

ŞUBAT 2023 DEPREMLERİNDE BİNALARIN AĞIR HASAR VE YIKIMLARINDA TASARIM, YAPIM VE DENETİM HATALARI YANINDA DEPREMLERİN BÜYÜKLÜĞÜNDEN VE YÖNETMELİKLERDEN KAYNAKLANAN SORUNLARA İLİŞKİN BİR İRDELEME: ANTAKYA ÖRNEĞİ

Mehmet Nuray AYDINOĞLU⁽¹⁾, Caner GÜLENÇ⁽²⁾

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı

1. GİRİŞ

Ülkemizin güneydoğusunda Şubat 2023'te meydana gelen depremlerin ortaya çıkardığı aşırı büyük yapısal hasar ve yıkım tek bir nedene veya az sayıda nedene bağlanarak açıklanamaz.

Bu bağlamda, ağırlıklı olarak yapısal tasarım (taşıyıcı sistem projesi), yapım (inşaat) ve denetim süreçlerindeki eksikliklerin ve hataların önemli etkenler oldukları kuşkusuzdur. Ancak çoğu durumda hasar ve yıkımların taşıyıcı sistem projesinden mi, yoksa yapımdaki ve/veya denetimdeki eksiklik ve hatalardan mı kaynaklandığına karar vermek kolay değildir.

Öte yandan, Şubat 2023'te meydana gelen depremlerde yer hareketlerinin az rastlanılan derecede çok yüksek hız ve ivmelere sahip olmasının deprem yönetmeliklerinin sınırlarını zorladığı ve bu nedenle binalarda ağır hasar ve yıkımlara yol açtığı doğrultusundaki görüşler, bu konuların bilimsel şekilde incelenmesi ve değerlendirilmesi gerektiğini ortaya çıkarmaktadır.

Bu raporda bu konular Antakya'da AFAD tarafından alınan deprem kayıtları özelinde ve 1975'ten bu yana ülkemizde kullanılan deprem yönetmelikleri bağlamında ele alınmıştır. Raporun sonuçlarının depremlerde meydana gelen aşırı hasar ve yıkımın açıklanması çabalarına, kısmen de olsa, katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

2. TASARIM, YAPIM VE DENETİM EKSİKLİKLERİNDEN VE HATALARINDAN KAYNAKLANAN SORUNLAR

Yapı süreci kapsamında yapısal tasarım (taşıyıcı sistem projesi), yapım (inşaat) ve denetim (proje ve yapım denetimleri) süreçlerini içeren *mühendislik hizmetlerinde ve müteahhitlik hizmetinde* geçmiş dönemlerde yapılan ve halen de büyük ölçüde yapılagelmekte olan hatalı uygulamalar, yapısal/örgütsel sorunlar ve yetersizlikler, depremlerde uğradığımız büyük kayıpların en önemli nedenlerindendir (ayrıntılı bir irdeleme için bkz. Aydınoglu, 2021).

Bu bağlamda depreme dayanıklı proje sürecinde neredeyse 35 yıldır gündemde olan mesleki yeterlilik, diğer deyişle *yetkin mühendislik* konusunun hala hayata geçirilemediğini, gerek üniversite eğitimi ve gerekse mesleki eğitimin çok yetersiz kaldığını, tasarım denetiminin yeterli düzeyde uygulanmadığını göz önüne almak gerekir.

Özellikle 2000'den önce inşaatların genellikle kalifiye olmayan, bilgisiz müteahhitlerce iptidai yöntemlerle hiçbir denetim olmaksızın yapıldığı gerçeği ortadadır. Endüstriyel/hazır beton üretiminin mevcut olmadığı, kıyı kentlerinde denizden çıkarılan agreganın yıkanıp elenmeden doğrudan beton üretiminde kullanıldığı, çimento üretiminde hataların sık sık yaşandığı, şantiyede betoniye kullanımının bir lüks olduğu, beton yerleştirmede vibratör kullanımının neredeyse hiç bilinmediği, betonda kalite denetiminin hiç uygulanmadığı dönemler geçirdik.

⁽¹⁾ Prof.Dr. Emekli öğretim üyesi

⁽²⁾ İnşaat / Deprem Yüksek Mühendisi, Doktor adayı

Yıllarca nereden geldiği bilinmeyen ham maddelerle imal edilen, yeterli sünekliğe sahip olup olmadığı denetlenmeyen, betonla aderansı yetersiz nervürsüz düz donatı çeliklerinin kontrolsüzce kullanıldığı, sargı donatılarında yönetmeliklere hiç uyulmadığı, çok basit ama hayati bir önlem olarak sargı donatılarının kancalarını 135 derece yerine 90 derece yapmakta ısrar edildiğini biliyoruz. Temelde ve bodrum katlarda su izolasyonu tamamen ihmal edildiği için kolon ve perdelerden başlayan korozyon sorununun binaların deprem dayanımını ne denli tehlikeye attığı hiç umursanmadı.

2000’li yıllardan başlayarak yukarıda sıralanan aksaklıkların/yetersizliklerin bazılarında kısmi iyileşmeler (hazır beton, yapı denetimi gibi) sağlansa da ülkede bina üretim süreci, günümüzde de mesleki yeterliliği olmayan mühendis ve müteahhitlerin yürüttüğü ve bu nedenle depreme dayanıklı proje yapımı, proje denetimi ve inşaat denetiminde çok ciddi kalite sorunlarının yaşandığı bir süreç olarak sürmektedir. Bu ortamda, son yarım yüzyılda daima daha iyiye doğru geliştirilen ve uygulamaya konulan deprem yönetmeliklerinin etkisi de sınırlı kalmıştır.

Bina üretim sürecindeki hatalardan, ihmallerden, umursamazlıklardan başta merkezi ve yerel yönetimler olmak üzere depreme dayanıklı bina üretim sürecinde rolü olan bütün kurumların ve bireylerin kollektif olarak sorumlu olduklarını belirtmek gerekir.

3. DEPREMLERİN BÜYÜKLÜĞÜNDEN VE DEPREM YÖNETMELİKLERİNDEN KAYNAKLANAN SORUNLAR

6 Şubat 2023’te meydana gelen USGS: $M_w = 7.8$ (AFAD: $M_w = 7.7$) ve USGS: $M_w = 7.5$ (AFAD: $M_w = 7.6$) moment büyüklüğündeki depremlerden etkilenen bütün yörelerde ve özellikle Hatay-Antakya’da daha önce Türkiye’de, hatta dünyada çok az rastlanılan mertebelerde yüksek yer ivmeleri ve yer hızları AFAD’ın kurduğu kuvvetli yer hareketi kayıt ağı tarafından kaydedilmiş bulunmaktadır.

Bu raporda, binaların deprem etkisi altında ortaya çıkan dayanım ve süneklik özellikleri ile birlikte deprem yönetmeliklerinde aynı konularda yer alan hükümlerin karşılaştırılması amacıyla Hatay-Antakya’da kaydedilen deprem yer hareketleri esas alınarak yapılan analiz ve değerlendirmeler sunulacaktır.

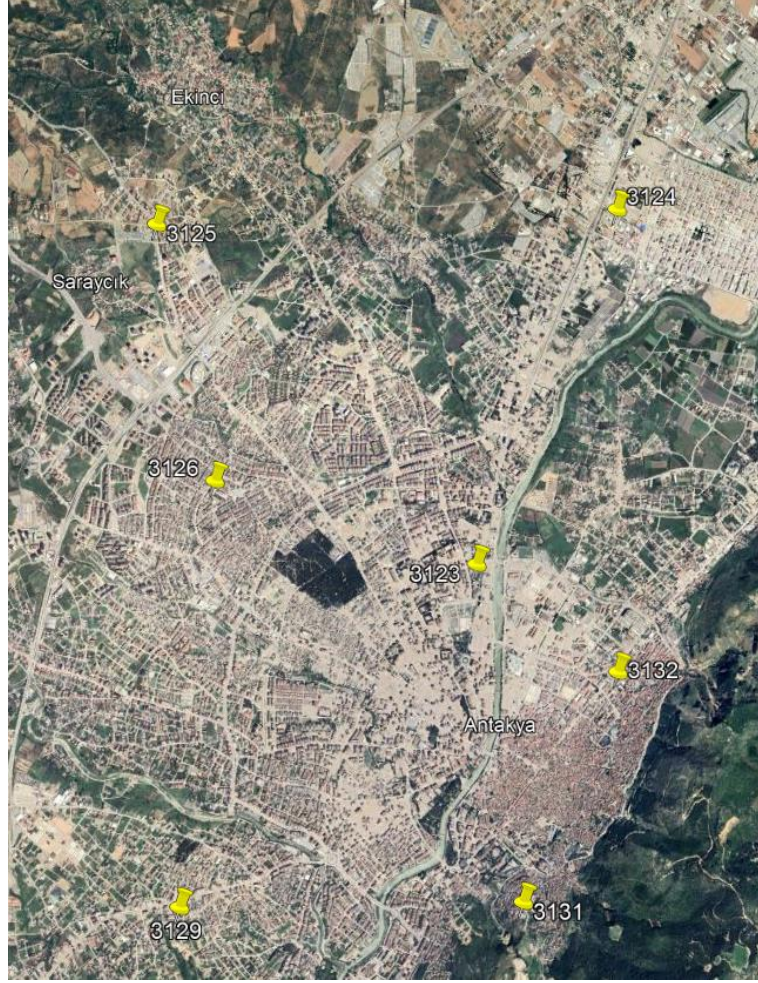
3.1. Yer Hareketi Kayıtları

Antakya kent merkezinde AFAD tarafından yerleştirilen yedi kayıt istasyonunun yerleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

Örnek olarak TK 3124 sayılı istasyondan alınan deprem yer hareketi kaydının doğu-batı (D-B) ve kuzey-güney (K-G) doğrultularındaki yer ivmesi, hızı ve yerdeğiştirmelerinin zamana göre değişimleri Şekil 2’de gösterilmiştir. Diğer altı istasyondan alınan kayıtlar ise EK-A’da Şekil A1-A6’da verilmiştir. Bu rapordaki bütün analizler, 12.10.2023 tarihinde AFAD-TADAS sisteminden *işlenmiş veri* olarak indirilen ivme kayıtlarının doğrudan kullanılması ile gerçekleştirilmiştir (bkz. AFAD, 2023).

TK 3131 ve TK 3132 sayılı istasyonlar dışında diğer tüm istasyonlarda çok yüksek yer ivmeleri kaydedilmiştir. Bu kayıtlarda yer hızlarının da oldukça yüksek mertebelere ulaştığı görülmektedir. Bu durum, Antakya’da belirgin bir *yakın fay* etkisinin varlığına işaret etmektedir.

Oldukça küçük bir alanda kaydedilmiş olmalarına rağmen kayıtlar önemli derecede değişkenlik göstermektedir. Bunun nedenleri konusunda önemli belirsizlikler bulunmaktadır. Zaman içinde yapılacak çalışmalarla bu belirsizliklerin büyük ölçüde aydınlığa kavuşturulması umulmaktadır.



Şekil 1 – AFAD kayıt istasyonları

3.2. İvme Spektrumları: Elastik dayanım talebi ve kapasitesi

Spektral ivme, belirli bir deprem yer hareketi etkisi altında belirli bir doğal periyoda sahip doğrusal elastik tek serbestlik dereceli bir yapı için hesaplanan *maksimum sözde ivme* (yaklaşık olarak toplam ivmeye eşittir) olarak tanımlanır. Farklı doğal periyotlu yapıların spektral ivmelerini toplu şekilde gösteren diyagram ise *ivme spektrumu* olarak adlandırılır.

Tasarım açısından ivme spektrumu, doğrusal elastik olarak davranış gösterdiği varsayılan bir yapıdan *depremin dayanım talebini* temsil eder. Tasarım mühendisinin görevi, bu talebi karşılamak için yapısına yeterli *dayanım kapasitesini* sağlamaktır.

Örnek olarak TK 3124 sayılı istasyondan alınan ivme kayıtlarından doğu-batı (D-B) ve kuzey-güney (K-G) doğrultularında elde edilen ivme spektrumu diyagramları ile birlikte bunların geometrik ortalamaları Şekil 3'te gösterilmiştir. Diğer altı istasyona ait spektrumlar ise EK-A'da Şekil A7-A12'de verilmiştir. Yönetmelik spektrumlarında esas alınan *geometrik ortalama spektral ivme*, birbirine dik iki doğrultudaki spektral ivmelerin çarpımının kareköküne eşittir.

TK 3124 sayılı istasyonda kaydedilen depremin geometrik ortalama ivme spektrumu, karşılaştırma yapılabilmesi için 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan DD-1 ve DD-2 düzeyi ivme spektrumları, 2007 ve 1997 yönetmeliklerinde ortak olan tasarım ivme spektrumu ve 1975 yönetmeliği için diğer yönetmeliklerle uyumlu olacak şekilde dönüştürülen eşdeğer elastik ivme spektrumu ile birlikte Şekil 4'te görülmektedir. Diğer altı istasyona ait spektrumlar ise EK-A'da Şekil A13-A18'de verilmiştir. Kayıt istasyonlarında

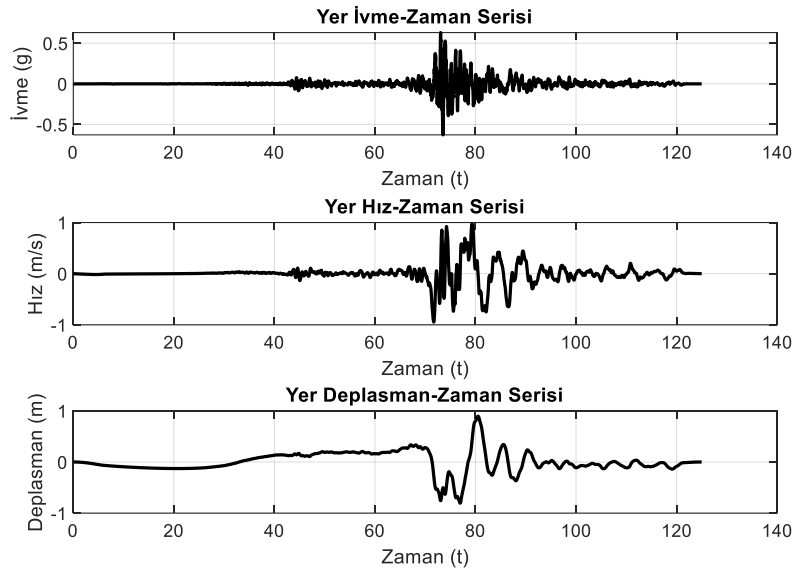
AFAD'ın belirlediği zemin özelliklerine bağlı olarak çeşitli yönetmeliklere göre tanımlanan zemin sınıfları şekillerde belirtilmiştir.

Elastik spektrumun doğrudan tanımlanmadığı 1975 deprem yönetmeliği için üretilen eşdeğer elastik ivme spektrumuna ait ifadeler aşağıda verilmiştir:

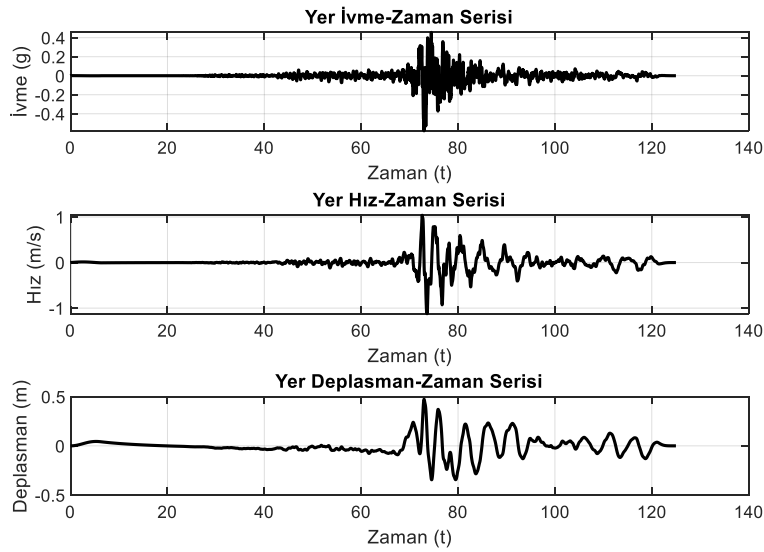
$$S_{ae}(T) = 0.636 S \quad ; \quad S = \frac{1}{|0.8 + T - T_0|} \leq 1 \quad (1)$$

Burada T_0 zemin hakim periyodunu göstermektedir. Eşdeğer elastik ivme spektrumunun nasıl elde edildiği EK-B'de açıklanmıştır.

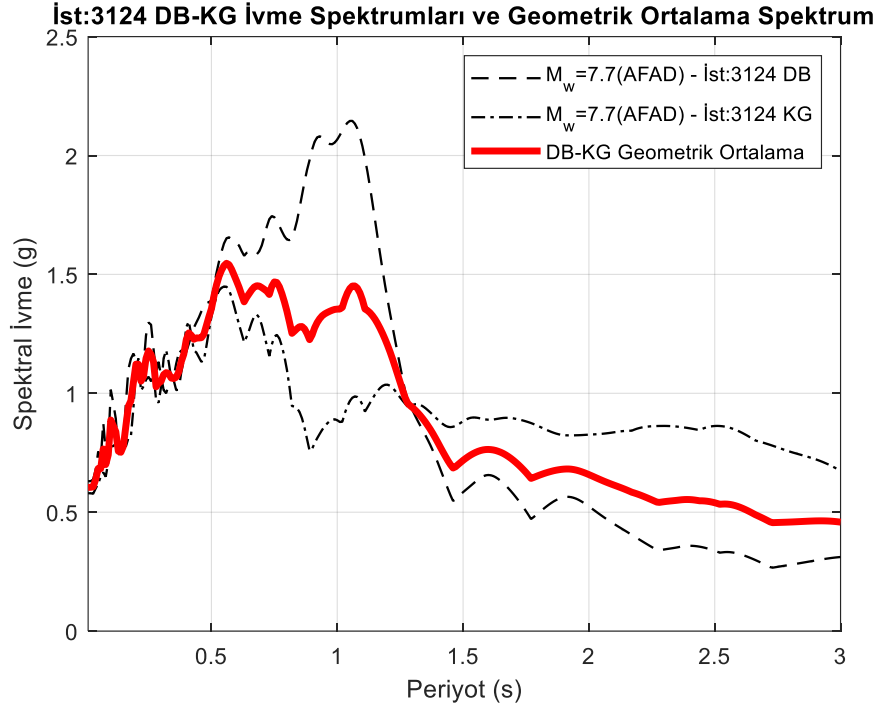
$M_w = 7.7$ (AFAD) - İst:3124 DB



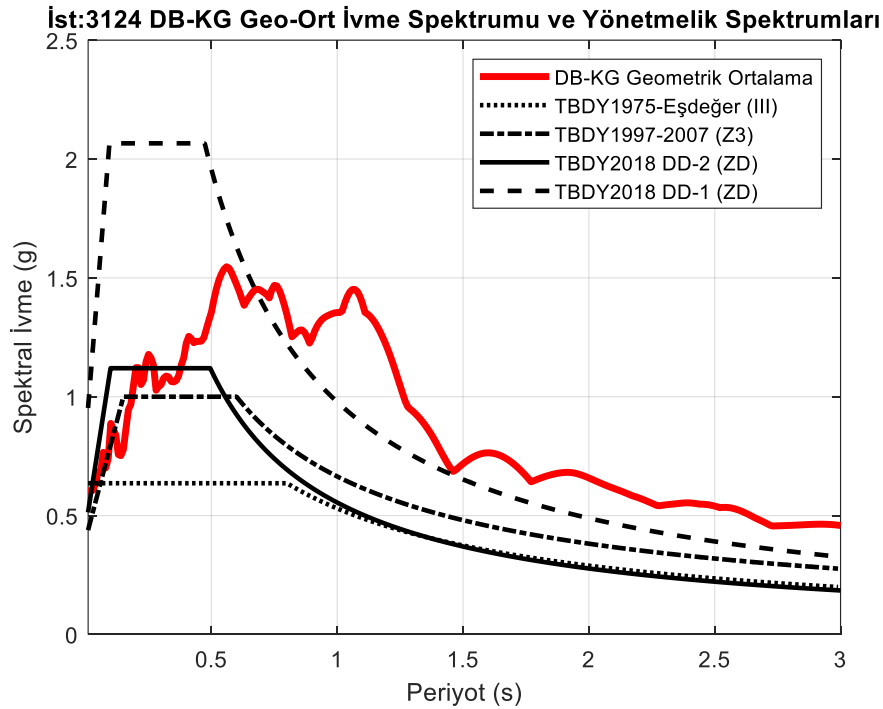
$M_w = 7.7$ (AFAD) - İst:3124 KG



Şekil 2 – TK 3124 yer hareketi kayıtları



Şekil 3 – TK 3124 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



Şekil 4 – TK 3124 Geometrik ortalama ivme spektrumu ve yönetmelik spektrumları

Yer ivmelerinde görülen olağandışı yüksek değerler, doğal olarak spektral ivmelerde de kendini göstermektedir. *Spektral ivmeler, büyük çoğunlukla 1975, 1997(2007) ve 2018 yönetmeliğindeki tasarım depremi (DD-2) düzeyinin üstünde, 2018 yönetmeliğinde göz önüne alınan en büyük deprem olarak adlandırılan DD-1 deprem düzeyi civarında ve hatta yer yer onun da üstünde gerçekleşmişlerdir.*

Yukarıda belirtildiği üzere kaydedilen depremlere ait spektral ivmeler, *depremin yapıdan elastik dayanım talebini* ifade eder. Yönetmeliklerde tanımlanan tasarım spektral ivmeleri ise,

tasarımda yapı için sağlanması gereken *minimum elastik dayanım kapasitesine* karşı gelir. Şekil 4'ten ve Şekil A13-A18'den açıkça görüldüğü üzere, TK3131 sayılı istasyon dışındaki istasyonlarda dayanım kapasiteleri (yönetmeliğin tasarım spektral ivmeleri), dayanım taleplerinin (kaydedilen geometrik ortalama spektral ivmelerin) genellikle çok altında kalmaktadır. Bu durum 1975 yönetmeliğinde daha belirgindir. Bu yönetmelik kapsamında kısa periyotlu az katlı eski yapılarda eşdeğer elastik spektral ivmeler 2018 yönetmeliğindeki DD-2'nin spektral ivmelerinin %60'ı mertebesindedir.

3.3. Süneklik talebi ve süneklik kapasitesi

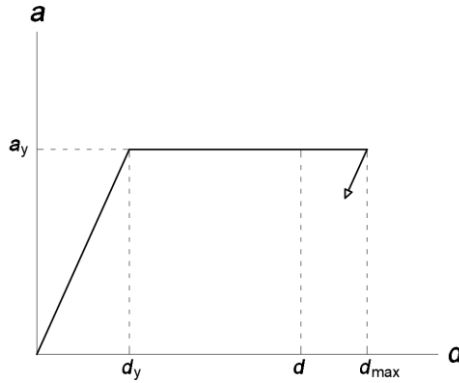
Depremlerin yapılara etkisi bakımından elastik spektral ivmeler kadar önemli olan, ancak pratikte üzerinde pek durulmayan bir parametre de, depremin yapıdan *süneklik talebi* ve bu talebi karşılamak üzere yönetmeliklerle yapıya sağlanan *süneklik kapasitesi*dir.

Genel tanımıyla *süneklik*, *dayanımda önemli bir azalma olmaksızın yapı taşıyıcı sisteminin plastik deformasyon yapabilmesi özelliğidir*. Sünekliğe bağlı enerji tüketimi sayesinde, depremin yapıdan dayanım talebi azalmakta ve böylece yapının dayanım kapasitesinin doğrusal elastik kapasitenin altına, aşağıda tanımlanan *akma dayanımı kapasitesi* düzeyine düşürülmesi mümkün olabilmektedir. Bu da yapıya etkiyen elastik deprem yüklerinin azaltılmasına karşı gelir.

Yönetmelikler kapsamında *yerdeğiştirme süneklik oranı* veya kısaca *süneklik* μ , elasto-plastik davranış gösterdiği kabul edilen tek serbestlik dereceli jenerik bir yapıda deprem etkisiyle oluşan en büyük yerdeğiştirme d_{max} 'ın akma yerdeğiştirmesi d_y 'ye oranı olarak tanımlanır (Şekil 5).

$$\mu = \frac{d_{max}}{d_y} \quad (2)$$

Yönetmeliklerde kullanılan *Dayanıma Göre Tasarım* yaklaşımı kapsamında taşıyıcı sistem için süneklik değeri, taşıyıcı sistemin özelliklerine bağlı olarak izin verilen *süneklik kapasitesi* ile sınırlanır.



Şekil 5 – Elasto-plastik tek serbestlik dereceli sistemde sözde ivme-yerdeğiştirme ilişkisi

3.4. Yönetmeliklerde binalar için tanımlanan akma dayanımı ve süneklik kapasiteleri

2018 deprem yönetmeliğinin bilgilendirme eki EK 4A'da gösterildiği üzere, yönetmelik gereğince hakim periyodu T olan taşıyıcı sistem için sağlanması gereken minimum *akma dayanımı kapasitesine* karşı gelen *akma sözde ivmesi* $a_{y,yön}$ aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$a_{y,yön}(T) = \frac{S_{ae,yön}(T)}{R_{y,yön}(T)} \quad (3)$$

Burada T taşıyıcı sistemin doğal periyodunu, $S_{ae,yön}(T)$ yönetmelikçe tanımlanan elastik dayanım talebine karşı gelen *elastik spektral ivmeyi*, $R_{y,yön}(T)$ ise *akma dayanımı azaltma katsayısını* göstermektedir.

Türkiye deprem yönetmeliklerinde *süneklik kapasitesi* ilk kez 2018 yönetmeliğinde tanımlanmıştır. 2018 yönetmeliği EK 4A’da Denk.(4A.4)’e göre *süneklik kapasitesi* $\mu_{k,yön}$ ile *taşıyıcı sistem davranış katsayısı* R arasındaki ilişki

$$\mu_{k,yön} = \frac{(R / I)}{D} \quad (4)$$

olarak ifade edilmiştir. Burada D , *dayanım fazlalığı katsayısını* göstermektedir. 1997, 2007 ve 2018 yönetmeliklerinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı, örneğin *süneklik düzeyi yüksek çerçeve türü sistemler* için $R = 8$, *süneklik düzeyi sınırlı (normal) çerçeve türü sistemler* için ise $R = 4$ olarak tanımlanmıştır. 1975 yönetmeliğinin eşdeğer elastik ivme spektrumunun EK-B’de açıklandığı şekilde üretilmesinde de aynı katsayılar kullanılmıştır.

Süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi sınırlı (normal) çerçeve türü sistemler için dayanım fazlalığı katsayıları ilk kez 2018 yönetmeliğinde, sırası ile, $D = 3$ ve $D = 2.5$ olarak verilmiştir. 1997 ve 2007 yönetmeliklerinde, açık olarak tanımlanmamakla birlikte, tüm taşıyıcı sistemler için dayanım fazlalığı katsayısı $D = 1.5$ kabul edilmiştir. 1975 yönetmeliğinde ise dayanım fazlalığı kavramı yer almamıştır.

Ayrıca aşağıda Bölüm 4’te ayrıntılı olarak açıklandığı üzere, taşıyıcı sistemlerin sünek davranışı için çok önemli bir faktör olan ve 1997, 2007, 2018 yönetmeliklerinde yer verilmiş bulunan *kapasite tasarımı ilkesi* 1975 yönetmeliğinde yer almamıştır. Dolayısıyla bu yönetmeliğe göre *düktil (=sünek)* olarak projelendirilmiş binaların daha sonraki yönetmeliklere göre daha düşük süneklik kapasitelerine sahip olduğu ileri sürülebilir.

Ancak bu rapor kapsamında yapılan analizlerde, tüm yönetmelikleri aynı bazda değerlendirmek amacıyla 2018 yönetmeliğine göre Denk.(4) ile tanımlanan süneklik kapasitelerinin bütün yönetmelikler için aynen geçerli olacağı kabul edilmiştir.

Denk.(4)’te *bina önem katsayısı* $I = 1$ alınarak tüm yönetmelikler için süneklik kapasiteleri aşağıdaki şekilde tanımlanabilir:

Süneklik düzeyi yüksek çerçeve türü sistemlerde $\mu_{k,yön} = 8 / 3 = 2.67$

Süneklik düzeyi sınırlı (normal) çerçeve türü sistemlerde $\mu_{k,yön} = 4 / 2.5 = 1.6$

2018 yönetmeliği EK 4A’ya göre *akma dayanımı azaltma katsayısı* $R_{y,yön}(T)$, yönetmelikçe izin verilen *süneklik kapasitesi* $\mu_{k,yön}$ ’e bağlı olarak aşağıdaki şekilde tanımlanır:

$$\begin{aligned} R_{y,yön}(T) &= \mu_{k,yön} & (T > T_B) \\ R_{y,yön}(T) &= 1 + (\mu_{k,yön} - 1) \frac{T}{T_B} & (T \leq T_B) \end{aligned} \quad (5)$$

Bu bağıntılar akma dayanımı azaltma katsayısının periyoda göre değişimini göstermektedir. Periyot sıfıra giderken katsayı birim değere yaklaşmaktadır. Bu durumda Denk.(3)’e göre sistemin dayanım kapasitesi azaltılamamakta ve elastik kapasiteye eşit olmaktadır.

2018 yönetmeliğine göre Denk.(5)’te köşe periyodu T_B ’nin yer alması Eurocode 8-1 Annex B ve 2007 yönetmeliği Bilgilendirme Eki 7C ile uyumludur. Ancak 1997 yönetmeliğinde ve 2007 yönetmeliği Bölüm 2’de T_B yerine diğer köşe periyodu T_A yer almaktadır. Bu nedenle 1997 ve 2007 yönetmelikleri için Denk.(5)’te T_B yerine diğer köşe periyodu T_A alınmalıdır. 1975 yönetmeliğinde ise T_A ve T_B tanımlı değildir ve tüm periyotlar için Denk.(5)’teki birinci bağıntı göz önüne alınmalıdır.

Denk.(5) ve Denk.(3) ile yönetmelikte izin verilen süneklik kapasitesine göre bina için sağlanması gereken *minimum azaltılmış dayanım kapasitesi* belirlenmiş olmaktadır.

Önemli not: Sünekliğe bağlı olarak taşıyıcı sistemde azaltılmış dayanım kapasitesinin, diğer deyişle akma dayanımı kapasitesinin sağlanabilmesi için taşıyıcı sistemde gevrek davranışın önlenmiş olması gerekir. Bu bağlamda betonarme taşıyıcı sistem elemanlarında sünek olmayan kesme kırılmasını önlemek üzere yeterli kesme dayanımının sağlanması esastır.

3.5. Yönetmelik depreminin ve gerçek depremin binadan süneklik talepleri

3.5.1. Yönetmelik depreminin süneklik talebi

Tasarımcı mühendis, taşıyıcı sistem için en az yukarıda tanımlanan *minimum azaltılmış dayanım kapasitesini* sağlamak zorundadır. Uygulamada genellikle bu minimum kapasiteden daha büyük bir kapasite, dolayısıyla daha küçük bir akma dayanımı azaltma katsayısı sağlanır. Bu katsayıya $R_{yk,yön}(T)$ denirse, Denk.(5)'ten ters çözümle *yönetmelik depreminin süneklik talebi* $\mu_{t,yön}(T)$ aşağıdaki şekilde elde edilir.

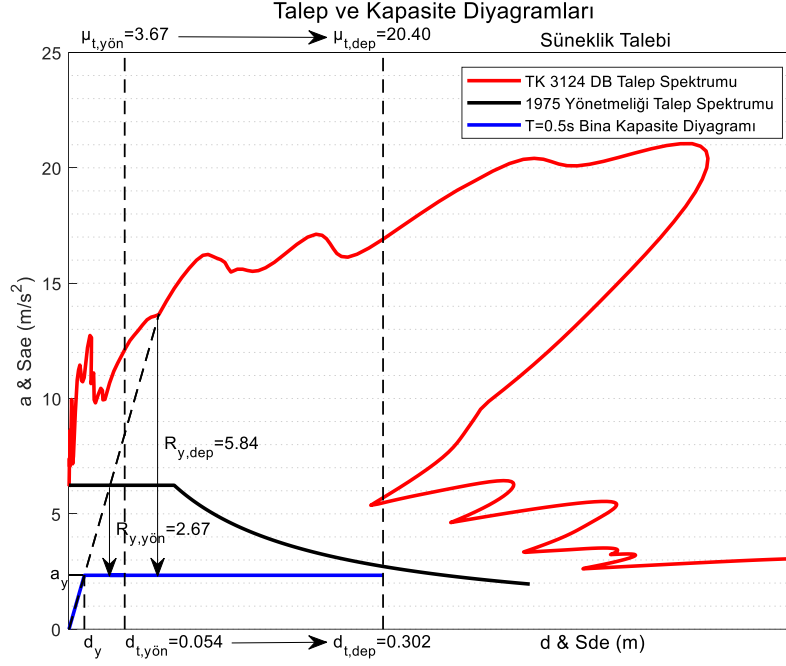
$$\begin{aligned}\mu_{t,yön}(T) &= R_{yk,yön}(T) & (T > T_B) \\ \mu_{t,yön}(T) &= 1 + [R_{yk,yön}(T) - 1] \frac{T_B}{T} & (T \leq T_B)\end{aligned}\tag{6}$$

Eğer sağlanan dayanım kapasitesi yönetmelikte tanımlanan minimum kapasiteye tıpatıp eşitse, o durumda Denk.(6)'dan elde edilecek süneklik talebi, yönetmelikte tanımlanan süneklik kapasitesine eşit olacaktır. Dayanım kapasitesi daha yüksekse, süneklik talebi ve buna bağlı olarak elasto-plastik yerdeğiştirme talebi düşecektir.

Denk.(6), yönetmelik depreminin süneklik talebinin hesabında bütün yönetmelikler için esas alınmalıdır. Bu bağlamda 1975 yönetmeliğinde $T \leq T_B$ aralığında, 1997-2007 yönetmeliklerinde ise $T_A < T \leq T_B$ aralığında dayanım kapasitesi artışı öngörülmediği için bu periyotlarda Denk.(6)'daki ikinci bağıntıya göre hesaplanacak olan süneklik talebi, izin verilen süneklik kapasitesinden büyük olacaktır.

Bina taşıyıcı sisteminin hakim doğal moduna karşı gelen ve elasto-plastik davranış gösterdiği varsayılan modal tek serbestlik dereceli sistemin *kapasite diyagramı* ile TK3124 sayılı kaydına ait maksimum elastik dayanım talebini temsil eden ivme spektrumu, diğer deyişle elastik *talep diyagramını* bir arada gösteren *talep-kapasite diyagramı* Şekil 6'da görülmektedir. 2018 yönetmeliği Bölüm 5'te EK 5B, Madde 5B.3.5'te de yer alan bu diyagramın yatay eksen taşıyıcı sistemin hakim doğal moduna ait *modal yerdeğiştirmeyi* ve aynı zamanda spektral yerdeğiştirmeyi, düşey eksen ise dayanımı veya eşdeğer deprem yükünü temsil eden *modal sözde ivmeyi* ve aynı zamanda spektral ivmeyi göstermektedir. Modal sözde ivme, modal eşdeğer deprem yükünün modal kütleyle oranını ifade eder.

Örnek olarak 1975 yönetmeliğine göre tasarımı yapıldığı varsayılan *süneklik düzeyi yüksek çerçeveli* (1975 yönetmeliğindeki tanımıyla *düktil çerçeveli*) bir taşıyıcı sistem göz önüne alınmıştır. $T = 0.5$ saniye olarak seçilen hakim periyoda bağlı olarak elasto-plastik kapasite diyagramının başlangıç doğrusunun elastik talep diyagramını (yönetmelik ivme spektrumunu) kestiği noktada $T < T_B$ olduğundan süneklik talebi, yukarıda belirtildiği üzere, Denk.(6)'teki ikinci bağıntıdan hesaplanmıştır. $R_{yk,yön}(0.5) = R_{y,yön}(0.5) = 2.67$ ve EK-B'de tanımlandığı üzere Zemin Sınıfı III için Denk.(1)'e göre $T_B = 0.8$ saniye olduğundan $\mu_{t,yön}(0.5) = 3.67$ elde edilmiştir. Bu durumda süneklik talebi, süneklik kapasitesi olarak tanımlanan $\mu_{k,yön} = 2.67$ 'den büyüktür ve Şekil 6'nın üst kısmında işaretlenmiştir.



Şekil 6 – TK 3124 D-B kaydı talep spektrumu ve $T = 0.5$ s periyotlu bina için kapasite diyagramı

3.5.2. Gerçek depremin süneklik talebi

Yukarıda anlatılanlar yönetmelik depreminin uygulanması durumunda geçerlidir. Aşağıda ise 6 Şubat 2023'te meydana gelen *gerçek* depremlerde ortaya çıkan süneklik taleplerinin hesabı açıklanmıştır.

Bu durumda sistemin akma dayanımı azaltma katsayısı, bu kez gerçek deprem etkisi altında yeniden aşağıdaki şekilde hesaplanır (Şekil 6):

$$R_{y,dep}(T) = \frac{S_{ae,dep}(T)}{a_{y,yön}(T)} \quad (8)$$

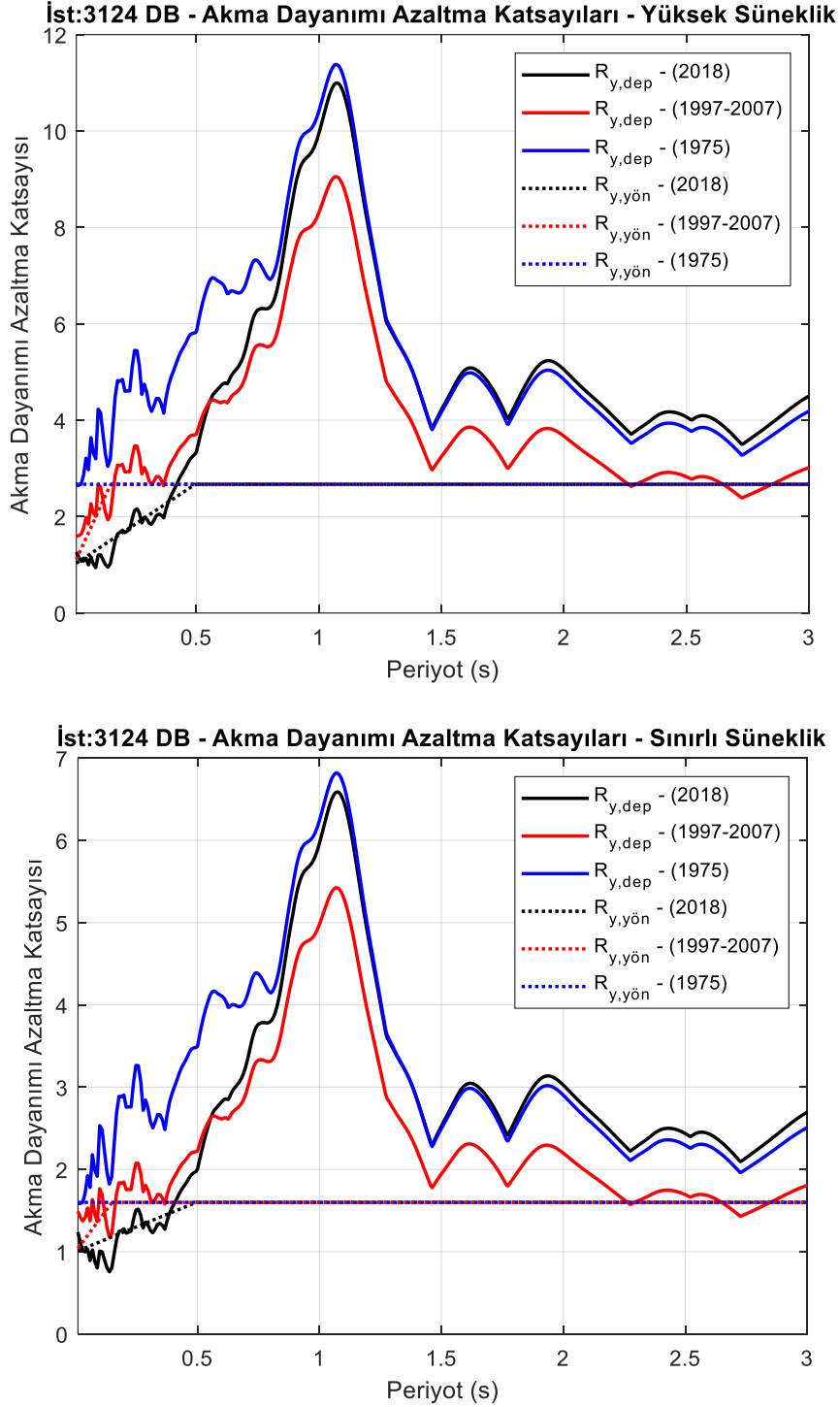
Burada $S_{ae,dep}(T)$ ve $R_{y,dep}(T)$ gerçek depreme ait spektral ivmeyi ve akma dayanımı azaltma katsayısını göstermektedir. Denk.(3) ve Denk.(8)'den sistemin bu durumdaki akma dayanımı azaltma katsayısı aşağıdaki şekilde edilir:

$$R_{y,dep}(T) = \frac{S_{ae,dep}(T)}{S_{ae,yön}(T)} R_{y,yön}(T) \quad (9)$$

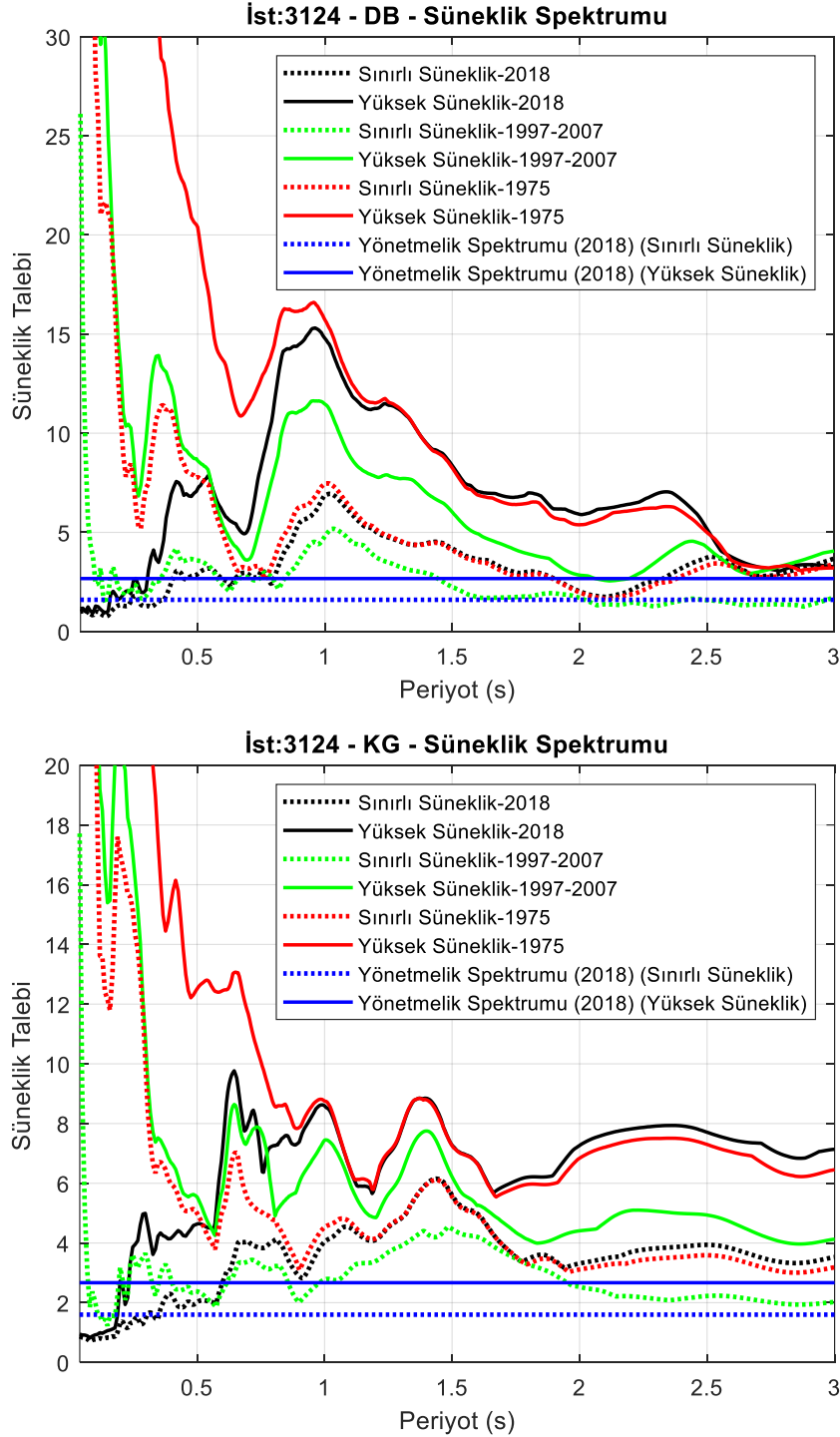
Bu bağıntıya göre gerçek depreme ait akma dayanımı azaltma katsayısı, yönetmelik depremine ait katsayıya göre spektral ivmenin artışı oranında artmaktadır. Örnek olarak TK 3124 sayılı istasyonda kaydedilen doğu-batı (D-B) doğrultusundaki depremin etkisi altında süneklik düzeyi yüksek ve sınırlı çerçeve türü sistemler için gerçek depreme ve yönetmelik depremine (1975, 1997-2007 ve 2018 yönetmelikleri) ait akma dayanımı azaltma katsayılarının periyoda göre değişimi Şekil 7'de sunulmuştur. 1997-2007 ve 2018 yönetmeliklerinde kısa periyotlardaki kısmi uyum dışında aradaki büyük farklar dikkat çekicidir.

Antakya'daki kayıt istasyonlarından doğu-batı (D-B) ve kuzey-güney (K-G) doğrultularında alınan ivme kayıtları kullanılarak, her bir doğal periyot için dayanım kapasiteleri yönetmeliğe göre belirlenen elastoplastik tek serbestlik dereceli sistemlerde hareket denkleminin entegrasyonu ile gerçek deprem altındaki süneklik talepleri $\mu_{t,dep}(T)$ hesaplanmış ve sonuçlar periyoda göre düzenlenerek *süneklik talep spektrumları* elde edilmiştir.

Örnek olarak TK 3124 sayılı istasyonda kaydedilen depremin etkisi altında *süneklik düzeyi yüksek* ve *süneklik düzeyi sınırlı* çerçeve türü taşıyıcı sistemlerde 1975, 1997(2007), 2018 (DD-2) yönetmelik depremlerine göre göz önüne alınan dayanım kapasiteleri için elde edilen *gerçek deprem süneklik talebi spektrumları* Şekil 8’de sunulmuştur. Aynı şekil üzerinde göz önüne alınan taşıyıcı sistem türleri için izin verilen *süneklik kapasiteleri* de gösterilmiştir. Diğer altı istasyona ait spektrumlar ise EK-A’da Şekil A19-A24’de verilmiştir.



Şekil 7 – TK 3124 kaydı ve yönetmelik depremleri için akma dayanımı azaltma katsayısı spektrumları



Şekil 8 – TK 3124 kaydı ve yönetmelik depremleri için süneklilik talep spektrumları

Şekil 8’den görüldüğü üzere, yönetmeliklerde tanımlanan dayanım kapasitelerine göre hesaplanan süneklilik talepleri, süneklilik düzeyi yüksek binalarda daha fazla olmak üzere, genel olarak büyük değerlere varmaktadır. Az katlı (kısa periyotlu) rijit binalarda 2018 yönetmeliğine göre süneklilik taleplerinde önemli artış olmamakta, ancak 1975 ve 1997-2007 yönetmeliklerinde aşırı derecede yüksek değerlere varmakta ve süneklilik kapasitelerinin çok üstüne çıkmaktadır. Süneklilik düzeyi yüksek nisbeten esnek ve çok esnek binalarda, 1997-2007 yönetmeliklerinde dayanım kapasiteleri daha yüksek olduğundan süneklilik talepleri 2018 yönetmeliğine oranla daha düşük kalmaktadır.

EK-A'da Şekil A19-A24'de TK 3123, TK 3125 ve TK 3132 sayılı kayıtlar için verilen spektrumlarda da benzer durumlar gözlenmekte, ancak TK 3126 ve TK 3129 sayılı kayıtlarda kısa periyotlardaki aşırı yüksek spektral ivmelere (dayanım taleplerine) bağlı olarak diğer yönetmeliklerde olduğu gibi 2018 yönetmeliğinde de aşırı yüksek süneklik talepleri görülmektedir. TK 3131 kaydında ise, dayanım taleplerinde de olduğu üzere, süneklik taleplerinde önemli artışlar görülmemektedir.

Süneklik düzeyi sınırlı taşıyıcı sistemlerde dayanım kapasiteleri göreceli olarak yüksek olduğundan süneklik talepleri de azalmaktadır. Ancak bu durumda yönetmelikte tanımlanan süneklik kapasitelerinin de düşük olduğu göz önüne alınmalıdır. Uygulamada mühendislerin daima süneklik düzeyi yüksek sistemleri tercih ettiği bilinmektedir.

Şekil 6'daki örnekte TK 3124 sayılı istasyonun D-B kaydı için 1975 yönetmeliğine göre seçilen *süneklik düzeyi yüksek (düktil) taşıyıcı sisteme* ait elasto-plastik modal tek serbestlik dereceli sistemin analizi sonucunda, beklendiği üzere gerçekte depremde süneklik talebinde büyük bir artışın meydana geldiği ve $\mu_{t,dep}(0.5) = 20.40$ değerine kadar çıktığı görülmektedir. Şekil 6'nın üst kısmında işaretlenen bu değer $T = 0.5$ saniye için Şekil 8'den de okunabilir.

3.6. Yüksek dayanım ve süneklik taleplerine rağmen bazı binalar niçin yıkılmamış olabilir?

Yaşanan büyük depremlerin çok yüksek dayanım ve süneklik taleplerine rağmen, deprem bölgelerinde ve Antakya'da hasar görse bile göçmeyen, ayakta kalan çok sayıda binanın bulunduğu bilinmektedir.

Binaların yıkılması veya yıkılmayıp ayakta kalması çok çeşitli nedenlere bağlı ve açıklanması hayli zor karmaşık olgulardır. Bu nedenlerden biri, çeşitli faktörlere bağlı olarak binaların yönetmeliklerin öngördüğü düzeylerin üstünde dayanım kapasitelerine sahip olmaları olabilir. Diğer deyişle binanın hakim doğal titreşim moduna karşı gelen gerçek akma dayanımı yönetmeliğe göre Denk.(3) ile tanımlanan akma dayanımının üstünde, hatta çok üstünde olabilir.

Bu bağlamda binanın taşıyıcı sisteminin planda ve düşey doğrultuda düzenli ve hiperstatiklik derecesinin yüksek oluşu, taşıyıcı sistem elemanlarının sürekliliği ve kesitlerinin yeterli oluşu, hatta proje mühendisince yönetmeliklerin öngördüğünden daha büyük kesitlerin kullanılmış olması, elemanlara hesapların öngördüğünden fazla çelik donatı konulması, kullanılan malzeme dayanımlarının yönetmeliklerin öngördüğü düzeylerden daha yüksek olması, yönetmeliklere göre dayanımları hesaba katılmayan dolgu duvarlarının sağladığı ek dayanımlar, kolon, kiriş, kolon-kiriş birleşim bölgeleri ve perdelerde usulüne göre düzenlenmiş sargı donatılarının bu elemanlardaki beton dayanımlarına olumlu ek katkıları ve bunlar gibi yönetmeliklerde göz önüne alınan dayanım fazlalıklarının dışında çok sayıda hesaba katılmayan faktör, bina dayanım kapasitesini arttıran ve böylece bina hasarlarını ve yıkımları azaltan veya önleyen etkenler olarak değerlendirilebilir.

Binanın dayanım kapasitesi yönetmeliklerin talep ettiği düzeye göre çok yüksek olmasa bile süneklik kapasitesi yönetmeliklerde tanımlanana göre daha yüksek olabilir. Bu bağlamda aşağıda Bölüm 4'te açıklanan *kapasite tasarımı ilkesine* ilişkin tüm uygulamaların gerçekleştirilmiş olması durumunda taşıyıcı sistemin süneklik kapasitesinin önemli ölçüde artacağı ve aynı zamanda gevrek kesme kırılmalarına bağlı toptan göçmelerin önleneyeceği açıktır.

Öte yandan, binaların yıkılmayıp ayakta kalmalarının nedenleri sadece dayanım ve/veya süneklik kapasitelerinin fazlalığı nedeniyle olmayabilir. Bazı durumlarda depremin dayanım talebinde önemli azalmalar olabilir. Bu iki şekilde ortaya çıkabilir: Bunlardan birincisi deprem

yer hareketinin noktadan noktaya değişkenliği ile ilgilidir. Depremde dalga yayılımı konusu çok karmaşık ve belirsizlikler içeren bir olgu olduğundan, bugün henüz açıklanamayan nedenlerle deprem yer ivmelerinin ve hızlarının genlikleri bir binadan diğerine çok farklı olabilirler.

Depremın dayanım talebinde olası azalmaların bir diğer nedeni de, bilgi eksikliği nedeniyle kamuoyunda binayı olumsuz etkileyeceği izlenimi yaratılan *yapı-zemin etkileşimi* olabilir. Bu olgu, sanılanın tam aksine özellikle zayıf zeminler üzerindeki nisbeten rijit (hakim periyodu kısa) binalarda depremin dayanım talebini, yani depremin binalar üzerindeki etkisini önemli ölçüde azaltabilir. Bu olumlu etki, güvenli tarafta kalma amacıyla Türkiye deprem yönetmeliklerinde ihmal edilmiştir.

4. 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNDEN KAYNAKLANAN DİĞER SORUNLAR

Depremlerden etkilenen bütün yörelerde, özellikle Antakya’da meydana gelen ağır hasar ve yıkımların çok büyük oranda 2000 öncesinde yapılan binalarda görülmesi, 1998’e kadar yürürlükte olan ve büyük oranda bu binaların tasarımında esas alınan 1975 Deprem Yönetmeliği’nin (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik: ABYYHY-1975) bazı özelliklerinin irdelenmesini zorunlu kılmaktadır.

Yukarıda 3.2’de açıklandığı üzere elastik ivme spektrumunun doğrudan tanımlanmadığı 1975 deprem yönetmeliği için üretilen eşdeğer elastik ivme spektrumu, az katlı (ortalama 6-8 kata kadar) binaların temsil edildiği kısa periyot bölgesinde (en sağlam zeminde 0 – 0.45 saniye arası, en zayıf zeminde ise 0 – 1.00 saniye arası) diğer deprem yönetmeliklerine oranla daha düşük spektral ivmeler tanımlamaktadır. Bu durum, yukarıdaki bölümlerde ifade edildiği üzere az katlı binalarda önemli derecede dayanım kapasitesi eksikliğine ve aynı zamanda buna bağlı olarak süneklik talebinin artışına neden olmaktadır. Bu durum Şekil 4 ve Şekil 8’de açık olarak görölmektedir.

1975 yönetmeliğinin daha sonra yürürlüğe giren yönetmeliklere oranla en önemli eksikliği *kapasite tasarımı ilkesine* ilişkin hükümler içermemesidir. Aslında yürürlüğe girdiği tarih itibarıyla deprem mühendisliğindeki hakim eğilimleri oldukça yeterli biçimde yansıtan 1975 yönetmeliğinde bu ilkenin yer almaması, büyük ölçüde o tarihlerde yaygın kullanımının olmamasına bağlanabilir. Dünyada özellikle 1990’lı yılların başından itibaren yaygınlaşan kapasite tasarımı ilkesinin ülkemizdeki uygulanması 1998’de yürürlüğe giren 1997 yönetmeliği ile başlamıştır. 1975’ten 1997’ye kadar geçen 22 yıl boyunca deprem yönetmeliğinin değiştirilmemesi sorgulanması gereken bir husustur.

Depreme dayanıklı tasarımda kapasite tasarımı ilkesinin 1975 yönetmeliğinde mevcut olmayan iki önemli uygulaması vardır. Bunlardan birincisi, çerçeve sistemlerde *güçlü kolon – zayıf kiriş ilkesi*dir. Bu uygulama sayesinde plastik mafsalların süneklik kapasitesi görece olarak daha düşük olan kolonlarda değil, daha yüksek olan kirişlerde oluşması sağlanmaktadır. *Ayrıca kolonların alt ve üst kesitlerinde plastik mafsal oluşumunun önlenmesi ile binayı toptan göçmeye (yıkıma) götürebilecek “kat mekanizmaları”nın meydana gelmesi ihtimali de ortadan kaldırılmaktadır.*

Kapasite tasarımı ilkesinin ikinci uygulaması, kolonlarda, kirişlerde ve kolon-kiriş birleşim bölgelerinde tasarıma esas maksimum kesme kuvvetlerinin kiriş veya kolon uçlarındaki akma momentleri (moment kapasiteleri) cinsinden hesaplanmasıdır. *Böylece çerçeve türü taşıyıcı sisteme sahip binaların yıkımında birinci derecede etkili olabilecek kolon ve kiriş “gevrek kesme göçmeleri” kesin olarak önlenmiş olmaktadır.*

İlginç olan husus, 1975 yönetmeliğinde kapasite tasarımı ilkesinin ikinci uygulamasının kolon ve kirişler için mevcut olmaması, buna karşılık kolon-kiriş birleşimlerinde günümüzdeki

uygulamaya benzer şekilde kullanılmasıdır. Ancak kiriş momentleri olarak akma momentleri (moment kapasiteleri) yerine azaltılmış deprem etkileri altında hesaplanan momentler kullanılmıştır. Bu nedenle kolon-kiriş birleşim bölgelerinde *gevrek kesme göçmelerinin kesin olarak önlenmediği* söylenemez.

Bu açıklamalara göre, 1975 yönetmeliğine göre düktil (sünek) olarak tanımlanarak tasarımı yapılan çerçeve türü taşıyıcı sistemlere sahip binaların, yukarıda Bölüm 3'te açıklandığı üzere dayanım kapasitelerinin görece çok düşük ve süneklik taleplerinin çok yüksek olması yanında, yönetmelikte "kapasite tasarımı" ilkesinin yer almaması nedeniyle hem kat mekanizmalarının oluşumu, hem de gevrek kesme kırılmaları sonucu yıkılma olasılıklarının çok daha yüksek olduğu açıkça ortaya çıkmaktadır.

1975 yönetmeliğinden sonra yürürlüğe giren 1997, 2007 ve 2018 yönetmelikleri, hazırlandıkları dönemler itibarıyla deprem mühendisliğindeki gelişmeleri yakından izleyen modern yönetmeliklerdir. Ancak bu yönetmeliklerde hiçbir eksikliğin bulunmadığını iddia etmek doğru değildir. Bu yönetmeliklere göre tasarımı yapılan binaların Şubat 2023 depremlerindeki davranış ve performanslarının ayrıntılı olarak incelenerek değerlendirilmesi ile önemli çıkarımların yapılması mümkün olacaktır.

5. SONUÇLAR

Ülkemizin güneydoğusunda Şubat 2023'te meydana gelen depremlerin ortaya çıkardığı aşırı büyük yapısal hasar ve yıkımın olası nedenlerinin objektif şekilde araştırılması büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda en önde gelen nedenler hiç kuşkusuz yapısal tasarım (taşıyıcı sistem projesi), yapım (inşaat) ve denetim süreçlerindeki eksiklikler ve hatalardır. Ancak içiçe ve birbirleriyle etkileşim içinde olmalarından ötürü çoğu durumda hasar ve yıkımların taşıyıcı sistem projesinden mi, yoksa yapıdaki ve/veya denetimdeki eksiklik ve hatalardan mı kaynaklandığına karar vermek kolay değildir.

Bu raporda da ana hatlarıyla belirtilen bu eksiklikler ve hatalar, esasında bu işin uzmanlarınca çok iyi bilinen ve özellikle 1999 depremlerinden bu yana her fırsatta vurgulanan, ancak bir türlü çözüme kavuşturulamayan konulardır. *Bunlardan başta merkezi ve yerel yönetimler olmak üzere depreme dayanıklı bina üretim sürecinde rolü olan bütün kurumların ve bireylerin kolektif olarak sorumlu olduklarını belirtmek gerekir.*

Ancak 6 Şubat 2023 depremlerinin ülkemizde ve dünyada daha önce meydana gelen depremlerden önemli farkları vardır. *Bu depremlerde, özellikle çok büyük hasarın ve yıkımın yaşandığı Antakya'da kaydedilen olağandışı yüksek hız ve ivmeler ile bunların binalarda oluşturduğu etkiler deprem yönetmeliklerinin sınırlarını büyük ölçüde aşmıştır.*

Bu bağlamda binaların depreme dayanıklı tasarımının ana unsurları olan *dayanım ve süneklik* özelliklerinin bu depremlerden ne şekilde etkilendiğini ortaya çıkarabilmek amacıyla bu rapor kapsamında bir dizi analiz yapılmıştır.

AFAD tarafından Antakya'da alınan deprem kayıtları kullanılarak yapılan jenerik analizler sonucunda 6 Şubat 2023 depremlerinin binalardan "dayanım ve süneklik talepleri"nin, özellikle 1975 ve yer yer 1997-2007 deprem yönetmeliklerinde tanımlanan "dayanım ve süneklik kapasiteleri"ne göre olağandışı yüksek düzeylerde gerçekleştiği ortaya çıkmıştır. Bu büyük depremlere karşı yeterli dayanıma ve süneklığe sahip olmayan binaların yıkılma olasılıklarının çok yüksek olduğu muhakkaktır.

Yıkılan binaların büyük çoğunluğunu 2000 öncesinde genellikle 1975 deprem yönetmeliğine göre projelendirilmiş az katlı (8 kattan daha az) binalar oluşturmuştur. Yapılan analizlerde dayanım ve süneklik yetersizliklerinin özellikle bu binalarda çok daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Ayrıca 1975 sonrası yönetmeliklerin hepsinde yer alan “kapasite tasarımı” ilkesine 1975 yönetmeliğinde yer verilmemiş olması, 2000 öncesi yapılan binalardaki yıkımların en önemli nedenlerinden biri olarak değerlendirilmelidir. Bu eksiklik nedeniyle, kolonlarda plastik mafsall oluşumu engellenmediğinden kat mekanizmalarının meydana gelmesine ve böylece binanın toptan göçmesine, yani yıkılmasına yol açılmıştır. Yine kapasite tasarımı ilkesinin uygulanmaması nedeniyle, yıkıma yol açabilecek gevrek kesme kırılmalarının önlenmesi mümkün olamamıştır.

Şubat 2023 depremlerinde çeşitli düzeylerde hasar gören ve yıkılan binaların gerçek hasar ve yıkım nedenlerinin anlaşılması ve ortaya çıkarılması için ayrıntılı çalışmaların yapılması ve bu tür çalışmaların teşvik edilmesi gereklidir. Bu rapor bu yolda başlatılan çabalara, sınırlı da olsa, bir katkı sağlamak amacıyla hazırlanmıştır.

6. REFERANSLAR

AFAD – Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2023). *Türkiye İvme Veri Tabanı ve Analiz Sistemi, AFAD-TADAS*, <https://tadas.afad.gov.tr>

AFAD – Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2018). *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Ankara

Aydınöğlu, M.N. (2021). *Deprem ve Binalarımız: Deprem Tehlikesi Altında Binalarımızın Hasar Riski, Tasarım ve Yapım Sorunları*. İstanbul’un Deprem Gerçeği, İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kültür A.Ş., Bölüm 4, 167-241

İmar ve İskan Bakanlığı (1975). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Ankara

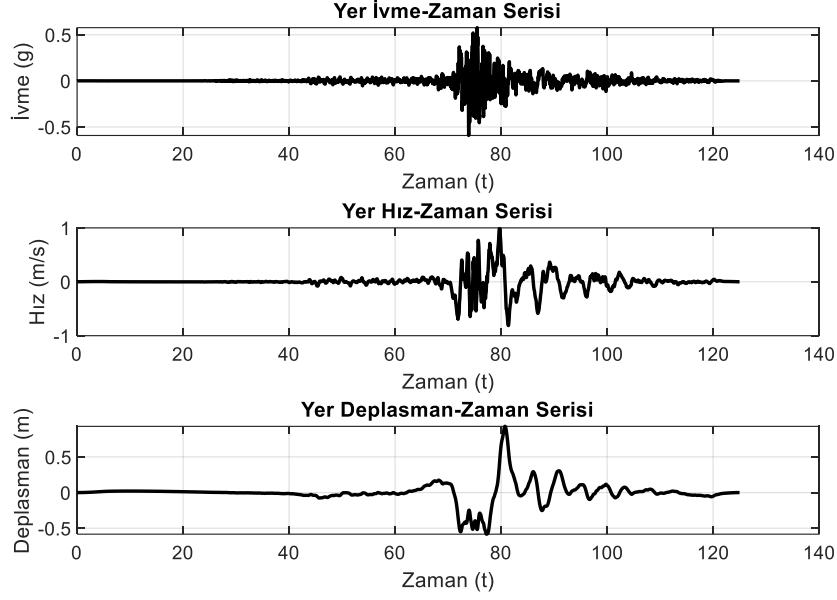
Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (1997). *Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik*, Ankara

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007). *Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, Ankara

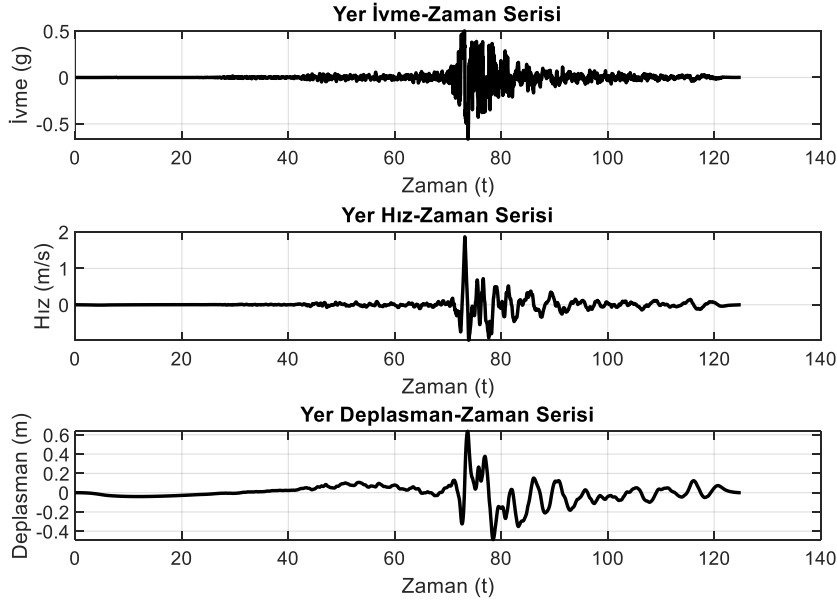
CEN (2004). *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.

EK-A: ANTAKYA'DA TK3124 DIŞINDAKİ İŐTASYONLARA İLİŞKİN YER HAREKETİ KAYITLARI, İVME VE SÜNEKLİK SPEKTRUMLARI

$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3123 DB

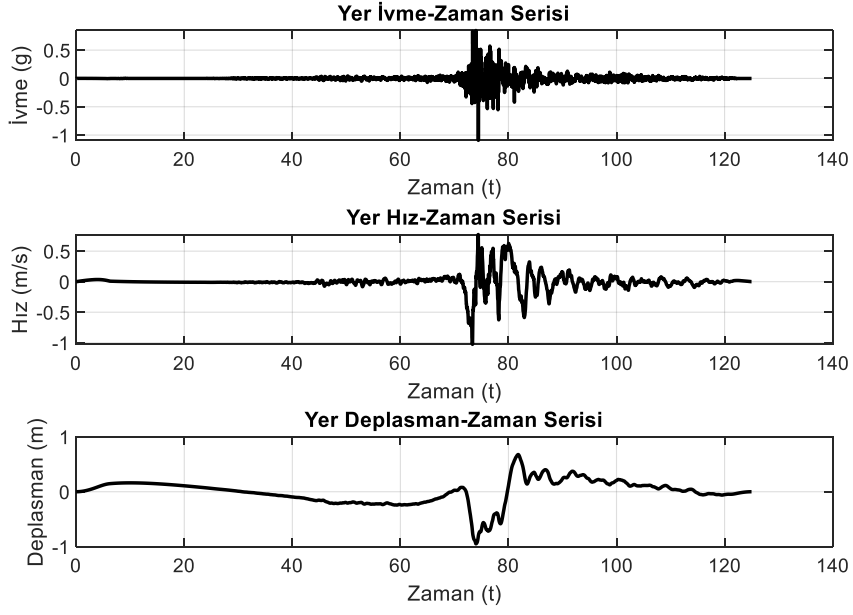


$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3123 KG

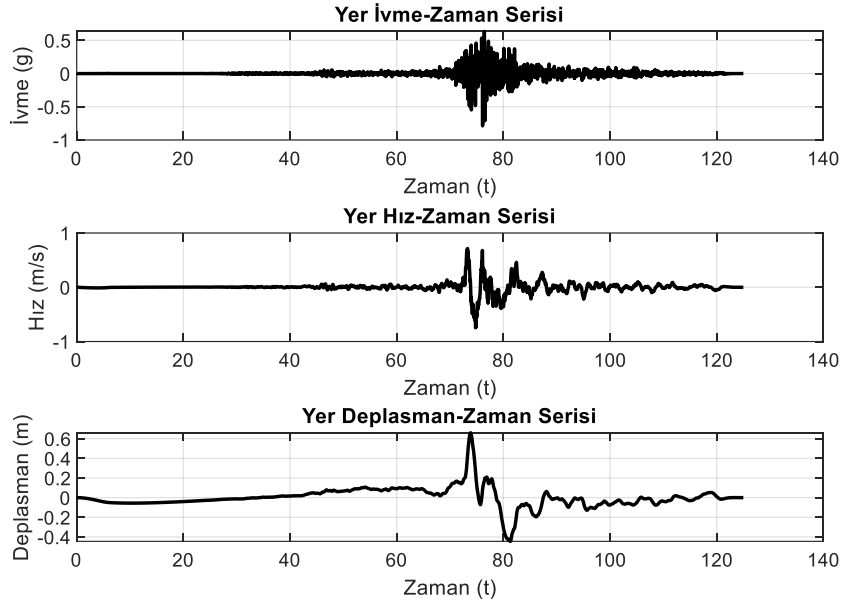


Şekil A1 – TK 3123 yer hareketi kayıtları

$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3125 DB

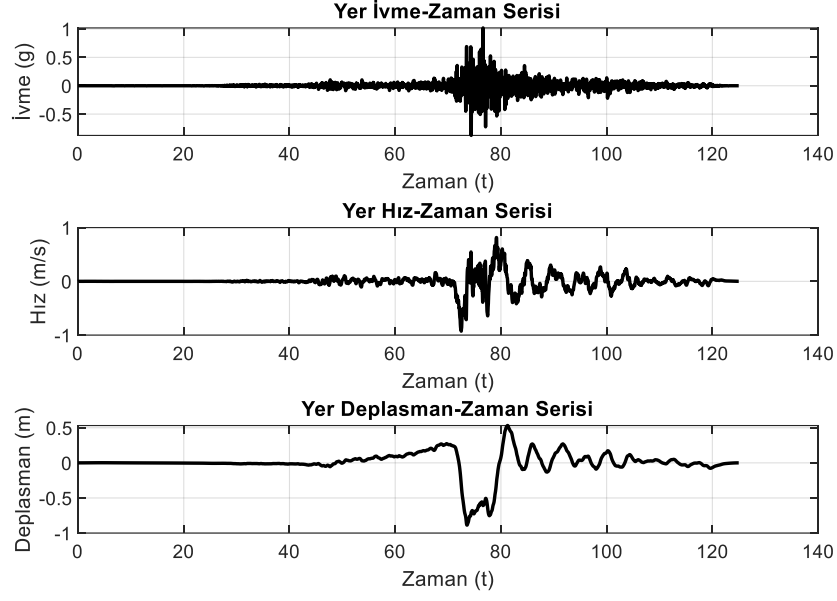


$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3125 KG

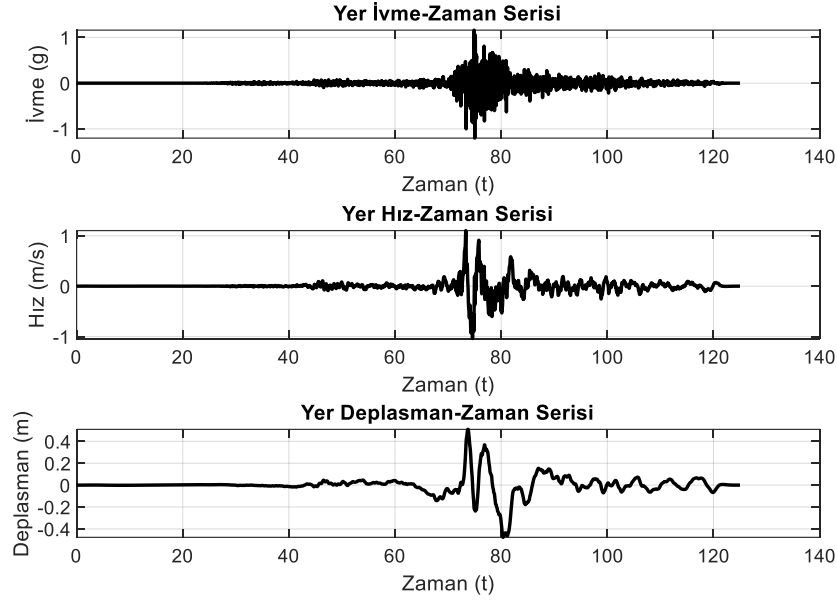


Şekil A2 – TK 3125 yer hareketi kayıtları

$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3126 DB

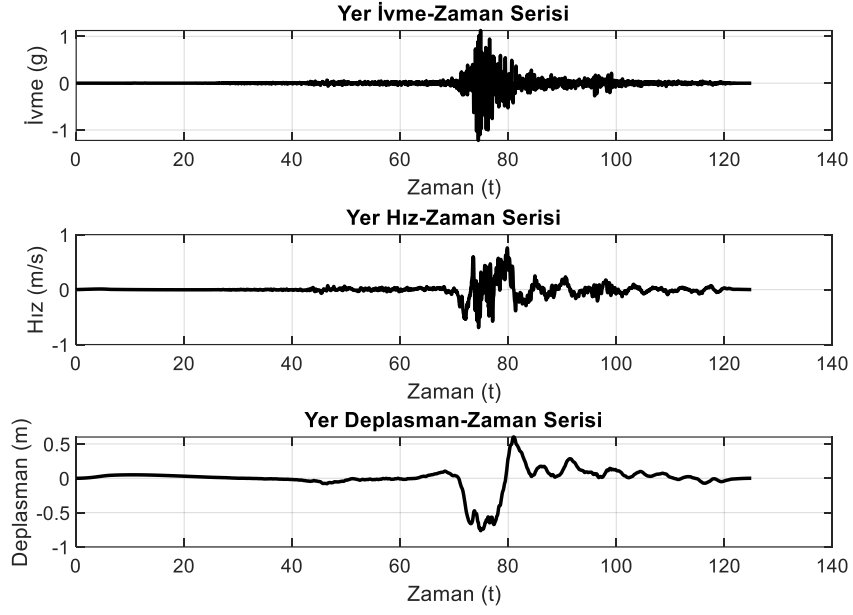


$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3126 KG

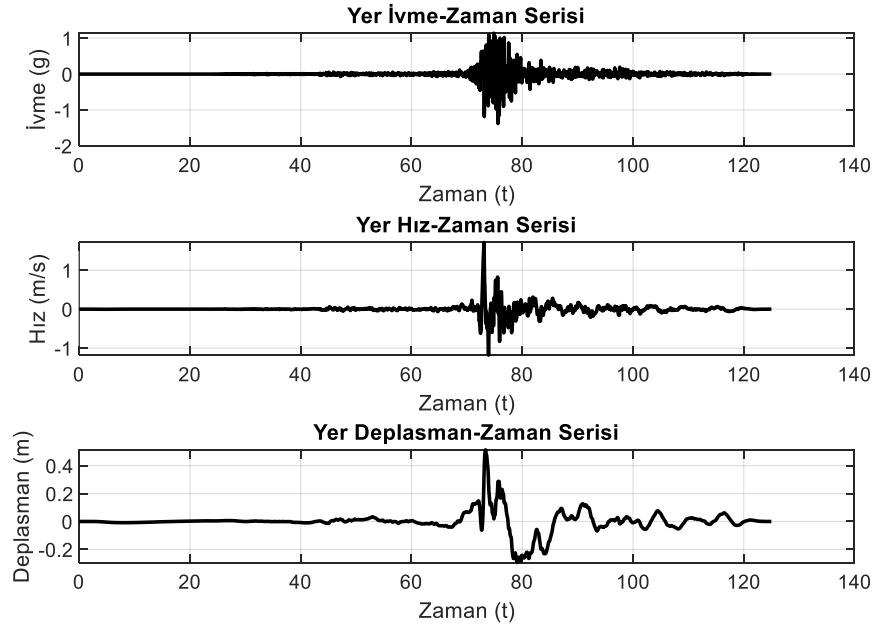


Şekil A3 – TK 3126 yer hareketi kayıtları

$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3129 DB

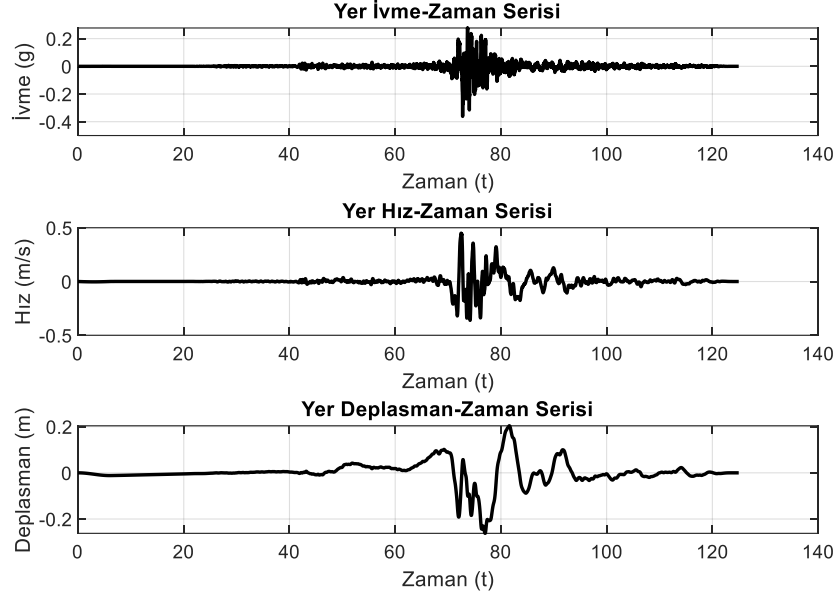


$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3129 KG

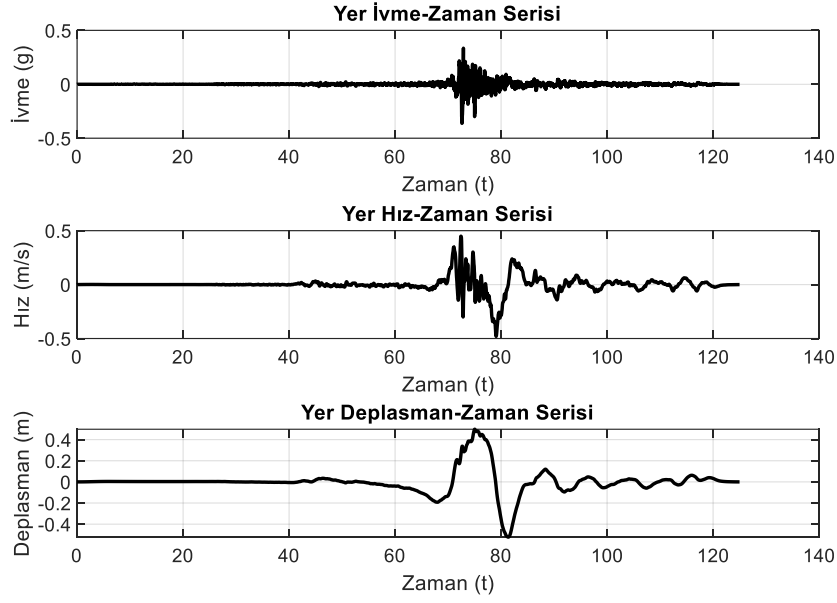


Şekil A4 – TK 3129 yer hareketi kayıtları

$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3131 DB

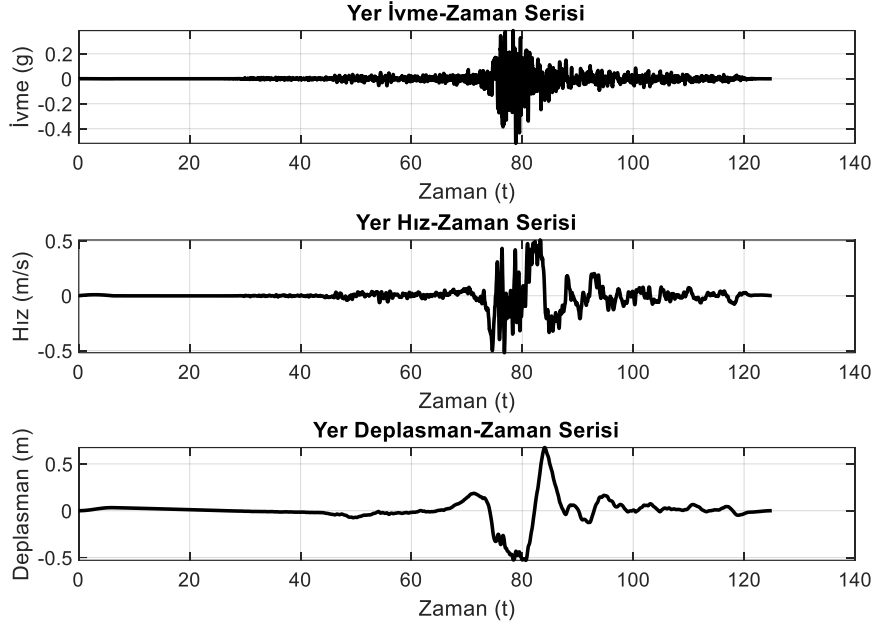


$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3131 KG

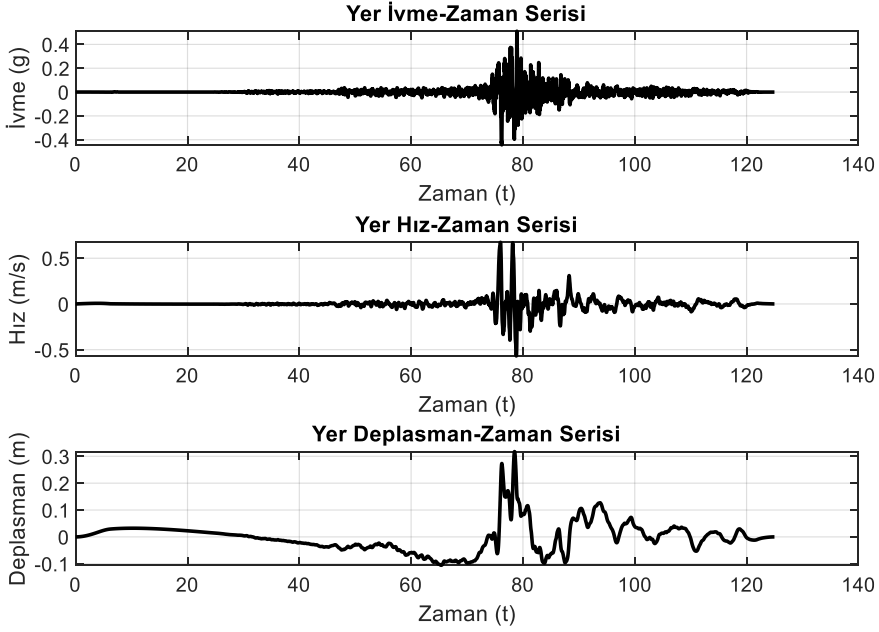


Şekil A5 – TK 3131 yer hareketi kayıtları

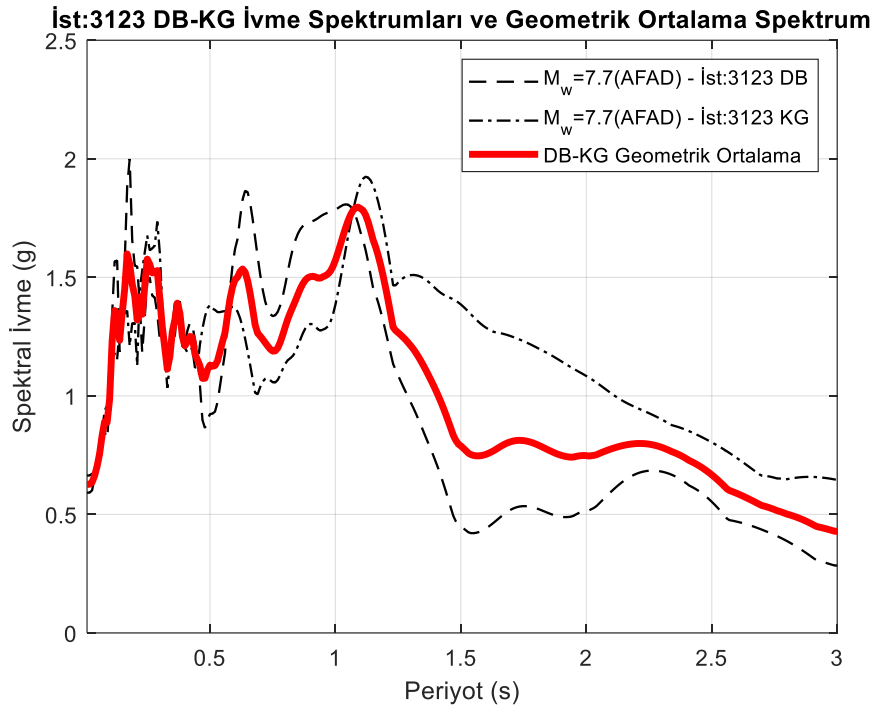
$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3132 DB



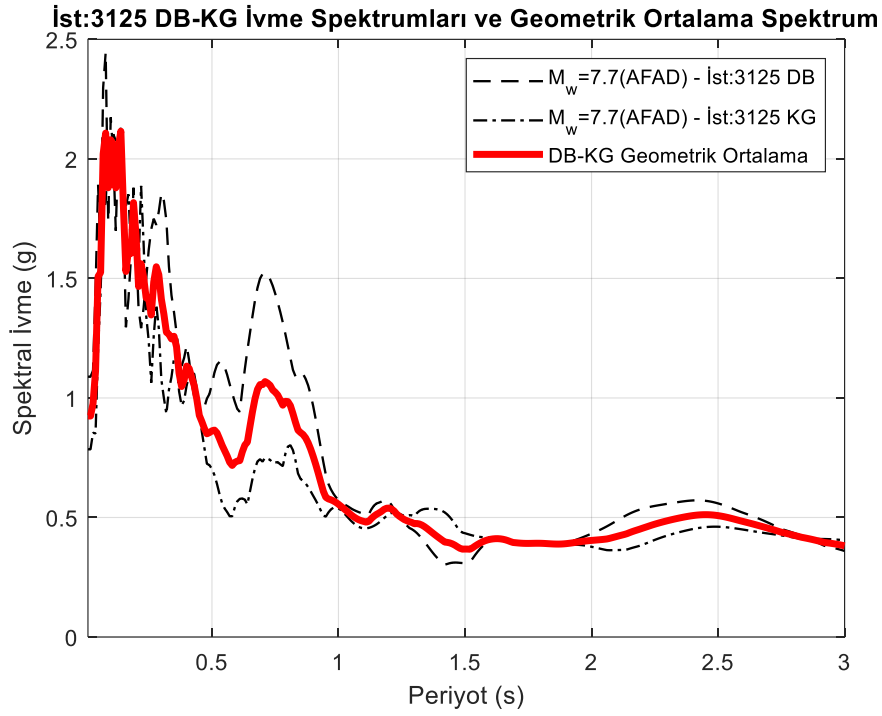
$M_w=7.7$ (AFAD) - İst:3132 KG



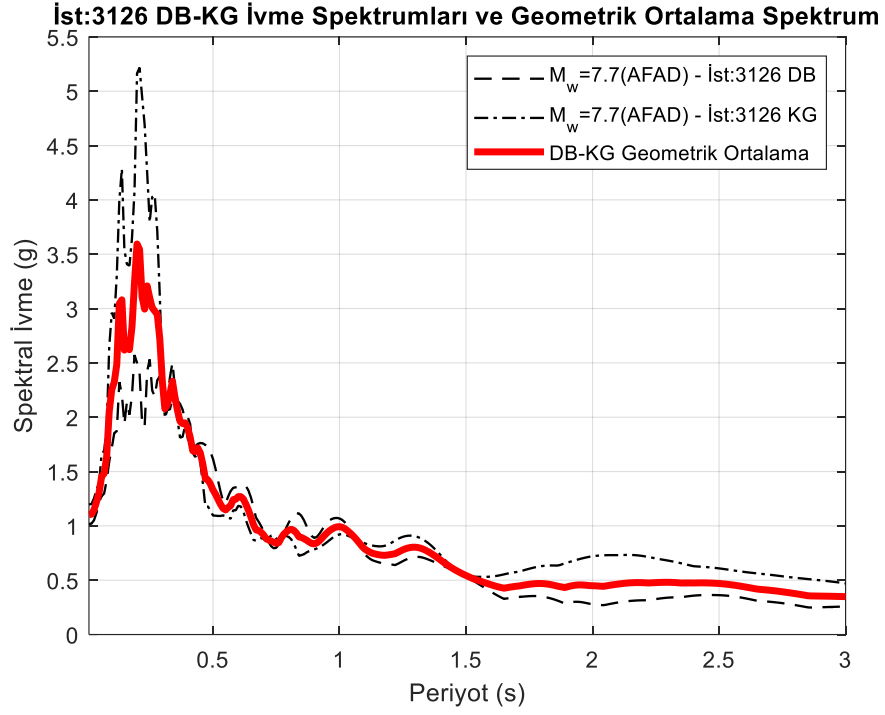
Şekil A6 – TK 3132 yer hareketi kayıtları



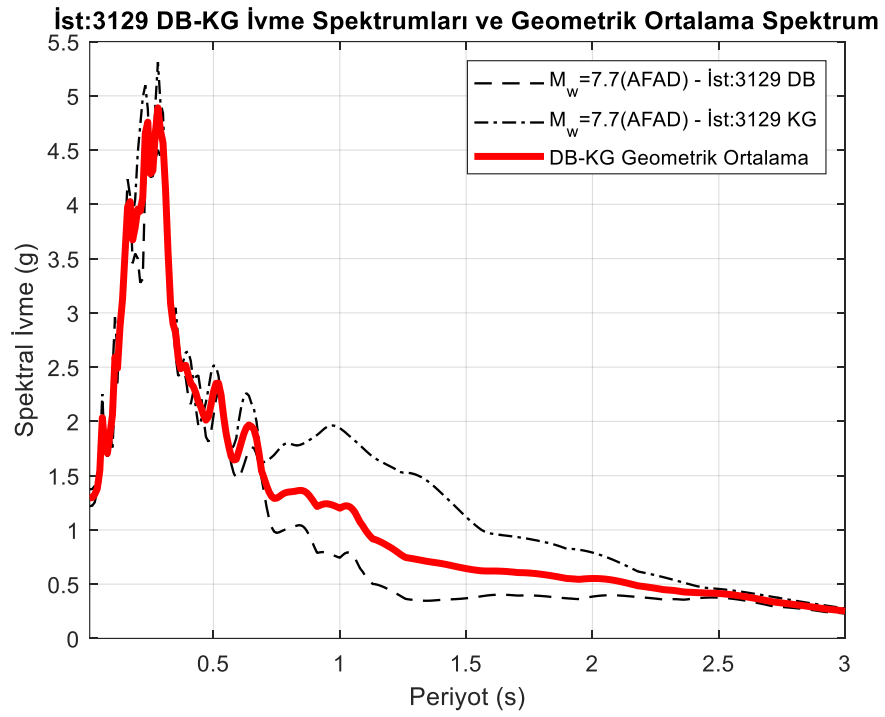
Şekil A7 – TK 3123 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



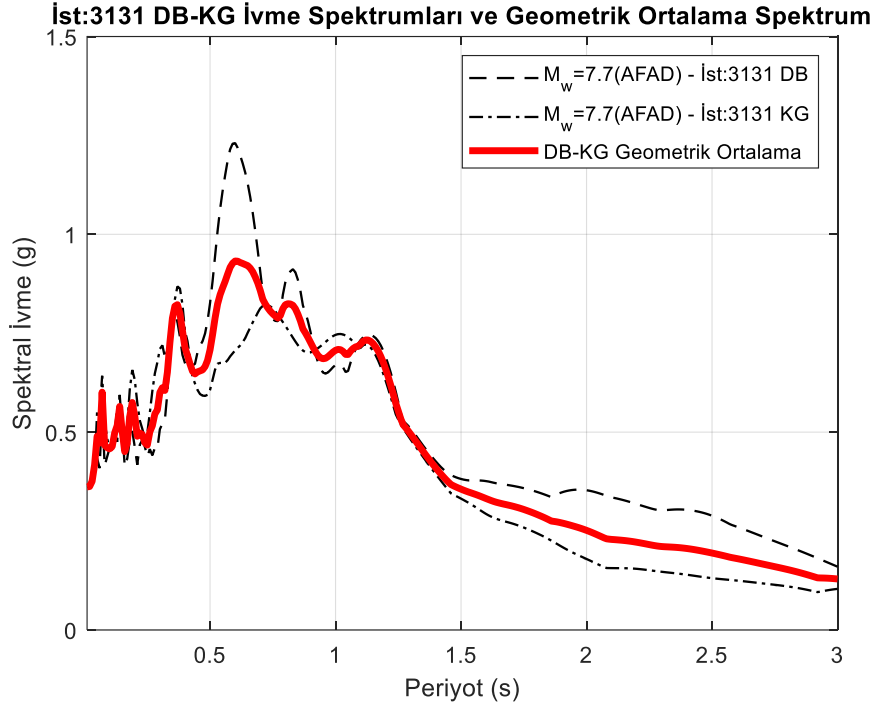
Şekil A8 – TK 3125 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



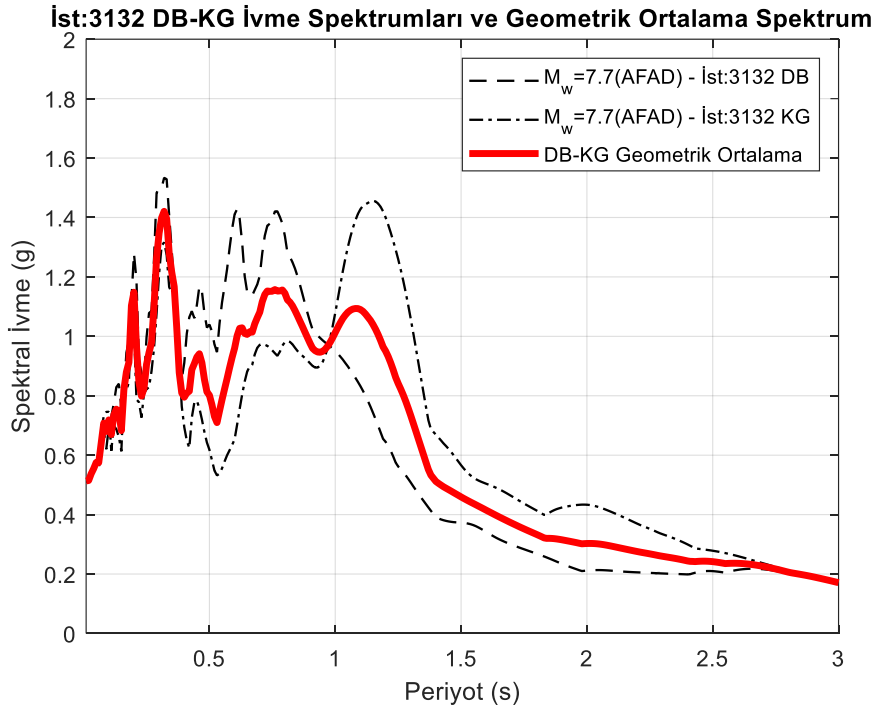
Şekil A9 – TK 3126 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



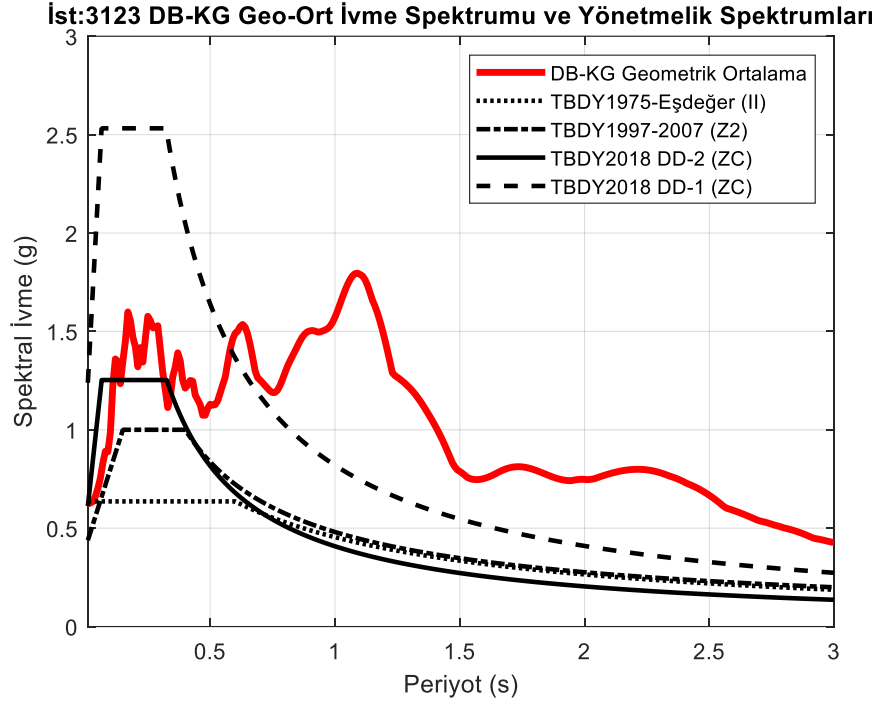
Şekil A10 – TK 3129 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



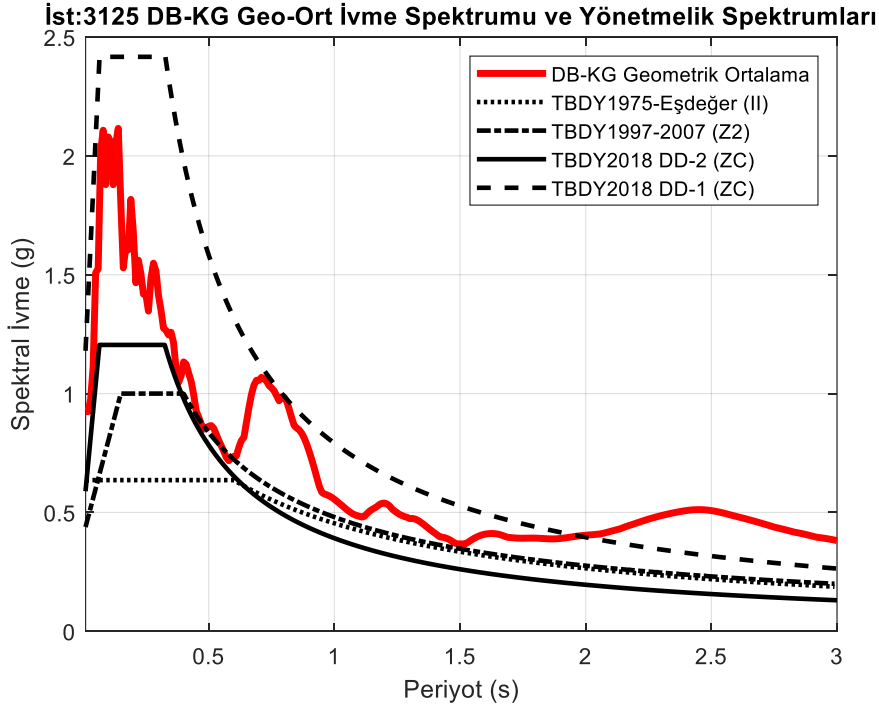
Şekil A11 – TK 3131 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



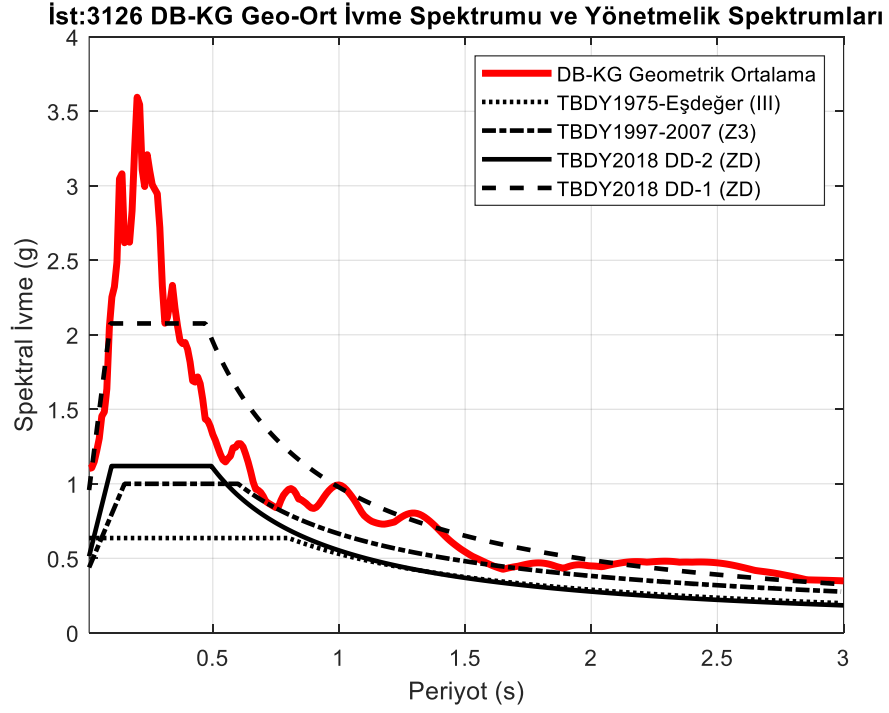
Şekil A12 – TK 3132 DB-KG ivme spektrumları ve geometrik ortalama spektrum



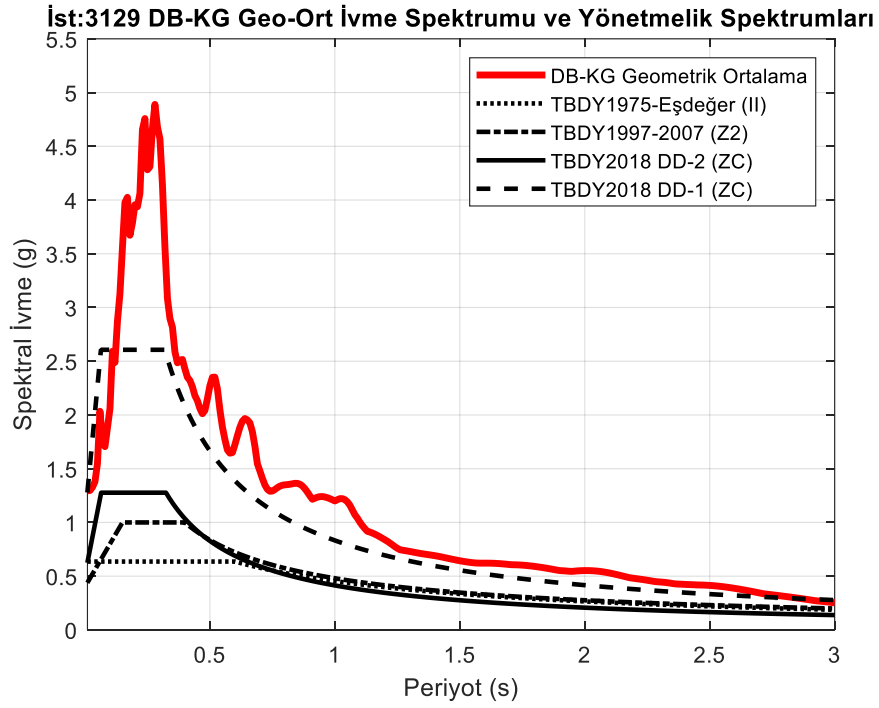
Şekil A13 – TK 3123 Geometrik ortalama ivme spektrumu ve yönetmelik spektrumları



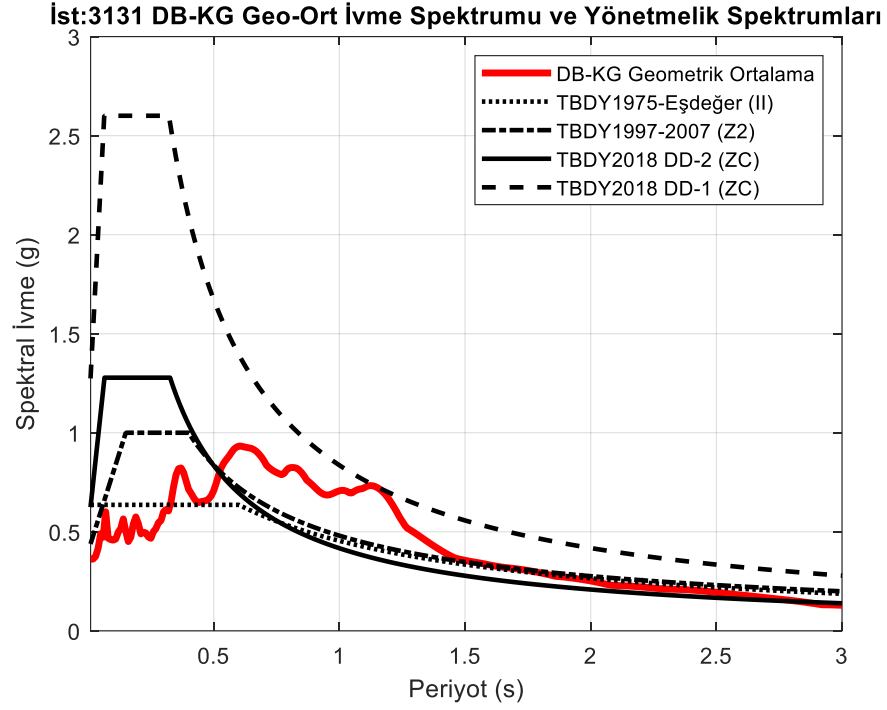
Şekil A14 – TK 3125 Geometrik ortalama ivme spektrumu ve yönetmelik spektrumları



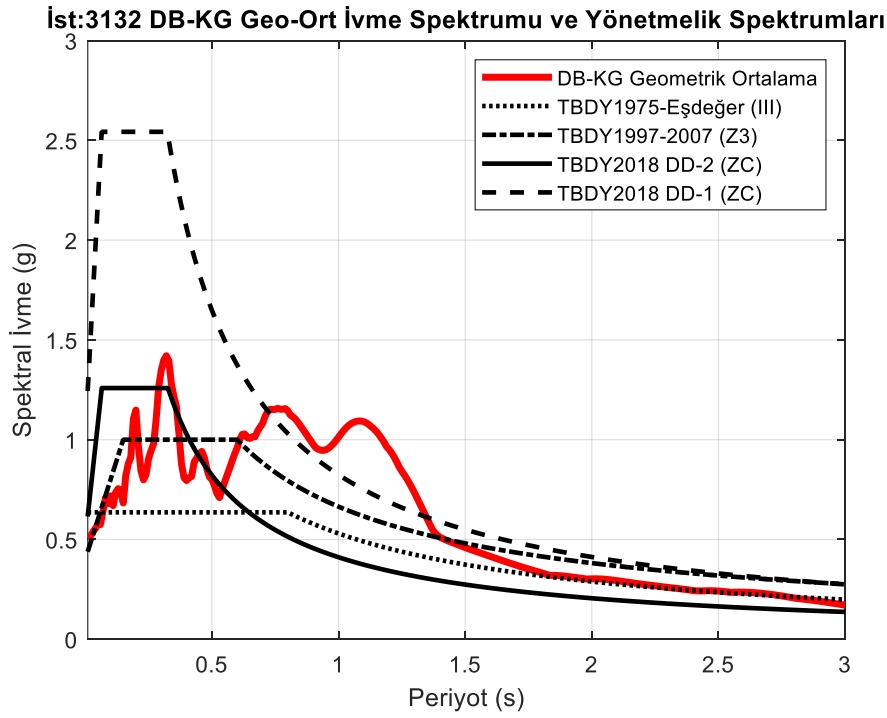
Şekil A15 – TK 3126 Geometrik ortalama ivme spektrumu ve yönetmelik spektrumları



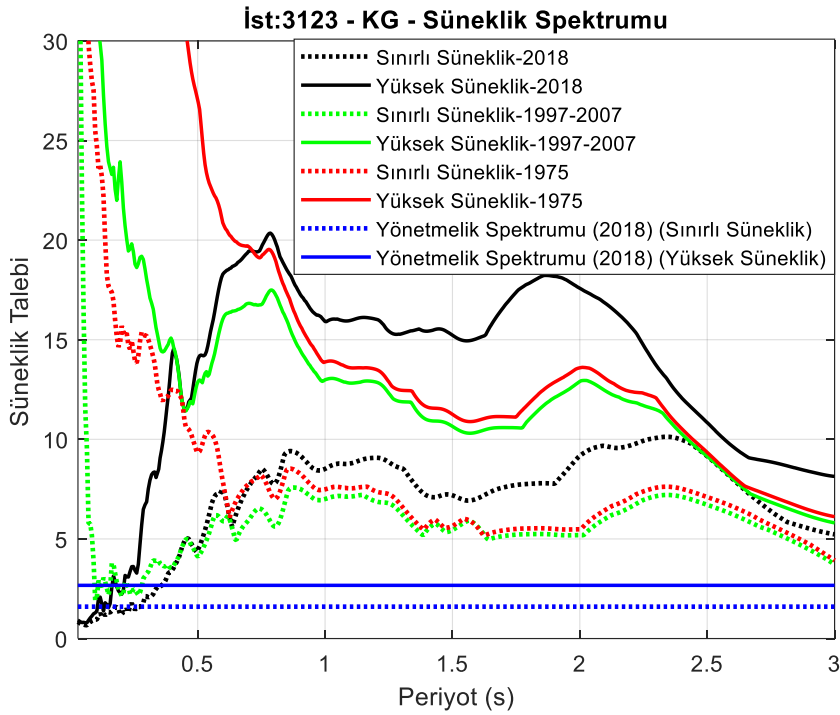
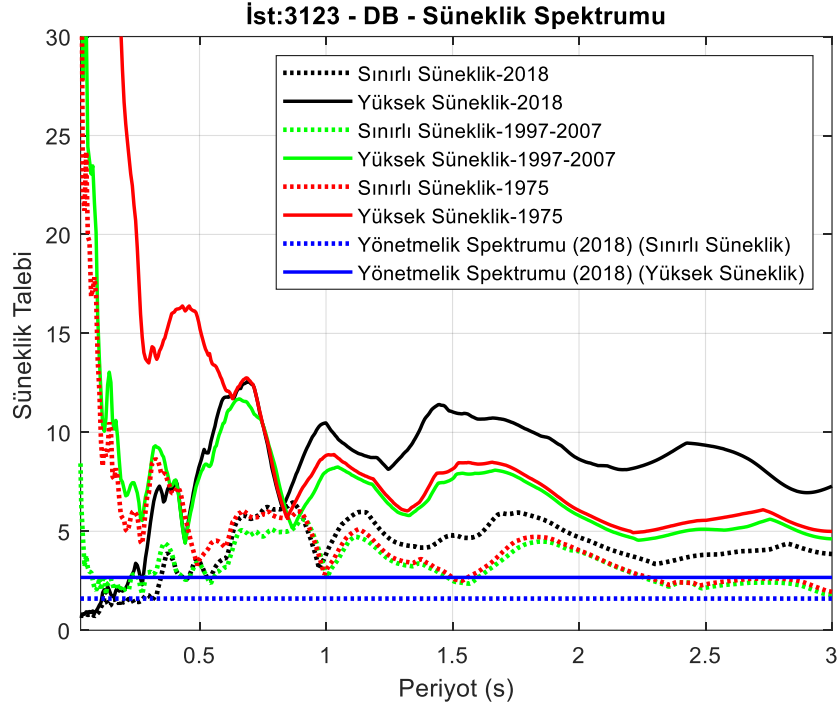
Şekil A16 – TK 3129 Geometrik ortalama ivme spektrumu ve yönetmelik spektrumları



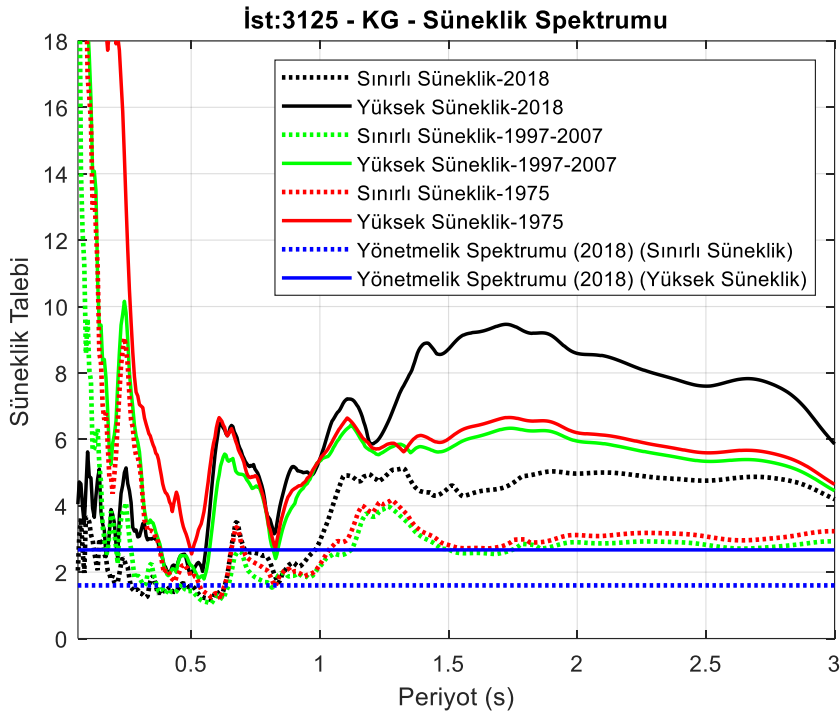
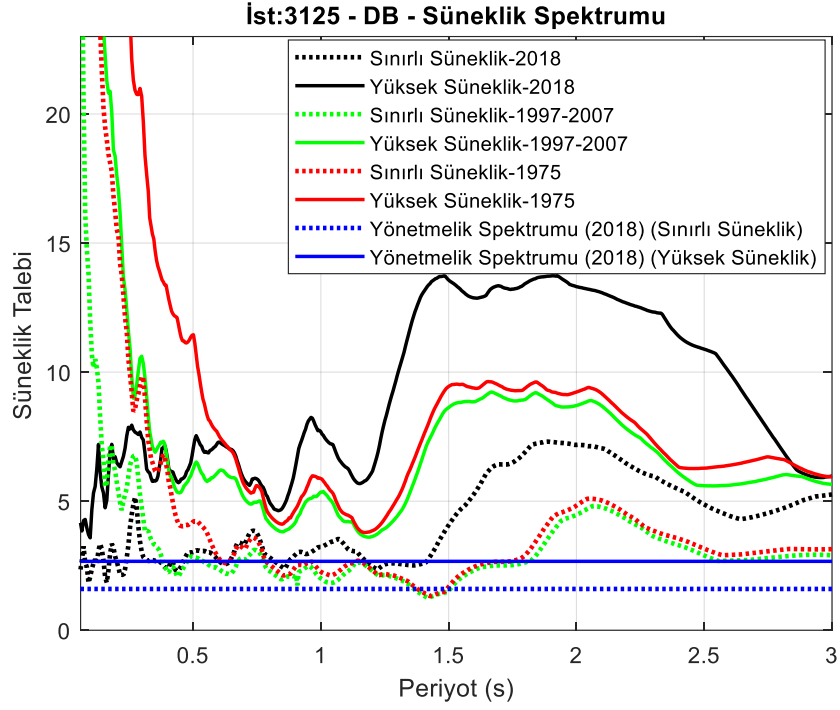
Şekil A17 – TK 3131 DB-KG Geo-Ort ivme spektrumu ve yönetmelik tasarım spektrumları



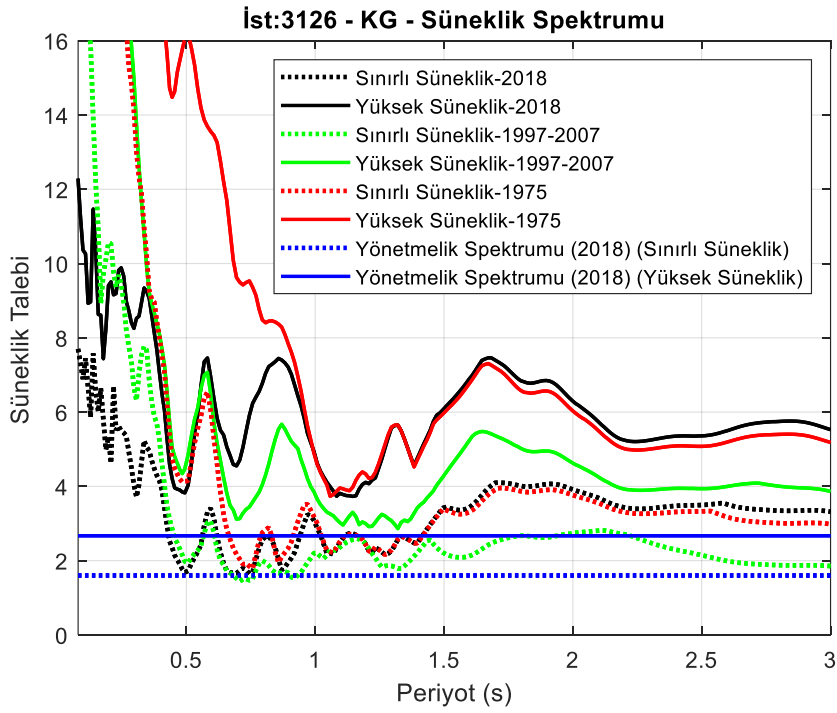
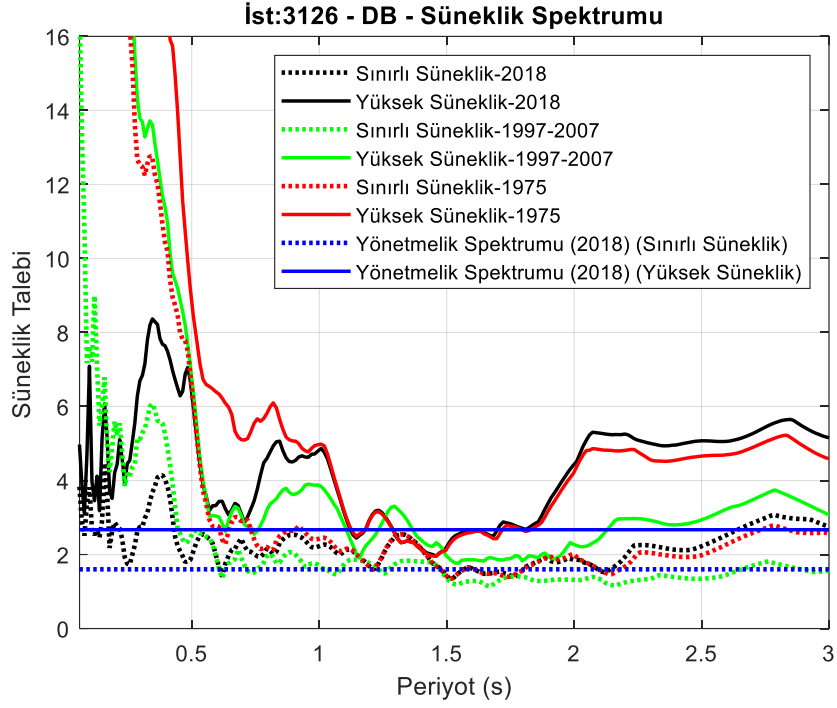
Şekil A18 – TK 3132 Geometrik ortalama ivme spektrumu ve yönetmelik spektrumları



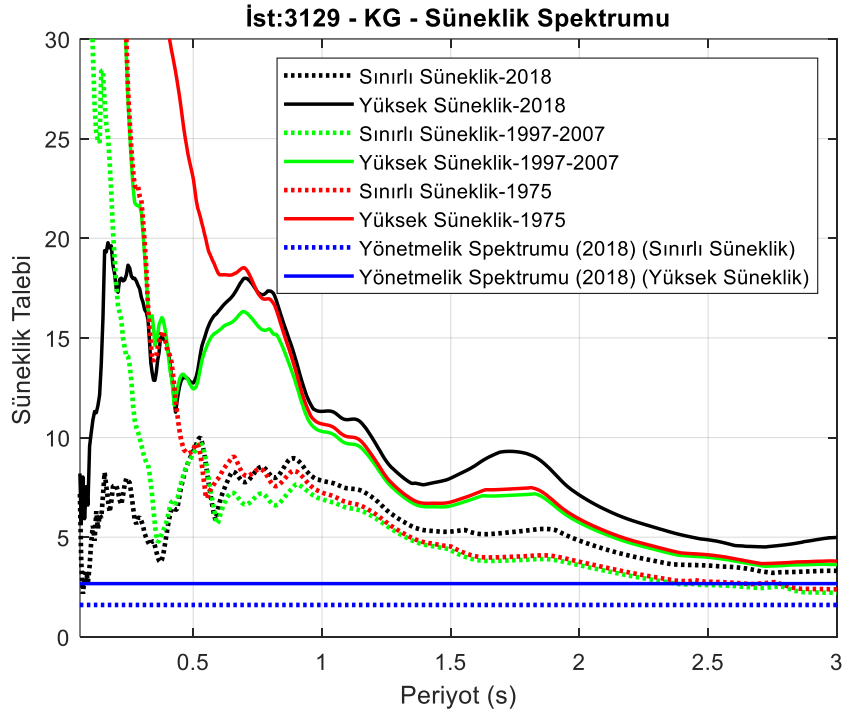
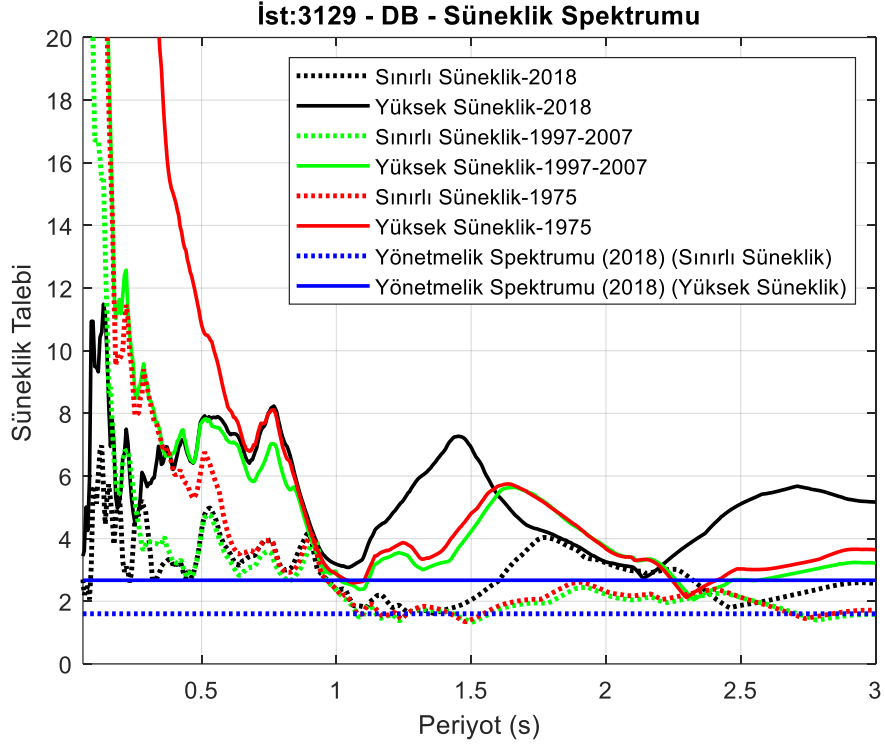
Şekil A19 – TK 3123 kaydı süneklik talep ve yönetmelik kapasite spektrumları



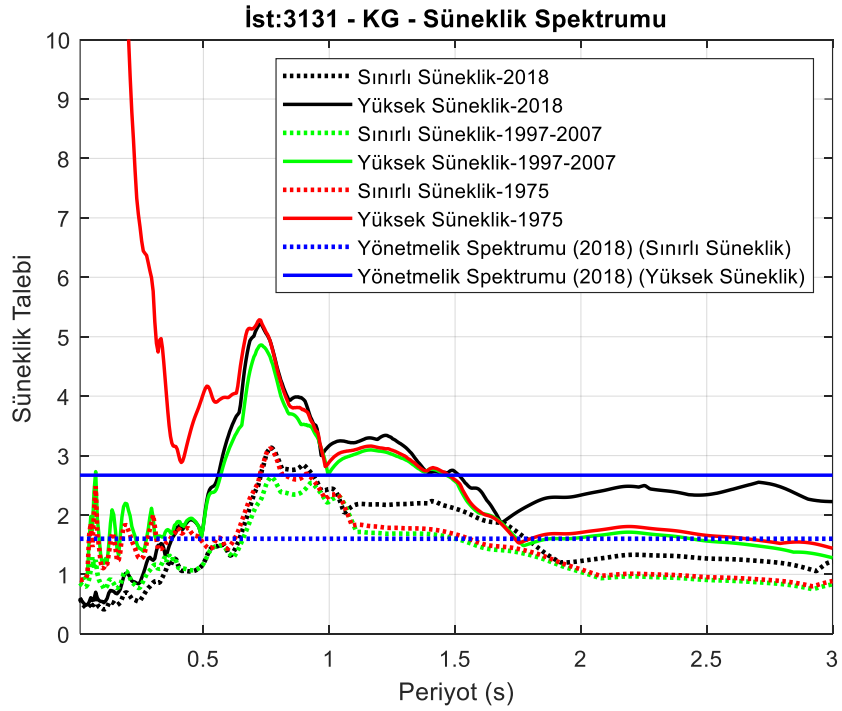
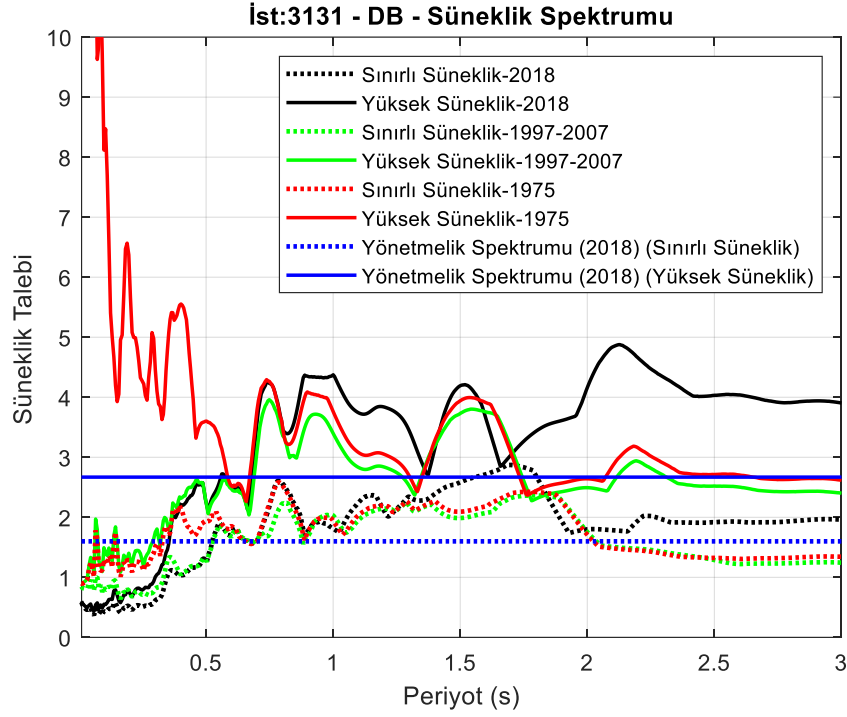
Şekil A20 – TK 3125 kaydı süneklik talep ve yönetmelik kapasite spektrumları



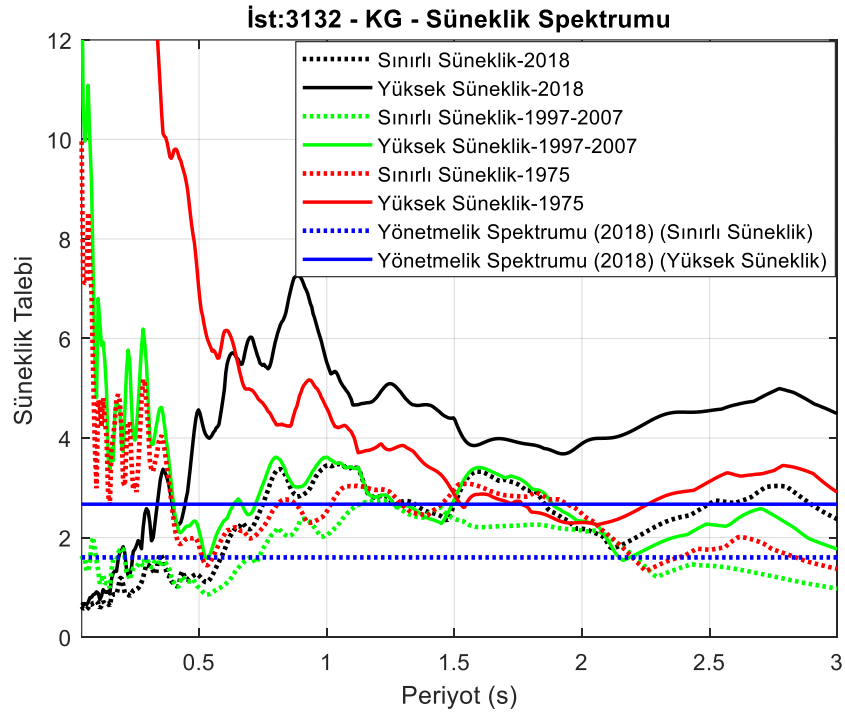
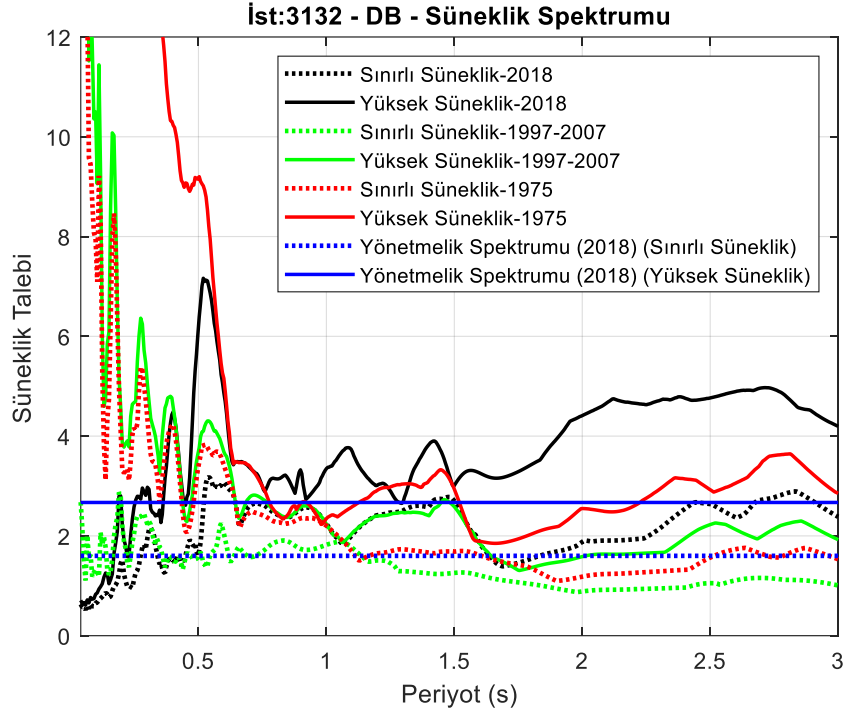
Şekil A21 – TK 3126 kaydı süneklik talep ve yönetmelik kapasite spektrumları



Şekil A22 – TK 3129 kaydı süneklik talep ve yönetmelik kapasite spektrumları



Şekil A23 – TK 3131 kaydı süneklik talep ve yönetmelik kapasite spektrumları



Şekil A24 – TK 3132 kaydı süneklik talep ve yönetmelik kapasite spektrumları

EK-B: 1975 DEPREM YÖNETMELİĞİNİN EŞDEĞER ELASTİK İVME SPEKTRUMU

1975 deprem yönetmeliği için 1997, 2007 ve 2018 yönetmeliklerindeki formata uyumlu eşdeğer elastik ivme spektrumunun periyoda bağlı tipik ordinatı olan *eşdeğer elastik spektral ivme* aşağıdaki bağıntı ile elde edilebilir:

$$S_{ae} = (C_o K S I) * R * \frac{1.57 / 1.33}{1.15}$$

Parantez içindeki ifade, 1975 yönetmeliğinde azaltılmış deprem yüklerinin tanımlanması için kullanılan *deprem katsayısı*'dır. Yukarıdaki bağıntıda;

C_o = 1975 yönetmeliğinde deprem bölge katsayısı (1. derece deprem bölgesi için $C_o = 0.10$)

K = 1975 yönetmeliğinde yapı tipi katsayısı (*düktil* çerçeve için $K = 0.8$, *düktil olmayan* çerçeve için $K = 1.5$)

S = 1975 yönetmeliğinde spektrum katsayısı $S = \frac{1}{|0.8 + T - T_o|} \leq 1$

T = Yapı doğal periyodu (s);

T_o = Zemin hakim periyodu (s) (1975 deprem yönetmeliğinde tanımlanan zemin sınıfları I, II, III ve IV için sırası ile 0.25, 0.40, 0.60 ve 0.80 s)

I = Yapı önem katsayısı (tüm yönetmeliklerde aynı değerlere sahiptir)

R = 1997, 2007, 2018 yönetmeliklerinde taşıyıcı sistem davranış katsayısı (*süneklik düzeyi yüksek* çerçeve için $R = 8$, *süneklik düzeyi yüksek* sınırlı için $R = 4$)

1.57 katsayısı: 1975 yönetmeliği uygulamasında donatı çeliği için emniyet katsayısı (beton için 3.0)

1.33 katsayısı: 1975 yönetmeliği uygulamasında malzeme emniyet gerilmelerinin %33 arttırılmasına karşı gelen katsayı

1.15 katsayısı: 1997, 2007, 2018 yönetmeliklerinin uygulamasında donatı çeliği malzeme güvenlik katsayısı (beton için 1.5).

$I = 1$ alınarak süneklik düzeyi yüksek (1975'göre *düktil*) ve süneklik düzeyi sınırlı (1975'e göre *düktil olmayan*) çerçeve sistemler için tanımlanan K ve aynı sistemler için diğer yönetmeliklerde birbirinin aynı olan R değerleri göz önüne alınarak yukarıdaki eşdeğerlik bağıntısı ile yapılan hesapların ortalaması alınmış ve aşağıdaki *eşdeğer elastik spektral ivme* bağıntısı elde edilmiştir.

$$S_{ae} = 0.636 S \quad ; \quad S = \frac{1}{|0.8 + T - T_o|} \leq 1$$

Notlar:

1) 1975 yönetmeliğine göre yapılan binalarda çoğunlukla çerçeve türü taşıyıcı sistemler kullanıldığından yukarıdaki dönüşümde bu sistemler esas alınmıştır. Ancak dönüşüm diğer taşıyıcı sistem türleri için de yaklaşık olarak geçerlidir.

2) Yukarıda yapılan dönüşümde, eğilme momenti kapasitesini doğrudan etkilemesi nedeniyle donatı çeliğinin emniyet katsayısı ve malzeme güvenlik katsayısı kullanılmıştır.