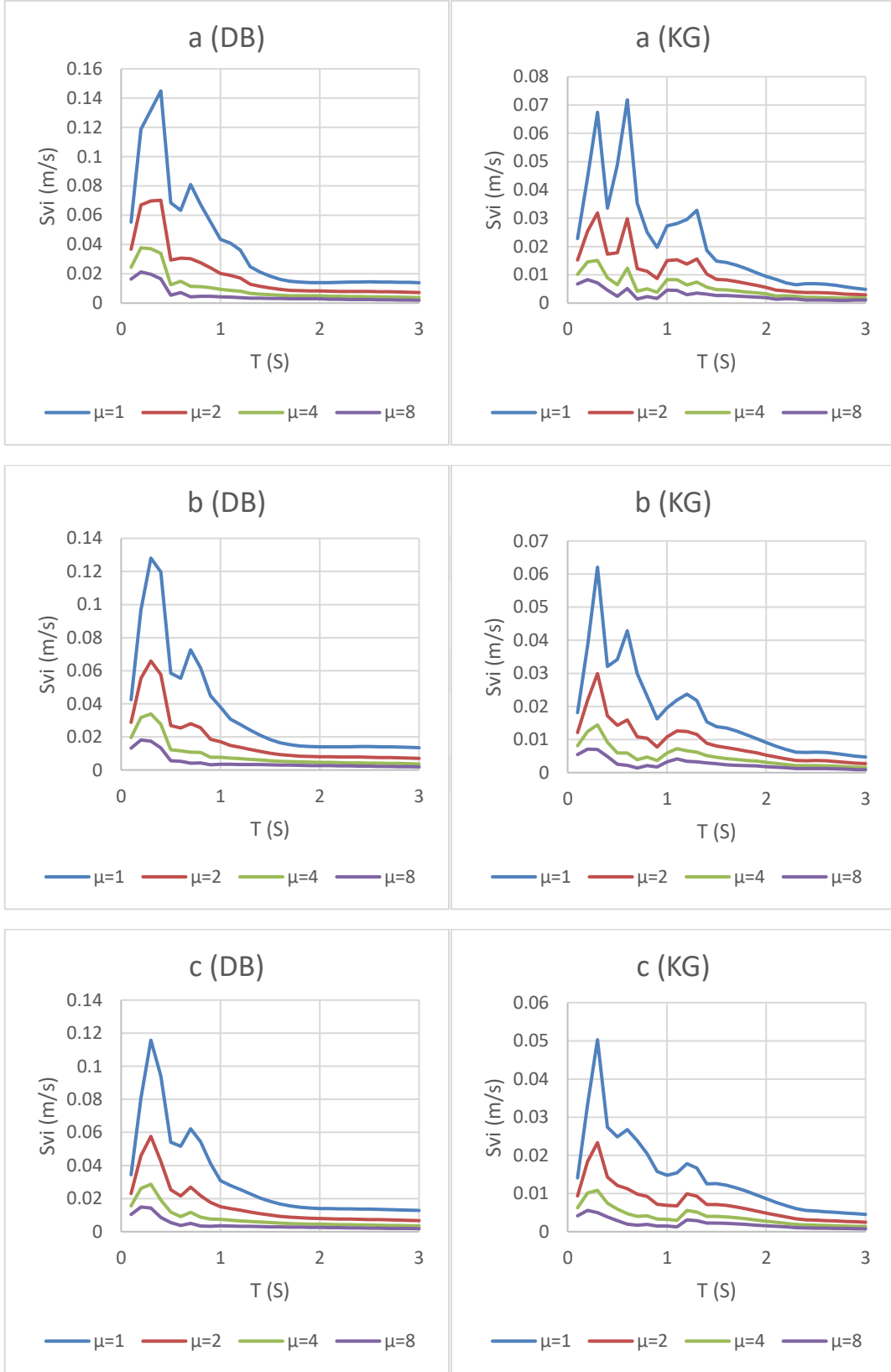
Şekil 90 Muğla depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



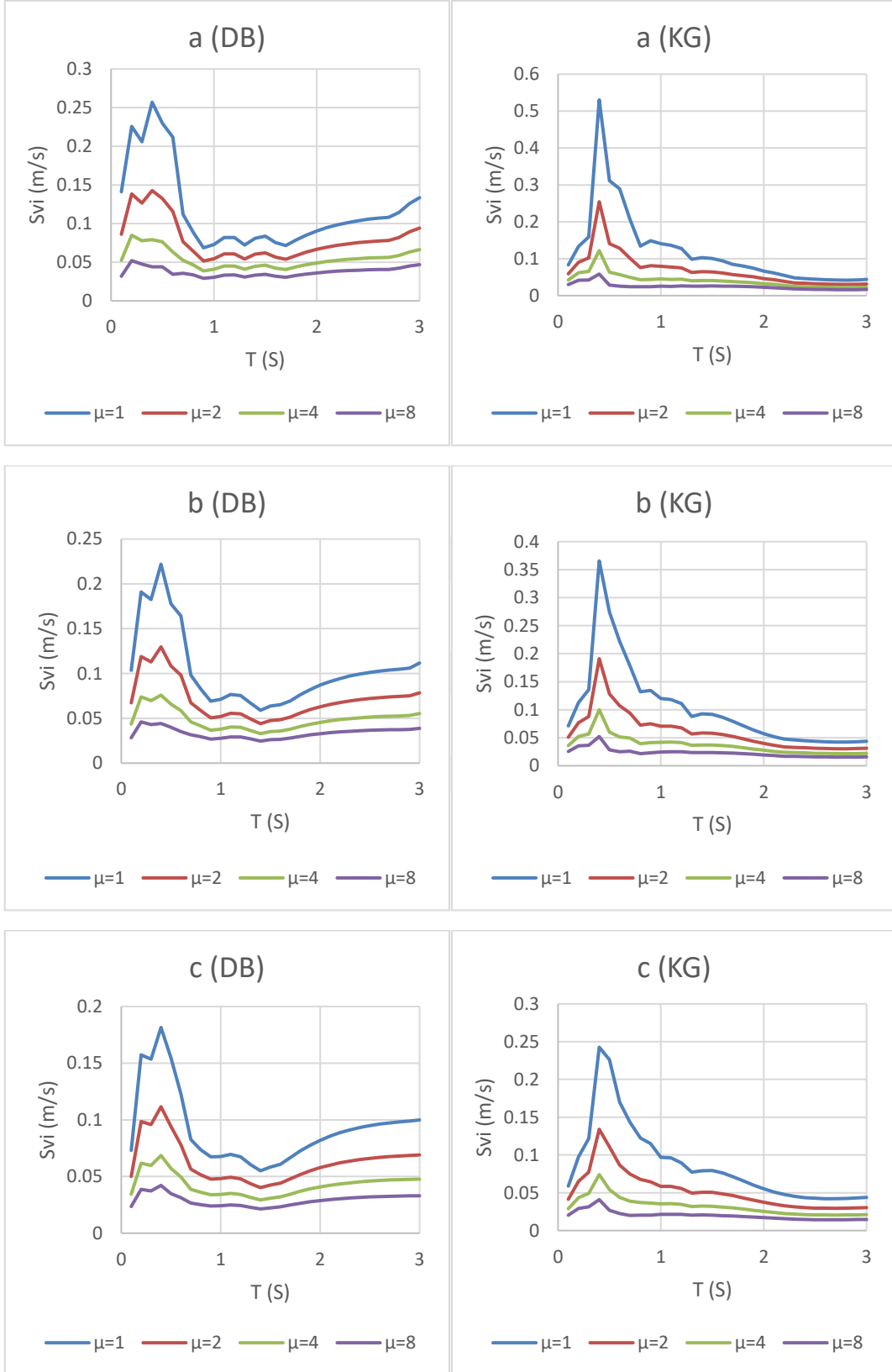
Şekil 91 Van depremi Sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için ivme veya dayanım spektrumu



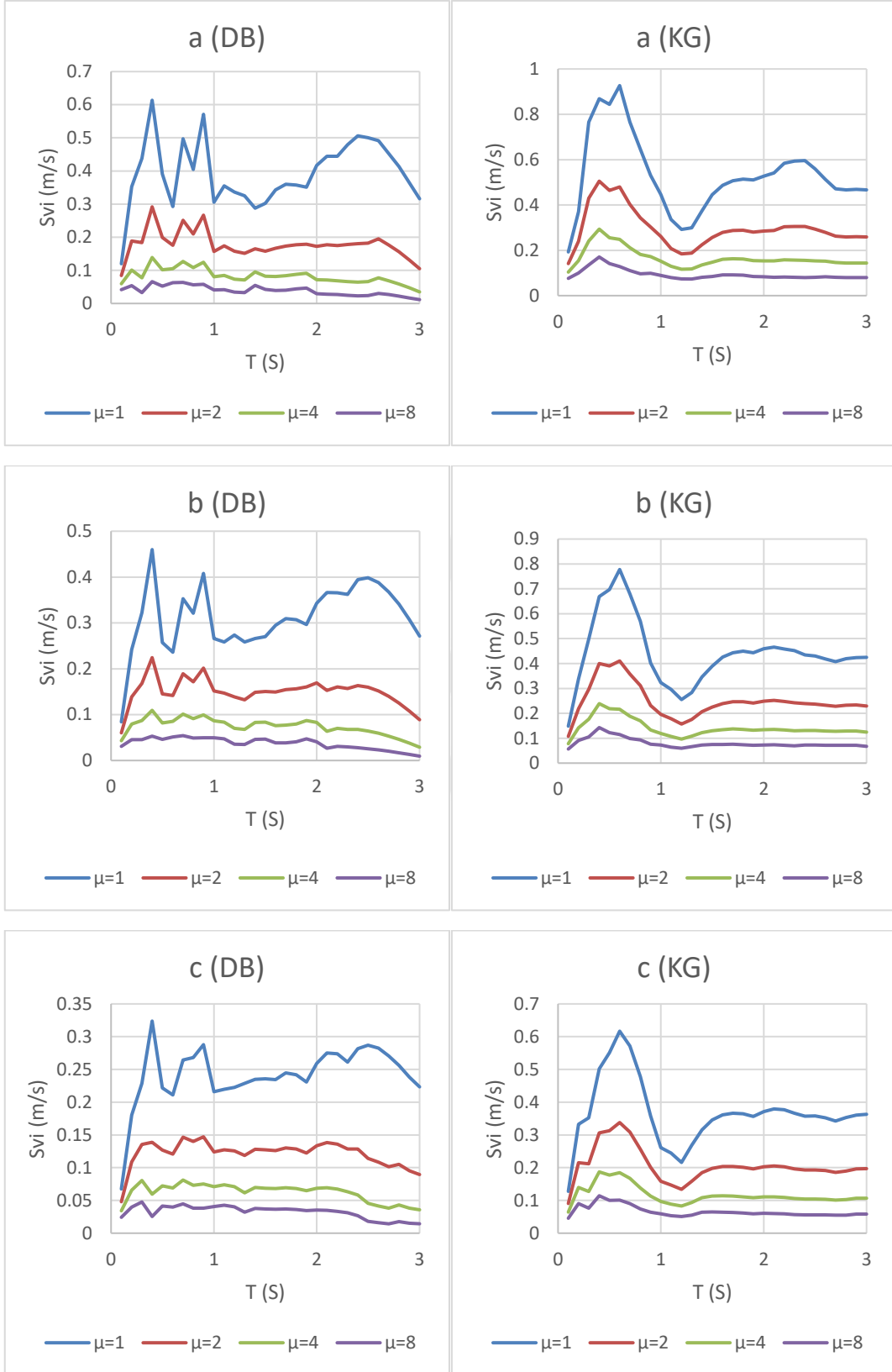
Şekil 92 Hatay depremi Sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için ivme veya dayanım spektrumu



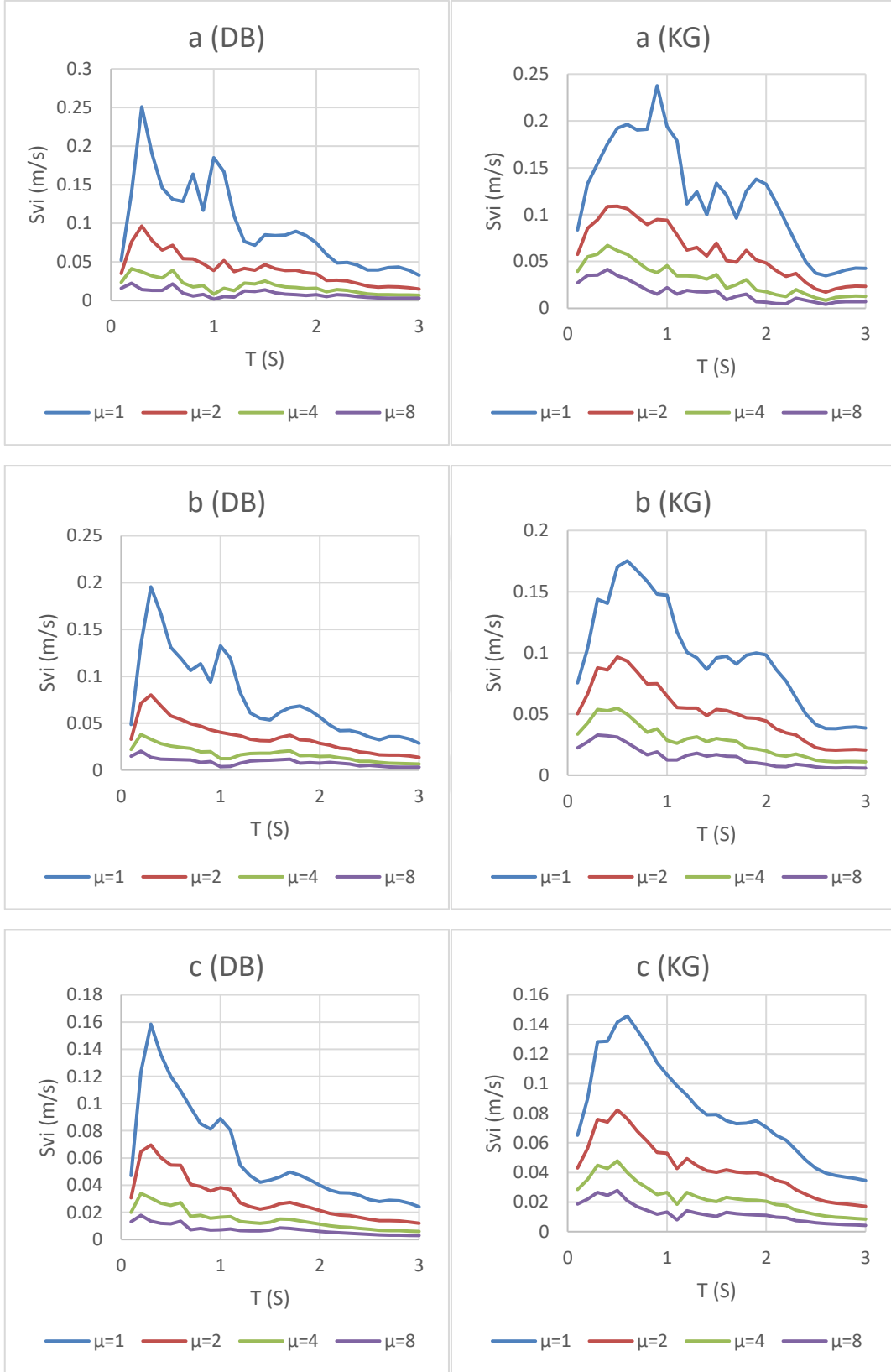
Şekil 93 Aydın depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



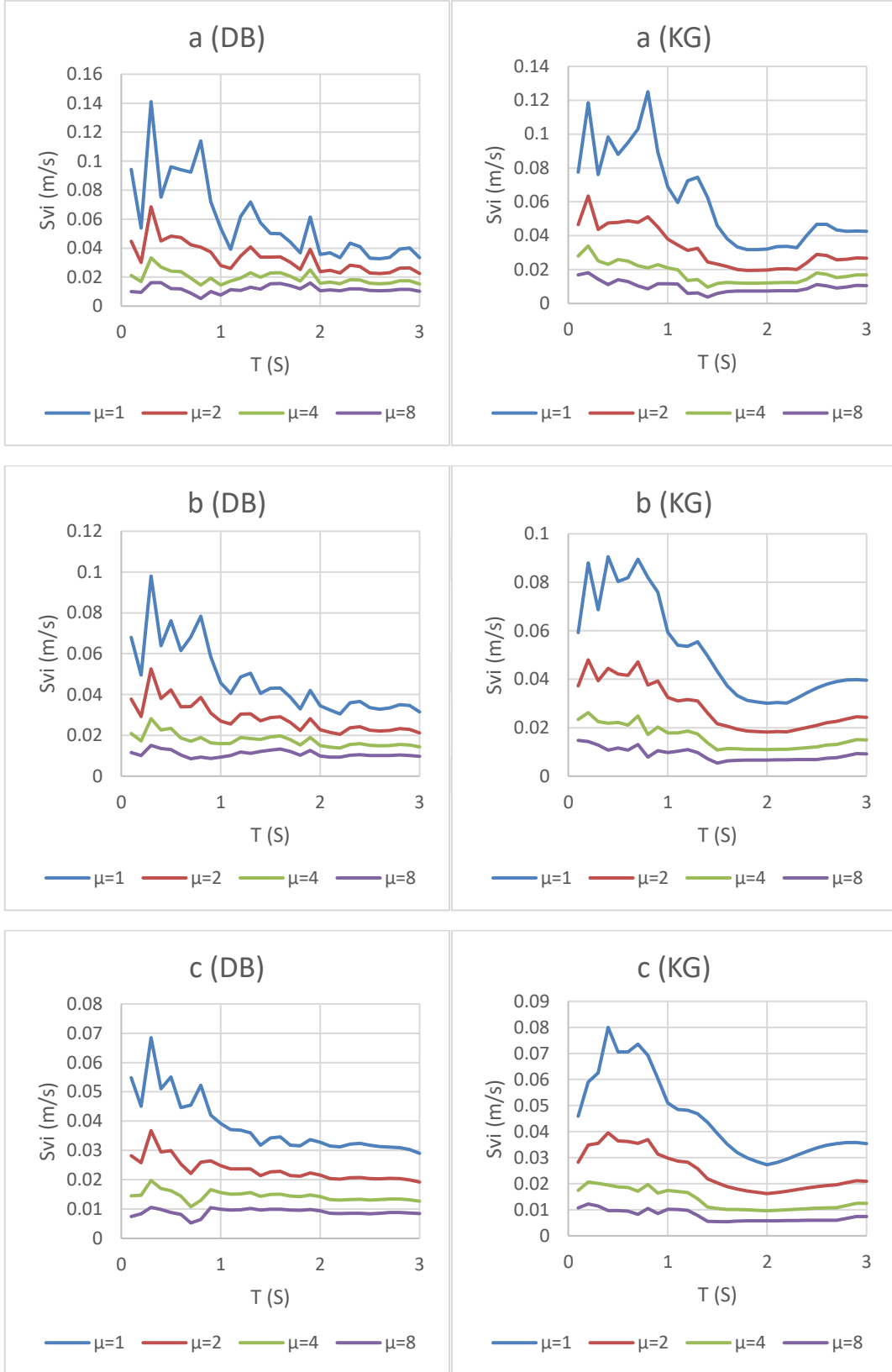
Şekil 94 Balıkesir depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



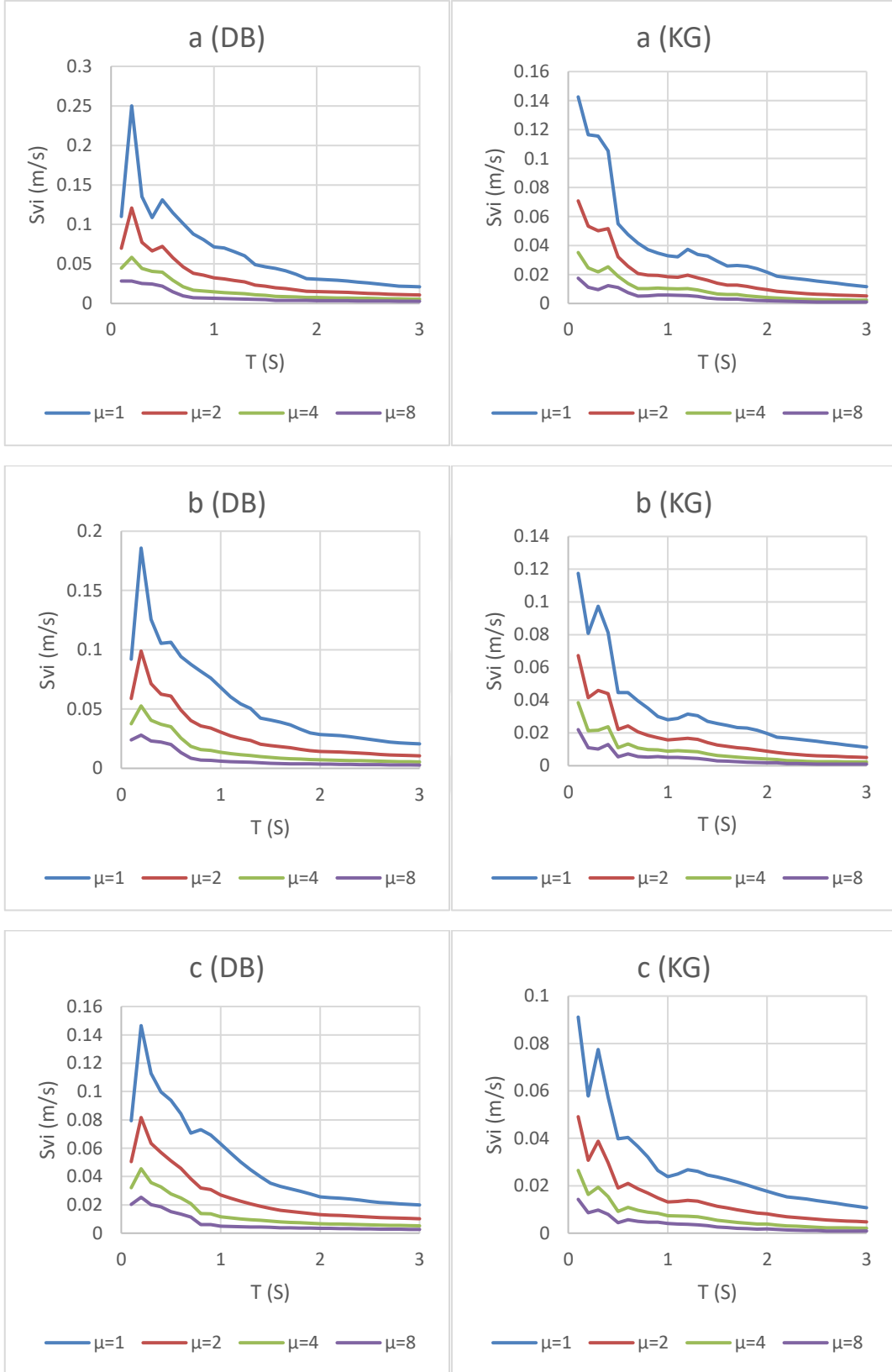
Şekil 95 Bingöl depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



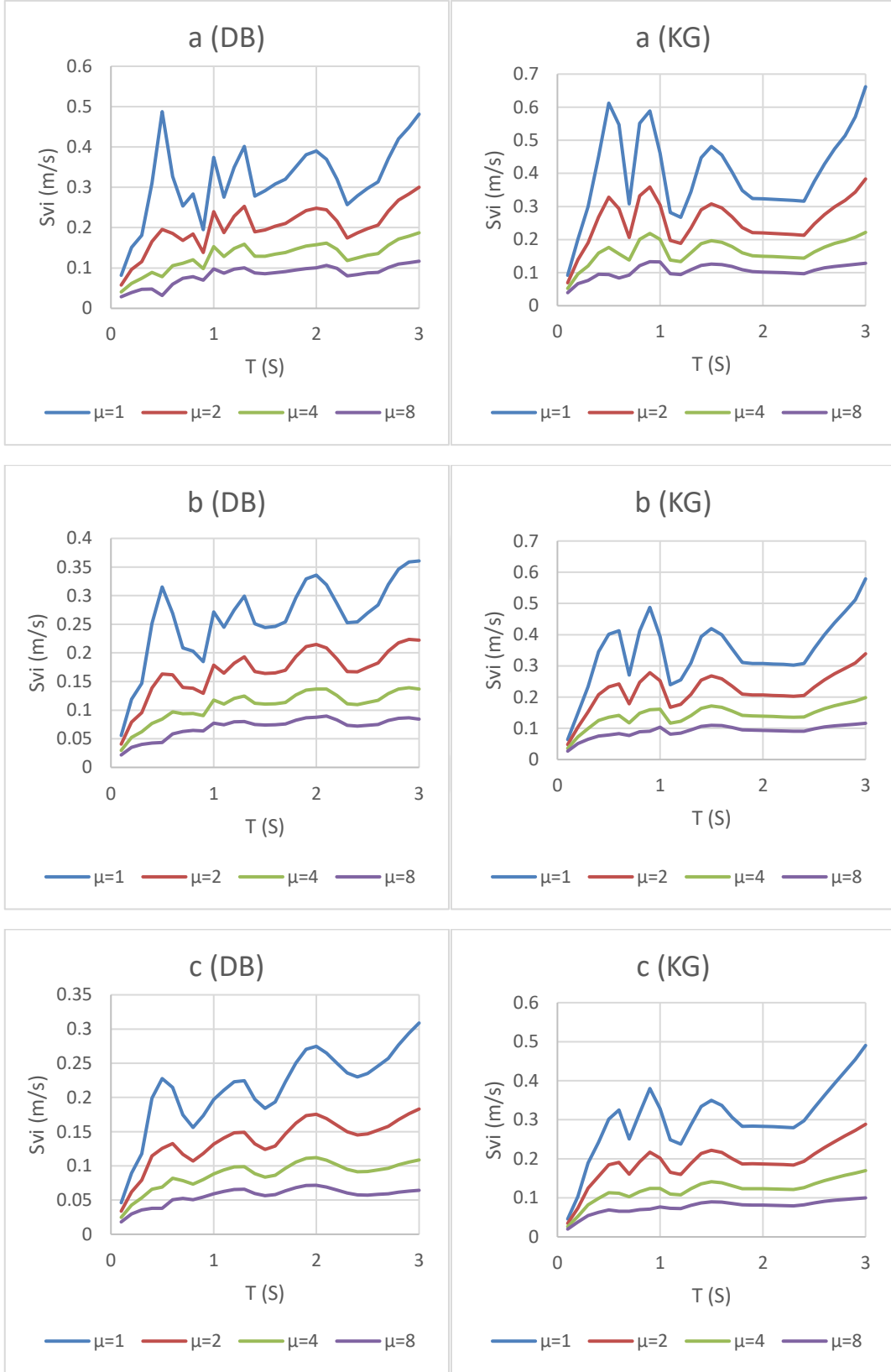
Şekil 96 Bursa depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



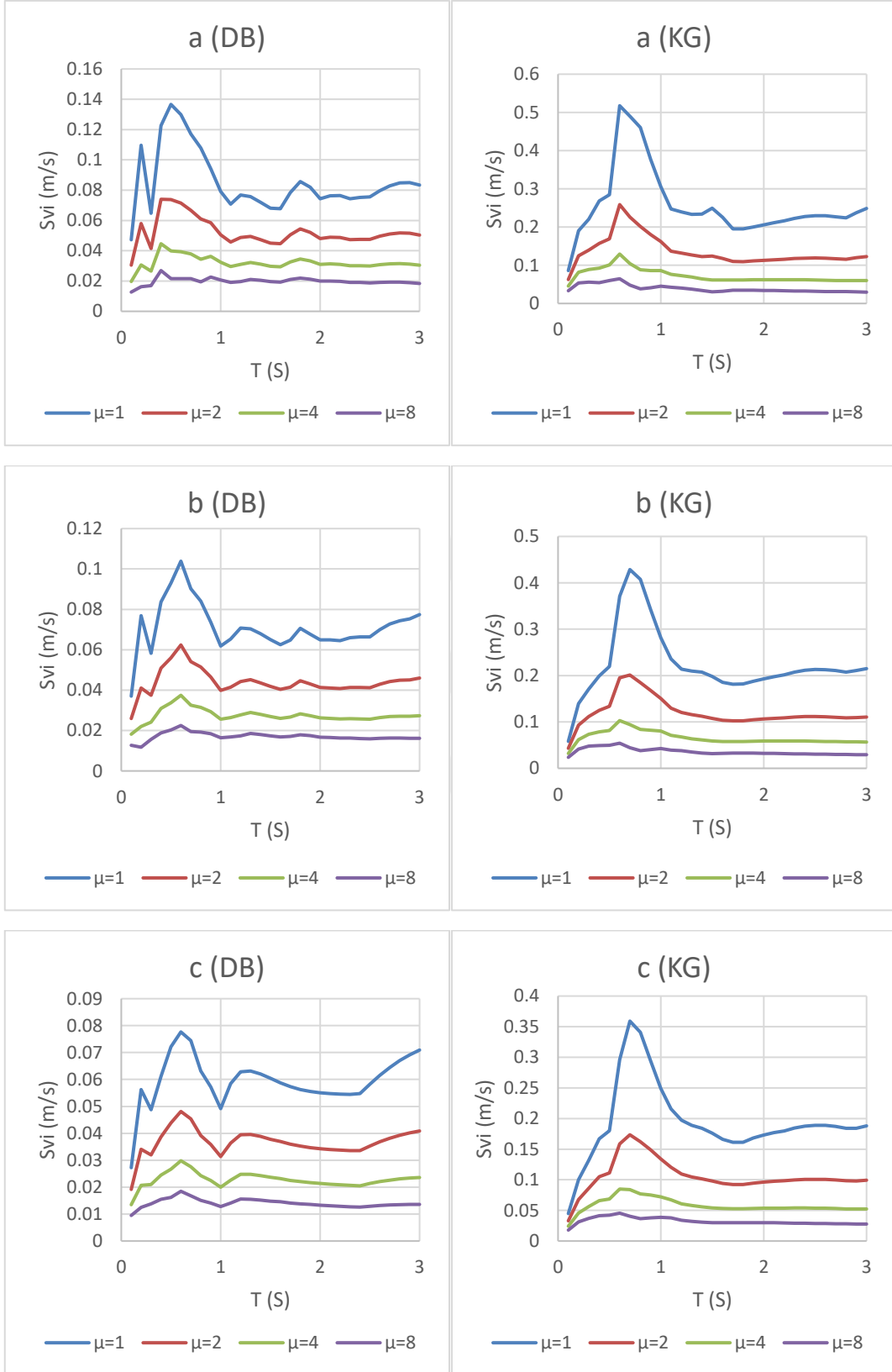
Şekil 97 Hatay depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



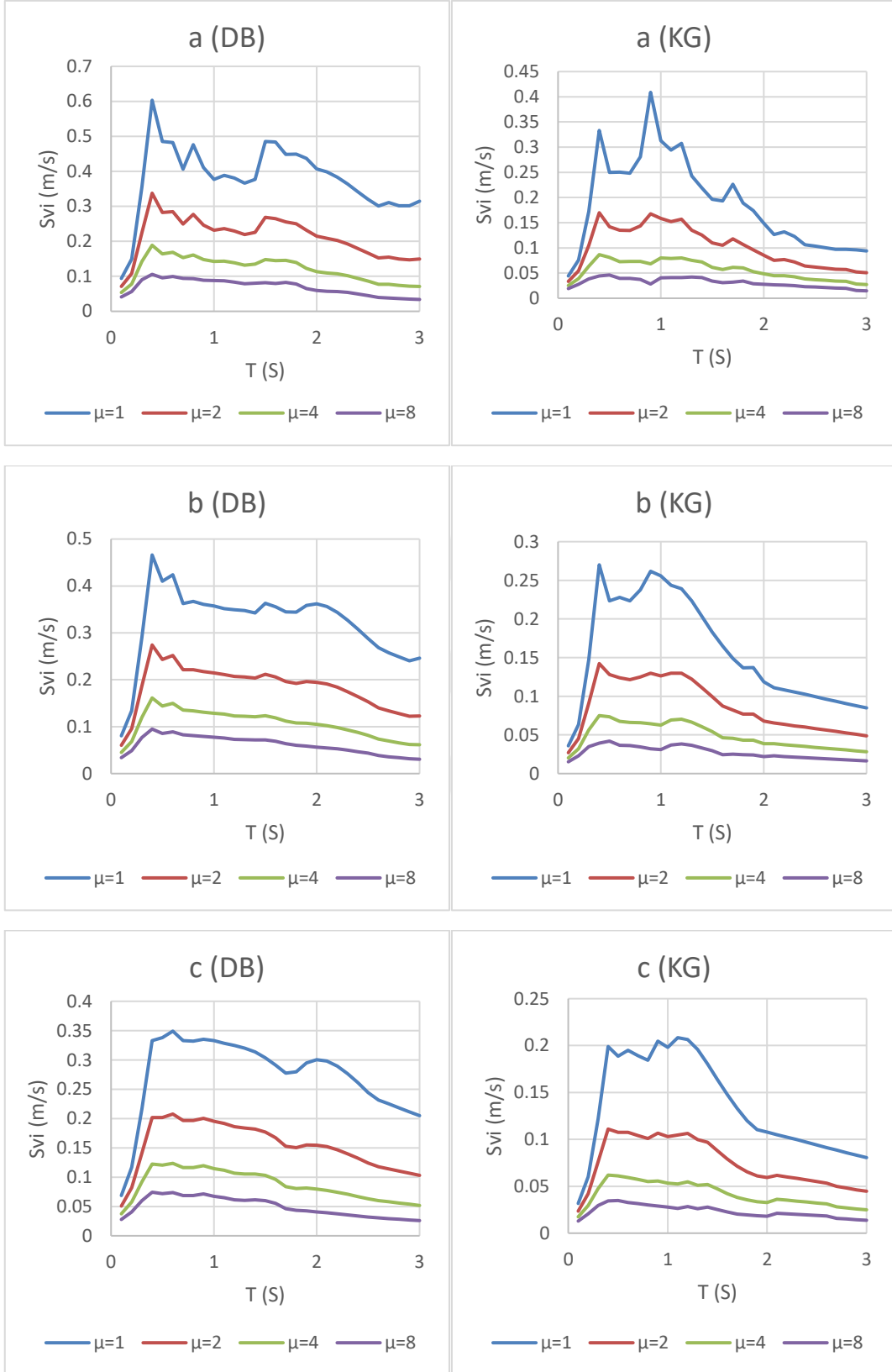
Şekil 98 Kahramanmaraş depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



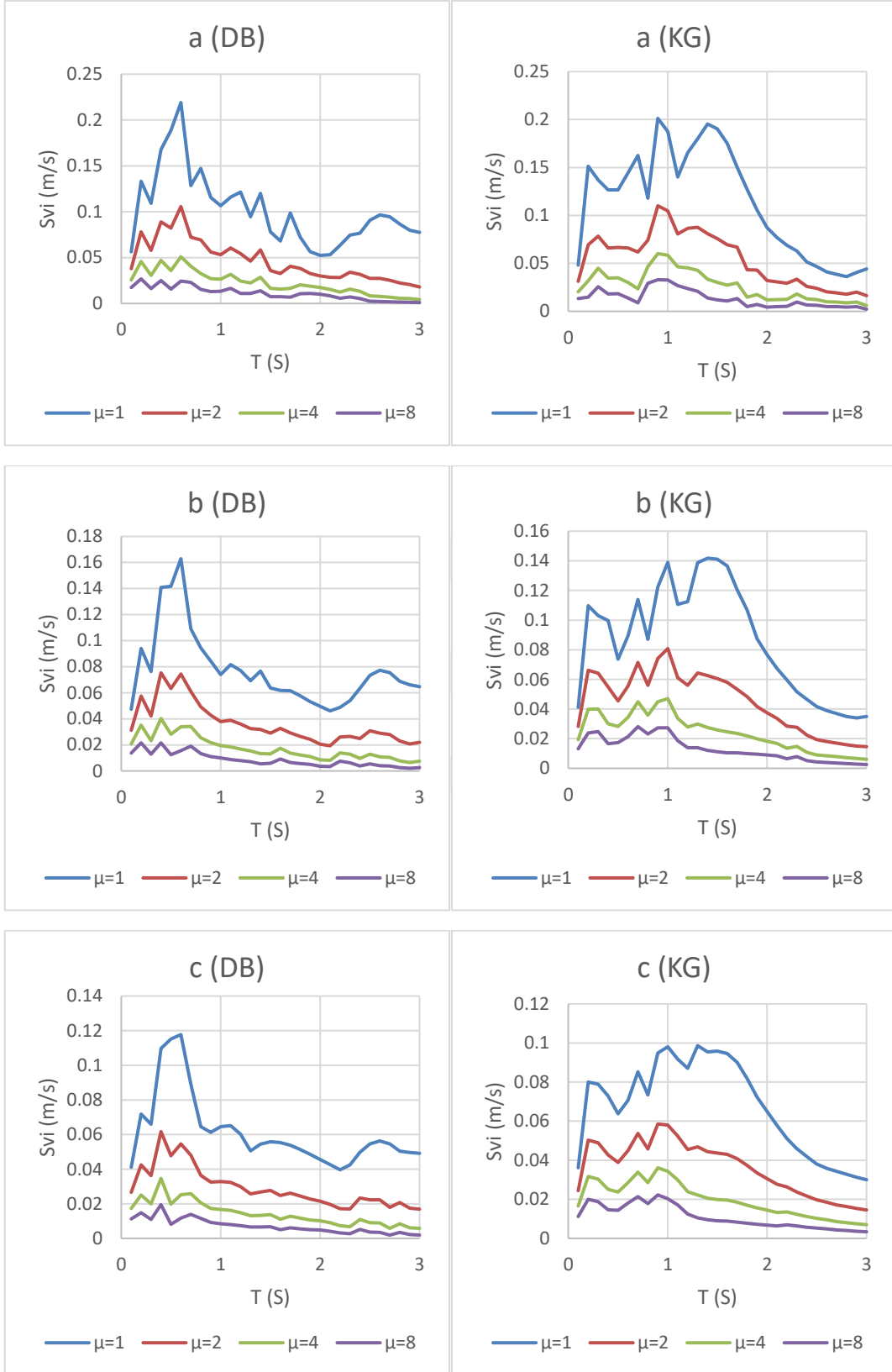
Şekil 99 Kocaeli depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



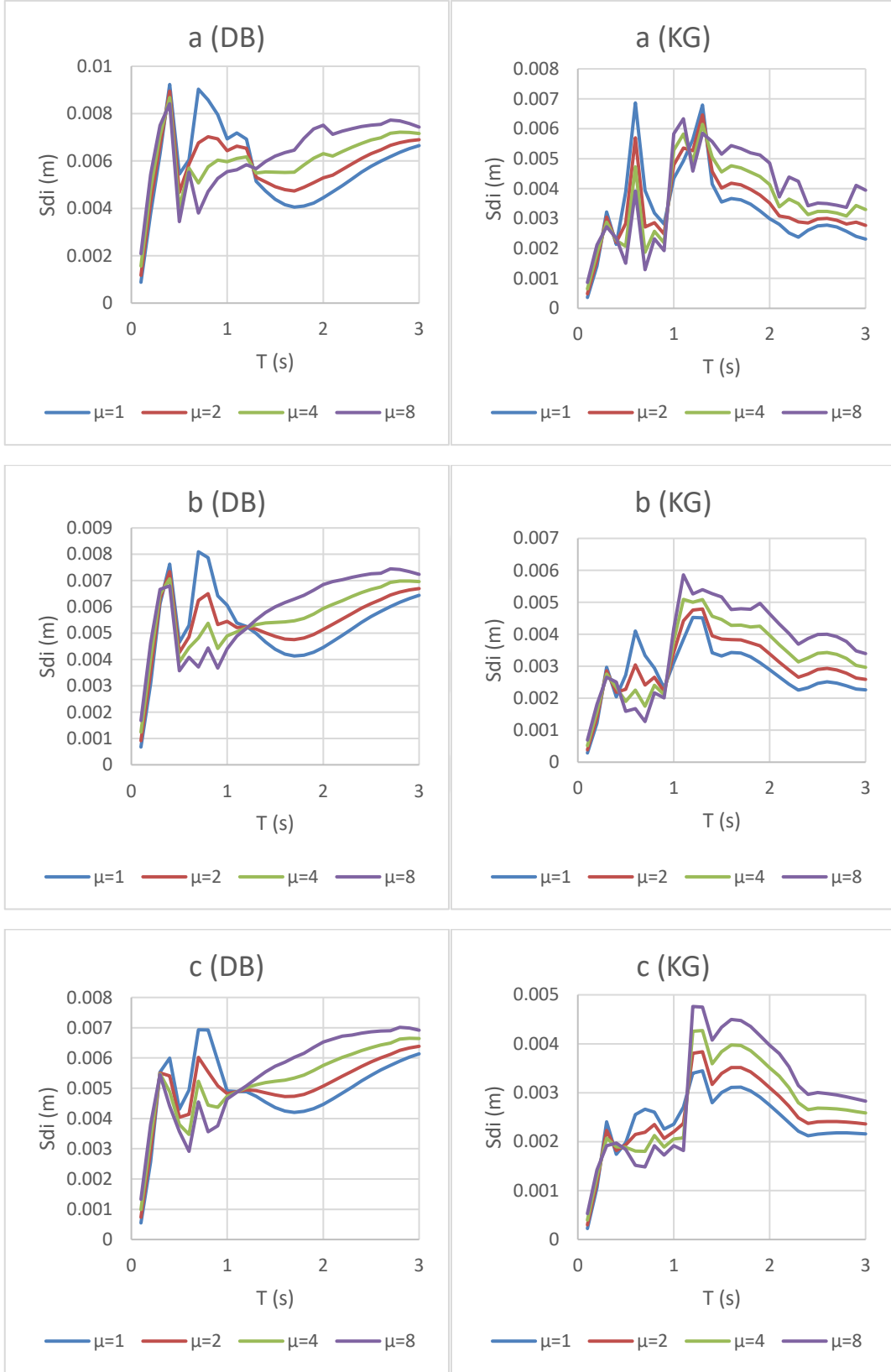
Şekil 100 Muğla depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



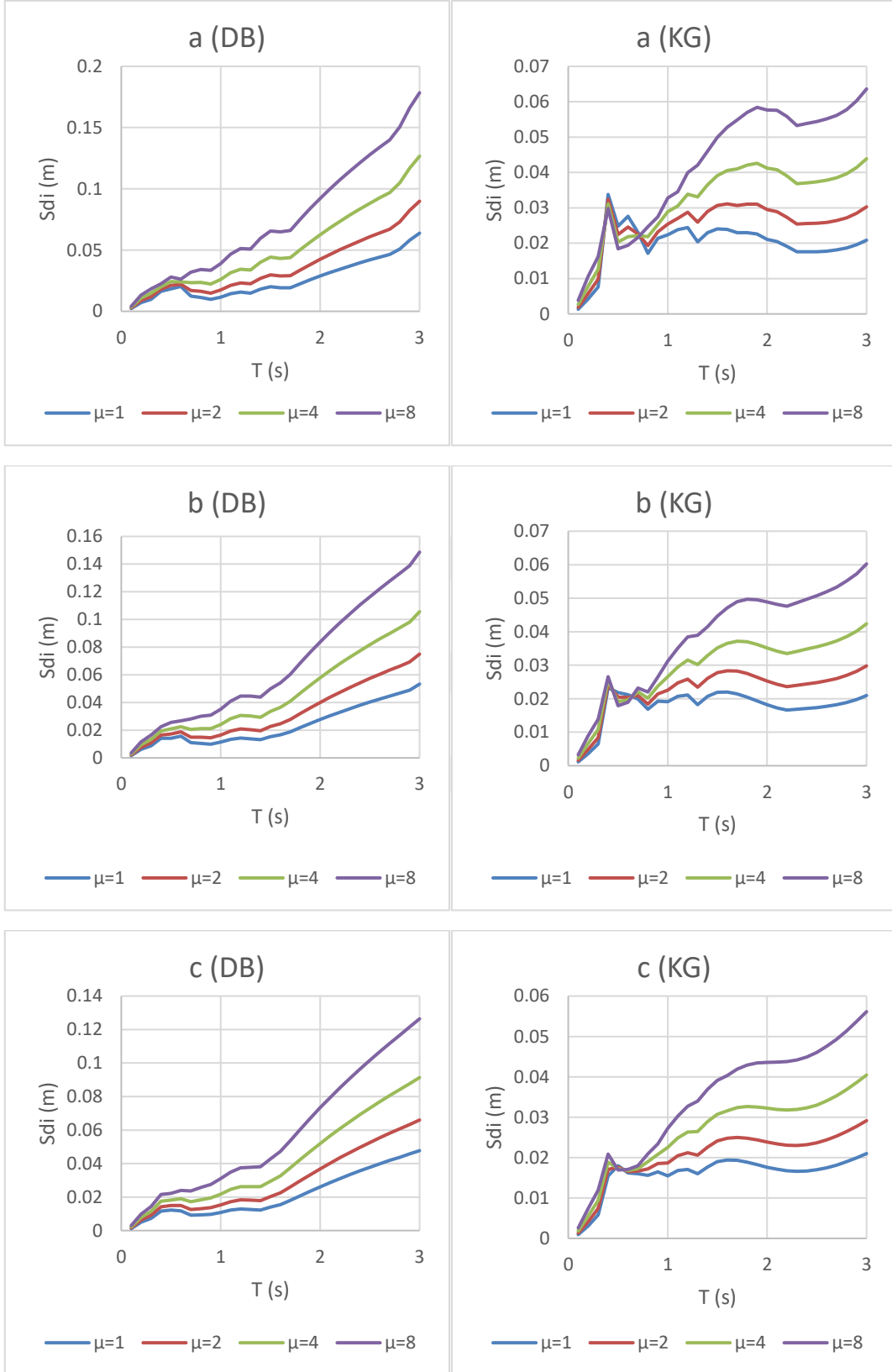
Şekil 101 Van depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için hız spektrumu



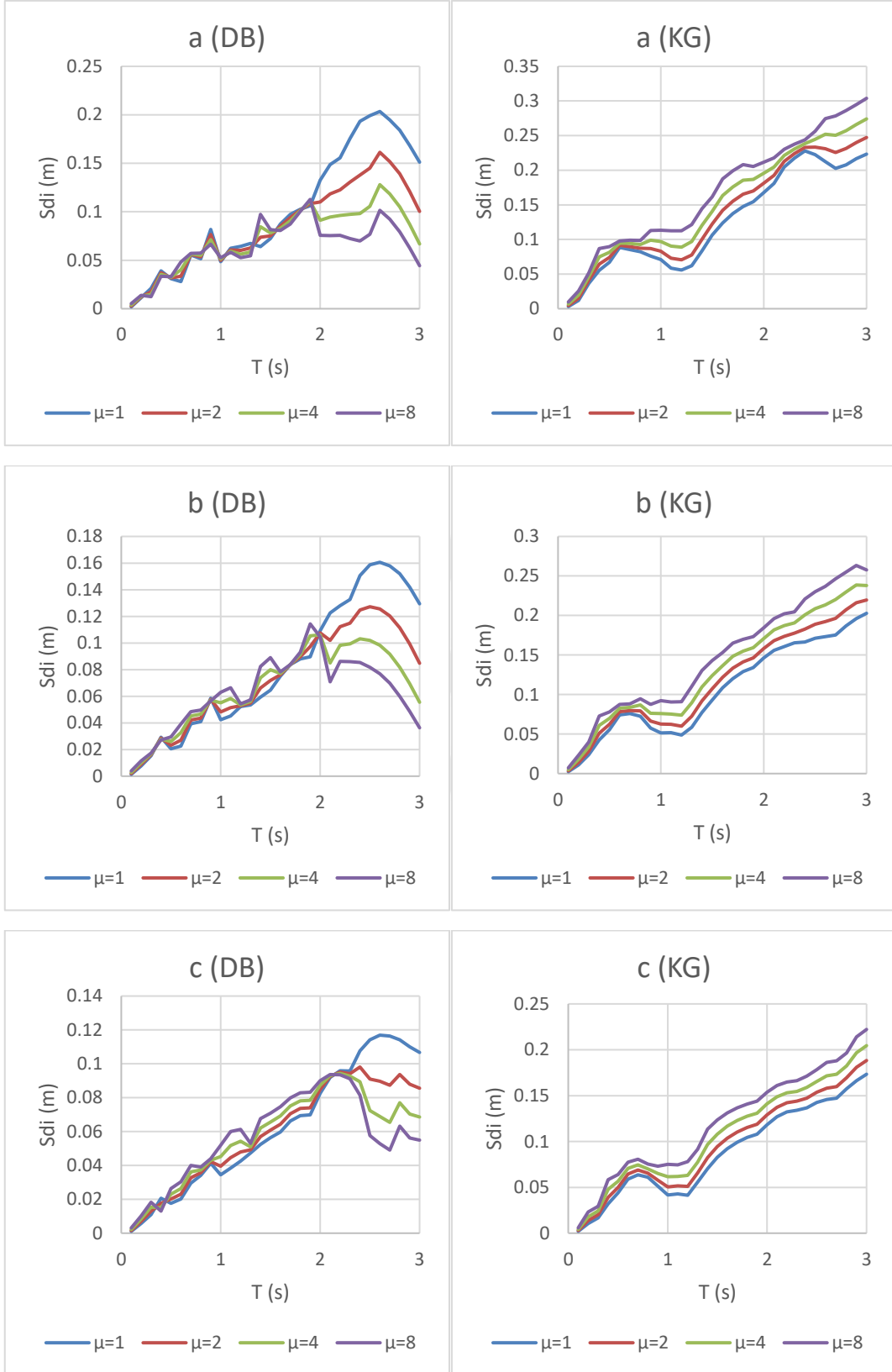
Şekil 102 Hatay depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için hız spektrumu



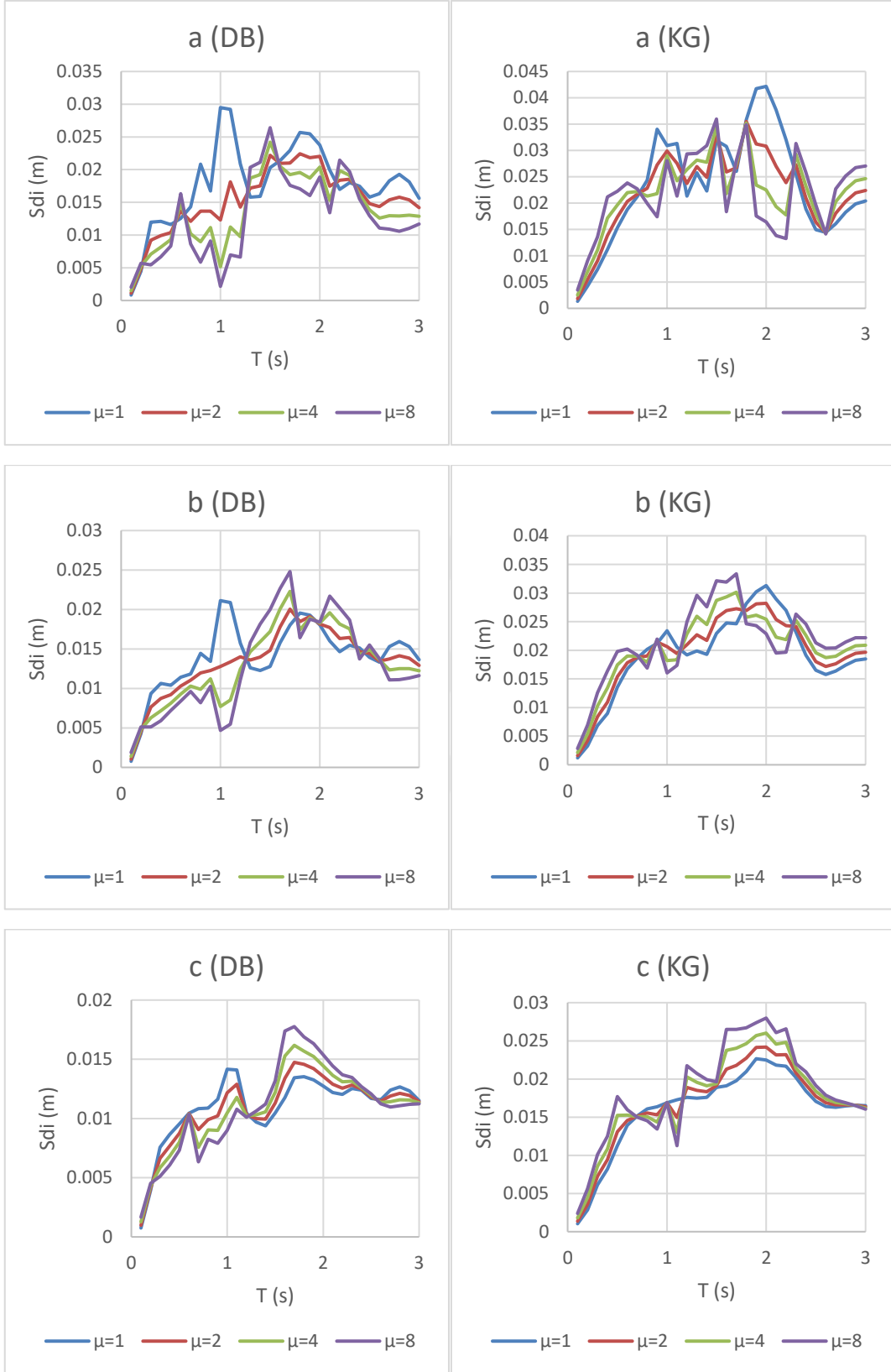
Şekil 103 Aydın depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



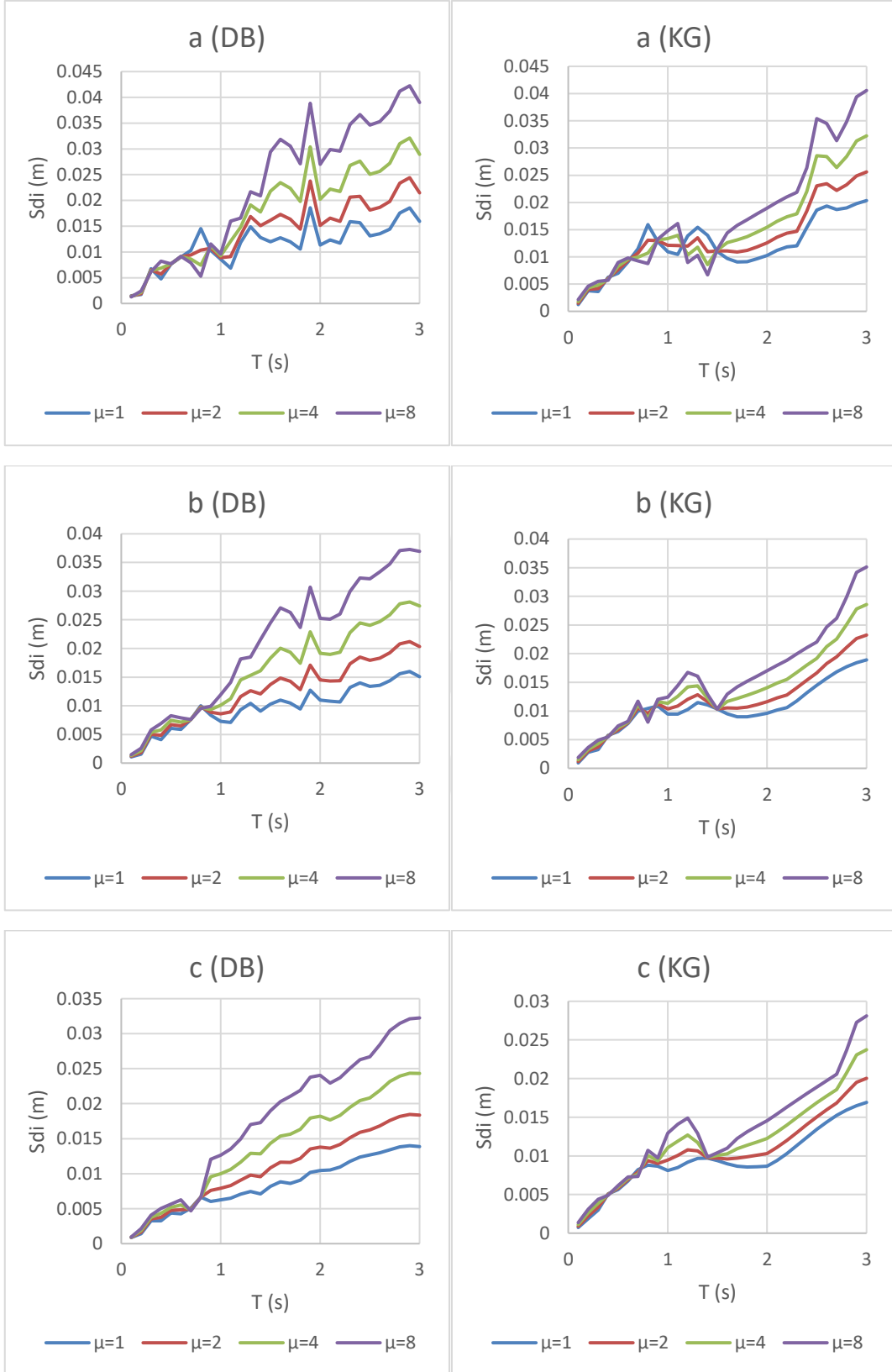
Şekil 104 Balıkesir depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



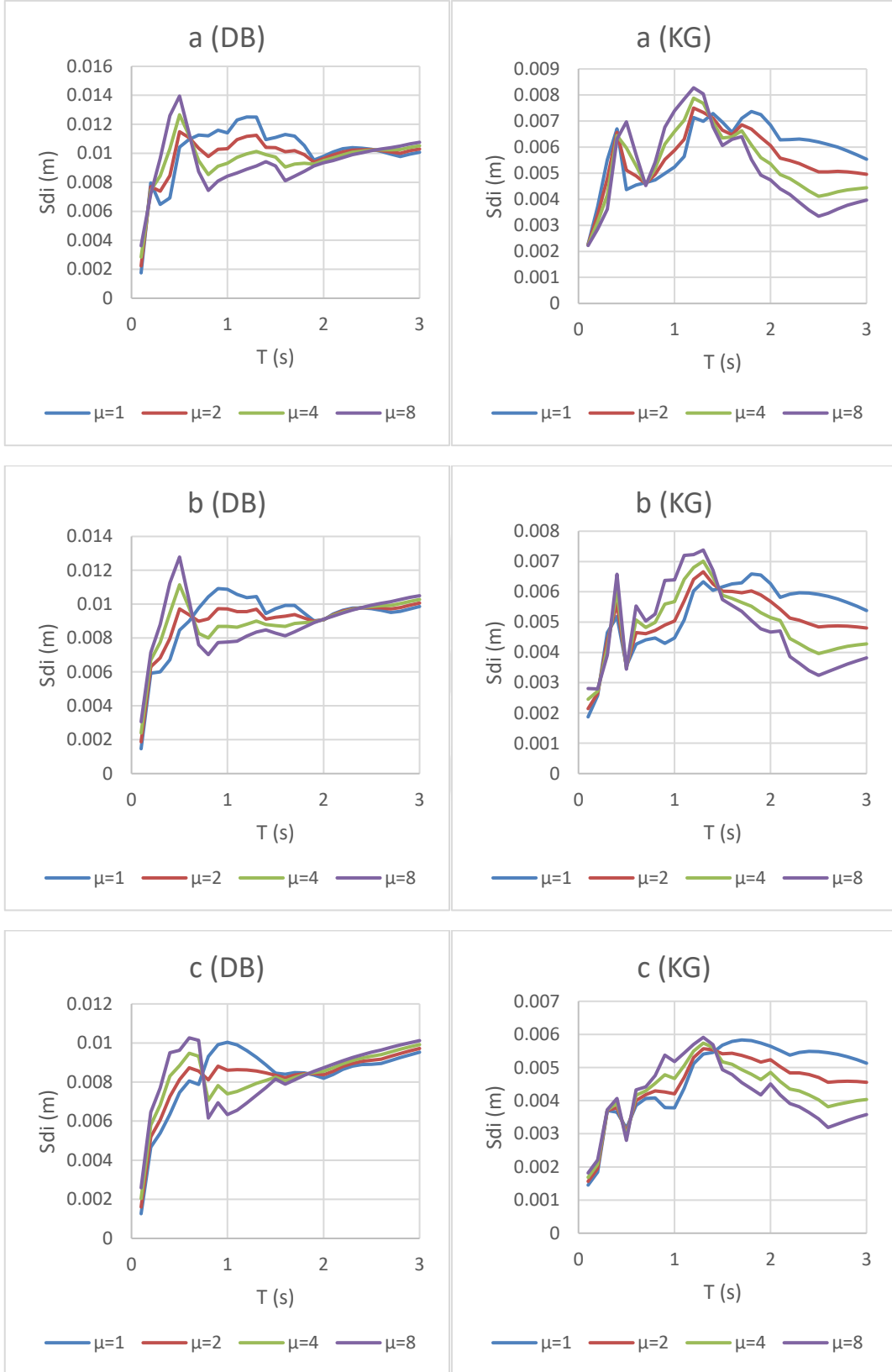
Şekil 105 Bingöl depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



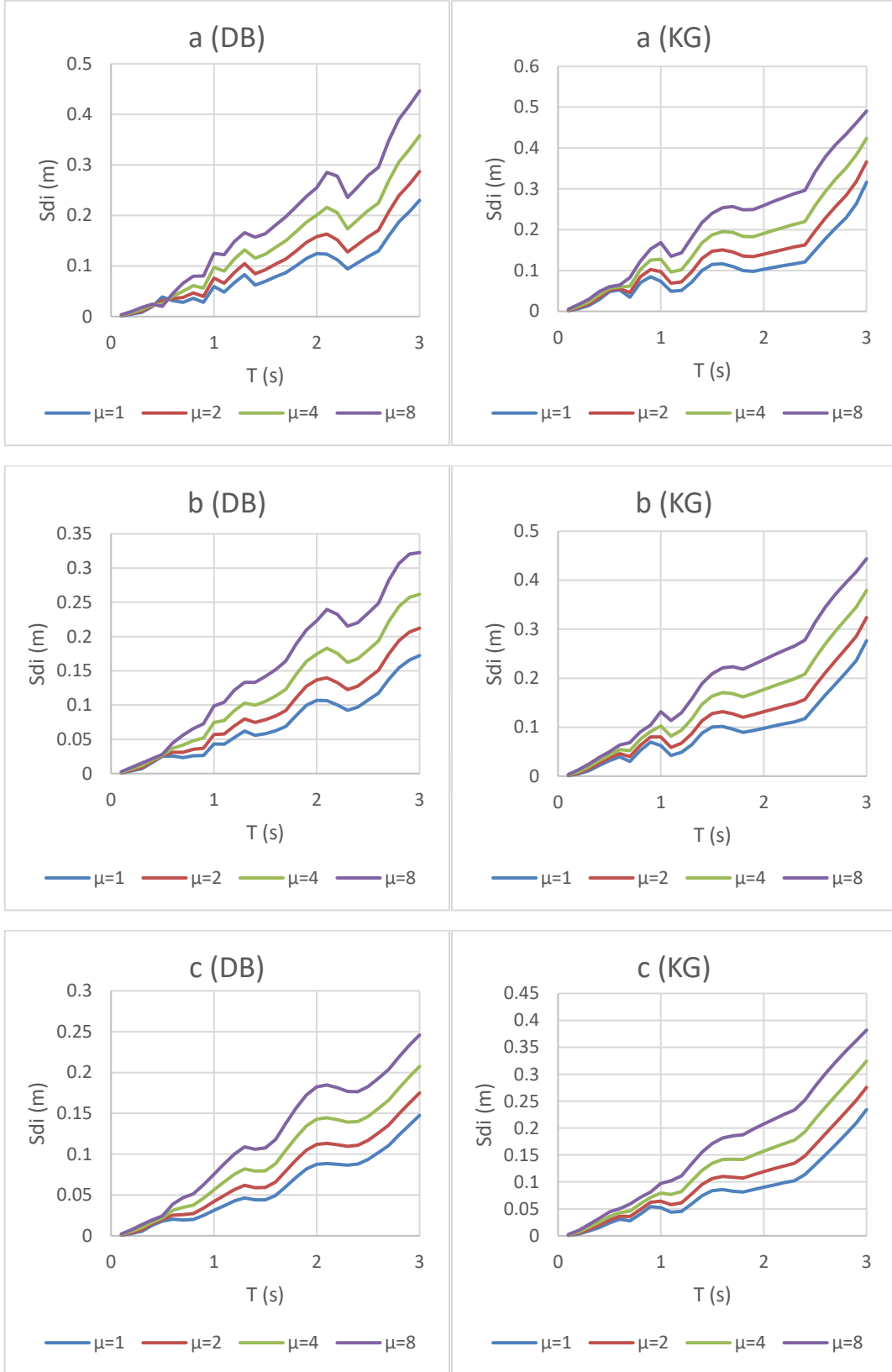
Şekil 106 Bursa depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



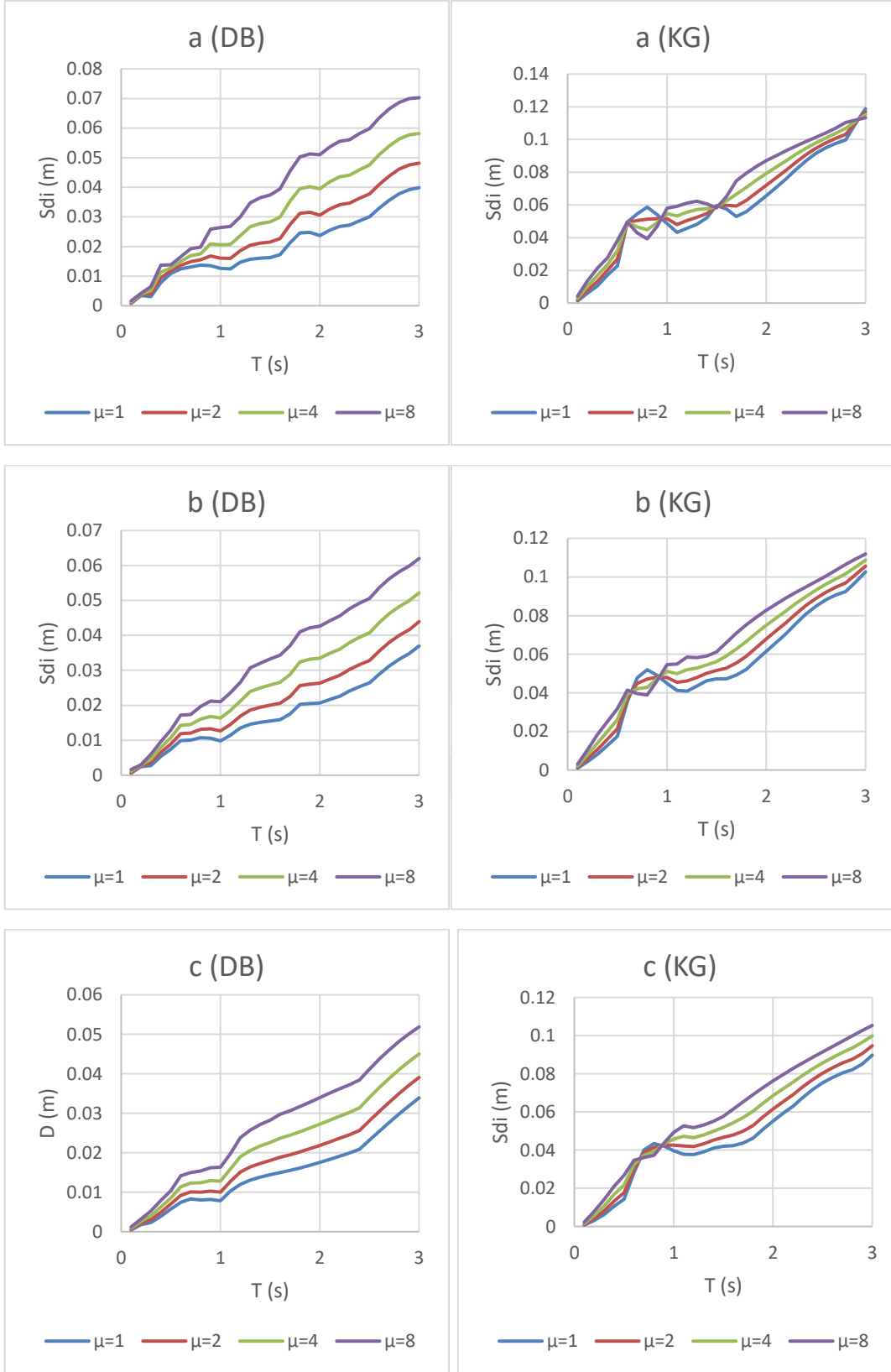
Şekil 107 Hatay depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu



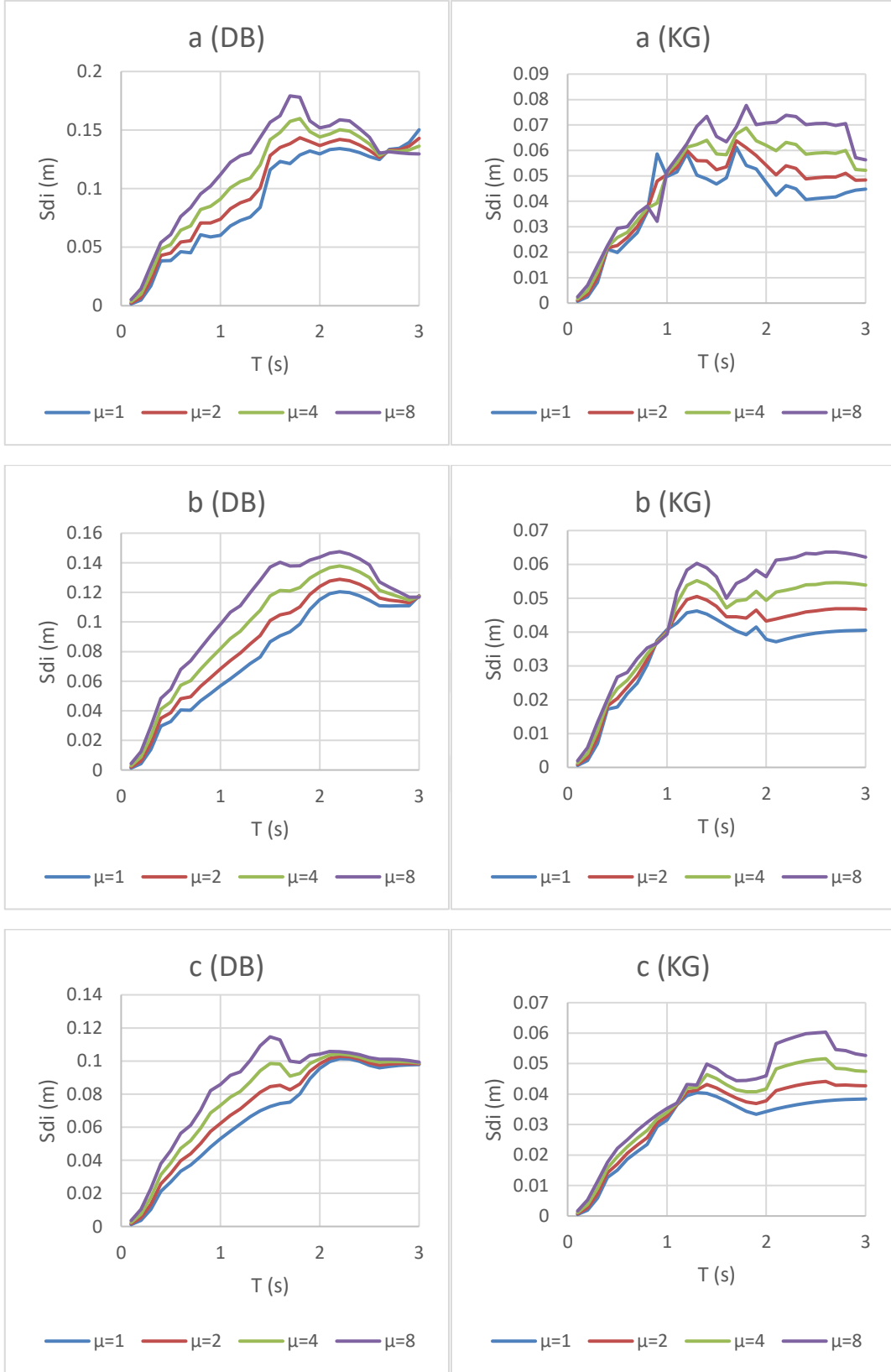
Şekil 108 Kahramanmaraş depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



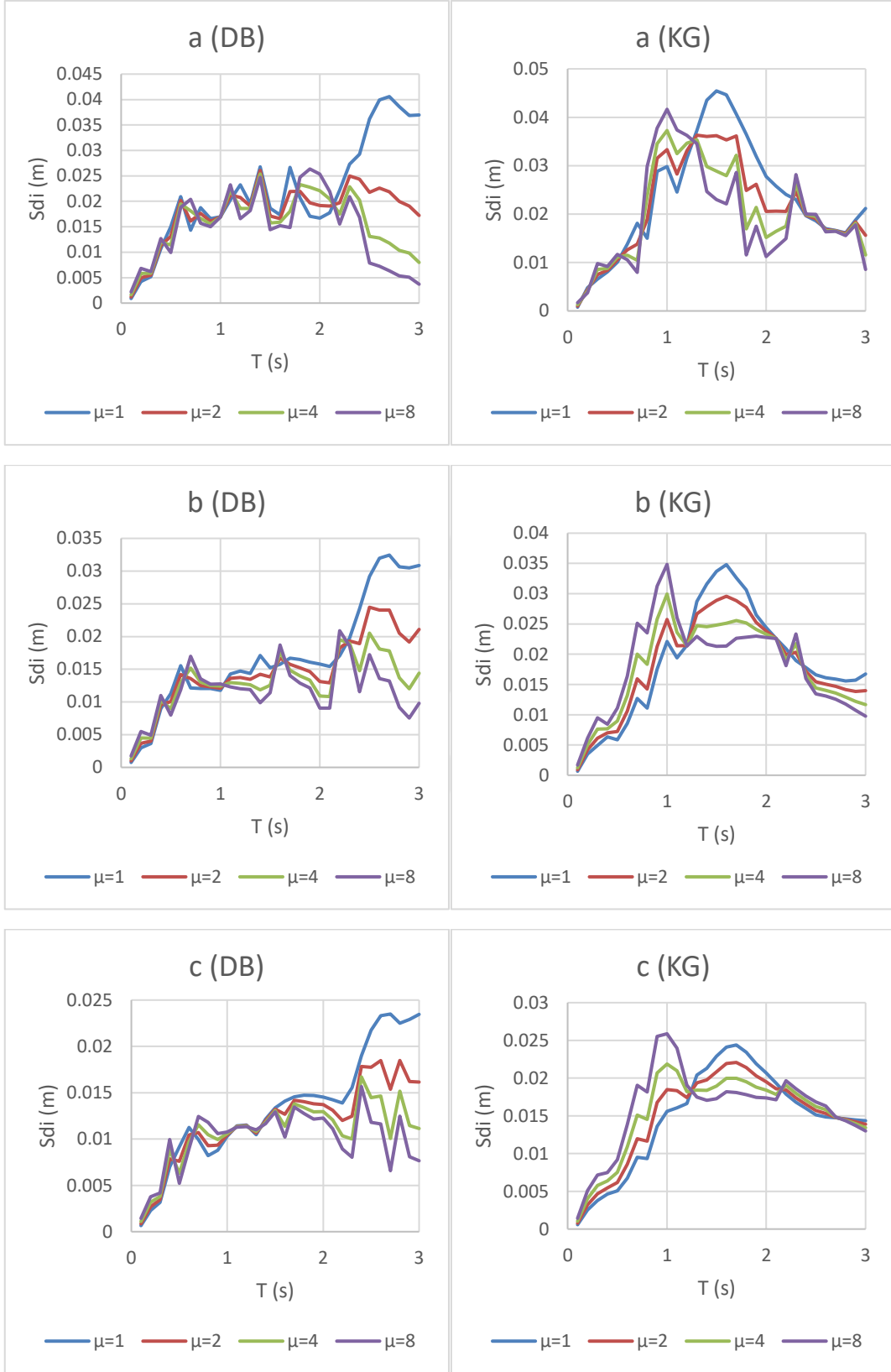
Şekil 109 Kocaeli depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



Şekil 110 Muğla depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu

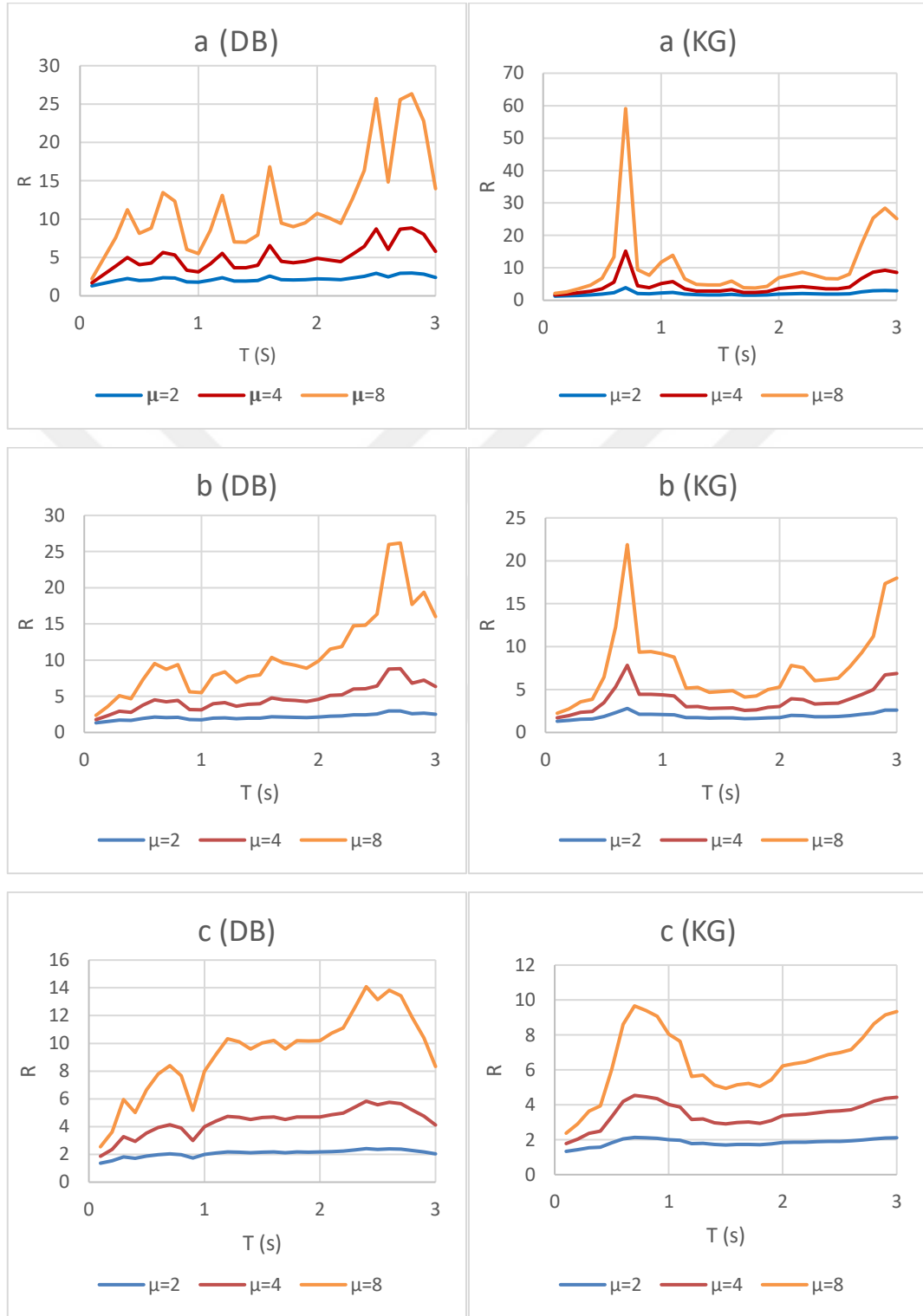


Şekil 111 Van depremi sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için yer değiştirme spektrumu



Şekil 112 Hatay depremi sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için yer değiştirme spektrumu

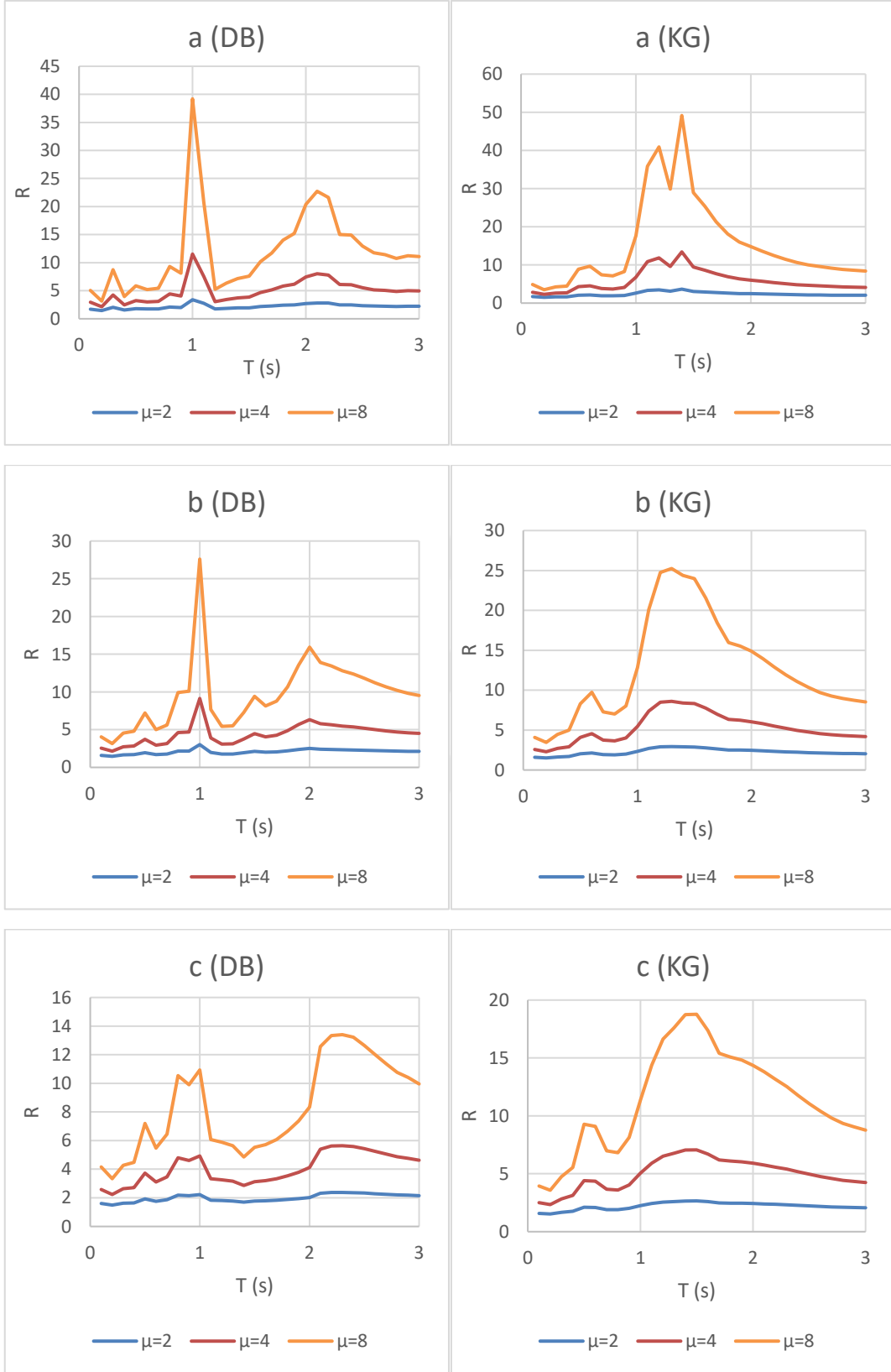
Ek2c: Yumuşak zemin grubunun $R\mu$ - μ -T davranış spektrumları



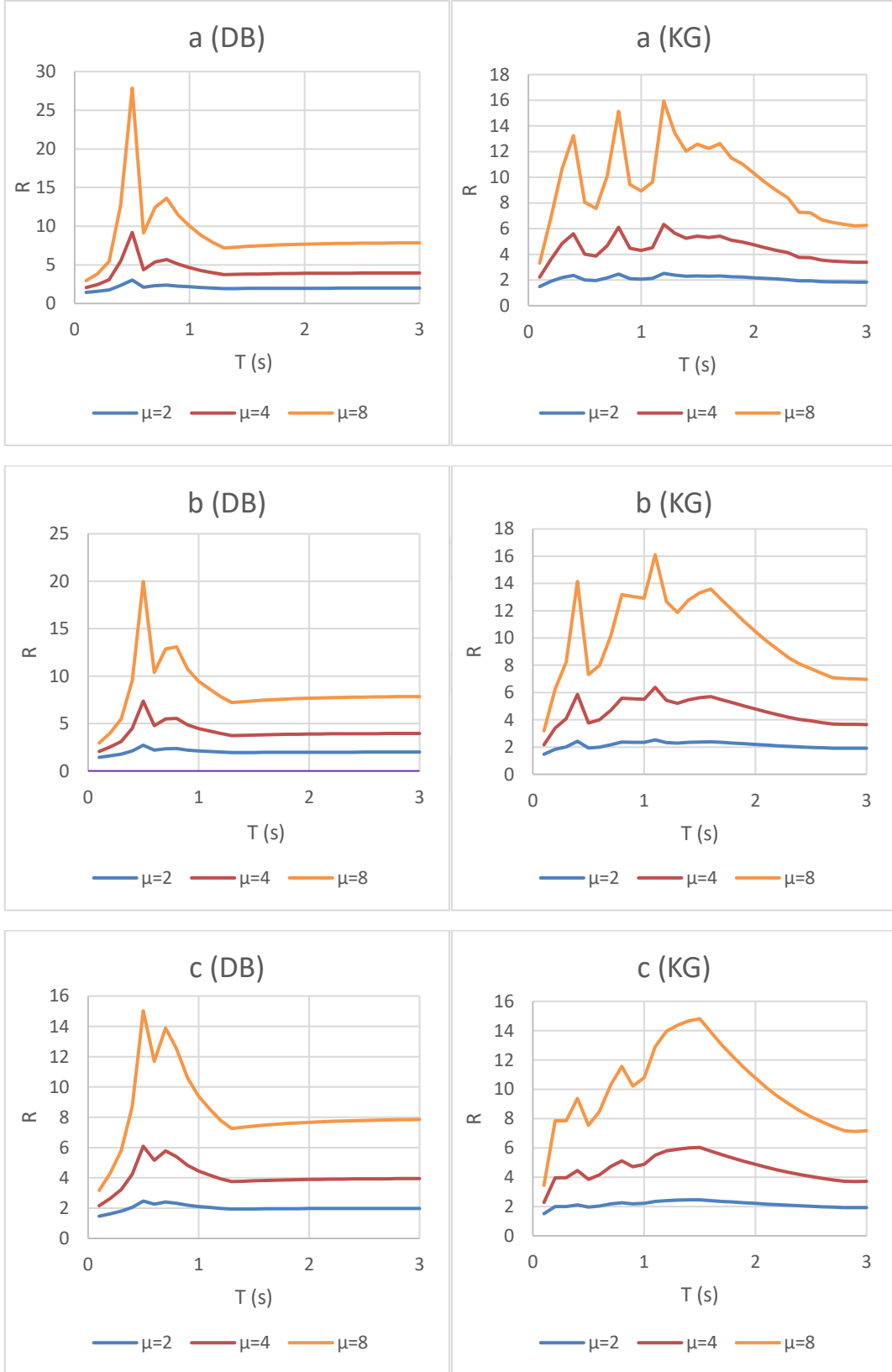
Şekil 113 Adana depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu$ - μ -T spektrumu



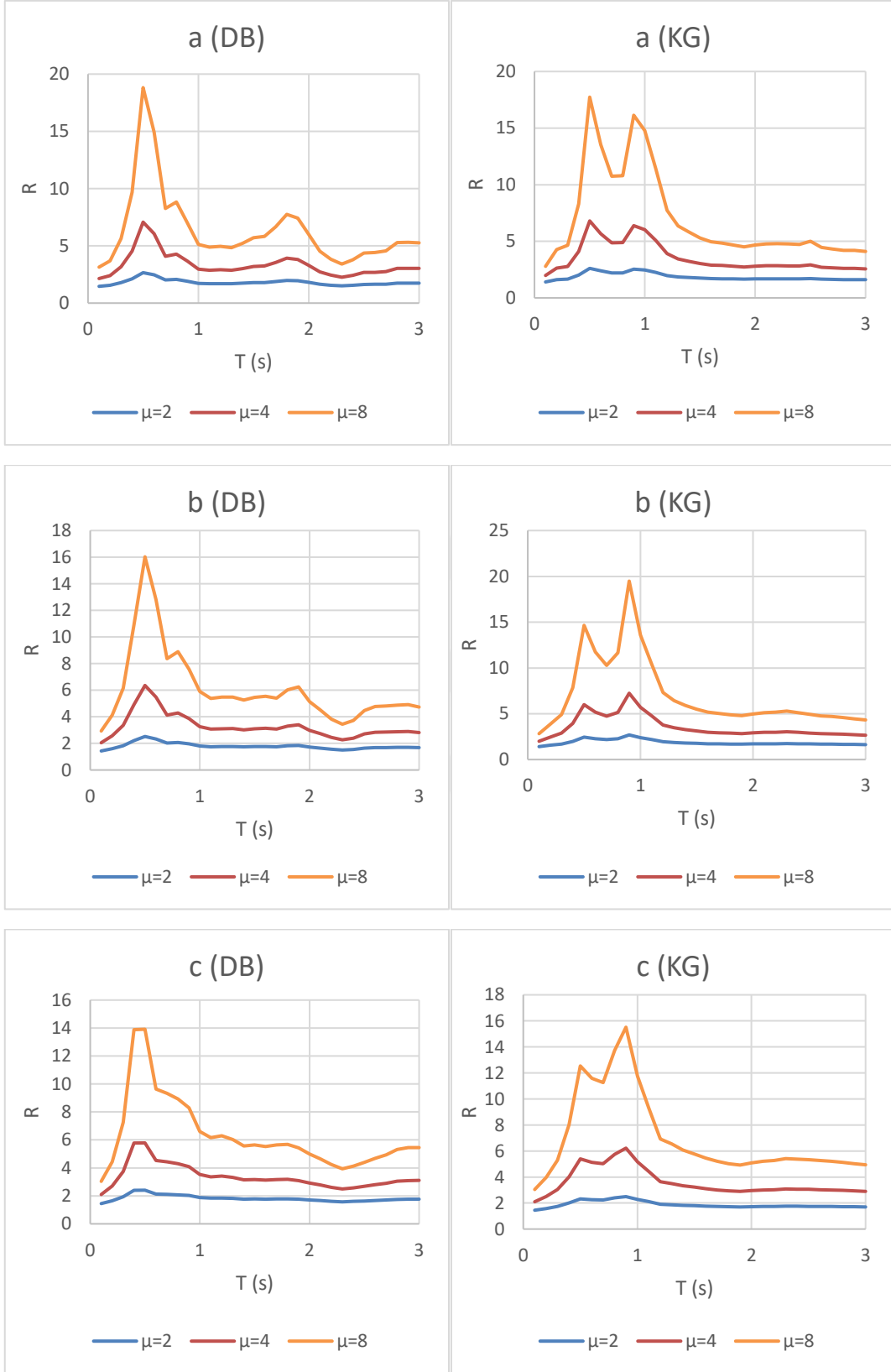
Şekil 114 Afyon depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R_{\mu}-\mu-T$ spektrumu



Şekil 115 Bingöl depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için $R_{\mu-T}$ spektrumu



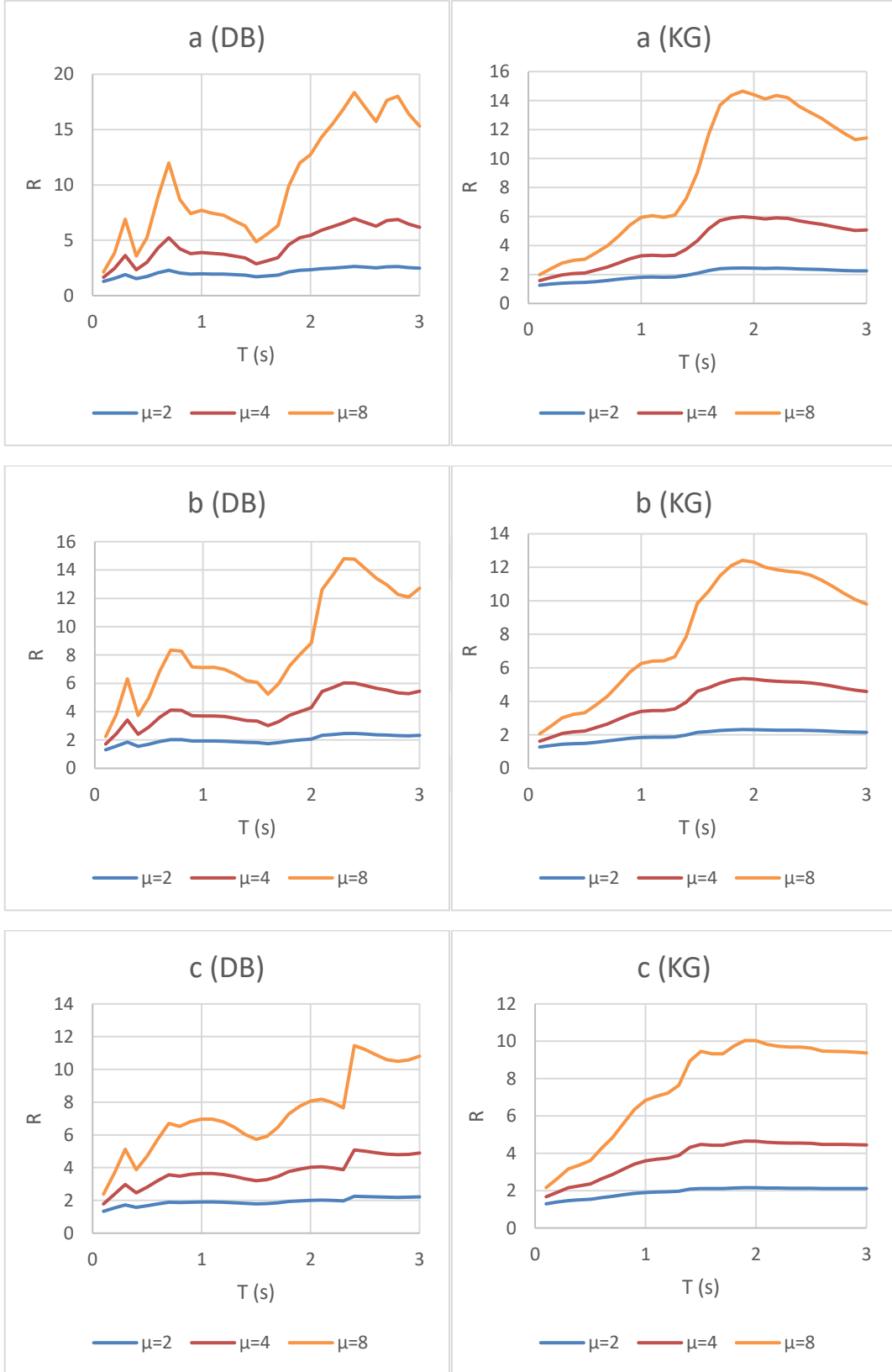
Şekil 116 Bursa depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R_{\mu}-\mu-T$ spektrumu



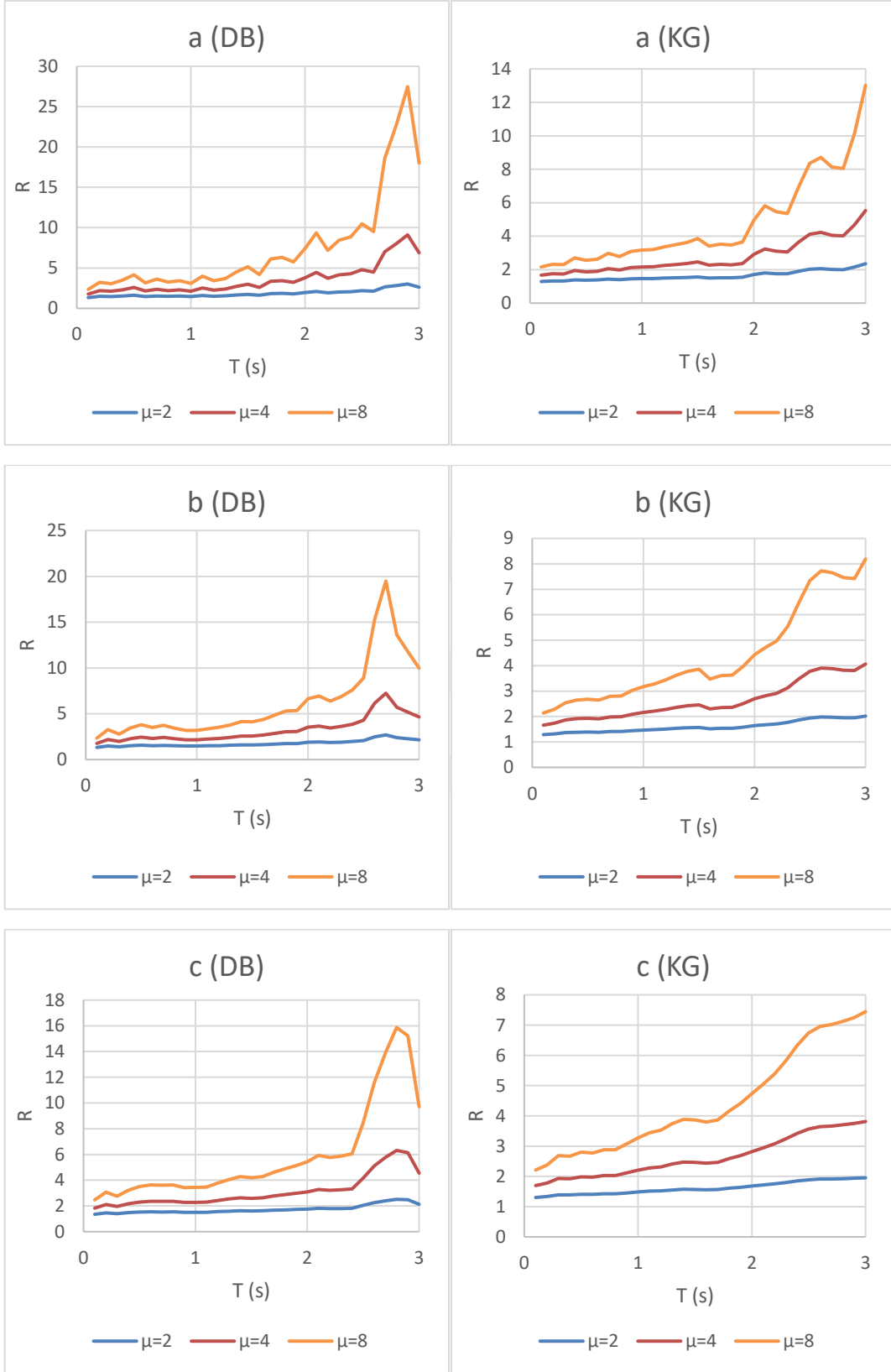
Şekil 117 Denizli depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu



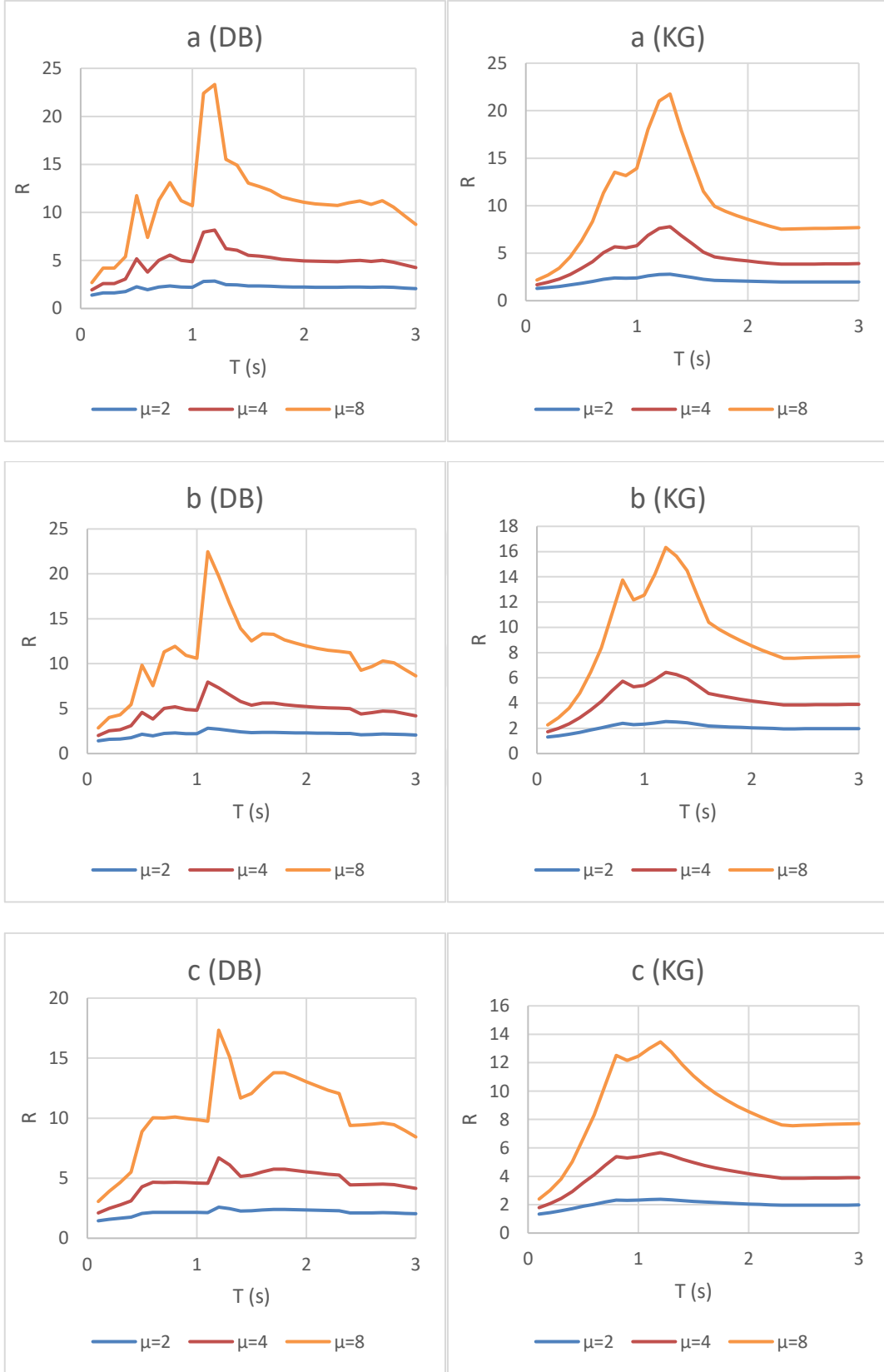
Şekil 118 Düzce depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için R_μ-μ-T spektrumu



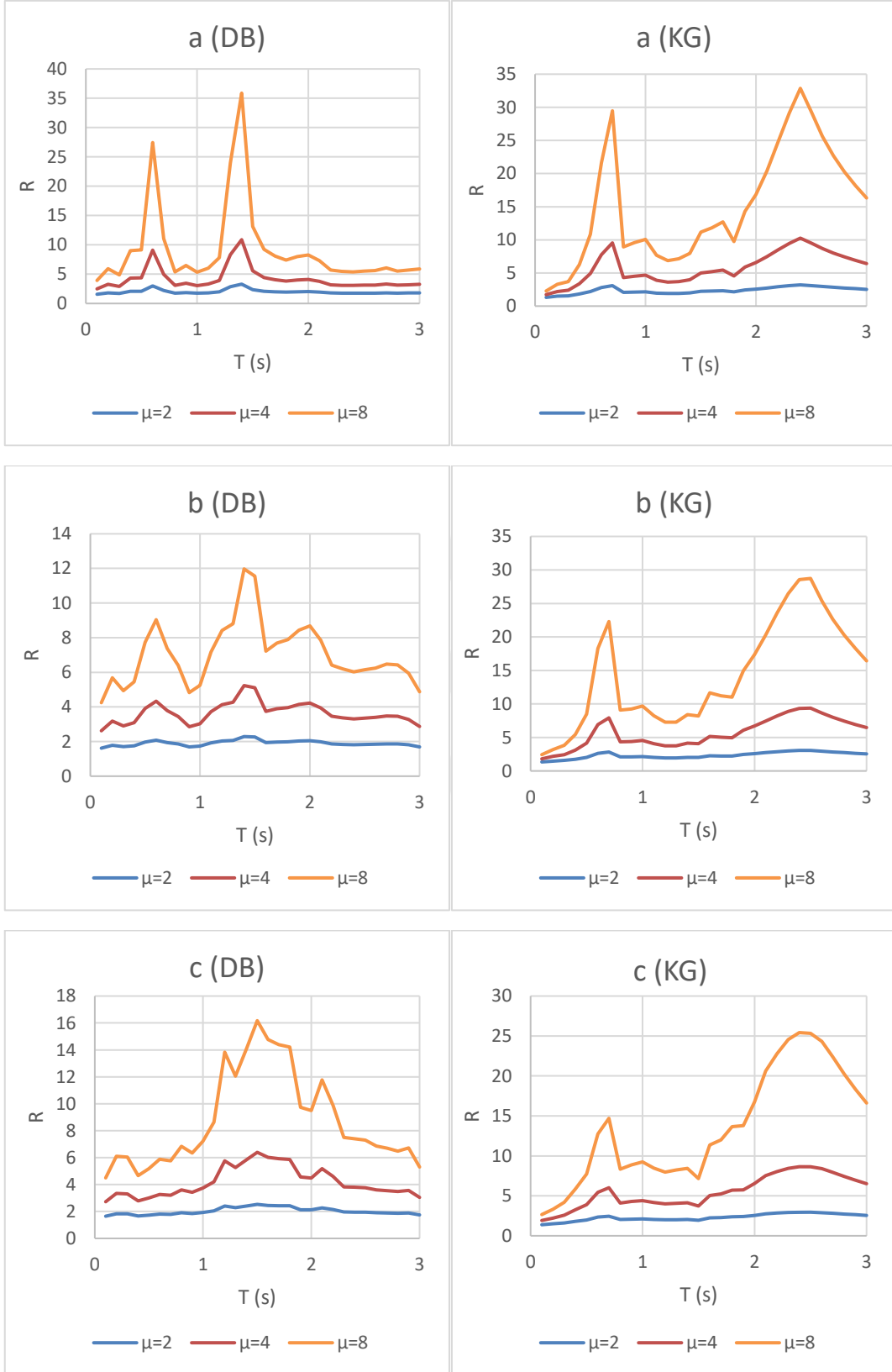
Şekil 119 Erzincan depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu



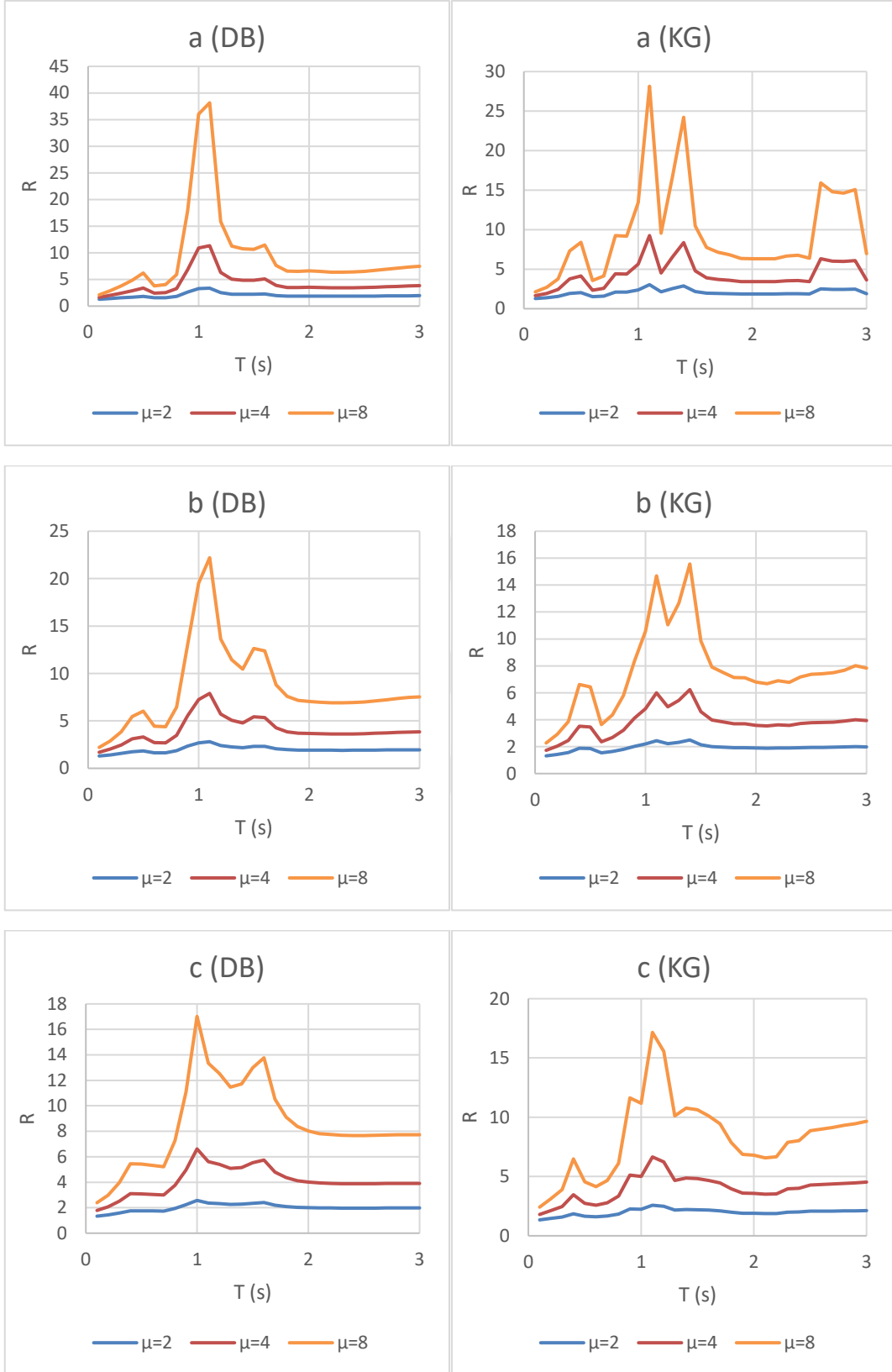
Şekil 120 Erzurum depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu



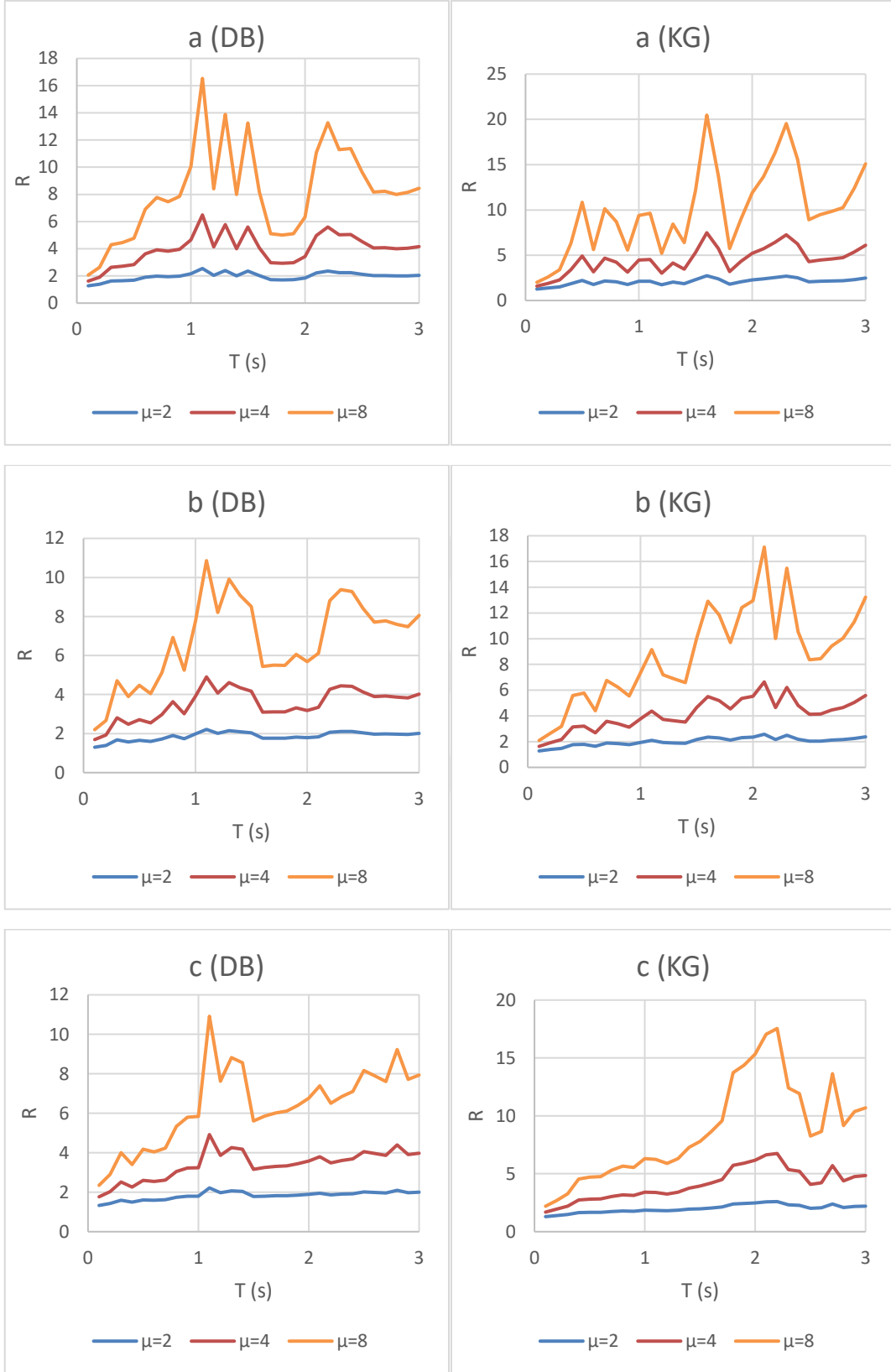
Şekil 121 Kütahya depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu



Şekil 122 Manisa depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu

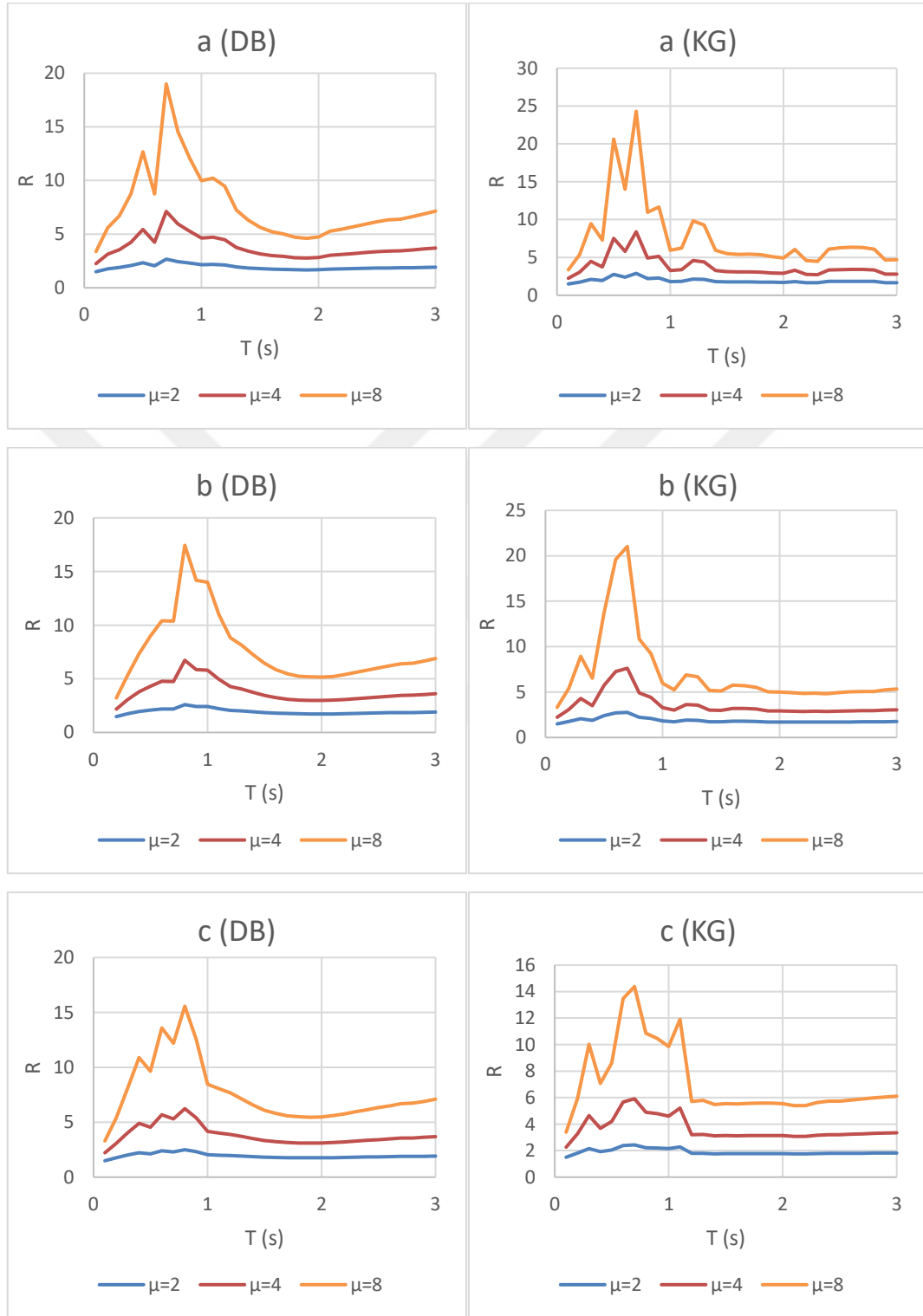


Şekil 123 Muğla depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için $R_{\mu}-\mu-T$ spektrumu

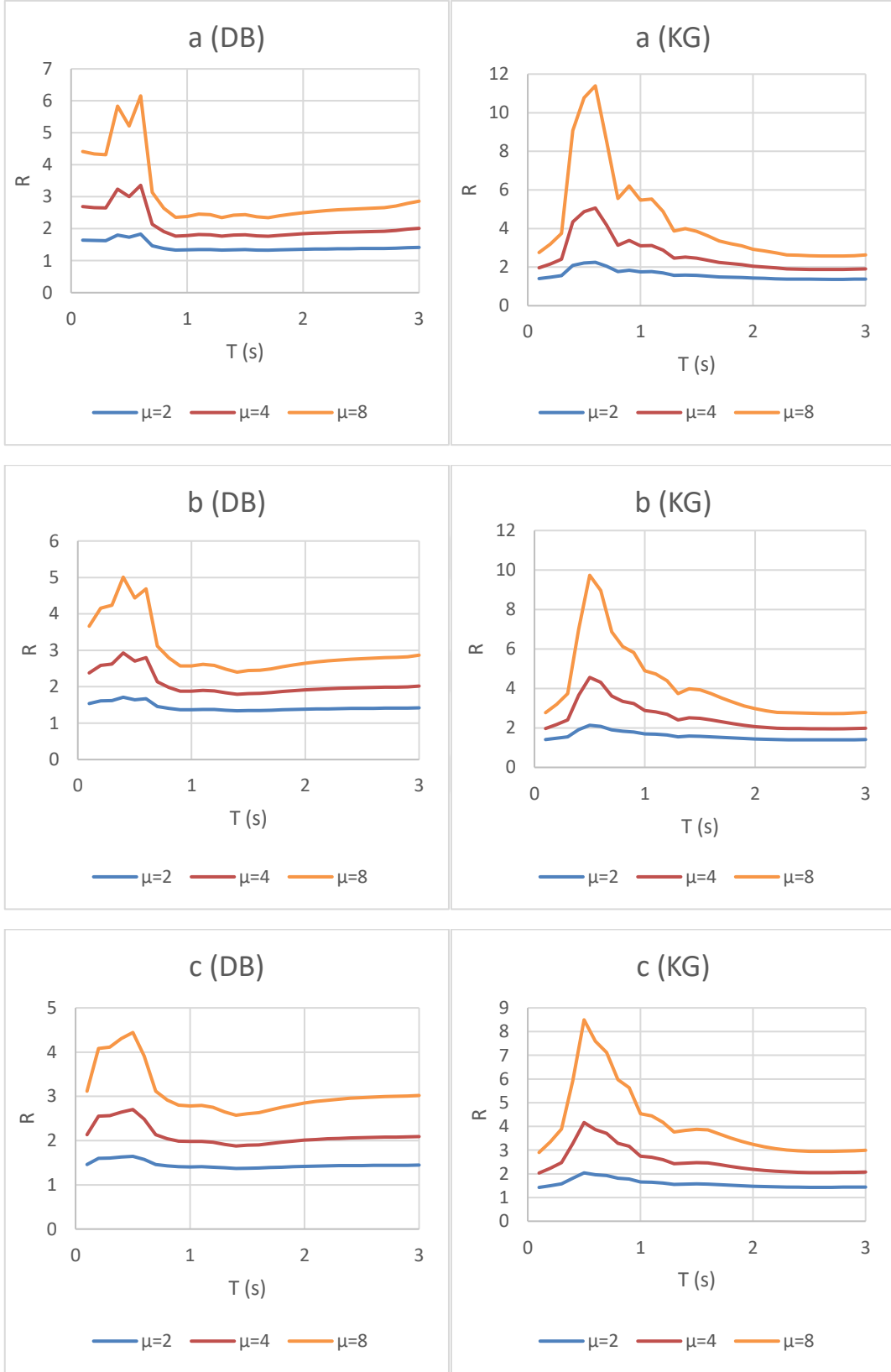


Şekil 124 Van depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu

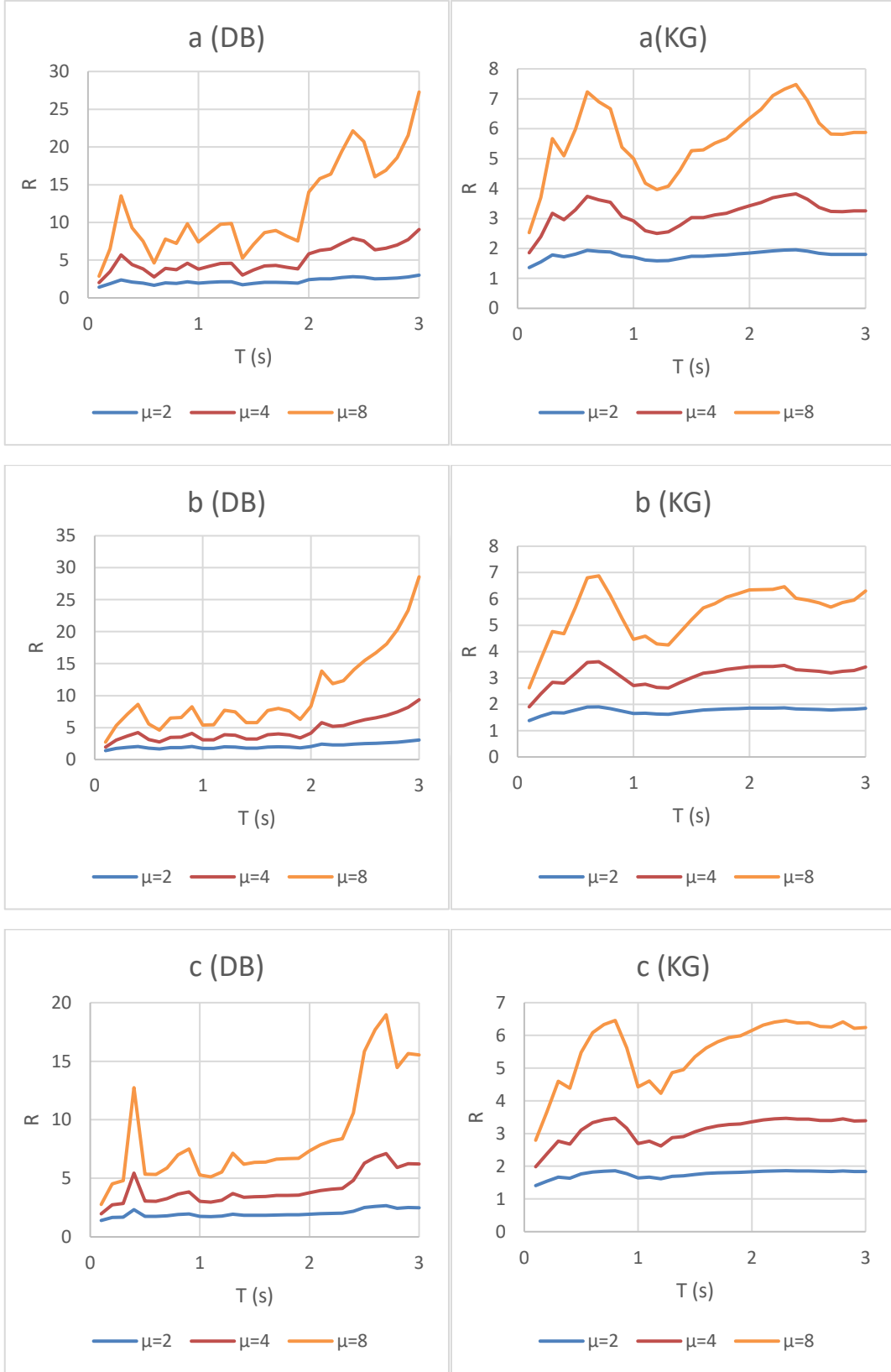
Ek2d: Sert zemin grubunun $R\mu$ - μ -T davranış spektrumları



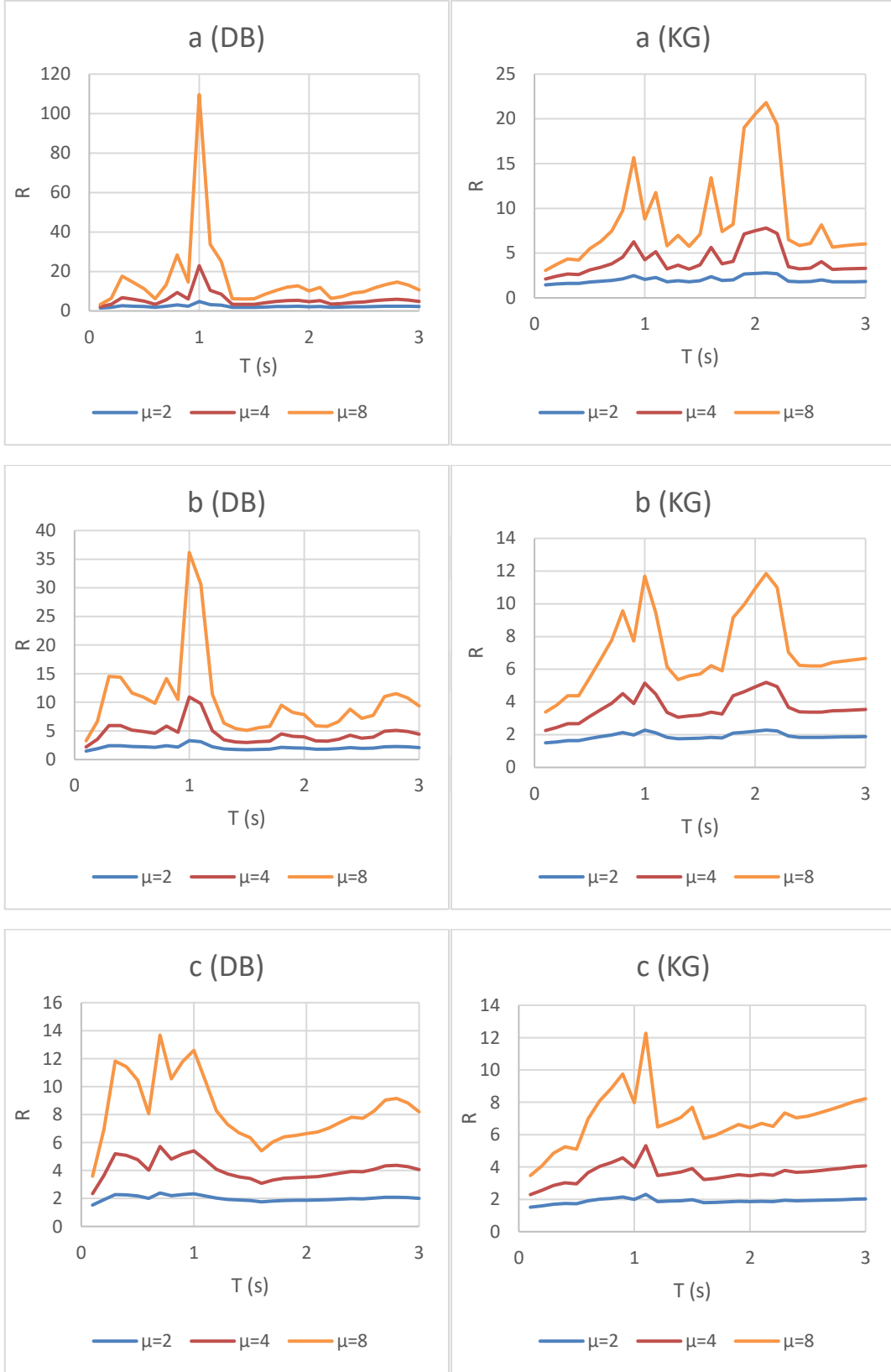
Şekil 125 Aydın depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu$ - μ -T spektrumu



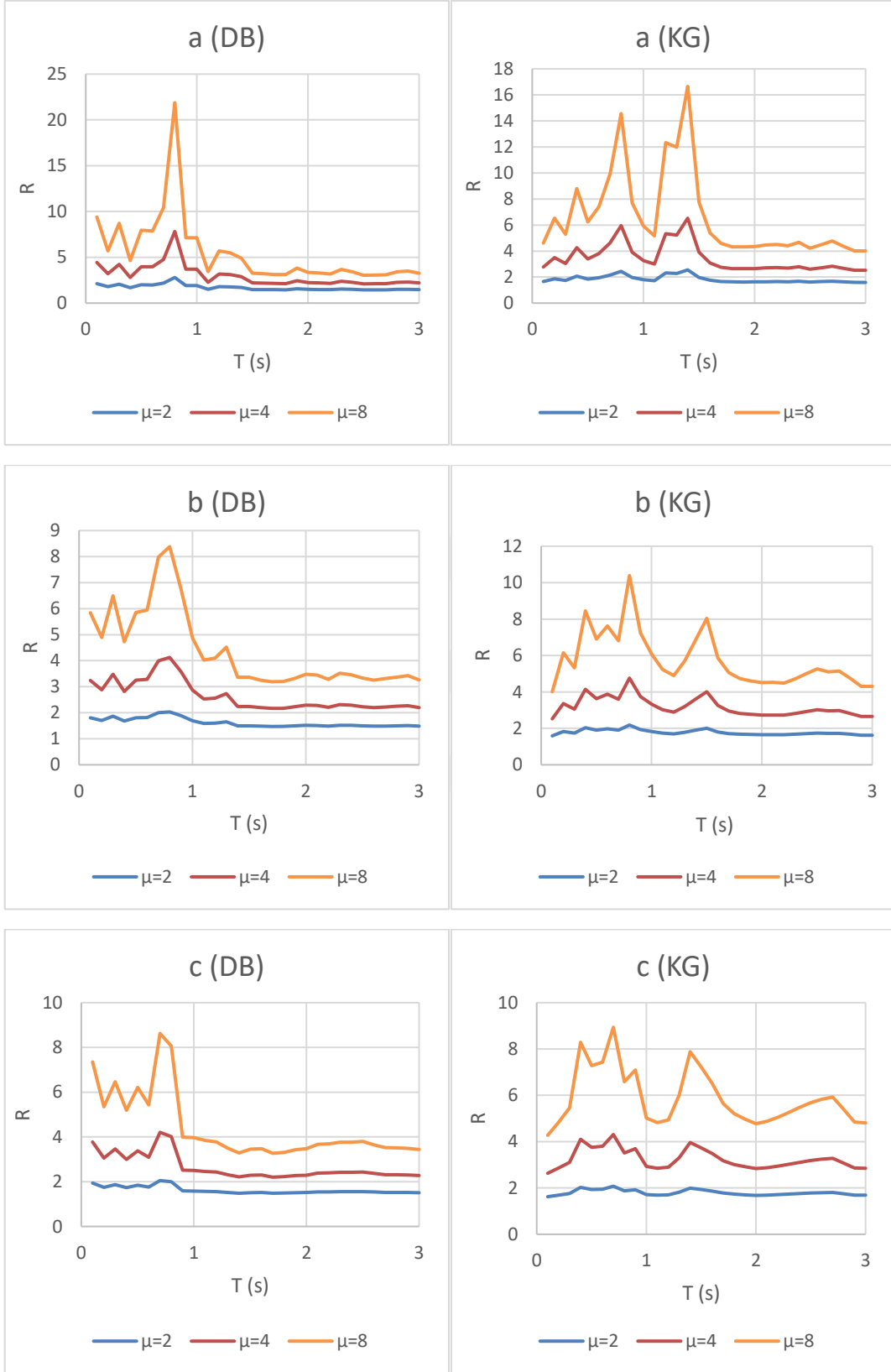
Şekil 126 Balıkesir depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için R_{μ} - μ -T spektrumu



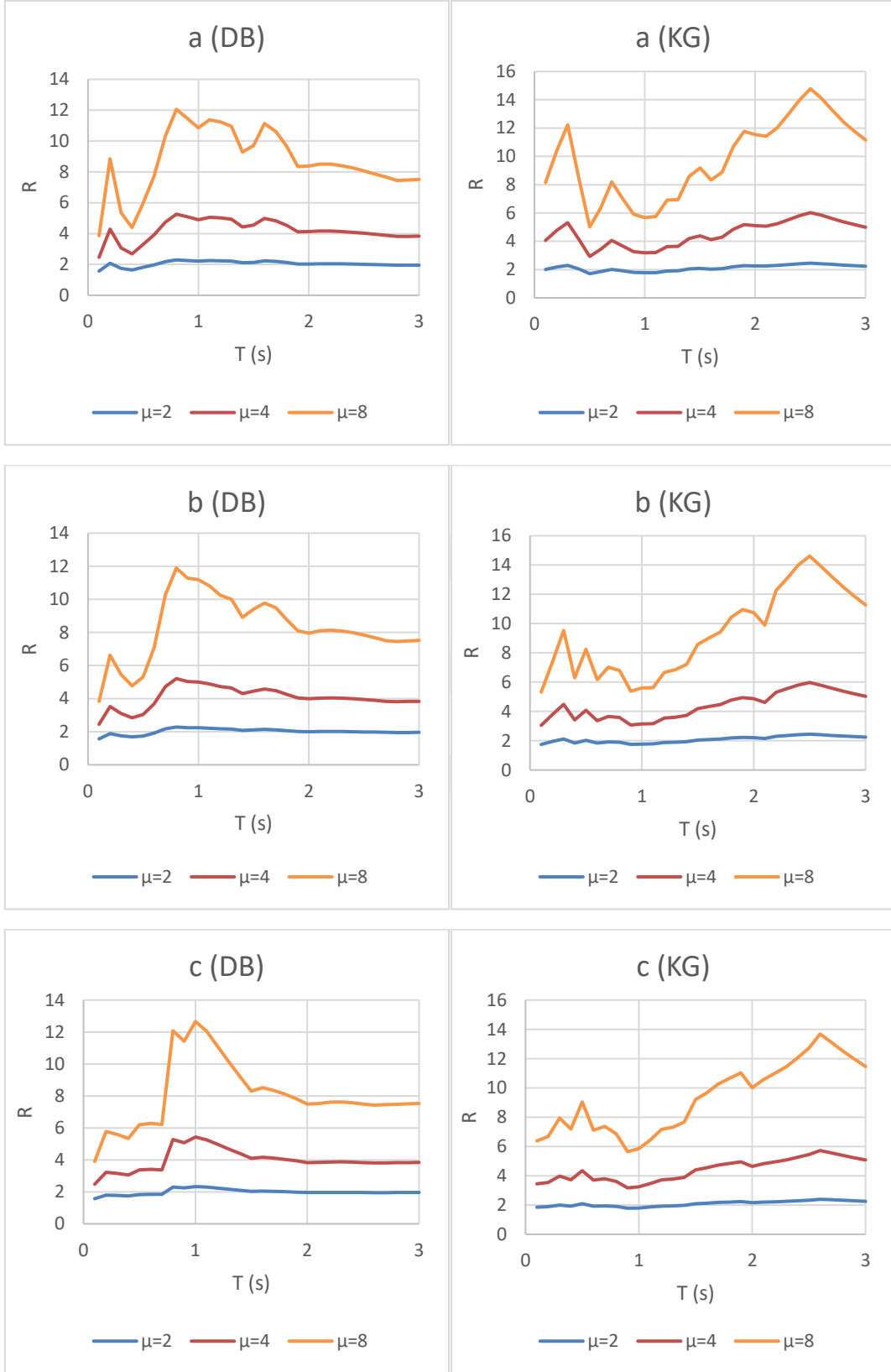
Şekil 127 Bingöl depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R_{\mu}-\mu-T$ spektrumu



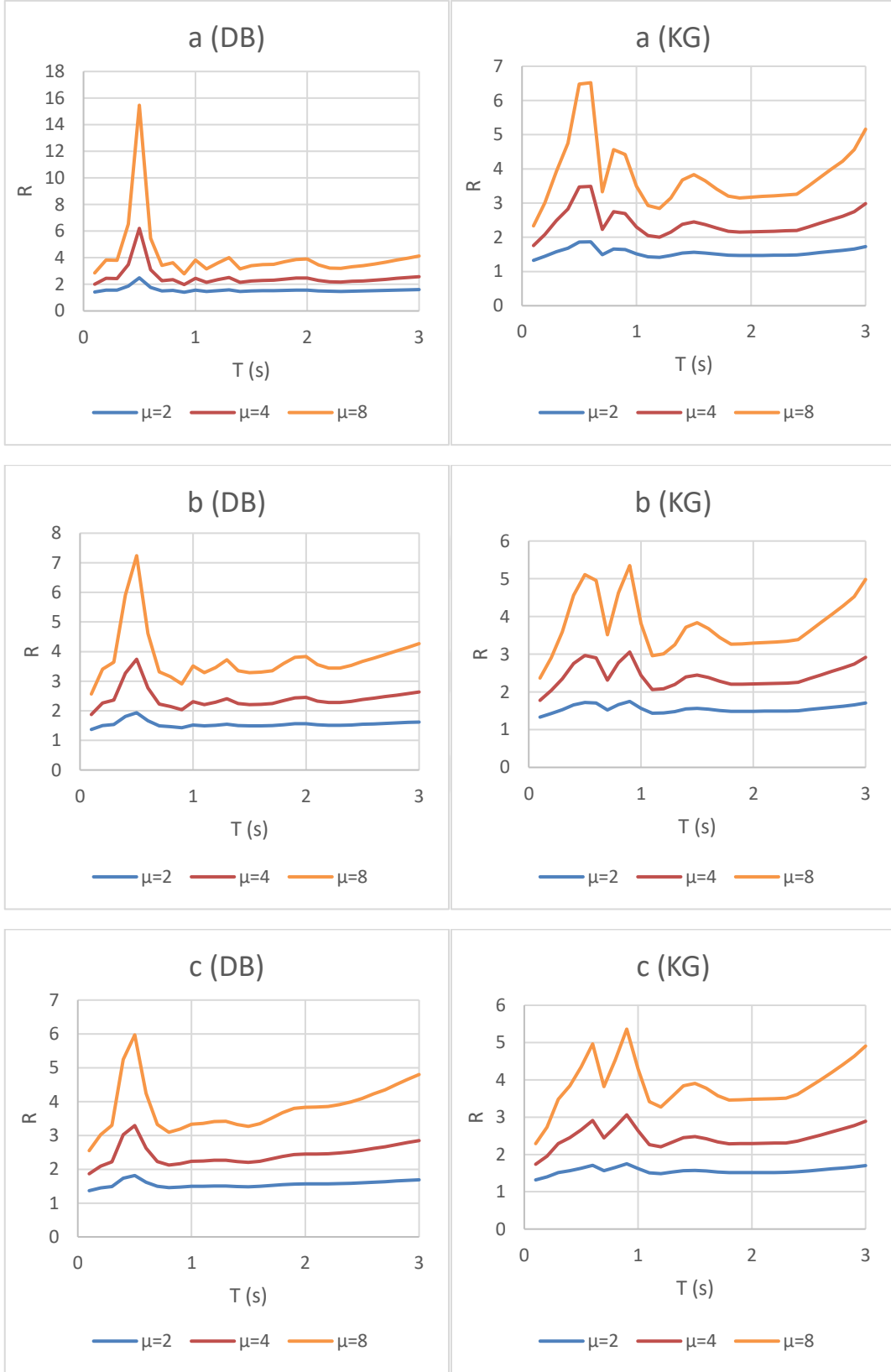
Şekil 128 Bingöl depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için Rμ-μ-T spektrumu



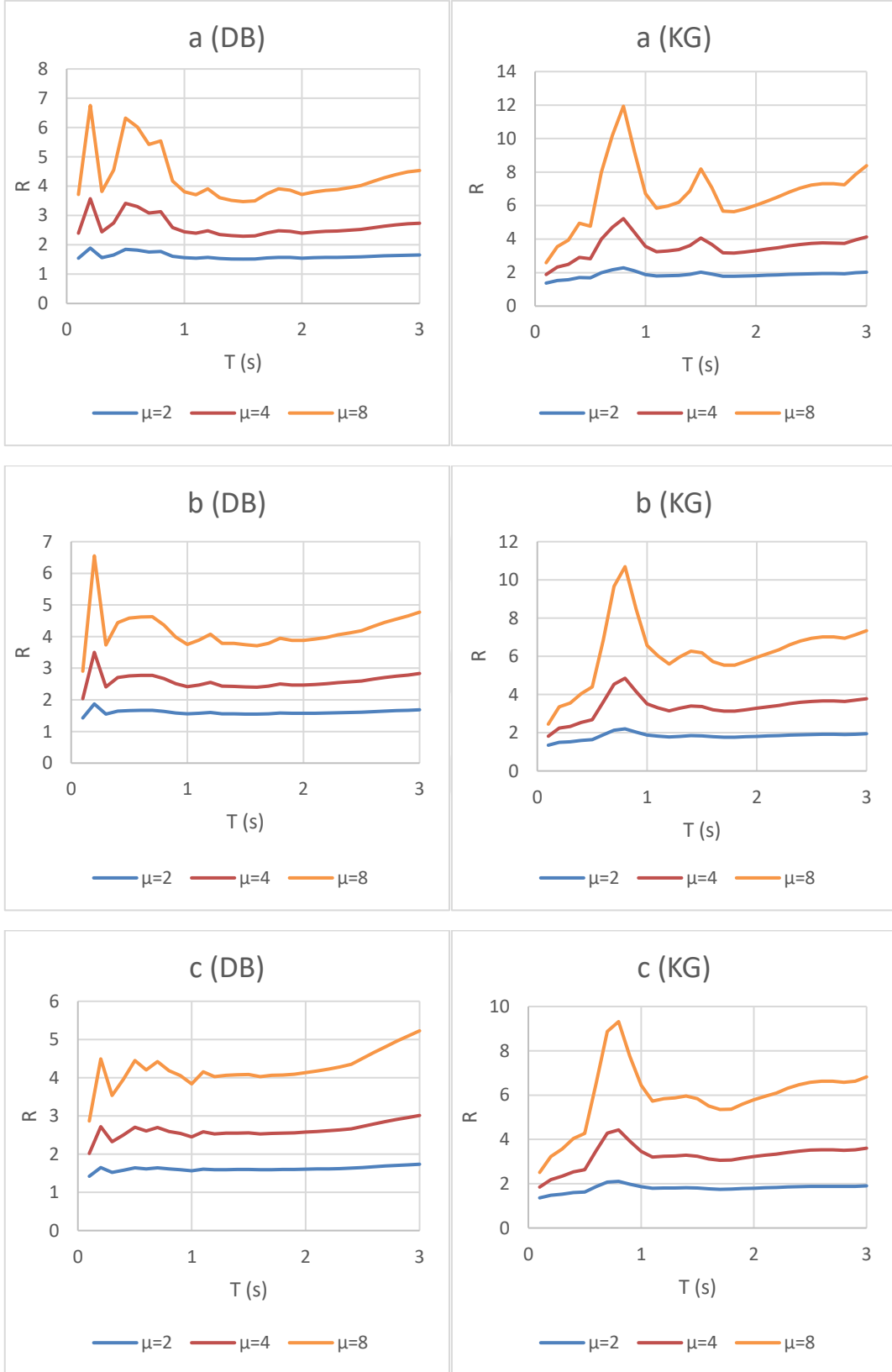
Şekil 129 Hatay depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R_{\mu}-\mu-T$ spektrumu



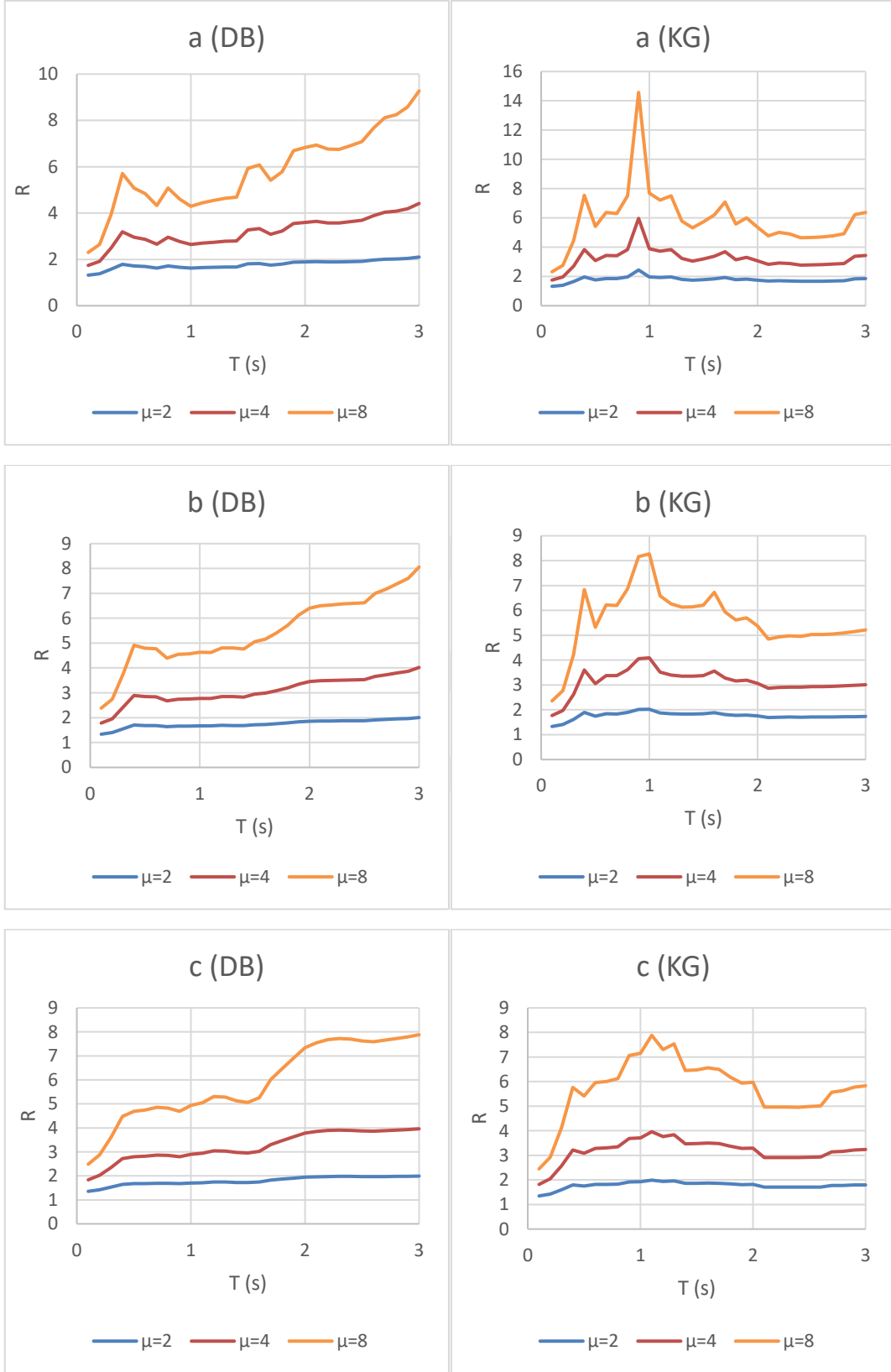
Şekil 130 Kahramanmaraş depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu



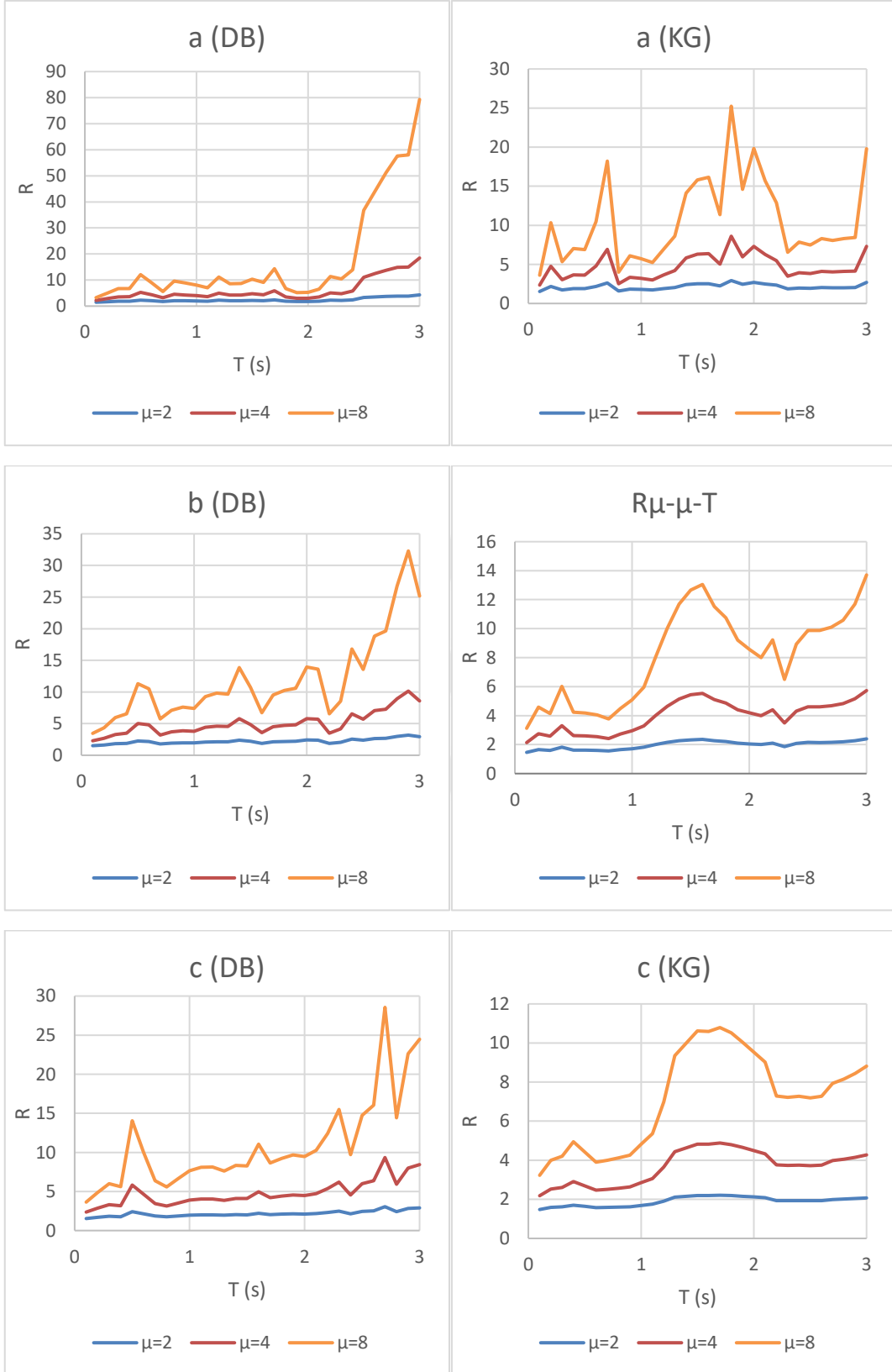
Şekil 131 Kocaeli depreminin sönüm oranı a=%2, b=%5, c=%10 için $R_{\mu-\mu-T}$ spektrumu



Şekil 132 Muğla depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu



Şekil 133 Van depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu



Şekil 134 Hatay depreminin sönüm oranı $a=2\%$, $b=5\%$, $c=10\%$ için $R\mu-\mu-T$ spektrumu

KAYNAKÇA

- AFAD Yer Hareketi Veritabanı. (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı: <https://deprem.afad.gov.tr/> adresinden alındı
- Zhou, X., & Tamma, K. (2004). Design, Analysis, and Synthesis of Generalized Single Step Single Solve and Optimal Algorithms for Structural Dynamics. *International Journal for Numerical Methods in Engineering*(59), 597–668.
- Boore, D. M., & Akkar, S. (2003). Effect of Causal and Acausal Filters on Elastic and Inelastic Response Spectra. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1729-1748.
- Celep, Z. (2014). *Yapı Dinamiği* (5. b.). İstanbul: Damga Dağıtım.
- Celep, Z. (2017). *Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı* (5. b.). İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım A.Ş.
- Chopra, & A. K. (2015). *Yapı Dinamiği Teori ve Deprem Mühendisliği Uygulamaları* (4. b.). (H. Luş, Çev.) Ankara: Palme Yayıncılık.
- Elnashai, A. S., & Sarno, L. D. (2015). *Fundamentals of Earthquake Engineering: From Source to Fragility* (2 b.). John Wiley & Sons.
- Housner, G. W., & Jennings, P. C. (1982). Earthquake Design Criteria. *Earthquake Engineering Research Institute*, 19-41 ve 58-88.
- İlki, A. (2000). Betonarme Elemanların Yön Değiştiren Tekrarlı Yükler Altında Doğrusal Olmayan Davranışı. *Doktora Tezi*. İstanbul: İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kramer, S. (2003). *Geoteknik Deprem Mühendisliği* (Fersa matbacılık b.). (K. Kayabalı, Çev.) Ankara: Gazi kitabevi.
- Lestuzzi, P., & Badoux, M. (2003). The γ Model : A Simple Hysteretic Model for Reinforced Concrete Walls. *Proceeding of the FIB2003 Symposium : Concrete Structures in Seismic Regions*, (s. 6-8). Greece.
- Li-Li , X., Changhai, Z., Shuang, L., & Weiping, W. (2013a). The ductility-based strength reduction factor for the mainshock–aftershock sequence-type ground motions. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 45:1-12.

- Miranda, E. (1993). Site-dependent strength-reduction factors. *Journal of Structural Engineering, (ASCE)* , 357-379.
- Miranda, E., & Bertero, V. V. (1994). Evaluation of Strength Reduction Factors. *Earthquake Spectra, Earthquake Engineering Research Institute*, 357-379.
- Nassar, A. A., & Krawinkler, H. (1991). *Seismic Demands for SDOF*. Report no.95, The John A. Blume Earthquake Engineering Center Report Stanford University.
- Newmark, N. M., & Hall, W. J. (1982). Earthquake Spectra and Design. *Earthquake Engineering Research Institute*, 29-37.
- Newmark, N. M. (1959). A Method of Computation for Structural Dynamics. *Journal of The Engineering Mechanics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, 67-94.
- Pakyürek, E. K. (2006). 1994 Northridge Depreminde Hasar Görmüş Van Nuys Binasının Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi. Ankara.
- Paulay, T., & Priestley, M. J. (1992). *Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings*. New York: John Wiley & Sons.
- Paz, M., & Kim, Y. H. (2019). *Structural Dynamics Theory and Computation* (6. b.). Springer International Publishing. doi:<https://doi.org/10.1007/978-3-319-94743-3>
- Saiidi, M. (1982). Hysteresis Models for Reinforced Concrete. *Journal of The Structural Division American Society of Civil Engineers*, 1077-1087.
- Saiidi, M., & Sozen, M. A. (1979). Simple and Complex Models for Nonlinear Seismic Response of Reinforced Concrete Structures. *Structural Research Series*. University of Illinois.
- Seed, B. H., & Idriss, I. M. (1982). *Ground Motions and Soil Liquefaction during Earthquakes*. Berkeley: Earthquake Engineering Research Institute.
- Sucuoğlu, H., & Akkar, S. (2014). *Basic Earthquake Engineering From Seismology to Analysis and Design*. Switzerland: Springer International Publishing.

- Uçar, T. (2018). Ductility Reduction Factors of Inelastic SDOF Systems Subjected to Scaled and Spectrum-Matched Ground Motions. *3. International Conference on Civil Environmental Engineering*, (s. 407-417). İzmir.
- Uçar, T., & Merter, O. (2012). Binaların Deprem Hesabında Kullanılan Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri İlgili Bir İrdeleme. *Ordu Üniversitesi Bilgi Teknik dergisi*, 15-31.
- Uzsoy, Ş. Z. (2006). *Yapı Dinamiği ve Deprem Mühendisliği Çözülmüş Örnek Problemler*. İstanbul: Birsen Yayınevi.
- Veletsos, A. S., & Newmark, N. M. (1960). Effect of Inelastic Behavior on The Response of Simple Systems to Earthquake Motions. *Proceedings of The 2nd World Conference on Earthquake Engineering*, (s. 895-912). Tokyo, Japan.
- Yerlici, V., & Luş, H. (2014). *Yapı Dinamiğine Giriş* (2. b.). İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Yayınevi.
- Zhai, C., & Xie, L. (2005). Constant-Ductility Strength Demand Spectra for Seismic Design of Structures. *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 243-250.